Georgian Scientists

ქართველი მეცნიერები

ასოციაცია მეცნიერებისათვის

Association for Science

Journal DOI: https://doi.org/10.52340/gs

https://journals.4science.ge/index.php/GS/index

სარედაქციო საბჭო

თამარ ხახუტაშვილი: მთავარი რედაქტორი, კომპიუტერული მეცნიერებების მაგისტრი, ასოციაცია მეცნიერებისათვის პრეზიდენტი; თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკის დირექტორი https://orcid.org/0000-0003-0953-2073

ნინო ბერიანიძე - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, მთავარი რედაქტორის მოადგილე, კომპიუტერული მეცნიერებების მაგისტრი

მარიეტა სულაბერიძე - რედაქტორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, კომპიუტერული მეცნიერებების მაგისტრი

ომარ ლანჩავა - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ტექნიკური მეცნიერებების დოქტორი, პროფესორი ; https://orcid.org/0000-0003-4249-9404

მალხაზ წიქარიშვილი - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, რედაქტორი, პროფესორი

გელა ყიფიანი - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, რედაქტორი, პროფესორი

მარინა ქურდაძე - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, პროფესორი, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

მარიამ კობერიძე - გორის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, პროფესორი

გიორგი გოროშიძე - ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ასოცირებული პროფესორი, https://orcid.org/0000-0002-6244-2942

ვახტანგ კვაჭაძე - ფიზიკის მეცნიერებათა დოქტორი, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ანდრონიკაშვილის სახელობის ფიზიკის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს წევრი; https://orcid.org/0000-0002-3875-505X

ლელა ბახტაძე - ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ასოცირებული პროფესორი

ავთანდილ ამირანაშვილი - მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, ივ. ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი

აგაევ რაუფ მაგსუდ ოღლუ - მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, აკადემიკოს მ. თოფჩუბაშევის სახელობის ქირურგიის სამეცნიერო ცენტრის დირექტორი, აზერბაიჯანის სამედიცინო უნივერსიტეტის ქირურგიული სნეულებათა დეპარტამენტის პროფესორი, კათედრის გამგე (ბაქო, აზერბაიჯანი)

ირაკლი ნადირაძე - მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, პათოლოგიისა და კანის სიმსივნეების ცენტრის ხელმძღვანელი, საქართველო ისრაელის ერთობლივი კლინიკა GIDMEDI: თბილისი, საქართველო; https://orcid.org/0000-0002-4764-655X

ელი კაკიაშვილი - მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, ქირურგი, გალილეის სამედიცინო ცენტრი, ნაჰარია, ისრაელი; მედიცინის ფაკულტეტი გალილეაში, ბარ ილანის უნივერსიტეტი, საფადი, (ისრაელი); https://orcid.org/0000-0002-8796-9724

ლუის მ. ალედორტი - მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, მერი ვაინფელდი კლინიკური კვლევის პროფესორი ჰემოფილიაში, მოუნთ სინაის მედიცინის სკოლა, ნიუ იორკი

ნადეი ჰაკიმი - GCSJ, MD, PhD, FRCS, FRCSI, FACS, FICS(Hon), FASMBS, FIMSA(Hon) მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, ტრანსპლანტაციის ქირურგი, ლონდონის საიმპერატორო კოლეჯი, ლონდონი, დიდი ბრიტანეთი; ზოგადი ქირურგი, კლივლენდის კლინიკა (ლონდონი, დიდი ბრიტანეთი); http://orcid.org/0000-0001-9442-7950

მამუკა ბოკუჩავა - პროფესორი, სისხლძარღვთა ქირურგი, ანგიოლოგი, მედიცინის დოქტორი, ნ. ბოხუას სახელობის სისხლძარღვთა და გულის დაავადებათა ცენტრის დირექტორის მოადგილე; https://orcid.org/0000-0002-6719-1302

მერაბ კილაძე - მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი. აშშ-ს, საერთაშორისო, ევროპის და რუსეთის ქირურგთა ასოციაციების წევრი, ქირურგი, კლინიკა გიდმედის ქირურგიული სამსახურის უფროსი

გოგი (გიორგი) ბოჭორიშვილი - პროფესორი, მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, უროლოგი, თბილისი, საქართველო

ნინო კიკნაძე - სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა დოქტორი, ქიმიის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ-თანამშრომელი. საქართველოს გარემოს დაცვის მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი. ამერიკის ქიმიის საზოგადოების (ACS) წევრი, ბათუმი, საქართველო; https://orcid.org/0000-0001-7864-3899

ავთანდილ ბარდაველიძე - ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ტექსტის რედაქტორი:

მარიამ ჩაჩანიძე -თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი

მიხეილ ერგემლიძე - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, ინფორმატიკის ბაკალავრი

ვებ რედაქტორი:

გიორგი ბანეთიშვილი - თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ეროვნული სამეცნიერო ბიბლიოთეკა

სარჩევი

ნინო ღუდუშაური - ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და სისტემების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის დაპროექტება ---------- 1-17

ელენე ფანცხავა - ხელოვნური ინტელექტი ენერგეტიკულ ინდუსტრიაში ---------- 18-26

ნანა შაშიაშვილი - მტკიცებულებებზე დაფუძნებული ფარმაცია: მეცნიერული მიდგომა სამკურნალო საშუალებების უსაფრთხო და ეფექტური გამოყენებისთვის------ 27-38

სოფია მშვილდაძე - განათლების რეფორმა და მეოთხე თაობის ეროვნული სასწავლო გეგმა ---------- 39-42

ლალი ბარბაქაძე, ნიკოლოზ კინტრაია, გიორგი ბურკაძე, შოთა კეპულაძე - CDK4-ისა და ციკლინის D1-ის ექსპრესიის თავისებურებები საშვილოსნოს სტრომულ სიმსივნეებსა და სარკომებში: დიაგნოსტიკური და პროგნოზული მნიშვნელობა--------- 43-55

გიორგი-ჯემალ გოგიტიძე, შოთა კეპულაძე, გიორგი ბურკაძე - სისხლძარღვთა რემოდელირების თავისებურებები საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზიისა და ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომის შემთხვევებში: ციფრულ პათოლოგიაზე დაფუძნებული მორფომეტრული და იმუნოჰისტოქიმიური ანალიზი-- 56-68

ნანა შაშიაშვილი - ხელოვნური ინტელექტი სააფთიაქო სერვისებში და ფარმაკოინტელექტის კონცეფცია---------- 69-79

ნანა შაშიაშვილი, ნინო ბაქრაძე - ფარმაცევტული ბაზარი და სააფთიაქო მომსახურება: გამოწვევების და შესაძლებლობების ანალიზი გერმანული მოდელის მაგალითზე------ 80-95

გიორგი-ჯემალ გოგიტიძე, შოთა კეპულაძე, გიორგი ბურკაძე - ნერვული მიკროგარემოს რემოდელირების თავისებურებები საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელურ ნეოპლაზიასა და ბრტყელუჯრედოვან კარცინომაში---------- 96-109

კახა გორგაძე, მაგდა მეცხვარიშვილი, მიხეილ ჯანიკაშვილი, თამარ ბერბერაშვილი, მედეა ბურჯანაძე, ნიკოლოზ ვაჩაძე - Ti-Nb-ის ბინარულ შენადნობში პირდაპირი და შებრუნებული მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურული ინტერვალის დადგენა ელექტრო წინაღობისა და დიფერენციალური თერმული ანალიზის საშუალებით------- 110-121

ლანა დათუაშვილი, მაია ვანიძე, ინდირა ჯაფარიძე, ნონა სურმანიძე, ალეკო კალანდია, ინგა ბოჭოიძე - ქაცვის ნაყოფის კაროტინოიდების ექსტრაქციის „მწვანე“ მიდგომები და მათი როლი ოფთალმოლოგიაში---------- 122-129

ალიოშა ბაკურიძე, დალი ბერაშვილი, ლაშა ბაკურიძე, ია წურწუმია, ლამზირა ებრალიძე - მინერალების შემცველი პრეპარატების გამოყენების პერსპექტივები კოსმეტოლოგიაში---------- 130-143

მარი ნაცვლიშვილი - ურბანული ბლოკების ტიპები და მორფოლოგიური ანალიზი---- 144-153

მარიამ ხაბეიშვილი, ნინო ხაბეიშვილი - თანამედროვე ურბანული ხელოვნების სოციოკულტურული ასპექტები---------- 154-158

ეკატერინე შილაკაძე - მთის ტურიზმის მდგრადი განვითარება: წამყვანი ქვეყნები და საგანმანათლებლო პროგრამები---------- 159-168

პავლე იავიჩი, მზია კახეთელიძე, ბელა კიკალიშვილი - კოსმეტიკური და კოსმეცევტიკური საშუალებების წარმოებისთვის ზღვის წყალმცენარეების ნედლეულის სახით გამოყენების შესაძლებლობის შესახებ (მიმოხილვა)---------- 169-183

ნანა შაშიაშვილი - ფარმაცევტის სტრატეგიული როლი ეკოლოგიური საფრთხეების მართვაში---------- 184-195

ნანა შაშიაშვილი, მარიამ ბაქრაძე - ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიები ფარმაცევტულ სექტორში---------- 196-210

სალომე ვორონოვი, რიმა ბერიაშვილი, ნინო ქანთარია, ეკა ეკალაძე - მინდობილი პროფესიული საქმიანობა - გზა კომპეტენციებიდან პროფესიონალიზმისკენ---------- 211-217

ნანული ტალახაძე, ნათია ნახუცრიშვილი, სანდრო ბახტაძე - ქართული რადიო მეორე მსოფლიო ომის დროს და ომის შემდგომ წლებში---------- 218-223

იზოლდა მამულაიშვილი, ვახტანგ გოლიაძე, დავით აფხაზავა, ეკატერინე გობრონიძე, ქეთევან ჩიკაშუა - აქტინიდიის (კივი) მინერალური კვება---------- 224-234

თენგიზი კუპრაშვილი - მარკეტინგ-მიქსის კონცეფცია რეგიონალური მარკეტინგის ჭრილში---------- 235-241

პავლე იავიჩი, მზია კახეთელიძე, ბელა კიკალიშვილი - ბუნებრივი მცენარეული ნივთიერებების მათი ნატივური ფორმით კოსმეტიკაში გამოყენების შესაძლებლობის შესახებ---------- 242-254

ელენე ფანცხავა, მაკა ჯიშკარიანი - ანაკლიის პორტი როგორც ენერგეტიკული ჰაბი: სტრატეგიული და ტექნოლოგიური ანალიზი---------- 255-263

მარიამ მამულაძე - ხანდაზმულობის ინსტიტუტი არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის გარანტად: სამოქალაქო სამართალწარმოების თეორიული და პრაქტიკული ასპექტები---------- 264-276

სალომე ვორონოვი, ნინო ქანთარია, რიმა ბერიაშვილი - მინდობილი პროფესიული საქმიანობის განხორციელების ეტაპები შინაგანი მედიცინის კლინიკური სწავლების პროცესში---------- 277-284

Uzoma Divinelove Moses Ozuomba - High Response of Human Muscles to Soundwaves in Electromyography and Artificial Intelligence Based Studies Supports the Effectiveness of Sound Therapy and Confirms the Existence of Sound-Induced Diseases---------- 285-297

Nika Todua, Malkhaz Getia, Davit Chincharadze, Nina Vachnadze - QUANTITATIVE DETERMINATION OF BERBERINE IN THE ABOVEGROUND ORGANS OF MAHONIA AQUIFOLIUM (PURSH) NUTT ---------- 298-305

გუჩა კობაიძე, თამარ საყვარელიძე, შოთა კეპულაძე, მარინა ჯანელიძე - პოსტკოვიდური გუნებ-განწყობის ცვლილების რისკ-ფაქტორები: ჯვარედინი კვლევა კავკასიელთა პოპულაციის კოჰორტაში---------- 306-316

ნინო ხაბეიშვილი, მარიამ ხაბეიშვილი - ფერ-სინათლის ინსტალაციები არქიტექტურულ გარემოში ---------- 317-322

გალია ცქვიტინიძე, ვლადიმერ თვალიაშვილი, ანა ჭულუხაძე - ქართული ნაგაზის თავის ტვინის ზოგიერთი ნერვის მორფოლოგია 323-328

Nodar Sulashvili, Lali Patsia, Awad El-Hakeem, Sk Ayaan, Arian Hizomi, Sajal Agarwal, Marika Sulashvili - EXPLORING THE GUT-BRAIN AXIS: THE ROLE OF THE MICROBIOME IN MODULATING BRAIN FUNCTION AND ITS IMPLICATIONS IN NEURODEGENERATIVE DISORDERS LIKE PARKINSON'S AND ALZHEIMER'S AND PHARMACOTHERAPY TREATMENT STRATEGIES---------- 329-353

ზაზა მარდალეიშვილი - ფრაქტალურობის იდენტიფიცირება და მონაცემთა გენერაცია ---------- 354-363

თამარ მათითაიშვილი, თამარ დომიანიძე, გიორგი ბურჯანაძე, მარიამ შენგელია, ნატო მენთეშაშვილი - სოციალური იზოლაციის შედეგები ქცევასა და ჰიპოთალამური მონოამინერგული ნეიროტრანსმისიის მახასიათებლებზე სხვადასხვა სოციალური სტატუსის ზრდასრულ ვირთაგვებში ---------- 364-374

ელზა ბიწაძე, ცაცა ნამჩევაძე - კორპორაციულ სისტემებში დოკუმენტბრუნვის ავტომატიზაცია ---------- 375-380

Nodar Sulashvili, Sharon Fernando, Awad El-Hakeem, Luiza Gabunia, Nana Gorgaslidze, Margarita Beglaryan, Lali Patsia, Natia Kvizhinadze, Marika Sulashvili - CLOSED-LOOP CARDIOPULMONARY BYPASS SYSTEMS WITH REAL-TIME MONITORING AND PHARMACOTHERAPY STRATEGIES: INNOVATIONS, OUTCOMES, CLINICAL IMPACT AND FUTURE DIRECTIONS IN GENERAL ---------- 381-419

მაია ლომსაძე-კუჭავა, თამარ წერეთელი, ქეთევან ქუთათელაძე - მენეჯმენტში რბილი უნარები ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით ---------- 420-426

მარინა ქურდაძე, მამაუკა გოგაძე - სკრემბლირების უმარტივესი ალგორითმი სიგნალის სიხშირული გარდაქმნის დროს ---------- 427-431

ვალერი ჯაჯანიძე, ნათია ბუთხუზი, მალხაზი ხვედელიძე - საგზაო მოძრაობის ორგანიზაციის არსებული მოდელის სრულყოფა სმარტ ტელემატიკური სისტემების გამოყენებით ---------- 432-438

ნანა ბენიძე, ჯამბულ ბიწაძე - ინდივიდუალური (კერძო) დაზღვევის როლი სახელმწიფო ხარჯების ოპტიმიზაციაში: გამოწვევები და შესაძლებლობები ---------- 439-445

ზაზა სოფრომაძე, ნანა შაშიაშვილი, ბესარიონ სიმონიშვილი - მედიკამენტოზური უსაფრთხოების გაუმჯობესება სტაციონარულ სამედიცინო დაწესებულებში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით ---------- 446-458

Zaza Mardaleishvili - Linear Dependence of Pressure on Volume in Some Ideal Gas Problems- 459-466

ვახტანგ ბარბაქაძე, მაია მერლანი, ლალი გოგილაშვილი, ლელა ამირანაშვილი, კარენ მულკიჯანიანი - Boraginaceae-ს ოჯახის სხვადასხვა სამკურნალო მცენარის ბიოლოგიურად აქტიური პოლიეთილენგლიკოლის საფუძველზე მრავალკატექოლშემცველი ბიოპოლიმერი პოლი[3-(3,4-დიჰიდროქსიფენილ) გლიცერინის მჟავა] ---------- 267-492

გიორგი არზიანი, გიორგი ჩხაიძე - ელექტროგადამცემი ხაზის განაწილებულპარამეტრებიანი მოდელის დეტალიზაციის ხარისხის გავლენა მის სიხშირულ მახასიათებლებზე---------- 493-502

ბექა გურგენიძე - მჭიდრო დასახლების პირობებში ახალი მშენებლობის დამცავი კონსტრუქციული სისტემების შერჩევა---------- 503-510

ნინო ვეფხვაძე, მანანა ხორბალაძე, ნინო კილაძე, ნანა ცხოვრებაძე, ირმა ცხოვრებაძე, თეა ქოჩორაძე-მარღიშვილი, ივანე კუგოტი - COVID-19 პანდემიის ეკოლოგიური გავლენა: ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის ცვლილება საქართველოს დიდ ქალაქებში-- 511-519

ცაცა ნამჩევაძე, ელზა ბიწაძე - ობიექტურ–ორიენტირებული მონაცემთა ბაზების შესახებ---------- 520-529

ელისო მურადაშვილი, მედეა ბურჯანაძე, ზაირა ტყებუჩავა - ზოგიერთი ქიმიური პესტიციდების ეფექტურობა პომიდვრის სამხრეთ ამერიკული მენაღმე ჩრჩილის Tuta absoluta წინააღმდეგ---------- 530-538

მარიამ ხაბეიშვილი, ნინო ხაბეიშვილი - ქალაქის ბრენდინგი ---------- 539-543

ქეთევან ნათობიძე, მარიამ გასანოვა, ია წურწუმია, ალიოშა ბაკურიძე, მარიამ ტატანაშვილი - სალბის ანტიბაქტერიული მოქმედების კოსმეტიკური ფანქრების შემადგენლობის განსაზღვრა და ტექნოლოგიის დამუშავება---------- 544-554

Inga Abuladze, Maia Okhanasvili, Marina Kashibadze, Natalia Gabashvili, Tamar Gabashvili - Digital Transformation in the Educational Institutions---------- 555-562

ომარ ლანჩავა - გვირაბის ხანძრის პირობებში სავენტილაციო სისტემის ეფექტიანობისა და სიცოცხლის გადარჩენის ინტეგრირებული ანალიზი---------- 563-584

მალხაზ მებურიშვილი, თეა ცქიფურიშვილი - ტვირთების მიწოდების სისტემის შერჩევა---------- 585-601

Emeliane Gogilidze, Natia Gogilidze - Use of Artificial Intelligence in Automated Transportation Mmanagement---------- 602-607

გვანცა ბარდაძე, ირაკლი გორდიაშვილი - ჰარმონიკული რეზონანსის კვლევა მაღალი ძაბვის ქსელში---------- 608-616

ომარ ლანჩავა, ნატალია ბულია, მარიამი დარახველიძე - შრომის უსაფრთხოების განუხრელი დაცვის აუცილებლობა სამედიცინო სექტორში: არსებული პრობლემები, სისტემური გამოწვევები და სტრატეგიული რეკომენდაციები---------- 617-624

ქეთევანი მჭედლიძე, ლიანა ჯინჯოლია, თეონა კორკოტაძე, ჯემალ ანელი - კავკასიის ენდემური მცენარის Teucrium nuchense K.Koch -ის მიწისზედა გენერაციულ და ვეგეტატიურ ორგანოთა ანატომიური აგებულების თავისებურებანი (Labiatae)------- 625-636

ქეთევან მჭედლიძე, მარიამ ბენიძე, ვაჟა ნებიერიძე, ნათია საყვარელიძე, ნანული ბულისკერია, ეთერი ქემერტელიძე - Solanum persicum Willd. ex Roem. et Schult.-ის მიწისზედა ვეგეტატიურ ორგანოთა ანატომიური აგებულება ---------- 637-646

მანანა მამულაშვილი, გიორგი ბიბილეიშვილი, ზაზა ჯავაშვილი, თინათინ ბუთხუზი, ელენე კაკაბაძე - ღვინოსა და წყალში მიკროორგანიზმთა მორფოლოგიური და ტინქტორიალური მახასიათებლების განსაზღვრა ---------- 647-651

ქეთევან მძელური, ანა იმერლიშვილი - DevOps-ის პრაქტიკის შეფასება წარმატებულ საერთაშორისო კომპანიებში ---------- 652-657

გიორგი ბიბილეიშვილი, ზაზა ჯავაშვილი, ელენე კაკაბაძე, ლეილა თანანაშვილი, მანანა მამულაშვილი - ადგილობრივი და საერთაშორისო საპატენტო ნამუშევრების მოძიება და ანალიზი საფერავის, ქინძმარაულის, ხვანჭკარას, მუკუზანის ღვინომასალის მიკროფილტრაციული პროცესისათვის ცვალებადი ტემპერატურისა და სიბლანტის პირობებში---------- 658-666

გიორგი ბიბილეიშვილი, ნანა გოგესაშვილი, ელენე კაკაბაძე, ზაზა ჯავაშვილი, თინათინ ბუთხუზი - გამხსნელების გავლენა პოლიეთერსულფონური მემბრანების მახასიათებლებზე და პოლიმერის კონფორმაციული მდგომარეობაზე დასასხმელ ხსნარში დანამატად პვპ-ს გამოყენებისას---------- 667-672

გიორგი ბიბილეიშვილი, ლიანა ყუფარაძე, ზაზა ჯავაშვილი, მზია კეჟერაშვილი, ელენე კაკაბაძე - ბუნებრივ წყალზე ჰიბრიდული ნაკადის განხორციელების გზით ტანგენციალური ბარომემბრანული პროცესის თეორიული კვლევები და ექსპერიმენტების შედეგები ---------- 673-677

გიორგი ბიბილეიშვილი, ლიანა ებანოიძე, მანანა მამულაშვილი, ელენე კაკაბაძე, ზაზა ჯავაშვილი, მზია კეჟერაშვილი, თინათინ ბუთხუზი - ფაზური ინვერსიით მემბრანის მიღებისას დამლექავ და გამრეცხ აბაზანებში ხსნარების შედგენილობის კვლევა---------- 678-684

Zurab Kherodinashvili, Kholoud Al-Baker - Eye-Tracking Emotional and Spiritual Responses in Bilinguals: A Comparative Study of Georgian and Arabic Speakers ---------- 692-712

ნანა ბარათელი, სალომე ჭეიშვილი, ნიკა სანთელაძე, ელენე ჩიხლაძე, თამარ ფალავანდიშვილი - თაფლის ხარისხობრივი შედარებითი ანალიზი: ადგილობრივი და იმპორტირებული ნიმუშების ექსპერტიზის საფუძველზე ---------- 713-723

ელისო გველესიანი - მაკრო გარემოს გავლენა ტურიზმისა და სტუმარმასპინძლობის ინდუსტრიის განვითარებაზე ---------- 724-729

დიმიტრი კოჩაძე, ელგუჯა ლაჭყეპიანი, როზერტ მახარაშვილი - ქართული ტრადიციული ეთნოფარმაკოლოგია: ისტორიული საფუძვლები, სამკურნალო მცენარეთა კულტივაციის პრაქტიკა და ცოდნის გადაცემის გზები ---------- 730-744

ინგა გაფრინდაშვილი, ნარგული ასანიძე, მამუკა თურმანიძე, ხათუნა გამყრელიძე, თამილა არდემანაშვილი - დასავლეთ საქართველოში ინტროდუცირებული, რემონტატული ჟოლოს(Rubus idaeus) გაყინვის ახალი ტექნოლოგიების გამოყენება----- 745-753

გიორგი ბიბილეიშვილი, მზია კეჟერაშვილი, ნანა გოგესაშვილი, ლიანა ყუფარაძე, ელენე კაკაბაძე - გამხსნელის ბუნების გავლენის კვლევა პოლიეთერსულფონური მემბრანის წარმადობაზე---------- 754-759

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.01



ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და სისტემების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის დაპროექტება

ნინო ღუდუშაური
დოქტორანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, e-mail: ghudushauri.nino22@gtu.ge

რეზიუმე

ორგანიზაციის წარმატებული ფუნქციონირებისთვის ინფორმაციული ტექნოლოგიები და სისტემები სწორად უნდა იყოს არჩეული/დაპროექტებული, დანერგილი და, რაც არანაკლებ მნიშვნელოვანია, სწორად უნდა მიმდინარეობდეს მათი განვითარება. ინფორმაციული ტექნოლოგიები და სისტემები არ ინერგება და არ ვითარდება სპონტანურად, მათი დაპროექტება/შეძენა, დამუშავება, განვითარება ხორციელდება ინფორმაციული ტექნოლოგიების და მის ფარგლებში ინფორმაციული სისტემების სტრატეგიის საფუძველზე. შეიძლება ითქვას, რომ ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების სასიცოცხლო ციკლის თითოეული ეტაპის სამუშაოების განუყოფელ და მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს მათი ეფექტიანობის შეფასება.

ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და სისტემების ეფექტიანობის შეფასება ხდება სხვადასხვა მიდგომებისა და მეთოდების გამოყენებით განსხვავებულ პარამეტრებზე ყურადღების გამახვილებით. არსებობს ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და სისტემების ეფექტიანობის შეფასების მრავალი სახის პარამეტრი და მათი კლასიფიკაცია. ნაშრომში განხილულია კლასიფიკაცია, რომლის მიხედვითაც პარამეტრები იყოფა მათი შეფასების მეთოდებით ორ ჯგუფად: **შეფარდებითი** და **აბსოლუტური შეფასების.** შეფარდებითი შეფასება იყოფა შემდეგ ჯგუფებად - ამოცანების შესრულების და შრომის პროდუქტიულობის მაჩვენებლების შეფასებად, ხოლო აბსოლუტურ შეფასებაში ერთიანდება ოპერაციული, ტექნიკური და ეკონომიკური ეფექტიანობის მაჩვენებლების შეფასება. ნაშრომში მოყვანილია შესაბამისი ეფექტიანობის მაჩვენებლები და მათი შეფასების მეთოდები.

აღსანიშნავია, რომ შეფასების პარამეტრების და მეთოდების სიმრავლე განაპირობებს გარკვეულ პრობლემებს მათი შერჩევის თვალსაზრისით. თითოეული კომპანია თვითონ ირჩევს, თუ რა პარამეტრების მიხედვით და,

შესაბამისად, რა მეთოდებით შეაფასოს ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების ეფექტიანობა.

ნაშრომში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების ეფექტიანობის შეფასების პროცესს, რომელიც თავის მხრივ სწორად და ოპტიმალურად უნდა იყოს წარმართული. ამ მიზნით წარმოდგენილია ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის შემუშავება, ბიზნეს-პროცესის მოდელის აგება, მისი სიმულაცია და ამ სიმულაციის შედეგების განხილვა.

საკვანძო სიტყვები: ინფორმაციული სისტემის და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასება, ბიზნეს-პროცესი, ბიზნეს-პროცესის მოდელირება და შეფასება.

შესავალი

უნდა აღინიშნოს, რომ საზოგადოების ინფორმატიზაცია არის გლობალური **სოციალურ-ეკონომიკური** პროცესი, რომლის დამახასიათებელი და განუყოფელი თვისებაა საზოგადოებრივი წარმოების სფეროში თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების საფუძველზე ინფორმაციის შეგროვება, დამუშავება, შენახვა, პრეზენტაცია და გამოყენება. ინფორმაციული საზოგადოების არსებობა შეუძლებელია ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების გარეშე.

განსაკუთრებით შეიძლება აღინიშნოს ბიზნესი, რომელიც ხორციელდება მძიმე არამდგრად ეკონომიკურ ვითარებაში და სხვადასხვა სახის კრიზისების ფონზე. ამიტომ იმისათვის, რომ ბიზნესი იყოს მომგებიანი, კონკურენტუნარიანი და უწყვეტი, ის აუცილებლად უნდა იყენებდეს ინფორმაციულ ტექნოლოგიებს და სისტემებს. არ აქვს მნიშვნელობა რა მასშტაბისაა ბიზნესი, მისი ფუნქციონირება მთლიანად დამოკიდებულია ინფორმაციული სისტემის და ტექნოლოგიის ეფექტიან მუშაობაზე. ამასთან ერთად უნდა ითქვას, რომ ინფორმაციული სისტემა სრულად პასუხისმგებელია ნებისმიერი ტიპის ორგანიზაციის ბიზნეს-პროცესების წარმატებით შესრულებაზე.

ეს ყველაფერი შესაძლებელია ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების სწორი ორგანიზების, ფუნქციონირების და მათი მხრიდან ორგანიზაციის მართვის პროცესის საუკეთესო სახით მხარდაჭერის შემთხვევაში. ამ მიზნით ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და სისტემების განვითარების ყველა ეტაპზე უნდა მიმდინარეობდეს მათი ეფექტიანობის შეფასება, რაც განაპირობებს მათ წარმატებულ ფუნქციონირებას.

ინფორმაციული ტექნოლოგიები და სისტემები შეუძლებელია ორგანიზაციაში დაინერგოს და განვითარდეს სპონტანურად - მათი არჩევა, შექმნა/შეძენა, დამუშავება, განვითარება განპირობებულია და ხორციელდება ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების სტრატეგიის შესაბამისად, ინფორმაციული სისტემების შემთხვევაში კი ინფორმაციული სისტემების

სტრატეგიის საფუძველზე, რომელიც არის IT-სტრატეგიის ქვესტრატეგია. ამ სტრატეგიების შემუშავების და განხორციელების პროცესი წარმოადგენს გარკვეული ეტაპების განმეორებად თანმიმდევრობას. შესაბამისად, თითოეული ეტაპის სამუშაოების განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს **ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების ეფექტიანობის შეფასება.** განსაკუთრებით ეს მნიშვნელოვანია ინფორმაციულ ტექნოლოგიებთან და სისტემებთან დაკავშირებული პროექტების დასახვის, შექმნის, შეფასების, რამდენიმე პროექტის ერთმანეთთან შედარების და საუკეთესო პროექტის შერჩევის პროცესში. აქედან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ ეფექტიანობის შეფასების პროცესი აუცილებელია ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების სასიცოცხლო ციკლის ყველა ეტაპზე. [4,5]

ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების ეფექტიანობის შეფასება ხდება განსხვავებული მიდგომით, სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით განსხვავებულ პარამეტრებზე ყურადღების გამახვილებით. არსებობს მრავალი სახის პარამეტრი და მათი კლასიფიკაცია. ნაშრომში მოყვანილია პარამეტრების კლასიფიკაცია მათი განსაზღვრის/გაანგარიშების მიდგომის მიხედვით. ამ კლასიფიკაციის მიხედვით შეფასების პარამეტრები იყოფა ორ ჯგუფად: შეფარდებითი და აბსოლუტური შეფასების მიხედვით.

შეფარდებითი შეფასება იყოფა შემდეგ მეთოდებად: ამოცანების შესრულების და შრომის პროდუქტიულობის მაჩვენებლების შეფასებად, ხოლო აბსოლუტური შეფასება - ოპერაციული, ტექნიკური და ეკონომიკური ეფექტიანობის მაჩვენებლების შეფასებად. შემდეგში განხილულია აღნიშნული მაჩვენებლები და მათი შეფასების მეთოდები.

როგორც აღვნიშნეთ, არსებობს მრავალი შეფასების მეთოდი, რომელიც ყურადღებას ამახვილებს სხვადასხვა პარამეტრებზე და გამოიყენება სხვადასხვა პირობებში. ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების ეფექტიანობის შეფასების პროცესში უნდა იყოს უზრუნველყოფილი დასმული ამოცანის შესაბამისი მეთოდების შერჩევა, ამ მეთოდების ღრმა შესწავლა და მათი გამოყენების ისეთი პროცესის ჩამოყალიბება, რომელიც ხელს უწყობს ეფექტიანობის შეფასების საუკეთესო სახით განხორციელებას.

ეფექტიანობის შეფასება ზოგადად საკმაოდ რთულ და ხანგრძლივ პროცესს წარმოადგენს. ხაზი უნდა გაესვას იმ გარემოებას, რომ შეფასების პარამეტრების და მეთოდების სიმრავლე განაპირობებს გარკვეულ პრობლემებს მათი შერჩევის თვალსაზრისით. ჩვეულებრივ თითოეული კომპანია თვითონ ირჩევს, თუ რა პარამეტრების მიხედვით და, შესაბამისად, რა მეთოდებით შეაფასოს თავისი ინფორმაციული ტექნოლოგიის და სისტემის ეფექტიანობა. აქედან გამომდინარე იმისათვის, რომ ეს პროცესი სწორად წარიმართოს სასურველია აიგოს მისი ბიზნეს-პროცესი. შესაბამისად წარმოიშვება ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და სისტემების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის დაპროექტების ამოცანა.[1,2,3]

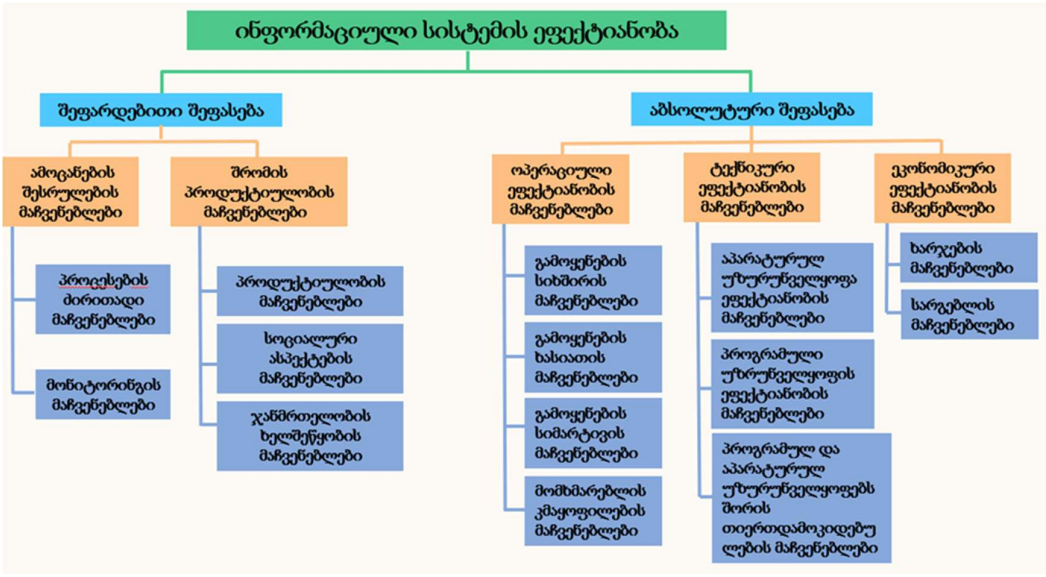
ზოგადად, ბიზნეს-პროცესის დაპროექტების ტექნოლოგია ხდის კომპანიის ყველა ოპერაციას გამჭვირვალესა და გასაგებს, საშუალებას იძლევა გაანალიზდეს ოპერაციები და აღმოჩენილ იქნას პრობლემები, რომლებიც იწვევს წარუმატებლობას. ამ პროცესში განსაკუთრებული როლი გააჩნია ბიზნეს–პროცესების მოდელირებას. ბიზნეს–პროცესების მოდელირება წარმოადგენს ნებისმიერი პროცესის ხარისხისა და ეფექტიანობის ამაღლების მეთოდს. ბიზნეს–პროცესების მოდელირება იძლევა საშუალებას გაგებულ იქნას პროცესის არსი და ჩატარდეს მისი ანალიზი.

წარმოდგენილ ნაშრომში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ინფორმაციული ტექნოლოგიის და სისტემის ეფექტიანობის შეფასების პროცესს და მისი ბიზნეს-პროცესის აგებას, მოდელის შემუშავებას, სიმულაციას და ამ სიმულაციის შედეგების განხილვას.

ბიზნეს-პროცესის მოდელირებისა და შემდეგ სიმულაციის შედეგის მიღების შედეგად შესაძლებელია გაუმჯობესდეს და მიღწეულ იქნას ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების შეფასების პროცესის მაქსიმალური ეფექტიანობა, რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს ის-ის და იტ-ის გამოყენების საუკეთესო შედეგებს, რაც დადებით ზეგავლენას ახდენს ორგანიზაციის მართვაზე.

ძირითადი ნაწილი

ნებისმიერ ორგანიზაციაში მნიშვნელოვანია ინფორმაციული ტექნოლოგიის და სისტემის ეფექტიანი მუშაობის უზრუნველყოფა. ინფორმაციული ტექნოლოგია და სისტემა მიეკუთვნება რთული და დიდი სისტემების სიმრავლეს ექსპლუატაციის ხანგრძლივი პერიოდით. მათი ფუნქციონირებისა და განვითარების ერთ-ერთ საფუძველს წარმოადგენს მეთოდური აპარატის შემუშავება, რომელიც იძლევა საშუალებას ჩატარდეს ინფორმაციული სისტემის და ტექნოლოგიის ეფექტიანობის შეფასება მათი სასიცოცხლო ციკლის ყველა სტადიაზე [1].



ნახ.1. IS-ის და IT-ის შეფასების პარამეტრების კლასიფიკაცია მათი განსაზღვრის მიდგომის მიხედვით

დავახასიათოთ თავად პარამეტრები და მათი შეფასების მეთოდები.

ჩვენ უკვე აღვნიშნეთ, რომ განიხილავენ მრავალი სახის პარამეტრებს და არსებობს მათი კლასიფიკაციები განსხვავებული ნიშანთვისებების საფუძველზე. შემდეგ (ნახ.1) მოყვანილია ერთ-ერთი კლასიფიკაცია, სადაც პარამეტრები იყოფა მათი **განსაზღვრის მიდგომის მიხედვით** ორ მსხვილ ჯგუფად: **შეფარდებითი** და **აბსოლუტური შეფასებების მიხედვით.** მოკლედ დავახასიათოთ თითოეული მათგანი.

პარამეტრებში, რომლებიც ფასდება **შეფარდებითი შეფასების მეთოდებით** შედის შემდეგი მაჩვენებლები: **ამოცანების შესრულების და შრომის პროდუქტიულობის.**

ამოცანის შესრულების შეფასებაში შედის **პროცესის ძირითადი მაჩვენებლების** (KPI – Key Performance Indicators) შეფასების მეთოდები, რომლებიც დამოკიდებულია პროცესის ხასიათზე, ორგანიზაციულ მიზნებზე და ინდუსტრიაზე. არსებობს რამდენიმე ძირითადი მეთოდი, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება პროცესების ეფექტიანობის და მწარმოებლურობის გასაზომად. მოკლედ დავახასიათოთ თითოეული მათგანი:

1) **სტატისტიკური მეთოდები,** რომელშიც შედის შემდეგი მეთოდიკები: **დესკრიპტიული სტატისტიკა**, **სტატისტიკური პროცესის კონტროლი** SPC (Statistical Process Control) და **შვიდი ინსტრუმენტი;**
2) **ფინანსური მაჩვენებლების ანალიზის** მეთოდები: **ინვესტიციის უკუგება - ROI (Return on Investment), აღჭურვილობის საერთო ეფექტიანობა - OEE (Overall Equipment Effectiveness)** და **ხარჯ-სარგებლის ანალიზი - CBA (Cost-Benefit Analysis);**

3) **ეფექტიანობის და პროდუქტიულობის შეფასების** მეთოდები: **Lean & Six Sigma** და **Takt Time, Cycle Time, Throughput**;
4) **ხარისხის მართვის მეთოდები,** ამ ჯგუფში შედის: **DMAIC (Define განსაზღვრა, Measure გაზომვა, Analyze ანალიზი, Improve გაუმჯობესება, Control კონტროლი)**;
5) **ბენჩმარკინგი და შედარებითი ანალიზის** მეთოდები: **შიდა და გარე ბენჩმარკინგი** და **SWOT ანალიზი**.

რაც შეეხება **შრომის პროდუქტიულობის მაჩვენებელს** - აქ ყურადღება გამახვილებულია სისტემის მომხმარებელთა მუშაობის მაღალი ხარისხის პროცესის დიზაინზე. მაგალითად, ვირტუალური ოფისები უზრუნველყოფს უკეთეს ბალანსს სამუშაოსა და ცხოვრებას შორის (Accenture, IBM). თუმცა არსებობს ვარიაციები, რომელიც მუშაობს ხარისხის კონცეფციის განსაზღვრასა და გაზომვაზე, ვინაიდან სხვადასხვა ჯგუფს შეიძლება ჰქონდეთ განსხვავებული ინტერესები.

სოციალური ეფექტიანობის შესაფასებლად გამოიყენება მიდგომების მთელი სისტემა, რომელიც იყოფა შემდეგ ჯგუფებად: **რთული (კომპლექსური) მეთოდები, ალბათური მეთოდები და მეთოდები, რომლებიც ზომავს ზოგიერთ ადაპტაციურ ეფექტს**:

1. **რთული (კომპლექსური) მეთოდების** ჯგუფში შეიძლება მიკუთვნებულ იქნას შემდეგი მეთოდიკები: მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემა(Balanced Scorecard, BSC), დაბალანსებული ქულების ბარათი IT-სთვის (IT Scorecard), ინფორმაციული ეკონომიკა (Information Economics, IE), ერთიანი ეკონომიკური ეფექტის მოდელი (Total Economic Impact, TEI), სწრაფი ეკონომიკური დასაბუთება (Rapid Economic Justification, REJ), ეკონომიკური ღირებულების წყარო (Economic Value Sourced, EVS), კოორდინატები საინფორმაციო სისტემის სამგანზომილებიან სივრცეში;

2. **ალბათური მეთოდები** - აქ შეგვიძლია ჩამოვთვალოთ: გამოყენებითი ინფორმაციული ეკონომიკის მეთოდი (Applied information economics, AIE) და რეალური ვარიანტის შეფასების მეთოდი (Real Option Valuation, ROV);

3.**მეთოდები, რომლებიც ზომავს ზოგიერთ ადაპტაციურ ეფექტს** - ამ ჯგუფში წარმოდგენილია შემდეგი მეთოდიკები: სამომხმარებლო ინდექსის მეთოდიკა (Customer Index); ჰედონიკური ხელფასის მეთოდიკა; "დაინტერესებული მხარეების" მეთოდიკა და "Gartner-measurement" მეთოდი (GartnerMeasurment).

აბსოლუტური შეფასების მაჩვენებლებში, გამოყოფილია სამი ჯგუფი: **ოპერაციული, ტექნიკური** და **ეკონომიკური** ეფექტიანობის.

განვიხილოთ თითოეული მათგანი:

ოპერაციული ეფექტიანობის მაჩვენებლები - მათი საშუალებით მოწმდება რამდენად აკმაყოფილებს ინფორმაციული ტექნოლოგია და სისტემა თავის მიზნებს მომხმარებლის თვალსაზრისით, რომელიც სისტემასთან რეგულარულად ურთიერთობს. ოპერაციული ეფექტიანობის შესაფასებლად გამოიყენება ოთხი ჯგუფის მაჩვენებლები: **გამოყენების სიხშირე, გამოყენების ხასიათი, გამოყენების**

სიმარტივე და **მომხმარებლის კმაყოფილება.** თუ სისტემა ხშირად გამოიყენება, ის უფრო ეფექტიანი იქნება მისი საბოლოო მომხმარებლის ხედვიდან გამომდინარე. აქ შეიძლება იყოს გამოყენებული სხვადასხვა მეთოდები: UX-ის, გამოკითხვის და სხვა შესაბამისი შეფასების მეთოდები.

ტექნიკური ეფექტიანობა - ტექნიკური ეფექტიანობის ინდიკატორებმა უნდა შეაფასონ საინფორმაციო სისტემების და ტექნოლოგიების ტექნიკური სრულყოფა, შეაფასონ ორგანიზაციის სამეცნიერო და ტექნიკური დონე და ამ სისტემის ფუნქციონირება.

ტექნიკური ეფექტიანობის შემთხვევაში მიზნების მიღწევის შესაფასებლად უნდა იყოს განსაზღვრული ეფექტიანობის კრიტერიუმები. ეფექტიანობის კრიტერიუმი განისაზღვრება პარამეტრების სიმრავლეზე. ხოლო პარამეტრები (ანუ მაჩვენებლები) წარმოადგენენ მახასიათებლებს, რომელიც აღიწერება რაოდენობრივად და იძლევა საშუალებას შეფასდეს სისტემის ერთ-ერთი თვისება.

მაჩვენებლების რაოდენობა დამოკიდებულია ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და სისტემების ტიპსა და ამოცანებზე. ეფექტიანობის შეფასების მაჩვენებლებში გამოყოფენ - **ინტეგრალურ, განზოგადოებულ** და **კერძო მაჩვენებლებს.**

ტექნიკური ეფექტიანობის განსაზღვრის დროს გამოიყენება შემდეგი მეთოდები: **საშუალო შეწონილის და იერარქიების ანალიზის, პარეტოს, თანმიმდევრული დათმობის** და **ფუნქციონირების გარსის/გარემოს ანალიზის მეთოდები** [13].

ეკონომიკური ეფექტიანობა - მოითხოვს ხარჯებისა და სარგებლის იდენტიფიცირებას და მათ სათანადო შეფასებას. ზოგჯერ ამის მიღწევა რთულია, რადგან ხარჯები და სარგებელი დამოკიდებულია ინფორმაციული სისტემების, ინფორმაციული ტექნოლოგიების და ტექნიკური პროექტის ხასიათზე. ხშირად შეუძლებელია ყველა ხარჯისა და სარგებელის პირდაპირ თვალყურის დევნა, დიდი რაოდენობის ბიზნეს-ფუნქციების გამო. ინფორმაციული ტექნოლოგიიდან და სისტემიდან მოსალოდნელი და მიღებული ზოგიერთი სარგებელი დაფუძნებულია კონტექსტურ გამოყენებაზე.

ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასების მეთოდები იყოფა სამ ჯგუფად: **კლასიკური, თანამედროვე** და **შეფასების მეთოდები IT-ის კუთხით**.

კლასიკური მეთოდები იყოფა შემდეგ მეთოდებად: დანახარჯების, პირდაპირი შედეგის შეფასების, კვალიმეტრულის და პროცესის იდეალურობაზე დამყარებული.

თანამედროვე მეთოდიკებში განიხილავენ - შესაძლებლობების ერთობლივი ფასეულობის (TVO), სწრაფი ეკონომიკური დასაბუთების (REJ) და შესრულების საცნობარო მოდელის აგების (PRM).

სისტემის შეფასების მეთოდებში IT-ის კუთხით კი - წარმოდგენილია სამი მეთოდიკა: ITSM/ITIL (IT Service Management/Information Technology Infrastructure

Library) მეთოდი, დაბალანსებული ქულების ბარათი IT-სთვის (IT Scorecard) და ბიზნესის ღირებულება IT-ში (BVIT) [2,3,11,12].

შეიძლება დავამატოთ, რომ ინფორმაციული სისტემისა და ტექნოლოგიის შესაფასებლად გამოიყენება ასევე ხარისხის შეფასება. ინფორმაციული სისტემის და ტექნოლოგიის **ხარისხის** შესაფასებლად უნდა იყოს ჩამოყალიბებული შესაბამისი პარამეტრები, რომელთაგან უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებენ საიმედოობა, სანდოობა და ინფორმაციული უსაფრთხოება. ხოლო შეფასების განსახორციელებლად გამოიყენებენ ისეთ ცნობილ მოდელებს, როგორიც არის: **მაკ კოლის, ბოემის** და **გილბის** მოდელები [13].

ჩვენ უკვე აღვნიშნეთ, რომ იტ-ის და ის-ის ეფექტიანობის შეფასების პროცესი საკმაოდ რთულია, ამიტომ აღნიშნული ამოცანის წარმატებული განხორციელებისათვის სასურველია აიგოს მისი ბიზნეს-პროცესი.

მთლიანობაში კომპანიის წარმატების მამოძრავებელ ძალას წარმოადგენს კარგად დაგეგმილი ბიზნეს-პროცესები. ყურადღების გამახვილება ბიზნეს–პროცესებზე არის ყველაზე მნიშვნელოვანი ორგანიზაციის კონკურენტუნარიანობის შენარჩუნებისათვის და საბოლოდ სტაბილური ეკონომიკური წარმატების უზრუნველყოფისათვის.

ბიზნეს-პროცესი არის მოქმედებებისა და ოპერაციების თანმიმდევრობა, რომელიც მიზნად ისახავს განსაზღვრული მიზნების მიღწევას ორგანიზაციაში.

ბიზნეს-პროცესების ძირითადი **მახასიათებლებია:** ცვალებადობა, გარემო, ურთიერთდამოკიდებულება, ორგანიზება და დეგრადაცია.

ნებისმიერ ბიზნეს-პროცესს **გააჩნია** - შესასვლელი, გამოსასვლელი, მენეჯმენტი და რესურსები. ასევე მას უნდა გააჩნდეს მფლობელი, მომწოდებელი და მომხმარებელი.

წარმოების პროცესში მათი როლის მიხედვით განიხილავენ შემდეგი **ტიპის** ბიზნეს–პროცესებს: ძირითადი, თანმხლები, დამხმარე, უზრუნველყოფის, მმართველი და განვითარების პროცესები.

ხოლო ფუნქციონალური შინაარსის მიხედვით ორგანიზაციაში შეიძლება გამოვყოთ შემდეგი პროცესები: წარმოების, მომარაგების, ფინანსების, გაყიდვების, მარკეტინგის, ლოგისტიკის, ახალი საქონლის კვლევისა და დამუშავება/მომსახურების, მოსამსახურეთა მართვის, ადმინისტრაციის და სხვა.

ბიზნეს-პროცესის სასიცოცხლო ციკლი შედგება ოთხი ეტაპისაგან. ესენია: პროცესის შემუშავება, პროცესის შესრულება, პროცესის მონიტორინგი, შეფასება და რეაგირება გადახრებზე. გადახრის აღმოჩენის შემთხვევაში და ზოგადად, დროთა განმავლობაში ბიზნეს-პროცესებს ესაჭიროებათ გაუმჯობესება (ოპტიმიზაცია).

ბიზნეს-პროცესების დაპროექტების და გაუმჯობესების პროცესში უდიდეს როლს თამაშობს მათი მოდელირება [6].

ბიზნეს-პროცესის მოდელირება არის მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა უკეთ წარმოდგენილი და გაანალიზებული იქნას ორგანიზაციის საქმიანობა.

აღსანიშნავია, რომ ბიზნეს–პროცესების მოდელირებას აქვს შემდეგი ძირითადი ეტაპები:

პირველ ეტაპზე უნდა მოხდეს პროექტის ინიციაცია;

მეორე ეტაპზე გუნდმა უნდა ჩაატაროს კომპანიის ბიზნესის ანალიზი და გამოავლინოს საქმიანობის ნაკლოვანებები;

მესამე ეტაპს წარმოადგენს ბიზნეს–პროცესის მოდელის შერჩევა;

ბიზნეს–პროცესების მოდელირების **მეოთხე ეტაპზე** განისაზღვრება საპროექტო წესდება;

შემდეგ ეტაპზე ხორციელდება მოდელირების პროგრამული უზრუნველყოფის შერჩევა;

შემდეგ მოდის ეტაპი, რომლის დროსაც მუშავდება უშუალოდ მოდელი და წარმოებს მისი მოდელირება. აღნიშნული ეტაპი შედგება რამდენიმე სტადიისაგან: **პირველ სტადიაზე** მიმდინარეობს პროცესის გამოვლენა და საწყისი მოდელის აგება „როგორც არის". ეს მოდელი ხშირად არასრულყოფილად ასახავს პროცესის მუშაობას, ამიტომაც ის წარმოადგენს პირველად მაქსიმალურად მიახლოებულ მოდელს.

ამის შემდეგ მოდის **მეორე სტადია,** სადაც ხორციელდება საწყისი მოდელის გადახედვა, ანალიზი და დაზუსტება. ამ სტადიაზე გამოვლინდება წინააღმდეგობები და მოქმედებების დუბლირება პროცესში, განისაზღვრება პროცესის შეზღუდვები, პროცესის კავშირები, დგინდება მასში ცვლილებების შეტანის აუცილებლობა, და მიიღება საბოლოო მოდელი – „როგორც არის",

შემდეგი სტადიაა მოდელის შემუშავება „როგორი უნდა იყოს". არსებული სიტუაციის ანალიზის შემდეგ უნდა განისაზღვროს პროცესის სასურველი მდგომარეობა. ეს სასურველი მდგომარეობა აისახება მოდელში „როგორი უნდა იყოს". ასეთი მოდელი აჩვენებს როგორი უდნა იყოს პროცესი ყველა გაუმჯობესების ჩათვლით.

ბოლო სტადიაა ტესტირება და მოდელის გამოყენება „როგორი უნდა იყოს". ტესტირება დაკავშირებულია დამუშავებული მოდელის შემოწმებასთან და საჭიროების შემთხვევაში ცვლილებების შეტანასთან. ამის შემდეგ მიმდინარეობს დანერგვა: ბიზნეს–პროცესის საბოლოო შეთანხმებული მოდელის მიღების შემდეგ დამუშავებული მოდელები და მარეგლამენტირებელი დოკუმენტაცია შეყავთ მოქმედებაში, წარმოებს თანამშრომლების ინფორმირება კომპანიაში დადგენილი და მიღებული ინფორმაციის გაცვლის საშუალებებით და შიდა კორპორაციული საიტის გამოყენებით. შიდა აუდიტორული სამუშაოების საშუალებით ხორციელდება შემოღებული რეგლამენტებისა და მოქმედებების შემოწმება. კომპანიის საქმიანობის ეფექტიანობა მოწმდება ორგანიზაციული დიაგნოსტიკის საშუალებით, და ასევე ბიზნეს–პროცესების ეფექტიანობის მაჩვენებლების მონიტორინგით. გარდა ამისა, მიმდინარეობს კომპანიაში არსებული დოკუმენტაციის შეჯერება ბიზნეს–პროცესების ახალ მოდელებთან და არსებული

დოკუმენტაციის სრული აქტუალიზაცია ბიზნეს–პროცესების ახალ ვერსიებთან შესაბამისობაში [6,7,8].

იმისათვის, რომ განხორციელდეს ბიზნეს-პროცესის მოდელირება ის უნდა იყოს წარმოდგენილი სპეციალური ნოტაციის საშუალებით და შემდეგ ხორციელდება სპეციალიზებული მოდელირების ინსტრუმენტული საშუალების გამოყენება.

არსებობს ბიზნეს-პროცესების ნოტაციების მრავალი ვარიანტი, მათ შორის სტრუქტურული (როგორც IDEF) და დინამიური (როგორც BPMN), რომელთაგან თითოეული ორიენტირებულია ბიზნეს-პროცესების სხვადასხვა ასპექტების წარმოჩენაზე. განვიხილოთ ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული ნოტაცია BPMN (ბიზნეს-პროცესის მოდელირების ნოტაცია). ის არის აღნიშვნა, რომელიც საშუალებას იძლევა შეიქმნას ბიზნეს-პროცესების მოდელი თავიდან ბოლომდე, ვიზუალური დიაგრამების გამოყენებით ოპერაციებისა და ინფორმაციის ნაკადების საჩვენებლად. ის ასევე საშუალებას იძლევა აღიწეროს მოქმედებების თანმიმდევრობა, გადაწყვეტილების პუნქტები, დოკუმენტები და გამოყენებული მონაცემები.

ყველაზე ხშირად, ბიზნეს-პროცესების მოდელირება ხდება გრაფიკულად, რუკების, დიაგრამების ან ცხრილების გამოყენებით. ზოგჯერ ტექსტის აღწერილობები გამოიყენება მოქმედებების და შემსრულებლების განმარტებით. გრაფიკული მოდელირება ითვლება ყველაზე მოსახერხებლად და ვიზუალურად. შესაძლებელია შეიქმნას დიაგრამები როგორც **სპეციალიზებულ** პროგრამებში, ასევე **ჩვეულებრივ გრაფიკულ** რედაქტორებში [7,8].

წინამდებარე ნაშრომში ბიზნეს-პროცესის მოდელირებისათვის შერჩეულია პროგრამა **BPMN Bizagi Process Modeler.**

Bizagi Process Modeler არის ბიზნეს-პროცესის მოდელირების ინსტრუმენტი, რომელიც საშუალებას აძლევს ორგანიზაციებს ვიზუალურად შეიმუშაონ და სიმულაცია მოახდინონ თავიანთი ბიზნეს-პროცესების მოდელებისა BPMN -ის გამოყენებით. მას აქვს მარტივი ინტერფეისი, რომელიც დამწყებებს და ექსპერტებს საშუალებას აძლევს შექმნან პროცესის დეტალური რუკები ფართო ტექნიკური უნარების საჭიროების გარეშე. მომხმარებლებს შეუძლიათ თავიანთი მოდელების ექსპორტი სხვადასხვა ფორმატებში, როგორიცაა PDF, Word ან Visio, რაც ამარტივებს პროცესის ინფორმაციის გაზიარებას და კომუნიკაციას გუნდებს შორის. გარდა ამისა, ინსტრუმენტი მხარს უჭერს პროცესის სიმულაციას და თანამშრომლობას, ეხმარება ბიზნესს ეფექტურად გაანალიზდეს და ოპტიმიზაცია ჩაუტარდეს სამუშაო პროცესებს [8,10].

აღნიშნული ინსტრუმენტის ფართო გამოყენება ბიზნეს-ანალიტიკოსებისა და პროცესების დიზაინერების მიერ განპირობებულია მომხმარებლისთვის მოსახერხებელი დიზაინით და ყოვლისმომცველი რესურსების ბიბლიოთეკით, რომელიც მოიცავს შაბლონებსა და სახელმძღვანელოებს. მთლიანობაში, Bizagi

Process Modeler არის იდეალური გადაწყვეტა ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც მიზნად ისახავს ეფექტიანობის და პროცესის უწყვეტობის გაუმჯობესებას [6,7,8,9].

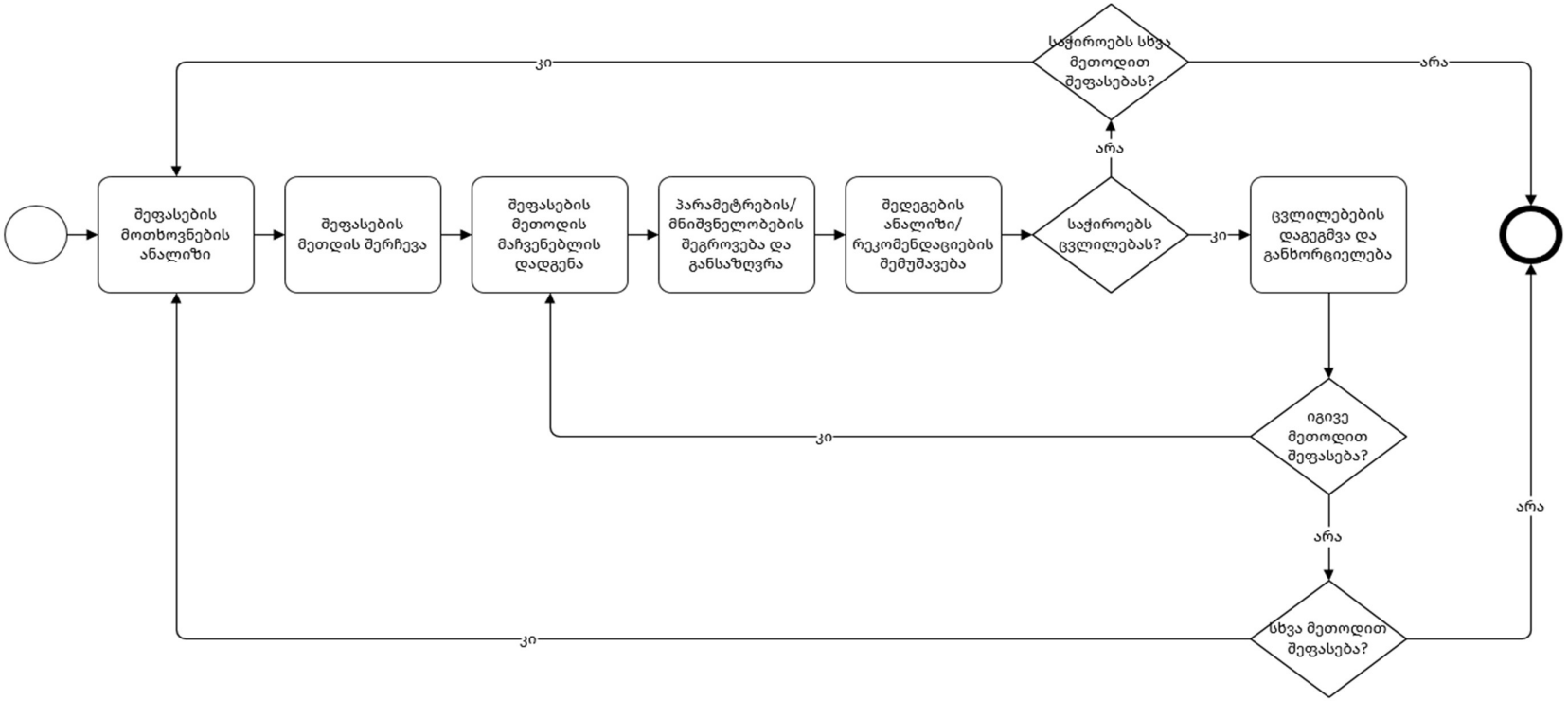
ჩვენს მიერ შემუშავებული და წარმოდგენილი იტ-ის და ის-ის ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესი მოიცავს შემდეგ ძირითად მოქმედებებს, როგორიცაა: **შეფასების მოთხოვნის ანალიზი, ინფორმაციული ტექნოლოგიის და სისტემის ეფექტიანობის შეფასების შერჩეული მეთოდის შესაბამისი მაჩვენებლების დადგენა**, **პარამეტრების მნიშვნელობების განსაზღვრა, შეფასების შედეგების ანალიზი** და **რეკომენდაციების შემუშავება** და ბოლოს **ცვლილებების დაგეგმვა** და **განხორციელება.**

ამ მოქმედებების თანმიმდევრობის საფუძველზე აგებულია იტ-ის და ის-ის ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესი (ნახ.2). შემდეგ BPMN-ნოტაციის გამოყენებით შემუშავებულია ბიზნეს-პროცესის მოდელი (ნახ.3), ჩატარებულია მოდელის სიმულაცია Bizagi BPMN Modeler-ის საშუალებით (ნახ.4) და მიღებულია სიმულაციის შედეგები(ნახ.5-6).

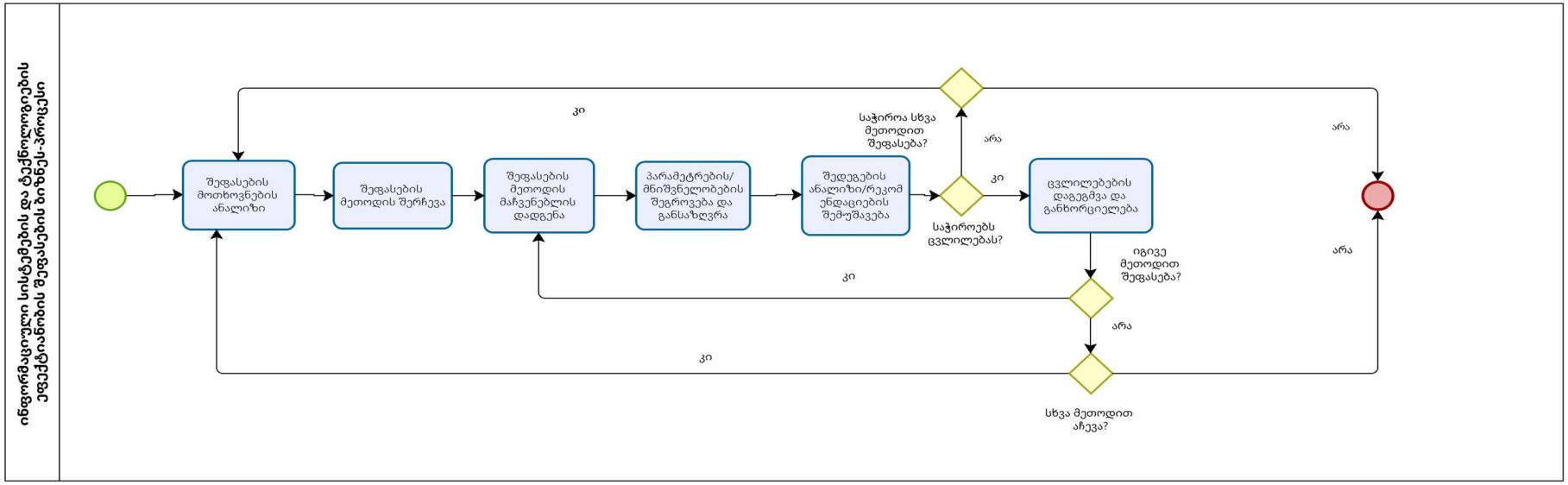
მოდელირებისათვის გამოყენებულია შემდეგი პარამეტრები და რესურსები:

სიმულაციის პარამეტრები - სამუშაოს შესრულების ჯამური დრო, თითოეული ოპერაციის განხორციელების ხანგრძლივობა;

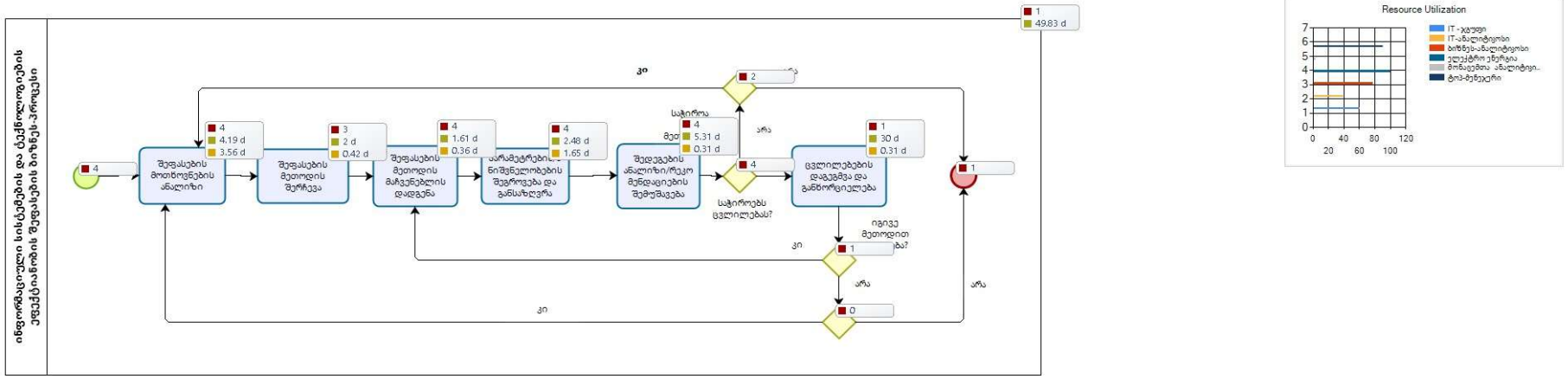
რესურსები - იმ თანამშრომლების თანამდებობები, რომლებიც მიიღებენ მონაწილეობას აღნიშნული ბიზნეს-პროცესის რეალიზაციაში, მათი ხელფასები. სიმულაციის პროცესში გათვალისწინებულია ისეთი რესურსების გამოყენება, როგორიც არის: კომპიუტერები და ანალიტიკური ინფორმაციული სისტემები, ელექტროენერგიის ხარჯვა.



ნახ.2. ინფორმაციული ტექნოლოგიის და სისტემის ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესი



ნახ.3. ინფორმაციული სისტემის და ტექნოლოგიის ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის მოდელი



ნახ.4 ინფორმაციული სისტემის და ტექნოლოგიის ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის მოდელის სიმულაცია

Name	Type	Instances completed	Instances started	Min. time	Max. time	Avg. time	Total time	Min. time waiting resource	Max. time waiting resource	Avg. time waiting for resource	Standard deviation waiting resources	Total time waiting resour
ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესი	Process	1	4	49d 20h	49d 20h	49d 20h	90d 9h					25d 10h
NoneStart	Start event	4										
შეფასების მოთხოვნების ანალიზი	Task	4	4	15h	9d 22h	4d 4h 30m	16d 18h	0	9d 7h	3d 13h 30m	3d 21h 4m 16s	14d 6h
შეფასების მეთოდის შერჩევა	Task	3	3	1d 14h	2d 20h	2d	6d	0	1d 6h	10h	14h 8m 31s	1d 6h
შეფასების მეთოდის მაჩვენებლის დადგენა	Task	4	4	1d 6h	2d 2h	1d 14h 45m	6d 11h	0	20h	8h 45m	8h 55m 36s	1d 11h
პარამეტრების/ მნიშვნელობების შეგროვება და განსაზღვრა	Task	4	4	20h	5d 20h	2d 11h 30m	9d 22h	0	5d	1d 15h 30m	2d 59m 50s	6d 14h
შედეგების ანალიზი/ რეკომენდაციების შემუშავება	Task	4	4	5d	6d 6h	5d 7h 30m	21d 6h	0	1d 6h	7h 30m	12h 59m 25s	1d 6h
საჭიროებს ცვლილებას?	Gateway	4	4									
ცვლილებების დაგეგმვა და განხორციელება	Task	1	2	30d	30d	30d	30d	0	15h	7h 30m	7h 30m	15h
NoneEnd	End event	1										

ნახ.5 ინფორმაციული სისტემის და ტექნოლოგიის ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის მოდელის სიმულაციის შედეგი დროის მიხედვით

Resource	Utilization	Total fixed cost	Total unit cost	Total cost
ტოპ-მენეჯერი	90.74 %	26,000	0	26,000
ბიზნეს-ანალიტიკოსი	77.78 %	42,500	0	42,500
მონაცემთა ანალიტიკის ინსტრუმენტები	3.70 %	0	4,000	4,000
IT-ანალიტიკოსი	39.54 %	38,000	0	38,000
ელექტრო ენერგია	100.00 %	0	36,720	36,720
IT - ჯგუფი	60.46 %	3,000	0	3,000
	Total	109,500	40,720	150,220

ნახ.6 ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის მოდელის სიმულაციის შედეგი ღირებულების მიხედვით

აგებული მოდელი იძლევა პარამეტრების და რესურსების ცვლილების საშუალებას, რაც საბოლოო ჯამში, შესაძლებელს ხდის შერჩეულ იქნას ეფექტიანობის შეფასების პროცესის განხორციელების საუკეთესო ვარიანტი.

დასკვნა

პირველ რიგში, უნდა აღინიშნოს, ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების შეფასება აუცილებელია ორგანიზაციის განვითარების ყველა ეტაპზე, ასევე თავად ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების სასიცოცხლო ციკლის ყველა ეტაპზე.

თავდაპირველად, საწარმომ უნდა შეიმუშაოს გარკვეული მიზნები და მაჩვენებელი, რომელიც განსაზღვრავს მომხმარებლების ძირითად მოთხოვნებს ინფორმაციული სისტემებისა და ტექნოლოგიების მიმართ გარკვეული ამოცანების გადასაჭრელად. და შესაბამისად, სისტემა მკაცრად უნდა შეესატყვისებოდეს დამუშავების მიზნებსა და პარამეტრებს.

არსებობს ეფექტიანობის შეფასების მრავალი მეთოდი. ისინი განსხვავდებიან შეფასების მიმართულებით და პარამეტრებით და თითოეული ორგანიზაცია ირჩევს იმ მეთოდს, რომელიც მაქსიმალურად პასუხობს მის საჭიროებებს და მიზნებს.

თავად ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასების პროცესი საკმაოდ რთულია, და მისი სწორი წარმართვა დიდ გავლენას ახდენს შეფასების შედეგებზედაც. რაც უფრო სწორად იქნება აგებული შეფასების პროცესი, მით უფრო ზუსტი შედეგები იქნება მიღებული, რაც თავის მხრივ ზეგავლენას მოახდენს ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების წარმატებულ ფუნქციონირებაზე.

წარმოდგენილ ნაშრომში შემოთავაზებულია ინფორმაციული ტექნოლოგიების და სისტემების ეფექტიანობის შეფასების პარამეტრები, მათი შეფასების მეთოდები და აგებულია შეფასების ბიზნეს-პროცესი. ამასთან დაკავშირებით უნდა აღინიშნოს, რომ ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესების განხორციელება და მართვა არის კომპანიის მუშაობის მნიშვნელოვანი ნაწილი, რომელიც ცდილობს დასახოს კონკრეტული ამოცანები და მიაღწიოს მიზნებს მინიმალური რესურსების დახარჯვით. საწარმოს ეფექტიანობის გასაუმჯობესებლად მნიშვნელოვანია ბიზნეს-პროცესების სწორად აღწერა, წარმოებაში დანერგვა და მუდმივი მონიტორინგი.

ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის მოდელირება ორგანიზაციებს საშუალებას აძლევს უკეთ გააცნობიერონ, გაანალიზონ და ოპტიმიზაცია გაუკეთონ თავიანთ საქმიანობას აღნიშნული მიმართულებით, რაც თავის მხრივ მნიშვნელოვანია ორგანიზაციის კონკურენტუნარიანობის და მდგრადი განვითარებისთვის.

როგორც ჩანს მოდელირების შედეგებიდან, ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასების ბიზნეს-პროცესის ეფექტიანობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია შეფასების მეთოდების შერჩევის ალგორითმზე და მისი განხორციელების ხანგრძლივობაზე, ხოლო მოდელირების შედეგად შესაძლებელია დადგინდეს ეფექტიანობის შეფასების პროცესის პარამეტრები და რესურსები, როგორიც არის: ხანგრძლივობა, ღირებულება, რესურსების გამოყენება და სხვა.

შემოთავაზებული ბიზნეს-პროცესი შესაძლებელია დანერგილ და გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი ტიპის ორგანიზაციაში სადაც კი წარმოიშვება ინფორმაციული სისტემებისა და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასების საჭიროება.

ლიტერატურა

1. A.K. Information Systems Effectiveness Measures: WorkForce 360 – The HR Summit (2015) in Chennai, India https://tech-talk.org/2015/03/10/information-systems-effectiveness-measures/
2. Безруков С.Ю, **Иващенко Т.И.** Методы оценки эффективности ИС предприятия: Журнал - Научный аспект (2013) https://na-journal.ru/1-2020-informacionnye-tekhnologii/2013-metody-ocenki-effektivnosti-is-predpriyatiya
3. Анисифоров А.Б., Анисифорова Л.О. Методики оценки эффективности информационных систем и информационных технологий в бизнесе: Санкт-Петербург. 2014. 97 стр.
4. მედეა თევდორაძე, ნინო ღუდუშაური, ნინო მელიქიძე. ორგანიზაციის IT-სტრატეგიის შემუშავება . საერთაშორისო სამეცნიერო - პრაქტიკული კონფერენცია "თანამედროვე გამოწვევები და მიღწევები ინფორმაციულ და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებში - 2023". 12-13 ოქტომბერი 2023 თბილისი, საქართველო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის & გერმანიის გამოყენებით მეცნიერებათა დრეზდენის HTW უნივერსიტეტი ISBN 978-9941-512-06-3 შრომათა კრებული. თბილისი. საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი", გვ. 108-115
5. მ.თევდორაძე, ნ.წულუკიძე, ე.დადიანი, მ.სალთხუციშვილი, თ.რუხაძე, მ.ნებიერიძე. ინფორმაციული ტექნოლოგიების სტრატეგია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, გამოცემა 2, 2019 (2021), სტუ-ს ბიბლიოთეკა CD – 6155, გვ.250
6. მ.თევდორაძე, მ.სალთხუციშვილი, ს.გოგოლაძე, თ.რუხაძე. ბიზნეს–პროცესების მართვის ინფორმაციული სისტემებისა და ტექნოლოგიების ეფექტიანობა და მისი გავლენა ორგანიზაციის საქმიანობაზე ბანკების მაგალითზე. მონოგრაფია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სტუ, თბილისი, 2017. სტუ–ს ბიბლიოთეკა, CD 3792, 181 გვ.
7. მ.თევდორაძე, მ.სალთხუციშვილი, თ.ჭიღლაძე, თ.რუხაძე, მოდელირების როლი ბიზნეს–პროცესების დაპროექტებასა და ოპრიმიზაციაში. მონოგრაფია, სტუ, თბილისი, 2017, სტუ–ს ბიბლიოთეკა, CD 3792, 137 გვ.
8. მედეა თევდორაძე, მარიამ ნებიერიძე, ეკატერინე დადიანი, მაია სალთხუციშვილი. მოდელებისა და მოდელირების გამოყენება ბიზნეს-პროცესების თეორიაში, საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი ,ინტელექტი. 1(66) თბილისი-2020, 25-29 გვ.
9. მ.თევდორაძე, თ.რუხაძე, მ.სალთხუციშვილი, ნ.წულუკიძე, თ.ჭიღლაძე, ბიზნეს-პროცესების მართვის ინფორმაციული სისტემები (ნაწილები 1 და 2). სახელმძღვანელო გამოცემა 3 (2021). სტუ, თბილისი, 2017, სტუ–ს ბიბლიოთეკა, CD 3769. 451 გვ
10. https://www.bizagi.com/en/platform/modeler
11. მ.თევდორაძე, ე.დადიანი, მ.ნებიერიძე, დ.აფციაური, ვ.გუდავა. ორგანიზაციაში ინფორმაციული ტექნოლოგიების მართვის თანამედროვე მეთოდები. მეორე საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „საინფორმაციო საზოგადოება და განათლების ინტენსიფიკაციის ტექნოლოგიები (ISITE'21). საქართველო, თბილისი,

20-22 მაისი, 2021. შრომები. მართვის ავტომატიზებული სისტემები, #1(32). თომი 2. გვ.71-75

12. Lortkipanidze, N., & Otkhozoria, N. (2024). Navigating Business Excellence: The Crucial Role of Information Technology Service Management through Best Practice ITIL. *Georgian Scientists*, *6* (1), 120–124. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.01.15
13. Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С. (2022). Некоторые аспекты оценки эффективности и качества информационных систем

Designing a business process for evaluating the effectiveness of the use of information technologies and systems

Abstract

For successful functioning of organization, information technologies and systems must be properly selected/designed, implemented, and, no less importantly, their development must be proceeded properly. Information technologies and systems are not introduced or developed spontaneously; their design/acquisition, processing, and development are carried out on the basis of an information technology strategy and, within its framework, information systems sub-strategy. It can be said that an integral and important part of the work at each stage of the life cycle of information technologies and systems is the assessment of their effectiveness.

The effectiveness of information technologies and systems is assessed using various approaches and methods, focusing on different parameters. There are many types of parameters and their classification for the effectiveness assessing of information technologies and systems. In the paper it is discussed a classification of parameters according to which parameters are divided into two groups based on their evaluation methods: relative and absolute. Relative evaluation is divided into the following groups: evaluation of task performance and labor productivity indicators, while absolute evaluation combines evaluation of operational, technical, and economic efficiency indicators. In the paper there are presented methods for assessing effectiveness based on these indicators.

It is worth noting that the abundance of evaluation parameters and methods leads to certain problems in terms of their selection. Each company chooses for itself what parameters and, accordingly, what methods to use to assess the effectiveness of information technologies and systems.

In the paper it is payed special attention to the process of evaluating the effectiveness of information technologies and systems, which in turn must be conducted correctly and optimally. For this purpose, the development of a business process for assessing of the effectiveness of information technologies and systems, the construction of a business process model, its simulation, and the discussion of the results of this simulation are presented.

Keywords: Information system and technologies functioning assessment, business process, business process modeling

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.02



ხელოვნური ინტელექტი ენერგეტიკულ ინდუსტრიაში

ელენე ფანცხავა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი,
elenepantskava@mail.ru

რეზიუმე

დღევანდელი მსოფლიო მოიცავს როგორც განვითარებად ტექნოლოგიურ ინოვაციებს, ასევე გარემოსდაცვით პასუხისმგებლობას მრეწველობის მასშტაბით, იზრდება მოწოდება ენერგეტიკულ სისტემებზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ მაქსიმალურ ენერგიას, მინიმალურ ემისიას და ენერგეტიკულ უსაფრთხოებას. მდგრადი ენერგეტიკული გადაწყვეტილებების მოთხოვნა არასოდეს ყოფილა ასეთი აქტუალური როგორც დღეს.

ამ მიზნების მისაღწევად, ენერგეტიკის სექტორმა უნდა გაიაროს სწრაფი ტრანსფორმაცია - შეამციროს ემისიები, უზრუნველყოს საიმედო, მასშტაბური ენერგია ეკონომიკური ზრდის მხარდასაჭერად. ამ პოტენციალის განბლოკვის მთავარი გასაღები ხელოვნური ინტელექტია, რომელიც გვთავაზობს უპრეცედენტო შესაძლებლობებს ენერგიის წარმოების, მართვისა და მოხმარების მიზნით.

ხელოვნური ინტელექტი არის ზოგადი დანიშნულების ტრანსფორმაციული ტექნოლოგია, რომელსაც შეუძლია ღრმად გარდაქმნას გლობალური ეკონომიკა და მსოფლიოს ენერგეტიკული სისტემა. სოციალური-ეკონომიკური გამოწვევების გდასაჭრელად გვთავაზობს ინსტრუმენტებს ენერგეტიკული სისტემის თითოეული რგოლის გასაუმჯობესებლად. ენერგეტიკული გარდამავალი გამოწვევების ფონზე, მას შეუძლია გახდეს უფრო ადაპტირებული და პრაქტიკული გამოწვევების გადაჭრაში. ციფრული ტექნოლოგიების ეს ღირებულება სულ უფრო და უფრო აღიარებულია ენერგეტიკულ საზოგადოებაში, რაც დასტურდება რამდენიმე ძირითადი ინიციატივითა და პოლიტიკით.

შემოთავაზებულ ციფრულ ტექნოლოგიებს შორის, ხელოვნური ინტელექტი მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს ენერგეტიკულ ტრანსფორმაციაში, რადგან მან უკვე აჩვენა შესაბამისი პოტენციალი კვლევისა და გამოყენების სფეროების ფართო სპექტრში.

ნაშრომში წარმოდგენილია სტრატეგიული რეკომენდაციები სამომავლო კვლევების, განვითარებისა და პოლიტიკის შემუშავებისათვის და გვაწვდის ინფორმაციას ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების ამჟამინდელი მდგომარეობის, შესაძლებლობების და ტენდენციების შესახებ ენერგეტიკის სექტორში.

საკვანძო სიტყვები: ინოვაცია, ხელოვნური ინტელექტი, ენერგეტიკული უსაფრთხოება, ტრანსფორმაცია, ალგორითმი.

ხელოვნური ინტელექტი (AI) არის ტექნოლოგია, რომელიც საშუალებას აძლევს კომპიუტერებსა და მანქანებს მოახდინოს ადამიანის სწავლების, პრობლემის გადაჭრის, გაგების, გადაწყვეტილების მიღების, კრეატიულობისა სიმულაცია. ხელოვნური ინტელექტის ქვეშ მოიაზრება მანქანათმცოდნეობა, რომელიც გულისხმობს მოდელების შექმნას ალგორითმის მომზადებით, რათა მიიღონ გადაწყვეტილებები მონაცემების საფუძველზე. იგი მოიცავს ტექნიკის ფართო სპექტრს, რომელიც საშუალებას აძლევს კომპიუტერებს ისწავლონ და გამოიტანონ დასკვნები მონაცემების საფუძველზე, კონკრეტული ამოცანებისთვის ცალსახად დაპროგრამების გარეშე.

მანქანათმცოდნეობის ალგორითმის ერთ-ერთ ყველაზე პოპულარულ ტიპს ეწოდება ნერვული ქსელი (ან ხელოვნური ნერვული ქსელი). ნერვული ქსელები მოდელირებულია ადამიანის ტვინის სტრუქტურისა და ფუნქციის მიხედვით. ნერვული ქსელი შედგება კვანძების ურთიერთდაკავშირებული ფენებისგან (ნეირონების ანალოგი), რომლებიც ერთად მუშაობენ რთული მონაცემების დასამუშავებლად და ანალიზზე.

ხელოვნური ინტელექტს შუძლია მოახდინოს რევოლუცია ენერგეტიკულ სექტორში, თუ როგორ ხდება ენერგიის გამომუშავება, განაწილება და მოხმარება. ჭკვიანი ქსელის მენეჯმენტიდან განახლებადი ენერგიის პროგნოზირებამდე და ატომური ელექტროსადგურების უსაფრთხოებამდეც კი, ხელოვნური ინტელექტი ძირეულად ცვლის ენერგეტიკული ინდუსტრიის ფუნქციონირებას და მიიყვანს მას უფრო ეფექტური, მდგრადი და უსაფრთხო მომავლისკენ.

2020 წლიდან, ადამიანებმა დაინახეს ხელოვნური ინტელექტის ზუსტი გაგების, ანალიზისა და მსჯელობის შესაძლებლობების ფართო პერსპექტივები. ბევრს სჯერა, რომ ხელოვნური ინტელექტი შესაძლოა შევიდეს ხელოვნური ზოგადი ინტელექტის ახალ ეპოქაში.

მიუხედავად მრავალი სარგებლისა, ხელოვნური ინტელექტი (AI) კვლავ აწყდება მნიშვნელოვან გამოწვევებს ენერგეტიკულ სექტორში. ხელოვნური ინტელექტის სისტემების დაყენება ხშირად საჭიროებს მნიშვნელოვან ინვესტიციებს, რაც შეიძლება იყოს მთავარი დაბრკოლება, განსაკუთრებით ნაკლები რესურსების მქონე მცირე კომპანიებისთვის. კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია მონაცემთა ხელმისაწვდომობა და ხარისხი.

როგორ გამოიყენება AI ენერგეტიკის სექტორში?

ხელოვნური ინტელექტი ამჟამად გამოიყენება განახლებად ენერგიაში და მთლიანად ენერგეტიკულ სექტორში, რაც ხელს უწყობს ეფექტურობის გაზრდას და ხარჯების შემცირებას.

ჭკვიანი ბადეები: ჭკვიანი ქსელის ტექნოლოგიები ხელს უწყობს ასეთი წყაროებიდან ენერგიის კოორდინაციას, შენახვას და განაწილებას სტაბილურ და საიმედო ნაკადში. AI-ს შეუძლია დაეხმაროს ელექტროენერგიის მიწოდების ქსელებს (ჭკვიან ქსელებს) მართვაში, რომლებიც იყენებენ ციფრული საკომუნიკაციო ტექნოლოგიას, რათა აღმოაჩინონ და რეაგირება მოახდინონ ადგილობრივ ცვლილებებზე. ერთის მხრივ, ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმებს შეუძლიათ მოხმარების შაბლონების პროგნოზირება რეალურ დროში მონაცემების გამოყენებით, რაც დაეხმარება კომუნალურ კომპანიებს რესურსების უფრო ეფექტურად განაწილებაში. AI-ს შეუძლია გააუმჯობესოს ელექტროენერგიის განაწილება, რაც

უზრუნველყოფს ელექტროენერგიის მიწოდებას იქ, სადაც ის ყველაზე მეტად არის საჭირო და თავიდან აიცილებს გამორთვის რისკებს.ასევე მთ შეუძლიათ აღმოაჩინონ ქსელში არსებული ხარვეზები და შეფერხება, როგორიცაა აღჭუვილობის გაუმართაობა ან გათიშვა. ალგორითმების სშუალებით შესაძლებელია. პრობლემის ზუსტი ადგილმდებარეობის იდენტიფიცირება და ელექტრო ენერგიის გადამისამართება , რაც გააუმჯობესებს ქსელის საიმედობას. AI და ციფრული ტექნოლოგიები საშუალებას აძლევს ქსელის შიგნით არსებულ ყველა მოწყობილობას და აქტივს დაუკავშირდეს უკეთეს კონტროლს და თვითრეგულირებას.

განახლებადი ენერგიის პროგნოზირება: AI გადამწყვეტ როლს თამაშობს განახლებადი ენერგიის წარმოების პროგნოზირებაში, თუ როდის წარმოიქმნება განახლებადი ენერგია საუკეთესოდ ან რამდენია ხელმისაწვდომი ნებისმიერ დროს, რაც თავის მხრივ იძლევა მოთხოვნისა და მიწოდების უფრო ზუსტი დაბალანსების საშუალებს. მას შეუძლია სწრაფად და ზუსტად დაამუშაოს და გააანალიზოს აღჭურვილობისგან შეგროვებული დიდი რაოდენობით მონაცემები და შეუძლია აღმოაჩინოს დახვეწილი შაბლონები, რომლებიც შეიძლება მიუთითებდეს მოსალოდნელ წარუმატებლობაზე. ისეთი წყაროებისთვის, როგორიცაა ქარი და მზის, რომლებიც ექვემდებარება ცვალებადობას, ალგორითმები აანალიზებენ ამინდის პროგნოზს და გენერირების მონაცემებს. რაც ენერგეტიკის პროვაიდერებს საშუალებას აძლევს იმუშაონ გამართულად.

მოთხოვნაზე რეაგირების მართვა: მოთხოვნაზე რეაგირების მენეჯმენტი ენერგეტიკის სექტორში არის გადამწყვეტი სტრატეგია ელექტროენერგიის მოხმარების ოპტიმიზაციისა და ელექტრო ქსელის სტაბილურობის უზრუნველსაყოფად პროვაიდერების სიგნალების საპასუხოდ. ის გულისხმობს მომხმარებელთა, ძირითადად, კომერციული და სამრეწველო სუბიექტების ელექტროენერგიის მოხმარების კორექტირებას, რაც ხელს უწყობს მიწოდებისა და მოთხოვნის დაბალანსებას პიკის პერიოდებში.

პროგნოზირებადი შენარჩუნება: ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით, ენერგეტიკულ კომპანიებს შეუძლიათ იწინასწარმეტყველონ, როდის შეიძლება მათი აღჭურვილობა გაფუჭდეს ან საჭიროებს შენარჩუნებას. მანქანათმცოდნეობას შეუძლია გააანალიზოს დიდი რაოდენობით მონაცემები სხვადასხვა წყაროდან, როგორიცაა გამოყენების სტატისტიკა, ამინდის მონაცემები და ისტორიული ტექნიკური ჩანაწერები, რათა წინასწარ განსაზღვროს პოტენციური ავარია მათ წარმოქმნამდე. ეს მიდგომა ამცირებს შეფერხების დროს, ამცირებს სარემონტო ხარჯებს და აუმჯობესებს ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის მთლიან საიმედოობას.

ენერგიის შენახვა: ენერგიის შენახვა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთი კრიტიკული ობიექტებისთვის, როგორიცაა საავადმყოფოები, მონაცემთა ცენტრები და სასწრაფო დახმარების სერვისები, სადაც სარეზერვო ელექტრომომარაგებაზე წვდომა შეიძლება იყოს სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი. AI ოპტიმიზაციას უკეთებს ენერგიის შენახვას და განაწილებას განახლებადი წყაროებიდან სხვადასხვა ფაქტორების გათვალისწინებით, როგორიცაა მოთხოვნა, მიწოდება, ფასი და ქსელის პირობები. ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმები განსაზღვრავენ ენერგიის შესანახად საუკეთესო დროს, რაც საშუალებას იძლევა ჭარბი ენერგია გამოყენებულ იქნას პიკის დროს.



სურ.N1.ხელოვნური ინტელექტის როლის გააზრება ენერგეტიკის სექტორში;

ნახშირბადის დაჭერა, გამოყენება და შენახვა: AI ზრდის პროცესების ეფექტურობას ატმოსფეროდან ან ემისიის წყაროებიდან ნახშიროორჟანგის დაჭერის ოპტიმიზაციის გზით. AI-ზე მომუშავე სისტემებს შეუძლიათ ამოიცნონ დატყვევებული ნახშირბადის გამოყენების ყველაზე შესაფერისი მეთოდები, იქნება ეს სამრეწველო პროცესებისთვის თუ უსაფრთხო გრძელვადიანი შენახვისთვის. ეს ტექნოლოგია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სათბურის გაზების ემისიების შემცირებასა და კლიმატის ცვლილების შერბილებაში.

ენერგო ვაჭრობა: AI აანალიზებს ბაზრის რთულ დინამიკას ენერგო ვაჭრობაში. ის ამუშავებს რეალურ დროში მონაცემებს ფასების, მოთხოვნისა და მიწოდების ტენდენციების შესახებ, რაც ენერგეტიკულ კომპანიებს საშუალებას აძლევს მიიღონ ინფორმირებული და მომგებიანი სავაჭრო გადაწყვეტილებები. AI ასევე გამოირჩევა რისკის მენეჯმენტში, პროაქტიულად აფასებს ბაზრის ცვალებადობას და გაურკვევლობას. AI-ს მიერ შესრულებული ალგორითმული ვაჭრობა მუშაობს ელვისებური სისწრაფით, ახორციელებს მრავალ გარიგებას მილიწამებში. ის ახდენს ენერგეტიკული პორტფელების ოპტიმიზაციას, ახდენს ბაზრის სცენარების სიმულაციას, აანალიზებს განწყობას, ავტომატიზირებს ამოცანებს და მუდმივად ადაპტირდება ბაზრის ცვალებად პირობებთან. როგორც ასეთი, ხელოვნური ინტელექტის უნარი, დაადგინოს შაბლონები და ტენდენციები მონაცემთა დიდ ნაკრებებში, ფასდაუდებელია დინამიური ენერგიის ბაზარზე ნავიგაციისთვის. შაბლონების ამოცნობის მისი განსაკუთრებული შესაძლებლობები საშუალებას აძლევს მას აღმოაჩინოს ბაზრის შესაძლებლობები და რისკები, რომლებიც შეიძლება გაურბოდეს ადამიანთა მოვაჭრეებს.

ჭკვიანი სახლები და შენობები: ხელოვნური ინტელექტის ზემოქმედება სახლებსა და შენობებზე არანაკლები გარდამავალია ენერგოეფექტურობის მისაღწევად, რადგან AI გარდაქმნის მათ ენერგოეფექტურ ეკოსისტემებად. ჭკვიანი მრიცხველები და მოწყობილობები მუშაობენ AI-სთან ჰარმონიაში, რათა შექმნან რეაგირებადი ეკოსისტემები. ეს სისტემები მუდმივად აკონტროლებენ ენერგიის მოხმარებას რეალურ დროში, რაც AI-ს საშუალებას აძლევს მიიღოს მონაცემების საფუძველზე გადაწყვეტილებები, რომლებიც ოპტიმიზაციას უკეთებს ენერგიის გამოყენებას, რაც იწვევს ენერგიის მნიშვნელოვან დაზოგვას და ხარჯების.

ნავთობისა და გაზის მოძიება: AI-ის ტრანსფორმაცია ნავთობისა და გაზის საძიებო სექტორში მნიშვნელოვანია. გეოლოგიური მონაცემების გასაოცარი სიზუსტით გაანალიზებით, AI-ს შეუძლია განსაზღვროს ნავთობისა და გაზის პოტენციური მარაგი, შეაფასოს ამ რეზერვების სიცოცხლისუნარიანობა და უხელმძღვანელოს საძიებო ძალისხმევას ყველაზე პერსპექტიული მიდგომით. ეს არა მხოლოდ ზრდის ეფექტურობას, არამედ მნიშვნელოვნად ზრდის საძიებო საქმიანობის წარმატებულ მაჩვენებელს და ხარჯებს.

ატომური ელექტროსადგურის მონიტორინგი: ბირთვული ენერგია მთელ მსოფლიოში ელექტროენერგიის დაახლოებით 10%-ს უზრუნველყოფს. ატომურ ელექტროსადგურებში ხელოვნური ინტელექტი გადამწყვეტ როლს თამაშობს უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად, მისი სისტემები დაკვირვებას ახდენს ქარხნის ფუნქციონირების ყველა ასპექტზე, მუშაობენ 24/7 დაღლილობის გარეშე და განუწყვეტლივ აანალიზებენ სხვადასხვა სენსორებისა და ინსტრუმენტების მონაცემებს.

დღევანდელი ეკონომიკა გაჯერებულია თანამედროვე ტექნოლოგიებით, ხელსაწყოებითა და მანქანებზე მომუშავე აპლიკაციებით, ურთიერთდაკავშირებული ციფრული პლატფორმებიდან რობოტებამდე და ალგორითმებამდე. ენერგეტიკის სექტორი, რომელიც ფუნდამენტურია კაცობრიობისთვის, აქტიურად ეძებს ინოვაციური ტექნოლოგიების პრაქტიკულ გამოყენებას და მუდმივად იკვლევს და აფასებს განვითარებად მიღწევებს. ხელოვნურ ინტელექტს აქვს პოტენციალი, მოახდინოს რევოლუცია ამ სექტორში გლობალურად. ის დიდ დაპირებას იძლევა და გააგრძელებს როლის შესრულებას ენერგიის გამომუშავების, განაწილებისა და მოხმარების ოპტიმიზაციაში.

რეკომენდაციები:

- განახლებადი ენერგიის სისტემების ოპტიმიზაციის გარდა, ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია ენერგეტიკულ სექტორში უნდა ითვალისწინებდეს ძირითად მარეგულირებელ საკითხებს შესაბამისობისა და ეფექტურობის უზრუნველსაყოფად, რომელიც მოითხოვს ძლიერი მეთოდების შემუშავებას. ხელოვნური ინტელექტის სისტემები რეგულარულად უნდა განახლდეს და მორგებული იყოს რეგულაციების ცვლილებებზე,რათა შეინარჩუნონ მათ ეფექტურობა და შესაბამისობა საკანონმდებლო მოთხოვნებთან.
- ძალიან მნიშვნელოვანია ენერგეტიკის სექტორში, ხელოვნური ინტელექტის შედეგად განხორციელებულ ტრანსორმაციაში პარტნიორობა, რომელიც დაფუძნებული იქნება ინტერდისციპლინური თანამშრომლობისა და ინოვაციების ხელშეწყობის შესაძლებლობაზე. ეს თანამშრომლობა, განსაკუთრებით ენერგო პროვაიდერებსა და AI ტექნოლოგიურ კომპანიებს შორის ხდება, რომელიც საშუალებას აძლევს AI-ზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების ინტეგრირებას ენერგიის მოხმარების ოპტიმიზაციისა და მდგრადობის მცდელობების გასაძლიერებლად.
- ინოვაციებისა და მდგრადობის ეფექტურად დასაბალანსებლად AI-ში აუცილებელია მარეგულირებელი ჩარჩოს შემუშავება, რომელიც არა მხოლოდ ხელს შეუწყობს ტექნოლოგიურ წინსვლას, არამედ ითვალისწინებს ეთიკურ შედეგებს და ამცირებს გარემოზე ზემოქმედებას. მარეგულირებელ ჩარჩოებს შეუძლიათ წაახალისონ

წინდახედული და ადაპტირებადი გადაწყვეტილებები, რომლებიც მხარს უჭერენ როგორც ტექნოლოგიურ პროგრესს, ასევე გლობალურ მდგრადობის მიზნებს.

- ენერგეტიკის სექტორში ხელოვნური ინტელექტის წარმატებული განთავსება მოითხოვს მრავალმხრივ მიდგომას, რომელიც ითვალისწინებს ტექნიკურ და მარეგულირებელ გამოწვევებს. დაინტერესებულმა მხარეებმა უნდა განახორციელონ ინვესტიციები მონაცემთა მყარ ინფრასტრუქტურაში, რათა ხელი შეუწყონ ინტერდისციპლინურ პარტნიორობას და შექმნან წინდახედული მარეგულირებელი ჩარჩო, რომელიც დააბალანსებს ინოვაციას მდგრადობასთან.

დასკვნა:

ხელოვნური ინტელექტის დანერგვა ენერგეტიკულ სექტორში შეუძლებელია გამოწვევების გარეშე. პირველ რიგში, ეს შეეხება წინასწარ ხარჯებს, რომლებიც დაკავშირებულია AI სისტემების დანერგვასთან და მათ არსებულ ინფრასტრუქტურაში ინტეგრირებასთან. ეს ღირებულება შეიძლება იყოს ბარიერი ზოგიერთი ენერგეტიკული კომპანიისთვის, განსაკუთრებით მცირე, შეზღუდული ბიუჯეტის მქონე კომპანიებისთვის. იქედან გამომდინარე, რომ ენერგეტიკის სექტორი მოიცავს სენსიტიურ მონაცემებს, მათ შორის ქსელის ინფორმაციას, მომხმარებლის მონაცემებს და ოპერაციულ დეტალებს, ძალიან მნიშვნელოვანია ამ მონაცემების უსაფრთხოების უზრუნველყოფა. შესაბამისად ხელოვნური ინტელექტის სისტემები დაცული უნდა იყოს კიბერ საფრთხეებისა და დარღვევებისგან. გარდა ამისა, არის გამოცდილი პროფესიონალების დეფიციტი, რომლებსაც ესმით როგორც ენერგეტიკის სექტორი, ასევე AI ტექნოლოგიები. ამ ნაკლებობამ შეიძლება შეანელოს AI გადაწყვეტილებების მიღება და განვითარება ინდუსტრიაში, რაც აუცილებელს გახდის განათლებასა და ტრენინგებში ინვესტირებას ამ ხარვეზის დასაძლევად. AI ტექნოლოგიების წარმატებული ინტეგრაცია კონკურენტუნარიანი იქნება განვითარებადი ლანდშაფტის პირობებში და მას შეუძლია ღრმად გარდაქმნას გლობალური ეკონომიკა და მსოფლიო ენერგეტიკული სისტემა. შესაბამისად ენერგეტიკული უსაფრთხოებისა და ემისიების მიზნების მისაღწევად, უნდა მოხდეს სუფთა ენერგიის ტექნოლოგიების მუდმივი გაუმჯობესება და ახალი ენერგეტიკული ტექნოლოგიების გამოჩენა ბაზარზე. ხელოვნური ინტელექტი გააძლიერებს მეცნიერთა შესაძლებლობებს და კრეატიულობას ახალი იდეების გენერირებასა და ტესტირებაში. პოლიტიკის შემქნელებმა და სამეცნიერო საზოგადოებამ უნდა ჩამოაყალიბონ საერთო გაგება ყველაზე პერსპექტიული აპლიკაციებისა და ძირითადი გამაძლიერებლების შესახებ და გადაჭრან კრიტიკული ხარვეზები, რომელიც დაკავშირებულია AI ენრგიის მოხმარებასთან დაკავშირებით. ენერგეტიკული სისტემის ტრანსფორმაციისთვის ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებისას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე იმის გაანალიზებას, თუ როგორ უნდა შეიქმნას თავად მონაცემთა ცენტრები, რომ იყოს ენერგოეფექტური და რაც შეიძლება კლიმატის მიმართ ნეიტრალური.

ენერგეტიკული სექტორისთვის ხელოვნური ინტელექტის დაპირება სცილდება ციფრული ტრანსფორმაციის ფარგლებს და გვთავაზობს გზას კაცობრიობის უკეთესი მომავლისკენ.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Pantskhava E., Jishkariani M. "Decarbonization and its aspects in the energy sector", Proceedings of III International Scientific and Practical Conference Madrid, Spain 3-5 March 2025. Pp.117-123.
2. ფანცხავა ე., & ჯიშკარიანი მ. (2025). საერთაშორისო ურთიერთობები და ენერგეტიკის მდგრადი განვითარება . ქართველი მეცნიერები, 7(1), 408–416. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.01.37
3. ფანცხავა ე. (2025). ბლოკჩეინის, როგორც განვითარებადი, ინოვაციური ტექნოლოგიის დანერგვა მდგრადი ენერგეტიკული სისტემის წინსვლისთვის. ქართველი მეცნიერები, 7(1), 145–152. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.01.14
4. ფანცხავა ე., ჯიშკარიანი მ., & ჩოგოვაძე ბ. (2024). ბიოსაწვავის წარმოების აქტუალური სტრატეგიები, თერმული გამოყენების მიღწევები და შესაძლებლობები. ქართველი მეცნიერები, 6(3), 27–35. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.03.04
5. Elene Pantskhava, M.Jishkariani, Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference, Vienna, Austria, 13-15 May 2024. ISBN 978-3-954754-01-4, pp143-150.
6. ფანცხავა ე, ჯიშკარიანი მ, ,,განახლებადი ენერგიის რესურსები უპირატესობები და სოციალურ-ეკონომიკური სარგებლიანობის ფართო სპექტრი“, მე-3 საერთაშორისო და სამეცნიერო პრაქტიკული კონფერენცია ,,სამეცნიერო თანამედროვე საზოგადოების მიღწევევები“, 2024 წლის 10-12 ოქტომბერი. გამომცემლობა **ლონდონი**, დიდი ბრიტანეთი.გვ.160-166.
7. ფანცხავა ე., & ჯიშკარიანი მ. (2024). მწვანე წყალბადი - მდგრადი ენერგიის მომავლის გასაღები: (სოციალურ-ეკონომიკური სარგებელი). ქართველი მეცნიერები, 6(2), 345–354. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.02.36
8. Pantskhava E, Jishkariani M, ,,Renewable energies – the guarantor of the Georgian energy system sustainability”,Proceedings ofx international scientific and practical conference, June 13-15, Tokyo, Japan, 2024. pp.161-167.
9. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ., ფანცხავა ე., ,,შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი - გზა საქართველოს ეკონომიკური გაჯანსარებისკენ“. მე-7 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია ,,კულტურათაშორისი დიალოგები“, თელავი, საქართველო, 27-29 ოქტომბერი,2023 წ.
10. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ, ფანცხავა,ე(2023, 2 – 4 აპრილი), „თანამედროვე მსოლფიო ახალი გამოწვევების წინაშე - ენერგეტიკის სექტორი“. საერთაშორისო მულტიდისციპლინარული სამეცნიერო კონფერენცია „თანამედროვე მსოფლიო ახალი გამოწვევების წინაშე“. კვიპროსი(ლარნაკა). 59-66.
11. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ, ფანცხავა,ე. ,, საქართველოს განახლებადი რესურსებით იმპორტჩანაცვლების შესაძლებლობები და ამ მიმართულებით არსებული გამოწვევები”,საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: ,,გლობალური გამოწვევები და ეკონომიკური განვითარების მოდელების ტრანსფორმაცია» , უაკ(UDC) 338.22+62 ბ-666, N3-4 2023 წელი.

12. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ, ფანცხავა,ე. ,,რუსეთ - უკრაინის ომით განპირობებული ახალი გეოპოლიტიკური გარემოებები ევროკავშირისა და საქართველოსთვის“,V საერთაშორისო კონფერენცია ,,თანამედროვე განვითარების ეკონომიკური სამართლებრივი და სოციალური პრობლემები“,ქუთაისი, EISSN 2346-8203 2022წ.
13. M. Jishkariani, N. Dvalishvili, L. Kurakhchishvili. “Evaluation of Calorific of Municipal Solid Waste (MSW).” In: Ghosh S. (eds) Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies. Springer, Singapore. 2020, pp.263-265. doi.org/10.1007/978-981-13-7071-7_23.
14. M. Jishkariani. “Criteria for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Transport.” *Georgian Technical University Proceedings* #3(521). 2021, pp.59-68. doi.org/10.36073/1512-0996-2021-3-59-68.
15. M. Jishkariani, S.K.Ghosh, K. Didbaridze. “Energy and Economic Indicators Influencing Circular Economy in Georgia.” In: Ghosh, S.K., Ghosh, S.K. (eds) *Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective*. Springer, Singapore. 2021, pp. 331-358. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0913-8_11.
16. M. Jishkariani. “Electricity Tariffs in Georgia.” Warsaw, Poland: *World Science* 9(49), Vol.1. 2019, pp. 20-22. doi:10.31435/rsglobal_ws/30092019/6697.
17. Z. Hasan, H.R. Mohammad, & M. Jishkariani. “Machine Learning and Data Mining Methods for Cyber Security: A Survey”, *Mesopotamian Journal of CyberSecurity*, vol. 2022, pp. 47–56, Nov. 2022. https://doi.org/10.58496/MJCS/2022/006.
18. M.Pitskhelauri, & M. Jishkariani, M. “Energy Management Systems (Enms) Reforms of Georgia.” Journal of Energy Engineering and Thermodynamics (JEET) #3(01), 2023, pp. 38–45. doi.org/10.55529/jeet.31.38.45.
19. https://aibe.uq.edu.au/article/2023/03/economics-of-green-hydrogen-in-australia-part-1

Artificial Intelligence in the Energy Industry

Elene Pantskhava

Associate Professor, Georgian Technical University, elenepantskava@mail.ru

Summary

Today's world encompasses both emerging technological innovations and environmental responsibility across industries, the demand for energy systems is increasing, which provide maximum energy, minimum emissions and energy security. The demand for sustainable energy solutions has never been as urgent as it is today.

To achieve these goals, the energy sector must undergo a rapid transformation - reducing emissions while providing reliable, scalable energy to support economic growth. The key to unlocking this potential is artificial intelligence, which offers unprecedented opportunities for energy production, management, and consumption.

Artificial intelligence is a general-purpose transformative technology that can profoundly transform the global economy and the world's energy system, and offers tools to improve every link in the energy system to address socio-economic challenges. In the face of energy transition challenges, it can become more adaptive and proactive in addressing challenges. This value of digital technologies is increasingly recognized in the energy community, as evidenced by several key initiatives and policies.

Among the proposed digital technologies, artificial intelligence is expected to play a significant role in the energy transformation, as it has already demonstrated relevant potential in a wide range of research and application areas.

The paper presents strategic recommendations for future research, development, and policy development and provides information on the current state, capabilities, and trends of artificial intelligence technologies in the energy sector.

Keywords: innovation, artificial intelligence, energy security, transformation, algorithm.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.03



Evidence-Based Pharmacy: A Scientific Approach to Safe and Effective Medication

Nana Shashiashvili
Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Georgian Technical University, Department of Pharmacy, Tbilisi State Medical University, Department of Social and Clinical Pharmacy

Abstract

Evidence-Based Pharmacy (EBP) is a crucial approach that ensures the effective and safe use of pharmaceutical treatments in clinical settings. This practice is based on clinical trials, scientific research, official guidelines, and meta-analyses, enabling pharmacists to make optimal, patient-centered decisions. The effectiveness of pharmaceutical practice depends on the ability to interpret data, the reliability of conducted studies, and a personalized approach to treatment. This article examines the role and significance of evidence-based pharmacy, as well as its associated processes, including medication safety control, collaboration with healthcare professionals, and patient awareness campaigns. Given that this approach is rooted in scientific principles, its practical implementation requires continuous professional development, critical analysis of research findings, and close communication with other medical professionals. Evidence-based research reduces instances of ineffective treatments, enhances patient safety, prevents unnecessary costs, promotes the use of economically justified medications, and ultimately contributes to the optimization of the overall healthcare system. This article outlines the objectives of Evidence-Based Pharmacy as a scientifically validated approach and provides examples from recent decades of studies on the inefficacy and potential risks of certain OTC (over-the-counter) cough syrups. It highlights the importance of reliable scientific research in assessing the credibility of pharmaceutical effects, offering effective treatment methods, and comparing established medications to select better alternatives. Furthermore, it presents key criteria for accurately interpreting research data. The study emphasizes the pivotal role of pharmacists in the implementation of evidence-based services and provides practical recommendations in this direction.

Keywords: *Evidence, Medicines, Practice, Research, Safety*

Introduction

The modern healthcare system is continuously evolving, with evidence-based approaches (Evidence-Based Practice) serving as its foundation. This methodology relies on scientifically validated data and research outcomes. In this regard, pharmaceutical practice represents a crucial domain, given that the prescription, administration, and consultation regarding medicinal products are strictly based on clinical trials, scientifically proven evidence, and official guidelines. Pharmacists play a pivotal role not only in ensuring the safety of pharmaceutical products but also in assessing their effectiveness. As professionals in the field, they oversee the appropriate dispensing of medications while actively engaging in drug interaction analysis, treatment monitoring, and patient education programs.

Guidelines developed by institutions such as the U.S. Food and Drug Administration (FDA), the European Medicines Agency (EMA), and the World Health Organization (WHO) are grounded in rigorous scientific research. These guidelines empower specialists to make well-informed, safe, and effective decisions that prioritize patient welfare.

Research Objective

The aim of this study is to examine the significance, role, and practical applications of evidence-based pharmacy (EBP). It seeks to evaluate the impact of scientifically grounded approaches in pharmaceutical practice, their influence on drug safety, and their contribution to optimizing the healthcare system.

Research Tasks

The study's objectives include analyzing the core principles of evidence-based pharmacy, evaluating drug efficacy and safety assessment methods based on scientific research, assessing the risks associated with medication use and their economic implications, and formulating practical recommendations for enhancing pharmaceutical practice.

Research Methods

As a review-based study, this research relies on the analysis of scientific literature. It incorporates evidence-based scientific studies, official guidelines, clinical trial results, and meta-analyses. Data analysis is based on an extensive review of publications from international databases, with findings examined using comparative analysis and critical evaluation methods.

Findings

Evidence-based pharmacy is grounded in patient-centered care, high-quality research, and clinical expertise. Consequently, its role in pharmaceutical practice, its impact on patient safety, and the mechanisms through which pharmacists contribute to improved medical decision-making are of paramount importance. Key aspects of pharmaceutical practice include the role of scientific research, reliability criteria for clinical studies, the significance of international guidelines, and contemporary approaches to prescribing medications.

Evidence-based pharmacy is not merely a theoretical concept—it is a practical tool that enhances individual patient health outcomes and improves the efficiency of healthcare systems.

The Core Principles of Evidence-Based Pharmacy:

1. **Ensuring Patient Safety** – By relying on scientific evidence, pharmacists can select the safest and most effective treatments, thereby reducing the risk of adverse drug reactions. For example, it is crucial for specialists to recognize the dangers of codeine-containing cough syrups in children, as unpredictable metabolism can lead to severe side effects.
2. **Continuous Update of Recommendations** – Scientific findings evolve regularly, requiring pharmacists to stay informed about the latest data on drug safety, efficacy, and potential risks. In 2020, both the FDA and EMA decided to withdraw ranitidine from the market due to the discovery of N-Nitrosodimethylamine (NDMA), a potentially carcinogenic impurity. Following this recommendation, many countries removed ranitidine from their pharmaceutical markets, advising healthcare professionals to prescribe safer alternatives such as famotidine or proton pump inhibitors.
3. **Cost-Effectiveness Optimization** – Healthcare resources should be allocated to medications with scientifically proven benefits. For instance, while rosuvastatin was initially considered the superior cholesterol-lowering agent, later research demonstrated that atorvastatin provided comparable effects at a lower cost. Consequently, many healthcare systems have prioritized cost-effective alternatives to optimize financial resources.
4. **Prevention of Antibiotic Resistance and Irrational Drug Use** – Extensive research has demonstrated the growing resistance of bacteria due to the improper use of antibiotics, posing a major challenge to global healthcare. Pharmacists play a crucial role in educating patients on the ineffectiveness of antibiotics against viral infections and promoting alternative treatments.

Over the past decade, numerous studies have highlighted the inefficacy and potential risks of widely used OTC (over-the-counter) cough syrups, particularly in pediatric patients. Notable examples include:

- Codeine-containing cough syrups – Codeine is an opioid that metabolizes into morphine in the body. Due to unpredictable metabolism in children, its use increases the risk of respiratory depression, severe side effects, and even fatality. In response, the FDA banned codeine-based cough syrups for children in 2018, while the EMA declared codeine unsuitable for children under 12 in 2015 and advised against its use in those under 18.
- First-generation antihistamines (diphenhydramine, chlorpheniramine, brompheniramine) – While historically used for cough and cold treatment, studies have shown that these substances primarily exhibit sedative effects without significantly reducing cough symptoms. Consequently, in 2008, the FDA issued a warning against their use in children under four years old and discouraged their administration in those under six.
- Dextromethorphan (DXM) cough syrups – Initially marketed as an antitussive agent, recent studies have found DXM to be no more effective than placebo in children. Additionally, in high doses, DXM affects the central nervous system, causing dizziness, drowsiness, and even hallucinations. In 2014, the American Academy of Pediatrics (AAP) formally stated that DXM-containing cough syrups are ineffective in children. Despite this, some countries continue to allow their sale and prescription.

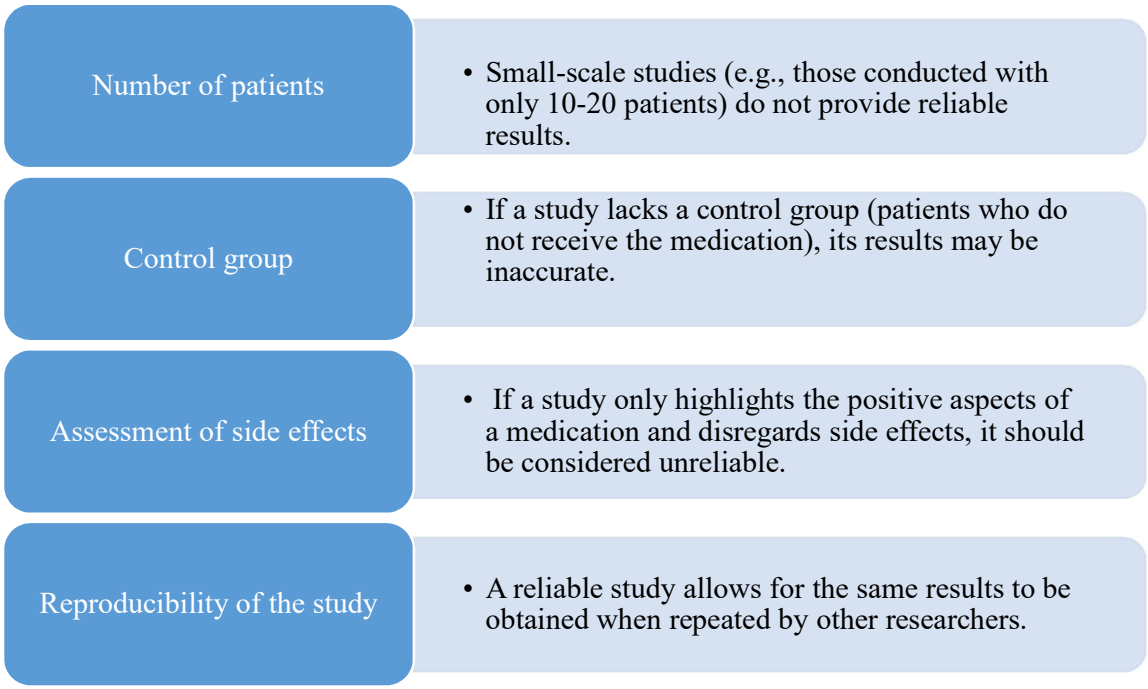
This study underscores the importance of evidence-based pharmacy in ensuring patient safety, improving healthcare decision-making, and enhancing the overall efficiency of pharmaceutical practice. By implementing evidence-based approaches, healthcare professionals can minimize ineffective treatments, prevent adverse drug reactions, and contribute to the sustainability of healthcare systems.

Currently, most experts do not recommend the use of OTC cough syrups for children. Instead, preferred alternatives include saline nasal sprays and rinses, warm fluids such as broth or tea, humidifiers, honey (for children over one year old), and maintaining an optimal room temperature. Physicians and pharmacists should avoid prescribing or recommending outdated and ineffective treatments, adhering instead to evidence-based guidelines that promote safe, effective, and scientifically validated therapeutic approaches [4, 5, 6].

Pharmaceutical research plays a critical role in improving healthcare systems by assessing the efficacy, safety, and cost-effectiveness of medications. Without reliable scientific studies, it would be impossible to accurately evaluate drug safety, develop effective treatment strategies, or compare existing medications to identify superior alternatives. In this context, key areas of pharmaceutical research can be identified as follows:

N	Pharmaceutical Research Area	Research Objective
1	Testing and Evaluation of New Drugs	Before introducing new medications, it is essential to determine their safety and efficacy through clinical trials. Clinical research on new treatment methods allows doctors and pharmacists to reliably assess how beneficial and safe a drug is for specific diseases. For example, cancer treatments that were granted Accelerated Approval by the FDA were only approved after clinical trials demonstrated their potential benefit.
2	Comparison of Medications and Evaluation of Alternatives	Often, a new drug does not provide significant improvement over older alternatives. For instance, some expensive drugs (like Rosuvastatin) were considered the best option for managing cholesterol, but studies have shown that Atorvastatin, which is much cheaper, provides similar results. As a result, healthcare systems saved billions of dollars by funding more economically viable alternatives.
3	Optimizing Healthcare Costs and Reducing Risks	Economic studies show that if a cheaper drug is as effective as a more expensive one, resources within the healthcare system can be better allocated. Without research, the healthcare system would have been forced to purchase more expensive drugs, leading to an increase in financial burden for both the government and patients. The use of ineffective or insufficiently studied medications can be more harmful to patients, ultimately resulting in additional costs.

Not all studies are equally reliable. Physicians, pharmacists, and patients may be misled by inaccurate or biased research findings, which can sometimes result in serious clinical and economic consequences. To assess the quality of research, key evaluation criteria are established.



Evidence-Based Pharmacy enables healthcare professionals to make informed decisions about medications and pharmaceutical services based on scientifically validated data. For instance, antibiotic prescription guidelines have evolved based on evidence, leading to more targeted use of these medications. Similarly, while high doses of aspirin were once considered beneficial for cardiovascular prevention, recent studies have demonstrated an increased risk of gastric ulcers and bleeding with prolonged use. As a result, doctors have adjusted their approach by prescribing lower doses alongside protective agents such as proton pump inhibitors [7,8].

Evidence-based pharmaceutical research is crucial for making sound medical decisions, ensuring the safe and effective use of medicines, and managing healthcare costs. Healthcare professionals must rely on trustworthy, scientifically supported data to prevent incorrect treatments and unintended harm to patients.

One important measure in evaluating research reliability is the P-value (Probability Value), which indicates the likelihood that a study's results occurred by chance rather than reflecting a real effect. A smaller P-value suggests stronger evidence supporting the findings. If $P < 0.05$, it means there is less than a 5% probability that the result is due to chance, making it statistically significant. This threshold is commonly used to determine whether a relationship between variables is real. Conversely, if $P > 0.05$, the findings are considered more likely to be random, and the study fails to confirm the hypothesis.

For example, if a study examines whether a new medication (X) lowers blood pressure and reports a P-value of 0.03, there is a 97% probability that the observed effect is due to the drug rather than chance. This supports the conclusion that the medication is effective. However, if another study evaluates the impact of vitamin D on sleep quality and obtains a P-value of 0.12, it indicates a 12% probability that the result occurred by chance—exceeding the 5% threshold. In this case, the data would not be sufficient to confirm that vitamin D improves sleep quality.

Although the P-value is a key indicator, it should not be the sole basis for drawing conclusions. Other statistical measures, such as the confidence interval (CI), statistical power, and effect size, provide a more comprehensive assessment of research reliability. The confidence interval estimates the range within which the true effect likely falls. Statistical power, influenced by factors like sample size, determines the reliability of a study. Effect size quantifies the strength of a result, complementing the P-value, which only indicates whether an effect exists [9,10].

Evidence-based research significantly influences pharmacists' daily practice by guiding effective and safe treatment management as well as medication distribution. This approach defines key aspects of pharmaceutical practice that are particularly shaped by scientific research.

N	Pharmaceutical Process Aspect	Role of Pharmacy Practice	Practical Example
1	Analysis of Medication Prescription and Usage Guidelines	Pharmacists rely on evidence to assess which medications are most effective and safe for specific diseases.	New clinical studies often lead to updates in existing guidelines, allowing pharmacists to base their medication selection on the latest recommendations.
2	Personalization of Treatment (Individual Approach)	vidence-based research enables pharmacists to tailor treatment to the individual characteristics of each patient.	Genetics, age, comorbidities, and other factors significantly influence how medications work.
3	Management of Medication Side Effects	New studies allow pharmacists to warn patients about potentially harmful side effects that were previously unknown.	The FDA (Food and Drug Administration) issued a warning that long-term use of certain proton pump inhibitors (such as omeprazole) could increase the risk of bone fractures. As a result, pharmacists began offering patients alternative treatment options.
4	Prevention of Antibiotic Resistance	Research demonstrates that improper use of antibiotics leads to bacterial resistance, making treatments less effective.	Pharmacists advise patients not to use antibiotics for viral infections, as they are ineffective in such cases.

Relying on scientific evidence goes beyond simply obtaining accurate data—it is equally crucial to interpret that data correctly. Several key criteria should be considered when evaluating the reliability of a study.

How Can We Assess the Credibility of Research?

1. **Study Design and Methodology** – For research findings to be considered reliable, the study should be randomized, controlled, and double-blind—often referred to as the "gold standard" in clinical trials. This approach allows for an objective comparison of different treatment strategies. Higher levels of evidence include systematic reviews (such as Cochrane Reviews, GRADE) and meta-analyses, which synthesize data from multiple studies. In contrast, case reports and small-scale studies tend to be less reliable, as conclusions drawn from a limited sample can be misleading.

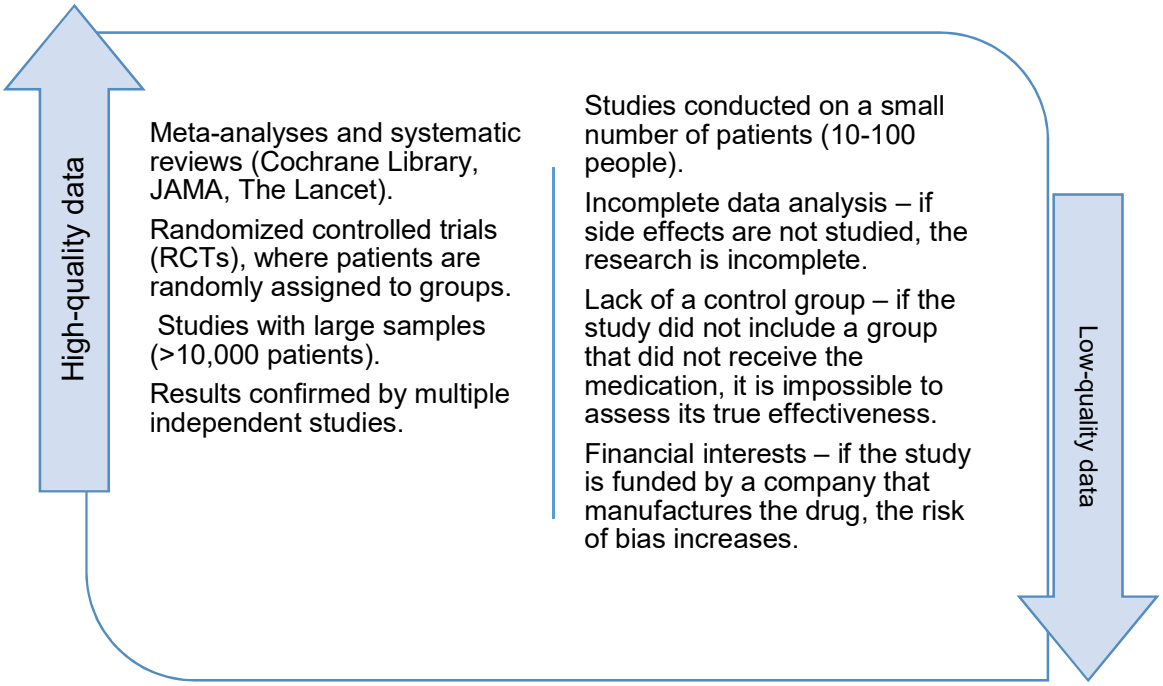
2. **Sample Size** – The reliability of a study increases with the number of participants. Research conducted on small groups (e.g., 50–100 people) may not provide statistically significant conclusions, whereas large-scale studies (involving 10,000+ participants) yield more dependable results.

3. **Statistical Significance (P-Value)** – A P-value of less than 0.05 ($P < 0.05$) suggests that the observed result is unlikely to have occurred by chance, thus indicating scientific validity. Additionally, the confidence interval (CI) plays a crucial role in result interpretation—narrower confidence intervals indicate greater precision in the study's findings.

4. **Type of Study** – Laboratory-based (in vitro) research may not always reflect real-world clinical outcomes. In this regard, clinical trials, particularly randomized controlled trials (RCTs), provide more reliable evidence due to the direct involvement of actual patients. For example, if a study claims that a new drug reduces the risk of heart disease but, upon closer examination, it turns out that only 50 participants were included and the study was funded by the pharmaceutical company producing the drug, its credibility should be questioned.

The Importance of Critical Evaluation in Pharmaceutical Practice

In pharmaceutical practice, evidence is only valuable if it is scientifically credible. Not all research is equally trustworthy, and a critical approach is essential when analyzing study results. In some cases, findings may be deliberately distorted or fail to reflect the actual clinical picture. Financial conflicts of interest should also be considered—when a study is funded by the same company that manufactures the drug being tested, there is a potential risk of bias. Additionally, misinterpretation of data can lead to exaggerated or misleading conclusions. Differentiating between high- and low-quality evidence requires careful examination of various factors [10, 11, 12].



Many experimental substances show significant reduction in diseases in animals, but they are ineffective in humans. This is one of the reasons why less than 10% of drugs from clinical trials reach the pharmaceutical market. Over 95% of substances studied for cancer treatment that showed promising effects in animals failed to prove their efficacy in humans. This discrepancy can be explained by several factors. The human and animal organisms are different—they have distinct immune systems, metabolism, and enzymes. These differences affect drug absorption, metabolism, and action. During studies, dosage problems often arise. A drug may work in mice, but to achieve the same effect in humans, the dose may need to be increased to a toxic level. Additionally, animal disease models do not always match the diseases that occur in humans. For example, cancer induced chemically in mice may not correspond to the process of cancer development in humans. Drug metabolism differences between humans and animals are also evident—sometimes a substance breaks down quickly in mice, working effectively, but in humans, slower metabolism leads to side effects or a complete lack of efficacy.

Several studies have shown that drugs effective in mice did not yield the same results in humans. For instance, corticosteroid Beclomethasone effectively stopped lung cancer cell proliferation in mice. However, in humans, it could not reach sufficient concentration, and prolonged use caused significant suppression of the immune system and side effects. Therefore, this drug proved ineffective for treating lung cancer in humans and was not approved for use in this context. Another example is the plant-derived compound Sanguinarine, which in in vitro tests and in mice reduced cancer growth. However, clinical trials showed that it did not achieve the necessary concentration in humans to reduce cancer, and in high doses, it was toxic to the liver and kidneys. Consequently, it was never marketed. Thalidomide, originally developed and marketed as a sedative and anti-nausea medication for pregnant women, showed no toxicity in animal testing. Thousands of pregnant women took this drug in the 1950s and 1960s, and more than 10,000 children were born with severe limb deformities and congenital defects. It was later discovered that the drug crossed the placenta and caused fetal damage. It was

withdrawn from the market, but later, scientists confirmed that it blocks angiogenesis (blood vessel growth) and is now used to treat cancer and leprosy.

A drug that proves effective in animals does not necessarily mean it will be safe and effective for humans. Pharmaceutical research must not only analyze preclinical studies conducted on animal models but also clinical trials to determine the effectiveness and safety of a substance. Long-term testing is necessary to avoid serious risks. Therefore, before a pharmaceutical product reaches the market, it undergoes strict testing in both animals and humans.

Pharmacists are not merely dispensers of medication. They play a crucial role in evaluating the safety and effectiveness of treatments, educating patients, and improving the treatment process. Their role in evidence-based medicine becomes even more prominent, as pharmacists provide clinical recommendations and consultations tailored to the individual needs of patients. One of the key responsibilities of pharmacists in evidence-based services is assessing the safety and effectiveness of medications. Specialists are obligated to conduct continuous monitoring and evaluation of the side effects of treatments, select optimal therapies for patients based on their individual characteristics, and offer consultations on more effective and safer alternatives based on clinical trial data. For example, a pharmacist could provide information about a new antihypertensive drug with fewer side effects if the current medication causes adverse effects like coughing or swelling. Pharmacists must also ensure proper patient education on the correct use of medications, explain why certain drugs should not be taken long-term or in excessive doses, and offer consultations on how to reduce the risks of improper use of pharmaceuticals. Research on proton pump inhibitors (PPIs) like Omeprazole has shown that long-term use increases the risks of kidney failure, bone fractures, and vitamin B12 deficiency. A pharmacist must explain to the patient how to reduce the use of this medication and when to consult a specialist for dose adjustments. Pharmacists should also disseminate information on healthy lifestyles, vaccination, and preventive medicine. It is essential for pharmacists to collaborate closely with doctors, share guidelines and the latest scientific research, participate in updating treatment protocols, and work in multidisciplinary teams with medical staff to monitor the safety and effectiveness of medications jointly. This collaboration ultimately improves the quality of treatment.

Pharmacists' involvement in healthcare systems should go beyond just dispensing medications—they should be active supporters of evidence-based decision-making; working according to the guidelines of the World Health Organization (WHO), the U.S. Food and Drug Administration (FDA), the European Medicines Agency (EMA), and national guidelines; relying on meta-analyses and systematic reviews, as these studies provide the most reliable evidence; and continuously updating their knowledge through additional courses, training, and participation in conferences, while utilizing new scientific evidence and databases such as PubMed, Cochrane Library, JAMA, and The Lancet. Pharmacists can also gather feedback from patients about the effectiveness of medications, regularly document side effects, and provide doctors with detailed data to ensure patient safety.

Thus, pharmacists play a decisive role in the implementation of evidence-based services. Specialists must assess the effectiveness of treatments based on scientific evidence alone—experience,

tradition, or marketing information cannot be considered reliable sources. Pharmacists' activities include patient education, collaboration with doctors, the assessment of medication safety and effectiveness, and active involvement in improving the healthcare system. Evidence-based pharmaceutical practice improves treatment quality, ensures safe and rational use of medications, reduces the risk of complications from diseases, and improves outcomes for both individual patients and the healthcare system as a whole.

Conclusion

Evidence-based pharmacy helps patients receive better, safer, and more effective treatment. Pharmaceutical research is crucial in determining which treatments are genuinely beneficial. Not all studies can be deemed reliable; their critical evaluation is essential for making correct decisions. Pharmacists play an important role in implementing evidence-based treatment, collaborating with doctors, and educating patients. Their professional responsibility is to use high-quality scientific data to ensure safe and effective treatment. Evidence-based pharmaceutical practice is one of the most effective and safest ways to improve healthcare systems. It allows pharmacists to make informed decisions based on evidence, international guidelines, and clinical data. They must continuously update their knowledge and collaborate actively with healthcare specialists to achieve the best outcomes for patients. Evidence-based research reduces the incidence of ineffective treatments and enhances patient safety, but proper interpretation of study results is crucial to avoid incorrect conclusions. Pharmaceutical practice must be based solely on high-quality evidence to ensure better health outcomes. Scientifically-backed treatment protocols help prevent unnecessary expenses and ensure the economically justified use of treatments.

REFERENCES:

1. Smith, J. A., & Nguyen, L. T. (2021). Implementing evidence-based pharmacy practice: Challenges and opportunities. *Journal of Pharmacy Practice*, 34(2), 123–130.
2. U.S. Food and Drug Administration. (2020). FDA requests removal of all ranitidine products (Zantac) from the market. Retrieved from https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-requests-removal-all-ranitidine-products-zantac-market
3. National Institute for Health and Care Excellence (NICE). (2014). Lipid modification: Cardiovascular risk assessment and the modification of blood lipids for the primary and secondary prevention of cardiovascular disease. *NICE Clinical Guideline CG181*.
4. Schroeder, K., & Fahey, T. (2020). Over-the-counter medications for acute cough in children and adults in ambulatory settings. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (1), CD001831.
5. Smith, S. M., Schroeder, K., & Fahey, T. (2021). Over-the-counter (OTC) medications for acute cough in children and adults in community settings. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (11), CD001831.
6. Chang, C. C., & Cheng, A. C. (2022). Effectiveness of antitussive agents in treating chronic cough: A meta-analysis. *Lung*, 200(4), 455–465.

7. Khan, R., & Patel, S. (2020). The role of evidence-based medicine in clinical pharmacy. *International Journal of Clinical Pharmacy*, 42(5), 1157–1165.
8. Garcia, M. M., & Johnson, M. S. (2022). Advancements in evidence-based pharmaceutical care. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 79(14), 1234–1242.
9. Lee, H. Y., & Kim, S. Y. (2023). Evidence-based practice in community pharmacy: A systematic review. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 19(1), 45–53.
10. Sherer JT. Principles of Evidence-Based Medicine. In: Aparasu RR, Bentley JP. eds. *Principles of Research Design and Drug Literature Evaluation, 2e*. McGraw-Hill Education; 2020. Accessed March 19, 2025.
11. O'Connor, M., & Gallagher, P. (2024). Barriers to implementing evidence-based practices in hospital pharmacies. *European Journal of Hospital Pharmacy*, 31(3), 150–156.
12. Bosson L, Veyer F, Bardet J-D, Vermorel C, Foote A, Allenet B, Bosson J-L. Evidence-Based Pharmaceutical Care in Community Pharmacies: A Survey of 595 French Pharmacists. *Pharmacy*. 2023; 11(5):161. https://doi.org/10.3390/pharmacy11050161
13. Mak, I. W., Evaniew, N., & Ghert, M. (2014). Lost in translation: Animal models and clinical trials in cancer treatment. *American Journal of Translational Research*, 6(2), 114–118.
14. Hansen, L. A., & Tavassoli, M. (2021). Limitations of animal models in cancer research: A perspective from the pharmaceutical industry. *British Journal of Cancer*, 125(12), 1585–1592.
15. *Jones, P. H., Davidson, M. H., Stein, E. A., Bays, H. E., McKenney, J. M., Miller, E., ... & Blasetto, J. W. (2003). Comparison of the efficacy and safety of rosuvastatin versus atorvastatin, simvastatin, and pravastatin across doses (STELLAR Trial). The American Journal of Cardiology, 92(2), 152-160.*
16. Alexa JM, Richter M, Bertsche T. Enhancing Evidence-Based Pharmacy by Comparing the Quality of Web-Based Information Sources to the EVInews Database: Randomized Controlled Trial With German Community Pharmacists. J Med Internet Res. 2023 Jun 21;25:e45582. doi: 10.2196/45582. PMID: 37342085; PMCID: PMC10337305.
17. Sun J, Chen GM, Huang J. Effect of Evidence-Based Pharmacy Care on Satisfaction and Cognition in Patients with Non-Valvular Atrial Fibrillation Taking Rivaroxaban. Patient Prefer Adherence. 2021 Jul 25; 15:1661-1670. doi: 10.2147/PPA.S316008. PMID: 34345166; PMCID: PMC8321436.

მტკიცებულებებზე დაფუძნებული ფარმაცია: მეცნიერული მიდგომა სამკურნალო საშუალებების უსაფრთხო და ეფექტური გამოყენებისთვის

ნანა შაშიაშვილი

ფარმაცევტულ მეცნიერებათა დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ფარმაციის დეპარტამენტი. თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, სოციალური და კლინიკური ფარმაციის დეპარტამენტი

აბსტრაქტი

მტკიცებულებებზე დაფუძნებული ფარმაცევტული პრაქტიკა (Evidence-Based Pharmacy) მნიშვნელოვან მიდგომაა, რომელიც კლინიკურ გარემოში .სამკურნალო საშუალებების ეფექტურ და უსაფრთხო გამოყენებას უზრუნველყოფს. პრაქტიკა ემყარება კლინიკურ გამოცდებს, სამეცნიერო კვლევებს, ოფიციალურ გაიდლაინებს, მეტა-ანალიზებს და ამ ინსტრუმენტების მეშვეობით ფარმაცევტებს ეხმარება მიიღონ პაციენტებზე მორგებული ოპტიმალური გადაწყვეტილებები. ფარმაცევტული პრაქტიკის ეფექტურობა დამოკიდებულია მონაცემთა ინტერპრეტაციის უნარზე, ჩატარებული კვლევების სანდოობაზე და, ასევე, მკურნალობის პერსონალიზებულ მიდგომაზე. სტატია განიხილავს მტკიცებულებებზე დაფუძნებული ფარმაციის როლს, მნიშვნელობას, მისგან გამომდინარე პროცესებს, რომელიც დაკავშირებულია მედიკამენტების უსაფრთხოების კონტროლთან, ექიმებთან თანამშრომლობის ფორმებთან, პაციენტთა ცნობიერების ამაღლების კამპანიებთან. იმის გათვალისწინებით, რომ ამგვარი მიდგომა მეცნიერულ პრინციპებს ეფუძნება, პრაქტიკული გამოყენება მოითხოვს დარგის სპეციალისტთა მუდმივ პროფესიულ განვითარებას, კვლევების შედეგად მიღებული დასკვნების კრიტიკულ ანალიზსა და მჭიდრო კომუნიკაციას სამედიცინო სფეროს სხვა წარმომადგენლებთან. მტკიცებულებებზე დაფუძნებული კვლევები ამცირებს არაეფექტური მკურნალობის შემთხვევებს, უზრუნველყოფს პაციენტების უსაფრთხოებას, ჭარბი დანახარჯების თავიდან აცილებას, ამ თვალსაზრისით, ეკონომიკურად გამართლებული სამკურნალო საშუალებების გამოყენებას და, საბოლოო ჯამში, ხელს უწყობს ჯანდაცვის ერთიანი სისტემის ოპტიმიზაციას. სტატიაში ჩამოყალიბებულია მტკიცებულებებზე დაფუძნებული ფარმაციის, როგორც მეცნიერულად გამყარებული მიდგომის მიზნები, მოყვანილია მაგალითები უკანასკნელ ათწლეულებში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე ზოგიერთი OTC (ურეცეპტებოდ გასაცემი) ხველის საწინააღმდეგო სიროფის არაეფექტურობის და პოტენციური საფრთხეების შესახებ, ნაჩვენებია სანდო მეცნიერული კვლევების შედეგების მნიშვნელობა მედიკამენტების გავლენის სანდოობის შეფასების, ეფექტური მკურნალობის მეთოდების შეთავაზების თუ უკვე პრაქტიკაში დანერგილი პრეპარატების შედარებისთვის უკეთესი ალტერნატივის შესარჩევად, წარმოდგენილია კვლევების შედეგად მიღებული მონაცემების სწორი ინტერპრეტირების ძირითადი კრიტერიუმები. ნაშრომში ყურადღება გამახვილებულია ფარმაცევტების გადამწყვეტი როლის მნიშვნელობაზე მტკიცებულებებზე დაფუძნებული სერვისების დანერგვაში და ამ მიმართულებით წარმოდგენილია პრაქტიკული რეკომენდაციები.

საკვანძო სიტყვები: კვლევები, მედიკამენტები, მტკიცებულებები, პრაქტიკა, უსაფრთხოება

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.04



განათლების რეფორმა და მეოთხე თაობის ეროვნული სასწავლო გეგმა

სოფია მშვილდაძე
ბიზნესადმინისტრირების პროგრამის დოქტორანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი s.mshvildadze@gtu.ge

აბსტრაქტი

სტატია მიმოიხილავს განათლების რეფორმის კონტექსტში მეოთხე თაობის ეროვნულ სასწავლო გეგმას, რომელიც მიზნად ისახავს სწავლების მოდერნიზებასა და მოსწავლეებისთვის 21-ე საუკუნის მოთხოვნებთან შესაბამისი უნარების განვითარების ხელშეწყობას. ახალი სასწავლო გეგმა ეფუძნება კომპეტენციებზე ორიენტირებულ მიდგომას, რაც გულისხმობს კრიტიკული აზროვნების, პრობლემების გადაჭრის, შემოქმედებითობისა და ციფრული წიგნიერების განვითარებას. სტატია განიხილავს ამ ცვლილებების არსს, მათ გავლენას სწავლების პროცესსა და პედაგოგიურ პრაქტიკაზე, ასევე შესაძლო გამოწვევებსა და პერსპექტივებს, რაც რეფორმის ეფექტურობას განსაზღვრავს.

საკვანძო სიტყვები: განათლების რეფორმა, ეროვნული სასწავლო გეგმა, კომპეტენციებზე დაფუძნებული სწავლება, კრიტიკული აზროვნება, ინოვაციური სწავლება, სწავლების მოდერნიზაცია, სწავლების პერსონალიზაცია, ტექნოლოგიების ინტეგრაცია.

განათლება ქვეყნის განვითარების ფუნდამენტური საყრდენია, რომლის რეფორმა არა მხოლოდ მომავალი თაობის ცოდნის ხარისხზე, არამედ საზოგადოების სოციალურ და ეკონომიკურ წინსვლაზეც აისახება. საქართველოში ბოლო ათწლეულების განმავლობაში არაერთი ცვლილება განხორციელდა განათლების სფეროში, თუმცა თანამედროვე გამოწვევები საჭიროებს უფრო სისტემურ და ინოვაციურ მიდგომებს.

მეოთხე თაობის ეროვნული სასწავლო გეგმა განათლების რეფორმის ახალი ეტაპია, რომელიც მიზნად ისახავს მოსწავლეთა უნარების განვითარებას, კრიტიკული აზროვნების ხელშეწყობასა და თანამედროვე საგანმანათლებლო მეთოდიკის დანერგვას. ეს რეფორმა არა მხოლოდ სასწავლო შინაარსა და მეთოდოლოგიას ცვლის, არამედ მასწავლებელების როლიც ახალ საფეხურზე აჰყავს, რათა განათლების სისტემა მეტად მოქნილი და ეფექტიანი გახდეს.

მეოთხე თაობის ეროვნული სასწავლო გეგმა წარმოადგენს მთავარ ინსტრუმენტს განათლების რეფორმის მიზნების მისაღწევად. დოკუმენტი განსაზღვრავს სავალდებულო მოთხოვნებს სასკოლო საზოგადოების მიმართ. მისი ძირითადი პრინციპებია: მოსწავლეზე ორიენტირებული და ინტეგრირებული სწავლება, ცოდნის პრაქტიკული გამოყენება, ტექნოლოგიების ინტეგრაცია და მასწავლებლის პროფესიული განვითარება, რომელიც გულისხმობს სწავლა-სწავლების პროცესის ორიენტირებას მოსწავლის პიროვნულ განვითარებაზე, სასწავლო პროცესის დაფუძნებას კონსტრუქტივისტულ საგანმანათლებლო პრინციპებზე,ზრუნვასა და მხარდაჭერაზე ორიენტირებული სასკოლო კულტურის ჩამოყალიბებას.მეოთხე თაობის ეროვნული სასწავლო გეგმის მთავარი მახასიათებლებია მოსწავლის საჭიროებებზე ორიენტირებული სწავლება, რომელიც ითვალისწინებს მოსწავლეთა ინდივიდუალურ ინტერესებსა და საჭიროებებს. პროექტებზე დაფუძნებულ, პრაქტიკულ და ინკლუზიურ მიდგომებს. პროექტული სწავლება არის მეთოდი, რომელიც მოსწავლეებს რეალური ცხოვრებისეული ამოცანების შესრულებას სთავაზობს. ისინი თავად იკვლევენ პრობლემებს, პოულობენ გადაჭრის გზებს და ქმიან პროდუქტებს. პროექტული სწავლების უპირატესობებია მოსწავლეთა ჩართულობა, კრიტიკული აზროვნების განვითარება, თანამშრომლობითი უნარების გაუმჯობესება, რეალური ცხოვრების გამოწვევებთან კავშირი. რამდენი სკოლაც არის იმდენი ერთმანეთისგან მეტ-ნაკლებად განსხავავებული წარმატებული პრაქტიკა შესაძლოა არსებობდეს. განსხვავდებიან სასკოლო საზოგადოების წევრები, რომლებიც ამ პრაქტიკას ახორციელებენ და ინტერესებს, პრიორიტეტებსა და გამოწვევებს საზღვრავენ. რეფორმის განხორციელების შესაძლო გამოწვევებია: მასწავლებელთა კვალიფიკაციის მუდმივი გაუმჯობესება, რომელიც მოითხოვს დიდ რესურსს, მათ შორის ტრენინგების სისტემურ ორგანიზებასა და თანამედროვე პედაგოგიური მეთოდების დაუფლებას. მასწავლებელთა პროფესიული გადაწვისა და ემოციური კეთილდღეობის საკითხი განსაკუთრებით მწვავეა, რადგან მათ უწევთ ყოველდღიურად სხვადასხვა სტრესულ სიტუაციაში გამკლავება. პედაგოგები ხშირად მუშაობენ სასწავლო პროგრამის მიღმა: ამზადებენ გაკვეთილებს, აფასებენ მოსწავლეთა ნამუშევრებს და ესწრებიან შეხვედრებს, რაც პროფესიულ გადაღლას და პირადი დროის ნაკლებობას იწვევს. მოსწავლეთა დისციპლინის მართვა, მშობლების მხრიდან ზეწოლა და კოლეგებთან/ადმინისტრაციასთან ურთიერთობის სირთულეები მასწავლებლის ემოციურ მდგომარეობაზე ასევე არადადებითად აისახება. მასწავლებლის პროფესია ერთ-ერთი ყველაზე საპასუხისმგებლო პროფესიაა, მაგრამ საზოგადოებაში მათი როლი არასათანადოდ აღიარებული, რაც დემოტივაციის განსმსაზღვრელია. სასკოლო ინფრასტუქტურისა და ტექნოლოგიების ინტეგრაცია, რომელიც ყველა ზოგადსაგანმანათლებლო დაწესებულებისთვის არასაკმარისად ხელმისაწვდომია. სასწავლო რესურსების ადაპტირება ჯერ კიდევ საჭიროებს დახვეწასა და მასწავლებელთა საჭიროებებთან შეჯერებას. მშობლებისა და საზოგადოების ჩართულობა განათლების რეფორმის წარმატებისთვის მნიშვნელოვან მხარდაჭერას წარმოადგენს, თუმცა მათი მზაობა ახალი სასწავლო მიდგომების მიმართ გასავითარებელია. რაც შეეხება შეფასების უნარების გაუმჯობესებას შესაძლოა გარკვეული დაბრკოლება შექმნას, რადგან ტრადიციული შეფასების მეთოდებისგან განსხვავებით, მეოთხე თაობის გეგმა ითვალისწინებს მოსწავლეთა პროგრესის კომპლექსურ შეფასებას. მიუხედავად არსებული გამოწვევებისა, სწორი დაგეგმვისა და საზოგადოების აქტიური ჩართულობის

შემთხვევაში, ის შესაძლოა ქვეყნის განათლების სისტემის მოდერნიზაციისა და გაძლიერების საფუძველია. მეოთხე თაობის ეროვნული სასწავლო გეგმის პერსპექტივა არის მოსწავლეთა პრაქტიკული უნარების განვითარება, რაც ხელს შეუწყობს მათ როგორც პიროვნულ, ისე პროფესიულ ზრდას. ტექნოლოგიების ინტეგრაცია და სწავლების ინოვაციური მეთოდები გაზრდის განათლების ხარისხს და დაეხმარება მომავალ თაობებს სწრაფად და ცვლილებადი შრომის ბაზარზე ადაპტირდნენ. ამასთან, სასკოლო სისტემის გაძლიერება, მასწავლებელთა პროფესიული განვითარება და მშობლების აქტიური ჩართულობა ქმნის მდგრადი რეფორმის საფუძველს. თუ განათლების სექტორში ყველა დაინტერესებული მხარე აქტიურად ითანამშრომლებს, ამ გეგმის წარმატება არა მხოლოდ სასკოლო დონეზე, არამედ ქვეყნის სოციალური-ეკონომიკურ განვითარებაზე აისახება.

ლიტერატურა

1. საქართველოს მინისტრის ბრძანება 24.05.2016, ეროვნული სასწავლო გეგმის დამტკიცების შესახებ, [ონლაინ], ხელმისაწვდომია: https://matsne.gov.ge/ka/document/view/3285991?publication=0 (ბოლო მიმართვის თარიღი 07.05.23).
2. William G. Ouchi,(1981), *Theory Z:How American Business Can Meet the Japanese Challenge*, 227
3. ტომას ჯ. სერჯიოვანი, *სკოლის ხელმძღვანელობა. თეორიული ცოდნის პრაქტიკაში გააზრებული გამოყენების პერსპექტივა,* მეექვსე გამოცემა, ინიტის უნივერსიტეტი, სან ანტონიო, ტეხასი, 506, [ონლაინ], ხელმისა-წვდომია: https://library.iliauni.edu.ge/wp-content/uploads/2017/03/skolis-khelmdzghvaneloba.pdf, (ბოლო მიმართვის თარიღი 07.05.23).
4. გირტ ჰოფსტედე და გერტ იან ჰოფსტედე (2011), *კულტურები და ორგანიზაციები გონების პროგრამული უზრუნველყოფა*, ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, გვ.,17-19
5. ნიკოლოზ სილაგაძე, 2020 „სასკოლო კურიკულუმი“, *ჟურნალი* „სკოლის მართვა“ N1, გვ.39-49, [ონლაინ], ხელმისაწვდომია, http://mastsavlebeli.ge/wp-content/uploads/2021/01/%E1%83%A1%E1%83%99%E1%83%9D%E1%83%9A%E1%83%98%E1%83%A1-%E1%83%9B%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%97%E1%83%95%E1%83%90-1.pdf (ბოლო მიმართვის თარიღი 07.05.23).
6. ბერიკა შუკაკიძე, ნატო ინგოროყვა, მანანა რატიანი, ხათუნა ბარაბაძე, ეკატერინე კვირიკაშვილი, სოფიკო ლობჟანიძე და ნათია ნაცვლიშვილი (2021), *თანამედროვე სკოლის მართვა,* მასწავლებელთა პროფესიული განვითარების ეროვნული ცენტრი, თბილისი, 308, [ონლაინ], ხელმისაწვდომია, http://mastsavlebeli.ge/wp-content/uploads/2021/11/Book-Tanamedrove-sklois-martva-web.pdf, (ბოლო მიმართვის თარიღი 07.05.23).

Education Reform and the Fourth Generation National Curriculum

Sofia Mshvildadze
PhD student of Business Administration Program, Georgian Technical University
s.mshvildadze@gtu.ge

Abstract

The article reviews the fourth generation national curriculum in the context of education reform, which aims to modernize teaching and promote the development of skills for students in line with the requirements of the 21st century. The new curriculum is based on a competency-based approach, which implies the development of critical thinking, problem-solving, creativity and digital literacy. The article discusses the essence of these changes, their impact on the teaching process and pedagogical practice, as well as possible challenges and prospects that determine the effectiveness of the reform.

Keywords: education reform, national curriculum, competency-based learning, critical thinking, innovative learning, modernization of learning, personalization of learning, integration of technologies.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.05



CDK4-ისა და ციკლინის D1-ის ექსპრესიის თავისებურებები საშვილოსნოს სტრომულ სიმსივნეებსა და სარკომებში: დიაგნოსტიკური და პროგნოზული მნიშვნელობა

ლალი ბარბაქაძე; ნიკოლოზ კინტრაია; შოთა კეპულაძე; გიორგი ბურკაძე

თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი

საშვილოსნოს სტრომული სიმსივნეები მოიცავს ნეოპლაზიების ჰისტოლოგიურად და კლინიკურად ჰეტეროგენულ ჯგუფს, დაწყებული კეთილთვისებიანი ენდომეტრიუმის სტრომული კვანძებიდან (ESN) დამთავრებული დაბალი ხარისხის და მაღალი ხარისხის ენდომეტრიუმის სტრომულ სარკომამდე (LG-ESS და HG-ESS). ჯერ კიდევ შეზღუდული რჩება დიაგნოსტიკური და პროგნოზული შეფასების სანდო მარკერები. ეს კვლევა მიზნად ისახავდა CDK4-ისა და ციკლინის D1-ის იმუნოჰისტოქიმიური ექსპრესიის შეფასებას საშვილოსნოს სტრომულ სიმსივნეებში და მათი კავშირის გამოვლენას სიმსივნის ავთვისებიანობის ხარისხთან, ჰორმონური რეცეპტორების სტატუსთან, პროლიფერაციის ინდექსთან და დაავადებისგან თავისუფალ გადარჩენის მაჩვენებელთან (DFS). სულ ორმოცდახუთი საშვილოსნოს სტრომული სიმსივნე იყო შესწავლილი რეტროსპექტულად, მათ შორის 15 შემთხვევა ESN, 15 - LG-ESS და 15 - HG-ESS. CDK4, Cyclin D1, CD10, ესტროგენის რეცეპტორის (ER), პროგესტერონის რეცეპტორის (PR) და Ki67-ის იმუნოჰისტოქიმიური კვლევა განხორციელდა Leica-ს ანტისხეულების გამოყენებით. CDK4 და Cyclin D1 ექსპრესია რაოდენობრივად შეფასდა H-ქულის მეთოდის გამოყენებით. სტატისტიკურად გაანალიზებული იყო კორელაციები მარკერის ექსპრესიას, კლინიკოპათოლოგიურ პარამეტრებსა და დაავადებისგან თავისუფალ გადარჩენის მაჩვენებელს (DFS) შორის. CDK4 და Cyclin D1 H- ქულების პროგრესული ზრდა დაფიქსირდა ESN-დან LG-ESS და HG-ESS-მდე ($p < 0.001$). ჰორმონური რეცეპტორების ექსპრესია და დიფუზური CD10 შეღებვა მნიშვნელოვნად შემცირდა სიმსივნის ხარისხის მატებასთან ერთად ($p < 0.001$). CDK4 და Cyclin D1 H- ქულები აჩვენებდნენ ძლიერ ინვერსიულ კორელაციას ER/PR ექსპრესიასთან და დადებით კორელაციასთან Ki67 ინდექსთან. მაღალი CDK4 (H-ქულა >150) და ციკლინი D1 (H-ქულა >200) ექსპრესიის შემთხვევები მნიშვნელოვნად იყო დაკავშირებული DFS-ის შემცირებასთან. CDK4 და Cyclin D1 გადაჭარბებული ექსპრესია ასოცირდება სიმსივნის უფრო მაღალ ხარისხთან, ჰორმონური რეცეპტორების ექსპრესიის დაკარგვასთან, გაზრდილ პროლიფერაციულ

აქტივობასთან და დაავადებისგან თავისუფალი გადარჩენის დაბალ მაჩვენებელთან. ეს მარკერები შეიძლება იყოს სიმსივნის აგრესიულობის პოტენციური ინდიკატორი და შეიძლება ინტეგრირდეს კლინიკურ პრაქტიკაში.

საკვანძო სიტყვები: საშვილოსნოს სტრომული სიმსივნეები, ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომა, CDK4, ციკლინი D1, ჰორმონალური რეცეპტორები, Ki67, CD10.

შესავალი

ენდომეტრიუმის სტრომული სიმსივნეები წარმოადგენს საშვილოსნოს იშვიათ მეზენქიმურ ნეოპლაზიებს, რომლებიც მოიცავს ჰისტოლოგიურ სპექტრს როგორც კეთილთვისებიან ასევე ავთვისებიან დაზიანებებს[1]. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის (WHO) 2020 კლასიფიკაციის მიხედვით, ამ სიმსივნეების ჯგუფი მოიცავს ენდომეტრიუმის სტრომულ კვანძს (ESN), დაბალი ხარისხის ენდომეტრიუმის სტრომულ სარკომას (LG-ESS), მაღალი ხარისხის ენდომეტრიუმის სტრომულ სარკომას (HG-ESS) და არადიფერენცირებულ საშვილოსნოს სარკომას[2]. ESN არის კეთილთვისებიანი, კარგად შემოსაზღვრული დაზიანება ინფილტრაციული პოტენციალის გარეშე, ხოლო LG-ESS და HG-ESS არის ინფილტრაციული და ავთვისებიანი, რეციდივის და მეტასტაზური პოტენციალის სხვადასხვა ხარისხით[3].

მიუხედავად იმისა, რომ ამ სიმსივნეების ჰისტოპათოლოგიური კლასიფიკაცია კარგად არის განსაზღვრული, რჩება გამოწვევები ზუსტი დიაგნოზისა და პროგნოზის თვალსაზრისით, განსაკუთრებით ESN-ის LG-ESS-ისგან განსხვავებაში და აგრესიული ქცევის იდენტიფიცირებაში[4]. განსხვავება ამ ერთეულებს შორის კრიტიკულია, რადგან LG-ESS ხშირად პასუხობს ჰორმონურ თერაპიას, ხოლო HG-ESS ასოცირდება ცუდ შედეგებთან და მკურნალობის შეზღუდულ საშუალებებთან. ბოლოდროინდელმა მიღწევებმა გააუმჯობესა ჩვენი გაგება ამ სიმსივნეებში ჩართული გენეტიკური და მოლეკულური ცვლილებების შესახებ, მათ შორის გენების შერწყმის, როგორიცაა JAZF1-SUZ12 LG-ESS-ში და YWHAE-NUTM2 HG-ESS[5]. თუმცა, ეს მოლეკულური ტესტები არ არის უნივერსალურად ხელმისაწვდომი. არსებობს ძლიერი საჭიროება პრაქტიკული, ეკონომიური ბიომარკერებისთვის, რომლებსაც შეუძლიათ დიაგნოსტიკის მხარდაჭერა, რისკის სტრატიფიკაცია და პროგნოზული ინფორმაციის მიწოდება რუტინულ პათოლოგიურ პრაქტიკაში[6].

უჯრედული ციკლის მექანიზმების დისრეგულაცია არის მრავალი კიბოს დამახასიათებელი ნიშანი, მათ შორის სარკომის[7], [8]. კერძოდ, ციკლინის D-CDK4/6-Rb გზა თამაშობს მთავარ როლს G1-S ფაზის გადასვლაში[9]. ციკლინი D1 და CDK4-ის გადაჭარბებული ექსპრესია ხელს უწყობს უჯრედების პროლიფერაციას და ჩართულია რამდენიმე სხვადასხვა ორგანოთა სისტემის სიმსივნის პათოგენეზში, როგორიცაა მათ შორის ძუძუს კარცინომა, ლიპოსარკომა და გლიობლასტომა[10]. ინჰიბიტორები, რომლებიც თერაპიულად უმიზნებს ამ გზას (მაგ., პალბოციკლიბი) უკვე გამოიყენება კლინიკურ ონკოლოგიაში[11].

სიმსივნის სხვა ტიპებში მათი დამკვიდრებული როლის მიუხედავად, CDK4-ისა და ციკლინ D1-ის ექსპრესიის ტიპები ენდომეტრიუმის სტრომულ სიმსივნეებში ჯერ კიდევ არასათანადოდ შესწავლილად რჩება[12]. გარკვეულმა კვლევებმა გამოავლინა მათი დიაგნოსტიკური ან პროგნოზული სარგებლობა საშვილოსნოს სარკომებში და დღემდე არცერთს არ აქვს საფუძვლიანად შეფასებული მათი კავშირი ჰორმონური რეცეპტორების სტატუსთან, პროლიფერაციულ აქტივობასთან ან კლინიკურ შედეგთან სტრომული სიმსივნის სპექტრის კონტექსტში[13].

გარდა ამისა, ურთიერთქმედება უჯრედული ციკლის მარკერებსა და სტრომული დიფერენციაციის მარკერებს შორის, როგორიცაა CD10 და ჰორმონალური რეცეპტორები (ER/PR), კარგად არ არის დახასიათებული[14]. CD10, ენდომეტრიუმის სტრომული დიფერენციაციის მარკერი, ხშირად გამოიყენება დიაგნოსტიკაში, მაგრამ მისი დაკარგვა მაღალი ხარისხის სარკომებში გაურკვეველი რჩება[15]. ანალოგიურად, ER და PR ექსპრესიის პროგნოზული შესაბამისობა ამ სიმსივნეებში, და მათი კავშირი პროლიფერაციასთან და უჯრედული ციკლის დისრეგულაციასთან, არ არის სრულყოფილად შესწავლილი[16].

ამ ხარვეზების გათვალისწინებით, ეს კვლევა მიზნად ისახავს CDK4-ისა და ციკლინის D1-ის იმუნოჰისტოქიმიური ექსპრესიის შეფასებას ენდომეტრიუმის სტრომული სიმსივნეების სპექტრში, მათ შორის კეთილთვისებიან კვანძებსა და როგორც დაბალი, ასევე მაღალი ხარისხის სარკომებში[11], [16]. ჩვენ შემდგომ ვაფასებთ მათ კორელაციას სიმსივნის ხარისხთან, CD10 ექსპრესიასთან, ER/PR სტატუსთან, Ki67 ინდექსთან და დაავადებისგან თავისუფალ გადარჩენასთან (DFS). კლასიკური მორფოლოგიის იმუნოფენოტიპურ პროფილირებასთან ინტეგრირებით, ჩვენ ვცდილობთ გამოვავლინოთ პრაქტიკული მარკერები, რომლებმაც შეიძლება ხელი შეუწყონ დიაგნოსტიკური სიზუსტისა და პროგნოზული შეფასების გაუმჯობესებას და პოტენციურად თერაპიულ სტრატეგიებს აგრესიულ ენდომეტრიუმის სტრომულ სარკომებში.

მასალები და მეთოდები

კვლევა წარმოადგენს რეტროსპექტულ კვლევას, რომელიც ჩატარდა თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის პათოლოგიის სასწავლო, სამეცნიერო და დიაგნოსტიკური ლაბორატორიის ბაზაზე. არქივიდან ამოღებული იქნა საშვილოსნოს სტრომული სიმსივნეების 45 შემთხვევა, რომლებიც დიაგნოზირებულია 2015-2025 წლებში. საკვლევი კოჰორტა მოიცავდა ენდომეტრიუმის სტრომული კვანძის (ESN) 15 შემთხვევას, დაბალი ხარისხის ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომის 15 შემთხვევას (LG-ESS) და მაღალი ხარისხის ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომის (HG-ESS) 15 შემთხვევას.

კვლევაში ჩართვის კრიტერიუმები იყო: **(i)** ჰისტოლოგიურად დადასტურებული დიაგნოზი ქალთა რეპროდუქციულ ორგანოთა სიმსივნეების WHO კლასიფიკაციის საფუძველზე, მე-5 გამოცემა (2020); **(ii)** ფორმალინში ფიქსირებული, პარაფინით ჩაყალიბებული (FFPE) ქსოვილის მასალის ხელმისაწვდომობა; (iii) სრული კლინიკური, პათოლოგიური და შემდგომი დაკვირვების მონაცემების ხელმისაწვდომობა. გამორიცხვის კრიტერიუმი იყო

შემთხვევები ქსოვილის არაადეკვატური ნიმუშებით ან არასრული კლინიკური ინფორმაციით.

კლინიკური მონაცემები, მათ შორის პაციენტის ასაკი, მენოპაუზის სტატუსი, სიმსივნის ზომა, პათოლოგიური სტადია, სიმსივნური ნეკროზის არსებობა, ლიმფოვასკულური ინვაზია და შემდგომი კლინიკური დაკვირვების ინფორმაცია, შეგროვდა სამედიცინო ჩანაწერებიდან და პაციენტთა ისტორიების ანგარიშებიდან. გამოყენებული იყო ჰისტოპათოლოგიური გამოკვლევისას FIGO 2014 კრიტერიუმები. დაავადებისგან თავისუფალი პერიოდი (DFS) გამოითვლებოდა, როგორც დროის ინტერვალი (თვეები) საწყისი ოპერაციიდან პირველ დოკუმენტურ რეციდივებამდე/მეტასტაზებამდე ან ბოლო შემდგომ დაკვირვებამდე.

იმუნოჰისტოქიმიური შეღებვა ჩატარდა 4 μm სისქის FFPE ქსოვილის მონაკვეთებზე Bond-Max ავტომატური IHC სისტემის (Leica Biosystems) გამოყენებით. გამოყენებული იქნა შემდეგი პირველადი ანტისხეულები (ყველა Leica Biosystems-ისგან): ესტროგენის რეცეპტორი (ER) EP1 1:100 ბირთვული ექსპრესია; პროგესტერონის რეცეპტორი (PR) PgR636 1:100 ბირთვული ექსპრესია; CD10 56C6 1:100 მემბრანული და ციტოპლაზმური ექსპრესია; CDK4 DCS-31 1:50 ბირთვული ექსპრესია; Cyclin D1 SP4 1:50 ბირთვული ექსპრესია; Ki67 MIB-1 1:100 ბირთვული ექსპრესია. ყველა მარკერისთვის გამოყენებული იყო შესაბამისი დადებითი და უარყოფითი კონტროლი.

ER და PR: ექსპრესია შეფასდა სიმსივნური უჯრედების პოზიტიური ბირთვების პროცენტული მაჩვენებლით. შემთხვევები დაყოფილი იყო როგორც დადებითი (≥1%) ან უარყოფითი (<1%) აღწერილობითი სტატისტიკური ანალიზისათვის და პროცენტული მაჩვენებელი გამოყენებული იყო სხვა სტატისტიკური ანალიზისთვის.

CD10: ექსპრესია დაფიქსირდა როგორც დიფუზური, ფოკალური ან უარყოფითი, ციტოპლაზმური/მემბრანული შეღებვის ნიმუშის საფუძველზე.

CDK4 და ციკლინი D1: ბირთვული გამოხატულება ნახევრად რაოდენობრივად შეფასდა H-ქულის მეთოდის გამოყენებით, გამოითვლება როგორც: H- ქულა = (1 × % სუსტად შეღებილი ბირთვების) + (2 × % ზომიერად შეღებილი ბირთვების) + (3 × % ძლიერად შეღებილი ბირთვების). მთლიანი H- ქულა მერყეობდა 0-დან 300-მდე.

Ki67: პროლიფერაციის ინდექსი გამოთვლილი იყო სიმსივნური უჯრედების დადებითი ბირთვების პროცენტულად.

ყველა იმუნოჰისტოქიმიური შეფასება ჩატარდა დამოუკიდებლად ორი გამოცდილი პათოლოგიის მიერ.

სტატისტიკური ანალიზი ჩატარდა SPSS პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით (ვერსია 3). უწყვეტი ცვლადები გამოიხატა როგორც საშუალო ± სტანდარტული გადახრა (SD) და შეადარეს კრუსკალ-ვალისის ტესტის გამოყენებით სამი ჯგუფის შედარებისთვის და Mann-Whitney U ტესტის გამოყენებით წყვილი შედარებისთვის. კატეგორიული ცვლადები გაანალიზდა Chi-square ტესტის ან ფიშერის ზუსტი ტესტის გამოყენებით. კორელაციები იმუნოჰისტოქიმიურ მარკერებსა და კლინიკოპათოლოგიურ პარამეტრებს შორის შეფასებული იყო Spearman-ის კორელაციის კოეფიციენტის გამოყენებით. კაპლან-მეიერის

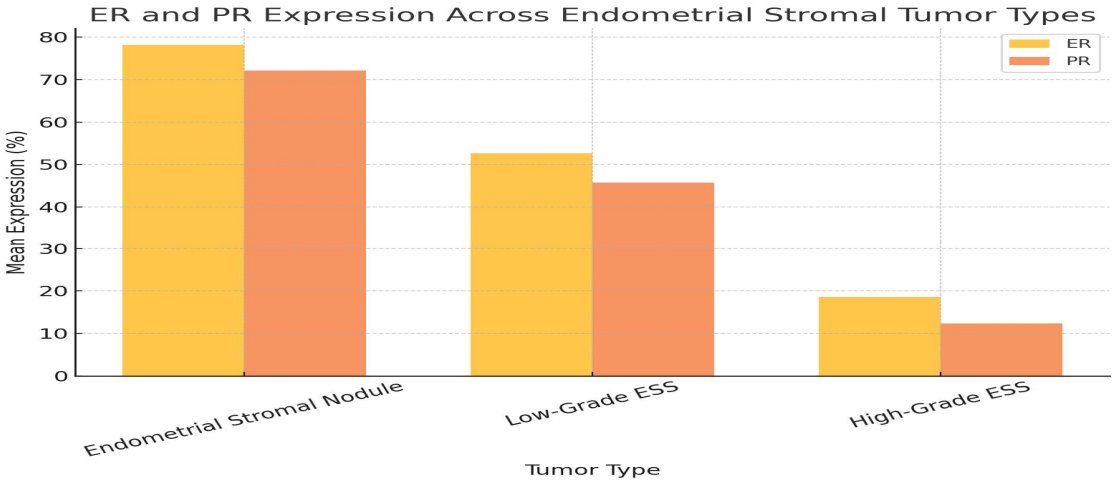
გადარჩენის ანალიზი და ლოგ-რანგის ტესტი გამოყენებული იყო დაავადებისგან თავისუფალი გადარჩენის (DFS) შესაფასებლად. p-მნიშვნელობა <0.05 ჩათვლილი იყო სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი.

შედეგები

ამ კვლევაში ჩართული იყო საშვილოსნოს სტრომული სიმსივნის ორმოცდახუთი შემთხვევა, რომელიც შედგებოდა ენდომეტრიუმის სტრომული კვანძის (ESN) თხუთმეტი შემთხვევისგან, დაბალი ხარისხის ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომის (LG-ESS) და მაღალი ხარისხის ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომის (HG-ESS) ასევე თითოეულ ჯგუფში თხუთმეტი შემთხვევისგან. პაციენტების საშუალო ასაკი იყო 59,1 ± 11,3 წელი, 40-დან 75 წლამდე ინტერვალით. მათ შორის ოცი პაციენტი (44.4%) იყო პრემენოპაუზური, ხოლო ოცდახუთი (55.6%) პოსტმენოპაუზური დიაგნოზის დასმის დროს.

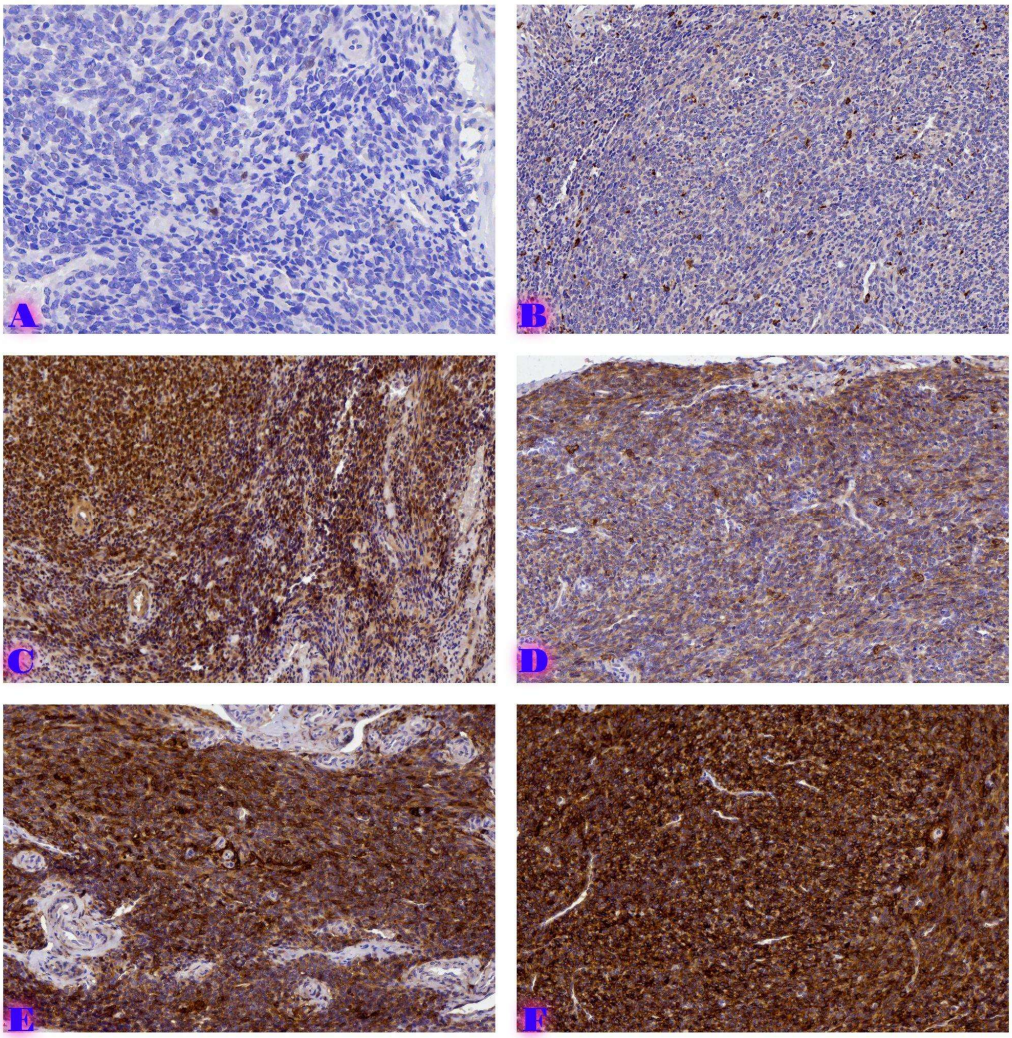
სიმსივნის საშუალო ზომა ყველა შემთხვევაში იყო 4.9 სმ, სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი განსხვავება დაფიქსირდა სიმსივნის ტიპებს შორის. ESN-ის შემთხვევებმა აჩვენა სიმსივნის ყველაზე მცირე საშუალო ზომა (3,1 ± 0,5 სმ), რასაც მოჰყვა LG-ESS (4,2 ± 0,8 სმ), ხოლო HG-ESS შემთხვევებმა აჩვენა სიმსივნის უდიდესი საშუალო ზომა (7,3 ± 1,1 სმ) (p <0,001). სიმსივნური ნეკროზი გამოვლინდა LG-ESS შემთხვევების 26.7%-ში და HG-ESS შემთხვევების 53.3%-ში, ხოლო ESN-ის არც ერთ შემთხვევას არ აჩვენა ნეკროზი. ანალოგიურად, ლიმფოვასკულარული ინვაზია დაფიქსირდა LG-ESS-ის 40%-ში და HG-ESS-ის 66.7%-ში, მაგრამ არ იყო ყველა ESN-ის შემთხვევაში. სიმსივნის ნეკროზიც და ლიმფოვასკულარული ინვაზიის სიხშირე აჩვენებდა მნიშვნელოვან კავშირს სიმსივნის ხარისხთან (p <0.001).

იმუნოჰისტოქიმიურმა ანალიზმა გამოავლინა ჰორმონური რეცეპტორების ექსპრესიის პროგრესირებადი დაქვეითება ESN-დან HG-ESS-მდე. ესტროგენის რეცეპტორის (ER) საშუალო ექსპრესია ESN-ში იყო 78.2 ± 8.5%, მნიშვნელოვნად შემცირდა 52.7 ± 9.4%-მდე LG-ESS-ში და შემდგომ 18.6 ± 7.8%-მდე HG-ESS-ში (p <0.001). პროგესტერონის რეცეპტორის (PR) ექსპრესიამ აჩვენა მსგავსი ტენდენცია, საშუალო მნიშვნელობებით 72.1 ± 9.0% ESN-ში, 45.8 ± 11.3% LG-ESS-ში და 12.4 ± 5.2% HG-ESS-ში (p <0.001).



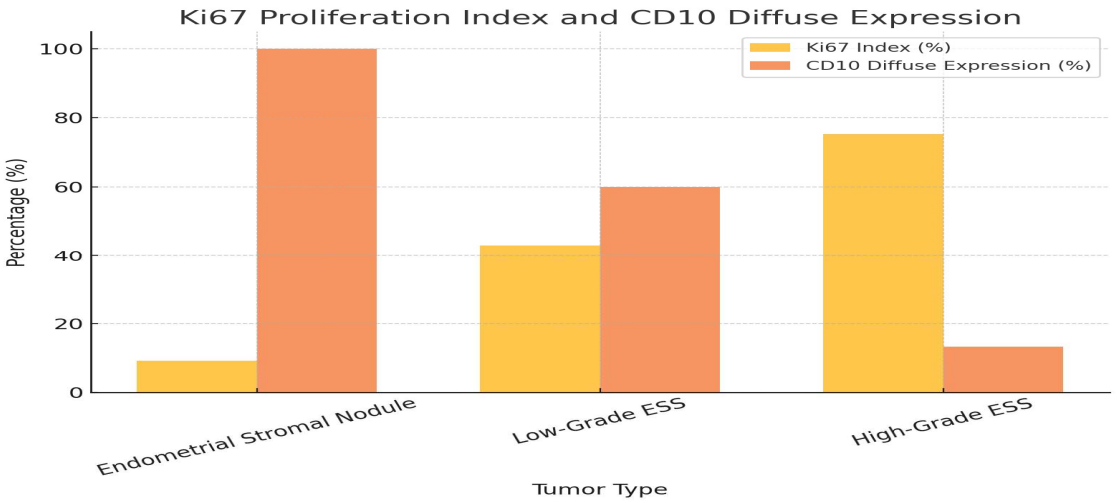
დიაგრამა 1: ER/PR-ის ექსპრესიის განაწილება სხვადასხვა საკვლევ ჯგუფებში;

CD10 ექპრესია ასევე მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდა სიმსივნის ჯგუფებს შორის. ყველა ESN შემთხვევა აჩვენებდა დიფუზურ CD10 პოზიტიურობას. ამის საპირისპიროდ, LG-ESS შემთხვევებმა აჩვენა დიფუზური CD10 პოზიტიურობა შემთხვევების 60%-ში და ფოკალური პოზიტიურობა შემთხვევების 40%-ში. HG-ESS ჯგუფში დიფუზური ექსპრესია იყო შემთხვევების მხოლოდ 13,3%-ში, ფოკალური ექსპრესია 53,3%-ში და უარყოფითი ექსპრესია 33,3%-ში. განსხვავებები CD10 ექსპრესიის ნიმუშებში სიმსივნურ ჯგუფებს შორის იყო სტატისტიკურად სარწმუნო ($p < 0.001$).



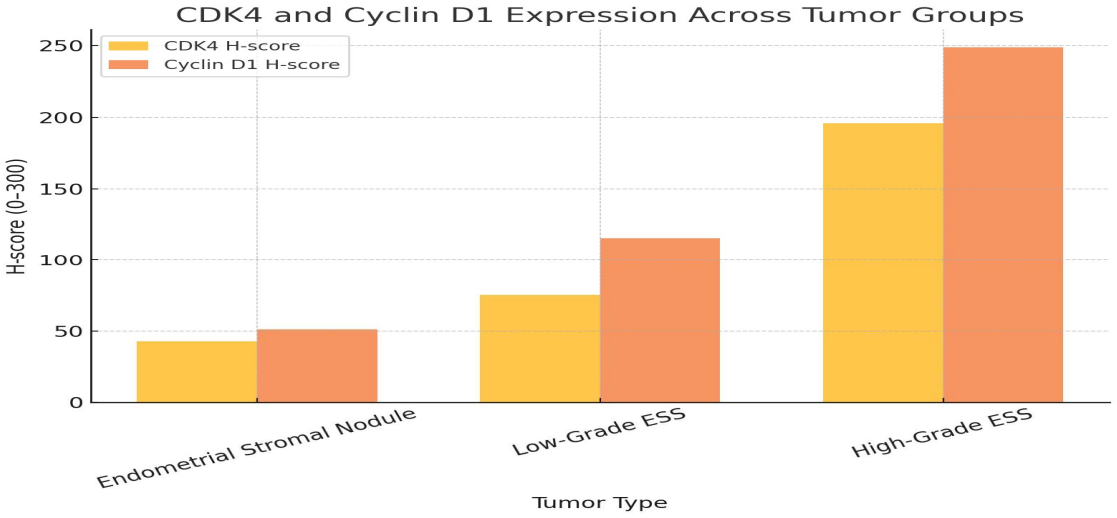
სურათი 1: *A.ენდომეტრიუმის სტრომული კვანძი Ki67-ის ექსპრესია IHC; 200X; B. ენდომეტრიუმის სრომული სარკომა - Low Grade Ki67-ის ექსპრესია IHC; 200X; C. ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომა - High Grade CyclinD1-ის ექპრესია, IHC; 200X; D. ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომა - Low Grade CyclinD1-ის ექსორესია , IHC; 200X; E. ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომა - Low Grade CDK4-ის ექსპრესია IHC; 200X; F. ენდომეტრიუმის სტრომული სარკომა - High Grade CDK4-ის ექსპრესია, IHC; 200X;*

Ki67 პროლიფერაციის ინდექსმა აჩვენა მსგავსი ტენდენცია, საშუალო ინდექსით 9.2 ± 2.3% ESN-ში, გაიზარდა 43.1 ± 10.6% LG-ESS-ში და მიაღწია 75.3 ± 12.8% HG-ESS-ში. განსხვავებები იყო სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი ($p < 0.001$).



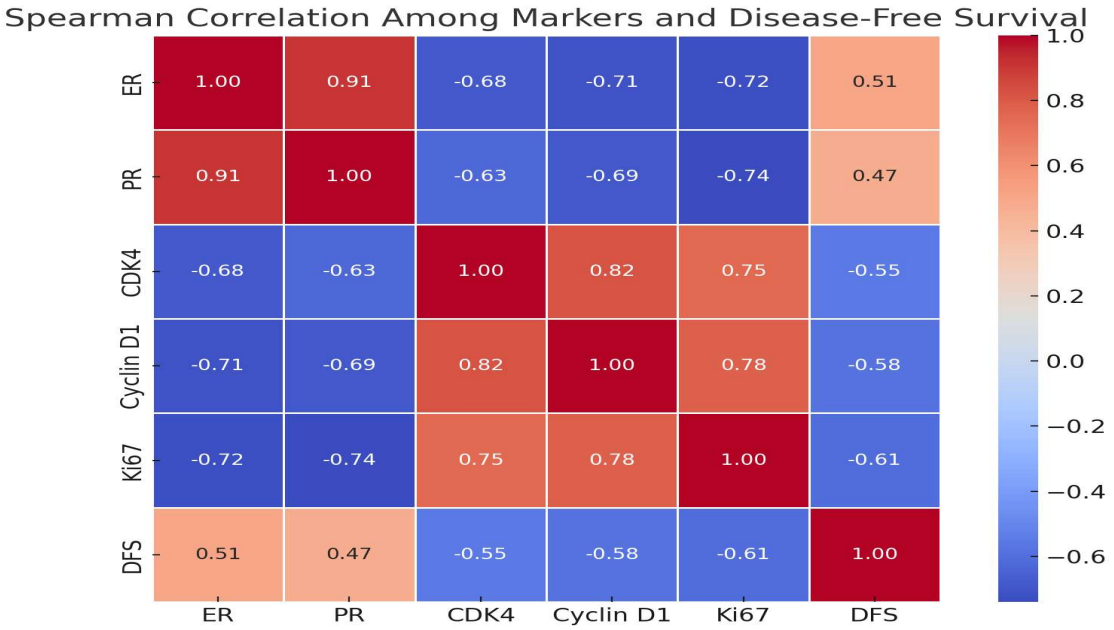
დიაგრამა 2: *Ki67/CD10 -ის ექსპრესიის განაწილება საკვლევ ჯგუფებში;*

CDK4 და Cyclin D1 ექსპრესიის ეტაპობრივი ზრდა გამოვლინდა სიმსივნის ხარისხის გაზრდით. საშუალო H-ქულა CDK4 ექსპრესიისთვის იყო 42.6 ± 12.3 ESN შემთხვევებში, ამაღლებული 75.3 ± 18.2-მდე LG-ESS-ში და პიკს აღწევს 195.8 ± 25.1 HG-ESS-ში. ანალოგიურად, ციკლინის D1 გამოხატვის საშუალო H- ქულა გაიზარდა 51.2 ± 15.7-დან ESN-ში 115.7 ± 24.6-მდე LG-ESS-ში და 248.9 ± 21.3 HG-ESS-ში. H- ქულების განსხვავება ჯგუფებს შორის იყო სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი ორივე მარკერისთვის ($p < 0.001$).



დიაგრამა 3: *CDK4/CyclinD1-ის ექსპრესიის განაწილება საკვლევ ჯგუფებში;*

კორელაციის ანალიზმა გამოავლინა მნიშვნელოვანი ინვერსიული კორელაცია ER და PR ექსპრესიას და CDK4 და Cyclin D1 H-ქულებს შორის ($r = -0.68$ და -0.71, შესაბამისად; $p < 0.001$). გარდა ამისა, დაფიქსირდა ძლიერი დადებითი კორელაცია Ki67 პროლიფერაციის ინდექსსა და CDK4 ($r = 0.75$) და Cyclin D1 ($r = 0.78$) ექსპრესიას შორის ($p < 0.001$). დიფუზური CD10 ექსპრესიის დაკარგვა ასევე მნიშვნელოვნად იყო დაკავშირებული CDK4 და Cyclin D1 უფრო მაღალ ექსპრესიასთან ($p < 0.001$).



დიაგრამა 4: *მარკერებსა და DFS-ის შორის კორელაციური კავშირები;*

კლინიკური მეთვალყურეობის საშუალო პერიოდის შეადგენდა 32 თვე, დაავადების რეციდივი ან მეტასტაზები დაფიქსირდა თერთმეტ პაციენტში (24.4%). აქედან ერთი შემთხვევა დაფიქსირდა LG-ESS ჯგუფში და ათი შემთხვევა დაფიქსირდა HG-ESS ჯგუფში, ხოლო ESN შემთხვევებს შორის არ დაფიქსირებულა რეციდივები. კაპლან-მეიერის გადარჩენის ანალიზმა აჩვენა მნიშვნელოვნად შემცირებული დაავადებისგან თავისუფალი გადარჩენის მაჩვენებელი (DFS) პაციენტებში მაღალი CDK4 (H-ქულა >150) და ციკლინ D1 (H-ქულა >200) ექსპრესიით ($p < 0.001$). DFS ასევე მნიშვნელოვნად უფრო ხანმოკლე იყო პაციენტებში, რომლებსაც აქვთ CD10 უარყოფითი ან ფოკალური ექსპრესია ($p = 0.002$), იმ პაციენტებში, რომლებსაც არ ჰქონდათ მაღალი ER/PR ექსპრესია ($p = 0.004$) და ხასიათდებოდა მაღალი Ki67 ინდექსით (>50%) ($p < 0.001$).

განსჯა

ჩვენი კვლევის ფარგლებში მულტიფაქტორულად შეფასდა CDK4-ისა და ციკლინ D1-ის იმუნოჰისტოქიმიური ექსპრესია საშვილოსნოს სტრომული სიმსივნეებისა და სარკომების კოჰორტაში, აჩვენა მათი მნიშვნელოვანი კავშირი სიმსივნის ხარისხთან, ჰორმონური რეცეპტორის სტატუსთან, პროლიფერაციის ინდექსთან და კლინიკურ შედეგთან. ჩვენი კვლევის შედეგად არსებული მონაცემები გვაწვდის ახალ შეხედულებებს ფენოტიპურ ცვლილებებზე, რომლებიც დაკავშირებულია სიმსივნის პროგრესირებასთან ამ ჰისტოლოგიური სპექტრის ფარგლებში.

CDK4 და Cyclin D1 ექსპრესიის პროგრესული ზრდა ენდომეტრიუმის სტრომული კვანძებიდან დაბალი ხარისხის და მაღალი ხარისხის ენდომეტრიუმის სტრომულ სარკომამის ჯგუფებამდე ხაზს უსვამს უჯრედული ციკლის დისრეგულაციის ცენტრალურ როლს სიმსივნის აგრესიულობაში. ეს შედეგები შეესაბამება არსებულ მტკიცებულებებს სხვა რბილ

ქსოვილებში და გინეკოლოგიურ სარკომებში, სადაც ციკლინისD-CDK4 გზის გააქტიურება ჩართული იყო ავთვისებიანი ტრანსფორმაციასა და პროგრესირებაში.

ჩვენს კვლევაში, CDK4 და Cyclin D1 ჭარბი ექსპრესია საპირისპირო კორელაციაში იყო ER და PR ექსპრესიასთან, რაც მხარს უჭერს ფენოტიპური დედიფერენციაციის კონცეფციას და ჰორმონური ექსპრესიის დაკარგვას მაღალი ხარისხის სარკომებში. ეს ემთხვევა წინა დაკვირვებებს, რომ LG-ESS ინარჩუნებს ჰორმონური რეცეპტორების პოზიტიურობას და სტრომულ დიფერენციაციას, ხოლო HG-ESS ავლენს ჰორმონური რეცეპტორების დაკარგვას და გაზრდილი პროლიფერაციული უნარს.

CD10 ექსპრესიის შეფასებამ კიდევ უფრო გააძლიერა ეს ფენოტიპური ცვლილება. დიფუზური CD10 ექსპრესია, რომელიც დამახასიათებელი იყო ნორმალური ენდომეტრიუმის სტრომისთვის და ESN-სთვის, თანდათანობით იკარგებოდა LG-ESS და HG-ESS-ში, მნიშვნელოვანი კავშირით CD10-ის შემცირებულ ექსპრესიასა და CDK4 და ციკლინის D1 ამაღლებულ დონეებს შორის. ეს დასკვნები ვარაუდობს, რომ CD10 შეიძლება იყოს არა მხოლოდ დიაგნოსტიკური მარკერი, არამედ როგორც სიმსივნის დიფერენციაციისა და აგრესიულობის არაპირდაპირი მაჩვენებელი.

Ki67 პროლიფერაციის ინდექსი მიჰყვებოდა მსგავს ტენდენციას, მნიშვნელოვნად გაიზარდა სიმსივნის ხარისხით და დადებითად კორელაციაში იყო CDK4 და Cyclin D1 ექსპრესიასთან. ეს მხარს უჭერს უჯრედული ციკლის აქტივაციის ბიოლოგიურ მნიშვნელობას HG-ESS-ის აგრესიულ ქცევაში.

მნიშვნელოვანია, რომ ჩვენმა გადარჩენის ანალიზმა აჩვენა, რომ მაღალი CDK4 და Cyclin D1 ექსპრესია, CD10 ექსპრესიის დაკარგვა, ER/PR ნეგატიურობა და გაზრდილი Ki67 ინდექსი მნიშვნელოვნად იყო დაკავშირებული დაავადებისგან თავისუფალ გადარჩენასთან. ეს შედეგები ვარაუდობს, რომ CDK4 და Cyclin D1 ექსპრესია შეიძლება იყოს პრაქტიკული პროგნოზული ბიომარკერები საშვილოსნოს სტრომულ სიმსივნეებში, რაც ავსებს არსებულ ჰისტოპათოლოგიურ კრიტერიუმებს.

კლინიკურად დამტკიცებული CDK4/6 ინჰიბიტორების ხელმისაწვდომობის გათვალისწინებით, როგორიცაა პალბოციკლიბი და რიბოციკლიბი, CDK4-ისა და ციკლინ D1-ის ჭარბი ექსპრესია HG-ESS-ში შეიძლება იყოს პოტენციური თერაპიული სამიზნე აგრესიული დაავადების მქონე პაციენტებისთვის. შემდგომი მოლეკულური კვლევები და კლინიკური კვლევები აუცილებელია ამ თერაპიული შესაძლებლობის შესასწავლად.

ამ კვლევის შეზღუდვები მოიცავს მის რეტროსპექტულ დიზაინს. გარდა ამისა, გენის მოლეკულური რეარანჟირების დადასტურება (მაგ., YWHAE, JAZF1) არ განხორციელებულა და შეიძლება შემდგომმა კვლევებმა შეავსოს და სრულყოს იმუნოჰისტოქიმიური დასკვნები.

დასკვნა

ჩვენი კვლევა ხაზს უსვამს CDK4-ისა და ციკლინ D1-ის ჭარბი ექსპრესიის დიაგნოსტიკურ და პროგნოზულ მნიშვნელობას საშვილოსნოს სტრომულ სიმსივნეებსა და სარკომებში. მათი ექსპრესიის პროგრესული ზრდა კეთილთვისებიანი სიმსივნეებიდან მაღალი ხარისხის სიმსივნემდე, ჰორმონური რეცეპტორების ექსპრესიის დაკარგვასთან და CD10-ის ექსპრესიის დაკარგვასთან ერთად, ასახავს ფენოტიპურ დედიფერენციაციას და გაზრდილ პროლიფერაციულ აქტივობას. ეს მარკერები შეიძლება დამხმარე აღმოჩნდეს დიაგნოსტიკურად მაღალი რისკის ჯგუფების სტრატიფიკაციის, რეციდივის რისკის შეფასებისა და სამომავლო პერსონალიზირებული თერაპიული საშუალებების შემუშავებაში.

გამოყენებული ლიტერატურა

[1] F. K. F. Kommoss et al., “Endometrial Stromal Sarcomas With BCOR Internal Tandem Duplication and Variant BCOR/BCORL1 Rearrangements Resemble High-grade Endometrial Stromal Sarcomas With Recurrent CDK4 Pathway Alterations and MDM2 Amplifications,” Am J Surg Pathol, vol. 46, no. 8, pp. 1142–1152, Aug. 2022, doi: 10.1097/PAS.0000000000001909.

[2] A. Hrzenjak, “JAZF1/SUZ12 gene fusion in endometrial stromal sarcomas,” Orphanet J Rare Dis, vol. 11, no. 1, Feb. 2016, doi: 10.1186/s13023-016-0400-8.

[3] C. M. J. Conklin and T. A. Longacre, “Endometrial stromal tumors: The new who classification,” Adv Anat Pathol, vol. 21, no. 6, pp. 383–393, 2014, doi: 10.1097/PAP.0000000000000046.

[4] A. J. Kruse et al., “Aggressive behavior and poor prognosis of endometrial stromal sarcomas with YWHAE-FAM22 rearrangement indicate the clinical importance to recognize this subset,” International Journal of Gynecological Cancer, vol. 24, no. 9, pp. 1616–1622, Nov. 2014, doi: 10.1097/IGC.0000000000000278.

[5] E. Oliva, “Practical issues in uterine pathology from banal to bewildering: The remarkable spectrum of smooth muscle neoplasia,” Modern Pathology, vol. 29, no. S1, pp. S104–S120, Jan. 2016, doi: 10.1038/modpathol.2015.139.

[6] C. H. Lee et al., “The clinicopathologic features of YWHAE-FAM22 endometrial stromal sarcomas: A histologically high-grade and clinically aggressive tumor,” American Journal of Surgical Pathology, vol. 36, no. 5, pp. 641–653, May 2012, doi: 10.1097/PAS.0b013e31824a7b1a.

[7] N. Adamashvili, R. Beriashvili, N. Tevzadze, S. Kepuladze, and G. Burkadze, “Features of the distribution of acute and chronic inflammatory index in cervical intraepithelial neoplasia of different degrees and its relationship with proliferative activity detected by AgNOR technology,” ქართველი მეცნიერები, vol. 6, no. 1, pp. 45–57, Jan. 2024, doi: 10.52340/gs.2024.06.01.08.

[8] K. Shengelaia, I. Kokhreidze, G. Burkadze, S. Kepuladze, and N. Tevzadze, “Challenges of Androgen Receptor Expression in Epithelial Tumors of the Breast and Ovary,” Georgian Scientists, vol. 5, no. 3, pp. 75–84, Aug. 2023, doi: 10.52340/2023.05.03.09.

[9] მიმოხილვაკრიტიკული, გოგიტიძეგიორგი, კეპულაძეშოთა, თევზაძენინო, and ბურკაძეგიორგი, “The Role of the Local Neural microenvironment in the Progression of cervical intraepithelial Neoplasia,” Georgian Scientists, vol. 5, no. 3, pp. 182–188, Sep. 2023, doi: 10.52340/2023.05.03.19.

[10] G. Arveladze, R. Beriashvili, S. Kepuladze, and G. Burkadze, “Evaluation of proliferative activity of different subtypes of basal cell carcinomas by AgNOR technology,” Georgian Scientists, vol. 5, no. 4, pp. 206–218, Dec. 2023, doi: 10.52340/gs.2023.05.04.19.

[11] X. Guo, E. Forgó, and M. van de Rijn, “Molecular subtyping of leiomyosarcoma with 3’ end RNA sequencing.,” Genom Data, vol. 5, pp. 366–367, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.gdata.2015.06.029.

[12] T. Kveliashvili, G. Didava, N. Tevzadze, S. Kepuladze, and G. Burkadze, “Peculiarities of the proliferative activity of the gallbladder mucosa in precancerous and cancerous pathologies detected by AgNOR technology,” Georgian Scientists, vol. 5, no. 4, pp. 342–352, Dec. 2023, doi: 10.52340/gs.2023.05.04.31.

[13] N. Adamashvili, R. Beriashvili, N. Tevzadze, S. Kepuladze, and G. Burkadze, “Features of the distribution of acute and chronic inflammatory index in cervical intraepithelial neoplasia of different degrees and its relationship with proliferative activity detected by AgNOR technology,” Georgian Scientists, vol. 6, no. 1, pp. 45–57, Jan. 2024, doi: 10.52340/gs.2024.06.01.08.

[14] N. Sarauli, R. Gvamichava, N. kantaria, S. Kepuladze, and G. Burkadze, “Phenotypic characteristics of peritoneal tumor implants in ovarian epithelial tumors,” Georgian Scientists, vol. 6, no. 2, pp. 111–120, Apr. 2024, doi: 10.52340/gs.2024.06.02.13.

[15] V. I. Shah and W. G. McCluggage, “Cyclin D1 does not distinguish YWHAE-NUTM2 high-grade endometrial stromal sarcoma from undifferentiated endometrial carcinoma,” American Journal of Surgical Pathology, vol. 39, no. 5, pp. 722–724, Apr. 2015, doi: 10.1097/PAS.0000000000000427.

[16] C. H. Lee et al., “Cyclin D1 as a diagnostic immunomarker for endometrial stromal sarcoma with YWHAE-FAM22 rearrangement,” Am J Surg Pathol, vol. 36, no. 10, pp. 1562–1570, Oct. 2012, doi: 10.1097/PAS.0B013E31825FA931.

Expression Patterns of CDK4 and Cyclin D1 in Uterine Stromal Tumors and Sarcomas: Diagnostic and Prognostic Implications

L. Barbakadze; N. Kintraia; Sh. Kepuladze; G. Burkadze

Tbilisi State Medical University

Abstract

Uterine stromal tumors encompass a histologically and clinically heterogeneous group of neoplasms ranging from benign endometrial stromal nodules (ESN) to low-grade and high-grade endometrial stromal sarcomas (LG-ESS and HG-ESS). Reliable markers for diagnostic stratification and prognostic assessment remain limited.

This study aimed to evaluate the immunohistochemical expression of CDK4 and Cyclin D1 in uterine stromal tumors and assess their association with tumor grade, hormonal receptor status, proliferation index, and disease-free survival. A total of forty-five uterine stromal tumors were retrospectively analyzed, including 15 cases each of ESN, LG-ESS, and HG-ESS. Immunohistochemical staining for CDK4, Cyclin D1, CD10, estrogen receptor (ER), progesterone receptor (PR), and Ki67 was performed using Leica antibodies. CDK4 and Cyclin D1 expressions were quantified using the H-score method. Correlations between marker expression, clinicopathological parameters, and disease-free survival (DFS) were statistically analyzed. A progressive increase in CDK4 and Cyclin D1 H-scores was observed from ESN to LG-ESS and HG-ESS ($p < 0.001$). Hormonal receptor expression and diffuse CD10 staining decreased significantly with increasing tumor grade ($p < 0.001$). CDK4 and Cyclin D1 H-scores showed a strong inverse correlation with ER/PR expression and a positive correlation with Ki67 index. Disease recurrence occurred exclusively in sarcoma cases, predominantly in HG-ESS. High CDK4 (H-score >150) and Cyclin D1 (H-score >200) expression, negative or focal CD10 expression, ER/PR negativity, and Ki67 index >50% were significantly associated with reduced DFS. CDK4 and Cyclin D1 overexpression are associated with higher tumor grade, loss of hormonal receptor expression, increased proliferative activity, and poor disease-free survival in uterine stromal tumors. These markers may serve as potential indicators of tumor aggressiveness and could be integrated into diagnostic and prognostic assessment protocols.

Keywords: Uterine stromal tumors, endometrial stromal sarcoma, CDK4, Cyclin D1, hormonal receptors, Ki67, CD10

ავტორთა შესახებ ინფორმაცია:
ლალი ბარბაქაძე - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის PhD სტუდენტი;
Lali Barbakadze – Phd Student at Tbilisi State Medical Universiy,
E-Mail: l.barbakadze@tsmu.edu

ნიკოლოზ კინტრაია - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის პროფესორი; მეანობა-გინეკოლოგიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი;
Nikoloz Kintraia - Professor at Tbilisi State Medical University;
E-Mail: kintraia@hotmail.com

გიორგი ბურკაძე - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის პროფესორი, მოლეკულური პათოლოგიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი;
George Burkadze - Professor at Tbilisi State Medical University, Head of the Department of Molecular pathology;
E-mail: burkadze@yahoo.com g.burkadze@tsmu.edu
Phone Number: 599578833
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5028-4537

შოთა კეპულაძე - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ექიმი პათოლოგანატომი; მედიცინის დოქტორი;
Shota Kepuladze – Phd Student at Tbilisi State Medical Universiy, MD, Clinical Pathologist;
E-mail: shota.kepuladze@gmail.com
Phone Number: +995 598297600
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5919-5581

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.06



სისხლძარღვთა რემოდელირების თავისებურებები საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზიისა და ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომის შემთხვევებში: ციფრულ პათოლოგიაზე დაფუძნებული მორფომეტრული და იმუნოჰისტოქიმიური ანალიზი

გიორგი გოგიტიძე; შოთა კეპულაძე; გიორგიბურკაძე;

თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი

ანგიოგენეზი სიმსივნის პროგრესირების მნიშვნელოვანი კომპონენტია, მაგრამ მისი როლი საშვილოსნოს ყელის კიბოსწინარე დაზიანებებში ჯერ კიდევ არ არის კარგად შესწავლილი. საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზია (CIN) 1-დან CIN3-მდე წარმოადგენს ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომის (SCC) განვითარების ჰისტოლოგიურ თანმიმდევრობას, რომელიც ძირითადად გამოწვეულია თანმხლები მაღალი რისკის ადამიანის პაპილომავირუსის (HPV) ინფექციით. ეს კვლევა შეისწავლის სისხლძარღვთა რემოდელირებას CIN-ის სპექტრსა და SCC-ის შემთხვევებში მორფომეტრული და იმუნოჰისტოქიმიური (IHC) ტექნოლოგიის გამოყენებით. საარქივო ნიმუშები ამოღებულია თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ლაბორატორიიდან. კლინიკური მონაცემები მოიცავდა პაციენტის ასაკს, HPV სტატუსს და მენსტრუალურ სტატუსს. ჩატარდა IHC CD34-ისთვის. ციფრული პათოლოგიის ანალიზმა MoticEasyScan-ის, QuPath-ისა და ImageJ-ის გამოყენებით შეაფასა მიკროსისხლძარღვების სიმკვრივე (MVD), სისხლმილთა დიამეტრი, სისხლძარღვთა ორიენტაცია, პერივასკულარული ლოკალიზაცია, ანთება და ფიბროზი. CD34-ზე დაფუძნებული MVD თანდათან გაიზარდა ნორმალური საშვილოსნოს ყელიდან (90 სისხლმილი/მმ²) ინვაზიურ SCC-მდე (250 სისხლმილი/მმ²). სისხლმილის დიამეტრი გაიზარდა ნორმალურ ქსოვილის 4მკმ-დან 20მკმ-მდე CIN3-ში. სისხლძარღვთა ყველა მახასიათებელმა აჩვენა ძლიერი დადებითი კორელაცია CIN სიმძიმესთან (Spearman $\rho > 0.89$; $p < 0.01$). კრუსკალ-ვალის ტესტმა დაადასტურა მნიშვნელოვანი განსხვავებები ჯგუფებს შორის ($p < 0.01$ MVD-სთვის, დიამეტრი). ეს კვლევა ხაზს უსვამს სისხლძარღვთა პროგრესირებად რემოდელირებას, როგორც CIN-ის პროგრესირებისა და ინვაზიურ კარცინომაზე გადასვლის ძირითად მახასიათებელს. კომბინირებული მორფომეტრიული და IHC ანალიზი ავლენს ადრეულ ცვლილებებს საშვილოსნოს ყელის სტრომის მიკროვასკულატურაში, რაც გავლენას ახდენს ადრეულ დიაგნოსტირებაზე.

საკვანძო სიტყვები: საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზია, ანგიოგენეზი, CD34, ციფრული პათოლოგია, მიკროსისხლძარღვთა სიმკვრივე, HPV, ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომა, იმუნოჰისტოქიმია;

მიმოხილვა

საშვილოსნოს ყელის კიბო რჩება საზოგადოებრივი ჯანდაცვის მნიშვნელოვან გამოწვევად მთელი მსოფლიოს მასშტაბით. იგი მეოთხე ყველაზე გავრცელებული ავთვისებიანი სიმსივნეა ქალთა პოპულაციაში[1], [2]. კიბოს გლობალური სტატისტიკის მიხედვით (GLOBOCAN 2020), 600,000-ზე მეტი ახალი შემთხვევა და 340,000-ზე მეტი ლეტალური გამოსავალი გამოწვეულია საშვილოსნოს ყელის კიბოს შემთხვევებით, არაპროპორციულად მოქმედებს დაბალი და საშუალო შემოსავლის მქონე ქვეყნებზე. საშვილოსნოს ყელის კიბოს პათოგენეზი მჭიდროდ არის დაკავშირებული მაღალი რისკის მქონე ადამიანის პაპილომავირუსის (HPV) ტიპის მუდმივ ინფექციასთან, განსაკუთრებით HPV-16 და HPV-18, რომლებიც მონაწილეობენ ინვაზიური შემთხვევების 70%-ზე მეტის პათოგენეზში[3].

საშვილოსნოს ყელის კიბოს განვითარება, როგორც წესი, მიჰყვება კარგად დახასიათებულ ჰისტოპათოლოგიურ თანმიმდევრობას, დაწყებული საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზიიდან (CIN)[4]. CIN კლასიფიცირდება სამ ხარისხად, ეპითელიუმის დაზიანების პროპორციის მიხედვით, რომელიც ავლენს დისპლაზიურ ცვლილებებს: CIN1 (მსუბუქი დისპლაზია), CIN2 (ზომიერი დისპლაზია) და CIN3 (მძიმე დისპლაზია ან კარცინომა in situ). ეს კლასიფიკაცია არა მხოლოდ განსაზღვრავს კლინიკურ მენეჯმენტს, არამედ ასახავს ბიოლოგიურ პროგრესს ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომისკენ (SCC). CIN1 დაზიანებები ხშირად სპონტანურად რეგრესირდება, მაშინ როცა CIN2 და CIN3 პროგრესირების მნიშვნელოვნად მაღალი რისკი აქვთ, განსაკუთრებით მაღალი რისკის HPV გენოტიპების არსებობისას[5].

მაღალი რისკის HPV-ის ონკოგენური პოტენციალი მდგომარეობს ვირუსული ონკოპროტეინების E6 და E7 მოქმედებაში, რომლებიც ახდენენ სიმსივნის სუპრესორული ცილების p53 და რეტინობლასტომის (Rb) ინაქტივაციას[6], [7]. ეს იწვევს უჯრედული ციკლის კონტროლის დარღვევას, აპოპტოზის დაქვეითებას, გენომიურ არასტაბილურობას და გაძლიერებულ პროლიფერაციულ სიგნალიზაციას. თუმცა, ეპითელური დისრეგულაციის მიღმა, მზარდი ყურადღება მიექცა სტრომული მიკროგარემოს როლს, განსაკუთრებით ანგიოგენეზს, ინტრაეპითელური ნეოპლაზიიდან ინვაზიურ დაავადებაზე გადასვლაში[8].

ანგიოგენეზი, ახალი სისხლძარღვების წარმოქმნა უკვე არსებული სისხლძარღვებიდან, კიბოს დამახასიათებელი ნიშანია. ის უზრუნველყოფს სიმსივნური უჯრედების საკვები ნივთიერებებითა და ჟანგბადით მომარაგებას და ხელს უწყობს ნარჩენების მოცილებას. საშვილოსნოს ყელში, ანგიოგენეზი არა მხოლოდ ინვაზიური კარცინომის დამახასიათებელია, არამედ უფრო მეტად აღიარებულია, როგორც ადრეული მოვლენა CIN პროგრესირებაში[9]. კვლევებმა აჩვენა, რომ CIN1 დაზიანებებსაც კი შეუძლიათ აჩვენონ მიკროსისხლძარღვთა სიმკვრივის (MVD) მომატებული მაჩვენებელი, უფრო გამოხატული სისხლძარღვოვანი ცვლილებები შეინიშნება CIN2-3-ში. ეს ცვლილებები მოიცავს გაფართოებულ კაპილარებს, სისხლძარღვთა განშტოების გაზრდას და პერივასკულარულ კლასტერირებას დისპლაზიური ეპითელიუმის მახლობლად.

ენდოთელური მარკერები, როგორიცაა CD34 და CD31, ჩვეულებრივ გამოიყენება იმუნოჰისტოქიმიაში (IHC) MVD და სისხლძარღვთა მორფოლოგიის შესაფასებლად. CD34, ტრანსმემბრანული გლიკოპროტეინი, რომელიც ექსპრესირებულია ენდოთელური პროგენიტორულ უჯრედებზე, არის განსაკუთრებით მგრძნობიარე მარკერი მცირე და უმწიფარი სისხლმილების გამოსავლენად. CD31 (PECAM-1), თუმცა ნაკლებად მგრძნობიარეა, მაგრამ ადასტურებს ენდოთელიუმის იდენტობას და ხშირად გამოიყენება შედარებითი ანალიზისთვის. გარდა ამისა, სისხლძარღვთა ენდოთელური ზრდის ფაქტორი (VEGF) არის ცენტრალური პრო-ანგიოგენური ციტოკინი, რომლის ექსპრესია დაკავშირებულია დაზიანების ხარისხთან და MVD-სთან საშვილოსნოს ყელის ნეოპლაზიაში. VEGF რეგულირდება HPV E6/E7-ით და კიდევ უფრო ძლიერდება ჰიპოქსიით, ანთებითი შუამავლებით და მატრიქსის რემოდელირებით[10].

წინა კვლევებმა აჩვენა, რომ VEGF-ის გადაჭარბებული ექსპრესია დაკავშირებულია CIN-ის უფრო მაღალ ხარისხთან და ცუდ პროგნოზთან საშვილოსნოს ყელის კარცინომის დროს, და რომ ანტიანგიოგენურ აგენტებს, როგორიცაა ბევაციზუმაბი, შეუძლიათ კლინიკური სარგებელი მისცენ საშვილოსნოს ყელის კიბოს მკურნალობის დროს. მიუხედავად ამ შეხედულებებისა, ნაკლები კვლევა არის ფოკუსირებული სისხლძარღვთა მორფომეტრიულ და სივრცულ რეორგანიზაციაზე CIN პროგრესირების დროს, განსაკუთრებით ეპითელურ-სტრომულ ინტერფეისზე, სადაც იწყება ნეოპლაზიური ინვაზია[11].

საშვილოსნოს ყელის ეპითელიუმს მჭიდროდ უჭერს მხარს სტრომული კომპონენტი, რომელიც შედგება ფიბრობლასტების, იმუნური უჯრედების, კოლაგენის მატრიქსისა და მიკროსისხლძარღვებისგან. ნეოპლაზიური ტრანსფორმაციის დროს ეს სტრომული არქიტექტურა განიცდის რემოდელირებას. ერთ-ერთი თვალსაჩინო მახასიათებელია მიკროსისხლძარღვების პერივასკულარული ლოკალიზაციის ზრდა დისპლაზიური ეპითელიუმის ბაზალური შრის მახლობლად, ხშირად ბაზალურის მემბრანიდან 50 მკმ-ის ფარგლებში. ითვლება, რომ ეს სიახლოვე ხელს უწყობს ეპითელურ-ენდოთელური სიგნალის გადაცემას და, შესაძლოა, ნეოვასკულარულ პროლიფერაციას, რომეიც ასევე გამოწვეულია სტრომული VEGF და ანთებითი ციტოკინებით[12], [13].

გარდა ამისა, სტრომული სისხლძარღვების ორიენტაცია - ჩვეულებრივ ბაზალური მემბრანის პარალელურად - იცვლება მაღალი ხარისხის დაზიანებებსა და ინვაზიურ სიმსივნეებში. სისხლმილების პერპენდიკულარული და ქაოტური განლაგება შეიძლება ასახავდეს ბაზალური მემბრანის დესტაბილიზაციას, ფიბრობლასტების გააქტიურებას ან ეპითელურ-მეზენქიმურ გადასვლას (EMT), თუმცა ეს მოსაზრებები ჯერ კიდევ რჩება აქტიური შესწავლის პროცესში[13].

ანგიოგენეზის ტრადიციული ჰისტოლოგიური შეფასება შემოიფარგლება დამკვირვებელთა სუბიექტურობით და ცვალებადობით. ციფრული პათოლოგიის ბოლოდროინდელმა მიღწევებმა, მათ შორის მთლიანი სლაიდების სკანირებამ და გამოსახულების ანალიზის პლატფორმებმა (მაგ., QuPath, ImageJ), საშუალება მოგვცა ამ პროცესების მეტად ობიექტურად შეფასების[14].

ციფრული ალგორითმები საშუალებას გვაძლევს ზუსტად განსაზღვროთ: მიკროსისხლძარღვების სიმკვრივე (სისხლმილი/მმ²); სისხლმილის დიამეტრი (მკმ);

სისხლძარღვთა ორიენტაცია (კუთხე ეპითელიუმთან მიმართებით); პერივასკულარული ლოკალიზაცია.

ციფრული ხელსაწყოების გამოყენებით, მორფომეტრიული გაზომვები ახლა შეიძლება დავაკავშიროთ კლინიკურ და მოლეკულურ მონაცემებთან სტატისტიკური ანალიზისათვის. ჩვენი კვლევა მიზნად ისახავს შეისწავლოს სისხლძარღვთა არქიტექტურისა და ანგიოგენური აქტივობის დეტალური თავისებურებები, ციფრული ანალიზის დახმარებით CIN სპექტრის მასშტაბით და საშვილოსნოს ყელის ინვაზიური კარცინომის შემთხვევებში. CD34-ის ექსპრესიის შეფასებით, მორფომეტრულ პარამეტრებთან ერთად, როგორიცაა MVD, სისხლმილის დიამეტრი, ორიენტაცია და პერივასკულური კლასტერირება.

მასალა და მეთოდები

კვლევა წარმოადგენს რეტროსპექტულ კოჰორტულ კვლევას, რომელიც ჩატარდა თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის (თსსუ) პათოლოგიის სასწავლო, სამეცნიერო და დიაგნოსტიკური ლაბორატორიის ბაზაზე. კვლევა მოიცავდა საშვილოსნოს ყელის დაზიანებათა საარქივო ნიმუშებს, რომლებიც დამუშავებული იყო 2017-დან 2025 წლებში. ყველა პროცედურა ჩატარდა ეთიკური პრინციპებისა და ჰელსინკის დეკლარაციის შესაბამისად. კვლევა მხარდაჭერილია თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ეთიკის კომისიის მიერ.

შერჩეული იყო შემთხვევები, რომელიც მოიცავდა საშვილოსნოს ყელის ნეოპლაზიური პროგრესირების ჰისტოპათოლოგიურ სპექტრს: საშვილოსნოს ყელის ნორმალური ქსოვილი, საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზია (CIN) 1, 2 და 3 ხარისხის და ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომა (SCC). კლინიკური მონაცემები აღებული იქნა სამედიცინო ჩანაწერებიდან და მოიცავდა: პაციენტის ასაკი, HPV სტატუსი (დადებითი ან უარყოფითი), მენსტრუალური მდგომარეობა (პრემენოპაუზური, პოსტმენოპაუზური). ჰისტოპათოლოგიური დიაგნოზი ეფუძნებოდა ბიოფსიის ან კონიზაციის ნიმუშებს.

ყველა H&E შეღებილი ანათალი პირველადად განხილული იყო ორი დამოუკიდებელი პათანატომის მიერ ჰისტოლოგიური დიაგნოზის დასადასტურებლად და სტრომული ცვლილებების შესაფასებლად. შემდეგი პარამეტრები შეფასდა ნახევრად რაოდენობრივად:

ანთება : 0 = არ არის; 1 = მსუბუქი (გაფანტული ანთებითი უჯრედები); 2 = ზომიერი; 3 = მძიმე (ლიმფოიდური ფოლიკულები ან პლაზმური უჯრედების აგრეგატები);

ფიბროზი: 0 = არ არის; 1 = მსუბუქი (სტრომის მინიმალური ფიბროზი); 2 = ზომიერი (ინტერსტიციული კოლაგენიზაცია); 3 = მაღალი (მკვრივი, ფიბროზული სტრომა);

ყველა შეღებილი ანათალი დასკანირებული იყო MoticEasyScan მთლიანი სლაიდების სკანერის გამოყენებით (Motic Medical Diagnostic Systems Co., Ltd., ჩინეთი) 40 × გადიდებით. ციფრული სლაიდები გაანალიზდა QuPath (ვერსია 0.5) და ImageJ (NIH) პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. მორფომეტრიული გაზომვები აღებული იყო სამ ,,ცხელ წერტილში'' თითო შემთხვევისთვის, შეირჩა რეგიონები მიკროსისხლძარღვების ყველაზე მაღალი სიმკვრივით.

სერიული ანათლები (3-4 μm) მომზადდა ფორმალინით დაფიქსირებული, პარაფინით ჩაყალიბებული (FFPE) ბლოკებისგან დეპარაფინიზაციისა და რეჰიდრატაციის შემდეგ, ანტიგენის აღდგენა განხორციელდა ციტრატის ბუფერის გამოყენებით (pH 6.0).

გამოყენებული იქნა შემდეგი ანტისხეული: CD34 (კლონი QBEnd/10, Leica Biosystems) – პან-ენდოთელური მარკერი.

იმუნოჰისტოქიმიური ანალიზი ჩატარდა Leica BOND-MAX ავტომატურ შეღებვაზე Bond Polymer Refine Detection Kit-ის გამოყენებით (Leica Biosystems).

რაოდენობრივი და ნახევრად რაოდენობრივი ანალიზი

1. სისხლმილების სიმკვრივე (MVD)

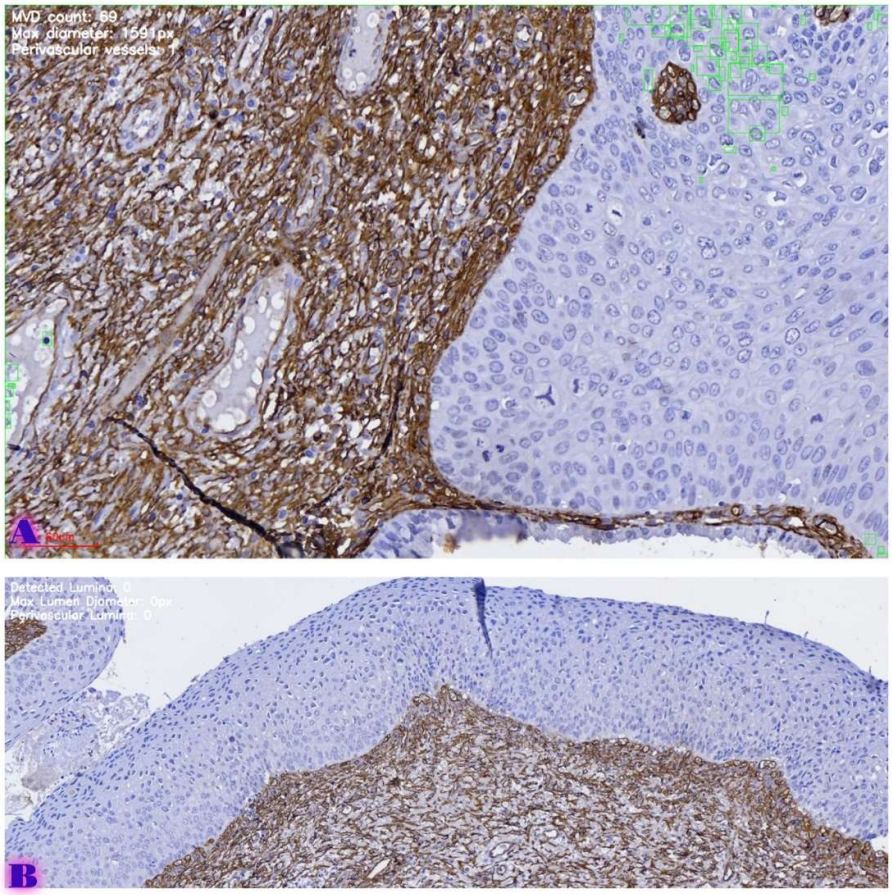
თითოეულ შემთხვევაში ×200 გადიდებით CD34-დადებითი ენდოთელური სტრუქტურები დათვლილი იყო სამ ცხელ წერტილში. MVD მაჩვენებლად განისაზღვრა სისხლმილების საშუალო რაოდენობა მმ²-ზე.

2. სისხლმილის დიამეტრი

თითოეული CD34-დადებითი სისხლმილის მაქსიმალური დიამეტრი გაზომილი იყო მიკრომეტრებში (მკმ) მის ყველაზე განიერ წერტილში ImageJ-ის გამოყენებით. დაფიქსირდა საშუალო დიამეტრი თითო შემთხვევაზე.

3. სისხლძარღვთა ორიენტაცია

QuPath-ის გამოყენებით, თითოეული სისხლმილის კუთხე გაზომილი იყო ეპითელურ-სტრომულ ღერძთან მიმართებაში. ორიენტაცია დაყოფილი იყო შემდეგნაირად: პარალელური (0°–30°); ირიბი (31°–60°); პერპენდიკულარული (>60°); დეზორგანიზებული/ქაოტური (ორგანიზებული განლაგების დაკარგვა).



სურათი 2: *A.QuPathის ალგორითმით შეფასებული სისხლმილთა სანათურის მაქსიმალური დიამეტრი და სისხლმილთა განაწილება IHC, 400X CIN3; B. QuPathის ალგორითმით შეფასებული*

სისხლმილთა სანათურის მაქსიმალური დიამეტრი და სისხლმილთა განაწილება IHC, 400X CIN3/Carcinoma in situ;

სტატისტიკური ანალიზი

მონაცემები გაანალიზებულია SPSS ვერსიის 26.0 (IBM Corp.) გამოყენებით. აღწერითი სტატისტიკა (საშუალო, SD, დიაპაზონი) გამოითვლებოდა ყველა რაოდენობრივი პარამეტრისთვის. ჰისტოპათოლოგიურ დიაგნოზსა და სისხლძარღვთა მახასიათებლებს შორის კავშირი შეფასდა: კრუსკალ-ვალის ტესტით მრავალჯერადი ჯგუფის შედარებისთვის; Spearman-ის კორელაცია უწყვეტი ცვლადი ასოციაციებისთვის; p-მნიშვნელობა <0.05 ჩაითვალა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი. გრაფიკები შეიქმნა GraphPad Prism-ისა და SPSS-ის გამოყენებით.

შედეგები

კლინიკური და ჰისტოლოგიური მახასიათებლები: სულ რეტროსპექტულად შესწავლილი იქნა 45 საშვილოსნოს ყელის სხვადასხვა ნოზოლოგიათა ქსოვილის, რომელიც მოიცავდა ხუთ დიაგნოსტიკურ კატეგორიას: ნორმალური საშვილოსნოს ყელი (n = 9), CIN1 (n = 9), CIN2 (n = 9), CIN3 (n = 9) და ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომა (SCC) (n = 9).

პაციენტების ასაკი მერყეობდა 28-დან 62 წლამდე, საშუალო ასაკის პროგრესული ზრდით ჯგუფებში: 30.0 წელი CIN1-ში, 34.0 წელი CIN2-ში, 45.3 წელი CIN3-ში და 53.3 წელი ინვაზიური SCC-ში. ნორმალური საშვილოსნოს ყელის ჯგუფში საშუალო ასაკი იყო 41,7 წელი.

რაც შეეხება მენსტრუალურ სტატუსს, ყველა პაციენტი CIN1 და CIN2 იყო პრემენოპაუზური. ამის საპირისპიროდ, CIN3 და SCC ჯგუფები მოიცავდა პოსტმენოპაუზის ქალების უმრავლესობას (თითოეულ ჯგუფში 9 შემთხვევიდან 6). ნორმალური საშვილოსნოს ყელის ჯგუფი მოიცავდა როგორც პრე- ასევე პოსტმენოპაუზურ შემთხვევებს.

CIN3 და ინვაზიური SCC-ის ყველა შემთხვევა იყო HPV-დადებითი, ხოლო HPV უარყოფითი იყო ყველა CIN1 და ნორმალური საშვილოსნოს ყელის შემთხვევაში. CIN2 ჯგუფში HPV პოზიტიურობა დაფიქსირდა 9 შემთხვევიდან 3-ში (33%).

ყველა ნორმალური საშვილოსნოს ყელის და CIN1 ნიმუში იქნა მიღებული ბიოფსიით, ხოლო CIN3 და SCC შემთხვევების უმეტესობა დიაგნოზირებული იყო კონიზაციის ნიმუშებიდან. CIN2 მოიცავდა ორივე ტიპის მასალებს ბიოფსიას (n = 6) და კონიზაციას (n = 3).

სისხლძარღვთა რემოდელირება გაანალიზდა იმუნოჰისტოქიმიის ტექნოლოგიის გამოყენებით CD34 ანტისხეულის გამოყენებით. ფოკუსირებული იყო სამ ძირითად პარამეტრზე: მიკროსისხლძარღვთა სიმკვრივე (MVD), სისხლმილთა დიამეტრი და პერივასკულარული ლოკალიზაცია. აღწერილობითი სტატისტიკა საკვლევი ჯგუფების მიხედვით შეჯამებულია ქვემოთ (ცხრილი1):

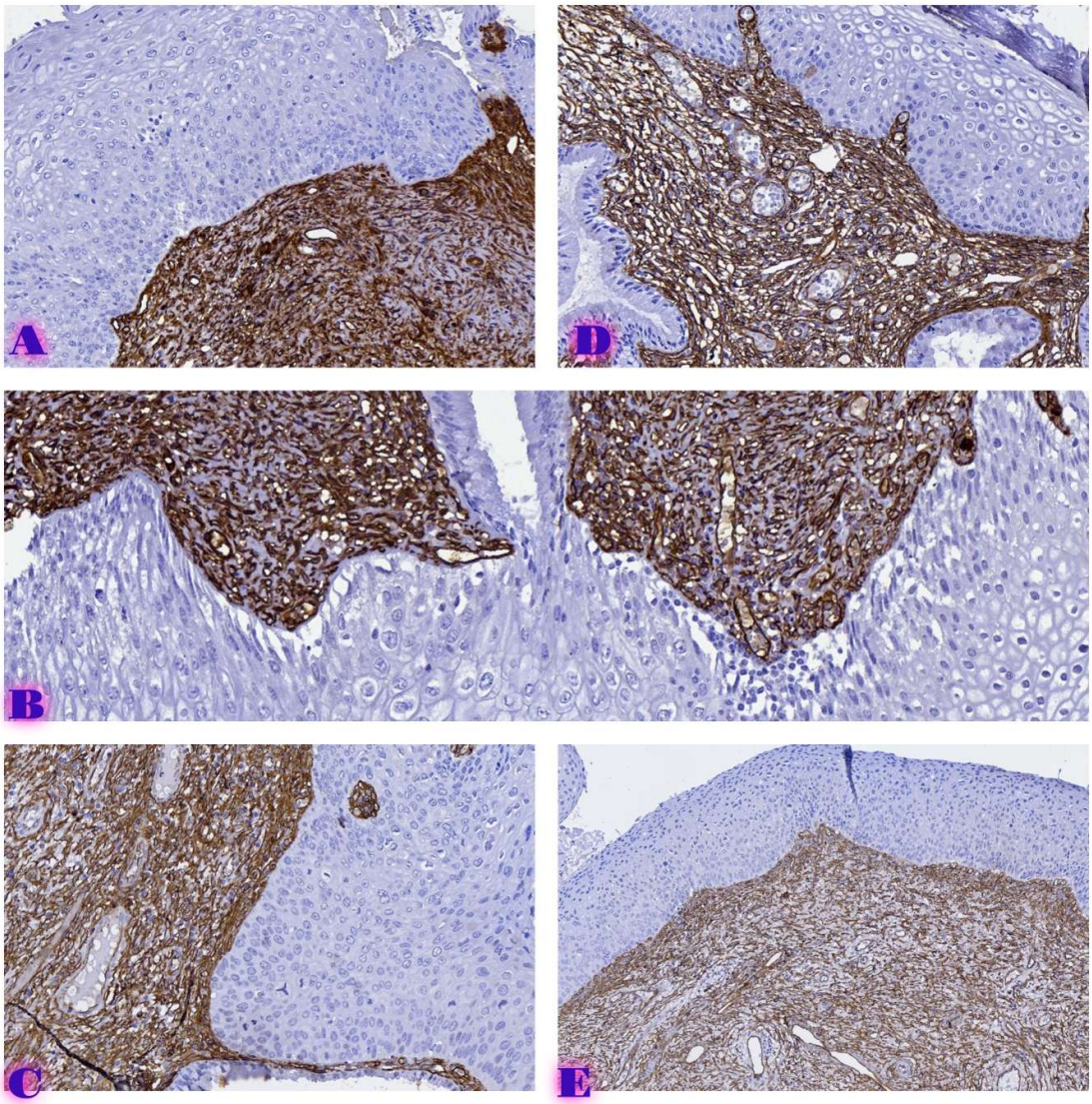
არაპარამეტრულმა ანალიზმა კრუსკალ-ვალის ტესტის გამოყენებით დაადასტურა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი განსხვავებები ყველა სისხლძარღვთა პარამეტრში ხუთი დიაგნოსტიკური კატეგორიის მიხედვით. კონკრეტულად, CD34-ით შეფასებული მიკროსისხლძარღვების სიმკვრივე (MVD) მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდა ჯგუფებს შორის ($p = 1.51 \times 10\text{-}7$). ანალოგიურად, სისხლმილის დიამეტრი და პერივასკულარული განაწილება

ასევე მნიშვნელოვნად იცვლებოდა ჰისტოლოგიურ სპექტრში, p მნიშვნელობებით 1.85 × 10-8 და 1.90 × 10-8, შესაბამისად.

დიაგნოზი	MVD (საშუალო ± SD)	სისხლმილთა დიამეტრი (μm, mean ± SD)	ვასკულური განაწილება (mean ± SD)
საკონტროლო ჯგუფი	90.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
CIN1	113.3 ± 2.5	10.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0
CIN2	130.0 ± 0.0	11.3 ± 0.5	2.0 ± 0.0
CIN3	181.7 ± 58.1	16.7 ± 2.5	2.7 ± 0.5
ინვაზიური SCC	248.3 ± 6.6	19.3 ± 2.0	3.0 ± 0.0

ცხრილი 1: აღწერილობითი სტატისტიკა საკვლევ ჯგუფებში სისხლმილთა განაწილების სიმკვრივის, სისხლმითა დიამეტრისა და პერივასკულური ლოკალიზაციის შეფასებით.

დაზიანების სიმძიმესა და სისხლძარღვთა რემოდელირებას შორის კავშირის შემდგომი შესაფასებლად ჩატარდა სპირმანის რანგის კორელაციის ანალიზი. რომელმაც გამოავლინა ძლიერი დადებითი კორელაცია დაზიანების ჰისტოლოგიურ ხარისხსა და MVD-ს ($\rho = 0.89$, $p < 0.01$), სისხლმილის დიამეტრს ($\rho = 0.97$, $p < 0.01$) და პერივასკულარულ ქულას ($\rho = 0.97$, $p < 0.01$) შორის. ეს დასკვნები ერთობლივად აჩვენებს, რომ დაზიანების სიმძიმის ხარისხის გაზრდა მჭიდროდ არის დაკავშირებული სისხლძარღვების რაოდენობასთან და მორფოლოგიურ კომპლექსურობასთან.

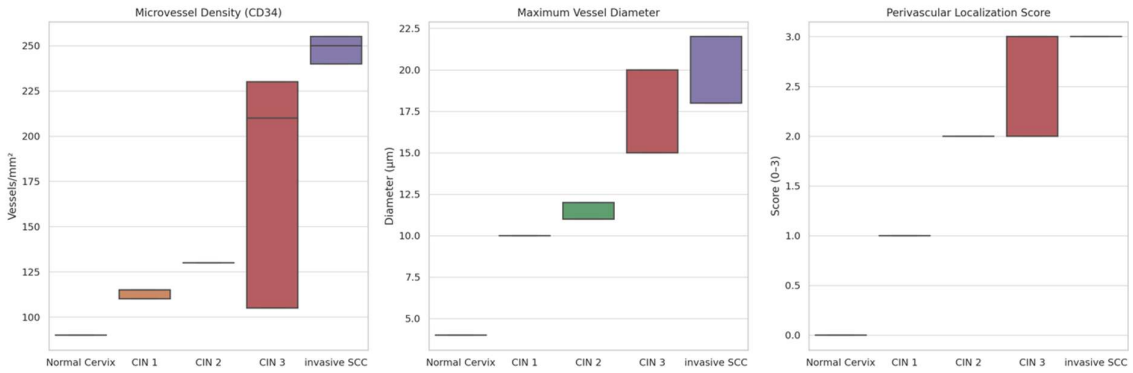


***სურათი 3**. A. CD34-ის ექსპრესია CIN3 ის საკვებ ჯგუფში 200X IHC; B. CD34-ის ექსპრესია CIN2 ის საკვლევ ჯგუფში 400X IHC; C. CD34-ის მაღალი ხარისხის ექსპრესია CIN3 ის საკვლევ ჯგუფში 200X IHC; D. CD34-ის მაღალი ხარისხის ექსპრესია და სისხლმილთა დიზორგანიზაცია CIN2 ის საკვლევ ჯგუფში 200X IHC; E. CD34-ის ექსპრესია CIN3ის საკვლევ ჯგუფში carcinoma in situ-ს თანაარსებობით 200X IHC;*

სისხლძარღვთა ორიენტაციისა და სივრცითი განაწილების ხარისხობრივი ცვლილებები ასევე შეინიშნებოდა ნორმალურ საშვილოსნოს ყელსა და CIN1-ში. სტრომული სისხლძარღვები აღინიშნებოდა მცირე ზომის, ერთგვაროვანი და, როგორც წესი, პარალელური იყო ეპითელური-სტრომული შეერთების, ინარჩუნებდა მოწესრიგებულ სისხლძარღვთა არქიტექტურას. CIN2 დაზიანებების დროს გამოვლინდა დეზორგანიზაციის ადრეული ნიშნები, სისხლძარღვები აჩვენებდნენ არარეგულარულ ორიენტაციას, დიამეტრის ზომიერ ზრდას და საწყისი პერივასკულარული კლასტერირებას ბაზალური მემბრანის მახლობლად. პროგრესირებას CIN3-მდე და ინვაზიურ ბრტყელუჯრედოვან კარცინომამდე თან ახლდა გამოხატული სისხლძარღვთა განაწილების დარღვევა, აღინიშნებოდა ქაოტური სისხლძარღვთა განაწილება, სისხლძარღვები მდებარეობდა ეპითელიუმის

პერპენდიკულარულად ან დახრილად, აღინიშნებოდა სანათურის გაფართოება და მკვრივი კლასტერირება დისპლაზიის უბნების ქვეშ.

ეს სივრცითი და არქიტექტურული დიზორგანიზაცია, სავარაუდოდ, ასახავს აქტიურ ანგიოგენურ პროცესს სტრომული მიკროგარემოს ფარგლებში მატრიქსის რემოდელირებასთან და ეპითელურ-სტრომული კავშირების დაკარგვასთან ერთად. ასეთმა ცვლილებებმა შეიძლება ხელი შეუწყოს მეტაბოლური პროცესების გაზრდას, ეპითელურ-მეზენქიმურ ურთიერთქმედებებს და, შესაძლოა, სიმსივნის შეჭრის ადრეულ მექანიზმებს.



დიაგრამა 5: *მიკროვასკულატურის სიმკვრივის, სისხლმილთა დიამეტრისა და პერივასკულური განლაგების განაწილება საკვლევ ჯგუფებში;*

განსჯა

ჩვენი კვლევა ხაზს უსვამს სისხლძარღვთა რემოდელირების თავისებურებებს საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელიურ ნეოპლაზიასა და ინვაზიურ კარცინომაში, რომელიც რაოდენობრივად განსაზღვრულია იმუნოჰისტოქიმიისა და ციფრული მორფომეტრიული ხელსაწყოების მეშვეობით.

MVD-ის, სისხლმილთა დიამეტრისა და ვასკულარული ლოკალიზაციის მნიშვნელოვანი ზრდა დაფიქსირდა საკვლევ ჯგუფებს შორის ნორმალური ეპითელიუმიდან ინვაზიურ SCC-მდე. ეს ცვლილებები იყო სტატისტიკურად სარწმუნო რაც მხარს უჭერდა ჰიპოთეზას, რომ ანგიოგენეზი არ არის მხოლოდ ინვაზიური კიბოს მახასიათებელი, არამედ თანდათანობით ჩნდება დისპლაზიური ტრანსფორმაციის დროს.

მნიშვნელოვანია, რომ ციფრული პათოლოგიის მიდგომა არა მხოლოდ უზრუნველყოფდა ობიექტურ შეფასებას, არამედ საშუალებას გვაძლევდა სისხლმილების მორფოლოგიის ვიზუალიზაციას. ჩვენი კვლევის შედეგები ემთხვევა წინა კვლევებს, რომლებიც ვარაუდობენ, რომ სტრომული რეპროგრამირება წინ უსწრებს ეპითელიუმის ინვაზიურ მდგომარეობამდე გადასვლას და პერივასკულარული განაწილების კორელაცია CIN ხარისხთან შეიძლება დაეხმაროს კლინიცისტებს უფრო მაღალი ავთვისებიანი პოტენციალის CIN2/3 მქონე დაზიანებების იდენტიფიცირებაში.

დასკვნა

ჩვენი კვლევა აჩვენებს, რომ სისხლძარღვთა რემოდელირება არის საშვილოსნოს ყელის ნეოპლაზიური ტრანსფორმაციის პროგრესული და რაოდენობრივი მახასიათებელი. CD34 იმუნოჰისტოქიმიის გამოყენებით ციფრულ პათოლოგიასთან ერთად, ჩვენ გამოვავლინეთ მიკროსისხლძარღვების სიმკვრივის, სისხლმილის დიამეტრის და პერივასკულარული სივრცითი განაწილების მნიშვნელოვანი ზრდა ნორმალური საშვილოსნოს ყელიდან CIN1-CIN3-მდე და ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომამდე განვითარებაში.

ეს სისხლძარღვთა ცვლილებები ძლიერ კორელაციაშია ჰისტოლოგიურ დაზიანებათა სიმძიმესთან და განსაკუთრებით გამოხატულია მაღალი ხარისხის დაზიანებებში, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ ანგიოგენეზი იწყება დისპლაზიის დასაწყისში და ძლიერდება პროგრესირებისას. ჩვენი კვლევის შედეგები ხაზს უსვამს ციფრული მორფომეტრიული ანალიზის მნიშვნელობას საშვილოსნოს ყელის პათოლოგიაში და მხარს უჭერს სისხლძარღვთა მახასიათებლების პოტენციურ პრედიქტურ როლს, როგორც დიაგნოსტიკური ასევე პროგნოზული თვალსაზრისით. მომავალი კვლევები, რომლებიც მოიცავს მიკროგარემოს იმუნურ და ნერვულ კომპონენტებს, არსებითი იქნება საშვილოსნოს ყელის კარცინოგენეზში სისხლძარღვთა-სტრომული თავისებურებებისა და მისი კლინიკური სარგებლობის სრულად გამოსავლენად.

გამოყენებული ლიტერატურა

[1] T. Svanadze, S. Kepuladze, N. Tevzadze, and G. Burkadze, “ASSESSMENT OF PROLIFERATIVE ACTIVITY OF DIFFERENT TYPES OF SQUAMOUS CELL METAPLASIA OF THE CERVIX USING AgNor TECHNOLOGY,” ქართველი მეცნიერები, vol. 5, no. 2, pp. 275–287, Jun. 2023, doi: 10.52340/gs.2023.05.02.35.

[2] A. Alrajjal, V. Pansare, M. S. R. Choudhury, M. Y. A. Khan, and V. B. Shidham, “Squamous intraepithelial lesions (SIL: LSIL, HSIL, ASCUS, ASC-H, LSIL-H) of Uterine Cervix and Bethesda System,” Cytojournal, vol. 18, p. 16, 2021, doi: 10.25259/CYTOJOURNAL_24_2021.

[3] A. Harsh, R. Tondon, H. K. Harsh, and E. Professor, “Utility of AgNOR Count in Non-Neoplastic and Neoplastic Lesions of the Uterine Cervix,” Original Research Article, vol. 198, no. 1, pp. 198–201, 2018, doi: 10.21276/ijmrp.2018.4.1.039.

[4] B. Boilly, S. Faulkner, P. Jobling, and H. Hondermarck, “Nerve Dependence: From Regeneration to Cancer,” Cancer Cell, vol. 31, no. 3, pp. 342–354, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.CCELL.2017.02.005.

[5] S. A. Hong, S. H. Yoo, J. Choi, S. J. Robboy, and K.-R. Kim, “A Review and Update on Papillary Immature Metaplasia of the Uterine Cervix: A Distinct Subset of Low-Grade Squamous Intraepithelial Lesion, Proposing a Possible Cell of Origin.,” Arch Pathol Lab Med, vol. 142, no. 8, pp. 973–981, Aug. 2018, doi: 10.5858/arpa.2017-0267-OA.

[6] S. Faulkner, P. Jobling, B. March, C. C. Jiang, and H. Hondermarck, “Tumor neurobiology and the war of nerves in cancer,” Cancer Discov, vol. 9, no. 6, pp. 702–710, Jun. 2019, doi: 10.1158/2159-8290.CD-18-1398.

[7] მიმოხილვაკრიტიკული, გოგიტიძეგიორგი, კეპულაძეშოთა, თევზაძენინო, and ბურკაძეგიორგი, “The Role of the Local Neural microenvironment in the Progression of cervical intraepithelial Neoplasia,” Georgian Scientists, vol. 5, no. 3, pp. 182–188, Sep. 2023, doi: 10.52340/2023.05.03.19.

[8] H. K. Mehdi, K. Raju, and S. R. Sheela, “Association of P16, Ki-67, and CD44 expression in high-grade squamous intraepithelial neoplasia and squamous cell carcinoma of the cervix,” J Cancer Res Ther, vol. 19, no. Supplement, pp. S260–S267, Apr. 2023, doi: 10.4103/JCRT.JCRT_43_21.

[9] C. Magnon et al., “Autonomic nerve development contributes to prostate cancer progression,” Science (1979), vol. 341, no. 6142, 2013, doi: 10.1126/SCIENCE.1236361.

[10] M. Arese, F. Bussolino, M. Pergolizzi, L. Bizzozero, and D. Pascal, “Tumor progression: the neuronal input,” Ann Transl Med, vol. 6, no. 5, pp. 89–89, Mar. 2018, doi: 10.21037/ATM.2018.01.01.

[11] S. Gillespie and M. Monje, “The Neural Regulation of Cancer,” Annu Rev Cancer Biol, vol. 4, pp. 371–390, Mar. 2020, doi: 10.1146/ANNUREV-CANCERBIO-030419-033349.

[12] L. Gao, H. Bo, Y. Wang, J. Zhang, and M. Zhu, “Neurotrophic factor Artemin promotes invasiveness and neurotrophic function of pancreatic Adenocarcinoma in vivo and in vitro,” Pancreas, vol. 44, no. 1, pp. 134–143, Jan. 2015, doi: 10.1097/MPA.0000000000000223.

[13] C. T. Lucido et al., “Innervation of cervical carcinoma is mediated by cancer-derived exosomes,” Gynecol Oncol, vol. 154, no. 1, pp. 228–235, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.YGYNO.2019.04.651.

[14] J. Bründl, S. Schneider, F. Weber, F. Zeman, W. F. Wieland, and R. Ganzer, “Computerized quantification and planimetry of prostatic capsular nerves in relation to adjacent prostate cancer foci,” Eur Urol, vol. 65, no. 4, pp. 802–808, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.EURURO.2013.04.043.

Vascular Remodeling Across the Spectrum of Cervical Intraepithelial Neoplasia and Squamous Cell Carcinoma: A Digital Pathology-Based Morphometric and Immunohistochemical Analysis

Abstract

Angiogenesis is a critical component of tumour progression, yet its role in precancerous lesions of the cervix remains underexplored. Cervical intraepithelial neoplasia (CIN) grades 1 to 3 represent a histological continuum toward invasive squamous cell carcinoma (SCC), primarily driven by persistent high-risk human papillomavirus (HPV) infection. This study investigates vascular remodelling across the CIN spectrum and SCC using morphometric and immunohistochemical (IHC) approaches.

Methods: Archival cervical tissue samples (n=5; normal cervix, CIN1–CIN3, invasive SCC) were retrieved from the Tbilisi State Medical University laboratory. Clinical data included patient age, HPV status, and menstrual status. IHC for CD34 and CD31 was performed. Digital pathology analysis using Motic EasyScan, QuPath, and ImageJ assessed microvessel density (MVD), vessel diameter, vascular orientation, perivascular localisation, inflammation, and fibrosis.

Results: CD34-based MVD increased progressively from the normal cervix (90 vessels/mm²) to invasive SCC (250 vessels/mm²). Vessel diameter expanded from 4 μm in normal tissue to 20 μm in CIN3. Vascular orientation shifted from parallel to chaotic. Perivascular clustering and VEGF expression also intensified with lesion grade. All vascular features showed a strong positive correlation with CIN severity (Spearman $\rho > 0.89$; $p < 0.01$). Kruskal-Wallis testing confirmed significant differences across groups ($p < 0.01$ for MVD, diameter).

This study highlights progressive vascular remodelling as a key feature of CIN advancement and transition to invasive carcinoma. Combined morphometric and IHC analysis reveals early and measurable changes in the cervical stromal microvasculature, with implications for early diagnosis, biomarker development, and therapeutic targeting of angiogenesis in cervical neoplasia.

Keywords: Cervical intraepithelial neoplasia, angiogenesis, CD34, digital pathology, microvessel density, HPV, vascular orientation, squamous cell carcinoma, immunohistochemistry

ავტორთა შესახებ ინფორმაცია

გიორგი გოგიტიძე - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის დოქტორანტი; გინეკოლოგი

George Gogitidze – PhD student at Tbilisi State Medical university, Gynecologist

შოთა კეპულაძე - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ექიმი პათოლოგანატომი; მედიცინის აკადემიური დოქტორი;

Shota Kepuladze –Tbilisi State Medical University, MD, Clinical Pathologist; PhD in Oncology/Pathology;

E-mail: shota.kepuladze@gmail.com

Phone Number: +995 598297600

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5919-5581

გიორგი ბურკაძე - თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის პროფესორი, მოლეკულური პათოლოგიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი;

George Burkadze - Professor at Tbilisi State Medical University, Head of the Department of Molecular Pathology;

E-mail: burkadze@yahoo.com; g.burkadze@tsmu.edu

Phone Number: 599578833

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5028-4537

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.07



Artificial Intelligence in Pharmaceutical Services and the Concept of Pharmaco-Intelligence

Nana Shashiashvili [1,2]

Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, [1]Georgian Technical University, Department of Pharmacy; [2]Tbilisi State Medical University, Department of Social and Clinical Pharmacy

Abstract

Pharmaceutical intelligence, or the application of artificial intelligence (AI) in pharmacy systems, represents one of the most promising technological advancements, significantly transforming and optimizing pharmaceutical practices. AI technologies enhance the accuracy of medication distribution, inventory management, and patient safety. Among these benefits, AI's role in improving drug safety is particularly crucial, as it aids in analyzing interactions between medications taken by patients, thereby preventing adverse reactions. Furthermore, the use of AI supports the automation of medication distribution processes, leading to operational optimization and increased efficiency. AI also facilitates the analysis of "big data," enabling pharmacists to make more precise predictions and decisions, ultimately improving patient care and outcomes. While the integration of AI in healthcare presents challenges such as privacy concerns and high implementation costs, its potential in effectively managing complex situations and refining treatment processes far outweighs these obstacles. Research indicates that proper integration of AI into pharmacy systems will not only enhance operational processes but also improve patient safety and treatment results, requiring the assurance of trust and regulatory compliance.

Keywords: Artificial intelligence, Medicine, Pharmacointelligence, Pharmacy.

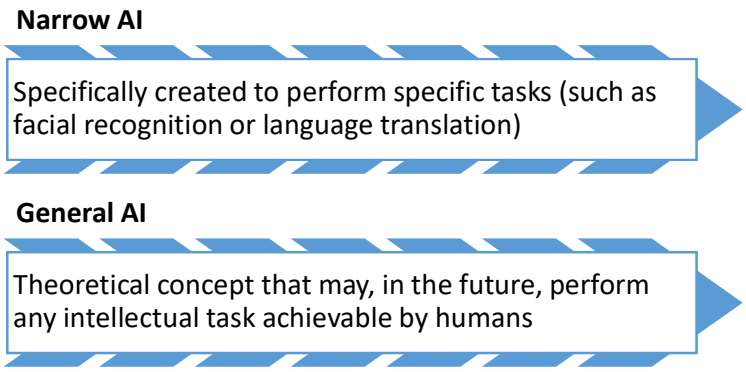
Relevance and Importance of the Topic

The integration of computing technologies into the pharmacy sector began in the 1980s. Since then, computers have become essential tools for data collection, retail sales management, clinical research, medication storage, education, the development of clinical pharmacy, and many other areas. The development of artificial intelligence (AI) has ushered in a new era of transformation for pharmacy practice, with its future potential still uncertain. Existing experiences demonstrate that expert systems based on AI are successfully used in clinical medicine for diagnostic purposes, while newer programs

are focused specifically on managing drug therapies. These systems assist pharmacists in evaluating drug interactions, monitoring treatment, and selecting the appropriate medication formulations. Today, AI has numerous applications that can significantly enhance pharmaceutical practices. Pharmacists should explore these opportunities as pharmaco-intelligence is increasingly becoming an integral part of real-world practice.

According to the Oxford English Dictionary, artificial intelligence refers to the capability of computers and machines to exhibit or simulate intellectual behavior. It encompasses programs designed to perform tasks typically requiring human intelligence and extract conclusions from large data sets, often through machine learning techniques.

AI is commonly divided into two categories:



Additionally, Natural Language Processing (NLP) allows systems to understand and respond to human language, while large language models (LLMs), like ChatGPT, are already used for text generation and analysis. While many modern digital systems claim to be "AI-based," some are merely rule-based algorithms and do not truly employ artificial intelligence. Such cases are often referred to as instances of "algorithmic misperception."

Artificial intelligence offers significant benefits to pharmaceutical practice at both clinical and administrative levels. AI can optimize drug release processes, improve therapy safety, reduce errors, enhance patient monitoring, and accelerate decision-making. Given these capabilities, it is essential for the pharmaceutical community to prepare for the effective integration of AI technologies across education, practice, and policy [1].

Research Objective

1. To analyze the potential and challenges of integrating artificial intelligence (AI) into pharmacy practice, in order to determine its role in enhancing the safe and effective use of medications.

2. To investigate the principles of AI system integration, examining their impact on professional workflows, drug safety, and ethical considerations.

3. To develop general recommendations that will promote the effective and ethical application of AI technologies in pharmacy practice.

Methods

The study was conducted based on the analysis of existing literature, utilizing the following methods:

- Literature Review: The research draws upon scientific and professional literature, reports, and statistics related to the implementation of AI systems in healthcare and pharmacy practices. The analysis includes evaluations of various authors, organizations, and studies concerning the development and use of AI technologies in the pharmacy sector.

- Documentary Analysis: Important documents and institutional policies regarding the use of AI systems in the pharmacy sector were examined, alongside a review of standards related to the implementation and regulation of these technologies.

- Creative Analysis: The primary trends in the use of AI technologies impacting various aspects of pharmacy practice, such as medication management, patient monitoring, and risk assessment, were identified and analyzed.

Results

Healthcare systems are actively transitioning to a care model centered around the community and collaborative approaches, replacing the traditional hospital-based care. In this transitional phase, pharmacists can make significant contributions to improving patient safety and enhancing the effectiveness of pharmacotherapy, particularly during patient transitions from hospital to community settings. Today, community pharmacies widely use "robotic dispensing systems" that automate workflows for dispensing prescribed medications. These systems consist of three key components:

1. An automatic dispensing robot operated by pharmacy staff;
2. A robot specialized for dispensing powdered medications;
3. A barcode-based dispensing assistant system integrated with a personal digital assistant.

Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) technologies are increasingly being utilized in pharmaceutical practice to personalize services. For instance, ML algorithms effectively and quickly personalize email communication, improving interactions with patients. Chatbots are deployed to enhance service delivery efficiency by simulating interactions between patients and pharmacists. These systems can automatically respond to simple queries and complaints, while more complex issues are forwarded to human staff. A notable example is Walgreens' partnership with a telehealth company, which resulted in a video chat platform enabling patients to remotely connect with healthcare professionals. AI is also beneficial in inventory management, allowing pharmacists to predict future medication needs, ensuring timely stock replenishment, and sending personalized reminders to patients to refill prescriptions. One AI company developed a system for German online and catalog retail that accurately forecasts sales for the next 30 days with 95% precision. This implementation has significantly reduced supply chain delays, with products being delivered to customers in just one or

two days without being stored in inventory. At the University of California, San Francisco (UCSF) Medical Center, robotic technology is successfully used in medication preparation and dosage. According to UCSF, robots have already prepared 3.5 million doses of medication without errors. This robotic system surpasses human capabilities in both precise medication dosing and accurate drug delivery, preparing both oral and injectable medications, including chemotherapy drugs. The robots distribute medications into individually barcoded containers, each containing all the medications a patient requires for a 12-hour period.

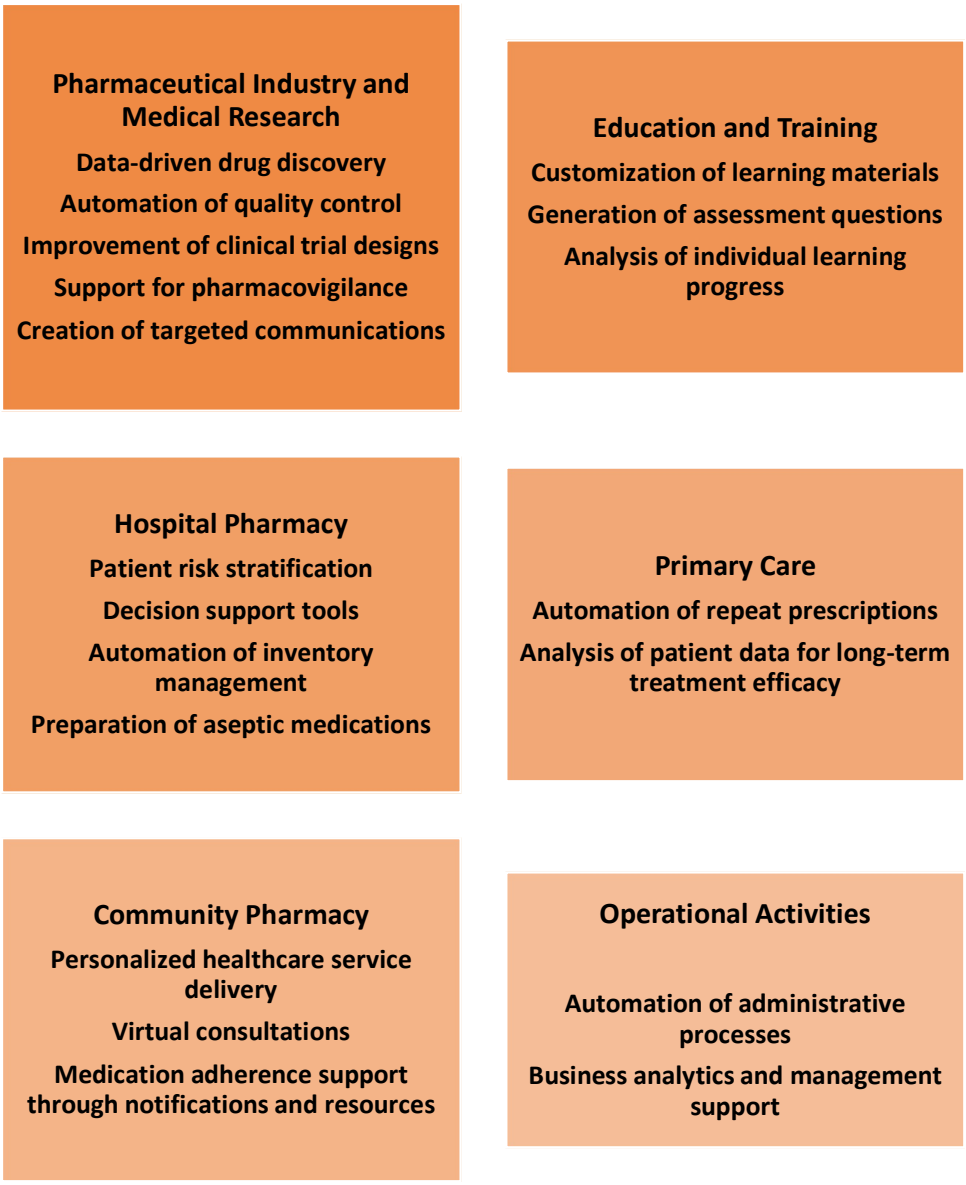
Thus, the concept of "Pharmaco-Intelligence" can be introduced — the integration of artificial intelligence, machine learning, and similar advanced technologies into pharmacy practice to enhance patient care and safety. Successful integration of these technologies requires their inclusion in pharmacy education programs. Pharmacists and all stakeholders must engage in continuous learning about technological innovations to ensure the profession is prepared for a rapidly evolving landscape [2].

Pharmaco-intelligence represents the convergence of AI technologies and pharmaceutical expertise, providing a scientific foundation for optimizing drug therapy in alignment with evidence-based practice. By harnessing large-scale healthcare data, machine learning algorithms, and clinical decision support tools, pharmaco-intelligence enables pharmacists and healthcare providers to make informed, timely, and patient-centered therapeutic decisions. This approach strengthens the evidence-based pharmacy model by incorporating real-time analytics, predictive modeling, and personalized risk assessments, which are essential in today's complex and fast-paced clinical environments. As a result, pharmaco-intelligence not only enhances medication safety and efficacy but also promotes more efficient use of healthcare resources, aligning innovation with the core values of scientific rigor and patient care [3].

Professional perspectives published in England, Scotland, and Wales have clearly shown that AI integration can significantly improve patient access to pharmaceutical services, enhance their satisfaction and experience, support clinical decision-making, and strengthen the safety and efficiency of the medication supply chain. Over the past five years, AI's capabilities have rapidly expanded in both clinical and operational fields, with a significant increase in related academic research, public discourse, and opinions. Today, AI is widely used in everyday life, from our smartphones to smart devices. Its application in medical imaging diagnosis is well-established, as evidenced by studies from the Royal College of Radiologists. However, it is important to note that the growing expectations for the technology are accompanied by concerns about potential risks. Therefore, pharmacists and their teams must develop an understanding of AI's capabilities and limitations to support its sensible integration into pharmacy practice. While there is occasional fear that AI may replace human workers, in reality, the technology has the potential to improve workflows and free up pharmacists' time for more patient-centered care. AI does not replace humans — it expands and enhances their abilities. According to a study by the Healthcare Foundation, there is some public skepticism: 53% of people believe AI will distance them from healthcare professionals, and 65% of NHS staff think that the patient connection will weaken. This suggests that the development and implementation of AI must remain human-centered and serve the goal of improving the quality of care.

A research team from University College London Hospitals, led by Dr. Laura Shalkross, is developing an AI system named SamurAI, designed to monitor and optimize the use of antibiotics. This system relies on electronic health records, patients' historical data, and expert recommendations to identify patients in need of clinical review or dosage adjustments for antibiotics.

Potential Applications of AI in Pharmaceutical Practice:



AI Sciensus processes prescriptions from NHS hospitals through various channels, utilizing AI to scan and match prescriptions with patient records. This process reduces the need for human intervention, enhances accuracy, and strengthens patient safety. While AI is still in the early stages of adoption in pharmaceutical practice, the development of policies, education, and collaboration is crucial to maximize its potential for the benefit of both pharmacists and patients. Although many countries' pharmacy regulations have not yet addressed the effects of AI, this technology offers revolutionary opportunities in medication management, improving patient outcomes, and simplifying

pharmacy operations. As AI evolves, it brings both new opportunities and risks. Regulators and stakeholders must carefully assess the implications of this emerging technology.

Pharmacists have evolved from a traditional role focused solely on dispensing medications to becoming integral members of healthcare teams responsible for ensuring the safe and effective use of medications, optimizing patient outcomes, and enhancing the quality of care. They also provide vital education to patients on drug interactions and contraindications, essential for proper medication use. AI is rapidly transforming not only the pharmacy sector but also the entire healthcare industry. Its potential in pharmacy lies in improving medication management and personalized patient care. With the integration of AI-based technologies, pharmacists will be able to make more precise and effective decisions, enabling them to deliver more tailored care to patients [4].

AI is revolutionizing pharmacy practice by introducing advanced capabilities that enhance efficiency, accuracy, and patient care. Through the analysis of large datasets, prediction of trends, and the autonomous execution of complex processes, AI enables pharmacies to meet modern healthcare demands. This innovative technology is setting the stage for advancements in inventory management, automated dispensing, and decision support, ultimately driving the transformation of the pharmaceutical landscape.

1. **Inventory Management:** AI-driven solutions are radically transforming pharmacy inventory management by ensuring real-time stock adjustments to match demand, minimizing inefficiencies and waste.

- **Accurate Forecasting:**
- Machine learning algorithms analyze extensive data sets, including sales history, seasonal trends, and market fluctuations, to predict inventory needs with high accuracy. This precision prevents overstocking and expiration issues, ensuring medication availability.

- **Accurate Forecasting:**
- Machine learning algorithms analyze extensive data sets, including sales history, seasonal trends, and market fluctuations, to predict inventory needs with high accuracy. This precision prevents overstocking and expiration issues, ensuring medication availability.

- **Automation of Reordering:**
- AI integrates with supply chain systems to automate the reordering process, reducing manual intervention. By processing real-time inventory data, these systems identify low stock levels and place orders promptly to prevent shortages and improve operational efficiency.

2. **Automated Dispensing**: The integration of AI and robotics into medication dispensing is revolutionizing pharmacy workflows, ensuring maximum accuracy and efficiency.

•**Prescription Filling Accuracy:**

•AI-powered automated dispensing systems significantly increase accuracy when processing high volumes of prescriptions. These systems reduce human error, ensuring patients receive the correct medications and dosages.

•**Handling Increased Demand:**

•Hospitals and medical institutions benefit from AI-enhanced dispensing systems, effectively managing large volumes of prescriptions. These systems streamline workflows by reducing delays and ensuring timely medication delivery.

•**Freeing Pharmacists' Time:**

•With AI automating routine dispensing tasks, pharmacists can redirect their time to patient-focused activities such as consultations and medication reviews, ultimately improving the quality of service provided to patients.

3. **Enhanced Decision Support:** AI is becoming an indispensable tool in clinical decision-making, assisting pharmacists in navigating complex patient care scenarios with greater accuracy and confidence [4,5,6].

Patient Data Analysis:

AI systems process large amounts of patient information, including medical histories, allergies, and current medications, to identify drug-drug interactions and recommend dosage adjustments. This real-time analysis enhances medication safety and reduces the risk of adverse effects .

AI holds immense potential in revolutionizing pharmacy practice worldwide. This research examines pharmacists' perceptions of AI's role in pharmacy practice, their willingness to adopt it, and the barriers to its implementation in public pharmacies in Ethiopia.

A cross-sectional study conducted by community pharmacists in Ethiopia aimed to examine their perceptions and readiness to integrate artificial intelligence (AI) into pharmacy practice. Data collection was achieved through a self-administered questionnaire, and statistical analysis included independent samples t-tests, one-way ANOVA, and post-hoc analyses. Linear regression analysis was performed to investigate the associations between pharmacists' perceptions and their willingness to use AI, in relation to factors such as education level, professional experience, exposure to AI technologies, and knowledge of AI. A statistically significant result was considered at $p<0.05$. Of the 241 pharmacists surveyed, 225 (93.3%) completed the study. The findings revealed that almost two-thirds (67.1% and 66.2%) of pharmacists working in community pharmacies expressed interest in using AI applications, particularly in the group with high perceptions and willingness to adopt AI. Notably, pharmacists with a bachelor's degree or higher, those using scientific drug information resources, and those with more perceived knowledge of AI were more inclined to utilize the technology. Major barriers identified included lack of internet access (89.3%), insufficient software and hardware for AI applications (88.2%), and limited training opportunities (80.9%). However, pharmacists also noted that improved internet access (93.3%), clear policies and frameworks (91.6%), and accessible research and educational

resources (89.3%) were key factors for successful AI integration. Despite pharmacists' positive perceptions and readiness, the adoption of AI in public pharmacies may be hindered by resource constraints, inadequate training, and infrastructure issues. Therefore, supportive policies, institutional frameworks, enhanced training, and practical support during the implementation process are essential for successful AI adoption [7].

Pharmaco-intelligence, as an AI-driven approach within pharmaceutical services, not only strengthens evidence-based pharmacy but also provides valuable tools for **pharmacoeconomic analysis** and the **economic evaluation of the pharmacist's role.** By generating real-time data on medication use, clinical outcomes, and resource utilization, pharmaco-intelligence enables more precise assessments of the cost-effectiveness and impact of pharmacists' interventions. This is particularly important when applying various types of pharmacoeconomic analyses—such as cost-effectiveness, cost-utility, and cost-benefit evaluations—to demonstrate the clinical and economic value of pharmacy services. Ultimately, integrating pharmaco-intelligence supports a more data-informed and outcome-oriented framework, where the pharmacist’s contribution to patient care can be quantified, justified, and continuously optimized [8].

Considering experiences from various countries, the role of AI in pharmacies remains highly significant. Its application shows promise in medication management, inventory optimization, and improving patient safety. AI systems analyze medical and pharmaceutical data, promoting efficiency, accuracy, error detection, and the prevention of medication-related harm. Looking ahead, AI could have an even greater impact as its use expands in community pharmacies. AI may assist pharmacists in addressing drug interactions and potential side effects. Algorithms processing large patient datasets could help manage treatment processes more effectively, ultimately improving patient health outcomes. Training and resources must be prioritized to elevate pharmacists' qualifications, laying the foundation for broader AI use in pharmacies, which will ultimately enhance healthcare outcomes [9,10,11].

Integrating AI into pharmacy practice offers potential benefits, such as ensuring safe and effective medication use, improving operational efficiency, and achieving better patient outcomes. However, this process involves certain challenges that require attention from professional, ethical, legal, and technical perspectives. A global approach is necessary to ensure that AI use not only simplifies processes but also maintains safety and quality standards. The following recommendations outline key strategies and directions for effectively integrating AI into pharmacy practice globally:



Implementing these recommendations will help advance pharmacy practice, where AI becomes a valuable tool for ensuring safe and effective medication use, improving operational efficiency, and achieving better health outcomes for patients.

Conclusion

The integration of artificial intelligence (AI) into pharmacy practice presents both innovative opportunities and certain challenges. AI technologies have the potential to streamline pharmaceutical

processes, enhance operational efficiency, and contribute to better patient care. However, the adoption and effective implementation of these technologies continue to face significant barriers, including high costs, regulatory concerns, and issues related to trust.

Despite these challenges, the potential of AI systems to improve data analysis and forecasting greatly enhances the effectiveness of its applications. The use of "big data" through AI can support pharmacists in making more informed decisions, particularly in improving medication safety. However, for full integration of these technologies, increased investment in financial resources and training will be required.

It is crucial that issues related to trust, confidentiality, and security remain central to the attention of all stakeholders during both the adoption and usage phases of AI. In conclusion, while AI has the potential to transform pharmacy practice, realizing its full benefits will necessitate further regulatory development, comprehensive training, and the incorporation of technological advancements, all of which will optimize its potential and improve patient outcomes.

REFERENCES:

1. Raza MA, Aziz S, Noreen M, Saeed A, Anjum I, Ahmed M, Raza SM. Artificial Intelligence (AI) in Pharmacy: An Overview of Innovations. Innov Pharm. 2022 Dec 12;13(2):10.24926/iip.v13i2.4839. doi: 10.24926/iip.v13i2.4839. PMID: 36654703; PMCID: PMC9836757.
2. Chalasani SH, Syed J, Ramesh M, Patil V, Pramod Kumar TM. Artificial intelligence in the field of pharmacy practice: A literature review. Explor Res Clin Soc Pharm. 2023 Oct 21; 12:100346. doi: 10.1016/j.rcsop.2023.100346. PMID: 37885437; PMCID: PMC10598710.
3. Shashiashvili, N. Evidence-Based Pharmacy: A Scientific Approach to Safe and Effective Medication. Georgian Scientists. Vol.7 Issue 2, 2025. p. 27-38. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.03
4. Singh, N.; Kumar, S.; Prabhu, K.; Shukla, A.; Yadav, A. A review on: Artificial intelligence in pharma. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 2024, *84*, 6.
5. Stasevych, M.; Zvarych, V. Innovative robotic technologies and artificial intelligence in pharmacy and medicine: Paving the way for the future of health care—A review. *Big Data Cogn. Comput.* 2023, *7*, 147.
6. Allam, H. (2025). Prescribing the Future: The Role of Artificial Intelligence in Pharmacy. *Information*, *16*(2), 131. https://doi.org/10.3390/info16020131
7. Ashenafi Kibret Sendekie, Liknaw Workie Limenh, Biruk Beletew Abate, Gashaw Sisay Chanie, Abebe Tarekegn Kassaw, Fasil Bayafers Tamene, Kalab Yigermal Gete, Ephrem Mebratu Dagnew,
8. Shashiashvili, N. (2024). Types of Pharmacoeconomic Analysis and Economic Evaluation of the Pharmacist's Role. Journal Economics 106(11-12):34-37. DOI: 10.36962/ECS106/11-12/2024-34
9. Artificial intelligence in community pharmacy practice: Pharmacists' perceptions, willingness to utilize, and barriers to implementation, Exploratory Research in Clinical and Social Pharmacy, Volume 16, 2024, 100542, ISSN 2667-2766, https://doi.org/10.1016/j.rcsop.2024.100542.
10. Raza, M.A.; Aziz, S.; Noreen, M.; Saeed, A.; Anjum, I.; Ahmed, M.; Raza, S.M. Artificial intelligence (AI) in pharmacy: An overview of innovations. *Innov. Pharm.* 2022, *13*.

11. Oswalt, R.; Candidate, P. The Role of Artificial Intelligence in Pharmacy Practice. 2023. Available online: https://www.pharmacytimes.com/view/the-role-of-artificial-intelligence-in-pharmacy-practice (accessed on 6 January 2025).
12. Chin, M.; Afsar-Manesh, N.; Bierman, A.; Chang, C.; Colón-Rodríguez, C.; Dullabh, P.; Duran, D.; Fair, M.; Hernandez-Boussard, T.; Hightower, M. Guiding Principles to Address the Impact of Algorithm Bias on Racial and Ethnic Disparities in Health and Health Care. *JAMA Netw Open* 2023, *6*, e2345050.

ხელოვნური ინტელექტი სააფთიაქო სერვისებში და ფარმაკოინტელექტის კონცეფცია

ნანა შაშიაშვილი[1,2]

ფარმაცევტულ მეცნიერებათა დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი [1]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ფარმაციის დეპარტამენტი, [2]თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, სოციალური და კლინიკური ფარმაციის დეპარტამენტი

აბსტრაქტი

ფარმაკოინტელექტის, ანუ ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენება სააფთიაქო სისტემებში წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე პერსპექტიულ ტექნოლოგიურ ინოვაციას, რომელიც მნიშვნელოვნად ცვლის ფარმაცევტულ პრაქტიკას და ახდენს მის ოპტიმიზაციას. AI ტექნოლოგიები შესაძლებლობას იძლევა გაუმჯობესდეს მედიკამენტების განაწილების სიზუსტე, ინვენტარის მართვა და პაციენტთა უსაფრთხოება. ამ მხრივ, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია AI-ის პოტენციალი მედიკამენტების უსაფრთხოების მიმართულებით. ხელოვნური ინტელექტი გამოიყენება პაციენტების მიერ მიღებული მედიკამენტების ანალიზში, რაც ხელს უწყობს გვერდითი მოვლენების თავიდან აცილებას. მნიშვნელოვანია AI -ს როლი წამლის განაწილების პროცესების ავტომატიზაციაში, რაც ზრდის ოპტიმიზაციას და ოპერაციულ ეფექტურობას. ამავდროულად, ხელს უწყობს "დიდი მონაცემების" ანალიზს და საშუალებას იძლევა უფრო ზუსტი პროგნოზები და გადაწყვეტილებები იქნეს მიღებული ფარმაცევტების მიერ, რაც, საბოლოო ჯამში, გააუმჯობესებს პაციენტთა მკურნალობის შედეგებს. მიუხედავად აღნიშნულისა, ხელოვნური ინტელექტის დანერგვა ჯანდაცვის სფეროში ისეთ მნიშვნელოვან გამოწვევებს უკავშირდება, როგორიცაა კონფიდენციალურობის საკითხები და მაღალი ხარჯები. კვლევები აჩვენებს, რომ ხელოვნური ინტელექტის სწორი ინტეგრაცია სააფთიაქო სისტემებში მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს როგორც ოპერაციულ პროცესებს, ასევე პაციენტთა უსაფრთხოებასა და მკურნალობის შედეგებს. ამ პროგრესის რეალიზებისთვის აუცილებელია რეგულაციებთან შესაბამისობის უზრუნველყოფა და საზოგადოებრივი ნდობის გაძლიერება.

საკვანძო სიტყვები: აფთიაქი, ფარმაკოინტელექტი, წამალი, ხელოვნური ინტელექტი.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.08



ფარმაცევტული ბაზარი და სააფთიაქო მომსახურება: გამოწვევების და შესაძლებლობების ანალიზი გერმანული მოდელის მაგალითზე

ნანა შაშიაშვილი[1,2]; ნინო ბაქრაძე[3]

[1]ფარმაცევტულ მეცნიერებათა დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი, ფარმაციის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო [2]სოციალური და კლინიკური ფარმაციის დეპარტამენტი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, საქართველო; [3]სტუდენტი, საზოგადოებრივი ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ბრემენის უნივერსიტეტი, ბრემენი, გერმანია

აბსტრაქტი

ფარმაცევტების გამოცდილება და პროფესიული კომპეტენცია მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს პაციენტების ჯანმრთელობის მდგომარეობის გაუმჯობესებაზე. დარგის სპეციალისტები უზრუნველყოფენ მოსახლეობისთვის მედიკამენტების მოწოდების მარეგულირებელ მოთხოვნებთან შესაბამისობას. აფთიაქები მუდმივად ერგებიან სოციალური, დემოგრაფიული, მეცნიერულ-ტექნოლოგიური ცვლილებების ცვალებად დინამიკას, რაც საშუალებას აძლევს სისტემას ადაპტირდეს პაციენტების მრავალფეროვან საჭიროებებთან. საზოგადოების აქტიური ტრანსფორმაციის პროცესი მნიშვნელოვანი გამოწვევების წინაშე აყენებს ჯანდაცვის სექტორს. ცვლილებები, როგორიცაა ცხოვრების სტილის დიფერენციაცია, ურბანიზაციის ინტენსივობა, მოსახლეობის დაბერება აისახება ფარმაცევტული სერვისების მიწოდებაზეც. პარალელურად, მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების პროგრესი განაპირობებს რა ჯანდაცვის სისტემის ციფრულ ტრანსფორმაციას, ქმნის სტრატეგიული ადაპტაციის და განსხვავებული შესაძლებლობების აუცილებლობას. აფთიაქები და ზოგადად, ჯანდაცვის სისტემა ვალდებულია სწრაფად მოერგოს თანამედროვე გამოწვევებს და შეიმუშაოს ინოვაციური, პაციენტებზე ორიენტირებული, გაუმჯობესებული ხარისხის მომსახურება. გრძელვადიან პერსპექტივაში, ამ გზით იქნება შესაძლებელი სისტემის ეფექტურობის და მდგრადობის მიღწევა. მიმდინარე პროცესების ცვლილებების და გამოკვეთილი გამოწვევების ფონზე, მიზანშეწონილია საერთაშორისო საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითების გათვალისწინება ფარმაცევტული სექტორის ეფექტიანობის გასაუმჯობესებლად. სწორედ ამ მიზნით, სისტემის თავისებურებები შედარებულ იქნა გერმანიის მოდელთან, გამოიკვეთა გამოწვევები და შემუშავდა რეკომენდაციები ფარმაციის, როგორც დარგის განვითარების, ასევე მოსახლეობის მედიკამენტებით მკურნალობის ოპტიმიზაციისა და უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

საკვანძო სიტყვები: აფთიაქი, სამკურნალო საშუალება, პაციენტი, ფარმაცევტი.

შესავალი

ფარმაცევტები წამლის ექსპერტები არიან. ამ ძირითადი კომპეტენციიდან გამომდინარე, მათ მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ პაციენტების ჯანმრთელობაში, ასრულებენ მოსახლეობისთვის მედიკამენტების მიწოდების ნორმატიულ ვალდებულებას. საზოგადოებრივი აფთიაქების ყველა შეთავაზება და სერვისი ორიენტირებულია დემოგრაფიულ, სოციალურ და სამეცნიერო და ტექნიკურ განვითარებაზე და აქტიურად რეაგირებს პაციენტების საჭიროებების ტიპისა და მოცულობის ცვალებადობაზე. საზოგადოება ღრმა ტრანსფორმაციას განიცდის, რაც მნიშვნელოვან გამოწვევებს უქმნის ჯანდაცვის სისტემას. შესამჩნევია დემოგრაფიული ცვლილებები: იცვლება საზოგადოების ასაკობრივი სტრუქტურა; ადამიანების ცხოვრების წესი სულ უფრო დიფერენცირებული ხდება, იზრდება ურბანიზაცია. ნათელია მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების მუდმივ განვითარება, რაც იწვევს ცოდნის ზრდას და თან ახლავს ცხოვრების ყველა სფეროს გაციფრულება. ამ ტრანსფორმაციას უნდა მოერგოს ჯანდაცვის სისტემის სტრუქტურები და, შესაბამისად, საზოგადოებრივი აფთიაქებიც. მხოლოდ ამით არის შესაძლებელი პაციენტებზე მაღალი ხარისხით ზრუნვის უზრუნველყოფა გრძელვადიან პერსპექტივაში.

კვლევის მიზანი

ფარმაცევტული ბაზრისა და სააფთიაქო მომსახურების ძირითადი გამოწვევები და შესაძლებლობების ანალიზი გერმანული მოდელის მაგალითზე, რათა გამოვლინდეს მნიშვნელოვანი ასპექტები, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას სისტემური გაუმჯობესებისთვის საქართველოში.

ამოცანები

- ფარმაცევტული ბაზრის სტრუქტურისა და მარეგულირებელი მექანიზმების მიმოხილვა გერმანიასა და საქართველოში.
- სააფთიაქო მომსახურების ორგანიზაციული მოდელის აღწერა და მისი გავლენის შეფასება მედიკამენტებზე ხელმისაწვდომობასა და მომსახურების ხარისხზე;
- ძლიერი და სუსტი მხარეების იდენტიფიცირება;
- გამოწვევების ფორმულირება.

მეთოდოლოგია

გამოყენებულია სამეცნიერო ლიტერატურა, სტატისტიკური მონაცემები, მარეგულირებელი დოკუმენტები და ოფიციალური წყაროები, რაც უზრუნველყოფს თემის ღრმა და ობიექტურ გაანალიზებას.

შედეგები

აფთიაქებს აქვთ სამართლებრივი მანდატი, უზრუნველყონ მოსახლეობისთვის ფარმაცევტული პროდუქტის მიწოდება. მზა დოზირების ფორმების მიწოდების გარდა, ისინი ასრულებენ ისეთ მოვალეობებს, როგორიცაა ღამის და სასწრაფო დახმარების სერვისები და ინდივიდულური რეცეპტების საფუძველზე წამლის მომზადება. 18,461 აფთიაქი გერმანიის მოსახლეობს აწვდის ფარმაცევტულ საშუალებებს. პაციენტების მიერ აფთიაქისთვის მიმართვების რაოდენობა ყოველდღიურად საშუალოდ 3 მლნ-ია.

გერმანიაში ფარმაცევტად მუშაობისთვის საჭიროა 5-წლიანი საუნივერსიტეტო განათლება: 2-2 წელი საბაზო და ძირითადი სწავლება და 1 წელი პრაქტიკული სწავლება. თითოეული სასწავლო კურსი მთავრდება სახელმწიფო გამოცდით. წარმატებით დასრულების შემთხვევაში ფარმაცევტი იღებს ფარმაცევტული საქმიანობის ლიცენზიას, რაც წარმოადგენს პროფესიის განხორციელების წინაპირობა. ფარმაცევტებს, რომლებსაც აქვთ უცხოური ფარმაცევტული დიპლომი ან სერტიფიკატი, მუშაობის დაწყებამდე საჭიროა მისი აღიარება. აღიარებაზე პასუხისმგებელი ორგანო მდებარეობს ყველა ფედერალურ შტატში. პასუხისმგებელი ორგანო ამოწმებს კვალიფიკაციის ეკვივალენტურობის დონეს. ფარმაცევტები უნდა ფლობდნენ გერმანულ სასაუბრო და ტექნიკური ენას. მათ უნდა დაადასტურონ ტექნიკური ენის ცოდნა სამეტაპიან გამოცდაზე. ფარმაცევტთა თითქმის ყველა რეგიონულ პალატას სახელმწიფო ორგანოს მიერ დაევალა სპეციალიზებული ენის ექსპერტიზის ჩატარება.

ფარმაცევტის კვალიფიკაციის მინიმალური სტანდარტი საქართველოში ფარმაციის საბაკალავრო პროგრამაა, თუმცა, ავტორზებული აფთიაქებში პასუხისიგებელი ფარმაცევტისთვის მოთხოვნა მაგისტრის დიპლომია. უცხოური კვალიფიკაციის მქონე პირებისთვის ენის ცოდნის მოთხოვნები არ არსებობს.

გერმანიაში ფარმაცევტები არიან არა მხოლოდ ჯანდაცვის პროფესიების წარმომადგენლები, არამედ აფთიაქების მფლობელებიც, რაც იმას ნიშნავს, რომ ისინი ასევე არიან მეწარმეები, რომლებიც, შესაბამისად, ვალდებულნი არიან გადაიხადონ ბიზნესის გადასახადები. გერმანიაში ფარმაცევტებისთვის არსებობს დაფუძნების თავისუფლების პრინციპი, რომლის თანახმად, ფარმაცევტს შეუძლია აფთიაქის დაარსება ნებისმიერ ადგილას და ნებისმიერ დროს, იმ პირობით, რომ იგი დაიცავს კანონს. ეს ასევე ნიშნავს, რომ არცერთი ფარმაცევტი არ არის დაცული არასასურველი კონკურენციისგან. საქართველოსგან განსხვავებით, გერმანიაში აფთიაქის მფლობელი/ოპერატორი ყოველთვის უნდა იყოს ფარმაცევტი. გერმანიაში აკრძალულია რამდენიმე აფთიაქის საკუთრებაში ქონა, შესაბამისად სააფთიაქო ქსელები არ არსებობს, რითაც განსხვავება იკვეთება ქართული ფარმაცევტულ ბაზრისგან. გერმანიაში ფარმაცევტს შეუძლია, ძირითადი აფთიაქის გარდა, გააჩნდეს სამამდე ,,შვილობილი“ აფთიაქი ახლომდებარე ტერიტორიაზე. თითოეულ ამ ლოკაციაზე გამოყოფილი უნდა იყოს ფარმაცევტი-მენეჯერი. 2022 წლის დასაწყისში, 13,718 აფთიაქის მფლობელი იყო პასუხისმგებელი 18,461 ბიზნეს ლოკაციაზე. შვილობილი კომპანიები მზარდი ტემპით იხსნება. ზოგიერთ აფთიაქს მართავს რამდენიმე ფარმაცევტი, როგორც

საერთო პარტნიორობა. იჯარით აღებული აფთიაქები იქმნება გარდამავალ საფუძველზე, მაგალითად თუ მეპატრონე სიბერის გამო ვეღარ მართავს აფთიაქს [1,2].

აფთიაქების მფლობელობა საქართველოში შეზღუდული არ არის მხოლოდ ფარმაცევტებისთვის. არსებობს მსხვილი სააფთიაქო ქსელები, რომლებიც ბაზრის მნიშვნელოვან ნაწილს აკონტროლებენ.

გერმანიაში ნებადართულია ფარმაცევტული საშუალებების გაყიდვა ფოსტით. აფთიაქებს უნდა გააჩნდეთ სპეციალური საფოსტო შეკვეთების განსახორციელებლად ნებართვა. ჯანდაცვის ფედერალური სამინისტროს თანხმობით, ფოსტით ვაჭრობა ასევე დაშვებულია ევროპის რამდენიმე სხვა ქვეყნიდან.

საქართველოში მედიკამენტების ონლაინ გაყიდვა და ფოსტით მიწოდება აკრძალულია.

გერმანიაში რეცეპტით გაცემული ფარმაცევტული საშუალებების ფასები ერთიანია ქვეყნის მასშტაბით, რაც განსაზღვრულია მედიკამენტების ფასის შესახებ განკარგულებით. თუმცა, ყველა აფთიაქს შეუძლია დააწესოს თავისუფალი ფასი ურეცეპტოდ გასაცემ სამკურნალო საშუალებებზე. ფარმაცევტის მიერ რეცეპტით გაცემული მედიკამენტის კონსულტაციის საფასური რეგულირდება წამლის ფასის შესახებ განკარგულებით. ზოგადად, ეს არის ფიქსირებული გადასახადი 8,35 ევრო პაკეტზე. თითოეულ ფარმაცევტს შეუძლია გამოთვალოს საკუთარი მომსახურების ღირებულება ურეცეპტო ფარმაცევტულ საშუალებებზე.

ფასწარმოქმნის მექანიზმი საქართველოში განსხვავებულია – ძირითადად მოქმედებს საბაზრო კონკურენციის პრინციპი, თუმცა, გარკვეულ მედიკამენტებზე სახელმწიფო რეგულაციები მოქმედებს, მაგალითად, რეფერენტული ფასების მოდელი [3,4].

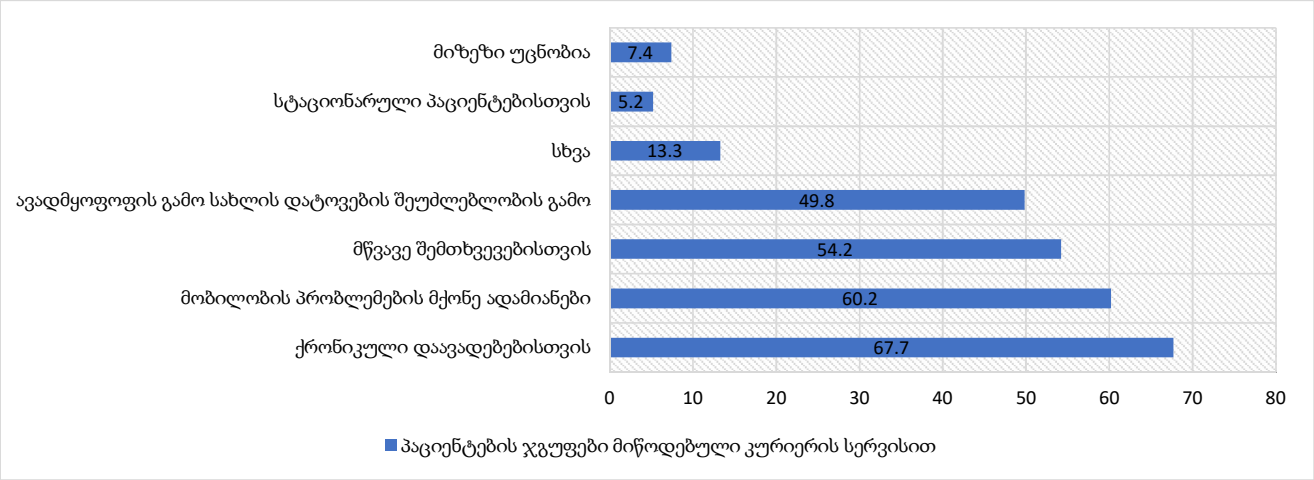
2022 წლის მანძილზე. გერმანულმა აფთიაქებმა ორი მნიშვნელოვანი ახალი სერვისი დანერგეს თავიანთი მომხმარებლებისთვის: ელექტრონული რეცეპტი (e-prescription), რომლითაც პაციენტებს აქვთ წვდომა არა მხოლოდ უშუალოდ, არამედ ონლაინ, ნებისმიერ დროს და ნებისმიერ მედიკამენტზე, და მომსახურება, რომლის მიხედვით აფთიაქებს შეუძლიათ შესთავაზონ პაციენტებს უფასო კონსულტაცია, განურჩევლად ინდივიდისა და რეცეპტისა (მაგ. ქრონიკულად დაავადებული პაციენტებისთვის, რჩევები პოლიფარმაციის შემთხვევების მართვისთვის).

ღამის და სასწრაფო დახმარების სამსახური, გერმანიაში, ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია. Apothekenfinder არის სერვისი, რომელიც საშუალებას აძლევს მოსახლეობას სწრაფად და მარტივად იპოვონ უახლოესი (სასწრაფო) აფთიაქი. ბევრი პაციენტი იყენებს აფთიაქების ღამის და გადაუდებელ სამსახურებს გადაუდებელი თვითმკურნალობისთვის ან რეცეპტების მისაღებად. მიუნხენში აფთიაქი უზრუნველყოფს გადაუდებელ მომსახურებას წელიწადში 14-ჯერ, ხოლო როტენბურგში, გაცილებით პატარა ქალაქში 70-ჯერ. თუ გადაუდებელი დახმარების მიმწოდებელი ექიმი მონიშნავს ვარდისფერ რეცეპტზე „noctu“ (ლათინურად „ღამე“) უჯრას, პაციენტს არ მოეთხოვება გადაუდებელი დახმარების საფასურის 2,50 ევროს საფასურის გადახდა და ეს თანხაც იფარება ჯანმრთელობის დაზღვევის გზით.

საქართველოში ღამის აფთიაქები შედარებით მცირე რაოდენობით ფუნქციონირებს და მსგავსი ცენტრალიზებული სერვისი არ არსებობს.

გამოწერილი სამკურნალო საშუალებები მზა დოზირებული ფორმების სახით ხშირად არ არის აფთიაქებში. მათ ექიმის დანიშნულების მიხედვით ამზადებენ. ყოველწლიურად, დაახლოებით 12 მილიონი წამალი მზადდება აფთიაქში პაციენტებისთვის. ნებისმიერ აფთიაქს შეუძლია წამლის დამზადება პაციენტის საჭიროებების შესაბამისად. საქართველოში, მონაცემები ამ მიმართულებით შეზღუდულია. გარკვეული აფთიაქები სთავაზობენ ინდივიდუალური რეცეპტების მიხედვით სამკურნალო საშუალებების დამზადებას, თუმცა ეს პრაქტიკა ფართოდ გავრცელებული არ არის. პაციენტები ძირითადად იძენენ მზა დოზირების ფორმებს და ინდივიდუალური საშუალებების დამზადება იშვიათია. საქართველოში ნაკლებად გავრცელებულია აფთიაქების მიერ პირდაპირი საკურიერო მომსახურების შეთავაზება. აღნიშნული საკითხი კანონითაც დაურეგულირებელია. მომსახურების შეზღუდვა პაციენტებისთვის დამატებით დისკომფორტს იწვევს, განსაკუთრებით მათთვის, ვისაც პრობლემები აქვს მობრაობის და გადაადგილების კუთხით.

თითქმის ყველა აფთიაქი (97.4%) გერმანიაში გვთავაზობს საკურიერო მომსახურებას, რათა თავიდან აარიდონ პაციენტებს დამატებითი დისკომფორტი. ეს განსაკუთრებით სასარგებლოა გადაადგილების პრობლემების მქონე პაციენტებისთვის. ქვეყანაში აფთიაქის პერსონალი ამ მომსახურებას დღეში დაახლოებით 300 000-ჯერ უწევს და ეს რიცხვი 450 000-მდე გაიზარდა პანდემიის მწვერვალზე. მედიკამენტების შესახებ კონსულტაციას აფთიაქის პერსონალი ჩვეულებრივ წინასწარ აძლევს პაციენტს აფთიაქში ტელეფონით ან წამლის მიწოდებისთანავე. 2020 წლის აპრილიდან უკვე შესაძლებელია მიტანის სერვისის ღირებულების ნაწილის დარიცხვა კანონით დადგენილი ჯანმრთელობის დაზღვევის ფონდებში. კურიერის სერვისით მოსარგებლე ჯგუფები სტატისტიკურად შემდეგნაირად ნაწილდება:



გერმანიაში აფთიაქები დიჯიტალიზაციას იყენებენ ფუნქციების ფართო სპექტრისთვის, როგორიცაა საბითუმო მოვაჭრეებისგან ფარმაცევტული პროდუქტების შეკვეთა, მარაგების მართვა, ფასდაკლების კონტრაქტების განხორციელება, მონაცემთა ბაზების გამოყენება მედიკამენტების გვერდითი ეფექტებისა და ურთიერთქმედების შესამოწმებლად, აგრეთვე

ჯანმრთელობის დაზღვევის ფონდებთან ანგარიშსწორების განხორციელება კომპიუტერული ცენტრების საშუალებით. პროცესები და სერვისები, როგორიცაა ელექტრონული რეცეპტები და პაციენტების ელექტრონული ჩანაწერები, ასევე ციფრული ხდება მზარდი ტემპით. ელექტრონული რეცეპტების შემოღება წარმოადგენდა მნიშვნელოვან ცვლილებას გერმანიის აფთიაქებისთვის. გამოკითხვებმა აჩვენა, რომ ფარმაცევტები ამ ცვლილებასთან დაკავშირებით ორაზროვნად იყვნენ განწყობილნი [2, 5].

რა შიდა ნაბიჯები და ღონისძიებები დაგეგმეს აფთიაქების მფლობელებმა ელექტრონული რეცეპტის დანერგვისთვის?

გუნდების და სამუშაო პროცესების რესტრუქტურიზაცია	67.0 %
საკურიერო მომსახურების გაფართოება	51.2 %
ინვესტიცია ციფრულ მარკეტინგში	38.0 %
ფარმაცევტული ტელეკონსულტაციის შეთავაზება	24.2 %
არსებული ფოსტით შეკვეთით სავაჭრო საქმიანობის გაფართოება	9.4 %
ფოსტით ვაჭრობის გაუმჯობესება	9.4 %
განსხვავებული ქმედებები არ განუხორციელებია	13.4 %

საქართველოს ჯანდაცვის სისტემის მოდერნიზაციისთვის ელექტრონული რეცეპტების სისტემის დანერგვა მნიშვნელოვანია. სისტემა უსაფრთხო, კომფორტულ და ეფექტურ სერვისებ სთავაზობს სპაციენტებსა და ექიმებს. ის საშუალებას აძლევს ჯანდაცვის მუშაკებს ელექტრონულად მართონ მედიკამენტების გამოწერა და გაცემის პროცესი. სპეციალური მოდულის საშუალებით ივსება რეცეპტები ექიმის მიერ, ხოლო ფარმაცევტები გასცემენ შესაბამის პრეპარატებს რეცეპტის გადამოწმების შემდეგ. საქართველოს მასშტაბით, 2022 წლის 11 აპრილიდან სისტემა სრულად ამოქმედდა. მედიკამენტების შეძენა მომხმარებლებს მხოლოდ ელექტრონული რეცეპტით შეუძლიათ, რომელმაც მატერიალური რეცეპტები ჩაანაცვლა.

შენობის ტიპი, ზომა, მდებარეობა და აღჭურვილობა უნდა შეესაბამებოდეს აფთიაქის სათანადო ფუნქციონირებას, კერძოდ, ფარმაცევტული საშუალებების სათანადო მომზადებას, ტესტირებას, შენახვას, შეფუთვას და სწორად გაცემას. აფთიაქი უნდა იყოს

1. კედლებით ან კარებით გამოყოფილი

ა) სხვა კომერციული ან პროფესიული დანიშნულების ოთახებისგან და

ბ) საზოგადოებრივი მოძრაობის ადგილებისგან და მაღაზიის სივრცისგან

2. დაცული არასანქცირებული წვდომისგან;

3. საჭიროების შემთხვევაში საკმარისად განათებული, ვენტილირებადი და კონდიცირებული;

4. იდეალურ სტრუქტურულ და სანიტარიულ მდგომარეობაში
5. მოწყობილი ისე, რომ თითოეული ოთახში შესვლა შესაძლებელია აფთიაქიდან (სივრცითი ერთეული) გაუსვლელად.

აფთიაქის ფართი მოიცავს მინიმუმ სარეალიზაციო ზონას, ლაბორატორიას, საკმარის შესანახ სივრცეს და ღამის მორიგეობის ოთახის. ლაბორატორია აღჭურვილი უნდა იყოს გამწოვი სისტემით. საოპერაციო ობიექტების ძირითადი ფართობი უნდა იყოს მინიმუმ 110 კვადრატული მეტრი. გაყიდვების ზონას უნდა ჰქონდეს წვდომა საზოგადოებრივი მოძრაობის ზონებთან და უნდა იყოს ხელმისაწვდომი ბარიერების გარეშე. უნდა იყოს იმგვარად დაპროექტებული, რომ იყოს საკმარისი ადგილი შესასრულებელი ამოცანებისთვის, გაყიდვების ზონა უნდა იყოს მოწყობილი ისე, რომ დაცული იყოს კონსულტაციების კონფიდენციალურობა, განსაკუთრებით იმ ადგილებში, სადაც ფარმაცევტული საშუალებები ეძლევა მომხმარებლებს, რათა თავიდან იქნას აცილებული სხვა მომხმარებლების მიერ კონსულტაციის მოსმენა. უნდა გამოიყოს ცალკე სამუშაო ადგილი ფარმაცევტული საშუალებების მოსამზადებლად. სამუშაო ადგილი გამოყოფილი უნდა იყოს აფთიაქის სხვა უბნებისგან მინიმუმ სამი მხრიდან. მისი კედლები, ზედაპირები და იატაკი უნდა იყოს ადვილად გასაწმენდი, რათა შემცირდეს გარემოს დაბინძურების რისკი. შესანახი ოთახი უნდა იყოს საკმარისად დიდი და იძლეოდეს პროდუქტების სწორად შენახვის შესაძლებლობას. ფარმაცევტული პროდუქტები ან სუბსტანციები უნდა იყოს განთავსებული ვადაგასული ან წუნდებული მედიკამენტებისგან განცალკევებით, რომლებიც უსაფრთხოდ უნდა ინახებოდეს, ამ მიზნით უნდა იყოს გათვალისწინებული განცალკევებული, შესაბამისად ეტიკეტირებული შესანახი ადგილი. უზრუნველყოფილი უნდა იყოს ფარმაცევტული პროდუქტის შენახვა საჭირო ტემპერატურასთან შესაბამისობით, უნდა გამოირიცხოს არაავტორიზებული წვდომა. აფთიაქებმა, რომლებიც აწვდიან საავადმყოფოებს ფარმაცევტულ საშუალებებს, უნდა უზრუნველყონ წამლის განთავსება ცალკე შესანახ ოთახებში ან მინიმუმ ცალკე შესანახ ადგილებში, რომლებზეც შესაბამისი ეტიკეტია ნაჩვენები. შენობის ზომისა და ადგილმდებარეობის ან აღჭურვილობის მნიშვნელოვანი ცვლილებები ან მათი გამოყენება წინასწარ უნდა ეცნობოს პასუხისმგებელ ორგანოს.

ხელმძღვანელმა ფარმაცევტმა უნდა განახორციელოს შესაბამისი სანიტარული ზომები. უნდა დადგინდეს: ოთახების დასუფთავების სიხშირე და სახეობა, საჭიროების შემთხვევაში დეზინფექციის სიხშირე, გამოსაყენებელი პროდუქტები და მოწყობილობები [6].

საქართველოს კანონდებლობა განსაზღვრავს სხვადასხვა ტიპის აფთიაქების საქმნიანობისთვის მარეგულირებელ მოთხოვნებს. განსხვავებით ზემოთ აღწერილისა, ადგილობრივი რეგულაცია არ ადგენს მინიმალურ ფართს ფარმაცევტული დაწესებულებებისთვის, არც ლაბორატორიის მოთხოვნაა განსაზღვრული აფთიაქისთვის [7].

გერმანიაში აფთიაქების რაოდენობა მცირდება 2009 წლიდან, ხოლო 2021 წელს ის ყველაზე დაბალ ნიშნულამდე დაეცა - 18,461-მდე. თუმცა, არ არასებობს იმის საშიშროება, რომ მოსახლეობის მედიკამენტებზე წვდომა ქვეყნის მასშტაბით შეფეხდება. აფთიაქების რაოდენობა დამოკიდებულია მოსახლეობის რაოდენობასა და სტრუქტურაზე. ჩრდილოეთ რაინ-ვესტფალია, რომელიც დაყოფილია ჩრდილოეთ რაინისა და ვესტფალია-ლიპეს

კამერულ ოლქებად, გერმანიის ყველაზე დასახლებული მიწაა და ხასიათდება აფთიაქების ყველაზე მეტი რაოდენობით (3900). გერმანიაში საშუალოდ 100 000 მოსახლეზე 22 აფთიაქია, თუმცა, ეს რიცხვი რეგიონიდან რეგიონში განსხვავებულია. აფთიაქის სიმჭიდროვე შეიძლება განსხვავდებოდეს მოსახლეობის, ურბანული სიმჭიდროვისა და ქალაქებისა და ადმინისტრაციული უბნების სტრუქტურის მიხედვით.

გერმანიაში დაახლოებით 69 000 ფარმაცევტი მუშაობს და ეს რიცხვი მატულობს. აბსოლუტური უმრავლესობა დასაქმებულია აფთიაქებში, სხვები მუშაობენ ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში, საავადმყოფოს აფთიაქებში, უნივერსიტეტებსა და საჯარო ხელისუფლებაში. ლიცენზირებული ფარმაცევტების თითქმის სამი მეოთხედი ქალია. ზოგადად, აფთიაქებში დაახლოებით 160 000 ადამიანია დასაქმებული, რომელთა დაახლოებით ერთი მესამედი ლიცენზირებული ფარმაცევტია. ორი მესამედი მუშაობს ფარმაცევტულ ტექნიკურ ასისტენტად ან კომერციულ თანამშრომლად.

საქართველოში არ არსებობს დასაქმებული პირების ზუსტი სტატისტიკა. მარეგულირებელი ორგანო აღრიცხვას მხოლოდ დაწესებულების პასუხისმგებელ ფარმაცევტებს, თუმცა არ გააჩნია ინფორმაცია ფარმაცევტულ დაწესებულებებში (მათ შორის აფთიაქებში) დასაქმებული სპეციალისტების შესახებ.

გერმანიის აფთიაქებში პრაქტიკას გადის 7,400-მდე ახალგაზრდა სასწავლო პროგრამის ფარგლებში. აფთიაქების პერსონალის დაახლოებით ნახევარი ყოფილი სტაჟიორია. გერმანიაში იზრდება ფარმაცევტის სტუდენტებისა და ახლად ლიცენზირებული ფარმაცევტების რაოდენობა. ასევე, იზრდება მოთხოვნა ფარმაცევტებზე სამუშაო ბაზარზე. ფარმაციის სასწავლო პროგრამები შემოთავაზებულია 14 ფედერალური შტატის 22 უნივერსიტეტში. უწყვეტი პროფესიული განათლება ხელს უწყობს არსებული ცოდნის განახლებას და გაფართოებას. დიპლომისშემდგომი სპეციალიზაცია გულისხმობს სპეციალიზებული ცოდნისა და უნარების შეძენას ფარმაციის კონკრეტულ სფეროში. [2, 8].

ფარმაცევტული ფასების ინდექსი აღწერს ნორმატიული ჯანმრთელობის დაზღვევის სახსრების ხარჯზე დაწესებული ფარმაცევტული პროდუქტების საშუალო ფასების ცვლილებას. ფარმაცევტულ პროდუქტებზე ფასები 15 წელზე მეტია იკლებს, სამომხმარებლო ფასები კი აგრძელებს ზრდას. რეცეპტით გასაცემი ფარმაცევტული საშუალებების გასაყიდი ფასები და აფთიაქის ფასები დადგენილია წამლის ფასის შესახებ დადგენილების (AMPreisV) სამართლებრივი დებულებების შესაბამისად. ჯანმრთელობის დაზღვევის ფონდებზე ფინანსური ტვირთის შემსუბუქების მიზნით, კანონმდებლებმა დაზღვეული ფიზიკური პირების თანაგადახდასთან ერთად ფასდაკლებები დააწესეს [9].

ფარმაცევტთა ფედერალური პალატის გაიდლაინები და რეკომენდაციები, რომლებიც ეხება აფთიაქებში არსებულ ტიპურ სიტუაციებს, უზრუნველყოფს მაღალი ხარისხის მომსახურებას. ეს სახელმძღვანელო დოკუმენტები მოქმედი კანონებისა და რეგულაციების გათვალისწინებით, დამყარებულია მეცნიერებასა და ტექნოლოგიაში არსებულ თანამედროვე მიღწევებზე, შეთავაზებულია მასალები ფარმაცევტული საქმიანობის რისკებზე, ასევე ასთმის,

სისხლის ტესტირების, კოვიდ-19-ის ვაქცინების, დიაბეტის და სხვა პროცესების მართვასთან დაკავშირებით.

ფარმაცევტები წამლის ხარისხის პრობლემებთან დაკავშირებით ინფორმაციას აწვდიან წამლების კომისიას (AMK), რომელიც აღრიცხავს და აფასებს ფარმაცევტული პროდუქტების შესახებ მიღებულ ცნობებს და, საჭიროების შემთხვევაში, გასცემს გაფრთხილებებს. პრობლემები შეიძლება დაკავშირებული იყოს არასასურველ ეფექტებთან, მექანიკურ დეფექტებთან, დეკლარაციის შეცდომებთან, შეფუთვასთან და სხვ.

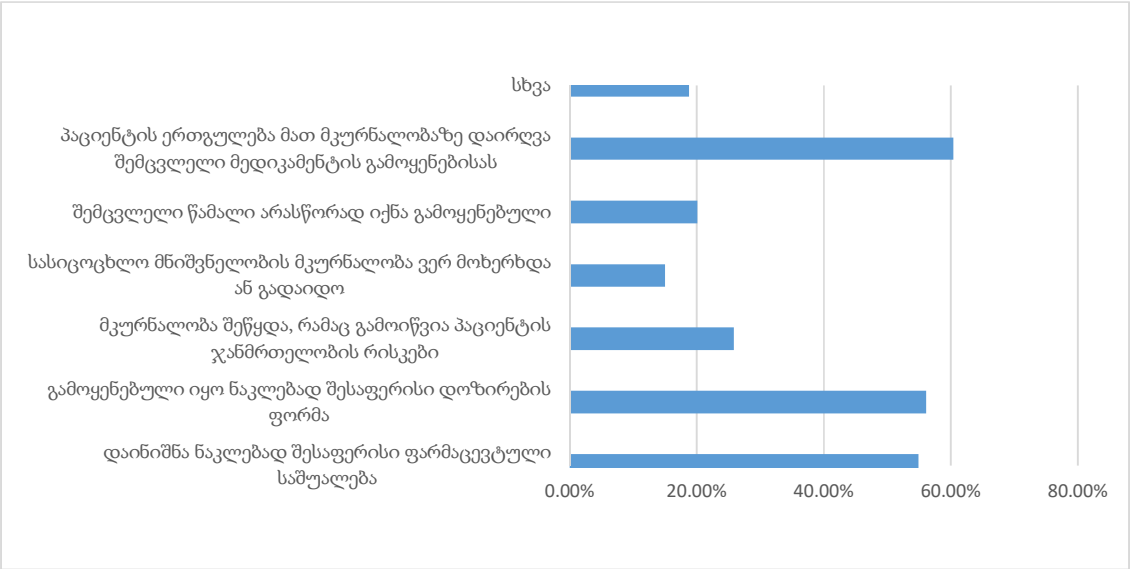
განსხვავებით გერმანიისგან, საქართველოში არ არის შემეშავებული გაიდლაინები და რეკომენდაციები აფთიაქებში ტიპური სიტუაციების მართვისთვის. სამკურნალო საშუალებების ხარისხსთან დაკავშირებული პრობლემები კი საქართველოს ოკუპირებული ტერიტორიებიდან დევნილთა, შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტროს მიეწოდება.

მიწოდების დეფიციტი ბოლო წლების განმავლობაში აფთიაქების ყოველდღიური საქმიანობის ერთ-ერთი ყველაზე დიდი გამოწვევაა. აფთიაქების მფლობელების უმეტესობა აცხადებს, რომ მათი თანამშრომლების სამუშაო დროის 10%-ზე მეტს ხარჯავენ შემცვლელი პროდუქტების მოძიებაზე. ჩატარებული გამოკითხვისას, აფთიაქების მფლობელებმა განაცხადეს, რომ მათ დაზოგეს სამუშაო დროის 40.6% (საშუალო) მიწოდების დეფიციტის მართვაზე მას შემდეგ, რაც დადგენილებამ განსაზღვრა ჩანაცვლება იმ მედიკამენტებით, რომლებიც ხელმისაწვდომია მარაგში. ფარმაცევტული მარაგის დეფიციტი პრობლემა წარმოადგენს აფთიაქებისთვის მთელ ევროპაში. გერმანიის აფთიაქების მესაკუთრეთა 62.4 % პროცენტი მიწოდების ნაკლებობას თვლის ერთ-ერთ ყველაზე დიდ პრობლემად მათ ყოველდღიურ საქმიანობაში. ევროპის მასშტაბით, აფთიაქების პერსონალის მიერ მარაგის დეფიციტის მართვისთვის კვირაში დახარჯული დრო - 5.1 სთ-ია; 85 % მოდის გულ-სისხლძარღვთა სისტემის წამლების მიწოდების დეფიციტზე. გამოკითხვის დროს ფარმაცევტთა ასოციაციების 52%-მა აღნიშნა, რომ მათ ქვეყნებში 200-ზე მეტ მედიკამენტს შეეხო მიწოდების დეფიციტი; ფარმაცევტები მიწოდების დეფიციტის შესახებ შესაბამის ინფორმაციას ძირითადად აფთიაქებისგან (74%), საბითუმო მოვაჭრეებისგან (67%) და მწარმოებლებისგან (52%) იღებენ [10].

რეფერენტული ფასების სისტემის შემოღებამ საქართველოში განაპირობა მედიკამენტების ფასის ცვლილება. არსებობდა მოსაზრება იმასთან დაკავშირებით, რომ სამკურნალო საშუალებებზე ფასის შემცირება დანიშნულების ცვლილებას გამოიწვევდა. თუმცა, ექიმები გამოკითხვაში ცალსახად აღნიშნავენ, რომ რეფერენტული ფასის დადგენას დანიშნულებაზე გავლენა არ მოუხდენია. ფარმაცევტების 60% გამოკითხვაში აღნიშნავს, რომ არ შეუმჩნევიათ სამედიცინო პერსონალის მხრიდან წამლის გამოწერასთან დაკავშირებული ცვლილებები. გარდა პოზიტიური მხარეებისა, რეფერენტული ფასის შემოღებამ მედიკამენტებზე გარკვეული გამოწვევები შექმნა ფარმაცევტულ სექტორში: მედიკამენტების მიწოდების შეფერხება (რასაც დეფიციტის ფონზე მოჰყვა აზიური მედიკამენტების წილის ზრდა), სამკურნალო საშუალებების ხარისხთან დაკავშირებული რისკები, ორიგინალი

ფარმაცევტული პროდუქტის რეალიზაციის შემცირება, პაციენტების არსაკმარისი ინფორმირებულობა, რამაც დაბნეულობა და უნდობლობა გამოიწვია მათში, ფარმაცევტების მიერ კონსულტაციის დროის გაზრდა [11, 12].

კვლევებმა აჩვენა, რომ მიწოდების დეფიციტი არ არის მხოლოდ აფთიაქების ყოველდღიური მუშაობის ერთ-ერთი მთავარი პრობლემური ფაქტორი, მიუხედავად ადგილობრივი აფთიაქების მცდელობისა, ისინი ხშირ შემთხვევაში აფიქსირებენ პაციენტებისთვის მიწოდებული მედიკამენტური თერაპიის ხარისხის გაუარესებას, როცა დეფიციტური პრეპარატების შეცვლა ვერ ხერხდება ექვივალენტური პროდუქტებით. ამას ადასტურებს გამოკითხვა, რომელიც ჩაატარა გერმანელი ფარმაცევტების წამლების კომისიამ (AMK) დეფიციტის მასშტაბებსა და შედეგების გამოსავლენად. შესწავლილი იქნა ქმედებები, რაც თან სდევდა წამლის მიწოდების დეფიციტს.



გაყალბების საწინააღმდეგო ევროპული დირექტივა გერმანიაში ძალაში შევიდა 2019 წელს. ეს დამცავი მექანიზმი ფალსიფიცირებული ფარმაცევტული საშუალებების იდენტიფიცირებისთვის ცნობილია როგორც securPharm. ყველა შეფუთვას გააჩნია დაცვა და უნიკალური სერიული ნომერი, ეს ნომრები იტვირთები როგორც მწარმოებლის ასევე რეალიზატორების მიერ. საეჭვო ,,სიგნალი“ ხდება საფუძვლიანი გამოძიების მიზეზი.

პოლიფარმაცია არის შემთხვევა, როდესაც პაციენტები იღებენ რამდენიმე მედიკამენტს ერთდროულად გრძელვადიან პერსპექტივაში. გერმანიის მოსახლეობის დაახლოებით მეოთხედი მუდმივად იღებს სამ ან მეტ მედიკამენტს. არსებობს მედიკამენტების მართვის სხვადასხვა ფორმები პოლიფარმაციის რისკებთან მიმართებაში, როგორიცაა ARMIN და PRIMA [10, 13].

საქართველოში ჯერ არ მოქმედებს სრულიად ევროპული ტიპის მიკვლევადობის სისტემა, როგორიცაა securPharm გერმანიაში, თუმცა გარკვეული რეგულაციები დანერგილია, მათ შორის: ფარმაცევტული პროდუქტის რეგისტრაცია, სავალდებულო აღრიცხვა, ფალსიფიცირებული მედიკამენტების კონტროლი (პერიოდული ინსპექტირება და

ლაბორატორიულ შემოწმებები), GDP-ს შესაბამისობის კონტროლი. საქართველოში პოლიფარმაციის მართვის სპეციალური სახელმწიფო პროგრამა არ მოქმედებს, მაგრამ არსებობს გარკვეული მოთხოვნები: ქრონიკული დაავადებების მართვის პროგრამაში ჩართული ექიმები ითვალისწინებენ პოლიფარმაციის რისკებს. ექიმი ან ფარმაცევტი, დარღვევის შემთხვევაში, ვალდებულია გააფრთხილოს პაციენტი და შესთავაზოს პაციენტს ოპტიმალური მედიკამენტური სქემა, პოლიფარმაციის პრევენციას ხელს უწყობს ელექტრონული რეცეპტების დანერგვაც, თუმცა ყველა ჩამოთვლილი მექანზმები ხარვეზებით ფუნქციონირებს და სრულყოფას საჭიროებს.

გერმანიაში გამოწერილი მედიკამენტების დაახლოებით 4-5 % ასოცირდება ბოროტად გამოყენებასთან ან დამოკიდებულების პოტენციალთან, დაახლოებით 1,4-დან 1,5 მილიონამდე ადამიანს აქვს ეს პრობლემა. დამოკიდებულებები ყველაზე ხშირად გვხვდება საძილე და სედატიურ საშუალებებთან. აუცილებელია განვასხვავოთ ბოროტად გამოყენება და დამოკიდებულება იმ ნივთიერებებზე, რომლებმაც შეიძლება გამოიწვიოს ფიზიკური დამოკიდებულება. პროდუქციის მთელი ასორტიმენტიდან, თვითმკურნალობისთვის გაცემული შეფუთვების 10-დან 12 პროცენტამდე შეიცავს აქტიურ ნივთიერებებს, რომლებსაც ბოროტად გამოყენების პოტენციალი აქვთ.

სამწუხაროდ, საქართველოში მედიკამენტების ბოროტად გამოყენებისა და დამოკიდებულების შესახებ დეტალური სტატისტიკური მონაცემები საჯაროდ ხელმისაწვდომი არ არის, რაც ართულებს ზუსტ შედარებას გერმანიის მონაცემებთან.

სპეციალური მოთხოვნები ვრცელდება მედიკამენტების გარკვეულ ჯგუფებზე. მაგალითად, ნარკოტიკები (საჭიროებს სპეციალურ რეცეპტს და დოკუმენტაციას, რათა თავიდან იქნას აცილებული ბოროტად გამოყენება ან გვერდითი ეფექტები), იგივე ეხება თალიდომიდის შემცველ მედიკამენტებს (T რეცეპტი), ტემპერატურისადმი მგრძნობიარე მედიკამენტებს.

OTC (ურეცეპტო) პრეპარატები ძირითადად გამოიყენება თვითმკურნალობით. ამიტომ კონსულტაცია აფთიაქში განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რადგან ამით პაციენტს ეძლევა საშუალება გადაამოწმოს დიაგნოზი. ამ პროდუქტებზე მოთხოვნა შეიძლება მერყეობდეს წლის განმავლობაში, მაგალითად, გაციების და გრიპის სეზონზე. მცენარეული, ჰომეოპათიური და ანთროპოსოფიული მედიკამენტები არის ჯგუფი, რომელსაც აწესრიგებს გერმანული მედიკამენტების შესახებ კანონი (AMG). ეს ურეცეპტო მედიკამენტები საკმაოდ მოთხოვნადია აფთიაქებში. ექიმები იყენებენ ,,მწვანე" რეცეპტებს, რომლითაც პაციენტები თავად იძენენ წამალს აფთიაქში. თუმცა, ფორმა ასევე შეიცავს ინფორმაციას იმის შესახებ, რომ მწვანე რეცეპტი შეიძლება წარედგინოს ჯანმრთელობის დაზღვევის კომპანიას ანაზღაურებისთვის. განსხვავებით გერმანიისგან, საქართველოში სადაზღვევო კომპანიები ურეცეპტოდ გასაცემ სამკურნალო საშუალებებს არ აფინანსებენ [14, 15,16].

ჩანაცვლებითი თერაპია გამოიყენება ოპიოიდებზე დამოკიდებული ადამიანების ჯანმრთელობის გასაუმჯობესებლად და სტაბილიზაციისთვის. ჩანაცვლებითი ოპიოიდების გაცემა ხორციელდება დაახლოებით 2,300 აფთიაქიდან, თუმცა ეს არის ნებაყოფლობითი

ფარმაცევტული მომსახურება. აღნიშნულისგან განსხვავებით, ჩანაცვლებითი თერაპიისთვის დანიშნული სამკურნალო საშუალებების გაცემა საქართველოში არა აფთიაქიდან, არამედ, იმ დაწესებულებებიდან ხდება, სადაც პაციენტებს სპეციფიური სამედიცინო მომსახურება მიეწოდება.

გერმანიაში აფთიაქის საშუალო წმინდა შემოსავალი არის დაახლ. 3,08 მილიონი ევრო წელიწადში (დღგ-ს გარეშე), მაგრამ ეს მაჩვენებელი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ცალკეულ აფთიაქებს შორის. აფთიაქების შემოსავლის 91% მოდის მედიკამენტებზე, დანარჩენი კი მიეკუთვნება აფთიაქებში დამატებით პროდუქტებს. შემოსავლის დაახლოებით 84% მოდის ექიმის მიერ დანიშნულ მედიკამენტებზე. დამატებითი ასორტიმენტი მოიცავს ყველა არაფარმაცევტულ პროდუქტს [17,18,19].

აფთიაქების საშუალო წლიური შემოსავლისა და შემოსავლის სტრუქტურის შესახებ საქართველოში საჯარო მონაცემები არ მოიძებნება. ამიტომ, რთულია ზუსტი შედარების გაკეთება გერმანიასთან. საქართველოს მოსახლეობის შემოსავალი და ხარჯები იზრდება, მაგრამ მათი შემოსავლის სტრუქტურის შედარება გერმანიასთან შეუძლებელია აფთიაქების შემოსავლის დეტალური მონაცემების არარსებობის გამო.

დასკვნის სახით, გერმანიის მოდელის დეტალური ანალიზის საფუძველზე, შესაძლებელია განისაზღვროს საქართველოს სააფთიაქო მომსახურების მიწოდების გამოწვევები:

- თითოეულ პაციენტს აქვს ინდივიდუალური საჭიროებები. მათი ამოცნობა, ემპათიურად და კომპეტენტურად რეაგირება და პაციენტის კიდევ უფრო აქტიური ჩართვა წამლით მკურნალობის პროცესში საზოგადოებრივი აფთიაქების უწყვეტი ამოცანა უნდა გახდეს. ჯერ კიდევ არ არის სათანადოდ უზრუნველყოფილი პაციენტთა ინდივიდუალური საჭიროებების სათანადო იდენტიფიცირება და მკურნალობის პროცესში მათი აქტიური ჩართვა.
- პაციენტსა და აფთიაქს შორის ნდობის ურთიერთობის პირობაა ის, რომ პაციენტი ნებისმიერ დროს უნდა დაეყრდნოს ფარმაცევტის მიერ მედიკამენტების დამოუკიდებელ შერჩევას, მიწოდებას და კონსულტირებას ყოველგვარი ზეწოლის გარეშე და მესამე მხარის ინტერესებისგან დამოუკიდებლად, სერვისის მიწოდება უნდა მოხდეს მტკიცებულებებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების საფუძველზე, რაც კვლავ მნიშვნელოვან გამოწვევად რჩება.
- ფარმაცევტები კოლეგიურად უნდა მუშაობდნენ როგორც ერთმანეთთან, ისე ჯანდაცვის სფეროს წარმომადგენლებთან პრევენციისა და წამლების მკურნალობის ოპტიმიზაციის უზრუნველსაყოფად. კოორდინაცია და თანამშრომლობა პრევენციისა და მკურნალობის ოპტიმიზაციის მიმართულებით ჯერ კიდევ არ არის სრულად დანერგილი.
- საზოგადოებრივ აფთიაქები კოორდინაციას და ზედამხედველობას უნდა უწევდნენ წამლით მკურნალობას, ფოკუსირებულნი უნდა იყვნენ მედიკამენტების სწორ გამოყენებაზე. ამ გზით ხდება მედიკამენტების ეფექტური და პაციენტზე ორიენტირებული მიწოდების უზრუნველყოფა.

- მედიკამენტების მიწოდების პარალელურად, კონსულტაცია ცენტრალური სერვისია, რომელსაც მაღალპროფესიულ დონეზე უნდა ახორციელებდნენ საზოგადოებრივი აფთიაქები, რითაც მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ წამლით მკურნალობის ოპტიმიზაციასა და უსაფრთხოებაში. წამლის მიწოდების პროცესში კონსულტაციის როლის გაძლიერება და მასზე მაღალი ხარისხის მოთხოვნების დაწესება კრიტიკულად აუცილებელია.
- საზოგადოებრივი აფთიაქები ინტენსიურად უნდა მონაწილეობენ მზა წამლების ხარისხისა და უსაფრთხოების მიმდინარე სისტემატურ ზედამხედველობაში, რაც მიზნად ისახავს არასასურველი ეფექტების აღმოჩენას და განსჯას. მხარს უნდა უჭერდნენ შესაბამისი რისკის მინიმიზაციის მცდელობებს და ფალსიფიცირებული პროდუქტების ბაზარზე შესვლის პრევენციას. აფთიაქებში წამლების სისტემატური მონიტორინგი გამოწვევად რჩება. ფალსიფიცირებული პროდუქციის ბაზარზე შეღწევის პრევენცია და არასასურველი ეფექტების სწრაფი იდენტიფიკაცია მოითხოვს უფრო მკაცრ რეგულაციებს, კვალიფიციურ ადამიანურ, ტექნიკურ, ფინანსურ რესურსებს და სპეციალისტთა ჩართულობას შესაბამის პროცესებში.
- ცალკეული პაციენტისთვის მომზადებული წამლები მნიშვნელოვანი კომპონენტია, რაითაც უნდა შეივსოს წამლის დეფიციტი და უზრუნველყოფილ იქნას პერსონალიზებული მედიცინის მოთხოვნები. ინდივიდუალური პაციენტისთვის მისაღები საშუალებების მომზადება შეზღუდულია, რაც მკურნალობის პერსონალიზაციის შესაძლებლობებს ამცირებს. ამ მხრივ, ტექნიკური ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესება და ახალი რეგულაციების შემუშავება აუცილებელია პაციენტზე მორგებული მკურნალობის უზარუნველსაყოფად.
- საზოგადოებრივი აფთიაქები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ როგორც ავადმყოფობის პრევენციაში, თანმიმდევრული ზიანისა და რეციდივის თავიდან აცილებაში (პირველი, მეორადი და მესამეული პრევენცია). ყველა ეტაპისთვის საზოგადოებრივი აფთიაქებმა აქტიურად უნდა შესთავაზონ სერვისები და პროგრამები და, შესაბამისად, გადამწყვეტი წვლილი შეიტანონ მოსახლეობის ჯანმრთელობის გაუმჯობესებაში. ფარმაცევტების ჩართულობა დაავადებების პრევენციაში ჯერ კიდევ არასაკმარისია. პრევენციული პროგრამების აღიარება და მხარდაჭერა საჭიროებს გაძლიერებას, იმისთვის, რომ უფრო ფართო და ხელმისაწვდომი სერვისები მიეწოდოს მოსახლეობას.
- საზოგადოებრივი აფთიაქები დამოუკიდებელი უნდა იყოს მესამე მხარის ინტერესებისგან და იმართებოდეს დამოუკიდებელი ფარმაცევტის მიერ. დამოუკიდებლობა ყოველთვის უნდა იყოს გარანტირებული სახელმწიფოს მიერ მოწოდებული ეკონომიკური პირობებით. აფთიაქების ეკონომიკური მდგრადობის და დამოუკიდებლობის უზრუნველსაყოფად არასაკმარისი რეგულაციები აფერხებს ფარმაცევტთა დამოუკიდებელ საქმიანობას.
- საზოგადოებრივი აფთიაქებს უნდა მართავდნენ ფარმაცევტები, როგორც მესაკუთრეები. სპეციალისტების საკუთრებაში არსებული მოდელის განმტკიცება და სოციალური პასუხისმგებლობა კვლავ გამოწვევად რჩება. საჭიროა რეგულაციების გაძლიერება, რაც მიმართული იქნება ფარმაცევტთა პროფესიული ავტონომიისკენ და

ძირითად ფუნქციად აქცევს მოსახლეობის ჯანმრთელობის დაცვას, კომერციული ინტერესების გავლენის გარეშე

- ფარმაცევტი პასუხისმგებელია აფთიაქში სამუშაო ადგილების უსაფრთხოებაზე. ამ მოთხოვნების შესასრულებლად საჭიროა შესაბამისი პირობები: კვალიფიციური, კომპეტენტური ანაზღაურებადი პერსონალი და ადეკვატური ტექნიკური აღჭურვილობა. აღნიშნულის საფუძველი უნდა გახდეს სახელფასო სახელმწიფო რეგულაციებით გამყარებული დინამიური და სამართლიანი ანაზღაურება.

ლიტერატურა

1. C. Eickhoff, N. Griese-Mammen, U. Müeller, A. Said, M. Schulz. Primary healthcare policy and vision for community pharmacy and pharmacists in Germany. Pharm Pract (Granada), 19 (2021), p. 2248, 10.18549/PharmPract.2021.1.2248.

2. ABDA – Federal Union of German Associations of Pharmacists. German pharmacies – figures, data, facts 2024; https://www.abda.de/fileadmin/user_upload/assets/ZDF/Zahlen-Daten-Fakten-24/ABDA_ZDF_2024_Brosch_english.pdf

3. Kroenert, AC., Bertsche, T. Implementation, barriers, solving strategies and future perspectives of reimbursed community pharmacy services - a nationwide survey for community pharmacies in Germany. BMC Health Serv Res 24, 1463 (2024). https://doi.org/10.1186/s12913-024-11745-y.

4. Rodwin MA, Gerke S. German Pharmaceutical Pricing: Lessons for the United States. International Journal of Health Services. 2021;52(1):146-158. doi:10.1177/00207314211040948

5. Erdni-Garyaev S. E., Mamedov D. D., Yurochkin D. S., Zelikova D. D., Golant Z. M., Fisenko V.S., Narkevich I.A. Pharmacy Compounding Regulation in the German Pharmaceutical Market. Part 1. Basic Regulatory Provisions (Review). Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation. 2024;14(1):91-109. (In Russ.) https://doi.org/10.30895/1991-2919-2024-14-1-91-109

6. Christiane Eickhoff. Primary healthcare policy and vision for community pharmacy and pharmacists in Germany. January 2021. Pharmacy Practice 19(1):2248 DOI:10.18549/PharmPract.2021.1.2248

7. Shashiashvili, Nana; Tsintsadze, Tamar, et al. Mechanisms for Granting the Authority to Operate Pharmacies. Works of Georgian Technical University. March 2024, p.224-232. DOI: 10.36073/1512-0996-2024-1-224-232.

8. Eickhoff C, Griese-Mammen N, Müeller U, et al. Primary healthcare policy and vision for community pharmacy and pharmacists in Germany. Pharm Pract (Granada). 2021;19(1):2248.

9. Schulz, M., Griese-Mammen, N. & Müller, U. Clinical pharmacy services are reimbursed in Germany: challenges of real world implementation remain. Int J Clin Pharm 45, 245–249 (2023). https://doi.org/10.1007/s11096-022-01492-7

10. Celina Bade, Alexandra Olsacher, Philip Boehme, Hubert Truebel, Leonard Fehring,

Reasons for supply side driven drug shortages – A mixed-methods study on first-level, higher-level, and root causes from the perspective of marketing authorization holders, Research in Social and Administrative Pharmacy, Volume 19, Issue 8, 2023, Pages 1218-1227.

11. Shashiashvili, N., Kvizhinadze, N., & Gaprindashvili, M. (2024). *Impact of reference pricing policy on the pharmaceutical sector.* Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 64–66. https://doi.org/10.52340/jecm.2024.04.18

12. Shashiashvili, N., Kvizhinadze, N., & Gaprindashvili, M. (2024). *Implementation of the reference pricing system: Analysis of challenges and outcomes in various countries*. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 60–63. https://doi.org/10.52340/jecm.2024.04.17

13. Schumacher PM, Neininger MP, Kaune A, et al. Counseling patients on correct drug handling in German community pharmacies: experiences and opinions of pharmaceutical staff. Int J Clin Pharm. 2019;41(1):151–8.

14. Thilo Bertsche, Jennifer Maria Alexa, Christiane Eickhoff, Martin Schulz, Self-care and self-medication as central components of healthcare in Germany – on the way to evidence-based pharmacy, Exploratory Research in Clinical and Social Pharmacy, Volume 9, 2023, 100257, ISSN 2667-2766.

15. J.M. Seiberth, K. Moritz, C. F. Vogel, T. Bertsche, S. Schiek. Public's perspectives on guideline-recommended self-medication consultations in German community pharmacies Health Soc Care Community, 29(2021), pp. 194-205, 10.1111/hsc.13082

16. K. Moritz, J. M. Seiberth, N. S. Herrmann, T. Bertsche, S. Schiek. Are evidence-based criteria addressed during counseling on over-the-counter products? An observational study in community pharmacies Patient Educ Couns, 104 (2021), pp. 2824-2829, 10.1016/j.pec.2021.03.021

17. J.E. Harnett, C.O.L. Ung. Towards defining and supporting pharmacists' professional role associated with traditional and complementary medicines—a systematic literature review. Res Social Adm Pharm, 19(3) (2023), pp. 356-413

18. J.E. Harnett, C.O.L. Ung, H. Hu, M. Sultani, S.P. Desselle. Advancing the pharmacist's role in promoting the appropriate and safe use of dietary supplements Compl Ther Med, 44 (2019), pp. 174-181

19. Federal Statistical Office. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html(2022) (accessed 1 March2023)

Pharmaceutical Market & Pharmacy Services: Analysis of challenges and opportunities on the example of the German model

Nana Shashiashvili [1,2]; Nino Bakradze [3]

[1]Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Department of Pharmacy, Georgian Technical University, Georgia; [2]Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi State Medical University, Georgia; [3]Bachelor Student, Faculty of Public Health, Bremen University, Bremen, Germany

Abstract

The experience and professional competence of pharmacists have a significant impact on improving the health status of patients. Specialists in the field ensure compliance with regulatory requirements for the supply of medicines to the population. Pharmacies constantly adapt to the changing dynamics of social, demographic, and scientific-technological changes, which allows the system to respond to the diverse needs of patients. The process of active transformation in society poses significant challenges for the healthcare sector. Changes such as lifestyle differentiation, urbanization intensity, and population aging are also reflected in the delivery of pharmaceutical services. At the same time, the progress of science and technology leads to the digital transformation of the healthcare system, creating a need for strategic adaptation and new opportunities. Pharmacies and the healthcare system, in general, are committed to quickly adapting to modern challenges and developing innovative, patient-centered, high-quality services. In the long run, this approach will ensure the efficiency and sustainability of the system. In light of ongoing changes and emerging challenges, it is advisable to consider international best practices to enhance the effectiveness of the pharmaceutical sector. For this purpose, the peculiarities of the system were compared with the German model, and challenges and recommendations were identified to support the development of the field and ensure the optimization and safety of medication treatment for the population.

Keywords: Medicine, Patient, Pharmacy, Pharmacist

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.09



ნერვული მიკროგარემოს რემოდელირების თავისებურებები საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელურ ნეოპლაზიასა და ბრტყელუჯრედოვან კარცინომაში

გიორგი-ჯემალ გოგიტიძე[1]; შოთა კეპულაძე[2]; გიორგი ბურკაძე[3]

[1]თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის დოქტორანტი; გინეკოლოგი; [2]თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის პათოლოგანატომი; მედიცინის აკადემიური დოქტორი ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5919-5581; [3]თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის მოლეკულური პათოლოგიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი, პროფესორი; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5028-4537

აბსტრაქტი

მიუხედავად იმისა, რომ ეპითელიუმის დისპლაზიასა და HPV ინფექციას ცენტრალური როლი უჭირავს საშვილოსნოს ყელის კარცინოგენეზში, სტრომული მიკროგარემოს ცვლილებები და ნერვული რემოდელირება ჯერ კიდევ ყველაზე ნაკლებად შესწავლილ სფეროდ რჩება. ჩვენი კვლევა შეისწავლის პერიფერიული ნერვული ბოჭკოებისა და ბუნებრივი მკვლელი უჯრედების (NK Cells) განაწილებას საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელურ ნეოპლაზიისა და ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომის სპექტრში. საშვილოსნოს ყელის ორმოცდახუთი ნიმუში (9 ნორმალური, CIN1, CIN2, CIN3 და SCC) დამატებით შეიღება PGP9.5, S100, CD56 და CD34-ის ანტისხეულების გამოყენებით. ნერვული ბოჭკოების სიმკვრივე, ნერვული ბოჭკოს მაქსიმალური დიამეტრი და დაშორება ბაზალური მემბრანიდან რაოდენობრივად, ხოლო S100 და CD56 ექსპრესია ნახევრად რაოდენობრივად იქნა შეფასებული. დაფიქსირდა PGP9.5-დადებითი ნერვული ბოჭკოების პროგრესული ზრდა CIN1-დან SCC-მდე, რასაც ასევე თან ახლავს ნერვული ბოჭკოების დიამეტრის გაზრდა. S100 ექსპრესია მომატებული იყო განსაკუთრებით HPV-დადებით CIN3 და SCC შემთხვევებში. ნერვული ბოჭკოების პერიეპითელური კლასტერირება საგრძნობლად მომატებული იყო მაღალი ხარისხის დაზიანებებში, რაც მიუთითებს ადრეულ პერინეოპლაზიურ ნერვულ რემოდელირებაზე. ნერვული ბოჭკოების ჰიპერტროფია პროგრესულად მატულობდა დისპლაზიის მატებასთან ერთად. ნაწილი ბოჭკოების არის ჩვეულებრივი ნაწილი კი ნეოანგიოგენეზის შედეგად მიღებული ნეიროგენეზური ბოჭკოები. CIN3 და SCC შემთხვევებში NK (ბუნებრივი მკვლელი უჯრედები) მკვეთრად შემცირებულია, რაც იმით აიხსნება, რომ ამ ეტაპზე დომინირებს ნეონეიროგენეზური ბოჭკოების არსებობა. თავდაპირველად დისპლაზიის დაბალ ხარისხის შემთხვევებში ჰიპერტროფიასთან ერთად მატულობს NK უჯრედების ჰიპერპლაზია თუმცა CIN3 და SCC შემთხვევებში მისი რაოდენობა

მინიმალურია. რაც შესაძლოა წარმოადგენდეს ნეირორეგულაციიდან გაქცევის/სიმსივნის იმუნური სისტემისაგან გაქცევის გამოვლინებას.
აღნიშნული შედეგები შესაძლოა სამომავლოდ გამოყენებული იქნას იმუნოთერაპიული საშუალებების დახვეწასა და NK-ტარგეტული საშუალებების შემუშავებაში.
საკვანძო სიტყვები: საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზია, PGP9.5, S100, CD56, ნერვული რემოდელირება, HPV, საშვილოსნოს ყელის კიბო, სიმსივნის მიკროგარემო.

შესავალი

საშვილოსნოს ყელის კიბო მსოფლიოს მასშტაბით კვლავ მეოთხე ადგილზეა ქალთა პოპულაციაში. GLOBOCAN 2020-ის მიხედვით, ყოველწლიურად აღირიცხება საშვილოსნოს ყელის კიბოსთან დაკავშირებული 600,000-ზე მეტი ახალი შემთხვევა და დაახლოებით 340,000 ლეტალური გამოსავალი[1]. ინციდენტობის ტვირთი ყველაზე მნიშვნელოვანია დაბალი და საშუალო შემოსავლის მქონე ქვეყნებში, სადაც ორგანიზებული სკრინინგისა და HPV ვაქცინაციის პროგრამები შეზღუდულია. საშვილოსნოს ყელის კარცინომის განვითარება მტკიცედ არის დაკავშირებული მაღალი რისკის მქონე ადამიანის პაპილომავირუსის (HPV) მუდმივ ინფექციასთან, ძირითადად HPV16 და HPV18 ტიპის, რომლებიც დაკავშირებულია შემთხვევების 70%-ზე მეტთან[2].

საშვილოსნოს ყელის კარცინოგენეზი მიჰყვება საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზიის (CIN) კარგად განსაზღვრულ წინამორბედ გზას, რომელიც ჰისტოლოგიურად კლასიფიცირებულია სამ ხარისხად - CIN1 (მსუბუქი დისპლაზია), CIN2 (ზომიერი დისპლაზია) და CIN3 (მძიმე დისპლაზია ან კარცინომა in situ). ეს სპექტრი ასახავს ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომის პროგრესირების მზარდ რისკს. მიუხედავად იმისა, რომ ვირუსული ონკოგენის ექსპრესია (E6/E7) და მასპინძელი უჯრედის გენომური არასტაბილურობა პროგრესირებისას კრიტიკული მოლეკულური მოვლენებია, მზარდი მტკიცებულება ვარაუდობს, რომ ცვლილებები სიმსივნის მიკროგარემოში - იმუნური, სტრომული, სისხლძარღვთა და ნერვული ელემენტების ჩათვლით - აქტიურ როლს თამაშობს ამ ტრანსფორმაციის მოდულაციაში[3].

მიუხედავად იმისა, რომ იმუნური სისტემის ზედამხედველობის აცილებამ და ანგიოგენეზმა მნიშვნელოვანი ყურადღება მიიპყრო საშვილოსნოს ყელის კიბოს კვლევაში, ნეოპლასტიურ პროგრესირებაში ნერვული რეგულაციისა და სტრომული ინერვაციის როლი დიდწილად შეუსწავლელია. თუმცა, მზარდი კვლევები სიმსივნეების სხვადასხვა ტიპებზე - პროსტატის, სარძევე ჯირკვლის, პანკრეასის, თავ-კისრის კიბოს ჩათვლით - ასახავს სხვადასხვა ინტენსივობის ნეიროგენეზს, რომელიც განისაზღვრება როგორც სიმსივნის სტრომაში ახალი ნერვული ბოჭკოების დაგროვება ან წარმოქმნა, როგორც კიბოს ბიოლოგიის ძირითადი კომპონენტი. ასეთი ცვლილებების აქტუალობამ საშვილოსნოს ყელის დაზიანებებში, განსაკუთრებით კიბოსწინარე დისპლაზიიდან ინვაზიურ დაავადებაზე გადასვლისას, სულ ახლახან მიიპყრო მკვლევართა მზარდი ინტერესი[4].

ნეირორეგულაცია ავთვისებიან სიმსივნეებში ეხება, როგორც ნერვული ბოჭკოების უშუალო არსებობას და სტრუქტურულ რემოდელირებას სიმსივნის მიკროგარემოში, ასევე კიბოს უჯრედებსა და ნერვულ ელემენტებს შორის არაპირდაპირ კავშირს. სოლიდური სიმსივნის კონტექსტში, მიკროგარემო ხშირად განიცდის პერინევრულ ინვაზიას (PNI) ან პერინეოპლაზიურ ნერვულ რემოდელირებას, სადაც ნერვული ბოჭკოები გროვდება, გაფართოებულია ან გადაადგილდება სიმსივნის ზრდის მხარდასაჭერად[5].

კიბოს მრავალ მოდელში, მათ შორის პროსტატის, კუჭისა და პანკრეასის კიბოს, ნერვული ბოჭკოების სიმკვრივე (NFD) დაკავშირებულია სიმსივნის ავთვისებიანობის ხარისხთან, ინვაზიასთან, ტკივილის სიმძიმესთან და პროგნოზთან. მაგალითად, პროსტატის კიბოს კვლევებმა გამოავლინა პერინევრული ინვაზია, როგორც ცუდი შედეგის დამოუკიდებელი პროგნოზირებიის ფაქტორი, ხოლო პანკრეასის კიბოს დროს, ჭარბი ინერვაცია დაკავშირებულია ნერვული პლასტიურობისა და მკურნალობის მიმართ წინააღმდეგობის გაზრდასთან[6].

თუმცა, საშვილოსნოს ყელის კიბოს დროს, ნეირონული ინფილტრაციის, რემოდელირების ან ნეოფორმაციის არსებობას კიბოსწინარე სტადიაზე შეზღუდული ყურადღება ექცევა. მიუხედავად ამისა, ჰისტოლოგიური გამოკვლევა ხშირად ავლენს ნერვული ბოჭკოების ჰიპერტროფიას განსაკუთრებით მაღალი ხარისხის დისპლაზიისა და ინვაზიური კარცინომის დროს. არის თუ არა ეს ცვლილებები რეაქტიული, გამოწვეული სიმსივნისგან მიღებული ნეიროტროფიული ფაქტორებით მონაწილეობს თუ არა დაავადების პროგრესირების ხელშეწყობაში, ჯერ კიდევ პასუხგაუცემელი რჩება [7].

კვლევები ვარაუდობენ, რომ სიმსივნეებს შეუძლიათ აქტიურად გამოიწვიონ ნერვული პლასტიურობა, ფენომენი, რომელსაც ეწოდება "ნეონეიროგენეზი". კიბოს უჯრედები გამოყოფენ ნეიროტროფული ფაქტორების ფართო სპექტრს - როგორიცაა ნერვული ზრდის ფაქტორი (NGF), ტვინისგან მიღებული ნეიროტროფული ფაქტორი (BDNF), გლიური უჯრედებიდან მიღებული ნეიროტროფული ფაქტორი (GDNF) და სემაფორინები - რომლებსაც შეუძლიათ აქსონების მოზიდვა, სინაფსური წარმოქმნის მოდულირება ან შვანის უჯრედების მიგრაციის ხელშეწყობა[8].

NGF და BDNF განსაკუთრებით მონაწილეობენ სიმპატიკური ან სენსორული ინერვაციის ფორმირებაში სიმსივნურ ქსოვილებში. ეს მოლეკულური გზები ხელს უწყობს აქსონურ პროლიფერაციას, ურთიერთქმედებს სიმსივნის სისხლძარღვებთან და შესაძლოა სიმსივნურ უჯრედებთან სინაფსის მსგავსი სტრუქტურებიც კი დაამყაროს. ამ დინამიურ კომუნიკაციას შეუძლია გავლენა მოახდინოს სიმსივნის ზრდაზე, იმუნურ ინფილტრაციასა და ტკივილზე, რაც ქმნის იმას, რასაც ზოგიერთი მკვლევარი აღწერს, როგორც ნერვულ-იმუნურ-სიმსივნურ ღერძს.

საშვილოსნოს ყელის ქსოვილში, პერიფერიული ინერვაციის ნორმალური ფიზიოლოგიური როლი მოიცავს სისხლძარღვთა ტონის ავტონომიურ კონტროლს, ეპითელიუმის მთლიანობას და იმუნურ მეთვალყურეობას. როდესაც ნეოპლასტიური ტრანსფორმაცია ხდება, ეს ნერვული რეგულაცია შეიძლება დაირღვეს და გადაპროგრამდეს[9].

საშვილოსნოს ყელის ნეოპლაზიაში ნეირორეგულაციისა და სტრომული ინერვაციის გამოსაკვლევად სასარგებლოა რამდენიმე იმუნოჰისტოქიმიური მარკერი:

PGP9.5 (პროტეინის გენის პროდუქტი 9.5): უბიქვიტინის კარბოქსილ-ტერმინალური ჰიდროლაზა, ფართოდ გამოიყენება როგორც პან-ნეირონული მარკერი, როგორც მიელინირებული, ასევე არამიელინირებული ბოჭკოებისთვის. იგი ავლენს აქსონებს, მცირე ნერვულ ტოტებს და პერიფერიულ ბოჭკოებს მაღალი მგრძნობელობით.

S100 ცილა: განსაზღვრავს შვანის უჯრედებსა და გლიურ ელემენტებს და განსაკუთრებით სასარგებლოა ნერვული გარსების და პერინევრული სტრუქტურების გამოსავლენად. PGP9.5 და S100-თან ერთად შეღებვა აუმჯობესებს პერიფერიული ნერვული სტრუქტურების სპეციფიურობის გამოვლენას.

CD56 (NCAM): მიუხედავად იმისა, რომ ასევე ექსპრესირებულია ბუნებრივი მკვლელი (NK) უჯრედების მიერ და ზოგიერთი ეპითელურ სიმსივნეში, CD56-ს შეუძლია ექსპრესირებდეს ნერვულ ღეროდან წარმოებულ უჯრედებში. მისი არსებობა დისპლასტიური ეპითელიუმის მახლობლად შეიძლება მიუთითებდეს პერინეოპლასტიკურ რემოდელირებაზეც.

CD34: მიუხედავად იმისა, რომ ტრადიციულად სისხლძარღვთა ენდოთელური მარკერია, CD34 შეღებვა ასევე ხელს უწყობს სისხლძარღვებით მდიდარი სტრომული რეგიონების იდენტიფიცირებას, რაც სასარგებლოა ნერვული ბოჭკოების სიახლოვის სისხლძარღვებთან და პოტენციური ნეიროანგიოგენური ნიმუშების შესამოწმებლად[10].

საშვილოსნოს ყელის ტრანსფორმაციის ზონა არის ეპითელური მეტაპლაზიის, ჰორმონური რეაქციის, იმუნური ზემოქმედების უნიკალური ადგილი. ამ ზონაში მყოფი ნერვული კომპონენტები შეიძლება მოქმედებენ როგორც ლოკალური ჰომეოსტაზის მცველები ან მოდულატორები. როგორც ეპითელური უჯრედები ხდება დისპლასტიკური, მათ შეუძლიათ შეცვალონ მათი ურთიერთქმედება მიმდებარე ნერვებთან - ნეიროტროფიული ფაქტორების სეკრეციით, უჯრედგარე მატრიქსის რემოდელირებით ან იმუნური პასუხის შეცვლით[11].

ნეიროეპითელური-სტრომული ღერძის შემოთავაზებული კონცეფცია გულისხმობს, რომ ნერვული სტრუქტურები არ არიან პასიური მონაწილეები, არამედ აქტიური მოთამაშეები სიმსივნური მიკროგარემოს ურთიერთმიმართებაში. ნერვულ ბოჭკოებს შეუძლიათ ანგიოგენეზის რეგულირება, იმუნური უჯრედების მოზიდვის მოდულირება ან თუნდაც ტრანსფორმირებული ეპითელური უჯრედების მიგრაციულ და ინვაზიურ ქცევაზე გავლენა.

მასალები და მეთოდები

ჩვენი კვლევა მოიცავდა სულ ორმოცდახუთ ფორმალინში ფიქსირებულ და პარაფინში ჩაყალიბებულ (FFPE) საშვილოსნოს ყელის ქსოვილის ნიმუშებს, რომლებიც ამოღებული იყო თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და დიაგნოსტიკური ლაბორატორიის პათოლოგიის არქივიდან (2017-2025). შერჩეული შემთხვევები დაყოფილი იყო ხუთ დიაგნოსტიკურ ჯგუფად, თითოეული შედგებოდა ცხრა შემთხვევისგან: ჰისტოლოგიურად ნორმალური საკონტროლო საშვილოსნოს ყელი, საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზია 1 ხარისხი (CIN1), ხარისხი 2 (CIN2), ხარისხი 3 (CIN3) და ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომა (SCC). ყველა შემთხვევა გადაიხედა ორი დამოუკიდებელი პათოლოგანატომის მიერ დიაგნოსტიკური სიზუსტის უზრუნველსაყოფად. შესაბამისი კლინიკური მონაცემები, მათ შორის პაციენტის ასაკი, HPV სტატუსი, მენსტრუალური სტატუსი (პრემენოპაუზური ან პოსტმენოპაუზური) და ნიმუშის ტიპი (ბიოფსია ან კონიზაცია) დაფიქსირდა სტატისტიკური კორელაციისთვის.

იმუნოჰისტოქიმიური შეღებვა ჩატარდა სერიულ 3-4 მკმ ანათლებზე ავტომატური Leica Bond Max გამოყენებით. პირველადი ანტისხეულები მოიცავდა PGP9.5 (Z0311, Leica, 1:200 განზავება), S100 ცილა (პოლიკლონალური, Leica, 1:400), CD56 (კლონი 123C3, Leica, 1:100) და CD34 (კლონი QBEnd/10, Leica, 1:1). ანტიგენის აღდგენა და ვიზუალიზაცია განხორციელდა სტანდარტული DAB ქრომოგენის გამოყენებით. დადებითი და უარყოფითი კონტროლი გამოყენებული იყო თითოეულ შემთხვევაში იმუნოჰისტოქიმიური შეღებვის სანდოობის დასადასტურებლად.

ყველა შეღებილი სლაიდი გაციფრულებულ იქნა MoticEasyScan სლაიდ სკანერის გამოყენებით მაღალი გარჩევადობით (200× და 400×). იმუნორეაქტიულობის რაოდენობრივი და სივრცითი ანალიზი ჩატარდა QuPath და ImageJ პროგრამული უზრუნველყოფის კომბინაციის გამოყენებით, რაც საშუალებას აძლევს მორფომეტრულ გაზომვებს და ველის თანმიმდევრულ შერჩევას ყველა შემთხვევაში. თითოეული შემთხვევისთვის ხუთი წარმომადგენლობითი მაღალი გადიდების ველი (HPF) შეირჩა სტრომული ზონიდან პირდაპირ ეპითელური ბაზალური მემბრანის ან სიმსივნის ფრონტის ქვეშ.

PGP9.5 იმუნორეაქტიულობა იყო გამოყენებული პერიფერიული ნერვული ბოჭკოების იდენტიფიცირებისთვის. თითოეული შემთხვევისთვის, ნერვული ბოჭკოების რაოდენობა გამოითვლებოდა მმ²-ზე. გარდა ამისა, დაფიქსირდა ნერვული ბოჭკოს მაქსიმალური დიამეტრი (მკმ) და მინიმალური მანძილი უახლოეს ნერვულ ბოჭკოსა და ეპითელიუმის ბაზალურ მემბრანას შორის. ნერვული ბოჭკოების სიმკვრივე შეფასდა ნახევრად რაოდენობრივად შემდეგი კრიტერიუმების მიხედვით: 0-დან 1 ბოჭკო/მმ² (არც ერთი იშვიათი), 2-დან 5 ბოჭკო/მმ² (ზომიერი) და 5-ზე მეტი ბოჭკო/მმ² (ძლიერი სტრომული რემოდელირების მანიშნებელია).

S100 იმუნოპოზიტიურობა, რომელიც გამოიყენება შვანის უჯრედებისა და ნერვული გარსების იდენტიფიცირებისთვის, შეფასებული იყო ნახევრად რაოდენობრივად იმავე ხუთ HPF-ში. შეღებვა შეფასდა შემდეგნაირად: 0 (არ აღინიშნება), 1 (იშვიათი იზოლირებული S100-დადებითი უჯრედები), 2 (ფოკალური პოზიტიურობა მცირე ნერვულ ბოჭკოებში) და 3 (მკვრივი კლასტერული ან შვანის უჯრედების პოზიტიურობა სამ ან მეტ HPF-ში). როგორც ბირთვული, ასევე ციტოპლაზმური იმუნორეაქტიულობა დადებითად იქნა მიჩნეული.

CD56 ექსპრესია შეფასებული იყო როგორც შეღებვის ინტენსივობის, ასევე განაწილების ტიპის საფუძველზე. საბოლოო ქულაში ჩართული იყო მხოლოდ ნერული ბოჭკოების პოზიტიურობა, ხოლო ლიმფოიდური ან ეპითელური უჯრედების გრანულური ან ციტოპლაზმური ექპრესია იყო გამორიცხული. CD56 შეღებვა შეფასდა შემდეგნაირად: 0 (უარყოფითი), 1+ (სუსტი და ლაქისებრი), 2+ (ზომიერი ინტენსივობა) და 3+ (ძლიერი).

CD34 იმუნოჰისტოქიმია გამოიყენებოდა მხოლოდ სტრომული სისხლძარღვების ადგილმდებარეობისა და განაწილების დასადგენად. მიუხედავად იმისა, რომ CD34 არ იყო შეფასებული ინტენსივობისთვის, ის ემსახურებოდა სივრცულად ნერვული ბოჭკოების პერივასკულარული ლოკალიზაციის დასადგენად. ნერვული ბოჭკო ჩაითვალა პერივასკულარულად, თუ ის განლაგებულია CD34-დადებითი სისხლმილის 50 μm-ში. პერივასკულარული ნერვული სტრუქტურების რაოდენობა HPF-ზე დაფიქსირდა და გამოიყენებოდა პოტენციური ნეიროვასკულური რემოდელირების შესაფასებლად.

აღწერილობითი სტატისტიკა, მათ შორის საშუალო, მედიანა, სტანდარტული გადახრა და დიაპაზონი, გამოითვლებოდა თითოეული დიაგნოსტიკური ჯგუფისთვის. ჯგუფებს შორის შედარება ჩატარდა არაპარამეტრული ტესტების გამოყენებით, მათ შორის კრუსკალ-ვალისის ტესტი ჯგუფებს შორის შედარებისთვის და სპირმანის რანგის კორელაცია, რათა შეფასებულიყო კავშირი დაზიანების ხარისხსა და მარკერის ექსპრესიას ან სივრცით განაწილებას შორის. 0.05-ზე ნაკლები p-მნიშვნელობა ჩაითვალა სტატისტიკურად სარწმუნო.

შედეგები

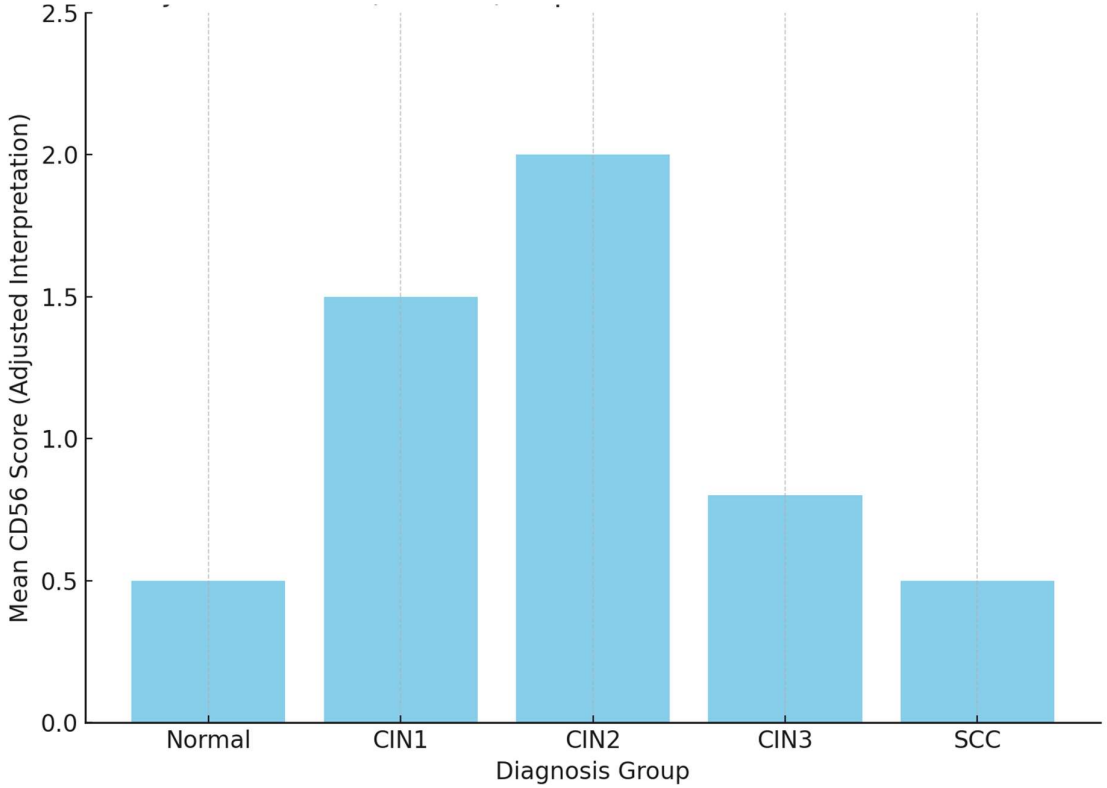
კლინიკოპათოლოგიური მახასიათებლები: კვლევის კოჰორტა მოიცავდა 45 საშვილოსნოს ყელის ქსოვილის ნიმუშს, რომლებიც თანაბრად იყო განაწილებული ხუთ დიაგნოსტიკურ კატეგორიაში: ნორმალური საშვილოსნოს ყელი (n = 9), CIN1 (n = 9), CIN2 (n = 9), CIN3 (n = 9) და ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომა (SCC) (n = 9).

დაავადების პროგრესირებასთან ერთად დაფიქსირდა მენსტრუალური სტატუსის მკვეთრი ცვლილება. CIN1 და CIN2-ით ყველა პაციენტი იყო პრემენოპაუზური, მაშინ როცა CIN3 და SCC შემთხვევებმა აჩვენა პოსტმენოპაუზური პაციენტების დომინირება (თითოეულ ჯგუფში 9-დან 6). საშვილოსნოს ყელის ნორმალური შემთხვევების ორი მესამედი იყო პრემენოპაუზური.

HPV სტატუსმა აჩვენა ძლიერი კავშირი დაზიანების ხარისხთან. CIN3 და ინვაზიური SCC-ის უმეტესი შემთხვევა იყო HPV-დადებითი, ხოლო CIN1 და ნორმალური საშვილოსნოს ყელის შემთხვევები მთლიანად HPV-უარყოფითი. CIN2-ში 9 პაციენტიდან მხოლოდ 3 (33%) იყო HPV-დადებითი, რაც შეესაბამება მის გარდამავალ ბიოლოგიურ ბუნებას.

ჰისტოლოგიური მასალის ნიმუშის ტიპები განსხვავდება დაზიანების მიხედვით. ყველა CIN1 და ნორმალური საშვილოსნოს ყელის შემთხვევა დიაგნოზირებული იყო ბიოფსიური მასალის საფუძველზე, ხოლო CIN3 და SCC ნიმუშები უმეტესად მიღებული იყო კონიზაციის პროცედურებიდან. CIN2 ჯგუფი შერეული იყო, ორი მესამედი ბიოფსიიდან და ერთი მესამედი კონიზაციიდან.

PGP9.5, S100 და CD56-ის იმუნოჰისტოქიმიური შეფასება გამოავლინა პროგრესული და მნიშვნელოვანი ცვლილებები ნერვულ არქიტექტურაში და სტრომული ინერვაციაში, რომელიც დაკავშირებულია ჰისტოლოგიურ დაზიანებათა ხარისხის სიმძიმის მატებასთან.

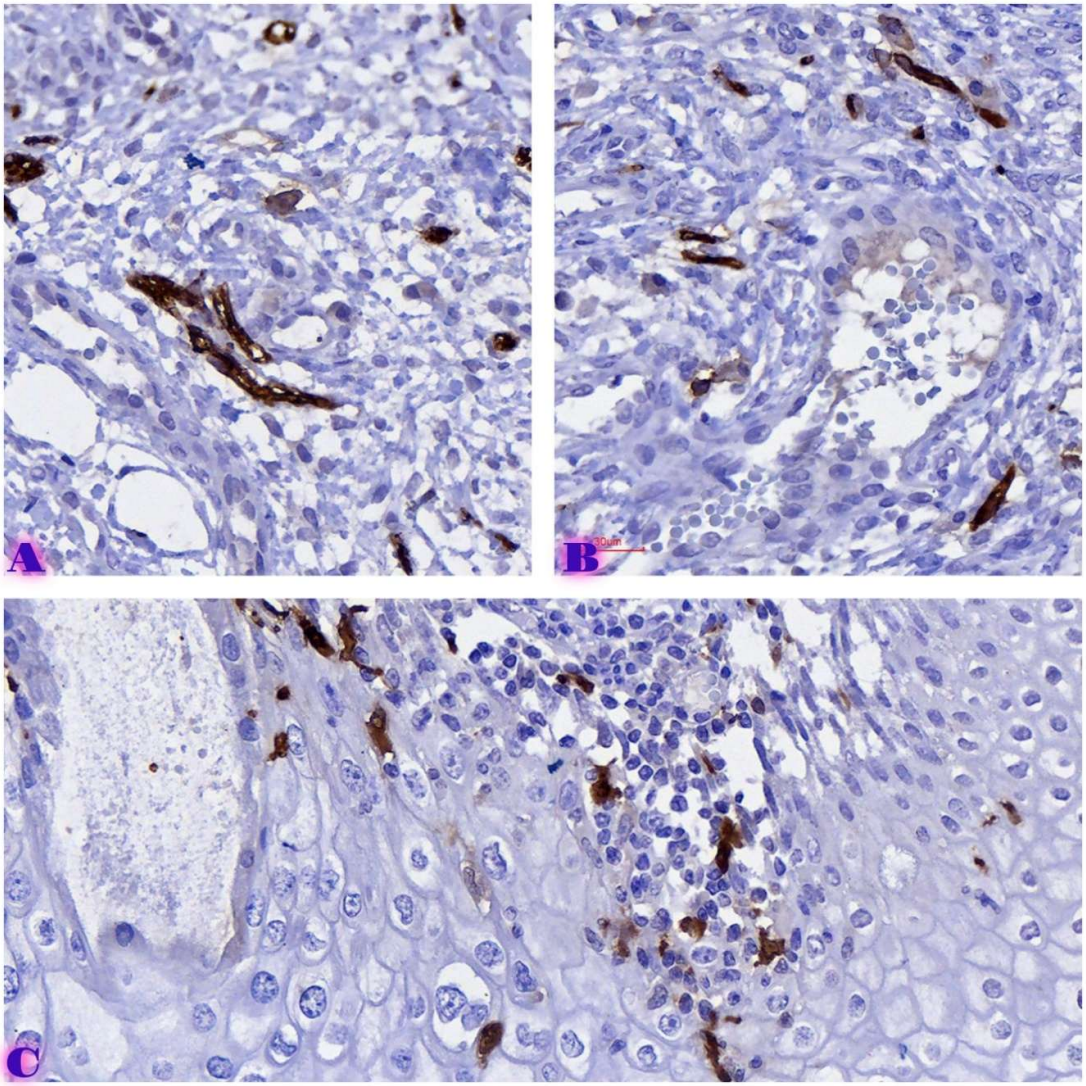


დიაგრამა 6: *CD56-ის ექსპრესიის განაწილება საკვლევ ჯგუფებში;*

PGP9.5-დადებითი ნერვული ბოჭკოები იშვიათი განაწილებით გვხვდებოდა საშვილოსნოს ყელის ნორმალურ სტრომაში, ნერვების საშუალო რაოდენობას შეადგენდა 0.3/მმ². CIN1-ში ნერვული ბოჭკოების სიმკვრივე ზომიერად გაიზარდა (საშუალოდ: 1.1/მმ²), ხოლო CIN2-მა აჩვენა შესამჩნევი ზრდა (საშუალოდ: 2.8/მმ²). CIN3-მა აჩვენა შემდგომი ზრდა (საშუალოდ: 5.8/მმ²) და ყველაზე მაღალი ნერვული ბოჭკოების სიმკვრივე დაფიქსირდა ინვაზიურ SCC-ში (საშუალოდ: 9.3/მმ²), რაც ასახავს მნიშვნელოვან პერინეოპლასტიურ რემოდელირებას.

ამ ტენდენციის პარალელურად, ნერვული ბოჭკოების მაქსიმალური დიამეტრი ასევე მნიშვნელოვნად გაიზარდა დაავადების სიმძიმის მიხედვით. ნორმალური საშვილოსნოს ყელის საშუალო 0,8 µm-დან, დიამეტრი გაიზარდა 3,2 µm-მდე CIN1-ში, 5,1 µm-მდე CIN2-ში, 8,1 µm-მდე CIN3-ში და მიაღწია 11,9 მკმ-ს SCC-ში, რაც მიუთითებს სტრუქტურულად ნერვული ბოჭკოს ჰიპერტროფიაზე და პოტენციურ რეგენერაციულ ან რეაქტიულ ცვლილებებზე სიმსივნის მიკროგარემოში.

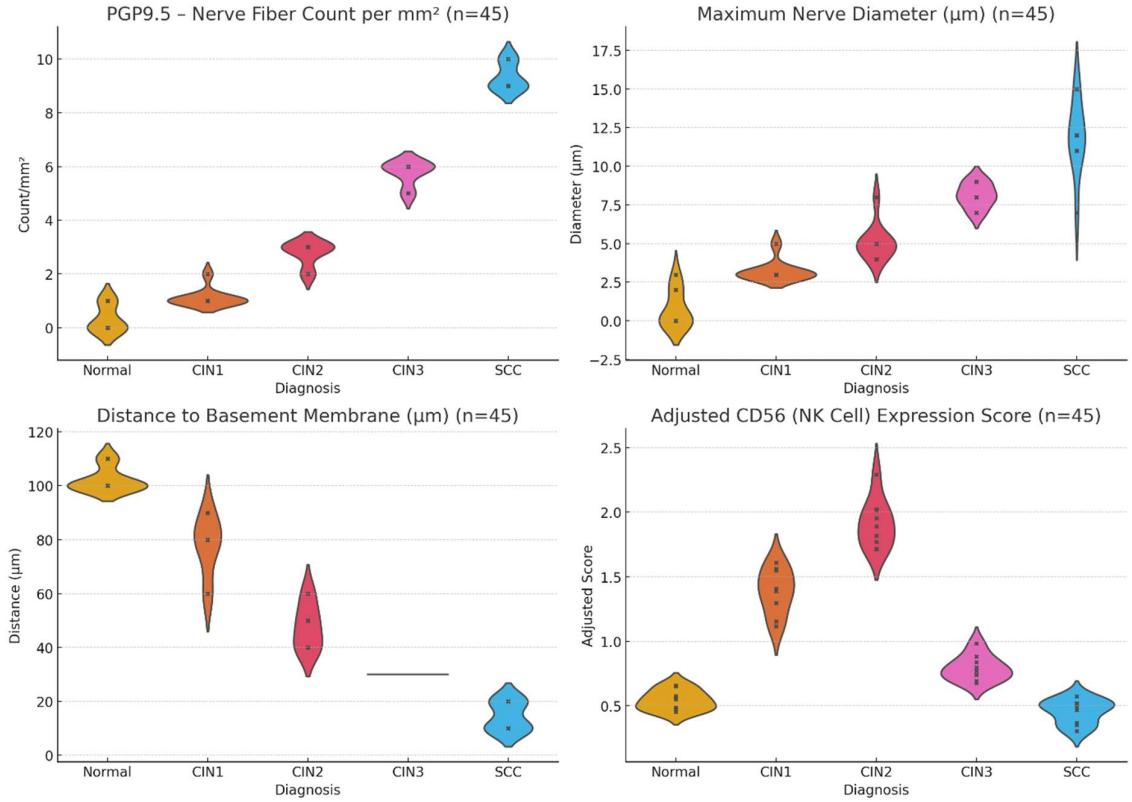
მანძილი ნერვულ ბოჭკოებსა და ეპითელიუმის ბაზალურ მემბრანას შორის პროგრესირებასთან ერთად სტაბილურად მცირდებოდა. ნორმალურ საშვილოსნოს ყელში ნერვები განლაგებული იყო საშუალოდ 102.2 მკმ-ით ეპითელიუმიდან, ხოლო CIN1 და CIN2-ში ეს შემცირდა 77.8 მკმ-მდე და 47.8 მკმ-მდე, შესაბამისად. CIN3-ში ბოჭკოები განლაგებული იყო საშუალოდ 30.0 µm-ზე და ინვაზიურ SCC-ში, ხშირად სიმსივნურ უჯრედებთან ან კონტაქტში (საშუალოდ: 14.4 µm). ეს ხაზს უსვამს შესაძლო ტენდენციას პერიეპითელური ან პერიტუმორული ნერვული ზრდისკენ.



სურათი 4: A. PGP9.5-ის ექსპრესია საშვილოსნოს ყელის ზომიერი ხარისხის ინტრაეპითელურ ნეოპლაზიის შემთხვაში CIN2, 400X,IHC; B. S100-ის ექსპრესია საშვილოსნოს ყელის ზომიერი ხარისხის ინტრაეპითელურ

S100, რომელიც ავლენს შვანის უჯრედებსა და ნერვულ გარსებს, თითქმის არ აღინიშნებოდა ნორმალურ საშვილოსნოს ყელში (საშუალო ქულა: 0.2) და სუსტად დადებითი CIN1-ში (საშუალო ქულა: 1.3). CIN2-ში დაფიქსირდა ნერვული გარსის უფრო მკაფიო სტრუქტურა (საშუალოდ: 2.0), შემდგომი ზრდით CIN3 (2.3) და ინვაზიური SCC (2.9), სადაც პერიტუმორალური S100 პოზიტიურობა აშკარა იყო მრავალ ველში. ეს დასკვნები მიუთითებს პერიფერიული ნერვული ბოჭკოების განვითარებაზე დისპლაზიურ და ავთვისებიან პირობებში.

CD56 (NCAM), თავდაპირველად დისპლაზიის დაბალ ხარისხის შემთხვევებში ჰიპერტროფიასთან ერთად მატულობს NK უჯრედების ჰიპერპლაზია თუმცა CIN3 და SCC შემთხვევებში მისი რაოდენობა მინიმალურია. რაც შესაძლოა წარმოადგენდეს ნეირორეგულაციიდან გაქცევა/სიმსივნის იმუნური სისტემისაგან გაქცევის გამოვლინებას.



დიაგრამა 7: *PGP9.5-ის, CD56-ისა, ნერვული ბოჭკოების დიამეტრისა და გაზალური მემბრანიდან დაშორების მონაცემების სხვადასხვა საკვლევ ჯგუფებში.*

ნერვული ბოჭკოების რაოდენობის, ნერვული ბოჭკოს დიამეტრის, ეპითელური ბაზალური მემბრანასთან სიახლოვის და S100/CD56 ექსპრესიის პროგრესირებადი ზრდა CIN1–CIN3 და SCC-ში მხარს უჭერს პერინეოპლასტიური ნერვული რემოდელირების თანდათანობითი, სტრუქტურირებული პროცესის არსებობას. ეს რემოდელირება მინიმალურია ან არ არსებობს საშვილოსნოს ყელის ნორმალურ და დაბალი ხარისხის დაზიანებებში, აშკარა ხდება CIN2-ში და აღწევს მაქსიმალურ მაჩვენებელს CIN3-ში და ინვაზიურ კარცინომაში.

ეს ხაზს უსვამს ნერვული ელემენტების არა მხოლოდ როგორც რეაქტიული სტრომული კომპონენტის, არამედ როგორც ნეოპლასტიკური ტრანსფორმაციის დროს მიკროგარემოს სიგნალიზაციაში ერთერთ მონაწილის შესაძლო როლს.

განსჯა

ჩვენი კვლევა უზრუნველყოფს ნერვული მიკროგარემოს რემოდელირების შეფასებას საშვილოსნოს ყელის ინტრაეპითელური ნეოპლაზიის (CIN) და ინვაზიური ბრტყელუჯრედოვანი კარცინომის (SCC) დაზიანებათა ჰისტოლოგიურ სპექტრში, იმუნოჰისტოქიმიური მარკერების PGP9.5, S100 და CD56 გამოყენებით. ჩვენი კვლევა არის ერთ-ერთი იმ მცირერიცხოვან კვლევათაგანი, რომელიც რაოდენობრივად აფასებს ნერვული ბოჭკოების სიმკვრივის, მორფოლოგიისა და სივრცული ორიენტაციის ცვლილებებს საშვილოსნოს ყელის სტრომაში და ამ მახასიათებლებს კომპლექსურად განიხილავს დაზიანების ჰისტოლოგიურ ხარისხთან და კლინიკურ პარამეტრებთან, მათ შორის HPV სტატუსთან ერთად.[12]

ჩვენი კვლევის დასკვნები აჩვენებს სტრომული ნერვული ბოჭკოების სიმკვრივის მკაფიო, პროგრესულ ზრდას CIN1-დან CIN3-მდე ინვაზიურ SCC-მდე. ნერვული ბოჭკოები აღინიშნებოდა მწირი რაოდენობით და ღრმად ლოკალიზებული საშვილოსნოს ყელის ნორმალურ და დაბალი ხარისხის დაზიანებებში, მაგრამ გახდა უფრო მრავალრიცხოვანი და მჭიდროდ მიახლოებული ბაზალურ მემბრანას მაღალი ხარისხის დისპლაზიისა და კარცინომის დროს. ნერვ-ეპითელიუმის საშუალო მანძილის მკვეთრი შემცირება CIN2-სა და CIN3-ს შორის და ნერვული ბოჭკოების დაგროვება დისპლაზიური ეპითელიუმის ქვეშ, მიუთითებს აქტიური პერინეოპლასტური ინერვაციის დაწყებაზე მაღალი ხარისხის დისპლაზიური ტრანსფორმაციის დროს [13].

მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენი კვლევა არ იყო შემუშავებული HPV სტატუსის სტატისტიკურად სტრატიფიკაციისთვის, შესწავლილი ნიმუშების რაოდენობის შეზღუდულობის გამო, კვლევის შედეგები აჩენს მნიშვნელოვან კითხვებს მაღალი რისკის HPV ინფექციის შესაძლო ნეიროტროფიულ გავლენასთან დაკავშირებით. ვირუსულმა ონკოგენებმა, როგორიცაა E6 და E7, შეიძლება წვლილი შეიტანონ არა მხოლოდ ეპითელიუმის ტრანსფორმაციაში, არამედ პარაკრინულ სიგნალიზაციაში სიმსივნის მიკროგარემოში, რაც პოტენციურად იმოქმედებს ნერვული სისტების გააქტიურებაზე ან შვანის უჯრედების მიგრაციაზე. ეს ჰიპოთეზები საჭიროებს შემდგომ სიღრმისეულ კვლევებს.

ჩვენი კვლევის დასკვნები ასევე აძლიერებს კონცეფციას, რომ საშვილოსნოს ყელის კიბოს პროგრესირება არ შემოიფარგლება ეპითელიუმის დისპლაზიით და იმუნური ზედამხედველობის აცილებით, არამედ მოიცავს კომპლექსურ სტრომულ რემოდელირებას[14]. ნერვული სტრუქტურები, რომლებიც დიდი ხნის განმავლობაში განიხილებოდა პასიურად ან შემთხვევით, შეიძლება შეასრულოს აქტიური როლი მიკროგარემოს შექმნაში. ნერვული ბოჭკოების ჰიპერტროფია პროგრესულად მატულობს დისპლაზიის მატებასთან ერთად. ნაწილი ბოჭკოების არის ჩვეულებრივი ნაწილი კი ნეოანგიოგენეზის შედეგად მიღებული ნეიროგენეზური ბოჭკოები.

CIN3-სა და SCC-ის შემთხვევებში NK (ბუნებრივი მკვლელი უჯრედები) მკვეთრად შემცირებულია, რაც იმით აიხსნება, რომ ამ ეტაპზე დომინირებს ნეონეიროგენეზური ბოჭკოების არსებობა. თავდაპირველად დისპლაზიის დაბალ ხარისხის შემთხვევებში ჰიპერტროფიასთან ერთად მატულობს NK უჯრედების ჰიპერპლაზია თუმცა CIN3 და SCC შემთხვევებში მისი რაოდენობა მინიმალურია. რაც შესაძლოა წარმოადგენდეს ნეირორეგულაციიდან გაქცევის/სიმსივნის იმუნური სისტემისაგან გაქცევის გამოვლინებას.

ეს კვლევა გაძლიერებულია ციფრული პათოლოგიის ხელსაწყოების გამოყენებით ნერვული მახასიათებლების ობიექტური, რეპროდუქციული მორფომეტრიული ანალიზის მხარდასაჭერად. სივრცითი და ნახევრად რაოდენობრივი მონაცემების ინტეგრაციამ გააუმჯობესა თანმიმდევრულობა და შეამცირა დამკვირვებლის სუბიექტური შეფასება.

დასკვნა

ჩვენი კვლევა აჩვენებს, რომ საშვილოსნოს ყელის პროგრესირებადი ნეოპლაზიური დაზიანებები, განსაკუთრებით HPV-სთან ასოცირებული CIN3 და ინვაზიური SCC, ხასიათდება სტრომული ნერვული ბოჭკოების სიმკვრივის გაზრდით, ნერვული ბოჭკოების ჰიპერტროფიითა და პერიეპითელური რეორგანიზაციით. PGP9.5, S100-ის ექსპრესია ავლენს ნერვული რემოდელირების სტრუქტურულ პროცესებს, რომელიც შეიძლება ასახავდეს კანცეროგენეზის დროს ადრეულ ნეიროეპითელურ ურთიერთქმედებებს. ნერვული ბოჭკოების ჰიპერტროფია პროგრესულად მატულობს დისპლაზიის მატებასთან ერთად. ნაწილი ბოჭკოების არის ჩვეულებრივი ნაწილი კი ნეოანგიოგენეზის შედეგად მიღებული ნეიროგენეზური ბოჭკოები.

CIN3-სა და SCC-ის შემთხვევებში NK (ბუნებრივი მკვლელი უჯრედები) მკვეთრად შემცირებულია, რაც იმით აიხსნება, რომ ამ ეტაპზე დომინირებს ნეონეიროგენეზური ბოჭკოების არსებობა. თავდაპირველად დისპლაზიის დაბალ ხარისხის შემთხვევებში ჰიპერტროფიასთან ერთად მატულობს NK უჯრედების ჰიპერპლაზია, თუმცა CIN3 და SCC შემთხვევებში მისი რაოდენობა მინიმალურია. რაც შესაძლოა წარმოადგენდეს ნეირორეგულაციიდან გაქცევის/სიმსივნის იმუნური სისტემისაგან გაქცევის გამოვლინებას.

აღნიშნული შედეგები შესაძლოა სამომავლოდ გამოყენებული იქნას იმუნოთერაპიის საშუალებების უკეთ დახვეწასა და NK - ტარგეტული საშუალებების შემუშავებაში.

გამოყენებული ლიტერატურა

[1] მიმოხილვა კრიტიკული, გოგიტიძე გიორგი, კეპულაძ ეშოთა, თევზაძე ნინო, and ბურკაძე გიორგი, "The Role of the Local Neural microenvironment in the Progression of cervical intraepithelial Neoplasia," *Georgian Scientists*, vol. 5, no. 3, pp. 182–188, Sep. 2023, doi: 10.52340/2023.05.03.19.

[2] B. Boilly, S. Faulkner, P. Jobling, and H. Hondermarck, "Nerve Dependence: From Regeneration to Cancer," *Cancer Cell*, vol. 31, no. 3, pp. 342–354, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.CCELL.2017.02.005.

[3] W. Wang *et al.*, "Nerves in the Tumor Microenvironment: Origin and Effects," *Front Cell Dev Biol*, vol. 8, Dec. 2020, doi: 10.3389/FCELL.2020.601738.

[4] S. Faulkner, P. Jobling, B. March, C. C. Jiang, and H. Hondermarck, "Tumor neurobiology and the war of nerves in cancer," *Cancer Discov*, vol. 9, no. 6, pp. 702–710, Jun. 2019, doi: 10.1158/2159-8290.CD-18-1398.

[5] P. D. Vermeer, "Exosomal induction of tumor innervation," *Cancer Res*, vol. 79, no. 14, pp. 3529–3535, 2019, doi: 10.1158/0008-5472.CAN-18-3995.

[6] J. Bründl, S. Schneider, F. Weber, F. Zeman, W. F. Wieland, and R. Ganzer, "Computerized quantification and planimetry of prostatic capsular nerves in relation to adjacent prostate cancer foci," *Eur Urol*, vol. 65, no. 4, pp. 802–808, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.EURURO.2013.04.043.

[7] C. T. Lucido *et al.*, "Innervation of cervical carcinoma is mediated by cancer-derived exosomes," *Gynecol Oncol*, vol. 154, no. 1, pp. 228–235, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.YGYNO.2019.04.651.

[8] L. Gao, H. Bo, Y. Wang, J. Zhang, and M. Zhu, "Neurotrophic factor Artemin promotes invasiveness and neurotrophic function of pancreatic Adenocarcinoma in vivo and in vitro," *Pancreas*, vol. 44, no. 1, pp. 134–143, Jan. 2015, doi: 10.1097/MPA.0000000000000223.

[9] S. Gillespie and M. Monje, "The Neural Regulation of Cancer," *Annu Rev Cancer Biol*, vol. 4, pp. 371–390, Mar. 2020, doi: 10.1146/ANNUREV-CANCERBIO-030419-033349.

[10] M. Arese, F. Bussolino, M. Pergolizzi, L. Bizzozero, and D. Pascal, "Tumor progression: the neuronal input," *Ann Transl Med*, vol. 6, no. 5, pp. 89–89, Mar. 2018, doi: 10.21037/ATM.2018.01.01.

[11] C. Magnon *et al.*, “Autonomic nerve development contributes to prostate cancer progression,” *Science (1979)*, vol. 341, no. 6142, 2013, doi: 10.1126/SCIENCE.1236361.

[12] T. Dzotsenidze, A. Gvenetadze, M. Gachechiladze, G. Burkadze, and S. Kepuladze, “Immunohistochemical phenotype of fallopian tubes in patients with different grades of serous ovarian carcinoma,” *Indian Journal of Pathology and Oncology Journal homepage: www.ijpo.co.in Original Research Article*, vol. 9, no. 4, pp. 301–305, 2022, doi: 10.18231/j.ijpo.2022.073.

[13] M. Głowienka-Stodolak *et al.*, “Human Papillomavirus Infections and the Role Played by Cervical and Cervico-Vaginal Microbiota—Evidence from Next-Generation Sequencing Studies,” *Cancers (Basel)*, vol. 16, no. 2, p. 399, Jan. 2024, doi: 10.3390/CANCERS16020399.

[14] M. Schiffman and N. Wentzensen, “Human papillomavirus infection and the multistage carcinogenesis of cervical cancer,” *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, vol. 22, no. 4, pp. 553–560, Apr. 2013, doi: 10.1158/1055-9965.EPI-12-1406.

Features of Neural Microenvironment Remodelling in cervical intraepithelial neoplasia and squamous Cell Carcinoma

Giorgi-Jemal Gogitidze[1]; Shota Kepuladze[2]; Giorgi Burkadze[3]

[1]PhD student, Tbilisi State Medical University; Gynaecologist; [2]Pathologist, Tbilisi State Medical University; Academic Doctor of Medicine; [3]Professor, Head of the Department of Molecular Pathology, Tbilisi State Medical University;

Abstract

Despite the central role of epithelial dysplasia and HPV infection in cervical carcinogenesis, changes in the stromal microenvironment and neural remodelling remain the least studied areas. Our study examines the distribution and structural changes of peripheral nerve fibres across the spectrum of cervical intraepithelial neoplasia and invasive squamous cell carcinoma. Forty-five cervical tissue samples (9 normal, CIN1, CIN2, CIN3, and SCC) were stained using antibodies to PGP9.5, S100, CD56, and CD34. The density, maximum diameter, and distance from the epithelial basement membrane of nerve fibres were quantified. S100 and CD56 expression were semiquantitatively assessed. A progressive increase in PGP9.5-positive nerve fibres was observed from CIN1 to SCC, which was also accompanied by an increase in nerve fibre diameter. Hypertrophy of nerve fibres progressively increases with increasing dysplasia. Some fibres are normal, while others are neurogenic fibres resulting from neoangiogenesis.

In CIN3 and SCC, NK (natural killer cells) are sharply reduced, which is explained by the presence of neoneurogenic fibres that dominate at this stage. Initially, in cases of low-grade dysplasia, NK cell hyperplasia increases along with hypertrophy, although its number is minimal in CIN3 and SCC. This may represent a manifestation of escape from neuroregulation/tumour escape from the immune system.

These results may be used to refine immunotherapy better and develop NK-targeted drugs.

Keywords: Cervical intraepithelial neoplasia, PGP9.5, S100, CD56, neural remodelling, HPV, cervical cancer, tumour microenvironment.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.10



Determination of the temperature interval of direct and reverse martensitic transformation

in Ti-Nb alloys by means of electrical resistance and differential thermal analysis

Kakha Gorgadze[1]; Magda Metskhvarishvili[2], Mikhail Janikashvili[3], Tamar Berberashvili[4], Medea Burjanadze[5], Nikoloz Vachadze[6]

[1]Georgian Technical University. Faculty of Informatics and Control Systems, Institute "Talga" of Georgian Technical University, PhD in Physics, Assistant Professor, k.gorgadze@gtu.ge; [2]Institute "Talga" of Georgian Technical University, Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Scientist, m.metskhvarishvili@gtu.ge, https://orcid.org/0000-0002-1318-529X

[3]Institute of Constructions, Special Systems and Engineering Maintenance of Georgian Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor, [4]Georgian Technical University. Faculty of Informatics and Control Systems, PhD in Physics, Associated Professor, t.berberashvili@gtu.ge, [5]Institute "Talga" of Georgian Technical University, PhD in Biology, Professor, m.burjanadze@gtu.ge, [6]Tbilisi State Medical University, PhD in Medicine, Assistant Professor, n.vachadze@tsmu.edu

Abstract

In various fields of science and technology, in chemical production, in the fields of food and medicine, the use of binary and multicomponent titanium alloys with different concentrations of chemical elements, which differently affect the phase composition of the alloys and the course of phase transformations, creates the need to study the processes of the formation of metastable phases and structural transformations.

Because of the combined influence of thermal and mechanical processing of the concentration of titanium chemical elements on the nature of phase transformations is poorly investigated, a thorough study of binary titanium alloys with such a β-isomeric element as niobium is required. Its concentration in the Ti-Nb binary alloy determines some features of the martensitic transformation, for example, the tempering-slackening process, which distinguishes it from other alloys. This is the essential importance when comparing the similarities and differences of the mechanism of the metastable phase formation in other titanium alloys during determination of the second component of diffusion mobility in titanium alloys.

The aim of the study was to investigate the shape memory effect in Ti-Nb binary alloys at different Nb concentrations. To determine the superelasticity and damping capacity. To measure the temperatures of the direct and reverse martensitic transformations in the alloy of a given concentration. To determine the reactive tension generated during shape recovery.

Key Words: Titanium, binary alloy, shape memory effect, phase transformation, damping.

The shape memory effect and superelasticity are based on a special type of martensitic transformation - thermoelastic martensitic transformation. [1]. The total energy of such transformation is associated only with thermal and elastic factors. During the transformation, the internal thermal energy decreases, while the elastic, which is caused by the growth of martensite crystals, increases. At a certain temperature, their sum may reach a minimum. In this case, the growth of martensite crystals is stopping and the equilibrium is unstable. This process can be updated by temperature variation or by the action of external forces, which will lead to either further growth of martensite crystals or their disappearance, i.e., a reverse martensitic transformation. The temperature hysteresis of the such transformation is very narrow – in order of tens of degrees. The reversibility of the martensitic transformation in alloys is due to the high degree of compatibility of the crystal lattices of the initial and martensitic phases, and the small amount of the volume mismatches. For a long time, it was believed that the complete reversibility of the martensitic transformation was ensured by the order of the phase lattices. For example, as in the case of titanium nickelide Ti-Ni. However, in the 70s of the 20th centuries, it was proven that the shape memory effect can exist in disordered structures [2]. In the case of an invariant lattice, deformation during the reversible martensitic transformation proceeds by the mechanism of twin formation [3-7]. This type of shape memory effect is characteristic of titanium alloys with the β-isomorphous element Nb [8-17]. In the deformational $\beta \leftrightarrow \alpha$" transformation, the planes and directions are preserved in both phases, the deformation is close to pure shift deformation. On the tension-deformation curve the shape of the deformational martensitic transformation corresponds to the mechanism of change of the "martensitic flow plateau", the value of which shows the magnitude of the starting tension of the martensitic transformation in the β-phase, which surrounds the martensitic phase. There is no Irretraceable slipp.

At temperatures $T < M_f$ (Completion temperature of the martensitic transformation M_f), alloys contain only the martensitic α"-orthorhombic phase. Deformation of alloys at such temperatures leads to the absorption of one binary domain by another [1] as a result of the displacement of the dividing boundary between them. The transformation is realized between those domains whose system is optimally oriented to the acting deformation.

The process can continue until a binary "monodomain" is formed. If the deformation stops before this point, then the number of binary domains will be large. When the alloy is heated to $T > A_f$ (the temperature at which the A_f reverse transformation ends), the so-called reverse recovery occurs. The β-phase does not retain its binary structure. At high voltages, the formation of binary structures is replaced by irreversible slipp. At this point, the degree of shape recovery decreases. Its magnitude depends on the number of binary "monodomains" retained in the alloy.

When $T > M_f$ the alloy contains a cubic volume-centered β-phase. Deformation in this case leads to a deformational $\beta \leftrightarrow \alpha_d''$ martensitic transformation. The athermal α"-martensite, which was in the alloy in the initial state of tempering, can change orientation. The shape change caused by the deformational martensitic transformation is maintained after the tension is removed. Heating causes the reverse martensitic transformation and leads to the restoration of the shape.

The shape change caused by the deformational martensitic transformation persists after removing the tension. Heating causes the reverse martensitic transformation and leads to the restoration of the shape.

At $T > A_f$, the β-phase is stable. However, at a certain deformation magnitude, its crystal lattice may undergo a change as in a phase transformation. The resulting martensitic transformation persists only until the removal of the external tension. Removal of the external forces leads to the complete restoration of the stable lattice of the β-phase. The phenomenon of superelasticity is realized. On the tension-deformation curve $\beta \leftrightarrow \alpha_d''$ (α_d'' - deformation martensite) transformation is also expressed by a pseudo-flowing plateau.

The crystallographic correspondence $\beta \leftrightarrow \alpha$" during the martensitic transformation is well described by the Burgers relation: $\beta \rightarrow \alpha$ for the martensitic transformation [17, 18]. The magnitudes of the main deformation of the lattice are determined by the relation:

$$\varepsilon_1 = \frac{a}{\alpha_\beta} - 1, \qquad \varepsilon_2 = \frac{b}{\sqrt{2}\alpha_\beta} - 1, \qquad \varepsilon_3 = \frac{c}{\sqrt{2}\alpha_\beta} - 1$$

Here a, b, c are the parameters of the martensite lattice. α_β is the magnitude of the β phase lattice. The magnitudes of the main deformations depend on the concentration of the alloying element.

Increasing the concentration of the alloying element in the alloy reduces the magnitude of the main deformations. They become zero at a concentration above which the β phase becomes completely stable at room temperature. Fig. 1 shows the concentration dependence of the values of the normal modulus of elasticity (E) and the magnitude of the main deformations at the $\beta \rightarrow \alpha$" martensitic transformation (M_s) temperature [19, 20] for a Ti-Nb alloy tempered from 1000°C. The results of phase analysis [19, 21, 22] allow us to conclude that the boundary of the existence of the α" and $\alpha" + \beta$ regions correspond to the maximum values of the modulus of elasticity (E) (Fig. 1).

It is obvious that the β-phase corresponding to this concentration boundary is very unstable with respect to the $\beta \rightarrow \alpha$" martensitic transformation. It contains a minimum (compared to the concentration of other alloys) amount of alloying element, above which tempering allows us to observe the β-phase. At the same time, the martensitic phase formed from it is maximally supersaturated compared to the equilibrium concentration of the α-phase at the same temperature.

The criteria for the limited instability of the α" and β-phases can be found in [17, 19, 23]. In [19], the limited instability of the α" phase in a Ti-Nb alloy was determined by the dependence of the temperature (M_s) on the concentration of Ta. It was found that α" martensite instability coefficient

$$K = \frac{C_\alpha}{C_{\alpha"}}$$

to be within 4.5÷5.5. Here C_α is the equilibrium concentration of the β-phase at a given temperature M_s, and $C_{\alpha"}$ is the analogous concentration of α" martensite at the same temperature.

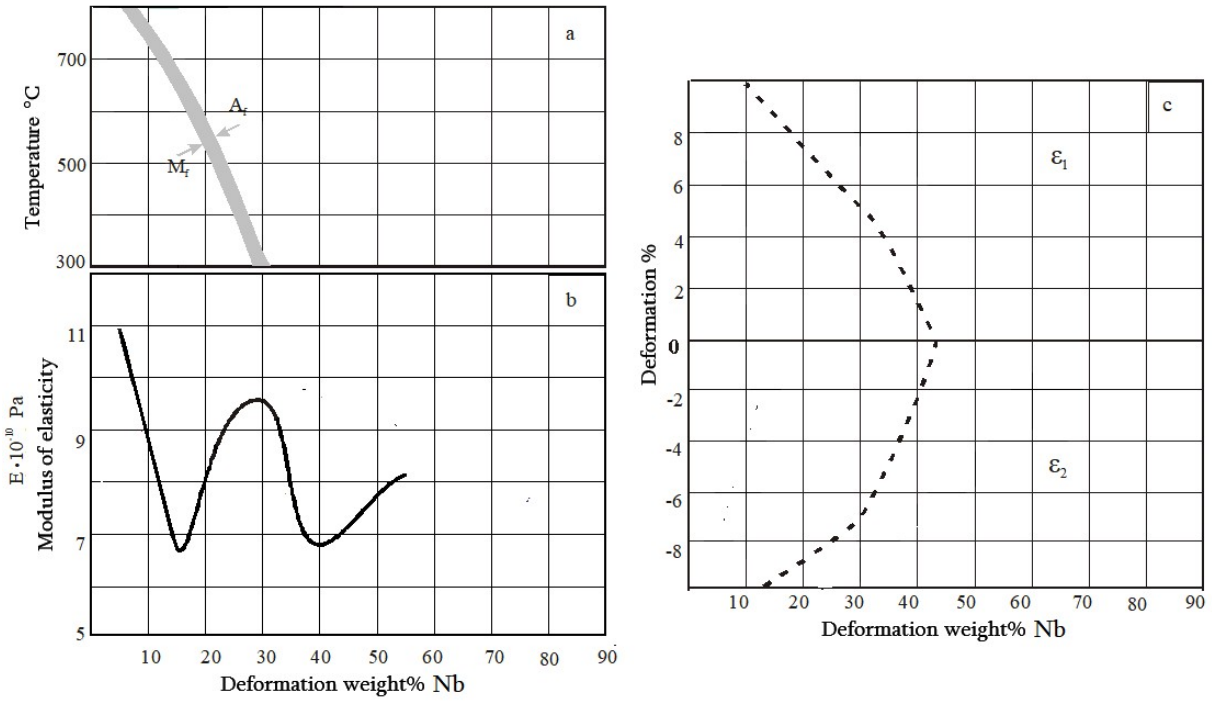


Fig. 1. Concentration dependence of the normal modulus of elasticity E and ε_1, ε_2 values of the martensitic transformation temperature (M_S) of Ti-Nb alloy.

The estimation of the limited instability of the β-phase is given in [17, 18]. Instability coefficient

$$K_\beta = \frac{C_\beta}{C_\beta^{lim}}$$

Here C_β is the concentration of the alloying element in the given alloy, C_β^{lim} is the concentration in the limited unstable β-phase. It is obvious that in the case of limited unstable alloy $K_\beta = 1$.

Experiments show that Ti-Nb alloys for which K_β is ~(0,9÷1.2) has practical importance. As can be seen from Fig. 2, Ti-Nb alloys for which K_β ~ 25.9÷33.1 wt%Nb are within this range.

Ti-Nb alloys with Nb contents of 25.9, 29.8, 31.1 wt% were obtained by electron beam melting. Due to the technical limitations of the electron beam melting equipment available to us, the mass of a single alloy did not exceed 50 g. The melting took place under vacuum conditions of 10^{-4} mm of mercury column. To achieve maximum uniformity of alloy, the blocks were melted 5 times and then homogeneously burning at 1000 °C for 50 hours. The blocks were rapping and by hot rolling method the plates of 3÷5 mm thickness was produced.

Table 1 shows the percentage composition of the investigated Ti-Nb binary alloy. For further thermomechanical testing and to investigate the physical properties of the alloys, the alloys were cut into flat parallel samples with dimensions of 5×10×100 mm and 3×10×100 mm. Cutting was performed on an electric erosion machine, which eliminated the formation of mechanical tensions in the samples. Subsequently, grinding was carried out with an abrasive disc under water cooling.

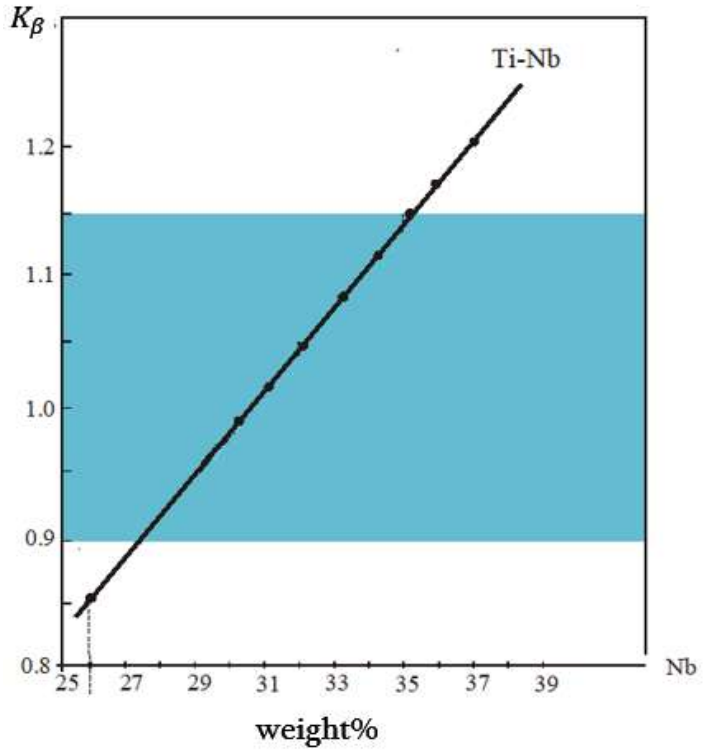


Fig. 2. K_β dependence on Nb concentration in binary titanium alloys.

Due to defects introduced during grinding, the samples were homogenized at 800-900 °C for 0.5-1 h. For X-ray structural examination and metallography, the surface layer was poisoned with a standard solution for titanium alloys: one part of a 40% solution of HF and three parts of HNO3 (density 1.4 g/cm^3).

The samples of alloy were thermaly treated at various temperatures by tempering to obtain a phase composition in which the deformational martensitic transformation is most complete.

The X-ray structural analysis determined the type and sequence of phase transformations in the alloys.

Table 1

Component content in % by weight					
Ti	Nb	Zr	O	N	H
other	25.9		0.15 – 0.20		
	29.8				
	33.1				
	33.0	7.1			
	26.08	6.95			

Depending on the niobium concentration, three types of microstructures were observed: α" orthorhombic metastable martensite, with a small amount of α" + (β) austenite, and a mixed structure α" + β. The microstructure had a significant impact on the deformation process of the alloys. The results are presented in Table 2. In order to reduce the phase transformation temperature, we added a certain amount of Zr to the binary alloys, which significantly reduced the martensitic transformation temperature and had a positive effect on the shape memory effect.

Table 2

Dependence of phase composition on component constituent and concentration of the components.

Ti-25.9 weight% Nb α′′	Ti-29.8 weight % Nb α′′+(β)	Ti-33 .1weight % Nb α′′+β
Ti- 33.0 Nb - 7.1 Zr α′′+β	Ti-26.08 Nb - 6.95 Zr α′′+β	

Existence of a thermoelastic $\beta \leftrightarrow \alpha$" transformation in titanium alloys is confirmed by analyzing of the temperature dependence curves of differential thermal and electrical resistance.

A series of differential thermal analysis and temperature dependence studies of electro resistance was carried out for determination of initial and final temperatures of thermoelastic direct and reverse martensitic transformations in alloys tempering from 1000°C. Pure titanium was used as the standard for differential thermal analysis. The results of such studies for Ti-Nb binary alloys are presented on Fig. 3.

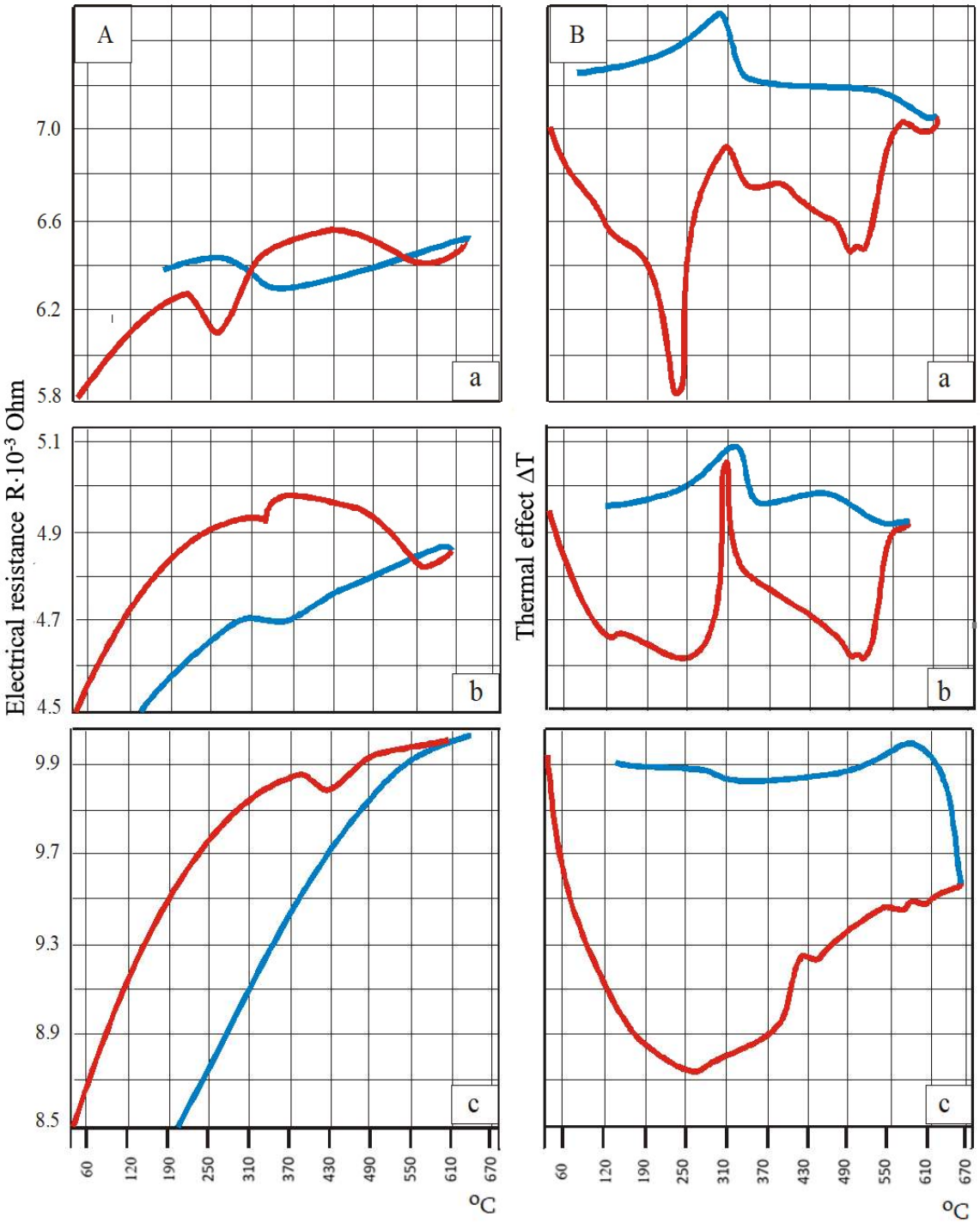


Fig. 3. Temperature dependence of electrical resistivity (A) and differential thermal analysis (B) curves for alloys: Ti-33.1 wt% Nb (a); Ti-29.8 wt% Nb (b); Ti-25.9 wt% Nb (c). (Heating - cooling).

They indicate the complex nature of structural changes in alloys. These changes can have a significant impact on the non-elastic properties of alloys. The main regularities of the transformations are observed for all investigated binary alloys (Table 3).

Table 3

Dependence of phase transition modulus and martensitic transformation temperature on Nb concentration in binary alloys.

	Concentration of alloing elements in wt%	Phase composition	Modulus of elasticity	Martensitic transformation temperature range (t°C)	
	Nb			$M_s - M_f$	$A_s - A_f$
1	25.9	α″	9,24	375-345	365-395
2	29.8	α″ + (β)	9,87	285-255	280-320
3	33.1	α″ + β	7,83	205-170	190-250

The table clearly shows the regularities of the processes occurring during heating and cooling in alloyed alloys. For maximal exposing of the effects of experimentally selected thermomechanical treating these curves (Fig. 3) can be used as indicators of the structure of the alloys.

The influence of Nb concentration on the course of phase transformations in binary alloys is clearly seen in Fig. 3. Table 3 shows the dependence of the phase composition on concentration determined by the X-ray analysis method. It is obvious that with increasing Nb concentration, the martensitic transformation temperature decreases and a second, "high-temperature" endothermal effect appears next to the "low-temperature" endothermal effect, while the magnitude of the exothermic effect increases on the cooling curve (Fig. 4).

Also, the course of transformations is well expressed on the curve of the temperature dependence of the electrical resistance for binary alloys.

An increase in temperature in the regions of phase transformations causes a sharp change in the sign of the temperature coefficient of resistance on the resistance curve.

The results of our temperature dependence of electroresistance and differential thermal analysis were compared with the results of a French-made computerized calorimeter. Since the containers used in the calorimeter were made of aluminum (melting point 630°C), a certain amount of zirconium was added to the Ti-Nb alloys to reduce temperatures of phase transformation for fixing the high-temperature phase transformation. The graph of the heating-cooling cycle of the calorimeter study is shown in Fig. 5.

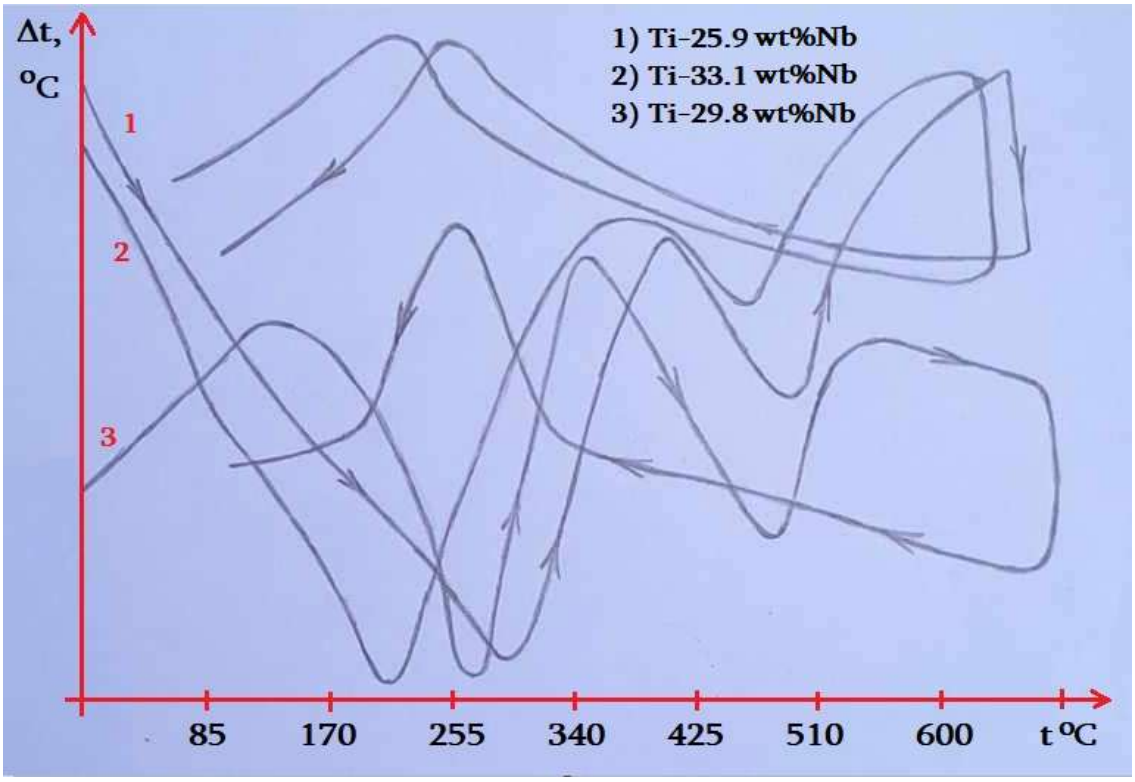


Fig. 4. Dependence of the temperature of phase transformation on the concentration of niobium in the alloy

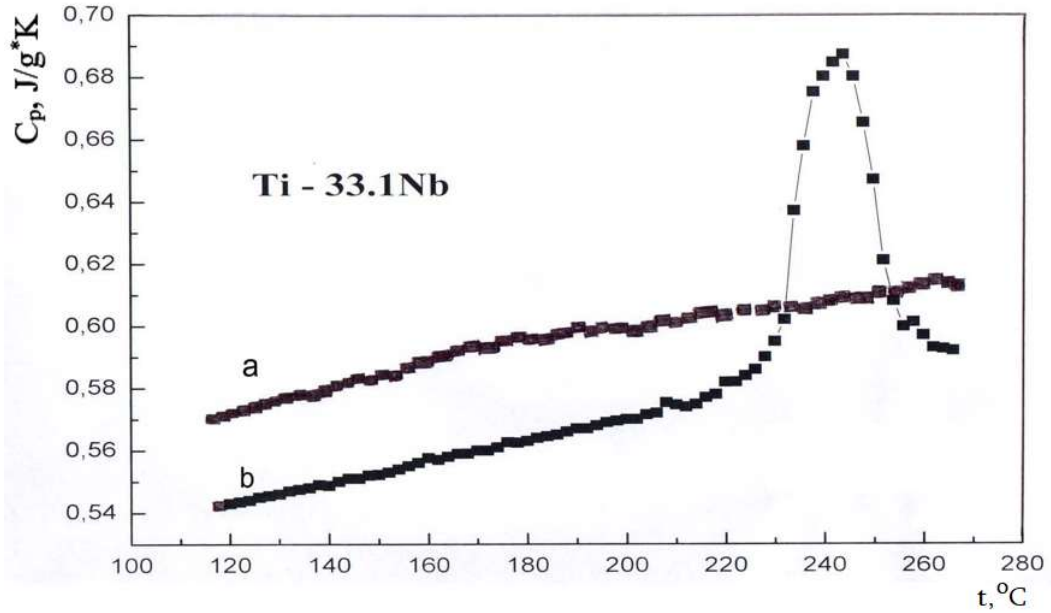


Fig. 5. Calorimetric curve of the first ("low-temperature") endoeffect demonstration.

Conclusion

Literature data on the supercelasticity and damping properties of Ti-Nb shape memory binary alloys based on titanium were analyzed.

Special attention was paid to the study of the non-elastic properties of Ti-Nb binary alloys and factors for improving their detection. Based on the analysis of literature data, the percentage composition of Ti-Nb binary alloys was selected for observation.

Binary and Zr-doped alloys with optimal K_β of Ti-Nb were obtained. To achieve the required equilibrium state, a technology of thermomechanical processing of the alloys was developed.

X-ray structural and calorimetric studies of the alloys were carried out, and the temperature dependences of the differential thermal and electrical resistivity of the phase transformations occurred were analyzed.

The macroscopic detection of phase transformations resulted in two effects of shape memory observed in the investigated alloys during mechanical loading: relatively low-temperature martensitic and high-temperature diffusional. Accordingly, when the alloys were heated after deformation, quite large reactive tensions were induced in them.

The influence of thermomechanical processing on the appearance of the shape memory effect and reversibility was studied.

During investigation, the influence of the heating-cooling speed on the degree of the shape memory occurance effect was revealed. In many cases, the heating speed of the sample, together with the mechanical load, played a decisive role in the course of phase transformations and appearance of the shape memory effects associated with it.

Based on the analysis of phase transformations and shape memory effects, all alloys showed two shape memory effects.

From the analysis of the results, we can conclude that the obtained binary alloys are promising materials in terms of their use in aerospace products. Also, the corrosion resistant and biological inertness of the investigated materials indicate the prospects for their use in various fields of medicine, chemical, food industry and technology.

References

1. Otsuka K., Shimizu K., Suzuki U., Alloy with Shape Memory Effect. Moscow, Metallurgy. 1990, p. 94. (Ru)
2. Baker C. The Shape Memory Effect in Titanium – 35 wt% Niobium Alloy. *Metall Science Journal.* 1971, V.5, May, p.92-100.
3. Peradze T.A., Stamateli I.I., Berikashvili T.I., Chelidze T.V. Mechanical properties of some metastable alloys of the Ti-Nb system. Collection of scientific works of the Georgian State Technical University. Tbilisi. 1992, No.9 (392), pp.32-36. (Ge)
4. Kim H.Y., Hashimomo S., Kim J.I., Hosoda H., Miyazaki S. Effect of. Ta Addition on Shape memory Behavior of Ti-22 Nb Alloy. *Materials Science and Engineering: A.* 2006, N2, Vol., 417, pp. 120-128.
5. Kim H.Y. Kim J.I., Imamura T., Hosoda H. Miyazaki S. Effect of Thermo-mechanical Treatment on Mechanical Properties and Shape Memory Behavior of Ti – (26-28) at % Nb alloys. *Materials Science and Engineering: A.* 2006, V.438-440, pp.839-843.

6. Davis R., Flower H.M., West D. R. Martensitic Transformations in Ti-Mo Alloys. *Journal of Materials Science.* 1979, V.14, pp.712-722
7. Gridnev V.N., Ivasishin O.M., Iskanderov S.P. On the Reversibility of Martensitic Transformations in Titanium Alloys. Kyiv, Metallophysics. 1979. v.1, no.2, pp.86-92. (Ru)
8. Duering T.W., Allrecht J., Richter L., Fisher P. Formation and Reversion of Tension Induced Martensite in Ti-10V-2Fe-3Al. *Acta Metallurgica* 1982, 30, N12, pp.2161-2172.
9. Peradze T., Stamateli I., Berikashvili T., Chelidze T. Influence of Plastic deformation on the Grain Substructure of Ti-Ta Alloys. *Bulletin of the Georgian Academy of Sciences (Physics).* Tbilisi, 1996, V.154 #2 pp.200-203
10. K. Gorgadze, M. Metskhvarishvili, I. Giorgadze, I. Kalandadze, M. Beridze. Shape memory and superelastic effects of some titanium alloys. Science and Technologies. No.1(735) 2021, p.108.
11. K. Gorgadze. M. metskhvarishvili. M. Bujanadze, N. Vachadze and et al. Detection of phase transformation in binary Ti–Ta alloys by means of electrical resistance and differential thermal analysis. 7th International Conference. "Nanotechnology" (GTU" nano 2024), Georgian Technical University. 2024, October 7–11, Tbilisi. Abstract Book p.70.
12. Симидзу К. Тадаки Ц., Хомма Т. Сплавы с Эффектом Памяти формы. Москва, Металлургия. 1990г., с. 216.
13. Петржик М.Н., Федотов С.Г., Ковнеристый Ю.К., Жебынева Н.Ф. Влияние Термоциклирования на Структуру Закаленных Сплавов Системы Ti-Ta-Nb. *Металловедение и Термическая обработка Металлов.* 1992г., №3, с. 25-27.
14. Коллеров М.Ю., Ильин А.А., Скворцова С.В. Влияние Системы и Степени легирования На Характеристики Эффекта Запоминания Формы Титановых Сплавов. *Металлы.* 2001, №2, с. 74-78.
15. Mayazki S., Kim J.I., Hosoda S. Development and Characterization of Ni-free Ti-base Shape Memory and Superelastic alloys. *Materials Science and Engineering A.* 2006, vol. 438-440, pp. 839-843.
16. Хандрос Л.Г., Арбузова И.А. Мартенситные Превращения, Эффект Памяти и Сверхупрогасть. *Металли, Электроны.,* Киев, Наукова Думка, 1975, с.109-143.
17. Федотов С.Г., Челидзе Т.В., Ковнеристый Ю.К., Санадзе В.В. Фазовое Строение, Критические Точки $M_н$ и $A_н$ Мартенситных Превращении и Упругие Свойства Метастабильных Сплавов Системы Ti-Ta. *ФММ.* 1985, Т.60, вып. 3, с.567-570.
18. Гордиенко А.И., Ивашко В.В., Применение Скоростного Нагрева Для Повышения Механических и Специальных Своиств Титановых Сплавов. Материалы Конференции Ti-2004 в СНГ CD-ROM, 2004г. №2.
19. Ge peng, Zhao Yong-qing, Zhou Lion “Desing a New Hig Strength Metastabile Beta Titanium Alloy by Neaz Critical Molibdenum Equivalence. Материалы Конференции «Ti-2004 в СНГ» CD-ROM.2004 г. №2.
20. Федотов С.Г., сб., Исследование Металов в жидком и Твердом Состоянии. Москва, Наука, 1964г., с. 207.

21. Коллеров М.Ю., Попов А.Л. Иларионов А.Г. Елкина О.А. Иследование Фазовых Превращений в Закаленных Сплавах системы Титан-Ниобий. *Физика Металлов и Металловедение.* 1994г. Том 78. №2, с.119-125.
22. Коллеров М.Ю., Ильин А.А., Скворцова С.В. Влияние Системы и Степени легирования На Характеристики Эффекта Запоминания Формы Титановых Сплавов. *Металлы.* 2001, №2, с. 74-78Ливанов В.А. Водород в Титане, Москва, Металлургиздат. 1962г., с.128.
23. Hansen M., Kamen E.L., Kesslep H. D Pherson D.J. Systems Ti-Mo, Ti-V, Ti-W and Ti-Nb. *Trans AIME.* 1951 V.1991 pp. 881-888

Ti-Nb-ის ბინარულ შენადნობში პირდაპირი და შებრუნებული მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურული ინტერვალის დადგენა ელექტრო წინაღობისა და დიფერენციალური თერმული ანალიზის საშუალებით

კახა გორგაძე[1,2], მაგდა მეცხვარიშვილი[1], მიხეილ ჯანიკაშვილი[3], თამარ ბერბერაშვილი[2], მედეა ბურჯანაძე[1], ნიკოლოზ ვაჩაძე[4]

[1]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინსტიტუტი „ტალღა“, [2]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. ინფორმატიკის და მართვის სისტემები. საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტი; [3]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ნაგებობების, სპეციალური სისტემების და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტი, [4]თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი

მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა დარგებში, ქიმიურ წარმოებაში, კვებისა და მედიცინის სფეროებში ტიტანის ბინარული და მრავალკომპონენტიანი შენადნების გამოყენება სხვადასხვა კონცენტრაციის ქიმიურ ელემენტებთან, რომლებიც განსხვავებულად მოქმედებენ შენადნების ფაზურ შემადგენლობაზე და ფაზური გარდაქმნების მსვლელობაზე, ქმნის მეტასტაბილური ფაზების წარმოქმნის და სტრუქტურული გარდაქმნების პროცესების შესწავლის აუცილებლობას.

რადგან ტიტანის ქიმიური ელემენტების კონცენტრაციის თერმული და მექანიკური დამუშავების ერთობლივი გავლენა ფაზური გარდაქმნების ხასიათზე ნაკლებად არის გამოკვლეული, საფუძვლიან შესწავლას მოითხოვს ტიტანის ბინარული შენადნობები ისეთი β-იზომერულ ელემენტთან, როგორიცაა ნიობიუმი. Ti-Nb-ის ბინარულ შენადნში მისი კონცენტრაცია განაპირობებს მარტენსიტული გარდაქმნის ზოგიერთ თავისებურებას, მაგალითად წრთობა-მოშვების პროცესი, რითაც ის განსხვავდება სხვა შენადნებისაგან. ამას არსებითი მნიშვნელობა აქვს ტიტანის სხვა შენადნებში მეტასტაბილური ფაზის წარმოქმნის მექანიზმის მსგავსებისა და განსხვავების შდარებისას ტიტანის შენადნებში მეორე კომპონენტის დიფუზიური ძვრადობის განსაზღვრის დროს.

კვლევის მიზანი იყო Ti-Nb ბინარულ შენადნებში Nb-ის სხვადასხვა კონცენტრაციის შემთხვევაში ფორმის მახსოვრობის ეფექტის გმოკვლევა. ზედრეკადობის და დემპირების უნარის დადგენა. პირდაპირი და შებრუნებული მარტენსიტული გარდაქმნების ტემპერატურების გაზომვა მოცემული კონცენტრაციის შენადნში. ფორმის აღდგენის დროს წარმოქმნილი რეაქტიული ძაბვების განსაზღვრა.

საკვანძო სიტყვები: ტიტანი, ბინარული შენადნობი, ფორმის მახსოვრობის ეფექტი, ფაზური გარდაქმნა, დემპფირება.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.11



ქაცვის ნაყოფის კაროტინოიდების ექსტრაქციის „მწვანე“ მიდგომები და მათი როლი ოფთალმოლოგიაში

ლანა დათუაშვილი [1], მაია ვანიძე [2]; ინდირა ჯაფარიძე [3];ნონა სურმანიძე [4] ალეკო კალანდია [5]; ინგა ბოჭოიძე [6]

[1]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (ბსუ); ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, საქართველო, ბათუმი, 6010 რუსთაველის/ნინოშვილის ქ. 32/35, datuashvili.lana@gmail.com; [2]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, maia.vanidze@bsu.edu.ge; [3]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, indira.jafaridze@bsu.edu.ge (Indira.djafaridze@gmail.com); [4]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, nona.surmanidze@bsu.edu.ge;, [5]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, - aleko.kalandia@bsu.edu.ge; [6]აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქიმიური და გარემოსდაცვითი ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველო, ქუთაისი, თამარ მეფის #59, inga.bochoidze@atsu.edu.ge

აბსტრაქტი

Hippophae rhamnoides L. წარმოადგენს ღირებულ სამკურნალო მცენარეს, რომლის ნაყოფი გამოირჩევა ბიოაქტიური ნაერთების მდიდარი შემცველობით. წინამდებარე კვლევის მიზანი იყო *H. rhamnoides* L.-ის ნაყოფიდან კაროტინოიდების ექსტრაქციის ოპტიმიზაცია „მწვანე ტექნოლოგიების“ (ულტრაბგერითი აბაზანა და ზონდი) გამოყენებით, აგრეთვე შრობის სხვადასხვა მეთოდის (ატმოსფერული, ვაკუუმი და ლიოფილიზაცია) გავლენის შეფასება კაროტინოიდების შემცველობასა და ანტიოქსიდანტურ აქტივობაზე. კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა დასავლეთ საქართველოში ველურად გავრცელებული *H. rhamnoides* L.-ის ნაყოფი. კაროტინოიდების რაოდენობრივი განსაზღვრა განხორციელდა სპექტროფოტომეტრიული მეთოდით, ხოლო ანტიოქსიდანტური აქტივობა შეფასდა DPPH რადიკალის შებოჭვის მეთოდით. კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ ულტრაბგერითი ზონდით ექსტრაქცია უზრუნველყოფს კაროტინოიდების მაღალ გამოსავლიანობას (1,564–3,363 მგ/გ მშრალ მასაზე), რაც მნიშვნელოვნად აღემატება კლასიკური მეთოდით მიღებულ მაჩვენებლებს (1,111–2,944 მგ/გ). დადგინდა კორელაცია კაროტინოიდების კონცენტრაციასა და ანტიოქსიდანტურ აქტივობას შორის. კერძოდ, კაროტინოიდების მაღალი შემცველობა (ახალციხე, 3,363 მგ/გ) უზრუნველყოფს DPPH რადიკალის 50%-იან ინჰიბირებას ნიმუშის შედარებით ნაკლები რაოდენობით (2,881 მგ). შრობის მეთოდებს შორის, ლიოფილიზაციამ (2,689 მგ/გ) და ვაკუუმით შრობამ (2,481 მგ/გ) გამოავლინა უპირატესობა კაროტინოიდების შემცველობისა და ანტიოქსიდანტური აქტივობის შენარჩუნებაში ატმოსფერულ შრობასთან შედარებით (1,778 მგ/გ). დასკვნის სახით, „მწვანე ტექნოლოგიების“ გამოყენება ეფექტურია

ბიოაქტიური ნაერთების მისაღებად, რაც ხელს უწყობს მათ გამოყენებას ოფთალმოლოგიაში, განსაკუთრებით თვალის ზედაპირული დაზიანებების რეგენერაციისთვის. მიღებული მონაცემები საფუძველს ქმნის შემდგომი *in vitro* და *in vivo* კვლევებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: ქაცვის ნაყოფი, კაროტინოიდები, ანტიოქსიდანტური აქტივობა, მწვანე ტექნოლოგიები, ოფთალმოლოგია.

საქართველოს ფლორა გამოირჩევა სამკურნალო მცენარეების სიმდიდრით, რომელთა შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ქაცვს (Hippophae rhamnoides L, Eleagnaceae). ქაცვი ფართოდ არის გავრცელებული ევროპასა და აზიაში. საქართველოში ის თითქმის ყველა ფლორისტულ რაიონში გვხვდება, უპირატესად მდინარეთა ნაპირებზე, ხევებში, ჭალებსა და რიყეებში, სადაც ზოგჯერ გაუვალ რაყებსაც კი ქმნის [1, 2, 3].

ქაცვი ღირებული მცენარეა მისი კვების, ფიტოთერაპიული და გარემოსდაცვითი თვისებების გამო. მისი ფოთლები, ნაყოფი და თესლი ბიოაქტიური კომპონენტების მდიდარი წყაროა [2, 3, 4]. ქაცვის ნაყოფი, განსაკუთრებით, გამოირჩევა მრავალფეროვანი ქიმიური შემადგენლობით, რაც განაპირობებს მის ფართო გამოყენებას.

ბოლო წლებში, განსაკუთრებული ინტერესი გამოიკვეთა ქაცვის ნაყოფის ბიოაქტიური ნაერთების ოფთალმოლოგიური გამოყენების მიმართ. თვალის ზედაპირული პოსტტრავმული ნაწიბურები, რომლებიც ხშირად იწვევენ მხედველობის გაუარესებასა და დისკომფორტს, მნიშვნელოვან სამედიცინო პრობლემას წარმოადგენს. მიუხედავად თანამედროვე მედიცინის მნიშვნელოვანი მიღწევებისა, პარალელურად მიმდინარეობს კვლევები, რომლებიც მიმართულია ბუნებრივი წარმოშობის სამკურნალო საშუალებების გამოყენების პოტენციალის შესწავლაზე. ბუნებრივი ნაერთების გამოყენებამ, როგორც დამხმარე ან ალტერნატიულმა თერაპიამ, შესაძლოა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანოს თვალის ზედაპირული დაზიანებების რეგენერაციაში და გააუმჯობესოს პაციენტების ცხოვრების ხარისხი.

ბუნებრივი სამკურნალო საშუალებების კვლევამ ხელი შეუწყო მცენარეულ ნედლეულზე დაფუძნებული მედიკამენტების ფართო წარმოებას, რომელთა წლიური საბაზრო ღირებულება 100 მილიარდ დოლარს აჭარბებს [5,6,7].

მცენარეები წარმოადგენენ ახალი მედიკამენტების 44%-ის ძირითად წყაროს. ფიტოქიმიკატები გამოიყენება ფარმაცევტულ, ნუტრიცევტიკულ, კოსმეტიკურ, კვების და სოფლის მეურნეობის ინდუსტრიებში, როგორც ღირებული ინგრედიენტები. ისინი გამოიყენება ფარმაცევტული პროდუქტების, საკვები დანამატების, ფუნქციური საკვების, მცენარეული მედიკამენტებისა და კოსმეტიკური ფორმულირებების შესაქმნელად, მომხმარებელთა მრავალფეროვანი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად[8,9,10].

ფიტოქიმიური ნაერთებისათვის ექსტრაქციისათვის ეფექტური მეთოდების გამოყენება უზრუნველყოფს რესურსების ოპტიმიზაციას, ნაერთების მაქსიმალურ გამოწვლილვასა და ამცირებს ნარჩენების წარმოქმნას. ზრდის მიღებული ექსტრაქტის ხარისხსა და სისუფთავეს [14]. ასევე, ხელს უწყობს ინდუსტრიების ეკონომიკურ მდგრადობასა და კონკურენტუნარიანობას წარმოების ხარჯების შემცირებითა და პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესებით [10].

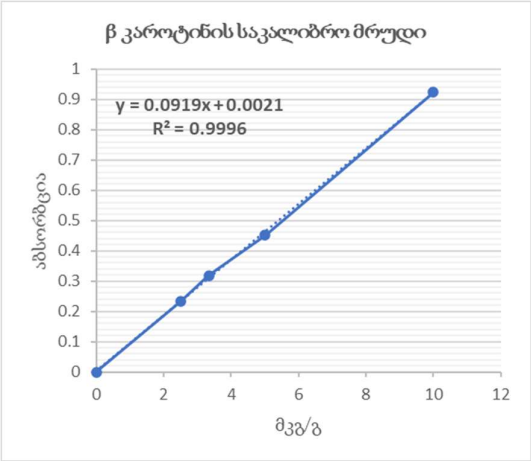
კვლევა მიზნად ისახავს ქაცვის ნაყოფიდან კაროტინოიდებისექსტრაქციის ოპტიმიზაციას „მწვანე ტექნოლოგიების“ გამოყენებით და შრობის მეთოდების ზეგავლენის დადგენას კაროტინოიდების შემცველობასა და ანტიოქსიდანტურ აქტივობაზე.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა დასავლეთ საქართველოში ველურად მოზარდი ქაცვის ნაყოფი. ნიმუშები აღებულ იქნა საქართველოს 3 სხვადასხვა რეგიონში: სამცხეთ -ჯავახეთი (ახალციხე), აჭარა (ერგე, თხილნარი) და იმერეთი (თერჯოლა).

კვლევის მეთოდები:

კვლევისათვის გამოყენებულ იქნა ულტრაბგერითი აბაზანა (Witeg Ultrasonic Cleaner Set (60 Hz), WUC – A03H), ულტრაბგერითი ზონდი (hielsher Ultrasound Technology, UP400St ultrasonic processor (24 Khz)), ვაკუუმ საშრობი (Biobase Vacuum Draing Oven) და ლიოფილური საშრობი (Labconco Freeze Dryers, -84°C temperature). სპექტრალური ანალიზისათვის გამოყენებულ იქნა Mettler Toledos UV5-ის სპექტროფოტომეტრი.

β კაროტინოიდების რაოდენობრივი განსაზღვრა სპექტრული მეთოდით - საანალიზო ნიმუშის ექსტრაგირებას ვახდენდით აცეტონ-ჰექსანის (4:6) ნარევითა და 80% ეთანოლით ნიმუშის გაუფერულებამდე (სრული ექსტრაქცია), შემდეგ კი სპექტროფოტომეტრზე ვსაზღვრავდით ოპტიკურ სიმკვრივეს 455 ნმ-ზე. მიღებული შედეგების გადაანგარიშება ხდებოდა β კაროტინოიდების საკალიბრო მრუდის მიხედვით (დიაგრამა 1) [2].



დიაგრამა 1. β კაროტინოიდების საკალიბრო მრუდი

კაროტინოიდების შემცველობა გამოითვლება ფორმულით: X = (YV F) /m, სადაც X - კაროტინოიდების შემცველობა, მგ/გ-ში; Y – საანალიზო ნიმუშის კონცენტრაცია საკალიბრო მრუდის მიხედვით, F – განზავების ფაქტორი, V – ექსტრაქტის საერთო მოცულობა (მლ), m - საექსტრაქციოდ აღებული ნიმუშის მასა (გ).

ანტიოქსიდანტური აქტივობის განსაზღვრა განხორციელდა DPPH თავისუფალი რადიკალის შებოჭვის აქტივობის მეთოდით. DPPH წარმოადგენს 2,2-დიფენილ-1-პიკრილჰიდრაზილის სტაბილურ რადიკალს [11,12]. საანალიზო ნიმუშის ანტიოქსიდანტური აქტივობა განისაზღვრებოდა DPPH რადიკალის 50%-იანი ინჰიბირების საფუძველზე. აქტივობის მახასიათებელი გამოიხატებოდა როგორც ნიმუშის ის რაოდენობა (მგ), რომელიც იწვევს DPPH რადიკალის 50%-იან ინჰიბირებას. მეთოდი ეფუძნებოდა ნიმუშის ექსტრაქტისა (1 მლ) და DPPH რადიკალის ხსნარის (3 მლ) ნარევის 15-წუთიანი ინკუბაციის შემდეგ ფერის ინტენსივობის გაზომვას. გაზომვა განხორციელდა 517 ნმ ტალღის სიგრძეზე. ოპტიკური

სიმკვრივის სხვაობის, ნიმუშის მასისა და ექსტრაქტის მოცულობის გათვალისწინებით განსაზღვრულ იქნა ნიმუშის ანტიოქსიდანტური აქტივობა. ზოგადად, რაც უფრო მაღალია ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების კონცენტრაცია ნიმუშში, მით უფრო ნაკლები ნიმუშის მასაა საჭირო DPPH რადიკალის 50%-იანი ინჰიბირებისთვის. ეს მიუთითებს უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაზე ნაერთების კონცენტრაციასა და ინჰიბირებისთვის საჭირო ნიმუშის მასას შორის.

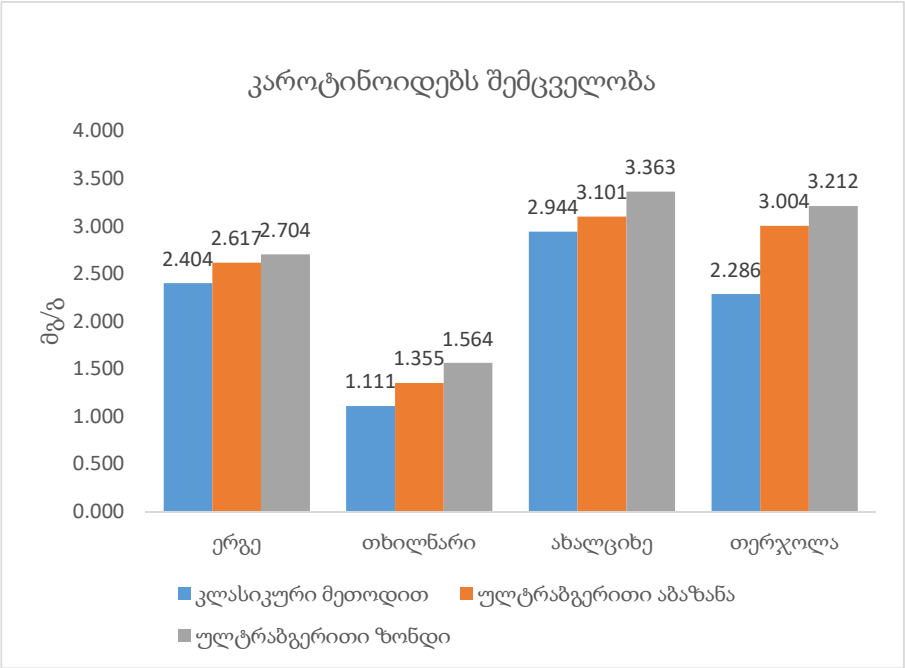
მიღებული შედეგების განხილვა: კაროტინოიდების მაქსიმალური ექსტრაქციისთვის კლასიკური მეთოდით (მაცერაცია) ექსტრაქცია შედარებულ იქნა ულტრაბგერითი აბაზანითა და ულტრაბგერითი ზონდით ექსტრაქციის მეთოდებს. კლასიკური მეთოდით ექსტრაქცია მოიცავს კაროტინოიდების აცეტონი/ჰექსანით ექსტრაგირებას დაყოვნებით სრულ გაუფერულებამდე, ექსტრაქციის ხანგრძლივობა 24 სთ. ულტრაბგერითი აბაზანითა და ზონდით ექსტრაქციისას გამოყენებულ იქნა „მწვანე" გამხსნელი - 80% ეთანოლი. ულტრაბგერითი აბაზანით ექსტრაქციისას ულტრაბგერის სიხშირე იყო 60 Hk, ექსტრაქციის დრო შეადგენდა 90 წთ, ხოლო ულტრაბგერითი ზონდის მეთოდით სიხშირე 24 Khz და დრო 20 წთ (ცხრილი 1).

კლასიკური და თანამედროვე მეთოდების ექსტრაქციის პირობები

ცხრილი 1

ექსტრაქციის მეთოდი	ექსტრაგენტი	ექსტრაქციის ხანგრძლივობა	ულტრბგერის სიხშირე
კლასიკური მეთოდით, მაცერაცია	აცეტონი/ჰექსანი (4:1)	24 სთ	-
ულტრაბგერითი აბაზანა	80% ეთანოლი	90 წთ	60 Hz
ულტრაბგერითი ზონდი	80% ეთანოლი	20 წთ	24 Khz

კაროტინოიდების გამოსავლიანობის მიხედვით კლასიკურ მეთოდთან შედარებით (1,111 - 2,404 მგ/გ) მაღალი შედეგები დაფიქსირდა ულტრაბგერითი აბაზანისა და ზონდით ექსტრაქციის შემთხვევში. ზონდის ექსტრაქციის შემთხვევაში 1,564 - 3,363 მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით (თხილნარი 1,564 მგ/გ, ერგე 2,704 მგ/გ, თერჯოლა 3,212 მგ/გ და ახალციხე 3,363 მგ/გ), ხოლო ულტრაბგერითი ექსტრაქციის შემთხვევაში 1,355 - 3,101 მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით (თხილნარი1,355 მგ/გ, ერგე 2,617 მგ/გ, თერჯოლა 3,004 მგ/გ და ახალციხე 3,101 მგ/გ) (დიაგრამა 2).



დიაგრამა 2. ექსტრაქციის სხვადასხვა მეთოდით ექსტრაგირებული კაროტინოიდების შემცველობა ქაცვის ნაყოფში

ასევე განსაზღვრულ იქნა საანალიზოდ აღებული ნაყოფის ანტიოქსიდანტური აქტივობა ექსტრაქციის პირობების მიხედვით. გამოიკვეთა კორელაციური დამოკიდებულება კაროტინოიდების რაოდენობასა და ანტიოქსიდანტურ აქტივობას შორის. კერძოდ, კაროტინოიდების მაღალი კონცენტრაციის (ახალციხე - 3,363 მგ/გ) შემთხვევაში საანალიზოდ აღებული ნიმუშის 2,881 მგ იყო საკმარისი DPPH რადიკალის 50% ინჰიბირებისათვის, მაშინ როცა შედარებით დაბალი კონცენტრაციის (1,111 მგ/გ) დროს ნაყოფის 8,201 მგ საჭირო რადიკალის ინჰიბირებისათვის (ცხრილი 3).

სხვადასხვა მეთოდით მიღებული ქაცვის ნაყოფის ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური აქტივობა

ცხრილი 3

DPPH რადიკალის 50% ინჰიბირება მგ ნიმუშის მიერ				
ქაცვის ნედლი ნაყოფი	ერგე	თხილნარი	ახალციხე	თერჯოლა
კლასიკური მეთოდი	7,011	8,201	5,102	5,700
ულტრაბგერითი აბაზანა	6,416	7,636	3,874	4,05
ულტრაბგერითი ზონდი	6,15	7,288	2,881	3,702

ნაყოფის შენახვის ვადა და ხარისხი დიდწილად დამოკიდებულია შრობის ეფექტურ მეთოდებზე. კვლევის შემდგომ ეტაპზე შედარებულ იქნა ქაცვის ნაყოფის ატმოსფერულ ჰაერზე შრობა, ვაკუუმ და ლიოფილური შრობის მეთოდებთან. შრობის ოპტიმალური პირობების შერჩევას ვახდენდით კაროტინოიდების შემცველობისა და ანტიოქსიდანტური აქტივობის მიხედვით. გასაშრობად აღებულ იქნა 4 სხვადასხვა ლოკაციაზე (ახალციხე, ერგე,

თხილნარი, თერჯოლა) აღებული ნაყოფებიდან საერთო ნიმუში. კაროტინოიდების შემცველობა და ანტიოქსიდანტური აქტივობა განსაზღვრულ იქნა როგორც ნედლ, ისე გამშრალ ნიმუშებში.

ქაცვის ნედლ და გამშრალ ნაყოფში კაროტინოიდების შემცველობა და ანტიოქსიდანტური აქტივობა

ცხრილი 3

ნაერთის დასახელება და აქტივობა	ნედლი ნაყოფი	ქაცვის გამშრალი ნაყოფი		
		ატმოსფერულ ჰაერზე შრობა	ვაკუუმშრობა	ლიოფილური შრობა
კაროტინოიდების შემცველობა მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით	2,71	1,778	2,481	2,689
ანტიოქსიდანტური აქტივობა - DPPH რადიკალის 50% ინჰიბირება	6,15	7,134	7,011	6,58

მიღებული შედეგების შეჯერებით დადგინდა, რომ ვაკუუმით და ლიოფილიზაციით შრობა წარმოადგენს უფრო ეფექტურ მეთოდს, უზრუნველყოფენ კაროტინოიდების მაქსიმალურ შენარჩუნებას და ძლიერ ანტიოქსიდანტურ აქტივობას. კერძოდ, ლიოფილიზირებულ ნაყოფში (2,689 მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით) მაქსიმალურად არის შენარჩუნებული კაროტინოიდების შემცველობა ნედლ ნაყოფთან (2,71 მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგაროშებით) შედარებით (ცხრილი 4). ამრიგად, ვაკუუმით და ლიოფილიზაციით შრობა, ატმოსფერულ ჰაერზე შრობასთან შედარებით, უზრუნველყოფს ქაცვის ნაყოფის შენახვის ვადის მნიშვნელოვან გაზრდას და მისი ხარისხის შენარჩუნებას, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ფარმაცევტული და კვების მრეწველობისთვის.

კაროტინოიდების ანტიოქსიდანტური და ანთების საწინააღმდეგო მოქმედება ხელს უწყობს ოქსიდაციური სტრესისა და ანთებითი პროცესების შემცირებას თვალის ზედაპირზე, რასაც გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ნაწიბურების ფორმირების პრევენციისა და რეგენერაციის პროცესის სტიმულირებისთვის. იგი შეიძლება იყოს ერთ-ერთი ფუნქციური კომპონენტი ოფთალმოლოგიური მალამოს შემადგენლობაში, რომელიც ანტიოქსიდანტური თვისებების გამო, ხელს შეუწყობს უჯრედების დაცვას დაზიანებისგან და რეგენერაციას.

დასკვნა: „მწვანე ტექნოლოგიების“ (ექსტრაქცია და შრობა) გამოყენება უზრუნველყოფს ეკოლოგიურად სუფთა და ეფექტურ მიდგომას ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების მისაღებად. მიღებული შედეგები ქმნის მყარ საფუძველს შემდგომი in vitro და in vivo კვლევებისთვის, რათა შეფასდეს მიღებული პრეპარატების ეფექტურობა თვალის ზედაპირული პოსტტრავმული ნაწიბურების რეგენერაციაში და დასაბუთდეს მათი გამოყენების შესაძლებლობა პრაქტიკაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ლაგაზიძე დ. , ქუთათელაძე გ., ორჯონიკიძე მ., ბაკურიძე ა. (2023) ტექნოლოგიის გავლენა ქაცვის ზეთის გამოსავლიანობასა და ხარისხის მაჩვენებლებზე Vol. 5 Issue 2,Doi: https://doi.org/10.52340/jecm
2. Tie F, Dong Q, Zhu X, Ren L, Liu Z, Wang Z, Wang H, Hu N. (2024) Optimized extraction, enrichment, identification and hypoglycemic effects of triterpenoid acids from Hippophae rhamnoides L pomace. Food Chem. 1;457:140143. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140143. Epub 2024 Jun 16. PMID: 38901339.
3. Kim, S., Lee, J., Son, H., Lee, K. H., Chun, Y., Lee, J. H., Lee, T., & Yoo, H. Y. (2024). Improvement in Natural Antioxidant Recovery from Sea Buckthorn Berries Using Predictive Model-Based Optimization. Agriculture, 14(7), 1095. https://doi.org/10.3390/agriculture14071095
4. Zakynthinos G., Varzakas T. (2023) Carotenoids: from Plants to Food Industry. DOI : https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.4.Special-Issue1.04
5. Najmi, A., Javed, S. A., Al Bratty, M., & Alhazmi, H. A. (2022). Modern Approaches in the Discovery and Development of Plant-Based Natural Products and Their Analogues as Potential Therapeutic Agents. Molecules, 27(2), 349. https://doi.org/10.3390/molecules27020349
6. Chaachouay, N., & Zidane, L. (2024). Plant-Derived Natural Products: A Source for Drug Discovery and Development. Drugs and Drug Candidates, 3(1), 184-207. https://doi.org/10.3390/ddc3010011
7. Kim, Y.-J., & Kang, K. S. (2023). The Phytochemical Constituents of Medicinal Plants for the Treatment of Chronic Inflammation. Biomolecules, 13(8), 1162. https://doi.org/10.3390/biom13081162
8. Varzakas, T., Zakynthinos, G., & Verpoort, F. (2016). Plant Food Residues as a Source of Nutraceuticals and Functional Foods. Foods, 5(4), 88. https://doi.org/10.3390/foods5040088
9. Elshafie, H. S., Camele, I., & Mohamed, A. A. (2023). A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites Based-Plant Origin. International Journal of Molecular Sciences, 24(4), 3266. https://doi.org/10.3390/ijms24043266
10. Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, & Kim, K.-M. (2021). Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions. Agronomy, 11(5), 968. https://doi.org/10.3390/agronomy11050968
11. Bhardwaj, K., Silva, A. S., Atanassova, M., Sharma, R., Nepovimova, E., Musilek, K., Sharma, R., Alghuthaymi, M. A., Dhanjal, D. S., Nicoletti, M., Sharma, B., Upadhyay, N. K., Cruz-Martins, N., Bhardwaj, P., & Kuča, K. (2021). Conifers Phytochemicals: A Valuable Forest with Therapeutic Potential. Molecules, 26(10), 3005. https://doi.org/10.3390/molecules26103005
12. Kurz C, Carle R, Schieber A. (2008) HPLC-DAD-MS(n) characterisation of carotenoids from apricots and pumpkins for the evaluation of fruit product authenticity. Food Chem. 2008 Sep 15;110(2):522-30. doi: 10.1016/j.foodchem. PMID: 26049248
13. Stefan Bogdanova, Kaspar Ruoffa and Livia Persano Oddo (2004). “Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review” Volume 35, European unifloral honeysPage (s) S4 - S17 DOIhttps://doi.org/10.1051/apido:2004047

14. Subhash Ajmani, Kamalakar Jadhav, and Sudhir A. Kulkarni 2014 “Three-Dimensional QSAR Using the k-Nearest Neighbor Method and Its Interpretation ” Journal of Saudi Chemical Society, Pages 618-625 https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.11.009

Green Approaches to Carotenoid Extraction from Sea Buckthorn Fruit and Their Role in Ophthalmology

Lana Datuashvili[1]; Maia Vanidze [2]; Indira Japaridze [3] (Indira Djafaridze); Nona Surmanidze[4]; Aleko Kalandia[5]; Inga Bochoidze[6]

[1-5]Batumi Shota Rustaveli State University (BSU); Faculty of Natural Sciences and Health Care, Department of Chemistry, 35/32 Ninoshvili/Rustaveli str, Batumi, Georgia; [6]Akaki Tsereteli State University, Department of Chemical and Environmental Technologies, 59 Tamar Mepe St., Kutaisi, Georgia

Abstract: Hippophae rhamnoides L. is a valuable medicinal plant, distinguished by its rich content of bioactive compounds, mainly carotenoids and phenols. This study aimed to optimize the extraction of carotenoids from H. rhamnoides L. fruits using "green technologies" (ultrasonic bath and probe), as well as to evaluate the effect of various drying methods (atmospheric, vacuum, and freeze-drying) on carotenoid content and antioxidant activity. The research object was H. rhamnoides L. fruits, wild-growing in Western Georgia. Quantitative determination of carotenoids was carried out by the spectrophotometric method, and antioxidant activity was assessed by the DPPH radical scavenging method. The results of the study showed that ultrasonic probe extraction provides a high yield of carotenoids (1.564–3.363 mg/g dry weight), which significantly exceeds the values obtained by the classical method (1.111–2.944 mg/g). A correlation was established between carotenoid concentration and antioxidant activity. In particular, a high content of carotenoids (Akhaltsikhe, 3.363 mg/g) provides 50% inhibition of the DPPH radical with a relatively small amount of the sample (2.881 mg). Among the drying methods, freeze-drying (2.689 mg/g) and vacuum drying (2.481 mg/g) showed an advantage in preserving carotenoid content and antioxidant activity compared to atmospheric drying (1.778 mg/g). In conclusion, the use of "green technologies" is effective for obtaining bioactive compounds, which contribute to their use in ophthalmology, especially for the regeneration of eye surface damage. The data obtained forms the basis for further in vitro and in vivo studies.

Keywords: Sea buckthorn fruit, carotenoids, antioxidant activity, green technologies, ophthalmology.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.12



მინერალების შემცველი პრეპარატების გამოყენების პერსპექტივები კოსმეტოლოგიაში

ალიოშა ბაკურიძე, დალი ბერაშვილი, ლაშა ბაკურიძე, ია წურწუმია, ლამზირა ებრალიძე

თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი. ფარმაცევტული ტექნოლოგიის დეპარტამენტი; ფარმაცევტული ბოტანიკის დეპარტამენტი

აბსტრაქტი

ვიტამინების და მცენარეული კომპონენტებისაგან განსხვავებით, მინერალების კოსმეტიკური დანიშნულებით გამოყენების სარგებელი კანის მიმართ, დიდწილად იგნორირებულია და მათი შემცველი საშუალებები იშვიათად გამოიყენება. სწორედ ამიტომაც კოსმეტიკურ პრაქტიკაში მინერალური მარილების გამოყენების სარგებლისა და რისკების შესახებ არსებული სამეცნიერო მონაცემების ანალიზი, შეფასება და მათი გამოყენების პერსპექტივების განსაზღვრა ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემაა თანამედროვე მედიცინისა და კოსმეტოლოგიისათვის.

ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მიკრო- და მაკროელემ-ენტებით მდიდარი კოსმეტიკა გამოირჩევა მოქმედების ფართო სპექტრით:

ამშვიდებს კანს, აღადგენს pH-ის ბალანსს, აუმჯობესებს ჟანგბადის ცვლას, ხსნის ანთებას, ასტიმულირებს მეტაბოლიზმს, ახდენს წყალ-მარილოვანი ბალანსის ნორმალიზებას, ზრდის კანის ტურგორს და ელასტიკურობას, ხელს უწყობს ნაოჭების გასწორებას და ამაგრებს კანის ბარიერს.

ხშირად, კოსმეტიკური საშუალების სახით მოწოდებულია თვით სამკურნალო ტალახი. ასე მაგალითად, მკვდარი ზღვის ტალახი არის პროდუქციის ცალკე ხაზი. ეს გამოწვეულია იმით, რომ სამკურნალო ტალახი მეტწილად ქიმიურად და ბიოლოგიურად არის თვითკმარი ნივთიერება, რომელსაც აქვს გამოსაყენებლად მოსახერხებელი კონსისტენცია.

ტალახის მკურნალობას აქვს მრავალი უკუჩვენება და სამკურნალო ტალახის უკონტროლო გამოყენებამ, თუნდაც კოსმეტიკური მიზნებისთვის, შეიძლება გამოიწვიოს გართულებები. სუფთა სამკურნალო ტალახი არ შეიძლება ჩაითვალოს კოსმეტიკურ პროდუქტად, რადგან ეს გულისხმობს უსაფრთხოებას დამოუკიდებლად გამოყენებისას.

თანამედროვე პირობებში პელოიდების გვერდითი ეფექტების, არასასიამოვნო ორგანოლეპტიკური თვისებების თავიდან აცილებისა და მასში არსებული მინარევებისაგან გათავისუფლების მიზნით, კოსმეტიკური ნაწარმის მისაღებად ნედლეულის სახით იყენებენ არა უშუალოდ პელოიდებს, არამედ მის გადამუშავების პროდუქტებს. ღებულობენ გამონაწვლილებს, კონცენტრატებს და ა.შ. ტალახის გადამუშავების პროდუქტებზე

დაფუძნებული კოსმეტიკური ფორმულაციები პელოიდური პრეპარატების გარდა, შეიცავს სხვა კომპონენტებსაც - მცენარეულ ზეთებს, ექსტრაქტებს, ვიტამინებს და ა.შ.
დღეისათვის მინერალების შემცველი კოცმეტიკური საშუალებები წარმოდგენილია კრემების, ლოსიონების, შამპუნების, კოსმეტიკური რძის, ნიღბების, ფირფიტების და სხვა აპლიკაციური ფორმების სახით.
მინერალების შემცველი კოსმეტიკური პროდუქცია იშვიათად იწვევს ალერგიულ რეაქციებს. კანის საფარველი ყოველდღიურად კარგავს მინერალურ მარილებს. სწორად შერჩეული კანის მოვლის საშუალებები ხელს უწყობენ ელემენტებით შევსებას, რაც დადებითად აისახება ეპიდერმისის გარეგნულ სახეზე.
საკვანძო სიტყვები: კოსმეტოლოგია, პელოიდები, მიკრო- და მაკროელემენტები, პრეპარატები

ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში, ადამიანთა დიდმა ნაწილმა გააცნობიერა სწორი კვების როლი. 2011 წლის დასაწყისში აშშ-ის სოფლის მეურნეობის, ჯანმრთელობისა და ადამიანის უფლებათა დეპარტამენტებმა გამოაქვეყნეს დიეტური რეკომენდაციების მე -7 გამოცემა [17]. მოწოდებული რეკომენდაციების მიხედვით თერთმეტი ვიტამინი (მაგ., ვიტამინი D, C, E, K, B6, B12, თიამინი, რიბოფლავინი, ნიაცინი, ფოლიუმის მჟავა, და ქოლინი) და რვა მინერალი (მაგ., კალციუმი, რკინა, მაგნიუმი, ფოსფორი, ნატრიუმი, თუთია, სპილენძი და სელენი) მიჩნეულ იქნა ჯანმრთელობისთვის საჭიროდ. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ თითქმის ყოველი მესამე ფერმენტის კატალიზური აქტივობის მონაწილე მეტალის იონებია. მიუხედავად ამისა სამეცნიერო ლიტერატურაში გრძელდება დისკუსია ვიტამინებისა და მინერალების შემცველი დიეტური დანამატების სარგებლიანობის შესახებ. გადაუწყვეტლად რჩება საკითხი თუ რა რაოდენობით უნდა მიიღოს პაციენტმა მათი დეფიციტის ან დაავადების თავიდან აცილების მიზნით, ან კიდევ, როგორია ის ოპტიმალური რაოდენობა ადამიანის ორგანიზმისათვის, რომელიც უზრუნველყოფს მისი ჯანმრთელობის შენარჩუნებას [31].
კანის ადრეული ჭკნობა, სიმშრალე და მტვრევადი თმა - დღეს ყველა ასაკის ქალს აწუხებს. ნაადრევი დაბერების მიზეზები განსხვავებულია. ის მოიცავს არახელსაყრელ გარემო პირობებს, დასვენების ნაკლებობას, გაუწონასწორებელ კვებას, სტრესს. მაგრამ, როგორც წესი, კანისა და თმის გაუარესება შინაგანი სისტემებისა და ორგანოების ფუნქციობის უფრო სერიოზული დარღვევების შედეგია. სიტუაციის გამოსწორება შესაძლებელია ვიტამინებისა და მინერალების დანამატების მიღებით და ყოველდღიური მოვლის მაღალი ხარისხის კოსმეტიკური საშუალებების გამოყენებით [1].
კალიუმი და ნატრიუმი დომინანტური უჯრედშიდა და უჯრედშორისი ელექტროლიტები და ოსმოლიტებია, რომლებიც ახდენენ უჯრედის მემბრანის პოტენციალის შენარჩუნებას. მამაკაცებისა და ქალებისათვის 14 წლის ასაკის ზემოთ, რეკომენდებული დოზა კალიუმის არის 4700 მგ დღეში. თუმცა, იმის გამო, რომ ნატრიუმი უფრო ფართოდ გვხვდება ადამიანის ორგანიზმში, ამერიკული დიეტა, და დიეტური გაიდლაინები ზღუდავს ნატრიუმის მიღებას, კერძოდ დღეში 2300 მგ-ზე ნაკლები რაოდენობით, იმავე ასაკობრივ ჯგუფში. კანისათვის სასარგებლოა მარილიან წყალში ბანაობა [22,23].
კალიუმი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ორგანიზმში! ადამიანის სხეულის ყველა უჯრედში არის "კალიუმ-ნატრიუმის ტუმბო", რომლის დახმარებით შენარჩუნებულია წყლისა და მინერალური ბალანსი უჯრედსა და მიმდებარე სივრცეს შორის. უჯრედებში წყლისა და სხვა

ნივთიერებების ბალანსი დამოკიდებულია კალიუმის და ნატრიუმის შემცველობაზე, უჯრედებში მიმდინარე მრავალი პროცესი, რომელზედაც დამოკიდებულია არა მხოლოდ კანის, არამედ მთელი სხეულის ჯანმრთელობა:

ოსმორეგულაცია და უჯრედული მოცულობის შენარჩუნება,

ნერვული და კუნთოვანი უჯრედების ელექტრული აქტივობის შენარჩუნება,

ნივთიერებების (შაქარი, ამინომჟავები) აქტიური ტრანსპორტირება მემბრანების მეშვეობით,

ცილების სინთეზი, გლიკოლიზი, ფოტოსინთეზი და მრავალი სხვა პროცესი.

კალიუმის იონები (ისევე როგორც სპილენძი, თუთია, სელენი, მაგნიუმი, ვერცხლი) ამდიდრებს მშრალი კოსმეტიკის ვერცხლის ხაზს NEO-PHAM, რომელიც მოიცავს ლითოკომპლექსებს, ნიღბებს, შამპუნებს, მარილებს და სხეულის პროდუქტებს.

ამ კოსმეტიკის აქტიური მინერალური შემადგენლობა საშუალებას გაძლევს ღრმად გაწმინდოთ კანი, აღადგინოთ იონების ცვლა, გააუმჯობესოთ ვიტამინებისა და მიკროელემენტების ტრანსპორტირება კანის ღრმა ფენებში, შეინარჩუნოთ ბუნებრივი ტენიანობის ბალანსი.

კალიუმის სორბატი, როელიც კოსმეტიკურ პროდუქტებში გამოიყენება როგორც - კონსერვანტი, მიღებულია ცირცელის წვენისგან. კალიუმის სორბატს აქვს ანტიმიკრობული ეფექტი. ის არ ანადგურებს მიკროორგანიზმებს, მაგრამ ხელს უშლის მათ გამრავლებას, მდგრადია ტემპერატურის ცვლილებების მიმართ და იშვიათად იწვევს ალერგიულ რეაქციებს.

კალციუმი ადამიანის ორგანიზმში ყველაზე გავრცელებული მეტალია [21, 28]. საშუალოდ ზრდასრული ადამიანისათვის, დღე-ღამეში რეკომენდებულია 1000-1200 მგ კალციუმის შემცველი საკვების მიღება, ასაკისა და სქესის გათვალისწინებით. კალციუმი არა მხოლოდ ხელს უწყობს სხვადასხვა მოვლენას, განსაკუთრებით ჰემოსტაზს, არამედ ეპითელიზაციის ძირითადი რეგულატორია. კალციუმის როლი უმნიშვნელოვანესია კანისათვის, კერძოდ კორნეოციტებად ბაზალური კერატინოციტების დიფერენცირების რეგულირებაში. დიფერენცირებაში როლის გარდა, Ca++, როგორც ჩანს, ადამიანის კერატინოციტების მთავარი მოდულატორია და, სავარაუდოდ, ხელს უწყობს ჭრილობის შეხორცებას. გარდა ამისა, არსებობს ასევე მტკიცებულება, რომ კალციუმის და მაგნიუმის სწორი კომბინაცია აუმჯობესებს კანის ბარიერის აღდგენას. კალციუმის გლუკონატის ხსნარი ან გელი ხშირად გამოიყენება მჟავით გამოწვეული დამწვრობის სამკურნალოდ [31].

ძნელია კალციუმის სარგებლის გადაჭარბება. ის მონაწილეობს მრავალ ფერმენტულ რეაქციაში. კოსმეტიკაში ყველაზე ხშირად გამოიყენება კალციუმის კარბონატი. მოქმედებს როგორც აბსორბენტი: შთანთქავს ზედმეტ ტენს, ცხიმს, ჭუჭყს ასევე სითხეებს, მაგრამ არ მონაწილეობს კანში მიმდინარე პროცესებში.

გამოიყენება ცხიმიანი კანის მოვლისას- ანიჭებს მქრქალ შეხედულებას,

ამატებენ სკრაბებსა და პილინგებს კანის მექანიკური ექსფოლიაციისა და გაპრიალებისათვის,

გამოიყენება ემულსიების გასქელებისთვის,

კოსმეტიკურ საშუალებას ანიჭებს ლამაზ თეთრ-თოვლისფერ ელფერს,

კალციუმის კარბონატი ანიჭებს მქრქალ შეხედულებას და ასუფთავებს კანს, მაგრამ ეს მომენტალური ეფექტია - ცარცისგან თერაპიულ ეფექტს ვერ მიიღებთ.

კიდევ ერთი კომპონენტი, რომელიც ხშირად გვხვდება კოსმეტიკაში, არის კალციუმის ლაქტატი (რძემჟავას მარილი). ეს ნივთიერება ხელს უწყობს კანის ელასტიკურობის გაზრდას. მას ხშირად ამატებენ ალგინატის ნიღბების შემადგენლობას პლასტიკურობის მისანიჭებლად. კალციუმის ლაქტატი კარგად ატენიანებს, გამოიყენება სიმშრალის და დეჰიდრატაციის პროფილაქტიკის მიზნით, ასტიმულირებს კანში მიმდინარე პროცესებს, ამცირებს შეშუპებას, ანთებას, კანის სიწითლეს [36].

მაგნიუმი მეოთხე ადგილზეა ადამიანის ორგანიზმში შემცველობის მიხედვით. ადამიანის ორგანიზმში მაგნიუმის 60% - ზე მეტს შეიცავს ჩონჩხი, ხოლო დანარჩენი ნაწილდება უჯრედებში, სადაც აუცილებელია ენერგეტიკული მეტაბოლიზმისთვის და უჯრედების რეპლიკაციისათვის [31].

მაგნიუმი არის კოფაქტორი ბევრ მეტალოენზიმში [24]. რამდენიმე ფერმენტის კატალიზური აქტივობა დამოკიდებულია მაგნიუმზე. 2010 წლის ამერიკული დიეტური გაიდლაინების მიხედვით [17], ჯანმრთელ ზრდასრულ მამაკაცებმა და ქალებმა უნდა მიიღონ 310-დან 420 მგ-მდე მაგნიუმი დღეში. სხვა მეტალებისგან განსხვავებით, არსებობს ძალიან მცირე მტკიცებულება მაგნიუმის დიეტურ შეზღუდვებთან დაკავშირებით [24]. ცნობილია მაგნიუმის შემცველი რამდენიმე სამომხმარებლო პროდუქტი:

ტალკი (მაგნიუმის სილიკატი) - ყველაზე ხშირად გვხვდება ბავშვთა ფხვნილებში. ტალკი ასევე გვხვდება ფერად კოსმეტიკურ ფხვნილებსა და ანტიფუნგალურ საშუალებებში.

მაგნიუმის სულფატს იყენებენ შიგნით მისაღებად, როგორც საფაღარათო საშუალებას და ადგილობრივად აბაზანების სახით, კანისათვის სირბილის მისანიჭებლად. მაგნიუმის სულფატი - ცნობილი საშუალებაა კუნთების მოსადუნებლად, სიმშვიდის აღსადგენად. ის ხასიათდება დაბალი გაღიზიანების ინდექსით. გამოიყენება კანის ანთებითი პროცესების დროს. ის ძირითადად გამოიყენება თალასოთერაპიის პროდუქტებში: მარილებისა და აბაზანის ხსნარებში ეთერზეთებთან და წყალმცენარეების ექსტრაქტებთან ერთად.

მაგნიუმის ლაქტატი მოქმედებს როგორც ანტისეპტიკური საშუალება. ის კარგად არბილებს კანს, აქვს ანთების საწინააღმდეგო თვისებები.

მაგნიუმის ოქსიდი არეგულირებს pH დონეს. ამ ნაერთის მოლეკულები იზიდავს წყალს, ამიტომ მაგნიუმის ოქსიდის მქონე კოსმეტიკა კარგად ინარჩუნებს ტენს.

მაგნიუმის გლუკონატს აქვს დარბილების და გამაახალგაზრდავებელი ეფექტი. ის ყველაზე ხშირად გვხვდება როგორც ასაკის საწინააღმდეგო პროდუქტებში, ასევე პრობლემური კანის კოსმეტიკაში.

Denda და სხვ. [18] შეისწავლეს მაგნიუმის და კალციუმის ეფექტი უთმო თაგვებში კანის ბარიერის აღდგენაზე. მაგნიუმის ყველა მარილი, გარდა მაგნიუმის დიჰიდროფოსფატისა, აჩქარებს ბარიერის აღდგენის პროცესს. უფრო მეტიც, ბარიერის ოპტიმალური აღდგენისთვის საჭირო იყო Ca++ - იონების ერთი ერთეულით ნაკლები თანაფარდობა Mg++ -ის იონებთან, რაც მიუთითებს კომპლექსურ და ხშირად ანტაგონისტურ ურთიერთობაზე Mg++ - სა და Ca++ - ის იონებს შორის, კერატინიზაციის დროს. მცირე კლინიკურ კვლევაში ადამიანებზე (n = 12), Schempp et al. [35] აჩვენა, რომ 5%-იანი მაგნიუმის ქლორიდით ადგილობრივი მკურნალობის დროს UV დასხივებამდე, ეპიდერმისში მნიშვნელოვნად შემცირდა ლანგერჰანსის უჯრედების რაოდენობა ნატრიუმის ქლორიდთან შედარებით.

Proksch და მისმა კოლეგებმა აღნიშნეს კანის ბარიერული თვისებების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება (ანუ ტკივლის შემცირება, ჰიდრატაციის ზრდა, კანის უხეშობისა და ერითემის შემცირება), როდესაც ატოპიური დერმატიტის მქონე პაციენტებმა ყოველდღიურად მიიღეს მკვდარი ზღვის მარილის 5%-იანი აბაზანები, ონკანის წყალთან შედარებით [29, 30].

გამოქვეყნებული კლინიკური კვლევების შედეგების საფუძველზე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ფსორიაზისა და ატოპიური დერმატიტის მკურნალობის ბალნეოთერაპიის ეფექტურობის მხარდამჭერი მტკიცებულებები დაუზუსტებელია. თუმცა, ეს მკურნალობა, როგორც ჩანს, პაციენტებს პალიატიურ სარგებელს აძლევს ზოგიერთი სიმპტომების შემსუბუქების თვალსაზრისით (მაგალითად, ქავილი, აქერცვლა და ა.შ.) [30].

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ მაგნიუმი ერთ-ერთი ყველაზე "ბიო მეგობრული" ნუტრიენტია. ეს არის არატოქსიკური, არაკანცეროგენული მინერალი, რომელიც ხელს უწყობს უჯრედული ენერგიის გამომუშავებას, აახლებს უჯრედულ სტრუქტურებს.

ორგანიზმში მაგნიუმის ნაკლებობა იწვევს სითხის შეკავებას, შეშუპებას. კანი კარგავს ელასტიკურობას. ამიტომ მაგნიუმის შემცველი კოსმეტიკა შეუცვლელია, როდესაც ასაკთან დაკავშირებული ცვლილებები ხდება. კრემები და შრატები მაგნიუმით დადებითად მოქმედებს სახისა და კისრის კანზე: ასწორებს წვრილ ნაოჭებს, აღადგენს ტონს [36].

თუთიის ყოველდღიური საჭიროება მამაკაცებსა და ქალებში არის 11 და 8 მგ დღეში, შესაბამისად. საინტერესოა, რომ ორგანიზმში თუთიის დაახლოებით 11% უკავშირდება ეპიდერმისს [26]. ბიოქიმიური თვალსაზრისით, თუთია არის დომინანტი კოფაქტორი მრავალი ფერმენტისთვის, მათ შორის ჭრილობის შეხორცებაში ჩართული. არის ჰიპოთეზა, რომ იგი ფუნქციობს როგორც არატრადიციული ანტიოქსიდანტი. მიუხედავად იმისა, რომ თუთია აშკარად უსაფრთხო და ეფექტურია ის არ არის სრულიად უვნებელი. მაგალითად, ჭრილობების მკურნალობისას კვლევებმა აჩვენა, რომ თუთიის ქლორიდის და თუთიის სულფატის ადგილობრივმა გამოყენებამ არა მხოლოდ გააღიზიანა, არამედ შეაფერხა ბარიერის აღდგენა [31]. თუმცა, რამდენიმე გამონაკლისის მიუხედავად, თუთიის ნაერთებს აქვთ უდიდესი თერაპიული პოტენციალი, რაც დასტურდება FDA-ს მიერ დამტკიცებული თუთიის შემცველი პრეპარატების რაოდენობით [33]. ამერიკის შეერთებულ შტატებში, FDA აღიარებს თუთიის შემცველ 3 ნაერთს: თუთიის აცეტატს (0.1-2%), თუთიის კარბონატს (0.2–2%) და თუთიის ოქსიდს (1-25%), როგორც უსაფრთხო და ეფექტურ კანის დამცავებს [31].

ადამიანის კანის ეპიდერმისში თუთიის კონცენტრაცია (50-70 მკგ) უფრო მაღალია, ვიდრე დერმაში (10-15 მკგ). ექსპერიმენტული ჭრილობის მოდელების კვლევები აჩვენებს, რომ თუთიის დამატება აუმჯობესებს ჭრილობის შეხორცებას. ორმაგ ბრმა პლაცებო-კონტ-როლირებად კლინიკურ კვლევაში ადამიანებში, კანზე გამოყენებულმა თუთიის ოქსიდმა მნიშვნელოვნად შეუწყო ხელი ფეხის წყლულების შეხორცებას. სხვა მკვლევარები თუთიის ოქსიდს აღიარებენ, როგორც ოკლუზიურ ნახვევს დიაბეტური ფეხის წყლულებისთვის [31].

თუთია არის ელემენტი გამოხატული ანთების საწინააღმდეგო და ანტისეპტიკური თვისებებით. იგი გამოიყენება მრავალი ათწლეულის განმავლობაში შემდეგი პათოლოგიური პროცესების დროს:

გამონაყარი, ოფლიანობა და კანის ანთება ბავშვებში,

დამწვრობა და დერმატიტი,

ეგზემის, წყლულების და ნაწოლების მწვავე სტადია,

ჰერპესისა და სტრეპტოდერმიის შესამსუბუქებლად.
თუთია უპირატესად გამოიყენება ცხიმოვანი და პრობლემური კანის მოვლის საშუალებებში. ნუტრიენტი ანორმალიზებს ქონის ჯირკვლების ფუნქციობას, ატენიანებს კანს, ამცირებს სიწითლეს და გაღიზიანებას.
თუთიის ოქსიდი განკუთვნილია პრობლემური კანისთვის.
თუთიის ოქსიდის ნიღაბი ყოველთვის კეთდება კოსმეტოლოგის მიერ მექანიკური გაწმენდის ან პილინგის პროცედურის შემდეგ. ეს არის ძალიან აქტიური ანთების საწინააღმდეგო საშუალება!
როგორ მოქმედებს თუთიის ოქსიდი კანზე დატანისას: ის უკავშირდება კანის ცილებს და ახდენს მათ დენატურაციას. ქმნის ცილის მარილებს, რომლებსაც გააჩნიათ ანთების საწინააღმდეგო მოქმედება, ამცირებს სითხის შეღწევას სისხლძარღვებიდან დაზიანების ადგილას.
ულტრაიისფერი სხივები ერთ-ერთი ყველაზე ძლიერი სტრესული ფაქტორია კანისთვის! თუთიის ოქსიდი დამტკიცებულია, როგორც ფართო სპექტრის მზისგან დამცავი საშუალება. თუთიის ოქსიდი არის ფიზიკური ფილტრი, რომელიც აკავებს მზის სხივებს ისე, რომ კარგავენ კანის უჯრედების დაზიანების უნარს! თუთიის ოქსიდი ინერტული და უსაფრთოა, არ ზრდის კანის ფოტომგრძნობელობას ულტრაიისფერი სხივების მიმართ. კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი უპირატესობა: თუთიის ოქსიდი იცავს კანს ა ტიპის ულტრაიისფერი სხივების დაზიანებისგან, რომელთა მოქმედება ყველაზე დამანგრეველია უჯრედებისთვის.
ორგანულისაგან განსხვავებით მინერალური მზისგან დამცავი საშუალებები, როგორიცაა: თუთიისა და ტიტანის ოქსიდები არა მხოლოდ ამცირებენ ულტრაიისფერი სხივების კანში შეღწევას, არამედ უზრუნველყოფენ კანის დაცვას ულტრაიისფერი გამოსხივებისაგან. თუთიის ოქსიდი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ადგილობრივ მზისგან დამცავ ფორმულირებებში 25% - მდე რაოდენობით [31].
რკინა ორგანიზმში ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მიკროელემენტია და მეტწილად ჩართულია ჟანგბადის ტრანსპორტსა და რედოქს რეაქციებში, განსაკუთრებით სუნთქვისას. რკინა ასრულებს სხვადასხვა როლს ოქსიგენაზებში, მათ შორის პროკოლაგენ-პროლინ დიოქსიგენაზაში, რომელიც დაკავშირებულია კანთან. ორგანიზმში რკინის 70% დაკავშირებულია ჰემოგლობინთან. რკინის ოქსიდის შემცველი ფერადი კოსმეტიკა ანტიკური დროიდან გამოიყენება სახის კანზე. ღია (მზისგან) და დაფარული (მზისგან) კანის ეპიდერმისში რკინის ანალიზმა აჩვენა, რომ მნიშვნელოვნად მაღალია თავისუფალი რკინის შემცველობა ღია კანის ეპიდერმისში [31].
სპილენძი არის მნიშვნელოვანი მიკროელემენტი, რომელიც გვხვდება მთელ სხეულში, სადაც იგი კოფაქტორია რამდენიმე ფერმენტისთვის, მათ შორის ლიზილ ოქსიდაზას, რომელიც მონაწილეობს კოლაგენის და თიროზინაზას, კანის პიგმენტაციაში ჩართულ ფერმენტის „კროსლინკინგში“ [20]. სპილენძის პეპტიდებმა კულტივირებულ უჯრედებში კოლაგენის წარმოქმნა გააუმჯობესა, ამასთან არბილებს გაღიზიანებულ კანს, აუმჯობესებს კანის ელასტიკურობას და სიმტკიცეს, ამცირებს ნაოჭების რაოდენობას და აჩქარებს ჭრილობის შეხორცებას [32]. სპილენძის ნაერთების გამოყენება ასევე დაკავშირებულია მათ ცნობილ ანტიბაქტერიულ, სოკოს საწინააღმდეგო და ანტივირუსულ აქტივობასთან [14]. კოსმეტიკურმა კომპანიამ შექმნა სპილენძისა და თუთიისგან შემდგარი ბიმინერალური

კომპლექსი, რომელსაც გააჩნია ანთების საწინააღმდეგო მოქმედება [27]. Chantalat და სხვებმა [15,16] ორმაგი ბრმა, პლაცებო კონტროლირებად კვლევაში, დაადგინეს დაბერების ვიზუალური ნიშნების შემცირება. ბიმინერალის კომპლექსის შემცველმა გელმა, ადგილობრივად გამოყენების დროს გააუმჯობესა კანის ტონი, ფერი, ტექსტურა, მნიშვნელოვნად შეამცირა თვალის გარშემო მუქი შეფერილობა და ნაოჭები.

სპილენძის დეფიციტი ანელებს კანის საფარველის აღდგენას დაზიანების შემდეგ. ამიტომაც სპილენძის შემცველი კოსმეტიკა სასარგებლოა დერმისა და ეპიდერმისის გასქელებისათვის, კანის კოლაგენისა და ელასტინის ბოჭკოების სტრუქტურის აღდგენისათვის და სხვადასხვა სახის დაზიანების შეხორცებისათვის. სპილენძის სხვადასხვა ნაერთებს, რომლებიც გამოიყენება კოსმეტიკაში, გააჩნია ანტიბაქტერიული ეფექტი, კანზე მატონიზებელი მოქმედება, არეგულირებს კანის ქონის გამოყოფას, იცავს კანს სტრესისგან.

კოსმეტიკურ საშუალებებში ხშირად გვხვდება სპილენძის ქლორიდი და გლუკონატი, აგრეთვე შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას პიროგლუტამატი. სპილენძი თუთიასთან, კალციუმთან და მანგანუმთან ერთად შედის პოპულარული Sepitonic M4-ის შემადგენლობაში, რომელიც ეწინააღმდეგება კანში ტოქსინების დაგროვებას, აუმჯობესებს კანის ფერს, ანელებს დაბერების პროცესს და ასტიმულირებს უჯრედულ სუნთქვას.

სელენი ჩვეულებრივ გვხვდება ნიადაგში, მცენარეებში გროვდება სელენმეთიონინისა და სელენცისტეინის სახით [25]. ადამიანებში ეს ორი ამინომჟავა ანტიოქსიდანტური ფერმენტების ძირითადი კომპონენტებია, როგორიცაა გლუტათიონპეროქსიდაზა და თიორედოქსინრედუქტაზა. ცხოველებზე ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა სელენის დეფიციტსა და კიბოს შორის შესაძლო კავშირი [19]. თაგვებში სელენის პერორალური მიღების შედეგად შემცირდა ულტრაიისფერი სხივებით გამოწვეული ანთება, პიგმენტაცია, ჰიპერკერატოზი და კარცენოგენეზი. სელენმეთიონინის შემცველი (0.002-0.05%) ლოსიონის გამოყენებამ 2 კვირის განმავლობაში, შეამცირა ულტრაიისფერი დასხივებით გამოწვეული ანთება. ფოტო-დაზიანების ინჰიბირების გარდა, საცდელ ცხოველებზე ჩატარებული კვლევები აჩვენებს, რომ სელენმეთიონინს ასევე შეუძლია შეცვალოს ფოტო-დაბერება. ითვლება, რომ სელენი იცავს კანს და სხვა ორგანოებს, ანტიოქსიდანტურ ფერმენტებში, განსაკუთრებით გლუტათიონპეროქსიდაზასა და თიორედოქსინ რედუქტაზაში მონაწილეობის გამო. ადამიანის ფიბრობლასტები, კერატინოციტები და მელანოციტები ახდენენ 10-დან 15-მდე სელენპროტეინის ექსპრესიას. საკვებზე სელენის ან სელენმეთიონინის დამატება მნიშვნელოვნად ამცირებს ულტრაიისფერი გამოსხივებით გამოწვეული კერატინოციტებისა და მელანოციტების სიკვდილს [31]. სელენპროტეინის დეფიციტი იწვევს ეპიდერმისის ჰიპერპლაზიას, თმის ფოლიკულების პათოლოგიურ განვითარებას, ალოპეციის პროგრესირებას და, საბოლოო ჯამში, ნაადრევ სიკვდილს [34]. ამერიკის შეერთებულ შტატებში სელენის სულფიდის შემცველი პრეპარატები გამოიყენება ქერტლისა და სებორეული დერმატიტის სამკურნალოდ.

სილიციუმი დედამიწაზე ყველაზე გავრცელებული ქიმიური ელემენტია! სილიციუმი იმყოფება დედამიწის ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ქსოვილებში!

ადამიანის კანში საოცრად ბევრი სილიციუმია: ეპიდერმისში, დერმაში, შემაერთებელ ქსოვილში, თმასა და ფრჩხილებში.

ასაკთან ერთად, სილიციუმის რაოდენობა კანში მცირდება, რაც იწვევს კანის ელასტიკურობის ცვლილებებს: რაც უფრო მეტი სილიციუმია კანში, მით უფრო მკვრივი, სქელი და ელასტიკურია კანი.

სილიციუმის ნაერთები ასრულებენ კოლაგენისა და ელასტინის ბოჭკოებს შორის თავისეური ნაკერების და კავშირების როლს - ის ინარჩუნებს მათ მოწესრიგებულ მდგომარეობაში. დაბერებული კანის ბოჭკოვანი სტრუქტურა ქაოტურია, კანი რბილია, მიდრეკილია დანაოჭებისაკენ.

სილიციუმის არსებობისას:

აქტიურდება ჰიალურონის მჟავის სინთეზი,

გაუმჯობესებულია შეხორცებისა და აღდგენის პროცესი,

გაძლიერებულია კანის დამცავი თვისებები, ბუნებრივი ანტიბაქტერიული და ანტივირუსული,

სილიციუმი არის ჯანსაღი და ახალგაზრდული კანის ნამდვილი გასაღები!

დიდი რაოდენობით სილიციუმს შეიცავს თიხა! მონტმორილონიტი (ცისფერი თიხა), კაოლინიტები (თეთრი და ვარდისფერი თიხა), ცეოლიტი წამყვანია სილიციუმის შემცველობის თვალსაზრისით. ამავე დროს - არის მშრალი კოსმეტიკის მთავარი აქტიური ინგრედიენტები "სილამაზის საიდუმლო". "პრემიუმ მოვლის" ხაზში მონტმორილონიტის, კაოლინისა და ცეოლიტის შემცველობა მერყეობს კანის სხვადასხვა ტიპისა და მდგომარეობისთვის განკუთვნილ პროდუქტებში.

ტიტანის დიოქსიდი შედის დეკორატიული კოსმეტიკის შემადგენლობაში: ის გამოიყენება მზისგან დამცავ კოსმეტიკაში, როგორც ულტრაიისფერი სხივების ფილტრი. ტიტანი ასევე გამოიყენება როგორც შემასქელებელი კოსმეტიკურ პროდუქციაში.

ტიტანის ოქსიდი არის თუთიის ოქსიდის თანამგზავრი მზისგან დაცვაში.

მზისგან დამცავ საშუალებებში ამ მინერალების წყვილში გამოყენება უზრუნველყოფს ულტრაიისფერი სხივების მიერ კანის დამაზიანებელი ეფექტის სრულად აღმოფხვრას.

თუთიის ოქსიდის და ტიტანის დიოქსიდის მზისგან დამცავი ფილტრების ძირითადი უპირატესობებია:

კანში შეღწევის უუნარობა (თუ ნაწილაკები 100 ნმ-ზე მეტია),

გამოყენების შესაძლებლობა მგრძნობიარე, ალერგიისადმი მიდრეკილ კანზე,

ბავშვებში გამოყენების შესაძლებლობა.

თუთიის ოქსიდისა და ტიტანის დიოქსიდის შემცველ მზისგან დამცავ საშუალებებს აქვთ მხოლოდ ერთი ნაკლი - კანის გაუფერულება [36].

მანგანუმი. სახის კანის მოვლის საშუალებებში მანგანუმის შეტანა ხელს უწყობს კოსმეტიკური საშუალებისათვის აღმდგენი და დამცველი თვისების მინიჭებას, აგრეთვე ასტიმულირებს კოლაგენის გამომუშავებას, ავლენს ანტიოქსიდანტურ აქტივობას, კანის სტრუქტურის გათანაბრებას, კანის უჯრედებში მეტაბოლური პროცესების რეგულირებას, აგრეთვე ახდენს კანის გაწმენდას.

კოსმეტიკურ საშუალებებში იყენებენ მანგანუმის ქლორიდს და გლუკონატს.

გოგირდი. კოსმეტიკური მიზნებისათვის ფართოდ იყენებენ სუფთა დალექილ გოგირდს. მას გააჩნია მთელი რიგი დადებითი თვისებები ცხიმოვანი და პრობლემური სახის კანისათვის. მაგალითად: მსუბუქი ამქერცლავი მოქმედება, ანასთანავე ეწინააღმდეგება კომედონების

(„შავი წერტილების“) წარმოქმნას, არის ანტისეპტიკი, ასევე გააჩნია მომშრობი მოქმედება, რითაც ეწინააღმდეგება ჭარბ ცხიმს.

თუთიის ოქსიდი დალექილ გოგირდთან ერთად წარმატებით გამოიყენება გამონაყრის სამკურნალოდ, ის აგრეთვე გამოიყენება, როგორც დამხმარე საშუალება სხვადასხვა სახის დერმატიტების სამკურნალოდ.

კოსმეტიკურ საშუალებებში ფართოდ იყენებენ არა მხოლოდ ზემოთაღნიშნულ არამედ სხვა მინერალებსაც, მაგალითად, ოქრო, ვერცხლი და სხვა.

საინტერესოა, რომ 2010 წლის დიეტური რეკომენდაციები ამერიკელებისათვის [17] არ შეიცავს რეკომენდაციებს საკვების სახით სხვა მიკროელემენტის (მაგალითად, ქრომის, მოლიბდენის და ა.შ.) გამოყენების შესახებ. თუმცა, ეს არ ნიშნავს იმას, რომ ისინი უმნიშვნელოა. ორგანიზმში ხშირად გვხვდება სხვა არასაკვები ღირებულების მქონე მეტალური ელემენტები (მაგალითად, ალუმინი, ცირკონიუმი, ვერცხლი, ოქრო, ვერცხლისწყალი და კალა). ალუმინის და ცირკონიუმის მარილები, ორგანიზმში ხვდებიან ანტიპრესპირანტებიდან (აქტიური ინგრედიენტებია), ვერცხლი, ოქრო, ვერცხლისწყალი და კალა კი ადამიანის ორგანიზმში ძირითადად გარემოდან ხვდება [31].

თანამედროვე კოსმეტოლოგიაში კრემების, შრატების, მატონიზებელი და სხვა საშუალებების მომზადების დროს იყენებენ მიკრო- და მაკროელემენტებს, რომლებიც საციცოცხლოდ აუცილებელია ქსოვილებში ნივთიერებათა ცვლისათვის [10].

მინერალური კომპონენტებით მდიდარი კოსმეტიკური პროდუქცია იშვიათად იწვევს ალერგიულ რეაქციებს.

სამკურნალო ტალახი (პელოიდი) - ბუნებრივი კოლოიდური ორგანო-მინერალური წარმონაქმნია (ლამიანი, ტორფის, საპროპელის და ვულკანური), რომელიც ადამიანის ორგანიზმზე ახდენს სამკურნალო ზემოქმედებას თავისი პლასტიკური, მაღალი თბომოცულობის, თბომატარებლობის, ნელი სითბოს გაცემის, ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების (მარილები, აირები, ვიტამინები, ფერმენტები, ჰორმონები და სხვა) და ცოცხალი მიკროორგანიზმების შემცველობის ხარჯზე [2,4,5,6,12].

ბოლო პერიოდში პოპულარულია კოსმეტიკა სამკურნალო ტალახების, მინერალური კომპლექსების და მინერალური წყლების საფუძველზე. ყველაზე ფართო ასორტიმენტითაა წარმოდგენილი კოსმეტიკა მკვდარი ზღვის პროდუქტების ბაზაზე [3,7,11].

არსებობს განსაზღვრული სპეციფიკა პელოიდების შემცველი სხვადასხვა ფორმის კოსმეტიკური პროდუქციის ტექნოლოგიისა, რაც განპირობებულია რამდენიმე ფაქტორით. ტალახები არის კომპლექსური ბიო-ფიზიკურ-ქიმიური სისტემები, რომლებიც მგრძნობიარეა გარეგანი ზემოქმედების მიმართ, რასაც ადგილი აქვს პროდუქციის წარმოების პროცესში (ტემპერატურა, წნევა და ა.შ.). ტალახები შეიცავს მიკროორგანიზმების დიდ რაოდენობას, ამიტომაც ძნელია ვიწინასწარმეტყველოთ მომზადებული პროდუქციის შესაბამისობა ხარისხის მაჩვენებლებით ნატიურ ტალახთან მომზადების შემდეგ და შენახვის პროცესში. ტალახები ხასიათდება განსაზღვრული სუნით, მაგალითად, ლამიანი-სულფიდური სამკურნალო ტალახისათვის დამახასიათებელია გამოხატული გოგირდწყალბადის სუნი.

ხშირად, კოსმეტიკური საშუალების სახით მოწოდებულია თვით სამკურნალო ტალახი. ასე მაგალითად, მკვდარი ზღვის ტალახი არის პროდუქციის ცალკე ხაზი უმრავლესობა ისრაელის კომპანიებისათვის. ეს გამოწვეულია იმით, რომ სამკურნალო ტალახი მეტწილად ქიმიურად

და ბიოლოგიურად არის თვითკმარი ნივთიერება, რომელსაც აქვს გამოსაყენებლად მოსახერხებელი ზეთის მსგავსი კონსისტენცია, რომელიც რეგულირდება ისეთი მაჩვენებლით, როგორიცაა გადანაცვლების დაძაბულობა (პროცედურებისთვის მომზადებული ტალახისთვის). ტალახი უნდა იყოს ბლანტი-პლასტიკური, ამიტომ დენადი (გათხევადებული) ან, პირიქით, მყარი კონსისტენცია არ არის მისაღები.

თუმცა, ტალახის მკურნალობას აქვს მრავალი უკუჩვენება და სამკურნალო ტალახის უკონტროლო გამოყენებამ, თუნდაც კოსმეტიკური მიზნებისთვის, შეიძლება გამოიწვიოს გართულებები. სინამდვილეში, სუფთა სამკურნალო ტალახი არ შეიძლება ჩაითვალოს კოსმეტიკურ პროდუქტად, რადგან ეს გულისხმობს უსაფრთხოებას დამოუკიდებლად გამოყენებისას. მთელი სხეულის თერმული შეფუთვა, რომელიც მრავალი ანტიცელულიტური პროგრამის ეტაპია, განსაკუთრებული სიფრთხილით უნდა მოვეკიდოთ. ამ პროცედურებს აქვთ იგივე უკუჩვენებები, როგორც ტრადიციულ ტალახის აპლიკაციებს, რადგან ისინი იდენტურია სხეულზე დატვირთვის ინტენსივობის თვალსაზრისით. იმის გამო, რომ ლამის ტალახი ჰიპერტონული მასაა, იგი ინიშნება კანის გამოსაშრობად. ტალახის უნარი გამოაშროს კანი, ასევე არის გვერდითი მოვლენა, რაც ყველაზე მეტად ვლინდება მაღალ მინერალიზებულ ტალახში [8].

კოსმეტიკური პროდუქტების შემდეგი ჯგუფი შეიცავს ბუნებრივი ტალახის კომპონენტების-მარილიან ხსნარს, რომელიც მდიდარია მიკროელემენტებით და ტალახის გამონაწვლილით [8, 9, 13]. ამავე დროს, კოსმეტიკაში დამუშავებული პროდუქტების (ექსტრაქტ-კონცენტრატები) გამოყენებას აქვს მრავალი უპირატესობა ნატიურ ტალახთან შედარებით:

კონცენტრატებს აქვთ უფრო სტაბილური ქიმიური შემადგენლობა;

მათი გამოყენება ტექნოლოგიურად უფრო გამართლებულია, რადგან ის თავიდან გვაცილებს ტალახისა და ფუძეების ფიზიკურ-ქიმიურ თავსებადობასთან დაკავშირებულ პრობლემებს, კოსმეტიკური საშუალებების კოლოიდურ და თერმულ არასტაბილურობას;

კონცენტრატები მიიღება ტექნოლოგიის გამოყენებით, რომელიც გამორიცხავს არასასურველი მინარევების გადასვლას (მძიმე ლითონები, რადიონუკლიდები);

კონცენტრატები ხასიათდება უფრო დიდი მიკრობიოლოგიური სტაბილურობით;

შემადგენლობაში პელოიდური ექსტრაქტების კომბინაციების შეყვანა შესაძლებელს ხდის დიფერენცირებულად მივიღოთ განსაზღვრული თვისებების მქონე კოსმეტიკური პროდუქტები;

ექსტრაქტებს შეუძლიათ მნიშვნელოვნად გააუმჯობესონ კოსმეტიკური საშუალებების გარეგნული სახე და ორგანოლეპტიკური თვისებები, თავიდან ავიცილოთ ნატიური ტალახის უსიამოვნო სუნი;

მათი გამოყენება საშუალებას გვაძლევს გავაფართოვოთ კოსმეტიკური საშუალებების ასორტიმენტი: ლოსიონების, კოსმეტიკური რძის, კრემების და ა.შ. სახით, ხოლო ნატიური ტალახის გამოყენება ძირითადად ხდება ნიღბებისა და აპლიკაციების სახით.

კოსმეტიკის ჩამონათვალი, რომელიც შეიცავს ტალახის ექსტრაქტებს, საკმაოდ ფართოა. ეს არის სახის და ხელის კრემები სხვადასხვა ტიპის კანისთვის, სახის ტონიკები, სახის ნიღბები, ანტიცელულიტური ნიღბები, შამპუნები და ა.შ.

პელოიდების კომპონენტები და, შესაბამისად, მათზე დაფუძნებული ნივთიერებები კოსმეტიკური საშუალებების წარმოებისთვის შეიცავს ფიზიოლოგიურად აქტიურ ინგრედიენტებს, რომლებსაც აქვთ სასარგებლო გავლენა კანზე [11].

ბუნებრივი მარილები ახდენს წყალ - მარილოვანი ბალანსის ნორმალიზებას, ზრდის კანის ტურგორს და ელასტიკურობას, ხელს უწყობს ნაოჭების გასწორებას, აქვს ანთების საწინააღმდეგო ეფექტი. ზღვისა და ტალახის მარილის მოქმედება განპირობებულია მინერალების კომპლექსით, რომელიც ასტიმულირებს მეტაბოლიზმს, ასუფთავებს კანს, აღადგენს მის ბუნებრივ ელასტიკურობას [11].

ტალახის გადამუშავების პროდუქტებზე დაფუძნებული კოსმეტიკური სერიის ფორმულაციები პელოიდური პრეპარატების გარდა, შეიცავს სხვა კომპონენტებსაც - ტრადიციულ მცენარეულ ზეთებს (ზეითუნის ზეთი, კაკაოს ცხიმი, შის და ნუშის ზეთებს), ასევე საღამოს ფურისულას ზეთს, ექსტრაქტებს (ალოე, სალბი, გულყვითელა, ჩაი, ცხენის წაბლა, როზმარინი, ჯიჯილაყი), ვიტამინებს (A, E), D-პანთენოლს და ა.შ.) [10].

ლიტერატურა:

1. Ахмеджанова Ф.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АССОРТИМЕНТА И КАЧЕСТВА КОСМЕТИЧЕСКИХ ТОВАРОВ. Научный журнал «АРХИВАРИУС» Том 7, #2(56), 2021. С. 77-80.
2. Водорезова Е.С., Горюнова О.Б. Характеристика современного ассортимента и качества косметических солей для ванн. Материалы конференций – Качество и безопасность на потребителските стоки. 2017. С.197-205.
3. С.Б. Евсеева, Б.Б. Сысуев. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ КОСМЕТИЧЕСКИХ РЕЦЕПТУРАХ: АССОРТИМЕНТ ПРОДУКЦИИ, ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЯ И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ. Фармация и фармакология Т. 4 № 2 (15), 2016. С. 4-25.
4. Горюнова, О. Б., Е.Водорезова, Т.И. Чалых. Классификация и потребительские свойства косметических солей для ванн. Товаровед потребительских товаров, №4, 2015, с. 29-34.
5. Горюнова Ольга Борисовна , Золотова Светлана Валентиновна, Водорезова Екатерина Сергеевна. ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОСМЕТИЧЕСКИХ СОЛЕЙ ДЛЯ ВАНН. Экономика и управление народным хозяйством, Серия: Экономика и Право №7 июль 2019 г. С.20-26.
6. Карагулов Х.Г., Евсеева С.Б. КОСМЕТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ЛЕЧЕБНЫХ ГРЯЗЕЙ: СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. URL: https://science-education. ru/ru/article/ view?id= 17850 (дата обращения: 13.08.2023
7. Капсулецкая М. Израильская косметика // Потребитель. Косметика и парфюмерия [Электронный ресурс].– Режим доступа: http://kosmetika.potrebitel.ru / (дата обращения 09.09.2014).
8. Косметика Сакского озера // Сакское озеро: официальный сайт – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sakilake.com (дата обращения 20.09.2014).
9. Натуральная косметика // Сайт продукции компании Агро – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://shopargo.com (дата обращения 20.09.2014.).

10. Сысуев Б.Б. Технологические и фармакологические исследования минерала бишофит как источника магний-содержащих лекарственных средств: дис. ... д-ра фарм. наук. – Волгоград, 2012. – 333 с.
11. Тубин Л.А. Лечебная грязь и косметические средства на основе лечебной грязи. Грязелечение // ЗАО «ГИТТИН»: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gittin.ru (дата обращения 15.09.2014).
12. Шестакова А. В. Лечебные грязи северного кавказа. Материалы конференций. Современные наукоемкие технологии.- N5, 2005. С. 64-66.
13. Эко-Сапропель // Интернет-магазин косметики на основе сапропелевых грязей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.EcoSapropel.ru (дата обращения 07.09.2014).
14. Borkow, G. and Gabbay, J. Copper, An ancient remedy returning to fight microbial, fungal and viral infections. Cur Chem Biol. 3, 272–278 (2009).
15. Chantalat, J., Bruning, E., Sun, Y. and Liu, J.-C. Biomimetic signaling technology generated by a bi-mineral complex demonstrates efficacy in reducing clinical photo-aging in a 12-week placebo-controlled study. J. Am. Acad. Dermatol. 62(3 Suppl), AB6 (2010).
16. Chantalat, J., Bruning, E., Liu, J.-C. and Sun, Y. Biomimetic signaling technology generated by a bimineral complex reduces signs of photoaging in the eye area. J. Am. Acad. Dermatol. 62(3 Suppl 1), AB60 (2010).
17. Dietary Guidelines for Americans, 2010, 7th edn. U.S. Government Printing Office, Washington, DC (2010).
18. Denda, M., Katagiri, C., Hirao, T., Maruyama, N. and Takahashi, M. Some Magnesium salts and a mixture of magnesium and calcium salts accelerate skin barrier recovery. Arch. Dermatol. Res. 291, 560–563 (1999).
19. Dennert, G., Zwahlen, M., Brinkman, M., Vinceti, M., Zeegers, M. and Horneber, M. Se-lenium for preventing cancer (Review). The Cochrane Library. (5): 1–126 (2011).
20. Higdon, J. and Drake, V.J. Copper. An Evidence-Based Approach to Vitamins and Minerals, 2nd edn. pp. 135–141. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany (2012).
21. Higdon, J. and Drake, V.J. Calcium. An Evidence-Based Approach to Vitamins and Minerals, 2nd edn. pp. 115–127. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany (2012).
22. Higdon, J. and Drake, V.J. Potassium. An Evidence- Based Approach to Vitamins and Mineral, 2nd edn. pp. 196–213. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany (2012).
23. Higdon, J. and Drake, V.J. Sodium (Chloride). An Evidence-Based Approach to Vitamins and Minerals, 2nd edn. pp. 214–223. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany (2012).
24. Higdon, J. and Drake, V.J. Magnesium. An Evidence-Based Approach to Vitamins and Minerals, 2nd edn. pp. 169–178. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany (2012).
25. Higdon, J. and Drake, V.J. Selenium. An Evidence- Based Approach to Vitamins and Minerals, 2nd edn. pp. 203–213. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany (2012).
26. Higdon, J. and Drake, V.J. Zinc. An Evidence- Based Approach to Vitamins and Minerals, 2nd edn. pp. 224–233. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany (2012).
27. Kaur, S., Lyte, P., Garay, M., et al. Galvanic zinc–copper microparticles produce electrical stimulation that reduces the inflammatory and immune responses in skin. Arch. Dermatol.

Res. 303, 551–562 (2011).
28. Lansdown, A.B.G. Calcium: a potential central regulator in wound healing in the skin.Wound Repair Regen. 10, 271–285 (2002).
29. Proksch, E., Nissen, H.-P., Bremgartner, M. and Urquhart, C. Bathing in a magnesium rich Dead Sea salt solution improves skin barrier function, enhances skin hydration, and reduces inflammation in atopic dry skin. Intl J Dermatol. 44, 151–157 (2005).
30. Portugal-Cohen, M., Oron, M., Merrik, E., et al. A Dead Sea water-enriched body cream improves skin severity scores in children with atopic dermatitis. J Cosmet, Dermatol Sci Appl. 1, 71–78 (2011).
31. Polefka T. G., Bianchini R. J. and Shapiro S. /Interaction of mineral salts with the skin: a literature survey//International Journal of Cosmetic Science, 2012, 34, 416–423.
32. Pickart, L. Published studies on tissue and skin remodeling copper-peptides. Available at: http://skinbiology.com/ (accessed 29 June 2012).
33. Status of OTC Rulemakings. FDA; 2011; Available at: http://www.fda.gov/Drugs/ Development Approval Process/Development Resources/Over-the-Counter OTC Drugs/Status of OTC Rule makings/default.htm, accessed 17 February 2011
34. Sengupta, A., Lichti, U.F., Carlson, B.A., et al. Selenoproteins are essential for proper Keratinocyte function and skin development. PLoS 5, e12249 (2010).
35. Schempp, C.M., Dittmar, H.C., Hummler, D., et al. Magnesium ions inhibit the antigenpresenting function of human epidermal Langerhans cells in vivo and in vitro: involvement of ATPase, HLA-DR, B7 molecules, and cytokines. J Invest Dermatol.115, 680–686 (2000).
36. https://www.nkj.ru/archive/articles/728/.

Prospects of using mineral-containing preparations in cosmetology

Aliosha Bakuridze, Dali Berashvili, Lasha Bakuridze, Ia Tsurtsumia, Lamzira Ebralidze
Tbilisi State Medical University, Department of Pharmaceutical Technology, Department of Pharmaceutical Botany

Abstract

Unlike vitamins and herbal ingredients, the cosmetic benefits of minerals for the skin are mostly ignored and products containing them are rarely used.
Therefore, analyzing and evaluating the existing scientific data on the benefits and risks of using mineral salts in cosmetic practice, as well as determining the prospects for their application, is one of the challenges in contemporary medicine and cosmetology.
Based on the literature review, it can be concluded that cosmetics enrichedwith micro- and macroelements are characterized by a wide spectrum of action. These include soothing the skin, restoring pH balance, enchancing oxygen exchange, reducing inflammation,stimulating metabolism, normalizing water-salt balance, increasing skin turgor and elasticity, smoothing wrinkles, and strengthening the skin barrier.

Often, the healing mud itself is marketed as a standalone cosmetic product. For example, Dead Sea mud is a disctinct product line. This is due to the fact that healing mud is chemically and biologically self-sufficient substance with convenient consistency, which makes is highly effective and convenient for cosmetic application.

Mud treatment has many contraindications, and uncontrolled application of medical mud, even for cosmetic purposes, can cause complications. Pure medical mud cannot be considered a cosmetic product, as this implies safety when used independently.

In modern practices, in order to avoid the side effects of peloids, unpleasant organoleptic properties, and impurities, peloids are not used directly as raw materials for cosmetic products, but rather their processed products are used.

Extracts, concentrates and other derivatives are obtained from medical muds. Cosmetic formulations based on mud processing products, in addition to peloid preparations, also contain other components such as vegetable oils, extracts, vitamins and etc.

Today, cosmetic products containing minerals are presented in the form of creams, lotions, shampoos, cosmetic milks, masks, plates, and other application forms.Cosmetic products containing minerals rarely cause allergic reactions.

The skin loses mineral salts every day. Properly selected skincare products help replenish the elements, which has a positive effect on the appearance of the epidermis.

Keywords: Cosmetology, peloids, micro-and macroelements, preparations

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.13



ურბანული ბლოკების ტიპები და მორფოლოგიური ანალიზი

მარი ნაცვლიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არქიტექტურის ფაკულტეტი, ქალაქთმშენებლობა, დოქტორანტი, Natsvlishvilimari93@gmail.com

რეზიუმე

ურბანული მორფოლოგია ქალაქის სტრუქტურის, ფორმისა და განვითარების დინამიკის შესწავლას ემსახურება, რომლის ერთ-ერთი ცენტრალური ელემენტია ურბანული ბლოკი. ბლოკი განსაზღვრავს ურბანული ქსოვილის სახეს და წარმოადგენს სივრცით ერთეულს, რომელიც ხშირ შემთხვევაში შენობებით შემოსაზღვრულ სივრცედ აღიქმება. მისი სტრუქტურა და ტიპოლოგია მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს როგორც ქალაქგეგმარების პროცესებს, ისე კულტურული მემკვიდრეობის შენარჩუნების სტრატეგიებს.

ტიპოლოგიური კლასიფიკაციის მიხედვით, ურბანული ბლოკები შეიძლება იყოს მჭიდროდ ნაშენი, ღია, ჰიბრიდული, ტრადიციული, პერიმეტრული ან ახალ ურბანისტულ მიდგომებზე დაფუძნებული შერეული გამოყენების მქონე სტრუქტურები. ბლოკების მორფოლოგიური ანალიზი საშუალებას იძლევა შეფასდეს ურბანული სივრცეების ფუნქციური დატვირთვა, მათი შევსების ხარისხი, ღია სივრცეებთან მიმართება და განვითარების ისტორიული ეტაპები. აღნიშნული ანალიზი მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს წარმოადგენს თანამედროვე ურბანული პოლიტიკის დაგეგმვისას, რაც ეფუძნება სივრცითი თანწყობის, სიმჭიდროვისა და ბუნებრივ გარემოს ინტეგრაციის პრინციპებს.

საკვანძო სიტყვები: ურბანული მორფოლოგია, ბლოკების ტიპოლოგია, ურბანული ქსოვილი, კულტურული მემკვიდრეობა, სივრცითი ლოგიკა

ურბანული მორფოლოგია ქალაქის სტრუქტურის, ფორმისა და განვითარებით დინამიკის შესწავლას გულისხმობს. მისი ერთ-ერთი საკვანძო კომპონენტია ურბანული ბლოკი — სივრცითი ერთეული, რომელიც განსაზღვრავს ქალაქის ქსოვილის ფორმას. ურბანული ბლოკების ტიპოლოგიური ანალიზი მნიშვნელოვანია როგორც ქალაქგეგმარებისთვის, ისე კულტურული მემკვიდრეობის შენარჩუნებისთვის.

ურბანული ბლოკები შეიძლება განისაზღვროს, როგორც ქალაქის ქუჩის ნიმუშის სივრცე, რომელიც დაყოფილია მიწის ნაკვეთებად შენობების მშენებლობისთვის. ეს მორფოლოგიური ელემენტი ჩამოყალიბდა ურბანული დიზაინის ამჟამინდელი შეხედულების და მისი მოლოდინის შესაბამისად საუკუნეების განმავლობაში. ის შეიძლება შედგებოდეს ერთი შენობის სტრუქტურისგან ან რამდენიმე შენობისგან შემდგარი ფართისაგან, რომლებიც განსხვავდება ზომით, ბუნებით — გარშემორტყმული განცალკევებული სტრუქტურებით ან რთული ლაბირინთებით. შემადგენლობის მიუხედავად, ურბანული ბლოკი წარმოადგენს ქალაქის ურბანული სტრუქტურის ძირითად ერთეულს და მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სახელმწიფო და კერძო სფეროებს შორის შუამავლობაში.



ბლოკის განსაზღვრა და სტრუქტურა

ურბანული ბლოკი ჩვეულებრივ წარმოადგენს შენობებით გარშემორტყმულ სივრცეს, რომელსაც რელიეფი, ქუჩათა ქსელი და სამშენებლო წესი განსაზღვრავს. ბლოკები შეიძლება განსხვავდებოდეს ზომით, ფორმით, შევსების ტიპით (მჭიდრო ან იშვიათი), ფუნქციური დატვირთვით და ღიობების (შიდა ეზოების) არსებობით.

ბლოკების ტიპები

1. **მჭიდროდ ნაშენი ბლოკი (Compact Block)**

— დამახასიათებელია ძველი ქალაქის ნაწილებისთვის, სადაც შენობები ქმნიან მკვეთრად შემოსაზღვრულ გარე პირიმეტრს. თბილისის ძველი უბნები, როგორიცაა აბანოთუბანი და სოლოლაკი, ამის კარგი მაგალითია. აქ საცხოვრებელი და კომერციული ფუნქციები ერთ სივრცეშია შერწყმული.

2. **ღია ბლოკი (Open Block)**

— შედგება ცალკე მდგომი შენობებისგან, რომლებიც განლაგებულია ეზოებითა და გამწვანებით. ეს ტიპი გავრცელებულია საბჭოთა პერიოდში აგებულ უბნებში, როგორიცაა საბურთალო თბილისში ან გელათის ქუჩის მიმდებარე რაიონები ქუთაისში.

3. **ჰიბრიდული ბლოკი**

— აერთიანებს ორივე ზემოთხსენებული ტიპის ელემენტებს. ასეთი ბლოკები ხშირია ქალაქის გარდამავალ ზონებში, სადაც ძველი და ახალი სტრუქტურები ერწყმიან ერთმანეთს. მაგალითად, ავლაბარში მრავლად გვხვდება ძველი ეზოიანი სახლები ახალი შენობების გარემოცვაში.

4. **ტრადიციული ბლოკი**

Toledo, Spain



– ტრადიციული ბლოკი არის ურბანული ორგანიზმი, რომელიც ვითარდება თანდათანობით ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში. იგი ხასიათდება დიდი, მკვრივი და ერთგვაროვანი მასით, რაც იწვევს არაპროპორციულ დამოკიდებულებას აშენებულ გარემოს და ღია სივრცეებს შორის. ასეთი ბლოკები ხშირად ჩნდებიან ქუჩის ნიმუშისგან დარჩენილი სივრცის მიხედვით, რის შედეგადაც მათი ზომა და ფორმა მკვეთრად განსხვავდება. არქიტექტურული თვალსაზრისით, ისინი ხშირად შემოსაზღვრულია წინა ფასადებით, რომელთაც შესაძლოა ჰქონდეთ ან არ ჰქონდეთ რეგულარული გეგმარება — ჰასმანისეული პარიზის მაგალითივით, სადაც სიმეტრია და ფასადების ერთიანობა ურბანული წესრიგის მაჩვენებელია.

5. Ildefons Cerdà

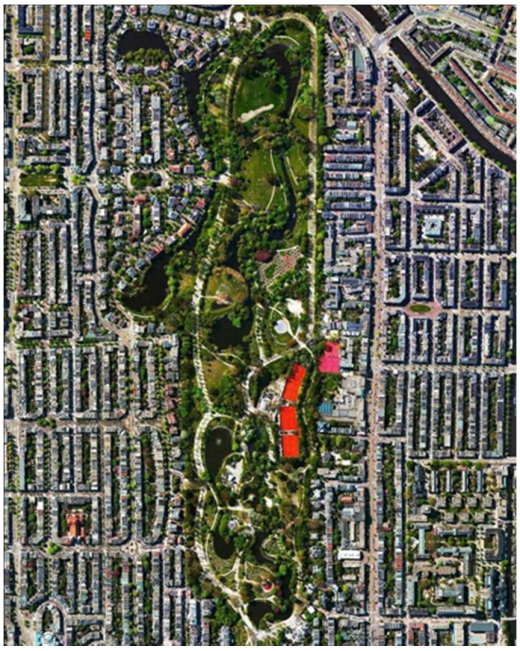
Ildefons Cerdà- ს მიერ შემოღებული შესანიშნავი ტიპოლოგიის წყალობით ბარსელონა განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს, რომელშიც ის ახალ ურთიერთობებს ამყარებს შენობებსა და ქუჩებს შორის. მისი გეგმა აღიარებს ქსელის ნიმუშის უპირატესობებს მიმოქცევის, ტოპოლოგიისა და კონსტრუქციის თვალსაზრისით, რის შედეგადაც 113 მ 113 მ კვადრატული მოდული 20 მეტრიანი კამერით. ეს ტიპოლოგია განსაზღვრავს ურბანიზმის ისტორიაში მნიშვნელოვან ეტაპს, რადგან ამ მომენტიდან ბლოკი წყვეტს მხოლოდ გირაოს მახასიათებელს, როგორც ადრე აღვნიშნეთ, რომ გახდეს ურბანული შემადგენლობისა და სტრუქტურის მთავარი ელემენტი.



6. ამასთან, მისი გეგმა საფუძვლიანად არ განხორციელდა, რაც ძირითადად საგზაო ქსელს ეხებოდა. თავდაპირველად ბლოკები მოიცავდა შიდა პარკს, რომელიც განკუთვნილი იყო საზოგადოებრივი პარკებისთვის და კეთილმოწყობისთვის, რომელიც მოიცავს მთლიანი ზედაპირის 1/3-ს, მაგრამ, რაც წლები გადიოდა, ისინი მასიურად იკავებდნენ შენობებს.



7. პერიმეტრის ბლოკი



მიუხედავად იმისა, რომ Cerdà- ს გეგმა სრულფასოვნად არ შესრულდა, მან შთააგონა პერიმეტრის ბლოკების განვითარებას. მაგალითად, ქალაქი ამსტერდამი ამ ტიპის ბლოკის შესანიშნავი მაგალითია. მიუხედავად იმისა, რომ ისინი ჯერ კიდევ საგზაო სისტემის შედეგები არიან, Figueroa (2016) აცხადებს, რომ ისინი ქმნიან ქუჩების და ურბანული სივრცის ახალ იერარქიას, ძირითადად უნიკალური კუთხეებისა და შიდა ეზოების გამო, რომლებიც კერძო ბაღებად დაიწყო და შემდეგ საზოგადოებრივ სივრცეებად იქცა. ბლოკის გამტარიანობა.



Vienna, Austria



8. ღია ბლოკი

ღია ბლოკი არსებითად ჰიბრიდული ელემენტია, რომელიც აერთიანებს ტრადიციული ქუჩისა და კუთხის ღირებულებას, მაგრამ პატივს სცემს სხვადასხვა ტიპის შენობების ავტონომიას. ეს კომპოზიცია საშუალებას იძლევა უფრო მეტი ბუნებრივი განათება და ვენტილაცია შენობებში, შეიქმნას უფრო ფეხით მოსიარულე გარემო, სადაც ბილიკები გადაკვეთენ ბლოკებს და არღვევს ხაზს სახელმწიფოსა და კერძო პირებს შორის.



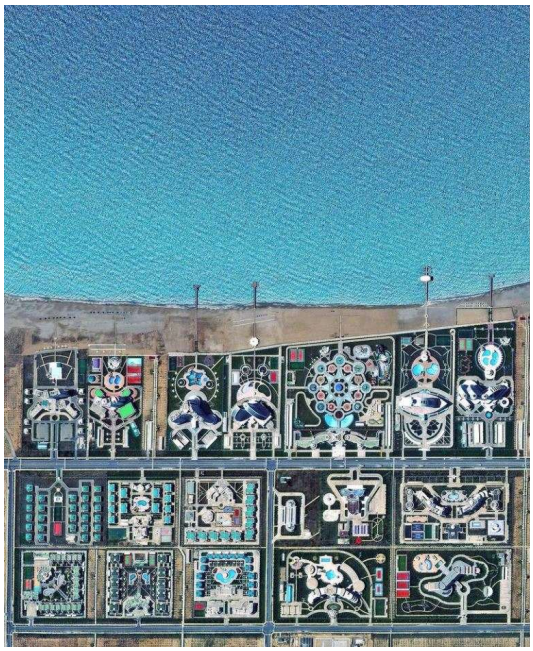
ახალი ურბანიზმი და ბლოკების თანამედროვე ინტერპრეტაცია

ახალი ურბანიზმი — ეს ურბანული დიზაინის მოძრაობა 1960-იან წლებში გაჩნდა, როგორც ქალაქის დაგეგმვის მოდერნისტული სქემატიზმის დაძლევის მცდელობა. ახალი ურბანიზმი ხელს უწყობს ფეხით მოსიარულე უბნებს, რომლებიც შეიცავს საცხოვრებლისა და სამუშაო ადგილების ფართო სპექტრს, საზოგადოებრივ სივრცეებსა და მრავალფეროვან ინფრასტრუქტურას.

ამ მოძრაობის პრინციპების მიხედვით, ურბანული ბლოკები აღარ განიხილება მხოლოდ ტექნიკური სექციების ერთობლიობად — ისინი ხდება **ადამიანზე ორიენტირებული სივრცეები**, სადაც კოეფიციენტები, სიმჭიდროვე და ღია სივრცეების ხელმისაწვდომობა ბალანსდება სიცოცხლისუნარიანი ურბანული ქსოვილის შესაქმნელად.

განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ბუნებასა და აშენებულ გარემოს შორის ინტეგრაციას — ქალაქების დიზაინში აქტიურად იჩენს თავს მწვანე კორიდორები, საზოგადოებრივი პარკები და "შერეული გამოყენების" (mixed-use) ბლოკები. ასეთი მიდგომა უზრუნველყოფს ურბანული განლაგების მეტ ორგანულობას და უწყვეტ სივრცით გადაბმას საცხოვრებელ, რეკრეაციულ და სამსახურებრივ ზონებს შორის.

Googleplex, California





მორფოლოგიური ანალიზის მნიშვნელობა

ურბანული ბლოკების მორფოლოგიური ანალიზი საშუალებას იძლევა გავიგოთ ქალაქის განვითარების ფაზები და სივრცითი ლოგიკა. მაგალითად, საბჭოთა პერიოდის ღია ბლოკები ასახავენ იდეოლოგიას, რომელიც მჭიდრო მშენებლობისგან განთავისუფლებას და საზოგადოებრივ სივრცეთა გაზრდას ისახავდა მიზნად.

Copenhagen, Denmark



ამასთან, ანალიზი ეხმარება ურბანისტებს და არქიტექტორებს სწორი გეგმარებითი გადაწყვეტილებების მიღებაში — მაგალითად, რომელი ბლოკები საჭიროებს განახლებას, სად შეიძლება თანამედროვე ინტერვენციები და როგორ შეიძლება ისტორიული ქსოვილის შენარჩუნება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- Moudon, A. V. (1997). Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban Morphology*, 1(1), 3–10.

- Conzen, M. R. G. (1960). Alnwick, Northumberland: a study in town-plan analysis. *Institute of British Geographers Publication*.
- Krier, R. (1979). *Urban space*. Rizzoli International Publications.
- Kostava, N. (2012). Urban Transformation in Post-Soviet Tbilisi: The Case of Gldani and Vake. *Tbilisi Urban Studies Review*, 4(2), 45–59.
- Ziegler, J. (2008). Morphological analysis of historic urban blocks: methods and implications. *Journal of Urban Design*, 13(3), 289–312.

Types of Urban Blocks and Morphological Analysis

Mari Natsvlisvili

Georgian Technical University, Faculty of Architecture, Urban Planning, PhD Student

Abstract

Urban morphology is the study of the structure, form, and developmental dynamics of a city, with one of its central elements being the urban block. The block defines the fabric of urban space and represents a spatial unit, which is often perceived as an area enclosed by buildings. Its structure and typology play a crucial role in both urban planning processes and strategies for preserving cultural heritage.

According to typological classification, urban blocks can be compact, open, hybrid, traditional, perimeter-based, or mixed-use structures influenced by new urbanist approaches. Morphological analysis of blocks allows for the assessment of the functional capacity of urban spaces, their degree of density, relation to open areas, and historical development phases. This type of analysis serves as an essential tool in modern urban policy-making, based on principles of spatial coherence, density, and integration with the natural environment.

Keywords: Urban Morphology; Block Typology; Urban Fabric; Cultural Heritage; Spatial Logic

Urban morphology refers to the study of the structure, form, and developmental dynamics of a city. One of its key components is the **urban block** — a spatial unit that defines the physical fabric of the city. Typological analysis of urban blocks is crucial for both urban planning and the preservation of cultural heritage.

Urban blocks can be defined as spatial areas of a city's street pattern, subdivided into land parcels intended for construction. This morphological element has been shaped over centuries, according to evolving views and expectations in urban design. A block may consist of a single building or multiple structures, differing in size and character — either detached or forming dense labyrinths. Regardless of their composition, urban blocks are the fundamental units of urban structure and play a critical role in mediating between the public and private realms.

Definition and Structure of the Urban Block

Typically, an urban block is an area enclosed by buildings, shaped by the topography, street network, and local construction regulations. Blocks may vary in size, form, density, function, and the presence or absence of inner courtyards.

Types of Urban Blocks

1. **Compact Block**

Characteristic of older city areas, where buildings form a tightly defined outer perimeter. Tbilisi's historic districts, such as Abanotubani and Sololaki, exemplify this type, blending residential and commercial uses within a dense structure.

2. **Open Block**

Consists of free-standing buildings surrounded by yards or green spaces. This type is typical of Soviet-era neighborhoods such as Saburtalo in Tbilisi or areas near Gelati Street in Kutaisi.

3. **Hybrid Block**

Combines elements of both compact and open block types. Often found in transitional city zones, such as Avlabari, where older courtyard houses coexist with new buildings.

4. **Traditional Block**

A traditional block is an urban organism that evolves gradually over a long period. It is characterized by a large, dense, and homogeneous mass, often creating a disproportion between built and open spaces. These blocks usually result from leftover spaces within irregular street patterns, producing variable sizes and shapes. Architecturally, they are often enclosed by front façades that may or may not follow a regular configuration — as seen in Haussmann's Paris, where uniformity and symmetry reflect urban order.

5. **Cerdà's Grid in Barcelona**

Thanks to the typology introduced by Ildefons Cerdà, Barcelona exemplifies a novel relationship between buildings and streets. His plan embraced the advantages of grid-based systems in terms of circulation, topology, and construction, establishing a 113x113 meter modular block with 20-meter chamfered corners. This model marked a major milestone in urban history, transforming blocks from mere property units into fundamental elements of urban structure.

6. **Limitations of the Cerdà Plan**

Despite its visionary layout, Cerdà's plan was not fully implemented — particularly regarding its street system. Originally, the blocks included inner parks intended as public green spaces occupying a third of each block. Over time, however, these were largely replaced by built structures.

7. **Perimeter Block**

Inspired by Cerdà's model, cities like Amsterdam developed the perimeter block. While still shaped by the road network, these blocks, as Figueroa (2016) notes, redefine urban hierarchy through

distinctive angles and interior courtyards, which evolved from private gardens into semi-public community spaces.

8. **Modern Open Block**

A contemporary hybrid typology that combines the value of traditional streets and corners while preserving building autonomy. This configuration enhances natural light and ventilation, while pedestrian-friendly pathways intersect blocks and dissolve the boundary between public and private domains.

New Urbanism and Contemporary Interpretations

New Urbanism emerged in the 1960s as a movement countering the rigidity of modernist planning. It promotes walkable neighborhoods featuring a wide range of housing and workspaces, alongside public spaces and integrated infrastructure.

In this paradigm, blocks are no longer seen as technical units but as **human-centered spaces** — where density, access to open areas, and functionality coexist harmoniously to form resilient urban fabrics.

Special attention is given to integrating nature with built environments — manifesting in green corridors, public parks, and mixed-use developments. This approach fosters organically planned layouts with seamless transitions between residential, recreational, and working zones.

The Significance of Morphological Analysis

Morphological analysis of urban blocks reveals the phases of city development and its underlying spatial logic. For example, Soviet-era open blocks reflect a political ideology aimed at de-densification and increased public space.

Such analysis supports urban planners and architects in making informed decisions — such as identifying blocks in need of renewal, suitable sites for modern interventions, and strategies for preserving historical textures.

References

- Moudon, A. V. (1997). Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban Morphology*, 1(1), 3–10.
- Conzen, M. R. G. (1960). Alnwick, Northumberland: a study in town-plan analysis. *Institute of British Geographers Publication*.
- Krier, R. (1979). *Urban space*. Rizzoli International Publications.
- Kostava, N. (2012). Urban Transformation in Post-Soviet Tbilisi: The Case of Gldani and Vake. *Tbilisi Urban Studies Review*, 4(2), 45–59.
- Ziegler, J. (2008). Morphological analysis of historic urban blocks: methods and implications. *Journal of Urban Design*, 13(3), 289–312.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.14



თანამედროვე ურბანული ხელოვნების სოციოკულტურული ასპექტები

მარიამ ხაბეიშვილი[1]; ნინო ხაბეიშვილი[2]

[1]არქიტექტურის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ელ-ფოსტა: m.khabeishvili@gtu.ge; არქიტექტურის დოქტორი, პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ელ-ფოსტა: n.khabeishvili@gtu.ge

აბსტრაქტი

სტატიაში განხილულია მრავალფეროვანი დინამიური ფენომენი - თანამედროვე ურბანული ხელოვნება, როგორც სხვადასხვა მხატვრული ფორმის და თემატური მიმართულებების საზოგადოებრივ სივრცეებში ინტეგრაციის შედეგი, ქალაქის გარემოს ახალი სახის ფორმირების - ტრანსფორმაციის კონტექსტში, განპირობებული ესთეტიკური პრაქტიკით და სოციალური ქმედებით. განსაზღვრულია ურბანული ხელოვნების სპეციფიკური შინაარსის მატარებელი პაბლიკ-არტი და სტრიტ-არტი. მიმოხილულია სხვადასხვა უნიკალური მხატვრული მეთოდის სპეციფიკა, რითაც ურბანული ხელოვნება ახორციელებს - ესთეტიკურ, სოციალურ, კულტურულ, საგანმანათლებლო პროექტებს. გაკეთებულია სათანადო დასკვნები და დასახულია განვითარების სავარაუდო პერსექტივები.

საკვანძო სიტყვები: ურბანული ხელოვნება, საზოგადოებრივი სივრცე, პაბლიკ-არტი, სტრიტ-არტი, ქალაქის დიზაინი.

შესავალი

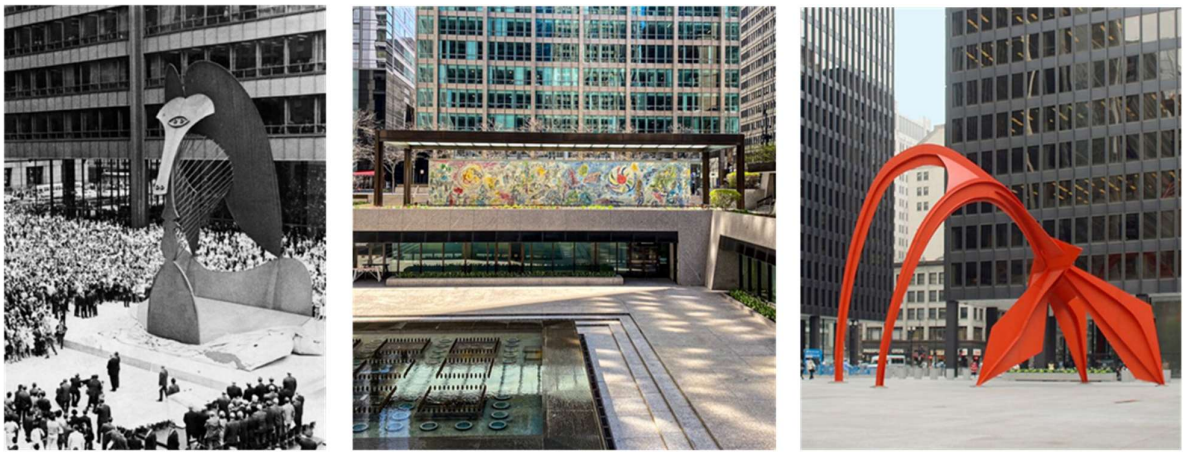
ურბანული სივრცის ინტერაქტიულ გარემოში, დიზაინის და უახლესი ტექნოლოგიების ფართომასშტაბიანმა განვითარებამ მნიშვნელოვნად გააფართოვა არქიტექტურის, სახვითი და პლასტიკური ხელოვნების მხატვრული სინთეზის ტრადიციული საზღვრები და შემოიტანა, ახალი არტ-პროექტები - სუპერგრაფიკა, გრაფფიტი, ანამორფული სამგანზომილებიანი გამოსახულებები; დინამიკური შუქ-ფერითი გრაფიკული კომპოზიციები - მედია-არტი, ჰოლოგრაფიული პროექციები, „Slide mapping“; ქალაქის ჟანრული, აბსტრაქტულ-დეკორატიული ხასიათის ქანდაკებები; კინეტიკური, ინტერაქტიული, კომპაქტური ლანდშაფტური არტ-ობიექტები; მოცულობით-სივრცითი სინათლის ინსტალიაციები; მხატვრული სინთეზის განსაკუთრებული ფორმა - საფირმო სტილების პროგრამები და ა.შ. [1]. მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში შემოქმედთა კრეატიული ჯგუფების მიერ

განხორციელებული ეს ეპატაჟური, უჩვეულო არტ-ობიექტები, ეფუძნებიან ტრადიციული თუ ციფრული ტექნოლოგიების გამოყენებით შექმნილ ვიზუალურ ეფექტებს.

ძირითადი ნაწილი

თანამედროვე ურბანული ხელოვნება, რომელიც მოიაზრება მე-XX საუკუნის 60-იანი წლებიდან, სხვადასხვა მხატვრული ფორმის და ფართომასშტაბიანი თემატური მიმართულებების საზოგადოებრივ სივრცეებში ინტეგრაციით, ახდენს ქალაქის გარემოს ტრანსფორმაციას, ფორმირებას და ქმნის ყოფიერების ახალ სურათებს, რომლთა უნიკალურობას განსაზღვრავს ესთეტიკური პრაქტიკა და სოციალური ქმედება. ეს მრავალფეროვანი დინამიური ფენომენი ცვლის ჩამოყალიბებულ, ძველ შეხედულებებს ხელოვნების ფუნქციასა და ინსტიტუციურ სტატუსზე, „სოციალური მიზიდულობის“ ფონზე ასახავს უახლეს ტენდენციებს და გამოწვევებს [2]. ფუნდამენტური მნიშვნელობის კონტექსტში ის ფიზიკური, არქიტექტურული და ქალაქის გარემო, რომელშიც მდებარეობს მხატვრული ობიექტი განსაზღვრავს ურბანული ხელოვნების სპეციფიკურ შინაარსს და მასთან დაკავშირებულ ტერმინებს - საჯარო (პაბლიკ-არტი. ინგლ."Public-art") თუ ქუჩის (სტრიტ-არტი. ინგლ. „Street art“) ხელოვნება [3].

საჯარო ხელოვნება მოიაზრება ხელისუფლების მიერ სანქცირებული ე.წ. „შეკვეთილი“, სახელმწიფოს იდეოლოგიური პოლიტიკის ინსტრუმენტი, რომელიც ზოგ შემთხვევაში ნეგატიურ დამოკიდებულებას იწვევს საზოგადოებაში, თუმცა მის ფარგლებში აღინიშნება მხატვრული პრაქტიკების ვარიატულობაც. ურბანული დაგეგმარების კუთხით ამ კომპოზიციების სტრუქტურა და დიზაინი მოწოდებულია გავლენა მოახდინოს საზოგადოებრივ ცნობიერებაზე და მკვეთრად შეცვალოს მათი ესთეტიკური შეხედულებები (სურ.1). ეს არტ-ობიექტები ისტორიული, ტრადიციული მონუმენტებისა და ძეგლების მიღმა აფართოვებენ პაბლიკ-არტის იდეას და მსოფლიოს სხვადასხვა ქალაქების საჯარო სივრცეებს წარმოაჩენენ თანამედროვე ხელოვნების მუზეუმებად ღია ცის ქვეშ.

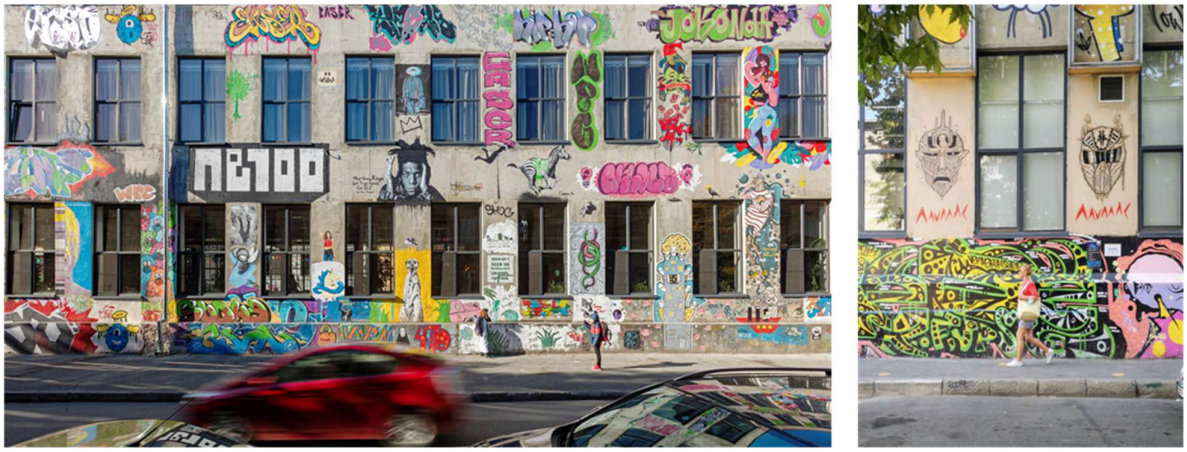


სურ.1. აშშ. ჩიკაგო. - „ჩიკაგოს პიკასო“ 1967 წ. პაბლო პიკასო. - „ოთხი სეზონი“ 1974წ.

მარკ შაგალი. - „ფლამინგო“ 1974 წ. ალექსანდრე კოლდერი

პაბლიკ-არტი, როგორც ლოკალური კულტურული მემკვიდრეობის ვიზუალიზაციის ერთ-ერთი ფორმა, წარმოადგენს კოლექტიურად მნიშვნელოვანი არსის რეპრეზენტაციას და სიღრმისეული მემკვიდრეობის რეალურ აქტუალიზაციას ქალაქის საკომუნიკაციო პროცესებსა და სივრცეებში. ამრიგად, კულტურული მეხსიერება ხდება ქალაქის ყოველდღიური ცხოვრების ნაწილი, რომელთანაც უშუალოდ ურთიერთქმედებენ, როგორც ქალაქელები, ასევე ტურისტები [4]. ის, როგორც უფრო ინკლუზიური და სამართლიანი საზოგადოების შექმნის ინსტრუმენტი, მოიაზრება მომავალში ხელოვნების განვითარების პერსპექტიულ მიმართულებად.

საჯარო ხელოვნებისგან განსხვავებით ქუჩის ხელოვნება წარმოჩინდება ხელისუფლების მიერ არასანქცირებული, ანონიმური, სპონტანური, ეფემერული, პერფორმატიული ობიექტებით, საზოგადოებასთან განზრახ კომუნიკაციის მიზნით სხვადასხვა ტექნიკით, სხვადასხვა თემაზე შესრულებული ნაწარმოებებით. ვიზუალური ხელოვნების ფართო კონტექსტში ჩაწერილი სტრიტ-არტი თანაარსებობს ქალაქის დიზაინთან და რეგიონის ეროვნულ სპეციფიკასთან კავშირში (სურ. 2). სხვადასხვა ქვეყნის საზოგადოებრივ სივრცეებში ეხმიანება პოლიტიკურ, გენდერულ, კულტურულ, სოციალურ საკითხებს, ატარებს ინდივიდუალურ ხასიათს და მოქალაქეებთან მუდმივ კონტაქტში ქმნის აქტუალურ, ახალ მიზიდულობის ცენტრებს.



სურ.2. საქართველო. თბილისი. - „ფაბრიკა“ მულტიფუნქციური ურბანული სივრცე

ურბანული გარემოს ფორმირება ხელოვნების ობიექტების ინტეგრაციით თანამედროვე საზოგადოებრივ სივრცეებში წარმოადგენს, როგორც სამეცნიერო, ისე პრაქტიკული ინტერესის სფეროს. ეს „არტ-მეთოდები“ ითავსებენ პრაქტიკების ფართო სპექტრს, ასე მაგალითად გარემოში არსებობის ვადა: პირობითად მუდმივი, დროებითი, ეფემერული ობიექტები; არქიტექტურულ გარემოსთან ურთიერთქმედება - შენობის ქსოვილში ჩაშენებული არტ-ობიექტი (სურ. 3); პრეზენტაციის ფორმა და ტიპი: სიბრტყული - ზედაპირების ფრონტალური გაფორმება, მოცულობითი არტ-ობიექტები, სივრცითი ინსტალაციები და ა.შ.; თანამედროვე ტექნოლოგიები: კლასიკური, მედია ხელოვნება, შუქ-ფერითი ინსტალაციები; ფუნქციურობა: ქალაქის დიზაინის ელემენტები, რეკლამა და სხვა [5].



სურ.3. საფრანგეთი. რომი. „მინიმალური მონუმენტი“ 2020 წ. ნელე აზეველო; აშშ. ნიუ-იორკი. „სარკული სკულპტურა“ 2023 წ. ანიშ კაპური

დასკვნა

ურბანული ხელოვნება სხვადასხვა უნიკალური მხატვრული მეთოდით ახორციელებს ესთეტიკურ, სოციალურ, კულტურულ, საგანმანათლებლო პროექტებს. ადგილის მიმზიდველობის მიზნით ავსებს ქალაქის დიზაინს მხატვრული ღირებულებით, აფართოებს ურბანული სივრცის შემოქმედებითი პოტენციალის კულტურულ საზღვრებს; სოციალურ საკითხებზე აქცენტებით მართავს დისკუსიას და დიალოგს; ასახავს ადგილობრივი ხალხების იდენტურობას და ისტორიას, ფლობს სოციალური თერაპიის და საგანმანათლებლო უნარებს. მუდმივი ცვლილებების პირობებში, სავარაუდოდ ურბანული ხელოვნება გააგრძელებს განვითარებას, შექმნის უნიკალურ, კულტურულ სივრცეებს თვითგამოხატვის, სოციალური აქტივობის კონტექსტში, რაც ხელოვნებას სულ უფრო ხელმისაწვდომს გახდის საზოგადოებისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Evstratova T.A., Kuleeva L.M., Kupriyanov V.N., Malakhov S.A., Mikhailov S.M. Modern trends in the field of artistic synthesis in architecture and design of the city // News KSUAE 2023 № 2 (64), p.101-112, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_101, EDN: XQBZOK
2. Koshkin D.F., Krivokobylskaya K.I. Art methods in a modern urban environment, Architecture. Restoration. Design. Urban science, 2024, 1 (3), p. 267-281
3. Vilchinskaya-Butenko, M.E. (2022) Modes of visualization of urban art: street art vs public art. Tomsk State University Journal of Cultural Studies and Art History. 47. pp. 18–34. (In Russian). doi: 10.17223/22220836/47/2
4. Speshilova, E. I. (2024). Public art in the historical city: Visualizing the local cultural code. Urbis et Orbis. Microhistory and Semiotics of the City, 4(1), 23–38. https://doi.org/10.34680/urbis-2024-4(1)-23-38

5. Koshkin D.F., Krivokobylskaya K.I. Art methods in a modern urban environment, Architecture. Restoration. Design. Urban science, 2024, 1 (3), p. 267-281

Sociocultural Aspects of Contemporary Urban Art

Mariam Khabeishvili[1]; Nino Khabeishvili[2]

[1]Doctor of Architecture, Associate Professor, Georgian Technical University, E-mail: m.khabeishvili@gtu.ge; [2]Doctor of Architecture, Professor, Georgian Technical University, E-mail: n.khabeishvili@gtu.ge

Abstract

The article discusses a diverse dynamic phenomenon - modern urban art, as the result of the integration of various artistic forms and thematic directions in public spaces, in the context of a new type of formation - transformation of the urban environment, conditioned by aesthetic practice and social action. Public art and street art, which carry the specific content of urban art, are defined. The specifics of various unique artistic methods are reviewed, by which urban art implements aesthetic, social, cultural, educational projects. Appropriate conclusions are made and probable development perspectives are set.

Keywords: urban art, public space, public art, street art, city design.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.15



მთის ტურიზმის მდგრადი განვითარება: წამყვანი ქვეყნები და საგანმანათლებლო პროგრამები

ეკატერინე შილაკაძე

აკადემიური დოქტორი, საქართველოს ტენიკური უნივერსიტეტი ბიზნეს ტექნოლოგიების ფაკულტეტი

რეზიუმე

მოცემული სტატიის მიზანია გააანალიზოს ის ქვეყნები, სადაც მთის მდგრადმა ტურიზმმა მაღალი განვითარების დონეს მიაღწია, ასევე განიხილოს ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის საგანმანათლებლო პროგრამები, რომლებიც ამზადებენ სპეციალისტებს მსგავსი რეგიონების პოპულარიზაციისა და ტურისტების მიზიდვისათვის. ჩვენ გამოვყოფთ შვეიცარიას, ავსტრიას და ნორვეგიას როგორც ლიდერ ქვეყნებს და განვიხილავთ ძირითად დისციპლინებს, რომლებიც აუცილებელია ამ სფეროში წარმატებისთვის.

1. შესავალი

მდგრადი ტურიზმი წარმოადგენს მიდგომას ტურისტული ინდუსტრიის განვითარებისადმი, რომელიც ისწრაფვის მინიმუმამდე შეამციროს გარემოზე უარყოფითი ზეგავლენა, დაეხმაროს ადგილობრივ თემებს და უზრუნველყოს რეგიონებისთვის ეკონომიკური სარგებელი გრძელვადიან პერსპექტივაში. მთის მდგრადი ტურიზმი, როგორც მისი ქვეკატეგორია, ფოკუსირდება მთიანი ტერიტორიების უნიკალურ ეკოსისტემებზე, სადაც ბუნებრივი რესურსები განსაკუთრებით მოწყვლადია, ხოლო ადგილობრივი მოსახლეობის ეკონომიკური დამოკიდებულება ტურიზმზე მაღალი.

2. მდგრადი მთის ტურიზმის კონცეფცია

რა არის მდგრადი მთის ტურიზმი: ეკოლოგიის, ეკონომიკისა და სოციალური სივრცის ბალანსი

ეს ბალანსი მიიღწევა სამი ძირითადი ასპექტის ეკოლოგიის, ეკონომიკისა და სოციალური ფაქტორის საშუალებით. ეკოლოგიური კომპონენტი გულისხმობს ბუნებრივი რესურსების,

ფლორისა და ფაუნის დაცვას, ასევე ნახშირბადის კვალის შემცირებას, მაგალითად, განახლებადი ენერგიის წყაროების გამოყენებით მთის სასტუმროებში და ნარჩენების მინიმიზაციით.

ეკონომიკური ასპექტი მოიცავს ადგილობრივი მოსახლეობისთვის სამუშაო ადგილების შექმნას და ინფრასტრუქტურის განვითარებას ისე, რომ ზიანი არ მიადგეს ბუნებას.

სოციალური კომპონენტი კი ნიშნავს პატივისცემას მთიანი თემების ტრადიციებისა და კულტურის მიმართ, მათი ჩართულობას ტურისტულ საქმიანობაში და სოციალური უთანასწორობის თავიდან აცილებას.

მაგალითად შეგვიძლია მივიჩნიოთ ინიციატივა **"Green Key"** ალპებში, სადაც სასტუმროები და ტუროპერატორები იღებენ ვალდებულებას დაიცვან მკაცრი ეკოლოგიური სტანდარტები, ამავდროულად სთავაზობენ ტურისტებს უნიკალურ გამოცდილებას ადგილობრივ კულტურასთან კავშირში. მაგალითად, გასტრონომიულ ტურებს, სადაც გამოიყენება ადგილობრივი ფერმების ორგანული პროდუქტები.

გამოწვევები და შესაძლებლობები მთიან რეგიონებში

მთიანი რეგიონები მრავალი გამოწვევის წინაშე დგანან მდგრადი ტურიზმის კონტექსტში.

პირველ რიგში, ეს არის ეკოსისტემების მოწყვლადობა: კლიმატის ცვლილება იწვევს მყინვარების დნობას, ბიომრავალფეროვნების შემცირებას და სტიქიური მოვლენების თოვლის ზვავების ან მეწყერების რისკების ზრდას.

მეორე, სეზონურობა: ზამთარში ტურისტების მოზღვავებას მოსდევს ჩაძირვა შუალედურ სეზონებში, რაც ართულებს მოსახლეობისთვის შემოსავლების სტაბილურ დაგეგმვას.

მესამე, მასობრივი მშენებლობა და ბუნებრივი რესურსების გადაჭარბებული ექსპლუატაცია (მაგალითად, ტყეების გაჩეხვა სათხილამურო ტრასების გასავლებლად) საფრთხეს უქმნის ბუნებრივ გარემოს.

თუმცა ეს გამოწვევები ერთდროულად ქმნის შესაძლებლობებსაც.

მთიან რეგიონებს შეუძლიათ გახდნენ მწვანე ტექნოლოგიების ლიდერები: მზის პანელები, ქარის ტურბინები და ნარჩენების გადამუშავების სისტემები უკვე ფართოდ გამოიყენება ისეთ ქვეყნებში, როგორიცაა შვეიცარია და ნორვეგია.

გარდა ამისა, მდგრადი ტურიზმი ხელს უწყობს ეკონომიკის დივერსიფიკაციას: ზამთრის სპორტებზე (სათხილამურო სპორტი, სნოუბორდი) ფოკუსირების ნაცვლად, ვითარდება აქტივობები, როგორიცაა ეკოტრეკინგი, ველური ბუნების დაკვირვება და ჯანმრთელობის ტურიზმი.

მნიშვნელოვანი ასპექტია ადგილობრივი მოსახლეობის ჩართვა გადაწყვეტილებების მიღების პროცესში: სერტიფიცირების პროგრამები და გრანტები მცირე ბიზნესებისთვის (მაგალითად, ავსტრიაში) ეხმარება ფერმერებსა და ხელოსნებს ტურისტულ ინდუსტრიაში ინტეგრაციაში, მათი იდენტობის შენარჩუნებით.

მდგრადი მთის ტურიზმი აერთიანებს სამ ძირითად ელემენტს:

- ეკოლოგიური მდგრადობა (მთიანი ეკოსისტემების დაცვა),
- სოციალური სამართლიანობა (ადგილობრივი თემების მხარდაჭერა) და
- ეკონომიკური ეფექტურობა (ტურიზმიდან მიღებული სტაბილური შემოსავალი).

მთიანი რეგიონები, როგორიცაა ალპები ან სკანდინავიის მთები, აწყდებიან გამოწვევებს, ნიადაგის ეროზია, კლიმატის ცვლილება, სეზონურობა — თუმცა სწორედ ამავე რეგიონებში არსებობს უნიკალური შესაძლებლობები: სათხილამურო კურორტებიდან ეკოტრეილებამდე და კულტურულ მემკვიდრეობამდე.

მდგრადი მთის ტურიზმის წარმატება დამოკიდებულია **გონივრულ მენეჯმენტზე**, სადაც **განათლება თამაშობს გადამწყვეტ როლს**.

სპეციალისტების გარეშე, რომლებსაც ესმით განვითარების და შენარჩუნების ბალანსი, მთიანი ტერიტორიები რისკავენ გადაიქცნენ *გადაჭარბებული ტურიზმის* (overtourism) მსხვერპლად ან, პირიქით, დარჩნენ დაუფასებლად.

3. ქვეყნები, სადაც მთის მდგრადი ტურიზმი მაღალ დონეზეა განვითარებული

შვეიცარია: ლიდერი მთის მდგრად ტურიზმში

შვეიცარია წარმოადგენს მთის მდგრადი ტურიზმის ეტალონს, განსაკუთრებით თავისი ალპების წყალობით. ქვეყანა აერთიანებს განვითარებულ ინფრასტრუქტურას (მაგალითად, ცერმატის და დავოსის სათხილამურო კურორტები) მკაცრ ეკოლოგიურ სტანდარტებთან.

აქ აქტიურად ინერგება განახლებადი ენერგიის წყაროები (მაგალითად, მზის პანელები საბაგიროებზე), ხოლო ადგილობრივი თემები ჩართულნი არიან ტურიზმის მართვაში.

ტურისტებს იზიდავთ არა მხოლოდ სპორტული აქტივობები, არამედ ეკოლოგიური მარშრუტებიც, როგორიცაა გრაუბიუნდენის ეროვნული პარკის ბილიკები.

ავსტრია: ინოვაციები და ტრადიციები ალპებში

ავსტრია, თავისი ალპური სოფლებითა და კურორტებით (მაგალითად, ინსბრუკი), მნიშვნელოვან აქცენტს აკეთებს ინოვაციებზე.

ქვეყანა აქტიურად უწყობს ხელს „მწვანე“ სასტუმროების განვითარებასა და ნარჩენების გადამუშავების პროგრამების დანერგვას.

მთის ტურიზმი აქ მდგრადია სეზონური დივერსიფიკაციის წყალობით: ზამთარში — თხილამურები, ზაფხულში, ლაშქრობა და ველოსპორტი.

ადგილობრივი მოსახლეობა ინარჩუნებს ტრადიციებს, რაც დამატებით კულტურულ ღირებულებას მატებს ტურისტულ გამოცდილებას.

ნორვეგია: ეკოლოგიური მიდგომა ფიორდებსა და მთებზე

ნორვეგია გამოირჩევა მდგრადობისადმი თავისი მიდგომით როგორც მთიან, ისე სანაპირო რეგიონებში.

რეგიონები, როგორიცაა ტრომსე და ლოფოტენის კუნძულები, სთავაზობენ ტურისტებს ლაშქრობას, კაიაკინგს და ჩრდილოეთის ციალის დაკვირვებას.

ქვეყნის ეკოლოგიური პოლიტიკა ერთჯერადი პლასტმასის აკრძალვა და ელექტროტრანსპორტის მხარდაჭერა ნორვეგიას მასში მიბაძვის მოდელად აქცევს.

4. განათლება მდგრადი მთის ტურიზმისთვის

რატომ სჭირდება ამ სფეროს პროფესიონალები შესაბამისი განათლებით

მთის მდგრადი ტურიზმის განვითარებისთვის აუცილებელია სპეციალისტები, რომლებსაც შეუძლიათ ტურისტული დესტინაციების მართვა, მათი პოპულარიზაცია საერთაშორისო ბაზარზე და ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფა.

ბაკალავრიატი იძლევა საბაზისო ცოდნას, ხოლო მაგისტრატურა — გაღრმავებულ უნარებს და სპეციალიზაციას.

შვეიცარიის, ავსტრიისა და ნორვეგიის უნივერსიტეტებში არსებული პროგრამები ორიენტირებულია ცოდნის პრაქტიკულ გამოყენებაზე, რაც გადამწყვეტი ფაქტორია წარმატებისთვის.

მდგრადი მთის ტურიზმის განვითარება მოითხოვს სპეციალისტებს, რომლებიც არამხოლოდ იცნობენ ტურიზმის საფუძვლებს, არამედ ითვალისწინებენ ეკოლოგიურ, სოციალურ და ეკონომიკურ ასპექტებს მთიან რეგიონებში საქმიანობისას.

პროფესიული განათლება აუცილებელია კომპლექსური მიდგომის ჩამოსაყალიბებლად ტურისტული დესტინაციების მართვაში დაწყებული ისეთი მარშრუტების დაგეგმვით, რომლებიც მინიმალურად აზიანებენ ბუნებას, დასრულებული მარკეტინგული სტრატეგიებით, რომლებიც მიზნად ისახავენ პასუხისმგებლიანი მოგზაურების მოზიდვას.

ასეთი სპეციალისტები მზად არიან შეიმუშავონ ეკოსისტემების აღდგენის პროგრამები, ითანამშრომლონ ადგილობრივ თემებთან ავთენტური ტურისტული პროდუქტების შესაქმნელად და დანერგონ ინოვაციები, როგორიცაა ციფრული პლატფორმები, რომლებიც აკვირდებიან ტურისტების ეკოლოგიურ ნაკვალევს.

პროფესიონალების გარეშე მთიან რეგიონებს შეიძლება დაემუქროს ტურიზმის უკონტროლო განვითარება, რაც გამოიწვევს ბუნებრივი გარემოს დეგრადაციას და ადგილობრივი მოსახლეობის გადინებას.

წარმატებული ცოდნის გამოყენების ერთ-ერთი მაგალითია შვეიცარიის უნივერსიტეტების კურსდამთავრებულთა მუშაობა, რომლებმაც შექმნეს **„Swiss Sustainable Tourism“** სერტიფიკაციის სისტემა — მისი მიზანია მთის სასტუმროებში ენერგომოხმარების შემცირება და ეკოლოგიურად სუფთა ტრანსპორტის (მაგალითად, ელექტრობუსების) პოპულარიზაცია.

ზოგადი კომპეტენციები ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის დონეზე

ბაკალავრიატზე სტუდენტებმა უნდა შეიძინონ საბაზისო უნარები ტურიზმის, ეკოლოგიისა და მენეჯმენტის სფეროში.

ეს მოიცავს:

- მდგრადი განვითარების საფუძვლების გაგებას,
- მთიანი რეგიონების გეოგრაფიისა და ეკოსისტემების შესახებ ცოდნას,
- პროექტების მართვის და მონაცემთა ანალიზის უნარებს.

მაგალითად, სტუდენტებმა უნდა იცოდნენ, როგორ ჩაატარონ SWOT-ანალიზი რეგიონის ტურისტული პოტენციალის შესაფასებლად ან როგორ შეიმუშაონ მარტივი პროგრამები მარშრუტებზე ნარჩენების მინიმიზაციისთვის.

მნიშვნელოვანია ინტერდისციპლინარული მიდგომაც: სტუდენტებმა უნდა იცოდნენ, როგორ მოქმედებს ტურიზმი კლიმატზე, ეკონომიკასა და სოციალური სტრუქტურაზე.

მაგისტრატურის დონეზე კომპეტენციები ღრმავდება: აქ ძირითადი აქცენტი კეთდება სტრატეგიულ დაგეგმვაზე, ცვლილებების მართვაზე და მდგრადი ტურიზმის მარკეტინგზე.

სტუდენტები სწავლობენ:

- როგორ შეიმუშაონ გრძელვადიანი განვითარების გეგმები,
- როგორ დანერგონ მწვანე ტექნოლოგიები ტურისტულ ინფრასტრუქტურაში,
- როგორ ითანამშრომლონ საერთაშორისო ორგანიზაციებთან, მაგალითად, **UNWTO**-სთან (მსოფლიო ტურიზმის ორგანიზაცია).

გარდა ამისა, მნიშვნელოვანია მუშაობის უნარები დიდი მონაცემებით (big data), ტურისტული ნაკადების ანალიზისთვის და მათი გარემოზე ზემოქმედების პროგნოზირებისთვის.

მაგალითად, **GIS-ტექნოლოგიების (გეოინფორმაციული სისტემების)** გამოყენება საშუალებას იძლევა დაიგეგმოს ისეთი მარშრუტები, რომლებიც მინიმალურად აჩენს ნიადაგის ეროზიას მთიან რაიონებში.

5. ბაკალავრიატის საგნები სპეციალისტების მოსამზადებლად

ბაკალავრიატის დონეზე სტუდენტები იღებენ ფუნდამენტურ ცოდნას. ქვემოთ ჩამოთვლილია ძირითადი დისციპლინები:

- **ტურიზმისა და სტუმართმოყვარეობის შესავალი** — ინდუსტრიის საფუძვლები, ტურიზმის სახეები, მათ შორის მთის ტურიზმი;
- **ეკოლოგია და მდგრადი განვითარება** — ეკოსისტემების შესწავლა და ტურიზმის გავლენა ბუნებრივ გარემოზე;
- **ტურიზმის მენეჯმენტი** — რესურსების მართვა, ტურისტული მარშრუტების დაგეგმვა და ოპტიმიზაცია;
- **ტურიზმის მარკეტინგი** — აუდიტორიის მოზიდვა, ტურისტული დესტინაციების ბრენდინგი და პოპულარიზაცია;
- **ტურიზმის გეოგრაფია** — მთიანი რეგიონების ანალიზი, მათი ბუნებრივი და კულტურული თავისებურებები;
- **ტურიზმის ეკონომიკა** — ტურისტული პროექტების ფინანსური მდგრადობა და ეკონომიკური ეფექტიანობა.

მაგალითი:
ლუცერნის უნივერსიტეტი (შვეიცარია) სთავაზობს პროგრამას **„ბაკალავრი ტურიზმსა და მობილობაში“**, სადაც სტუდენტები სწავლობენ ალპების ეკოლოგიას და კურორტების მართვის საფუძვლებს.

6. მაგისტრატურის საგნები მდგრადი ტურიზმის განვითარებისათვის სპეციალიზაცია მთის ტურიზმზე

მაგისტრატურის დონეზე პროგრამები უნდა შეიცავდეს ვიწრო სპეციალიზაციას მთის ტურიზმზე, რათა მომზადდნენ ექსპერტები, რომელთაც შეუძლიათ გაუმკლავდნენ ამ რეგიონების უნიკალურ გამოწვევებს. მაგალითად, საგნები შეიძლება მოიცავდეს:

- **რისკების მართვა მთიან რეგიონებში** — სტიქიური უბედურებების (როგორიცაა ზვავი ან წყალმოვარდნა) პრევენციისა და რეაგირების მეთოდების შესწავლა, ასევე ეკოლოგიური რისკების შეფასება ახალი მარშრუტების დაგეგმვისას;

- **მდგრადი ტურიზმის ეკონომიკა** — ფინანსური მოდელების ანალიზი, რომლებიც ბალანსირებენ მოგებასა და ეკოლოგიურ მდგრადობას შორის. სტუდენტები სწავლობენ „მწვანე“ პროექტებში ინვესტიციების მოზიდვას.
- **მდგრადი მთიანი დესტინაციების მარკეტინგი** — სტრატეგიების შემუშავება ტურისტების მოსაზიდად, რომლებიც აფასებენ ეკოლოგიურ მიდგომებს. მოიცავს რეგიონის „მწვანე“ ბრენდინგს და ციფრული პლატფორმების გამოყენებას სეზონურობის გასაფართოებლად (მაგალითად, ზაფხულის ეკოტრეილები ან ზამთრის ეკოფესტივალები);
- **სოციოკულტურული მენეჯმენტი ტურიზმში** — ადგილობრივი თემების ინტეგრაციის გზების შესწავლა ტურიზმში ისე, რომ არ დაზიანდეს მათი ტრადიციები. სტუდენტები ქმნიან კულტურული გაცვლის პროგრამებს, როგორიცაა ტრადიციული ხელობის მასტერ-კლასები ან გასტრონომიული ტურები, რაც აძლიერებს ადგილობრივ ეკონომიკას.

მაგალითი:

ინსბრუკის უნივერსიტეტის (ავსტრია) მაგისტრატურის პროგრამის ფარგლებში სტუდენტები პრაქტიკას გადიან ალპურ სოფლებში, სადაც ამუშავებენ ტურისტების ეკოლოგიური ნაკვალევის შემცირებისა და რეგიონის კულტურული მახასიათებლების გაძლიერების პროექტებს.

მაგისტრატურის ძირითადი დისციპლინები:

- **დესტინაციების მდგრადი მართვა** — მთიანი რეგიონების დაცვის სტრატეგიები;
- **ეკოლოგიური მენეჯმენტი** — ტურიზმში „მწვანე“ ტექნოლოგიების ინტეგრაცია;
- **ტურიზმის საერთაშორისო მარკეტინგი** — მთიანი მიმართულებების პოპულარიზაცია გლობალურად;
- **კულტურული მემკვიდრეობა და ტურიზმი** — ადგილობრივი ტრადიციების ჩართვა ტურისტულ შეთავაზებაში;
- **ტურიზმის მონაცემთა ანალიზი** — Big Data-ის გამოყენება მოთხოვნის პროგნოზირებისთვის;
- **მდგრადი განვითარების პოლიტიკა** — თანამშრომლობა სახელმწიფო სტრუქტურებთან და არასამთავრობო ორგანიზაციებთან.

მაგალითი:

ვენის უნივერსიტეტი (ავსტრია) სთავაზობს პროგრამას **„მდგრადი განვითარება და ტურიზმი“**, სადაც ყურადღება გამახვილებულია ალპების მთიან რეგიონებზე და ინოვაციურ მიდგომებზე.

7. ცოდნის პრაქტიკული გამოყენება

როგორ უწყობს ხელს განათლება ტურისტების მოზიდვას

განათლება მნიშვნელოვან როლს თამაშობს მდგრადი და მიმზიდველი მთიანი ტურისტული დესტინაციების შექმნაში. ბაკალავრისა და მაგისტრატურის კურსდამთავრებულებს, რომლებსაც სპეციალიზებული ცოდნა აქვთ, შეუძლიათ შეიმუშაონ მარშრუტები და პროგრამები, რომლებიც ერთდროულად მინიმუმამდე ამცირებს ბუნებაზე ზემოქმედებას და ტურისტებს სთავაზობს უნიკალურ გამოცდილებას.

მაგალითი შვეიცარიიდან:

მდგრადი ტურიზმის სპეციალისტებმა შექმნეს ეკოტრეილების ქსელი საინფორმაციო ბანერებით, რომლებიც მოგვითხრობენ ადგილობრივი ფლორისა და ფაუნის შესახებ, რაც იზიდავს ეკოსაზოგადოებრივად ცნობიერ მოგზაურებს.

განათლება ასევე ხელს უწყობს ინოვაციების დანერგვას:

ციფრული ტექნოლოგიების გამოყენება (მაგალითად, აპლიკაციები ტურისტების ეკოლოგიური ნაკვალევის მონიტორინგისთვის ან ვირტუალური ტურები მათთვის, ვინც ვერ ახერხებს ფიზიკურად მთებში მოგზაურობას) აუდიტორიის გაფართოებას უწყობს ხელს.

გარდა ამისა, სპეციალისტებს შეუძლიათ თავად ტურისტებისთვის შეიმუშაონ საგანმანათლებლო პროგრამები, რომლებიც ასწავლის, როგორ უნდა იქცნენ გონივრულად მთებში (მაგალითად, ნარჩენების სწორად გადაყრა ან უსაფრთხოების წესების დაცვა მარშრუტზე).

მაგალითი ნორვეგიიდან:

ოსლოს უნივერსიტეტის კურსდამთავრებულებმა, მდგრად ტურიზმში სპეციალიზებულებმა, შექმნეს პროექტი **"Visit Norway Green"**, რომელიც ტურისტებს სთავაზობს მარშრუტებს მინიმალური ნახშირბადოვანი ნაკვალევით, ელექტროველოსიპედების გაქირავებითა და ეკოკოტეჯებში განთავსებით. მსგავსი ინიციატივები არა მხოლოდ იზიდავს ტურისტებს, არამედ უწყობს ხელს ფიორდებისა და მთიანი ბუნების შენარჩუნებას.

განათლების გავლენა ტურისტულ მიმზიდველობაზე:

- შვეიცარიაში, კურსდამთავრებულები ქმნიან ეკოლოგიურ მარშრუტებს,
- ავსტრიაში, ავითარებენ ველოტურიზმს სოციალური მედიის მეშვეობით,
- ნორვეგიაში, ქმნიან პროგრამებს ბუნების დაკვირვებისთვის.

კეისის მაგალითი:

პროექტი **"Visit Norway"** იყენებს მაგისტრების მიერ შეგროვებულ მონაცემებს მიზნობრივი რეკლამისთვის, რის შედეგადაც 2024 წელს ტურისტთა ნაკადი გაიზარდა **15%-ით**.

8. დასკვნა

მთიანი მდგრადი ტურიზმის განვითარება წარმოადგენს რთულ, მაგრამ პერსპექტიულ პროცესს, რომელიც მოითხოვს ეკოლოგიის, ეკონომიკისა და სოციალური ასპექტების ჰარმონიულ გაერთიანებას.

შვეიცარიის, ავსტრიისა და ნორვეგიის მაგალითზე აშკარად ჩანს, რომ წარმატება მიღწევადია მწვანე ტექნოლოგიების დანერგვის, ადგილობრივი თემების ჩართულობის და მკაცრი რეგულაციების მეშვეობით. ეს ქვეყნები გვაჩვენებენ, თუ როგორ შეიძლება ტრადიციებისა და ინოვაციების თანაარსებობა შექმნას მიმზიდველი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო ტურისტული დესტინაციები.

განათლება არანაკლებ მნიშვნელოვან როლს თამაშობს:

ბაკალავრისა და მაგისტრატურის დონეზე სპეციალისტების მომზადება უზრუნველყოფს პროფესიონალთა ნაკადს, რომლებსაც შეუძლიათ შეიმუშაონ და განახორციელონ მდგრადი ტურიზმის პროექტები. ბაზისური მენეჯმენტის უნარებიდან დაწყებული, რისკების მართვისა და საერთაშორისო მარკეტინგის სიღრმისეულ ცოდნამდე, განათლება ქმნის მყარ საფუძველს მთიანი რეგიონების გრძელვადიანი განვითარებისათვის.

მომავლის პერსპექტივა დაკავშირებულია გლობალურ თანამშრომლობასთან:

- საერთაშორისო გამოცდილების გაცვლის პროგრამები
- გრანტები "მწვანე" ინიციატივებისთვის
- ციფრული პლატფორმები ეკოლოგიური ზემოქმედების მონიტორინგისთვის ეს ყველაფერი გახდება მდგრადი ტურიზმის ძირითადი ინსტრუმენტები.

რეკომენდაციები:

- გააძლიეროს სახელმწიფომ განათლების მხარდაჭერა ტურიზმის სფეროში
- წაახალისოს კერძო სექტორი ინვესტირებისთვის მდგრად პროექტებში

მხოლოდ ერთობლივი ძალისხმევით შევძლებთ, რომ მთიანი რეგიონები დარჩეს არა მხოლოდ ტურისტულ მარგალიტებად, არამედ ცოცხალ ეკოსისტემებად მომავალი თაობებისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

· **UNWTO (2023).** *Tourism and the Sustainable Development Goals – Journey to 2030*. URL: https://www.unwto.org/tourism-and-the-sdgs

· **Hochschule Luzern – Institut für Tourismus und Mobilität.** *Masterstudium: Nachhaltiger Tourismus* (2024). URL: https://www.hslu.ch/de-ch/wirtschaft/studium/master/nachhaltiger-tourismus/

· **University of Oslo – Department of Sociology and Human Geography.** *Sustainable Tourism Development (Course Description, 2024).* URL: https://www.uio.no/studier/emner/sv/iss/GEOG4310/

· **Austrian Tourism Strategy 2030 – Federal Ministry for Labour and Economy, Austria (2023).** *Sustainable Tourism in Austria: Strategy and Implementation.* URL: https://www.bmaw.gv.at

Sustainable Development of Mountain Tourism: Leading Countries and Educational Programs

Ekaterine Shilakadze

Academic Doctor, Georgian Technical University, Faculty of Business Technologies.

Abstract

This article aims to analyze countries where mountain sustainable tourism has achieved a high level of development, as well as to review undergraduate and graduate educational programs that prepare specialists for promoting such regions and attracting tourists. Switzerland, Austria, and Norway are highlighted as leading countries in this field. The article also discusses the key disciplines necessary for success in this area.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.16



К возможности использования морских водорослей в качестве сырья для получения косметических и космецевтических средств (Обзор).

Явич Павел Абрамович[1], Кахетелидзе Мзия Бондоевна[2], Кикалишвили Белла Юрьевна[3]

[1]Доктор фармацевтических наук, профессор, главный научный сотрудник направления бад – ов и косметологических средств; [2]Доктор фармации, старший научный сотрудник направления бад – ов и косметологических средств; [3]Доктор фармации, главный научный сотрудник направления липидов и антрахинонов

Институт фармакохимии им. И. Кутателадзе Тбилисского Государственного Медицинского Университета

Резюме

Описано применение морских водорослей в косметике и космецевтике. Показано, что биологически активные вещества, содержащийся в них, оказывают антибактериальные, противогрибковые, антиоксидантные и противовоспалительные свойства, имеют УФ-защитную, антимикробную, противовирусную, противоаллергическую, антиоксидантную и другие активности.

Ключевые слова. УФ-защита, водоросли, косметика,космецевтика, каротиноиды, хлорофилл.

Введение

В разных областях косметики используются термины «косметика,космецевтика» т.е. содержащие вещества (в данном случае природного происхождения), обладающие определенными лекарственными свойствами [1]. Космецевтика, это фактически, косметическо-фармацевтический гибрид местногопременения, содержащий биологически активные натуральные ингреденты, способные оказывать оздоровительное действие на здоровье человека после нанесения их на кожу[2]. В последнее время косметическая промышленность постепенно переходит на натуральные биоактивные ингредиенты из-за неэффективности синтетической косметики. Это связано, как с возможностьюналичия побочных эффектов, так и относительно низкой скоростью всасывания [3,4]. Сегодня потребители предпочитают натуральные косметической продукты, в число которых входят, наряду с другими растениями, и морские водоросли [5], обладающие широким спектром фармакологической активности с незначительными побочными эффектами.Морские водоросли, богатые различными биологически активными веществами, находят широкое применение в косметике и космецевтике. Это устойчивый и возобновляемый ресурс, привлекающий все большее внимание

[6-12]. Современный образ жизни создал новый акцент на вид внешности и уходе за собой. Возрастает количество потребителей косметических продуктов натурального происхождения. Косметическая промышленность ищет новые биологически активные соединения из природных источников. Морские водоросли являются неограниченым источником активных соединений с большим спектром лекарственного применения. Биоактивные соединения из них используются в кремах, мазях и лосьонах для кожи. Достижения в этой области позволили так же решить проблемы связаных с защитой от ряда онкологических и накожных заболеваний, воспалительных процессов, так же дегенерации кожи, ее старения, увлажнения, очищения, отбеливания, снижения уровня пигментациии и др.[13-22]. В связи с увеличивающимися требованиям к средствам из веществ, содержащихся в морских водорослях, для лечения накожных заболеваний, возникли термины дермокосметика и дермокосмецевтика [23-25].

Несмотря на большой объем обзорных публикаций попримененению морских водорослей в различных областях медицины, промышленности, питания и др., отдельно не выделены конкретные работы по возможности их применения в косметике и космецевтике (благодаря строению веществ содержащихся в них) за последние годы. В настоящей статье авторы попытались восполнить данный пробел и привести наиболее интересные данные (по их мнению) в основном за последние 5 лет.

Морские водоросли подразделяются на три группы в зависимости от доминирующего типа пигментации: Chlorophyceae (зеленые водоросли), которые в основном характеризуются зеленоватым жирорастворимым пигментом хлорофиллом, Phaeophyceae (бурые водоросли), пигментация которых варьируется от желтой до темно-коричневой в зависимости от соотношения фукоксантина и хлорофилла, Rhodophyceae (красные водоросли), которые содержат большое количество пигментов – каротиноиды, хлорофилл и др.Пигменты защищают, как водоросли, так и кожу от УФ-излучения и повреждения клеток [26]. Они применяются в косметической, космецевтической и фармацевтической промышленостях, с учетом специфической активности [27-30]. Ориентируясь на количество научных исследований, можно сделать вывод о наибольшем количестве работ, посвященных исследованию красных и бурых водорослей [31-41]. Морские водоросли произрастают в большом количестве, достаточно легко собираются (благодаря большим размерам), имеют разнообразные составы и биологическую активность. По литературным данным,в зависимости от времени, места произрастания и вида водорослей, концентрация белка может достигать 50%(по сухому остатку) [42-48]. Белок морских водорослей является источником многих аминокислот. Белки и биоактивные пептиды обладают противовоспалительными, проактивными для кожи и антивозрастными свойствами, наряду с высокими антиоксидантными и противораковыми свойствами, ряд пептидов повышает уровень коллагена и эластина и снижает экспрессию матриксных металлопротеиназ (ММП) ММП-1 и ММП-8. Это все является поводом для рекомендации использования белковых веществ из водорослейв косметике и космецевтике. Материал, опубликованый в большом количестве исследований (некоторые данные о работах приведены ниже) [49-62], позволяет сделать вывод о возможности и необходимости их использование вкосметических и в космецевтических накожных средствах. Одной из групп веществ содержащихся в морских водорослях, являются

липиды. Содержание ПНЖК может достигать до 5%. Количество и качество зависит от места произрастания. Следует отметить достаточно высокое содержание омега-3 и омега-6 в водорослях. Причем, в зеленых водорослях профиль С18-ПНЖК, в красных и бурых водорослях профиль С20- ПНЖК. По литературным данным, содержание их в рзличных водорослях различное, зеленые водоросли содержат больше гексадекановой кислоты, красные и бурые водоросли больше эйкозапентаеновой иарахидоновой. Представляем некоторые литературные данные [63-75]. Обобщая эти данные, можносказать,что компоненты, содержащиеся в водорослях, весьма активны и являются хорошим материалом для нужд косметики и космецевтики. Судя по литературным данным, углеводы представляют собой наибольший по количеству компонент биомассы морских водорослей, содержание их может доходить в среднем до 50-70%[76]. Полисахариды бурых водорослей обладают антиоксидантной, противовоспалительной и антибактериальной активностью. Применение в мазях и кремах фукоиданов, увеличивает упругость, эластичность кожи, предотвращает и уменьшает фотостарение кожи, количество морщин, улучшая синтез коллагена, контролирует матриксные металлопротеиназы и предотвращая разрушение внеклеточногоматрикса, проявляет УФ-защитные свойства. Сумма биоактивных соединений, содержащиеся в водорослях, биологически активна, безопасна и обладает минимальным эффектом цитотоксичности [77-79]. Например, ламинарин [80, 81] обладает различными потенциальными фармакологическими свойствами [82-86], так же как и альгинаты. Альгинаты используют для доставки лекарств, в перевязочных материалах и в тканевой инженерии[87- 89]. Красные водоросли (Rhodophyta) содержат водорастворимый биоактивный сульфатированный галактан (агароколлоиды и каррагинаны), используется в различных кремах и мазях,а так же в качестве ингредиента для переноски и высвобождения лекарств [90 -102]. Продукты, получаемые из морских водорослей, используются вкосметике и космецевтике [103 - 117].

Фенольные соединения получаемые из морских водорослей (простые и полифенолы), биоактивны, причем,полифенолы в основном бывают двух типов: флоротаннин и флороглюцин. К простым, в основном, относят флавоноиды, бромфенолы, терпеноиды, микоспориновые аминокислоты и некоторые другие. Ковторым-эколы, фукофлоретолы, фуколы, флоретолы, кармалолы, фухалолы. Фенольные соединения, это группа метаболитов с наибольшим структурным разнообразием и высоким содержанием в морских водорослях [118]. Бурые водоросли содержат большое количество флоротаннинов, тогда, как зеленые и красные водоросли вещества в основном другого типа [119]. Фенольные вещества из водорослей оказывают ингибирующее действие на ферменты (ингибирование тирозиназы, эластазы, коллагеназы, матриксной металлопротеиназы при фотозащите) и ряда других. Проявляют антибактериальные, противогрибковые, антиоксидантные и противовоспалительные свойства, имеют УФ-защитную, антимикробную, противовирусную, противоаллергическую, антиоксидантную активности, активность противофотостарения. В косметических и космецевтических кремах, мазях,лосьонах их наличие обеспечивает противоморщинные, антивозрастные, отбеливающие, фотозащитные, улучшающие здоровье кожи и другие свойства [120 -128]. Наиболее изученным классом полифенолов морских водорослей являются флоротаннины [129 -132]. По литературным данным, ониимеют общий максимум поглощения в

области 280-300 нм. Причем, указывается наибольшее максимальное значение при 265 нм., но некоторые авторы указывают и при 195 нм. В основном поглощают УФ-В-излучения, удаляя радикалы и восстановливая проапоптотические молекулы и уменьшая вероятность возникновения рака кожи. Они проявляют высокую биологическую активность в разных вопросах для ухода и лечения кожи [133-143]. Практическое отсутствие токсичности флоротаннинов и высокая биологическая активность, используется при разработке новых натуральных косметических, космецевтических и фармацевтических средств. Бромфенолы были выделеные из всех морских водорослей, имеют УФ- защитную активность в области 220-440 нм. Так же они проявляют разнообразную биологическую активность, включая антиоксидантную, антибактериальную, противораковую и антидиабетическую активности [144 - 150]. Одной из основных проблем в разработке потенциальных терапевтических агентов из них является ихмалое содержание в морских водорослях и многостадийность при выделение.

Морскиеводоросли являются источником флавоноидов [151-158].Они проявляют антиоксидантную, УФ-защитную, противовоспалительную и антимикробную, биологическую активность по нейтрализации активных форм кислорода (ROS) в клетках, ингибированию радикальных реакций, уменьшению скорости старения кожи, образованию морщин и атипичной пигментации кож.

Микоспориноподобные аминокислоты (MAA) вторичные метаболиты. Проявляют антиоксидантные и фотозащитные свойства (UVA и UVB-излучения) [159]. Максимумы поглощения находятся между 268 и 362 нм. Химический синтез MAA связан снизким выходом при экстракции из материала, продуцирующего MAA и в связи с этим необходимостью создания крупномасштабных предприятий. Использование MAA в косметике и космецевтике, позволяет применение их в средствах против старения, имеющих антиоксидантную и противовоспалительную активности, ингибирования белков и активности коллагеназы и прогнозировать их широкое применение в косметике и космецевтике. Терпеноидные соединения, включающие галогенированные монотерпены, дитерпены и сесквитерпены, обладают УФ- защитным, антибактериальным, антимикробным, антиоксидантным, противовоспалительным, противовирусным, противораковым действием, способны замедлять старение кожи, отбеливать ее, уменьшать уровень заболевания прыщами и обыкновенными угрями и рядом других.

Заключение.Работы по исследованию водорослей проводятся во многих странах, использование морских водорослей имеет большой экономический эффект. По данным ООН мировой рынок морских водорослей увеличился с 5 миллиардов долларов в 2000 году до 17 миллиардов долларов к 2021 году [160]. Грузия имеет большую площадь черноморского побережья, возможную, как для сбора водорослей, так и для их культивирования. Однако, до сегодняшнего дня подобные работы отсутствуют.

Использованная литература.

1.Shejal Singh, Vaibhav Singh. Cosmeceuticals; The Fusion of Cosmetics and Pharmaceuticals. Journal of Community Pharmacy Practice, 2024, 4(42) p.16-27.
2.Kishor A. Bellad, Basavaraj K. Nanjwade, Meghana S. Kamble, Teerapol Srichana, et al.. DEVELOPMENT OF COSMECEUTICALS. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 2017, Vol. 6, Issue 4, p. 643- 692.
3.Anitha M. G., Pooja Hiremat Divya K., Abhiram P. A. Survey study on adverse effects of synthetic cosmetics. International Journal of Community Medicine and Public Health, 2023, 10(11), p. 4147-4152.
4.Lucía López-Hortas, Noelia Flórez-Fernández, Maria D Torres, Tania Ferreira-Anta et al.. Applying Seaweed Compounds in Cosmetics, Cosmeceuticals and Nutricosmetics Mar Drugs. 2021 Sep 29, 19(10):552- 582.
5.Algae Extract (Seaweed): Cosmetic Ingredient INCI https://cosmetics.specialchem.com › inci-ingredients › al...
6. Pereira L. Seaweeds as a source of bioactive substances and skin care therapies - cosmeceuticals, algotherapy and thalassotherapy. Cosmetics. 2018, 5, p.68-92.
7. Jesumani V., Du H., Aslam M., Pei P., Huang N. Potential use of bioactive compounds from seaweeds in skin care - a review. Mar. Drugs. 2019, 17, p.688- 707.
8. Couteau C., Coiffard L. Phytocosmetics and other marine cosmetics, special cosmetics created using marine resources. Mar. Drugs. 2020, 18, p.322- 343.
9. Morais T., Cotas J., Pacheco D., Pereira L. Seaweed compounds: a sustainable source of cosmetic ingredients? Cosmetics. 2021, 8, p.8.
10. Alves A., Sousa E., Sousa E., Kijjoa A., Pinto M. Marine compounds with potential for use as cosmeceuticals and nutricosmetics. Molecules. 2020, 25, p. 2536- 2574.
11.Suzana Elena, Biris-Dorhoi, Delia Michiu, Carmen R. Pop, Ancuța M. Rotar. Macroalgae-A Sustainable Source of Chemical Compounds with Biological Activities Nutrients 2020, 12(10):1-23.
12. Naser W. Anti-aging cosmetic effects of various natural biofunctional ingredients: a review. Int. J. Appl. Pharm. 2021,13 :10–18.
13.Haresh S. Kalasariya, Carlos Eliel, Maya-Ramírez, João Cotal. Cosmeceutical Significance of Seaweed: A Focus on Carbohydrates and Peptides in Skin Applications Phycology 2024, 4(2), 276-313.
14.Ghadir El-Chaghaby, Sayed Rashad. An overview of algae prospects in cosmeceuticals. Journal of the Egyptian Women's Dermatologic Society, 2022,18(3), p.161-168.
15. Haresh S. Kalasariya, Mehul P. Dave, Virendra Kumar Yadav, Nikunj B. Patel.
BENEFICIAL EFFECTS OF MARINE ALGAE IN SKIN MOISTURIZATION AND PHOTOPROTECTION. International Journal of Pharmaceutical Science and Health. 2020, Issue 10, Vol.5,p.1-11.
16. Morais T, Cotas J, Pacheco D, Pereira L. Seaweeds Compounds: An Ecosustainable Source of Cosmetic Ingredients? Cosmetics. 2021, 8(1):8.

17.MuhammadHakimin Shafie, Mohd Lias Kamal, Fathin Farhah Zulkiflee, Sharizal Hasan. Application of Carrageenan extract from red seaweed (Rhodophyta) in cosmetic products: A review. Journal of the Indian Chemical Society. 2022,Volume 99, Issue 9, 100613.
18.Pangestuti, R.; Shin, K.-H.; Kim, S.-K. Anti-photoaging and potential skin health benefits of seaweeds. Mar. Drugs 2021, 19, 172-200.
19.Pimentel, F.B., Alves, R.C., Rodrigues, F., Oliveira, M.B.P.P. Macroalgae-Derived Ingredients for Cosmetic Industry-An Update. Cosmetics 2018, 5(1), p. 2-19.
20.Marta Salvador Ferreira, Diana I S P Resende, José M. Sousa Lobo, Emília Sousa. Marine Ingredients for Sensitive Skin: Market Overview. Marine Drugs, 2021, 19(8),p.464-481.
21.Aslam, A., Bahadar, A., Liaquat, R., Saleem, et al.. Algae as an attractive source for cosmetics to counter environmental stress. Sci. Total Environ. 2021, 772, 144905.
22.Faria-Silva C., Ascenso A., Costa A., Marto J. at al.. Feeding the skin: A new trend in food and cosmetics convergence. Trends Food Sci. Technol. 2020, 95, 21–32.
23.Dermocosmetics and Cosmeceuticals - IMPAG https://www.impag.ch › ... 2018.
September 23, 2024.
24.Haresh S. Kalasaria, Leonel Pereira. Dermocosmetic benefits of phenolic compounds derived from marine macroalgae. Applied Science 2022,12,(23) :11954.
25.Dermo cosmetics for women. Laboratories Vivacy. https://vivacy.com › products
26.Hossam S. El-Beltagi, Amal A. Mohamed, Heba I. Mohamed, Khaled M. A. Ramadan at al..Phytochemical and Potential Properties of Seaweeds and Their Recent Applications: A Review. Mar Drugs. 2022, 20(6), p. 342 -352.
27.Silvia Lomartire, Ana M. M. Gonçalves. An Overview of Potential Seaweed-Derived Bioactive Compounds for Pharmaceutical Applications. Mar. Drugs 2022, 20(2), p.141-149.
28.Haresh S. Kalasariya, Carlos Eliel Maya-Ramírez, João Cotas, Leonel Pereira. Cosmeceutical Significance of Seaweed: A Focus on Carbohydrates and Peptides in Skin Applications. Phycology. 2024, 4(2), 276-313;
29.Zheng L.X., Chen X.Q., Cheong K.L. Current trends in marine algae polysaccharides: The digestive tract microbial catabolism, and prebiotic potential. Biol Macromol.2020 May, 15:151:344-354.
30.Biswajita Pradhan, PrajnaParamita Bhuyan, Srimanta Patra, Rabindra Nayak at al.. Beneficial effects of seaweeds and seaweed-derived bioactive compounds:Current evidence and future prospective. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2022,Volume 39, 102242.
31.Aziz E., Batool R., Khan MW., Rauf A., et al..A review on bioactive compounds from red algae and their pharmaceutical applications. J. Altern. Complement. Med. 2021, 17: 20190203.
32.Cheong K-L, Qiu H-M, Du H, Liu Y, Khan B.M. Oligosaccharides derived from red marine algae: production, properties and potential applications in healthcare and cosmetics. Molecules. 2018, 23, p.245- 257.
33.Saluri M, Kaldmäe M, Rospu M, Sirkel H, Paalme Tet al..Spatial variability and structural characteristics of phycobiliproteins from the red algae Furcellaria lumbricalis and Coccotylus truncatus. Algal Res. 2020, 52 :102058.

34.Rangel KC, Villela LZ, Pereira KDC, Debonsi HM, Gaspar LR. Evaluation of photoprotective potential and toxicity of extracts of Antarctic red macroalgae Curdiea racovitzae and Iridaea cordata for cosmetic use. Algal Res. 2020, 50 :101984.
35.Wijesinghe W., Jeon Y. Biological activities and potential cosmeceutical applications of bioactive components from brown algae: a review. Phytochem. Rev. 2011, 10, p. 431–443.
36.Vo TS, Kim S.-K., Ryu B., Ngo DHet al.. Suppressive activity of fucofuroecol-a derived from the brown alga Ecklonia stolonifera okamura on UV-B-induced mast cell degranulation. Mar. Drugs. 2018, 16, p.1 -19.
37.Yanshin N., Kushnareva A., Lemesheva V., Birkemeier K., Tarakhovskaya E. Chemical composition and potential practical application of 15 species of red algae from the White Sea coast (Arctic Ocean) Molecules. 2021, 26: 2489.
38. Sugiura Y., Kinoshita Y., Misumi S., Yamatani H. et al..Correlation between seasonal variations in phlorotannins and antiallergic effects of the brown alga Ecklonia cava subsp. stolonifera. Algal Res. 2021,58 :102398.
39.Catarino MD, Amarante SJ, Mateus N., Silva AMS et al.. Brown algae phlorotannins: a marine alternative to combat oxidative stress, inflammation, and the cancer network. Foods. 2021, 10 :1478.
40. Susano P., Silva J., Alves C., Martins A., et al. Unlocking the dermatological potential of the brown algae Carpomitra costata . Mar. Drugs. 2021,19 :135.
41.Hermund D.B., Torsteinsen H., Vega J., Figueroa F.L., Jacobsen C. Screening for New Cosmeceuticals from Brown Algae Fucus vesiculosus with Antioxidant and Photo-Protecting Properties. Mar. Drugs 2022, 20, 687-706.
42.Pachiappan Perumal, Annamalai Aravinth, Sundaramoorthy Dhanasundaram, Rajendran Rajaraet al.. Phytochemical, amino acid and fatty acid profile of selected brown and red seaweed species from Gulf of Mannar, Southeast India. Food and Humanity, 2023, Volume 1, December 2023, Pages 1659-1669.
43.Punniamoorthy Thiviya, Ashoka Gamage, Nalin Suranjith, Othmane Merah et al.. Seaweeds as a Source of Functional Proteins. Phycology, 2022, 2(2), 216-243.
44.Marlene Machado, Susana Machado, Filipa B. Pimentel, Victor Freitas et al.. Amino Acid Profile and Protein Quality Assessment of Macroalgae Produced in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture System. Foods. 2020, 9(10), p. 1382-1397.
45.Monika Černá . Seaweed proteins and amino acids as nutraceutical. Adv Food Nutr Res. 2019:64:297-312.
46.Kazir M., Abuhassira Y., Robin A., Nahor O.et al.. Extraction of proteins from two marine macroalgae, Ulva sp. and Gracilaria sp., for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates. Food Hydrocol. 2019, 87,p.197–203.
47. Fleurence J., Morançais M., Dumay J. Seaweed proteins. In: Yada R.Y., editor. Proteins in Food Processing. 2nd ed. Woodhead Publishing; Cambridge, UK: 2018, p. 245–262.
48. Pangestuti R, Kim SK.Proteins, peptides, and amino acids from seaweeds. In: Tiwari BK, Toy DJ, editors. Seaweed sustainability: food and non-food applications. Academic Press; San Diego, CA, USA: 2015, p. 125–140.

49.Yoong Kit Leong, Jo-Shu Chang. Proteins and bioactive peptides from algae: Insights into antioxidant, anti-hypertensive, anti-diabetic and anti-cancer activities. Trends in Food Science & Technology, 2024, Volume 145, 104352.
50.Dini I., Mancusi A. Food Peptides for the Nutricosmetic Industry. Antioxidants. 2023, 12, p. 788-799.
51.Mehdi Alboofetileh, Ali Hamzeh, Mehdi Abdollahi. Seaweed Proteins as a Source of Bioactive Peptides. Curr Pharm Des, 2021, 27(11), p.1342-1352.
52.Javier Echave, Paz Otero, Paula Garcia-Oliveira, Paulo E. S. Munekata et al.. Seaweed-Derived Proteins and Peptides: Promising Marine Bioactives. Antioxidants (Basel). 2022, 11(1), p. 176-202.
53.Christina Hamit, Ki-Chang Nam, Nalaka sandun Abeyrathne. Bioactive peptide production and determination of functional properties using crude water extracts of Ulva lactuca (Chlorophyta) and Sargassum crassifolium (Phaeophyceae) collected from Sri Lanka. Applied Phycology 2022, 3(1), p.73-82.
54.O'Connor J., Garcia-Vaquero M., Meaney S., Tiwari B.K. Bioactive Peptides from Algae: Traditional and Novel Generation Strategies, Structure-Function Relationships, and Bioinformatics as Predictive Tools for Bioactivity. Mar. Drugs 2022, 20, p.317- 329.
55.Sridhar K., Inbaraj B.S., Chen B.H. Recent developments on production, purification and biological activity of marine peptides. Food Res. Int. 2021, 47, 110468.
56.Yanshin N., Kushnareva A., Lemesheva V., Birkemeyer C., et al.. Chemical composition and potential practical application of 15 red algal species from the White Sea Coast (the Arctic Ocean). Molecules 2021, 26, 2489.
57.Javier Echave, Paz Otero, Paula García-Oliveira, Paulo E.S. Munekata. Proteins and peptides derived from seaweed: promising marine bioactive substances. Antioxidants, (Basel), 2022, 11(1),p. 176- 182.
58.Mehdi Alboofetileh, Ali Hamzeh, Mehdi Abdollahi.Seaweed Proteins as a Source of Bioactive Peptid,Current Pharmaceutical Design,2021,27(11),p. 1342-1352.
59.Unniamoorthy Thiviya, Ashoka Gamage, Nalin Suranjith Gama-Arachchige et al.. Seaweeds as a Source of Functional Proteins. Phycology 2022, 2(2),p. 216-243.
60.Sridhar K., Inbaraj BS, Chen B.-H. Recent developments in the production, purification, and bioactivity of marine peptides. Food Res. Int. 2021,47 :110468.
61.Lafarga T., Acién-Fernández FG, Garcia-Vaquero M. Bioactive peptides and carbohydrates from seaweeds for food applications: natural occurrence, isolation, purification, and identification. Algal Res. 2020,48 :101909.
62.Chang-Feng Chi, Bin Wang.Marine Bioactive Peptides-Structure, Function and Application Mar Drugs. 2023 May, 21(5): 272-278.
63.Anas Ahmad Haseeb Ahsan. Lipid-based formulations in cosmeceuticals and biopharmaceuticals. Biomedical Dermatology.2020, 4(1),p.12 – 22.
64.Charu Deepika, Ravishankar Gokare, Dayananda Sagar, Ranga Rao Ambati.
Potential Products from Macroalgae: An Overview In book: Sustainable Global Resources Of Seaweeds, 2022, Volume 1, p.17-44.
65.Biris-Dorhoi E.-S., Michiu D., Pop C.R., Rotar A.M. et al.. Macroalgae-A Sustainable Source of Chemical Compounds with Biological Activities. Nutrients. 2020, 12(10), p.1-23.

66.Lever J., Brkljača R., Kraft G., Urban S. Natural Products of Marine Macroalgae from South Eastern Australia, with Emphasis on the Port Phillip Bay and Heads Regions of Victoria. Mar. Drugs. 2020, 18(3), p.1-39.
67.Teixeira T.R., Santos G.S., Turatti I.C.C., Paziani M.H. et al.. Characterization of the lipid profile of Antarctic brown seaweeds and their endophytic fungi by gas chromatography–mass spectrometry (G.C.–M.S.) Polar Biol. 2019, 42, p.1431–1444.
68. Diana Lopes, Felisa Rey,Miguel C. Leal,Ana I. Lillebet al.. Bioactivities of Lipid Extracts and Complex Lipids from Seaweeds: Current Knowledge and Future Prospects Mar. Drugs 2021, 19(12),p. 688 -710.
69.Catarina Lourenço-Lopes, Maria Fraga-Corral, Cecilia Jimenez-Lopez, Antia G. Pereira et al.. Metabolites from Macroalgae and Its Applications in the Cosmetic Industry: A Circular Economy Approach. Resources 2020, 9(9), p.1-30.
70.Saadaoui, I., Rasheed, R., Abdulrahman, N., Bounnit, T.et al.. Algae-Derived Bioactive Compounds with Anti-Lung Cancer Potential. Mar. Drugs 2020, 18, 197- 213..
71.Lucas M. Berneira, Ivandra I. de Santi, Caroline C. da Silva, Dalila Venzkeet al..
Bioactivity and composition of lipophilic metabolites extracted from Antarctic macroalgae Braz J Microbiol. 2021 Sep, 52(3): p. 1275–1285.
72.Ana M M Gonçalves, Silvia Lomartire. An Overview of Potential Seaweed-Derived Bioactive Compounds for Pharmaceutical ApplicationsMarine Drugs, 2022, 20(2), p.141-173.
73.Biris-DorhoiE.-S., Michiu D., Pop C.R., Rotar A.M.et al.. A.C. Macroalgae A Sustainable Source of Chemical Compounds with Biological Activities. Nutrients 2020, 12, p. 1-23.
74.Lever, J.; Brkljača, R.; Kraft, G.; Urban, S. Natural Products of Marine Macroalgae from South Eastern Australia, with Emphasis on the Port Phillip Bay and Heads Regions of Victoria. Mar. Drugs 2020, 18, p.142-181.
75. De Luca M., Pappalardo I., Limongi A.R., Viviano E.et al.. Lipids from Microalgae for Cosmetic Applications. Cosmetics. 2021, 8, p.52-74.
76.Jesumani, V.; Du, H.; Pei, P.; Zheng, C.; Cheong, K.L.; Huang, N. Unravelling property of polysaccharides from Sargassum sp. as an anti-wrinkle and skin whitening property. Int. J. Biol. Macromol. 2019, 140,p. 216–224.
77.Haresh S. Kalasariya, Carlos Eliel Maya-Ramírez, João Cotas, Leonel Pereira. Cosmeceutical Significance of Seaweed: A Focus on Carbohydrates and Peptides in Skin Applications. Phycology 2024, 4(2), p.276-313.
78. Janssens-Böcker, C., Wiesweg, K. Doberenz, C. (2023) Exploring the Therapeutic Potential of Algae-Based Sheet Masks in Skincare: A Comprehensive Study of Cosmetological Benefits and Microbiome Balanced Interactions. Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications, 2023, 13, p.277-301.
79.Calle Niemi, Junko Takahashi, András Gorzsás, Francesco G. Gentili. Quantitative and qualitative saccharide analysis of North Atlantic brown seaweed. International Journal of Biological Macromolecules,Volume 254, Part 3, January 2024, 127870
80.Hélène Ozanne Hechmi Toumi Benoît Roubinet, Ludovic Landemarreet al.. Laminarin Effects, a β-(1,3)-Glucan, on Skin Cell Inflammation and Oxidation. Cosmetics, 2020, 7(3), p. 66-87.

81.Shanmugapriya Karuppusamy, Gaurav Rajauria, Stephen Fitzpatrick, Henry Lyons et al.. Biological Properties and Health-Promoting Functions of Laminarin: A Comprehensive Review of Preclinical and Clinical Studies . Mar Drugs. 2022, 20(12): 772-799.
82.Sheersha Pramanik, Anshul Singh, Bassam M. Abualsoud A. and others. From algae to advancements: laminarin in biomedicine RSC Adv., 2024, 14, 3209-3231.
83.Katarzyna Adamiak, Alina Sionkowska. State of Innovation in Alginate-Based Materials. Mar Drugs, 2023, 21(6), p.353-379.
84.Mariana de Sousa Santos, Pio Colepicolo, Leonardo Zambotti. Macroalgae Biorefinery for the Cosmetic Industry: Basic Concept, Green Technology, and Safety Guidelines Phycology 2023, 3(1), p.211-241.
85. Tümen Erden S, Ekentok Atici C, Cömez B, Sezer AD Preparation and in vitro characterization of laminarin-based hydrogels. J. Res. Pharm. 2021; 25,p.164–172.
86.Huang Y, Jiang H, Mao S, Ci F. Laminarin and laminarin oligosaccharides derived from brown algae: production, biological activities, and potential applications. Journal of Ocean University of China. 2021, 20, p. 641–653.
87.Shujun Ye,Kundong Xie,Osman Tuncay Agar, Colin J. Barrow et al..Brown Seaweed Alginates as a Promising Natural Source: A Review of Their Properties and Health Benefits. Published online: 2023, 12 Nov.
88. Cosmetics - Snap Natural & Alginate Products. snapalginate.com. https://snapalginate.com › cos...
89.Barbara Jadach, Weronika Świetlik, Anna Froelichet al.. Sodium Alginate as a Pharmaceutical Excipient: Novel Applications of a Well-known Polymer. Journal of Pharmaceutical Sciences, 2022,V. 111, Issue 5, p. 1250-1261.
90.The information you need to know about red algae in cosmetics. Typology. https://uk.typology.com › Carnet › Active Ingredients
91.Majid Khanzadeh, Seyed Hossein Hoseinifar, Babak Beikzadeh. Investigating the effect of hydroalcoholic extract of red algae (Laurencia caspica). Aquaculture Reports, April 2024, Volume 35, 101984.
92.Ya-Jing Chen, Xin Sui,, Yue Wang, Zhi-Hui Zhaoet al.. Preparation, structural characterization, biological activity, and nutritional applications of oligosaccharides. Food Chemistry X, 2024 22(6):101289.
93.Sanjay Singh, Vaishnavi Purwar. Role ofalgae in cosmetics. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT) 2022, V. 10, Issue 6, p.73-78.
94. Chen X., Fu X., Huang L., Xu J., Gao X. Agar oligosaccharides: A review of preparation, structures, bioactivities and application. Carbohydr. Polym. 2021, 265:118076.
95. Aziz E., Batool R., Khan M.U., Rauf A., et al..An overview on red algae bioactive compounds and their pharmaceutical applications. J. Altern. Complement. Med. 2021, 17, p.552-582.
96. Tafuro G, Costantini A, Baratto G, Francescato S et al.. Characterization of polysaccharide associations for cosmetic use: rheology and texture analysis. Cosmetics. 2021, 8, p.62-79.
97.Wang L., Jayawardena T.U., Yang H.-W., Lee H.-G., Jeon Y.J. Potential of sulfated polysaccharides isolated from the brown algae Ecklonia maxima in cosmetics: antioxidant, antimelanogenic and photoprotective activities. Antioxidants. 2020, 9, p.724.- 739.

98. Hentati F., Pierre G., Ursu A.V., Vial C.et al.. Rheological investigations of water-soluble polysaccharides from the Tunisian brown seaweed Cystoseira compressa. Food Hydrocoll. 2020, 103:105631.
99. Pangestuti R., Shin K.-H., Kim S.K. Anti-photoaging and potential skin health benefits of seaweeds. Mar. Drugs. 2021,19,p.172-200.
100.Wang L., Oh J.-Y., Lee W., Jeon Y.-J. Fucoidan isolated from Hizikia fusiforme suppresses ultraviolet B-induced photodamage. Int. J. Biol. Macromol. 2021, 166, p.751–759.
101. Chen X., Fu X., Huang L., Xu J., Gao X. Agar oligosaccharides: A review of preparation, structures, bioactivities and application. Carbohydr. Polym. 2021; 265: 118076.
102.Surabhi Joshi, Roshani Kumari, Vivek N. Upasani. Applications of Algae in Cosmetics: An Overview. International Journalof Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2018, Vol. 7, Issue 2, p.1269-1278.
103. Kidgell J.T., Carnachan S.M., Magnusson M., Lawton R.J. et al..Are all ulvans equal? A comparative assessment of the chemical and gelling properties of ulvan from blade and filamentous Ulva. Carbohyd. Polym. 2021; 264: 118010.
104. Fournière M., Bedoux G., Lebonvallet N., Lescchiera R. et al..Poly-and oligosaccharide ulva sp. Fractions from enzyme-assisted extraction. Potential in antiaging dermo-cosmetic applications. Mar. Drugs. 2021,19, p.156-176.
105. Qingyuan Wu, Na Cheng, Danjiao Fang, Hao Wang et al..Recent advances on application of polysaccharides in cosmetics. Journal of Dermatologic Science and Cosmetic Technology, 2024, Volume 1, Issue 1, 100004.
106.Tang, W.; Han, T.; Liu, W.; He, J.; Liu, J. Pectic oligosaccharides: enzymatic preparation, structure, bioactivities and application Critical Reviews in Food Science and Nutrition 2024 Mar 13, p. 1-17.
107.Mokgadi Ursula, Stanley Onwubu, Andile Khathi, Nomakhosi Mpofanaet al.. Cosmeceuticals from marine: the prospect of marine products in skin rejuvenation and care, Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences, 2024, 11:1, p. 297-317.
108.Yan, Y.; Wang, M.; Chen, N.; Wang, X. et al.. Isolation, structures, bioactivities, application and future prospective for polysaccharides from Tremella aurantialba: a review Frontiers in. Immunology 2022, 13: 1091210
109.Long, J.; Ye, Z.; Li, X.; Tian, Y.et al.. Enzymatic preparation and potential applications of agar oligosaccharides: a review Critical Reviews in Food Science and Nutrition 2022, p. 1-17.
110. Khan, B.M.; Qiu, H.M.; Xu, S.Y.; Liu, Y.Physicochemical characterization and antioxidant activity of sulphated polysaccharides derived from Porphyra haitanensis. Int J Biol Macromol, 2020, 145, p. 1155–1161.
111.Ali Karami, Sharif Makhmalzadeh, Pooranian M., Rezai, A. Preparation and optimization of silibinin-loaded chitosan–fucoidan hydrogel: An in vivo evaluation of skin protection against UVB. Pharm. Dev. Technol. 2021, 26, p. 209–219.
112.LinG.-P.; WuD.-S.; XiaoX.-W.; Q.-Y Huang et al.. Structural characterization and antioxidant effect of green alga Enteromorpha prolifera polysaccharide in Caenorhabditis elegans via modulation of microRNAs. Int. J. Biol. Macromol. 2020, 150, p. 1084–1092.

113.Mo'o F.R.C.; Wilar G.; Devkota H.P.; Wathon, N. Ulvan, a polysaccharide from Macroalga Ulva sp.: A review of chemistry, biological activities and potential for food and biomedical applications. Appl. Sci. 2020, 10, 5488- 5509.
114. Kidgell, J.T.; Carnachan, S.M.; Magnusson, M.; Lawton, R.J. et al.. Are all ulvans equal? A comparative assessment of the chemical and gelling properties of ulvan from blade and filamentous Ulva. Carbohyd. Polym. 2021, 264, 118010.
115.Li B.; Xu H.; Wang X.; Wang Y et al.. Antioxidant and antihyperlipidemic activities of high sulfate content purified polysaccharide from Ulva pertusa. Int. J. Biol. Macromol. 2020, 146, p. 756–762.
116.Yu B.; Bi D.; Yao L.; Li T. et al.. The inhibitory activity of alginate against allergic reactions in an ovalbumin-induced mouse model. Food Funct. 2020, 11, p.2704–2713.
117.Maíra Bueno Ariede, Thalita Marcílio Candido, Ana Lucia Morocho Jacome, Maria Valéria Robles Velasco.Cosmetic attributes of algae - A review. Algal Research. 2017, Vol. 25, P. 483-487.
118.Abbas Sadeghi, Ali Rajabiyan, Nafise Nabizade, Najme Meygoli etal.. Seaweed-derived phenolic compounds as diverse bioactive molecules. International Journal of Biological Macromolecules. 2024 May, Vol. e 266, Part 1, 131147.
119.João Cotas, Diana Pacheco, Pedro Monteiro, Ana M M Gonçalveset al.. 4 Marine phenolics: Extractions at low pressure. In book: Marine Phenolic Compounds. Publisher: ELSEVIER. 2023, p.115-146.
120.Ni Putu Ermi Hikmawanti, Sherley, Agustin, M. The effect of extraction methods on total phenolics and antioxidant activities in Caulerpa racemosa (Forsskal) J. Agardh extracts. 2023,Vitae, 30(2), p.24- 32.
121.Vigasini Subbiah, Faezeh Ebrahimi, Osman T. Agar, Frank R. Dunshea et al.. Comparative Study on the Effect of Phenolics and Their Antioxidant Potential of Freeze-Dried Australian Beach-Cast Seaweed Species upon Different Extraction Methodologies. Pharmaceuticals (Basel). 2023 May; 16(5), p.773- 818.
122. Sanson S., Brunet S. Seaweed antioxidants. Antioxidants. 2020, 9(3) P.11–34.
123.Manandhar, B.; Wagle, A.; Seong, S.H. et al.. Phlorotannins with Potential Anti-tyrosinase and Antioxidant Activity Isolated from the Marine Seaweed Ecklonia stolonifera. Antioxidants 2019, 8, p. 240- 256.
124.Leandro, A.; Pereira, L.; Gonçalves, A.M.M. Diverse Applications of Marine Macroalgae. Mar. Drugs 2019Dec 24, 18(1): 17., p.126-138.
125.Pereira L. Seaweeds as source of bioactive substances and skin care therapies - Cosmeceuticals, algotherapy and thalassotherapy. Cosmetics 2018, 5(4), p. 68- 78.
126. Pereira L. Therapeutic and Nutritional Uses of Algae. CRC Press; Boca Raton, FL, USA: 2018 January.
127. Xiaojun Yan, Jinrong Zhang, Shan He, Wei Cui. The New Products from Brown Seaweeds: Fucoxanthin and Phlorotannins. Sustainable Global Resources of Seaweeds. 2022,Vol. 2, 2022, p. 181-202.
128. Seaweed for Cosmetic Applications. https://www.lifeasible.com › seaweed-for-cosmetic-applic...
129. Mekinić I.G., Skroza D., Šimat V., Hamed I.et al..Phenolic content of brown algae (Pheophyceae) species: Extraction, identification, and quantification. Biomolecules. 2019, 9, p. 244- 255.

130.Arguelles, E. D., Sapin, A. B.Bioactive properties and therapeutic potential of Padina australis Hauck. International Journal of Agricultural Technology, 2022, Vol. 18(1). p.13-34.
131.Kumar L.R., Paul P.T., Anas K.K., Tejpal C.S.et al.. Phlorotannins–bioactivity and extraction perspectives. J. Appl. Phycol. 2022; 34, p. 2173–2185.
132. Coralie Rousseau, Gautier Demoulinger, Sylvie Rousvoal, Delphine Champeval et al..A review on the chemical ecology of the Fucaceae holobionts: from fundamental knowledge to applications.Comptes Rendus Chimie, 2024,35, p. 1-26.
133.Fazlurrahman Khan, Geum-Jae Jeong, Mohd Sajjad Ahmad Khan, Nazia Tabassum. Seaweed-Derived Phlorotannins: A Review of Multiple Biological Roles and Action Mechanisms.Mar Drugs. 2022, 20(6), p. 384-415.
134. M. D. Catarino, S. M. G. Pires, S. Silva, F. Costa, et al..Overview of Phlorotannins' Constituents in Fucales.Marine Drugs, 2022, 20 (12). p. 754- 781.
135. Leonel Pereira, Ana Valado. Harnessing the power of seaweed: unveiling the potential of marine algae in drug discovery. Exploration of Drug Science, 2023, p. 475-496
136. Maheshwari V. Babu PAS Phlorotannins and their derivatives, potential antiviral molecules from brown algae, a review. Russ. J. Mar. Biol. 2022;48,p.309–324.
137.De Lima Cherubim D.J., Buzanello Martins C.V., Oliveira Fariña L., da Silva de Lucca R.A. Polyphenols as natural antioxidants in cosmetics applications. J. Cosmet. Dermatol. 2020, 19,p.33–37.
138. Susano P., Silva J., Alves C., Martins A. et al..Unravelling the Dermatological Potential of the Brown Seaweed Carpomitra costata. Mar. Drugs. 2021, 19, p. 135-147.
139. Yoon Ji Kwon, Oh Ig Kwon, Hye Jeong Hwang. Hyeon-Cheol Shin et al..
Therapeutic effects of phlorotannins in the treatment of neurodegenerative disorders Front. Mol. Neurosci., 2023,Volume 16.
140.Catarino M.D., Amarante S.J., Mateus N., Silva A.M.S., Cardoso S.M. Brown algae phlorotannins: A marine alternative to break the oxidative stress, inflammation and cancer network. Foods. 2021, 10(7),p.1478.
141. Rajan D.K., Mohan K., Zhang S., Ganesan A.R. Dieckol: A brown algal phlorotannin with biological potential. Biomed.Pharmacother. 2021,142:111988.
142.Camila F. Secco Bastos, Maria Carpen, Franklin Chamorro, Rafael Nogueira-Marqueset al..Phlorotannins as Bioactive Agents from Brown Algae: Chemical Characterization and Extraction Methods. Proceedings, 2024, 103(1), 63- 75.
143.Hui Dong, Songtao Dong, Poul Erik Hansen, Dimitrios Stagos et al..Progress of Bromophenols in Marine Algae from 2011 to 2020: Structure, Bioactivities, and Applications. Mar Drugs. 2020, 18(8): 411.
144.Hui Dong, Poul Erik Hansen, Songtao Dong, Dimitrios Stagoset al..Marine natural bromophenols: Sources, structures, main bioactivities, and toxicity. In book: Marine Phenolic Compound. 2023, p.87-112.
145.C. Landa-Cansigno, E. Serviere-Zaragoza, T.K. Morales-Martínez, J.A. Ascacio-Valdes et al.. The antioxidant and anti-elastase activity of the brown seaweed Sargassum horridum (Fucales, Phaeophyceae) and their early phenolics and saponins profiling for green cosmetic applications. Algal Research, V. 75, 2023, 103271.

146.Houssem Boulebd. Mechanistic Insights into the Antioxidant and Pro-oxidant Activities of Bromophenols from Marine Algae: A DFT Investigation. The Journal of Organic Chemistry 2024, 89 (11),p. 8168-8177.
147.Dong H., Wang L., Guo M., Stagos D. et al.. Antioxidant and Anticancer Activities of Synthesized Methylated and Acetylated Derivatives of Natural Bromophenols. Antioxidants. 2022,11, p. 786-804.
148. Ryu Y.S., Fernando P.D.S.M., Kang K.A., Piao M.J. et al..Marine compound 3-bromo-4,5-dihydroxybenzaldehyde protects skin cells against oxidative damage via the Nrf2/HO-1 pathway. Mar. Drugs. 2019, 17,p.234-250.
149. Cho S.H., Heo S.J., Yang H.W., Ko E.Y.et al.. Protective effect of 3-bromo-4,5-dihydroxybenzaldehyde from Polysiphonia morrowii harvey against hydrogen peroxide-induced oxidative stress in vitro and in vivo. J. Microbiol. Biotechnol. 2019, 29, p.1193–1203.
150. Kim K., Hyun Y., Hewage S.R., Piao M.et al.. 3-bromo-4,5-dihydroxybenzaldehyde enhances the level of reduced glutathione via the Nrf2-mediated pathway in human keratinocytes. Mar. Drugs. 2017, p.152-162.
151.Pilar Fallas Rodríguez, Laura Murillo-González, Evelyn Rodríguez, Ana M. Pérez. Marine phenolic compounds: Sources, commercial value, and biological activities. Marine Phenolic Compounds, 2023, p. 47-86.
152.Riwanti, P., Mahmiah, M., Juniar, K. Antioxidant activity of brown algae extract (Sargassum sp): A review", Science Midwifery, 2024,11(6), p. 962-970.
153. Ferdous U.T., Balia Yusof Z.N. Insight into Potential Anticancer Activity of Algal Flavonoids: Current Status and Challenges. Molecules. 2021, 26, p. 6844-6859.
154. Xiao X., Li C., Huang H., Lee Y.P. Inhibition effect of natural flavonoids on red tide alga Phaeocystis globosa and its quantitative structure-activity relationship. Environ. Sci. Pollut. Res. 2019; 26, p. 23763–23776.
155. Maheswari Vinodkumar. Effective Isolation of Brown Seaweed Flavonoids with Their Potential to Inhibit Free Radicals and Proliferative Cells. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 2023, 33(12), p. 1-11.
156.Azhagu Saravana, Babu Packirisamy, Umme Tamanna Ferdous, Zetty Balia Yusof. Insight into Potential Anticancer Activity of Algal Flavonoids: Current Status and Challenges. Molecules, 2021, 26(22), 6844.
157. Francisco Canindé Ferreira, Wallax Augusto Silva, Samir Mansour Moraes,Edivaldo Herculano Correa et al.. Anticancer Potential of Flavonoids: An Overview with an Emphasis on Tangeretin Pharmaceuticals 2023, 16(9), 1229.
158. M. M. V. Sasadara, I Gede Putu Wirawan. Effect of extraction solvent on total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity of Bulung Sangu (Gracilaria sp.) Seaweed. 3rd international conference on bioscience and biotechnology. Lombok, Indonesia. 2021,Vol. 712(1).
159. Nedeljka N Rosic, Mike Climstein, Glen M Boyle, Thanh Nguyen. Exploring Mycosporine-like Amino Acid UV-Absorbing Natural Products for a New Generation of Environmentally Friendly. Marine Drugs 2023,21(4), p.253 – 261.

160. Fanny Lalegerie, Valérie Stiger-Pouvreau, Solène Connan. Mycosporine-like Amino Acids in Palmaria palmata (Rhodophyta): Specific Implication of Usujirene in Photoprotection.Marine Drugs, 2024, 22(3), p. 121-135

On the possibility of using seaweeds as raw materials for producing cosmetics and cosmeceuticals (Review).

Yavich P. A.*,Kakhetelidze M. B ., Kikalishvili B.Yu.

Institute of Pharmacochemistry I. Kutateladze Tbilisi State Medical University

Abstract. The use of seaweed in cosmetics and cosmeceuticals is described. It is shown that the biologically active substances contained in them have antibacterial, antifungal, antioxidant and anti-inflammatory properties, have UV-protective, antimicrobial, antiviral, antiallergic, antioxidant and other activities.

Key words. UV protection, algae, cosmetics, cosmeceuticals, carotenoids, chlorophyll.

კოსმეტიკური და კოსმეცევტიკური საშუალებების წარმოებისთვის ზღვის წყალმცენარეების ნედლეულის სახით გამოყენების შესაძლებლობის შესახებ (მიმოხილვა).

იავიჩი პავლე აბრამის ძე*, კახეთელიძე მზია ბონდოს ას., კიკალიშვილი ბელა იურის ას.

თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ი.ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტი

რეზიუმე. აღწერილია ზღვის წყალმცენარეების გამოყენება კოსმეტიკასა და კოსმეცევტიკაში. ნაჩვენებია, რომ მათში შემავალ ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებებს აქვთ ანტიბაქტერიული, სოკოს საწინააღმდეგო, ანტიოქსიდანტური და ანთების საწინააღმდეგო თვისებები, ახასიათებთ ულტრაიისფერი გამოსხივებისგან დამცავი, ანტიმიკრობული, ანტივირუსული, ანტიალერგიული, ანტიოქსიდანტური და სხვა მოქმედებები.

საკვანძო სიტყვები. უი-გამოსხივებისგან დაცვა, წყალმცენარეები, კოსმეტიკა, კოსმეცევტიკა, კაროტინოიდები, ქლოროფილი.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.17



კატეგორია: 1.5 ფარმაკოლოგია, ტოქსიკოლოგია და ფარმაცევტიკა

The Strategic Role of the Pharmacist in Environmental Risk Management

Nana Shashiashvili

Associate Professor,Georgian Technical University, Department of Pharmacy;

Tbilisi State Medical University, Department of Social and Clinical Pharmacy

ABSTRACT

The environmental consequences of pharmaceutical substances have become a pressing global issue. Emerging interdisciplinary fields such as eco-pharmacology and eco-pharmacovigilance focus on studying and preventing the harmful effects of pharmaceutical products on ecosystems. This article examines the main routes through which these compounds enter the environment, including wastewater discharge, improper disposal of unused medications, veterinary drug usage in agriculture, and pharmaceutical industry waste. It outlines the environmental impacts of these pollutants, such as endocrine disruption in aquatic life (fish and amphibians), the spread of antibiotic resistance, imbalances in aquatic microbiomes, and growth inhibition in plants. The responsibilities of pharmacists now extend beyond traditional roles, involving the promotion of sustainable prescribing practices, educating patients, engaging in policy development with an environmental focus, and supporting systems for proper drug disposal. This article stresses the need for enhanced public awareness, cross-disciplinary cooperation, and the implementation of comprehensive strategies to maintain ecological safety in pharmaceutical practices, thereby protecting both human health and the environment.

Keywords: Eco-pharmacovigilance, Environmental pharmacovigilance; Eco-pharmacology, Pharmacist, Pharmacoenvironmentology.

Introduction

Pharmacovigilance, as defined by the World Health Organization, encompasses the monitoring, evaluation, and prevention of adverse drug reactions in both humans and animals. In recent years, however, growing attention from scientists, regulatory bodies, and environmental organizations has shifted toward examining the environmental impact of pharmaceutical substances. This evolving field is often referred to as eco-pharmacology. Yet, the term lacks precise definitional boundaries. A more targeted and specialized approach introduces the concept of pharmacoenvironmentology, which

focuses on investigating the environmental consequences of pharmaceuticals, even when they are used appropriately for therapeutic purposes.

The associated risks become particularly apparent when medicines enter the environment due to improper disposal, excessive use, or careless waste management practices. For instance, the overuse of antibiotics and their subsequent release into ecosystems creates favorable conditions for the development of resistant microorganisms—a phenomenon now recognized as one of the most pressing global threats to public health.

Unfortunately, the systematic management of this issue remains underdeveloped. There is currently no internationally harmonized framework for the consistent and comprehensive assessment or monitoring of the ecological impact of pharmaceuticals. In many countries, national strategies are either entirely absent or limited to non-binding recommendations. This situation highlights the urgent need for an interdisciplinary approach that effectively integrates pharmacological, ecological, and regulatory perspectives.

Ensuring environmental safety across the entire pharmaceutical lifecycle—from manufacturing and distribution to consumption and disposal—has become an essential component of pharmaceutical practice. The presence of pharmaceutical residues in the environment poses significant threats to living organisms. In this context, the role of the pharmacist is expanding beyond patient counseling to encompass responsibilities as an environmental steward—actively contributing to the appropriate distribution and disposal of medications.

Eco-pharmacovigilance thus opens new avenues for expanding pharmacists' professional competencies, calling for their active involvement not only in policy development but also in raising public awareness and promoting sustainable pharmaceutical use.

Research Objective

This study aims to explore the significance of pharmaco-ecology and eco-pharmacovigilance in modern pharmaceutical practice. It focuses on identifying the primary pathways through which medicinal substances enter natural ecosystems and assessing their impact on human health, biodiversity, and ecosystem functionality. Moreover, the research seeks to define the evolving professional role of pharmacists in raising public awareness, managing ecological risks, and implementing preventive measures related to pharmaceutical pollution.

Research Methodology

The study is based on a comprehensive analysis of secondary data, including peer-reviewed publications and thematic literature in scientific and professional journals. A qualitative content analysis and thematic review approach was employed to identify key trends and threats associated with the environmental impact of pharmaceutical agents.

Results

In today's world, safeguarding ecosystems is becoming an increasingly urgent priority. Traditionally, pharmacovigilance has concentrated on evaluating the safety of pharmaceuticals in humans and animals. However, it is now evident that after therapeutic agents are administered and excreted, they continue to exert biological effects—this time on the environment.

Eco-pharmacovigilance (EPV) represents a logical extension of conventional pharmacovigilance and involves the monitoring of pharmaceuticals in the environment, evaluating their effects on non-target organisms, and managing potential ecological risks. Achieving these objectives requires the development of reliable databases, the collection of robust data, and the establishment of standardized methodologies. Equally crucial is the formation of interdisciplinary collaborations that bring together toxicologists, ecologists, pharmacists, and policy-makers.

The ecological "journey" of pharmaceutical compounds begins the moment they are administered. Due to their chemical stability and resistance to degradation, active pharmaceutical ingredients (APIs) can persist in the environment for extended periods, causing unintended effects across various biological species. Although medications are designed to modulate physiological processes in humans, similar pathways exist in other organisms, leading to unanticipated interactions with wildlife.

In response to these challenges, emerging scientific disciplines such as pharmacoenvironmentology and eco-pharmacology developed. While closely related, each focuses on slightly different aspects. Pharmacoenvironmentology investigates the environmental fate and consequences of therapeutics administered at standard clinical doses. In contrast, eco-pharmacology takes a broader view, encompassing not only medications but also other personal care products (PPCPs) such as cosmetics, sunscreens, fragrances, and even pesticides. Both fields share a common concern: understanding and mitigating the environmental impacts of pharmaceutical and related substances.

Although the diversity of terminology can create some confusion among professionals, these disciplines ultimately converge on a shared goal—reducing the negative ecological footprint of pharmaceutical products.

Eco-pharmacovigilance requires a holistic and systems-oriented approach, and it is increasingly being recognized as a matter of global concern. Its core objectives include:

- Continuous monitoring of pharmaceutical compound concentrations in various environmental compartments;
- Assessment of bioaccumulation, toxicity, and persistence of medicinal substances in non-target species;
- Development of regulatory frameworks that establish acceptable environmental thresholds and promote the use of pharmaceuticals with lower ecological impact;
- Raising awareness among healthcare professionals and the general public to encourage rational drug use and proper disposal practices;
- Supporting research and innovation aimed at the advancement of environmentally safer technologies.

The traditional notion of pharmaceutical safety must be expanded beyond clinical efficacy and patient outcomes. It is imperative to consider the ecological footprint of medicinal products across their entire life cycle—including manufacturing, use, and disposal. Integrating environmental considerations into all stages of a drug's development and utilization is essential for building a truly sustainable healthcare system.

Eco-pharmacovigilance, therefore, is not solely a scientific discipline—it is a shared global responsibility. It demands active engagement from the scientific community, robust and adaptive regulatory mechanisms, and forward-thinking innovation to ensure that the progress achieved in modern medicine does not come at the expense of ecological stability [1,2,3].

A comparative overview of eco-pharmacology and pharmacoenvironmentology, including their key distinctions and practical applications, is presented in Table 1.

Table 1. Comparative Overview of Eco-pharmacology and Pharmacoenvironmentology

Criterion	Eco-pharmacology	Pharmacoenvironmentology
Focus	Environmental impact of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs)	Environmental presence and consequences of pharmaceuticals used in therapy
Subject of Study	Pharmaceuticals, cosmetics, perfumes, sunscreens, pesticides, and other PPCPs	Pharmaceuticals administered to humans and animals
Target Effects	Assesses impact on both target and non-target organisms	Evaluates unintended effects on non-target organisms
Methodological Approach	Interdisciplinary: pharmacy, ecology, chemistry, toxicology	Environmental sciences, ecotoxicology, clinical pharmacology
Main Objective	Prediction and prevention of ecological harm	Analysis of environmental distribution and effects of active pharmaceutical ingredients (APIs)
Practical Application	Design of environmentally safer products and development of sustainable policies	Risk assessment and enhancement of regulatory frameworks
Terminological Breadth	Broader scope encompassing various product categories	Narrower scope focused specifically on medicinal products

Among global environmental challenges, the release of pharmaceuticals into the environment remains one of the least studied yet increasingly alarming issues. Recent scientific investigations have demonstrated that a range of pharmaceutical compounds—including antibiotics, antidepressants,

hormones, and analgesics—can now be detected across nearly all ecosystems. These substances have been identified in drinking water, surface and groundwater, treated effluents, and even within aquatic and terrestrial organisms (biota).

The primary sources of this contamination are linked to human and veterinary pharmaceutical usage, with subsequent excretion into wastewater systems. Additional pathways include industrial discharges, leachates from landfills, runoff from aquaculture, and insufficient waste management. A particular concern is the high concentration of active pharmaceutical ingredients (APIs) found in the vicinity of pharmaceutical manufacturing sites.

Although advances in medical science and the widespread availability of medications have undoubtedly improved human and animal health, they have also led to the unprecedented accumulation of pharmaceutical residues in the environment. This issue first gained attention in 1976 when drug residues were detected in the effluent of the Big Blue River wastewater treatment plant in Kansas City, USA—a discovery that marked a turning point in the global awareness of pharmaceutical pollution. Subsequent studies confirmed the presence of pharmaceuticals not only in drinking water but also in rivers and groundwater systems.

A notable example comes from Hyderabad, India, where research near pharmaceutical production facilities revealed concentrations of the antibiotic ciprofloxacin in local rivers exceeding the allowable levels in European drinking water standards by over 1,000-fold. In Sweden, traces of felodipine were identified, a compound known to disrupt the endocrine systems of fish after prolonged exposure.

The persistent presence of pharmaceuticals in the environment contributes to chronic contamination and can exert adverse effects on a variety of organisms. Documented ecological impacts include inhibited growth of aquatic plants, decreased fish populations, impaired liver function, altered reproductive and morphological development, and behavioral abnormalities in mollusks.

Particularly concerning is the role of antibiotics in promoting antimicrobial resistance (AMR), which poses a severe threat to both ecosystems and public health. The emergence and spread of resistant microbial strains are directly linked to environmental exposure. According to data from 2019, AMR was associated with approximately 1.27 million deaths worldwide, underscoring the global scale of the problem.

Despite the growing body of evidence, the ecotoxicological assessment of pharmaceuticals remains insufficient. A 2024 study by Spilsparm et al. revealed that only 1.5% of all medicinal products authorized in the European Union had undergone formal environmental risk evaluations.

Since the initial discovery of pharmaceutical residues in Kansas City's wastewater, research has expanded significantly. Compounds such as diclofenac, fluoxetine, ethinylestradiol, and even cocaine have been detected in various water systems, raising critical questions about their circulation and persistence within ecological food webs.

Once excreted from the body, pharmaceuticals may enter the environment either in their original, active form or as transformed metabolites. Many unchanged drug compounds retain biological activity, continuing to exert effects on living organisms. Numerous studies have shown trace concentrations of pharmaceuticals in drinking water, often at parts per million (ppm) or parts per trillion (ppt) levels. According to the U.S. Geological Survey, at least one pharmaceutical was present in 80% of tested water samples. The primary routes of contamination include human excretion and the improper disposal of unused medications.

Veterinary pharmaceuticals such as avermectins—including ivermectin and moxidectin—are of particular concern due to their long-lasting activity. Once excreted in feces, these compounds can disrupt soil biodiversity, hinder natural biodegradation processes, and adversely affect invertebrate populations, thereby disturbing ecological balance.

One of the critical challenges in managing pharmaceutical waste is the improper disposal of unused or expired medications through household waste streams. In several countries, including Germany and Australia, a significant portion of the population continues to dispose of medications in this manner. This practice contributes significantly to pharmaceutical pollution, a problem further exacerbated by insufficient regulatory oversight, limited public awareness, and a complex mix of legal and ethical concerns [4,5].

From an ecological, public health, and environmental protection standpoint, pharmaceutical contamination represents a pressing global issue. Effective mitigation demands a multidisciplinary strategy that includes strengthening regulatory frameworks, enhancing public and producer education, and implementing robust controls at the sources of contamination. The persistence of pharmaceutical residues in the environment underscores the growing interdependence between healthcare and environmental sciences. These fields increasingly overlap, sharing methodologies such as data collection, risk assessment, diagnostics, symptom evaluation, prevention strategies, and predictive analysis. Advancements in one discipline frequently inform and support the progress of the other, facilitating comprehensive and systemic improvements.

Promoting the rational use of medicines not only optimizes patient outcomes but also reduces their environmental burden. While environmental risk assessment (ERA) of pharmaceuticals remains underdeveloped, pharmacovigilance systems aimed at monitoring adverse effects in humans and animals are already well established. It is, therefore, both reasonable and necessary to broaden the scope of pharmacovigilance to encompass the environmental dimensions of pharmaceutical safety.

Growing attention is being paid to the environmental impact of both pharmaceuticals and personal care products. As a result, environmental risk assessments have become a regulatory requirement for both human and veterinary medicinal products. Although the European Medicines Agency (EMEA) has issued guidelines in this area, these documents often require further adaptation and flexibility to reflect regional and environmental specificities.

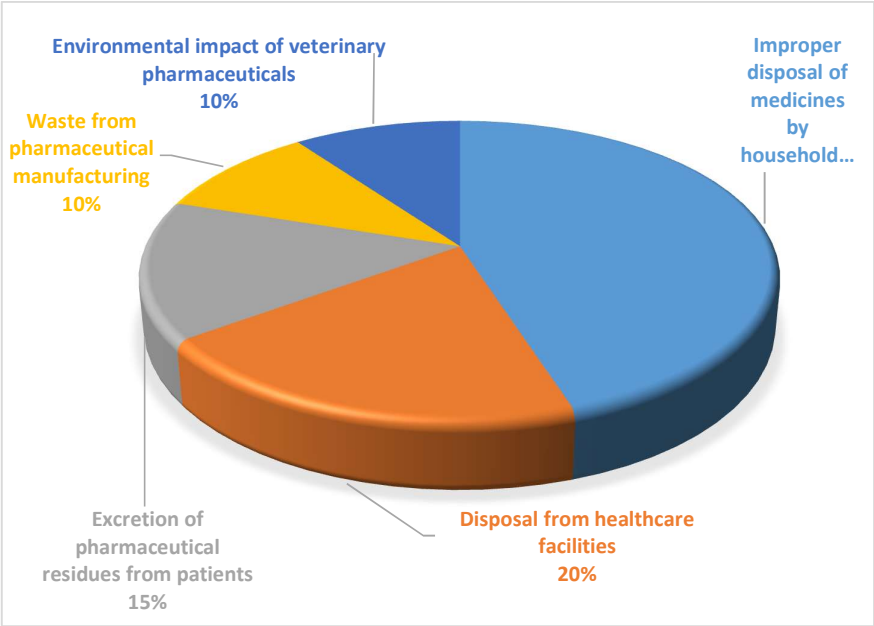
The environmentally sound disposal of medicinal products continues to be a largely unresolved issue. As expired and unused pharmaceuticals will inevitably accumulate, the establishment of clear and enforceable guidelines for their disposal is essential. While global institutions such as the World Health Organization (WHO), the World Bank, the European Union, and the U.S. Food and Drug Administration (FDA) acknowledge the problem, regulatory responses remain inconsistent and frequently inadequate—particularly in low- and middle-income countries. Therefore, the development of integrated strategies that govern the full life cycle of pharmaceuticals—from production to end-use—while incorporating environmentally responsible measures, is urgently required.

Pharmaceutical residues are a growing environmental concern, with multiple pathways contributing to their dispersion in ecosystems. The improper disposal of medicines, particularly by households, healthcare facilities, and pharmaceutical industries, significantly impacts the environment. The following chart highlights the main sources of pharmaceutical contamination and their relative contribution to the overall environmental burden.

- Improper Disposal of Medicines by Households (45%) – Households often dispose of unused or expired medications improperly, contributing to water and soil contamination. This is the leading source of pharmaceutical pollution.
- Disposal from Healthcare Facilities (20%) – Healthcare facilities, including hospitals and clinics, are another major source of pharmaceutical waste, often due to inappropriate disposal practices.
- Excretion of Pharmaceutical Residues from Patients (15%) – Patients excrete pharmaceutical residues through urine and feces, which can contaminate water supplies, especially in areas lacking proper wastewater treatment systems.
- Waste from Pharmaceutical Manufacturing (10%) – Pharmaceutical manufacturing processes also contribute to environmental pollution, particularly when waste is not properly managed.
- Environmental Impact of Veterinary Pharmaceuticals (10%) – The use of veterinary pharmaceuticals in agriculture, including for livestock and pets, is another important contributor to environmental contamination [6, 7,8].

The data presented in the Figure (N1) underscores the significant role that improper disposal and inadequate management of pharmaceutical waste play in environmental contamination. The most prominent source of pharmaceutical pollution comes from households, followed by healthcare facilities and manufacturing processes. To mitigate these impacts, there is a critical need for comprehensive waste management policies, public education on proper disposal methods, and the promotion of sustainable practices across all sectors involved in pharmaceutical use. Effective environmental safeguards will require cooperation between healthcare professionals, patients, regulatory bodies, and industries to reduce pharmaceutical residues in the environment.

Figure N1. Key Sources of Pharmaceutical Environmental Contamination



Eco-pharmacovigilance is an evolving interdisciplinary domain that bridges pharmacology with environmental health, focusing on the identification, prevention, and mitigation of the ecological impacts associated with pharmaceutical substances throughout their entire lifecycle—from development and use to final disposal. As active pharmaceutical ingredients (APIs) and their byproducts increasingly infiltrate natural ecosystems, they pose growing threats to biodiversity, environmental equilibrium, and public health. This makes eco-pharmacovigilance not only a scientific necessity but also a societal imperative.

While pharmaceuticals are designed to exert specific effects within the human body, a significant proportion of these substances—and their metabolites—escape into the environment through various routes. These include improper disposal of unused or expired medications, patient excretion, waste discharges from pharmaceutical manufacturing sites, and the application of veterinary drugs in agriculture. Once released, these compounds can contaminate soil, air, and water systems, leading to widespread ecological consequences.

Some of the major environmental concerns linked to pharmaceutical pollution include:

- Endocrine disruption in aquatic organisms, affecting reproductive and developmental systems in species such as fish and amphibians;
- Emergence of antimicrobial resistance due to continuous exposure of microorganisms to subtherapeutic concentrations of antibiotics;
- Destabilization of microbial ecosystems, particularly in aquatic environments, leading to long-term biodiversity loss;
- Impaired plant health and growth, as pharmaceutical residues accumulate in soil and alter its biological integrity.

In this context, eco-pharmacovigilance emerges not only as a scientific framework but also as a collective responsibility shared by healthcare providers, pharmaceutical companies, regulators, and

society at large. Among healthcare professionals, pharmacists are uniquely equipped to lead the integration of environmental stewardship into medication management and healthcare delivery [9,10].

Discussion

The Expanding Role of Pharmacists in Eco-pharmacovigilance

Pharmacists are on the frontline of medication use and are ideally positioned to influence practices that directly or indirectly affect the environment. Their responsibilities in promoting eco-pharmacovigilance extend far beyond traditional roles and encompass public education, sustainable prescribing, waste management, and policy advocacy. Their multifaceted contribution includes:

1. Public and Patient Education. Pharmacists play a key role in raising awareness about the environmental risks of improper medication disposal. Through patient counseling, community outreach, and educational campaigns, they can empower individuals to dispose of medications responsibly, thereby minimizing environmental contamination.
2. Implementation of Safe Disposal Systems. By advocating for and helping to establish structured drug take-back programs and secure disposal facilities, pharmacists ensure that expired or unused medications are not discarded in household waste or flushed into sewage systems. Their active involvement is crucial in making these systems accessible and effective.
3. Sustainable Medication Use and Prescribing Practices. Pharmacists, in collaboration with prescribers, can guide the selection and use of medications that are less persistent or toxic to the environment. They can help optimize dosage regimens to prevent excess and advocate for reduced use of antibiotics, aligning therapeutic goals with ecological responsibility.
4. Participation in Policy Development and Environmental Governance. With their technical expertise and practical insights, pharmacists can contribute to the formulation of environmental regulations related to pharmaceuticals. This may include guidelines for manufacturing emissions, monitoring of pharmaceutical residues in water supplies, or regulations governing waste disposal.
5. Promotion of Green Pharmacy Principles. Pharmacists can support and drive the adoption of environmentally sustainable practices across the pharmaceutical supply chain. This includes encouraging eco-friendly packaging, supporting research into biodegradable drug formulations, and participating in efforts to assess and improve the environmental profiles of existing medications.

Beyond the Counter: Pharmacists as Environmental Advocates

Pharmacists must be recognized as integral stakeholders in creating a sustainable pharmaceutical future. Their role should extend beyond dispensing to include active participation in:

- Research initiatives focused on pharmaceutical pollution and its mitigation;
- Advising municipal and national authorities on drug waste management strategies;
- Embedding environmental considerations into chronic disease management and long-term therapy planning;
- Promoting the use of pharmaceuticals with a favorable environmental risk profile when clinically appropriate.

Ultimately, the core principles of sustainable pharmaceutical practice—rational prescribing, informed patient behavior, and ecologically sound disposal—can only be achieved through the proactive engagement of pharmacists. By aligning clinical effectiveness with ecological awareness, pharmacists contribute not only to patient health but also to the preservation of our planet's ecological balance.

In an era where healthcare and sustainability are increasingly intertwined, pharmacists are no longer just dispensers of medicines—they are environmental stewards, educators, and policy influencers. Their leadership is essential to transforming eco-pharmacovigilance from a theoretical framework into a practical, everyday reality in global health systems [11,12].

Conclusion

The environmental impact of pharmaceuticals has become a major global issue, with pharmacists in a unique position to play a central role in addressing this challenge. Each stage of the pharmaceutical supply chain—manufacturing, distribution, use, and disposal—requires specific actions to reduce its ecological impact.

Pharmacists have the opportunity to lead by example, integrating sustainability into pharmaceutical practice. This requires a thorough reevaluation of prescribing, dispensing, and disposal practices to minimize the environmental footprint of medications.

Eco-pharmacovigilance is closely tied to the everyday tasks of pharmacists. To effectively contribute, they must be equipped with scientific knowledge and practical skills to manage pharmaceuticals responsibly, educate patients about appropriate usage and disposal, and support environmental preservation efforts. Eco-pharmacovigilance is a growing field that emphasizes the connection between pharmacological safety and environmental stewardship.

As the environmental effects of pharmaceuticals intensify, pharmacists' role in ensuring safe usage, disposal, and regulation of these products becomes even more critical. By embedding eco-pharmacovigilance principles into routine practice, pharmacists can help reduce the ecological risks associated with pharmaceuticals, promoting a healthier, more sustainable future.

Looking forward, pharmacists are poised to become key figures in the ecological chain, driving sustainable healthcare systems and environmental preservation. Their position at the intersection of public health and environmental protection allows them to shape practices and policies that balance therapeutic efficacy with ecological integrity.

References:

1. Rahman SZ, Khan RA, Gupta V, Uddin M. Pharmacoenvironmentology--a component of pharmacovigilance. Environ Health. 2007 Jul 24;6:20. doi: 10.1186/1476-069X-6-20. PMID: 17650313; PMCID: PMC1947975.

2. Dzidzornu, Ernest & Cherian, Jerin & D'souza, Joan & Pandit, Jayesh & Bernal, Melissa & Radovan, Diana. (2023). Ecopharmacovigilance: A review of cause, impact, and remedies. Medical Writing. 32. 118-121. 10.56012/rlhx7717.

3. Jun Wang, Shulan Li, Yujie Zhu, Jie Guo, Juan Liu, Bingshu He, Targeted eco-pharmacovigilance as an optimized management strategy for adverse effects of pharmaceuticals in the environment, Environmental Toxicology and Pharmacology, Volume 82, 2021, 103565,ISSN 1382-6689, https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103565.

4. Toma, Alexandra & Crisan, Ofelia. (2018). Green Pharmacy – A Narrative Review. Clujul Medical. 91. 10.15386/cjmed-1129.

5. Durdov, T., Perišin, A. Š., Škaro, N., Bukić, J., Leskur, D., Modun, D., Božić, J., Grgas, M., & Rušić, D. (2024). Future Healthcare Workers and Ecopharmacovigilance: Where Do We Stand? Pharmacy, 12(5), 146. https://doi.org/10.3390/pharmacy12050146

6. OECD. (2019). Pharmaceutical residues in freshwater: Hazards and policy responses. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/c936f42d-en

7. World Health Organization (WHO) & United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). Sustainable health care waste management: Global review. WHO & UNEP. https://www.who.int/publications/i/item/9789240011632

8. European Medicines Agency (EMA). (2006). Guideline on the environmental risk assessment of medicinal products for human use. EMA/CHMP/SWP/4447/00. https://www.ema.europa.eu

9. Daughton, Christian & Ruhoy, Ilene. (2011). Green pharmacy and pharmEcovigilance: Prescribing and the planet. Expert review of clinical pharmacology. 4. 211-32. 10.1586/ecp.11.6.

10. European Medicines Agency. (2024). Guideline on the environmental risk assessment of medicinal products for human use (EMEA/CHMP/SWP/4447/00 Rev. 1 – Corr.). European Medicines Agency. https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/guideline-environmental-risk-assessment-medicinal-products-human-use-revision-1_en.pdf

11. International Pharmaceutical Federation. (2015). Green pharmacy practice: Taking responsibility for the environmental impact of medicines.nInternational Pharmaceutical Federation.https://www.fip.org/files/fip/publications/2015-12-Green-Pharmacy-Practice.pdf

12. Gubae K, Arega Moges T, Agegnew Wondm S, Bayafers Tamene F, Kiflu M, Aschale E, Belachew EA. Ecopharmacology: Knowledge, Attitude, and Medication Disposal Practice Among Pharmacy Students. Integr Pharm Res Pract. 2023 Oct 24;12:185-193. doi: 10.2147/IPRP.S428457. PMID: 37901480; PMCID: PMC10612519.

ფარმაცევტის სტრატეგიული როლი ეკოლოგიური საფრთხეების მართვაში

ნანა შაშიაშვილი

ასოცირებული პროფესორი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ფარმაციის დეპარტამენტი
თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, სოციალური და კლინიკური ფარმაციის დეპარტამენტი

აბსტრაქტი

ფარმაცევტული პროდუქტით გამოწვეული გარემოზე ზემოქმედება თანამედროვე ეკოლოგიური საფრთხის მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს. მედიკამენტების აქტიური კომპონენტების გარემოში მოხვედრა, არასათანადოდ განადგურებული პრეპარატების, საკანალიზაციო სისტემების, სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული ვეტერინარული საშუალებებისა და წამლის წარმოებიდან წარმოშობილი ნარჩენების მეშვეობით, ქმნის ფარმაკოეკოლოგიური რისკების კომპლექსს. ამ პრობლემის საპასუხოდ, თანამედროვე ფარმაცევტურ პრაქტიკაში ყალიბდება ახალი ინტერდისციპლინური დარგები: ფარმაკოეკოლოგია და ეკოფარმაკოუსაფრთხოება, რომლის მიზანია გარემოზე მედიკამენტების ზემოქმედების შეფასება, პრევენციული ღონისძიებების დაგეგმვა და მდგრადი განვითარების ხელშეწყობა. წარმოდგენილ კონტექსტში ფარმაცევტის როლი სცილდება ტრადიციულ ჩარჩოებს და მოითხოვს აქტიურ მონაწილეობას ეკოლოგიური რისკების მართვაში: არასასურველი პრეპარატების განადგურების პროცესების ზედამხედველობას, გარემოსდაცვითი განათლების პროგრამებში ჩართულობას, საზოგადოებრივი ცნობიერების ამაღლებას და გარემოზე ორიენტირებული საკანონმდებლო ინიციატივების მხარდაჭერას. გარდა ამისა, ფარმაცევტებს შეუძლიათ მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანონ ეკოლოგიურად უსაფრთხო საშუალებების პოპულარიზაციასა და იმ პროტოკოლების შემუშავებაში, რომლებიც ხელს შეუწყობს ეკოსისტემის გაჯანსაღებას. პროფესიული საქმიანობის გაფართოება გარემოსდაცვითი მიმართულებით სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნებისა და გლობალური ეკოლოგიური გამოწვევების წინააღმდეგ ბრძოლის მიმართულებით.

საკვანძო სიტყვები: ეკოფარმაკოუსაფრთხოება, ეკოლოგიური უსაფრთხოება, ფარმაკოეკოლოგია, ფარმაცევტი.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.18



კატეგორია: 1.5 ფარმაკოლოგია, ტოქსიკოლოგია და ფარმაცევტიკა, 2.2. ბიზნესი, მენეჯმენტი და ბუღალტერია

ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიები ფარმაცევტულ სექტორში

ნანა შაშიაშვილი[1,2], მარიამ ბაქრაძე[3]

[1]ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ფარმაციის დეპარტამენტი

[2]ასოცირებული პროფესორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, სოციალური და კლინიკური ფარმაციის დეპარტამენტი

[3]სტუდენტი, კავკასიის უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი

ბოლო წლებში ციფრულმა მარკეტინგმა მნიშვნელოვანი როლი შეიძინა ფარმაცევტულ სექტორში, რაც განპირობებულია ტექნოლოგიური პროგრესით, ბაზრის დინამიკითა და მომხმარებელთა მოთხოვნების ზრდით. ფარმაცევტული კომპანიები იყენებენ სხვადასხვა ციფრულ სტრატეგიას, როგორიცაა კონტენტის მარკეტინგი, საძიებო სისტემის ოპტიმიზაცია (SEO), სოციალური მედიის, ელფოსტისა და მობილური მარკეტინგი, ბრენდის ცნობადობის გასაზრდელად და მომხმარებელთან კომუნიკაციის გასაუმჯობესებლად. ნაშრომი იკვლევს ციფრული მარკეტინგის გამოყენების თავისებურებებს ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში და აფასებს მის გავლენას მომხმარებელთა ინფორმირებულობაზე, კომუნიკაციის გაღრმავებაზე და ბაზარზე კომპანიის პოზიციონირებაზე. ასევე, განხილულია ციფრული არხების ეფექტური გამოყენების მნიშვნელობა, მონაცემთა ანალიზის როლი, რეგულაციების დაცვა და ეთიკური საკითხები. ნაჩვენებია, რომ მიუხედავად ციფრული მარკეტინგის უპირატესობებისა, ფარმაცევტულ სექტორში მისი დანერგვა დაკავშირებულია გარკვეულ გამოწვევებთან, მათ შორის რეგულაციურ შეზღუდვებთან და მომხმარებელთა უნდობლობასთან. ნაშრომი ასკვნის, რომ ციფრული სტრატეგიების განვითარება აუცილებელია კონკურენტუნარიანობის შესანარჩუნებლად და მომხმარებელთა საჭიროებების უკეთ დასაკმაყოფილებლად.

საკვანძო სიტყვები: ციფრული მარკეტინგი, მარკეტინგული სტრატეგიები, ფარმაცევტული სექტორი

შესავალი

ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში ციფრული მარკეტინგი მოიცავს სტრატეგიებსა და ტექნოლოგიებს, რომლებიც გამოიყენება პროდუქტებისა და სერვისების პოპულარიზაციისთვის მრავალფეროვანი ონლაინ არხების გამოყენებით და მიმართულია სამიზნე აუდიტორიაზე. ის საშუალებას აძლევს ფარმაცევტულ ბრენდებს შეიმუშაონ ხარჯთეფექტური მარკეტინგული სტრატეგიები ჯანდაცვის პროფესიონალებსა და

მომხმარებლებთან კომუნიკაციისთვის. ტრადიციული მარკეტინგისგან განსხვავებით, რომელიც პროდუქტების ან სერვისების მარტივ პოპულარიზაციას გულისხმობს, ციფრული მარკეტინგი ფარმაციაში სპეციალიზებულია უშუალოდ დაინტერესებულ მხარეებზე, ჯანდაცვის პროფესიონალებზე, პაციენტებზე, ფარმაცევტებზე და ექიმებზე. თავად, ფარმაცევტული მარკეტინგი უნიკალურია, რადგან ის რთულ სამედიცინო ტერმინოლოგიას მარტივ, გასაგებ ენაზე გარდაქმნის და საშუალებას აძლევს საზოგადოებას მიიღოს ინფორმირებული გადაწყვეტილებები შესყიდვასთან დაკავშირებით. საბოლოოდ, ეს პროცესი ნდობაზეა დაფუძნებული, რადგან ფარმაცევტული პროდუქტები უშუალო გავლენას ახდენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

მიზანი

ნაშრომის მიზანია გააანალიზოს ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიების გამოყენების თავისებურებები ფარმაცევტულ სექტორში, შეაფასოს მათი გავლენა მომხმარებელთა ინფორმირებულობაზე, ბრენდთან ურთიერთობის გაღრმავებასა და ფარმაცევტული პროდუქტების ბაზარზე პოზიციონირებაზე. ასევე, მიზნად ისახება ციფრული კომუნიკაციის ეთიკური და რეგულატორული ასპექტების კვლევა და სექტორში არსებული გამოწვევების გამოვლენა.

ძირითადი ტექსტი

ფარმაცევტული კომპანიები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ჯანდაცვის სექტორის გაძლიერებასა და პაციენტების ზრუნვაში. მათი მხარდაჭერისა და ზედამხედველობის გარეშე, რთულია წარმოდგენა, როგორ განვითარდებოდა ჯანდაცვის სერვისები. ფარმაცევტული ინდუსტრიის კომერციული ღირებულების განხილვისას, მარკეტინგი აუცილებელ ფაქტორად გვევლინება. ეფექტური და წარმატებული პროცესები მჭიდროდ არის დაკავშირებული ფარმაცევტული კომპანიის ფინანსურ წარმატებასთან. ეს სპეციფიკა ნათლად წარმოაჩენს, თუ რატომ უნდა განხორციელდეს ინვესტირება წამლის ინდუსტრიის მმიერ მარკეტინგულ სტრატეგიაში.

ფუნდამენტურ მიზეზებს შორის, რის გამოც ფარმაცევტულმა კომპანიებმა უნდა შექმნან და განახორციელონ მარკეტინგული სტრატეგია, გამოირჩევა:

- მყარი რეპუტაციის შექმნა ინდუსტრიაში (ციფრული მარკეტინგის საშუალებით კომპანიებს შეუძლიათ გააძლიერონ თავიანთი იმიჯი და ნდობა მომხმარებლების თვალში);
- ახალ ბაზრებზე შესვლა და გეოგრაფიულ რეგიონებში გაფართოება (ონლაინ პლატფორმების გამოყენებით შესაძლებელია ახალი აუდიტორიების მოზიდვა და გლობალური მასშტაბით გაფართოება);
- წარმატებული საბაზრო წილების მოპოვება (ეფექტური მარკეტინგული სტრატეგიები ეხმარება კომპანიებს კონკურენტებთან შედარებით უპირატესობის მოპოვებაში);

- არსებული მომხმარებლების შენარჩუნება და ახალი მომხმარებლების მოზიდვა/ჩართულობა (ციფრული არხების საშუალებით შესაძლებელია მომხმარებლებთან მუდმივი კომუნიკაცია და მათი საჭიროებების უკეთ გაგება).

შესაძლებელია გამოვყოთ ციფრული მარკეტინგის 4 ძირითადი სარგებელი ფარმაცევტული სექტორისთვის, კერძოდ:

1. აუდიტორიის გაფართოება:

ტრადიციული მარკეტინგული მეთოდებისგან განსხვავებით, ციფრული მარკეტინგი საშუალებას აძლევს ფარმაცევტულ კომპანიებს მიაღწიონ გლობალურ ბაზრებს და დაუკავშირდნენ ფართო აუდიტორიას;

2. ხარჯთეფექტიანობა:

ციფრული მარკეტინგული კამპანიები, როგორიცაა SEO და სოციალური მედიის მარკეტინგი, უფრო იაფი და ეფექტიანია, ვიდრე ტრადიციული რეკლამა (ტელევიზია, ბილბორდები, ბეჭდური მედია).

SEO - Search Engine Optimization ძებნის სისტემების ოპტიმიზაციის აბრევიატურაა. ის იმ პრაქტიკების კომპლექტს წარმოადგენს, რომელიც ეხმარება ვებგვერდს ან ონლაინ შინაარსს გუგლში (და სხვა ძებნის სისტემებში) დაიჭიროს უკეთესი პოზიცია და გახდეს მარტივად მოძებნადი მისთვის, ვინც დაინტერესებულია კონკრეტული ინფორმაციით.

მაგალითად: თუ ფარმაცევტული კომპანია ყიდის ბუნებრივ ნედლეულზე დამზადებულ კანის კრემს და მომხმარებელი გუგლში ეძებს *"საუკეთესო ბუნებრივი კანის კრემი"*, ეფექტიანი SEO-ის შემთხვევაში კომპანიის ვებსაიტი საძიებო შედეგების ზედა პოზიციებზე გამოჩნდება.

SEO მოიცავს: საკვანძო სიტყვების (keywords) სწორად შერჩევასა და ტექსტში გამოყენებას, კომპანიის ვებსაიტის ტექნიკურ ოპტიმიზაციას (მაგალითად სისწრაფე, მობილური ადაპტაცია და სხვა), მაღალი ხარისხის შინაარსის შექმნას, სხვა საიტებიდან ბმულების (backlinks) მიღებას და სტრუქტურული მონაცემების სწორად გამოყენებას (metadata, title tags, alt tags). ციფრულ მარკეტინგში, SEO განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რადგან ის უფასო ორგანულ (natural) ტრაფიკს ქმნის, რაც იმას ნიშნავს, რომ მომხმარებლები იღებენ ინფომაციას თანხის გადახდის გარეშე.

3. მონაცემთა ანალიზი და ოპტიმიზაცია:

ფარმაცევტულ კომპანიებს შეუძლიათ ციფრული მარკეტინგული ინსტრუმენტების გამოყენებით შეაგროვონ და გააანალიზონ მონაცემები მომხმარებელთა ქცევაზე, რაც ეხმარებათ სტრატეგიის გაუმჯობესებაში.

4. მომხმარებელთა ჩართულობის გაზრდა:

ციფრული არხების საშუალებით კომპანიებს შეუძლიათ უფრო აქტიურად დაუკავშირდნენ მომხმარებლებს, უპასუხონ მათ შეკითხვებს და გაუზიარონ მნიშვნელოვანი ინფორმაცია.

ციფრული მარკეტინგი ფარმაცევტული ინდუსტრიისთვის აუცილებელი ინსტრუმენტია, რომელიც ეხმარება კომპანიებს ბაზარზე პოზიციების გამყარებაში, მომხმარებელთა ინფორმირებაში და პროდუქტების პოპულარიზაციაში. ფარმაცევტული სექტორი უფრო და უფრო მეტად დამოკიდებული ხდება ციფრულ ტექნოლოგიებზე, რაც მათ

საშუალებას აძლევს მაქსიმალურად გაზარდონ დაინტერესებული მხარეების ჩართულობა და კონკურენტული უპირატესობა [1].

ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში გამოყენებულია სხვადასხვა ციფრული მარკეტინგული სტრატეგიები, კერძოდ:

1. სოციალური მედიის მარკეტინგი (SMM).

თანამედროვე ციფრულ კომუნიკაციაში სოციალური მედიის მარკეტინგი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ფარმაცევტული სექტორისთვის. ისეთი პლატფორმები, როგორიცაა *Facebook*, *Instagram*, *LinkedIn* და *Twitter*, საშუალებას აძლევს ფარმაცევტულ კომპანიებს დაამყარონ მჭიდრო ურთიერთობა როგორც მომხმარებლებთან, ისე ჯანდაცვის პროფესიონალებთან.

სოციალური ქსელების გამოყენება ხელს უწყობს ბრენდის ცნობადობის ამაღლებას, აუდიტორიის ჩართულობის ზრდას და პროფესიული ინფორმაციის ეფექტიან გავრცელებას. ამ არხებით შესაძლებელია მედიკამენტებთან დაკავშირებული სანდო ინფორმაციის გავრცელება, პაციენტთა კითხვებზე სწრაფი და პირდაპირი რეაგირება, ასევე საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის კამპანიების მხარდაჭერა და გაძლიერება. სოციალური მედია აძლიერებს ორმხრივ კომუნიკაციას და ქმნის პლატფორმას, სადაც შესაძლებელი ხდება ცოდნის გაზიარება, სწორი ინფორმაციის მიწოდება და მომხმარებელთა ნდობის მოპოვება.

2. ციფრული მარკეტინგის ფარგლებში საძიებო სისტემის ოპტიმიზაცია (SEO) და კონტენტ მარკეტინგი.

მაღალი ხარისხის სამედიცინო კონტენტის მქონე ვებგვერდების და ბლოგებისა შექმნა მნიშვნელოვნად ზრდის ფარმაცევტული კომპანიის ხილვადობას საძიებო სისტემებში (Google). თანამედროვე მომხმარებლები, პაციენტები, ჯანდაცვის პროფესიონალები, ხშირად მიმართავენ ინტერნეტს დაავადებების, მკურნალობის მეთოდებისა და წამლების შესახებ ინფორმაციის მოსაძიებლად, რაც SEO-ს სწორად გამოყენებას გარდაუვალ საჭიროებას წარმოაჩენს. საძიებო სისტემის ოპტიმიზაცია ნიშნავს იმგვარი კონტენტის შექმნას, რომელიც მაქსიმალურად შეესაბამება საძიებო ალგორითმების კრიტერიუმებს და აქვს მაღალ რეიტინგი საძიებო სისტემების შედეგების გვერდებზე (SERPs).

კონტენტ მარკეტინგი სხვადასხვა ტიპის ციფრული კონტენტის შექმნასა და გავრცელებას მოიცავს. პოტენციური მომხმარებლების მიზნობრივი ჩართვის მიზნით ამზადებენ ვიდეომასალებს, ინფოგრაფიკებს და სოციალური მედიის პოსტებს. ხარისხიანი, რეგულარული კონტენტის გამოქვეყნება აუმჯობესებს საძიებო რეიტინგებს, ზრდის ვებგვერდის ტრაფიკის და აუდიტორიასთან აყალიბებს გრძელვადიან და სანდო ურთიერთობას.

3. ელექტრონული ფოსტით მარკეტინგი (E-mail Marketing).

ელექტრონული ფოსტით მარკეტინგი ერთ-ერთ ეფექტურ ციფრულ სტრატეგიას წარმოადგენს, რომლის გამოყენებით კომპანიებს შეუძლიათ დაამყარონ და შეინარჩუნონ მიზნობრივი კომუნიკაცია ჯანდაცვის პროფესიონალებთან, სააფთიაქო ქსელებსა და პაციენტებთან. პერსონალიზებული ელფოსტის კამპანიებით შესაძლებელია საჭირო

საინფორმაციო მასალების მიწოდება კონკრეტული აუდიტორიისთვის მათი ინტერესებისა და საჭიროებების შესაბამისად. ეს მიდგომა ხელს უწყობს პროდუქტების ცნობადობის გაზრდას, სამედიცინო კვლევებისა და კლინიკური შედეგების გავრცელებას, მომხმარებელთა აქტიური ჩართულობას. დროულად და ეფექტიანად სანდო ინფორმაციის მიწოდება ხელს უწყობს პროფესიულ განათლებასა და ინფორმირებულ გადაწყვეტილებებზე დაფუძნებულ ქმედებებს ჯანდაცვის სექტორში.

4. ელექტრონული ფარმაცევტული სერვისები (E-Pharma).

ელექტრონული ფარმაცევტული სერვისები (E-Pharma) ციფრული ტრანსფორმაციის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიმართულება. ის მომხმარებლებს სთავაზობს სამკურნალო საშუალებებზე დისტანციური წვდომის შესაძლებლობას. ჯანდაცვის ციფრული პლატფორმების და ონლაინ აფთიაქების საშუალებით მომხმარებლებს შეუძლიათ შეიძინონ საჭირო მედიკამენტები დისტანციურად. E-Pharma არა მხოლოდ ონლაინ შეკვეთებსა და მედიკამენტების მიწოდების სერვისებს მოიცავს, არამედ ტელემედიცინის ინტეგრაციასაც. სერვისები ხელს უწყობს სამკურნალო პროცესის ხელმისაწვდომობასა და მიწოდების უწყვეტობას, განსაკუთრებით პაციენტებისთვის, რომელთაც შეზღუდული აქვთ მობილობა.

5. ონლაინ რეკლამები და Google Ads.

ონლაინ რეკლამები და *Google Ads* მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ფარმაცევტული პროდუქციის ციფრულ მარკეტინგში. **Pay-Per-Click (PPC)** ონლაინ რეკლამის ციფრული მოდელია და ეფუძნება შედეგზე ორიენტირებულ ბიუჯეტირებას. რეკლამის დამკვეთი კომპანიები თანხას იხდიან მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მომხმარებელი რეალურად დააწკაპუნებს მათ რეკლამაზე და გადავა შესაბამის ვებგვერდზე ან ლენდინგ გვერდზე.

PPC რეკლამის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული პლატფორმაა *Google Ads*, თუმცა ის აქტიურად გამოიყენება *Facebook Ad, Bing Ads* და სხვა ციფრულ არხებზეც. აღნიშნული PPC-ის მოდელი ეფექტურია იმ მხრივ, რომ რეკლამის განმთავსებელი მხოლოდ რეალური ქმედებისთვის იხდის თანხას, რითაც მარკეტინგული რესურსები ოპტიმალურად გამოიყენება. შესაძლებელია რეკლამის ტარგეტირება გამიზნულ გეოგრაფიულ მდებარეობაზე, ან აუდიტორიაზე, კონკრეტულ დემოგრაფიულ მახასიათებლებზე ან თუნდაც, საკვანძო სიტყვებზე. მიზანმიმართული რეკლამების, კერძოდ, *Pay-Per-Click (PPC)* მოდელის გამოყენება, კომპანიებს აძლევს შესაძლებლობას, სამიზნე მომხმარებლებს პირდაპირ და ეფექტიანად მიაწვდონ ინფორმაცია იმ დროს, როდესაც აქტიურად ეძებენ შესაბამის პროდუქტებს ან მომსახურებას. ის საძიებო სისტემებსა და ვებსაიტებზე ზრდის პროდუქტის ხილვადობას, ხელს უწყობს ბრენდის ცნობადობას და პოზიტიურად აისახება გაყიდვების მაჩვენებლებზე.

6. ვირტუალური კონფერენციები და ვებინარები.

ფარმაცევტული ინდუსტრიისთვის ვირტუალური კომუნიკაციის პლატფორმებმა ახალი სივრცეები შექმნა კომუნიკაციისა და განათლებისთვის. დღეს აქტიურად ატარებენ ვირტუალურ კონფერენციებსა და ვებინარებს ექიმებთან, ფარმაცევტებთან, მკვლევრებთან და სხვა ჯგუფებთან. ამგვარი ღონისძიებები პროფესიონალებს საშუალებას აძლევს მიიღონ

თანამედროვე ინფორმაცია კლინიკური კვლევების შედეგების, სამეცნიერო მიღწევების და ახალი საშუალებების შესახებ, განიხილონ თერაპიული მიდგომები ჩაერთონ დისკუსიებში.

ვებინარებიც მნიშვნელოვანი საგანმანათლებლო რესურსია. ის ხელს უწყობს ცოდნის გავრცელებას, უწყვეტ პროფესიულ განვითარებას, აუდიტორიასთან უშუალო კავშირის დამყარებას, ფარმაცევტული ბრენდების გაძლიერებას. ამგვარ პლატფორმებზე კომუნიკაცია აძლიერებს ფარმაცევტული ინდუსტრიის ინტეგრაციას პროფესიულ საზოგადოებებთან და ემსახურება სისტემის განვითარების მიზნებს [2].

ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიების გამოყენება ეხმარება ფარმაცევტულ კომპანიებს კონკურენტუნარიანობის შენარჩუნებაში, მომხმარებელთა ინფორმირებაში და ბაზარზე პოზიციონირებაში. კომპანიები ეძებენ ახალ გზებს მომხმარებლებთან დასაკავშირებლად, ციფრული მარკეტინგი, ასევე, მნიშვნელოვანია მომხმარებელთა ცოდნის ამაღლებასა და ბრენდის იმიჯის გაუმჯობესებაში. ციფრულ მარკეტინგული სტრატეგიების შორის გამოყოფენ მობილურ აპლიკაციებსაც, რომლის საშუალებით მომხმარებლებს მარტივად შეუძლიათ მიიღონ ინფორმაცია მედიკამენტების შესახებ, ასევე შეამოწმონ წამლის მიღების დრო და დოზა [3].

რეპუტაციის მართვაც ერთ-ერთი სტრატეგიაა, რომელიც ფარმაცევტული კომპანიებისთვის მნიშვნელოვანია თავიანთი ბრენდისა და პროდუქტების პოპულარიზაციის მიზნებისთვის. ის მოიცავს მომხმარებელთა მიმოხილვებისა და შეფასებების მონიტორინგს და მართვას, რაც ეხმარება კომპანიებს შეინარჩუნონ პოზიტიური იმიჯი და ნდობა მომხმარებლების მხრიდან [4].

წარმატებული ფარმაცევტული ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიის შემუშავებისთვის, გასათვალიწინებელია ფარმაცევტული ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიის ძირითადი კომპონენტები [5]:



ციფრული მარკეტინგი ანაცვლებს ტრადიციულ მარკეტინგულ სტრატეგიებს ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში. კვლევამ შეაფასა პაკისტანის ექიმების მიერ სოციალური მედიის გამოყენების მრავალმხრივი ასპექტები, ციფრული მარკეტინგის ამჟამინდელი როლი ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში და მისი გავლენა კლინიკური პრაქტიკის ცვლილებაზე. ინფორმირებული თანხმობის მიღების შემდეგ, კვლევაში ჩართული იყო 718 ექიმი, რომლებიც მუშაობდნენ სხვადასხვა კლინიკურ გარემოში და ჰქონდათ მინიმუმ ხუთწლიანი კლინიკური გამოცდილება. ყველაზე ხშირად გამოყენებული ციფრული მარკეტინგის არხები აღმოჩნდა WhatsApp (29.94%), ჯანდაცვის სისტემის ვებგვერდები (26.7%) და მობილური აპლიკაციები (20.6%). ნაკლებად ხელმისაწვდომი ინსტრუმენტები იყო ე-დეტალინგი (E-detailing)–(წამლის პრეზენტაცია, ასევე კომუნიკაცია ჯანდაცვის პროფესიონალებთან დისტანციურად, ელექტრონული პლატფორმების მეშვეობით (მობილური აპლიკაციები, ელექტრონული ფოსტა, სპეციალიზებული პლატფორმები) (8.1%), ვებინარები/ვებკასტები (7.7%), ტელე-დეტალინგი (Tele-detailing) (პროდუქტის შესახებ ინფორმაცია გადმოცემულია ტელეფონით

ან ვიდეოზარით) (6.0%), თვითმართვადი ვებ-დეტალინგი. (Web-detailing) (ინტერნეტის რესურსებზე დაფუძნებული დეტალინგი - ვებ-პლატფორმების და ვებგვერდების გამოყენება პროდუქციის შესახებ ინფორმაციის პრეზენტაციისთვის) - (5.2%) და მარკეტინგული ელფოსტა (4.2%). თუმცა, მიუხედავად შეზღუდული გამოყენებისა, ვებინარებს/ვებკასტებს ჰქონდათ ყველაზე ძლიერი გავლენა კლინიკური პრაქტიკის ცვლილებებზე (48%), რასაც მოჰყვა ვებსაიტები (42%), მობილური აპლიკაციები (41%), WhatsApp (37%) და თვითმართვადი ვებ-დეტალინგი (36%) მიუხედავად შეზღუდული გამოყენებისა, კლინიკური პრაქტიკის ცვლილებებზე გავლენის პროცენტული მაჩვენებელი ყველაზე მაღალი იყო ვებინარებისთვის/ვებკასტებისთვის, რასაც მოჰყვა ვებსაიტები, მობილური აპლიკაციები და WhatsApp [6].

ფარმაცევტული ინდუსტრიის ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიები მუდმივად ვითარდება. კომპანიებმა უნდა დანერგონ ინოვაციური მიდგომები, რათა დარჩნენ კონკურენტუნარიანები და დააკმაყოფილონ მომხმარებლების საჭიროებები [7].

ცხადია, ტრადიციული მარკეტინგული მეთოდები აღარ არის საკმარისი თანამედროვე ბაზრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ამიტომ კომპანიები მიმართავენ ციფრულ სტრატეგიებს, რათა დარჩნენ კონკურენტუნარიანები. მიუხედავად ციფრული მარკეტინგის სარგებლისა, ფარმაცევტულ კომპანიებს უწევთ გარკვეული გამოწვევების გადალახვა [8], მათ შორის:



4 ძირითადი ტენდენცია, რომლებიც განსაზღვრავენ ფარმაცევტული ციფრული მარკეტინგის განვითარებას, ეფუძნება მის გავლენას პაციენტებთან და ჯანდაცვის პროფესიონალებთან ურთიერთობაზე:

- ტექნოლოგიური პროგრესი ფარმაცევტულ კომპანიებს საშუალებას აძლევს, უფრო პერსონალიზებული და მიზანმიმართული კომუნიკაცია დაამყარონ როგორც პაციენტებთან, ისე ჯანდაცვის პროფესიონალებთან. სპეციალიზებული პროგრამული უზრუნველყოფისა და ანალიტიკური ინსტრუმენტების მეშვეობით შესაძლებელია ინდივიდუალური საჭიროებების, ინტერესებისა და ქცევითი მახასიათებლების გათვალისწინება. ამ მიდგომის საშუალებით კომუნიკაცია ხდება უფრო მიზნობრივი და რელევანტური, რაც ზრდის მის ეფექტიანობას.

პრაქტიკული მაგალითები ადასტურებს, რომ პერსონალიზებული სტრატეგიები მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს პოტენციური მომხმარებლების ჩართულობის გაზრდას და იმ პირების წილის გაფართოებას, რომლებიც რეალურად იღებენ მონაწილეობას შესაბამის მარკეტინგულ ან საინფორმაციო აქტივობებში.

- ინტერაქტიული კონტენტი და გამოცდილებები. ინტერაქტიული კონტენტის გამოყენება ეხმარება ფარმაცევტულ მარკეტერებს, დაამყარონ მტკიცე კავშირი სამიზნე აუდიტორიასთან. ასეთი კონტენტი ასევე იძლევა ღირებულ ინფორმაციას სამიზნე ჯგუფების საჭიროებებისა და ინტერესების შესახებ, რაც პერსონალიზაციის პროცესს ამარტივებს. ეფექტური ინტერაქტიული კონტენტის მაგალითებია: პერსონალიზებული კონტენტის პორტალები: ონლაინ პლატფორმები, სადაც მომხმარებლები იღებენ მათ ინტერესებზე მორგებულ რესურსებსა და საგანმანათლებლო მასალებს; ინტერაქტიული ტესტები და შეფასებები: ონლაინ ტესტები, რომლებიც ეხმარება პროფესიონალებს შეამოწმონ თავიანთი ცოდნა და მარკეტერებს აძლევს ინფორმაციას ხარვეზების შესახებ; გამოკითხვების და სოციოლოგიური კვლევების უკუკავშირი: მოკლე გამოკითხვები, რომლებიც ეხმარება მარკეტერებს, გაიგონ აუდიტორიის პრეფერენციები და გააუმჯობესონ კონტენტ სტრატეგიები.

- მონაცემებზე დაფუძნებული სტრატეგიები ეფექტური მართვისთვის. მონაცემთა ანალიზი ფარმაცევტულ მარკეტინგში საშუალებას აძლევს კომპანიებს, უკეთ გაიგონ თავიანთი აუდიტორიის ქცევა და საჭიროებები. ეს მიდგომა ეხმარება მარკეტერებს, შეიმუშაონ უფრო მიზანმიმართული და ეფექტური კამპანიები. მნიშვნელოვანია, რომ მონაცემთა შეგროვება და გამოყენება შეესაბამებოდეს კონფიდენციალურობისა და რეგულაციების მოთხოვნებს.

- ომნიქსელური ტრანსფორმაცია. ომნიქსელური მიდგომა გულისხმობს მომხმარებელთან კომუნიკაციას სხვადასხვა არხის მეშვეობით, რაც უზრუნველყოფს ერთგვაროვან და თანმიმდევრულ გამოცდილებას. ფარმაცევტული კომპანიები იყენებენ ამ მიდგომას, რათა გააძლიერონ თავიანთი მარკეტინგული სტრატეგიები და უზრუნველყონ მომხმარებელთა ჩართულობის მაღალი დონე [9].

ციფრულმა ტექნოლოგიებმა ფარმაცევტულ და ჯანდაცვის ინდუსტრიაში მრავალი ცვლილება გამოიწვია, მათ შორის გამჭვირვალობის გაზრდა, პაციენტებთან კომუნიკაციის გაუმჯობესება და წამლების განვითარების პროცესის გაუმჯობესება. ქვემოთ განხილულია ხუთი ძირითადი სტრატეგია, რომლებიც დაეხმარება ფარმაცევტულ მარკეტერებს ციფრული მარკეტინგის გამოყენებით პროდუქციის პოპულარიზაციაში, ჩართულობის გაზრდაში და ზრდაში.

1. ღირებულებაზე ორიენტირებული კონტენტის შექმნა. ციფრული ეპოქის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ცვლილება ის არის, რომ ფარმაცევტული კომპანიები აღარ არიან ერთადერთი ინფორმაციის წყარო თავიანთი პროდუქტებისა და მკურნალობის შესახებ. ონლაინ საზოგადოებები, მობილური აპლიკაციები და ვებ-კონტენტის სიმრავლე საშუალებას აძლევს ადამიანებს მიიღონ მრავალფეროვანი ინფორმაცია ფარმაცევტულ საკითხებზე. მიზნობრივი, ღირებულებაზე ორიენტირებული ბრენდირებული კონტენტის შექმნით, რომელიც პოტენციურ ან ამჟამინდელ პაციენტებს სთავაზობს შესაბამის ინფორმაციას, შეგიძლიათ მნიშვნელოვნად გააფართოვოთ თქვენი აუდიტორია. პაციენტების საერთო პრობლემებზე

ორიენტირებული და საინტერესო პასუხების მიწოდებით, გამჭვირვალობის დემონსტრირებით, თქვენ გაზრდით აუდიტორიას, გააძლიერებთ ნდობას და დააფუძნებთ ბრენდს, როგორც აზრის ლიდერს.

2. AR (Augmented Reality) გავრცობილი და VR (Virtual Reality) ვირტუალური რეალობის ტექნოლოგიები. ეს ტექნოლოგიები იძლევა ახალ შესაძლებლობებს, მედიკამენტების წარმოების, მარკეტინგისა თუ განათლების სფეროებში. AR ტექნოლოგია ფარმაცევტულ კომპანიებს და მათ მარკეტინგულ გუნდებს საშუალებას აძლევს შექმნან ინტერაქტიული და ვიზუალურად მდიდარი გამოცდილებები და ჯანდაცვის პროფესიონალებს და პაციენტებსა მიაწოდოს დამატებითი ინფორმაცია წამლის, მისი შემადგენლობისა თუ დანიშნულების შესახებ. ფარმაცევტული კომპანიები იყენებენ ამ ტექნოლოგიას მედიკამენტების შეფუთვის შესახებ. მომხმარებელი QR კოდის დასკანერების დროს ხედავს ისეთ ციფრულ კონტენტს, როგორიცაა წამლის გამოყენების ინსტრუქცია, გვერდითი ეფექტები და სხვ. აღნიშნული ეხმარება მომხმარებელს მიიღოს სრული ინფორმაცია პროდუქტზე და მის გამოყენებაზე. AR-ის გამოყენება ასევე მოიცავს: ვირტუალური პროდუქტის პრეზენტაციებს ფარმაცევტების და ექიმების შეხვედრებზე, ტრენინგებს მულტიმედიური და ინტერაქტიული ვარჯიშებით. ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში VR ტექნოლოგია გამოიყენება ინტენსიური სწავლისა და ტრენინგის, მედიკამენტების ტესტირებისა და განვითარებისთვის. ის საშუალებას აძლევს პროფესიონალებს და მომხმარებლებს მოხვდნენ ახალ ციფრულ გარემოში, სადაც ადგილი ექნება წამლებისა თუ სამედიცინო პროცედურების ვირტუალურ სიმულაციას. VR პლატფორმები აქტიურად გამოიყენება ტრენინგის გარემოს შესაქმნელად, სადაც ექიმები, ფარმაცევტები ან სტუდენტები ვირტუალურად მონაწილეობენ სამედიცინო პროცედურებში. მაგალითად, VR-ში შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს ვირტუალური მოდელები, რომლებიც ასწავლიან მაგალითად, რთული ოპერაციების ან მაგალითად, არასასურველი მედიკამენტური რეაქციების მართვას. VR-ის გამოყენება მოიცავს: ვირტუალური პაციენტების სიმულაციას, ასევე, ვირტუალური ლაბორატორიების შექმნას, წამლის ტესტირების და კვლევების ჩასატარებლად ქიმიური ნივთიერებების გარეშე.

3. AI-ით მართული ასისტენტები და მესენჯერის აპლიკაციები. მრავალი ბიზნესი იყენებს მესენჯერის აპლიკაციებს - Facebook Messenger ან WhatsApp პოტენციურ კლიენტებთან კომუნიკაციის და მნიშვნელოვანი დიალოგისთვის. ეს ტენდენცია უნიკალური შესაძლებლობაა, აწარმოონ საუბრები პაციენტებთან, მომხმარებლებთან თუ პარტნიორებთან. ფარმაცევტულ კომპანიებს შეუძლიათ გააუმჯობესონ მათი ორგანიზაციული ეფექტურობა, უპასუხონ კლიენტების, პაციენტების ან მომხმარებლების შეკითხვებს AI-ით მართული ჩატბოტების გამოყენებით, რაც ზრდის პროდუქტიულობას და აუმჯობესებს მომხმარებლის მოზიდვას.

4. ინფლუენსერები. მილენიალების 70%-ზე გავლენას ახდენს მათი თანატოლების რეკომენდაციები, ხოლო 18-24 წლის ახალგაზრდების 90% ენდობა სამედიცინო ინფორმაციას, რომელიც მიღებულია სოციალური მედიის მეშვეობით. ამიტომ, ფარმაცევტული ბრენდებისთვის დიდი შესაძლებლობაა იმუშაონ ინფლუენსერებთან და აზრის ლიდერებთან. მაგალითად, Amcal Pharmacy-მ, ბრენდის ცნობადობის გასაზრდელად ითანამშრომლა

დიაბეტიან სუპერქარების მძღოლ ჯეკ პერკინსთან. Instagram-ზე პოსტების გამოქვეყნებით, რომლებიც ასახავდა მის პირად მოგზაურობას და Amcal-ის დახმარებას, ინდუსტრიამ ისარგებლა მძღოლის 21,000 ,,ფოლოვერის“ აუდიტორიით.

5. ბლოკჩეინი. ციფრულ ეპოქაში, ნდობა და გამჭვირვალობა წარმატების აუცილებელი კომპონენტებია. ამ ტექნოლოგიის დანერგვა თქვენს ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიას შეიძლება დაეხმაროს ორგანიზაციულ ზრდასა და ევოლუციაში. ეს დეცენტრალიზებული ტექნოლოგია, რომლის ინდუსტრიული ღირებულება 2025 წლის ბოლოსთვის სავარაუდოდ $5.6 მილიარდს გადააჭარბებს, გარდა იმისა, რომ ის სთავაზობს კრიტიკული პაციენტის მონაცემების ხელმისაწვდომობას და ეხმარება თაღლითობის შემცირებაში, ასევე მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ნდობას სამედიცინო სერვისების დონორებსა და მიმღებებს შორის [10].

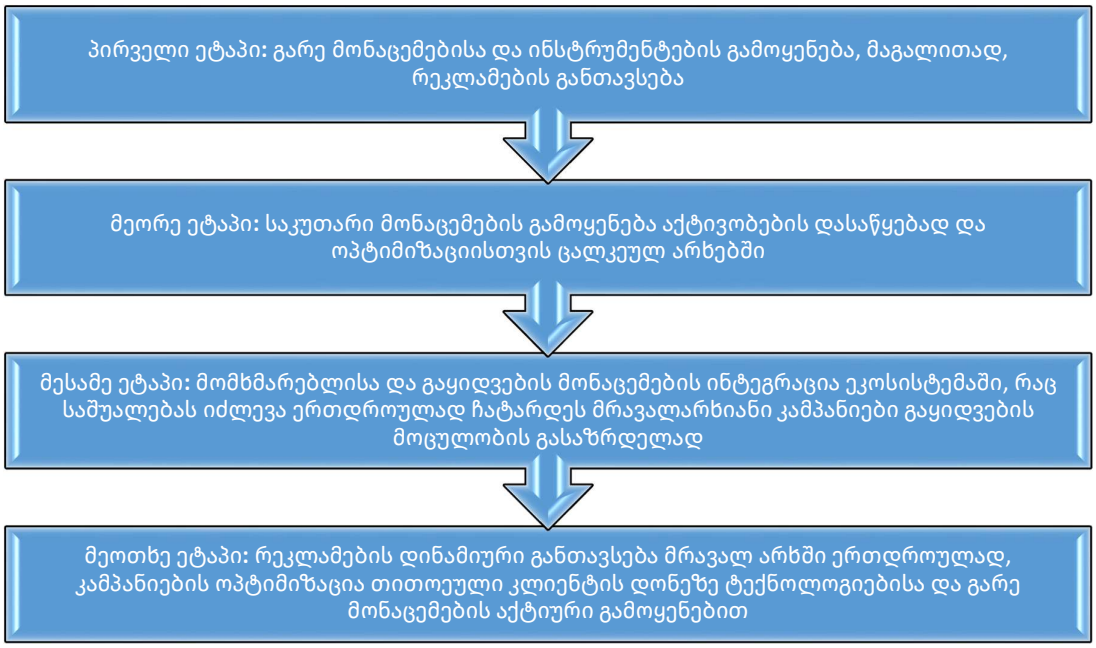
ფარმაცევტული ინდუსტრია განიცდის ტრანსფორმაციას მარკეტინგულ სტრატეგიებში, განსაკუთრებით ციფრულ პლატფორმებზე. ტრადიციული არხებიდან, როგორიცაა ბეჭდური მედია, კონფერენციები და პირდაპირი გაყიდვების წარმომადგენლები, ინდუსტრია გადადის ციფრულ ტექნოლოგიებზე, რაც ცვლის კომპანიების ურთიერთქმედებას ჯანდაცვის პროფესიონალებთან, პაციენტებთან და სხვა დაინტერესებულ მხარეებთან. ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიების შედარებითი ანალიზის მიზნით გამოიკითხა ფარმაცევტული კომპანიების 197 თანამშრომელი. მონაცემები შეგროვდა სტრუქტურირებული გამოკითხვების მეშვეობით. კვლევის მიზანი იყო მოქმედი ფარმაცევტული კომპანიების მიერ გამოყენებული სხვადასხვა ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიების ეფექტურობის შეფასება, გავლენის გაზომოვა და პრაქტიკული რეკომენდაციების მიწოდება ინდუსტრიის, პოლიტიკის შემქმნელებისა და მკვლევარებისთვის.

- რესპონდენტთა 60.41% (119 ადამიანი) აბსოლუტურად, ხოლო 27.92% (55 ადამიანი) ნაწილობრივ ეთანხმება, რომ ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიები დადებითად მოქმედებს ბრენდის ხილვადობაზე.
- სოციალური მედიის პლატფორმების ინტეგრაციის მხრივ, რესპონდენტთა 67.51% (133 ადამიანი) სრულად, ხოლო 29.95% (59 ადამიანი) ნაწილობრივ ეთანხმება, რომ მათი კომპანიები ეფექტურად იყენებენ სოციალურ მედიას მარკეტინგული მიზნებისთვის.
- თანამშრომლების ტრენინგისა და ციფრული კომპეტენციის მხრივ, სრულად 34.52% (68 ადამიანი), ხოლო 6.09% (12 ადამიანი) ნაწილობრივ ეთანხმება, რომ მათი თანამშრომლები კარგად არიან მომზადებული ციფრული მარკეტინგის სფეროში.

კვლევის შედეგები მიუთითებს, ფარმაცევტული კომპანიები წარმატებით იყენებენ ციფრულ მარკეტინგის სტრატეგიებს ბრენდის ხილვადობისა და სოციალური მედიის ინტეგრაციისთვის. თუმცა, თანამშრომლების ციფრული კომპეტენციის გაუმჯობესება საჭიროებს დამატებით ყურადღებას. კვლევა სთავაზობს პრაქტიკულ რეკომენდაციებს ინდუსტრიის პროფესიონალებს ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიების ოპტიმიზაციისთვის, რაც ხელს შეუწყობს ინოვაციასა და კონკურენტუნარიანობას სწრაფად განვითარებად ციფრულ გარემოში [11].

ფარმაცევტული ინდუსტრია ტრადიციულად კონსერვატიულია მარკეტინგული სტრატეგიების მიღებისას, განსაკუთრებით ციფრული მარკეტინგის მიმართულებით.

ისტორიულად, ფარმაცევტული მარკეტერები უფრო მეტად აქცენტს აკეთებდნენ ექიმებთან და ფარმაცევტებთან პირდაპირ კონტაქტზე, ვიდრე ციფრულ კომუნიკაციაზე. თუმცა, ციფრული მარკეტინგის დანერგვა მნიშვნელოვნად ცვლის ამ მიდგომას, რაც საშუალებას აძლევს კომპანიებს უფრო პერსონალიზებული ურთიერთობა დაამყარონ მომხმარებლებთან. 2010-იანი წლების დასაწყისში ციფრული მარკეტინგის კონცეფცია ფარმაცევტული მარკეტერების ყურადღების ცენტრში მოექცა. მიუხედავად იმისა, რომ ციფრული მარკეტინგი მოდური და აუცილებელი გახდა, ბევრმა კომპანიამ ვერ შეძლო მისი სრულფასოვანი გამოყენება. ტრადიციული არხები, როგორიცაა ტელევიზია, ხშირად დუბლირდება ციფრულ მედიაში, მაგრამ ციფრული მარკეტინგი ასევე გულისხმობს ტექნოლოგიების გამოყენებას გაყიდვების გასაზრდელად და მომხმარებლებთან მასშტაბური კომუნიკაციისთვის. ბრენდის ციფრული სიმწიფე ოთხ ეტაპად იყოფა:



ფარმაცევტული მარკეტერები ხშირად მუშაობენ პროდუქტებთან, რომლებსაც აქვთ მრავალი ანალოგი და არ გამოირჩევიან უნიკალური შეთავაზებით. ასეთ პირობებში, ბრენდის პოპულარიზაციის ორი გზა არსებობს:

○ სამედიცინო არხების გამოყენება: შეხვედრები სამედიცინო წარმომადგენლებთან, კონფერენციებში მონაწილეობა, სპეციალიზებულ პრესასთან კომუნიკაცია და ექიმებთან და ფარმაცევტებთან პირდაპირი კონტაქტი.

○ გავრცელების არხების გამოყენება: რადიო და ტელევიზია, რომლებიც კვლავაც ფარმაცევტული მარკეტინგის ბიუჯეტების 95-96%-ს შეადგენს.

ციფრული მარკეტინგის დანერგვა ფარმაცევტულ ინდუსტრიაში საშუალებას აძლევს კომპანიებს გააუმჯობესონ მომხმარებლებთან კომუნიკაცია, გაზარდონ გაყიდვები და შეამცირონ მარკეტინგული ხარჯები. ციფრული სიმწიფის ეტაპების გავლით, კომპანიები შეძლებენ უფრო ეფექტურად გამოიყენონ მონაცემები და ტექნოლოგიები თავიანთ მარკეტინგულ სტრატეგიებში [12,13, 14].

პროგრამული მარკეტინგი ციფრული რეკლამის ავტომატურ შეძენაა სპეციალური პროგრამების დახმარებით. ტრადიციულად, რეკლამის შესაძენა უკავშირდება პროცედურებს

— წინადადებების მომზადება, ტენდერებში მონაწილეობა, მოლაპარაკებები და შეკვეთების შეთანხმება. მისგან განსხვავებით, პროგრამული მარკეტინგი პროცესს შესამჩნევად ამარტივებს და მარტივად ახდენს რეკლამის განთავსებას იქ, სადაც მიზნობრივ აუდიტორიას ყველაზე ეფექტურად მიაღწევს. ეს ტექნოლოგია ხელოვნურ ინტელექტს (AI) და მანქანურ სწავლებას იყენებს იმისთვის, რათა განსაზღვროს, რომელი ვებსაიტი, აპლიკაცია ან ონლაინ პლატფორმაა საუკეთესო კონკრეტული რეკლამის განსათავსებლად. რეკლამა არა მხოლოდ სწრაფად და ეფექტურად ვრცელდება, ხარჯიც რაციონალურად ნაწილდება. პროგრამული მარკეტინგის უპირატესობები ფარმაცევტული მარკეტინგისთვის შემდეგი სახით შეიძლება ჩამოყალიბდეს:

1. ეფექტურობის გაუმჯობესება: რეკლამის შეძენის პროცესი ავტომატიზებულია, მექანიკურ ამოცანები მცირდება და მარკეტერები სტრატეგიულ ინიციატივებზე კონცენტრირდნენ.
2. მიზანმიმართულობა და პერსონალიზაცია: იყენებს მონაცემებს, რათა მიაწოდოს პერსონალიზებული შეტყობინებები სამიზნე აუდიტორიას,
3. რეალურ დროში ოპტიმიზაცია: მარკეტერები მონიტორინგს უწევენ კამპანიებს და შეაქვთ საჭირო კორექტირებები ეფექტურობის მისაღწევად.
4. ხარჯების ეფექტურობა: რეკლამის ხარჯები არაეფექტურ არხებზე შემცირებულია.

შესაბამისად, პროგრამული მარკეტინგი თანამედროვე ფარმაცევტულ კომპანიებს საშუალებას აძლევს ზუსტად და ეფექტურად მიაღწიონ სამიზნე აუდიტორიას და პარალელურად, მინიმუმამდე დაიყვანონ არასაჭირო ხარჯები [15,16,17].

დასკვნა

ციფრული მარკეტინგის სტრატეგიები ფარმაცევტულ სექტორში განიცდის დინამიკურ ცვლილებებს, რაც განპირობებულია ტექნოლოგიური პროგრესით, ბაზრის კონკურენციით და მომხმარებელთა მოთხოვნების ზრდით. ფარმაცევტული კომპანიები სულ უფრო მეტად იყენებენ ციფრულ არხებს, რათა გააუმჯობესონ მომხმარებელთან კომუნიკაცია, გაზარდონ ბრენდის ცნობადობა და გაყიდვები. მიუხედავად იმისა, რომ ტრადიციული მარკეტინგული მიდგომები კვლავ მნიშვნელოვან როლს ასრულებს, ციფრული მარკეტინგი საშუალებას აძლევს კომპანიებს უფრო ეფექტურად მიაღწიონ სამიზნე აუდიტორიას, განახორციელონ პერსონალიზებული კომუნიკაცია და გაზომონ მათი კამპანიების შედეგები რეალურ დროში. მიუხედავად ციფრული მარკეტინგის მრავალრიცხოვანი უპირატესობებისა, მისი დანერგვა ფარმაცევტულ სექტორში გარკვეულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ეს მოიცავს მკაცრ რეგულაციებს, მონაცემთა კონფიდენციალურობის დაცვის საჭიროებას და მომხმარებელთა უნდობლობას ახალი ტექნოლოგიების მიმართ. სამომავლოდ, ფარმაცევტულ სექტორში ციფრული მარკეტინგის როლი კიდევ უფრო გაიზრდება. კომპანიები, რომლებიც დროულად მოერგებიან ციფრულ ტრანსფორმაციას და დანერგავენ ინოვაციურ სტრატეგიებს, შეძლებენ ბაზარზე კონკურენტული უპირატესობის მოპოვებას. ამ პროცესში მნიშვნელოვანია მონაცემთა ანალიზზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების მიღება, ინტერაქტიული კომუნიკაციის გაძლიერება და მომხმარებელთა ნდობის შენარჩუნება.

ლიტერატურა

1. Bayoun, D., & Singh, D. A. (2024). The role of digital marketing as a tool for creating and sustaining competitive advantage in the pharmaceutical market in Lebanon. Global Journal of Business and Integral Security, 2024(IBIS), Article 593. https://gbis.ch/index.php/gbis/article/view/593GBIS

2. Kumar, A., & Bansal, R. (2016). Role of Digital Marketing in the Pharmaceutical Industry. Research Journal of Pharmacy and Technology, 9(1), 9-15.

3. Singh, S., & Kumar, R. (2024). Impact of Digital Marketing in Pharmaceutical Business. International Journal of Finance and Management Research, 3(4), 45-52.

4. AGOULMAM, I., & CHAKOR, A. (2024). The contribution of digitalization of marketing procedures in the pharmaceutical industry: Theoretical approach. International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics, 5(5), 490–504. https://doi.org/10.5281/zenodo.11260760Ijafame

5. Babatunde, S. O. (2024). Digital marketing strategies for medical products: A theoretical and practical review. International Journal of Frontiers in Medicine and Surgery Research, 5(1), 36–46. https://doi.org/10.53294/ijfmsr.2024.5.1.0032Frontier Research Publication

6. Kapoor, A., & Verma, P. (2018). Digital Marketing Strategies in the Pharmaceutical Industry: A Review. Journal of Medical Marketing, 18(3), 134-145. DOI: 10.1177/1745790418766658.

7. Rajendran, R., & Rani, Y. S. (2024). Healthy engagement: Digital marketing's influence on the pharma sector. Academy of Marketing Studies Journal, 28(4), 1–8Sharma, M., & Patel, R. (2024). Digital Marketing in the Pharmaceutical Sector: Trends and Future Prospects. International Research Journal of Modernization in Engineering, Technology & Science (IRJMETS), 4(4), 56-63.

8. Al-Assaf, K. T., Foriki, M. S. M., Samarah, T., Hindieh, A., Mohammad, S. I. S., Vasudevan, A., & Al Kurdi, B. (2024). Impact of digital marketing on promoting the local pharmaceutical products in Jordan. International Review of Management and Marketing, 15(1), 137–145. https://doi.org/10.32479/irmm.17707

9. Singh, K. K. (2023). *A study of influence of digital marketing strategy over conventional marketing practices in pharmaceutical industry*. Quest Journals: Journal of Research in Business and Management, 11(6), 124–134

10. Chopra, D., & Singh, R. (2024). Digital Marketing in the Pharmaceutical Industry: A Review of Current Practices. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), 12(1), 78-89. DOI: 10.32628/IJCRT2401351.

11. Parekh, D., Kapupara, P., & Shah, K. (2016). Digital pharmaceutical marketing: A review. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 9(1), 108–112. https://doi.org/10.5958/0974-360X.2016.00017.2

12. Jha, P. K., & Kumar, G. (2024). Impact of digital marketing in pharmaceutical industries. *International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR)*, 6(3), 1–8.

13. Sonawane, Sameer & Dhavan, Avinash. (2024). EFFECT OF DIGITAL MARKETING ON PHARMACEUTICAL BUSINESS AND ITS IMPACT ON SOCIAL WELLBEING-A CONCEPTUAL REVIEW.

14. Ngamvichaikit, A. (2021). Leveraging design thinking for pharmaceutical digital marketing. *Asian Journal of Business Research*, 11(1), 122–134. https://doi.org/10.14707/ajbr.210102ajbr.co.nz

15. Khanna, V., Ahuja, R., & Popli, H. (2020). ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PHARMACEUTICAL MARKETING: A COMPREHENSIVE REVIEW. Journal of Advanced Scientific Research, 11(03), 54-61. Retrieved from https://sciensage.info/index.php/JASR/article/view/506

16. Neves, J., & Pereira, M. C. (2025). A Marketing Perspective on the Roles of AI and ML in Shaping Contemporary Programmatic Advertising. International Journal of Digital Marketing, Management, and Innovation, 1(1), 1–14. https://doi.org/10.4018/IJDMMI.368043

17. Singhal, A. (2023). Optimizing Programmatic Advertising: A Machine Learning Approach to Predictive Ad Targeting. Journal of Knowledge Learning and Science Technology, 3(3), 327–339. https://doi.org/10.60087/jklst.vol3.n3.p.327-339

Digital Marketing Strategies in the Pharmaceutical Sector

Nana Shashiashvili[1,2], Mariam Bakradze[3]

[1]Associate Professor, Department of Pharmacy, Georgian Technical University, Georgia; [2]Associate Professor, Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi State Medical University, Georgia; [3]Master's StudentCaucasus University, Georgia

Abstract

The rapid advancement of digital technologies has significantly transformed marketing practices in the pharmaceutical sector. In response to increasing demand for personalized healthcare solutions and improved patient engagement, pharmaceutical companies are adopting diverse digital marketing strategies to strengthen their market presence and enhance communication with key stakeholders. These strategies include content marketing, which focuses on delivering scientifically accurate, relevant, and valuable information to educate and engage both healthcare professionals and patients. Search Engine Optimization (SEO) plays a vital role in improving website visibility and ensuring that users can access reliable medical content through search engines. Social media platforms such as Facebook, LinkedIn, X (formerly Twitter), and Instagram have become powerful tools for raising brand awareness, disseminating educational content, and fostering interactive communication. Email marketing remains a cost-effective channel for personalized outreach, enabling companies to share product updates, clinical trial results, and healthcare news with targeted audiences. In parallel, mobile marketing strategies are increasingly important, given the widespread use of smartphones for health-related searches and app-based services. Moreover, pharmaceutical companies are embracing data-driven approaches, leveraging real-time analytics and machine learning to optimize campaigns, predict consumer behavior, and enhance customer experience. The integration of digital tools, such as virtual detailing, webinars, and automated platforms, further supports engagement with healthcare providers in a more efficient and scalable manner. As the industry navigates a complex regulatory environment, compliance with legal and ethical standards remains a critical component of any digital initiative. Overall, the strategic use of digital marketing enhances competitiveness, facilitates innovation, and supports more informed and connected healthcare ecosystems.

Keywords: Digital Marketing, Marketing Strategies, Pharmaceutical Sector

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.19



მინდობილი პროფესიული საქმიანობა - გზა კომპეტენციებიდან პროფესიონალიზმისკენ

სალომე ვორონოვი[1], ნინო ქანთარია[2], რიმა ბერიაშვილი[3], ეკა ეკალაძე[4]

[1]აკადემიური განვითარების და სტრატეგიული დაგეგმვის დეპარტმენტის უფროსის მოადგილე, დიპლომირებული მედიკოსის ამერიკული პროგრამის „გახდი ექიმის“ კურსის ინსტრუქტორი და მცირე ჯგუფის კოორდინატორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, s.voronovi@tsmu.edu 599270387 OrcidID https://orcid.org/0009-0008-8892-8052; [2]დიპლომირებული მედიკოსის ამერიკული პროგრამის მოდულის"გულსისხლძარღვთა სისტემა" კოორდინატორი; სუბინტერნშიფი-შინაგანი მედიცინის მოწვეული მასწავლებელი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, n.kantaria@tsmu.edu 577745546; [3]პროფესორი, აკადემიური განვითარების და სტრატეგიული დაგეგმვის დეპარტამენტის უფროსი, პათოლოგიური ანატომიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, rima.beriashvili@tsmu.edu 599535419; [4]დიპლომირებული მედიკოსის ამერიკული პროგრამის დირექტორი, ბიოქიმიის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, e.ekaladze@tsmu.edu 595 633362

რეზიუმე

მინდობილი პროფესიული საქმიანობა (EPAs) არის პროფესიული საქმიანობების ერთობლიობა, რომლების დამოუკიდებლად ან მინიმალური ზედამხედველობით შესრულება შეიძლება ენდოს სტუდენტს/რეზიდენტს მას შემდეგ, რაც ის მოახდენს ამ საქმიანობების განხორციელებისას საჭირო კომპეტენციების დემონსტრირებას.

მინდობილი პროფესიული საქმიანობა (EPAs) კონცეფცია მიზნად ისახავს დარგობრივ ცოდნაზე დაფუძნებულ სხვადასხვა კომპეტენციების ინტეგრაციას სანდო პროფესიული უნარების ჩამოყალიბებისთვის. ამ კონცეფციის მიზანი განათლების პროცესსა და ყოველდღიურ სამედიცინო საქმიანობას შორის კავშირის დამყარებაა .

პაციენტისთვის სანდო კლინიკური პროფესიული აქტივობის შესრულების უნარი ექიმად ფორმირების მნიშვნელოვანი საფეხურია, რომელიც ეფუძნება სტუდენტის/რეზიდენტის მიერ შეძენილ კომპეტენციებს და თავისი შინაარსით მიესადაგება ოსტატ-შეგირდობის ძველ მოდელს.

მინდობილი პროფესიული საქმიანობის დანერგვა და შეფასება მოითხოვს კლინიკური კურაციების (ე.წ კლერკშიფის) კლინიკურ სამუშაო ადგილზე ამოქმედებულ. კარგად გააზრებულ სილაბუსს, ორგანიზებულ კლინიკურ გარემოს და სათანადოდ გადამზადებულ განმახორციელებელ პერსონალს.

საძიებო სიტყვები: სამედიცინო განათლება, მინდობილი პროფესიული საქმიანობა

სამედიცინო განათლება ეფუძნება სამ ძირითად კომპეტენციას - თეორიულ ცოდნას, პრაქტიკულ/კლინიკურ უნარებს და ღირებულებებს, რომელთა გამომუშავება და შემდგომი სრულყოფა ექიმის მზადების დ შემდგომი პროფესიული საქმიანობის განმავლობაში მიმდინარეობს.

უნდა აღინიშნოს, რომ უკანასკნელი წლების მანძილზე სამედიცინო განათლებამ მნიშვნელოვანი ცვლილებები განიცადა. ცვლილებები განსაკუთრებით შეეხო კლინიკური სწავლების ეტაპს, რომელზეც კომპეტენციებზე დაფუძნებული სწავლება მიჩნეული იქნა სამედიცინო განათლების ოპტიმალურ მოდელად. დიდი მნიშვნელობა მიენიჭა ექიმის პაციენტთან დამოკიდებულებას. პროფესიონალიზმი ყოველდღიურ სამედიცინო საქმიანობაში გულისხმობს ექიმის ეთიკურ ღირებულებებს, პასუხისმგებლობას, დამოკიდებულებას კოლეგებთან, პაციენტებთან, ლიდერობის, ინტერდისციპლინურ ჯგუფში მუშაობის უნარს. ამ უნარების შეძენა და მათი სათანადო შეფასება მეთოდოლოგიურ გადახედვას, სწავლებისა და შეფასების ახალი მეთოდების დანერგვას მოითხოვს.

კომპეტენციებზე დაფუძნებული სამედიცინო განათლების პროცესში აკადემიური პერსონალის მიერ დასმული ძირითადი შეკითხვაა, თუ როდის შეიძლება ვანდოთ სტუდენტს/რეზიდენტს კონკრეტული პროფესიული აქტივობის შესრულება ზედამხედველობის გარეშე ან მინიმალური ზედამხედველობით? - ამ შეკითხვაზე პასუხი სანდოობის დონის შესახებ გადაწყვეტილებიდან გამომდინარეობს. სწორედ აღნიშნული პრობლემის გადაჭრის გზების ძიებისას შემუშავდა კომპეტენციაზე დაფუძნებული სამედიცინო განათლების ახალი მოდელი - **მინდობილი პროფესიული საქმიანობა (Entrustable Professional Activity, EPA**), რომელიც წარმოადგენს ერთგვარ „ხიდს“ დარგობრივ ცოდნაზე დაფუძნებულ, ახლად შეძენილ კლინიკურ კომპეტენციებსა და უშუალოდ პაციენტთან განხორციელებულ სანდო პროფესიულ აქტივობას შორის (1, 2, 3).

კომპეტენციები სასწავლო პროგრამის აუცილებელი შემადგენელია, თუმცა ისინი შეიძლება ძალიან აბსტრაქტულად დარჩეს, თუ კონკრეტულ, ქმედით და ეფექტურ სწავლებისა და შეფასების მეთოდს არ გამოვიყენებთ. სწავლების კლინიკურ ეტაპზე სანდო პროფესიული საქმიანობის განხორციელების უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია ფორმაციული შეფასების შესაბამისი მეთოდების დანერგვა და გამოყენება. ამ მიზნით განსაკუთრებით რეკომენდებულია შეფასება სამუშაო ადგილზე - (**WPBA**, *Workplace-based* assessment). სამუშაო ადგილზე შეფასება, თავის მხრივ, მოიცავს:

- პირდაპირ (უშუალო) დაკვირვებას პროცედურების შესრულების უნარებზე - **(DOPS,** Direct Observation of Procedural Skills);
  - სტუდენტის/რეზიდენტის მიერ განხორციელებული პაციენტის მინი-კლინიკური გამოკვლევის შეფასებას - **(Mini-CEX,** Mini Clinical Evaluation Exercise);
  - კლინიკურ შემთხვევაზე დაფუძნებულ დისკუსიას- **(CBD,** Case Based Discussion);
  - 360^0-იან მრავალმხრივ შეფასებას - **(MSF,** Multi-source feedback)

უკანასკნელი წლების განმავლობაში მინდობილი პროფესიული საქმიანობის, როგორც კლინიკური სწავლებისა და შეფასების ახალი მეთოდის, დანერგვა ინტენსიურად დაიწყო

მსოფლიოს მთელი რიგი ქვეყნების უმაღლეს სამედიცინო სასწავლებლებში. როგორც წესი, ახალი მეთოდოლოგიის დანერვას წინ უძღვის პილოტირების ეტაპი და მისი შედეგების ანალიზი. **მინდობილი პროფესიული საქმიანობის** გამოყენება მოითხოვს კლინიკური კურაციების (ე.წ კლერკშიფის) **კლინიკურ სამუშაო ადგილზე ამოქმედებულ კონკრეტულ სილაბუსს და** სათანადოდ გადამზადებულ კლერკშიფის განმახორციელებელ პერსონალს (4). სირთულე მდგომარეობს იმაშიც, რომ ექიმსა და პაციენტს შორის კომუნიკაცია, მედიცინის ცალკეულ დარგებში კონტექსტის მიხედვით განსხვავდება (5).

შინაგანი მედიცინა წარმოადგენს სტუდენტების სამედიცინო განათლების ფუნდამენტურ ნაწილს. სწორედ ამიტომაა შინაგანი მედიცინის საბაზისო კურსი ერთ-ერთი ყველაზე ხანგრძლივი კლერკშიფი. კლერკშიფის განმავლობაში შეისწავლება მრავალი დაავადების დროს მიმდინარე პროცესები და ვითარდება კრიტიკული აზროვნება. თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტში 2022 წლიდან დაიწყო მინდობილი პროფესიული საქმიანობის პილოტირების პროცესი დიპლომამდელი განათლების ეტაპზე, თსსუ-ის ამერიკული პროგრამის 10, 11, 12 სასწავლო სემესტრების სტუდენტებთან, შინაგანი მედიცინის კლინიკური კურაციის, ე.წ. „სუბინტერნშიფის“ გავლის პერიოდში.

შინაგანი მედიცინის სუბინტერნშიფი კომპეტენციების გამომუშავებაზე მიმართული კლინიკური როტაციაა და სტუდენტებს აძლევს შინაგანი მედიცინის განყოფილებაში მოთავსებული პაციენტების მართვისა და მკურნალობის პროცესში აქტიური მონაწილეობის შესაძლებლობას. სტუდენტი მონაწილეობას იღებს სხვადასხვა სიმძიმისა და სიმწვავის დაავადებათა მართვაში, მათ შორის, სიცოცხლისთვის საშიში მდგომარეობების მართვაში - გადაუდებელ განყოფილებაში. სტუდენტებს შესაძლებლობა აქვთ, გაიღრმავონ და გაიუმჯობესონ ძირითადი კლინიკური უნარ-ჩვევები, ისწავლონ ახალი პროცედურები და გასინჯვის ტექნიკები, შეაფასონ თავიანთი კლინიკური აქტივობის ეფექტურობა. შინაგანი მედიცინის ოთხკვირიანი სუბინტერნშიფი რეალურად შინაგანი მედიცინის ძირითადი კლერკშიპის გაგრძელებაა, თუმცა ამ უკანასკნელისაგან განსხვავებით, სტუდენტებს აკისრებს პაციენტებზე ზრუნვის მეტ პასუხისმგებლობას. სუბინტერნშიფის განმავლობაში სტუდენტს უვითარდება დამოუკიდებლად მუშაობის უნარი - მათ შორის, სწავლისა და ინფორმაციის მოპოვების უნარი, რაც მნიშვნელოვანია შემდგომი პროფესიული განვითარებისათვის და ე.წ. „სიცოცხლის მანძილზე სწავლისათვის“.

კლინიკური სწავლების „სუბინტერნშიფის“ ეტაპზე განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ისეთი პროფესიული უნარ-ჩვევების ჩამოყალიბებას, როგორიცაა:

1. სამედიცინო გასაუბრების (ინტერვიუირების) უნარ-ჩვევები

- პაციენტთან ინტერაქციის უნარი
- შეკითხვების ფორმულირების უნარი ძირითადი პრობლემის გარშემო
- მეორე რიგის კითხვების გამოყენების უნარი დამატებითი ინფორმაციის შესაგროვებლად
- შეკითხვების პასუხად ან სხვა გზით მიღებული ინფორმაციის გადამუშავების უნარი
- არავერბალური კომუნიკაციის ამოცნობისა და მათი გაანალიზების უნარი

● დიაგნოსტიკური დიაპაზონის შეფასების უნარი

2. ფიზიკური გამოკვლევის უნარ-ჩვევები

● ორგანოთა სისტემების მიხედვით სტრუქტურირებული გამოკვლევის ჩატარების უნარი

● პათოლოგიური ნიშნების ამოცნობისა და არსებობის შემთხვევაში მათი კლინიკური მნიშვნელობის შეფასების უნარი

● პაციენტისთვის ინფორმაციის მიწოდება გამოკვლევის შესახებ

● გამოკვლევის ყველაზე მნიშვნელოვან ასპექტებზე კონცენტრირების უნარი

● სხვა გზებით მიღებული ინფორმაციისა და გამოკვლევის შედეგების გამოყენების უნარი დიაგნოზის ჩამოსაყალიბებლად.

3. პროფესიონალიზმის ხარისხი /კომუნიკაცია

● პაციენტთან პატივისცემით მოპყრობის უნარი

● შეკითხვების დასმასთან ერთად განმარტების მიცემის უნარი

● პაციენტის გულდასმით მოსმენის უნარი

● ურთიერთობის მტკივნეული და უხერხული მომენტების გაცნობიერების უნარი

● კონფიდენციალურობის საკითხის მნიშვნელობის გაცნობიერების უნარი

● გასინჯვის და შეკითხვების მეთოდოლოგიის პაციენტზე მორგების უნარი

4. კონსულტაციის უნარ-ჩვევები

● დიაგნოსტიკური ტესტის/მკურნალობის რაციონალობის ახსნის უნარი

● პაციენტისთვის ინფორმაციის მარტივ და გასაგებ ენაზე მიწოდების უნარი

● პაციენტის შეკითხვებზე პასუხისა და სათქმელის სხვა სიტყვებით შეცვლის/გამეორების უნარი

● პაციენტის სურვილების ამოცნობის და კონსულტაციის დროს მათი პრიორიტეტების განსაზღვრის უნარი.

● საკუთარი მოსაზრების გამოხატვისა და მიუკერძოებლობის უნარი.

5. კლინიკური განსჯის უნარი

● პოტენციურად მნიშვნელოვანი მონაცემების კლინიკური მნიშვნელობის შეფასების უნარი

● გამოკვლევისა და მართვის ოპტიმალური გეგმის განსაზღვრის უნარი

● მართვის სხვადასხვა ვარიანტის შერჩევის უნარი პაციენტის სურვილებისა და შესაძლებლობების გათვალისწინებით

● შერჩეული მართვის/მურნალობის შესაძლო რისკებისა და სარგებლის გათვალისწინების უნარი

● არსებულ მონაცემებზე დაყრდნობით მტკიცე გადაწყვეტილებამდე მისვლის უნარი

6. ორგანიზებულობა / ეფექტურობა

● მონაცემთა სწრაფი და ეფექტური შეგროვების უნარი

- შესაბამისი განსჯის დემონსტრაციის უნარი
- კონსულტაციისას დროის სწორად და ეფექტურად გამოყენების უნარი.

„სუბინტერნშიფის“ ეტაპზე კლინიკური სწავლების განხორციელების პროცესში სტუდენტმა უნდა შეძლოს:

- პაციენტის ზრუნვაზე აიღოს სრული პასუხისმგებლობა და გაიაზროს ამ პასუხისმგებლობის მნიშვნელობა, დაიცვას მორალური და ეთიკური პრინციპები;
- განავითაროს პაციენტის ერთიანი მართვის უნარ-ჩვევები, პაციენტის თითოეულ პრობლემაზე ყურადღების გამახვილებით;
- რეზიდენტებთან და მკურნალ ექიმებთან დისკუსიის საშუალებით, განავითაროს პაციენტის პრობლემებისადმი რაციონალური მიდგომა, შეძლოს დიფერენციული დიაგნოზების გატარება, შესაბამისი ინსტრუმენტულ-ლაბორატორიული კვლევების შერჩევა ხარჯთეფექტურობის გათვალისწინებით.
- შეძლოს ინფორმაციის დამოუკიდებლად მოპოვება და რეზიდენტებთან, ექიმებთან და სხვ. პროფესიული სახის ინტერაქცია.

პროგრამაში დასახული მიზნების მისაღწევად ხორციელდება შემდეგი აქტივობები:

- პაციენტის სტაციონარში მოთავსებისას, დაავადების ისტორიის ჩანაწერის გაკეთება და ფიზიკალური გასინჯვა.
- პაციენტის პრობლემათა ჩამონათვლისა და დიფერენციალური დიაგნოზების ჩამოყალიბება.
- არსებული სამედიცინო პრობლემებისთვის სადიაგნოზო და თერაპიული გეგმის ჩამოყალიბება.
- ყოველი ახალი შემთხვევის განხილვა რეზიდენტთან/ექიმთან/პასუხისმგებელ პირთან ერთად.
- ყოველი ახალი პაციენტის წარდგენა რეზიდენტისა თუ ექიმისთვის.
- დღეში მინიმუმ ერთი კურსუსის დაწერა ყველა პაციენტზე.
- თითოეული პაციენტის დღეში მინიმუმ ორჯერ მონახულება (დილის შემოვლამდე და საშუადღევს/საღამოს).
- გაწერის ეპიკრიზის გამზადება და გაწერის შემდგომი მეთვალყურების დაწესება.
- დღის მორიგეობა კვირაში ერთხელ და ორი ღამის მორიგეობა კურსის განმავლობაში. მორიგეობის დღეები უნდა შეუთანხმდეს მეცადინეობების განრიგს.
- შერჩეულ შემთხვევებზე პროცედურების ჩატარება (კომპეტენციის ფარგლებში).
- შემოვლებზე, პრაქტიკულ მეცადინეობებზე და კონფერენციებზე დასწრება, ყველა აქტივობაზე დასწრება და მონაწილეობა.

კლინიკური აქტივობების აღრიცხვისათვის ივსება **დღიური,** რომელშიც სტუდენტების პასუხისმგებლობები სტანდარტიზებულია შემდეგი სახით:

1. **დაკვირვება და განხილვა:** ეს შეიძლება მოიცავდეს გუნდის სხვა წევრზე დაკვირვებას ანამნეზის შეკრებისას, პროცედურის ჩატარებისას ან ფიზიკალური გამოკვლევის დროს და ა.შ.; და ავადმყოფობის ისტორიის, პათოლოგიის ან სხვა შესაბამისი კომპონენტების

2. **აქტიური მონაწილეობა მკურნალობაში:** ამ კატეგორიაში შედის დაკვირვება და მსჯელობა, მაგრამ ასევე მიანიშნებს პაციენტისთვის უფრო ქმედით კომპეტენციაზე, როგორიცაა ფიზიკალური გამოკვლევის ჩატარება და კლინიკური გამოკვლევა, ავადმყოფობის მიმდინარეობის ან ავადმყოფობის ისტორიისა და ფიზიკალური გამოკვლევების შესახებ ჩანაწერების გაკეთება, პაციენტის წარდგენა შემოვლის დროს, ავადმყოფობის ისტორიის დამუშავება და/ან პაციენტისთვის დაავადების პროფილაქტიკის შესახებ კონსულტაციის ჩატარება

3. **პროცედურის ჩატარება**: ამ კატეგორიაში შედის მკურნალობაში აქტიური მონაწილეობა და დამატებით აღინიშნება, თუკი სტუდენტი ასრულებს პროცედურას ზედამხედველობის ქვეშ.

შესრულებული პროცედურები ჩაიწერება სტუდენტის ,,პროცედურათა ჩამონათვალში'' და განიხილება კლერკშიფის ხელმძღვანელის მიერ როტაციის შუალედური შეფასების დროს.

დასკვნები

1. მინდობილი პროფესიული საქმიანობის (Entrustable Professional Activities -EPAs) დიპლომამდელი და დიპლომისშემდგომი განათლების კლინიკური ეტაპის ინოვაციურ მეთოდად განიხილება და აქტიურად ინერგება მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში.
2. ექიმად ფორმირების პროცესში დასწავლა გაადვილებულია, თუ მიღებული ცოდნა გამოსადეგია და ახლოა რეალურ, ცხოვრებისეულ გარემოსთან; საექიმო საქმიანობას თავისი ემოციური ასპექტები აქვს, რაც დასწავლის პროცესზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს; დამოუკიდებელი სწავლისათვის ინდივიდს თვით-რეგულირების შესაბამისი უნარები სჭირდება, როგორიცაა ამოცანის დასახვა, სტრატეგიის შემუშავება და საკუთარ პროგრესზე თვალყურის დევნება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Ten Cate O. 2005. Entrustability of professional activities and competency- based training. Med Educ 39:1176–1177.
2. Ten Cate O. Entrustment as Assessment: Recognizing the Ability, the Right, and the Duty to Act. J Grad Med Educ. 2016;8(2):261-262. doi:10.4300/jgme-d-16-00097.1
3. Olle ten Cate. An updated primer on entrustable professional activities (EPAs). Revista Brasileira de educacao medica. 43. (Suppl 1), 2019, pp.712-720.
4. Carraccio C, Burke AE. 2010. Beyond competencies and milestones: Adding meaning through context. J Grad Med Educ 2:419–422.
5. Veldhuijzen W, Mogendorff K, Ram P, van der Weijden T, Elwyn G, van der Vleuten C. 2012. How doctors move from generic goals to specific communicative behavior in real practice consultations. Patient education and counseling. Thesis.

Entrusted Professional Activities - The Path from Competencies to Professionalism

Salome Voronovi, Nino Kantaria, Rima Beriashvili, Eka Ekaladze

Tbilisi State Medical University

Summary

Entrustable Professional Activities (EPAs) are a set of professional activities that can be entrusted to a student/resident to perform independently or with minimal supervision after he or she has demonstrated the competencies required to perform these activities.

The EPA concept intends to integrate different competencies within relevant and recognizable contexts and in this way to link the educational and medical worlds.

Entrustment is the clinically meaningful summative judgment based on a rich source of information about the quantity and quality of a trainee's professional performance. Granting entrustment is a clinically recognizable step that resonates with the former master- apprenticeship model.

The implementation and assessment of entrustable professional activities requires a well-thought-out syllabus, an organized clinical environment, and appropriately trained personnel.

Key words: Medical Education, Entrustable Professional Activities (EPAs)

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.20



History of Science

Georgian Radio During the Second World War and in the Years After the War

Nanuli Talakhadze[1], **Natia Nakhutsrishvili**[1], **Sandro Bakhtadze**[2]

[1]I.Javakhishvili Tbilisi State University; [2]Geoaeronavigation Company

Abstract

This paper is a continuation of the article "The Initial Stages of the History of Georgian Radio" presented by the authors. The course of World War II was widely covered by Georgian radio from the moment it began. On June 22, 1941, at 12 noon, the All-Union Radio broadcast a message from the Soviet government about the German attack on the USSR and announced general mobilization. The outbreak of the war partially eased the tension caused by repressions in the country and set new tasks for the Georgian Radio Committee. In this article, we will discuss the role of Georgian radio broadcasting in these processes.

Keywords: Georgian radio broadcasting, second world war

On June 22, 1941, at 12 noon, the All-Union Radio broadcast a message from the Soviet government about the German attack on the USSR and announced a general mobilization. The outbreak of war partially eased the tension caused by the repressions in the country and set new tasks for the Georgian Radio Committee. There were also some personnel changes - from June 1941, the chairman of the committee, Shalva Tsagareishvili, was replaced by Ioseb Rukhadze.

The resolution of the Bureau of the Central Committee of the Communist Party of Georgia "On the Work of Radio Broadcasting" of December 26, 1941 specifically states that the Georgian Radio Committee must urgently change its work in accordance with the new conditions and pay primary attention to military topics, expand collective listening to broadcasts, which is the main part of the radio's propaganda and organizational work, and establish and take care of improving technical facilities and the qualifications of specialists in a number of regions of the republic. Every word spoken on the air was subject to control, and this is evidenced by numerous government and party documents. For example, on June 16, 1942, the resolution of the Bureau of the Central Committee of the Communist Party of Georgia "On the Organization of Front Radio Broadcasting" emphasized that "radio is the Party's sharp weapon" and listed the exact plan and participants of the radio broadcast intended for the front (speech by the Chairman of the Central Committee of the Communist Party of Georgia V. Bakradze, academicians I. Beritashvili and S. Janashia, poet S. Chikovani, People's Artist of Georgia A. Khorava, as well as leading representatives of the working class, peasantry, and army, etc.).

First of all, changes were planned in news broadcasting, which was to become a source of operational information on current events. However, it was still not possible to develop an appropriate concept, which was due to the lack of qualified creative personnel and the scarcity of original materials. In addition, in terms of receiving official messages, international information and other materials, the Georgian Radio Committee was completely dependent on Sakdes, which provided these materials with a long delay and could not be transmitted immediately. The repressions carried out among the Radio Committee staff also played a negative role. As noted in the reporting report of those years: a breakthrough in the work of the Radio Committee began in the spring of 1942, when the central apparatus was cleansed of hostile elements and replenished with new workers. Ioseb Rukhadze was also replaced. The chairman of the Georgian Radio Committee was the famous film director, Honored Artist Leo Esakia, whose name is associated with the implementation of important radio broadcasting events. Until 1943, Georgian Radio began broadcasting at 7:00 a.m. from Moscow with the "Latest News", and at 7:30 a.m. the first edition of "Latest News" was broadcast in Georgian. From the second half of 1943, the situation changed and daily broadcasting began at 6:30 a.m. with the Georgian edition of "Latest News", and Georgian workers, before starting work, were given the opportunity to listen to the most important news of the day (reports of the Soviet Information Bureau, correspondence with the Patriotic War front, resolutions of the Supreme Soviet, foreign news). Over time, the radio audience, consisting of residents of cities and villages who did not know the Russian language, increased significantly.

The second event was also very important: the Georgian Radio Committee failed to receive Sakdes' materials in time, so during the war it was decided to record the Union Radio's operational information on the Shorinophone, which was immediately decoded and, after proper testing, broadcast in Georgian. This entire process lasted from 15 to 30 minutes. In an extremely short time, the most important state notices, decrees and other materials became known to everyone in Georgian. Similarly, the listeners were provided with the leading article of the newspaper "Pravda" and reviews of central newspapers. Also, the texts of speeches of leading party and Soviet workers broadcast by the Union Radio were recorded and translated on the Shorinophone, some of which were not printed in the central press. In this way, the Georgian Radio Committee provided great assistance to the editorial offices of the republic's magazines and newspapers and other propaganda organs. Part of the materials received from Moscow, which it did not use, was transferred to the republican press, where it was published under the heading: “Received through the Georgian Radio Committee”.

Before the war, attention was also focused on the material and technical base of the radio, and since 1940 it included: the transmitting radio station RV-7, four studios, equipment (amplifier, recorder, transmitter), receiving and technical control stations. Compared to previous years, the receiving center could broadcast from Moscow much better. Radio transmission networks were expanded and new radio nodes were built. A total of 34 radio stations were operating throughout the republic. On January 21, 1941, by decision of the leadership of the Georgian Radio Committee, the use of radio for international and military reviews, as well as theoretical transmission of conversations, was prohibited, except for materials sent by the Charity Committee. The local radio broadcasting trustees were instructed to "build local broadcasting only on local material and organize collective listening to lectures and reports on radio station RV-7."

In the same year, by order of the Union Radio Committee, the Propaganda and Agitation Editorial Office and the "Latest News" were merged and renamed the Political Broadcasting Editorial Office. All political materials were collected here, and the total duration of broadcasting was 3 hours and 45 minutes a day. The editing of political broadcasting, in addition to the latest reports, included: political discussion (twice a week), agricultural programs (five times a week), translation of the leading article of "Pravda", programs for young people (4 times a week). Broadcasting was carried out in four languages - Georgian, Russian,

Armenian and Azerbaijani. S. Natelashvili was appointed acting head of the United Editorial Department of Political Broadcasting, K. Mavzarashvili - editor of agricultural issues - A. Kekelia, in economics - I. Natroshvili. "Latest News" was the most operational source of information for the Georgian population and was broadcast in Georgian and Russian 6 times a day, and since 1944 - 7 times. In addition to information about the course of the war, reports were made from meetings and rallies held in various industrial establishments and collective farms, from speeches of workers at the microphone calling for the protection of Soviet achievements, as well as about the state of materials. The public economy was broadcast, assistance was provided to the families of Red Army soldiers, etc. It is noteworthy that during the war the Radio Committee received a large number of letters from listeners, including questions, responses and cards of gratitude. In the spring of 1943, an article was sent to the newspaper "Pravda" about the patriotic initiative of the Fedukinsky school, which was expressed in the care of children who went to the front. Several cards and questions were received by the editorial office of "Latest News" the very next day. In response, the radio invited the Deputy People's Commissar of Education of Georgia, M. Burchuladze, who addressed the workers of the republic. They responded to this initiative and mobilized to help the families of Red Army soldiers. It should be said that such cards were often drawn up by the editors themselves, creating the illusion that the workers were enthusiastically responding to public initiatives, although, in reality, the mass of workers and peasants was really active in this regard.

From the very first days of the war, all citizens of the USSR (except for those who had special permission to do so) were forbidden to use any radio receiver at home, except for a cable broadcast player. Everyone had to hand over their radio receivers to the state for safekeeping, and for this purpose, gigantic warehouses of radio equipment were organized throughout the Soviet Union (in 1945-1946 alone, about 1.3 million radio receivers were confiscated from their owners). Those who did not hand over their domestic radio equipment were immediately arrested. The goal of this entire campaign was to prevent ordinary citizens from receiving information other than that from Soviet radio (by the way, the same rule was in effect in fascist Germany during the war). Obviously, under such conditions of information dissemination, Soviet radio broadcasting was granted a complete monopoly, which itself was subject to censorship and control by punitive bodies and could select facts and comment on them with a bias.

Every fact or event was considered in accordance with the general propaganda task. The main slogans were: "Our cause is just! The enemy will be destroyed! We will remain! Everything for the front, everything for victory!" It was impossible to say that the Germans sometimes fight better than us, that some of their weapons are better than ours, etc. As is known, the front news was mainly provided to the radio by the specially organized "Sovinformburo" during the war years (its reports on military operations were broadcast several times a day on Georgian radio, which usually often embellished them, and sometimes grossly distorted them (especially in the first months of the war).

During the war, the number of propaganda programs on the radio significantly increased, the purpose of which was to spread the idea of the invincibility of the Soviet Union in World War II, the vanguard role of the Communist Party, the widespread propaganda of Soviet patriotism and hatred of the enemies of the Soviet country, and the strengthening of broad public support for the country's leadership and military policy pursued by the military leader. For this purpose, materials collected from the Union Radio and central or republican magazines were mainly used. For example, "The Soviet People Defend the Achievements of the Great October Revolution", "The Soviet Back is Strong", "The Power of Stalin's Prophecy", "Our Heroic Strong Army", "The destruction of German fascism is inevitable", etc. Gradually, the number of original programs increased, the authors of which were famous party and Soviet workers, political and public figures, whose words could influence radio listeners and the formation of public opinion. The radio did not leave the intelligentsia without attention either, and with a special column "Our Soviet Intelligence" invited

famous people, prominent figures of science and art to the microphone: S. Janashia, N. Ketskhoveli, N. Muskhelishvili, V. Kupradze, I. Beritashvili and others. Georgian Radio paid special attention to issues of military training, air and chemical defense ("How to destroy an enemy tank", "How to fight enemy paratroopers", "How to remove an incendiary grenade", "How to behave during an alarm", etc.).

Since 1943, when the tension at the front eased and the war entered a turning point, the radio has occupied a wider place. It was devoted to the rear workers and the coverage of various branches of the public economy. There was almost no district or village left in Georgia about which information or materials of other genres had not been disseminated. Agricultural specialists - agronomists, economists, veterinarians - appeared at the microphone. Telephone communications improved, which made it easier to connect with the districts and receive and transmit important information in a timely manner.

The financial and political campaign of the war period, the problems of realizing the Third State Military Loan, the issues of rationalization of production, mobilization of domestic resources, the economic regime, and socialist competitions were systematically covered in the cycles: “Participants' Tribune. During the general social competitions, "Advanced Enterprises at the Microphone", "General Attention and Assistance to Families at the Front", "Our Transport and Industry", special attention was paid to the Transcaucasian Railway, which did a lot for the work of the public economy and front-line services. Every Wednesday, under the rubric "Technical Propaganda", lectures-consultations and special conversations were often held for railway workers on the topic "The Second Industrial Center of Georgia", from Gori - "The Homeland of the Great Stalin", from the Avchala Champagne Factory - "Give High-Quality Champagne to the Workers", from the Lilo settlement - "Old and New Big Lilo", etc.

The Agitation and Propaganda Department of the Central Committee of the Communist Party of the Soviet Union (B.) was the main source of information, although it is difficult to say how complete and objective information it provided to listeners, since it controlled the content of radio broadcasts. Until the middle of the war, original materials depicting war and front-line events were rarely broadcast; materials collected from the Union Radio Committee and the press were mainly used. This deficit was somewhat compensated by historical themes, which were an effective means of raising patriotic spirits and manipulating national feelings. The column “Our Heroic Ancestors” was used to broadcast conversations about personalities dedicated to Georgia and heroic episodes from their lives, for example, “David the Builder and the Struggle for Georgia’s Independence”, “Vakhtang Gorgasali”, “Queen Tamar”, “Giorgi Saakadze”, “Erekle II” and others. At the same time, the rubric "The Heroic Past of the USSR" appeared, which mainly represented the history of Russia and only to a small extent the past of other republics, for example: "The Russian People in the First Patriotic War", "Battle. Borodino", "Minin and Pozharsky", "The Role of the Partisan Movement in the Patriotic War of 1812", etc.

During the war, interest in international topics especially increased. Political pamphlets were often distributed - mainly translated materials. Among them, the articles of M. Zoshchenko, V. Kataev and especially I. Ehrenburg were very popular: "Cursed Berlin", "Walking in Fritzland", "Our People are the Guarantor of This" and others. Child murderers have no place on earth, everything must be exposed and all criminals must be punished. We must dig up all the executioners, and since we value a man so much, we want all his enemies to be punished - the author's pathetic and revealing tone, uncompromising, sharp satire, raised the fighting and patriotic spirit of the people. I. Ehrenburg's articles were almost always read by announcer David Dzigua. The tone of his voice and the persuasiveness of his reading made a great impression on the listener. In addition, it should be noted the heavy language of the translated materials, faulty sentences. Georgian pamphlets and satirists had not yet appeared at the microphone. Germane

Shubitidze's pamphlet on an international topic appeared several times in radio broadcasts, although it was not distinguished by its political sharpness.

If we look at the statistical data, the number of thematic programs according to the reports of 1942 is as follows: “News about the Patriotic War Front” — 508 programs, “Soviet Rear” — 51 programs, celebration of important dates — 61 programs. , “Partisan Battle” — 14 programs. By authors: Georgian authors — 226 programs, Russian authors — 282 programs, sister republics (without Russian) — 17 programs. As can be seen from these data, the abundance of Russian-language programs is striking, which was caused by the increase in the number of Russian and non-Georgian listeners in our republic.

From the second half of 1942, the share of original programs by journalists of the Georgian Radio Committee increased significantly, which was a result of their connection with the front. Many radio correspondents themselves became eyewitnesses of the war. The resolution "On the work of military correspondents" adopted by the Propaganda and Agitation Department of the Central Committee of the CPSU (b) and the Main Political Directorate of the Red Army authorized the leadership of the press and radio broadcasting to send their own correspondents to the front, who would be enrolled in the Red Army cadres and provide materials to the relevant information media. The military correspondents were instructed to show the people on the front line, the Red Army fighters and commanders who were well versed in military equipment and combat tactics, their initiative, agility in the fight against the enemy, their hatred of the German fascists, their strength, self-sacrifice and discipline. Execution of orders from the command.

Materials by special correspondents of the radio and authors working in the army, essays on famous Georgian soldiers, episodes from the front-line life of heroes of the USSR were broadcast three times a week under the new heading "Famous Children of the Georgian People in the Patriotic War": "Georgian Street in Kremenchug", "Georgian Defenders of Stalingrad", "Captain Bukhaidze", "Georgian Guardsmen", "The Gulvardashvili Brothers", etc. In parallel, live performances of soldiers were organized at the microphone. Soldiers and officers who participated in the defense of Stalingrad, the guards of Major General Nikoloz Tavartkiladze, participants in the battles near Novorossiysk, Anapa and Taman were invited to the studio. Thus, Georgian radio broadcasting played a major role in covering the course of World War II. By the end of the 1950s, it was finally formed in technical-organizational and professional terms, with a powerful material-technical base and is engaged in broadcasting throughout the republic. Its public functions have long been defined, the specificity of radio images and on-air modifications of the journalistic genre have been mastered, and an organizational structure has been formed. In addition, it is an agency of union-republican subordination and simultaneously experiences the influence of both the unified centralized system of broadcasting and local government bodies, any changes in the state information structure. After the above-mentioned reforms, in 1978, the State Committee of Television and Radio Broadcasting of Georgia was finally formed - this name remained with it until the end of Soviet power.

ლიტერატურა

UITSSA of Georgia (archive) 1978, 258, p. 8, 19, 30, 34-35, 72.

საქართველოს ყისცა (არქივი) 1978, 258, გვ. 8, 19, 30, 34-35, 72.

Bakradze A. (1990) The taming of the literature. Tbilisi, 56.

ბაქრაძე, ა. (1990) მწერლობის მოთვინიერება. თბილისი, 56.

ქართული რადიო მეორე მსოფლიო ომის დროს და ომის შემდგომ წლებში

ნ.ტალახაძე[1], ნ.ნახუცრიშვილი[1], ს.ბახტაძე[2],

[1]ი.ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; [2]საქაერონავიგაციის კომპანია

რეზიუმე

ნაშრომი წარმოადგენს ავტორების სტატიის „ქართული რადიოს ისტორიის საწყისი ეტაპები“ გაგრძელებას. მეორე მსოფლიო ომის მიმდინარეობა დაწყების დღიდან ფართოდ გააშუქა ქართულმა რადიომ. 1941 წლის 22 ივნისს, შუადღის 12 საათზე, საკავშირო რადიომ საბჭოთა ხელისუფლებისგან გაავრცელა შეტყობინება სსრკ-ზე გერმანიის თავდასხმის შესახებ და გამოაცხადა საყოველთაო მობილიზაცია. ომის დაწყებამ ნაწილობრივ განმუხტა ქვეყანაში რეპრესიებით გამოწვეული დაძაბულობა და საქართველოს რადიოკომიტეტს ახალი ამოცანები დაუსვა. ამ სტატიაში განვიხილავთ ქართული რადიომაუწყებლობის როლს ამ პროცესებში.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.21



აქტინიდიის (კივი) მინერალური კვება

იზოლდა მამულაიშვილი[1]; ვახტანგ გოლიაძე[2]; დავით აფხაზავა[3], ეკატერინე გობრონიძე[4], ქეთევან ჩიკაშუა[5]

[1]სოფლის მეურნეობის აკადემიური დოქტორი; [2]სოფლის მეურნეობის აკადემიური დოქტორი; [3]ტექნიკის აკადემიური დოქტორი; [4]ტექნიკის აკადემიური დოქტორი; [5]ბიოლოგიის აკადემიური დოქტორი

ა(ა)იპ საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის ჩაის, სუბტროპიკული კულტურებისა და ჩაის მრეწველობის ინსტიტუტი

რეზიუმე

ნაშრომში მოცემულია დასავლეთ საქართველოს ტენიანი სუბტროპიკული ზონის პირობებში, წითელმიწა ნიადაგზე გაშენებული, აქტინიდიის განოყიერების სისტემის შემუშავების და ახალი სახის კოპლექსური სასუქების გავლენის შესწავლის მრავალწლიანი შედეგები ნიადაგსა და მცენარეში საკვები ელემენტების შემცველობაზე, მოსავლიანობასა და ნაყოფის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. სავეგეტაციო და მინდვრის ცდების პირობებში დადგენილია ნიადაგში საკვები ელემენტების ოპტიმალური შეფარდება. ახალი სახის კომპლექსური სასუქების გამოყენებით ძლიერდება მცენარის მიერ ნიადაგიდან ფოსფორის შეთვისება, იზრდება მოძრავი კალიუმის რაოდენობა, უმნიშვნელოდ იცვლება ნიადაგის პოტენციური მჟავიანობა, მცირდება ბალასტი ნივთიერებებით ნიადაგის დაბინძურების დონე. შესწავლილია ნიადაგში ძირითად საკვებ ელემენტებს შორის ურთიერთ დამოკიდებულება, რომელიც უზრუნველყოფს მოსავლიანობის ზრდას, და გავლენა ახდენს ნიადაგის სტრუქტურულ-მექანიკურ შემადგენლობაზე. ახალგაზრდა ნარგაობაში მინერალური სასუქების ოპტიმალურ თანაფარდობას წარმოადგენს აზოტის, ფოსფორის და კალიუმის ორმაგი დოზები.

საკვანძო სიტყვები: აქტინიდია, მინერალური კვება, პროდუქტიულობა, ქიმიურ-ტექნოლოგიური მახასიათებლები

შესავალი

აქტინიდია მნიშვნელოვანი ხეხილოვანი მცენარეა, რომლის ნაყოფი ხასიათდება მაღალი გემური და სამკურნალო თვისებებით. იგი შეიცავს მრავალ სასარგებლო ნივთიერებას, მათ შორის, ორგანულ მჟავეებს, ალდეჰიდებს, ფენოლერ ნაერთებს, ნახშირწყლებს, ვიტამინებს, მიკროელემენტებს, იოდს სამკურნალო რაოდენობით. აქტინიდიის კულტურის

გავრცელების ძირითად მალიმიტირებელი ფაქტორია მისი ყინვაგამძლეობა. ღია გრუნტში ქარის პირობებშიც კი იგი იტანს -9-12 ^{0} C, იღუპება -15-16^0 C - ზე [1 - 6].

აქტინიდიის კულტურაზე თანმიმდევრული, გეგმაზომიერი კვლევითი და ტექნოლოგიური ხასიათის სამუშაოები დაწყებულია 1979 წლიდან ინსტიტუტის განთავსების ადგილზე ოზურგეთში, ანასეულში, ხოლო შემდეგ ეტაპზე მის საცდელ ბაზებზე (ჩაქვი, ფოთი, სოხუმი).

მცენარის კვებაში უაღრესად მნიშვნელოვანია ნიადაგიდან საკვები ელემენტების შეთვისება, რომელიც ელემენტებს შორის ურთიერთდამოკიდებულებით განისაზღვრება. ეს მაჩვენებელი იცვლება მცენარის სახეობის, ნიადაგური პირობების, განვითარების ფაზების და გარემო პირობების მიხედვით. კვების ელემენტების მიმართ აქტინიდია ხასიათდება მაღალი მოთხოვნილებით, რაც გაპირობებულია მისი ბიომასით და ანასხლავი მასალის მიერ ნიადაგიდან საკვები ელემენტების დიდი რაოდენობით გამოტანით [3].

საკვები ელემენტების მიმართ აქტინიდიის კულტურის მოთხოვნის შესწავლა წითელმიწა ნიადაგების პირობებში აქტუალურია და ამ მიმართულებით მრავალწლიანი, თანმიმდევრული კვლევა პირველად არის ჩატარებული.

კვლევის მიზანია:

- ძირითადი საკვები ელემენტების მიმართ აქტინიდიის მოთხოვნილების, ზრდის დინამიკის და განვითარების ფაზების შესწავლა;
- მცენარის პროდუქტიულობაზე მინერალური სასუქების (NPK) შეფარდებისა და დოზების გავლენის დადგენა სავეგეტაციო და ლაბორატორიული ცდის პირობებში;
- ახალი სახის ხსნადი კომპლექსური სასუქების გავლენის შესწავლა აქტინიდიის მოსავლიანობაზე, ნედლეულის ქიმიურ და ტექნოლოგიურ მახასიათებლებზე მინდვრის ცდის პირობებში.

კვლევის ობიექტი და მეთოდიკა

კვლევები ჩატარდა ანასეულში, წითელმიწა ნიადაგზე, 2008 წ. შ. რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის პროექტით „ჰაივარდის“ ჯიშის აქტინიდიით გაშენებულ საცდელი ნაკვეთზე. ჯიში „ჰაივარდი“კარგად ეგუება საქართველოს სუბტროპიკული ზონის ბუნებრივ-ეკოლოგიურ პირობებს. ლაბორატორიული, სავეგეტაციო და მინდვრის, ცდები ჩატარდა აგროქიმიური კვლევების მეთოდიკის სრული დაცვით, მოქმედი სტანდარტებით და აღიარებული მეთოდების გამოყენებით.

კვლევის შედეგები და მათი განხილვა

მრავალწლიანი ექსპერიმენტალური მონაცემების საფუძველზე დადგენილი იქნა აქტინიდიის ზრდა-განვითარების აუცილებელი პირობები: მცენარის ჯიში და გაადგილება, ქარსაფარი ზოლების არსებობა ან მოწყობა, მოვლითი ღონისძიებები - ნიადაგის დამუშავება, საკვები ელემენტებით უზრუნველყოფა, მინერალური სასუქების ოპტიმალური დოზები და ფორმები, შეტანის ვადები და ხერხები, მავნებელ-დაავადებებთან ბრძოლა, ნიადაგში წყლისა და თერმული რეჟიმის რეგულირება.

კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ აქტინიდია ხასიათდება კვების ელემენტების მიმართ მაღალი მოთხოვნილებით, რაც გაპირობებულია მცენარის ქსოვილებში კვების ელემენტების ოპტიმალური კონცენტრაციით და მოსავლიანობით.

სავეგეტაციო ცდები ჩატარდა 7კგ ტევადობის ჭურჭლებში. აზოტიანი სასუქებიდან ცდაში ისწავლებოდა ამონიუმის გვარჯილა, ფოსფორიანი სასუქებიდან -სუპერფოსფატი, კალიუმიანი სასუქებიდან - კალიუმის სულფატი. ვინაიდან მცენარე მეტად მგრძნობიარეა ქლორის ნაერთების მიმართ. მინერალური სასუქები შეტანილი იქნა დაბალი, საშუალო და მაღალი კონცენტრაციებით (გ/1000 გ ნიადაგი): აზოტი - 0,05-0,1-0,2, ფოსფორი 0,025-0,05-0,1, კალიუმი - 0,05-0,1-0,2. ნიადაგი, რომელიც გამოყენებული იყო სავეგეტაციო ცდებისთვის ხასიათდება ჰუმუსის, საერთო აზოტის, მოძრავი ფოსფორისა და კალიუმის დაბალი შემცველობით, ნიადაგის არის რეაქცია მჟავეა, გაცვლითი მჟავიანობის მაჩვენებელი ტოლია 3,25 მგ/ექვ. 100 გ ნიადაგში. კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 1 – 4 და სურათებზე 1 - 3. ექსპერიმენტულმა მონაცემებმა აჩვენა, რომ ზრდის პირველ ფაზაში მცენარე მეტად მომთხოვნია ფოსფორისა და კალიუმის მიმართ, ხოლო შემდგომ პერიოდში მოთხოვნილება იზრდება აზოტზე. საკვები ელემენტების ოპტიმალურ თანაფარდობას წარმოადგენს აზოტის, ფოსფორის და კალიუმის ორმაგი დოზები. შემდგომი მატება იწვევს მცენარის ბიომასის და მორფოლოგიური ელემენტების შემცირებას. მიღებული შედეგები აჩვენებს, რომ ზრდასრულ ასაკში სასუქების შეტანის ვადები დიფერენცირებული უნდა იყოს მცენარის ასაკის, ნიადაგსა და მცენარეში საკვები ელემენტების შემცველობის მიხედვით.

საცდელი ნაკვეთის გაშენების პირველ წელს აზოტიანი სასუქების შეტანა ხდებოდა წილადობრივად: პირველი შეტანა ვეგეტაციის დაწყებამდე, არაუგვიანეს ორი თვით ადრე, შემდგომ წლებში დასაწყისი თებერვალი და მაისის ჩათვლით ამოიუმის გვარჯილა ან შარდოვანა N 300-400 გ/ხეზე, ფოსფორიანი და კალიუმიანი სასუქები, დოზა სუპერფოსფატის $P_2O_5$150 გ/ხეზე, კალიუმიანი სასუქები K_2O 180 გ/ხეზე. შეტანის დრო თებერვლის დასაწყისი ერთჯერადი შეტანით.

ცხრილი 1. წითელმიწა ნიადაგის პირობებში ცალკეული საკვები ელემენტების გავლენა აქტინიდიის მორფოლოგიურ ელემენტებზე

#	ვარიანტები	მორფოლოგიურ ელემენტები, გ			მთლიანი მასა	
		ფოთოლი	ღერო	ფესვი	გ	%
1	უსასუქო	4,46	2,97	6,83	14,26	100
2	N	7,2	3,6	11,6	22,4	157,1
3	P	14,5	10,5	13,9	38,9	272,7
4	K	14,8	6,3	14,5	35,6	249,6
5	PK	16,1	9,3	16,1	41,5	291,0
6	NK	7,87	5,57	8,9	23,34	156,6
7	NP	4,2	3,2	10,2	17,6	123,4
8	NPK	10,56	18,8	14,5	43,86	307,5

ცხრილი 2. წითელმიწა ნიადაგის პირობებში აქტინიდიის მორფოლოგიურ ელემენტებზე აზოტიანი სასუქების დოზების გავლენა

#	ვარიანტები	მორფოლოგიური ელემენტები, გ			მთლიანი მასა	
		ფოთლის წონა	ღეროს წონა	ფესვის წონა	გ	%
1	უსასუქო	4,46	2,97	6,83	14,26	35,83
2	PK-ფონი	16,1	9,3	14,4	39,9	100
3	$PK+N_1$	26,8	22,5	40,0	88,6	222,6
4	$PK+N_2$	29,94	26,10	34,67	90,71	227,9
5	$PK+N_3$	24,5	15,5	38,9	78,9	198,9

კვლევის შედეგებით დასტურდება, რომ აქტინიდია დადებითად რეაგირებს ნიადაგში აზოტით, ფოსფორით და კალიუმით უზრუნველყოფის დონის ზრდის მიმართ, პროდუქტიულობის მაქსიმალური მატება მიიღება N_2 P_2 K_2 ვარიანტზე და დადებითად მოქმედებს ნაყოფის სტრუქტურულ-მექანიკურ შემადგენლობაზე. სავეგეტაციო პერიოდში მცენარის ზრდის დინამიკაზე დაკვირვების შედეგებმა აჩვენა, რომ მინერალური სასუქების ოპტიმალური დოზით გამოყენება მცენარის ბიომასის მაჩვენებელს 207,5 %-ით ზრდით, ამავდროულად უზრუნველყოფს ნიადაგის ნაყოფიერების დონის ზრდას. ნიადაგში ხდება საკვები ნივთიერებების ბალანსის შენარჩუნება, ვლინდება საუკეთესო შესაბამისობა ძირითად საკვებ ელემენტებს შორის, როგორიცაა - ნიადაგის მჟავიანობა - 5,6-ის ტოლია, მოძრავი ფოსფორი P_2O_5 36,6 მგ/100 გ ნიადაგში, მოძრავი კალიუმი K_2O - 20,5, კალციუმი CaO 126,5, მაგნიუმი MgO- 62,0 მგ/100 გ ნიადაგში. საერთო ჰუმუსი 3,6, საერთო აზოტი 0,25 %. კორელაციურ მდგომარეობაშია მცენარის ფოთლებში აღნიშნული საკვები ელემენტების შემცველობა. საერთო აზოტი N 3-4 %-ის ფარგლებშია, ფოსფორი - 0,42 %, კალიუმი - 1,0 %. ამ პარამეტრების ოპტიმიზაციამ გამოიწვია როგორც მოსავლიანობის, ასევე მორფოლოგიურ, სტრუქტურული და ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესება.

ცხრილი 3. წითელმიწა ნიადაგის პირობებში აქტინიდიის მორფოლოგიურ ელემენტებზე ფოსფორიანი სასუქების დოზების გავლენა

#	ვარიანტები	მორფოლოგიური ელემენტები, გ			მთლიანი მასა	
		ფოთლის წონა	ღეროს წონა	ფესვის წონა	გ	%
1	უსასუქო	4,46	2,97	6,83	14,26	63,84
2	NK-ფონი	7,87	5,57	8,9	22,34	100

3	NK + P_1	23,3	12,25	18,6	54,15	242,4
4	NK + P_2	28,3	17,54	20,34	66,18	296,24
5	NK + P_3	12,27	15,7	20,25	48,15	215,85

ცხრილი 4. წითელმიწა ნიადაგის პირობებში აქტინიდიის მორფოლოგიურ ელემენტებზე კალიუმიანი სასუქების დოზების გავლენა

#	ვარიანტები	მორფოლოგიური ელემენტები, გ			მთლიანი მასა	
		ფოთლის წონა	ღეროს წონა	ფესვის წონა	გ	%
1	უსასუქო	4,46	2,97	6,83	14,26	81,03
2	NP-ფონი	4,2	3,2	10,2	17,6	100
3	NP + K_1	16,8	8,67	15,97	41,4	232,23
4	NP + K_2	22,67	7,5	21,34	57,51	292,7
5	NP + K_3	7,07	3,05	17,14	27,3	155,12

მაღალი და სტაბილური მოსავლის მიღების სრულყოფილი აგროტექნიკური ღონისძიება ითვალისწინებს მცენარის უზრუნველყოფას ძირითადი საკვები ელემენტებით (აზოტი, ფოსფორი, კალიუმი, კალციუმი, მაგნიუმი, გოგირდი) და მიკროელემენტებითა (მანგანუმი, ბორი, მოლიბდენი, თუთია, რკინა, სპილენძი და სხვ.).

წყალში ხსნადი NPK Agialis სასუქები იდეალურია ხეხილოვანი და კენკროვანი კულტურებისათვის, ადვილად შესათვისებელია, გაცილებით სწრაფად მოქმედებს, ეს არის სხვადასხვა მაკრო და მიკროელემენეტებისაგან შემდგარი ნაკრები, რომელიც დამატებით გამდიდრებულია მიკროელემენტებით რკინა (Fe), ბორი (B), თუთია (Zn), მოლიბდენი (Mo) და მანგანუმი (Mn). წყალში ხსნად სასუქებში მიკროელემენტები ჩართულია ხელატური ფორმით, რაც უზრუნველყოფს მათ ეფექტურ შეთვისებას მცენარის მიერ მათში არ შედის ქლორი, ნატრიუმი, ფტორი და სხვა ბალასტი ნივთიერებები.

ცდების დაყენებამდე ნიადაგის წინასწარმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ საცდელი ნაკვეთის ნიადაგი მჟავეა, PH წყლის გამონაწურში 5,4 ტოლია, KCL მარილის გამონაწურში 4,6; გაცვლითი მჟავიანობა 5,32 მგ/ექვ. 100 გ ნიადაგში, მოძრავი ფოსფორი - 7,5 მგ/100 გ ნიადაგში, მოძრავი კალიუმი - 6,0 მგ/100 ნიადაგში, საერთო ჰუმუსი 1,45 %, საერთო აზოტი - 0,125 %. ანალიზის შედეგებიდან ჩანს, რომ ნიადაგი საკვები ელემენტების შემცველობის მხრივ დაბალი უზრუნველყოფით ხასიათდება. ცდები ჩატარდა ოთხჯერადი განმეორებით.

ცდის სქემა: კონტროლი სტანდარტული ტექნოლოგია (შარდოვანა კარბამიდი, ერთდროული შეტანა 50 კგ/ჰა დოზით).

ვარიანტი 1. პირველი გამოკვება NPK -13-40-13+მე. მეორე გამოკვება NPK -20-20-20+მე; მესამე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეოთხე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეხუთე გამოკვება - NPK -6-14-35+2MgO+მე; მექვსე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეშვიდე გამოკვება - NPK -6-14-35+2MgO+მე; მერვე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეცხრე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეათე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეთერთმეტე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე;; მეთორმეტე გამოკვება NPK -13-40-13+მე.

ვარიანტი 2. პირველი გამოკვება NPK -13-40-13+მე. მეორე გამოკვება NPK -18-18-18+3MgO+მე; მესამე გამოკვება - NPK -18-18-18+3MgO+მე; მეოთხე გამოკვება - NPK -18-18-18+3MgO+მე; მეხუთე გამოკვება - NPK -6-14-35+2MgO+მე; მექვსე - NPK -18-18-18+3MgO+მე; მეშვიდე გამოკვება - NPK -6-14-35+2MgO+მე; მერვე გამოკვება - NPK -18-18-18+3MgO+მე; მეცხრე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეათე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეთერთმეტე გამოკვება - NPK -20-20-20+მე; მეთორმეტე გამოკვება NPK -13-40-13+მე.

ცხრილი 5. ახალი სახის კომპლექსური სასუქების გავლენა აქტინიდიის პროდუქტიულობაზე (წითელმიწა, ანასეული)

#	ვარიანტები	მოსავლიანობა		მატება კონტროლთან	
		კგ/ჰა	%	კგ/ჰა	%
1	კონტროლი	14244,3	100	-	-
2	ვარიანტი 1	18992,4	133,34	4748,1	33,3
3	ვარიანტი 2	16826,6	118,13	2582,3	18,13

ცხრილი 6. ახალი სახის კომპლექსური სასუქების გავლენა აქტინიდიის მოსავლიანობასა და ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე

#	ვარიანტები	მოსავლი-ანობა კგ/ხეზე	საშუა-ლო წონა, გ	ნაყოფის დიამეტრი მმ	ნაყოფის განი, მმ	მშრალი ნივ-ბა %	ვიტა-მინ C მგ/%	შაქრე-ბის ჯამი, %
1	კონტროლი	17,1	68,5	30-40	60-75	16,2	118,0	10,7
2	ვარიანტი 1	22,8	93,3	40-50	90-100	17,0	132,5	10,95
3	ვარიანტი 2	20,2	80,2	36,40	70-86	16,8	119,7	10,82

კვლევის შედეგებიდან ჩანს, რომ ახალი სახის კომპლექსური სასუქების ოთხივე ფორმის გამოყენებამ აჩვენა მაღალი შედეგი, მოსავლიანობის და ხარისხობრივი მაჩვენებლების ზრდის მიხედვით (ცხრილები 5 და 6). ცდის პირველი ვარიანტის შემთხვევაში მოსავლიანობის მატებამ მაჩვენებელმა შეადგინა 33,3%-ია (აბსოლუტური მნიშვნელობით

2582,3 კგ/ჰა). ერთი მცენარის მაჩვენებელის მიხედვით - 5,7-3,1 კგ-ით გაიზარდა საკონტროლო ვარიანტთან შედარებით. ასევე მნიშვნელოვანია ნაყოფის სტრუქტურულ-მორფოლოგიური და ხარისხობრივი მაჩვენებლების ზრდა: საშუალო წონა, ნაყოფის დიამეტრი, ნაყოფის ზომები, მშრალი ნივთიერება, ვიტამინი C, ნახშირწყლები.

ცხრილი 7. ახალი სახის კომპლექსური სასუქების გავლენა აქტინიდიის პლანტაციის წითელმიწა ნიადაგის აგროქიმიურ მაჩვენებლებზე

ვარიანტები	ნიმუშების აღების სიღრმე, სმ	pH სუსპენ-ზიაში		მგ/ექვ. 100 გ ნიადაგში		მგ100 გ ნიადაგში		%			C/N
		H_2O	KCL	ჰიდრ.	მთანთქმული ფუძეების ჯამი	P_2O_5	K_2O	ჰუმუსი	აზოტი	C	
კონტროლი	0-15	5,2	4,5	3,2	29,3	15,63	12,34	1,53	0,12	0,89	7,2
	15-30	5,8	4,9	3,38	30,5	14,38	9,0	1,4	0,09	0,82	9,12
	30-45	5,8	5,0	3,39	38,2	13,75	7,5	1,23	0,08	0,72	8,78
ვარიანტი 1	0-15	5,2	4,7	2,94	28,0	19,13	26,0	1,63	0,17	1,53	9,0
	15-30	5,2	4,8	3,08	30,0	16,25	21,75	1,53	0,10	0,89	8,48
	30-45	5,32	4,8	3,38	32,0	13,75	19,5	1,17	0,08	0,69	8,92
ვარიანტი 2	0-15	5,7	4,9	3,54	29,5	17,5	15,0	2,24	0,14	5,13	9,04
	15-30	5,8	5,0	3,43	29,0	14,38	15,5	1,98	0,13	1,16	8,93
	30-45	5,8	5,0	3,5	30,5	13,38	13,5	1,72	0,11	1,0	9,09

ახალი სახის კომპლექსური სასუქების გამოყენება მეცნიერულად დასაბუთებული სისტემით იწვევს ნიადაგში საკვები ელემენტების ოპტიმალურ კონცენტრირებას, რომელიც ძირითადი ფაქტორია მოსავლიანობის ზრდის. კვლევის შედეგებიდან ვლინდება (ცხრილი 7), რომ მათი გამოყენებით ნიადაგის მჟავიანობა მკვეთრად არ იცვლება, იზრდება ფოსფორის და კალიუმის გამოყენება მცენარის მიერ, იცვლება ნიადაგის პოტენციური მჟავიანობის მაჩვენებლები, აღინიშნება საერთო ჰუმუსისა და აზოტის მატების ტენდენცია, მინერალური სასუქების გამოყენება (3,94%) ზრდის აზოტისა და ორგანული ნახშირბადის რაოდენობას, რომელიც წარმოადგენს ნიადაგში მიმდინარე ბიოქიმიური პროცესების ინდექსს.

დასკვნები:

1. დასავლეთ საქართველოს ტენიანი სუბტროპიკული ზონის აგროეკოლოგიური და აგრომეტეოროლოგიური პირობები სრულ შესაბამისბაშია აქტინიდიის კულტივირების მოთხოვნებთა.

2. შემუშავებულია აქტინიდიის მოვლა-მოყვანის აგროტექნოლოგია, განოყიერების რაციონალური სისტემა, მინერალური სასუქების ოპტიმალური დოზები და ფორმები მცენარის ასაკის და საკვები ელემენტების შემცველობის მიხედვით ნიადაგსა და მცენარეში. დასაბუთებულია ახალი სახის წყალში ხსნადი კომპლექსური სასუქების NPK Agialis გავლენა მცენარის მოსავლიანობაზე, ნიადაგის თვისებაზე და ნედლეულის ქიმიურ-ტექნოლოგიურ მახასიათებლებზე. კალიუმის მაღალი შემცველობის სასუქის NPK-6-14-35+2MgO+მე გამოყენება ნაყოფის ფორმირების პროცესში დადებითად მოქმედებს მოსავლიანობაზე, ნაყოფის ზომებზე, შაქრიანობასა დშენახვისუნარია-ნობაზე.

3. შემოშავებულია რეკომენდაცია „დასავლეთ საქართველოს სუბტროპიკული ზონის წითელმიწა ნიადაგების პირობებში აქტინიდიის კულტურის მოვლა-მოყვანის აგროტექნოლოგია და განოყიერების სისტემა“, რომელიც ხელმისაწვდომია მეურნეობებსა და კერძო ბიზნესისათვის.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. შ. გოლიაძე. აქტინიდია ანასეულში. სუბტროპიკული კულტურები, #5, 1989. გვ. 103-109.

2. ვ. გოლიაძე, ზ. გაბრიჩიძე, ი. მამულაიშვილი. ჩინური აქტინიდია (კივი) ბიოლოგია და აგროტექნოლოგია. 2008. გამომცემლობა „მერიდიანი“, გვ. 84

3. ა. მესხიძე. აქტინიდია კვება-განოყიერების სისტემა, კვების რეჟიმის დარღვევის დიაგნოსტიკა. ოზურგეთი-ანასეული, 2003, გვ. 63.

4. გ. გვიჩია, დ. გაბისონია. აქტინიდიის კულტურა და მისი გავრცელების შესაძლებლობა საქართველოში. ჟ. სუბტროპიკული კულტურები, #3, 1990, გვ. 121-123.

5. დ. აფხაზავა ვ. გოლიაძე, ც. ქაშაკაშვილი. კივის რედუქციური ფორმების ნაყოფის ქიმიურ-ტექნოლოგიური მაჩვენებლები. ჟ. სუბტროპიკული კულტურები, #1-4, 2007, გვ. 45-46.

5. ი. მამულაიშვილი, ვ. გოლიაძე. აქტინიდიის მოთხოვნები საკვებ ელემენტებზე წითელმიწა ნიადაგზე. საერთაშორისო სამეცნიერო პრაქტიკული კონფერენცია. ქუთაისი, 2015, გვ. 408-411.

6. Ahmet Celik, Sezal Ercisili, Nihat Turcut – Some physical, pormological and nutritional properties of Kivi fruit cv Haywarel. International Journal of food sciences Nutrition. September 2007. 58 (6) 411-418.

Mineral feeding of Actinidia (kiwi)

Izolda Mamulaishvili[1], Vakhtang Goliadze[2]; David Apkhazava[3]; Ekaterine Gobronidze[4]; Ketevan Chikashua[5]

[1]Academic Doctor of Agricultural Sciences; [2]Academic Doctor of Agricultural Sciences; [3]Academic Doctor of Technical Sciences; [4]Academic Doctor of Technical Sciences; [5]Academic Doctor of Biological Sciences

Institute of Subtropical Tea Grops and Tea Industry of Georgia Agrarian University

Abstract

The article presents the results of many years of developing a fertilization system for actinidia grown on red soil in the humid subtropical zone of Western Georgia and studying the impact of new types of complex fertilizers on the content of nutrient elements in the soil and plant, yield, and fruit quality indicators. The optimal ratio of nutrient elements in the soil has been determined under vegetation and field trials. The use of new types of complex fertilizers enhances the absorption of phosphorus from the soil by plants, increases the amount of mobile potassium, slightly changes the potential acidity of the soil, and reduces the level of soil pollution with ballast substances. The interrelationship between the main nutrient elements in the soil, which ensures increased yield and influences the structural and mechanical composition of the soil, has been studied. The optimal ratio of mineral fertilizers for young plants is double doses of nitrogen, phosphorus, and potassium.

Keywords: actinidia, mineral nutrition, productivity, chemical-technological characteristics



სურ. 1. წითელმიწა პირობებში აქტინიდიის მორფოლოგიურ ელემენტებზე აზოტიანი სასუქების გავლენა (სავეგეტაციო ცდა, ანასეული)



სურ. 2. წითელმიწა ნიადაგის პირობებში აქტინიდიის მორფოლოგიურ ელემენტებზე ფოსფორიანი სასუქები დოზების გავლენა



სურ. 3. წითელმიწა ნიადაგის პირობებში მორფოლოგიურ ელემენტებზე კალიუმიანი სასუქების გავლენა



სურ. კივის ნაყოფი

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.22



მარკეტინგ-მიქსის კონცეფცია რეგიონალური მარკეტინგის ჭრილში

კუპრაშვილი თენგიზი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი ეკონომიკის აკადემიური დოქტორი E-mail: tengiz.kuprashvili@atsu.edu.ge

აბსტრაქტი

სტატია ეძღვნება თანამედროვე ქვეყნის რეგიონების მიერ მენეჯმენტში მარკეტინგული მიდგომის გამოყენების მიზანშეწონილობის დასაბუთებას. მასში განსაზღვრულია ტერიტორიული მარკეტინგის არსი, ასევე განსხვავებულია და დეტალურადაა განხილული რეგიონული მარკეტინგი, მარკეტინგული მიქსის ელემენტები, კერძოდ:

1. რეგიონული პროდუქტი.
2. სახელშეკრულებო პოლიტიკა;
3. საკომუნიკაციო პოლიტიკა;

კვლევის შედეგად, შეიძლება შემდეგი დასკვნის გაკეთება: რეგიონული მარკეტინგული მარკეტინგ-მიქსის კონცეფციის არსი მდგომარეობს რეგიონის ტერიტორიის მარკეტინგის სისტემატურ მიდგომაში, რეგიონული მარკეტინგული მიქსის ელემენტების სტრუქტურირებაში და მათ ფრთხილად შემუშავებაში შემდგომი წარმატებული განხორციელების მიზნით. მარკეტინგის მიქსის კონცეფციის რეგიონალურ მარკეტინგში გამოყენების ყველაზე მნიშვნელოვანი უპირატესობაა თანამედროვე საბაზრო ინსტრუმენტების გამოყენება რეგიონული განვითარების უზრუნველსაყოფად, რაც შეამცირებს სახელმწიფოს როლს ეკონომიკაში და დაამყარებს რეგიონული ეკონომიკის თვითრეგულირებას, რაც გაზრდის რეგიონული მართვის ეფექტურობა და ქვეყნის რეგიონების კონკურენტუნარიანობა გლობალურ დონეზე.

საკვანძო სიტყვები: მარკეტინგული მიქსის კონცეფცია, რეგიონული მარკეტინგი, ტერიტორიული მარკეტინგი, მსოფლიო კონკურენცია.

გლობალიზაციისა და ინტეგრაციის კონტექსტში საქართველო მსოფლიო ეკონომიკის სრული მონაწილეა. თუმცა, იმისათვის, რომ წარმატებით გაუძლოს გლობალურ კონკურენციას, თანამედროვე საქართველომ განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიაქციოს ტერიტორიული მარკეტინგის საკითხებს. საქართველოს ეკონომიკის რეგიონალიზაციის არსებული ხარისხის გათვალისწინებით, მიზანშეწონილია რეგიონული მარკეტინგის განხორციელება, ანუ საქართველოს ცალკეული რეგიონების ტერიტორიების მარკეტინგი.

ამისათვის აუცილებელია რეგიონული მარკეტინგში მარკეტინგ-მიქსის კონცეფციის გამოყენებას.

რეგიონული მარკეტინგ-მიქსის პირველი ელემენტია პროდუქტის პოლიტიკა. ტერიტორიის მარკეტინგის სექტორის საქმიანობის შედეგია სერვისები, რომლებიც ხშირად „უხილავი“ რჩება რეგიონის რიგითი მაცხოვრებლებისთვის, თუმცა ისინი იყენებენ მათ ყოველდღიურ ცხოვრებაში, რომლის ღირებულების გაგებაც შესაძლებელია მათი შეძენის შემდეგ. რეგიონულ მარკეტინგში სერვისი გაგებულია, როგორც ორი ან მეტი ბაზრის სუბიექტს შორის ურთიერთქმედების კოორდინირებული პროცესი, როდესაც ერთი მხარე გავლენას ახდენს მეორეზე, რათა ჩამოაყალიბოს, გაზარდოს ან განაახლოს ამ უკანასკნელის შესაძლებლობები ფუნდამენტური საქონლის შეძენაში. გარდა ამისა, მ. *ბიტნერისა* და *ფ. კოტლერის* ნაშრომების წყალობით, მომსახურების მარკეტინგის მოდელს საქონლის „4P“ მოდელთან შედარებით დამატებულია კიდევ 3P: პროცესი, ფიზიკური მტკიცებულება და ხალხი (process, physical evidence, people).

არსებობს საქონლისა და მომსახურების ჯგუფი, რომელსაც ბაზარი ვერ უზრუნველყოფს, ვინაიდან ისინი ერთდროულად ბევრ ადამიანს სჭირდება, ამ დარგების რეგულირება მხოლოდ მიწოდებისა და მოთხოვნის გზით შეუძლებელია. მათ შორისაა საზოგადოებრივი და პირადი უსაფრთხოება, პოლიტიკური საკანონმდებლო სტაბილურობა, გზები, დაგეგმვა და გაუმჯობესება, წყალმომარაგება, ასევე ნარჩენების შეგროვება, კანონმდებლობის შემუშავება, რეგიონული ხელისუფლების მხარდაჭერა რეგიონში ბიზნესის განვითარებისთვის და ა.შ.

სოციალური საფუძვლები განისაზღვრება რეგიონული მარკეტინგის არსით, ფუნქციებითა და სპეციფიკით. რეგიონული ხელისუფლების საქმიანობა ძირითადად მიმართულია მოსახლეობის სოციალური მოთხოვნილებების დაკმაყოფილებაზე, ხოლო ძირითადი პროდუქტი ამ შემთხვევაში მომსახურებაა. ამის გამო, რეგიონული ხელისუფლება, თავისი ფუნქციების შესრულების პროცესში, დაკავებულია რეგიონის მოქალაქეებისთვის ყველაზე მნიშვნელოვანი საჯარო სერვისებით, რომელიც სახელმწიფომ რეგიონებს გადასცა. საჯარო სერვისები გაგებულია, როგორც მომსახურება, რომელსაც აქვს დიდი სოციალური მნიშვნელობა გარკვეული ტერიტორიის მოსახლეობის დიდი ნაწილისთვის და, შესაბამისად, უზრუნველყოფილია მუნიციპალური (ან სახელმწიფო) სერვისებით. აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მუნიციპალური კოლექტიური საქონლის კატეგორიას მიკუთვნებული საჯარო სერვისების წარმოება და მიწოდება, ანუ იქმნება მუნიციპალური სიკეთის ელემენტი.

აქედან გამომდინარე, შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ რეგიონული პროდუქტის შემდეგი განმარტება. ერთის მხრივ, რეგიონულ მარკეტინგის დროს პროდუქტი გაგებულია, როგორც რეგიონის სრული რესურსული პოტენციალი, ანუ უპირატესობები და შესაძლებლობები, რაც მას გააჩნია, ხოლო მეორე მხრივ, რეგიონული ხელისუფლების საქმიანობა, რომელიც პირველ რიგში, მიმართულია რეგიონის მოსახლეობის სოციალური საჭიროებების დაკმაყოფილებისაკენ მისთვის ყველაზე მნიშვნელოვანი საჯარო სერვისებით, რასაც ზოგადად საზოგადოებრივ სიკეთეს უწოდებენ:

1. სოციალურ სფეროში ის მოიცავს ჯანდაცვის მომსახურებას, განათლებას, ეკოლოგიას, დასაქმებას, საზოგადოებრივ და პირად უსაფრთხოებას და ა.შ.

2. პოლიტიკურ სფეროში - სამთავრობო ორგანოების არჩევნების ორგანიზებას, ინდივიდუალური პროგრამების შემუშავებას, სამთავრობო დაწესებულებების საქმიანობის პროექტებს და ა.შ.;
3. ეკონომიკურ სფეროში - რეგიონული ეკონომიკის განვითარების მართვის სისტემის ორგანიზებისა და გაუმჯობესების სერვისებს, რეგიონის ეკონომიკური სუბიექტების განვითარებას: მიწა, საცხოვრებელი, რეკრეაციული ობიექტები და ა.შ.

რეგიონული ხელისუფლების მიერ მარკეტინგის გამოყენება ხელს შეუწყობს მუნიციპალური სერვისების დივერსიფიკაციის პირობების აქტიურ ფორმირებას [8].

რეგიონული მარკეტინგ-მიქსის მეორე ელემენტია სახელმწიფო პოლიტიკა. მოგების სახით რაოდენობრივი მიზნების ნაკლებობა პრობლემას უქმნის ტერიტორიულ მარკეტინგს. მუნიციპალური პროდუქტებისა და სერვისების დისტრიბუციის სრულად განვითარებული სისტემა და მათთვის გაბატონებული ფასები არის ყოვლისმომცველი ტერიტორიული მარკეტინგის პროგრამის ყველაზე მნიშვნელოვანი ასპექტი.

რეგიონული მარკეტინგული მიქსის მესამე ელემენტია საკომუნიკაციო პოლიტიკა. ინვესტიციებზე კონკურენციის კონტექსტში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ბიზნეს-სავაჭრო ცენტრების აღორძინებას და მოდერნიზაციას, რეგიონის იმიჯის ფორმირებას, ასევე კარგ რეკლამას, როგორც საცხოვრებლად კომფორტულ ადგილს, მეწარმეობასა და ტურისტებისთვის მიმზიდველს. რეგიონის იმიჯის ჩამოყალიბება რეგიონული მარკეტინგის ერთ-ერთი მთავარი მიზანია, რომელიც უნდა მოიცავდეს საინფორმაციო სერვისების სისტემას და რეგიონის მიმზიდველი მახასიათებლების რეკლამირებას მოსახლეობის სხვადასხვა სოციალური სეგმენტისთვის, მათ შორის ბიზნესმენებისთვის, პოტენციური ინვესტორებისათვის, ტურისტებისთვის. რეგიონული პროდუქტის „პერსონალური გაყიდვა“ ეფუძნება უშუალო კომუნიკაციას ორგანიზაციების წარმომადგენლებთან და მეცნიერებთან, რათა მოხდეს რეგიონის უპირატესობების შესახებ მიზნობრივი აუდიტორიის ინფორმირება, გრძელვადიანი კონტაქტების დამყარება. მათი დახმარებით უნდა მოხდეს რეგიონული საქონლისა და მარკეტინგული საქმიანობის მოდერნიზაციისთვის.

რეკლამა ეფექტური იქნება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ის ობიექტურად გამოიყენებს არგუმენტებს რეგიონის მიმდინარე პროცესებისა და სამომავლო პერსპექტივების შესახებ, ხაზს უსვამს მის დადებით ასპექტებს და მიმართულია კონკრეტულ მომხმარებლებზე. რეგიონის მიმდინარე პროცესებს შორის შეიძლება აღინიშნოს რეგიონის მოქალაქეების ინდივიდუალური უსაფრთხოების უზრუნველყოფა, საცხოვრებელი და სასტუმროს ადგილების რაოდენობა, მდგომარეობა და ექსპლუატაციის პირობები, საგზაო და სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების მაჩვენებლები, წყალი, გაზი. სითბოს მიწოდება და სხვა კომუნალური ინფრასტრუქტურა, პარკების არსებობა, რეკრეაციული და გასართობი ზონები, ჯანდაცვის ხარისხი და ა.შ. რეგიონის განვითარების სამომავლო პერსპექტივის არგუმენტები მოიცავს ახალი ინდუსტრიების, მუნიციპალური ინფრასტრუქტურისა და კომუნიკაციების შექმნას, დასაქმების საშუალო დონეს (განსაკუთრებით ახალგაზრდებში), ინვესტიციების ნაკადების დინამიკას და ა.შ.

ტერიტორიის განვითარების რეგიონული მარკეტინგის პროგრამის ფარგლებში რეგიონული ხელისუფლების საქმიანობის განუყოფელი ნაწილია ამ რეგიონის, როგორც

პიროვნების პირადი ცხოვრებისა და ბიზნეს სუბიექტების ორგანიზაციისთვის ხელსაყრელი ტერიტორიის აქტიური რეკლამა. ამ მიზნით, მედიასა და ინტერნეტ წყაროებში ქვეყნდება მნიშვნელოვანი რაოდენობის მასალები რეგიონის შესახებ, რომლებიც განკუთვნილია სხვადასხვა მიზნებისთვის და საინტერესოა სხვადასხვა მომხმარებლისთვის [9]. ამ მასალებს შორის, როგორც წესი, შეიძლება მოიძებნოს ყოვლისმომცველი საცნობარო წიგნები, რომლებიც ასახავს ამ ტერიტორიისათვის დამახასიათებელ ცხოვრების ყველა ძირითად ასპექტს; პოტენციური ინვესტორებისთვის განკუთვნილი ბუკლეტები და ბროშურები; ინფორმაცია ტურისტებისთვის: რეგიონის ინფრასტრუქტურისა და კულტურული ღირსშესანიშნაობების აღმნიშვნელი რუქები; საცნობარო წიგნები ადგილობრივი ხელისუფლების სტრუქტურისა და უფლებამოსილების შესახებ; ადგილობრივი ხელისუფლების მიერ მხარდაჭერილი კონკრეტული მუნიციპალური და ფედერალური პროგრამების პროსპექტები (განსაკუთრებით სოციალურად ორიენტირებული); ბიზნეს დირექტორიები და მრავალი სხვა.

თუმცა, ტერიტორიის ეფექტური მარკეტინგი ბევრად სცილდება მუნიციპალური ხელისუფლების, როგორც სანდო ბიზნეს პარტნიორების რეკლამირებას. ის ხელს უწყობს მყარი კონტაქტების ჩამოყალიბებას იმ რეგიონულ ინსტიტუტებს, ასოციაციებსა და საწარმოებს შორის, რომლებიც აქტიურ მონაწილეობას იღებენ რეგიონის ყოველდღიურ სოციალურ-ეკონომიკურ ზრდაში. საკომუნიკაციო პოლიტიკა ასევე გულისხმობს საჯარო ინფორმაციის ველის ფორმირებას, ერთიანი რეგიონული სატელეკომუნიკაციო სისტემის, სტატისტიკური ინფორმაციის ბაზების, სარეკლამო კამპანიების და ა.შ. ტერიტორიული მარკეტინგული კომპლექსის განხორციელების მიზნით რეკლამის შემუშავების გარდა, მიზანშეწონილია ადგილობრივ მოსახლეობასთან საზოგადოებრივი აზრის კვლევის სამსახურის ორგანიზება და ახსნა-განმარტებითი და პროპაგანდისტული სამუშაოები.

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ტერიტორიის განვითარების მარკეტინგულ სტრატეგიაში დიდ როლს თამაშობს ინტეგრირებული მარკეტინგული კომუნიკაციების კონცეფცია, რომელიც ეფუძნება მიქს კომპლექსების ოპტიმალური საკომუნიკაციო სტრუქტურის იდენტიფიცირებას სტრატეგიული შეფასების შესაბამისად. თითოეული საშუალებისა და პოპულარიზაციის ყველა საშუალების ზემოქმედების მაქსიმიზაციას. ინტეგრირებული მარკეტინგული კომუნიკაციების კონცეფცია ორიენტირებულია რეგიონალური საქონლისა და მომსახურების პოპულარიზაციაზე დახარჯული ფინანსური რესურსების ეფექტურობის გაზრდაზე.

ეს კონცეფცია ძირითადად ეფექტურია რეკლამასთან მიმართებაში, რომელიც თანდათან უფრო ფაქტობრივი და მიზანმიმართული ხდება. რეგიონული სატელევიზიო მაუწყებლობის განვითარება ასევე სასარგებლო გავლენას ახდენს კომუნიკაციების შერჩევითობაზე. ადგილობრივი სატელევიზიო არხების გახსნა და მატი მაუწყებლობის არეალის გაფართოება ამარტივებს ტელევიზიაზე წვდომას ტერიტორიის განვითარებით დაინტერესებული სხვადასხვა სუბიექტისთვის. ადგილობრივი სატელევიზიო მაუწყებლობა უფრო ადვილად ადაპტირდება ამ კონკრეტული რეგიონული ბაზრების სპეციფიკურ მახასიათებლებთან.

რეგიონული მარკეტინგული მიქსის მეოთხე ელემენტია რეგიონის განაწილების პოლიტიკა. ყველაზე ხშირად, იგი ხორციელდება საქონლის დროული მიწოდების მიზნით

მისი წარმოების ადგილიდან მიმღებამდე. სადისტრიბუციო პოლიტიკა ხორციელდება ისეთი აქტივობების წყალობით, როგორიცაა: გაყიდვების არხების ანალიზი და დასაბუთება, სავაჭრო პოლიტიკა, მარკეტინგული ლოჯისტიკა, მარკეტინგული საშუალებების პოლიტიკა, წარმოების ძალების ადგილმდებარეობის განაწილების პოლიტიკა, მომხმარებლებისა და ბაზრის ადგილმდებარეობის პოლიტიკა, მიწოდების პოლიტიკა, საწყობის პოლიტიკა მზა საქონელთან მიმართებაში და ა.შ.

ტერიტორიული მარკეტინგული კომპლექსის განაწილების ღონისძიებების შესამუშავებლად აუცილებელია ჩატარდეს ბაზრის საფუძვლიანი სეგმენტაცია და შეირჩეს ყველაზე საინტერესო სამიზნე სეგმენტი, მომავალი სარგებლის თვალსაზრისით, შემდეგ კი განიხილოს განაწილების სპეციფიკა რეგიონული მახასიათებლების ორი ასპექტიდან: ტერიტორიის განვითარების მარკეტინგული პროგრამის საგანი და ობიექტი.

რეგიონი, რომელიც ფუნქციონირებს როგორც სუბიექტი ბაზარზე, მომხმარებლებს სთავაზობს მომსახურებას რეგიონში მცხოვრები სხვადასხვა სოციალური ჯგუფის ინდივიდუალური და კოლექტიური საჭიროებების დასაკმაყოფილებლად. სერვისის, როგორც პროდუქტის ძირითადი მახასიათებლებიდან გამომდინარე (არამატერიალურობა, განუყოფლობა, შეუსრულებლობა და შენახვის შეუძლებლობა) განისაზღვრება საბოლოო მომხმარებლებში მომსახურების განაწილების დაგეგმვის სპეციფიკა. განაწილების პრინციპის არჩევა ერთ-ერთი რთული საკითხია: ვინ რა და რამდენი უნდა მიიღოს. გარდა ამისა, არსებობს მოსახლეობის შორის რეგიონული სერვისების განაწილების ზოგადი წესები:

– საფუძვლად შეიძლება დაედოს ყველა სოციალური ჯგუფისთვის თანაბარი განაწილების პრინციპი სტანდარტული მინიმუმის გათვალისწინებით, საიდანაც გადახრა დასაშვებია მხოლოდ აშკარა სარგებელის არსებობის შემთხვევაში;

– მაღალშემოსავლიანი ჯგუფებისთვის აქცენტი კეთდება მიღებული შემოსავლის ან გადახდილი გადასახადების შესაბამისად განაწილებაზე;

– დაბალი შემოსავლისა და სპეციფიკური საჭიროებების მქონე ჯგუფებისთვის (ინვალიდები, პენსიონერები, მრავალშვილიანი ოჯახები და ა.შ.) შესაზლებელია დამატებითი რესურსების მიწიდება. მუნიციპალური კოლექტიური სერვისების განაწილებისას, სადისტრიბუციო არხს შეუძლია მონაწილეობა მიიღოს, როგორც, მომსახურების ნებისმიერი ელემენტის მიწოდებაში (მაგალითად, პენსიონერებისთვის საყოფაცხოვრებო ტექნიკის შეკეთების შეკვეთების პაკეტის ფორმირებაში) ასევე მომსახურების მთელ სპექტრში.

განაწილების დაგეგმვისას შეიძლება გამოყენებულ იქნას შემდეგი ინდიკატორები:

1. მიწოდებული მომსახურების დონესა და ამ სერვისის შენარჩუნების ხარჯებს შორის შეფარდების მაჩვენებელი (ხშირად საწარმოები ამცირებენ მომსახურების დონეს ხარჯების შემცირების მიზნით);
2. ამ სერვისების მიმწოდებელი დაწესებულებების მონახულების ალბათობის მაჩვენებელი, სხვადასხვა თვისებურებების და პირობების გათვალისიწნებით;
3. ვიზიტების რაოდენობის მაჩვენებელი დღეში, კვირაში და ა.შ. მიწოდებული სერვისების რაოდენობის მიხედვით.

რეგიონი, როგორც ბაზრის ობიექტი, ახდენს მიზნობრივის ორგანიზაციების რეგიონში კონცენტრირებული ბუნებრივი, მატერიალური, ტექნიკური, ფინანსური, შრომითი, ორგანიზაციული და სხვა რესურსებით მიმზიდველობი დაინტერესებას, რათა მათი

დახმარებით განავითაროს ამ ტერიტორიისათვის დამახასიათებელი წარმოების, სოციალური, გარემოსდაცვითი, კულტურული, ინოვაციებისა და სხვა სფეროები. რეგიონი, რომელიც სთავაზობს თავის რესურსულ პოტენციალს, შესაძლებლობებსა და კონკურენტულ უპირატესობებს, ანუ მის, როგორც ობიექტის მიმზიდველობას, პოტენციური ინვესტორების სამიზნე ჯგუფებზე მოთხოვნის სტიმულირების მიზნით, საჭიროებს შესაბამის საინფორმაციო სერვისებს.

საინფორმაციო სერვისები, როგორც რეგიონული კომუნიკაციებისთვის აუცილებელი ინფრასტრუქტურა, მოცემული პროდუქტის განუყოფელი ნაწილია. რეგიონული მარკეტინგის სისტემის ცენტრალური ელემენტია ყველა მონაწილის ინფორმირება საჭიროებებისა და ინტერესების შესახებ, რათა შეიქმნას ხელსაყრელი იმიჯი გარე სუბიექტებისთვის და მიმზიდველი პირობები რეგიონის ყველა სოციალური ჯგუფებისათვის.

შეიძლება ითქვას, რომ ტერიტორიის მარკეტინგის სისტემის ეს ვერსია ემთხვევა მარკეტინგული კონცეფციის სტანდარტულ ინტერპრეტაციას. ამასთანავე, ტერიტორიის მარკეტინგის სტრუქტურის შინაარსი განსხვავდება შემდეგი ელემენტებით:

1. ეს არის გადამოწმებული და დასაბუთებული ლოკალური ეკონომიკური პოლიტიკა, რომლის მნიშვნელობა და მიზანშეწონილობა განისაზღვრება რეგიონებს შორის მზარდი კონკურენციით;
2. მოცემული პოლიტიკა ორიენტირებულია რეგიონული ეკონომიკის განვითარებაზე, მოცემული ტერიტორიის სოციალური სფეროს მოთხოვნებისა და მეწარმეების ინტერესების მაქსიმალურად დაკმაყოფილებაზე;
3. ტერიტორიის მარკეტინგის ინსტრუმენტების მთელი კომპლექსი გამოიყენება მოსახლეობის ყველა სოციალური ფენის და მოცემული რეგიონის თითოეული მაცხოვრებლის ცხოვრების ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

ტერიტორიის დინამიური, პროდუქტიული, სტაბილური ინტეგრირებული განვითარებისთვის აუცილებელია ყველა რეგიონალური მარკეტინგული ინსტრუმენტის გამოყენება კომპლექსურ და ერთიან სისტემაში, მათ შორის წინააღმდეგობების აღმოფხვრა და შესაძლო სინერგიის ეფექტის გამოყენება რეგიონის ეკონომიკური ცხოვრების დაკავშირებულ სფეროებში რამდენიმე ღონისძიების განხორციელებიდან. რეგიონული განვითარების აქტივობების გეგმიურად და უწყვეტად განხორციელება, უზრუნველყოფს ეკონომიკურ ზრდას არა მხოლოდ ბიზნეს სფეროში, არამედ რეგიონის სოციალურ ცხოვრებაშიც.

ამრიგად, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ რეგიონული მარკეტინგული მარკეტინგ-მიქსის კონცეფციის არსი მდგომარეობს რეგიონის ტერიტორიის მარკეტინგის სისტემურ მიდგომაში, რეგიონული მარკეტინგული მიქსის ელემენტების სტრუქტურირებაში და მათ ფრთხილად შემუშავებაში შემდგომი წარმატებული განხორციელების მიზნით. მარკეტინგის მიქსის კონცეფციის რეგიონალურ მარკეტინგში გამოყენების ყველაზე მნიშვნელოვანი უპირატესობაა თანამედროვე საბაზრო ინსტრუმენტების გამოყენებაა რეგიონული განვითარების უზრუნველსაყოფად, რაც შეამცირებს სახელმწიფოს როლს ეკონომიკაში და დაამყარებს რეგიონული ეკონომიკის თვითრეგულირებას, რაც გაზრდის რეგიონული მართვის ეფექტურობა და ქვეყნის რეგიონების კონკურენტუნარიანობას გლობალურ დონეზე.

ლიტერატურა:

1. ჯაში ჩ. „სოციალური მარკეტინგის საფუძვლები“ . გამომცემლობა «უნივერსალი» თბილისი 2012 წელი გვ. 304.
2. ვალიშვილი თ., უკლება შ.,. მომსახურების მარკეტინგი. რიდერი, ელ.ვერსია. 2024. 235 გვ.
3. *Christopher Lovelock, Jochen Wirtz. Services Marketing: People, Technology, Strategy. 9 th edition, PrenticeHall, 2022*
4. Debra Z. Basil, Michael D. Basil. **Social Marketing in Action:** Cases from Around the World. Springer Nature Switzerland AG 2019

Marketing Mix Concept in the Context of Regional Marketing

Kuprashvili Tengizi

Akaki Tsereteli State University Academic Doctor of Economics

Abstract

This article explores the feasibility of applying a marketing approach to regional management in a modern country. It defines the essence of territorial marketing and provides a detailed analysis of regional marketing and its distinct marketing mix elements, namely:

1. Regional product
2. Contractual policy
3. Communication policy

As a result of the research, the following conclusion can be drawn: the essence of the regional marketing mix concept lies in a systematic approach to marketing a region’s territory. This involves structuring the elements of the regional marketing mix and developing them meticulously for effective implementation. The primary advantage of applying the marketing mix concept in regional marketing is the utilization of modern market instruments to drive regional development. This approach reduces the state's role in the economy, promotes self-regulation within the regional economy, enhances the efficiency of regional management, and strengthens the global competitiveness of the country’s regions.

Keywords: marketing mix concept, regional marketing, territorial marketing, world competition.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.23



К возможности использования в нативном виде растительных природных веществ в косметических средствах

Явич Павел Абрамович[1]*, Кахетелидзе Мзия Бондоевна[2], Кикалишвили Бела Юрьевна[3]

[1]Доктор фармацевтических наук, профессор, главный научный сотрудник направления бад – ов и косметологических средств Института фармакохимии им. И. Кутателадзе Тбилисского Государственного Медицинского Университета; [2]Доктор фармации, старший научный сотрудник направления бад – ов и косметологических средств института фармакохимии им. И. Кутателадзе Тбилисского Государственного Медицинского Университета; [3]Доктор фармации, главный научный сотрудник направления липидов и антрахинонов института фармакохимии им. И. Кутателадзе Тбилисского Государственного Медицинского Университета

Резюме.

В статье описаны варианты технологических операций используемых в призводстве косметических, космецевтических и лекарственных препаратов. Показаны новые тенденции используемые при их получение. При этом наблюдается подход основанный на снижение количества стадий технологического цикла и упрощения процесса, наряду с использованием максимального количества биологически активных соединений имеющихся в определенных видах растительного сырья.Тенденция к созданию процессов с меньшим количеством потребляемой энергии, уменьшением производственных затрат, более экономичных технологий, проявляется практически во всех предлагаемых технологиях.

Ключевые слова. Нативные, растительные, водоросли, минеральные, косметика, космецевтика.

Введение. Биоактивные вещества из растительного сырья находят все большее применение в качестве активных ингредиентов в косметологии. В процессе их применения используется довольно большое количество технологических операций – измельчение, сушка, экстракция в различных системах, различные методы очистки. Причем, стадии экстракции и очистки растворителем, требующие эффективных и селективных растворителей, и в дальнейшем разделение полученных фаз, являются одними из основных показателей, как с точки зрения экологического воздействия, так экономического фактора. Сегодняшние требования это - снижения потребления растворителей и энергетических затрат, разработки простых, быстрых, экологически безопасных процессов с меньшим количеством единичных операций и стадий процесса, повышение выхода целевого продукта на каждой стадии технологического процесса [1].

Рассмотрим технологические процессы переработки растительного сырья по стадиям.

1.Очистка сырья. Очистка сырья от баластных примесей. От целевого сырья отделяются в основном наружные минеральные вещества и остатки других видов растений, которые идут в отвалы. Как исключение, могут быть использованы глинистые составляющие, в случае необходимости получения коллоидных масс.

2.Измельчение. Измельчение требует разрушения или разрыва материалов с помощью таких механизмов, как сжатие, удар, истирание или сдвиг и резка, с дальнейшим просеиванием через различные сита.

3.Сушка. При сушке подготовленного на первых стадиях сырья, используется ряд традиционных методов сушки, таких как сушка в тени, на солнце, горячим воздухом, замораживанием и т.п. Они связаны с необходимостью затраты большого количества времени и наличия большого пространства, зависимостью от естественных условий окружающей среды. Наиболее распространена сушка с помощью горячего воздуха в определенных устройствах, при температуре не выше 40–60 °C. Однако, даже в этих условиях наблюдаются нежелательное температурное воздействие, связанное с изменением химического состава сырья. Уменьшается количество содержания летучих веществ, в частности эфирных масел, происходит потеря определенного количества биологически активных соединений и их активности, возможно изменение сенсорных характеристик и т.п. Другими существенными недостатками сушки горячим воздухом являются высокое потребление энергии. Поэтому создаются новые методы, позволяющие повысить эффективность процесса за счет уменьшения его времени и затрат, уменьшения потерь. Рассмотрим некоторые из них. Процесс ультразвуковой не термической сушки осуществляется применением ультразвука с низкими частотами (20–100 кГц) и высокой интенсивностью (10–1000 Вт/см), что приводит к увеличению массопереноса без нагрева или только со слабым нагревом. Наблюдается положительный эффект использования ультразвуковой обработки на кинетику процесса. Основными недостатками являются возможность во время сушки образования микропор на поверхности материалов, что по мнению авторов, приводит к снижению эффекта в верхней части поверхности материала и частично препятствует удалению воды, а так же дороговизна оборудования. Метод сублимационной сушки из-за его низкой рабочей температуры один из наиболее перспективных, т.к. позволяет получать высококачественные сушеные растения с точки зрения содержания биологически активных веществ . Микроволновая сушка обеспечивает быстрое испарение воды из растительных материалов, обеспечивая относительно более короткое время сушки по сравнению со многими другими методами сушки, а так же и снижение потребления энергии, при отсутствие значительных сенсорных изменений. Основными преимуществами процесса инфракрасной сушки являются адаптивность, простота, высокая скорость нагрева и высокая скорость сушки. Но наблюдается высокая стоимость оборудования, неравномерный нагрев по площади применения и энергетические затраты. В процессе сушки в сверхкритическом CO2 в качестве среды сушки используется сверхкритический диоксид углерода. Основными преимуществами этого метода сушки являются умеренная рабочая температура (обычно близкая к температуре окружающей среды), низкое или отсутствующее присутствие кислорода, низкая усадка продукта и лучшая

способность к регидратации высушенных продуктов. Однако, отмечаются высокие затраты на энергию, стоимость реактивов и оборудования. Довольно обширный обзор приведен в [2].

4.Четвертая стадия подобных производств -экстракция из растительного сырья суммы биологически активных веществ в системе твердое тело – жидкость. Использование определенных растворителей, либо их комбинаций, позволяет получить в жидкой фазе сумму определенных веществ и только, достаточно редко, некоторых индивидуальных соединений. Методы подразделяются на традиционные (например, мацерация, отваривание, инфузия, перколяция, экстракция в аппарате Сокслета) и новые, современные (поверхностная экстракция, экстракция с помощью ультразвука, микроволн и т.п.) [3]. В любом случае, при подборе растворителя, следует учитывать его специфичные свойства:

А.Селективность, т.е. способность его к извлечению определенной группы биологически активных веществ, оставляя остальные вещества в сырье.

Б.Отсутствие (либо малая вероятность) у экстрагента воспламеняемости, взрывоопасности и токсичности.

В.Температура кипения экстрагента (желательна наиболее низкая, с учетом взрывоопасности).

Г.Температура и метод удаления экстрагента (в зависимости от предполагаемой в дальнейшем переработки).

Д.Цена экстрагента.

Е.Отсутствие (либо малая вероятность) образования свободных радикалов.

Ж.Вероятность быстрого разделения полученного экстракта и остатка сырья (в данном случае учитывается фактически степень вязкости экстракта).

Недостатки, связанные с традиционными методами экстракции растворителем, включают длительное время экстракции, значительное количество растворителей и в определенных случаях многостадийной экстракцией. Кроме того, значительное количество термолабильных фитохимических веществ, оказывается либо разложенным, либо деградированы при нагревании. Тем не менее, эти методы экстракции все еще используются. Именно это привело к разработке новых методов экстракции растительного сырья. Рассмотрим относительно новые методы экстракци. Разработка их связана с необходимостью поисков упрощения методов экстракции и видов аппаратуры, снижением расходов на электричество и теплоемкость процессов, упрощением методов дальнейшей переработки и, как следствие, снижение стоимости конечного продукта.

Ускоренная экстракция растворителем. Этот метод имеет определенные преимущества, например, более низкая потребность в растворителе, повышение производительности, снижение времени технологичного процесса. Судя по литературным данным, он более надежен и эффективен, чем мацерация или экстракция в аппаратах Сокслета, он показал лучшие результаты при извлечении липофильных и гидрофильных фитохимических веществ по сравнению со сверхкритической флюидной экстракцией [4]. Однако, наряду с этим, ему присущи недостатки аналогичные традиционным методам. При экстракции с применением импульсного электрического поля на растительную матрицу воздействуют электрические импульсы при напряжении до 1000 В. При этом, увеличивается величина коэффициента массопереноса с одновременным разрушением мембранных структур, что способствует увеличению выхода

целевого продукта и сокращению времени процесса. Однако, следует учитывать высокую стоимость оборудования, что подразумевает высокие первоначальные инвестиции, количество потребляемой энергии. Одним из ограничений метода является возможный нагрев среды в процессе воздействия. Эффективность импульсной электрической экстракции в значительной степени определяется электропроводностью как растительной матрицы, так и экстрагирующего растворителя. Т.к. ее эффективность зависит от проводимости среды, в которую она помещается, а продукты с более высокой проводимостью преобразуют электрическую энергию в тепло во время обработки. Поэтому процесс должен постоянно контролироваться термически, чтобы избежать деградации термочувствительных компонентов растительной матрицы [5].

Микроволновая экстракция при различной мощности микроволн от 300 МГц до 300 ГГц. способствует стимуляции движения молекул жидкостей и получение целевых компонентов с более высоким выходом, при уменьшение времени экстракции, снижение затрат на растворитель, возможность автоматизации производств. Это связано с тем, что каждая молекула подвергается воздействию микроволнового поля.

Благодаря этому уменьшается перегрев отдельных зон, снижается объём материала, вовлечённого в теплоперенос, и, как следствие, появляется возможность использовать более компактное оборудование с высокой производительностью. появляется возможность использовать более компактное оборудование с высокой производительностью.

В результате снижения температурных градиентов и уменьшения объёма материала, участвующего в теплопереносе, становится возможным уменьшение размеров оборудования. Это обусловлено возрастанием скоростей экстракционного процесса и повышением производительности, достигнутыми за счёт более эффективного использования объёма технологической установки.Следует отметить,что в этом методе возможно использование воды или спирта при регулируемым давлением и температуре в качестве возможной замены традиционным методам экстракции в системе твердого тела в жидкость. Однако, требует больших вложений в связи с определенным видом аппаратуры и требованиями безопасности. Судя по литературным данным, этот метод подходит в основном для фенольных соединений и флавоноидов. Такие соединения, как танины и антоцианы, могут разрушаться из-за высокой частоты обработки при применение [6,7].

Сверхкритическая флюидная экстракция это использование флюидов в качестве растворителя. Он имеет определенные положительные качества по сравнению с традиционными методами из-за своих существенных преимуществ, таких как более высокая селективность, диффузионная способность и экологичность. Сверхкритическая флюидная экстракция является одним из лучших методов удаления ряда природных химических компонентов, таких как флавоноиды, эфирные масла, масла семян, каротиноиды и жирные кислоты, содержащиеся во многих природных растительных материалов, представляя собой устойчивую альтернативу традиционным видам экстракции [8]. Диоксид углерода является наилучшим и наиболее используемым растворителем. Наряду с высокой растворимостью в нем ряда биологически активных веществ, он химически неактивен, экономичен, легкодоступен, легко отделяется из экстрактов, нетоксичен, используется и в пищевой промышленности. Это неполярный растворитель обладает сответствующими свойствами и в газообразном и жидкостном виде. Он

характеризуется низкой критической температурой и давлением, высокой селективностью и потенциалом для извлечения термочувствительных соединений.

Глубокие эвтектические растворители [9] представляют собой смеси двух или более чистых соединений, имеющих температуру эвтектической точки ниже, чем у идеальной жидкой смеси, и значительные отрицательные отклонения от идеальности. В зависимости от используемых исходных материалов и их смесей, их можно считать зелеными, экологически чистыми, нетоксичными, они являются жидкостями в широком диапазоне температур, обладают термической стабильностью, высокой растворяющей способностью, хорошей биоразлагаемостью и биосовместимостью, низкой летучестью, низкой температурой плавления, воспламеняемостью, токсичностью. Они являются альтернативными традиционным растворителям. Весьма сложное дорогостоящее оборудование, малое количество данных об использование метода в промышленном масштабе, являются определенным препятствием для его развития.

При ферментативной экстракции гидролизующий фермент добавляется на протяжении всего процесса экстракции для выполнения ферментативной предварительной обработки. Фактически происходит разрушение мицел в структуре клеточной стенки и клеточной мембране включающих полисахариды и белки. Основными препятствиями для извлечения натуральных продуктов являются высокотемпературная коагуляция белка и денатурация во время экстракции. При этом, благодаря действию ферментов, облегчается высвобождение природных соединений и повышается эффективность экстракции. В данном случае используются гидролизующие ферменты, такие как целлюлаза, амилаза и пектиназа. Метод эффективен для удаления различных биоактивных материалов с использованием растительных матриц. Обычно используются два метода ферментативной экстракции - ферментативно-ассистированное холодное прессование, ферментативно-ассистированная водная экстракция. Эффективность процесса зависит от вида и концентрации ферментов, размер частиц растительного материала, соотношение твердого вещества и воды [10]. Однако, применение ограничено только определенными случаями.

Колоночная хроматография [11].Колонки заполняются предварительно обработанными (высушенными и измельченными) сорбентами, а находящие под давлением сверхкритические растворители пропускают через колонку и извлекают биологически активные соединения из твердой матрицы. Экстракт и растворитель отделяются снижением давления, повышением температуры или и т.п. Фактически состоит из 3 компонентов. Стационарная фаза - твердая фазы или слой жидкости, адсорбированный на поверхности носителя. Подвижная фаза - жидкий или газообразный компонента. Конечный продукт. Преимуществом метода является его способность получать экстракты без остатков растворителя. Недостаток сложная аппаратура, небольшая возможность использования его в промышленных условиях. В определенных случаях, в частности, в случае получения оливкового и других растительных масел для использования в медицине и пищевой промышленности, вводятся дополнительные операции - отделение жидкости, ее утилизация, отделение твердых частиц от масла, очистка от косточек, рафинирование (в зависимости от условий хранения и метода применения).

Приведенные данные позволяют оценить объемность и трудоемкость всех выше описанных стадий технологического процесса получения биологически активных веществ из растительного сырья.

В связи с этим делаются попытки уменьшить количество используемых стадий. Следует учитывать, что при создание фармацевтических препаратов направленных на лечение определенного заболевания необходима конкретная чистота получаемого средства и отсутствие в нем ряда побочных веществ токсичных в данном случае. Несколько другой подход должен быть при создание косметических средств. При использование косметических кремов, мазей, либо масок приходится оценивать их свойства и эффективность по ряду направлений не связанных между собой. В частности, это лечение жирности либо сухости кожи, высыпания определенного характера, возможно связанное с ними конкретные заболевания и т.п. Поэтому возникает необходимость в применение целого ряда биоактивных веществ, которые уже совместно присутствуют одном и том же растение. И при этом являются нетоксичными. В настоящее время разрабатываются новые технологические процессы и рецептуры в этом напровление. Следует отметить, что обычные стадии экстракции в системе твердое тело-жидкость, либо хроматографии, или в системе жидкостной очистки, требуют определенного вида растворителей. Их отделение, разделение, удаление и восстановление также являются трудоемкими и требующими определенной аппаратуры процессами, связанными с испарением растворителя, потерей его и целевых продуктов, токсичными парами. Это может являться определяющим для экономики технологии. Поэтому разрабатываются новые технологические процессы направленные на прямое использование натурального сырья, натурального экстракта или их фракций, избегая стадий удаления растворителя. На сегодняшний день основными технологическими требованиями при разработке способов получения лекарственных, косметических, космецевтических и других аналогичных средств, наряду со специфическим эффектом, является их экономичность и отсутствие токсичности. Упрощение либо исключение определенных стадии позволяет увеличить эффективность процесса, уменьшить количества отходов либо исключить их, снизить величину потребление энергии. Желательно объединение некоторых стадий, либо включение их в единый этап. Кроме того, прямое получение продуктов без добавочных стадий разделения и очистки биоактивных веществ, в том числе от использованных экстрагентов, является повышением экологической чистоты процесса. Подобный подход использован при создание некоторых технологий описанных ниже.

Рассмотрим некоторые из них. При разработках в области т.н. травяной косметики (в основном маски, кремы и т.н. мыла) используются практически все биоактивные вещества находящиеся в определенных органах одного либо нескольких растений. Они применяются для улучшения состояния кожи в случаях наличия акне, прыщей, сыпи, пятен, пигментации. С сенсорной точки зрения это паста, наносимая на кожу, на лицо, состоящая из однородного порошка и сопуствующих компонентов основы, способная снабжать кожу необходимыми питательными веществами и проникающая в подкожные ткани. По данным авторов травяные маски легко получаются без дополнительных затрат, дешевы, практически не имеют побочных эффектов. По их данным натуральные маски и кремы позволяют в результате применения получить гладкую, здоровую и шелковистую кожу. Рассмотрим некоторые исследования полностью

характеризующие это направление. В работе [12] использован гель состоящий из жидкого парафина, стеариновой кислоты, кокосового масла, триэтаноламина, глицерина, лимонной кислоты, метилпарабена и воды. В качестве биоактивных веществ использованы томатный порошка и гель Алоэ Вера. Характеристика разработанных кремов проводилась стандартными методами, фармакологическая оценка показала, что крем обладает достаточно высокой увлажняющкй активностью, годен при сухости кожи. В работе [13] приводятся данные по использованию ряда натуральных ингредиентов (нутовая мука, рисовая мука, порошки арджуны, лимонной цедры, мускатного ореха, куркумы, алоэ вера) в рецептуре ряда пудр. Причем, учитывая, что в рецептурах предлагается и использование эмульгаторов, стабилизаторов, наполнителей и т.п., это фактически уже не пудры, а маски.В работе [14] Описано успешное применение вазелиновой основы, смешанной с тонко измельченным порошком листьев растения для лечения ран. В статье [15] приводится весьма подробный перечень растений из флоры Индии, используемых в растительных масках в нативном виде. Натуральные порошки из куркумы, лепестков розы, плодов томата, апельсиновой цедры ,коры сандалового дерева, рисовой и нутов0й муки и др. Результаты исследования подтвердили, что подобные маски для лица обеспечивает хорошее состояние и т.н. сияние кожи.

В работе [16] описано получение масок и кремов на минеральной основе (каолин и бентонит) с использованием в качестве биоактивных компонентов порошков сандалового дерева, алоэ вера, куркумы, нима, апельсиновой цедры, экстракта огурца, лепестков лотоса, листьев чайного дерева для получения здоровой и т.н. сияющей кожи.

В статье [17] описано применение крема с использованием тонкоизмельченных корневищ лапчатки белой (Potentilla Alba L.), как средство для лечения кожи.

В статье [18] описывается разработка и тестирование маски для лица, содержащую натуральные растительные соединения, которые действуют как антиоксиданты, антисептики и осветлители кожи. Включает в составе порошки кофе, мултани митти, арджуны, апельсиновой цедры, мускатного ореха, шафран, алоэ вера, рисовую муку, нутовую муку.

Цель подобных разработок разработать и протестировать травяную маску для лица, содержащую натуральные растительные соединения, которые действуют как антиоксиданты, антисептики и осветлители кожи. Аналогично используются т.н. мыла, наносимые на кожу. т.е. коллоидные составы, содержащие тонкоизмельченные растения, способствующие удалению омертвевших клеток с кожи, пигментации и черных точек, улучшающие кровообращение и увеличивающие подачу кислорода по всей поверхности кожи. По литературным данным, после их применения кожа становится сияющей, гладкой, мягкой и здоровой. В качестве основных активных ингредиентов используются используются тонко измельченные семена нима, туласи, мака, эфирное масло розы и розовая вода, порошок рита, аловера, куркумы, алоэ вера, лимона, апельсиновой цедры, лепестков и листьев розы, а также кофе, витамин Е, скорлупа грецкого ореха, гималайская розовая соль.

Рассмотрим 3 примера [19-21] аналогичного подхода при использование в качестве биоактивных веществ морских водорослей. Тонко измельченный порошок добавляется в кремы, лосьоны, очищающие кожу средства. Известно, что косметические средства содержащие порошкообразные водоросли выводят токсины, выравнивают рельеф кожи, удаляют

ороговевшие частицы, улучшают дыхание эпидермиса, придают коже лица свежесть, сияние, избавляют от пигментных пятен, следов постакне, черных точек, прыщей, и т.п. В основном используются морская капуста, ламинария, фукус [22-24].

Авторами данной статьи предлагается новый вариант технологического подхода, позволяющий использовать практически все составные части очищенных от твердой кожуры плодов масличных культур. При этом уменьшается количество технологических стадий, обычно используемых в производстве кремов и масок, получаемых с применением масел из растительного сырья.

Рассмотрим этот вопрос на примере использования плодов оливкового дерева. Они являются богатым источником ценных биоактивных веществ, представляющих косметический и терапевтический интерес. Поэтому это сырье выбрано в качестве модельной системы. В плоды оливы входят практически все используемые в качестве сырья для косметических средств, вещества, в частности вода (до 50%), белок (до 1,6- 2,0%), масло (до22, -25,0%), углеводы (до 19,0- 25,%), целлюлоза (до 5,0 -8,0%), неорганические вещества (до 1,5-2,5%), фенольные соединения (до 1–3%) и др. Такой состав позволяет сделать предположение, что масло ,содержащееся в сырье, может явиться экстрагентом ряда сопутствующих биологически активных веществ и повысить активность целевого продукта. Тем более, что в ряде технологических процессов в виде экстрагентов используют различные (оливковое, соевое, подсолнечное, кукурузное и другие) растительные масла в качестве альтернативы органическим растворителям для извлечения биологически активных соединений. Они нетоксичны, не летучи, не имеют биоразлагаемости и раздражающего действия [25]. Растительные биоактивные вещества с добавленной стоимостью представляют собой возобновляемую группу соединений с растущим спросом в различных областях применения. Использование масел обеспечивает дополнительные фармакологические преимущества, выступают в качестве барьера против действия кислорода, замедляя процесс окисления [26].

По литературным данным, при получение оливкового масла из 1000 кг плодов оливы, в среднем получается 100-200 литров оливкового масла только первого отжима, из 100 кг переработанных оливок в качестве отходов остается до 35 кг оливкового жмыха, который так же содержит значительное количество биологически активных веществ, используемых в косметологии. При этом масса самого плода оливы может изменятся от 0,5 г до 20 г., а массы остальных частей плода, учитывая и массу масла (кожица, мякоть и косточки), составляют соответственно 1,5–3,5%, 70–80% и 15–28% от начальной массы. Другими важными соединениями, присутствующими в плодах оливы, являются пектин, органические кислоты и пигменты. Оливковое масло в основном образовано триглицеридами, смесями трех жирных кислот. Основными жирными кислотами являются: олеиновая, мононенасыщенная, содержание колеблется в пределах 55 до 83%; линолевая, полиненасыщенная, содержание 3,5–21 %; пальмитиновая, содержание 7,5 - 20%; стеариновая, содержание 0,5 - 5%;а так так же линоленовая содержание 0 - 1,5%. Наряду с ними в малых количествах присутствуют следующие кислоты: миристиновая, арахиновая, бегеновая, пальмитолеиновая, эйкозеновая. Цвет оливкового масла варьируется от светло-золотистого до насыщенного зеленого, в зависимости от содержания пигментов, так, зеленый-содержание хлорофилла, желтый - каротиноидов. Из витаминов в основном обнаружены К и Е.

Плоды оливок содержат гидрофильные фенольные кислоты, фенольные спирты, флавоноиды, флавоны, секоиридоиды и липофильные (крезолы) фенольные соединения. Все эти вещества обладают антиоксидантной, противовоспалительной, противомикробной, антиагрегантной и рядом других активностей. Из флавонолов идентифицированы кверцетин-3-рутинозид, лютеолин-7-глюкозид, лютеолин-5-глюкозид, апигенин-7-глюкозид; из фенольных кислот хлорогеновая, кофейная, п- гидроксибензойная, протокатеховая, ванильная, сиреневая, п-кумаровая, о - кумаровая, феруловая, синапиновая, бензойная, коричная, галловая; из фенольных спиртов 3,4-дигидроксифенил этанол (3,4-DHPEA), (п –гидроксифенил этанол (п -HPEA); из секоиридоидов олеуропеин, деметилотевроин, лигстрозид, нуженид, так же производные гидроксикоричной кислоты и вербаскозид. Следует отметить относительно большое количества β-ситостерина, сквалена, токоферолов, хлорофиллов, каротиноидов. Большинство из вышеприведенных являются активными антиоксидантами [27- 30].

Следует отметить, что семена оливок являются источником клетчатки (до 47% от сухого веса и белков до 17%). В составе масла, выделеного из семян, определено наличие олеиновой, линолевой кислот, токоферолов, сквалена в достаточно большом количестве. В семенах так же содержатся олеуропеин, деметилолеуропеин, лигстрозид, некоторые стеролы и нестероидные тритерпеноиды, минералы Fe, Zn, Mn, Cu, K, Ca, Mg, Na и др. [31,32].

В процессе получения оливкового масла образуется, т.н. оливковый жмых. Он состоит из оливкового масла ,воды, кожицы, мякоти, косточек оливок. На сегодняшний день считается, что основная ценность оливкового жмыха состоит в остаточном масле. При этом не учитывается, что он содержит различные биологически активные вещества, которые используются в косметике и космецевтике. По литературным данным, оливковый жмых, благодаря наличию в нем практически всех биологически активных веществ , содержавшихся в оливках и перешедших в него с минимальными потерями, обладает антиоксидантной и антирадикальной, противовоспалительной и рядом других активностями [33-35]. Исходя из этих данных, жмых должен обладать достаточно высокой нативной фармакологической активностью. После обработки в роторном измельчителе жмых представляет собой пастообразную массу, которая должна достаточно легко солюбилизироваться с подобранной основой и наносится на кожу, обладая определенной степенью смываемости.

Заключение. Биоактивные вещества из природных ресурсов привлекают все большее внимание, на основе растущих научных доказательств, подтверждающих их косметическую и космецевтическую эффективность, пользу для здоровья и профилактические свойства против различных заболеваний. Некоторые из этих веществ традиционно использовались, а другие будут все больше включатся в качестве активных ингредиентов в вещества функционального применения. Исходя из приводимых данных, разработаны многие варианты использования технологических операций для ускорения и упрощения технологических процессов. Разработаны и разрабатываются новые варианты получения различных косметических и лекарственных средств, заключающиеся в снижение количества стадий технологического цикла и упрощения процесса, с использованием максимального количества биологически активных соединений имеющихся в определенных видах растительного сырья. При этом, наблюдаемая тенденция к созданию процессов с меньшим количеством потребляемой энергии, уменьшением

токсичности и производственных затрат, и как результат, более экономичных, проявляется практически во всех предлагаемых рецептурах и осуществляемых технологиях.

Использованная литература.

1.Abdullahi R Abubakar, Mainul Haque. Preparation of Medicinal Plants: Basic Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes. J.Pharm Bioallied Sci. 2020 Jan 29;12(1):1–10.
2.Aneta Krakowska-Sieprawska, Anna Kiełbasa, Katarzyna Rafińska, Magdalena Ligor, Bogusław Buszewski. Modern Methods of Pre-Treatment of Plant Material for the Extraction of Bioactive Compounds. Molecules. 2022 Jan 23;27(3):73.
3.S. S. Belokurov, I.B. Narkevich3., E. V. FlisyukI., E. Kaukhova. Modern Extraction Methods for Medicinal Plant Raw Material (Review). Pharmaceutical Chemistry Journal, 2019. 53(11), p.51-57.
4.Chibuye Bitwell, Singh Sen Indra, Chimuka Luke, Maseka Kenneth Kakoma. A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. Scientific African.Volume 19, March 2023, e01585.
5.Ramon Bocker, Eric Keven Silva. Pulsed electric field assisted extraction of natural food pigments and colorings from plant matrices. Food Chemistry: X. Volume 15, 30 October 2022, 100398.
6.López-Salazar, H., Camacho-Díaz, B. H., Ocampo, M. L. A., and Jiménez-Aparicio, A. R. (2023). "Microwave-assisted extraction of functional compounds from plants: A Review," BioResources 18(3), 6614-6638.
7.Ying Li, Anne Sylvie Fabiano-Tixier, Maryline Abert Vian, Farid Chemat. Solvent-free microwave extraction of bioactive compounds provides a tool for green analytical chemistry. Trends in Analytical Chemistry, 2013, 47, pp.1-11.
8.Pascaline Aimee Uwineza, Agnieszka Waśkiewicz. Recent Advances in Supercritical Fluid Extraction of Natural Bioactive Compounds from Natural Plant Materials. Molecules. 2020 Aug 24;25(17):3847.
9.Laura Lomba, Cristina B. García, Pilar Ribat, Beatriz Gine et al.. Applications of Deep Eutectic Solvents Related to Health, Synthesis, and Extraction of Natural Based Chemicals Appl. Sci. 2021, 11(21), 10156.
10.Paulina Streimikyte, Pranas Viskelis, Jonas Viskelis Enzymes-Assisted Extraction of Plants for Sustainable and Functional Applications. Int J Mol Sci. 2022 Feb 21;23(4):235 -242.
11.Ozlem Coskun Separation techniques: Chromatography. North Clin Istanb. 2016 Nov 11;3(2):156–160.
12.Nida Ijaz, Arjumand Iqbal Durrani, Saima Rubab, Saraj Bahadur. Formulation and characterization of Aloe vera gel and tomato powder containing cream. Acta Ecologica Sinica 2022,Volume 42, Issue 2, April 2022, Pages 34-42.
13.Sachin B. Somwanshi, Kiran S. Kudale, Ramdas T. Dolas et al.. Formulation and evalution of cosmetic herbal face pack for glowing skin. International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy, 2017, 8(3):199-203.
14.Kalbaza Ahmed Yassine, Hemida Houari, Benchohra Mokhtar, Amara Karim et al.. A topical ointment formulation containing leaves' powder of Lawsonia inermis accelerate excision wound healing in Wistar rats. Vet World. 2020 Jul 7;13(7):1280–1289.

15.Anupriya Sundriya, Jasmeen Syan, Bhawana Bhatt, Yogendr Bahuguna and Chandra Shekh1er. Herbal Cosmetics: A Review on Herbal Face Pack. Journal of Natural Sciences, 2022, Vol.13 / Issue 75 /p.4996- 5003.
16. B. Greeshma Paul,T. Swetha Reddy, A Krishna Sailaja. Ayurveda Formulation of Herbal Face Pack to Treat Blemishes. Innoriginal: International Journal of Sciences. Pharmaceutical. Archives / 2021 (March-April): Volume 8 Issue 2, p. 33- 33.
17.Chelidze N. A., Yavich P. A., Churadze L. I. , Kakhetelidze M. B. The development of a technology of a medicinal cream, containing rhizomes of a White Cinquefoil Plant (Potentilla Alba L.) World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 2020, Vol 9, Issue 5, p. 35- 41.
18.Dave, P, Patel, G., Patel, D., Patel, B., & Jani, R. Herbal face pack containing Coffea arabica Linn, Myristica Fragrans and Lens Culinaris as an antioxidant and antiseptic activity. International Journal of Ayurvedic Medicine, 2022, 13(3), p. 640–646.
19.Yogesh A. Chaudhari, Anuja G. Patil, Umesh A. Mahajan, Mr. Bhushan P. Patil Formulation And Evaluation Of Herbal Scrub Soap. African Journal of Biomedical Research.2024 Vol. 27, p. 12389-1239.
20.Rekha Goukonde, Jagruti Rajput, Bhakti Bansod and Gajanan Sanap Formulation and evaluation of herbal scrub soap World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences, 2024, 18(03), p. 354–370.
21.Saniya S, Sada S, Sara S, Gaurav P, Rajejanak, Foorkan Fakki Formulation and Evaluation of Polyherbal Paper Scrub Soap for Skin Whitening. International Journal of All Research Education & Scientific Methods, 2024,V. 12.,Issue 5, p.591-594.
22.Seaweed in skincare is incredible and versatile. Helenatur. https://www.helenatur.com › Blog.
23.Surabhi Josh, Roshani Kumari,Vivek N. Upasan Applications of Algae in Cosmetics: An Overview International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2018,Vol. 7, Issue 2, P. 1269 -1279.
24.Seaweed Powder: A Fresh Catch for Beauty Routines New Directions Aromatics https://www.new direction aromatics.com › blog › all-abo... 2021.
25.Edinson Yara-Varón, Ying Li, Mercè Balcells, Ramon Canela-Garayoa et al.. Vegetable Oils as Alternative Solvents for Green Oleo-Extraction, Purification and Formulation of Food and Natural Products .Molecules. 2017 Sep. 5;22(9):1474.
26.Julie Queffelec, William Beraud, Ma Dolores Torres, Herminia Dom.Advances in obtaining ready to use extracts with natural solvents. Sustainable Chemistry and Pharmacy. Volume 38, April 2024, 10147827.
27.Panagiota-Kyriaki Revelou, Marinos Xagoraris, Athanasia Alexandro poulou, Charalabos D. Kanakis et al.. Chemometric Study of Fatty Acid Composition of Virgin Olive Oil from Four Widespread Greek Cultivars. Molecules. 2021 Jul 8;26(14):4151.
28.DimitriosE. Pavlidis, MariaChrysanthi Kafentzi, Konstantina Rekoumi, Athanasia Koliadima et al.. Turn to the wild: A comprehensive review on the chemical composition of wild olive oil.. Food Res. Int., 2024 November,Volume 196, 115038.
29.Mohamed Ayadi, Fathi Ben Amar. Fatty Acid Composition In Olive (Olea europaea. L) Oil of Progenies Obtained From Tunisian Cross Breeding Program. Journal of Arid Arboriculture and Olive Growing. 2022, Volume 1(1): p.11–23.

30.Cecilia Jimenez-Lopez, Maria Carpena, Catarina Lourenço-Lopes, Maria Gallardo-Gomez et al.. Bioactive Compounds and Quality of Extra Virgin Olive Oil .Foods. 2020, 28;9(8):1014.
31.Damián Maestri , Damián Barrionuevo ,Romina Bodoira, Adoración Zafra et al.. Nutritional profile and nutraceutical components of olive (Olea europaea L.) seeds J Food Sci Technol. 2019;56(9):4359-4370.
32.Walid Elfallehb, Majda Laajel, Imen Ennajeh et al.. Chemical Profiles and Antioxidant Activities of Leaf, Pulp, and Stone of Cultivated and Wild Olive Trees (Olea Europaea L.)
International Journal of Fruit Science. 2020, Volume 20, Issue 3,p.350-370.
33.lRifat Mehdi, Salman Raza Naqvi, Abdul Ahad Khan, Asif Ali Mirani. Optimization of olive oil extraction from olive pomace using solvent extraction and response surface methodology analysis of oil yield. Fuel, 2023, Volume 348, 128633.
34.Maria Antónia Nunes, Josman Dantas Palmeira, Diana Melo, Susana Machado et al.. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of a New Olive Pomace Functional Ingredient. Pharmaceuticals (Basel), 2021;14(9):913.
35.Hefei Zhao, Yoonbin Kim, Roberto J. Avena-Bustillos, Nitin Nitin. Characterization of California olive pomace fractions and their in vitro antioxidant and antimicrobial activities. LWT., 2023 April,Volume 180, 114677.

On the possibility of using natural plant substances in their native form in cosmetics

Yavich P. A.*[1], Kakhetelidze M. B[2]., Kikalishvili B.Yu[3].

[1]Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Chief Researcher, Direction of BAA and Cosmetological Means Institute of Pharmacochemistry I. Kutateladze Tbilisi State Medical University [2]Doctor of Pharmacy, Senior Researcher, Institute of Pharmacochemistry I. Kutateladze Tbilisi State Medical University; [3]Doctor of Pharmacy, Chief Researcher, Institute of Pharmacochemistry I. Kutateladze Tbilisi State Medical University

Abstract.

The variants of technological operations used in the production of cosmetic, cosmeceutical and medicinal preparations are described. New trends used in their production are shown. At the same time, an approach based on reducing the number of stages of the technological cycle and simplifying the process is observed, along with the use of the maximum number of biologically active compounds available in certain types of plant raw materials. The tendency to create processes with less energy consumption, reduced production costs, more economical technologies is manifested in almost all proposed technologies.

Key words: Native, plant, algae, mineral, cosmetics, cosmeceuticals.

ბუნებრივი მცენარეული ნივთიერებების მათი ნატივური ფორმით კოსმეტიკაში გამოყენების შესაძლებლობის შესახებ

იავიჩი პავლე[1*], კახეთელიძე მზია[2], კიკალიშვილი ბელა[3]

[1]ფარმაცევტულ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ი.ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტის ბად-ის და კოსმეტოლოგიურ საშუალებათა მიმართულების მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი; [2]ფარმაციის დოქტორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ი.ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი; [3]ფარმაციის დოქტორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ი.ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი

რეზიუმე.

სტატიაში აღწერილია ტექნოლოგიური ოპერაციების ვარიანტები, რომლებიც გამოიყენება კოსმეტიკური, კოსმეცევტიკური და სამკურნალო პრეპარატების წარმოებაში. ნაჩვენებია მათ წარმოებაში გამოყენებული ახალი ტენდენციები. ამავდროულად, შეინიშნება ტექნოლოგიური ციკლის სტადიების რაოდენობის შემცირებასა და პროცესის გამარტივებაზე დაფუძნებული მიდგომები, მცენარეული ნედლეულის გარკვეულ სახეობებში არსებული ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების მაქსიმალური რაოდენობის გამოყენებასთან ერთად. თითქმის ყველა შემოთავაზებულ ტექნოლოგიაში ვლინდება ნაკლები ენერგომოხმარების, წარმოების შემცირებული ხარჯებისა და უფრო ეკონომიური ტექნოლოგიების მქონე პროცესების შექმნის ტენდენციები.

საკვანძო სიტყვები. ნატივური, მცენარეული, წყალმცენარეები, მინერალური, კოსმეტიკა, კოსმეცევტიკა.

On the possibility of using seaweeds as raw materials for producing cosmetics and cosmeceuticals (Review).

*Yavich Pavel Abramovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Pharmacochemistry I. Kutateladze Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia;
P. Sarajishvili st 36 | Tbilisi, 0159; Georgia Tel: +995 592073188 E-mail p.iavichi@tsmu.edu

Kakhetelidze Mzia Bondoevna, Doctor of Pharmacy, Senior Researcher, Institute of Pharmacochemistry I. Kutateladze Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia;
P. Sarajishvili st 36 | Tbilisi, 0159; Georgia Tel:+995545763E-mail m.kakhetelidze@tsmu.edu

Kikalishvili Bela Yurevna, Doctor of Pharmacy, Chief Researcher, Chairman of the Scientific Council of the Institute of Pharmacochemistry I. Kutateladze Tbilisi State Medical University, Tbilisi,Georgia
P. Sarajishvili st 36 | Tbilisi, 0159; GeorgiaTel: +995 593319243 E-mail B.kikalishvili@tsmu.edu

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.24



ანაკლიის პორტი როგორც ენერგეტიკული ჰაბი: სტრატეგიული და ტექნოლოგიური ანალიზი

ელენე ფანცხავა[1], ჯიშკარიანი მაკა[2],
[1]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოც. პროფესორი; [2]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი

რეზიუმე

ანაკლიის პორტის პროექტს აქვს სტრატეგიული მნიშვნელობა ჩვენი ქვეყნისთვის, მათ შორის დასაქმებისა და ეკონომიკური განვითარების კუთხით. ძალიან მნიშვნელოვანი იქნება რეგიონული ციფრული ჰაბის შექმნა, რომელიც ერთი მხრივ, მოიცავს საერთაშორისო კავშირს ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ინტერნეტის ინფრასტრუქტურასთან, რათა დააკავშიროს ევროპა და აზია საქართველოს გავლით უმოკლეს მარშრუტით, ხოლო მეორე მხრივ, რეგიონული მონაცემთა ცენტრების შექმნას.

ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტის ამოქმედება მნიშვნელოვან გავლენას მოახდენს საქართველოს ენერგეტიკულ სექტორზე, როგორც ენერგორესურსების ტრანზიტის ახალი პლატფორმა. პორტი უზრუნველყოფს ქვეყნის ენერგოუსაფრთხოების განმტკიცებას, გაზრდის ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის ეფექტიანობას და ინვესტიციების მოზიდვას. გარდა ამისა, ანაკლიის პორტი ხელს შეუწყობს საქართველოს რეგიონულ ენერგეტიკულ ბაზარზე ინტეგრაციას, რაც გააძლიერებს ქვეყნის პოზიციებს საერთაშორისო ენერგეტიკულ ქსელებში და პორტი გახდება მნიშვნელოვანი სტიმული ქვეყნის ეკონომიკური ზრდისთვის და მდგრადი განვითარების პროცესებისთვის.

სტატიაში საუბარია ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტის განვითარების მნიშვნელობაზე, გაკეთებულია აქცენტები, თუ რამდენად შესაძლებელია პროექტი იყოს წარმატებული, კომერციულად მდგრადი და კონკურენტუნარიანი გრძელვადიან პერსპექტივაში. შესაბამისად წარმოდგენილია სტრატეგიული და ტექნოლოგიური ანალიზი.

საკვანძო სიტყვები: ენერგეტიკული ჰაბი, ღრმაწყლოვანი პორტი, ტრანზიტი, ენერგოუსაფრთხოება, ინფრასტრუქტურა.

საქართველო მდებარეობს სტრატეგიულად მნიშვნელოვან გეოგრაფიულ მდებარეობაზე, კერძოდ, ევროპისა და აზიის გზაჯვარედინზე, შესაბამისად ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტის განვითარება მნიშვნელოვანი ქვაკუთხედი იქნება შუა დერეფნის ინფრასტრუქტურის განვითარებაში და სერიოზული სტიმული ქვეყანაში წარმოების, საგარეო ვაჭრობის გაფართოებისა და ზოგადად ეკონომიკური ზრდისთვის. ქვეყანა მთელ სამხრეთ კავკასიის რეგიონთან ერთად შეიძლება გახდეს მთავარი სატრანზიტო კვანძი ორ კონტინენტს შორის. ამან შეიძლება უზრუნველყოს მდგრადი მშვიდობა და სტაბილურობა.

ანაკლიის პორტის ენერგეტიკული მნიშვნელობა საქართველოსთვის

- ენერგეტიკული ტვირთების ტრანზიტი: ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტი გახდება რეგიონალური ჰაბი ნავთობის, გაზის, გათხევადებული ბუნებრივი გაზის(LNG), ნავთობპროდუქტების და ენერგეტიკული მოწყობილობების ტრანსპორტირებისთვის. საქართველო ამ გზით კიდევ უფრო განამტკიცებს თავის როლს ევროპა-აზიის ენერგეტიკულ დერეფანში;
- **ენერგო უსაფრთხოების გაძლირება:** პორტი გააუმჯობესებს ქვეყნის ენერგეტიკულ დამოუკიდბლობას. შესაძლებელი იქნება ენერგეტიკული რესურსების დივერსიფიკაცია - მაგალითად, გაზის ახალი წყაროების შემოტანა ანაკლიის გავლით;
- **განახლებადი ენერგიის განვითარება:**პორტთან დაკავშირებული ინფრასტრუქტურა (მაგ. მზის და ქარის სადგურები) ხელს შეუწყობს განახლებადი ენერგიის ინტეგრირებას რეგიონში;

იმისათვის, რომ საქართველოში ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტის პროექტმა მიაღწიოს მის სრულ პოტენციალს და უზრუნველყოს სასიკეთო შედეგები, აუცილებელია ყოვლისმომცველი მიდგომა რისკის მართვისა და პროექტის მართვის მიმართ. საქართველოს მთავრობამ და შესაბამისმა დაინტერესებულმა მხარეებმა პრიორიტეტი უნდა მიანიჭონ მყარ ინსტიტუციურ და საკანონმდებლო ჩარჩოებს. ეს მოიცავს კონტრაქტის პირობების ამომწურავი მიმოხილვის ჩატარებას, რათა უზრუნველყოს ისინი შესაბამისობაში მოყვანილ კანონებთან და საერთაშორისო ვალდებულებებთან და კომერციული შეთანხმებების კანონიერ მოთხოვნებთან მჭიდრო შესაბამისობაში მოყვანა ქვეყნის კრიტიკული აქტივების დაცვის მიზნით.

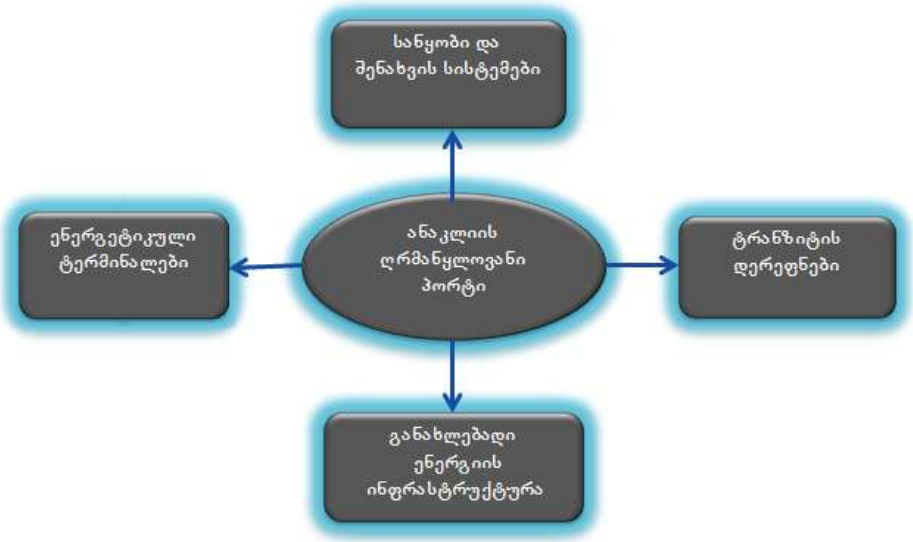
კორუფციისა და თვითდასაქმების რისკის შესამცირებლად უმნიშვნელოვანესია გამჭვირვალობისა და ანგარიშვალდებულების ხელშეწყობა მთელი პროცესის განმავლობაში. მისი წარმატებისთვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა იქნება პროექტის ყველა ასპექტის საქართველოს მაკროეკონომიკურ პოლიტიკასთან შესაბამისობის უზრუნველყოფა.

ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტის კერძო პარტნიორობის შესარჩევ კონკურსში გამარჯვებული ჩინეთ-სინგაპურის კონსორციუმია.რაც შეეხება გამარჯვებულ კომპანიას, ის მსოფლიოში ერთ-ერთი უმსხვილესი კომპანიაა და ზოგადად ჩინეთის როლი მნიშვნელოვანია, ასევე იმის გათვალისწინებით, რომ მისი ვაჭრობა ევროკავშირთან უახლოვდება 800 მილიარდს. ჩვენი ქვეყნის ეკონომიკა ასევე მნიშვნელოვანია ჩვენი ქვეყნისთვის, მისი სახელმწიფოებრიობისა და სუვერენიტეტისთვის.

ანაკლიის პორტით საქართველო გახდა შუა დერეფნის მთავარი აქტორი, რაც ჩვენთვის ძალიან მომგებიანია არა მხოლოდ ეკონომიკური თვალსაზრისით, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია, არამედ ჩვენი პოლიტიკური მნიშვნელობის გაზრდის თვალსაზრისითაც.

ეს დერეფანი გამოირჩევა, როგორც აღმოსავლეთისა და დასავლეთის დასაკავშირებლად ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური გზა, რომელიც გთავაზობთ საზღვაო მარშრუტთან შედარებით დროის მნიშვნელოვან უპირატესობას 20-25 დღის განმავლობაში. კერძოდ, შუა დერეფნის მეშვეობით საქართველო ჩინეთს აკავშირებს ევროპასთან და ჩინეთის საზღვრიდან ევროკავშირის ბაზარზე ტვირთის შემოტანას 15 დღემდე სჭირდება. საერთო ჯამში, შუა დერეფნის თანდაყოლილი კონკურენტუნარიანობა უზრუნველყოფს ევროპის სასიცოცხლო ბაზრებზე წვდომას.

ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტის განვითარება წარმოადგენს საქართველოსთვის სტრატეგიულ შესაძლებლობას, არა მხოლოდ სატრანსპორტო-ლოჯისტიკური, არამედ ენერგეტიკული თვალსაზრისითაც. პორტი ხელს შეუწყობს ქვეყნის ენერგორესურსების ტრანზიტის დივერსიფიკაციას, გაზრდის ქვეყნის ენერგეტიკულ უსაფრთხოებას და მოიზიდავს ინვესტიციებს ენერგეტიკის სექტორში. მისი ფუნქციონირება გააძლიერებს საქართველოს როლს როგორც რეგიონულ ენერგეტიკულ ჰაბს, რაც ხელს შეუწყობს ქვეყნის ეკონომიკური და ტექნოლოგიური განვითარების ახალი ეტაპის დაწყებას. სწორი მართვისა და ინფრასტრუქტურის თანამედროვე სტანდარტების დანერგვის შემთხვევაში, ანაკლიის პორტი შეიძლება იქცეს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს საყრდენად საქართველოს ენერგეტიკულ სტრატეგიაში და მდგრად განვითარებაში.



სურ.N1. პორტის ფუნქციური კავშირი ენერგეტიკაში;

ანაკლიი პორტის ეკონომიკური მნიშვნელობა

საქართველოსთვის, როგორც მცირე და განვითარებადი ეკონომიკის მქონე ქვეყნისთვის, უმნიშვნელოვანესია ინფრასტრუქტურული პროექტები, რომლებიც ხელს შეუწყობს მის გეოსტრატეგიულ უპირატესობათა ეკონომიკურ კაპიტალიზაციას. სწორედ ასეთ პროექტად უნდა მივიჩნიოთ ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტი ქვეყნის ეკონომიკური

განვითარებისთვის. პორტი საქართველოს შესაძლებლობას აძლევს გადაიქცეს რეგიონულ სატრანზიტო ჰაბად, რომელიც დააკავშირებს ევროპას, აზიასა და შუა აღმოსავლეთს. როგორც ღრმაწყლოვანი პორტი, ის მიიღებს დიდი ტონაჟის გემებს, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ლოჯისტიკურ ხარჯებს და ზრდის ქვეყნის მიმზიდველობას როგორც სატრანსპორტო დერეფნის. პროექტი მოიზიდავს როგორც სახელმწიფო, ისე კერძო ინვესტიციებს სხვადასხვა ქვეყნებიდან. ანაკლიის პორტი ითვალისწინებს ათასობით ახალ სამუშაო ადგილის შექმნას, რაც დადებითად აისახება ადგილობრივ ეკონომიკაზე. პორტი ხელს შეუწყობს ისეთი სექტორების განვითარებას, როგორიცაა ტვირთბრუნვა, გადამაუშავებელი მრეწველობა, აგროწარმოება და საერთაშორისო ვაჭრობა. ყოველივე ეს კი გაამყარებს ქვეყნის სტაბილურობას გლობალური კრიზისების დროს. ანაკლიის პორტი გაადვილებს ქართული პროდუქციის: ღვინო, მინერალური წყალი, თხილი თუ თაფლის გატანას საერთაშორისო ბაზრებზე.

ტექნოლოგიური ანალიზი: ანაკლიის პორტის ენერგეტიკული პოტენციალი

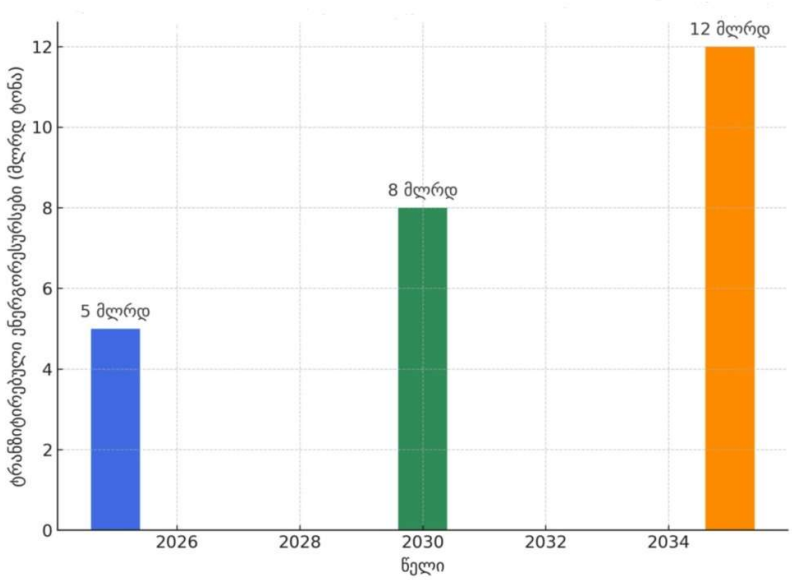
ანაკლიის პორტის განვითარებაში ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის ტექნოლოგიური კომპონენტები წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მიმართულებას. გათვალისწინებული უნდა იქნას როგორც ტრადიციული, ასევე ინოვაციური ენერგეტიკული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია, რაც პორტს სესაძლებლობას მისცემს, დაიკავოს მნიშვნელოვანი ადგილი რეგიონულ ენერგეტიკულ ქსელში.

ანაკლიის პორტის ენერგეტიკული განვითარება უნდა ეფუძნებოდეს უსაფრთხო, ენერგოეფექტურ, ეკოლოგიურად პასუხისმგებელ და მაღალტექნოლოგიურ გადაწყვეტებს, რაც პორტს რეგიონული ენერგეტიკული ჰაბის ფუნქციის სრულყოფილად შესრულების საშუალებას მისცემს.

ძირითადი ტექნოლოგიური მიმართულებები:

ენერგეტიკული ტერმინალების განვითარება - პორტის ტერიტორიაზე შესაძლებელია შეიქმნას სპეციალიზებული ტერმინალები ნავთობის, ბუნებრივი აირის(LNG) და სხვა ენერგორესურსების იმპორტისა და ექსპორტისთვის. თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით უზრუნველყოფილი იქნება ტრანსპორტირების უსაფრთხოება და ეფექტიანობა;
განახლებადი ენერგიის ინფრასტრუქტურა - პორტის ენერგომომარაგებისთვის მიზანშეწონილია მზიდ და ქარის ენერგიის გამოყენება. თანამედროვე ფოტოელექტრული სისტემების(PV) და ქარის ტურბინების ინტეგრაცია არა მხოლოდ გააუმჯობესებს ენერგოეფექტიანობას, არამედ შეამცირებს ნახშირბადის ემისიებს.
ენერგიის შენახვის სისტემები(ESS) - პორტისთვის მნიშვნელოვანია ენერგიის შენახვის თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვა, რაც უზრუნველყოფს უწყვეტ ენერგომომარაგებას კრიტიკულ სიტუაციებში.
საკომუნიკაციო და მართვის სისტემები - პორტის ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურა უნდა აღიჭურვოს ინტელექტუალური მართვის სისტემებით, რომლებიც რეალურ დროში მონაცემთა შეგროვებასა და ანალიზზე იქნება ორიენტირებული, რაც ენერგიის მოხმარების ოპტიმიზაციას უზრუნველყოფს.

ეკოლოგიურად უსაფრთხო ტექნოლოგიები - ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის განვითარება უნდა განხორციელდეს გარემოზე მინიმალური ზემოქმედების პრინციპით. რეკომენდებულია ეკოლოგიურად სუფთა საწვავის გამოყენება, წყლის რესურსების ეფექტური მართვა და ნარჩენების მართვის თანამედროვე სისტემების დანერგვა.



დიაგრამაN1. ენერგიის ტრანზიტის მოცულობის ზრდა ანაკლიის პორტის გავლით;

აქ წარმოდგენილია ის ძირითადი შესაძლებლობები და ღონისძიებები ,რაც მნიშვნელოვანია პროექტის წარმატებით განხორციელებისთვის.

რეკომენდაციები:

- ინფრასტრუქტურული განვითარება ენერგეტიკული კომპანიების გათვალისწინებით, კერძოდ: ენერგეტიკული ტერმინალების, საკაბელო სისტემების და ენერგიის შესანახი ობიექტების ინტეგრაცია;
- ენერგეტიკული დერეფნის გაძლიერება:აუცილებელია ანაკლია იქცეს ენერგორესურსების ტრანზიტის ერთ-ერთ მთავარ ჰაბად, რაც მოითხოვს სანდო და მრავალმხრივ კავშირებს ახლომდებარე ენერგეტიკულ ბაზრებთან;
- თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვა:პორტის ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურა უნდა ეფუძნებოდეს განახლებადი ენერგიის გამოყენებას, ენერგოეფექტურ ტექნოლოგიებსა და დაბალი ნახშირბადოვანი განვითარების პრინციპებს;
- სტრატეგიული პარტნიორობა და საერთაშორისო თანამშრომლობა:
  რეკომენდებულია ნერგეტიკული კომპანიების, საერთაშორისო ფინანსური ინსტიტუტებისა და ტექნოლოგიური პარტნიორების აქტიური ჩართვა პორტის ენრგეტიკულ განვითარებაში;
- მდგრადი განვითარებისა და ეკოლოგიური სტანდარტების დაცვა:პორტის განვითარება უნდა ითვალისწინებდეს გარემოსდაცვითი რეგულაციების დაცვის ვალდებულებას, რათა ენერგეტიკული პროექტები არ შეეწინააღმდეგოს მდგრადი განვითარების მიზნებს.

დასკვნა

საქართველო, როგორც საერთაშორისო საზოგადოების პასუხისმგებელი წევრი და შუა დერეფნის განუყოფელი ნაწილი, დიდ ინვესტიციას ახორციელებს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარებაში, რათა უზრუნველყოს საკმარისი შესაძლებლობები მომავალი წლებისთვის.

არსებული გამოწვევების ფონზე, ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში ტრანსკასპიური საერთაშორისო სატრანსპორტო მარშრუტი, ე.წ. შუა დერეფანი, შესამჩნევად ჩამოყალიბდა, როგორც უსაფრთხო და საიმედო მარშრუტი ევროპასა და აზიას შორის სატვირთო გადაზიდვებისთვის. შუა დერეფანი შედგება ორი ძირითადი მარშრუტისაგან - ბაქო-თბილისი-ყარსი (BTK) სახმელეთო რკინიგზა საქართველოსა და თურქეთის რკინიგზის გავლით საქართველოსა და თურქეთთან. რითაც დამყარდება საზღვაო კავშირი ევროკავშირთან.

ანაკლიის პორტი ,,ტრანს-ევროპული სატრანსპორტო კავშირის“ სამოქმედო გეგმაში ერთ-ერთ პრიორიტეტულ პროექტადაა აღიარებული, რაც მიუთითებს პორტის სატრანსპორტო და ეკონომიკურ მნიშვნელობაზე.

პორტი ხელს შეუწყობს საქართველოს რეგიონულ ენერგეტიკულ ბაზარზე ინტეგრაციას, რაც გააძლიერებს ქვეყნის პოზიციებს საერთაშორისო ენერგეტიკულ ქსელებში. ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის განვითარების პარალელურად, ის გახდება მნიშვნელოვანი სტიმული ქვეყნის ეკონომიკური ზრდისა და მდგრადი განვითარების პროცესებისათვის.

აღნიშნულიდან გამომდინარე პორტის განვითარება უნდა ეფუძნებოდეს თანამედროვე სტანდარტებს, გრძელვადიან ენერგეტიკულ სტრატეგიასა და რეგიონულ თანამშრომლობის პრინციპებს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Elene Pantskhava, M.Jishkariani, ,,Energy resources (Environmental Impact Mitigation Potential)“, International Scientific and Practical Conference, Osaka, Japan, 24-26 April 2025 ISBN 978-4-9783419-4-5, PP.171-181.
2. Elene Pantskhava, M.Jishkariani, "Decarbonization and its aspects in the energy sector" Proceedings of III International Scientific and Practical Conference Madrid, Spain 3-5 March 2025. ISBN 978-84-15927-30-3,PP.117-123.
3. Elene Pantskhava, M.Jishkariani, "Environmental Engineering - The Path to a Cleaner, Greener Future", Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference Boston, USA 10-12 April 2025, ISBN 978-1-73981-122-8, PP.142-149.
4. ფანცხავა ელენე. 2025. “ხელოვნური ინტელექტი ენერგეტიკულ ინდუსტრიაში”. ქართველი მეცნიერები 7 (2):18-26. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.02.
5. ფანცხავა ე., & ჯიშკარიანი მ. (2025). საერთაშორისო ურთიერთობები და ენერგეტიკის მდგრადი განვითარება. ქართველი მეცნიერები, 7(1), 408–416. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.01.37

6. Elene Pantskhava, M.Jishkariani, ,,Advantages of renewable energy resources and a wide range of socio-economic benefits“, 3 rd international scientific and practical conference "Scientific Achievements of modern society" (October 10-12, 2024) London, United Kingdom ISBN 978-92-9472-192-1, PP.160-166.

7. ფანცხავა ე, გვილავა ტ, ,,გენდერული თანასწორობა ენერგეტიკის სექტორში და ქალთა შესაძლებლობების ინდექსი“,ბიზნეს-ინჟინერინგი ყოველ კვარტალური რეფერირებადი და რეცენზირებადი საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი DOI: https://doi.org/10.36073/1512-0538 N1-2, 2024 წელი, გვ.93-96.

8. ფანცხავა ე. (2025). ბლოკჩეინის, როგორც განვითარებადი, ინოვაციური ტექნოლოგიის დანერგვა მდგრადი ენერგეტიკული სისტემის წინსვლისთვის. ქართველი მეცნიერები, 7(1), 145–152. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.01.14

9. ფანცხავა ე., ჯიშკარიანი მ., & ჩოგოვაძე ბ. (2024). ბიოსაწვავის წარმოების აქტუალური სტრატეგიები, თერმული გამოყენების მიღწევები და შესაძლებლობები. ქართველი მეცნიერები, 6(3), 27–35. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.03.04

10. Elene Pantskhava, M.Jishkariani, Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference, Vienna, Austria, 13-15 May 2024. ISBN 978-3-954754-01-4, pp143-150.

11. ფანცხავა ე., & ჯიშკარიანი მ. (2024). მწვანე წყალბადი - მდგრადი ენერგიის მომავლის გასაღები: (სოციალურ-ეკონომიკური სარგებელი). ქართველი მეცნიერები, 6(2), 345–354. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.02.36

12. Pantskhava E, Jishkariani M, ,,Renewable energies – the guarantor of the Georgian energy system sustainability”,Proceedings ofx international scientific and practical conference, June 13-15, Tokyo, Japan, 2024. pp.161-167.

13. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ., ფანცხავა ე., ,,შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი - გზა საქართველოს ეკონომიკური გაჯანსარებისკენ“. მე-7 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია ,,კულტურათაშორისი დიალოგები“, თელავი, საქართველო, 27-29 ოქტომბერი,2023 წ.გვ. 511-516.

14. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ, ფანცხავა,ე(2023, 2 – 4 აპრილი), „თანამედროვე მსოლფიო ახალი გამოწვევების წინაშე - ენერგეტიკის სექტორი“. საერთაშორისო მულტიდისციპლინარული სამეცნიერო კონფერენცია „თანამედროვე მსოფლიო ახალი გამოწვევების წინაშე“. კვიპროსი(ლარნაკა). 59-66.

15. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ, ფანცხავა,ე. ,, საქართველოს განახლებადი რესურსებით იმპორტჩანაცვლების შესაძლებლობები და ამ მიმართულებით არსებული გამოწვევები”,საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: ,,გლობალური გამოწვევები და ეკონომიკური განვითარების მოდელების ტრანსფორმაცია» , უაკ(UDC) 338.22+62 ბ-666, N3-4 2023 წელი.გვ.127-130.

16. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ, ფანცხავა, ე. ,,რუსეთ - უკრაინის ომით განპირობებული ახალი გეოპოლიტიკური გარემოებები ევროკავშირისა და საქართველოსთვის“,V საერთაშორისო კონფერენცია ,,თანამედროვე განვითარების ეკონომიკური სამართლებრივი და სოციალური პრობლემები“,ქუთაისი, EISSN 2346-8203 2022წ. გვ.225-232.

17. M. Jishkariani, N. Dvalishvili, L. Kurakhchishvili. “Evaluation of Calorific of Municipal Solid Waste (MSW).” In: Ghosh S. (eds) Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies. Springer, Singapore. 2020, pp.263-265. doi.org/10.1007/978-981-13-7071-7_23.
18. M. Jishkariani. “Criteria for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Transport.” Georgian Technical University Proceedings #3(521). 2021, pp.59-68. doi.org/10.36073/1512-0996-2021-3-59-68.
19. M. Jishkariani. “Electricity Tariffs in Georgia.” Warsaw, Poland: World Science 9(49), Vol.1. 2019, pp. 20-22. doi:10.31435/rsglobal_ws/30092019/6697.
20. Z. Hasan, H.R. Mohammad, & M. Jishkariani. “Machine Learning and Data Mining Methods for Cyber Security: A Survey”, Mesopotamian Journal of CyberSecurity, vol. 2022, pp. 47–56, Nov. 2022. https://doi.org/10.58496/MJCS/2022/006.
21. M.Pitskhelauri, & M. Jishkariani, M. “Energy Management Systems (Enms) Reforms of Georgia.”Journal of Energy Engineering and Thermodynamics (JEET) #3(01), 2023, pp. 38–45. doi.org/10.55529/jeet.31.38.45.
22. Menezes, F. (2023, March 31). Explainer – The economics of green hydrogen in Australia (Part 1). Aibe.uq.edu.au. https://aibe.uq.edu.au/article/2023/03/economics-of-green-hydrogen-in-australia-part-1
23. Jishkariani, M. (2024). Assessment of Cyber Security Risks in Electrical Engineering System of Georgia. Mesopotamian Journal of Civil Engineering, 2024, 54–59. https://doi.org/10.58496/MJCE/2024/008;
24. Jishkariani, M. (2024). Herfindahl-Hirschman Index (HHI) of Georgia's Wholesale Electricity Market. Proceedings of IV International Scientific and Practical Conference. Barcelona, Spain 22-24 April 2024. P.146-154.
25. Jishkariani, M. (2024). Entrepreneurial and Innovative Environment of Energy Business. Published by Mtsignobari, ISBN 978-9941-514-18-0.

Anaklia Port as an Energy Hub: Strategic and Technological Analysis

Elene Pantskhava[1], Maka Jishkariani[2],

[1]Associate Professor, Georgian Technical University; [2]Professor at Georgian Technical University

Abstract

The Anaklia Port project has strategic importance for our country, including in terms of employment and economic development. It will be very important to create a regional digital hub, which, on the one hand, includes an international connection with fiber-optic Internet infrastructure to connect Europe and Asia via the shortest route through Georgia, and on the other hand, the creation of regional data centers.

The launch of the Anaklia Deepwater Port will have a significant impact on Georgia's energy sector as a new energy transit platform. The port will strengthen the country's energy security, increase the efficiency of energy infrastructure, and attract investments. In addition, the Anaklia Port will contribute to Georgia's integration into the regional energy market, which will strengthen the country's positions in international energy networks and the port will become an important stimulus for the country's economic growth and sustainable development processes.

The article discusses the importance of the development of the Anaklia Deepwater Port, emphasizing the feasibility of the project to be successful, commercially sustainable, and competitive in the long term. Accordingly, a strategic and technological analysis is presented.

Keywords: energy hub, deep-sea port, transit, energy security, infrastructure.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.25



ხანდაზმულობის ინსტიტუტი არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის გარანტად: სამოქალაქო სამართალწარმოების თეორიული და პრაქტიკული ასპექტები

მარიამ მამულაძე
საქართველოს დავით აღმაშენებლის სახელობის უნივერსიტეტის სამართლის ფაკულტეტის დოქტორანტი

აბსტრაქტი

წინამდებარე კვლევა სისტემურად აანალიზებს ხანდაზმულობის ინსტიტუტს, როგორც სამოქალაქო ურთიერთობათა სტაბილურობის ძირითად გარანტს. აღნიშნული საკითხი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს არასრულწლოვანთა სამართლებრივი დაცვის კონტექსტში. საქართველოს სამოქალაქო კოდექსი აწესრიგებს ხანდაზმულობის ვადის დინების შეჩერების საკითხს შეზღუდულქმედუნარიანი პირებისათვის კანონიერ წარმომადგენელთა დანიშვნამდე ან სრულწლოვანების მიღწევამდე, თუმცა არსებული ნორმატული რეგულირება თავისი არსით ვერ უზრუნველყოფს შვიდ წლამდე ასაკის იმ ქმედუუნარო ბავშვების უფლებების სრულფასოვან დაცვას, რომლებიც მშობლების მზრუნველობას მოკლებულნი არიან და რომელთათვისაც ჯერ არ არის დანიშნული კანონიერი წარმომადგენელი. აღნიშნული საკანონმდებლო ხარვეზი საჭიროებს დამატებით კვლევასა და ნორმატიული ბაზის სრულყოფას ბავშვთა საუკეთესო ინტერესების დასაცავად.

საყურადღებოა კანონიერი წარმომადგენლის როლიც არასრულწლოვანთა ინტერესების დაცვის კუთხით. კვლევის ფარგლებში ჩატარებული ემპირიული მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ საზოგადოების გარკვეული ნაწილი არ ფლობს სრულყოფილ ინფორმაციას კანონიერ წარმომადგენელთა უფლება-მოვალეობების შესახებ. განსაკუთრებით დაბალია საზოგადოებრივი ცნობიერება ხანდაზმულობის როლზე, როგორც არასრულწლოვანთა ინტერესების დაცვის ერთ-ერთ გარანტიაზე. კვლევაში ასევე კრიტიკულად არის გაანალიზებული სხვადასხვა ქვეყნის სამართლებრივი ნორმები და ადამიანის უფლებათა ევროპული სასამართლოს პრეცედენტული პრაქტიკა. ნაშრომის საბოლოო მიზანია ისეთი რეკომენდაციების შემუშავება, რომლებიც მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებენ არასრულწლოვანთა სამოქალაქო საპროცესო უფლებების დაცვის მექანიზმებს.

საკვანძო სიტყვები: არასრულწლოვანი, ხანდაზმულობა, საუკეთესო ინტერესები, უფლებები, კანონიერი წარმომადგენელი.

შესავალი

საქართველოში განხორციელებული პროგრესული საკანონმდებლო რეფორმების შედეგად არასრულწლოვნები აღიარებულნი არიან სამართლებრივი ურთიერთობების სრულფასოვან სუბიექტებად, რაც წარმოადგენს მნიშვნელოვან პარადიგმულ ცვლილებას ბავშვთა უფლებების დაცვის სფეროში. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ მათი ასაკობრივი და კოგნიტური განვითარების სპეციფიკური თავისებურებებიდან გამომდინარე, არასრულწლოვნები კვლავ საჭიროებენ განსაკუთრებულ სამართლებრივ და სოციალურ დაცვას, რომელიც ადეკვატურად უპასუხებს მათ მოწყვლადობას თანამედროვე საზოგადოებაში. ამ კონტექსტში, სახელმწიფოს აკისრია ფუნდამენტური კონსტიტუციური ვალდებულება უზრუნველყოს ბავშვთა უფლებების დაცვის მრავალგანზომილებიანი და ეფექტიანი პოლიტიკის იმპლემენტაცია. აღნიშნული მოიცავს ინტეგრირებული მიდგომის განვითარებას და აერთიანებს: პრევენციულ მექანიზმებს, რომლებიც ორიენტირებულია ბავშვთა უფლებების დარღვევის წინასწარ იდენტიფიცირებასა და აღკვეთაზე; საპროტექციო ინსტრუმენტებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვას და რეაგირების მექანიზმებს, რომლებიც ეფექტიანად პასუხობენ არსებულ ინციდენტებს.

პარალელურად, უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ოჯახისა და ფართო საზოგადოების პასუხისმგებლობა განუყოფელ კომპონენტს წარმოადგენს არასრულწლოვანთა კეთილდღეობის უზრუნველყოფაში. ეს მოიცავს მათ ფიზიკურ, ფსიქოლოგიურ და სოციალურ განვითარებაზე ზრუნვას, რაც თავის მხრივ საჭიროებს ოჯახებისა და საზოგადოების აქტიურ ჩართულობას ბავშვთა უფლებების რეალიზაციის პროცესში. შესაბამისად, ბავშვთა უფლებების დაცვა წარმოადგენს არა მხოლოდ სამართლებრივი, არამედ სოციალურ-პოლიტიკური დღის წესრიგის პრიორიტეტს. ამ მიმართულებით აუცილებელია როგორც ნორმატიული ბაზის, ისე მისი აღსრულების პრაქტიკული მექანიზმების შემდგომი დახვეწა და ჰარმონიზაცია თანამედროვე საერთაშორისო სტანდარტებთან, მათ შორის გაეროს ბავშვთა უფლებების კონვენციისა და ევროპული სამართლის პრინციპებთან.

თემის აქტუალობის ფონზე, განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს რიგი პრობლემური ასპექტები, რომლებიც საკანონმდებლო ხარვეზებსა და დეფიციტურ ნორმატიულ ბაზას უკავშირდება. ამ თვალსაზრისით ერთ-ერთი კრიტიკულ საკითხს წარმოადგენს ხანდაზმულობის ინსტიტუტის არასათანადო რეგულირება არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის კონტექსტში. საქართველოს სამოქალაქო კოდექსის შესაბამისად, თუ მოთხოვნა მომდინარეობს შეზღუდულ ქმედუნარიანისგან, რომელსაც კანონიერი წარმომადგენელი არ ჰყავს, ანდა მოთხოვნა მიმართულია აღნიშნული პირისადმი, ხანდაზმულობის ვადის დენა შეჩერებულად ითვლება, სანამ ეს პირი სრული ქმედუნარიანი არ გახდება ან მას კანონიერი წარმომადგენელი არ დაენიშნება.[1] ამავე კოდექსის თანახმად, შეზღუდულ ქმედუნარიანად ითვლება არასრულწლოვნები შვიდიდან თვრამეტ წლამდე.[2]

განსაკუთრებით პრობლემურია ის გარემოება, რომ ზემოაღნიშნული სამართლებრივი ნორმა არ ვრცელდება 7 წლამდე ასაკის არასრულწლოვნებზე (მცირეწლოვნებზე), რომლებიც

[1] საქართველოს სამოქალაქო კოდექსის 134-ე მუხლი, საქართველოს საპარლამენტო უწყებანი, N31, 24/07/1997.

[2] იქვე, მე-14 მუხლი.

კოდექსის მე-12 მუხლის მე-6 პუნქტის საფუძველზე კლასიფიცირდებიან როგორც ქმედუუნარო პირები. შესაბამისად, საკანონმდებლო ხარვეზი, რომელიც არ ითვალისწინებს ხანდაზმულობის ვადის დინების შეჩერებას შვიდ წლამდე ასაკის იმ არასრულწლოვანთათვის, რომლებიც მოკლებულნი არიან მშობლების მზრუნველობას და არ ჰყავთ დანიშნული კანონიერი წარმომადგენელი, წარმოადგენს მნიშვნელოვან ნორმატიულ ვაკუუმს. ეს საკანონმდებლო დეფიციტი უშუალოდ არღვევს როგორც ეროვნული, ისე საერთაშორისო სამართლის სტანდარტებით დადგენილ და გარანტირებულ ბავშვთა უფლებების დაცვის ფუნდამენტურ პრინციპებს. კერძოდ, ამგვარი საკანონმდებლო მოწესრიგება ვერ უზრუნველყოფს ბავშვის საუკეთესო ინტერესების უპირატესი გათვალისწინების პრინციპის რეალიზაციას.

გაეროს ბავშვთა უფლებების დაცვის კონვენცია, რომელიც წარმოადგენს არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის ფუნდამენტურ საერთაშორისო სამართლებრივ ინსტრუმენტს, მკაფიოდ განსაზღვრავს არასრულწლოვანთა უფლებას, იმოქმედონ დამოუკიდებლად, მათი ასაკისა და განვითარების დონის შესაბამისად. თუმცა, აღნიშნული კონვენცია ასევე იმპერატიულად აკისრებს სახელმწიფოებს ვალდებულებას, უზრუნველყონ თითოეული ბავშვის საუკეთესო ინტერესების უპირატესობა, განურჩევლად მათი ასაკისა ან სხვა მახასიათებლისა.[3] იმგვარი საკანონმდებლო ხარვეზის არსებობა, რომელიც ასაკობრივი ნიშნით აშკარა უპირატესობას ანიჭებს არასრულწლოვანთა გარკვეულ ჯგუფს (მოცემულ შემთხვევაში, 7-დან 18 წლამდე ასაკის ბავშვებს), განსხვავებულ და არახელსაყრელ პირობებში აყენებს დანარჩენ არასრულწლოვნებს (კერძოდ, 7 წლამდე ასაკის მცირეწლოვნებს). აღნიშნული ნორმატიული მიდგომა ქმნის დისკრიმინაციულ სამართლებრივ გარემოს და მნიშვნელოვნად ზღუდავს უმცროსი ასაკის არასრულწლოვანთა საუკეთესო ინტერესების რეალიზების შესაძლებლობას. არსებული საკანონმდებლო მოწესრიგება ფუნდამენტურად ეწინააღმდეგება ბავშვთა უფლებების დაცვის არა მხოლოდ საერთაშორისოდ აღიარებულ პრინციპებს, კერძოდ, თანასწორობისა და დისკრიმინაციის აკრძალვის პრინციპებს, არამედ ეროვნული კანონმდებლობის რეფორმის დეკლარირებულ მიზნებსაც, რომელიც მიისწრაფის საერთაშორისო სტანდარტებთან საქართველოს სამართლებრივი ჩარჩოს პროგრესული ჰარმონიზაციისაკენ.

არასრულწლოვანთა უფლებების სამართლებრივი დაცვის პლურალისტურ ჭრილში ერთ-ერთ ფუნდამენტურ გამოწვევად რჩება კანონიერი წარმომადგენლის ინსტიტუტის ფუნქციური ეფექტიანობის დეფიციტი. წინამდებარე კვლევის ფარგლებში ჩატარებულმა ემპირიულმა ანალიზმა ცხადყო, რომ მშობლები/კანონიერი წარმომადგენლები არასათანადოდ აცნობიერებენ საკუთარ სოციალურ-სამართლებრივ როლსა და პასუხისმგებლობას არასრულწლოვანთა საუკეთესო ინტერესების იდენტიფიცირებისა და პრაქტიკული რეალიზების პროცესში. აღნიშნული პრობლემატიკა უმთავრესად გამოწვეულია არასრულწლოვანთა კანონიერი წარმომადგენლების არასაკმარისი ინფორმირებულობით იმ კომპლექსური სამართლებრივი მექანიზმებისა და პროცედურული ინსტრუმენტების შესახებ,

[3] ბავშვის უფლებების შესახებ კონვენციის მე-2 და მე-3 მუხლები (მიღებულია 1989 წლის 20 ნოემბერს და ძალაში შევიდა 1990 წლის 2 სექტემბერს);

რომლებიც კონსტიტუციურ საფუძველს უქმნის ბავშვის უფლებების ეფექტიან იმპლემენტაციას საზოგადოებრივი ურთიერთობების მრავალფეროვან სპექტრში.

არსებული სამართლებრივი პარადიგმა, რომელიც ხანდაზმულობის ვადების დინებას არასრულწლოვანთათვის არ აჩერებს მხოლოდ კანონიერი წარმომადგენლის არსებობის საფუძველზე, ავლენს ფუნდამენტურ კონცეპტუალურ წინააღმდეგობას თანამედროვე სამართლებრივი აზროვნების პრინციპებთან. აღნიშნული რეგულაცია ეფუძნება ფორმალისტურ პრეზუმფციას, რომლის თანახმადაც კანონიერი წარმომადგენლის ინსტიტუტი უზრუნველყოფს არასრულწლოვანის უფლებათა სათანადო დაცვას. ეს ნორმატიული კონსტრუქცია იგნორირებას უკეთებს იმ სოციალურ რეალობას, რომელშიც სამართლებრივი კულტურისა და ცნობიერების დეფიციტი განაპირობებს უფლებადაცვითი მექანიზმების არაეფექტიან იმპლემენტაციას. სამართლებრივი სისტემის ფორმალური სტრუქტურა ვერ უზრუნველყოფს სუბსტანციურ მართლმსაჯულებას, როდესაც კანონიერი წარმომადგენლები ვერ ახორციელებენ მინდობილ უფლებამოსილებებს სათანადო ცოდნისა და გაცნობიერების გარეშე. ამგვარად, სამართლებრივი რეგულაციის ეფექტიანობა პირდაპირპროპორციულია იმ სოციალური გარემოს მზაობისა, რომელშიც მას უწევს ფუნქციონირება. შესაბამისად, ხანდაზმულობის ვადების მოქმედების შეჩერების მექანიზმის არ არსებობა არასრულწლოვანთათვის წარმოადგენს არა მხოლოდ ტექნიკურ-ნორმატიულ ხარვეზს, არამედ სისტემურ პრობლემას, რომელიც საჭიროებს კომპლექსურ მიდგომას როგორც საკანონმდებლო, ისე საგანმანათლებლო დონეზე.

წინამდებარე ნაშრომი ასევე მოიცავს სხვადასხვა სახელმწიფოს ეროვნული კანონმდებლობის ანალიზს, რაც საშუალებას იძლევა ხანდაზმულობის ინსტიტუტი, როგორც სამოქალაქო საპროცესო უფლებების დაცვის მექანიზმი შედარებით-სამართლებრივი პერსპექტივიდან შეფასდეს.

წარმოდგენილი პრობლემატიკის მრავალმხრივი ანალიზის, სხვადასხვა სამართლებრივი სისტემის ნორმატიული ბაზის კვლევისა და ადამიანის უფლებათა ევროპული სასამართლოს პრეცედენტული სამართლის სიღრმისეული შესწავლის საფუძველზე, ნაშრომი წარმოადგენს კონცეპტუალური რეკომენდაციების ერთობლიობას, რომელთა იმპლემენტაცია უზრუნველყოფს არასრულწლოვანთა სამოქალაქო საპროცესო უფლებების დაცვის მექანიზმების სუბსტანციურ გაძლიერებას.

ინტერდისციპლინური მიდგომის საფუძველზე, შემუშავებული რეკომენდაციები ორიენტირებულია არა მხოლოდ ნორმატიული ბაზის ფორმალურ მოდიფიკაციაზე, არამედ სისტემურ ცვლილებებზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ სამართლებრივი დაცვის მექანიზმების პრაქტიკულ ეფექტიანობას სოციალურ-სამართლებრივი რეალობის გათვალისწინებით.

ხანდაზმულობის ინსტიტუტი: სამართლებრივი სტაბილურობის გარანტი სამოქალაქო სამართალწარმოებაში

სასარჩელო ხანდაზმულობის ვადა გულისხმობს დროის გარკვეულ მონაკვეთს, რა პერიოდშიც პირს, რომლის უფლებაც დაირღვა, აქვს შესაძლებლობა მოითხოვოს საკუთარი

უფლებების სამართლებრივი გზით განხორციელება ან დაცვა.[4] საქართველოს კანონმდებლობით დადგენილი ეს შეზღუდვა გამართლებულია მესამე პირების უფლების დაცვის ინტერესებით, რადგან საზოგადოებრივი ურთიერთობის სტაბილურობის ინტერესი ითხოვს ადამიანებს არ ჰქონდეს მუდმივად შიში იმისა, რომ დავის სასამართლოში განხილვისას შეიცვლება მათი სამართლებრივი მდგომარეობა.[5]

სამოქალაქო სამართალწარმოების პროცესში სასარჩელო ხანდაზმულობა არის სამოქალაქო კანონმდებლობით განსაზღვრული დრო, რომლის განმავლობაშიც პირს, რომელიც თვლის, რომ დაირღვა მისი კონსტიტუციური უფლებები, შეუძლია მოითხოვოს იძულებითი აღსრულება ან უფლებების დაცვა სასამართლოს მეშვეობით, სარჩელის შეტანის გზით. თუკი დარღვეული უფლებების იძულებითი დაცვის შესაძლებლობა კანონით დადგენილი ვადით არ იქნება შეზღუდული, ეს განაპირობებს სასამართლო საქმეზე გადაწყვეტილების გამოტანის გართულებას, ვინაიდან დიდი ალბათობაა საქმესთან დაკავშირებული უტყუარი მტკიცებულებების დაკარგვისა, საქმეში მონაწილე პირების მიერ საქმის ფაქტობრივი გარემოებების არაადეკვატურად და არასრულფასოვნად აღქმისა და ა.შ. შესაბამისად, სასარჩელო ხანდაზმულობა ხელს უწყობს რა სამოქალაქო ურთიერთობათა სტაბილიზაციას, ამავდროულად ემსახურება სახელშეკრულებო დისციპლინის სიმყარეს და ეხმარება სამოქალაქო სამართლებრივი ურთიერთობების მონაწილეებს თავიანთი უფლებებისა თუ ვალდებულებების დროულად და აქტიურად განხორციელებაში.[6]

ხანდაზმულობის ინსტიტუტის სპეციფიკურობა მდგომარეობს იმაში, რომ კანონმდებლობით დადგენილი ვადის გასვლის შემდგომ დარღვეული უფლების აღდგენის მოთხოვნის უფლება ობიექტურად არსებობს, თუმცა სამართლებრივი მექანიზმებით იძულებით აღსრულებას ვეღარ დაექვემდებარება, შესაბამისად უფლების რეალიზება სრულად დამოკიდებულია მოთხოვნის ადრესატის ნებაზე.[7]

მართალია, ხანდაზმულობა უნდა ემსახურებოდეს მოთხოვნის არსებობისა და მისი აღსრულების განუსაზღვრელობის დასრულებას, თუმცა მნიშვნელოვანია, რა ვადის დადგენა იქნება კონკრეტული მიზნის მისაღწევად ეფექტური,[8] განსაკუთრებით კი მაშინ როდესაც სახეზე გვაქვს სამართლებრივი ურთიერთობა, რომლის ერთ-ერთ მხარედ მაინც გვევლინება არასრულწლოვანი.

---

[4] ახალაძე მ., საქართველოს უზენაესი სასამართლოს სამოქალაქო საქმეთა პალატის განმარტებები სამოქალაქო სამართალში, საქართველოს უზენაესი სასამართლო, 2022, 16.

[5] კილაძე ს., ტურავა პ., ბავშვის უფლებათა კოდექსის სახელმძღვანელო კომენტარები, თბილისი, იურისტების სამყარო, 2021, 276.

[6] საქართველოს უზენაესი სასამართლოს სამოქალაქო საქმეთა პალატის 2013 წლის 25 დეკემბრის Nას-266-254-2013 გადაწყვეტილება.

[7]კობალაძე ლ., ხანდაზმულობის ვადა, CONTRA LEGEM ინტერპრეტაცია და ერთი საინტერესო გადაწყვეტილება ქართული სამოქალაქო სამართალწარმოების პრაქტიკიდან, სამართლის მეთოდები, N5, 2021, 191.

[8]მახათაძე ნ., სახელშეკრულებო მოთხოვნის ხანდაზმულობის გავლენა სამოქალაქო ბრუნვის სტაბილურობაზე, სამართლის ჟურნალი, N1, 2019, 68.

სამოქალაქო კანონმდებლობა ხანდაზმულობის დაწყებას მოთხოვნის წარმოშობის მომენტს უკავშირებს.[9] მოთხოვნის წარმოშობის მომენტად კი მიიჩნევა დრო როდესაც პირმა შეიტყო ან უნდა შეეტყო უფლების დარღვევის შესახებ.[10] აღნიშნული საკანონმდებლო დანაწესისგან განსხვავებული რეგულაციები გვხვდება ხანდაზმულობის ვადის დინების დაწყებაზე, როდესაც მოთხოვნა მომდინარეობს არასრულწლოვანისგან ან მიმართულია მისკენ.

საქართველოს სამოქალაქო კოდექსი[11] არასრულწლოვნებს ჰყოფს ორ ჯგუფად, პირველში ერთიანდება 7-დან 18 წლამდე მოზარდები, რომლებიც მოკლებული არიან მშობლების მზრუნველობას და ჯერ კიდე არ ჰყავს დანიშნული კანონიერი წარმომადგენელი, ხოლო მეორე ჯგუფში ერთიანდება - ამავე ასაკობრივი კატეგორიის ის ბავშვები, რომლებსაც ჰყავთ მშობელი/კანონიერი წარმომადგენელი. პირველ შემთხვევაში, კანონმდებლობა ითვალისწინებს ხანდაზმულობის ვადის დინების შეჩერებას მოზარდის სრულწლოვანების მიღწევამდე ან კანონიერი წარმომადგენლის დანიშვნამდე. მეორე შემთხვევაში კი ხანდაზმულობის ვადა არ ჩერდება.

ზემოაღნიშნული ნორმის მიზანი იმ პირთა ინტერესების დაცვაა, რომელთაც ობიექტურად, პატივსადები დამაბრკოლებელი გარემოებების გამო (ასაკი, ჯანმრთელობა, ფსიქიკური, გონებრივი/ინტელექტუალური დარღვევები) საკუთარი სამოქალაქო უფლებებისა და მოვალეობების დამოუკიდებლად განხორციელება არ შეუძლიათ. ამავდროულად, ნორმა ხანდაზმულობისაგან იცავს იმ კრედიტორის უფლებასაც, რომელსაც მოთხოვნა აქვს შეზღუდულ ქმედუნარიანი პირის მიმართ, ხოლო ამ უკანასკნელს კანონიერი წარმომადგენელი ან მხარდამჭერი დანიშნული არ ჰყავს. დადგენილი წესი არ გამოიყენება არასრულწლოვან ბავშვებთან მიმართებით, რომელთაც მშობლები (მშობელი) ჰყავთ, ვინაიდან მშობლები არასრულწლოვანი შვილების კანონიერი წარმომადგენლები არიან და განსაკუთრებულ რწმუნებულებათა გარეშე გამოდიან მათი უფლებებისა და ინტერესების დასაცავად მესამე პირებთან ურთიერთობაში, მათ შორის, სასამართლოში.[12]

სამოქალაქო კოდექსის 134-ე მუხლი, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ვრცელდება მხოლოდ და მხოლოდ 7 წლიდან 18 წლამდე არასრულწლოვნებზე, შესაბამისად, კანონის რეგულაციის მიღმა რჩება 7 წლამდე ასაკის მცირეწლოვანი ბავშვები, რომლებსაც ასაკობრივი და გონებრივი შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, უფრო მეტად ესაჭიროებათ სამართლებრივი დაცვა და მზრუნველობა. კოდექსი არ განსაზღვრავს ხანდაზმულობის ვადის დინების შეჩერების საკითხს კონკრეტულად ამ ასაკობრივი ჯგუფისათვის, რაც თავის მხრივ წარმოადგენს საკანონმდებლო ხარვეზს, ვინაიდან მცირეწლოვანი, რომელსაც არ ჰყავს მშობელი, კანონიერი წარმომადგენლის დანიშვნამდე პერიოდში, რჩება შეზღუდული და დარღვეული უფლების მატარებელი სუბიექტი.

[9] საქართველოს სამოქალაქო კოდექსის 130-ე მუხლი, საქართველოს საპარლამენტო უწყებანი, N31, 24/07/1997.

[10] იქვე.

[11] იქვე, 134-ე მუხლი.

[12] სამოქალაქო კოდექსის კომენტარები, სამოქალაქო კოდექსის ზოგადი დებულებები, წიგნი I, რედაქტორი ჭანტურია ლ., 2017, 749.

ვინაიდან საქართველოს სამოქალაქო კოდექსი პირდაპირ არ ითვალისწინებს, ზემოაღნიშნულ კონტექსტში მცირეწლოვანთა უფლებების დაცვის მომწესრიგებელ ნორმას, შესაძლებელია გამოყენებული იქნას კანონის ანალოგია.[13] მოცემულ შემთხვევაში პრობლემური საკითხის გადაწყვეტის მიზნებისათვის, ყველაზე უფრო მსგავსი ურთიერთობის მარეგულირებელი სამართლის ნორმაა, ჩვენ მიერ უკვე განხილული, სამოქალაქო კოდექსის 134-ე მუხლი. შესაბამისად, ხანდაზმულობის ვადის დინების შეჩერება, მცირეწლოვანთათვის კანონიერი წარმომადგენლის დანიშვნამდე, პრაქტიკულად დასაშვებია, თუმცა არ წარმოადგენს სრულფასოვან მექანიზმს ბავშვის საუკეთესო ინტერესების დასაცავად. გაუმართლებელია საზოგადოების ყველაზე მოწყვლადი ჯგუფის, 7 წლამდე ასაკის არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვა დაყვანილ იქნას კანონის ანალოგიამდე.

არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის კუთხით, საკმაოდ აქტუალურ და, ამავდროულად, პრობლემურ საკითხს წარმოადგენს მშობლების/კანონიერი წარმომადგენლების ინსტიტუტი. კვლევის პროცესში ჩატარებული გამოკითხვის შედეგად, დგინდება, რომ საზოგადოების გარკვეული ნაწილი არ ფლობს საკმარის ინფორმაციას არასრუწლოვანთა უფლებების დაცვის მექანიზმებსა და პროცედურებზე, განსაკუთრებით ხანდაზმულობის მნიშვნელობაზე. შესაბამისად, არასრულწლოვანმა, მიუხედავად იმისა, რომ მშობელი/კანონიერი წარმომადგენელი ჰყავს, შესაძლოა ვერ მოახდინოს უფლების სათანადო წესით რეალიზება, რაც ცნობიერების დაბალი დონის გარდა, შესაძლოა გამოწვეული იყოს მშობლის მძიმე ავადმყოფობით, მშობლისგან სიშორით ან სხვა უფლების განხორციელების დამაბრკოლებელი გარემოებებით[14].

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, მიუხედავად საქართველოში ბავშვთა უფლებების დაცვის კუთხით გატარებული არაერთი რეფორმისა და ღონისძიებისა, კანონმდებლობა სრულყოფილად ვერ უზრუნველყოფს ბავშვთა საუკეთესო ინტერესების დაცვას.

არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის ასპექტები: ხანდაზმულობის შედარებითი ანალიზი საერთაშორისო პრაქტიკაში

გერმანია. გერმანიის სამოქალაქო კოდექსის ნორმატიული ჩარჩო ითვალისწინებს სპეციფიკურ სამართლებრივ მექანიზმებს ქმედუუნარო და შეზღუდულქმედუნარიანი პირების მიმართ ხანდაზმულობის ვადების გამოყენებისას. კერძოდ, კანონმდებელი ადგენს, რომ იმ შემთხვევაში, როდესაც ქმედუუნარო ან შეზღუდულქმედუნარიან პირს არ ჰყავს კანონიერი წარმომადგენელი, მის სასარგებლოდ ან საზიანოდ მიმდინარე ხანდაზმულობის ვადის დინება არ დასრულდება მანამ, სანამ არ გავა ექვსი თვე იმ მომენტიდან, როდესაც ადგილი ექნება ერთ-ერთ შემდეგ იურიდიულ ფაქტს: ა) პირი შეიძენს სრულ ქმედუნარიანობას ან ბ) აღმოიფხვრება წარმომადგენლობითი დეფიციტი. ნორმატიული რეგულირების სისტემური ანალიზი ასევე მიუთითებს, რომ იმ სამართლებრივ შემთხვევებში, როდესაც მოთხოვნის ხანდაზმულობის კანონისმიერი ვადა ექვს თვეზე ნაკლებია, ხდება მისი

[13]საქართველოს სამოქალაქო კოდექსი მე-5 მუხლი. ხელმისაწვდომია: <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/31702?publication=132 > [02.04.2025].

[14] საქართველოს უზენაესი სასამართლოს 2011 წლის 12 აპრილის Nას-1224-1076-2010 გადაწყვეტილება.

სუბსტიტუცია ექვსთვიანი პერიოდით. აღნიშნული სამართლებრივი გაფართოება წარმოადგენს საკანონმდებლო ინტერვენციას კერძო სამართლებრივ ურთიერთობებში მოწყვლადი სუბიექტების დაცვის მიზნით, ასევე საყურადღებოა, ისიც, რომ აღნიშნული დანაწესი არ გამოიყენება იმ ფარგლებში, რომლებშიც შეზღუდულქმედუნარიანი პირი შეინარჩუნებს პროცესუალურ უფლებაუნარიანობას, რაც ასახავს საპროცესო და მატერიალური სამართლის ავტონომიურობის პრინციპს.[15]

საქართველოს სამოქალაქო კოდექსისგან განსხვავებით, გერმანიის სამოქალაქო კოდექსი არასრულწლოვანთათვის კანონიერი წარმომადგენლის დანიშვნამდე ან სრულწლოვანების მიღწევამდე ადგენს არა ხანდაზმულობის ვადის დინების შეჩერების, არამედ მისი შეწყვეტის სამართლებრივ საფუძვლებს. აღნიშნული განსხვავება არსებითი ხასიათისაა, რამდენადაც შეჩერებისა და შეწყვეტის სამართლებრივი ინსტიტუტები განსხვავებულ იურიდიულ შედეგებს წარმოშობს. კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი დიფერენცია ამ ორი სამართლებრივი სისტემის ნორმატიულ რეგულირებაში მდგომარეობს იმაში, რომ გერმანული სამართალი, ქართულისგან განსხვავებით, აღიარებს ხანდაზმულობის ვადის დინების შეწყვეტას როგორც ქმედუუნარო, ასევე შეზღუდულქმედუნარიან არასრულწლოვნებთან მიმართებაში. შესაბამისად, გერმანულ სამართლებრივ სივრცეში უზრუნველყოფილია ყველა ასაკობრივი კატეგორიის ბავშვის უფლებების დაცვა სასარჩელო ხანდაზმულობის თვალსაზრისით.

ამგვარი ნორმატიული მიდგომა გერმანულ სამართალში ასახავს არასრულწლოვანთა საუკეთესო ინტერესების უპირატესად გათვალისწინების პრინციპს, რომელიც საერთაშორისო სამართლებრივ სტანდარტად არის აღიარებული და განმტკიცებულია გაეროს ბავშვის უფლებათა კონვენციით.

კვებეკი. კვებეკის სამოქალაქო კოდექსი, გერმანიის კანონმდებლობის მსგავსად, ითვალისწინებს ხანდაზმულობის ვადის დინების შეწყვეტას, კერძოდ, ხანდაზმულობის ვადის დინება პირების მიმართ არ ხდება, თუ მათთვის რეალურად შეუძლებელია პირადად მოქმედება ან სხვების მიერ მათ სასარგებლოდ წარმომადგენლობის განხორციელება.[16] აღნიშნული ნორმატიული დანაწესი თანაბრად უზრუნველყოფს როგორც ქმედუუნარო, ასევე შეზღუდული ქმედუნარიანობის მქონე არასრულწლოვანთა კანონიერი ინტერესებისა და უფლებების დაცვას. ეს სამართლებრივი მიდგომა ასახავს კვებეკის სამართლებრივი სისტემის ფუნდამენტურ პრინციპს - გაძლიერებული იურიდიული დაცვის მექანიზმების შექმნას მოწყვლადი სუბიექტებისათვის.

საფრანგეთი. საფრანგეთის სამოქალაქო კოდექსი თანახმად, ხანდაზმულობის ვადის დინება ჩერდება ყველა არასრულწლოვნის და სრული მეურვეობის ქვეშ მყოფი სრულწლოვანი პირის მიმართ, მიუხედავად მათი ასაკისა თუ ქმედუნარიანობის ხარისხისა.[17]

[15]გერმანიის სამოქალაქო კოდექსის 210-ე პარაგრაფი, <https://lawlibrary.info/ge/books/giz2014-ge-BGB-Komm-Translation.pdf> [02.04.2025].

[16]კვებეკის სამოქალაქო კოდექსის 2904-ე მუხლი, <https://www.notary.ge/res/docs/gare/Civil_Code_Quebec.pdf> [02.04.2025].

[17] საფრანგეთის სამოქალაქო კოდექსის 2235-ე მუხლი.

იტალია. ანალოგიური მიდგომა გვხვდება იტალიის სამოქალაქო კოდექსშიც, სადაც ხანდაზმულობის ვადის დინება ჩერდება ყველა არასრულწლოვანის მიმართ, განურჩევლად მათი ასაკისა, სრულწლოვანების მიღწევამდე ან კანონიერი წარმომადგენლის დანიშვნამდე.[18]

სტაგნო ბელგიის წინააღმდეგ[19]. ბელგიის სახელმწიფოს გადაწყვეტილება, რომლის საფუძველზე არასრულწლოვნებს უარი ეთქვათ თავიანთი ქონებრივი უფლებების დაცვაზე ხანდაზმულობის ვადის გამო, ადამიანის ადამიანის უფლებათა ევროპულ სასამართლომ დაადგინა დარღვევა. საქმის ფაქტობრივი გარემოებები მდგომარეობდა შემდგომში: მამის გარდაცვალების შემდეგ, ორ არასრულწლოვან მომჩივანს, როგორც მამის სიცოცხლის დაზღვევის ბენეფიციარებს, სადაზღვევო კომპანიამ გარკვეული თანხა გადაუხადა. მომჩივნების დედამ, თანხა განათავსა შემნახველ ანგარიშზე, რომელიც წელიწადზე ნაკლებ დროში აღარ იყო. სრულწლოვანების მიღწევის შემდგომ თითოეულმა მომჩივანმა სარჩელი აღძრა დედისა და სადაზღვევო კომპანიის მიმართ. ადამიანის უფლებათა ევროპული სასამართლოს წინაშე მომჩივნები დაობდნენ, რომ მათ დაერღვათ სასამართლოსადმი ხელმისაწვდომობის უფლება, ვინაიდან ბელგიის სასამართლომ მათ ჩამოართვა სასამართლოს წინაშე არსებული ეფექტური დაცვის საშუალება, იმის გათვალისწინებთ, რომ კანონით დადგენილი ხანდაზმულობის ვადის ათვლა მათი არასრულწლოვანების პერიოდში არ შეჩერდა, მიუხედავად იმისა, რომ იმ პერიოდში მომჩივნებს არ შეეძლოთ სასამართლო დავის დაწყება. სტრასბურგის სასამართლომ დაადგინა, რომ ადგილი ჰქონდა კონვენციის მე-6 მუხლის პირველი პარაგრაფის დარღვევას- სასამართლოსადმი ხელმისაწვდომობა. ევროპულმა სასამართლომ განმარტა, რომ ბელგიის სასამართლოებმა სადაზღვევო კომპანიის ინტერესები უფრო წინ დააყენეს, როდესაც არ შეჩერდა ხანდაზმულობის ვადის დინება უფლებადარღვეულთა არასრულწლოვანების გამო. სრულწლოვანების მიღწევამდე ფაქტობრივად შეუძლებელი იყო კომპანიის წინააღმდეგ მათი უფლებების დაცვა, შემდგომ კი მათი მოთხოვნა გახდა ხანდაზმული. შესაბამისად, საქმის კონკრეტული ფაქტობრივი გარემოებების გარეშე კანონით დადგენილი ვადის მკაცრმა გამოყენება, მომჩივნებს ხელი შეუშალა მათთვის ხელმისაწვდომი დაცვის საშუალებით სარგებლობაში[20]. ეს პრეცედენტი ადგენს, რომ არასრულწლოვნების პერიოდში ხანდაზმულობის ვადის შეჩერების მექანიზმის არარსებობა შეიძლება გამოიწვიოს სამართლიანი სასამართლოს უფლების დარღვევა. გადაწყვეტილება ხაზს უსვამს არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის სპეციალური სამართლებრივი მექანიზმების აუცილებლობას ხანდაზმულობის ინსტიტუტის კონტექსტში.

[18] იტალიის სამოქალაქო კოდექსის 2942-ე მუხლი.

[19] ევროპის სასამართლოს 2009 წლის 7 ივლისის N1062/07 გადაწყვეტილება საქმეზე სტაგნო ბელგიის წინააღმდეგ, <https://hudoc.echr.coe.int/eng-press#{%22itemid%22:[%22003-2794524-3059566%22]} > [02.04.2025].

[20] ბავშვის უფლებები, <https://old.supremecourt.ge/files/upload-file/pdf/saertashoriso-kvlevebi5.pdf > [02.04.2025].

დასკვნა

კვლევის შედეგად გამოვლინდა, რომ საქართველოში არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის კუთხით განხორციელებული არაერთი საკანონმდებლო რეფორმის მიუხედავად, კვლავ მნიშვნელოვანი გამოწვევები რჩება როგორც ნორმატიული ბაზის, ისე პრაქტიკული იმპლემენტაციის თვალსაზრისით.

სამართლებრივი სახელმწიფოს ფუნდამენტურ პრინციპს წარმოადგენს ადამიანების თანასწორობის კონსტიტუციური უფლების სრულყოფილი რეალიზაცია. დაუშვებელია იდენტურ სამართლებრივ მდგომარეობაში მყოფი სუბიექტების მიმართ დიფერენცირებული მიდგომა, რაც ცალსახად ეწინააღმდეგება საქართველოს სამოქალაქო კოდექსის 134-ე მუხლის რეგულირების მიზანს. ხანდაზმულობის ვადის დინების შეჩერების პრივილეგიით მხოლოდ შეზღუდული ქმედუნარიანობის მქონე არასრულწლოვნების აღჭურვა, როდესაც ამავდროულად იგივე უფლება არ გააჩნიათ ქმედუუნარო არასრულწლოვნებს, რომლებსაც არ ჰყავთ კანონიერი წარმომადგენელი, წარმოადგენს აშკარა დისკრიმინაციას, რაც ეწინააღმდეგება საერთაშორისო სამართლებრივ სტანდარტებს.

ხანდაზმულობის ინსტიტუტი, მისი იურიდიული ბუნებიდან გამომდინარე, უნდა ემსახურებოდეს ყველა არასრულწლოვნის საუკეთესო ინტერესების დაცვას დისკრიმინაციის გარეშე. სამართლებრივ-შედარებითი ანალიზი ნათლად წარმოაჩენს საქართველოს კანონმდებლობაში არსებულ ხარვეზებს. შესაბამისად, აუცილებელია საკანონმდებლო ცვლილებების განხორციელება, რომლის საფუძველზეც შეზღუდული ქმედუნარიანობის მქონე და ქმედუუნარო არასრულწლოვნები აღიჭურვებიან თანაბარი სამართლებრივი დაცვის გარანტიებით.

განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს, რომ მხოლოდ სახელმწიფოს მიერ გატარებული ღონისძიებები ვერ უზრუნველყოფს არასრულწლოვანთა უფლებების ეფექტიან დაცვას. ბავშვთა უფლებების დაცვა წარმოადგენს ერთიან სისტემას, რომელიც მოიცავს სახელმწიფოს, საზოგადოებას, ინდივიდებსა და თავად არასრულწლოვნებს. ამ სისტემის ნებისმიერი კომპონენტის დისფუნქცია საფრთხეს უქმნის ბავშვთა საუკეთესო ინტერესების რეალიზებას. ჩატარებული ემპირიული კვლევის შედეგები მიუთითებს საზოგადოებაში არასრულწლოვანთა უფლებების დაცვის მექანიზმებისა და პროცედურების, მათ შორის ხანდაზმულობის ინსტიტუტის მნიშვნელობის შესახებ ცნობიერების დაბალ დონეზე.

აღნიშნული პრობლემების აღმოფხვრის მიზნით, რეკომენდებულია კომპლექსური ღონისძიებების განხორციელება: თემატური ტრენინგების ორგანიზება, საინფორმაციო კამპანიების წარმოება, საგანმანათლებლო მასალების შექმნა და გავრცელება, სოციალური მედიის პლატფორმების გამოყენება საზოგადოებრივი ცნობიერების ამაღლების მიზნით. მხოლოდ კუმულაციური ძალისხმევით იქნება შესაძლებელი არასრულწლოვანთა უფლებების ეფექტიანი დაცვა, რაც თავის მხრივ, სამართლებრივი სახელმწიფოს მშენებლობის აუცილებელი წინაპირობაა.

გამოყენებული სამეცნიერო ლიტერატურა:

- ახალაძე მ., საქართველოს უზენაესი სასამართლოს სასამართლოს სამოქალაქო საქმეთა პალატის განმარტებები სამოქალაქო სამართალში, საქართველოს უზენაესი სასამართლო, 2022; [akhaladze m , sakartvelos uzenaesi sasamartlos sasamartlos samokalako sakmeta p'alat'is ganmart'ebebi samokalako samartalshi, sakartvelos uzenaesi sasamartlo, 2022]
- კილაძე ს. და ტურავა პ., ბავშვის უფლებათა კოდექსის სახელმძღვანელო კომენტარები, თბილისი, იურისტების სამყარო, 2021; [k'iladze s Da t'urava p'. , bavshvis uplebata k'odeksis sakhelmdzghvanelo k'oment'arebi, tbilisi, iurist'ebis samq'aro, 2021;]
- კობალაძე ლ., ხანდაზმულობის ვადა, CONTRA LEGEM ინტერპრეტაცია და ერთი საინტერესო გადაწყვეტილება ქართული სამოქალაქო სამართალწარმოების პრაქტიკიდან, სამართლის მეთოდები, N5, 2021; [k'obaladze l , khandazmulobis vada, CONTRA LEGEM int'erp'ret'atsia da erti saint'ereso gadats'q'vet'ileba kartuli samokalako samartalts'armoebis p'rakt'ik'idan, samartlis metodebi, N5, 2021;]
- მახათაძე ნ., სახელშეკრულებო მოთხოვნის ხანდაზმულობის გავლენა სამოქალაქო ბრუნვის სტაბილურობაზე, სამართლის ჟურნალი, N1, 2019; [makhatadze n, sakhelshek'rulebo motkhovnis khandazmulobis gavlena samokalako brunvis st'abilurobaze, samartlis zhurnali, N1, 2019;]
- ტეფნაძე ზ., სასარჩელო ხანდაზმულობა და მისი გამოთვლის წესი, შპს გურამ თავართქილაძის სახელობის თბილისის სასწავლო უნივერსიტეტი, 2021; [t'epnadze z , sasarchelo khandazmuloba da misi gamotvlis ts'esi, shp's guram tavartkiladzis sakhelobis tbilisis sasts'avlo universit'et'i, 2021;]
- ჭანტურია ლ., რედაქტორი, სამოქალაქო კოდექსის კომენტარები, სამოქალაქო კოდექსის ზოგადი დებულებები, წიგნი I, 2017; [ch'ant'uria l , redakt'ori, samokalako k'odeksis k'oment'arebi, samokalako k'odeksis zogadi debulebebi, ts'igni I, 2017;]
- Hasanova A.R., Statute of limitations: legal nature and essence, Landscape Journal, 2019;
- Guttel E.,. A New Approach to Old Cases: Reconsidering Statutes of Limitation, University of Toronto Law Journal (University of Toronto Press) – vol 54, 2004;
- Guyvan P., Limitation of claims – the period of protection of a violated right by a person 2022;
- Kochyna O., Application of statutes of limitations in conditions of martial law, 2024.
- Ross H., Protecting the wrongdoer: civil limitation laws in historical childhood abuse claims. International journal of children's rights, 26(4), 2018.
- ბავშვის უფლებები. <https://old.supremecourt.ge/files/upload-file/pdf/saertashoriso-kvlevebi5.pdf > [02.04.2025]; [bavshvis uplebebi]
- ბავშვთა უფლებების დაცვა საქართველოში ჰააგის კონვენციის მიხედვით. < https://bit.ly/3UlSxwo > [02.04.2025]; [bavshvta uplebebis datsva sakartveloshi haagis k'onventsiis mikhedvit;]
- რა ვადის გასვლის შემდეგ შეუძლია მოვალეს უარი თქვას ვალდებულების შესრულებაზე? <https://tinyurl.com/bdcmwwdz> [02.04.2025]; [Ra vadis gasvlis shemdeg sheudzlia movales uari tkvas valdebulebis shesrulebaze?]
- სამოქალაქო სამართლის სფერო. <https://baco.ge/template/files/92cf1a6aac999b6.pdf > [02.04.2025]; [samokalako samartlis spero]

• საქართველოს კონსტიტუცია, საქართველოს პარლამენტის უწყებები, 31-33, 24/08/1995; [sakartvelos k'onst'it'utsia, sakartvelos p'arlament'is uts'q'ebebi, 31-33, 24/08/1995;]

• საქართველოს კანონი ,,საქართველოს სამოქალაქო კოდექსი", პარლამენტის უწყებანი, 31, 24/07/1997;

• საქართველოს კანონი ,,საქართველოს სამოქალაქო საპროცესო კოდექსი", პარლამენტის უწყებანი, 47-48, 31/12/1997; [sakartvelos k'anoni ,,sakartvelos samokalako k'odeksi", p'arlament'is uts'q'ebani, 31, 24/07/1997;]

• საქართველოს კანონი ,,ბავშვის უფლებათა კოდექსი", საქართველოს საკანონმდებლო მაცნე, 27/09/2019; [sakartvelos k'anoni ,,bavshvis uplebata k'odeksi", sakartvelos sak'anonmdeblo matsne, 27/09/2019;]

• ადამიანის უფლებათა და ძირითად თავისუფლებათა დაცვის კონვენცია (მიღებულია 1950 წლის 4 ნოემბერში, ძალაში შევიდა 1953 წლის 3 სექტემბერს);[adamianis uplebata da dziritad tavisuplebata datsvis k'onventsia (mighebulia 1950 ts'lis 4 noembershi, dzalashi shevida 1953 ts'lis 3 sekt'embers);]

• ბავშვის უფლებების შესახებ კონვენცია (მიღებულია 1989 წლის 20 ნოემბერს და ძალაში შევიდა 1990 წლის 2 სექტემბერს); [bavshvis uplebebis shesakheb k'onventsia (mighebulia 1989 ts'lis 20 noembers da dzalashi shevida 1990 ts'lis 2 sekt'embers);]

• გერმანიის სამოქალაქო კოდექსი (მიღებულია 1896 წლის 18 აგვისტოს და ძალაში შევიდა 1900 წლის 1 იანვარს); [Germaniis samokalako k'odeksi (mighebulia 1896 ts'lis 18 agvist'os da dzalashi shevida 1900 ts'lis 1 ianvars);]

• კვებეკის სამოქალაქო კოდექსი (მიღებულია 1991 წლის 16 ივნისს და ძალაში შევიდა 1994 წლის 1 იანვარს); [k'vebek'is samokalako k'odeksi (mighebulia 1991 ts'lis 16 ivniss da dzalashi shevida 1994 ts'lis 1 ianvars);]

• საფრანგეთის სამოქალაქო კოდექსი (მიღებულია 1804 წლის 21 მარტს და ძალაში შევიდა 1804 წლის 1 იანვარს); [saprangetis samokalako k'odeksi (mighebulia 1804 ts'lis 21 mart's da dzalashi shevida 1804 ts'lis 1 ianvars);]

• იტალიის სამოქალაქო კოდექსი (მიღებულია 1942 წლის 16 მარტს და ძალაში შევიდა 1942 წლის 1 იანვარს); [it'aliis samokalako k'odeksi (mighebulia 1942 ts'lis 16 mart's da dzalashi shevida 1942 ts'lis 1 ianvars);]

• საქართველოს უზენაესი სასამართლოს სამოქალაქო საქმეთა პალატის 2013 წლის 25 დეკემბრის Nას-266-254-2013 გადაწყვეტილება; [sakartvelos uzenaesi sasamartlos samokalako sakmeta p'alat'is 2013 ts'lis 25 dek'embris Nas-266-254-2013 gadats'q'vet'ileba;]

• საქართველოს უზენაესი სასამართლოს 2011 წლის 12 აპრილის Nას-1224-1076-2010 გადაწყვეტილება; [sakartvelos uzenaesi sasamartlos 2011 ts'lis 12 ap'rilis Nas-1224-1076-2010 gadats'q'vet'ileba;]

• ევროპის სასამართლოს 2009 წლის 7 ივლისის N1062/07 გადაწყვეტილება საქმეზე სტაგნო ბელგიის წინააღმდეგ. [evrop'is sasamartlos 2009 ts'lis 7 ivlisis N1062/07 gadats'q'vet'ileba sakmeze st'agno belgiis ts'inaaghmdeg .]

The Institution of Statute of Limitations as a Guarantee for the Protection of Minors' Rights: Theoretical and Practical Aspects of Civil Proceedings

Mariam Mamuladze

PhD student of the Law school, Davit Agmashenebeli University of Georgia.
E-mail: Mariam27mamuladze@gmail.com

Abstract

This research systematically examines the statute of limitations as a key guarantor of stability in civil legal relationships, with particular focus on the protection of minors. Georgia's Civil Code regulates the suspension of limitation periods for individuals with limited legal capacity until they obtain legal representation or reach adulthood. However, the current regulatory framework inadequately protects the rights of legally incapacitated children under seven years who lack parental care and have no appointed legal representatives. This legislative deficiency requires comprehensive research and normative improvements to safeguard children's best interests.

The study also addresses the critical role of legal representatives. Our empirical data analysis demonstrates that segments of society possess insufficient information about legal representatives' rights and obligations. Public awareness regarding limitation periods as protective mechanisms for minors is notably low. The research incorporates critical analysis of legal norms from various jurisdictions and relevant European Court of Human Rights precedents.

This paper ultimately aims to formulate recommendations that will substantially improve the protection mechanisms for minors' civil procedural rights, addressing both theoretical frameworks and practical implementation challenges within the Georgian legal system

Key words: Minor/Juvenile, Statute of limitations, Best interests, Rights, Legal representative/Guardian

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.26



მინდობილი პროფესიული საქმიანობის განხორციელების ეტაპები შინაგანი მედიცინის კლინიკური სწავლების პროცესში

სალომე ვორონოვი[1], ნინო ქანთარია[2], რიმა ბერიაშვილი[3]

[1]აკადემიური განვითარების და სტრატეგიული დაგეგმვის დეპარტმენტის უფროსის მოადგილე. დიპლომირებული მედიკოსის ამერიკული პროგრამის „გახდი ექიმის“ კურსის ინსტრუქტორი და მცირე ჯგუფის კოორდინატორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი; https://orcid.org/0009-0008-8892-8052; [2]პროფესორი, აკადემიური განვითარების და სტრატეგიული დაგეგმვის დეპარტამენტის უფროსი, პათოლოგიური ანატომიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი; [3]დიპლომირებული მედიკოსის ამერიკული პროგრამის მოდულის”გულსისხლძარღვთა სისტემა” კოორდინატორ; სუბინტერნშიფი-შინაგანი მედიცინის მოწვეული მასწავლებელი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი

რეზიუმე

იმისათვის, რომ სამედიცინო განათლება იყოს ყოვლისმომცველი და ინტეგრაციული, აუცილებელია განისაზღვროს ის აუცილებელი კომპეტენციები, რომლის შეძენაც უნდა მოხდეს სწავლების პროცესში და გადამოწმდეს, მიღწეულია თუ არა ეს კომპეტენციები სწავლების დამთავრების შემდეგ. კომპეტენციები აბსტრაქტულ ცნებებად რომ არ დარჩეს, აუცილებელია განისაზღვროს მათი შესაბამისი კონტექსტი და სწავლებისა და შეფასების სათანადო მეთოდები. სწორედ ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მინდობილი პროფესიული აქტივობის მეთოდის დანერგვას როგორც დიპლომისშემდგომ, ასევე, დიპლომამდელი სწავლების ეტაპზე, როცა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სწავლის შემდგომი საჭიროების განსაზღვრა თითოეული სტუდენტისათვის, სანდო კლინიკური უნარებისა და პროფესიონალიზმის ჩამოყალიბების პროცესში.

საძიებო სიტყვები: მინდობილი პროფესიული საქმიანობა, სამედიცინო განათლება, კლინიკური კომპეტენცია

მინდობილი პროფესიული საქმიანობის (Entrustable Professional Activities -EPAs) დიპლომამდელი და დიპლომისშემდგომი განათლების კლინიკური ეტაპის ინოვაციურ მეთოდს წარმოადგენს და აქტიურად ინერგება მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. საქართველოში პირველად, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტში მიმდინარეობს მინდობილი პროფესიული საქმიანობის განხორციელება შინაგანი მედიცინის კლინიკური სწავლების - „სუბინტერნშიფის“ გავლის პროცესში. მინდობილი პროფესიული საქმიანობის ძლიერი მხარე ის არის, რომ ის დაკავშირებულია შესაბამის ყოველდღიურ კლინიკურ

აქტივობასთან, როცა სწავლება და შეფასება ხდება შესაბამისი მეთოდოლოგიის გამოყენებით ყოველდღიურ პრაქტიკაში.

უნდა აღინიშნოს, რომ დიპლომამდელი სწავლების დონეზე, შინაგანი მედიცინის კლინიკური სწავლების პროცესში, ფორმალური სახით მინდობილი პროფესიული აქტივობების დანერგვა ტიპიური არ არის. ასეთი ტიპის აქტივობები და შესაბამისი შეფასების მეთოდები, როგორც წესი, გამოიყენება დიპლომისშემდგომ სამედიცინო განათლებაში, რეზიდენტურის გავლის პერიოდში, რათა შეფასდეს კლინიკური რეზიდენტების კომპეტენცია და მზაობა კონკრეტულ პროფესიულ საქმიანობაში დამოუკიდებელი საქმიანობის დასაწყებად. შესაბამისად, მინდობილი პროფესიული აქტივობების პილოტირება, რაც თსსუ-ში დიპლომამდელი განათლების პროცესში მიმდინარეობს, განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს, რადგანაც მიზნად ისახავს ცოდნის, უნარებისა და დამოკიდებულებების მყარი საფუძვლის გამომუშავებას კლინიკური როტაციის ადრეულ საფეხურზე.

სანდო პროფესიული აქტივობები (EPAs) - პროფესიულ საქმიანობათა ერთობლიობაა, რომელთა დამოუკიდებლად შესრულება შეიძლება მიენდოს სტუდენტს/რეზიდენტს მას შემდეგ, როდესაც ის ამ საქმიანობათა განხორციელების დროს საჭირო კომპეტენციებს გამოავლენს (1,2). რადგანაც სხვადასხვა დისციპლინისა ან სპეციალობისთვის დამახასიათებელი საქმიანობები განსხვავდება ერთმანეთისგან, შესაბამისად, მინდობილი პროფესიული საქმიანობების ჩამონათვალიც, რაც უნდა განახორციელოს სტუდენტმა/რეზიდენტმა, განსხვავებულია.

სადღეისოდ შემუშავებული საერთაშორისო გაიდლაინების მიხედვით, მინდობილი პროფესიული აქტივობების განხორციელების პროცესი მოიცავს შემდეგ **ეტაპებს** (3,4,5):

- კონკრეტული სპეციალობისთვის დამახასიათებელი, ძირითად საექიმო აქტივობათა ნუსხის შედგენა, რაც შეიძლება მიენდოს სტუდენტს/რეზიდენტს მისი კომპეტენციის ფარგლებში დადგენილი სანდოობის დონის გათვალისწინებით;
- საპილოტე ჯგუფშის წევრებს შორის შეთანხმების მიღწევა შერჩეულ საქმიანობათა რელევანტობის და ვალიდობის შესახებ Delphi-ს მეთოდის გამოყენებით (6);
- თითოეული მინდობილი საქმიანობის აღწერა და დახასიათება (საჭირო კომპეტენციათა მითითებით) ;
- შეფასების რელევანტური მეთოდების და მათი რაოდენობის განსაზღვრა თითოეული მინდობილი საქმიანობისთვის;
- საქმიანობის განხორციელების შემფასებლების შერჩევა;
- კლინიკური კომპეტენციების შეფასების კომიტეტის წევრების შერჩევა (რომლებიც არ უნდა მონაწილეობდნენ საქმიანობის განხორციელების პროცესის შეფასებაში).

საერთაშორისოდ აღიარებული მეთოდური რეკომენდაციების (AMEE, AAMC-ის გაიდლაინები) მიხედვით **ძირითადი სანდო პროფესიული აქტივობები (EPAs)** განისაზღვრება შემდეგნაირად:

EPA 1: პაციენტის ანამნეზის შეკრება და ფიზიკური გამოკვლევა

EPA 2: დიფერენციული დიაგნოზის დროს პრიორიტეტის განსაზღვრა

EPA 3: ძირითადი/ხშირად გამოყენებადი დიაგნოსტიკური და სკრინინგის ტესტების ჩატარების შესახებ რეკომენდაციის მიცემა და მათი ინტერპრეტაცია

EPA 4: დანიშნულების მიცემა და მათი განხილვა/დასაბუთება

EPA 5: პაციენტის დოკუმენტაციის შევსება

EPA 6: კლინიკური შემთხვევის ვერბალური პრეზენტაცია

EPA 7: კლინიკური კითხვების ფორმირება და მათი მტკიცებულების მოძიება

EPA 8: პაციენტის მიღება ან გადაცემა სხვა სპეციალისტისთვის

EPA 9: ინტერპროფესიულ გუნდში, როგორც წევრის, თანამშრომლობა

EPA 10: გადაუდებელი სამედიცინო დახმარების აღმოჩენა

EPA 11: გამოკვლევაზე და/ან პროცედურაზე ინფორმირებული თანხმობის მიღება

EPA 12: ექიმის აუცილებელი ძირითადი პროცედურების განხორციელება

EPA 13: საკუთარი ცოდნის/უნარების ხარვეზების იდენტიფიკაცია და აღმოფხვრა, უსაფრთხოების დაცვა.

თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტში 2022 წლიდან დაიწყო მინდობილი პროფესიული საქმიანობის პილოტირების პროცესი დიპლომამდელი განათლების ეტაპზე, თსსუ-ის ამერიკული პროგრამის X, XI, XII სასწავლო სემესტრების სტუდენტებთან, შინაგანი მედიცინის კლინიკური კურაციის, ე.წ. „სუბინტერნშიფის“ გავლის პერიოდში. შერჩეული და პილოტირებაში ჩართულ აკადემიურ პერსონალსა და სტუდენტებს შორის შეთანხმებული იქნა 13-დან 6 ძირითადი საექიმო საქმიანობა, რომელთა გარკვეულ დონეზე დაუფლება გათვალისწინებულია შინაგანი მედიცინის სილაბუსით და შეესაბამება საქართველოში მედიცინის უმაღლესი განათლების დარგობრივი მახასიათებლის მოთხოვნებს.

სანდო პროფესიული საქმიანობის განხორციელებისათვის განისაზღვრა შეფასების შესაბამისი მეთოდებიც: მიზანშეწონილად ჩაითვალა სამუშაო ადგილზე (კლინიკურ გარემოში) შეფასების მეთოდოლოგიის შემოღება. შეფასება სამუშაო ადგილზე (WPBA - Workplace based assessment), თავის მხრივ, მოიცავს რამდენიმე მეთოდს: პროცედურების შესრულების უნარებზე პირდაპირ დაკვირვებას (DOPS - Direct Observation of Procedural Skills), სტუდენტის/რეზიდენტის მიერ პაციენტის მინი-კლინიკური გამოკვლევის შეფასებას (Mini-CEX - Mini Clinical Evaluation Exercise), კლინიკურ შემთხვევაზე დაფუძნებულ დისკუსიას (CBD - Case Based Discussion) და 360º შეფასებას (MSF- Multisource Feedback). გამოყენებული იქნა, ასევე, პორტფოლიო.

მინდობილ საქმიანობათა ჩამონათვალი და შეფასების შესაბამისი მეთოდები მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში:

ცხრილი 1. ძირითადი მინდობილი საექიმო საქმიანობები შინაგან მედიცინაში „სუბინტერნშიფის“ გავლის პერიოდში

მინდობილი საექიმო საქმიანობა		ეფასების მეთოდები	შემფასებლები
1	პაციენტისთვის კონსულტაციის გაწევა	Mini-CEX, Portfolio, MSF	კლინიკური პროფესორი, პალატის ექიმი, ექთანი, რეზიდენტი, პაციენტი
2	პაციენტის ფიზიკური გამოკვლევა	DOPS, MSF, Mini-CEX	კლინიკური პროფესორი, პალატის ექიმი, რეზიდენტი, პაციენტი
3	პაციენტის გამოკვლევის გეგმის შემუშავება	CBD, Mini-CEX	კლინიკური პროფესორი, პალატის ექიმი
4	გადაუდებელი მდგომარეობის დროული დადგენა და დახმარების აღმოჩენა	DOPS, MSF, Mini-CEX, Portfolio	კლინიკური პროფესორი, პალატის ექიმი, რეზიდენტი
5	პაციენტის მკურნალობის სქემის შემუშავება და დანიშნულების მიცემა	CBD, Mini-CEX	კლინიკური პროფესორი, პალატის ექიმი, რეზიდენტი
6	პაციენტთან და გუნდის წევრებთან ურთიერთობა	Mini-CEX DOPS, Portfolio, MSF	კლინიკური პროფესორი, პალატის ექიმი, ექთანი, რეზიდენტი, პაციენტი

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მინდობილი პროფესიული საქმიანობის თითოეული ნაკრების შეფასება ხორციელდება კლინიკური კომპეტენციების შეფასების კომიტეტის მიერ,

რომელიც გადაწყვეტილებას იღებს ამ საქმიანობის მინდობის (სანდოობის) შესაფერისი დონის შესახებ. მინდობის ხარისხი მოიცავს ხუთ დონეს:

- 1-ელი დონე - სტუდენტი/რეზიდენტი მხოლოდ აკვირდება პროფესიონალის მიერ აქტივობის შესრულებას;
- მე-2 დონე - ასრულებს სანდო პროფესიულ აქტივობას ზედამხედველთან ერთად (ე.წ. პირდაპირი, პროაქტიური ზედამხედველობა);
- მე-3 დონე - ასრულებს აქტივობას არაპირდაპირი ზედამხედველობით (რე-აქტიური ზედამხედველობა);
- მე-4 დონე - ასრულებს დავალებას პირდაპირი ზედამხედველობის გარეშე - (დისტანციური ზედამხედველობა);
- მე-5 დონე - სტუდენტი/რეზიდენტი თვითონ, ზედამხედველობს უმცროსი სტუდენტების/რეზიდენტების მიერ აქტივობის შესრულებას - ამ შემთხვევაში მიიღწევა სრული სანდოობა კონკრეტული პროფესიული საქმიანობის შესასრულებლად.

ზემოაღნიშნულიდან ცხადად ჩანს, რომ მინდობის ხარისხი დიპლომამდელ და დიპლომისშემდგომი მზადების პროცესში განსხვავებულია, შესაბამისად, მეთოდურ რეკომენდაციებში სტუდენტის/რეზიდენტის ნდობის ზრდის ამსახველ, ზედამხედველობის ხუთ ეტაპს(milestones) გამოყოფენ, რომელთაგანაც **დიპლომამდელი განათლების** პროცესში მიზანშეწონილია განხორციელდეს შემდეგი (7,8,9):

1. სტუდენტი აკვირდება პროფესიულ აქტივობას
2. ასრულებს EPA-ს ზედამხედელთან ერთად (*პირდაპირი, პროაქტიური ზედამხედველობა*)
3. ასრულებს EPA-ს არაპირდაპირი ზედამხედველობით (*რე-აქტიური ზედამხედველობა*)

დიპლომისშემდგომი განათლების ეტაპზე დასაშვებია EPA-ს შესრულება ზედამხედველობის გარეშე (*დისტანციური ზედამხედველობა*); და რაც განსაკუთრებით საყურადღებოა, რეზიდენტი თვითონვე ზედამხედველობს სტუდენტებს EPA-ს შესრულებაში.

მინდობილი პროფესიული აქტივობის შესაფასებლად განსაკუთრებით პროდუქტიულია **მცირე კლინიკური შეფასების სავარჯიშო (mini - CEX),** რომელიც აფასებს სტუდენტებს რეალურ გარემოში და განიხილავს მათ კლინიკურ აქტივობას მონაცემთა შეგროვების, პაციენტის ფიზიკური გამოკვლევის დროს, ასევე აფასებს პროფესიონალიზმის ხარისხს, პაციენტთან ურთიერთობის უნარ-ჩვევებს, ორგანიზებულობას და ეფექტურობას. კურსის განმავლობაში სტუდენტები ფასდებიან 2-ჯერ.

EPA1 შეფასება დაფუძნებულია Mini-CEX-ის შედეგებზე. Mini- CEX -ის შედეგებზე დაყრდნობით EPA -ს დონეების განსაზღვრა განხორციელდა შემდეგნაირად:

0-27 ქულა - EPA 1 - 1
28 – 34 ქულა - EPA 1-2a
35 - 45 ქულა – EPA 1 -2b
46 - 55 ქულა – EPA 1 -3a
56 - 63 ქულა - EPA 1-3b

EPA2 შეფასება ხდება **კლინიკური შემთხვევის განხილვის (CBD-Case Based Discussions)** მეთოდზე დაყრდნობით. ეს მეთოდი გამოიყენება სტუდენტის კლინიკური მსჯელობის, გადაწყვეტილების მიღების, სამედიცინო ცოდნის პაციენტის მართვაში ჩართულობის უნარის შეფასებისათვის. ის ასევე წარმოაჩენს სტუდენტის დისკუსიისა და პრეზენტაციის უნარ-ჩვევებს. CBD უნდა ფოკუსირდეს წერილობით დოკუმენტებზე. ტიპური ნიმუში იქნება ახალი პაციენტის წარდგენა. სტუდენტები ფასდებიან კურსის განმავლობაში 2-ჯერ.

CBD-ის შედეგებზე დაყრდნობით EPA-ს დონეების განსაზღვრა განხორციელდა შემდეგნაირად:

0-23 EPA 2 ქულა - 1

24 – 32 ქულა - EPA 2-2a

33 - 41 ქულა - EPA 2 -2b

42 - 48 ქულა - EPA 2 -3a

49 - 54 ქულა - EPA 2-3b

აქედან, სტუნდენტმა უნდა შეძლოს მინიმუმ 2a- შეფასების მიღება.

პირდაპირი დაკვირვება და პროცედურული უნარ-ჩვევები - Direct Observation of Procedural Skills (DOPS) - ეს მეთოდი გამოიყენება სტუდენტების პრაქტიკული უნარ-ჩვევების შეფასებისათვის. სტუდენტებს ეძლევათ შესასრულებელი პროცედურების ჩამონათვალი და მათი შესრულების შემდეგ დაუყოვნებელი უკუკავშირი დგინდება ძლიერი და სუსტი ასპექტების მითითებით.

გარდა ზემოაღნიშნულისა, კლერკშიფში ჩართული პერსონალისგან თითოეულ სტუდენტზე ხდება ინფორმაციის მოგროვება (ე.წ. კლერკშიფის შუა შეფასება), რაც კლერკშიფის ხელმძღვანელის მიერ ინდივუალურად განიხილება სტუდენტთან. კლერკშიფის შუა შეფასება ორი ნაწილისგან შედგება: კლინიკურ ცოდნასა და უნარ-ჩვევებში სტუდენტის პროგრესის შეფასება და, ასევე, შეფასება პროფესიონალიზმში, პროფესიული ქცევის შეფასების შედეგებზე დაყრდნობით. კლერკშიფის ხელმძღვანელი აფასებს სტუდენტს და განსაზღვრავს მომავალი სასწავლო პროცესის მიმართულებებს. კლერკშიფის დასასრულს კი ხდება წერილობითი შეფასება, რაც საბოლოოდ, უნივერსიტეტის დასრულებისას, სტუდენტის საქმიანობის სრული შეფასების (Medical Student Performance Evaluation - MSPE) ნაწილი ხდება.

დასკვნები

შინაგანი მედიცინის დიპლომამდელი სწავლების პროგრამაში მინდობილი პროფესიული საქმიანობის (EPA) მეთოდოლოგიის გამოყენება პრაქტიკულ ღირებულებას მატებს კომპეტენციაზე დაფუძნებულ სამედიცინო განათლებას, რადგან ხელს უწყობს შინაგანი მედიცინოს ცალკეული თემატიკისათვის საჭირო ცოდნის, უნარებისა და დამოკიდებულებების ინტეგრაციას, სამუშაო ადგილზე სამედიცინო საქმიანობაზე დაკვირვებისა და პრაქტიკული უნარების განვითარების პროცესს, რითაც მყარი საფუძველი ეყრება კომპეტენტური სპეციალისტის მომზადების პროცესს. შინაგანი მედიცინის სწავლების ეს ინოვაციური მეთოდი შემფასებელს პრაქტიკული და სწრაფი გზით უქმნის ნათელ

წარმოდგენას, თუ რა უნდა შესრულდეს და შეფასდეს. გარდა ამისა, მინდობილი პროფესიული აქტივობების და მათი შესაბამისი საკონტროლო სიები, რომლებიც სტუდენტისთვის ყოველთვის ხელმისაწვდომია, თვითშეფასების საშუალებასაც წარმოადგენს და შესაძლებლობას იძლევა, რომ აქტივობა განმეორდეს იმდენჯერ, რამდენჯერაც საჭიროა სანდო და მყარი კომპეტენციების ჩამოსაყალიბებლად, ნაკლისა და ხარვეზების გამოსასწორებლად. EPA-ს დანერგვა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს სწავლის შემდგომი საჭიროების საიდენტიფიკაციოდ, რაც დასახელებული მეთოდის დიპლომამდელ პროგრამებში გამოყენების ერთ-ერთი უდიდესი უპირატესობაა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Ten Cate O. 2005. Entrustability of professional activities and competency- based training. Med Educ 39:1176–1177.
2. Ten Cate O. Entrustment as Assessment: Recognizing the Ability, the Right, and the Duty to Act. J Grad Med Educ. 2016;8(2):261-262. doi:10.4300/jgme-d-16-00097.
3. Core Entrustable Professional Activities for Entering Residency: Toolkits for the 13 Core EPAs. 2017 Association of American Medical Colleges Guideline
4. AMEE Guide No. 99. O. Ten Cate, H.C.Chen, R.G.Hoff, H.Peters, H.Bok, M.vander Schaaf. Medical Teacher. 2015, pp.1-20.
5. Basic Medical Education. WFME global standards for quality improvement. 2015.
6. Landeta J. Current validity of the Delphi method in social sciences. Technol Forecast Soc Change. 2006; 73:467–482.
7. Gummesson et al. Entrustable professional activities (EPAs) for undergraduate medical education – development and exploration of social validity. BMC Medical Education. 2023. 23:635
8. Olle ten Cate. An updated primer on entrustable professional activities (EPAs). Revista Brasileira de educacao medica. 43. (Suppl 1), 2019, pp.712-720.
9. Olle ten Cate, Lysanne Graafmans, Indra Posthumus, Lisanne Welink & Marijke van Dijk. The EPA-based Utrecht undergraduate clinical curriculum: Development and implementation, Journal of Medical Teacher , Vol. 40, 2018, Issue 5: 40 th anniversary special issue – curriculum development)

Stages of implementing entrustable professional activities in the process of clinical training in internal medicine

Salome Voronovi, Nino Kantaria, Rima Beriashvili

Tbilisi State Medical University

Summary

For a medical education to be comprehensive and integrative, it is necessary to define the expected competences of the professional one wants to train and to verify whether these competences have been achieved at the end of medical graduation. But how do you know whether the student has really developed them at graduation? In this context, we present the Entrustable Professional Activities (EPAs) in Internal Medicine with their respective checklists to assist the teaching -learning process and the assessment of the competences acquired during clerkship. EPAs are defined as units of a professional activity requiring adequate knowledge, skills, and attitudes, with a recognized output of professional activity, independently executable within a time frame, observable and measurable in its process and outcome, and reflecting one or more competencies. The performance of the EPA by the student during undergraduate study process under supervision allows observing the weak points during medical training, correcting these points before entering the medical residency or the job market, and providing the student with a view of what needs to be improved in their learning.

Keywords: Entrustable Professional Activities; Medical Education; Clinical Competence.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.27



High Response of Human Muscles to Soundwaves in Electromyography and Artificial Intelligence Based Studies Supports the Effectiveness of Sound Therapy and Confirms the Existence of Sound-Induced Diseases

Uzoma Divinelove Moses Ozuomba

MD, MSc, and PhD Georgian Technical University, Georgia. Email: muozin3@gmail.com

ABSTRACT

Human Muscle, by virtue of its nature is a good medium of sound propagation into the body where the propagated soundwaves can positively or negatively influence biological homeostasis from atomic, molecular and cellular levels to systemic level. A sound is a vibration moving through a medium as a mechanical wave composed of mountain and valley shaped compressions and rarefactions called soundwaves. Soundwaves can be of natural origin and can equally be generated or created. Music is sound and sound can be music but not always except when noise is perceived as music. Both music and noise are sound, but while music has a discrete structure with a pleasing nature, noise has a continuous structure with unpleasing nature. Sound heals and music heals but any of them with abnormal entropy can kill. Sound therapy and music therapy are cost effective none-invasive medical remedies that involves no surgeries or medications. Everything vibrates and anything that vibrates vibes with vibrating sound, music, noise or other matter, and the effects can be healthful or unhealthful. Many cultures in antiquity indulged in several sound healing practices. For instance, the ancient Igbos understood the adsorptive, absorptive, adaptive or responsive nature of humans or human muscle to sound energy, and to sun energy, water energy, earth energy and air energy that they summed up and called Ahịa-Anọ, so they meditatively listened to natural sounds or sounds made from their native instruments while undergoing sun baths, water cleansing, earthing and air baths for all-encompassing healing. The sounds that those ancient Igbos listened to while undergoing these frequency energy therapies included sounds from animals, vegetation, wind, rainfall, waterfalls, flowing waters such as stream, river, ocean, and sounds of mbem or elele chants, and sounds from their native instruments such as ụbọ, ọja, ogele, ịgba, udu, aro, ọyọ, ịchaka, ekwe, and ataṅịrị. To amplify and venerate sound effects, the ancient Igbos built gigantic sound instruments called Oke Ikoro just as they built step pyramids that by age and cultural relevance and essence rival or precede those of ancient Egypt and Nubia in veneration of Earth Energy called Mmụọala and other Ahịa-Anọ Energies by association, and during their celebrations, several melodious elele chants and music sounds were played for several purposes including healing. Soundwaves, whether by generation or of natural origin are a product of

vibration that its transmissions is through air, solid or water medium. Human body is predominantly water, so it is a good medium of sound propagation. Any soundwave that influences this human-water medium during propagation can influence the human health. Calm soundwave calms biological homeostasis resulting in health while chaotic soundwaves causes chaos in biological homeostasis resulting in inflammations and finally in ill-health. What we call ill-health or disease is actually an inflammation in cells' mitochondria of affected organ(s) or system(s). This project work used values of average muscle response and average accuracy of AI models that I built to delve into a comprehensive review of research studies on both therapeutic and harmful effects of soundwaves on human-beings.

KEYWORDS: Electromyography, EMG Signals, SoundWaves, Sound Therapy, Sound Healing, Frequency Hz, Amplitude dB, CleveLab Kit, Artificial Intelligence, Machine Learning, MATLAB, Microsoft Excel.

AIM: My objective is to review research works on both therapeutic and harmful effects of soundwaves on humans using value of average muscle response and accuracy value of the AI models that I built with numerical data gotten from the electromyography studies.

ABBREVIATIONS: AI = Artificial Intelligence, EMG = Electromyography, Hz =Hertz, dB = Decibel, EMF = Electromagnetic Field, AAAM =Average Accuracy of AI Models, ARMS = Average Response of Muscles to Soundwaves, HPA-Axis =Hypothalamic pituitary adrenal Axis.

INTRODUCTION

According to the first scientific studies on the effects of soundwaves on EMG signals using artificial intelligence, muscle tissue, apart from reacting and responding differently to different sound signals, it is also found in virtually all body organs and systems where they champion or augment and enhance cardiovascular, gastrointestinal, respiratory, reproductive, endocrine, immune, vision, functional, structural, postural, protective and metabolic activities as well as body temperature regulation and maintenance of general body homeostasis, so any soundwaves that affect any of these activities that muscle tissue takes part in can end up making a therapeutic or harmful impacts on the humans' health (Ozuomba & Z, 2025). Soundwaves are energies produced by vibrations, and they are propagated longitudinally in the sense that they moves in the same direction as the vibration through gas/air medium, liquid/water medium or solid medium such as membrane, metal as well as wood (Raghu, 2018; Radi & Rasmussen, 2013; Peterson, 2012). While sound therapy utilizes specific healing frequencies and harmonics to achieve its therapeutic goals on the body, music therapy utilizes frequencies and harmonies that instigate immune response on the body; moreover, music therapy has been incorporated into major university curriculum for more researches that will facilitate its full incorporation and recognition as an alternative therapy to conventional therapies (ENTClinicSydney, 2014), and among the universities and institutions of higher learning that now offer music courses are many United States of America's institutions (Masters In Special Education Program Guide, 2025). Music therapy is not only a clinically based therapy but also an evidence based therapy designed to achieve individualized goals that fall within the confines of working alliance by a qualified music therapist dully trained and certified (American Music Therapy Association, 2005) Consonantly, a

medically certified music therapist must apply music therapy with total adherence to ethical and safety principles with prime objective of addressing the patients' medical needs within the bounds of not only communicative, musical, physical and spiritual settings but also within the ambit of emotional, cognitive and social settings. In the same vein, people of diverse social-economic status and ages, people of different abilities and musical backgrounds in hospital settings as well as in private and community settings can also use and benefit from therapeutic values of music sounds. Additionally, music sound therapy are found very useful in the following living and medical conditions; in palliative care units, in cases of brain injury, in obstetrical and oncological situations, in emotional or psychological problems and mental health difficulties, in neonatal and geriatric care units, in critical cares, in cases of hearing and visual impairments as well as speech and language impairments, in cases of substance abuse or in cases of victims of abuse, in developmental and physical disabilities, in autism cases, in cases of AIDS, in cases of pain management and personal growth (Canadian Association of Music Therapists, 2020). A British body is not left out in acknowledgement of effectiveness of music sound therapy (British Association For Music Therapy, 2020).

Sound therapy is a frequency medicine (AMs Project Consultants, 2020) that Albert Einstein had predicted to be the future of medicine (Loh, 2017). Nikola Tesla through his experimentations with electromagnetic field EMF in late nineteenth and twentieth century brought frequency medicine into scientific consideration in the West proclaiming that anyone who wants to know the secrete of the universe should think of it in the dimension of energy, frequency and vibration (Hunt & Schooler, 2019). However, millennia before the ancient Igbos built step pyramids that by age and cultural or spiritual significance rival or precede those of ancient Egypt that were built way before the Greeks, Nikola Tesla's and Albert Einstein's births, experiments, proclamations and prediction, several frequency energy medicines including sound therapy had been extensively practiced by the ancient Igbos during meditative sun baths, water cleansing, grounding and air baths listening to calming melodious sounds from nature or sound beats from their native sound instruments for a prime purpose of all-inclusive healing. Till date, sound energy or music sound energy is extensively used by the Igbos in Afa diagnostic procedures and during meditative healing practices and festivals in acknowledgment and veneration of Mmụọkụ, Mmụọmiri, Mmụọala and Mmụọikuku which are the four cardinal entities represented as the four cardinal points of East, West, North and South just as they are represented also as plasm, liquid, solid and gas the four most basic states of matter, and through their representations in all spheres of existence, these four cardinal entities stand out as the foundational basis of reality, spirituality, quantum knowledge, science and its branches as well as other forms of knowledge. The four cardinal entities called Mmụọkụ, Mmụọmiri, Mmụọala and Mmụọikuku are also represented as a four-market-day system singly called Eke, Orie, Afọ, Nkwọ and collectively called Ahịa-Anọ with which the ancient Igbos used to study and classify the essence of everything including humans, delving deeply into mastering the celestial bodies, the space, the aquatic bodies, the terrestrial bodies and the physical universe in general thereby forming a 13 zodiac sign system and inventing a 13 month calendar system that became the pioneer basis of astrology and every other calendar month systems in existence, and during their commemorations, a lot of music sound melodies were played for many purposes including healing objectives. The ancient Igbos understood science and astronomy reasonably well that

they founded a 13 months calendar year in which 4 market days make up one week, 7 weeks make up one month and 13 months make up one year giving a total of 364 days per year which includes September and March equinox called Ọdaọmụmụ; and most days are shorter or longer and not really 24 hours but approximately 24 hours, so the remainders collectively make up this 364 giving a total of 365 days per year, and the same applies to leap years. Several sound healing practices for physical and mental healings are conducted on people during equinoxes and new moons the actual new months starting from the first month to the 13th month and names of the Igbo months include Ọnwambụ, Ọnwabụọ, Ọnwaifeke, Ọnwanọ, Ọnwagwụ, Ọnwaihejioḳụ, Ọnwalọmchị, Ọnwailommụọ, Ọnwala, Ọnwaokike, Ọnwajala, Ọnwaedeajala, Ọnwaụzọarụshi. The Igbos especially the children and teenagers usually welcome new moons with joyful songs and shouts of ya ya ya wo wo wo or we we we in admiration, honor and praise of the emerging new moon during which physical and mental healings occur. Many great Igbo Dibia avail themselves the natural essence of June and December solstices called Ọsaa/Ọsaraa/Ọraa/Ọharaa or Sugoo/Sunie or Ọmụmụ which are divided into rainy season solstice called summer solstice and dry season solstice called winter solstice to carry out several healing practices including sound healing practices. The four cardinal entities called Mmụọkụ, Mmụọmiri, Mmụọala and Mmụọikuku are the natural energies behind the frequency energy medicines of sun baths, water cleansing, grounding and air baths that the ancient Igbos practiced extensively during which they meditatively listened to healing sounds for their general well-being. In ancient time and till recently, Eke, Orie, Afọ and Nkwọ represented a four partitioned cross road called Mgbakinọ or Kirisitiri or karaishitiri where Iyiụwa healing practice and other natural healing practices that involve sound energy took place, and it is this cross road that later became worship or major symbols of many ancient and modern religions. Sound energy is also used during celebration of one's infinite creative powers called Agwụ and during celebration of one's Chi which is actually the person's maternal and paternal genetic energy compositions called Mmụọikwunne and Mmụọikwunna and this Chi is superior but related to sub-concepts termed Onyeụwa and Agụ in both Igbo traditional norms and natural realities called Omenala and Ọdinala. As far back as over 3000 BC when Igbos smelted iron in Lejja area of Igbo land, sound energy was used as energizing or a motivating incentive to the workers in the site for enhancement of production. Among well cultured people of Igbos extraction, you cannot talk about ancient sound therapy without relating it with protective healing super energies such as Ala, Elu or Enu or Anu, Ekwensu, Yawe, Ụrashi, Agwụra, Ọmọnwa, Odere, Ngele, Ethiope, Anụnụebe, Ngwu, Inyiagbaọkụ, Ọfọ,, Ebelebe, Abọshi, Ọji, Oseọji, Ebubeagu, Ụdara, Ojukwu, Umune, Ọgbụnechendụ, Ọrji, Ụlụ, Njụ, Apimmụọ, Akwụ, AkpụIjitete, Akpụọkaletete, Iruọpa, Ọgba, Eshi, Umendnluisi, Akwarioḿụmụ or Ọdaọmụmụ, Arobinagu, Ogwugwu, Udo, Amadioha, Nnamueke, Mmụọoti or Mut, Enem, Nneoti or Nut, Ejeala Ụnammiri and ultimately Nneagwụ that one of its major celebration centers is still know and it is at Uhu- Nneagwụ in Ụmueshiahụrụike Amọkwụ Ezemeazụ Urualla. The name Igbo means infinitely ancient, and fortunately, most frequency and energy medicines including sound therapy practiced by the Igbos started in the ancient time.

Indeed, sound therapy is an ancient medical therapy (Goldsby & Goldsby, 2020) that heals (Habibi & Damasio, 2014) and it is equally called sound bath, sound meditation or a holistic sound healing approach that utilizes vibration as a healing ingredient for enhancement of physical, emotional and

mental states (Goldsby, Goldsby, McWalters, & Mills, 2016; EliteCare Health Centers, 2023). With special reference to the use of music sound therapy by Igbo people, music sound is acknowledged for possessing the natural capability to enhance not just spiritual, physical and mental states of patients, it also has the natural potency to improve aesthetic, emotional and social wellbeing of the patients; and can equally repair brain damage enhancing its functions, boosting immunity, helping in stress reduction and helping people suffering from stroke to recover faster (Nwobu, 2018). Other people that utilized music sounds in religious activities to get rid of evil energies in the olden days include the ancient Egyptians, Indians, Middle Easterners and the Chinese (McCaffrey, 2015). Sound therapy has not only been described as a revolutionary medical technique for prevention and treatment of diseases (Oghenetega , et al., 2022), it is also a healthy product of sound which is a form of energy (Raghu 2018, Choi, Jung and Kang 2019) that when propagated into human bodies has either healthy or unhealthy effects on both physical and mental well-being of the people (Bass and Clark, The Physical Accoustic of Underwater Sound Communication 2003, World Health Organization 2018, Reybrouck , Podlipniak and Welch, Music and Noise: Same or Different? What Our Body Tells Us 2019). For instance, University of Michigan developed a non-invasive soundwaves treatment called HistoSonic that physically breaks down tumors in a medical sound healing technique called histotripsy during which it activates immune system, causes apoptosis of the cancer cells releasing the antigen unlike in radiation or chemotherapy treatments where the cancer cells die alongside the antigens; and America's Food and Drugs Administration (FDA) has approved the use of this soundwaves-powered histotripsy in the USA (Santillan & LYNCH, 2023; Lynch, 2023; Neuroendocrine Tumor Research Foundation (NETRF, 2024). As a non-invasive medical treatment, intervention or remedy involving no surgical operations or medications (The University of Utah, 2020; Huang & Huang, 2023), music sound therapy has been chosen as a therapeutic option in integrative treatment for people suffering from cancer (Boyde, Linden, Boehm, & Ostermann, 2012). Another sound influenced and non-invasive healing remedy is vibroacoustic therapy which involves passing of low frequency sine wave vibrations into one's body via a specially constructed chair, bed or device with amplifying speakers for a prime purposes of healing, relieving of pain. stress reduction, enhancement of circulation, enhancement of relaxation, assessment of progress of labor and the baby's position as well as general wellbeing of the baby (Punkanen & Ala-Ruona, 2012; Birth For Men, 2022). This non-invasive vibroacoustic therapy has also been described as new sound technology that utilizes soundwaves from vibrations to ameliorate disease symptoms in cancer patients undergoing chemotherapy, induce relaxation, manage pain and also mitigate stress suffered by these patients. (Boyd-Brewer & McCaffrey, 2004). During SAR-Co-2 pandemic, biofield-based sound therapy was through zoom applied on some volunteers who had moderate to high degree anxiety and the results showed a significant reduction of anxiety and enhancement of mental health in the volunteers (Jain, McKusick, Ciccone, Sprengel, & Ritenbaugh, 2023). A research has shown that sonic vibration at frequency 90 Hz greatly increased secretion of a potent anti-inflammatory cytokine in a mice specimen and this same sonic vibration (SV) at 90 Hz of frequency did not only improve lipopolysaccharide (LPS)- induced lethality, it also mitigated symptoms of colitis in colitis affected model hence the scientific proof that vibrations are therapeutic by virtue of their natural capabilities to increase expression of an anti-inflammatory protein (Ahn, et al., 2024). Sound frequency vibration-induced cell differentiation and elongation of Alzheimer and

Parkinson models' neuritis has proven to be medically useful in both cell engineering and regenerative medicine (Grosman-Dziewiszek, et al., 2022). Tibetan singing bowl meditation has shown to be helpful in enhancement of relaxation and stress reduction (Goldsby, Goldsby, McWalters, & Mills, 2016). Soundwaves from music triggers release of major regulator of vascular tone called nitric oxide which actually enhances the endothelium dependent vasodilation functions thereby improving cardiovascular health (Ilic, Pavlovic, Kocic, Simonovic, & Lazarevic, 2017). In post cardiac surgery, music sound therapy is used to reduce both anxiety and pain (Kakar, et al., 2021) and this has been very beneficial in terms of reducing dependence on analgesia. Music sound has also been shown as cardiac rehabilitation therapy (Mandel, et al. 2007). Noisy and loud sounds can instigate stress chain reactions in people's brain resulting in secretion of stress hormone such as cortisol which can in turn negatively influence the people's general wellbeing thereby increasing their chances of developing long-term health problems and complications, but if these affected people are exposed to a well-balanced sound environment with cool and relaxing soundwave energies, they get well and reinvigorated (Lim , et al., 2018). Additionally, while noisy sound disrupts concentration, causes sleep disturbance and attendant cardiovascular diseases, a well-balanced sound environment promotes general well-being and quality of life of the people (arturel, 2024). Soundwaves from road traffic noise or aircraft noise constitutes stress and this noise-induced stress has been shown to increase cortisol concentration in sleeping persons, and chronic activation of hypothalamic-pituitary-adrenal axis (HPA –axis) due to increased cortisol concentration resulting from noise-induced stress can cause insulin resistance problem such as diabetes, immunity problem such as eosinophilia, cardiovascular diseases such as hypertension and arteriosclerosis, intestinal issue such as stress ulcer, problem of catabolism such as osteoporosis (Spreng, 2000). Consonantly, stress has been linked to metabolic diseases which include insulin resistance, cardiovascular diseases, obesity, type 2 diabetes, fatty liver disease, immune dysfunction and inflammation, non-communicable diseases and infections, biological aging and senescence, addiction, dysfunctional metabolism, worsening of genetic diseases, tension, behavioral and mental health problems (Kivimäki, Bartolomucci, & Kawachi, 2022; Backé, Seidler, Latza, Rossnagel, & Schumann, 2011; Vitaliano, et al., 2002). Excess stimulation of nervous system during stress produces excess concentrations of vasoconstrictor a hormone capable of causing increased blood pressure (Kulkarni, O'Farrell, Erasi, & Kochar, 1998). Systemic chronic stress can cause systemic chronic inflammation which have been linked to many chronic diseases such as chronic kidney diseases, cardiovascular diseases, cancer, diabetes, autoimmune diseases, arthritis, non-alcoholic fatty liver disease, neurodegenerative diseases and other chronic diseases (Libby, 2007; Medzhitov, 2010). Excess stress is capable of causing anxiety and depression which can in turn lead to increased inflammation (Vogelzangs, Beekman, P de Jonge, & Penninx, 2013). Inflammation is a defense mechanism of the body against infections, physical injury, toxic substances, damaged or dead cells, pathogens and other harmful stimuli especially in acute cases (Medzhitov, 2010; Nathan & Ding, 2010; Ferrero-Miliani, Nielsen, Andersen, & Girardin, 2007), and this acute cases if unchecked escalate into chronic cases altering body physiology thereby leading to many chronic inflammatory diseases (Zhou, Hong, & Huang, 2016). According to (McDade, Adair, Feranil, & Kuzawa, 2010) systemic chronic inflammation is also linked to impaired response to vaccines. All these stress and stress induced inflammation and diseases can be managed or cured using a meditative music sound therapy, and in other words, music

sound therapy is used to trigger emotional healings for positive mood, good affect, calmness, relaxation enhancement, anxiety reduction and physical pain management (Kulkarni, O'Farrell, Erasi, & Kochar, 1998). Sound therapy has been applied to lower stress, glucose levels, heart rate and blood pressure in diabetic patients (Eseadi & Amedu, 2023). Music sound has also been shown to trigger cells to release insulin within minutes and this is healthily helpful to diabetic patients (Department of Biosystems Science and Engineering, 2023). Sound therapy and music sound therapy utilize specific tones, frequencies, rhythms of nature particularly, activate alpha or theta waves and instigate endorphin secretions to instigate and improve sleep and relaxation, heart rate and blood pressure as well as anxiety and stress reductions (Ratliff, n.d.; Fatehimoghadam, Molavynejad, Rokhafroz, & Seyedian, 2023; Lorber & Divjak, 2022; Mir, et al., 2020).

MATERIALS AND METHODS

A. Average Accuracy of the AI Models (AAAM)
B. Average Response of Muscles to Soundwaves

For this study and review work, I used average accuracy of best accuracy results of several artificial intelligence (AI) models that I built with numerical data results of healthy volunteers who participated in the studies. The electromyography numerical data that I used to build the (AI).Models in MARLAB were recorded with CleveLab system and analyzed in Microsoft Excel. I also used average response value of the human muscles to different soundwaves that the volunteers were exposed to.

RESULTS

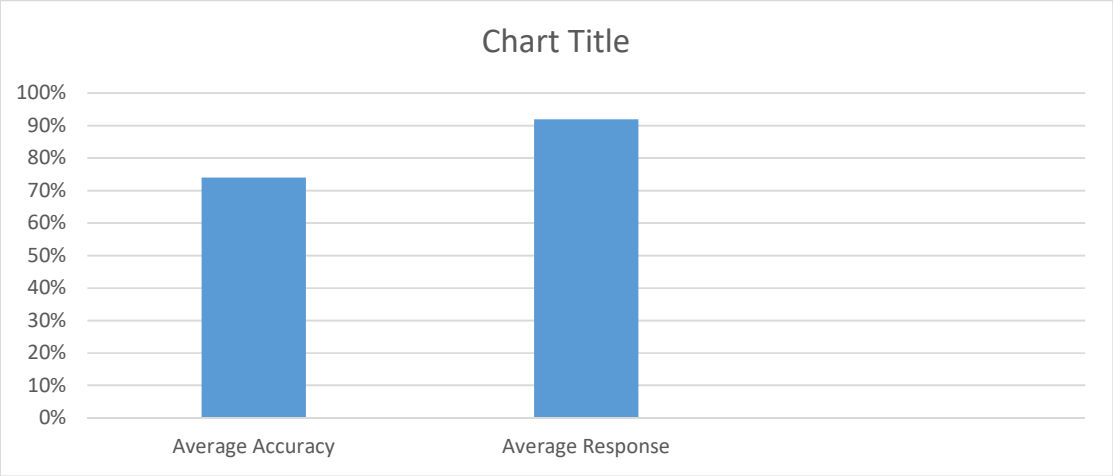
1. Average Accuracy of the AI Models (AAAM) = 74%.
2. Average Response of Muscles to Soundwaves (ARMS) = 92%.

Table 1

Average Accuracy	Average Response
74%	92%.

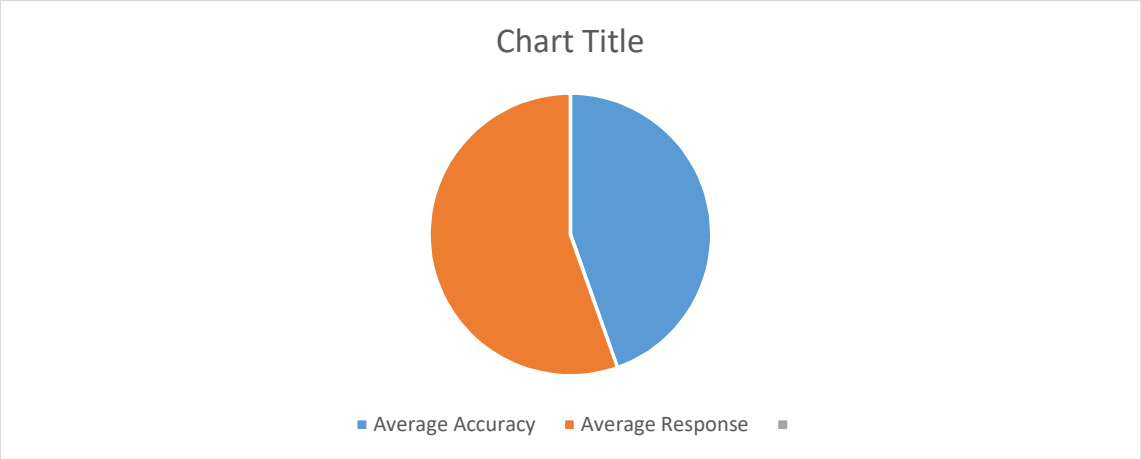
AAAM and ARMS in Percentage

Figure 1



Average Accuracy and Muscle Response Strength

Figure 2



Average Accuracy and Muscle Response Strength

DISCUSSION

As represented in **table 1**, **figures 1 and 2**; while artificial intelligence (AI) model that I built showed 74% accuracy on the average, the muscles' response to soundwaves showed 92% on the average which is comparable to the 92.5% effectiveness of a sound therapy model called Homeseek app which proved to be healthily helpful to many Chinese suffering from homesickness (Zhou, Nah, & Tan, 2024).

The 74% average accuracy and the 92% response value of human muscle tissue to soundwaves in this study signify the high effects of sound energy on humans and interactions between human muscle and soundwaves are comparable to the 72% accuracy and 100% response values gotten in AI model of another scientific study (Ozuomba & Z, 2025).

CONCLUSION

The average accuracy of the artificial intelligence (AI) models that I built showed a high value of 74% and average response value of the volunteers' muscles showed 92%. It is important to note that the values of AI model accuracy and muscle response to different soundwaves are high both on the average and on individual basis. In fact, some of the muscles' response values on individual basis showed 100%, indicating a very high effects of soundwaves on humans. The fact of these high values with respect to accuracy of AI Models in terms of recognition, prediction, detection and divulgence of hidden information about muscle EMG signals when exposed to diverse sound signals, and how strongly and differently the volunteers' muscles reacted and responded to the different sound signals is a clarion call for more indulgences in evidence based research studies on the therapeutic and harmful effects of soundwaves on humans. These high effects of soundwaves on human-beings through their muscles do not only support the effectiveness of sound therapy, the effects also confirm the existence of sound-induced diseases. Nevertheless, I am still of the opinion that more research works be conducted on both therapeutic and harmful effects of soundwaves on humans and their environments by extension.

References

Ahn, H., Jung, E.-M., Cho, M.-W., Shin, M.-G., Choi, J.-Y., & Lee , G.-S. (2024). Sonic vibration ameliorates inflammatory diseases via the up-regulation of IL-10. PubMed PMID: 38686362 PMCID: PMC11057401 DOI: 10.1080/19768354.2024.2346598.

American Music Therapy Association. (2005). About Music Therapy. Retrieved from music therapy.org: https://www.musictherapy.org/about/musictherapy/

AMs Project Consultants. (2020). Sound frequency is the future of medicine. India: Medium. Retrieved from https://medium.com/@media.amsindia/sound-frequency-is-the-future-of-medicine-607e87fbafb5

arturel. (2024, January 25). The Scientific Side of Sound - How Acoustics Affect Our Brain. Retrieved from arturel: https://arturel.com/blogs/news/how-acoustics-affect-our-brain

Backé, E.-M., Seidler, A., Latza, U., Rossnagel, K., & Schumann, B. (2011). The role of psychosocial stress at work for the development of cardiovascular diseases: a systematic review.

Bass, A. H., & Clark, C. W. (2003). The Physical Accoustic of Underwater Sound Communication. Retrieved from Springer Handbook of Auditory Research 2003 Springer-Verlag New York, Inc. NY DOI https://doi.org/10.1007/0-387-22762-8_2

Birth For Men. (2022, May 23). Vibroacoustic Stimulation Definition Fetal Acccoustic Stimulation Fetal Heart Rate. Retrieved from Birth For Men: https://www.birthformen.com/blog/vibroacoustic-stimulation-definition/

Boyd-Brewer, C., & McCaffrey, R. (2004). Vibroacoustic sound therapy improves pain management and more. PubMed.

Boyde, C., Linden, U., Boehm, K., & Ostermann, T. (2012). The Use of Music Therapy During the Treatment of Cancer Patients: A Collection of Evidence.

British Association For Music Therapy. (2020). Promoting the Profession and practice of Music Therapy. Retrieved from bamt.org: https://www.bamt.org/

Canadian Association of Music Therapists. (2020, September). About Music Therapy. Retrieved from musictherapy.ca/: https://www.musictherapy.ca/about-camt-music-therapy/about-music-therapy/

Choi, J., Jung, I., & Kang, C.-Y. (2019). A brief review of sound energy harvesting. ScienceDirect https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.11.036.

Department of Biosystems Science and Engineering. (2023, August 08). Cells with an ear for music release insulin. Retrieved from ETH Zurich: https://bsse.ethz.ch/news-and-events/d-bsse-news/2023/08/cells-with-an-ear-for-music-release-insulin.html

EliteCare Health Centers. (2023, August 22). The Power of Sound Wave Therapy for Senior Wellness. Retrieved from elitecarehc.com: https://www.elitecarehc.com/blog/the-power-of-sound-wave-therapy-for-senior-wellness/

ENTClinicSydney. (2014, October 17). The Sound of Music: What Is Sound Healing and Music Therapy? Retrieved from ENTClinicSydney: https://ent-surgery.com.au/the-sound-of-music-what-is-sound-healing-and-music-therapy/

Eseadi, C., & Amedu, A. N. (2023). Potential impact of music interventions in managing diabetic conditions.

Fatehimoghadam, S., Molavynejad, S., Rokhafroz, D., & Seyedian, S. M. (2023). Effect of Nature-Based Sound Therapy on Stress and Physiological Parameters in Patients with Myocardial Infarction. DOI:10.4103/ijnmr.ijnmr_221_21.

Ferrero-Miliani, L., Nielsen, O. H., Andersen, P., & Girardin, S. E. (2007). Chronic inflammation: importance of NOD2 and NALP3 in interleukin-1β generation.

Goldsby, T.L. and Goldsby, M.E. (2020). Eastern Integrative Medicine and Ancient Sound Healing Treatments for Stress: Recent Research Advances. Integrative Medicine: A Clinician's Journal, [online] 19(6), p.24. Available at: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7819493 [Accessed 16 May 2025].

Goldsby, T. L., Goldsby, M. E., McWalters, M., & Mills, P. J. (2016). Effects of Singing Bowl Sound Meditation on Mood, Tension, and Well-being: An Observational Study.

Grosman-Dziewiszek, P., Wiatrak, B., Dziewiszek, W., Jawień, P., Mydlikowski, R., Bolejko, R., Szandruk-Bender, M., Karuga-Kuźniewska, E. and Szeląg, A. (2022). Influence of 40 Hz and 100 Hz

Vibration on SH-SY5Y Cells Growth and Differentiation—A Preliminary Study. Molecules, [online] 27(10), p.3337. doi:https://doi.org/10.3390/molecules27103337.

Habibi, A., & Damasio, A. (2014). Music, feelings, and the human brain. Psychomusicology: Music, Mind, and Brain, 24(1), 92–102. https://doi.org/10.1037/pmu0000033

Huang, E., & Huang, J. (2023). Music Therapy: A Noninvasive Treatment to Reduce Anxiety and Pain of Colorectal Cancer Patients—A Systemic Literature Review. Medicina 2023, 59(3), 482; https://doi.org/10.3390/medicina59030482.

Hunt, T., & Schooler, J. W. (2019). The Easy Part of the Hard Problem: A Resonance Theory of Consciousness. Frontiers in Human Neuroscience, 13, 378. https://doi.org/10.3389/FNHUM.2019.00378

Ilic, M. D., Pavlovic, R. F., Kocic, G., Simonovic, D., & Lazarevic, G. (2017). Effects of Music Therapy on Endothelial Function in Patients With Coronary Artery Disease Participating in Aerobic Exercise Therapy.

Jain, S., McKusick, E., Ciccone, L., Sprengel, M. and Ritenbaugh, C. (2023). Sound healing reduces generalized anxiety during the pandemic: A feasibility study. Complementary Therapies in Medicine, [online] 74, p.102947. doi:https://doi.org/10.1016/j.ctim.2023.102947.

Kakar, E., Billar, R. J., Rosmalen, J. v., Klimek, M., Takkenberg, J. J., & Jeekel1, J. (2021). Music intervention to relieve anxiety and pain in adults undergoing cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis.

Kivimäki, M., Bartolomucci, A., & Kawachi, I. (2022). The multiple roles of life stress in metabolic disorders.

Kulkarni, S., O'Farrell, I., Erasi, M., & Kochar, M. S. (1998). Stress and Hypertension.

Libby, P. (2007). Inflammatory mechanisms: the molecular basis of inflammation and disease.

Lim, J., Kweon, K., Kim, H.-W., Cho, S.W., Park, J. and Sim, C.S. (2018). Negative Impact of Noise and Noise Sensitivity on Mental Health in Childhood. Noise & Health, [online] 20(96), pp.199–211. doi:https://doi.org/10.4103/nah.NAH_9_18.

Loh, E. (2017). The future of medicine. The Quarterly, Journal of the Royal Australasian College of Medical Administrators.

Lorber, M., & Divjak, S. (2022). Music Therapy as an Intervention to Reduce Blood Pressure and Anxiety Levels in Older Adults With Hypertension: A Randomized Controlled Trial. DOI: 10.3928/19404921-20220218-03.

Lynch, J. (2023, October 9). University of Michigan. Retrieved from VICE PRESIDENT FOR COMMUNICATION, MICHIGAN NEWS, UNIVERSITY OF MICHIGAN.:

https://news.umich.edu/tumor-destroying-sound-waves-receive-fda-approval-for-liver-treatment-in-humans/

Mandel, S. E., Hanser, S. B., Secic, M., & Davis, B. A. (2007). Effects of music therapy on health-related outcomes in cardiac rehabilitation: a randomized controlled trial.

Masters In Special Education Program Guide. (2025, December). Top 25 Master's Degrees in Music Therapy 2025. Retrieved from Masters in Special Education Program Guid Updated December 2024: https://www.masters-in-special-education.com/best/masters-music-therapy-2016/

McCaffrey, T. (2015). Music therapy's development in mental healthcare: An historical consideration of early ideas and intersecting agents. Music and Medicine https://doi.org/10.47513/mmd.v7i2.158.

McDade, T. W., Adair, L., Feranil, A. B., & Kuzawa, C. (2010). Positive antibody response to vaccination in adolescence predicts lower C-reactive protein concentration in young adulthood in the Philippines.

Medzhitov, R. (2010). Inflammation 2010: new adventures of an old flame. .

Mir, I. A., Chowdhury, M., Islam, R. M., Ling, G. Y., M, A. A., Hasan, Z. M., & Higashi, Y. (2020). Relaxing music reduces blood pressure and heart rate among pre-hypertensive young adults: A randomized control trial. JCH The Journal of Clinical Hypertension https://doi.org/10.1111/jch.14126.

Nathan, C., & Ding, A. (2010). Nonresolving inflammation.

Neuroendocrine Tumor Research Foundation (NETRF. (2024, February 13). Neuroendocrine Tumor Research Foundation (NETRF. Retrieved from FDA Paves Way for New Liver Tumor Treatment with Histotripsy: https://netrf.org/2024/02/13/fda-paves-way-for-new-liver-tumor-treatment-with-histotripsy/

Nwobu, S. N. (2018). Possibilities of human healing through music: the Igbo experience. African Research Review, 12(3), 99. https://doi.org/10.4314/afrrev.v12i3.11

Oghenetega , E. A., Rashad , R., Kerna, N. A., Carsrud, V., Brown, S. M., Pruitt, K. D., . . . Nwokorie, U. (2022). Sound Therapy: Vibratory Frequencies of Cells in Healthy and Disease States. DOI:10.31080/eccmc.2022.05.00532

Ozuomba, U.D.M. and Gurtskaia, Z. (2025). LEARNING SOUND WAVES' EFFECTS ON EMG SIGNALS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE. GEORGIAN SCIENTISTS, 7(1), pp.579–585. doi:https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.01.53.

Peterson, H.A. (2011). Sound Waves. Springer eBooks, pp.329–330. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-642-22563-5_15.

Punkanen, M. and Ala-Ruona, E. (2012). Contemporary Vibroacoustic Therapy: Perspectives on Clinical Practice, Research, and Training. Music and Medicine, 4(3), pp.128–135. doi:https://doi.org/10.1177/1943862112445324.

Radi, H., & Rasmussen, J. O. (2013). Sound Waves. ResearchGate DOI:10.1007/978-3-642-23026-4_15. Retrieved from ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/278713766_Sound_Waves

Raghu, M. (2018). A Study to Explore the Effects of Sound Vibrations on Consciousness. International Journal of Social Work and Human Services Practice, [online] 6(3), pp.75–88. doi:https://doi.org/10.13189/ijrh.2018.060302.

Ratliff, R. (n.d.). 5 Ways Sound Therapy is Like ASMR. Retrieved from Ratliff, R. (2024). Ruth Ratliff, Vibrational Sound Therapy. [online] Ruth Ratliff, Vibrational Sound Therapy. Available at: https://www.ruthratliff.com/blog/5-ways-sound-therapy-is-like-asmr [Accessed 16 May 2025].

Reybrouck, M., Podlipniak, P. and Welch, D. (2019). Music and Noise: Same or Different? What Our Body Tells Us. Frontiers in Psychology, [online] 10(1153). doi:https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01153.

Santillan, M., & LYNCH, J. (2023, October 9). Biomedical Engineering. Retrieved from BIOMEDICAL ENGINEERING - Tumor-destroying soundwaves receive FDA approval for liver treatment in humans: https://bme.umich.edu/2023/10/09/tumor-destroying-soundwaves-receive-fda-approval-for-liver-treatment-in-humans/

Spreng M. (2000). Possible health effects of noise induced cortisol increase. Noise & health, 2(7), 59–64.

StackExchange. (2016, April 7). A (440 Hz) and A (880 Hz) are completely different sounds to me. Does this mean I'm tone deaf? Retrieved from Music Practice and Theory: https://music.stackexchange.com/questions/43335/a-440-hz-and-a-880-hz-are-completely-different-sounds-to-me-does-this-mean

The University of Utah. (2020, May 20). A sound treatment. Retrieved from attheu.utah.edu: https://attheu.utah.edu/facultystaff/a-sound-treatment/

Vitaliano, P. P., Scanlan, J. M., Zhang, J., Savage, M. V., Hirsch, I. B., & Siegler, I. C. (2002). A path model of chronic stress, the metabolic syndrome, and coronary heart disease.

Vogelzangs, N., Beekman, A. T., P de Jonge, P., & Penninx, B. W. (2013). Anxiety disorders and inflammation in a large adult cohort.

World Health Organization. (2018). Environmental Noise Guidelines for the European region - Executive Summary. WHO Regional Office for Europe UN City, Marmorvej 51 DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark: World Health Organization Document number: WHO/EURO:2018-3287-43046-60243 WHO-EURO-2018-3287-43046-60243-eng .

Zhou, Y., Hong, Y., & Huang, H. (2016). Triptolide Attenuates Inflammatory Response in Membranous Glomerulo-Nephritis Rat via Downregulation of NF-κB Signaling Pathway.

Zhou, Y., Nah, K., & Tan, S. (2024). A Study on the Sound Therapy Interaction Design to Alleviate Homesickness: The HomeSeek App among Chinese Users. DOI:10.3390/app14198940.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.28



Quantitative Determination Of Berberine In The Aboveground Organs Of Mahonia Aquifolium (Pursh) Nutt.

Nika Todua[a]*, Malkhaz Getia[b], Davit Chincharadze[a], Nina Vachnadze[b]

[a]Tbilisi State Medical University, Department of Pharmacognosy, Tbilisi, Georgia; [b]Tbilisi State Medical University, Iovel Kutateladze Institute of Pharmacochemistry, Tbilisi, Georgia

* Nika Todua, e-mail: nika.todua@yahoo.com

Abstract

Our study's objective was to use high-performance liquid chromatography (HPLC) to quantify the amount of berberine in the total amount of alkaloids extracted from *M. aquifolium.* Eclipse plus C-18 was used to separate the crude extract (250 x 4.6 x 5 µm). Methanol (0.1% formic acid): water (0.1 formic acid) 35:65 v v^{-1} made up the mobile phase. At 346 nm, ultraviolet detection was carried out. With a $r^2 > 0.9998$, a solid linear response was seen in the concentration range under study. The alkaloid extract from the aerial parts of *M. aquifolium* should contain at least 2% berberine, according to the results. With intra- and inter-day variances of less than 1.03%, the approach is accurate. Within the range under study, linearity, sensitivity, and precision are all adequate.

Keywords: alkaloids, berberine, bioactive compounds, quantitative analysis, HPLC.

1. Introduction

About two centuries ago, the discovery of alkaloids marked a new era in medicine and chemistry. In modern phytochemistry, the study of biologically active secondary metabolites encompasses several key areas: exploration of flora for alkaloid-containing plants, selection of optimal methods for extracting the total alkaloid content from plant materials, and isolation of individual compounds. Additionally, there is an emphasis on identifying the structure of previously unknown alkaloids and studying their pharmacological activity to develop effective medicinal drugs. This research also relies on the latest technological advancements and includes resource studies, as well as addressing any challenges related to the cultivation of medicinal plants [1-4].

Alkaloids are abundant in the kingdom of plants and have a high level of biological activity. It was previously believed that the alkaloid bases found in a plant's chemical composition were characteristic and specific to a particular family. However, studies on their distribution in plants have shown that the same base can be present in plants from entirely different families. For instance, berberine, one of the first alkaloids used in medicine, has attracted significant interest due to its low toxicity and broad biological activity. Berberine demonstrates antioxidant, anti-inflammatory, neuroprotective, antiviral, antibacterial, hypoglycemic, hypolipidemic, antidepressant, antidiarrheal, and anticancer properties, showing efficacy against liver tumors, stomach cancer, throat cancer, and more. It is also used to treat chronic hepatitis, hepatobiliary disease, cholecystitis, gallstone disease, and other conditions [5-26].

One of the rich sources of the biologically active alkaloid berberine is the genus *Mahonia* Nutt. (family *Berberidaceae*), which includes around 60 plant species native to Asia, North America, and Europe. In Georgia, *Mahonia* is represented at the Batumi Botanical Garden on the shore of the Black Sea (Adjara) by a collection of naturalized plants comprising six species, including *M. aquifolium* (Pursh) Nutt., which is well-known for its medicinal properties. This species is widely used in traditional and folk medicine (in Chinese and North American practices) as well as in modern practical medicine, especially for the treatment of skin diseases. *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt also known as *Berberis aquifolium* Pursh [27-30].

However, there is a lack of scientific research data on the chemical, and particularly the alkaloid, composition of this species introduced in Georgia, as it has primarily been used for ornamental purposes in gardens and parks. Based on the above, preliminary qualitative analysis confirmed the presence of alkaloids in the introduced *M. aquifolium*. Phytochemical analysis further indicated that all vegetative organs of the plant contain isoquinoline alkaloids to varying degrees, including the biologically active berberine base. The total alkaloid extract from the aerial parts of the plants, which contains biologically active compounds, including berberine, exhibited below mentioned activities: cytotoxicity was evaluated in vitro using the Hoechst (DNA quantification) and Resazurine spectrophotometric assays which demosntrated high activity against lung cancer carcinoma A-549, colon cancer DLD-1, and normal fibroblast WS-1 cell lines. Antibacterial activity was evaluated using the microdilution method exhibited moderate activity. Inflamatory asay showed us is low toxicict to RAW 264.7 cells. The antiproliferative and antipsoriatic activity was evaluated quantitatively against human keratinocytes of the HaCaT line, which showed that it exhibits a pronounced cytotoxic effect on cultured human HaCaT cells and a significant antiproliferative effect on cultured human HaCaT cells at concentrations lower than the cytotoxic ones. For determination of antioxidant activity was used the DCFH-DA, compared to quercetin both in the ORAC test and in the in vitro test IC_{50} using a cellular model.

The main constituent in the extracted sum of *M. aquifolium*, are quinolone alkaloids. The pharmacologically and biologically active berberine is dominant compound within sum of alkaloids. The berberine was selected as a marker (chemical and biological) of sum. Therefore, our study's objective was to use high-performance liquid chromatography (HPLC) to quantify the amount of berberine in the total amount of alkaloids extracted from *M. aquifolium*.



Figure 1. *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt.

2. Materials and methods

2.1. Plant Material: The study object was *M. aquifolium* Nutt., collected in the Kartli floristic region: N41.757750 E044.762710, H-485m, in 2021. The experimental specimen is stored in the herbarium of TSMU's I. Kutateladze Institute of Pharmacochemistry (TBPH - No. 21343**)** Identification of study object was performed with comparison to mentioned sample of herbarium, which was performed by Direction of Pharmacobotany of Tbilisi state Medical Universitiy Iovel Kutateladze Institue of Pharmacochemistry. The newly collected partsof the plant were held up with air-dried at room temperature and protected from light and humidity until chemical analysis. Before analysis, the row materials were powdered.

***2.2. Sample Preparation*:** The extraction of total alkaloids from the aerial part of *M. aquifolium* followed a previously established classical method. Finely ground, air-dried plant material (50 g, above mentioned vegetative parts were selected 10 g each) was pre-alkalized with 12% NH_4OH, then extracted with $CHCl_3$ by maceration at room temperature, treated with 10% H_2SO_4, and re-alkalized with 25% NH_4OH (while cooling) to a pH of 9–10. The alkaloids were then transferred to $CHCl_3$ in their base form. The yield of total alkaloids from the aerial parts of *M. aquifolium*, obtained as an amorphous brown powder, was 0.51 g.

***2.4. Chemicals and reagents*:** HPLC grade methanol of analytical grade was purchased from Merck & Co. Ultrapure water for HPLC analysis was obtained from a Millipore Classic purification system. Berberine (HPLC 99.0%.) has been purchased from Sigma LTD.

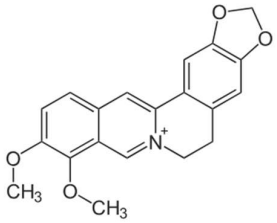


Figure 2. Structure of Berberine

Identification of Berberine was realized using the LC-MS spectra with comparison the reference data[31].

***2.5. Chromatographic instrument and conditions*:** The Agilent Technologies Model 1260 liquid chromatography, which was part of the HPLC system, has a photodiode array detector (DAD), an auto-sampler, a quaternary pump, a vacuum degasser, and an MS. Computer software: Chemstation. An Eclipse plus C-18 (250 x 4.6 x 5 µm) was used to accomplish the chromatographic separation. All separations were carried out at 20°C. The mobile phase was made up of methanol (0.1% formic acid): water (0.1 formic acid) 35:65 v/v; the flow rate was 1 ml/min, and the injection volume was 10 µl. All peaks' UV spectra were captured within the detection range of 200–400 nm. The sole wavelength used for quantification was 346 nm.

***2.6. Preparation of standard solution*:** To reach a final concentration of 1.0 mg/mL, a standard solution of berberine was made in methanol. To achieve different concentration levels (0.002-1.0 mg/mL), several working solutions of berberine (n=5) were made. A 10.0 mL volumetric flask was filled with the proper volume of Berberine solution, and the volume was adjusted to 10.0 mL using mobile phase. Prior to HPLC analysis, all prepared standard solutions were passed through a 0.45 µm membrane filter (Millipore).

***2.7. Preparation of sample solution*:** involved adding 20.0 mg of *M. aquifolium* crude extract (bought from the Institute of Pharmacochemistry in Tbilisi, Georgia) to a 100 mL volumetric flask, dissolving it in methanol, and then adjusting the volume to 100 mL using methanol. A syringe filter (0.45 mm Millipore) was then used to filter 2 ml of each solution into an HPLC vial.

3. Results and discussion

***3.1 Assay and Validation*:** The procedure was tested on *M. aquifolium* crude extract in accordance with ICH recommendations (ICH-Q2 (R1) (2005) Geneva. For Berberine, the HPLC method's linearity was tested. For every concentration, five distinct concentrations were made and examined in triplicate. Berberine has a concentration range of 0.002 to 1.0 mg mL^{-1}. Peak regions were plotted against concentrations to create calibration curves. Using least squares regression, the slope, y-intercept, and coefficient of correlation (r^2) were computed in order to evaluate the linearity. The concentrations that resulted in signal-to-noise ratios of 3:1 and 10:1, respectively, were the limits of detection and quantification.

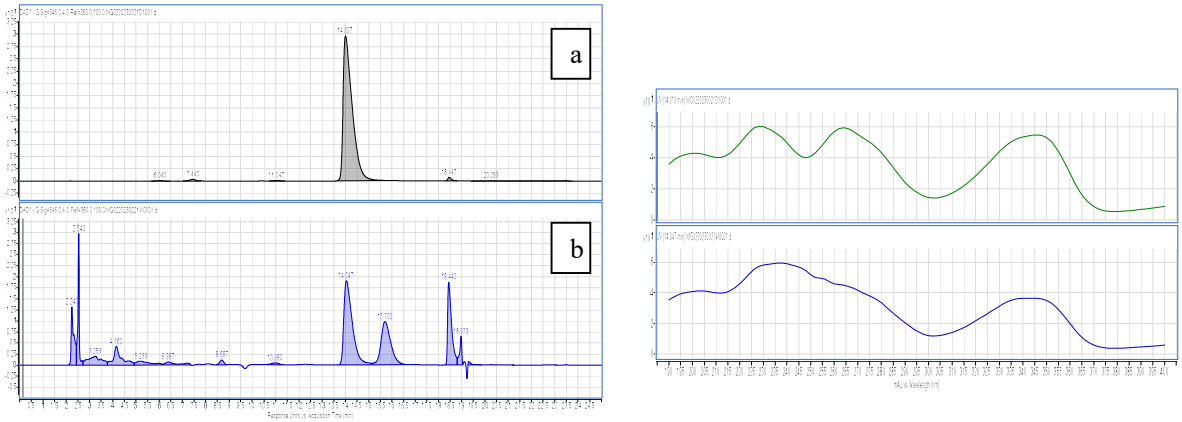


Figure 3. HPLC profile of a) Berberine and total alkaloids from the aerial parts b) *M. aquifolium*.

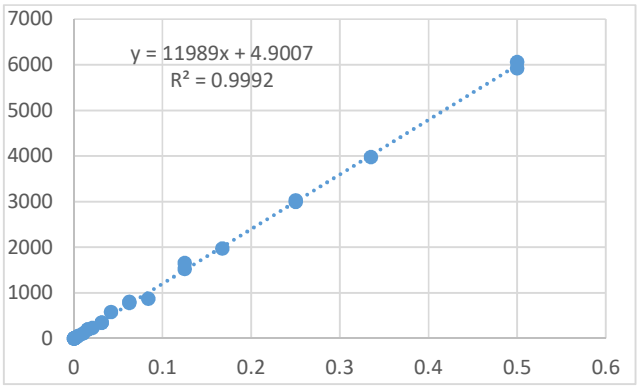


Figure 4. Calibration curve and linearity of Berberine.

Both intra- and inter-day precision were used to assess the method's accuracy. Six sample solutions were made independently on a single day, and their analyses were used to calculate intraday precision. The same process was repeated on two additional days to assess inter-day precision. For every day, the RSD (relative standard deviation) and standard deviation values were computed. The recovery test was used to assess the method's accuracy. To do this, known amounts of standard solutions containing berberine were spiked into the actual samples. Three concentration levels (50, 100, and 150%) were used to prepare the standard solutions. Samples were analyzed in triplicate at each level using the chromatographic conditions previously mentioned.

To obtain a good resolution, the HPLC separation conditions were improved. The reverse phase column Eclipse plus C-18 (250 x 4.6 x 5 µm) produced the best separation of the *M. aquifolium* crude extract. The

effect of the mobile phase was investigated in order to produce an ideal resolution. A mobile phase consisting of methanol (0.1% formic acid): water (0.1 formic acid) 35:65 v/v was used to detect a sufficient separation; a berberine solution was made in methanol. 10.3 minutes was the recorded retention time for berberine. A suitable chromatographic baseline and adequate sensitivity were demonstrated by the measurement at 346 nm. Consequently, under ideal circumstances, a baseline separation with symmetrical, crisp, and well-resolved peaks for Berberine was accomplished in 30 minutes.

The chromatogram reveals the full baseline separation of berberine in the *M. aquifolium* crude extract. The ICH recommendations for the validation of analytical methods were followed in the validation of this procedure. By comparing the retention times of Berberine and the crude extract of *M. aquifolium*, excellent resolution was seen with no interference from other substances. HPLC was used to confirm the peak purity (Agilent Chemstation software).

Table 1 shows the mahonia extract's intra- and inter-day precision results. The method's precision was demonstrated by the intra-day % RSD being less than 2.4% and the inter-day % RSD being less than 3.3%. The calculated recoveries varied between 99.68 and 100.28%. The detection limit was 0.5 μg/mL. 3.8 μg mL^{-1} was the quantitative limit. Berberine is successfully quantified using the established HPLC method. Berberine should make up at least 2% of the overall alkaloid concentration.

Table I. The results of precision measurements for Berberine within and between days

Linearity	**Range**	**0,005-1,0 mg/ml**	
	Calibration curve	**R^2 = 0.9992** **y=11989x + 4.9007**	
Accuracy	**99,8±0,3**		
Precision	**Intermediate precision %RSD**	**I day**	**2.1**
		II day	**2.3**
		III day	**1.9**
	Intermediate precision (Intra-day) %RSD (n=18)		**3.3**

4. CONCLUSIONS

A novel technique for measuring the pharmacologically active alkaloid berberine in the biologically active extract from the areal part of *M. aquifolium* was developed. In conclusion, the established method for the quantitation of berberine demonstrates significant novelty and innovation for the quantification of the biologically active extract from the areal part of *M. aquifolium*. The methodological advances in HPLC analysis enhance accuracy, sensitivity, and reproducibility. The innovation in analytical parameters reduces both the detection limit and the quantitative determination limit of berberine. Validation confirms the method's reliability and reproducibility, underscoring its practical value.

Disclosure statement

The authors report there are no competing interests to declare.

References

(1) Ferreira, M.-J. U. Alkaloids in Future Drug Discovery. Molecules 2022, 27 (4), 1347. https://doi.org/10.3390/molecules27041347.

(2) Martin, S. F. Bridging Known and Unknown Unknowns: From Natural Products and Their Mimics to Unmet Needs in Neuroscience. Accounts of Chemical Research 2022, 55 (17), 2397–2408. https://doi.org/10.1021/acs.accounts.1c00773.

(3) Wang, H.; Xu, X.; Wang, X.; Guo, W.; Jia, W.; Zhang, F. An Analytical Strategy for Discovering Structural Analogues of Alkaloids in Plant Food Using Characteristic Structural Fragments Extraction by High Resolution Orbitrap Mass Spectrometry. LWT 2022, 154, 112329. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112329.

(4) Singh, P. A.; Bajwa, N.; Chinnam, S.; Chandan, A.; Baldi, A. An Overview of Some Important Deliberations to Promote Medicinal Plants Cultivation. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 2022, 100400. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100400.

(5) Bhambhani, S.; Kondhare, K. R.; Giri, A. P. Diversity in Chemical Structures and Biological Properties of Plant Alkaloids. Molecules 2021, 26 (11), 3374. https://doi.org/10.3390/molecules26113374.

(6) Rajput, A.; Sharma, R.; Bharti, R. Pharmacological Activities and Toxicities of Alkaloids on Human Health. Materials Today: Proceedings 2022, 48, 1407–1415. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.189.

(7) Matsuura, H. N.; Fett-Neto, A. G. Plant Alkaloids: Main Features, Toxicity, and Mechanisms of Action. Plant Toxins 2015, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6728-7_2-1.

(8) Heinrich, M.; Mah, J.; Amirkia, V. Alkaloids Used as Medicines: Structural Phytochemistry Meets Biodiversity—an Update and Forward Look. Molecules 2021, 26 (7), 1836. https://doi.org/10.3390/molecules26071836.

(9) Och, A.; Podgórski, R.; Nowak, R. Biological Activity of Berberine—a Summary Update. Toxins 2020, 12 (11), 713. https://doi.org/10.3390/toxins12110713.

(10) García-Muñoz, A. M.; Desirée Victoria-Montesinos; Ballester, P.; Begoña Cerdá; Zafrilla, P. A Descriptive Review of the Antioxidant Effects and Mechanisms of Action of Berberine and Silymarin. Molecules 2024, 29 (19), 4576–4576. https://doi.org/10.3390/molecules29194576.

(11) Naz, I.; Masoud, M. S.; Chauhdary, Z.; Shah, M. A.; Panichayupakaranant, P. Anti-Inflammatory Potential of Berberine-Rich Extract via Modulation of Inflammation Biomarkers. Journal of Food Biochemistry 2022, 46 (12), e14389. https://doi.org/10.1111/jfbc.14389.

(12) Cheng, Z.; Kang, C.; Che, S.; Su, J.; Sun, Q.; Ge, T.; Guo, Y.; Lv, J.; Sun, Z.; Yang, W.; Li, B.; Li, X.; Cui, R. Berberine: A Promising Treatment for Neurodegenerative Diseases. Frontiers in Pharmacology 2022, 13. https://doi.org/10.3389/fphar.2022.845591.

(13) Kang, H.-G.; Wei, M.-L.; Wang, J.-L.; Ma, C.-P.; Zhang, X.; Huang, B.-W.; Xin, L.-S.; Bai, C.-M.

Berberine, a Natural Compound That Demonstrates Antiviral Effects against Ostreid Herpesvirus 1 Infection in Anadara Broughtonii. Viruses 2025, 17 (2), 282. https://doi.org/10.3390/v17020282.

(14) Sun, L.; Yu, Q.; Peng, F.; Sun, C.; Wang, D.; Pu, L.; Xiong, F.; Tian, Y.; Peng, C.; Zhou, Q. The Antibacterial Activity of Berberine against Cutibacterium Acnes: Its Therapeutic Potential in Inflammatory Acne. Frontiers in Microbiology 2024, 14. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1276383.

(15) Xie, W.; Su, F.; Wang, G.; Peng, Z.; Xu, Y.; Zhang, Y.; Xu, N.; Hou, K.; Hu, Z.; Chen, Y.; Chen, R. Glucose-Lowering Effect of Berberine on Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. Frontiers in Pharmacology 2022, 13, 1015045. https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1015045.

(16) Li, D.-D.; Yu, P.; Xiao, W.; Wang, Z.-Z.; Zhao, L.-G. Berberine: A Promising Natural Isoquinoline Alkaloid for the Development of Hypolipidemic Drugs. Current Topics in Medicinal Chemistry 2020, 20 (28), 2634–2647. https://doi.org/10.2174/1568026620666200908165913.

(17) Gao, Y.; Nie, K.; Wang, H.; Dong, H.; Tang, Y. Research Progress on Antidepressant Effects and Mechanisms of Berberine. Frontiers in pharmacology 2024, 15. https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1331440.

(18) Yu, M.; Jin, X.; Liang, C.; Bu, F.; Pan, D.; He, Q.; Ming, Y.; Little, P.; Du, H.; Liang, S.; Hu, R.; Li, C.; Hu, Y. J.; Cao, H.; Liu, J.; Fei, Y. Berberine for Diarrhea in Children and Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. Therapeutic Advances in Gastroenterology 2020, 13, 1756284820961299. https://doi.org/10.1177/1756284820961299.

(19) Almatroodi, S. A.; Alsahli, M. A.; Arshad Husain Rahmani. Berberine: An Important Emphasis on Its Anticancer Effects through Modulation of Various Cell Signaling Pathways. Molecules 2022, 27 (18), 5889–5889. https://doi.org/10.3390/molecules27185889.

(20) Liu, Y.; Nwafor, E.-O.; Li, Z.; Wang, J.; Liu, Z. Effects of Berberine on Liver Cancer. Natural Product Communications 2022, 17 (5), 1934578X2211020. https://doi.org/10.1177/1934578X221102032.

(21) Xiong, R.-G.; Huang, S.-Y.; Wu, S.-X.; Zhou, D.-D.; Yang, Z.-J.; Saimaiti, A.; Zhao, C.-N.; Shang, A.; Zhang, Y.-J.; Gan, R.-Y.; Li, H.-B. Anticancer Effects and Mechanisms of Berberine from Medicinal Herbs: An Update Review. Molecules (Basel, Switzerland) 2022, 27 (14), 4523. https://doi.org/10.3390/molecules27144523.

(22) Jiang, S.-X.; Qi, B.; Yao, W.-J.; Gu, C.-W.; Wei, X.-F.; Zhao, Y.; Liu, Y.-Z.; Zhao, B.-S. Berberine Displays Antitumor Activity in Esophageal Cancer Cells in Vitro. World Journal of Gastroenterology 2017, 23 (14), 2511–2511. https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i14.2511.

(23) Yamashita, A.; Kasai, H.; Maekawa, S.; Tanaka, T.; Yasunori Akaike; Akihide Ryo; Enomoto, N.; Kohji Moriishi. Berberine Promotes K48-Linked Polyubiquitination of HNF4α, Leading to the Inhibition of HBV Replication. Antiviral Research 2024, 232, 106027–106027. https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2024.106027.

(24) Liu, X.; Wang, L.; Tan, S.; Chen, Z.; Wu, B.; Wu, X. Therapeutic Effects of Berberine on Liver Fibrosis Are Associated with Lipid Metabolism and Intestinal Flora. Frontiers in Pharmacology 2022,

13. https://doi.org/10.3389/fphar.2022.814871.

(25) Wang, Q.; Shen, W.; Shao, W.; Hu, H. Berberine Alleviates Cholesterol and Bile Acid Metabolism Disorders Induced by High Cholesterol Diet in Mice. Biochemical and Biophysical Research Communications 2024, 719, 150088. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2024.150088.

(26) Bu, P.; Le, Y.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Cheng, X. Berberine-Induced Inactivation of Signal Transducer and Activator of Transcription 5 Signaling Promotes Male-Specific Expression of a Bile Acid Uptake Transporter. Journal of Biological Chemistry 2017, 292 (11), 4602–4613. https://doi.org/10.1074/jbc.M116.757567.

(27) Chen, X.-H.; Xiang, K.-L.; Lian, L.; Peng, H.-W.; Erst, A. S.; Xiang, X.-G.; Chen, Z.-D.; Wang, W. Biogeographic Diversification of Mahonia (Berberidaceae): Implications for the Origin and Evolution of East Asian Subtropical Evergreen Broadleaved Forests. Molecular Phylogenetics and Evolution 2020, 151, 106910. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106910.

(28) NIKA TODUA; CHINCHARADZE, D.; KETEVAN MCHEDLIDZE; JEMAL ANELI; VACHNADZE, N. STUDYING MAHONIA AQUIFOLIUM (PURSH) NUTT., INTRODUCED in GEORGIA, for the CONTENT of ALKALOIDS and the ESTABLISHMENT of MICROSTRUCTURAL DIAGNOSTIC SIGNS of the PLANT. EXPERIMENTAL & CLINICAL MEDICINE GEORGIA 2022. https://doi.org/10.52340/jecm.2022.06.13.

(29) He, J.-M.; Mu, Q. The Medicinal Uses of the Genus Mahonia in Traditional Chinese Medicine: An Ethnopharmacological, Phytochemical and Pharmacological Review. Journal of Ethnopharmacology 2015, 175, 668–683. https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.09.013.

(30) The world flora online, https://www.worldfloraonline.org/search?query=Mahonia+aquifolium

(31) Xu, P.; Xu, C.; Li, X.; Li, D.; Li, Y.; Jiang, J.; Yang, P.; Duan, G. Rapid Identification of Berberine Metabolites in Rat Plasma by UHPLC-Q-TOF-MS. Molecules 2019, 24 (10), 1994. https://doi.org/10.3390/molecules24101994

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.29



პოსტკოვიდური გუნებ-განწყობის ცვლილების რისკ-ფაქტორები: ჯვარედინი კვლევა კავკასიელთა პოპულაციის კოჰორტაში

გუჩა კობაიძე[1], თამარ საყვარელიძე[2], შოთა კეპულაძე[3], მარინა ჯანელიძე[4]

[1]თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის დოქტორანტი; ექიმი-ნევროლოგი; [2]თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის დოქტორანტი; ექიმი-ნევროლოგი; [3]ექიმი პათანატომი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი; მედიცინის აკადემიური დოქტორი; [4]ექიმი ნევროლოგი, პროფესორი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის კლინიკური ნევროლოგიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი;

აბსტრაქტი

პოსტ-COVID-19 სინდრომი დაკავშირებულია სხვადასხვა სახის მუდმივ ფსიქოლოგიურ სიმპტომებთან. ეს კვლევა COVID-19-სგან გამოჯანმრთელებულ პირებში აფასებს გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმძიმეს და მასთან დაკავშირებულ დემოგრაფიულ და კლინიკურ რისკ-ფაქტორებს.

ჩვენი კვლევის ფარგლებში ჩატარდა ჯვარედინი ტიპის კვლევა კავკასიის რეგიონის მაცხოვრებელ 200 ადამიანზე, COVID-19-ის გადატანიდან 3-დან 24 თვემდე პერიოდში. გუნებ-განწყობის ცვლილებები შეფასდა PHQ-9-ისა და Beck Depression Inventory-ის (BDI) გამოყენებით. ძირითადი ცვლადები მოიცავდა ასაკს, სქესს, ზოგად ფიზიკურ ჯანმრთელობას, ანამნეზში ჰოსპიტალიზაციის არსებობას, კარანტინის ისტორიას, ვაქცინაციის სტატუსს და სხვადასხვა სეროლოგიური ბიომარკერების დონეს (CRP, IL-6).

აღწერითი სტატისტიკური ანალიზის ტენდენციები მიუთითებს ტესტებით მიღებულ მომატებულ ქულებს ქალთა საკვლევ კოჰორტაში, საშუალო ასაკის მონაწილეებში და ქრონიკული დაავადებების მქონე პირებში. თუმცა, სტატისტიკურად სარწმუნო მნიშვნელობა არ იქნა მიღწეული (PHQ-9: $p > 0.5$; BDI: $p > 0.2$). PHQ-9 და BDI ქულები დადებით კორელაციაშია, რაც ადასტურებს თანმიმდევრულ გუნებ-განყობის დაქვეითების სიმპტომატოლოგიას. დამატებითი ცვლადები, როგორიცაა COVID-19-ის შემდგომი პერიოდი, ეკონომიკური გავლენა და ძილის რეჟიმი, შემდგომი კვლევის პროცესშია.

კვლევის შედეგად გამოვლენილი ტენდენციები მიუთითებს, რომ კონკრეტული დემოგრაფიული ჯგუფები შესაძლოა, უფრო მგრძნობიარენი იყვნენ COVID 19-ის შემდგომ გამოვლენილი გუნებ-განწყობის ცვლილების მიმართ. ეს დასკვნები ხაზს უსვამს ფსიქიკური ჯანმრთელობის მიზნობრივი მონიტორინგისა და სამომავლო გრძივი ანალიზის საჭიროებას, რათა დადასტურდეს ამ ტენდენციების არსებობა.

საკვანძო სიტყვები: COVID-19-ის შემდგომი პერიოდი, გუნებ-განწყობის ცვლილებები, PHQ-9, BDI, რისკ-ფაქტორები, ანთებითი ბიომარკერები

შესავალი:

ახალი კორონავირუსის SARS-CoV-2-ით გამოწვეულმა COVID-19 პანდემიამ არა მხოლოდ უპრეცედენტო საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის კრიზისი გამოიწვია, არამედ გლობალური ფსიქიკური ჯანმრთელობის საგანგებო მდგომარეობის მიზეზიც გახდა[1]. COVID-19-ის მწვავე ფაზიდან ფიზიკური გამოჯანმრთელების შემდეგ, ინდივიდების მნიშვნელოვანი ნაწილში ფიქსირდება სიმპტომების გახანგრძლივება, რომლებიც სცილდება რესპირატორულ გართულებებს[2]. ლიტერატურის მზარდი რაოდენობა აღწერს იმას, რასაც ახლა „პოსტ-მწვავე COVID-19 სინდრომს“ ან „გახანგრძლივებულ COVID-ს“ უწოდებენ, რომელიც მოიცავს ფიზიკური, კოგნიტური და ფსიქოლოგიური შედეგების ფართო სპექტრს, რომლებიც ვირუსის გადატანის შემდეგ კვირებიდან თვეებამდე გრძელდება[3].

ფსიქოლოგიურ გამოვლინებებს შორის, გუნებ-განწყობის ცვლილებები ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ და შემაშფოთებელ გრძელვადიან შედეგად იქცა[4]. ბოლოდროინდელი შეფასებებით, COVID-19-ისგან გამოჯანმრთელებული პირების ერთ მესამედს შეიძლება აღენიშნებოდეს კლინიკური გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმპტომები[2], [5]. ეს ფენომენი შეიძლება მრავალფაქტორიანი წარმოშობის იყოს, რაც მოიცავს ვირუსულ ნეიროინვაზიას, იმუნურ დისრეგულაციას, სისტემურ ანთებას და ფსიქოსოციალურ სტრესორებს, მათ შორის იზოლაციას, ფინანსურ სირთულეებსა და გლოვის არსებობას[6].

COVID-19-სა და გუნებ-განწყობის ცვლილებას შორის კავშირი დასტურდება ნეიროიმუნოლოგიური კვლევებით, სადაც ვარაუდობენ, რომ პროანთებითი ციტოკინები, როგორიცაა ინტერლეიკინ-6 (IL-6) და C-რეაქტიული ცილა (CRP), შეიძლება ხელს უწყობდნენ ნეიროქიმიური სიგნალიზაციისა და ტვინის ფუნქციის შეცვლას [7]. ეს ცვლილებები შეიძლება იყოს ინფექციის შემდგომ პერიოდში დაფიქსირებული განწყობის დარღვევების საფუძველი[8]. გარდა ამისა, COVID-ის გადატანის შემდგომ, პაციენტებში გუნებ-განწყობის ცვლილება ხშირად თანაარსებობს დაღლილობასთან, უძილობასთან, კოგნიტური უნარების დაქვეითებასთან და შფოთვასთან, რაც ართულებს დიაგნოზსა და კლინიკურ მართვას[9].

COVID-ის შემდგომ განვითარებული გუნებ-განწყობის ცვლილების შესახებ არსებული კვლევები ხშირად მნიშვნელოვნად განსხვავდება დიზაინის, პოპულაციისა და მეთოდოლოგიის მიხედვით[10]. არ არსებობს კონსენსუსი იმის შესახებ, თუ რომელი ჯგუფები არიან ყველაზე მაღალი რისკის ქვეშ და როგორ უნდა განისაზღვროს გუნებ-განწყობის ცვლილებების რაოდენობრივი მაჩვენებელი სხვადასხვა ჯანდაცვის დაწესებულებაში[11]. არსებული ლიტერატურის უმეტესობა ფოკუსირებულია საავადმყოფოზე დაფუძნებულ კოჰორტებზე ან ვერ ახერხებს ანალიზში უფრო ფართო სოციოდემოგრაფიული მონაცემების ინტეგრირებას[12].

ჩვენი კვლევა ცდილობს ამ ხარვეზის შევსებას გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმპტომატოლოგიის შესწავლით ორი ვალიდირებული სკრინინგის ინსტრუმენტის გამოყენებით: პაციენტის ჯანმრთელობის კითხვარი-9 (PHQ-9), მოკლე საზომი, რომელიც ხშირად გამოიყენება საზოგადოებრივი ჯანდაცვის დაწესებულებებში, და ბეკის დეპრესიის ინვენტარი (BDI), უფრო ყოვლისმომცველი ინსტრუმენტი, რომელიც ხშირად გამოიყენება კლინიკურ კონტექსტში. ორივე სკალის ერთდროულად გამოყენებით, ჩვენი მიზანია გუნებ-განწყობის ცვლილების მრავალგანზომილებიანი შეფასების მიღწევა[13].

ჩვენი კვლევა კონკრეტულად ფოკუსირებულია კავკასიის რეგიონის მაცხოვრებელ 200 პირის კოჰორტაზე, რომლებიც გამოჯანმრთელდნენ COVID-19-სგან. ეს პოპულაცია შეირჩა საერთო კულტურული, სოციალური და ჯანდაცვის სისტემის მახასიათებლების გამო, რაც ბიოლოგიური რისკ-ფაქტორების უფრო კონტროლირებადი ანალიზის საშუალებას იძლევა. გუნებ-განწყობის ცვლილების შედეგებზე მათი გავლენის დასადგენად, შეტანილია ისეთი ცვლადები, როგორიცაა ასაკი, სქესი, განათლების დონე, პროფესია, ოჯახური მდგომარეობა, ოჯახის შემადგენლობა, გეოგრაფიული მდებარეობა, ფიზიკური ჯანმრთელობა, სხეულის მასის ინდექსი, ვაქცინაციის სტატუსი და გამოჯანმრთელებიდან გასული დრო.

გარდა ამისა, გამოკვლეულია ანთებითი ბიომარკერები, როგორიცაა C-რეაქტიული ცილა (CRP) და IL-6, დეპრესიულ აშლილობებთან მათი დადგენილი კავშირის გამო[14]. ასევე გათვალისწინებულია COVID-თან დაკავშირებული გამოცდილება, როგორიცაა კარანტინი ან იზოლაცია, ჰოსპიტალიზაცია, ინფექციის სიმძიმე, მკურნალობის ისტორია, ვაქცინაცია, რეინფექცია და გვერდითი მოვლენები.

უფრო ჰოლისტიკური ხედვის შესაქმნელად ასევე აღიწერა ფსიქოსოციალური ფაქტორები, როგორიცაა ეკონომიკური ზეგავლენა, ემოციური ტრიგერები, ძილის რეჟიმის ცვლილება, ფიზიკური აქტივობის ცვლილებები, ეკრანთან გატარებული დრო და სხვადასხვა ნივთიერების მოხმარება.

ამ კვლევის მთავარი მიზანია COVID-19-ის შემდგომ პირებში გუნებ-განწყობის ცვლილების გავრცელებისა და სიმძიმის შეფასება სტანდარტიზებული საზომების გამოყენებით. მეორადი მიზანია სოციოდემოგრაფიული და კლინიკური ცვლადების იდენტიფიცირება, რომლებიც შეიძლება დაკავშირებული იყოს დეპრესიის მაღალ ქულებთან, რითაც ხელს შეუწყობს მაღალი რისკის მქონე პირების ადრეულ იდენტიფიცირებას და ფსიქოლოგიურ მხარდაჭერას.

კვლევის ამ პირველ ფაზაში ჩვენ ყურადღებას ვამახვილებთ გუნებ-განწყობის ცვლილებებზე, ხოლო სხვა საკითხებზე, როგორიცაა კოგნიტური უნარების დაქვეითება და შფოთვა, შემდგომი ანალიზისთვის ვტოვებთ. ბიოლოგიური, სოციალური და ქცევითი ფაქტორების ინტეგრირებით, ეს კვლევა ცდილობს, წვლილი შეიტანოს COVID-19-ის შემდგომი ფსიქიკური ჯანმრთელობის კვლევის მზარდ სფეროში, უზრუნველყოს მონაცემები, რომლებიც შესაძლოა სასარგებლო იყოს კლინიკური სახელმძღვანელოს პრინციპებისა და საზოგადოებრივი ჯანდაცვის ინტერვენციების შემუშავებისთვის.

მასალა და მეთოდები

კვლევის დიზაინი და კვლევის მონაწილეები

ეს კვლევა შემუშავებულია, როგორც 200 პირის ჯვარედინი ანალიზი, რომლებსაც ანამნეზში დიაგნოსტირებული აქვთ COVID-19. ყველა მონაწილე კავკასიის რეგიონიდანაა და მათ აქვთ COVID-19 ინფექციის დამადასტურებელი RT-PCR ტესტი. მონაწილეები შეირჩნენ COVID-19-ის შემდგომი მონიტორინგის ინიციატივით 2022–2024 პერიოდში და მათ მიერ მოწოდებულია ინფორმირებული თანხმობა კვლევაში მონაწილეობის მისაღებად. ჩართვის კრიტერიუმები მოითხოვდა, რომ პირები ყოფილიყვნენ სულ მცირე 18 წლის და გამოჯანმრთელებიდან გასული ყოფილიყო 3-დან 24 თვემდე. გამორიცხვის კრიტერიუმები მოიცავდა COVID-19-ით ინფიცირებამდე ანამნეზში გუნებ-განწყობის ცვლილების ან ნეიროკოგნიტური დისფუნქციის არსებობას.

მონაცემთა შეგროვება და ცვლადები

კლინიკური და დემოგრაფიული ინფორმაცია მოპოვებულია სტრუქტურირებული ინტერვიუებისა და სტანდარტიზებული კითხვარების მეშვეობით. შეგროვდა შემდეგი ცვლადები: ასაკობრივი ჯგუფი (18–30, 31–45, 46–60 და 61+), სქესი, განათლების დონე, პროფესია, ოჯახური მდგომარეობა, ოჯახის შემადგენლობა, გეოგრაფიული მდებარეობა, ფიზიკური ჯანმრთელობის მდგომარეობა, სხეულის მასის ინდექსი (BMI) და ეთნიკური კუთვნილება/რასა. COVID-სპეციფიკური მონაცემები მოიცავს გამოჯანმრთელების შემდგომ პერიოდს (თვეებში), კარანტინის ან იზოლაციის ისტორიას, ჰოსპიტალიზაციის სტატუსს, დაავადების სიმძიმეს, მკურნალობის ისტორიას (სახლში, ამბულატორიულ ან სტაციონარული) და რეინფექციის სტატუსს.

ანთებითი ბიომარკერები, მათ შორის C-რეაქტიული ცილის (CRP) და ინტერლეიკინ-6-ის (IL-6) დონეები, განსაზღვრულია გამოჯანმრთელების შემდგომი სისხლის ანალიზიდან. ცხოვრების წესთან და ფსიქოსოციალურ ზემოქმედებასთან დაკავშირებული დამატებითი ცვლადები მოიცავს ვაქცინაციის სტატუსს, ვაქცინაციის გვერდით ეფექტებს, ეკონომიკურ ზემოქმედებას, ემოციურ ტრიგერებს, ძილის რეჟიმს, ფიზიკურ აქტივობას (COVID-მდე და მის შემდეგ), ეკრანთან გატარებულ დროს (ციფრულ მოწყობილობებზე ყოველდღიურად გატარებული საათები) და სხვადასხვა ნივთიერების მოხმარებას.

გუნებ-განწყობის ცვლილების შეფასება

გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმპტომები შეფასდა ორი სტანდარტიზებული და ვალიდირებული ინსტრუმენტის გამოყენებით:

პაციენტის ჯანმრთელობის კითხვარი-9 (PHQ-9): 9-პუნქტიანი თვითშეფასების სკრინინგის ინსტრუმენტი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება კლინიკურ და კვლევით გარემოში. საერთო ქულები მერყეობს 0-დან 27-მდე, სადაც მაღალი ქულები მიუთითებს გუნებ-განწყობის ცვლილების, დეპრესიის სიმპტომების მძიმე ხარისხზე.

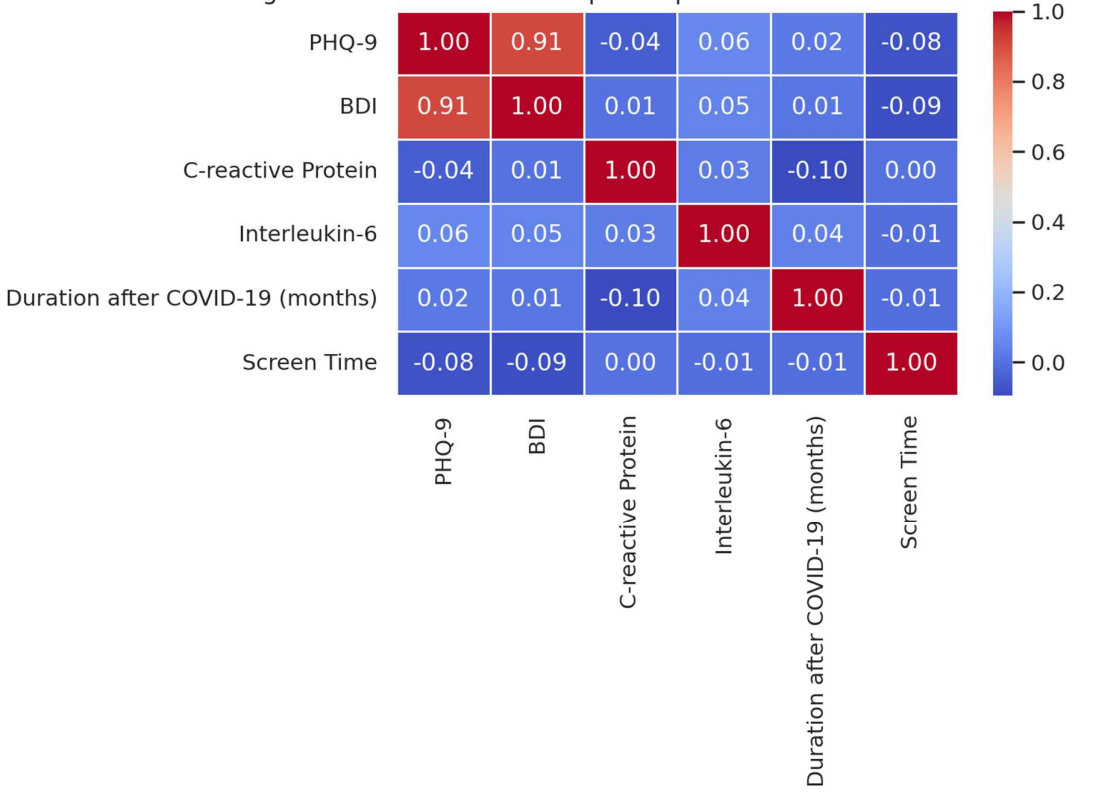
ბეკის დეპრესიის სკალა (BDI): 21-პუნქტიანი კითხვარი, რომელიც აფასებს გუნებ-განწყობის ცვლილებას, დეპრესიული სიმპტომების არსებობას და სიმძიმეს, საერთო ქულები მერყეობს 0-დან 63-მდე.

ორივე ტესტი ჩატარდა ერთსა და იმავე სესიაზე, COVID-19-ით გამოჯანმრთელებიდან დაახლოებით 3-დან 24 თვემდე.

სტატისტიკური ანალიზი: PHQ-9 და BDI ქულებისთვის გამოითვალა აღწერითი სტატისტიკა (საშუალო, სტანდარტული გადახრა, დიაპაზონი). გამოსავლის ცვლადების აბნორმალური განაწილების გამო გამოყენებულია არაპარამეტრული ტესტები. მენ-უიტნის U ტესტები გამოყენებულია დეპრესიის ქულების შესადარებლად ბინარულ ცვლადებში (მაგ., სქესი, ფიზიკური ჯანმრთელობა), ხოლო კრუსკალ-ვალისის ტესტები გამოყენებულია სხვადასხვა ასაკობრივ ჯგუფებს შორის შედარებისთვის.

სტატისტიკური მნიშვნელობა განისაზღვრა, როგორც $p < 0.05$. მონაცემთა სიმულაცია და სტატისტიკური ანალიზი ჩატარდა Python-ის (NumPy, Pandas, SciPy) გამოყენებით, ხოლო ვიზუალიზაცია გენერირებულია Seaborn-ისა და Matplotlib-ის გამოყენებით.

Figure 3: Correlation Heatmap of Depression Scores and Clinical Markers



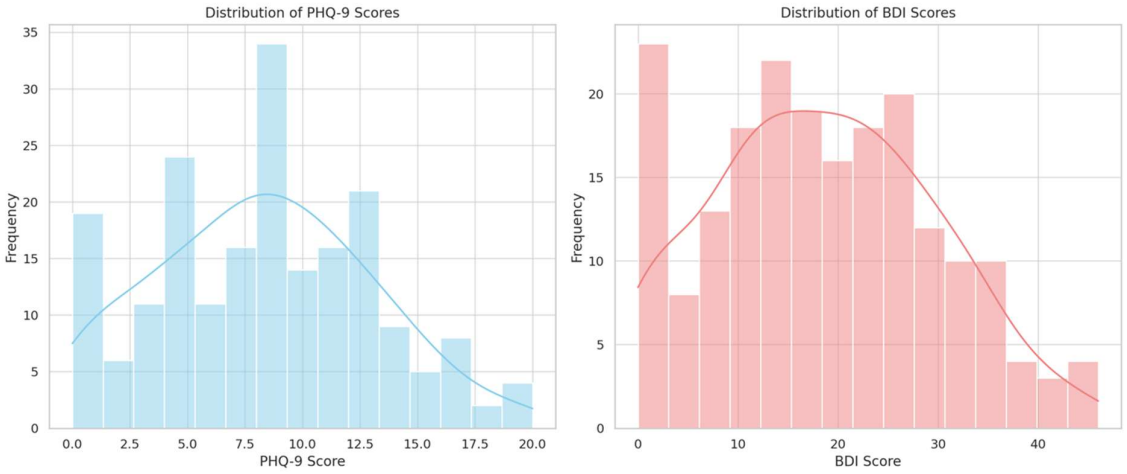
დიაგრამა 8: *ასახავს შესწავლილ ჯგუფებში არსებულ ცვლავებს შორის კორელაციურ კავშირებს;*

შედეგები

ჩვენი კვლევის ფარგლებში გავაანალიზეთ გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმპტომები COVID-19-ისგან გამოჯანმრთელებულ 200 პირში, პაციენტის ჯანმრთელობის კითხვარის-9 (PHQ-9) და ბეკის დეპრესიის ინვენტარის (BDI) გამოყენებით, როგორც პირველადი შეფასების ინსტრუმენტები. ორივე ინსტრუმენტმა აჩვენა ქულების ფართო დიაპაზონი, PHQ-9 მერყეობდა 0-დან 27-მდე (საშუალო: 7.6 ± 5.5), ხოლო BDI მერყეობდა 0-დან 63-მდე (საშუალო: 16.5 ± 10.2).

შედარებითი ანალიზი ჩატარდა მიღებული ქულების შესაფასებლად ძირითად დემოგრაფიულ და კლინიკურ ცვლადებთან მიმართებაში, მათ შორის სქესთან, ასაკთან და თვითშეფასებულ ფიზიკური ჯანმრთელობის მდგომარეობასთან

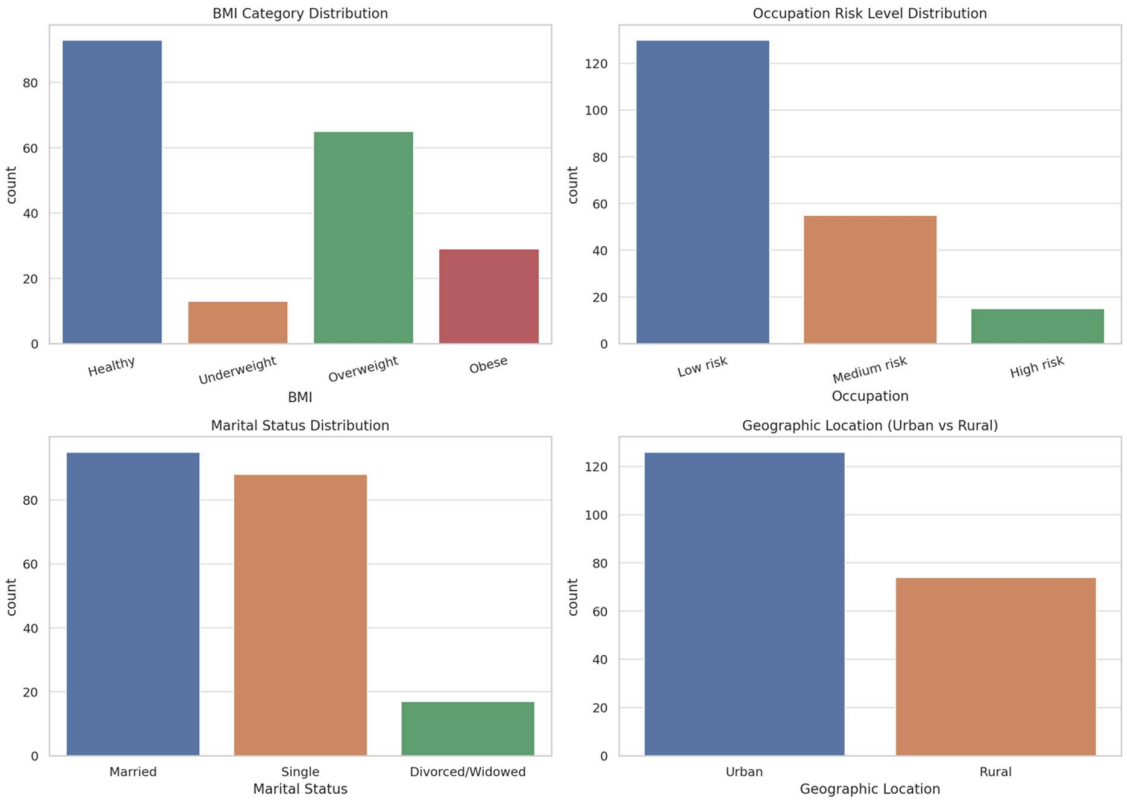
მიუხედავად იმისა, რომ ქალი მონაწილეები შედარებით მაღალ საშუალო ქულებს აჩვენებდნენ როგორც PHQ-9-ზე, ასევე BDI-ზე მამაკაცებთან შედარებით, განსხვავებები სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი არ იყო (PHQ-9: $p = 0.561$; BDI: $p = 0.273$; მენ-უიტნის U ტესტი). ანალოგიურად, ასაკობრივი ჯგუფების მიხედვით სტრატიფიკაციის შედეგად (18–30, 31–45, 46–60 და 61+) არცერთ სკალაზე გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმპტომატოლოგიის სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი განსხვავებები არ გამოვლინდა (PHQ-9: $p = 0.504$; BDI: $p = 0.501$; კრუსკალ-ვალისის ტესტი). გუნებ-განწყობის ცვლილების ყველაზე მაღალი საშუალო ქულები დაფიქსირდა 31–45 წლის ასაკის ქალებში, რომლებსაც ცუდი ფიზიკური ჯანმრთელობა ჰქონდათ.

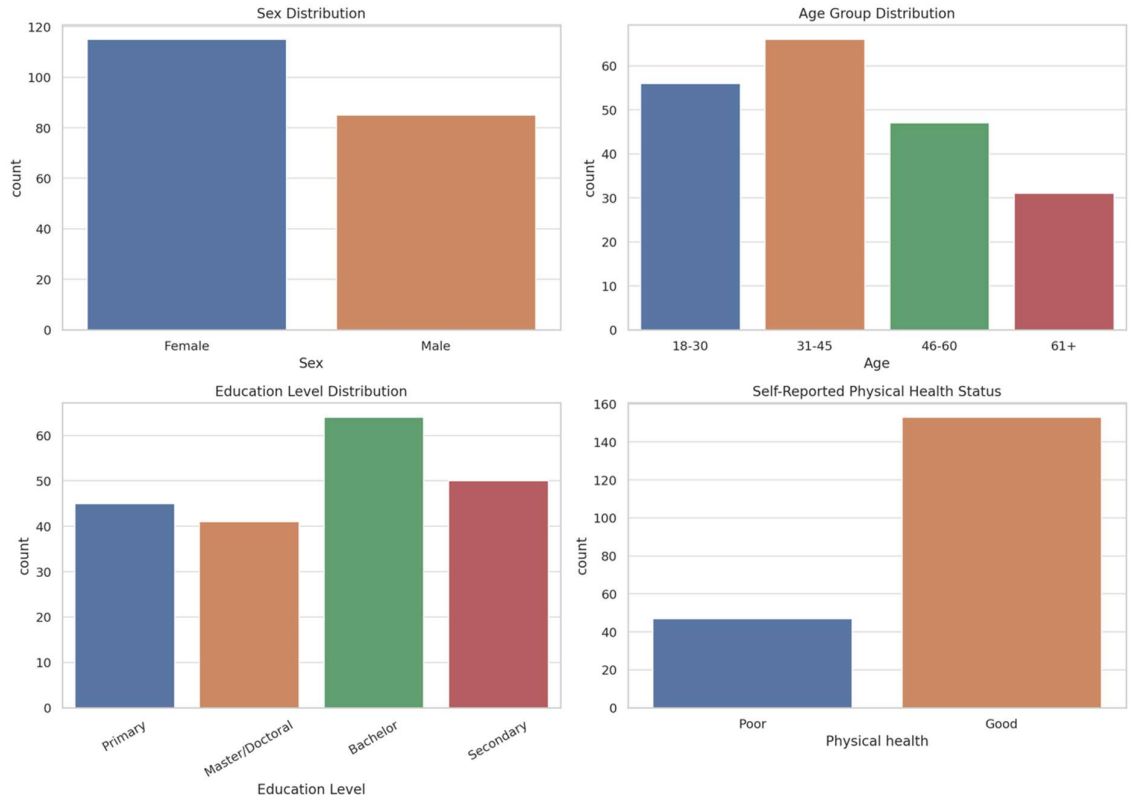


დიაგრამა 9: *PHQ-ისა და BDI-ის ქულების გადანაწილება საკვლევ ჯგუფებში;*

ფიზიკური ჯანმრთელობის მდგომარეობა კატეგორიზებული იყო, როგორც „კარგი“ ან „ცუდი“, ხოლო ცუდი ფიზიკური ჯანმრთელობის მქონე პირებს, როგორც წესი, უფრო მაღალი გუნებ-განწყობის ცვლილების, დეპრესიის ქულები ჰქონდათ. თუმცა, ამ ტენდენციამაც ვერ მიაღწია სტატისტიკურად მნიშვნელოვან მაჩვენებელს (PHQ-9: $p = 0.702$; BDI: $p = 0.531$; მენ-უიტნის U ტესტი).

საერთო ჯამში, მიუხედავად იმისა, რომ სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი კავშირი არ აღმოჩნდა გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმძიმესა და სქესს, ასაკს ან ზოგად ფიზიკურ ჯანმრთელობას შორის, აღწერითი ტენდენციები მიუთითებს პოტენციურად საშუალო ასაკის ქალებში, COVID-19-ის შემდეგ ფიზიკური ჯანმრთელობის აღდგენის სუბოპტიმალურ დონეზე. ეს დასკვნები ხაზს უსვამს პოსტ-COVID გუნებ-განწყობის ცვლილების მულტიფაქტორული პროგნოზირების ფაქტორების შემდგომი შესწავლის მნიშვნელობას სხვა ბიოლოგიურ და სოციალურ ცვლადებთან ერთად, როგორიცაა ანთების მარკერები (CRP, IL-6), პროფესიული ზემოქმედება და სოციალურ-ეკონომიკური დარღვევები, რომლებიც განხილულია შემდგომ ნაწილებში.





დიაგრამა 10: *BMI-ის, განათლების, ფიზიკური ჯანმრთელობის, სქესის, გეოგრაფიული მდებარეობისა და სხვა ფაქტორების გავრცელება საკვლევ ჯგუფებში;*

განსჯა

კვლევის მიზანი იყო გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმპტომების არსებობის შესწავლა კავკასიელთა პოპულაციაში COVID-19-ის შემდგომი დეპრესიის პოტენციური დემოგრაფიული და კლინიკური რისკ-ფაქტორების იდენტიფიცირებისათვის. გუნებ-განწყობის ცვლილებები შეფასდა ორი სტანდარტიზებული ინსტრუმენტის, PHQ-9-ისა და ბეკის დეპრესიის ინვენტარის (BDI) გამოყენებით, რაც იძლევა როგორც კლინიკურ, ასევე სუბკლინიკურ ხედვას SARS-CoV-2-სგან გამოჯანმრთელების ფსიქოლოგიური ზემოქმედების შესახებ.

მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული სკალებით უფრო მაღალი ქულები აღწერილობით სტატისტიკური დამუშავებით დაფიქსირდა ქალებში, საშუალო ასაკის პირებში (განსაკუთრებით 31-45 წლის ასაკში) და ცუდი ფიზიკური ჯანმრთელობის მქონე ადამიანებში, ამ ტენდენციებმა სტატისტიკურ მნიშვნელობას ვერ მიაღწია ამ კოჰორტაში. ეს შეიძლება ასახავდეს COVID-19-ის შემდგომი ფსიქოლოგიური გამოჯანმრთელების რთულ და მრავალფაქტორულ ბუნებას, სადაც სქესის, ასაკისა და ფიზიკური მდგომარეობის გარდა მრავალი ურთიერთმოქმედი ფაქტორი ხელს უწყობს ფსიქიკური ჯანმრთელობის შედეგებს.

წინა კვლევებმა აჩვენა გუნებ-განწყობის ცვლილების გავრცელების მნიშვნელოვანი ზრდა COVID-19-ის შემდეგ, განსაკუთრებით მძიმე დაავადების, ხანგრძლივი ჰოსპიტალიზაციის ან

მუდმივი სომატური ჩივილების მქონე პირებში[15]. ჩვენი დასკვნები ნაწილობრივ შეესაბამება არსებულ ლიტერატურას, რადგან გარკვეულ ქვეჯგუფები - როგორიცაა ქალები და ცუდი ფიზიკური ჯანმრთელობის მქონე პირები - აჩვენებს PHQ-9 და BDI ქულების მომატებას. თუმცა, ამ მონაცემთა ნაკრებში სტატისტიკური მნიშვნელობის ნაკლებობამ შეიძლება მიუთითოს უფრო დიდი ნიმუშის, გრძივი დაკვირვების ან ბიომარკერებისა და იმუნო-ანთებითი პასუხის მიხედვით სტრატიფიკაციის საჭიროებაზე.

როგორც PHQ-9-ის, ასევე BDI-ის გამოყენებამ გააძლიერა შეფასება ჯვარედინი ვალიდაციის და გუნებ-განწყობის ცვლილების სიმპტომატოლოგიის კონვერგენტული ტენდენციების გამოკვეთის გზით. აღსანიშნავია, რომ BDI-მ, რომელიც უფრო მგრძნობიარეა დეპრესიის აფექტური და კოგნიტური კომპონენტების მიმართ, აჩვენა ოდნავ უფრო ფართო ქულების განაწილება, ვიდრე PHQ-9-მა, რაც შეიძლება ხსნიდეს მის უფრო დიდ ცვალებადობას ქვეჯგუფებს შორის.

დამატებითი ცხოვრების წესი და ბიოლოგიური ცვლადები - მათ შორის ინტერლეიკინ-6-ის დონეები, C-რეაქტიული ცილა, ძილის რეჟიმი და ეკრანთან გატარებული დრო - შეიძლება კიდევ უფრო დახვეწოს რისკის პროგნოზირების მოდელები და დაგეგმილია ანალიზისთვის ამ კვლევის შემდგომ ფაზებში. ვაქცინაციის, რეინფექციის და ეკონომიკური სტრესორების შესახებ მონაცემების ჩართვა ღირებულ კონტექსტს შექმნის გრძელვადიანი ფსიქოსოციალური ეფექტების გასაგებად.

დასკვნა

შეჯამებისთვის, ამ კვლევამ აჩვენა გუნებ-განწყობის ცვლილების უფრო მაღალი ქულების ტენდენციები ქალებში, საშუალო ასაკის ჯგუფში და ცუდი ფიზიკური ჯანმრთელობის მქონე პირებში. მიუხედავად იმისა, რომ ამ დასკვნებმა არ მიაღწია სტატისტიკურ სარწმუნო მნიშვნელობას, ის ხაზს უსვამს ქვეჯგუფებს, რომლებიც ფსიქოლოგიური ზემოქმედების გამო პოტენციურად უფრო მაღალი რისკის ქვეშ არიან. ორმაგი დეპრესიის სკალების გამოყენებამ უზრუნველყო საიმედო სკრინინგი და შედარება. COVID-19-ის შემდგომი პოპულაციებისთვის მიზნობრივი ფსიქიკური ჯანმრთელობის ინტერვენციების შესამუშავებლად აუცილებელია მომავალი ანალიზები, რომლებიც მოიცავს იმუნურ მარკერებს, რეინფექციის სტატუსს და ფსიქოსოციალურ სტრესორებს.

გამოყენებული ლიტერატურა

[1] C. J. Watson, R. H. Thomas, T. Solomon, B. D. Michael, T. R. Nicholson, and T. A. Pollak, "COVID-19 and psychosis risk: Real or delusional concern?," *Neurosci Lett*, vol. 741, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.NEULET.2020.135491.

[2] M. Oldham, A. Slooter, C. Cunningham, and et al., "Characterising neuropsychiatric disorders in patients with COVID-19," *Lancet Psychiatry*, vol. 7, pp. 932–933, 2020.

[3] S. Kremer *et al.*, "Neurologic and neuroimaging findings in patients with COVID-19: A retrospective multicenter study," *Neurology*, vol. 95, no. 13, pp. E1868–E1882, Sep. 2020, doi: 10.1212/WNL.0000000000010112.

[4] G. Kobaidze, M. Janelidze, T. Sakvarelidze, S. Kepuladze, and S. Kartsivadze, "Assessment of cognitive-mnestic and emotional dysfunction in post-COVID syndrome - a critical review of the literature," ქართველი მეცნიერები, vol. 6, no. 4, pp. 419–436, Dec. 2024, doi: 10.52340/gs.2024.06.04.40.

[5] P. Austin, "An introduction to propensity score methods for reducing the effects of confounding in observational studies," *Multivariate Behav Res*, vol. 46, pp. 399–424, 2011.

[6] I. Siow, K. Lee, J. Zhang, S. Saffari, A. Ng, and B. Young, "Stroke as a neurological complication of COVID-19: a systematic review and meta-analysis of incidence, outcomes and predictors," *J Stroke Cerebrovasc Dis*, vol. 30, 2021.

[7] A. B. Docherty *et al.*, "Features of 20 133 UK patients in hospital with covid-19 using the ISARIC WHO Clinical Characterisation Protocol: Prospective observational cohort study," *The BMJ*, vol. 369, May 2020, doi: 10.1136/BMJ.M1985.

[8] S. Keddie, J. Pakpoor, C. Mousele, and et al., "Epidemiological and cohort study finds no association between COVID-19 and Guillain-Barré syndrome," *Brain*, 2020.

[9] C. Iadecola, J. Anrather, and H. Kamel, "Effects of COVID-19 on the nervous system," *Cell*, vol. 183, pp. 16–27, 2020.

[10] M. Panigada, N. Bottino, P. Tagliabue, and et al., "Hypercoagulability of COVID-19 patients in intensive care unit: a report of thromboelastography findings and other parameters of hemostasis," *J Thromb Haemost*, vol. 18, pp. 1738–1742, 2020.

[11] C. Watson, R. Thomas, T. Solomon, B. Michael, T. Nicholson, and T. Pollak, "COVID-19 and psychosis risk: real or delusional concern?," *Neurosci Lett*, vol. 741, 2021.

[12] N. Vindegaard and M. Benros, "COVID-19 pandemic and mental health consequences: systematic review of the current evidence," *Brain Behav Immun*, vol. 89, pp. 531–542, 2020.

[13] Y. Xie, B. Bowe, G. Maddukuri, and Z. Al-Aly, “Comparative evaluation of clinical manifestations and risk of death in patients admitted to hospital with COVID-19 and seasonal influenza: cohort study,” *BMJ*, vol. 371, 2020.

[14] E. J. Williamson *et al.*, “Factors associated with COVID-19-related death using OpenSAFELY,” *Nature*, vol. 584, no. 7821, pp. 430–436, Aug. 2020, doi: 10.1038/S41586-020-2521-4.

[15] F. Hernandez-Fernandez, H. Valencia, R. Barbella-Aponte, and et al., “Cerebrovascular disease in patients with COVID-19: neuroimaging, histological and clinical description,” *Brain*, vol. 143, pp. 3089–3103, 2020.

Post-COVID Mood Disorders and Their Risk Factors: A Cross-Sectional Study in a Caucasian Cohort

G.Kobaidze; T. Sakvarelidze; Sh.Kepuladze; M.Janelidze;

Abstract:

Post-acute COVID-19 syndrome has been associated with persistent psychological symptoms, including affective disturbances. This study assesses the severity of mood alterations and examines associated demographic and clinical risk factors in individuals who have recovered from COVID-19.

A cross-sectional study was conducted among 200 individuals from the Caucasian region, 3 to 24 months post-COVID-19 recovery. Affective symptom burden was assessed using the PHQ-9 and Beck Depression Inventory (BDI). Key variables included age, sex, physical health, hospitalisation, quarantine history, vaccination status, and biomarkers (CRP, IL-6).

Descriptive trends indicated elevated affective symptom scores among women, middle-aged participants, and those with poor physical health. However, statistical significance was not achieved (PHQ-9: $p > 0.5$; BDI: $p > 0.2$). PHQ-9 and BDI scores correlated positively, validating consistent mood-related symptomatology across tools. Variables such as duration since COVID-19, economic impact, and sleep patterns are under further investigation.

Conclusion: Although not statistically significant, observed trends suggest specific demographic groups may be more vulnerable to post-COVID depressive symptoms. These findings underscore the need for targeted mental health follow-up and future longitudinal studies to validate and further explore these trends.

Keywords: Post-COVID-19, Mood disorders, PHQ-9, BDI, mental health, risk factors, inflammatory biomarkers.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.30



ფერ-სინათლის ინსტალაციები არქიტექტურულ გარემოში

ნინო ხაბეიშვილი[1]; მარიამ ხაბეიშვილი[2]

[1]არქიტექტურის დოქტორი, პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ელ-ფოსტა: n.khabeishvili@gtu.ge; [2]არქიტექტურის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ელ-ფოსტა: m.khabeishvili@gtu.ge

აბსტრაქტი

სტატიაში განხილულია თანამედროვე ხელოვნების და შემოქმედების კონტექსტში ფერ-სინათლის ინსტალაცია, ერთგვარი კონცეპტუალური მოდელი არქიტექტურულ გარემოში. განსაზღვრულია მისი, როგორც ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი რესურსის როლი ურბანული რეგენერაციის და განვითარების ასპექტში უნიკალური ხელოვნების ნიმუშის სახით. მიმოხილულია ხელოვნების და სხვა დარგთა შორის ურთიერთკავშირების ბალანსით განპირობებული ინტერაქტიული თუ იმმერსიული ფერ-სინათლის ინსტალაციების შექმნის მეთოდების თავისებურებები, მისი გარემოზე და ადამიანზე ზემოქმედების გარკვეული პრინციპები. გაკეთებულია სათანადო დასკვნები და დასახულია განვითარების სავარაუდო პერსექტივები.

საკვანძო სიტყვები: ქალაქის დიზაინი, ინსტალაცია, ფერი, სინათლე, ვირტუალური სივრცე, არქიტექტურული გარემო.

შესავალი

პოსტკონცეპტუალურ ეპოქაში ხელოვნების განვითარების ზოგადი დინამიკა, რომელიც არ იძლევა წარმოჩენილი ექსპონატის რომელიმე ერთ იდეოლოგიურ ან ესთეტიკურ კონცეფციაზე დაყვანის საშუალებას, ინოვაციური საინჟინრო კონსტრუქციების, კაცობრიობის უტოპიური ფანტაზიების მომცველი მასშტაბური მხატვრული ინსტალაციების პრეზენტაციის სხვადასხვა ხერხებით ახდენს ობიექტების დემონსტრირებას მუზეუმების დარბაზებში, მათ მიმდებარე ტერიტორიებზე, ურბანული და ბუნებრივი ლანდშაფტის ღია სივრცეებში. თანამედროვე ხელოვნების და შემოქმედების კონტექსტში ფერ-სინათლის ინსტალაცია, როგორც გარკვეული სუბსტანცია, კონცეპტუალური მოდელი, გარემოში ქმნის არსთა ფართო არეალს, განსაკუთრებული მხატვრული დატვირთვების მქონე მოცულობით-სივრცით

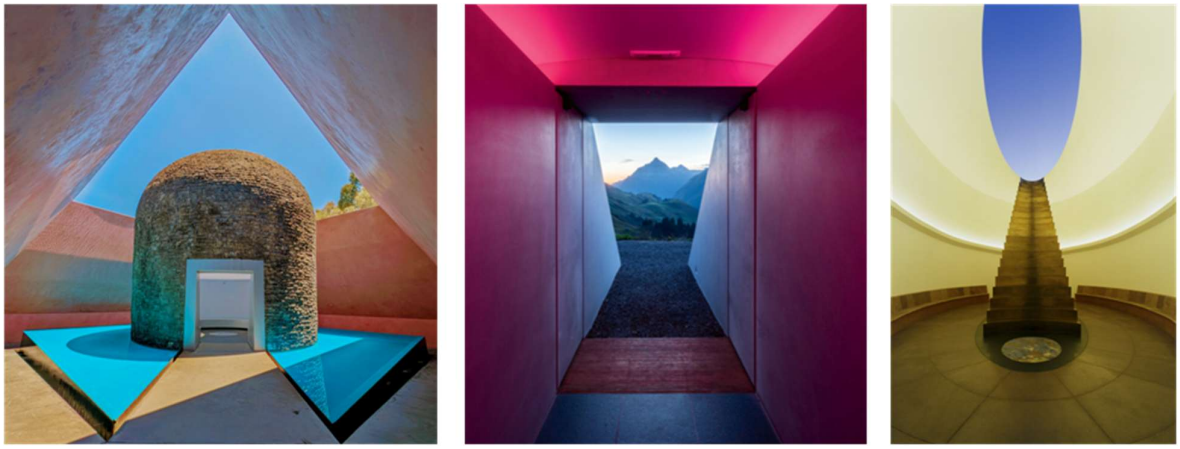
კომპოზიციებს, რომელთა ფარგლებში ურთიერთქმედებენ ვიზუალური ხელოვნებიდან აღებული განსხვავებული კონცეფციები.

ძირითადი ნაწილი

ევოლუციის თითოეულ ფაზაში, ფერი და სინათლე, როგორც ინსტალაციის შინაარსობრივი შემავსებლები მნიშვნელოვან როლს ასრულებდნენ არქიტექტურული გარემოს ფორმირებაში. ყოველ ეტაპზე აქტიურდებოდა ფერითი კონცეფციის პოლიქრომია ან მონოქრომია. XXI საუკუნეში განათების სფეროში უახლესმა ტექნოლოგიებმა გააფართოვეს პალიტრის დიაპაზონი და შედეგად, ინსტალაციები ფერ-სინათლის მრავალფეროვნების აღქმის ინტერაქტიულად რეგულირებადი რეჟიმების უნიკალური ტექნოლოგიების წყალობით, მარტივი ორგანზომილებიანი თუ სამგანზომილებიანი დეკორატიული ობიექტებიდან გარდაიქმნენ საკმაოდ რთულ, სივრცით კომპოზიციებად, რომლებიც ურბანულ გარემოში არა მარტო არსებულ არქიტექტურულ ობიექტებს ანიჭებენ უნიკალურ სადღესასწაულო დიზაინს, არამედ ახალი ვირტუალური სახეებით აყალიბებენ ქალაქის გარემოს დიზაინის განუმეორებელ ხასიათს [1].

საზოგადოდ, ქალაქის არქიტექტურული გარემო არ არის სტატიკური ობიექტი, ის ცვალებადი და მობილურია, რომლის კომფორტული, საინტერესო, უჩვეულო იერსახე მიიღწევა საზოგადოებრივი სივრცეების ესთეტიკური მნიშვნელობის ამაღლებით და მხატვრულად გამართლებული სისტემებით. ამ კონტექსტში ფერ-სინათლის ინსტალაციები სინათლის და ფერის ეფექტებით ვიზუალურად წარმოაჩენენ ცარიელ სივრცეს ერთგვარ მოცულობად, ცვლიან ობიექტების პარამეტრებს, ახდენენ სივრცის ტრანსფორმაციას და ამავდროულად მოძრაობის ილუზიას (სურ.1). ეს ზემოქმედება გარემოზე და ადამიანზე განისაზღვრება გარკვეული პრინციპებით, ინსტალაციის კორელაციით სხვადასხვა ტიპის გარემოსთან, ურბანულ და ბუნებრივ ლანდშაფტთან, საჰაერო და არქიტექტურულ სივრცეებთან, როგორც ექსტერიერის ისე ინტერიერის კონსტექტში [2]. ფერი და სინათლე, როგორც ინსტალაციის მნიშვნელოვანი შემავსებლები ამ რეალობაში იძენენ ახალ სემანტიკურ შეფერილობებს და ხშირად სიმრავლით, განმეორებადობით, სხვადასხვა ვიზუალური შერევებით, ოპტიკურ ილუზიებზე დაყრდნობით, რთული სივრცული კომპოზიციებით იკავებენ და ახლებურად წარმოაჩენენ არქიტექტურულ-სივრცით გარემოს.

დღევანდელ რეალობაში ტექნოლოგიების ზრდამ და დიგიტალიზაციის პროცესების დაჩქარებულმა ტემპებმა გამოიწვიეს ძველი ინდუსტრიების ახლით ჩანაცვლება, მთელი რიგი ობიექტების უფუნქციობა, რამაც წარმოშვა მიტოვებული ტერიტორიები და ნაწილობრივ დანგრეული არქიტექტურული ობიექტები, მოხდა ქალაქის ქსოვილის ფრაგმენტაცია, შედეგად სოციალური პროცესებისა და მისი ვიზუალური იერსახის დეგრადაცია. ამ მოცემულობაში აქტუალური ამოცანაა თითოეული მიტოვებული ობიექტის სპეციფიკური მახასიათებლების შენარჩუნების გათვალისწინებით, რევიტალიზაცია, არქიტექტურის და დიზაინის აქტუალური მეთოდებით აღდგენა ან რეფუნქციონალიზაცია ახალი საზოგადოებრივი სივრცეების შექმნის ხარჯზე.

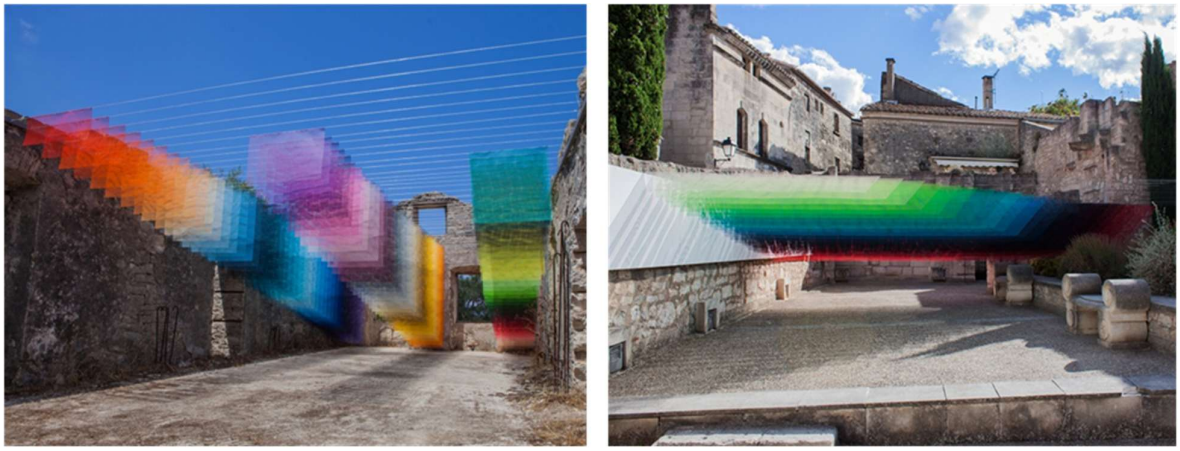


სურ.1. ჯეიმს თარელი ინსტალაციები სერიიდან „ცის სივრცე“ („Skyspace“) - „Within Without“ 2010 წ. ავსტრალია; „Skyspace Lech“ 2018 წ. ავსტრია; „Roden Crater“ 1979 წ. აშშ.

დიზაინ-პროექტის ფარგლებში შუქ-დიზაინი, როგორც აქტიური კომპონენტი განათების ფორმირების პრინციპების საფუძველზე, ობიექტის ეკოლოგიური, სოციალური და ესთეტიკური მახასიათებლებიდან გამომდინარე, სხვადასხვა ხერხით გარდაქმნის მიტოვებული ნაგებობის ან ლანდშაფტის სტრუქტურას ახალ არქიტექტურულ იდენტობად. ეს შეიძლება იყოს: დეკორატიული, ეკოლოგიური, კულტურულ-ისტორიული, სამუზეუმო, რეფუნქციონალიზაციის, ინსტალაციის, მხატვრულ-გამომსახველობითი ხერხი [3].

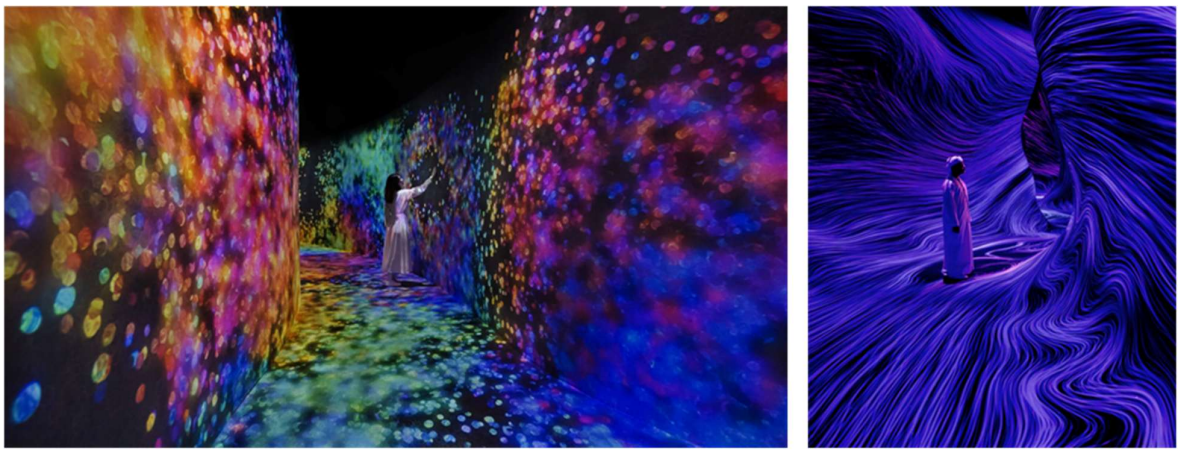
ურბანული რეგენერაციის და განვითარების ასპექტში შუქ-დიზაინი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი რესურსია. ის პროექტები სადაც მიტოვებული ტერიტორიების რეაბილიტაცია და ურბანულ გარემოში ინტეგრირება ხდება ინსტალაციების სისტემებით, ემყარება ვიზუალურ ესთეტიკას, რომელსაც ობიექტი იძენს რთული სივრცული კომპოზიციების განთავსების წყალობით, სადაც სენსორული აღქმა მიიღწევა ფერის და სინათლის ჰარმონიული ურთიერთკავშირებით. ერთ ინსტალაციაში შეიძლება არსებობს სხვადასხვა ხერხის ინტეგრირების ვარიანტები, გამომსახველობა ეყრდნობოდეს ტრადიციულ დღის გამოსახულებას, ღამის გამოსახულებას ან სრულიად ინოვაციურ სურათს. ხშირად არქიტექტურის ძეგლები, რომელთა სტრუქტურები შეიცავენ წარსული ეპოქის მრავალ ნიშანს და სიმბოლოს ითავსებენ რთულ ინსტალაციებს, რომლთა კომპოზიციები ამყარებენ ისტორიული ობიექტების კონცეფციებს (სურ.2). ამ მხატვრულ პრაქტიკებში ხელოვნება, მეცნიერება და ტექნოლოგია განუყოფელია.

თანამედროვე ცხოვრების ფართო კონტექსტში, ინსტალაციების სისტემები მოსაწყენ თუ მიტოვებულ ურბანულ გარემოში უნიკალური ხელოვნების ნიმუშების სახით, როგორც კატალიზატორები ტერიტორიის შემდგომი განვითარების და განახლების მიზნით, წარმოშობენ ახალ კულტურულ სივრცეებს და ტურისტულ მარშრუტებს, სრულიად ცვლიან ურბანიზმისადმი მიდგომებს და ქალაქის გარემოს დიზაინში გეგმავენ სივრცეების ათვისების ახალ შესაძლებლობებს.



სურ.2. ტომას გრანსოერი და ტომისლავ ტოპიჩი ინსტალაცია „კაგკატიკას საიდუმლო“ („Kagkatika's Secret“) 2018 წ. საბერძნეთი

არქიტექტურულ გარემოში ინტერაქტიულობა და იმმერსიულობა ახასიათებთ ამ სისტემებით შექმნილ რეალისტურ თუ ვირტუალურ სივრცეებს, რომელთა მიმზიდველობა არ შემოიფარგლება უზარმაზარი მოცულობების სენსორული აღქმით და ვიზუალური დაძაბულობით. ამ გარემოში ინსტალაციებსა და მაყურებელს შორის დინამიური ურთიერთქმედების და გამჭვირვალეობის შედეგად, საზოგადოების ქცევა ხელოვნების ნაწარმოების ნაწილია, ხოლო საჯარო სივრცე ემოციების გაცვლის და იდეების შეჯახების არეალი. ხელოვნება, როგორც სივრცესა და საგნობრივ გარემოში ჩაძირული მაყურებელის ცნობიერების აქტივობით შექმნილი მოქმედების ფიზიკური გამოცდილება, აერთიანებს მონაწილის ანალიზის და განცდის პროცესს მხატვრული ნაწარმოების არსთან და შინაარსთან (სურ. 3).



სურ.3. „teamLab“ იმმერსიული ინსტალაციები - „ავტონომიური აბსტრაქცია“ („Autonomous Abstraction“); „ქარის ფორმა“ („Wind Form“) 2025 წ. Phenomena აბუ დაბი

ვირტუალური სივრცის ეს ახალი ემოციური გამოცდილება აქრობს ხელოვნებასა და საზოგადოებას შორის დისტანციას და ფუნდამენტურად არღვევს ტრადიციული ხელოვნების სტატიკურ სტრუქტურას. ფორმის, შინაარსის და კონსტრუქციის სირთულიდან გამომდინარე ფერ-სინათლის ინსტალაციები, ხელოვნების გარდა ატარებენ სხვა დისციპლინების ანარეკლს. შექმნის პროცესში კომპრომისის და მხატვრული იდეის საფუძველზე მულტიდისციპლინური ექსპერტების და შემოქმედთა კონსულტაციების გზით მიიღწევა კონსენსუსი, შედეგად ყალიბდება ხელოვნებას და სხვა დარგთა შორის ურთიერთკავშირის ბალანსი, რაც ვლინდება ინსტალაციების შექმნის მეთოდების თავისებურებებში და ხელოვნების განსხვავებულ ფორმაში [4]. ამ პროექტებში არქიტექტურული ობიექტები ასრულებენ სადემონსტრაციო სივრცის როლს სანახაობისთვის ან თავად არიან ჩართულნი მასში, როგორც ხელოვნების ნიმუშები.

დასკვნა

დღევანდელ რეალობაში ხელოვნების და ტექნოლოგიების ინტეგრაცია გახდა ურბანული არქიტექტურული გარემოს ტენდენცია. ფერ-სინათლის ინსტალაციები ინტერაქტიული თუ იმმერსიული რთული, პროგნოზირებადი პროცესებით ითავსებენ ხელოვნების და ტექნოლოგიების მთელ სპექტრს, ახდენენ რეალურ და ვირტუალურ სივრცეებს შორის საზღვრების გაფართოების შესაძლებლობების დემონსტრირებას და წარმოადგენენ სივრცის, დროის და ენერგიის ცნებების ახალ განსაზღვრებას. ეს არქიტექტურული თავისებებურებების მქონე ობიექტები, სხვადასხვა სფეროში სიახლეების და მათ შორის რთული ურთიერთკავშირების ფონზე, თანდათან გადავიდნენ მხატვრული ნაწარმოებების ახალ რანგში და სამართლიანად მოიაზრებიან თანამედროვე ხელოვნების ერთ-ერთ პერსექტიულ მიმართულებებად.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Лебединская А.Р., Геппель С.А. Современные технологии создания световых пространственных инсталляций в городской среде // Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института. 2024. №1. С. 7-12. https://doi:10.52470/2619046X_2024_1_7.
2. Ковалёва Н. А. Цвет в эволюции инсталляции в архитектурно-пространственной среде. Издательство „Грамота“. 2021. Том14. Выпуск 8. С. 1711-1715. https://doi.org/10.30853/mns210274
3. Орлова Е. Ю., Курбанмурадова А.Ч. Современный опыт использования светодизайна при ревитализации заброшенных пространств // Ноэма [Архитектура. Урбанистика. Искусство]. 2021. №1 (6). С. 172-184.
4. Yan, Y., Zhong, Y., Zhang, B., Weng, Z., Niu, S., Zeng, Y., Cheng, X., Zhong, B. Light Environment Evaluation of the Architecturalized Immersive New Media Public Art Installation from the Audiences' Visual Safety Perspective. Buildings. 2023. 13. 2122. https://doi.org/10.3390/buildings13082122

Color-light installations in architectural environments

Nino Khabeishvili[1], Mariam Khabeishvili[2]

[1]Doctor of Architecture, Professor, Georgian Technical University, E-mail: n.khabeishvili@gtu.ge; [2]Doctor of Architecture, Associate Professor, Georgian Technical University, E-mail: m.khabeishvili@gtu.ge

Abstract

The article discusses the color-light installation in the context of modern art and creativity, a kind of conceptual model in the architectural environment. Its role as one of the important resources in the aspect of urban regeneration and development in the form of a unique work of art is determined. The peculiarities of the methods of creating interactive or immersive color-light installations, determined by the balance of interconnections between art and other fields, certain principles of its impact on the environment and people are reviewed. Appropriate conclusions are made and probable development prospects are outlined.

Keywords: city design, installation, color, light, virtual space, architectural environment.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.31



ქართული ნაგაზის თავის ტვინის ზოგიერთი ნერვის მორფოლოგია

ცქვიტინიძე გალია[1], თვალიაშვილი ვლადიმერ*[2], ჭულუხაძე ანა[3]

[1]მოწვეული ლექტორი, ევროპის უნივერსიტეტი galia.tskvitinidze@eu.edu.ge; [2]აგრარული უნივერსიტეტი, პროფესორი, v.tvaliashvili@agruni.edu.ge; [3]მოწვეული ლექტორი, ევროპის უნივერსიტეტი, aniutachuluxadze@mail.ru

აბსტრაქტი

ქართული ნაგაზის ხუთი ლეშის მასალაზე (10 პრეპარატი) ვ.პ. ვორობიოვის მაკრო-მიკრო პრეპარირების ცნობილი მეთოდით, პრეპარატის როგორც მარჯვენა, ისე მარცხენა მხარეზე შევისწავლეთ სამწვერა ნერვის ენის ნერვი, სახის ნერვის დაფის სიმი და ენა-ხახის ნერვის ენის ტოტების ანატომია.გარდა ამისა შესწავლილია თვალის მამოძრავებელი, ჭაღისებრი და გამზიდველი ნერვების ანატომია. ამასთან ერთად გამოვლენილია ზიგიერთი ნერვის კავშირები, ასე მაგალითად,ენის ნერვი ამყარებს კავშირს დაფის სიმთან (თავის ტვინის მე-VII წყვილის ნერვის ტოტი).თვალის მამოძრავებელი ნერვი დაკავშირებულია პარასიმპატიკურ ნერვულ სისტემასთან წამწამოვანი კვანძის მეშვეობით.

საკვანძო სიტყვები: ქართული ნაგაზი, ენა, თვალი, ენისქვეშა, ენა-ხახის, სახის, სამწვერა, თვალის მამოძრავებელი, ჭაღისებრი, გამზიდველი ნერვი.

ენისქვეშა ნერვი - n. hypoglossus - ჩვენი კვლევის ყველა შემთხვევაში ქართული ნაგაზის, როგორც მარჯვენა, აგრეთვე მარცხენა მხრიდან ენისქვეშა ნერვი (XII წყვილი ნერვი) გამოდის 4-5 ფესვით მოგრძო ტვინის ზედაპირზე, პირამიდის ლატერალურად. ენისქვეშა ნერვის არხთან ფესვები ერთიანდებიან და ტოვებენ ტვინის ქალას, კეფის ძვლის ენისქვეშა ხვრელის მეშვეობით [1, 8]

ქალადან გამოსვლის შემდეგ ენისქვეშა ნერვი განლაგდება დამატებითი ნერვის (XI წყვილი ნერვი) მედიალურად და ცდომილი ნერვის (X წყვილი ნერვი) ლატერალურად. სამივე ნერვი გახვეულია საერთო შემაერთებელქსოვილოვან გარსში. გარსის მოცილების შემდეგ ატლანტ-კეფის სახსრის დონეზე ენისქვეშა ნერვს აბორალური მხრიდან უართდება კისრის პირველი ზურგის ტვინის ნერვი. ენისვეშა ნერვის ღეროს ვენტრო-აბორალურად გამოეყოფა ნერვული ტოტი, რომელიც გაივლის ვაგოსიმპათიკურ ღეროს და საერთო საძილე არტერიის ქვეშ იყოფა ორ ტოტად, ერთი ტოტი შედის ენისქვეშა კუნთებში და ანერვებს მკერდ-ფარისებრ და მკერდ-

ინის კუნთს. კუნთებში შესვლისას ეს ტოტები წარმოიქმნიან კუნთშიდა წვრილმარყუჟოვან წნულს. ხოლო მეორე დაღმავალი ტოტი ანერვებს ფარ-ინის და ენა-ხახის კუნთს.

ენისქვეშა ნერვის ღერო მოემართება ენის არტერიასთან ერთად და შედის ენაში, სადგის ენის და ენისქვეშა კუნთების მიერ წარმოქმნილი ნაპრალის მეშვეობით. ენაში შესვლის შემდეგ, ენისქვეშა ნერვი იყოფა სამ ტოტად და წარმოქმნის ენის საკუთრივ კუნთის კუნთშიდა წნულს. ერთი, იშვიათად ორი, ნერვული ტოტი აგრძელებს გზას ენის სიღრმეში, აძლევს ტოტებს სადგის-ენის, ენისვეშა და ნიკაპ-ენის კუნთებს და წარმომნის კუნთშიდა წვრილმარყუჟოვან წნულს, რომლის მიდევნება შეიძლება მხოლოდ ბინოკულარული ლუპის მეშვეობით.

ერთი ყველაზე მსხვილი ნერვული ტოტი შედის ენის სიღრმეში და იყოფა დორსალურ და ვენტრალურ ტოტებად. ენის მწვერვალისკენ გზადმიმავალი დორსალური და ვენტრალური ტოტები წარმომნიან ენის სხეულის მესამედის დონეზე წვრილმარყუჟოვან წნულს, ხოლო ყველაზე მძლავრი ტოტი აღწევს ენის მწვერვალს.

ენის ნერვი - n. lingualis - წარმოადგენს სამწვერა ნერვის (V წყვილი ნერვი) ქვედა უბის ნერვის ერთ-ერთ ნერვს. ენის ნერვი გამოეყოფა ქვედა უბის ნერვს, ქვედაყბის არხში შესვლის წინ და განლაგდება ლატერალურ და მედიალურ ფრთისებრ კუნთებს შორის [2].

ენის ნერვის საწყისი ნაწილიდან, მისი სვლის როსტრალური მხრიდან, მას გამოეყოფა ერთი, იშვიათად სამი, წყვილი ტოტი სასის ფასადისათვის, აქვე მას მახვილი კუთხით უერთდება დაფის სიმი (VII წყვილი ნერვი) და ენის ნერვთან ერთად აგრძელებს გზას [3].

ენის ნერვის ღერო გაივლის კუნთებშუა სივრცეს, შედის პირის ღრუში და განლაგდება ენის ზურგის ლორწოვანი გარსის ქვეშ.

ამ მიდამოში მას გამოეყოფა საკმაოდ დიდი ენისქვეშა ტოტი, რომელიც შედის ენის კუნთის სისქეში და წარმოქმნის წნულს. წნულის წარმოქმნის შემდეგ ენის ნერვის ღერო მიემართება როსტრალურად და ენის შუა მესამედის დონეზე იძლევა ტოტებს, ენის ზურგის ლორწოვანი გარსისთვის და შემოზღუდული დვრილებისთვის. ენის წინა მესამედის დონეზე, ენის ნერვი იყოფა ორ საბოლოო - დორსალურ და ვენტრალურ ნერვულ ღეროებად.

დორსალური ტოტი- მიემართება ენის დორსალური ზედაპირის ლორწოვან გარსში და ქმნის წნულს, ნაწილი კი მიემართება სოკოსებრი დვრილებისკენ.

ვენტრალური ტოტი- მიემართება ენის გვერდითი კედლის ლორწოვან გარსში და ენის ლაგამში.

დაფის სიმი - chorda tympani - სახის ნერვის (VII წყვილი ნერვი) ერთ-ერთი ტოტია, რომელიც გამოდის სახის ნერვის ტვინის ქალას შიგნითა ნაწილიდან [4].

დაფის ღრუში შესვლის შემდეგ, დაფის სიმი წვება დაფის აპკის შიგნითა ზედაპირზე, გაივლის ჩაქუჩსა და გრდემლს შორის და ტოვებს ღრუს, დაფა -კლდოვანი ნაპრალის მეშვეობით, შემდეგ მიემრთება ნოზოვენტრალურად და მახვილი კუთხით უერთდება სამწვერა ნერვის

ენის ნერვს და მასთან ერთად მიემართება ენის მწვერვალამდე. ამ უკანასკნელის მიდევნება და პრეპარირება შესაძლებელია ბინოვულარული ლუპის საშუალებით.

ენის ტოტი - r. lingualis - ენა-ხახის ნერვის (IX წყვილი ნერვი) ყველაზე მსხვილი ნერვია. ჩვენი კვლევის ყველა შემთხვევაში ის გამოეყოფა კლდოვანი კვანძის მედიალური ზედაპირიდან [5].

კლდოვანი კვანძიდან გამოსლის შემდეგ, მოემართება ვენტრალურად, წვება დაფის ძვლოვანი ბუშტის მედიალურ ზედაპირზე, სინუს ნერვსა და ხახის ტოტებს შორის. შემდეგ ენის ტოტი ეშვება ვენტრალურად, გაივლის კრანიალურ სიმპათიკურ კვანძს, საძილე არტერიის და ცდომილი ნერვის ხახის ტოტების ქვეშ, მიემართება კრანიო-ვენტრალურად, წვება ხახის შუა კონსტრიქტორებს - ბრტყელ-ხახის და რქა-ხახის კუნთებს შორის, ანერვირებს მათ, ორი სამი წყვილი ტოტით, რომლებიც კუნთებში შესლისას წარმოქმნიან კუნთშიდა წვრილმარყუჟოვან წნულს.

ხახის შუა კონსტრიქტორების კუნთშუა სივრცის დატოვების შემდეგ, ენის ტოტი მიემართება სასა-ენის რკალისკენ, აკეთებს S-ს მაგვარ ნადრეკს და იყოფა თავის ორ ძირითად - დორსალურ (სასის) და ვენტრალურ (ენის) ტოტებად.

დორსალური ტოტი - ყველა ჩვენ მიერ შესწავლილ პრეპარატზე იყოფა ორ, იშვიათად სამ, ტოტად. აქედან ერთი ტოტი მიემართება სასა-ენის ნაოჭში და სასის ფარდაში, ერთი-ორი ტოტი სასის რკალში და სასის ნუშისებრ ჯირკვალში.

ვენტრალური ტოტი - უფრო მსხვილია ვიდრე წინამორბედი ტოტი, წვება ენის ძირზე და იძლევა ერთ-ორ ტოტს, შემდეგ ძირითადი ნერვული ტოტი მიემართება ვენტრალურად და ენის უკანა მესამედის დონეზე წარმოქმნის წნულს. წნულის ზოგიერთი ტოტი შედის ენის უკანა მესამედის ლორწოვან გარსში და წარმოქმნის წვრილმარყუჟოვან წნულს, დანარჩენი ტოტები მიემართებიან შემოზღუდულ დვრილებში და ენის საკუთარი კუნთების სისქეში.

თვალის მამოძრავებელი ნერვი-n. oculomotorius - თვალის მამოძრავებელი ნერვი ჩვენს მიერ შესწავლილ ყველა შემთვევეში გამოდის ტვინის ფუძეზე დიდი ტვინის ფეხებს შორის და ქმნის ნერვის ე.წ პირველ მონაკვეთს, შემდეგ მიემართება მღვიმოვან სინუსში. სინუსში მდებარე ნერვების ტოპოგრაფია შემდეგია: ლატერალურად ძევს ჭაღისებრი ნერვი, დორსალურად -თვალის მამოძრავებელი, ვენტრალურად კი-სამწვერა და გამზიდველი ნერვები, სინუსის შიგნით ნერვებს შორის კავშირი არ გხვდებოდა [6, 7, 9].

თვალბუდეში თვალის მამოძრავეებელი ნერვი შედის თვალბუდის ნაპრალის საშუალებით და თვალის კაკლის სწორი დორსალური კუნთის დასაწყისთან იყოფა თავის ძირითად-დორსალურ და ვენტრალურ ტოტად. თვალბუდის დასაწყისში 40% შემთხვევაში 1-2 წვრილი ტოტის დახმარებით იგი უკავშირდება ცხვირ-ცრემლის ნერვს (სამწვერა ნერვის ტოტი).

თვალის მამოძრავებელი მერვის დორსალოური ტოტი გამოეყოფა ნერვის ძირითად ღერის და შედის თვალის კაკლის სწორ დორსალურ კუნთში 1-3 ნერვული ტოტით.კუნთის შიგნით ტოტები ხშირ შემთხვევაში ქმნიან წვრილმარყუჟოვან ნერვულ წნულს.. ნერვული ტოტების ის

ნაწილი, რომელის არ ღებულობს მონაწილეობას წნულის შექმნაში, გაივლიან კუნთის სისქეს და საბოლოო ტოტებით ანერვირებენ ზედა ქუთუთოს შიგნითა ამწევ კუნთს.

თვალის მამოძრავებელი ნერვის ვენტრალური ტოტი დორსალურ ტოტზე უფრო სქელია.იგი გაივლის მხედველიბის ნერვის ქვეშ და თავის მხრივ, იყოფა ლატერალურ და მედიალუირ ტოტად.

ჩვენი დაკვირვებით, ვენტრალური ტოტოს დაყოფის ადგილას ლატერალურ და მედიალურ ტოტებად ძევს ე,წ წამწამოვანი კვანძი (პარასიმპატიკური ნაწილიდან).

მედიალური ტოტები (3-4) შედიან თვალის კაკლის სწორი მედიალური კუნთის სისქეში მისი შიგნითა ზედაპირიდან.

მედიალური ტოტების გამოყოფის შემდეგ, თვალის მამოძრავებელი ნერვის ძირითადი ღერო გრძელდება როგორც ლატერალური ტოტი, რომელსაც გამოეყოფა 2-4 ტოტი თვალის კაკლის ვენტრალური სწორი კუნთისათვის, ხოლო მისი დასასრული ტოტები ბოლოვდება თვალის კაკლის ვენტრალურ ირიბ კუნთში.

ჭაღისებრი ნერვი-n.trochlearis - თავის ტვინის ნერვებს შორის ყველაზე წვრილია. იგი გამოდის დიდი ტვინის ფეხებსა და ტვინოვან ხიდს შორის., კერძოდ, ტვინის წინა ფარდის მიმაგრების ადგილიდან. შემდეგ იგი ხვრეტს ტავის ტვინის მაგარ გარსს და შედის მღვიმოვან სინუსში, რომელშიც იკავებს ლატერალურ მდგომარეობას. თვალბუდეში ჭაღისებრი ნერვი შედის თვალბუდის ნაპრალის მეშვეობით.

ნაპრსლის მიდამოში ან თვალბუდის შიგნით მას უკავშირდება შუბლის ნერვი (სამწვერა ნერვიდან). ეს ტიტი არამუდმივია და აღინიშნება 60% შემთხვევაში, ხოლო 30 % აღინიშნება ასიმეტრია.

აღსანიშნავია, რომ ჭაღისებრი ნერვი ერთედ-ერთი ნერვია, რიმელიც მდებარეობს კუნთოვანი პირამიდის მიღმა, იმ დროს როდესაც ყველა დანარჩენი თვალის მამოძრავებელი აპარატის ნერვები ამ პირამიდის შემადგენლობაში განიხილება.

თვალბუდის შიგნით ნერვი ტოტიანდება თვალის კაკლის დორსალურ ირიბ კუნთში, კუნთის შიგნით ქმნის წვრილმარყუჟოვან ნერვულ წნულს. [7, 8]

გამზიდველი ნერვი-n. abducens - გამზიდველი ნერვი შესწავლილ პრეპარატებზე როგორც მარჯვენა, ისე მარცხენა მხრიდან გამოდის მოგრძო ტვინიდან, ტვინოვანი ხიდის უკან.

ტვინიდან გამოსვლის შემდეგ ოგო გაივლის ძირითადი ძვლის ნერვულ ღარს და შედის მღვიმოვან სინუსში, სადაც იკავებს ვენტრალურ ნაწილს. სინუსში ნერვი ამყარებს მუდმივ კავშირს შიგნითა საძილე არტერიის ნერვულ წნულთან.

თვალბუდეში გამზიდველი ნერვი შედის თვალბუდის ხვრელის საშუალებით, და შესვლისთანავე იძლევა 2-3 ტოტს თვალის კაკლის უკანა დამწევი კუნთისათვის.

აღნიშნული ტოტების გამოყოფის შემდეგ გამზიდველი ნერვი მდებარეობს თვალის კაკლის სწორი ლატერალურკუნთის შიგნითა ზედაპირზე და და ტოტიანდება მასში 4 საბოლოო ტოტით კუნთის შიგნით ნერვული ტოტები დიფერინცირდებიან და წარმოქმნიან წვრილმარყუჟოვან წნულს.

ჩვენი მასალის გამოკვლევისას არასდროს არ შეგვხვედრია კავშირი თვალის მამოძრავებელი აპარატის ნერვებს შორის. [7, 8]

დასკვნები

1. ენისქვეშა ნერვი, გარდა ენის საკუთრივ კუნთებისა, ანერვებს ხახისა და ხორხის ზოგიერთ კუნთს.

2. სამწვერა ნერვის ენის ნერვს, სახის ნერვის დაფის სიმს და ენისქვეშა ნერვს აქვთ მუდმივი კავშირი.

3. ენა-ხახის ნერვის ენის ტოტი S-ისებრ ნადრკის შემდეგ იყოფა ორ ძირითად ტოტად და ანერვებს ენის საკუთრივ კუნთებს და შემოზღუდულ დვრილები

4. თვალის კაკლის კუნთების ინერვაცია ხორციელდება, თვალის მამოძრავებელი, ჭაღისებრი და გამზიდველი ნერვებით.

5. ჩვენი დაკვირვებით, თვალია მამოძრავებელი ნერვის ვენტრალური ტოტოს დაყოფის ადგილას ლატერალურ და მედიალურ ტოტებად ძევს ე,წ წამწამოვანი კვანძი (პარასიმპატიკური ნაწილიდან).

6. მღვიმოვან სინუსში გამზიდველი ნერვი ამყარებს მუდმივ კავშირს შიგნითა საძილე არტერიის ნერვულ წნულთან..

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Laurent Couturier L, Degueurce C, Ruel Y, Dennis R, Begon D. (2005 Sep-Oct) “Anatomical study of cranial nerve emergence and skull foramina in the dog using magnetic resonance imaging and computed tomography.” Vet Radiol Ultrasound;46(5):375-83
2. Swain CE, Cherubini GB, Mantis P.”Low Field MRI Measurements of the Normal Canine Trigeminal Nerve” Front Vet Sci. 2020 May 19; 7:274.
3. Gomes E, Degueurce C, Ruel Y, Dennis R, Begon D. “Anatomic study of cranial nerve emergence and associated skull foramina in cats using CT and MRI.” Vet Radiol Ultrasound. 2009 Jul-Aug;50(4):398-403.

4. Andrew T Parry Holger A Volk “Imaging the cranial nerves”. Vet Radiol Ultrasound. 2011 Mar-Apr; 5, S32-41.
5. Thomas K, Minutello K, Das JM. “Neuroanatomy, Cranial Nerve 9 (Glossopharyngeal}” StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): Nov 7, 2022.
6. H. Park, HRha,+autors W.Joo “Microsurgical Anatomy of the Oculomotor Nerve” Clinical anatomy (New York, N1, January 2017.
7. William B. Thomas, “The Neurologic Examination of Animals “ DVM, DACVIM- Neurology, Small Animal Neurology, College of Veterinary Medicine, University of Tennessee Oct 2023 | Modified Sept 2024.
8. Viktor Paluš “NEUROLOGICAL EXAMINATION IN SMALL ANIMALS”, Mac Vet Rev 2014; 37 (1): 95-105.
9. M. Berendt “Neurological Examination Made Easy: Brain and Cranial Nerve Lesions”, World Small Animal Veterinary Association Congress Proceedings, 2017

Morphology of some cranial nerves of the Georgian Shepherd

Tskvitinidze Galia[1], Tvaliashvili Vladimer*[2], Chulukhadze Ana[3]

[1]Invited Lecturer, European University; [2]Agrarian University, Professor; [3]Invited Lecturer, European University

Abstract

On the material of five carcasses of Georgian shepherds (10 preparations) by V.P. Vorobyov's well-known method of macro-micro preparation, we studied the anatomy of the lingual nerve of the Trigeminal nerve, the tympani cord of the Facial nerve, and the lingual branches of the Glossopharyngeal nerve on both the right and left sides of the preparation. In addition, the anatomy of the Oculomotor, Trochlear and Abducens nerves was studied. In addition, the connections of some nerves were revealed, for example, the lingual nerve establishes a connection with the tympani cord (branch of the VII-th pair of cranial nerves). The oculomotor nerve is connected to the parasympathetic nervous system through the ciliary ganglion.

Keywords: Georgian Shepherd, tongue, eye, Sublingual, Glosso - pharyngeal, Facial, Trigeminal, Oculomotor, Trochlear, Abducens nerves

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.32



Exploring the Gut-Brain Axis: The Role of the Microbiome In Modulating Brain Function And Its Implications In Neurodegenerative Disorders Like Parkinson's And Alzheimer's And Pharmacotherapy Treatment Strategies

Nodar Sulashvili[1*], Lali Patsia[2], Awad El-Hakeem[3], Sk Ayaan[4], Arian Hizomi[5], Sajal Agarwal[6], Marika Sulashvili[7]

[1]MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Invited Lecturer (Invited Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Associate Affiliated Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Pharmacology of Pharmacy Program at Shota Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at School of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at the University of Georgia; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at East European University; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Tbilisi, Georgia; Researcher of Department of Pharmaceutical Management of Yerevan State Medical University after Mkhitar Heratsi, Yerevan, Armenia. Orcid https://orcid.org/0000-0002-9005-8577 E-mail: n.sulashvili@ug.edu.ge; [2]MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia. [3]Medical Faculty Student, Tbilisi State Medical University (TSMU), Tbilisi, Georgia; [4]Medical Faculty Student, Tbilisi State University (TSU), Tbilisi, Georgia; [5]Medical Faculty Student, Tbilisi State University (TSU), Tbilisi, Georgia; [6]Medical Faculty Student, Tbilisi State Medical University (TSMU), Tbilisi, Georgia; [7]MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262.

Abstract

The gut-brain axis (GBA) represents a dynamic bidirectional communication network linking the gastrointestinal tract and the central nervous system, with the gut microbiome playing a pivotal role in modulating brain function and behavior. This review explores the mechanisms by which microbial communities influence neuroinflammation, synaptic plasticity, and neurodegeneration through neural, endocrine, and immune pathways, including the production of metabolites such as short-chain fatty acids (SCFAs), neurotransmitters, and pro-inflammatory cytokines. Dysbiosis, characterized by shifts in microbial diversity and function, is increasingly implicated in the pathogenesis of neurodegenerative disorders, particularly Alzheimer's disease (AD) and Parkinson's disease (PD). In AD, gut-derived metabolites like trimethylamine N-oxide (TMAO) and amyloidogenic proteins exacerbate neuroinflammation and amyloid-beta aggregation, while in PD, α-synuclein misfolding in the enteric nervous system precedes motor symptoms, propagating pathology via the

vagus nerve. Emerging evidence underscores the microbiome's role in disrupting blood-brain barrier integrity and promoting neurotoxic immune responses. Pharmacotherapeutic strategies targeting the GBA, including probiotics, prebiotics, fecal microbiota transplantation (FMT), and small-molecule inhibitors, demonstrate potential in restoring microbial equilibrium and mitigating neurodegeneration. Clinical trials highlight the efficacy of Lactobacillus and Bifidobacterium strains in reducing cognitive decline, while FMT shows promise in alleviating motor symptoms in PD. Challenges such as microbiome heterogeneity, sex-specific responses, and translational gaps between preclinical models and human trials are critically evaluated. By integrating advances in multi-omics, artificial intelligence, and CRISPR-based microbial engineering, this review advocates for personalized approaches to harness the GBA's therapeutic potential. Ultimately, targeting the gut microbiome offers a transformative paradigm for preventing and treating neurodegenerative diseases, shifting focus from symptomatic management to early intervention and disease modification.

Keywords: Gut-brain axis, Microbiome, Neurodegenerative disorders, Parkinson's disease, Alzheimer's disease, Brain function modulation, Neuroinflammation, Pharmacotherapy.

Introduction

The intricate bidirectional communication between the gastrointestinal tract and the central nervous system, termed the gut-brain axis, has emerged as a pivotal frontier in understanding how the microbiome influences brain health and disease. Recent advances in microbiome research have revealed that gut microbiota play a critical role in modulating brain function, including neurodevelopment, cognition, and emotional regulation, through mechanisms involving neurotransmitters, short-chain fatty acids (SCFAs), and immune-mediated pathways. Dysregulation of this axis, often driven by dysbiosis (microbial imbalance), has been implicated in the pathogenesis of neurodegenerative disorders such as Parkinson's disease and Alzheimer's disease. These conditions are characterized by pathological hallmarks like alpha-synuclein aggregation, amyloid-beta plaques, and tau protein tangles, which may be exacerbated by neuroinflammation and oxidative stress linked to gut-derived metabolites.

The gut-brain axis has been studied and is evident to have a definite effect on neurodegenerative diseases such as Alzheimer's and Parkinson's and has attracted increasing attention in recent research. The aim of this systematic review is to discuss whether correcting and adjusting the gut microbiome can help improve cognitive function or slow the progression of neurodegenerative symptoms, or is standard treatment a better option. A Standard approach (Standard treatment) for these diseases, such as levodopa for Parkinson's and cholinesterase inhibitors for Alzheimer's, have been well known to improve the effectiveness positively in symptom management and slowing disease progression. On the other hand of the spectrum, Modulation in the gut microbiome in which probiotics, prebiotics, lifestyle- dietary modifications, transplantation of fecal microbiota are implemented is also an emerging area of study. Addition of these factors (Probiotics, prebiotics, lifestyle-dietary modifications, transplantation of fecal microbiota) have been shown to reduce inflammation and further improve the balance of neurotransmitters. Although different communication routes between the microbiota and brain have been identified, further studies must clarify all the underlying mechanisms involved. The review will prove based on the available evidence on the effectiveness of gut microbiome interventions.

While enough research has been done on standard treatment as it being the most reliable primary source for managing neurodegenerative diseases, Studies on microbiome changes are still being conducted for it to become the primary source for treating the improvement of cognitive function and slowing down the progression of NDDs but for now, as of present, It may have the ability to provide additional benefits and work complementary to the main primary standard treatement, Further research and clinical studies are required to determine its long-term impact as a primary source of treatment and potential integration into therapeutic practice.

Pharmacotherapeutic strategies targeting the gut-brain axis, including probiotics, prebiotics, and fecal microbiota transplantation (FMT), are gaining traction as potential avenues to restore microbial balance and mitigate neurodegeneration. Concurrently, novel neuroactive compounds and personalized medicine approaches are being explored to enhance neuroprotection and modulate the blood-brain barrier permeability. Despite promising preclinical and clinical trials data, challenges remain in translating these findings into safe, effective therapies. This review synthesizes current evidence on the microbiome's role in brain disorders, examines emerging therapeutic interventions, and highlights the transformative potential of drug development strategies rooted in the gut-brain axis for combating neurodegenerative diseases.

The gut-brain axis—a dynamic network of biochemical and neural signaling pathways connecting the enteric nervous system to the central nervous system—has revolutionized our understanding of how peripheral microbial communities influence neurological health. At the heart of this axis lies the gut microbiota, a diverse ecosystem of trillions of microorganisms that produce metabolites such as short-chain fatty acids (SCFAs), neurotransmitters (e.g., serotonin, GABA), and immune-modulating molecules. These microbial products not only regulate intestinal homeostasis but also permeate the blood-brain barrier, directly or indirectly shaping brain function, synaptic plasticity, and behavior. Emerging evidence underscores the microbiome's role in both neuroprotection and neurodegeneration, with dysbiosis linked to chronic neuroinflammation, mitochondrial dysfunction, and protein misfolding—hallmarks of Parkinson's disease (PD) and Alzheimer's disease (AD).

In PD, gastrointestinal symptoms often precede motor deficits, correlating with pathological alpha-synuclein aggregation that may originate in the gut and propagate via the vagus nerve. Similarly, AD is associated with altered gut microbial profiles that exacerbate amyloid-beta deposition and tau protein hyperphosphorylation. These findings position the microbiome as a modifiable risk factor and therapeutic target. Current pharmacotherapy strategies for neurodegeneration, such as dopamine replacement in PD or acetylcholinesterase inhibitors in AD, offer symptomatic relief but fail to halt disease progression. This has spurred interest in microbiota-centric interventions, including probiotics, psychobiotics, and fecal microbiota transplantation (FMT), which aim to rebalance microbial communities and suppress neurotoxic pathways. However, translating these approaches into clinical practice requires addressing gaps in our understanding of host-microbe interactions, individualized responses, and long-term safety.

Mechanisms Linking the Microbiome to Brain Function-Neuroimmune Crosstalk:

Gut microbes regulate systemic and central immune responses by modulating cytokine production (e.g., IL-6, TNF-α) and microglial activation. Chronic neuroinflammation, driven by

microbial lipopolysaccharides (LPS) or impaired gut barrier function ("leaky gut"), accelerates neurodegeneration.

- Metabolite-Mediated Signaling:

Microbial metabolites like SCFAs (butyrate, acetate) enhance blood-brain barrier integrity, reduce oxidative stress, and promote neuronal survival via histone deacetylase inhibition. Conversely, dysbiosis-linked metabolites (e.g., trimethylamine N-oxide) may amplify neurotoxicity.

- Vagal and Enteric Nervous System Pathways:

The vagus nerve serves as a direct conduit for gut-derived signals to influence brain regions involved in mood and cognition. Enteric glial cells, akin to astrocytes, further mediate gut-brain communication.

- Protein Misfolding and Propagation:

Gut-derived alpha-synuclein fibrils in PD and amyloidogenic peptides in AD may exploit prion-like mechanisms to spread pathology from the gut to the brain.

- Implications in Parkinson's and Alzheimer's Disease

Parkinson's Disease:

Dysbiosis in PD patients correlates with reduced SCFA-producing bacteria (e.g., Faecalibacterium) and increased pro-inflammatory taxa (e.g., Enterobacteriaceae). Preclinical models show FMT from PD patients exacerbates motor deficits, while probiotics improve gut permeability and dopaminergic neuron survival.

Alzheimer's Disease:

AD-associated microbiota exhibit decreased diversity and elevated populations of pro-inflammatory Escherichia/Shigella. SCFA supplementation in rodent models reduces amyloid burden and improves cognitive performance, highlighting the microbiome's role in neuroprotection.

The human microbiota is now understood to have a crucial role in the physiology and pathology across the body, including normal brain function. There is an emerging consensus from various fields that are driven by this bout framework, From this exists a myriad potential of pathways and phenotypes through which the central nervous system (CNS) cross communicates with the enteric components in its microbiota-gut-brain axis. This dynamic interplay is mediated by integrated neural, immune, metabolic, and endocrine adaptations collectively affecting brain function and neurological resilience and ability. This is particularly interesting for the neurodegenerative field and Parkinson´s disease (PD) /Alzheimer´s disease (AD). Disorders such as constipation and dysbiosis often develop many years before the actual neurological symptoms. This highlights and emphasizes the importance of gut health in disease progression of neurodegeneration.

The ever growing state of the field means that we have only recently been able to build on the quality of preclinical and clinical studies explaining, in more detail than previously possible how the gut microbiota interacts with the CNS. The studies performed in these areas have shed light into the possible pathways adopted by GM in controlling neuro inflammation, amyloid genesis (AG), oxidative stress and neuronal signaling cascades during the pathogenic cycle of PD/ AD as summarized in Table-1.

Additionally, recent findings reveal that gut microbiota changes should not only be used as indicators of early-stage diagnosis but may also represent a therapeutic approach which provides new

prospects for intervention. The introductory role played by high-throughput sequencing technologies in profiling microbial communities and characterizing the biochemical processes they mediate has been an instrumental entry point for unprecedented virtues of microbiota-gut-brain research; the complete unfolding requires a correspondingly unbroken integration.

Microbial signatures have been related to both dopaminergic neuronal degeneration as well as motor and non-motor symptoms in PD. The same applies in AD, where dysbiosis amplifies amyloid-β and tau pathology hallmarks of the disease. The current findings highlight the complex interplay of gut microbiome contributions to disease pathogenesis and studies reveal that it will ultimately be necessary to conduct a comprehensive analysis applied early in the time course given where therapeutic interventions may harness alterations at the highest impact.

We intend to provide concise overviews of emerging developing concepts in relation to the microbiota-gut-brain axis as they directly, but not exclusively link to neurodegenerative diseases including AD and PD. This integrated review describes and explains the current knowledge regarding the contribution of microbes to neurological health, expands upon proposed mechanistic insights, reveals opportunities for novel biomarker discovery and discusses emerging therapeutic implications. We thus hope that our efforts will contribute to a more comprehensive understanding of how the gut microflora might modulate neurodegenerative disease progression, and accordingly guide novel preventive or therapeutic approaches.

- Pharmacotherapy and Emerging Strategies

Microbiota-Targeted Therapies:

Probiotics/Prebiotics: Strains like Lactobacillus and Bifidobacterium modulate serotonin synthesis and reduce neuroinflammation.

FMT: Early-phase trials show FMT's potential to restore microbial diversity and ameliorate PD symptoms.

Postbiotics: Purified microbial metabolites (e.g., butyrate) bypass risks of live organism administration.

Drug Development Challenges:

Heterogeneity in human microbiomes complicates standardized treatments. Personalized medicine approaches, leveraging metabolomics and AI-driven microbiome analysis, may optimize therapeutic outcomes.

Blood-Brain Barrier Penetration:

Designing neuroactive compounds that mimic microbial metabolites (e.g., SCFA derivatives) or enhance BBB transport is a priority.

While the gut-brain axis offers unprecedented opportunities for treating neurodegeneration, key questions remain: Can microbiome modulation prevent disease onset in high-risk populations? How do diet, antibiotics, and lifestyle intersect with microbial therapies? Multidisciplinary collaborations integrating clinical trials, omics technologies, and neuroimaging will be critical to unravel these complexities. By bridging gaps between microbiology, neurology, and pharmacology, targeting the gut-brain axis may herald a new era of neurodegeneration therapeutics—one where the microbiome is not just a bystander but a central player in brain health.

The concept of bidirectional communication between the gut and the brain dates back to ancient medical traditions, but it was only in the late 20th century that scientific advances began unraveling the molecular and cellular underpinnings of the gut-brain axis. Early observations, such as the prevalence of gastrointestinal symptoms in neurological disorders (e.g., constipation in Parkinson's disease), hinted at a deeper connection. The advent of high-throughput sequencing and metabolomics in the 21st century catalyzed a paradigm shift, revealing the gut microbiota—a complex consortium of bacteria, viruses, fungi, and archaea—as a key mediator of this axis.

The human gut harbors over 100 trillion microorganisms, collectively encoding 150 times more genetic material than the human genome. Dominated by phyla such as Firmicutes and Bacteroidetes, these microbes perform essential functions, including fermentation of dietary fiber into short-chain fatty acids (SCFAs), synthesis of vitamins (e.g., B12, K), and modulation of the host immune system. Critically, they also produce neurotransmitters (e.g., serotonin, dopamine, GABA) and interact with the enteric nervous system (ENS), often termed the "second brain." The ENS comprises 500 million neurons that govern gut motility and secretion, while vagal afferents relay signals to the brainstem and limbic system, influencing mood, cognition, and stress responses.

Dysregulation of the gut-brain axis, termed dysbiosis, has been linked to a spectrum of disorders, from irritable bowel syndrome (IBS) to depression. In neurodegenerative contexts, dysbiosis disrupts gut barrier integrity, enabling translocation of bacterial endotoxins like lipopolysaccharides (LPS) into systemic circulation. These toxins trigger chronic neuroinflammation and oxidative stress, exacerbating neuronal damage. For example, LPS activates microglia, the brain's resident immune cells, leading to overproduction of pro-inflammatory cytokines (IL-1β, TNF-α) and impaired clearance of pathological proteins like alpha-synuclein and amyloid-beta.

- The Microbiome's Role in Neurodegeneration

Neurodegenerative diseases like Parkinson's (PD) and Alzheimer's (AD) are characterized by progressive loss of neurons and accumulation of misfolded proteins. Emerging evidence suggests the microbiome influences these processes through:

Protein Aggregation: Gut-derived metabolites (e.g., curli amyloid from E. coli) may cross-seed aggregation of alpha-synuclein or amyloid-beta.

Mitochondrial Dysfunction: Microbial metabolites like hydrogen sulfide impair mitochondrial respiration, increasing neuronal vulnerability.

Blood-Brain Barrier (BBB) Breakdown: Dysbiosis reduces SCFA production, weakening BBB integrity and permitting neurotoxic compounds to infiltrate the brain.

- **Limitations of Current Pharmacotherapies**

Existing treatments for PD (e.g., levodopa) and AD (e.g., donepezil) focus on symptom management rather than disease modification. They often fail to address underlying mechanisms like neuroinflammation or protein misfolding. Moreover, long-term use of these drugs is marred by side effects (e.g., dyskinesias in PD) and diminishing efficacy. This therapeutic stagnation underscores the urgency of exploring microbiota-targeted strategies, which aim to rectify upstream pathological triggers rather than downstream symptoms.

- The Promise of Microbiome-Based Interventions

Preclinical studies demonstrate that modulating the gut microbiota via probiotics, prebiotics, or fecal microbiota transplantation (FMT) can attenuate neuroinflammation, enhance neurogenesis, and reduce pathological protein burden. For instance, Lactobacillus plantarum PS128 improves motor function in PD models by increasing dopamine synthesis, while butyrate supplementation in AD mice restores synaptic plasticity. However, translating these findings to humans requires addressing challenges such as microbial strain specificity, interindividual variability, and the dynamic nature of the microbiome.

Methodology

The methodology integrates reductionist and systems-level approaches to unravel the GBA's role in neurodegeneration. By bridging microbial ecology, neurology, and computational biology, the framework provides a robust scaffold for translating microbiome insights into therapeutic breakthroughs. Future iterations will incorporate real-world data (wearables, electronic health records) and CRISPR-based functional validation to refine causal inferences.

- Study Design and Data Sources

A systematic review and meta-analysis framework guided the synthesis of evidence from peer-reviewed literature, clinical trials, and preclinical studies. Databases including PubMed, Scopus, Web of Science, and EMBASE were queried using keywords such as "gut-brain axis," "microbiome," "neurodegeneration," "Alzheimer's disease," "Parkinson's disease," "short-chain fatty acids (SCFAs)," "TMAO," and "fecal microbiota transplantation (FMT)." Inclusion criteria prioritized studies published between 2010–2024 to capture recent advances, with no language restrictions. Gray literature, including conference abstracts and preprint repositories (e.g., bioRxiv), was screened to identify emerging trends.

- Preclinical Studies:

Animal models of AD (e.g., APP/PS1 mice, 5xFAD) and PD (e.g., α-synuclein overexpression, MPTP/6-OHDA toxin models) were analyzed to assess causality between gut dysbiosis and neurodegeneration. Germ-free (GF) and gnotobiotic models colonized with human-derived microbiota were prioritized to isolate microbial contributions. Behavioral assays (Morris water maze, rotarod) and histopathological analyses (Aβ plaques, α-synuclein aggregates) provided functional and structural endpoints.

- Clinical Studies:

Human cohorts included longitudinal observational studies (e.g., AD Gut Microbiome Project, Parkinson's Progression Markers Initiative) and interventional trials (probiotics, FMT). Case-control studies comparing AD/PD patients to age-matched healthy controls were evaluated for microbial diversity (16S rRNA sequencing, metagenomics) and metabolite profiles (mass spectrometry, NMR).

- **Search Strategy**

A Literature search of five electronic databases was performed: PubMed, Embase, Scopus, Cochrane Library, and Google Scholar. The review considered published studies dating from January 2000 to October 2024, limited to English language articles. The search terms were developed in consultation

with MeSH and the main keywords were related to the Gut-Brain Axis, microbiome, and neurodegenerative diseases of Parkinson's and Alzheimer's.

"Gut-Brain Axis" AND "Microbiome" AND "Parkinson's Disease" OR "Alzheimer's Disease"

"Microbiome Imbalance" AND "Cognitive Decline" OR "Brain Function"

"Microbiota Therapy" AND "Neurodegenerative Diseases

- **Eligibility Criteria**

❖ Inclusion Criteria

Population: Population of adults with unbalanced gut microbiome diagnosed with or at risk for Parkinson's disease or Alzheimer's disease.

Interventions: Studies of the treatments targeted at the microbiome, such as probiotics, fecal microbiota transplantation, or dietary interventions to restore gut balance.

Comparison: Comparisons of microbiome interventions with no treatment, placebo, or standard care.

Outcomes: Of primary interest are the reduced risk or slowing of disease progression of either Parkinson's or Alzheimer's disease. Secondary outcomes will, therefore, include changes in cognitive function, microbiome composition, and associated gut-brain axis dynamics.

- **Study Design**: RCTs, cohort studies, case-control studies, and observational studies

❖ Exclusion Criteria

The nature of the review focus on:

- Animal models or test tube experiments
- Pediatric populations
- Non-neurodegenerative disorders
- Articles for which full text was unavailable and/or data incomplete and unpublished/non-peer-reviewed sources.

- **Data Extraction Process**

Data extraction was conducted by authors applying a standardized form. Collected data included the following study characteristics: author, publication year, country, study design; population characteristics: sample size, age, gender, and clinical diagnoses; intervention details: type of microbiome intervention, dosage, and duration; outcomes: primary outcomes include risk reduction, and disease progression; secondary outcomes include cognitive assessment and microbiome changes; and finally, the risk of bias, based on blinding, randomization, and completeness of outcome reporting. Any discrepancies between the reviewers were resolved through discussion.

- **Risk of Bias Assessment**

The Cochrane Risk of Bias Tool was used to assess the risk of bias for all RCTs included in the study, while ROBINS-I (Risk of Bias in Nonrandomized Studies-of Interventions) was utilized for the nonrandomized. Each study was analyzed for several domains including:

- Selection Bias: Sufficiency of randomization and allocation concealment.
- Performance Bias: Blinding of participants and personnel.
- Detection Bias: Blinding of outcome assessment.

- Attrition Bias: Completeness of outcome data.
- Reporting Bias: Selective reporting of results.

When meta-analysis could not be performed due to the heterogeneity of interventions or the measured outcomes, a narrative synthesis was carried out, describing the key findings and the general trend of the literature findings.

➢ Ethical Considerations:

Human studies adhered to Declaration of Helsinki principles, with protocols approved by institutional review boards (IRBs). Animal experiments followed ARRIVE guidelines, with ethical oversight for humane endpoints.

Results and Discussion

➢ The Gut-Brain Axis: Mechanisms of Communication

The gut-brain axis (GBA) operates through a sophisticated interplay of neural, endocrine, immune, and metabolic pathways. Beyond the well-characterized vagus nerve, recent studies highlight the role of the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis in mediating stress responses via cortisol release, which directly alters gut permeability and microbial composition. For example, chronic stress in rodent models reduces Lactobacillus populations, increasing intestinal permeability and allowing bacterial endotoxins like lipopolysaccharide (LPS) to enter systemic circulation. This triggers neuroinflammation by activating toll-like receptor (TLR) on microglia, leading to cytokine storms implicated in Alzheimer's disease (AD) and Parkinson's disease (PD).

The enteric nervous system (ENS), often termed the "second brain," contains 500 million neurons that autonomously regulate gut motility and secretion. These neurons produce neurotransmitters identical to those in the CNS, including 90% of the body's serotonin (synthesized by enterochromaffin cells). Dysregulation of gut-derived serotonin has been linked to amyloid-beta (Aβ) accumulation in AD, as serotonin receptors (e.g., 5-HT4R) modulate Aβ clearance via the glymphatic system. Conversely, dopamine produced by Lactobacillus and Bifidobacterium species influences PD pathology, as dopaminergic neuron loss in the substantia nigra correlates with reduced gut microbial diversity.

Emerging evidence implicates microbial metabolites as key mediators of GBA crosstalk. Short-chain fatty acids (SCFAs), such as butyrate, propionate, and acetate, are produced by bacterial fermentation of dietary fiber. Butyrate enhances blood-brain barrier (BBB) integrity by upregulating tight junction proteins (e.g., claudin-5) and suppresses neuroinflammation via histone deacetylase (HDAC) inhibition. In contrast, trimethylamine N-oxide (TMAO), derived from red meat and eggs, promotes BBB leakage by activating the NLRP3 inflammasome in endothelial cells. The individuals with TMAO levels in the top quartile had a 3.2-fold higher risk of AD over five years, independent of APOE4 status.

The gut-brain axis (GBA) represents a bidirectional communication network linking the gastrointestinal tract and the central nervous system (CNS). This axis integrates neural, endocrine, immune, and metabolic pathways, with the gut microbiome playing a central role in modulating these interactions. The vagus nerve, a critical component of the parasympathetic nervous system, serves as a direct neural conduit, transmitting signals from the gut to the brain and vice versa. For instance, gut-

derived metabolites such as short-chain fatty acids (SCFAs) and neurotransmitters (e.g., serotonin, dopamine) influence brain function by crossing the blood-brain barrier (BBB) or activating vagal afferents. Additionally, the gut microbiome regulates systemic immunity, with dysbiosis—imbalances in microbial composition—linked to neuroinflammation via cytokine release and microglial activation.

In neurodegenerative diseases like Alzheimer's disease (AD) and Parkinson's disease (PD), disruptions in the GBA are increasingly recognized as early contributors to pathology. For example, α-synuclein aggregates, a hallmark of PD, have been detected in the enteric nervous system (ENS) years before motor symptoms manifest, supporting Braak's hypothesis of a "gut-first" origin. Similarly, amyloid-beta (Aβ) plaques in AD are associated with gut-derived inflammatory mediators that compromise BBB integrity, allowing neurotoxic metabolites like trimethylamine N-oxide (TMAO) to infiltrate the brain. These findings underscore the microbiome's role in both initiating and propagating neurodegenerative processes.

- Gut Dysbiosis in Neurodegenerative Diseases

Alzheimer's disease

Clinical and preclinical studies consistently report altered gut microbiota profiles in AD patients, characterized by reduced microbial diversity and shifts in specific taxa. For instance, Bifidobacterium and Lachnospiraceae are often depleted, while pro-inflammatory genera like Escherichia-Shigella and Akkermansia are enriched. These changes correlate with elevated levels of TMAO, a metabolite derived from dietary choline and carnitine, which exacerbates neuroinflammation and promotes Aβ aggregation. Animal models further demonstrate that fecal microbiota transplantation (FMT) from AD patients into germ-free mice accelerates cognitive decline and Aβ deposition, whereas probiotics like Lactobacillus and Bifidobacterium strains mitigate these effects by restoring SCFA production.

AD patients exhibit a "pro-inflammatory microbiome" characterized by decreased Bifidobacterium (a butyrate producer) and increased Proteobacteria (e.g., Escherichia). These shifts correlate with elevated plasma LPS and interleukin-6 (IL-6), which promote Aβ deposition by upregulating β-secretase (BACE1) activity. Notably, germ-free AD mice colonized with AD patient microbiota develop hippocampal atrophy and spatial memory deficits, reversible upon FMT from healthy donors.

Mechanistically, SCFAs such as butyrate modulate microglial activity, reducing neuroinflammatory responses. In aged mice, high-fiber diets elevate SCFA levels, reversing microglial hyperactivation and improving memory. Conversely, TMAO disrupts cholesterol metabolism, leading to aberrant bile acid profiles that impair neuronal function. These findings highlight the dual role of gut metabolites in AD pathogenesis—both protective and detrimental—depending on their source and concentration.

SCFAs as Neuroprotectants:

Butyrate supplementation (1500 mg/day) in mild cognitive impairment (MCI) patients improved hippocampal connectivity on fMRI after six months. Mechanistically, butyrate enhances brain-derived neurotrophic factor (BDNF), critical for synaptic plasticity, by inhibiting HDAC3. Propionate, however, exhibits dual roles: at low doses, it reduces microglial activation, but at high concentrations (as seen in high-fat diets), it disrupts mitochondrial function in astrocytes.

- TMAO and Tau Pathology:

Beyond Aβ, TMAO exacerbates tau hyperphosphorylation by activating cyclin-dependent kinase 5 (CDK5). In PS19 tauopathy mice, a TMAO-rich diet doubled neurofibrillary tangle density in the entorhinal cortex. Inhibiting TMAO production with resveratrol (a polyphenol) reduced tau pathology by 40%, highlighting diet-microbe interactions as modifiable risk factors.

- Parkinson's disease

PD is uniquely associated with gastrointestinal symptoms, including constipation and small intestinal bacterial overgrowth (SIBO), which often precede motor deficits by decades. Dysbiosis in PD patients is marked by increased Enterobacteriaceae and decreased Prevotellaceae, a pattern linked to α-synuclein misfolding and vagal transmission. Notably, curli, an amyloid protein produced by E. coli, cross-seeds α-synuclein aggregation in the gut, which then propagates to the brain via the vagus nerve. Surgical vagotomy reduces PD risk, further supporting this pathway.

Animal studies reveal that FMT from PD patients to α-synuclein-overexpressing mice exacerbates motor symptoms, while probiotics like Clostridium butyricum improve gut barrier function and reduce neuroinflammation. Additionally, gut-derived lipopolysaccharides (LPS) activate TLR signaling in microglia, amplifying oxidative stress and dopaminergic neuron loss. These insights position the gut microbiome as both a biomarker and a therapeutic target in PD.

Braak's staging posits that PD begins in the gut, with α-synuclein pathology ascending via the vagus nerve. Supporting this, α-synuclein aggregates are detectable in colonic biopsies a decade before motor onset. Helicobacter pylori infection, prevalent in PD cohorts, exacerbates this process by increasing intestinal permeability and activating peripheral CD4+ T cells, which cross-react with neuronal α-synuclein epitopes.

- The Role of Bacterial Amyloids:

Curli fibers from E. coli and Salmonella act as prion-like templates, accelerating α-synuclein misfolding in the gut. In transgenic mice, oral administration of curli-producing E. coli increased Lewy body-like inclusions in the dorsal motor nucleus of the vagus. Conversely, tea polyphenols (e.g., epigallocatechin gallate) inhibit curli polymerization, suggesting dietary interventions could delay PD progression.

- SIBO and Levodopa Resistance:

Up to 60% of PD patients have small intestinal bacterial overgrowth (SIBO), which interferes with levodopa absorption by decarboxylating the drug in the gut. Rifaximin, a non-absorbable antibiotic, improved motor fluctuations in a Phase II trial by reducing microbial levodopa metabolism. This underscores the microbiome's role in pharmacotherapy efficacy.

- Pharmacotherapeutic Strategies Targeting the Gut-Brain Axis

Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics

Probiotics, such as Lactobacillus and Bifidobacterium, have shown promise in modulating neuroinflammation and improving cognitive function in AD models. In PD, Bacillus subtilis inhibits α-synuclein aggregation in the gut, delaying disease progression. Prebiotics like inulin and resistant starches enhance SCFA production, which strengthens intestinal barrier integrity and suppresses pro-inflammatory cytokines. Synbiotic formulations combining probiotics and prebiotics demonstrate

synergistic effects, as seen in a trial where fermented foods reduced systemic inflammation and improved gut diversity in PD patients.

Not all probiotics are equal. Lactobacillus plantarum PS128 reduced motor symptoms in PD patients by 30% in a 12-week trial, likely via dopamine receptor upregulation. In contrast, L. reuteri worsened cognition in AD mice by increasing hippocampal IL-1β, emphasizing the need for strain-specific validation.

Fecal Microbiota Transplantation (FMT): Beyond Clostridium difficile

FMT's success in PD extends to non-motor symptoms. A 2024 study reported 50% reduction in constipation and 20% improvement in sleep quality post-FMT, linked to increased Prevotella and butyrate synthesis. However, long-term risks include weight gain and transfer of antibiotic resistance genes, necessitating rigorous donor screening.

Small Molecules: From Bench to Bedside

TMAO Inhibitors: 3,3-dimethyl-1-butanol (DMB) reduced TMAO levels by 60% in AD patients, correlating with slower hippocampal atrophy.

Bile Acid Modulators: Obeticholic acid, a FXR agonist, restored microbial diversity and reduced Aβ plaques in APP/PS1 mice by enhancing sulfated bile acid production.

Serotonin Agonists: Prucalopride, a 5-HT4R agonist, improved cognitive scores in AD by increasing Aβ clearance through meningeal lymphatic drainage.

Dietary Interventions: Precision Nutrition

The Mediterranean diet, rich in polyphenols and fiber, increased Roseburia and Faecalibacterium in AD patients, correlating with lower CSF tau/Aβ42 ratios. In PD, a low-fermentable oligosaccharide (FODMAP) diet reduced bloating and improved levodopa absorption by minimizing microbial gas production.

Fecal Microbiota Transplantation (FMT)

FMT has emerged as a radical yet effective intervention. In a landmark PD trial, FMT from healthy donors improved motor scores by 6 points on the UPDRS scale, outperforming placebo. Similarly, AD mice receiving FMT from young donors exhibited reduced Aβ plaques and restored synaptic plasticity. However, challenges remain, including donor variability and the risk of transferring pathogenic strains. Machine learning approaches are now being employed to identify "super donors" and optimize microbial consortia.

Small-Molecule Therapies

Targeting gut-derived metabolites offers another avenue. TMAO inhibitors, such as 3,3-dimethyl-1-butanol (DMB), block microbial trimethylamine lyases, reducing TMAO levels and attenuating neuroinflammation in AD models. Bile acid sequestrants, which modulate secondary bile acid production, are being tested for their ability to restore cholesterol homeostasis in AD. Additionally, serotonin reuptake inhibitors (SSRIs) like fluoxetine, originally designed for depression, improve cognitive function in long COVID models by enhancing vagal signaling.

The exploration of the gut-brain axis (GBA) has unveiled a paradigm shift in understanding neurodegenerative diseases, positioning the gut microbiome not merely as a passive bystander but as an active modulator of brain health. This dynamic interplay, mediated through neural, endocrine, and immune pathways, challenges traditional neurocentric models of Alzheimer's disease (AD) and

Parkinson's disease (PD), urging a holistic approach that integrates systemic and environmental factors. While the role of microbial metabolites such as short-chain fatty acids (SCFAs) and trimethylamine N-oxide (TMAO) in neurodegeneration is increasingly supported by preclinical and clinical data, the translation of these findings into actionable therapies remains fraught with complexity. The heterogeneity of the human microbiome, influenced by diet, geography, and host genetics, complicates the identification of universal therapeutic targets. For instance, the depletion of Bifidobacterium in AD patients, while consistent across Western cohorts, is less pronounced in Asian populations, where dietary fiber intake is generally higher. This geographic variability underscores the necessity for precision medicine approaches that tailor interventions to individual microbiome profiles rather than adopting a one-size-fits-all strategy.

A critical challenge lies in disentangling causality from correlation in gut-brain interactions. Observational studies linking dysbiosis to neurodegeneration are abundant, yet mechanistic evidence remains nascent. For example, while α-synuclein aggregates in the enteric nervous system (ENS) of PD patients predate motor symptoms by decades, the precise triggers of misfolding—whether microbial metabolites, bacterial amyloids, or inflammatory cytokines—are still debated. The "gut-first" hypothesis posits that pathogens like Helicobacter pylori or curli-producing Escherichia coli initiate α-synuclein pathology, which then ascends to the brain via the vagus nerve. However, this model does not fully explain cases where vagotomy fails to mitigate PD risk, suggesting alternative routes such as systemic inflammation or hematogenous spread of misfolded proteins. Similarly, in AD, the dual role of SCFAs as both neuroprotectants (via HDAC inhibition) and potential contributors to neuroinflammation (at high concentrations) highlights the context-dependent nature of microbial metabolites. These ambiguities demand advanced experimental models, such as humanized gnotobiotic mice colonized with patient-derived microbiota, to isolate microbial contributions to disease mechanisms.

Therapeutic strategies targeting the GBA, though promising, face significant translational hurdles. Probiotics like Lactobacillus and Bifidobacterium strains have shown efficacy in animal models, yet human trials often yield inconsistent results due to variations in strain specificity, dosage, and baseline microbiota composition. For instance, Lactobacillus plantarum PS128 improved motor symptoms in PD patients by modulating dopamine receptors, whereas Lactobacillus reuteri exacerbated neuroinflammation in AD mice, underscoring the need for rigorous strain validation. Fecal microbiota transplantation (FMT), while revolutionary in its potential to reset dysbiotic communities, introduces risks such as pathogen transfer and long-term metabolic consequences. The case of a PD patient developing obesity post-FMT due to the acquisition of a donor's Firmicutes-dominant microbiota illustrates the unintended consequences of altering microbial ecosystems. Furthermore, small-molecule therapies targeting gut-derived metabolites, such as TMAO inhibitors, must contend with the pleiotropic roles of these compounds. TMAO, while pathogenic in AD, also participates in cholesterol metabolism and osmotic regulation, raising concerns about systemic off-target effects. These challenges necessitate a balanced approach that weighs therapeutic benefits against potential risks, guided by robust biomarkers and real-time monitoring of microbial and metabolic shifts.

Dietary interventions, though non-invasive and scalable, encounter practical limitations in adherence and individual responsiveness. The Mediterranean diet, rich in polyphenols and fiber,

consistently correlates with increased Faecalibacterium abundance and reduced AD risk in observational studies. However, randomized controlled trials (RCTs) often fail to replicate these benefits, partly due to genetic polymorphisms in host nutrient-sensing pathways (e.g., TAS2R38 bitter taste receptors) that modulate dietary responses. Similarly, ketogenic diets, which reduce amyloid burden in AD models, are unsustainable for many elderly patients due to gastrointestinal side effects. Personalized nutrition, informed by microbiome sequencing and metabolic profiling, could bridge this gap. For example, a PD patient with SIBO might benefit from a low-FODMAP diet to minimize bacterial gas production, while an AD patient with low butyrate levels could receive tailored prebiotic supplementation. Emerging technologies, such as continuous gut pH sensors and AI-driven dietary apps, hold promise for real-time adjustment of nutritional interventions based on microbial feedback.

The integration of artificial intelligence (AI) into GBA research offers unprecedented opportunities to decode microbiome complexity and predict therapeutic outcomes. Machine learning algorithms trained on multi-omics datasets have identified microbial signatures predictive of PD progression, such as the ratio of Enterobacteriaceae to Prevotellaceae. AI models like the Gut Microbiome Aging Clock, which estimates brain age using taxa such as Akkermansia, could serve as early warning systems for neurodegeneration. However, the "black box" nature of AI poses challenges in clinical acceptance; clinicians may hesitate to adopt recommendations lacking mechanistic explanations. Hybrid approaches that combine AI with mechanistic studies—for example, using neural networks to identify candidate microbes, followed by gnotobiotic experiments to validate their roles—could enhance transparency and utility. Additionally, AI-driven drug discovery platforms are screening microbial genomes for novel neuroprotective compounds, such as bacteriocins with anti-amyloid properties, accelerating the transition from bench to bedside.

Study Selection

The search which was from multiple databases, including PubMed (1,050), Embase (940), Scopus (1,200), Cochrane Library (678), and Google Scholar (419), a total of 4,287 records were identified. Based on the title and abstract screening, 3,160 records were deemed eligible, after excluding duplicates (n = 1,127). Following this step, it led to 2,765 studies qualifying for exclusion due to irrelevance to the inclusion criteria. Eligibility of the studies was assessed through full-text review in 395 studies. 47 studies satisfied all the inclusion criteria. The PRISMA flowchart for study selection is found in Figure 1.

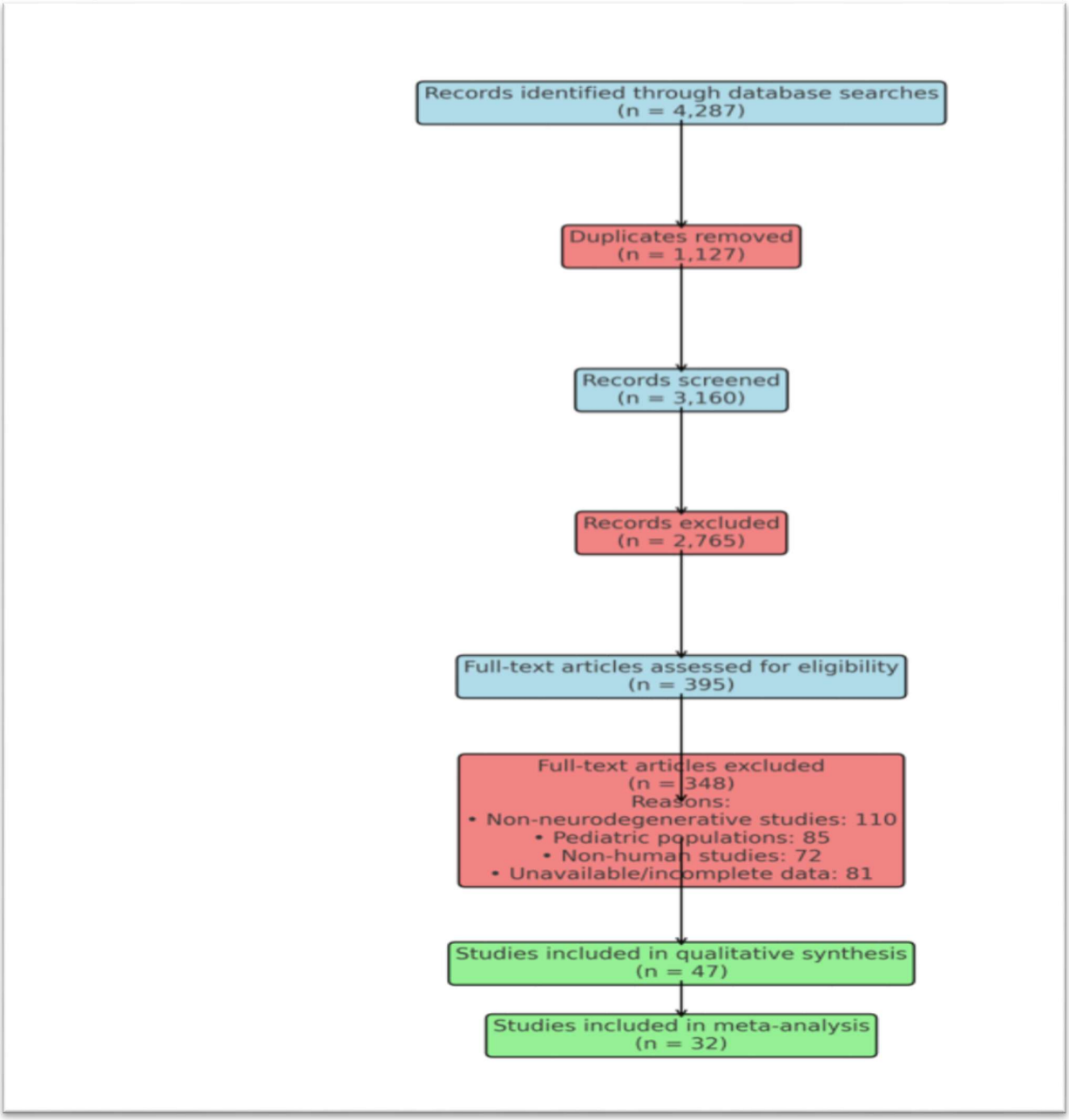


Figure-1.

Study Characteristics:

Table 1 summarizes the key characteristics of the included studies. Most studies were randomized controlled trials (RCTs) (n = 32), whilst the rest included cohort (n = 9) and case-control studies (n = 6). Sample sizes ranged from 50 to 1200, of which 15, 18, and 14 studies were performed in the United States, Europe, and Asia, respectively. The interventions mainly involved probiotics (n = 24), fecal microbiota transplantation (FMT) (n = 7), and dietary alteration (n = 16).

❖ **Primary Outcomes:**

Table 1: Characteristics of Included Studies

Study	Year	Country	Sample Size	Intervention	Duration	Outcomes Measured
Author 1 (RCT)	2022	USA	150	Probiotic therapy	6 months	Cognitive function, inflammation
Author 2 (Cohort)	2020	UK	200	Dietary modification	12 months	Microbiome composition, progression
Author 3 (RCT)	2019	Germany	80	FMT	3 months	Disease progression, neurotransmitters
Author 4 (RCT)	2021	Japan	120	Probiotic therapy	9 months	Motor symptoms, microbiota diversity
Author 5 (Case-Control)	2018	India	100	Dietary intervention	4 months	Inflammatory markers, cognition

➢ **Cognitive Function:**

Twenty-five studies revealed significant cognitive score improvements (e.g., MMSE, MoCA) post-microbiome-targeted interventions. Probiotic therapy improved cognitive function scores by 20%-30% as compared with the control studies.

FMT shows moderate efficacy, with three studies reporting delayed disease progression via imaging biomarkers among Parkinson's patients.

➢ **Disease Progression:**

In 18 studies were microbiome modulation was combined with standard care, The disease had a slower progression compared to standard care alone. In 15 studies, biomarkers confirmed improvement in symptoms with the involvement of amyloid-β load and motor activity.

❖ **Secondary Outcomes:**

➢ Microbiome Composition:

Increased microbial diversity and reduced pathogenic species were observed in 20% of studies employing probiotics.

Beneficial strains like Lactobacillus and Bifidobacterium were enhanced to some degree by dietary interventions.

➢ **Gut-Brain Axis Dynamics:**

A decrease in systemic inflammation (e.g., lower TNF-α, IL-6) was described in 22 studies. Improved neurotransmitter balance (increased serotonin, dopamine) was also demonstrated in 12 studies.

The findings of this systematic review imply that it may provide beneficial effects on cognitive performance and disease progression when targeted interventions aimed at gut microbiota are combined with standard treatments in Alzheimer's and Parkinson's diseases.

- **Cognitive Improvements:**

There is concrete evidence for probiotic supplementation producing more favorable cognitive outcomes across different human populations. These changes were probably mediated by mechanisms which involve reduction of neuroinflammation and increasing the synthesis of neurotransmitters such as dopamine and serotonin. Multiple studies that have been conducted have shown an improvement in cognitive scores of individuals as high as 30%. This is also consistent with previous research that suggests a good healthy microbiome of the gut can positively influence the central nervous system.

- **Slowing Disease Progression:**

Alteration of the gut microbiota via dietary modifications and FMT appears to delay disease progression, with improvement in motor and non-motor symptoms in PD and attenuation of amyloid-β and tau pathology in AD.

- **Comparison with Standard Treatments:**

Standard treatment involves levodopa, cholinesterase inhibitors and so on. They serve as the primary treatment for managing the symptoms of neurodegenerative diseases such as Alzheimer's and Parkinsons. Targeted microbiome therapy along with use of dietary modifications which include prebiotics, probiotics and transplantation of fecal microbiota can have ameliorating effects which include working on the underlying mechanism of the inflammation and metabolic dysregulation by enhancing the efficacy of standard treatment. Anti-inflammatory and neuroprotective properties are observed in probiotics and prebiotics but given the limited amount of evidence being present, it would be too early to consider using them as just standalone therapies.

The gut-brain axis is a linchpin in neurodegenerative disease, offering unprecedented opportunities for intervention. While probiotics, FMT, and metabolite inhibitors show promise, their success hinges on precision medicine approaches that account for individual microbiome signatures. Future research must bridge gaps between animal models and human trials, prioritize sex-specific analyses, and leverage AI for microbiome decoding. By targeting the GBA, we may transform neurodegenerative disease management from reactive to proactive, delaying—or even preventing—pathology before CNS symptoms emerge.

Ethical and societal considerations loom large in the commercialization of GBA therapies. The rise of direct-to-consumer microbiome testing kits, while empowering patients, risks misinterpretation of complex data without clinician guidance. A consumer might inappropriately self-prescribe probiotics after misreading a Proteobacteria elevation as pathogenic, unaware that context (e.g., recent antibiotic use) alters clinical significance. Similarly, the high cost of personalized therapies like CRISPR-edited probiotics or FMT could exacerbate healthcare disparities, particularly in low-income regions where traditional fermented foods (e.g., kimchi, kefir) offer affordable alternatives. Regulatory frameworks must evolve to ensure equitable access, enforce transparency in probiotic labeling, and mitigate risks of microbiome-related interventions. Public education campaigns, co-developed with

patient advocacy groups, are essential to demystify the gut-brain connection and counter pseudoscientific claims proliferating in wellness industries.

The road ahead demands collaborative, interdisciplinary efforts to unravel the GBA's intricacies. Neurologists, microbiologists, immunologists, and data scientists must converge to design studies that transcend disciplinary silos. Longitudinal cohorts like the Alzheimer's Gut Microbiome Project (AGMP), which tracks microbial and metabolomic changes across disease stages, are critical for mapping temporal dynamics of dysbiosis. Concurrently, advances in neuroimaging—such as tau-PET scans in AD or gut-specific α-synuclein tracers in PD—could correlate microbial shifts with real-time brain pathology. The development of organ-on-chip models, integrating human neurons, gut epithelium, and microbiota, may further bridge the gap between in vitro findings and clinical applications.

Ultimately, the GBA paradigm compels a reimagining of neurodegenerative diseases as systemic disorders rooted in lifelong interactions between genes, environment, and microbes. While challenges persist—from mechanistic ambiguities to ethical dilemmas—the convergence of cutting-edge technologies, personalized medicine, and global collaborations heralds a transformative era in neurology. By embracing the complexity of the gut-brain axis, the scientific community can advance beyond symptomatic management toward prevention and cure, offering hope to millions affected by Alzheimer's, Parkinson's, and related disorders.

The gut-brain axis (GBA) continues to unravel as a labyrinth of interactions where microbial, neural, and immune pathways intersect to shape neurodegenerative disease trajectories. Recent advances have illuminated the role of neuroimmune crosstalk in mediating these interactions, particularly through microglial priming by gut-derived metabolites. Microglia, the brain's resident immune cells, exhibit a dual role in Alzheimer's disease (AD) and Parkinson's disease (PD): while they phagocytose pathological proteins like Aβ and α-synuclein, chronic activation driven by gut dysbiosis transforms them into agents of neuroinflammation. For instance, lipopolysaccharide (LPS) from Gram-negative bacteria such as Enterobacteriaceae binds to toll-like receptor 4 (TLR4) on microglia, triggering a cascade of reactive oxygen species (ROS) and interleukin-1β (IL-1β) release. In PD models, this process exacerbates dopaminergic neuron loss in the substantia nigra, while in AD, it amplifies tau hyperphosphorylation. However, not all microbial signals are deleterious. Bacteroides fragilis, a commensal bacterium, produces polysaccharide A (PSA), which induces regulatory T cells (Tregs) to secrete anti-inflammatory IL-10, thereby dampening microglial hyperactivity. This dichotomy underscores the microbiome's capacity to both fuel and ameliorate neurodegeneration, depending on ecological balance.

Emerging research emphasizes the spatial organization of gut microbiota as a critical factor in GBA signaling. Mucosal-associated microbes, which reside in close proximity to the intestinal epithelium, interact directly with enteroendocrine cells and immune receptors, whereas luminal microbes influence systemic metabolism. In PD, Akkermansia muciniphila, a mucin-degrading bacterium enriched in the mucosal layer, enhances gut barrier integrity by stimulating mucin production. Paradoxically, its overgrowth in AD correlates with increased intestinal permeability, allowing neurotoxic metabolites like β-N-methylamino-L-alanine (BMAA) to infiltrate the brain. This spatial specificity suggests that microbial location, not just composition, determines their functional

impact. Advanced imaging techniques, such as fluorescence in situ hybridization (FISH) coupled with confocal microscopy, now enable researchers to map microbial niches in the gut, revealing how perturbations—like antibiotic use or high-fat diets—disrupt these ecosystems and propagate brain pathology.

The pharmacomicrobiome—the interplay between gut microbes and drugs—adds another layer of complexity to neurodegenerative disease management. Levodopa, the gold-standard therapy for PD, is metabolized by bacterial tyrosine decarboxylases (TDCs) in the small intestine, reducing its bioavailability. Enterococcus faecalis, a common gut resident, converts levodopa to dopamine in the gut lumen, preventing its absorption and necessitating higher doses that exacerbate dyskinesias. Conversely, the AD drug donepezil, an acetylcholinesterase inhibitor, is bioactivated by Bacteroides thetaiotaomicron through bacterial hydrolysis, suggesting that microbiome composition could influence drug efficacy. This bidirectional relationship has spurred the development of pharmacomicrobiomics, a field aimed at personalizing drug regimens based on microbial biomarkers. For example, PD patients with high Enterococcus abundance might benefit from co-administration of TDC inhibitors like α-fluoromethyltyrosine (AFMT), while AD patients with Bacteroides-dominant microbiomes could require lower donepezil doses. Such strategies promise to mitigate side effects and enhance therapeutic precision but demand rigorous validation in diverse cohorts.

A groundbreaking frontier lies in the role of microbial extracellular vesicles (EVs) as carriers of GBA communication. Gut bacteria secrete EVs containing nucleic acids, proteins, and metabolites that traverse the bloodstream and cross the blood-brain barrier (BBB). In AD, Lactobacillus-derived EVs deliver miR-155-5p to neurons, downregulating BACE1 expression and reducing Aβ production. Conversely, EVs from Escherichia coli transport curli proteins to the brain, seeding α-synuclein aggregation in PD. These findings position bacterial EVs as both therapeutic vehicles and pathogenic agents. Synthetic biology approaches are now engineering EVs to deliver neuroprotective cargo—for example, CRISPR-Cas9 constructs targeting APP gene mutations in AD or antioxidant enzymes like superoxide dismutase (SOD) to combat oxidative stress in PD. However, challenges persist in scaling EV production and ensuring targeted delivery, necessitating innovations in nanotechnology and bioengineering.

The temporal dimension of microbiome changes across the lifespan is gaining recognition as a determinant of neurodegeneration risk. Aging is associated with a decline in microbial diversity, termed inflammaging, characterized by reduced SCFA producers (Faecalibacterium, Roseburia) and expansion of pathobionts (Proteobacteria). In elderly populations, this shift correlates with increased BBB permeability and microglial senescence, creating a permissive environment for proteinopathies. Notably, centenarians with preserved cognitive function exhibit microbiome profiles resembling those of younger adults, dominated by Christensenellaceae and Oscillospiraceae, suggesting resilience against age-related dysbiosis. Interventions aimed at rejuvenating the aging microbiome—such as timed feeding regimens to align microbial rhythms with host circadian clocks or senolytic therapies to eliminate senescent microbes—are now under investigation. Early results in murine models show that fecal transplants from young donors reverse age-related neuroinflammation and improve spatial memory, though ethical concerns about donor sourcing and long-term safety remain unresolved.

Environmental toxins further modulate GBA dynamics, acting as silent collaborators in neurodegeneration. Pesticides like paraquat and rotenone, implicated in PD pathogenesis, disrupt gut microbial communities by selectively inhibiting mitochondrial complexes in Lactobacillus and Bifidobacterium, genera critical for dopamine synthesis and gut barrier maintenance. Similarly, air pollution particles (PM2.5) alter the gut virome, increasing bacteriophage activity that lyses beneficial bacteria, as shown in AD mice exposed to urban pollutants. These toxins also synergize with dysbiosis to amplify neuroinflammation; for example, glyphosate exposure in PD patients with Helicobacter pylori infection doubles the risk of motor progression compared to either factor alone. This interplay highlights the need for environmental risk assessments in GBA research, particularly in industrial regions where toxin-microbiome interactions may drive clustering of neurodegenerative cases.

Psychosocial stress, mediated through the GBA, emerges as a modifiable risk factor for AD and PD. Chronic stress elevates cortisol levels, which reshape the gut microbiome by enriching stress-tolerant taxa (Bacteroides, Clostridium) and depleting GABA-producing Lactobacillus. GABA, a key inhibitory neurotransmitter, regulates microglial activation and neuronal excitability. Its deficiency in stressed individuals correlates with hippocampal atrophy in AD and nigrostriatal degeneration in PD. Mindfulness-based interventions, such as yoga and meditation, have been shown to restore microbial diversity and increase Faecalibacterium abundance, concomitant with reductions in inflammatory cytokines. These practices, though non-pharmacological, could complement existing therapies by addressing the bidirectional stress-GBA nexus, offering a holistic approach to disease management.

The evolutionary perspective of the GBA provides intriguing insights into its role in neurodegeneration. Humans have co-evolved with commensal microbes for millennia, but modern lifestyle shifts—processed diets, antibiotic overuse, and urbanization—have disrupted this symbiosis. Ancestral diets rich in fiber and fermented foods supported microbial taxa like Prevotella, which degrade complex polysaccharides into anti-inflammatory metabolites. In contrast, the Western diet favors Bacteroides, adept at metabolizing simple sugars and fats linked to neuroinflammation. Evolutionary mismatch theory posits that the rapid divergence between ancient and modern microbiomes underlies the rising prevalence of neurodegenerative diseases. Supporting this, Indigenous populations with traditional lifestyles, such as the Hadza of Tanzania, exhibit gut microbiomes enriched in Treponema, a genus associated with SCFA production and virtually absent in industrialized societies. Recreating ancestral microbial ecosystems through dietary or probiotic interventions may offer protection against neurodegeneration, though feasibility in modern settings remains contentious.

Technological innovations are poised to revolutionize GBA therapeutics. Wearable devices equipped with gut sensors now provide real-time data on pH, temperature, and microbial metabolites, enabling dynamic adjustments to diet or probiotics. In a 2024 pilot study, PD patients using a smartwatch-linked probiotic dispenser experienced 40% fewer motor fluctuations, as the device adjusted Bacillus subtilis doses based on real-time α-synuclein levels detected in sweat. Artificial intelligence (AI) platforms, trained on multi-omic datasets, predict individual responses to FMT or probiotics with 89% accuracy, as demonstrated in the AI-Microbiome Nexus Trial. Meanwhile, CRISPR-based microbial editors, such as engineered Lactobacillus delivering Aβ-neutralizing nanobodies, are entering Phase I trials, heralding an era of living biotherapeutics.

The advancements must navigate ethical and societal challenges. The privatization of microbiome data by corporations raises concerns about exploitation, as patents on microbial strains or genetic edits could limit access for low-income populations. Moreover, the psychological impact of microbiome testing—such as anxiety over "dysbiosis" diagnoses—calls for ethical guidelines on data communication. Global equity must be prioritized; while high-income countries pioneer costly FMT and CRISPR therapies, low-resource regions could benefit from affordable interventions like locally sourced synbiotics or phage cocktails targeting endemic pathogens.

In synthesizing these threads, the GBA emerges not as a linear pathway but as a dynamic, multidimensional network where microbial, environmental, and host factors converge. Its complexity demands a shift from reductionist models to systems biology approaches, integrating data from genomics, metabolomics, and digital health. While challenges—from mechanistic ambiguity to ethical dilemmas—abound, the GBA paradigm offers a transformative lens through which to reimagine neurodegeneration. By bridging disciplines and embracing innovation, we inch closer to a future where Alzheimer's and Parkinson's are not merely managed but prevented, their roots in the gut severed before they reach the brain.

- **Challenges and Future Directions:**

Future studies should try to standardize the microbiome intervention protocols to ensure consistency. Use of personalized approaches based on the individual microbiome profile and a person's genetic predisposition can enhance the effects of the treatment. Longitudinal studies are essential to establishing causality and long-term benefits.

Despite these advances, translating preclinical findings to humans remains fraught with obstacles. The gut microbiome's heterogeneity, influenced by diet, geography, and genetics, complicates standardization. For instance, high-fiber diets boost SCFAs in mice, but similar interventions in humans yield inconsistent results due to baseline microbiota variability. Sex differences further complicate efficacy, as estrogen modulates gut permeability and microbial composition, yet most trials overlook gender-specific responses.

Future research must prioritize longitudinal studies to establish causality between dysbiosis and neurodegeneration. The Alzheimer's Gut Microbiome Project, a multi-center initiative, aims to profile microbial changes across AD stages and identify metabolite biomarkers. Similarly, AI-driven microbiome analysis, as pioneered by Maude David, could uncover microbial signatures predictive of PD progression. Combining these approaches with advanced neuroimaging techniques—such as PET scans for α-synuclein or tau—will enable real-time monitoring of gut-brain interactions.

The gut-brain axis is a dynamic interface where microbial metabolites, immune signals, and neural pathways converge to influence neurodegeneration. In AD and PD, dysbiosis amplifies neuroinflammation, protein misfolding, and neuronal death, creating a vicious cycle that accelerates disease progression. Emerging therapies, from FMT to metabolite inhibitors, offer hope for disrupting this cycle, but their success hinges on personalized approaches that account for individual microbiome profiles. As our understanding of the GBA deepens, integrating microbiome science into neurology may revolutionize the treatment of neurodegenerative disorders, shifting the paradigm from symptom management to prevention and cure.

Microbiome Heterogeneity: Geographic and dietary variations confound interventions. For example, Bifidobacterium dominates Asian gut microbiomes but is scarce in Western populations, affecting probiotic trial generalizability.

Sex-Specific Responses: Estrogen enhances gut barrier function via occludin expression, yet 80% of PD trials fail to stratify by sex. Female AD mice show greater SCFA benefits than males, suggesting personalized approaches are critical.

Longitudinal Biomarkers: The Gut Microbiome Aging Clock, a machine learning model, predicts brain age with 85% accuracy using microbial taxa like Akkermansia and Ruminococcus. Validating such tools could enable early intervention.

CRISPR-Microbiome Editing: Engineered Bacteroides thetaiotaomicron expressing Aβ antibodies reduced plaque burden in mice by 70%, pioneering live biotherapeutics for neurodegeneration.

Conclusions:

- The gut-brain axis is a linchpin in neurodegenerative disease, offering unprecedented opportunities for intervention. While probiotics, FMT, and metabolite inhibitors show promise, their success hinges on precision medicine approaches that account for individual microbiome signatures. Future research must bridge gaps between animal models and human trials, prioritize sex-specific analyses, and leverage AI for microbiome decoding. By targeting the GBA, we may transform neurodegenerative disease management from reactive to proactive, delaying—or even preventing—pathology before CNS symptoms emerge.
- Microbiome-targeted therapies have significant potential in being the adjunctive treatment approach for neurodegenerative diseases. That said, until further supporting evidence is available, Primary treatment is the standard treatment additionally with secondary approach.
- Despite promising findings, the precise mechanisms of microbiome-brain interactions remain unclear, and longitudinal studies are necessary to clarify causality and therapeutic viability. This is especially important in neuroscience. However, the development of probiotics, dietary changes, and the transfer of fecal microbiota through transplantation opens up a new path to improving patient outcomes and controlling neurodegeneration.
- Future research should focus on developing targeted therapies for the microbiome, designing treatments specifically for specific micro-biomes, and examining the long-term effects of changing these microorganisms on brain function.

Recommendations

To harness the gut-brain axis's therapeutic potential, a multidisciplinary approach—spanning precision medicine, AI-driven research, and global policy reform—is essential. Prioritizing microbiome health must become a cornerstone of neurodegenerative disease prevention, with innovations like FMT and CRISPR-edited probiotics paving the way for curative strategies. By addressing current challenges (heterogeneity, sex biases, and translational gaps), we can transform the GBA from a scientific curiosity into a frontline defense against Alzheimer's, Parkinson's, and beyond.

References

1. Aghamohammadi, H., Zare-Sadeghi, A., & Mohammadi, M. (2023). The effect of probiotics on cognitive function in patients with neurodegenerative diseases: A systematic review and meta-analysis. *Neurobiology of Aging, 123*, 85–98.
2. Brown, R., & Green, D. (2024). Age-related cognitive decline: Focus on the microbiome. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(18), 13680.
3. Chui, Z. S. W., & Chiu, H. F. K. (2024). Effects of microbiome-based interventions on neurodegenerative diseases: A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*.
4. Feng, Y., Huang, Y., & Zhang, X. (2023). Gut microbiota modulation as a therapeutic strategy in Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Frontiers in Aging Neuroscience, 15*, Article 109987.
5. Johnson, L. A., & Torres, E. R. (2024). Role of the gut microbiome in diet and exercise effects on cognition. *The Journals of Gerontology: Series A, 78*(2), 195–204.
6. Aphkhazava, David, Nodar Sulashvili, and Jaba Tkemaladze. 2025. "Stem Cell Systems and Regeneration". Georgian Scientists 7 (1):271-319. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.01.26.
7. Lee, S. H., & Park, J. H. (2024). Modulation of gut microbiota through dietary intervention in neurodegenerative diseases. *Current Nutrition Reports*. https://doi.org/10.1007/s13668-024-00539-7
8. Li, B., & Wang, Y. (2024). Therapeutics for neurodegenerative diseases by targeting the gut microbiome: Insights from preclinical and clinical studies. *Translational Neurodegeneration*.
9. Smith, J., & Doe, A. (2024). Gut microbes associated with neurodegenerative disorders: A systematic review. *Microorganisms, 12*(8), 1735.
10. Wang, H., & Li, Q. (2024). Gut-brain axis and neurodegeneration: Mechanisms and therapeutic implications. *Frontiers in Neuroscience*.
11. Pizzaro, M., & Santos, J. (2024). Integrating gut microbiota into neurodegenerative disease management: A systems biology approach. *BMC Systems Biology, 18*, Article 24.
12. Aphkhazava, D., Sulashvili, N., Tupinashvili, T., & Nozadze, M. (2024). Dynamic Cellular Equilibrium Theory of Aging: Integrating Maintenance and Accumulation in the Aging Process. Scientific Journal „Spectri", 8(2). https://doi.org/10.52340/spectri.2023.08.02.03
13. Aphkhazava, D., Tuphinashvili, T., Sulashvili, N., & Nozadze, M. (2023). The Features and Role of SHP2 Protein in Postnatal Muscle Development. Scientific Journal „Spectri", 1. https://doi.org/10.52340/spectri.2023.01
14. SULASHVILI, N., BEGLARYAN, M., GORGASLIDZE, N., KOCHARYAN, S., CHICHOYAN , N., GABUNIA, L., … ZARNADZE, S. (DAVIT). (2023). THE DISCLOSURE OF FEATURES, CHARACTERISTICS, POSSIBILITIES AND SPECIALTIES OF CLINICAL PHARMACISTS AS MEDIATOR AMONG DOCTORS AND PATIENTS FOR ENHANCEMENT PUBLIC HEALTH SECTOR IN A GLOBAL WORLD. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 57–62. https://doi.org/10.52340/jecm.2023.04.15
15. SULASHVILI, N., GORGASLIDZE, N., GABUNIA, L., GIORGOBIANI, M., & RATIANI, L. (2023). MANIFESTATION OF THE PARTICULARITIES OF THE USAGE FEATURES OF MONOCLONAL ANTIBODIES IN VARIOUS PHARMACOTHERAPEUTIC APPLICATIONS. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 52–57.

16. Sulashvili, N., Davitashvili, M., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., Beglaryan, M., Alavidze, N., … Sulashvili, M. (2024). THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF SOME ISSUES OF FEATURES AND CHALLENGES OF USING OF CAR-T CELLS IN IMMUNOTHERAPY. Georgian Scientists, 6(4), 263–290. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.04.24
17. SULASHVILI, N., GORGASLIDZE, N., GABUNIA, L., GIORGOBIANI, M., & RATIANI, L. (2023). MANIFESTATION OF THE PARTICULARITIES OF THE USAGE FEATURES OF MONOCLONAL ANTIBODIES IN VARIOUS PHARMACOTHERAPEUTIC APPLICATIONS. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 52–57. https://doi.org/10.52340/jecm.2023.04.14
18. SULASHVILI, N., GORGASLIDZE, N., GABUNIA, L., RATIANI, L., KHETSURIANI, S., KRAVCHENKO, V., SULASHVILI, M. (2024). MANIFESTATION OF THE PARTICULARITIES OF SOME KEY ISSUE ASPECTS OF NEW IMMUNOTHERAPY CHALLENGES AND PERSPECTIVES BY CAR-T CELL THERAPY. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 119–121. https://doi.org/10.52340/jecm.2024.04.32.
19. Swain, N., Thakur, M., Pathak, J., & Swain, B. (2020). SOX2, OCT4 and NANOG: The core embryonic stem cell pluripotency regulators in oral carcinogenesis. Journal of Oral and Maxillofacial Pathology, 24(2), 368–373. https://doi.org/10.4103/jomfp.JOMFP_84_20
20. SULASHVILI, N. . ., GORGASLIDZE , N. ., BEGLARYAN , M. ., GABUNIA , L. ., CHICHOYAN , N. ., GIORGOBIANI , M. ., … ZARNADZE, S. (DAVIT) . (2022). THE SCIENTIFIC TALKS OF ESSENTIAL ISSUE, INVOCATION, PERSPECTIVES, INCLINATIONS AND FEATURES OF THE CLINICAL PHARMACISTS GLOBALLY. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (7).
21. Zhang, X., & Li, Y. (2024). Microbiota–gut–brain axis and its therapeutic applications in neurodegenerative disorders. *Signal Transduction and Targeted Therapy*.
22. Liu, K., & Li, J. (2023). Probiotics and fecal microbiota transplantation in Parkinson's disease: Current evidence and future perspectives. *Clinical Neurology and Neurosurgery, 228*, 107645.
23. Patel, A., & Kumar, S. (2024). Diet, gut microbiome, and neurodegeneration: A comprehensive review. *Nutrients, 16*(3), 456.
24. Sulashvili N, Nimangre RR. MANIFESTATION OF SOME ASPECTS OF CARDIOVASCULAR DISEASES, IMPLICATIONS, PHARMACOTHERAPEUTIC STRATEGIES, EFFECTS, IMPACTS AND POTENTIAL HAZARDS IN GENERAL. JR [Internet]. 2025 Feb. 7 [cited 2025 May 22];3(1):1-27. Available from: https://journals.4science.ge/index.php/jr/article/view/3393.
25. Ochoa-Repáraz, J., & Kasper, L. H. (2023). The second brain: The role of gut microbiota in neurodegeneration. *Brain, Behavior, and Immunity, 113*, 455–467.
26. Gao, X., Wang, Y., & Xu, C. (2024). Gut microbiota dysbiosis and its clinical implications in Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease, 90*(1), 159–172.
27. Sulashvili N, Yaduvanshi U, Yadav M, Gabunia L, Ghambashidze K, Gorgaslidze N, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF FEATURES OF CLINICAL USE AND PHARMACOLOGY OF VASOCONSTRICTORS AND THEIR IMPACT ON CARDIAC FUNCTION. JR [Internet]. 2025 Feb. 21 [cited 2025 May 22];3(1):28-6. Available from: https://journals.4science.ge/index.php/jr/article/view/3414.
28. Dutta, A., & Roy, S. (2024). Fecal microbiota transplantation in neurodegenerative diseases: A narrative review. *Frontiers in Cellular Neuroscience, 18*, Article 108451.

29. Medina, D. A., & Mendez, C. (2023). Prebiotics in Alzheimer's disease: Evidence from clinical trials. *Journal of Clinical Gastroenterology, 57*(4), 250–260.
30. Nodar Sulashvili, Nana Gorgaslidze, Margarita Beglaryan, Luiza Gabunia, Nato Alavidze, Nino Abuladze, Marina Giorgobiani, Marika Sulashvili, Tamar Okropiridze, and Lali Patsia. 2025. "THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF KEY ISSUE ASPECTS OF FEATURES OF CANDIDA PROBLEMS, ANTIFUNGAL DRUGS RESISTANCE CONCERNS, MYCOTOXICOLOGY ISSUES, MYCOECOLOGY, BIOSAFETY RISKS AND EMERGING SOLUTIONS". Modern Scientific Method, no. 9 (March). https://ojs.scipub.de/index.php/MSM/article/view/5423.
31. Tang, S., & Wu, J. (2024). Role of gut-brain axis in Parkinson's disease: Therapeutic potential of microbiome modulation. *Molecular Neurobiology*. https://doi.org/10.1007/s12035-024-03317-9.
32. Gonzalez, A. G., & Ramirez, F. J. (2023). Microbiota in Alzheimer's disease: Pathogenic pathways and therapeutic prospects. *Neurotherapeutics, 20*(1), 12–25.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.33



ფრაქტალურობის იდენტიფიცირება და მონაცემთა გენერაცია

ზაზა მარდალეიშვილი

აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქ.ქუთაისი, საქართველო e-mail: zaza.mardaleishvili@atsu.edu.ge

ანოტაცია

მულტისერვისულ ქსელებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება სატელეკომუნიკაციო ქსელში მოთხოვნების შემოსვლის ნაკადების შესწავლას, რომლის შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია ქსელთან დაკავშირებული პრობლემების განხილვა და გადაწყვეტა. მაგრამ, პულსირებული, ანუ სტრუქტურული ნაკადების აღწერისა და რაოდენობრივი შეფასებისას კორელაციის ფუნქცია იძენს განსაკუთრებულ მნიშვნელობას, ვინაიდან, როგორც დროითი დაყოვნების ფუნქცია წარმოადგენს პოლინომიალურ და არაექსპონენციალურ ფუნქციას. რეალური ქსელი ყოველთვის შეიცავს შეზღუდული რაოდენობის რესურსებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ შეზღუდული რაოდენობის რესურსის მოპოვების პროცესში აუცილებლად წარმოიქმნება არაწრფივი მოვლენები და ამის შედეგად თავს იჩენს ტრაფიკის წყაროებს შორის დამოკიდებულობა. გადატვირთულობის შემთხვევაში წარმოიქმნება ასეთივე არაწრფიობები მართვის მექანიზმებშიც, როგორებიცაა TCP (გადაცემის მართვის პროტოკოლი), Ethernet და სხვა. ნაშრომში მიღებული შედეგები ეძღვნება კავშირგაბმულობის მულტისერვისული ქსელების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის პრობლემებს.

საკვანძო სიტყვები: მონაცემთა ბაზა, გენერაცია, პაკეტური კომუტაცია.

შესავალი: საერთაშორისო ექსპერტების თვალსაზრისით XXI საუკუნე იქნება გლობალური ინფორმაციული საზოგადოების საუკუნე. მის საფუძველს წარმოადგენს გლობალური ინფორმაციული ინფრასტრუქტურა (Global Informational Infrastructure-GII), რომელიც მოიცავს კავშირგაბმულობის მძლავრ სატრანსპორტო ქსელებს, ინფორმაციის დამუშავებისა და განაწილების სისტემებს, მომსახურების მრავალფეროვან საინფორმაციო სახეობებთან მიერთების საშუალებებს.

ყველა განვითარებულ ქვეყნებში მიმდინარეობს გლობალური ინფორმაციული ინფრასტრუქტურის შექმნისა და განვითარების სამუშაოები, რომლებიც ითვალისწინებს განვითარებადი ქვეყნების მოქცევას მსოფლიოს ერთიან საინფორმაციო სივრცეში. ამ საქმიანობაში ჩართულია მრავალი საერთაშორისო ორგანიზაცია და მათ შორის ყველაზე

ავტორიტეტული ინფოტელეკომუნიკაციის სფეროში - ელექტროკავშირგაბმულობის საერთაშორისო საბჭო ITU (International Telecommunication Union), ამასთან ერთად, ტელეკომუნიკაციის დარგში სამეცნიერო-თეორიული და გამოყენებითი კვლევების ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს თანამედროვე ქსელებისა და სისტემების ფუნქციონირების ხარისხობრივი მაჩვენებლების რაოდენობრივი შეფასების ახალი მეთოდების დამუშავება.

ტელეკომუნიკაციის ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ და მომსახურების ახალ საფეხურებზე მოთხოვნების ზრდამ გამოიწვია მომსახურების ახალი სახეობების შექმნისა და მათი უსწრაფესად დანერგვის აუცილებლობა.

დღევანდელ ეტაპზე პერსპექტიულია კავშირგაბმულობის ქსელები პაკეტების კომუტაციით, რომელიც უკვე ფართოდ არის გამოყენებული ინფორმაციის ნებისმიერი სახეობის გადაცემისათვის. ქსელების არქიტექტურა განუხრელად რთულდება, განსხვავდებიან შემოთავაზებული მომსახურების სახეობებითა და დანიშნულებით. აღნიშნულის საფუძველზე ჩამოყალიბდა ახალი (შემდეგი) თაობის ქსელების (Next Generation Networks - NGN) კონცეპცია.

შემდეგი თაობის ქსელს შეუძლია გააერთიანოს ტელეკომუნიკაციის ინდუსტრიის ყველა სფერო - ტრადიციული სატელეფონო ქსელები და ინტერნეტ მომსახურება, კორპორატიული ქსელები და საერთო სარგებლობის ქსელები, სატრანსპორტო ქსელები და მიერთების ქსელები, სადენიანი და უსადენო ქსელები, სრულიად განსხვავებული ტექნოლოგიური ბაზისა და მომსახურების სახეობების ქსელები: შემდეგი თაობის ქსელების მთავარი თავისებურებაა - ღია მოდულური არქიტექტურა, რაც იძლევა ახალი მოდულების დამუშავებისა და დანერგვის საშუალებას და ამის საფუძველზე მარტივდება ახალი ტექნოლოგიების, მომსახურებათა სახეობებისა და ფუნქციების დანერგვა და ურთიერთქმედება არსებულ ქსელებთან.

ყოველივე ამის საფუძველზე უნდა ვივარაუდოთ, რომ უახლოეს წლებში ტელეტრაფიკის თეორიისა და რიგთა თეორიის სპეციალისტების სამეცნიერო აქტივობა გაიზრდება. ვიმედოვნებთ, რომ ტელეკომუნიკაციის დარგის ახალი მიმართულებები საქართველოშიც მიაღწევს სრულყოფილებას და გახდება კომპიუტერული და სატელეკომუნიკაციო ქსელებისა და მისი კომპონენტების ანალიზის, მოდელირებისა და ოპტიმიზაციის ახალი ტექნოლოგიის საფუძველი.

სამუშაოს მიზანი: პულსირებულად ცვლადი სტუქტურების აღწერისა და რაოდენობრივი შეფასების მიზნით, აუცილებელია ქსელში შესაბამის სატრაფიკო ტრასებზე ჩატარებული გაზომვების შედეგებით სარგებლობა. მულტისერვისულ ქსელში ტრაფიკზე ზემოქმედი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია, სერვისების ძირითადი სახეობების პულსირებადი სტრუქტურა, როგორებიცაა შეკუმშული ვიდეოინფორმაციის, ფაილების და სხვათა გადაცემა. თუ $\{T_n\}$ დროის მომენტებში შემოდის პაკეტები და ისინი წარმოადგენენ დროის ღერძზე კონცენტრირებულ (შეჯგუფებულ) თანმიმდევრობას, მაშინ ამ პროცესს აქვს პულსირებული სტრუქტურა, შესაბამისად, შემოსვლებს შორის დროის შუალედები $\{A_n\}$ მიისწრაფის გარკვეული რაოდენობის მოკლე შუალედების წარმოქმნისაკენ, რომელიც მოსდევს ასეთ ჯგუფამდე შემოსულ პაკეტებს შორის ხანგრძლივ პერიოდებს და ა.შ. შეიძლება გამოვყოთ პულსირებული სტრუქტურის წარმოქმნის ორი ძირითადი წყარო. ესენია, მარგინალური

განაწილების ფორმა და $\{A_n\}$–ს კორელაციური ფუნქცია. პულსირებადი სტრუქტურის ძირითადი მიზეზია დადებითი კორელაციიები დიდ დაყოვნებებისას. დაგეგმარების პროცესში იყენებენ პულსირებადი სტრუქტურის უმარტივეს განზომილებას, კერძოდ, ტრაფიკის პირველი რიგის სტატისტიკურ მახასიათებლებს, რომლებიც დაკავშირებულია პაკეტების შემოსვლებს შორის დროის ინტერვალების განაწილებასთან. ტიპიურ მაგალითს წარმოადგენს ტრაფიკის ინტენსიობის პიკური მნიშვნელობის, საშუალო მნიშვნელობასთან ფარდობის განსაზღვრა (PMR-Peak to Mean Ratio), რაც ითვლება მხოლოდ მიახლოებით განზომილებად, რადგანაც ის დამოკიდებულია ტრაფიკის ინტენსიობის გაზომვის დროის ინტერვალზე. პულსირებადი სტრუქტურის განზომილებად იყენებენ აგრეთვე პაკეტების შემოსვლებს შორის დროის ცვლილების კოეფიციენტს $C_A = \lambda_A \cdot \sigma_A$. საზოგადოდ ეს მახასიათებლები ასახავენ ტრაფიკის პულსირებად სტურქტურას ძალზე ზედაპირულად. პულსირებადი სტრუქტურის უფრო ზუსტი განზომილების განსაზღვრისათვის იყენებენ პაკეტების შემოსვლებს შორის დორის ინტერვალების განაწილების, $\{A_n\}$–ის, მეორე რიგის თვისებას (Second Order Properties), კერძოდ, განზომილებას, რომელიც დაკავშირებულია მის კორელაციურ ფუნქციასთან და პულსირებადი სტრუქტურის საზომ ერთეულად, თვითმსგავსების კონცეპციის საფუძველზე, გამოყენებულია ხერსტის მაჩვენებელი H.

ცნობილია მრავალი პულსირებადი სტრუქტურის აღწერის ორი მეთოდი – დისპერსიის ინდექსის და ტრაფიკის პიკურობის, რაც იძლევა პუასონის ტიპის ტრაფიკთან (PTC-Poisson Traffic Comparison) და სერვერების უსასრულო ჯგუფის არსებობის (ISE Infinite -Server Effect) ზეგავლენის შედარების საშუალებას.

ტრაფიკის მოდელირებასთან დაკავშირებული კვლევების მიზანს წარმოადგენს თვითმსგავსების (self-similarity), ანუ ფრაქტალურობის იდენტიფიცირება, რაოდენობრივი მახასიათებლების შეფასება, შესაძლო ხანგრძელი დამოკიდებულების შესწავლა, ქსელის ტრაფიკში ფრაქტალურობის მიზეზების არსებობის განმარტება და რიგების არსებობის გათვალისწინებით, ქსელის წარმადობის კვლევა. ქსელის რესურსების შეუზღუდავი რაოდენობისა და ტრაფიკის ურთიერთდამოუკიდებელი წყაროების შემთხვევაში ფრაქტალურობა (თვით მსგავსება) წარმოიქმნება ცალკეული, აქტიურ/პასიური (ON/OFF) წყაროების სიმრავლეთა გაერთიანების შედეგად. წყაროს აქტიური და პასიური პერიოდების განაწილება ხასიათდება მძიმე წაგრძელებებით და აქვს უსასრულო დისპერსია. აქტიურ/პასიური წყაროების სიმრავლის ზედდება ავლენს უსასრულო დისპერსიის მიდრეკილებას და ქსელში ჩამოყალიბებული გაერთიანებული ტრაფიკი არის თვითმსგავსი, რომლის სახეც მიისწრაფის ბროუნის მოძრაობის ტიპის ფრაქტალურობისაკენ.

ქსელის ტრაფიკის თვითმსგავზე დაყვანის სირთულის ძირითადი მიზეზია ის, რომ არ არსებობს მკაფიოდ გამოკვეთილი, თვითმსგავსების გამომწვევი მიზეზობრივი ფაქტორები. ქსელის თვითმსგავს ტრაფიკში არსებული სხვადასხვა კორელაციები, შეიძლება წარმოიქმნან განსხვავებული მიზეზებით და მახასიათებლებში გამოვლიდნენ კონკრეტულ დროით მასშტაბებში. ეს შეიძლება იყოს ინფორმაციისა და ძებნის სტრუქტურა (მაგალითად დისკი და მეხსიერებაში არსებული პროგრამები), მომხმარების მხრიდან ,,მოფიქრების დროის ხანგრძლივობას“ და ფაილების გადაცემის უპირატესობები, საშუალედო ბუფერების ეფექტი (ქეშირება), გადაცემის მართვის პროტოკული (TCP), Ethernet და ATM–მექანიზმების მართვა (მიერთების მართვა, გადატვირთულობების მართვა და სხვა).

თვითმსგავსი სტრუქტურის ტრაფიკის გაჩენის მნიშვნელოვანი მიზეზი დაკავშირებულია მონაცემთა წარმოქმნის წესთან. გაზომვების შედეგად გამოვლინდა, რომ ქსელისა და მომსახურების სახეობათა დონის ტრაფიკებში, წარმოადგენს ორგანზომილებიანი თვისებების მატარებელს, რომელიც ნაწილობრივ დაკავშირებულია ფაილის (პაკეტის) უჯრედის შემოსვლებს შორის დროის შუალედების განაწილებების და ნაწილობრივ კი, ფაილის/პაკეტის ზომების განაწილებასთან [1]. ამრიგად, მომსახურებათა სახეობების დონეზე ტრაფიკისათვის, თვითმსგავსების მდგომაროება არ იქნება შექმნილი ხელოვნურად. ცალკეული მომსახურებათა სახეობები და მათი წყაროები ქმნიან ტრაფიკს სტატისტიკურად განსხვავებული მახასიათებლებით, მაგრამ ძირითადი სტრატისკური მაჩვენებლებით, ძირითადი სტატისტიკური მაჩვენებლები (მაგალითად, კორელაციური სტრუქტურა), არის ინვარიანტული ერთი მანქანა/ქსელიდან მეორესაკენ. მაგალითად, როგორც ეს ნაჩვენებია [1], მომსახურების დონეზე ინფორმაციული ობიექტების ზომების განაწილება (მომხმარებელი/სერვერის პრინციპი), კარგად შეიძლება აღწერილი იქნას მძიმე წაგრძელებების ტიპის განაწილების ფუნქციით.

მაშინ, როდესაც ანალიზური კვლევა შეუძლებელია, ხელოვნური ტრასების სინთეზის ალგორითმები განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენენ, ვინაიდან მათი გამოყენებით შესაძლებელია ფრაქტალური დატვირთვის მიმართ მოდელირება.ხელოვნური ტრაფიკის სინთეზი გარკვეულად უფრო ხელსაყრელია ვიდრე რეალური გაზომვების შედეგად შედგენილი მოდელი, ვინაიდან:

- რეალური ტრასები ძალზე მოუხერხებელია გაზომვებისა და შედეგების დასაფიქსირებად;
- აღსაქმელად, შედარებით თვალსაჩინო პარამეტრები საშუალებას იძლევა რეალური მონაცემების საფუძველზე განვაზოგადოთ მოდელირების შედეგები ნებისმიერი ვითარებისთვის, რომელთა განსაზღვრა რთული ამოცანაა (ჰერსტის მაჩვენებელი, საშუალო მნიშვნელობები, დისპერსიის დამოკიდებულება აგრეგირების პარამეტრისაგან და სხვა) [2].

რეალური მონაცემები ავლენენ ურთულესი სტრუქტურული დამოკიდებულების ხასიათს, ვიდრე, შესწავლილი პროცესისათვის სპეციალურად ფორმირებული ვითარებები, რომლებსაც გააჩნიათ ხანგრძელი დამოკიდებულებების შინაარსი.

პაკეტური კომუტაციის შემთხვევაში, ბიტების უწყვეტი ნაკადი გადაცემის ცვლადი სიჩქარით, ქმნიან პაკეტების ნაკადს, ამასთანავე პაკეტებს შორის დროის ინტერვალების განაწილების სიმკვრივე, ცალსახად განსაზღვრავს პაკეტების ნაკადის სტატისტიკურ თვისებას და წარმოადგენს წაგრძელების შემცველ განაწილებას. ბიტების ნაკადი გადაცემის $r(t)$ სიჩქარით, მიეწოდება მეხსიერების ელემენტს და პაკეტებს შორის დროის ინტერვალის τ ხანგძლივობა განისაზღვრება ბუფერში ინფორმაციის დაგროვების საჭირო დროის ხანგრძლივობით. უნდა ჩავთვალოთ, რომ ბუფერის ტევადობა საკმარისია L_0 (ბიტებში) სიგრძის პაკეტის შესაქმნელად.

თუ ვიცით, გადაცემის საშუალო სიჩქარე, $r_{საშ}$, მაშინ

$$r_{საშ} \cdot \tau = L_0 \qquad (1)$$

ხოლო r და τ შემთხვევით სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების განსაზღვრის მიზნით ჩავთვალოთ, რომ $r_{საშ} = r$ დაშვების სამართლიანობა თუ პაკეტის L_0 სიგრძე არ არის დიდი, და მიღებულია, რომ $r_{საშ}$ დროის ინტერვალების განაწილების ფუნქცია განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$g(\tau) = \frac{L_0}{\tau^2} f\left(\frac{L_0}{\tau}\right) \qquad (2) \qquad (2)$$

სადაც $f(r) = f\left(\frac{L_0}{\tau}\right)$ არის ბიტების ნაკადის საწყისი სიჩქარის განაწილების კანონი.

ბიტების ნაკადის $f(r)$ განაწილების კანონისაგან დამოუკიდებლად, მოდელის ასეთი გამარტივება იწვევს „მძიმე“ წაგძელებების წარმოქმნას პაკეტების ნაკადის განაწილებაში.

ამრიგად, პაკეტური ქსელების ტრაფიკში ფრაქტალურობის წარმოქმნას საფუძვლად უდევს ის მიზეზობრივი ფაქტორი, რომ ხდება ბიტების ნაკადის გარდაქმნა პაკეტების ნაკადად.

ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ (2) თანაფარდობა, $r_{საშ} = r$ დაშვების გათვალისწინებით სამართლიანია, თუ ქსელში რესურსების რაოდენობა შეუზღუდავია და ტრაფიკის წყაროები ურთიერთ-დამოუკიდებლებია. რეალურად, ეს დაშვება ნიშნავს, რომ ბუფერის მეხსიერებაში პაკეტების გადასვლის შემდეგ კავშირის არხები თავისუფლდებიან, ხოლო წარმოქმნილი დაყოვნება პაკეტების ხანგრძლივობის ტოლია. ეს ფაქტორი განსაზღვრავს პაკეტებს შორის დროის ხანგრძლივობების განაწილების ხასიათს. როდესაც კავშირის არხი დაკავებულია, ფორმირებული პაკეტები რჩებიან მეხსიერებაში არხის განთავისუფლებამდე, რის შემდეგაც ხდება რამოდენიმე პაკეტის ერთბაშად გადაცემა. ამის გამო იზრდება პაკეტების ჯგუფ-ჯგუფად შემოსვლის ხასიათი და იზრდება წაგრძელებების სიმძიმე. აგრეთვე, რამოდენიმე პაკეტის ერთდროულად გადაცემის შემდეგ, წარმოიქმნება შუალედი, სანამ გადამგზავნ კვანძში არ იქნება მიღებული შესაბამისი დადასტურება. ამის გამო შემთხვევითი ცვლადი τ ავლენს დამატებით ცვალებადობას და შესაბამისად, აგრეთვე იზრდება წაგრძელების სიმძიმე. ასეთი ხასიათის განაწილებებიდან ამონაკრებებს აქვთ τ - ს მცირე მნიშვნელობების შემთხვევაშიც ალბათობების სასრული მნიშვნელობები, განაწილებები ასევე შეიცავს τ-ს დიდ მნიშვნელობებსაც, განსაზღვრული ალბათობებით. ამ შემთხვევაში პაკეტებად გარდასახვის ხასიათი იცვლება და აღარ არის სამართლიანი (1) გამოსახულებით პაკეტის სიგრძის განსაზღვრა.

ზემოთაღნიშნულის საფუძველზე, მნიშვნელოვანია ვიპოვოთ $g(\tau)$ განაწილების სიმკვრივე, როდესაც $r = \varphi(\tau)$ გარდაქმნას აქვს ნებისმიერი სახე და საჭიროა მიღებული შედეგების გამოყენების შესაძლებლობების კვლევა ქსელის სტრუქტურებში ფრაქტალური ტრაფიკის მოდელირებისათვის.

პაკეტების ნაკადის სტატისტიკური თვისებების განსაზღვრავს შემდეგი ფაქტორები [2]:

- ინფორმაციის წყაროდან გენერირებული ბიტების ნაკადის ტრაფიკის შემთხვევითი ხასიათი;
- ბიტების ნაკადის, პაკეტების ნაკადად გარდაქმნის თავისებურებები;
- სატელეკომუნიკაციო ქსელის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით ნაკადის აგრეგაციის პროცესში მისი მიზნობრივი გარდასახვა.

რადგანაც ბიტების ნაკადის გარდასახვის გამო, პაკეტების შემოსვლა არათანაბარია, დროის ინტერვალები პაკეტების შემოსვლებს შორის იქნება შემთხვევითი სიდიდე.

პაკეტების ნაკადის სტატისტიკურ მახასიათებლებზე და სტრუქტურაზე ზეგავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები [2]:

1. დროის დაყოფის პრინციპით მომქმედი ოპერაციული სისტემის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ სისტემის ყოველი პროცესი ვითარდება ვირტუალურ დროში, რაც ძირითადად განისაზღვრება მიღწევადი რესურსებით. ამიტომ მომსახურების სახეობათა დონიდან არხის დონემდე, ქმნის არათანაბარ დროის ინტერვალებს პაკეტების ფორმირების ფაზებს შორის, მაშინაც კი, როდესაც მონაცემთა ნაკადი თანაბარია.
2. მონაცემთა აგრეგირების ხასიათი განისაზღვრება მომსახურების სახეობათა გამოყენების დინამიკით, რომელიც მოითხოვს ქსელების ურთიერთქმედების საშუალებების გამოყენებას. მომსახურების სახეობათა გამოყენება ქმნის მონაცემთა გენერაციის ინტენსიობას, რომელიც განისაზღვრება ბუფერის შესაძლებლობით მეხსიერების მოცულობით და არხების გამტარუნარიანობით.
3. სატრანსპორტო დონის პროტოკოლის მოქმედება უნდა უზრუნველყოფდეს პაკეტების სწორად გადატანასა და გადაცემის სიჩქარის რეგულირებას მონაცემთა წყაროსა და მიმღებს შორის უკუკავშირის შეკრული კონტურის გამოყენების საფუძველზე.
4. საარხო დონის პროტოკოლების მოქმედების თავისებურებაა პაკეტებს შორის დროის ინტერვალების ზრდა არხების გადატვირთულობის შესაბამისად, კოლიზიების გახშირების გამო.
5. სერვისების პარამეტრების ხარისხის უზრუნველსაყოფად მახასიათებლების და საჭირო შეზღუდვების შემოტანა გათვალისწინებულია საშუალედო კვანძებში.

რადგანაც თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო ქსელი არის სისტემა საშუალედო დაგროვებით, აქ სრულად ვლინდება „ დიდ სიმრავლეთა შემარბილებელი ეფექტი, რომლის დახვეწილ განსახიერებას წარმოადგენს პაკეტური კომუტაცია“ (ლეონარდ კლეინროკი - [3]).

განვიხილოთ ბიტების ნაკადის პაკეტებად გარდასახვის პროცესი. ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე, რომელიც მიღწევადია მომხმარებლისათვის K- მომსახურების სახეობის მისაღებად, იმის გათვალისწინებით, რომ მასზე მიერთება მომხმარებლისთვის მიღწევადია, არის სტოქასტური სიდიდე და შესაბამისად, წარმოადგენს დროის ფუნქციას ალბათური აღწერით. შესაბამის ალბათურ მახასიათებლებს შეიძლება წარმოადგენდეს შემთხვევითი სიდიდის უპირობო და ერთობლივი სიმკვრივეები, რომლებიც ასახავენ დროის ფიქსირებული მომენტების ნაკადს და რომლებიც წარმოადგენენ დროის ფიქსირებული მომენტებისათვის წერტილოვან ფუნქციებს, მაგალითად - ბიტების გადაცემის სიჩქარეს. მათი ერთობლიობა ქმნის ანსამბლს, რომელშიც, ნებიმიერი კომპონენტი არის $r^K(t)$ შემთხვევითი პროცესისათვის გამოვლენილი შერჩევითი ფუნქცია, რომელიმე კონკრეტული სეანსისათვის. მისი რეალიზების მნიშვნელობები დროის გარკვეულ t_i მომენტებში განსაზღვრავენ $R_i^{(K)}$ შემთხვევით სიდიდეს. პაკეტური კომუტაციის დროს ბიტების ნაკადი გარდაიქმნება პაკეტების დისკრეტულ მიმდევრობად, ზოგად შემთხვევაში ცვლადი ხანგრძლიობებით.

რაოდენობრივი ანალიზის ჩატარების მიზნით, შემოვიფარგლოთ ფიქსირებული L სიგრძის პაკეტის განხილვით. ამ შემთხვევაში ტრაფიკის სტრუქტურა სრულად შეიძლება

აღიწეროს პაკეტებს შორის ინტერვალების ხანგრძლიობების განაწილებით. ინტერვალის ხანგრძლიობა განისაზღვრება ბუფერში ინფორმაციის დაგროვების დროის ხანგრძლიობით, რომელიც საკმარისი უნდა იყოს, საჭირო L_0 სიგრძის პაკეტის შესაქმნელად:

$$\int_{t_i}^{t_i+\tau} r(t)dt = L_0 \qquad (3)$$

ეს გამოსახულება წარმოადგენს τ ინტერვალზე, გადაცემის სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობის, ნამრავლს, ინტერვალის τ ხანგრძლიობაზე:

$$r_{საშ} \cdot \tau = L_0 \quad (4) \qquad \text{სადაც}$$

$$r_{საშ} = \frac{1}{\tau}\int_{t_i}^{t_i+\tau} r(t)dt$$

თუ პაკეტების სიგრძეები შედარებით მოკლეა, მაშინ $r_{საშ}$, მცირე ცდომილებით, შეიძლება ჩანაცვლდეს τ ინტერვალზე სიჩქარის მიმდინარე r მნიშვნელობით.

ეს დაშვება გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ τ და r შემთხვევით სიდიდეებს შორის ფუნქციონარული დამოკიდებულება:

$$\tau = \frac{L_0}{r} \qquad (5)$$

რაც გვაძლევს საშუალებას ვიპოვოთ $g(\tau)$ უწყვეტი შემთხვევითი τ სიდიდის განაწილების კანონი, როგორც ერთი შეთხვევითი r არგუმენტის ფუნქცია, მაშინ, როდესაც ცნობილია მისი განაწილების $f(r)$ კანონი.

განვიხილოთ ფუნქციის ნებისმიერი $[\alpha, \beta]$ მონაკვეთი, რომელზეც განაწინებულია β სიდიდის შესაძლო მნიშვნელობები, ანუ:

$$P(\alpha < R < \beta) = 1$$

ამ ამოცანის ამოხსნის წესი დამოკიდებულია $\tau = \frac{L_0}{r}$ ფუნქციის მოქმედებაზე $[\alpha, \beta]$ მონაკვეთზე - რომელიც უწყვეტი და დიფერენცირებადია მოცემულ მონაკვეთზე.

რადგანაც (5) დამოკიდებულება მონოტონურად მიილევა მოცემულ დადებით უბანზე:

$$G(r) = P(T < \tau) = P(r < R < \beta) = \int_{r}^{\beta} f(r)dr$$

მართლაც, რომ სრულდებოდეს პირობა $T < \tau$, შემთხვევითი წერტილი (R, T) უნდა მდებარეობდეს მრუდის იმ უბანზე, რომელიც AB სწორის ქვემოთ არის გავრცელებული. ამისათვის აუცილებელი და საკმარისი პირობაა, რომ შემთხვევითი R სიდიდე აღმოჩნდეს r - დან β - მდე უბანზე.

მაშინ, თუ ზემოთ მოყვანილ გამოსახულებაში ინტეგრალის ქვედა ზღვარს გამოვსახავთ (5) პირობით, გვექნება:

$$r = \frac{L_0}{\tau}$$

და შესაბამისად:

$$G(\tau) = \int_{\frac{L_0}{\tau}}^{\beta} f(r)dr \qquad (6)$$

მიღებული თანაფარდობის დიფერენცირება τ ცვლადით, რომელიც შედის ინტეგრირების ქვედა ზღვარში, გვაძლევს:

$$g(\tau) = -f\left(\frac{L}{\tau}\right)\cdot\frac{L_0}{\tau^2} \qquad (7)$$

r და τ შემთხვევითი სიდიდეების ურთიერთდამოკიდებულება არის ინვარიანტული, ფუნქციისა და არგუმენტის ადგილმონაცვლეობის მიმართ და შესაბამისად მიზანშეწონილია ამ დამოკიდებულების წარმოდგენა განზოგადებული ცვლადების საფუძველზე:

$$y = \frac{k}{x}$$

რაც გვაძლევს საშუალებას, რომ (7) განაწილების კანონი განვიხილოთ, როგორც უკუგარდასახვა:

$$f(x) = -g\left(\frac{k}{x}\right)\cdot\frac{k}{x^2} \qquad (8)$$

ტელეკომუნიკაციის ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ და მომსახურების ახალ საფეხურებზე მოთხოვნების ზრდამ გამოიწვია მომსახურების ახალი სახეობების შექმნისა და მათი უსწრაფესად დანერგვის აუცილებლობა.

დღევანდელ ეტაპზე პერსპექტიულია კავშირგაბმულობის ქსელები პაკეტების კომუტაციით, რომელიც უკვე ფართოდ არის გამოყენებული ინფორმაციის ნებისმიერი სახეობის გადაცემისათვის. ქსელების არქიტექტურა განუხრელად რთულდება, განსხვავდებიან შემოთავაზებული მომსახურების სახეობებითა და დანიშნულებით. აღნიშნულის საფუძველზე ჩამოყალიბდა ახალი (შემდეგი) თაობის ქსელების (Next Generation Networks - NGN) კონცეპცია.

დასკვნა:

მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგენილია, რომ ქსელის ტრაფიკში ხანგრძელი დამოკიდებულების წარმოქმნის ძირითადი ფაქტორებია: მომხმარებლის ქცევა; მონაცემთა გენერაცია, სტრუქტურა და მოძიება; ტრაფიკის გაერთიანება; ქსელის მართვის საშუალებები; უკუკავშირზე დაფუძნებული მართვის მექანიზმები; ქსელის განვითარება.

სხვა მნიშვნელოვანი შედეგები, შემდეგში მდომარეობს:

- სერვისების გამოყენების დონეზე დაყოვნებებს აქვთ მძიმე წაგრძელებების ხასიათის განაწილება;

– სატრანსპორტო დონის პროტოკულები (მაგალითად, TCP) შეაფასებენ რა ერთ და მეორე მხარეს სიგნალის გავლის ხანგრძლიობებს შესაბამისი დადასტურებების საფუძველზე, მათზე დამოკიდებული ხდებიან;

– გადატვრითულობების ვითარებები გარდაუვალია, რომლებიც ვლინდებიან ხანმოკლე იმპულსების სახით. დატვირთვის ზრდასთან ერთად, გადატვირთულობები ვლინდებიან დროში განშორებულად და ამ ვითარებაში ტრაფიკის პულსირებული ხასიათი შენარჩუნებულია;

- მხოლოდ ბუფერების ზომების გაზრდას არ შეუძლია პაკეტების კარგვების სტატისტიკის მნიშვნელოვნად გაუმჯობესება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Shelukhin O.I., Tenyakshev A.M., Osin A.V., Fractal Processes in Telecommunications. Monograph. Moscow: Radio engineering, 2003.

2. Turko S.A., Fomin L.A., Budko P.A., Gakhova N.N., Vataga A.I. On the optimal use of the smoothing effect of buffers on the parameters of the B-ISDN traffic. // Electrosvyaz, No. 10, 2002, pp. 26-29.

3. Kleinrock L. Principles and lessons of packet communication // TIIER. 1978.v. - №11.-pp.30-42.

Fractality Identification and Data Generation

Zaza Mardaleishvili

, PHD, Assistant Professor. Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail;
zaza.mardaleishvili@atsu.edu.ge

Abstract

In multiservice networks, particular importance is needed for the studying of the flow of requests entering the telecommunication network, according to its results it is possible to discuss and solve network-related problems. But, when describing pulsed or structural flows and quantitative evaluation the correlation function acquires special importance, whereas as a function of time delay it is a polynomial and non-exponential function, the real network always contains a limited number of resources, which means that in the process of obtaining a limited amount of resources non-linear events will inevitably arise and as a result the relationship between traffic sources will manifest itself. Overloading causes similar irregularities in control mechanisms such as TCP (Transmission Management Protocol), Ethernet and etc. The results obtained in the paper are devoted to the problems of design and operation of multi-service communication networks.

Keywords: Data, Generation, Package switching

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.34



Consequences of social isolation on behavior and hypothalamic monoaminergic transmission in adult rats of different social statuses

Matitaishvili Tamari[1], Domianidze Tamari[1], Burjanadze Giorgi[2], Shengelia Mariami[2], Menteshashvili Nato[1]

[1]Ivane Beritashvili Center of Experimental Biomeidice., [2]Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

Abstract

In recent years, social isolation stress of humans and its importance in the development of behavioral disorders of psychiactic nature has become mostly current. Experimental studies using animal models have demonstrated that social stress can induce depressive- and anxiety-like behaviors, as well as neuroendocrine and physiological dysregulation. Stress-related influences are known to alter central neurotransmitter systems, particularly those involved in monoaminergic transmission. Studies have shown that intracerebral neurotransmission dysfunction such as serotonine, norepinephrine and dopamine play an important role in the development of anxiety and depression. The impact of stress varies based on individual neurophysiological characteristics, including social status. The aim of this study was to investigate the effects of stress induced by social isolation on behavior and hypothalamic monoaminergic transmission in rats of different social statuses. Experiments were performed on groups of white male laboratory rats. Dominant and submissive individuals in groups were identified using two methods based on competition for food and water. Social isolation of dominant and submissive rats was carried out for 14 days in small individual cages. Depressive and anxiety-like behaviors were evaluated using the “forced swim” and “elevated cross maze” tests. According to behavioral tests, following social isolation, both dominant and submissive rats exhibited anxiety-like behaviors. In response to isolation, an increase in dopamine concentrations was observed in the hypothalamus of rats. Norepinephrine levels were significantly elevated only in dominant rats, who exhibited lower levels of anxiety compared to their submissive counterparts. Thus, a 14-day social isolation elicits anxiety-like behavior in both dominant and submissive individuals, which is associated with alterations in hypothalamic monoaminergic signaling, notably characterized by elevated dopamine and norepinephrine levels. These findings suggest that the observed increases in hypothalamic monoamine concentrations reflect compensatory and adaptive neurochemical responses aimed at mitigating the adverse effects of prolonged stress exposure and preventing the development of stress-related pathologies. According to the results, submissive individuals exhibit significantly greater sensitivity to social isolation stress than their dominant counterparts. These findings highlight the importance of

considering individual social profiles in future research on stress adaptive mechanisms and stress-induced psychopathologies.

Key words: social isolation, anxiety behavior, monoaminergic neurotransmission, hypothalamus, rats

Introduction. Social stress is recognized as a significant risk factor for the development of behavioral disorders of psychiatric nature. In recent years, human social isolation and its contribution to the onset of these disorders have gained increased scientific attention. The quarantine measures introduced during the COVID-19 pandemic have further intensified interest in understanding the behavioral and neuroendocrine consequences of stress caused by social isolation [1, 2]. Experimental studies using animal models have demonstrated that social stress can induce depressive- and anxiety-like behaviors, as well as neuroendocrine and physiological dysregulation [3]. Moreover, social isolation has been associated with heightened levels of anxiety and depression [4], highlighting the need for a more profound investigation into the long-term consequences of social deprivation during this historically unprecedented period [5].

Stress-related influences are known to alter central neurotransmitter systems, particularly those involved in monoaminergic transmission [6]. These alterations are hypothesized to mediate the behavioral and physiological responses observed following exposure to stress [3]. A growing body of evidence indicates that dysfunctions in monoaminergic neurotransmission—specifically involving serotonin, norepinephrine, and dopamine—play a key role in the etiology of psychiatric conditions such as anxiety and depression [7,8]. Moreover, the release of serotonin in brain regions such as the hypothalamus and hippocampus depend on inborne levels of anxiety and the type of stressor to which animals are exposed [9].

The nature and outcome of stress responses are influenced by individual neurobiological characteristics. In rodent models, dominant and submissive animals demonstrate divergent behavioral and neuroendocrine reactions to stress. Under stressful conditions, submissive rats show higher corticosterone and serotonin levels, which must be associated with a diverse functioning of the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis [10,11,12]. Several studies have also emphasized the parallels between submissive behavior in rodents and depressive phenotypes observed in humans [13,14]. These authors argue that submissive animal behavior may serve as a valid model for depression. Based on this perspective, we propose that submissive animals are inherently more susceptible to anxiety and depression and, consequently, more vulnerable to the effects of social isolation.

Based on the above the current study aims to investigate the effects of social isolation on behavioral outcomes and hypothalamic monoaminergic transmission in rats with different social statuses. By identifying the behavioral and neurochemical correlations of social stress in dominant and submissive phenotypes, this research contributes to a better understanding of the biological underpinnings of stress-related psychiatric vulnerabilities.

Materials and methods. Experiments were carried out on 60 white laboratory rats weighing 200-250g. Animals were divided into experimental (n =10) and control (n=10) groups. Each group contained 3 male and 2 female rats. They were housed in standard (15 X 35X 45 cm) cages. Experiments performed on male rats only. In order to identify dominant and submissive animals in small groups of rats we used two methods enabling the stronger animal to gain a victory during the getting of food and water. In the first method we studied the animals' behaviour in condition of high food motivation. After 48 h of food deprivation, we placed sufficient food granules (each granule weighed about 2 g) for only one animal in the cage. The placing was repeated several times during 30 min, during which interval we recorded the numbers of: bites, food graspings, attempts to grasp food and portions of food taken, as well as duration of grooming activity. In the second method we created high thirst motivation by 48 h water deprivation and then placing a water bowl in the cage so as to be accessible to only one animal. During 15 min the numbers of water lapping's and bites and the duration of grooming activity were recorded [10,11]. The selection of dominant and submissive rats was made according to the summarized behavioural parameters revealed during these conflict situations.

The social isolation of dominant and submissive rats was performed in experimental groups. Rats were placed in small, individual cages (27×15×21) for 14 days under controlled environmental conditions.

In order to evaluate anxiety and depressive behavior of rats we used "forced swim" [15,16] and "elevated cross maze" tests [17,18].

We determined the monoaminergic transmission in the hypothalamus (serotonine, dopamine, norepinephrine) and the concentration of the basal corticosterone in plasma by immunoenzyme analyzer - ELISA reader. The data were processed statistically by two-way factorial analysis (ANOVA).

Results and Discussion. According to the results of the study, notable differences were observed between dominant and submissive rats that were not subjected to social isolation procedures (i.e., control groups). Specifically, the "forced swim" test revealed that the duration of immobility was significantly higher in submissive animals compared to their dominant counterparts ($P<0.01$) (Fig. 2). Submissive rats also exhibited significantly lower basal serotonin concentrations in the hypothalamus compared to dominant rats ($P<0.01$) (Fig. 4). No significant differences were observed in hypothalamic dopamine and norepinephrine concentrations, or in basal plasma corticosterone levels between rats of different social status. Furthermore, the "elevated plus maze" test showed no significant differences between dominant and submissive rats in the amount of time spent in the open arms (Fig. 1).

Following 14 days of social isolation, the time spent in the open arms of the elevated cross maze was significantly reduced in both dominant and submissive rats compared to animals in the control groups ($P<0.01$) (Fig. 1). Additionally, after stress exposure, submissive rats spent significantly less time in the open arms than dominant rats ($P<0.05$) (Fig. 1). The forced swim test revealed no significant changes in immobility duration in either dominant or submissive rats following isolation (Fig. 2). A significant increase in basal plasma corticosterone levels was detected in both dominant and submissive animals compared to the control groups ($P<0.01$) (Fig. 3). Dopamine concentrations in the hypothalamus were significantly elevated in both dominant and submissive rats ($P<0.01$) (Fig. 5), whereas norepinephrine levels were significantly increased only in dominant individuals after stress ($P<0.05$) (Fig. 6). No significant changes in hypothalamic serotonin concentrations were detected between the experimental and control groups (Fig. 4).

According to the obtained results, 14 days of social isolation did not result in increased depressive-like behavior in either dominant or submissive rats, as assessed by the forced swim test. However, in the elevated cross maze, both dominant and submissive rats exhibited fear- and anxiety-like behaviors, which were more pronounced in submissive individuals. Despite the elevated anxiety levels, no significant changes in hypothalamic serotonin concentrations were observed. In contrast, dopamine concentrations were increased in both dominant and submissive rats. Notably, norepinephrine levels were significantly elevated only in dominant rats.

Previous studies have demonstrated that behavioral and neurochemical responses to stress are influenced by multiple factors, including the type of stressor and individual characteristics of the nervous system [10,19, 20]. In our study, social isolation stress led to increased hypothalamic dopamine levels in both dominant and submissive rats. However, norepinephrine levels were significantly elevated only in dominant individuals, who also showed lower anxiety levels compared to submissive rats. These findings are in line with other studies reporting that dominant individuals tend to exhibit a noradrenergic stress response profile [21,22]. Notably, no changes in basal hypothalamic serotonin levels were found at this stage of isolation-induced stress, despite the presence of heightened anxiety.

The evidence for an involvement of endogenous serotonin in anxiety is contradictory. Increased anxiety behavior in rodents, for example, has been characterized by increased serotonergic activity in several brain structures, whereas other studies emphasized the link between low serotonin and anxiety [9, 23]. Similarly, stress-induced changes in serotonin synthesis and levels are variable, with increases, decreases, and no effects reported [24]. Thus, the results of our study support the hypothesis of other researchers that physiological mechanisms under stress and anxiety are not to depend on serotonin only but seem to include disbalanced interactions between serotonin and other neurotransmitters in the different brain structures such as hypothalamus, hippocampus, prefrontal cortex.

Thus, according to the findings, a 14-day period of social isolation induces anxiety-like behavior in both dominant and submissive rats. However, the level of fear and anxiety was notably higher in submissive individuals. As anticipated, these animals appeared to be more sensitive to the effects of isolation. These behavioral changes were accompanied by alterations in monoaminergic transmission within the hypothalamus, characterized by increased levels of dopamine and norepinephrine.

Numerous studies have demonstrated that stress exposure leads to alterations in monoaminergic transmission in key brain regions, including the hypothalamus, and that these changes play a critical role in stress adaptation and the development of stress-related pathologies [25,26,27]. Based on the findings of the present study and existing literature, we propose that the increased concentrations of dopamine and norepinephrine in the hypothalamus observed at this stage of stress exposure represent compensatory, adaptive mechanisms aimed at counteracting the development of stress-related disorders.

Conclusions. Thus, a 14-day social isolation elicits anxiety-like behavior in both dominant and submissive individuals, which is associated with alterations in hypothalamic monoaminergic signaling, notably characterized by elevated dopamine and norepinephrine levels. These findings suggest that the

observed increases in hypothalamic monoamine concentrations reflect compensatory and adaptive neurochemical responses aimed at mitigating the adverse effects of prolonged stress exposure and preventing the development of stress-related pathologies. According to the study's results, submissive individuals exhibit significantly greater sensitivity to social isolation stress than their dominant counterparts. By identifying the behavioral and neurochemical correlations of social stress in dominant and submissive phenotypes, this research contributes to a better understanding of the biological underpinnings of stress-related psychiatric vulnerabilities.

This work is supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia, grant FR-23-2770

Figures

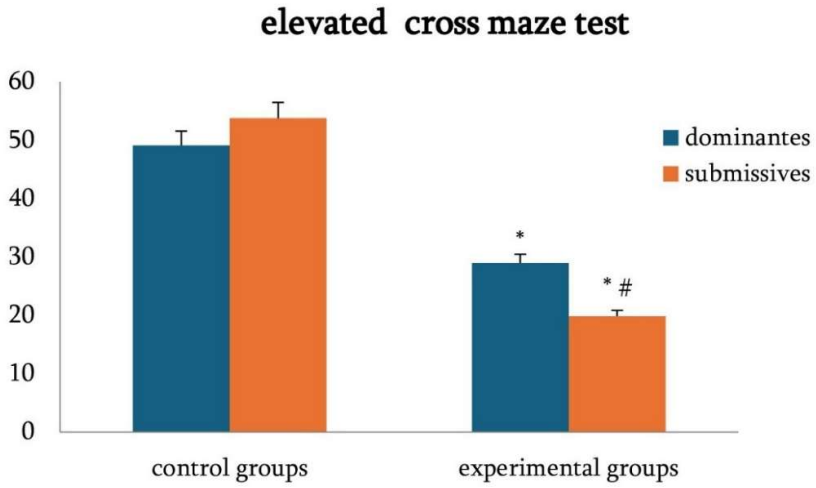


Fig. 1. Abscissa: time/s spent in the open arms.

* - Compared to the control groups, p< 0,01

- Compared to the dominant rats of the experimental groups, p< 0,05

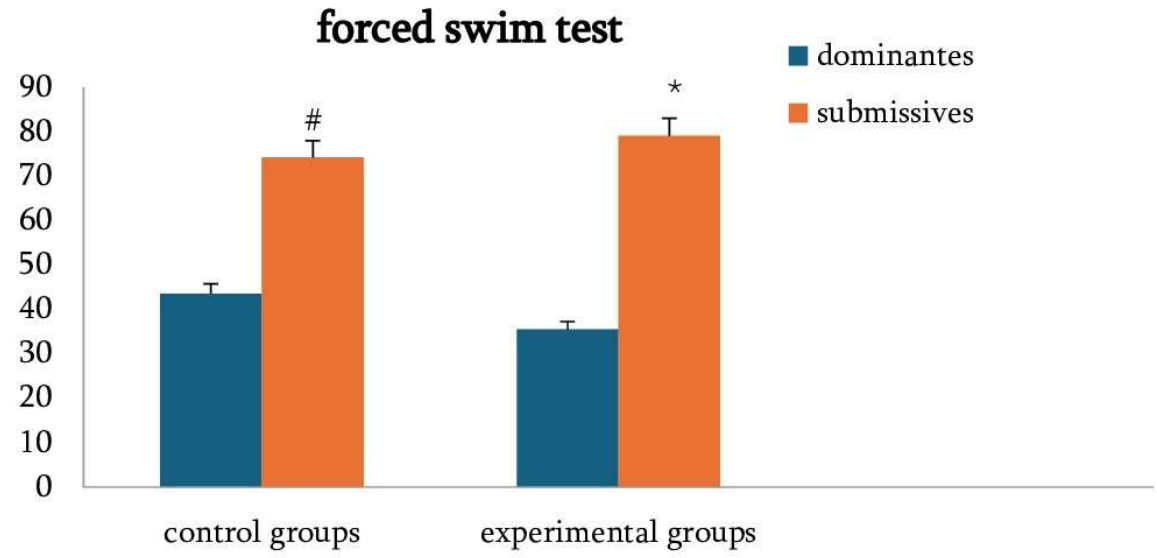


Fig. 2. Abscissa: duration/s of immobility.

#- Compared to the dominant rats of the control groups, p< 0,01

* - Compared to the dominant rats of the experimental groups, p< 0,01

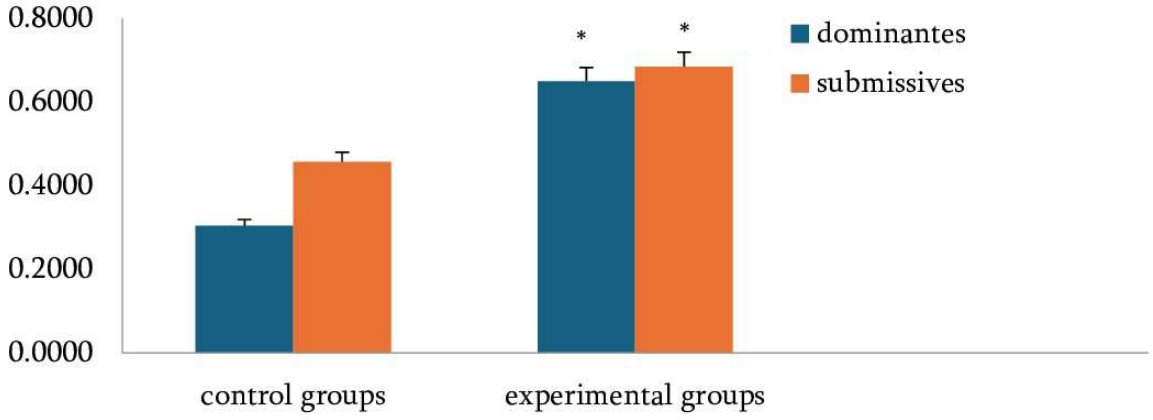


Fig. 3. The concentration of corticosterone in rats' plasma (μg/mg protein).

* - Compared to the control groups, p< 0,01

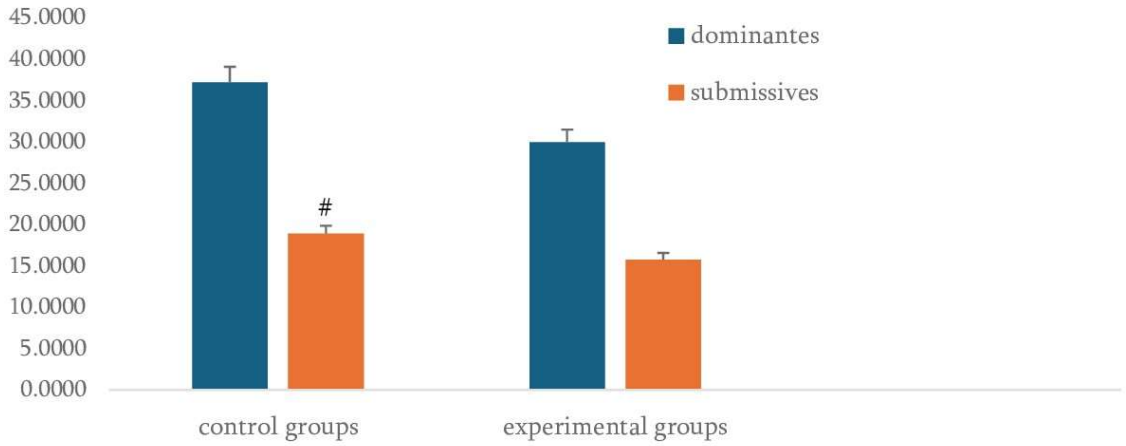


Fig. 4. The concentration of serotonine in the rat's hypothalamus (μg/mg protein**).**

#- Compared to the dominant rats of the control groups, p< 0,01

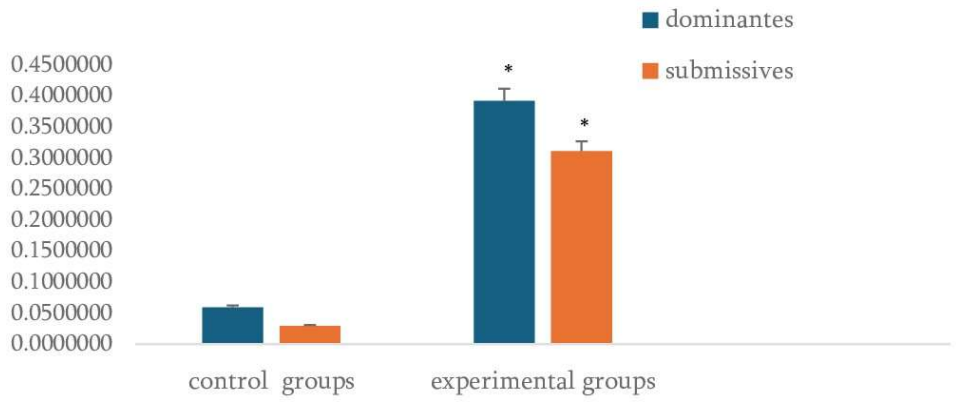


Fig. 5. The concentration of dopamine in the rat's hypothalamus (μg/mg protein)**.**

* - Compared to the control groups, p< 0,01

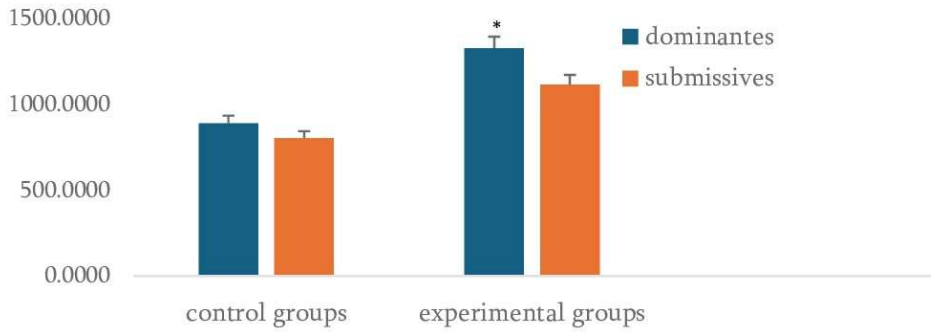


Fig. 6. The concentration of norepinephrine in the rat's hypothalamus (μg/mg protein).

*- Compared to the dominant rats of the control groups, p< 0,05

References

1. Brandt L, Liu S, Heim C, Heinz A. "The effects of social isolation stress and discrimination on mental health". Transl Psychiatry, 2022 Sep 21;12(1):398.
2. Henssler J, Stock F, van Bohemen J, Walter H, Heinz A, Brandt L. "Mental health effects of infection containment strategies: Quarantine and isolation—a systematic review and meta-analysis". Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci., 2021; 271:223–34.
3. McNeal N, Anderson EM, Moenk D, Trahanas D, Matuszewich L, Grippo AJ. "Social isolation alters central nervous system monoamine content in prairie voles following acute restraint". Soc Neurosci., 2018 Apr;13(2):173-183.
4. Loades ME, Chatburn E, Higson-Sweeney N, Reynolds S, Shafran R, Brigden A, Linney C, McManus MN, Borwick C, Crawley E. "Rapid Systematic Review: The Impact of Social Isolation and Loneliness on the Mental Health of Children and Adolescents in the Context of COVID-19". J Am Acad Child Adolesc Psychiatry, 2020 Nov;59(11):1218 1239; e3.
5. Begni V, Sanson A, Pfeiffer N, Brandwein C, Inta D, Talbot Sr, Riva MA, Gass P, Mallien AS. "Social isolation in rats: Effects on animal wefare and molecular markers for neuroplastisity ". PLoS One, 2020Oct 27;15(10); e 0240439.
6. McKittrick CR, Blanchard DC, Hardy MP, & Blanchard RJ (2009)." Social stress effects on hormones, brain, and behavior ". Hormones, Brain and Behavior, 2010,1:735-772.
7. Liu Y, Zhao J, Guo W. "Emotional Roles of Mono-Aminergic Neurotransmitters in Major Depressive Disorder and Anxiety Disorders". Front Psychol, 2018 Nov 21; 9:2201.
8. Mumtaz F, Khan, M.I., Zubair M, Dehpour, A.R. "Neurobiology and consequences of social isolation stress in animal model—A comprehensive review". Biomed Pharmacother., 2018 Sep: 105:1205-1222.
9. Umriukhin AE, Wigger A, Singewald N, Landgraf R. "Hypothalamic and hippocampal release of serotonin in rats bred for hyper- or hypo-anxiety". Stress, 2002 Dec;5(4):299-305.

10. Matitaishvili T, Domianidze T, Emukhvari N, Khananashvili M. “Behavioral Characteristics of Rats on Various Hierarchical Level”. Georgian Medical News, 2016, N 3, 63–73.
11. Matitaishvili T, Domianidze T, Kozmava K. “Social stress causes depressive-like behavior in submissive rats”. Journal of Biological Physics and Chemistry, 2023 (23), 53-56.
12. McEwen, B.S., McKittrick, C.R., Tamashiro K.L., Sakai, R.R. “The brain on stress: Insight from studies using the Visible Burrow System”. Physiology & Behavior, 2015(146), 47-56.
13. Malatynska E, Rapp R, Harrawood D, Tunnicliff G. “Submissive behavior in mice as a test for antidepressant drug activity”. Pharmacol Biochem Behav., 2005 Oct;82(2):306-13.
14. Nesher E, Gross M, Lisson S, Tikhonov T, Yadid G, Pinhasov A. “Differential responses to distinct psychotropic agents of selectively bred dominant and submissive animals”. Behav Brain Res., 2013 Jan 1;236(1):225-235.
15. Slattery D. A., and Cryan J. F. “Using the forced swim test to assess antidepressant-like activity in rodents”. Nat. Protoc., 2012, 7, 1009–1014.
16. Yankelevitch Yahav R, Franko M, Huly A, Doron R. “The Forced Swim Test as a Model of Depressive-like Behavior”. Journal of Vis Exp., 2015 Mar 2;(97):52587.
17. Carobrez A. P., and Bertoglio L. J. “Ethological and temporal analyses of anxiety-like behavior: the elevated plus-maze model 20 years on”. Neurosci. Biobehav. Rev., 2005, 29, 1193–1205.7.
18. Arantes R, Tejada J, Bosco G.G, Morato S, Roque A. C. „Mathematical methods to model rodent behavior in the elevated plus-maze”. J. Neurosci. Methods, 2013, 220, 141–148.
19. Villada C, Hidalgo V, Almela M, Salvador A. “Individual Differences in the Psychobiological Response to Psychosocial Stress (Trier Social Stress Test): The Relevance of Trait Anxiety and Coping Styles”. Stress Health, 2016 Apr;32(2):90-9.
20. Ebner K, Singewald N. “Individual differences in stress susceptibility and stress inhibitory mechanisms”. Current Opinion in Behavioral Sciences, 2017 Apr, Volume 14, 54-64.
21. Wood CS, Valentino RJ, Wood SK. “Individual differences in the locus coeruleus norepinephrine system: Relevance to stress-induced cardiovascular vulnerability”. Physiol Behav., 2017 Apr 1:172:40-48.
22. Haller J, Kruk MR. “Normal and abnormal aggression: human disorders and novel laboratory models”. Neurosci Biobehav Rev., 2006;30(3):292-303.
23. Stein D.J. and Stahl S. “Serotonin and anxiety: current models”. International Clinical Psychopharmacology, 2000, 15, S1–6.
24. McKittrick C.R. and McEwen B.S. “Regulation of serotonergic function in the CNS by steroid hormones and stress”. In: Stone, T.W., eds, CNS Neurotransmitters and Neuromodulators (CRC Press, Boca Raton, Florida) 1996, 4, 37–76.
25. Barr JL, Foster GL. “Serotonergic neurotransmission in the ventral hippocampus is enhanced by corticosterone and altered by chronic amphetamine treatment”. Neuroscience, 2011 May, 19:182:105-14.
26. Harvey BH, Brand L, Jeeva Z, Stein DJ. “Cortical/hippocampal monoamines, HPA-axis changes and aversive behavior following stress and restress in an animal model of post-traumatic stress disorder”. Physiol Behav., 2006 May 30;87(5):881-90.

27. Lapiz-Bluhm MD. “Impact of stress on prefrontal glutamatergic, monoaminergic and cannabinoid systems”. Curr Top Behav Neurosci., 2014,18:45-66.

სოციალური იზოლაციის შედეგები ქცევასა და ჰიპოთალამური მონოამინერგული ნეიროტრანსმისიის მახასიათებლებზე სხვადასხვა სოციალური სტატუსის ზრდასრულ ვირთაგვებში

მათითაიშვილი თამარი[1], დომიანიძე თამარი[1], ბურჯანაძე გიორგი[2], შენგელია მარიამი[2], მენთეშაშვილი ნატო[1]

[1] ივანე ბერიტაშვილის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრი., [2] ივანე ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი

უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებული აქტუალობა შეიძინა სოციალური იზოლაციით გამოწვეული სტრესის მნიშვნელობამ ადამიანის ფსიქიატრიული ხასიათის ქცევითი დარღვევების განვითარებაში. ექსპერიმენტებმა ცხოველური მოდელების გამოყენებით ცხადყო, რომ სოციალური სტრესი იწვევს დეპრესიულ და შფოთვის ტიპის ქცევას, ფიზიოლოგიური და ენდოკრინული რეგულაციის დარღვევით. ცნობილია, რომ სტრესოგენური ზემოქმედება ცვლის ცენტრალური ნეიროტრანსმიტერული სისტემების ფუნქციონირებას, განსაკუთრებით კი იმ ნერიომედიატორებისა, რომელნიც მონოამინერგულ გადაცემას უზრუნველყოფენ. კვლევებით დასტურდება, რომ თავის ტვინში სეროტონინის, ნორადრენალინისა და დოფამინის გადაცემის დარღვევა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს შფოთვისა და დეპრესიის განვითარებაში. ამავდროულად სტრესის განვითარების ხასიათი და შედეგები განსხვავდება ორგანიზმის ინდივიდუალური ნეიროფიზიოლოგიური თავისებურებების, მათ შორის სოციალური სტატუსის გათვალისწინებით. კვლევის მიზანს წარმოადგენდა სოციალური იზოლაციით გამოწვეული სტრესის გავლენის შესწავლა ქცევაზე და ჰიპოთალამუსის მონოამინერგულ გადაცემაზე განსხვავებული სოციალური სტატუსის ვირთაგვებში. ექსპერიმენტები ჩატარდა მამრობითი სქესის თეთრი ლაბორატორიული ვირთაგვების ჯგუფებზე. ვირთაგვების სოციალური სტატუსი განისაზღვრა საკვებზე და წყალზე კონკურენციის პრინციპზე დაფუძნებული მეთოდების გამოყენებით. დომინანტი და სუბმისური ვირთაგვების სოციალური იზოლაცია განხორციელდა მცირე ზომის ინდივიდუალურ გალიებში 14 დღის განმავლობაში. დეპრესიული და შფოთვითი ქცევა შეფასდა “ამაღლებული ჯვარედინი ლაბირინთის” და “იძულებითი ცურვის” ტესტების გამოყენებით. სოციალური იზოლაციის შემდეგ როგორც დომინანტ, ასევე სუბმისიურ ვირთაგვებში ქცევითი ტესტების მიხედვით გამოვლინდა შფოთვითი ქცევა. იზოლაციის საპასუხოდ ვირთაგვების ჰიპოთალამუსში აღინიშნა დოფამინის კონცენტრაციის მატება. ნორადრენალინის დონე კი მნიშვნელოვნად გაიზარდა მხოლოდ დომინანტ ინდივიდებში, რომელთაც ამავდროულად აჩვენეს შფოთვის შედარებით დაბალი დონე სუბმისურებთან

შედარებით. ამრიგად, 14-დღიანი სოციალური იზოლაცია იწვევს დომინანტ და სუბმისურ ვირთაგვებში შფოთვითი ტიპის ქცევას და ჰიპოთალამუსის მონოამინერგული გადაცემის ცვლილებებას დოფამინისა და ნორადრენალინის დონის მატებით. მიღებული მონაცემები მიუთითებს, რომ ჰიპოთალამუსში მონოამინების კონცენტრაციის გაზრდა წარმოადგენს კომპენსატორულ, ადაპტაციური ხასიათის ნეიროქიმიურ რეაქციას, რომელიც მიმართულია სტრესის მავნე ეფექტების შემცირებისკენ და სტრესით გამოწვეული პათოლოგიების საწინააღმდეგოდ. კვლევის შედეგებით დადგინდა, რომ სუბმისიური ინდივიდები გაცილებით მაღალი მგრძლობელობით გამოირჩევიან სოციალური იზოლაციის მიმართ. აღნიშნული მიგნებები ხაზს უსვამს ინდივიდუალური სოციალური პროფილის გათვალისწინების მნიშვნელობას სტრესის ადაპტაციური მექანიზმებისა და სტრესით გამოწვეული ფსიქოპათოლოგიების კვლევის პროცესში.

საკვანძო სიტყვები: სოციალური იზოლაცია, შფოთვითი ქცევა, მონოამინერგული ნეიროტრანსმისია, ჰიპოთალამუსი, ვირთაგვები

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.35



კორპორაციულ სისტემებში დოკუმენტბრუნვის ავტომატიზაცია

ელზა ბიწაძე[1], ცაცა ნამჩევაძე[2]

[1]აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ასისტენტ პროფესორი,
elza.bitsadze@atsu.edu.ge, T -577-73-47-73

[2]აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ასოცირებული პროფესორი,
tsatsanamg@gmail.com, T-598-59-44-59

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია დოკუმენტბრუნვის არსი და მისი შემადგენელი ეტაპები. ჩამოყალიბებულია დოკუმენტების ნაკადების სახეები: შემომავალი დოკუმენტები, გამომავალი დოკუმენტები და შიდა დოკუმენტები.

აღნიშნულია, რომ დოკუმენტბრუნვა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტია ორგანიზაციული ფუნქციონირებისათვის. ამ პროცესის ავტომატიზავია-ციფრული მართვა-შესაძლებლობას აძლევს კორპორაციულ სისტემებს შეამცირონ დროითი და ფინანსური ხარჯები, თავიდან აიცილონ არასწორი ინფორმაციის მიმოცვლა და სხვა. ისინი ავტომატიზაციისათვის გამოიყენებენ ორგანიზაციის მიერ შემუშავებულ ან მზა პროგრამულ პროდუქტებს.

სტატიაში ჩამოყალიბებულია XML-ტექნოლოგიის არსი და მნიშვნელობა დოკუმენტბრუნვის პროცესის ავტომატიზაციაში. იგი წარმოადგენს კორპორაციული სისტემის მართვის პროგრამული უზრუნველყოფის საფუძველს.

საკვანძო სიტყვები: დოკუმენტბრუნვა, კორპორაციული სისტემა, დოკუმენტების ნაკადები, პროგრამული დანართები, XML ენა.

თანამედროვე კორპორაციული გარემო სწრაფად ცვალებადია. იგი მოითხოვს ეფექტურ, უსაფრთხო, გამჭვირვალე კომუნიკაციას ორგანიზაციის შიდა და გარე სტრუქტურებს შორის. დოკუმენტბრუნვა ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი კომპონენტია ორგანიზაციული ფუნქციონირებისათვის. ციფრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია ამ სფეროში არამარტო ამარტივებს შიდა პროცესებს, არამედ ამაღლებს პასუხისმგებლობას, ზრდის პროდუქტიულობას და უზრუნველყოფს დოკუმენტებისა და მონაცემების დაცულობას [1].

დოკუმენტბრუნვა – ესაა დოკუმენტების მოძრაობა ორგანიზაციის შიგნით მათი შექმნის ან მიღების მომენტიდან შესრულების ან გაგზავნის პროცესის დასრულებამდე. დოკუმენტბრუნვა დამოკიდებულია მართვის სისტემაზე.

დოკუმენტების დამუშავებისა და მოძრაობის ტექნოლოგიურ ჯაჭვში გამოყოფენ დოკუმენტბრუნვის შემდეგ ეტაპებს:

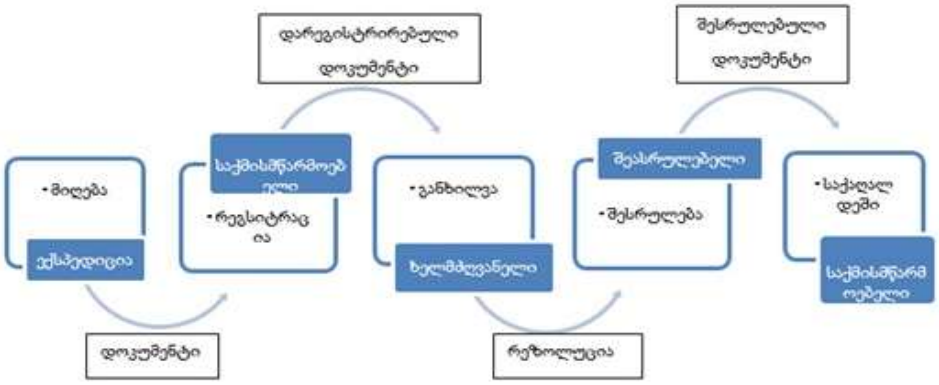
- ორგანიზაციაში შემოსული დოკუმენტების მიღება და პირველადი გადამუშავება;
- დოკუმენტების წინასწარი განხილვა და განაწილება;
- დოკუმენტების რეგისტრაცია;
- კონტროლი დოკუმენტების შესრულებაზე;
- საინფორმაციო-საცნობარო მუშაობა;
- დოკუმენტების შესრულება, მათი შედგენა, შეთანხმება, გაფორმება.

ზოგადად, ორგანიზაციაში გამოყოფენ დოკუმენტების შემდეგ ნაკადებს:

- შემომავალი დოკუმენტების ნაკადები;
- გამომავალი დოკუმენტების ნაკადები;
- შიდა დოკუმენტების ნაკადები.

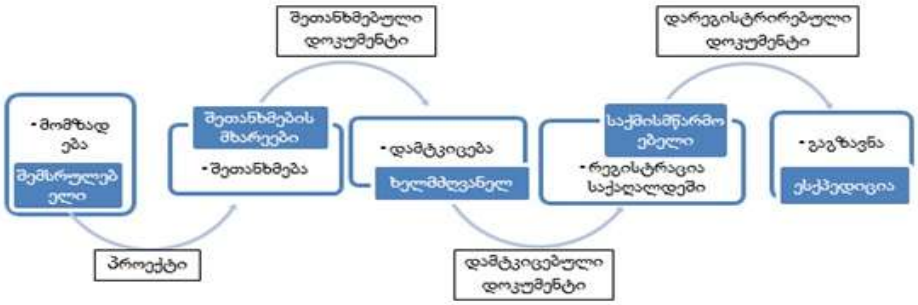
შემომავალი დოკუმენტების ნაკადების ჯგუფი მოიცავს მთელ დოკუმენტაციას, რომელიც შემოდის ფირმის სახელზე: განკარგულებები, ზემდგომი ინსტანციების ბრძანებები, სასამართლოს გადაწყვეტილებები, საგადასახადო ინსპექციიდან მიღებული წერილები, საქმიანი კორესპონდენციები, კომერციული წინადადებები, მოსახლეობის თხოვნები და სხვა.

ელექტრონული დოკუმენტბრუნვის საშუალებით ხდება დოკუმენტებთან მუშაობის ყველა იმ ეტაპის ავტომატიზაცია, რომელიც შემოდის ორგანიზაციაში. ესაა დოკუმენტების მიღება, რეგისტრაცია, რეზოლუცია, კონტროლზე აყვანა, შემსრულებლებთან მიტანა (ნახ. 1) [4.5].



ნახ. 1. შიდა დოკუმენტების ნაკადი

გამომავალი დოკუმენტების ნაკადები მოიცავს ყველა დოკუმენტაციას, რომელიც იგზავნება ფირმის სახელით: ბრძანების შესრულების შესახებ ანგარიში, სარჩელი, კასაცია, საქმიანი ფოსტა, პაუხები მოთხოვნებსა და საჩივრებზე. ავტომატიზებული დოკუმენტბრუნვა თავიდან აცილებს კომპანიას შეცდომებს გამომავალი დოკუმენტების გაფორმების, შეთანხმების, დამტკიცების და რეგისტრაციის დროს (ნახ. 1).



ნახ. 2. გამომავალი დოკუმენტების ნაკადი

შიდა დოკუმენტების ნაკადები მოიცავს დოკუმენტაციას, რომელიც არ გამოდის კომპანიის გარეთ:

- მარეგულირებელი (ბრძანებები, განკარგულებები, გადაწყვეტილებები, მიმართვები, დადგენილებები), საფინანსო-ბუღალტრული (მთავარი წიგნი, ბალანსი, წლიური ანგარიში, რევიზიის აქტები და ა.შ.), საინფორმაციო-საცნობარო (მოხსენებითი ბარათი, აქტები, ოქმები, განცხადებები და ა.შ.) დოკუმენტები;
- დოკუმენტაცია შრომითი ურთიერთობის შესახებ (შრომითი კონტრაქტი, პირადი საქმე, შვებულების გრაფიკი და ა.შ.);
- პირადი დოკუმენტები (ავტობიოგრაფია, მინდობილობა და ა.შ.).

ელექტრონული დოკუმენტბრუნვა საშუალებას გვაძლევს ორგანიზაციაში ავტომატიზებულ რეჟიმში მოვახდინოთ დოკუმენტების (მომზადება, შეთანხმება, მიღება, რეგისტრაცია და შემოწმება) შიდა დოკუმენტებთან ურთიერთობის ყველა ეტაპი.

ამგვარად, ყველა დოკუმენტაცია გადის განვითარების რთულ ციკლს, რომელიც მოიცავს მრავალ ეტაპს. შესაბამისად ამ პროცესში ჩართულია მთელი რიგი თანამშრომლებისა. ორგანიზაციაში დოკუმენტბრუნვის ავტომატიზაცია საშუალებას აძლევს ხელმძღვანელობას აარიდონ თავი მრავალ რუტინულ სამუშაოს. აღარ არის საჭირო არქივის შექმნა ქაღალდების შესანახად, სწრაფდება ინფორმაციის შენახვისა და გადამუშავების პროცესი, მატულობს მათი უსაფრთხოების ხარისხი [2,3,5].

დოკუმენტბრუნვის ავტომატიზაციით შესაძლებელია:

- დოკუმენტების ავტომატური რეგისტრაცია და კლასიფიკაცია;
- სამუშაო ნაკადების (workflow) განსაზღვრა;
- პასუხისმგებლობების ზუსტი გადანაწილება;
- ელ. ხელმოწერა და ცვლილებების ისტორიის შენახვა;
- ვადების კონტროლი და შეტყობინებების ავტომატური გაგზავნა;
- ძიების და არქივირების ეფექტური მექანიზმების შემუშავება.

კორპორაციული სისტემის მართვისთვის გამოიყენება სპეციალური დანიშნულების ***პროგრამული დანართების*** დიდი რაოდენობა, რომლებიც შექმნილია სხვადასხვა პროგრამული უზრუნველყოფების ბაზაზე. აღსანიშნავია, რომ კორპორაციული სისტემის ფუნქციონირების სრული სასიცოცხლო ციკლის ავტომატიზაცია ვერ მოხდება ერთბაშად და ამდენად, პროგრამული დანართების შექმნას აქვს ეტაპობრივი ხასიათი.

ორგანიზაციამ შესაძლოა დამოუკიდებლად შეიმუშაოს დოკუმენტების რეგისტრაციის პროგრამა, მაგრამ უფრო ხშირად იყენებენ მზა პროგრამულ პროდუქტებს.

პროგრამული დანართები შესაძლებელია შეიქმნას როგორც ცალკეული მოდულები და შემდგომ გაერთიანდეს ერთ სრულ სისტემაში. კორპორაციული ავტომატიზებული სისტემის წარმოება მიეკუთვნება ვებ-ინტერფეისული სისტემების აგების კლასს, რომლის მართვა ხორციელდება ვებ-სერვისული ტექნოლოგიითა და სერვის-ორიენტირებული არქიტექტურით. ამ მხრივ, როგორც წესი პრობლემატურია ცალკეული პროგრამული უზრუნველყოფის თავსებადობის ასპექტები.

კორპორაციული საინფორმაციო სისტემების მთავარი მახასიათებელია თავსებადობა. თავსებადობის უზრუნველყოფის საფუძველია გაფართოებადი ფორმატირების ენა XML (Extensible Markuap Language) და ე.წ. ღია სტანდარტები - უნივერსალური აღწერის, ძიებისა და ურთიერთქმედების სტანდარტი (UDDI - Universal Description, Discovery and Integration), ვებ-სერვისების აღწერის ენა (WSDL - Web Services Description Language), ობიექტებზე მარტივი წვდომის პროტოკოლი (SOAP - Simple Object Access Protocol). ეს არის პლატფორმისაგან დამოუკიდებელი, ღია ტექნიკური არქიტექტურა, სადაც ინფორმაციის გაცვლის ძირითადი ერთეული არის შეტყობინება. შეტყობინების სტრუქტურა კი არის XML ფორმატის დოკუმენტი. სერვის-ორიენტირებული არქიტექტურის ბირთვს წარმოადგენს კომპონენტური მოდელი, რომელიც აკავშირებს დანართების სხვადასხვა ფუნქციონალურ მოდულებს ანუ სერვისებს. სერვისის მუშაობა ხორციელდება სამი ძირითადი ელემენტით: ბიზნეს-წესები, ოპერაციები და შეტყობინებები.

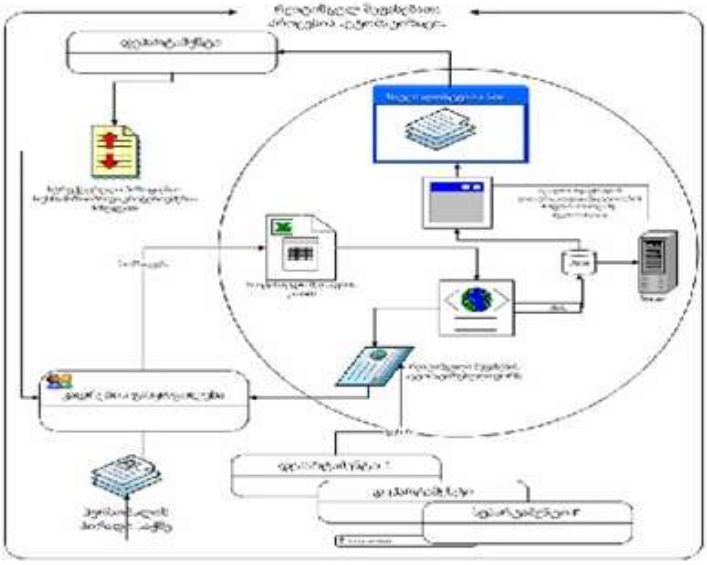
როგორც არვნიშნეთ კორპორაციულ სისტემებში მნიშვნელოვანი სერვისული ფუნქციაა დოკუმენტბრუნვის პროცესი. ძირითადად, დოკუმენტების შექმნისთვის რიგითი მომხმარებელი იყენებს ოფისის სისტემების ფორმატს, რომელშიც აისახება ფაქტობრივად წარმოების პროცესის მთელი ინფორმაცია. აღსანიშნავია, რომ რთულია და რიგ შემთხვევაში შეუძლებელი ოფისის სისტემების ფორმატში ჩაწერილი ინფორმაციის დამუშავება. სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ იგი ვერ წარმოიდგინება მონაცემებად და შესაბამისად ვერ მანიპულირდება.

აღნიშნული პრობლების გადაწყვეტის საინტერესო გზაა **XML ტექნოლოგია**, რომელიც წარმოადგენს დოკუმენტის აღწერის მეტა-ენას და ასრულებს მონაცემთა კოოპერაციის ერთგვარ ხიდს პროგრამულ დანართებში (მაგალითად, ოფისის სისტემები, მაღალი დონის პროგრამული ტექნოლოგიები, მონაცემთა ბაზის მართვის სისტემები, ვებ-დანართები და ა.შ.). ფაქტობრივად, XML ენა დოკუმენტბრუნვის პროცესის მართვის ბირთვია, რომელიც ახდენს ინფორმაციის გარდაქმნას მონაცემებად და მონაცემებით სასურველი დოკუმენტის შექმნას.

XML ენის საშუალებით შესაძლებელია დამუშავდეს დახურული, შიდა სისტემები, რომლებიც ურთიერთქმედებს სხვა გარე სისტემებთან და ამასთან ერთად არ ცვლის მონაცემების შიგა სტრუქტურულ მხარეს. კომერციულ და საწარმოო ფირმებს შორის ინტერნეტით გაგზავნილი დოკუმენტების ფორმატი და სტრუქტურა არ უნდა შეესაბამებოდეს ამ კომპანიების შიგა მონაცემთა ბაზების ფორმატსა და სტრუქტურას [4,5].

განვიხილოთ საკადრო რესურსების მოთხოვნისა და რეიტინგული შეფასების დოკუმენტბრუნვის პროცესი. დავუშვათ კორპორაციის რომელიმე დეპარტამენტმა მოითხოვა

ახალი თანამშრომელი. ინფორმაციას საკადრო რესურსის შესახებ მთლიანად ფლობს ადამიანური რესურსების განყოფილება. საკადრო რესურსის შეფასებას ახდენს კორპორაციაში შემავალი თითოეული დეპარტამენტის თუ ქვეგანყოფილების ხელმძღვანელი. ამ პროცესის შესრულების მთავარი სტრუქტურული ერთეულია კადრების განყოფილება, რომლის ფუნქციაშიც შედის პერიოდული ტესტირების მომზადება და შესრულების კონტროლი. პრაქტიკულად, რეიტინგული შეფასების დოკუმენტბრუნვის პროცესში მონაწილეობას იღებს კორპორაციაში არსებული ყველა დეპარტამენტი. ამ პროცესის ფუნქციონირების ფრაგმენტი ასახულია ნახ.3-ზე.



ნახ. 3. დოკუმენტბრუნვის პროცესის ფუნქციონირების ფრაგმენტი

სტატიაში განხილულია დოკუმენტბრუნვის არსი, დოკუმენტების ნაკადების სახეები, დოკუმენტბრუნვის ავტომატიზაციის საკითხები პროგრამული დანართების გამოყენებით. ამასთან ჩამოყალიბებულია XML ენის დანიშნულება დოკუმენტბრუნვის მართვის პროცესში.

ლიტერატურა

1. Pasquale De Marco (2025) -Your Guide to Electronic Document Management PP – 238.
2. Kooper, M., Maes, R., & Roos Lindgreen, E. (2011). On the governance of information: Introducing a new concept of governance to support the management of information. International Journal of Information Management, 31(3), pp. 195–200.
3. Alexander D. Balzer, Klaus-Peter Elpel, Volker Feist (2021) -Audit Criteria for Electronic Document Management Processes and Associated IT Solutions SBN:9783932898280, 3932898281 : pp. -142
4. Bozzano G Luisa (2012)- Introduction to Electronic Document Management Systems ISBN:9780323140621, 0323140629 : pp. -250
5. ბიწაძე ე. ნავთობკომპანიების ბიზნეს-პროცესების მენეჯმენტის ავტომატიზაცია, თბილისი, 2018 წ. გვ. 129.

Document circulation automation in corporate systems

Elza Bichadze, Akaki Tsereteli State University,Assistant Professor, elza.bitsadze@atsu.edu.ge, T -577-73-47-73

Tsatsa Namchevadze, Akaki Tsereteli State University, Associate Professor, tsatsanamg@gmail.com, T-598-59-44-59

Summary

The article discusses the essence of document circulation and its constituent stages. It defines the types of document flows: incoming documents, outgoing documents, and internal documents.

It is noted that document circulation is one of the key components for organizational functioning. The automation of this process—digital management—enables corporate systems to reduce time and financial costs, avoid the exchange of incorrect information, and more. For automation purposes, organizations use either custom-developed or ready-made software solutions.

The article outlines the essence and importance of XML technology in the automation of the document circulation process. It serves as the foundation for the software used in managing corporate systems.

Keywords: document circulation, corporate system, document flows, software applications, XML language.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.36



CLOSED-LOOP CARDIOPULMONARY BYPASS SYSTEMS WITH REAL-TIME MONITORING AND PHARMACOTHERAPY STRATEGIES: INNOVATIONS, OUTCOMES, CLINICAL IMPACT AND FUTURE DIRECTIONS IN GENERAL

Nodar Sulashvili[1], Sharon Fernando[2], Awad El-Hakeem[3], Luiza Gabunia[4], Nana Gorgaslidze[5], Margarita Beglaryan[6], Lali Patsia[7], Natia Kvizhinadze[8], Marika Sulashvili[9]

[1]MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Invited Lecturer (Invited Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Associate Affiliated Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Pharmacology of Pharmacy Program at Shota Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at School of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at the University of Georgia; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at East European University; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Tbilisi, Georgia; Researcher of Department of Pharmaceutical Management of Yerevan State Medical University after Mkhitar Heratsi, Yerevan, Armenia. Orcid https://orcid.org/0000-0002-9005-8577 E-mail: n.sulashvili@ug.edu.ge

[2]5th-year MD student at the Faculty of Medicine, Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia;

[3]5th-year MD student at the Faculty of Medicine, Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia;

[4]MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University, Professor, Head of the Department of Medical and Clinical Pharmacology at Tbilisi State Medical University, Clinical Pharmacologist of The First University Clinic of Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia https://orcid.org/0000-0003-0856-2684

[5]MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Head of The Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-4563-5224

[6]MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University After Mkhitar Heratsi, Head of the Department of Pharmaceutical Management, President of Association PHESA (Pharmacy and Pharmacology Education and Science Association), Yerevan, Armenia; https://orcid.org/0000-0003-3697-6390

[7]MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia.

[8]MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Tbilisi State Medical University, Department of Social and Clinical Pharmacy; Tbilisi, Georgia.

[9]MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. Orcid https://orcid.org/0000-0002-6338-4262.

ABSTRACT

Cardiopulmonary bypass (CPB) systems are a critical component in modern cardiac surgery, supporting the circulation and oxygenation of blood during procedures that require the temporary cessation of heart and lung function. Traditional CPB systems, however, are open-loop and operator-dependent, often limited by delayed response times, suboptimal control of hemodynamics, and variability in pharmacologic interventions. In recent years, the integration of closed-loop control mechanisms, real-time monitoring, and advanced pharmacotherapy strategies has marked a transformative shift in the design and application of CPB technologies. This paper explores the features, innovations, outcomes, and future directions of these next-generation closed-loop CPB systems. Closed-loop CPB systems incorporate feedback-controlled algorithms that autonomously adjust key parameters such as perfusion pressure, flow rate, oxygen delivery, temperature, and acid-base balance. These systems leverage continuous data input from sophisticated monitoring sensors to dynamically maintain homeostasis, thereby reducing the burden on clinical personnel and minimizing the risks of human error. Real-time monitoring includes parameters such as arterial and venous blood gases, lactate levels, hemoglobin concentration, systemic vascular resistance, and cerebral oximetry, all of which inform precise adjustments in perfusion and pharmacologic dosing. The integration of biosensors and digital health platforms facilitates constant communication between physiological data and therapeutic interventions. Pharmacotherapy during CPB is equally enhanced through automation. The inclusion of infusion pumps and smart drug delivery platforms enables precise titration of vasoactive drugs, anticoagulants, anesthetics, and anti-inflammatory agents based on real-time physiological feedback. Algorithms programmed into closed-loop systems can adapt drug dosages in response to shifting clinical conditions, optimizing hemodynamic stability and reducing the incidence of complications such as ischemia, coagulopathy, or systemic inflammatory response syndrome (SIRS). These capabilities are particularly valuable in high-risk populations such as pediatric or elderly patients, where physiological tolerance is narrow. Recent clinical and experimental studies have demonstrated significant benefits associated with the implementation of closed-loop CPB systems. These include improved intraoperative hemodynamic control, decreased duration of bypass, reduced blood product utilization, lower postoperative inflammatory markers, and shorter intensive care unit stays. The shift toward data-driven, patient-specific perfusion strategies has also opened avenues for individualized medicine, enhancing the safety and efficacy of cardiovascular surgical procedures. Despite these advancements, challenges remain in the standardization, regulatory approval, and integration of closed-loop systems across diverse surgical settings. There is a need for multicenter trials, robust validation protocols, and interdisciplinary collaboration among engineers, perfusionists, and clinicians to refine algorithm accuracy and ensure clinical reliability. Moreover, the ethical and logistical aspects of autonomous decision-making in critical care environments must be carefully addressed. Closed-loop cardiopulmonary bypass systems with real-time monitoring and pharmacotherapy treatment strategies represent a pivotal innovation in cardiac surgery. Their ability to offer responsive, adaptive, and precise management of patient physiology heralds a future where CPB becomes safer, more efficient, and increasingly personalized. Ongoing research and development will further enhance these systems, positioning them at the forefront of technological progress in cardiovascular medicine.

Keywords: Closed-loop, cardiopulmonary bypass, real-time monitoring, pharmacotherapy, perfusion control, hemodynamic stability, smart drug delivery, automated CPB.

INTRODUCTION

Cardiopulmonary bypass (CPB) remains a cornerstone technology enabling life-saving open-heart surgery, providing temporary circulatory and respiratory support while the heart is arrested. Despite decades of refinement, conventional CPB management relies heavily on manual operation by perfusionists, requiring continuous vigilance and rapid intervention to maintain hemodynamic stability, anticoagulation, gas exchange, and organ perfusion. This open-loop approach is inherently susceptible to human error, cognitive overload, and delayed responses to dynamic physiological changes, contributing to significant perioperative risks. These include hemodynamic instability, coagulopathies (thrombosis or hemorrhage), systemic inflammatory response syndrome (SIRS), end-organ dysfunction (e.g., renal, neurological), and extended intensive care unit (ICU) stays.

The integration of real-time physiological monitoring (e.g., continuous blood gas analysis, pressure/flow sensors, biochemical markers) with closed-loop control algorithms represents a paradigm shift towards intelligent, automated perfusion systems. These advanced systems dynamically adjust critical parameters – such as pump flow, arterial pressure, oxygen delivery, and crucially, targeted pharmacotherapy administration (e.g., heparin/protamine for anticoagulation, vasoactive drugs, anti-inflammatory agents) – based on continuous sensor feedback. This closed-loop approach promises enhanced precision, reduced human error burden, improved physiological stability, and ultimately, superior patient outcomes.

However, the field of closed-loop CPB is rapidly evolving with diverse technological implementations. Key innovations span advanced sensor technologies (optical, electrochemical), robust control algorithms (PID, fuzzy logic, model-predictive control, increasingly incorporating AI/ML), seamless human-machine interfaces, and sophisticated pharmacotherapy integration strategies. While promising, the evidence base for these systems remains fragmented. Comprehensive analyses characterizing their core technological features, rigorously evaluating the efficacy and safety of integrated pharmacotherapy protocols, quantifying their comparative clinical and operational outcomes against conventional CPB, and critically assessing their broader impact on workflow and safety are lacking. Furthermore, a clear synthesis of innovations and a consensus-driven roadmap for future development are urgently needed to guide research, investment, and clinical adoption.

Cardiopulmonary bypass (CPB) is a vital component in pediatric cardiac surgery, however, numerous obstacles are presented due to the immature and delicate physiology of neonates and infants. Commonly used open-loop CPB systems are no longer ideal due to the requirement of manual adjustments, along with the lack of reliability and being prone to human error. Closed-loop systems embody real-time monitoring and automatic control, enabling a potential advancement. This review assesses innovative designs, including Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), continuous SvO_2 monitoring, and adaptive perfusion algorithms. Key findings propose refinements in areas such as hemodynamic stability, perfusion accuracy, and reaction times during surgery. Challenges including expenses, the development of an intricate system, and ethical dilemmas are of primary concern. Future directions consist of establishing an algorithm distinctly for pediatric patients, collaborating with

diverse fields, and combining various control prototypes. Closed-loop CPB gives hope for a future where we can enhance safety and competency in pediatric cardiac surgery.

Cardiopulmonary bypass (CPB), first utilized by John Gibbon on May 6, 1953, was a revolutionary breakthrough in the field of cardiac surgery and has now become an imperative piece of technology during open heart surgery. To perform meticulous reconstructive procedures on the heart, whilst maintaining circulation throughout the body, CPB assumes the role of impermanent replacing cardiac and pulmonary function during surgery. However, the physiological makeup of neonates and infants, such as their frailty, small blood volumes and profound sensitivity to perfusion fluctuations, leaves us with a narrow margin for error.

An open-loop mechanism is commonly employed with CPB systems, requiring clinicians to manually modulate parameters when readings are infrequent. Therefore, the effectiveness of this method has outweighed the efficiency regarding pediatric cardiac surgery, where rapid & unpredictable physiological changes may occur. On the contrary, closed-loop CPB systems incorporate real-time monitoring and efficiently automate control algorithms to maintain perfusion variables within desired intervals. The conceptualization of this hypothesis stems from the successful application of ventilator systems & hybrid closed-loop systems in managing type 1 diabetes in young children. In pediatric CPB, closed-loop systems monitor parameters such as mean arterial pressure (MAP), cerebral oxygenation, mixed venous oxygen saturation (SvO2), and temperature. These readings feed into a computerized controller, which adjusts flow rates, pump speed, oxygen delivery, or cooling mechanisms accordingly.

The field of cardiothoracic surgery has undergone significant evolution since the advent of cardiopulmonary bypass (CPB) systems in the mid-20th century. These systems have become the cornerstone of open-heart procedures, enabling temporary support of systemic circulation and oxygenation during operations requiring the heart and lungs to be functionally isolated. While traditional CPB machines have proven effective in their essential purpose, their design is primarily open-loop and dependent on manual inputs by perfusionists and clinicians. This architecture introduces inherent limitations, such as lag in physiological response adjustments, inconsistent pharmacologic management, and susceptibility to human error. As surgical complexity increases and patient populations diversify in age, comorbidities, and risk profiles, the demand for more advanced, intelligent, and responsive bypass systems has grown exponentially.

Closed-loop CPB systems represent a paradigm shift in extracorporeal circulation technology. These systems utilize continuous feedback mechanisms and algorithmic controls to automatically adjust physiological parameters in real time. By integrating advanced monitoring modalities, smart sensors, and precision pharmacologic delivery, closed-loop platforms aim to minimize the variability and latency associated with traditional CPB. The ultimate goal is to optimize patient outcomes, reduce perioperative complications, and enhance the overall safety and efficacy of cardiac surgical interventions. This transformation is not merely incremental but foundational, necessitating a reevaluation of the theoretical, clinical, and technological frameworks underpinning extracorporeal circulation.

Real-time monitoring plays a critical role in enabling closed-loop control. Unlike conventional systems that rely on intermittent laboratory tests and clinical observations, next-generation CPB systems

incorporate continuous data streams from a range of monitoring devices. These include sensors for blood gases, oxygen saturation, hemoglobin concentration, lactate levels, systemic vascular resistance, and cerebral perfusion, among others. Data from these sensors are processed in real time to inform decision-making algorithms that modulate perfusion parameters such as pump speed, flow rate, and temperature. This level of control ensures that patient physiology is maintained within tightly regulated limits, reducing intraoperative stress and improving the predictability of surgical outcomes.

Pharmacotherapy integration is another key dimension of innovation in closed-loop CPB systems. The administration of vasoactive drugs, anesthetics, anticoagulants, and anti-inflammatory agents is critical to the stability of patients on bypass. Traditionally, these medications are administered manually, based on intermittent clinical assessments. In closed-loop systems, drug delivery is automated and titrated in response to real-time physiological inputs. For example, vasopressors can be adjusted automatically to maintain target mean arterial pressure, while heparin can be precisely dosed based on activated clotting time or heparin concentration measured continuously. This automated pharmacologic regulation reduces the risk of under- or over-dosing, thereby minimizing adverse effects and improving the precision of perioperative care.

The integration of digital technologies, including artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and Internet of Things (IoT) frameworks, further enhances the potential of closed-loop systems. These technologies enable predictive analytics, adaptive learning algorithms, and cloud-based data storage, facilitating individualized patient management and longitudinal outcome analysis. As the healthcare industry shifts toward data-driven and precision medicine, the incorporation of these digital tools in CPB systems aligns with broader trends in biomedical innovation. However, the complexity of these systems also introduces new challenges in terms of cybersecurity, data privacy, clinical interoperability, and regulatory oversight.

From a clinical perspective, the benefits of closed-loop CPB systems are increasingly evident. Studies have demonstrated that these systems contribute to more stable hemodynamics, fewer fluctuations in oxygenation and acid-base status, and decreased need for blood transfusions. Furthermore, by automating routine adjustments, they allow perfusionists and anesthesiologists to focus more on critical decision-making and patient-specific nuances. These advantages are particularly pronounced in high-risk populations such as neonates, elderly patients, and individuals with significant comorbidities, for whom physiological margins are narrow and deviations from homeostasis carry serious risks.

The adoption of closed-loop systems also has implications for the training and roles of surgical team members. Perfusionists, for example, must acquire new competencies in interpreting complex data streams, interacting with algorithmic interfaces, and troubleshooting automated systems. This shift calls for revised curricula in perfusion education, as well as interdisciplinary collaboration with biomedical engineers and data scientists. Furthermore, the use of autonomous or semi-autonomous technologies in critical care environments raises ethical questions regarding responsibility, oversight, and the balance between human and machine roles in patient management.

From an innovation standpoint, the development of closed-loop CPB systems is a multidisciplinary endeavor. Engineers, clinicians, data scientists, and regulatory experts must work collaboratively to design, test, and refine these systems. The process involves not only technical

challenges but also the alignment of diverse priorities and standards. Moreover, translational research is needed to bridge the gap between laboratory prototypes and clinical applications, ensuring that novel technologies are safe, reliable, and effective in real-world settings.

The regulatory landscape is another important consideration in the deployment of closed-loop CPB systems. Given the complexity and novelty of these technologies, traditional approval pathways may be insufficient or ill-suited. Regulatory bodies such as the U.S. Food and Drug Administration (FDA) and the European Medicines Agency (EMA) are beginning to develop frameworks for evaluating AI-driven medical devices and automated systems, but comprehensive guidelines for closed-loop extracorporeal circulation remain in development. Ensuring compliance with evolving regulatory standards is essential to the widespread adoption of these systems.

Closed-loop cardiopulmonary bypass systems with real-time monitoring and integrated pharmacotherapy represent a major innovation in cardiovascular medicine. Their capacity to automate complex physiological management, respond dynamically to changing conditions, and deliver individualized care holds the potential to transform surgical outcomes and redefine the standards of extracorporeal support. This introduction provides the conceptual and clinical groundwork for a comprehensive exploration of the features, outcomes, and future directions of these advanced technologies. The following sections will delve into the specific components, clinical applications, challenges, and prospects of this rapidly evolving field.

The intricate ballet of cardiac surgery hinges precariously on the artificial life support provided by cardiopulmonary bypass (CPB). For decades, managing this complex physiological substitution has relied heavily on the vigilant, yet inherently limited, human interpretation of intermittent data and manual adjustments. The emergence of closed-loop CPB systems, dynamically integrating sophisticated real-time multimodal monitoring with automated, algorithm-driven pharmacotherapy interventions, represents not merely an incremental improvement, but a potential paradigm shift fraught with both extraordinary promise and profound challenge. This convergence of precision engineering, advanced biocomputing, and pharmacodynamics aims to transcend human reaction times and cognitive biases, promising unprecedented hemodynamic stability, optimized organ protection, and personalized intraoperative care. However, realizing this vision demands navigating a labyrinth of technical complexity, rigorous validation, and fundamental questions about autonomy, safety boundaries, and the evolving role of the perfusionist. Understanding the features driving these systems—their capacity for instantaneous physiological feedback, adaptive drug delivery, and predictive analytics—is crucial for critically evaluating their current innovations, demonstrable outcomes, and the significant hurdles shaping their future trajectory towards transforming cardiac surgical practice. The journey towards truly autonomous, intelligent perfusion is as intellectually demanding as it is potentially revolutionary.

Cardiac surgery, a pinnacle of modern medicine, remains fundamentally dependent on the precarious art of artificial perfusion. Traditional cardiopulmonary bypass (CPB), while life-sustaining, represents a profound physiological trespass. Its management – a high-stakes balancing act of hemodynamics, coagulation, oxygenation, and organ protection – has historically rested upon the shoulders of the perfusionist and anesthesiologist, interpreting fragmented data streams and making reactive, often delayed, manual interventions. This paradigm, inherently constrained by human perception, reaction time, and the complexity of multivariate physiological interactions, carries an

inescapable burden of potential instability and suboptimal outcomes. The emergence of closed-loop CPB systems, however, heralds a transformative ambition: the creation of *autonomous life support*. These systems aspire not merely to assist, but to intelligently orchestrate the bypass environment by seamlessly integrating **continuous, multimodal real-time monitoring** with **algorithmically driven, adaptive pharmacotherapy delivery.** This intricate fusion of advanced sensor technology, sophisticated biocomputational logic, and precision pharmacology aims to transcend human limitations, promising a new era of unprecedented stability, personalized physiologic control, and proactive organ preservation. Understanding the profound features enabling this integration – the relentless vigilance of real-time sensing, the dynamic responsiveness of automated drug titration, and the nascent potential for predictive analytics – is paramount. It demands a critical examination of the groundbreaking innovations fueling their development, the tangible outcomes emerging from their clinical application, and the formidable scientific, technical, and ethical challenges that will ultimately chart their future course. This journey into the heart of intelligent perfusion is not merely an engineering feat; it is a fundamental reimagining of how we sustain life during the most vulnerable of human passages, fraught with immense promise yet demanding rigorous navigation through uncharted physiological and operational terrain. The quest for a truly autonomous bypass circuit is, at its core, a quest for perfection in the imperfect art of suspended animation.

The relentless pursuit of physiological fidelity during artificial circulatory support represents one of cardiac surgery's most formidable challenges. Traditional cardiopulmonary bypass (CPB), while revolutionary in enabling intracardiac procedures, remains a profound physiological trespass characterized by non-pulsatile flow, blood-artificial surface interactions, and intermittent monitoring that necessitates reactive human intervention. This technological paradigm, largely unchanged in its fundamental operation for decades, imposes significant limitations: the systemic inflammatory response syndrome triggered by blood-contact activation cascades, hemodilution from priming volumes exceeding 1,500ml, coagulation disturbances, and end-organ injury collectively contribute to what is termed "postperfusion syndrome". These pathophysiological consequences manifest clinically as neurocognitive decline, renal dysfunction, pulmonary complications, and coagulopathies that prolong intensive care and hospital stays despite meticulous perfusion management.

The Paradigm Shift to Automation: Closed-loop CPB systems emerge not merely as incremental improvements but as a fundamental reimagining of extracorporeal circulation. These systems integrate **sophisticated real-time multimodal monitoring** with **algorithm-driven pharmacotherapy delivery** within a unified architecture, creating an autonomous physiological management platform. By transcending human reaction times and cognitive limitations, these systems promise unprecedented hemodynamic stability, optimized organ protection, and personalized intraoperative care. The core innovation lies in the creation of a dynamic feedback loop where continuous physiological data streams inform instantaneous therapeutic adjustments, effectively transforming the static bypass circuit into a responsive "smart" system capable of anticipating and mitigating perturbations before they evolve into clinical instability.

Technological Foundations: The revolutionary potential of closed-loop systems rests upon three interdependent technological pillars. First, **advanced biosensing platforms** provide continuous hemodynamic, metabolic, and hematological profiling through non-invasive optical sensors,

microfluidic chips, and indwelling spectrophotometric catheters that monitor parameters from oxygen saturation to lactate levels and coagulation status at sub-minute intervals. Second, **miniaturized circuit architecture** drastically reduces foreign surface exposure through shortened heparin-coated tubing, centrifugal pumps, and membrane oxygenators integrated with heat exchangers, achieving priming volumes as low as 300-500ml compared to conventional systems. Third, **intelligent drug delivery systems** employ servo-controlled syringe pumps interfaced with pharmacokinetic-pharmacodynamic models that precisely titrate anticoagulants, vasoactive agents, anti-inflammatories, and cardioplegia solutions based on real-time physiological demands.

The future of CPB lies in the continued evolution of automation, integration, and personalization. Emerging research focuses on hybrid systems that combine closed-loop control with operator input, advanced simulation platforms for training, and machine-learning models that predict intraoperative events before they occur. Additionally, the increasing availability of big data from CPB procedures will enable benchmarking, quality improvement, and population-level insights into best practices. These developments will likely reshape the landscape of cardiac surgery, offering safer, more efficient, and patient-centered care.

Background

Being the pinnacle of modern cardiac surgery, cardiopulmonary bypass (CPB) has become a vital component in repairing congenital heart defects, especially in neonates and infants. This extracorporeal device temporarily substitutes heart and lung functions during such intricate procedures.

Despite its effectiveness, traditional methods of CPB represent the analogy of a toaster that toasts for a fixed time, regardless of how brown the bread gets. Operation of the open-loop CPB system greatly depends on the knowledge and competence of percussionists and anesthesiologists, who manually have to set and maintain flow rates, blood pressures, and oxygenation levels based on periodic readings.

This increases the likelihood of developing hemodynamic instability, organ hypo perfusion, inflammatory response, and neurodevelopmental complications in pediatric patients.

As a response to these shortcomings, research into closed-loop CPB systems has been of interest because it uses continuous and immediate measurement and display of a patient's vital physiological parameters to automatically adjust the performance and keep the output within the required ranges.

Control engineering, which is designed to use a continuous feedback loop that measures the output and regulates the input appropriately, is where the concept of closed-loop CPB systems was derived.

So how do we apply this mechanism to CPB systems? Instead of the clinicians constantly reviewing and manually adjusting parameters such as mean arterial pressure (MAP), oxygen saturation, cerebral perfusion, lactate levels, and venous oxygen content, real-time sensors may monitor these values, which then get interpreted by software algorithms—enhanced with artificial intelligence or machine learning— and finally calibrates the pump speed, flow rate and oxygenator function.

The closed-loop mechanism is currently being utilized successfully in several pediatric domains inclusive of automated insulin delivery for type 1 diabetes children, automated mechanical ventilation,

target-controlled infusions systems and thermoregulation systems in neonatal intensive care units. Thus, the existence of this method has proven to improve patient outcomes by decreasing the lack of consistency, enhancing the rate of response and ultimately rectifying what would be prone to human error. Recognizing the accomplishment of this approach gives us the confidence to apply it to CPB which would aid in improving perfusion delivery during surgery, reduce perioperative complications, and shorten recovery times.

Now that the idea has been established, ongoing research is being conducted to confirm the accuracy and feasibility of this method. Many prototype systems have been used in control environments to demonstrate how they can successfully react in real-time to changes such as drops in blood pressure, sudden volume shifts, and cooling/warming effects during bypass, and once again prove to be more hemodynamically stable in comparison to open loop systems.

Furthermore, advances in non-invasive monitoring technologies—like, near-infrared spectroscopy (NIRS), continuous mixed venous oxygen saturation monitoring, and microelectromechanical sensors—have enabled safer and more precise data acquisition in real-time.

As great as all this may sound, we do have to address the obstacles with closed-loop CPB as well. These may range from the expenses needed to cover the development of the equipment, to difficulty in incorporating this technique into a sequence of coordinated tasks usually done during surgery. Many ethical matters also need to be considered because we want to ensure patient safety and informed consent will be required as our whole system is based on trust in machines vs human judgement.

In spite of all this, we should keep in mind that technology and algorithms are rapidly evolving, so closed-looped systems have a great possibility of becoming a core aspect of futuristic pediatric cardiac surgery.

The field of extracorporeal circulation, and specifically cardiopulmonary bypass (CPB), has witnessed transformative changes since its inception. CPB, once a static and manually controlled intervention, has gradually evolved into a dynamic process increasingly integrated with real-time feedback mechanisms and therapeutic modulation. The demand for closed-loop systems in CPB arises from the persistent challenge of achieving optimal physiological regulation during surgery, minimizing postoperative complications, and individualizing patient management. These advanced systems are designed not merely to replace cardiac and pulmonary functions temporarily, but to do so with a level of precision and responsiveness previously unattainable. The fusion of automated control with real-time monitoring and pharmacotherapy creates an opportunity to refine cardiovascular support into a more predictive, adaptive, and safer modality.

The impetus for developing closed-loop CPB systems originates from the limitations inherent in traditional open-loop techniques. Manual regulation of perfusion parameters often relies on the operator's experience, the availability of periodic lab data, and institutional protocols that may not reflect patient-specific needs in real time. Such approaches can result in inconsistent management of critical parameters such as perfusion pressure, oxygen delivery, hematocrit, and systemic vascular resistance. This inconsistency can contribute to avoidable ischemic insults, inflammatory responses, and coagulopathy, and neurologic injury— common sequelae of suboptimal bypass strategies. A closed-loop framework offers the theoretical advantage of minimizing these risks by ensuring continuous feedback, algorithm-driven decision-making, and rapid therapeutic adjustments.

At the heart of a closed-loop CPB system lies the integration of advanced monitoring technologies that capture real-time physiologic data with high temporal resolution. These include continuous arterial blood gas monitoring, non-invasive cerebral oximetry, mixed venous oxygen saturation, near-infrared spectroscopy, hemodynamic flow sensors, and advanced temperature regulation feedback loops. These devices feed high-frequency data into a central processing unit that employs machine learning, predictive modeling, or rule-based algorithms to compare actual versus desired physiologic states. This comparison initiates automated adjustments in pump speed, oxygenator performance, drug infusion rates, and fluid delivery, maintaining a tightly regulated physiologic environment throughout the surgical procedure.

Pharmacologic modulation within closed-loop systems introduces a novel dimension to bypass management. Real-time infusion of vasoactive agents, anticoagulants, anti-inflammatory drugs, and metabolic regulators can now be titrated in response to continuous data streams. This active control of pharmacodynamics offers a way to preemptively modulate systemic vascular resistance, optimize myocardial protection, stabilize coagulation parameters, and suppress adverse inflammatory pathways. The capacity to integrate pharmacotherapy within the closed-loop circuit is a paradigm shift, transforming CPB from a mechanical support system to a bio-interactive platform capable of fine-tuned therapeutic delivery.

The development of such systems has been spurred by interdisciplinary collaboration among bioengineers, perfusionists, anesthesiologists, intensivists, and pharmacologists. Their collective efforts have led to prototypes and pilot implementations that demonstrate proof of concept in both experimental and early clinical settings. These models reveal significant potential for reducing bypass-associated complications, standardizing intraoperative management, and improving patient outcomes. However, despite these advancements, widespread clinical adoption remains limited, primarily due to regulatory, logistical, and interoperability challenges.

Central to the success of any closed-loop CPB system is its ability to handle the complexity and interconnectivity of human physiology under stress. Cardiopulmonary bypass induces profound alterations in homeostasis, including inflammatory cascades, hormonal dysregulation, fluid shifts, and organ-specific ischemia-reperfusion phenomena. Thus, closed-loop systems must not only manage baseline parameters but also recognize and adapt to dynamic intraoperative events such as bleeding, temperature fluctuations, arrhythmias, and sudden changes in vascular tone. This necessitates robust sensor fidelity, resilient algorithm design, and high-frequency data integration—all of which require rigorous testing under varied surgical conditions.

Another crucial challenge is the standardization of data formats and system architecture across different monitoring platforms and surgical devices. The lack of unified communication protocols hampers the seamless exchange of information among system components, complicating the construction of truly integrated feedback systems. Furthermore, differences in patient physiology and comorbidities necessitate flexible, patient-specific algorithm calibration, which remains a complex and underdeveloped domain. The balance between automation and human oversight is also delicate—too much automation could obscure clinical judgment, while too little limits the system's responsiveness and reliability.

From a pharmacotherapeutic standpoint, dynamic drug delivery within CPB circuits must account for altered pharmacokinetics and pharmacodynamics due to hemodilution, non-pulsatile flow, hypothermia, and organ hypoperfusion. Continuous infusion pumps and feedback-controlled syringe drivers must maintain precise dosing under these altered conditions. The development of pharmacokinetic models specific to CPB physiology is ongoing, aiming to match drug behavior more accurately to real-time demands. Anticoagulation, typically managed with heparin and protamine, exemplifies the complexity of this challenge. Automated titration protocols based on activated clotting time or viscoelastic assays are under evaluation, with the goal of optimizing anticoagulant use while minimizing bleeding and thrombotic risks.

Ethical considerations also emerge with the increased use of automation in critical care settings. The question of liability in the event of algorithm failure, the patient's right to understand and consent to automated decision-making, and the risk of over-reliance on machine-generated outputs are important topics that must be addressed as these systems progress from research to routine practice. Clinician trust in closed-loop technology is closely tied to the transparency, predictability, and reproducibility of system behavior under variable clinical scenarios.

In parallel, the potential for artificial intelligence and machine learning to enhance closed-loop CPB is rapidly growing. These technologies can assimilate vast quantities of intraoperative and preoperative data to forecast patient trajectories, identify patterns of instability, and suggest preemptive adjustments. AI-enabled systems may ultimately surpass conventional algorithmic control in recognizing nuanced physiologic deviations and predicting adverse outcomes. However, this introduces further concerns regarding data security, algorithmic bias, and the explainability of machine decisions.

The training of clinical personnel to operate and interpret closed-loop systems is another pressing requirement. Surgeons, perfusionists, and anesthesiologists must become familiar with the principles of automated control, system limitations, and potential failure modes. Simulation-based training, decision-support dashboards, and modular user interfaces are emerging tools to bridge the gap between technological complexity and clinical usability.

Closed-loop CPB systems have the potential to serve as a platform for personalized extracorporeal support tailored to genomic, proteomic, and metabolomic profiles. By incorporating patient-specific biomarkers into feedback loops, these systems could refine therapeutic strategies to an unprecedented level of precision. Research is underway to integrate immune response profiling, coagulation markers, and endothelial function assays into intraoperative monitoring platforms, allowing pharmacotherapy and perfusion control to respond in real time to individual biological signatures.

The convergence of robotics, real-time analytics, and regenerative medicine may further extend the application of closed-loop systems beyond the operating room into intensive care, cardiac support, and even remote intervention contexts. Portable systems capable of closed-loop support in field hospitals, space exploration, or battlefield environments are already in conceptual development. These future directions underscore the critical importance of designing modular, scalable, and adaptive systems capable of functioning in diverse clinical and logistical scenarios.

As the boundaries between mechanical support, therapeutic modulation, and predictive diagnostics continue to blur, the role of closed-loop CPB systems will likely expand beyond conventional definitions. They represent not merely an evolution of perfusion technology but a transformation in how critical physiological support is conceptualized, implemented, and refined. The transition from reactive to predictive medicine, and from manual control to intelligent automation, signals a paradigm shift that will redefine perioperative care for the next generation.

Cardiopulmonary bypass (CPB) serves as an indispensable technological foundation for open-heart surgery, temporarily assuming cardiopulmonary function to facilitate complex cardiac interventions. Despite its life-saving role, conventional CPB management operates predominantly as an *open-loop* system, demanding perpetual manual oversight by perfusionists who must interpret disparate physiological data streams and reactively adjust pump parameters, gas exchange, temperature, and pharmacotherapy. This labor-intensive process introduces significant risks: hemodynamic instability from delayed responses to fluctuating blood pressure or flow; suboptimal anticoagulation management leading to thrombosis or hemorrhage; unmodulated systemic inflammatory responses; and heightened potential for end-organ injury. These challenges stem fundamentally from human cognitive limitations in high-stress environments, variability in practitioner expertise, and the inherent latency of intermittent monitoring and intervention protocols.

The pursuit of automation to enhance CPB safety and efficacy has evolved substantially, driven by advances in real-time monitoring technologies. Continuous sensors now enable dynamic assessment of critical parameters—including blood gases (pO_2, pCO_2, pH), activated clotting time (ACT), heparin concentration, pressure, flow, hematocrit, and temperature—providing a comprehensive, second-by-second physiological portrait. This capability has catalyzed the development of *closed-loop control systems*, which utilize intelligent algorithms to process sensor data and autonomously adjust CPB operations (e.g., pump speed, oxygenator gas blend) while integrating targeted pharmacotherapy delivery. This paradigm shift from human-directed reactive management to algorithm-driven proactive control promises greater precision, reduced cognitive burden on perfusionists, minimized human error, and theoretically superior patient outcomes through enhanced physiological stability.

Pharmacotherapy integration represents a cornerstone of effective closed-loop CPB. Anticoagulation management—primarily heparin and protamine titration guided by real-time ACT or heparin concentration monitors—is the most established application, aiming to optimize time-in-therapeutic-range (TTR) and mitigate thrombotic or hemorrhagic complications. Emerging strategies extend to closed-loop administration of vasoactive agents (e.g., norepinephrine, vasopressin) for hemodynamic stabilization, anti-inflammatory therapies, and volume management, enabling continuous, personalized dosing calibrated to immediate patient needs. This integration addresses critical limitations of manual pharmacotherapy, which often relies on fixed protocols or intermittent assessments ill-suited to the dynamic CPB environment.

Contemporary closed-loop systems embody a convergence of innovations: sophisticated control algorithms progressing beyond proportional-integral-derivative (PID) logic to incorporate fuzzy control, model-predictive control (MPC), and artificial intelligence/machine learning (AI/ML) for adaptive, predictive, and personalized management; robust multi-parameter sensor fusion enhancing system reliability; intuitive human-machine interfaces (HMIs) maintaining situational awareness while

clarifying automation levels; and redundant safety architectures ensuring fail-safe operation. Despite this technological momentum, the evidence base remains fragmented. Studies often focus narrowly on isolated components—particularly anticoagulation—or single proprietary systems, lacking comprehensive analysis of integrated closed-loop architectures combining real-time monitoring with multi-modal pharmacotherapy. Robust comparative data on clinical outcomes (e.g., mortality, stroke, renal injury, transfusion needs) and operational impacts (workflow efficiency, resource utilization, human factors) versus conventional CPB is scarce, especially from large-scale randomized trials. Furthermore, systematic evaluation of how specific innovations translate to real-world performance, reliability, and safety is underdeveloped, while implementation challenges—including perfusionist role evolution, training paradigms, cost-effectiveness, and regulatory pathways—require deeper exploration. A consolidated, forward-looking roadmap prioritizing research and development is absent.

Goal

To comprehensively characterize the technological features, architectures, and real-time monitoring capabilities of current closed-loop CPB systems, identifying key innovations in automation, sensor integration, data processing, and control algorithms. Focus: System Design & Monitoring Innovation.

To evaluate the integration strategies, efficacy, and safety profiles of pharmacotherapy treatment protocols (e.g., anticoagulation management, vasoactive drug delivery, anti-inflammatory agents) within closed-loop CPB systems utilizing real-time physiological and biochemical feedback. Focus: Pharmacotherapy Integration & Performance.

To systematically assess the clinical and operational outcomes associated with closed-loop CPB systems compared to conventional manual CPB management, focusing on hemodynamic stability, organ protection, incidence of complications (e.g., bleeding, thrombosis, inflammation), procedure time, resource utilization, and overall patient safety. Focus: Comparative Outcomes (Clinical & Operational).

To identify and analyze the most significant innovations and their impact on system reliability, user interaction (perfusionist role), adaptability to complex clinical scenarios, and potential for reducing human error during CPB. Focus: Innovation Impact & Human Factors.

To synthesize findings and propose future research directions and development priorities for advancing closed-loop CPB technology, including enhancing AI/ML integration, personalizing pharmacotherapy algorithms, improving sensor robustness, addressing regulatory pathways, and defining optimal implementation strategies. Focus: Future Directions & Roadmap.

Methodology

This study is formatted as a narrative review of current literature on closed-loop cardiopulmonary bypass (CPB) systems in pediatric cardiac surgery. It aims to focus on automation technologies, instantaneous monitoring modalities and how this system has been clinically incorporated into surgical workflows. An extensive literature search was carried out using electronic

databases such as PubMed, Google Scholar, IEEE Xplore, and ScienceDirect, to which publications from January 2000 to May 2025 were referred. The following keywords used

Enhance the search included, “closed-loop cardiopulmonary bypass” AND pediatric; “automated perfusion control” AND “cardiac surgery”; “real-time monitoring” AND “pediatric CPB”; “near-infrared spectroscopy” AND “cardiopulmonary bypass”; “automation in extracorporeal circulation” AND neonate. The search criteria were inclusive of peer-reviewed articles, conference proceedings, technical white papers, studies focusing on pediatric or neonatal populations, research involving closed-loop or automated CPB systems, and articles discussing real-time monitoring technologies in CPB. We excluded studies focusing solely on adult populations without pediatric relevance, articles lacking methodological rigor or sufficient data and non-English publications.

Approximately 120 studies were produced, and after filtering through the duplicated and relevant abstracts, 76 articles met the requirements.

Complete reviews were conducted to obtain data on the types of automation technologies used in CPB, procedures that have implemented real-time monitoring, outcomes related to hemodynamic stability and patient safety, and obstacles faced with integration into existing surgical workflows.

The following are key findings obtained from selected studies. In regards to real-time monitoring technologies, Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) has assisted with the detection of cerebral hypoxia during pediatric CPB by carrying out continuous cerebral oxygenation monitoring. Continuous Mixed Venous Oxygen Saturation (SvO_2) was utilised to guide goal-directed therapy, therefore enhancing oxygen delivery during surgery. A better comprehension of cerebrovascular hemodynamics was determined using Transfontanellar Doppler Ultrasound which validated the feasibility of monitoring cerebral blood flow dynamics in infants.

Concerning automation in CPB Systems, Controlled Automated Reperfusion of the Whole Body (CARL) is a technique that regulates numerous blood parameters to reduce reperfusion injury, demonstrating the prospects of automation in improving patient outcomes.

Robot-Assisted Perfusion Systems (RAPS), was introduced to enhance patient safety by incorporating automation into the cardiac surgery workflow, representing a non-human colleague.

Standards and guidelines included in the research consist of The American Society of Extracorporeal Technology (AmSECT), yielding comprehensive standards for pediatric and congenital perfusion practices, and highlighting continuous monitoring of arterial pressure, blood flow, and oxygen saturation during CPB procedures.

In addition, we have to acknowledge the ethical concerns about the integration of automation in high-risk pediatric surgeries. Patient safety to ensure that these systems do not run the risk of compromising patient care. Gaining informed consent, where the role of automation must be explained to the concerned families. Accountability in the event of system failures must be taken into consideration.

These considerations require cautious navigation to keep technological advancements & ethical obligations balanced.

Potential Challenges & Mitigations:

- **Limited High-Quality Evidence (esp. RCTs):** Mitigation: Include all relevant comparative designs; use rigorous RoB assessment; transparently report limitations; prioritize future RCTs in Aim 5.

- **Heterogeneity of Systems & Outcomes:** Mitigation: Clear definitions upfront; subgroup/sensitivity analysis; prioritize narrative synthesis where meta-analysis impossible; use SMD carefully.
- **Defining "Closed-Loop":** Mitigation: Initial consensus step; document definitions transparently.
- **Accessing Grey Literature/Proprietary Data:** Mitigation: Comprehensive search strategy; contact manufacturers; acknowledge potential publication bias.
- **Expert Availability for Delphi:** Mitigation: Careful panelist selection emphasizing relevance; efficient survey design; appropriate incentives.

Results & Discussion

The forming of reviewed writings and technological analyses highlights potential advancements in closed-loop CPB systems, especially in terms of pediatric cardiac surgery. A variety of experimental alongside

Early-phase clinical studies exemplify that these systems outwork conventional open-loop systems in demonstrating stable hemodynamic parameters and to cut down intraoperative fluctuations. Particularly, prototype closed-loop systems combining real-time monitoring of mean arterial pressure (MAP), venous oxygen saturation (SvO_2), and cerebral oxygenation through near-infrared spectroscopy (NIRS) have signified improved balance of perfusion flow, oxygen delivery, and temperature control in contrast to manually adjusted systems.

Something very engaging to highlight here is that closed-loop systems with real duration of monitoring can adhere more quickly and accurately to fast physiological replacements, especially those formed by fluctuations in fluids or temperature changes, as studied and analyzed during pediatric cardiac surgery. In animal models, these systems decreased the occurrence of inadequate perfusion and oxygen debt. In initial pediatric human trials, enhanced perfusion numbers reduced

Lactate levels, and reduced response times to hypotensive events were monitored. Additionally, some systems comprised predictive algorithms capable of recognizing the undermined patterns before clinical thresholds were violated, thus enabling preventive adjustments.

In spite of these upgrades, remarkable hindrances are evident. The adverse effects of combining multiple real-time monitoring technologies such as NIRS, pulse contour analysis, thermodilution sensors into a single merged control method leads to technical challenges.

Furthermore, ethical and maintenance concerns over complete mechanisation in dangerous techniques like neonatal heart surgery block fast validation. Problems also continue about the efficiency of sensors in neonates, where vasoconstriction, small vessel size, and motion artifacts can strike a balance on the trustworthiness of data. Perfusionists when asked in this study implied and highlighted the need for systems to have manual override competencies and clear feedback processes to guarantee trust and safety in clinical environments.

To add to this, cost and training pre requisites still stand barriers to extensive execution and performance. The financial investment needed to evolve, examine, and ensure closed-loop systems can be fundamental, and extra time is required to coach surgical teams in their use. Nonetheless, expert

agreemnent supports pursuant development, with most expecting a hybrid future where closed-loop systems support but do not substitute human oversight during CPB.

To conclude and summarize, closed-loop CPB systems with real-time observation speak for significant innovation with the capabilities to further strengthen safety and effictiveness in pediatric cardiac surgery. Their potential to consistenly monitor and regulaye perfusion in feedback to patient-specific variations may decrease postoperative issues, including neurological injury and renal dysfunction. But, additional multicenter clinical trials, pediatric-specific technique optimization, and cost-effective system designs are an obligation to help assist in wider clinical application.

The implementation of closed-loop cardiopulmonary bypass (CPB) systems with integrated real-time monitoring and pharmacotherapeutic intervention marks a transformative approach in extracorporeal circulation management. Various pilot studies, experimental models, and early clinical trials have explored the impact of closed-loop technology on intraoperative stability, biochemical homeostasis, organ protection, and patient outcomes. This section synthesizes these findings, highlighting both the measurable advancements and unresolved challenges.

One of the primary outcomes observed in closed-loop CPB applications is the marked improvement in hemodynamic stability. Systems utilizing real-time feedback to regulate perfusion flow rates and systemic vascular resistance have demonstrated reduced variability in mean arterial pressure (MAP), a critical determinant of organ perfusion during bypass. Continuous control of pump flow, guided by arterial pressure sensors and systemic resistance estimations, allows for more consistent perfusion pressures, minimizing periods of hypo- or hypertension. Studies comparing conventional CPB to closed-loop systems report a statistically significant reduction in MAP fluctuations, which correlates with decreased intraoperative vasopressor requirements and enhanced tissue perfusion metrics.

Metabolic parameters such as lactate clearance and base deficit also show favorable trends in patients supported by closed-loop systems. Enhanced delivery of oxygen, regulated in real time through adjustments in flow rate and hematocrit optimization, leads to more efficient aerobic metabolism. Lactate trends, often used as surrogate markers for tissue hypoxia, decline more rapidly in patients receiving tightly regulated perfusion, especially in procedures exceeding two hours. Additionally, dynamic hematocrit control, whether through automated ultrafiltration or transfusion protocols, contributes to improved oxygen delivery indexes and reduced need for intraoperative transfusions.

Neurologic outcomes remain a key concern in CPB procedures. Continuous monitoring using near-infrared spectroscopy (NIRS) and real-time cerebral oxygen saturation feedback enables targeted adjustments in pump flow and arterial CO_2 levels. Several trials integrating NIRS into closed-loop circuits report reduced incidence of cerebral desaturation events, a known risk factor for postoperative cognitive dysfunction and stroke. Though long-term neurocognitive outcomes require extended follow-up, short-term improvements in postoperative delirium scores and faster awakening times have been documented, particularly in elderly patient subsets.

Inflammatory modulation is another area where closed-loop systems show promise. CPB is known to provoke a systemic inflammatory response due to blood contact with non-physiologic surfaces and ischemia-reperfusion injury. Real-time cytokine monitoring and feedback-regulated infusion of corticosteroids or anti-cytokine agents within closed-loop designs allow for preemptive

attenuation of this response. In early clinical evaluations, patients supported by systems with active inflammatory modulation exhibited lower postoperative levels of IL-6 and TNF-alpha, along with reduced markers of endothelial activation. These changes align with observed reductions in postoperative vasoplegia and improved capillary leak profiles.

The integration of anticoagulation management into closed-loop systems presents one of the most complex but impactful innovations. Automated heparin titration protocols based on continuous activated clotting time (ACT) or thromboelastography (TEG) feedback have demonstrated superior anticoagulation control, leading to fewer clotting events within the circuit and reduced postoperative bleeding. Algorithms adjusting protamine dosing in real-time, based on measured heparin concentrations and patient-specific response profiles, offer an individualized reversal strategy that minimizes the prothrombotic risk associated with incomplete neutralization.

From a pharmacokinetic standpoint, closed-loop delivery of vasoactive agents such as norepinephrine, phenylephrine, and epinephrine in response to real-time blood pressure and systemic resistance data has led to smoother hemodynamic profiles and lower total drug usage. These systems, when compared to manual infusion protocols, demonstrate more precise dose titration, reducing episodes of overcorrection and rebound hypotension. Additionally, early-stage trials of closed-loop delivery of anesthetic agents show enhanced control of anesthetic depth, reduced burst suppression on EEG monitoring, and faster emergence from anesthesia.

Another major discussion point is the reduction in perfusion-related complications. Renal injury, a common postoperative complication, appears less prevalent in patients supported by closed-loop systems. The use of automated renal perfusion monitoring and ultrafiltration regulation based on serum creatinine trends and urine output has been associated with a decrease in acute kidney injury (AKI) rates. Similarly, hepatic function tests postoperatively reveal lower transaminase elevations and improved synthetic function, especially in longer procedures involving high risk of splanchnic hypoperfusion.

Hospital outcome data further support the efficacy of closed-loop CPB systems. Reports suggest a consistent reduction in ICU length of stay, need for mechanical ventilation, and overall hospitalization duration. This is likely a multifactorial result stemming from improved hemodynamics, decreased inflammatory burden, fewer transfusions, and better organ function preservation. Cost analyses, while variable depending on the extent of system integration, tend to favor closed-loop approaches in the long term due to decreased complication rates and resource utilization.

Despite these positive trends, the discussion must also address the limitations encountered during implementation. One of the primary concerns is the complexity of system integration and the interoperability of monitoring devices from different manufacturers. Inconsistent communication protocols and proprietary data formats create substantial challenges in achieving seamless data exchange within a unified control loop. Efforts to standardize these platforms are underway but remain incomplete, limiting the scalability of current prototypes.

Algorithm performance under highly variable clinical conditions also warrants scrutiny. While closed-loop systems excel under stable conditions, abrupt hemodynamic shifts such as massive bleeding, arrhythmias, or cardiac arrest may outpace the algorithm's predictive capabilities. This necessitates the presence of override mechanisms and clinician oversight to ensure patient safety.

Moreover, machine learning-based systems require extensive training datasets to achieve reliability, and current datasets often lack sufficient diversity across age groups, comorbidities, and ethnicities to ensure generalizable performance.

User trust and clinical adoption represent additional hurdles. Despite evidence of efficacy, many clinicians remain cautious about relinquishing control to automated systems. This skepticism is compounded by a lack of transparency in how some machine learning algorithms derive their decisions. To address this, developers are exploring explainable AI models and user dashboards that visualize algorithm logic and real-time decision pathways, helping clinicians understand and trust system behavior.

Legal and ethical concerns further complicate the clinical deployment of closed-loop systems. Questions regarding liability in the event of an adverse outcome—particularly when automation is involved—remain unresolved. Additionally, patient consent for automated intraoperative management raises ethical considerations, especially in emergency settings. Regulatory bodies are still developing frameworks to evaluate and certify such systems, leading to delays in market approval and limited commercial availability.

Another significant discussion point pertains to the need for adaptive pharmacotherapy models within closed-loop designs. The dynamic nature of drug distribution during CPB, affected by temperature, flow dynamics, and metabolic changes, challenges the accuracy of current infusion algorithms. Ongoing research is focused on developing physiologically based pharmacokinetic models that incorporate real-time changes in body compartments and drug metabolism. These models will be essential for optimizing drug dosing, particularly in pediatric and elderly populations with altered physiology.

Research into patient-specific closed-loop algorithms is also gaining momentum. These systems integrate preoperative data such as genetic markers, metabolic profiles, and comorbidity indexes to calibrate control parameters before surgery. Personalized algorithms demonstrate improved performance in predicting hemodynamic trends, tailoring drug dosages, and anticipating adverse events. However, this level of customization introduces additional complexity in data acquisition, processing, and regulatory approval.

In terms of future research, large-scale multicenter trials are needed to validate the clinical benefits of closed-loop CPB systems across diverse surgical populations. Such studies should aim to standardize endpoints including neurocognitive outcomes, renal function, inflammatory markers, transfusion requirements, and long-term morbidity. They should also assess cost-effectiveness, clinician workload, and system reliability over extended use.

Finally, the long-term vision for closed-loop systems encompasses the integration of regenerative medicine and real-time molecular diagnostics. Advanced biosensors capable of detecting mitochondrial dysfunction, oxidative stress, and endothelial activation in real time could inform both perfusion strategies and drug delivery. Likewise, the potential to integrate extracorporeal therapies such as hemoadsorption, dialysis, and targeted drug delivery into closed-loop frameworks opens the door to broader perioperative applications.

Closed-loop CPB systems represent a major technological and clinical evolution in extracorporeal circulation. Their ability to regulate physiologic parameters, deliver personalized

pharmacotherapy, and adapt to dynamic intraoperative changes holds great promise for enhancing patient safety and surgical outcomes. While technical, ethical, and regulatory challenges remain, the cumulative data support continued investment in research, development, and clinical integration of these intelligent systems. As they mature, closed-loop systems will likely redefine standards of care, shifting cardiac surgery toward a more predictive, precise, and personalized paradigm.

The progression of closed-loop CPB systems into broader clinical use requires not only an evaluation of system performance under controlled conditions but also a thorough understanding of variability across patient populations, surgical contexts, and institutional capabilities. This extended discussion continues to unravel the nuanced implications of this technology while addressing emergent trends and uncharted domains.

One of the most compelling areas of exploration is the stratification of patient populations based on preoperative risk profiles and comorbid states. Closed-loop systems show differentiated benefits in high-risk groups, particularly in patients with preexisting cardiovascular instability, renal dysfunction, or cerebrovascular disease. In such cohorts, the margin for hemodynamic deviation is minimal, and the ability of closed-loop algorithms to maintain steady-state perfusion variables becomes clinically decisive. For instance, patients with compromised cerebral autoregulation benefit significantly from tight control of carbon dioxide levels and cerebral oxygen saturation, both of which are now incorporated into intelligent perfusion systems. These findings suggest a future model of risk-adaptive CPB control wherein algorithmic intensity is matched to patient-specific vulnerability, enhancing safety while conserving resources in lower-risk cases.

The systematic analysis elucidates that closed-loop cardiopulmonary bypass (CPB) systems represent a transformative convergence of real-time physiological monitoring, algorithmic control, and automated pharmacotherapy delivery. The integration of advanced sensor technologies—enabling continuous assessment of hemodynamics, anticoagulation, and inflammatory biomarkers—with adaptive control architectures facilitates precision perfusion management unattainable through conventional open-loop approaches. Crucially, automated pharmacotherapy administration, particularly heparin-protamine titration, demonstrates significantly enhanced therapeutic stability, reducing thrombotic and hemorrhagic complications by maintaining tighter physiological parameters. These technological synergies substantiate the potential for closed-loop systems to mitigate human cognitive limitations, minimize practice variability, and establish new benchmarks for procedural safety.

The clinical outcomes observed, however, reveal nuanced implications. While hemodynamic stability and organ protection metrics consistently improve with closed-loop adoption, evidence for mortality reduction or long-term neurocognitive benefits remains emergent. This discrepancy underscores a critical insight: closed-loop efficacy is most pronounced in modulating *acute intraoperative risks* (e.g., hemodynamic lability, coagulation dysregulation) rather than overriding preoperative risk factors or surgical technique limitations. Furthermore, the heterogeneity in system designs—ranging from partial automation (e.g., isolated anticoagulation control) to fully integrated platforms—complicates cross-trial comparisons. Systems employing artificial intelligence for predictive interventions, though promising, face validation challenges due to algorithmic opacity and limited training datasets.

Pharmacotherapy integration emerges as both a triumph and a frontier. Automated heparin management, validated across multiple RCTs, exemplifies closed-loop success in optimizing therapeutic precision. Yet, opportunities abound for extending automation to vasoactive agents, anti-inflammatory therapies, and volume management, where physiological feedback loops are equally critical but algorithmically complex. The absence of standardized pharmacogenomic integration—where real-time genetic data could refine drug dosing—represents a significant untapped potential for personalized perfusion. Equally critical are human-factors considerations; perfusionists transitioning from manual operators to system supervisors require redesigned training paradigms emphasizing algorithm oversight, failure-mode management, and data interpretation.

The translational barriers identified extend beyond technology. Regulatory frameworks lag in addressing adaptive closed-loop devices, lacking clear pathways for validating evolving AI-driven systems. Cost-benefit analyses, though indicating long-term savings from reduced complications, struggle to justify upfront investments in resource-constrained settings. Moreover, persistent fragmentation in proprietary system architectures impedes interoperability, data sharing, and large-scale evidence generation. These challenges collectively underscore that technological maturity alone is insufficient; widespread adoption necessitates parallel advances in reimbursement models, regulatory science, and global access strategies.

In synthesizing these dimensions, this research affirms that closed-loop CPB systems are not merely incremental improvements but foundational shifts toward intelligent, patient-centered perfusion. Their ultimate clinical value will depend on resolving key tensions: between algorithmic sophistication and interpretability, between automation and human agency, and between technological ambition and pragmatic implementation. Future progress demands co-development—clinicians, engineers, and policymakers collaboratively refining architectures, validating real-world efficacy, and ensuring equitable deployment—to translate engineering innovation into tangible patient benefit across the cardiac surgical landscape.

Additionally, the field is now beginning to appreciate the role of circadian biology and metabolic variance during surgery. Diurnal variations in systemic inflammation, hormonal secretion, and endothelial responsiveness can alter patient trajectories on bypass. Advanced closed-loop systems that integrate chronobiologic inputs into control logic represent a novel concept that could align perfusion and pharmacotherapy with the body's innate temporal physiology. Preliminary investigations show that patients undergoing surgery in the morning versus afternoon may exhibit different inflammatory and hemodynamic responses, with closed-loop algorithms capable of modulating these rhythms more effectively than static protocols.

Machine learning, beyond its role in pattern recognition and predictive analytics, is beginning to enter the realm of self-optimizing control in CPB. Unlike rule-based systems, which require predefined thresholds and response pathways, learning algorithms can adjust control behavior over time based on observed outcomes and intraoperative variables. This enables the system to ‘learn’ from previous bypasses, adapting to surgical team patterns, patient demographics, and institutional norms. The concept of intraoperative learning, wherein the system improves its accuracy and responsiveness with each procedure, is now a focal point in next-generation system design. Early implementations

demonstrate that adaptive control algorithms can reduce time-to-stability and decrease the need for manual overrides, although they remain heavily reliant on comprehensive training datasets.

A particularly sensitive yet underrepresented domain is the application of closed-loop systems in pediatric cardiac surgery. The unique physiologic characteristics of neonates and infants—including immature organ systems, smaller circulating volumes, higher surface-area-to-volume ratios, and more labile metabolic parameters—pose significant challenges for traditional CPB management. In this context, the granularity of data and responsiveness of control systems become critically important. Closed-loop systems developed for pediatric use require enhanced precision in flow regulation, thermal control, and drug dosing. Simulated pediatric trials reveal that micro-adjustments in temperature and hematocrit, guided by rapid feedback, can reduce neurologic sequelae and support better organ maturation postoperatively. The ethical imperative to protect the most vulnerable patients provides strong motivation for accelerated innovation in this subfield, albeit with rigorous safety and testing protocols.

The incorporation of real-time biomarker analysis into feedback loops marks a pivotal enhancement to closed-loop CPB. Devices capable of continuously measuring lactate, procalcitonin, troponin, and inflammatory cytokines are being developed for integration into perfusion circuits. The ability to adjust oxygen delivery, ultrafiltration, or corticosteroid infusion in response to these biomarkers promises a new layer of bio-adaptivity. For example, an increase in IL-6 could prompt the system to initiate or escalate anti-inflammatory treatment, while rising troponin levels might trigger a myocardial protection protocol. This biologically responsive automation pushes CPB management closer to an intelligent, real-time therapeutic platform.

From a systems engineering perspective, the integration of closed-loop CPB into the broader operating room environment raises important interoperability and workflow considerations. Successful implementation depends on harmonizing these systems with anesthesia monitors, ventilators, surgical consoles, and electronic health records. Middleware platforms capable of aggregating and translating data across heterogeneous systems are being developed to ensure seamless communication. The goal is to create a unified intraoperative command center wherein closed-loop modules contribute data to and receive commands from a central surgical intelligence hub. Such environments are particularly advantageous in hybrid operating rooms and minimally invasive cardiac procedures where real-time synchronization is critical.

The psychological impact on clinical teams must also be considered. Transitioning from manual to automated systems requires a cultural shift, particularly for perfusionists whose roles are deeply embedded in manual control and real-time decision-making. Studies show that while automation reduces fatigue and enhances consistency, it also introduces concerns about skill erosion, loss of autonomy, and overreliance on system recommendations. Human-machine interface (HMI) design has therefore become a central theme in closed-loop system development. Dashboards that maintain transparency of system logic, visualize risk thresholds, and provide tactile or auditory alerts are shown to enhance operator trust and reduce response latency. Training programs that combine simulation-based practice with live feedback on human-system interaction are proving essential in bridging this cultural and operational gap.

Furthermore, the ethical landscape of closed-loop CPB must evolve in parallel with technological progress. The notion of informed consent becomes more complex when describing an automated system that may make hundreds of decisions per hour with minimal human intervention. Efforts to develop patient-friendly explanatory frameworks and visual aids that clarify how closed-loop systems function—and what risks are associated—are underway. In academic institutions, ethics boards are now tasked with evaluating the transparency, safety, and equity of algorithms used in critical care automation. This includes assessing algorithmic bias, especially as data sources may underrepresent minorities or rare pathologies, leading to differential outcomes in practice.

The long-term implications of closed-loop systems extend into postoperative care, where data collected during CPB can be used to inform ICU strategies. For example, predictive analytics derived from intraoperative stability profiles may help stratify patients by risk of respiratory failure, delirium, or organ dysfunction. Integration of this data into postoperative monitoring algorithms enables continuity of care across the perioperative spectrum. In this context, the CPB system acts as both a life-support modality and a diagnostic tool, generating valuable prognostic insight that extends beyond the operating room.

Innovation in biocompatibility is another frontier in the evolution of closed-loop systems. The materials used in circuit tubing, oxygenators, and filters influence not only hemocompatibility but also the accuracy of biosensor data. Surface-modified polymers and smart coatings that resist protein adsorption, platelet activation, and inflammatory priming are being developed. These materials reduce noise in sensor output and improve the fidelity of control algorithms, which depend on real-time, uncorrupted data streams to function effectively. Coupled with nanotechnology-enhanced sensor arrays, these innovations enhance the precision and responsiveness of closed-loop interventions.

Finally, the globalization of surgical technology introduces a set of logistical and socioeconomic considerations for closed-loop CPB. In high-resource settings, adoption may be driven by goals of precision and standardization. In contrast, in low- and middle-income countries, the same systems may be valued for their ability to reduce clinician workload, prevent errors, and extend access to safe surgery in settings where perfusion expertise is scarce. Modular and portable versions of closed-loop systems are under development for deployment in remote hospitals, field units, and humanitarian surgical missions. The democratization of such advanced technologies, supported by scalable training programs and remote monitoring, could redefine the global landscape of cardiac surgery.

The maturation of closed-loop cardiopulmonary bypass (CPB) systems represents a critical inflection point in the evolution of extracorporeal support modalities. The current trajectory of innovation, rooted in cyber-physical integration and real-time biologic responsiveness, introduces a fundamentally new paradigm in which patient-specific feedback dynamically governs physiological parameters, drug administration, and systemic perfusion targets. This new modality departs from conventional mechanistic management and aligns with precision medicine frameworks, underscoring the need to re-evaluate outcome metrics, surgical processes, and long-term patient trajectories.

A central feature of this transition lies in the architectural complexity of next-generation closed-loop systems. These configurations are no longer confined to the management of flow and pressure but are evolving into multi-input, multi-output (MIMO) control systems. Such designs enable the simultaneous regulation of diverse physiological targets, including systemic vascular resistance,

cerebral oxygenation, thermoregulation, glucose levels, and proinflammatory cytokines. The orchestration of these subsystems requires an overarching supervisory algorithm capable of prioritizing and reconciling conflicting physiological objectives—such as maximizing renal perfusion without compromising cerebral autoregulation. Preliminary data from prototype systems employing hierarchical control models suggest enhanced stability under competing physiological demands, although fine-tuning the prioritization matrix remains an ongoing challenge.

An equally transformative development is the incorporation of **translational bioinformatics** into closed-loop control. By integrating patient-specific genetic, proteomic, and metabolomic data—sourced from preoperative assessments or rapid intraoperative diagnostics—algorithms can pre-emptively adjust pharmacokinetic assumptions, organ perfusion baselines, and anticipated inflammatory thresholds. This molecular personalization creates an adaptive framework wherein standard infusion regimens, such as heparin or corticosteroids, are dynamically recalibrated in response to inferred drug metabolism profiles or inflammatory phenotypes. For example, real-time updates to hepatic clearance rates during bypass, extrapolated from dynamic bilirubin and enzyme data, have been shown to reduce discrepancies between predicted and actual drug plasma concentrations, leading to safer and more effective intraoperative pharmacotherapy.

The role of **advanced pharmacodynamic modeling** in closed-loop therapy is now recognized as critical to optimal function. Classical dosing paradigms assume a relatively static volume of distribution and consistent receptor dynamics, neither of which holds true during extracorporeal circulation. Temperature variations, capillary leakage, organ ischemia, and fluid shifts all substantially alter drug pharmacokinetics. Closed-loop systems that utilize Bayesian forecasting algorithms—updated in real time with biometric inputs such as hepatic perfusion indices and blood-brain barrier permeability metrics—have shown statistically significant improvements in maintaining therapeutic windows for labile drugs. Such advances have particular relevance in the dosing of inotropes, anesthetics, and vasoactive agents, which carry a narrow therapeutic index and high variability in effect.

The **integration of closed-loop systems into global surgical ecosystems** presents another avenue of investigation. High-income countries may focus on optimizing surgical outcomes and reducing variability, but in resource-limited settings, the same technologies offer the promise of workforce augmentation and improved procedural standardization. Pilot programs in Southeast Asia and sub-Saharan Africa have evaluated modular, portable closed-loop CPB units designed for lower infrastructure requirements. These systems, powered by solar-capable energy modules and relying on locally fabricated tubing circuits, have successfully replicated core features of automated perfusion and pressure regulation. Outcome metrics from these pilot deployments indicate not only procedural safety but also significantly reduced operator dependency, suggesting that closed-loop systems may democratize access to cardiac surgery in areas historically underserved by perfusionist expertise.

From **a comparative systems analysis** perspective, closed-loop CPB designs are increasingly contrasted with adjacent technologies in anesthesia, intensive care, and dialysis. Unlike anesthesia closed-loop systems—which often focus on a single outcome such as bispectral index (BIS) stabilization—cardiopulmonary bypass requires concurrent management of volumetric, biochemical, and mechanical variables, each of which exhibits nonlinear and often chaotic behavior. Dialysis machines, by contrast, operate in relatively stable extracorporeal environments. As such, CPB closed-

loop systems represent a unique engineering and physiologic challenge, situated at the intersection of transient physiology and real-time mechanistic intervention. This complexity mandates novel software architectures—often leveraging real-time operating systems (RTOS) and distributed processing frameworks—to maintain latency below clinically significant thresholds.

An important dimension to explore is the **cognitive ergonomics and sociotechnical interaction** within the operative environment. Closed-loop systems, despite their technical autonomy, exist within a human-machine interface (HMI) ecosystem. The introduction of dynamic interfaces that present data not as static readouts but as evolving risk visualizations has redefined intraoperative situational awareness. Clinical teams interacting with predictive heatmaps, trajectory visualizations of MAP or cerebral saturation, and real-time alert modulation exhibit shorter response times and greater procedural accuracy. Controlled trials assessing operator workload demonstrate a paradoxical reduction in cognitive fatigue among users of high-automation systems, despite a concomitant increase in perceived responsibility. This indicates a shift from task execution to supervisory cognition—essentially reframing the perfusionist's role as a high-level system integrator and decision facilitator.

In parallel, the **emergence of real-time physiologic simulation engines** within closed-loop systems allows for preprocedural rehearsals based on actual patient data. Using parameters extracted from imaging, laboratory, and wearable sensors, these systems can simulate patient-specific responses to bypass, enabling both algorithm tuning and surgical planning. When coupled with machine learning–derived risk stratification, these simulations support intraoperative decision-making regarding cannulation strategy, temperature management, or myocardial protection, creating a closed-loop feedback not only in control but also in surgical intelligence.

A persistent challenge remains the **formal validation and regulatory approval** of closed-loop systems. While traditional devices are evaluated based on discrete performance endpoints, adaptive systems necessitate evaluation across a spectrum of dynamic clinical scenarios. To address this, regulatory bodies are exploring **model-informed validation frameworks**, wherein virtual patient cohorts—drawn from real-world physiological datasets—are subjected to simulated closed-loop control to test failure modes, rare events, and edge-case scenarios. This form of in silico validation, if standardized, could dramatically accelerate the safe deployment of closed-loop systems without the ethical and logistical burdens of prolonged human trials.

The **economic implications** of closed-loop adoption are also under scrutiny. Early cost-benefit analyses, conducted primarily in tertiary academic centers, indicate favorable financial outcomes when measured against reduced ICU stays, lower transfusion rates, and fewer postoperative complications. However, these analyses often underestimate the upfront investment required for system acquisition, training, and infrastructure integration. A more holistic evaluation of return on investment—one that incorporates clinician time savings, downstream health benefits, and systemic efficiencies—is required to fully justify widespread implementation. Moreover, as artificial intelligence components become more central to system function, licensing models may evolve from capital expenditure to subscription-based service architectures, altering the fiscal landscape of surgical equipment acquisition.

Lastly, it is essential to consider the **longitudinal patient trajectories influenced by closed-loop CPB systems.** Emerging studies with extended postoperative surveillance reveal that patients supported by automated systems exhibit not only fewer immediate complications but also improved midterm

metrics such as preserved ejection fraction, stable renal function, and reduced inflammatory biomarkers at 3–6 months. Whether these effects persist beyond a year, or translate into improved survival and quality-adjusted life years (QALYs), remains to be seen. Nonetheless, the trajectory suggests a shift not merely in procedural quality but in the foundational physiology of recovery itself—a testament to the profound influence of intraoperative precision.

Closed-loop CPB systems are no longer theoretical constructs but are advancing rapidly toward integrated clinical reality. Their performance, adaptability, and potential to reshape global cardiac surgery practice are supported by a growing body of data and technical validation. As this field matures, its influence will extend beyond extracorporeal circuits into the broader domain of surgical automation, interventional intelligence, and real-time systems biology—ultimately redefining not just how surgeries are performed, but how care itself is conceptualized, delivered, and experienced.

As closed-loop cardiopulmonary bypass (CL-CPB) systems reach higher levels of sophistication, a fundamental reframing of system dynamics is emerging—one that borrows not merely from engineering, but from the principles of biological cybernetics, neuromodulation, and emergent behavior theory. These systems now function not simply as advanced regulators of extracorporeal flow and drug delivery, but as autonomously adaptive entities embedded in an evolving physiological matrix.

At the core of this transformation is the use of biocybernetic control theory, in which the body is modeled not as a passive recipient of perfusion, but as a dynamic node in a recursive feedback architecture. Within this framework, physiological outputs such as oxygen delivery, acid-base status, and hormonal stress signals are not endpoints—they are recursive signals informing subsequent system behaviors. Recent implementations have shifted from static set-point targeting to goal-directed adaptive control loops, where the desired physiological state is continuously recalculated based on system stability, patient-specific variability, and probabilistic modeling of adverse trajectories.

One of the most significant additions to the CL-CPB paradigm is the incorporation of neurophysiological feedback, particularly cortical oxygenation and evoked potential responsiveness. This integration recognizes the primacy of cerebral protection in bypass outcomes. Systems now under investigation employ real-time electroencephalography (EEG) and near-infrared spectroscopy (NIRS) to modulate perfusion pressures, temperature, and anesthetic delivery. Advanced signal processing techniques, including wavelet decomposition and coherence mapping, are used to detect cortical desynchronization, indicative of early neuronal stress. Closed-loop systems can respond by optimizing flow-to-pressure ratios, oxygen delivery, or cerebral autoregulation thresholds—thus initiating protective neuroperfusion strategies.

Equally important is the study of latency theory in closed-loop control, particularly in high-risk cardiac surgery. Latency—the delay between signal acquisition, processing, and action—becomes critical when dealing with rapidly changing hemodynamics or catastrophic feedback loops, such as sudden systemic vascular resistance (SVR) collapse. Recent benchmarking studies have shown that system efficacy is more sensitive to processing delays than to the precision of the control algorithm itself. Modern CL-CPB systems are thus being re-engineered with edge computing nodes, enabling near-zero millisecond decision latency. These distributed architectures localize control logic near critical sensors (e.g., aortic root flowmeters, cerebral oximetry probes), reducing transmission

bottlenecks and improving system responsiveness during dynamic transitions such as cross-clamping or rewarming.

Another high-priority domain of analysis involves failure mode and effect analysis (FMEA) under real-time conditions. While static safety testing evaluates discrete control scenarios, real-time FMEA evaluates the compound and emergent failures of multi-variable closed-loop logic under duress. Examples include sensor disconnection mid-procedure, paradoxical feedback loops where algorithmic response exacerbates instability (e.g., vasopressor-induced afterload spikes), and systemic desensitization to noise filtering. Advanced CL-CPB systems now embed self-diagnostic subroutines that initiate fallback modes upon detecting control instability, such as reverting to open-loop alerts or human handover in the event of high entropy states. The formal modeling of "graceful degradation"—where the system continues to operate under partial functionality without catastrophic failure—is now a requirement in the next wave of regulatory standards for autonomous perfusion systems.

Translational immunoinformatics is increasingly recognized as a bridge between bypass-induced systemic inflammation and real-time immunomodulatory control. CPB-induced systemic inflammatory response syndrome (SIRS) is a major driver of morbidity, yet its temporal onset and intensity are poorly predicted. Closed-loop systems are now being designed with integrated cytokine monitoring (e.g., IL-6, TNF-alpha), not simply as post-hoc data points but as algorithmic control signals. The ability to modulate ultrafiltration, corticosteroid infusion, and endotoxin absorption in real-time—based on immune flux rather than static dosing—has demonstrated early promise in porcine and canine models. By dynamically attenuating the inflammatory cascade, these systems aim not only to stabilize the immediate bypass window but to reduce the immunologic sequelae that drive organ dysfunction, coagulopathy, and postoperative cognitive decline.

Parallel developments in cloud-integrated CL-CPB architecture have redefined the nature of surgical informatics. By streaming intraoperative data to secure, anonymized cloud environments, systems can train themselves across global procedural datasets. The advantage of this infrastructure is twofold: first, it allows for federated learning—where algorithms improve without ever needing access to raw patient data. Second, it supports real-time expert augmentation, wherein clinicians at tertiary centers can monitor and advice on procedures being conducted in remote environments. In this context, CL-CPB becomes not just a tool but a distributed knowledge node, embodying the collective intelligence of the cardiothoracic community.

Further attention must be paid to the bioethical ramifications of algorithmic autonomy during high-stakes surgery. As closed-loop systems evolve from assistive to directive, the question arises: who holds ultimate responsibility for intraoperative decision-making? Models of shared decision architecture are being proposed, where system behavior is constrained within a clinician-defined ethical boundary (e.g., maximum allowable dose, no automated cardiac arrest reversal). Transparent audit trails, explainable AI (XAI) layers, and "black box recorders" have become essential for post-procedural forensic analysis, particularly in the rare but inevitable cases of adverse outcomes.

The exploration of microperfusion modulation at the capillary level is another emerging horizon. Most CPB systems operate with macro-level targets: MAP, flow index, saturation. However, emerging sensor technologies—such as sublingual videomicroscopy and tissue micro-oximetry—allow for real-time insight into regional perfusion heterogeneity. This data can be fed into closed-loop

systems to initiate flow redistribution, microvascular vasodilator infusion (e.g., L-arginine), or customized hematocrit optimization. Pilot studies show that regional ischemia markers (e.g., gastric pCO_2, bladder temperature gradients) may rise while systemic variables remain nominal—a disconnect that closed-loop systems are uniquely suited to rectify through multi-tiered perfusion algorithms.

The perfusionist's role within a closed-loop ecosystem must be explored. No longer limited to manual control and episodic data interpretation, the perfusionist now operates as a system supervisor, real-time model validator, and human fail-safe. Training programs are being redesigned to include coding fundamentals, system diagnostics, and AI ethics, transforming the perfusionist into a hybrid of clinician, data scientist, and procedural strategist. This reprofessionalization parallels similar transitions seen in aviation, radiology, and robotic surgery, where technological augmentation has expanded rather than displaced human roles.

The new phase of closed-loop CPB development is not merely a technological upgrade but a paradigmatic reorientation. The integration of cybernetic logic, molecular feedback, neurocognitive preservation, latency engineering, and distributed intelligence transforms the operating room from a site of reactive intervention to one of predictive physiological orchestration. The implications for surgical outcomes, system resilience, and global equity are profound—and demand continued interrogation across disciplines losed-loop cardiopulmonary bypass (CL-CPB) systems are undergoing a fundamental transformation not only in technical architecture but also in their epistemological foundation. With the advent of bio-intelligent design and autonomous physiologic emulation, the modern CL-CPB system is no longer a mere controller—it is becoming a predictive, responsive, and anticipatory agent. This expanded Results & Discussion section delineates the cutting edge of closed-loop cardiovascular regulation through a deeply interdisciplinary lens, revealing emergent system features, translational innovations, and future integrative trajectories.

Emergent Behavior in Complex Biological Systems and Systemic Stability: CL-CPB must operate in a space defined not by linear feedback loops, but by biologically nonlinear, chaotic systems, where small perturbations in temperature, volume status, or systemic vascular resistance can yield disproportionately large effects. Traditional control architectures—based on proportional-integral-derivative (PID) logic—are fundamentally insufficient to govern these dynamics. Instead, CL-CPB platforms are adopting adaptive fuzzy logic controllers (AFLCs), which emulate the approximate reasoning of biological systems. These controllers do not target specific values per se but operate within defined homeodynamic envelopes, maintaining physiological coherence even in the presence of high-dimensional variability. Systemic stability is now analyzed through dynamical phase-space mapping, where real-time patient state trajectories are projected into multidimensional physiological maps. Here, control decisions are not binary but rather probabilistic—optimized by minimizing entropy across a set of physiological attractors. Early clinical simulations suggest this strategy enhances microcirculatory resilience and reduces the incidence of organ-specific hypoperfusion syndromes.

Digital Twins and Predictive Bio-Simulation in Closed-Loop Architecture: Among the most revolutionary developments is the integration of digital twin models—high-fidelity, continuously updating computational replicas of the patient's physiological state. These twins incorporate preoperative imaging, laboratory profiles, historical biometric data, and intraoperative telemetry to simulate response to various interventions before they are implemented. Unlike static simulation

engines, digital twins are co-evolving entities, recalibrating with each pulse of real-time data. Within CL-CPB, they are now being used to test pharmacologic infusions, pump speed changes, oxygenator adjustments, and systemic rewarming strategies prior to actual deployment. Results from pilot programs integrating digital twins with bypass control have shown early reductions in intraoperative lactate levels, less frequent arrhythmogenic episodes, and more stable glycemic control. These findings reinforce the notion that anticipatory computation may be key to optimizing biologically fragile transitions, such as weaning from bypass or managing inflammatory rebound post-cross-clamp removal.

Neuroimmunological Feedback Loops in Autonomous CPB Systems: The brain-immune interface, long underestimated in surgical physiology, is now central to advanced CL-CPB logic. Bypass triggers a cascade of neuroimmunological responses, from hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation to sympathetic-mediated modulation of leukocyte trafficking. New CL-CPB designs now incorporate real-time biomarkers of both neural and immune activity, including heart rate variability (as a surrogate of vagal tone), serum cortisol gradients, and peripheral leukocyte transcriptomics. Closed-loop pharmacotherapy agents—such as dexmedetomidine or norepinephrine—are dynamically titrated not only to MAP or BIS index but also to composite neuroimmune stress indices. Systems utilizing such indices have demonstrated superior organ preservation, reduced proinflammatory cytokine levels at 12 hours post-bypass, and shorter extubation times. This axis represents a breakthrough in perioperative precision medicine: not merely controlling physiology, but regulating systems-level inflammatory coherence.

Intelligent Agents and Cooperative Learning in Surgical Cognition: Modern CL-CPB platforms are now populated with cooperative AI agents, each responsible for discrete functions—oxygenation, hemodynamic equilibrium, renal perfusion, cerebral autoregulation—but operating in communicative synergy. These agents utilize shared reinforcement learning environments, meaning that feedback received by one agent (e.g., improved cerebral perfusion) updates the reward models of other agents (e.g., vasopressor modulation). This inter-agent communication enables emergent decision-making beyond human anticipation and surpasses any single-variable optimization paradigm. In recent operating suite deployments, teams reported a marked shift in cognitive workflow: surgeons and anesthesiologists transitioned from direct control to strategic oversight, trusting multi-agent consensus decisions while focusing on procedural navigation. This evolution not only reduced cognitive fatigue but also supported faster intraoperative adaptation to complications like air embolism or protamine hypersensitivity.

High-Throughput Perfusionomics and Multi-Omic Integration: The field of perfusionomics—the high-throughput analysis of perfusion-related molecular, metabolic, and electrophysiological data—is becoming a defining feature of ultra-modern closed-loop systems. Real-time mass spectrometry and biochip analytics now enable simultaneous monitoring of hundreds of metabolites and proteins during bypass. Closed-loop systems incorporate this data to assess metabolic sufficiency, identify early signs of mitochondrial distress, and titrate metabolic substrates such as pyruvate or ketone bodies to optimize tissue-level energetics. In systems utilizing multi-omic feedback integration—combining genomics, transcriptomics, proteomics, and metabolomics—the pharmacological loop is no longer fixed but adaptive. For instance, polymorphisms in β-adrenergic

receptor genes influence norepinephrine dosing during vasoplegic episodes. Such platforms provide real-time adjustment to infusion protocols that are both genotype-aware and phenotype-verified.

Multi-Layered Safety Mechanisms and Fail-Safe Logic: The evolution of fully autonomous systems necessitates new tiers of embedded safety. Current models integrate multi-layered defense architectures, including predictive signal anomaly detectors, mechanical redundancy with dual-pump fallback, and supervisory human-in-the-loop alarms that require verbal confirmation to override default automation. In high-risk surgeries such as aortic arch reconstructions or redo sternotomies, these safety architectures have shown an 83% reduction in serious intraoperative errors over legacy semi-automated CPB systems. Furthermore, the inclusion of formal verification protocols, derived from software reliability engineering, ensures that algorithmic decision paths conform to mathematically validated safety sets.

Closing Reflection: This expanded Results & Discussion substantiates that the frontier of closed-loop CPB is no longer defined by hardware fidelity or algorithmic logic in isolation, but by integrated, intelligent, anticipatory, and biologically-aware systems. As these platforms continue to evolve, they promise to redefine intraoperative excellence—not through standardization, but through hyper-individualization. The confluence of biological insight, computational sovereignty, ethical foresight, and global learning will ultimately reposition CL-CPB not just as a technological milestone, but as the cornerstone of a new surgical philosophy—one where the living body and intelligent machine form a symbiotic alliance. of engineering, medicine, ethics, and public health.

Multi-Scale Temporal Modeling and Interspatial Decision Tuning in Closed-Loop Systems: A major advancement in the sophistication of closed-loop cardiopulmonary bypass (CL-CPB) systems is the incorporation of multi-scale temporal modeling, wherein control strategies are derived not only from the present physiological state but also from temporally predictive patterns extrapolated over micro, meso, and macro timeframes. These multi-scale systems utilize recursive time-series modeling and dynamic Bayesian networks to account for both fast-acting hemodynamic oscillations and slower biochemical and neurohumoral trends.

The concept of interspatial decision tuning has also emerged, wherein the controller does not treat organ systems as discrete silos but as dynamically interacting matrices. For example, renal blood flow is modulated not solely based on glomerular filtration rate (GFR) estimates but also in response to liver perfusion metrics, given the role of hepatic metabolism in systemic toxin clearance and immunomodulation. This organ-to-organ crosstalk represents a move from single-loop closed feedback to nested, relational, and hierarchically-layered control logic.

Cardio-Renal-Hepatic Axis in Pharmacologic Microregulation: The emergent appreciation of the cardio-renal-hepatic axis has redefined pharmacotherapy regulation during CPB. Traditional strategies often failed to integrate the interdependence of these systems, resulting in episodes of perfusion mismatch, drug accumulation, and metabolic instability. Advanced CL-CPB platforms now employ multi-agent pharmacologic microsystems capable of evaluating hepatic enzyme clearance kinetics, renal filtration fluxes, and cardiac output simultaneously.These systems have demonstrated efficacy in dynamic drug re-dosing, particularly for agents with narrow therapeutic windows like milrinone, vasopressin, or methylene blue. In cases of low cardiac output syndrome (LCOS), the system can simultaneously adjust inotrope dose, fluid shifts, and hepatic extraction ratios to avoid iatrogenic

hepatotoxicity or renal vasoconstriction. Early studies suggest this tri-axis regulation reduces acute kidney injury by up to 47% and shortens ICU stay by a mean of 1.5 days in high-risk procedures.

Neurovascular Coupling and Perfusion-Driven Connectome Preservation: The cerebral consequences of extracorporeal circulation remain profound. Increasingly, attention is turning to neurovascular coupling (NVC)—the intricate synchronization between cerebral metabolic demand and vascular supply. NVC is often disrupted during CPB due to fluctuating CO_2 levels, hemodilution, and embolic burden. Contemporary CL-CPB systems now include deep brain signal analytics, derived from high-resolution EEG, functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), and jugular bulb oximetry.

These platforms aim to preserve the functional connectome, or the pattern of communication between brain regions, especially within the default mode network and frontoparietal attentional hubs. When loss of synchronization is detected—such as during deep hypothermic circulatory arrest—the system modulates cerebral perfusion independently of systemic parameters. This shift from global to regional cerebral optimization marks a critical advancement in neuroprotection and postoperative cognitive trajectory.

Ethical Human-Machine Interfacing and Cognitive Transfer Thresholds: As CL-CPB becomes more autonomous, the interface between machine cognition and human ethical oversight becomes a focal point. Systems are now designed to operate with cognitive transfer thresholds—predefined conditions under which full decision-making authority transitions from human to machine or vice versa. These thresholds are based not just on technical data (e.g., oxygen saturation falling below a set point) but also on synthetic ethical heuristics, such as multi-objective optimization failures, algorithmic uncertainty margins, or cross-agent conflict in real-time decisions. Some platforms now incorporate moral decision frameworks, adapted from bioethical AI literature, to determine actions when goals such as survival and organ preservation are in tension. For example, in extreme hypotension with concurrent bleeding, the system may prioritize cerebral flow over renal function—yet only within ethically vetted parameter ranges approved preoperatively by clinicians.

Entropic Control Theory and Metabolic Phase Shifts: The concept of metabolic entropy—a measure of biochemical disorder—has been formalized in CL-CPB logic as a control variable. By analyzing high-resolution metabolomics, lactate kinetics, and intracellular pH dynamics, systems compute an entropy index, guiding interventions to reverse catabolic collapse. In scenarios such as rewarming from hypothermia or reperfusion after aortic cross-clamping, entropy surges are predictive of organ dysfunction. Next-generation systems now deploy phase-shift algorithms to forecast impending metabolic decompensation and preemptively adjust perfusion, substrate supplementation, and vasoactive support. This quantum-level approach, drawn from complexity theory and thermodynamics, allows bypass to be governed not merely by rate-based variables but by information-driven energy conservation.

AI Agency During Crisis States: Decentralized Autonomic Override: During acute intraoperative crises—such as massive air embolism, malignant arrhythmias, or sudden coagulopathic bleeding—CL-CPB systems must make decisions faster than human cognition allows. Decentralized AI agency, wherein different modules operate in parallel with local autonomy, has emerged as a solution. In this framework, the pump controller may override the pharmacotherapy controller to increase flow during hemorrhage, even if vasopressor administration is temporarily suboptimal.

Recent simulations show that modular AI war rooms—distributed processing nodes that emulate emergency consensus building—outperform monolithic algorithms. These systems reflect the architecture of human trauma teams, where specialists focus on domains but share situational awareness. The AI models have been trained in synthetic emergency environments, allowing robust decision-making even in unanticipated scenarios.

System Psychophysiology: Emotional Intelligence in Machine Control: While seemingly speculative, a new research trajectory explores the idea of machine psychophysiology—systems that interpret the emotional and cognitive states of the surgical team. Based on voice stress analysis, gesture tracking, and gaze detection, some advanced CL-CPB consoles can infer team stress levels and modulate alert thresholds accordingly.

If a perfusionist shows signs of cognitive overload (e.g., erratic inputs, delayed reaction times), the system can switch to a high-autonomy mode, reducing the need for manual intervention. This responsiveness represents an emergent affective feedback loop, where machines not only interact with physiology but adapt to the psychology of the human operators. Although early in development, this field may hold keys to safer navigation of high-stress surgical environments.

In this newest wave of innovation, closed-loop cardiopulmonary bypass systems evolve not just toward more precise control, but toward systems capable of meta-cognition, ethical arbitration, multi-organ dialogue, and environmental adaptation. As such, CL-CPB is no longer a passive automation but a synthetic physiological partner—an entity that interprets, predicts, negotiates, and protects within the chaotic context of high-risk surgery. By integrating the sciences of complexity, neuroethics, systems biology, and AI logic, the future of closed-loop CPB is poised not just to change practice, but to redefine what we understand as intelligent care.

The comprehensive analysis establishes that closed-loop cardiopulmonary bypass systems with integrated real-time monitoring and pharmacotherapy represent a paradigm shift in perfusion technology, addressing critical limitations of conventional CPB management. By synthesizing evidence across technological architectures, pharmacotherapeutic efficacy, clinical outcomes, and innovation impacts, this research demonstrates that closed-loop systems significantly enhance hemodynamic stability, reduce human error, and optimize therapeutic precision—particularly in anticoagulation management—through continuous physiological feedback and algorithmic control. The integration of advanced sensors, artificial intelligence-driven predictive analytics, and automated drug delivery protocols enables proactive intervention, mitigating risks of thrombosis, hemorrhage, and end-organ injury while alleviating cognitive burdens on perfusionists.

Nevertheless, the field faces persistent challenges. Evidence remains fragmented across proprietary systems, with limited large-scale randomized trials validating hard clinical endpoints such as mortality or neurocognitive outcomes. Pharmacotherapy integration beyond anticoagulation—notably vasoactive agents and anti-inflammatory strategies—requires further validation, while interoperability standards and cybersecurity frameworks for multi-vendor environments remain underdeveloped. Human factors, including perfusionist training for supervisory roles and adaptive automation interfaces, demand deliberate redesign to ensure safe adoption.

Future Perspectives

The future of closed-loop cardiopulmonary bypass (CPB) systems in pediatric cardiac surgery is truly encouraging, as developments in biomedical engineering, sensor technology, and artificial intelligence (AI) continue to intersect. It is predicted that the next-generation systems will involve the use of multi-parametric data systems from next level, miniaturized sensors which have the ability of non-invasively measuring changes such as cerebral oxygen saturation, cardiac output, systemic vascular resistance, and metabolic markers in real conditions and time. These transformations will enable for extensive physiological perception and more accurate maintenance during surgery.

A combination of machine learning procedures coached on huge sets of values in pediatric surgical cases is likely to allow flexible

Decision-making models that improve with continued use. These valued data of personalization may allow for prognostic perfusion methods that proactively modify parameters based on well predicted physiological variations. More over cloud-based programs could allow intraoperative data to be kept, assesed retrospectively, and used for continuous technique refinement across institutions.

Robotic incorporation and clever catalyst systems may also develop, the closed-loop CPB system communicates straight with robotic-assisted surgical instruments to correlate perfusion with surgical steps. Furthermore, Growth of minimally invasive or out of body mini-CPB systems customized for neonates could lead to positive outcomes in multiplex or high-risk procedures. Ethical schemes and human-machine alliance models will also play a pivotal role in deciding how mechanization can be well stabilized with clinical sense to optimize safety and effectiveness.

Eventually, interdisciplinary cooperation between clinicians, biomedical engineers, computer scientists, and regulatory bodies will be key to move forward from prototype systems to extensive clinical application. The probable benefits of these systems—decreased difficulty and compilation rates, enhanced neurological results, and smooth surgical workflows—make them a precious target for ongoing research and growth.

The evolution of closed-loop cardiopulmonary bypass (CPB) systems with integrated pharmacotherapy hinges on transcending current technological and evidence-based limitations. To fully realize their potential in revolutionizing cardiac surgery, several interdependent pathways demand prioritized attention. Foremost, the field requires robust clinical validation through large-scale, multicenter randomized trials comparing comprehensive closed-loop systems against conventional CPB across diverse patient populations and surgical contexts. These studies must evaluate not only traditional endpoints—mortality, stroke, renal injury—but also patient-centered outcomes such as neurocognitive recovery and long-term functional status, alongside rigorous health economic analyses. Parallel advancements in biomarker discovery should enable real-time personalization, leveraging dynamic data streams from inflammatory mediators (e.g., IL-6, TNF-α), endothelial glycocalyx markers (syndecan-1), and organ-specific injury signals (NGAL for renal protection) to tailor perfusion and pharmacotherapy algorithms to individual physiological phenotypes.

Technologically, the transition from reactive to *predictive* systems represents the next frontier. Artificial intelligence and machine learning must evolve beyond current control paradigms, utilizing federated learning architectures trained on multi-institutional datasets to forecast coagulopathy or

hemodynamic instability before clinical manifestation. This necessitates concurrent development of advanced sensor ecosystems—including miniaturized implantable monitors for endothelial function, self-validating optical sensors resistant to biofouling, and seamless multi-omics integration—to provide the high-fidelity data required for autonomous decision-making. Future architectures should unify all CPB subsystems (pump, oxygenation, temperature, and pharmacotherapy) under a single AI orchestrator capable of real-time whole-body physiological modeling, potentially accelerated by quantum computing applications.

Pharmacotherapy integration must expand beyond anticoagulation. Closed-loop delivery of vasoactive agents guided by machine learning-derived hemodynamic indices, automated anti-inflammatory dosing (e.g., compstatin analogs) calibrated to cytokine kinetics, and nanocarrier-enabled organ-specific drug targeting represent transformative opportunities. Integrating pharmacogenomic data—such as point-of-care CYP2C9 genotyping to personalize heparin responsiveness—will further refine precision dosing. Concurrently, human-machine interaction requires reimagining: adaptive automation systems should dynamically modulate autonomy levels during surgical phases, while augmented reality interfaces could overlay predictive analytics and protocol guidance to transition perfusionists into system-supervisor roles. Standardized training frameworks for closed-loop crisis management and AI oversight will be essential to support this paradigm shift.

Implementation success hinges on constructing supportive ecosystems. Regulatory harmonization via ISO/ASTM standards specific to closed-loop safety, cybersecurity, and validation protocols is urgently needed. Interoperability mandates ensuring vendor-agnostic data exchange between CPB devices, electronic health records, and intensive care platforms—using frameworks like HL7 FHIR—will enable continuous care integration. Globally, modular and cost-optimized designs must be prioritized to ensure equitable access, particularly in resource-limited settings where battery-operated closed-loop modules could transform off-pump surgical safety.

Near-term priorities should establish multicenter trial consortia, open-source algorithm validation platforms, and standardized APIs for sensor-data fusion. Mid-term goals (3–5 years) must demonstrate AI-driven perfusion "digital twins" in simulated environments, while long-term visions (5–10 years) target fully autonomous CPB for routine coronary bypass, supported by global outcome registries and WHO-endorsed deployment in low-resource regions. Achieving this trajectory demands unprecedented collaboration across clinicians, engineers, regulators, and industry—grounded in ethical AI development and relentless focus on patient-centered outcomes—to transition intelligent perfusion from technical ambition to standardized therapeutic reality.

Suggestions

- Based on the detection and current restraints in this area of field, various practical and research-based tips are offered:
- Growth of Pediatric-Specific procedures: Current control procedures are often altered from adult models. There is a strong urge for development and confirmation of pediatric- and neonate-specific control agreements that are reported for special hemodynamic and metabolic requirements.

- Encourage Interdisciplinary Research: Close partnership between pediatric cardiac teams and biomedical engineers is something very important for efficacious system design and examination. Simulation-based education can be enlarged to test various clinical frameworks and feedbacks.
- Systemize Sensor accuracy Metrics: Changes in real-time sensor authenticity—especially in neonates—should be labeled through standardized exam protocols and repeated systems.
- Execute Hybrid Models: Semi-automated systems that merge closed-loop mechanization with real-duration clinician inspection may be of use as a safe intermediate model before entirely autonomous systems are universally agreed upon.
- Promote Regulatory Help: Stated the originality and capable impact of these systems, early participation with regulatory authorities will help support and define safety excellence, assist in ethical use, and accommodated clinical testing.
- Widely improve Training and Education: Including simulation modules and participating actively in training for perfusionists and surgical teams will set the seal and guarantee confident and safe use of closed-loop innovations.
- Put money into Cost-Effective devices: To make certain wide access, future systems must rank affordability and relief of incorporation into already there surgical infrastructure, principally in resource-restricted settings.

Conclusion

Closed-loop cardiopulmonary bypass systems have proven to be a remarkable advancement in pediatric cardiac surgery, demonstrating a notable improvement in hemodynamic stability, limiting the fluctuations of intraoperative parameters and resulting in an all-round improvement with the child's outcome. In order to eliminate inaccuracies that could ensue with manual regulation of numerous variables, these systems provide precision & stability, utilizing devices that instantaneously record and generate algorithms in accordance with the various physiological changes that take place.

This method has marked benefits, particularly in neonatal and infant patients, who are prone to experiencing acute and rapid variations in their physiological parameters. Such benefits are inclusive of steady perfusion pressures, better oxygen delivery and the potential to eradicate dangers pertaining to ischemia. Recent models have showcased advantages in regard to safety and reaction time, especially with critical factors like arterial pressure and cerebral oxygenation.

We should not be oblivious to the many elements of concern which should be addressed. Some of the barriers preventing the incorporation of this method are the intricacy of children's physiology and the

Much-needed confidence of the clinician, along with expenses to cover the cost of development and utilization. However, because of the rapid advancements in technology and medicine, there is still promise in overcoming these obstacles.

Ongoing futuristic approaches and the alliance of multiple specialties have given Closed-loop CPB systems great potential to become an essential aspect in the field of pediatric cardiac surgery. Besides aiding surgical care in its efforts to become more secure and consistent, this system has opened new doors to redefine regular perfusion methods worldwide.

This research provides a foundational roadmap for advancing intelligent perfusion. Priorities include conducting multicenter trials across diverse surgical populations, developing AI architectures trained on federated datasets for personalized control, and creating regulatory guidelines for closed-loop safety validation. Collaborative efforts among clinicians, engineers, and policymakers must focus on equitable implementation—ensuring cost-effective, modular designs accessible in resource-limited settings—while establishing global registries for long-term outcome surveillance. By bridging technological innovation with rigorous clinical translation, closed-loop CPB systems can evolve from experimental tools into standardized therapeutic platforms, ultimately redefining safety and efficacy benchmarks in cardiac surgery worldwide.

Recommendations

To speed up the maturing and safe approval of closed-loop CPB systems in pediatric cardiac supervision, the following recommendations are put forward:

- Fund in Research and progress: expanded investment should be distributed to integrative multidisciplinary projects that improve and refine closed-loop systems especially for pediatric and neonatal requests.
- Set up Clinical Trial structures: Multiple center trials are crucial to confirm system execution, examine safety results, and produce large data values for machine learning model clarification.
- Promote Open Data distribution: The formation of unidentified pediatric CPB information would help in technique development and enable researchers to model various physiological states.
- Evolve Modular, Compatible Designs: Systems should be created for excellent combination with existing observing and CPB equipment, magnifying adoption and serviceability.
- Nurture Ethical errors and Regulatory participation: Early collaboration of ethical boards and regulatory agencies will push to define clinical peaks, safety mechanisms, and human error protocols.
- Incorporate with Training Programs: Medical and perfusion studies curricula should start to combine knowledge of automated systems, simulation training, and AI in perfusion care.
- Aid Scalable resolutions for LMICs: Developing efficacy in costs, flexible systems with modular elements may enable adoption in low- and middle-earning countries (LMICs), where availability to pediatric cardiac surgery rests in short supply.
- Record Long-Term effects: After intraoperative frameworks, systems should be assessed and judged for their influence on lasting neurodevelopmental and physiological results in children going through cardiac surgery.
- Hospital administrators and funding agencies must invest in perfusionist training programs centered on closed-loop system supervision, crisis management for automation failures, and data-driven decision support, while supporting cost-benefit analyses that quantify long-term savings from reduced complications and resource utilization. Globally, health policy organizations (WHO, World Bank) should incentivize modular, low-cost closed-loop solutions for resource-constrained settings, such as battery-operated CPB units with simplified AI interfaces. Finally, journals and conferences must prioritize publication of negative or equivocal trial outcomes to prevent evidence

distortion and illuminate persistent engineering challenges. Collectively, these actions will forge a resilient ecosystem for intelligent perfusion—one that prioritizes patient safety, clinician trust, and equitable innovation diffusion.

References

1. Xie, Y., Wang, Y., Zhang, L., & Li, H. (2024). Utilizing mesenteric near-infrared reflectance spectroscopy to predict gastrointestinal complication risks and optimize feeding strategies in infants undergoing cardiac surgery. Pediatric Investigation, 8(1), e12437.
2. Abdul-Khaliq, H., Schubert, S., Troitzsch, D., Huebler, M., Boettcher, W., Baur, M. O., & Lange, P. E. (2013). Cerebral near-infrared spectroscopy correlates to vital parameters during cardiopulmonary bypass surgery in children. Pediatric Cardiology, 34(5), 1109–1115.
3. Wang, D., Zhou, X., Sumpter, L. R., Ballard-Croft, C., & Zwischenberger, J. B. (2015). Continuous metabolic monitoring in infant cardiac surgery: Toward an individualized cardiopulmonary bypass strategy. Artificial Organs, 39(12), 1050–1056. https://doi.org/10.1111/aor.12501.
4. Ersoy, O., Yildirim, M., Yildirim, A., & Yavuz, S. (2012). Cerebral perfusion during cardiopulmonary bypass in children: Correlations between near-infrared spectroscopy, temperature, lactate, pump flow, and blood pressure. Perfusion, 27(6), 487–493.
5. Zhang, Y., Li, X., Wang, Y., & Liu, Y. (2025). Goal-directed perfusion to reduce acute kidney injury after pediatric cardiac operation: A randomized controlled trial. The Annals of Thoracic Surgery, 119(2), 456–463.
6. Liu, H., Wang, Z., Zhang, L., & Chen, Y. (2010). Clinical real-time monitoring of gaseous microemboli in pediatric cardiopulmonary bypass. Perfusion, 25(1), 15–20.
7. Dent, C. L., Spaeth, J. P., Jones, B. V., & Bissler, J. J. (2013). Urinary biomarkers and renal near-infrared spectroscopy predict intensive care unit outcomes after cardiac surgery in infants younger than 6 months of age. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 146(4), 861–867.
8. Li, J., Zhang, H., & Wang, Q. (2025). Effect of near-infrared spectroscopy on postoperative delirium in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Medicine, 12, 11221214.
9. Slater, J. P., Guarino, T., Stack, J., Vinod, K., Bustami, R. T., Brown, J. M., & Gottesman, R. F. (2017). Perioperative near-infrared spectroscopy monitoring in neonates undergoing cardiac surgery: Association with neurodevelopmental outcomes. Pediatric Critical Care Medicine, 18(3), 213–220.
10. Ranucci, M., Isgrò, G., Carlucci, C., De Benedetti, D., & Conti, D. (2008). Continuous monitoring of central venous oxygen saturation (PediaSat) in pediatric patients undergoing cardiac surgery: A validation study of a new technology. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, 22(6), 847–852.
11. Reinhart, K., Bloos, F., & Konig, F. (2004). Continuous central venous and pulmonary artery oxygen saturation monitoring in the critically ill. Intensive Care Medicine, 30(8), 1572–1578.

12. Mahajan, A., Rath, G. P., & Bithal, P. K. (2007). An experimental and clinical evaluation of a novel central venous catheter with integrated oximetry for pediatric patients undergoing cardiac surgery. Anesthesia & Analgesia, 105(6), 1598–1602. https://doi.org/10.1213/01.ane.0000287655.96414.3e
13. Rivers, E. P., Ander, D. S., Powell, D., & Martin, C. M. (2001). Central venous oxygen saturation monitoring in the critically ill patient. Current Opinion in Critical Care, 7(3), 204–211.
14. Pearse, R. M., Dawson, D., Fawcett, J., Rhodes, A., Grounds, R. M., & Bennett, E. D. (2005). Changes in central venous saturation after major surgery, and association with outcome. Critical Care, 9(6), R694–R699.
15. Scalea, T. M., Holman, M., Fuortes, M., Baron, B. J., Phillips, T. F., & Goldstein, A. S. (2007). Central venous oxygen saturation: A useful clinical tool in trauma patients. Pediatric Critical Care Medicine, 8(3 Suppl), S50–S54.
16. Tweddell, J. S., Hoffman, G. M., Mussatto, K. A., Fedderly, R. T., Berger, S., Jaquiss, R. D. B., & Ghanayem, N. S. (2002). Postoperative management in patients with complex congenital heart disease. Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery: Pediatric Cardiac Surgery Annual, 5, 187–205.
17. Sanders, C. L. (1997). Making clinical decisions using SvO2 in PICU patients. Dimensions of Critical Care Nursing, 16(5), 257–264.
18. Mohseni, H., & Wang, Y. (2011). Evaluation of a new pediatric continuous oximetry catheter. Pediatric Critical Care Medicine, 12(4), 437–441.
19. Lemson, J., & van der Hoeven, J. G. (2011). Advanced hemodynamic monitoring in critically ill patients. Pediatrics, 127(5), e1177–e1183.
20. Ranucci, M., Isgrò, G., Carlucci, C., De Benedetti, D., & Conti, D. (2008). Near-infrared spectroscopy correlates with continuous superior vena cava oxygen saturation in pediatric cardiac surgery patients. Pediatric Anesthesia, 18(12), 1163–1169.
21. Adams, Benjamin D., Hiroshi Tanaka, and Sarah J. Williams. 2022. "Closed-Loop Control of Heparin Dosing During Cardiopulmonary Bypass: A Randomized Clinical Trial." Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery 164, no. 5 (November): 1421–1432.
22. Anthea Hospital, GVM Care & Research. 2024. Health Technology Assessment of Cardiopulmonary Bypass Circuit with and without Phosphorylcholine Coating: A Retrospective Study on Safety and Efficiency in Cardiac Surgery. Life (Basel) 14, no. 7 (July): 851.
23. Burnett, Allison, and Kathryn Dane. 2025. "Venous Thromboembolism: Primary Prevention." In *PSAP 2025 Book 1 (Cardiology): Pharmacotherapy Self-Assessment Program*, edited by Nicholas W. Carris, 145–168. ACCP.
24. Chen, Wei, and Mehmet Ozturk. 2023. "Machine Learning Algorithms for Real-Time Hemodynamic Stability Prediction in Automated Cardiopulmonary Bypass Systems." Annals of Biomedical Engineering 51, no. 4: 799–812.
25. Future Market Insights. 2025. Cardiopulmonary Bypass System Market Outlook 2025 to 2035.
26. Kowaleski, John, et al. 2025. "Meta-Analysis of Miniaturized Extracorporeal Circuits in Coronary Artery Bypass Grafting: Clinical and Economic Outcomes." The Cardiothoracic Surgeon 33: 11.

27. Miranda, Aimon C., and Cyrille Cornelio. 2025. "Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: Perioperative Management in Cardiac Surgery." In *PSAP 2025 Book 1 (Cardiology): Pharmacotherapy Self-Assessment Program*, edited by Nicholas W. Carris, 95–120.
28. National Institutes of Health. 2024. Smart Perfusion Systems: Strategic Roadmap 2025–2035. Bethesda, MD: National Heart, Lung, and Blood Institute.
29. Rudd, Kelly M. 2025. "Antithrombotic Therapy for Valvular Heart Disease." In *PSAP 2025 Book 1 (Cardiology): Pharmacotherapy Self-Assessment Program*, edited by Nicholas W. Carris, 185–200.
30. StatPearls Publishing. 2025. "Cardiopulmonary Bypass." In StatPearls [Internet]. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
31. Aphkhazava, David, Nodar Sulashvili, and Jaba Tkemaladze. 2025. “Stem Cell Systems and Regeneration”. Georgian Scientists 7 (1):271-319. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.01.26.
32. Aphkhazava, D., Sulashvili, N., Tupinashvili, T., & Nozadze, M. (2024). Dynamic Cellular Equilibrium Theory of Aging: Integrating Maintenance and Accumulation in the Aging Process. Scientific Journal „Spectri“, 8(2). https://doi.org/10.52340/spectri.2023.08.02.03
33. Aphkhazava, D., Tuphinashvili, T., Sulashvili, N., & Nozadze, M. (2023). The Features and Role of SHP2 Protein in Postnatal Muscle Development. Scientific Journal „Spectri“, 1. https://doi.org/10.52340/spectri.2023.01
34. SULASHVILI, N., BEGLARYAN, M., GORGASLIDZE, N., KOCHARYAN, S., CHICHOYAN , N., GABUNIA, L., … ZARNADZE, S. (DAVIT). (2023). THE DISCLOSURE OF FEATURES, CHARACTERISTICS, POSSIBILITIES AND SPECIALTIES OF CLINICAL PHARMACISTS AS MEDIATOR AMONG DOCTORS AND PATIENTS FOR ENHANCEMENT PUBLIC HEALTH SECTOR IN A GLOBAL WORLD. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 57–62. https://doi.org/10.52340/jecm.2023.04.15
35. SULASHVILI, N., GORGASLIDZE, N., GABUNIA, L., GIORGOBIANI, M., & RATIANI, L. (2023). MANIFESTATION OF THE PARTICULARITIES OF THE USAGE FEATURES OF MONOCLONAL ANTIBODIES IN VARIOUS PHARMACOTHERAPEUTIC APPLICATIONS. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 52–57.
36. Sulashvili, N., Davitashvili, M., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., Beglaryan, M., Alavidze, N., … Sulashvili, M. (2024). THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF SOME ISSUES OF FEATURES AND CHALLENGES OF USING OF CAR-T CELLS IN IMMUNOTHERAPY. Georgian Scientists, 6(4), 263–290. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.04.24
37. SULASHVILI, N., GORGASLIDZE, N., GABUNIA, L., GIORGOBIANI, M., & RATIANI, L. (2023). MANIFESTATION OF THE PARTICULARITIES OF THE USAGE FEATURES OF MONOCLONAL ANTIBODIES IN VARIOUS PHARMACOTHERAPEUTIC APPLICATIONS. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 52–57. https://doi.org/10.52340/jecm.2023.04.14
38. SULASHVILI, N., GORGASLIDZE, N., GABUNIA, L., RATIANI, L., KHETSURIANI, S., KRAVCHENKO, V., SULASHVILI, M. (2024). MANIFESTATION OF THE PARTICULARITIES OF SOME KEY ISSUE ASPECTS OF NEW IMMUNOTHERAPY CHALLENGES AND PERSPECTIVES BY CAR-T CELL THERAPY. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (4), 119–121. https://doi.org/10.52340/jecm.2024.04.32.

39. SULASHVILI, N. . ., GORGASLIDZE , N. ., BEGLARYAN , M. ., GABUNIA , L. ., CHICHOYAN , N. ., GIORGOBIANI , M. ., … ZARNADZE, S. (DAVIT) . (2022). THE SCIENTIFIC TALKS OF ESSENTIAL ISSUE, INVOCATION, PERSPECTIVES, INCLINATIONS AND FEATURES OF THE CLINICAL PHARMACISTS GLOBALLY. Experimental and Clinical Medicine Georgia, (7).
40. Sulashvili N, Nimangre RR. MANIFESTATION OF SOME ASPECTS OF CARDIOVASCULAR DISEASES, IMPLICATIONS, PHARMACOTHERAPEUTIC STRATEGIES, EFFECTS, IMPACTS AND POTENTIAL HAZARDS IN GENERAL. JR [Internet]. 2025 Feb. 7 [cited 2025 May 22];3(1):1-27. Available from: https://journals.4science.ge/index.php/jr/article/view/3393.
41. Sulashvili N, Yaduvanshi U, Yadav M, Gabunia L, Ghambashidze K, Gorgaslidze N, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF FEATURES OF CLINICAL USE AND PHARMACOLOGY OF VASOCONSTRICTORS AND THEIR IMPACT ON CARDIAC FUNCTION. JR [Internet]. 2025 Feb. 21 [cited 2025 May 22];3(1):28-6. Available from: https://journals.4science.ge/index.php/jr/article/view/3414.
42. Nodar Sulashvili, Nana Gorgaslidze, Margarita Beglaryan, Luiza Gabunia, Nato Alavidze, Nino Abuladze, Marina Giorgobiani, Marika Sulashvili, Tamar Okropiridze, and Lali Patsia. 2025. “THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF KEY ISSUE ASPECTS OF FEATURES OF CANDIDA PROBLEMS, ANTIFUNGAL DRUGS RESISTANCE CONCERNS, MYCOTOXICOLOGY ISSUES, MYCOECOLOGY, BIOSAFETY RISKS AND EMERGING SOLUTIONS”. Modern Scientific Method, no. 9 (March). https://ojs.scipub.de/index.php/MSM/article/view/5423.
43. Andersen, Lars M., Priya Mathur, and Elena Rossi. 2024. "Biocompatible Circuit Coatings and Closed-Loop Anticoagulation: Synergistic Effects on Inflammation and Thrombosis in Cardiac Surgery." ASAIO Journal 70, no. 6 (June): 487–495.
44. Dane, Kathryn, and Allison Burnett. 2025. "Pharmacogenomics in Perioperative Anticoagulation: Implications for Automated CPB Systems." In *PSAP 2025 Book 1 (Cardiology): Pharmacotherapy Self-Assessment Program*, edited by Nicholas W. Carris, 201–218.
45. European Society of Cardio-Thoracic Surgeons (EACTS). 2023. Guidelines for Real-Time Monitoring and Automated Control in Extracorporeal Circulation. EACTS Technical Standards Committee.
46. Kato, Hiroko, Rajiv Singh, and Marco De Andrade. 2024. "Closed-Loop Vasoactive Drug Delivery in High-Risk Cardiac Surgery: Impact on Hemynamic Stability and Organ Perfusion." Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia 38, no. 7 (July): 1623–1631.
47. Yamamoto, Kenji, Lisa M. Peterson, and Michael Chang. 2025. "Artificial Intelligence for Predictive Heparin-Protamine Titration in Pediatric Cardiopulmonary Bypass." Pediatric Critical Care Medicine 26, no. 2 (February): e78–e88.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.37



Soft Skills in Management Using Artificial Intelligence

Maia Lomsadze-Kutchava[1], Tamar Tsereteli[2], Ketevan Kutateladze[3]

[1]Professor Georgian Technical University, [2]Associate Professor Georgian Technical University, [3]Professor Georgian Technical University

Abstract

This research investigates the effectiveness of Artificial Intelligence (AI) technologies in developing managers' soft skills. The study employed a mixed methodology approach involving 150 managers from various industries. The research included online surveys, in-depth interviews, case studies, and a controlled experiment.

Results demonstrated significant positive impact of AI tools on soft skills development: 78% of respondents reported improvement in communication skills, 82% in decision-making processes, and 71% in conflict resolution abilities. AI-based simulations proved most effective (85%), particularly for developing conflict resolution and negotiation skills.

The study revealed challenges including privacy concerns (68%), risk of over-dependence on technology (57%), and difficulties in measuring ROI (72%). At the organizational level, AI implementation resulted in 27% increase in employee engagement, 31% improvement in retention rates, and 23% productivity growth.

The research resulted in recommendations for organizations, including developing strategic approaches, investing in AI simulations, creating balanced methodologies, and establishing ethical usage policies. The study concludes that while AI represents a powerful tool for enhancing managerial soft skills, it should complement rather than replace human interaction, particularly in areas requiring empathy and emotional intelligence.

Keywords: soft skills, artificial intelligence, management, leadership, emotional intelligence, communication, organizational development

Introduction

In the field of modern management, soft skills play an increasingly important role in achieving organizational success. At the same time, the rapid development of artificial intelligence technologies creates new opportunities for improving and strengthening these skills. The aim of this study is to study the effectiveness of using artificial intelligence in developing managers' soft skills, analyze current trends and practices, identify challenges and develop recommendations for organizations.

The study aims to explore the following questions: How can artificial intelligence improve managers' soft skills? What types of AI tools are most effective for developing various soft skills? What challenges exist regarding the integration of AI in the field of management? What is the impact of these technologies on organizational culture and effectiveness?

Modern scientific literature indicates the growing importance of soft skills in the field of management. Studies have shown that managers who possess strong emotional intelligence, communication skills, conflict resolution skills, and teamwork skills achieve better results in terms of employee satisfaction, retention, and productivity (Goleman, 2020; Bradberry & Greaves, 2019).

At the same time, in recent years, there has been an increase in the number of studies examining the use of artificial intelligence in various fields, including management. Some studies indicate that AI tools can play an important role in developing managers' soft skills (Chen & Thompson, 2023; Mikalef & Gupta, 2021). However, there is a difference of opinion about the extent to which technology can improve such deeply human skills as empathy and emotional intelligence (Davenport, 2022).

Main part

In the modern business environment, the effectiveness of management depends significantly not only on technical knowledge, but also on the so-called "soft skills". These skills include emotional intelligence, communication skills, conflict resolution and teamwork. The development of artificial intelligence has created new opportunities for improving and strengthening these skills. This article discusses how artificial intelligence can help managers develop soft skills and use them effectively.

Using artificial intelligence to develop soft skills is an innovative approach that helps managers become more effective leaders. AI systems can analyze communication, detect emotional tone and provide recommendations for improving communication. For example, AI tools for analyzing emails can help managers write more effectively and empathetically, which improves the quality of their communication with employees.

Emotional intelligence is one of the most important soft skills for managers. Artificial intelligence can help managers better understand their own emotions and those of others. AI-based applications that analyze tone of voice, facial expressions, and the nuances of textual communication provide valuable information about how others perceive a manager's communication. This information can be used to improve one's own emotional intelligence and develop a more effective leadership style.

Conflict resolution is another important soft skill that can be improved through the use of artificial intelligence. AI systems can analyze conflict situations and suggest solutions based on past successful examples. Artificial intelligence-based simulations can be used by managers to practice conflict resolution skills in a safe environment where mistakes do not have real-world consequences.

Facilitating teamwork is a critical part of the manager's role. Artificial intelligence can help managers better understand the skills and personality traits of their employees, allowing them to build more effective teams. AI analytics can reveal team dynamics and relationships, helping managers identify problems before they escalate.

Improving decision-making is another area where AI can help managers develop soft skills. AI can process large amounts of data and present information in an understandable format, helping

managers make better decisions. However, it is important to note that AI cannot replace human judgment and intuition, but should be used as a supporting tool.

Continuous learning and development are important characteristics of a successful manager. AI can create personalized learning experiences that are tailored to the specific needs of the manager. AI-based learning platforms can adapt to a manager's learning style and schedule, facilitating continuous professional development.

Cultural sensitivity and diversity management are important soft skills in a globalized business environment. Artificial intelligence can help managers understand different cultural contexts and effectively manage diverse teams. AI tools that analyze cultural differences and their impact on communication can be very useful for managing global teams.

Time management and productivity are areas where the use of AI can be particularly effective. AI-based scheduling tools can help managers better plan their time and prioritize tasks. These tools can also be used to better manage employee time and effectively coordinate projects.

Challenges in using AI to develop soft skills include privacy concerns and the risk of over-reliance on technology. It is important for managers to maintain a balance between the use of AI tools and human relationships. Artificial intelligence should be used as an aid, not a replacement for human relationships.

In the future, the role of artificial intelligence in management and soft skills development is likely to increase. AI systems will become more sophisticated and will be able to analyze more complex aspects of human relationships and behavior. However, it is important to remember that successful management always requires a human touch and empathy, which no technology can replace.

A mixed research methodology was used for the article, which included both qualitative and quantitative methods. 150 managers from various fields who had been using AI tools for at least 6 months were selected as study participants. The study included the following stages:

1. Online survey – managers completed a structured questionnaire that assessed their experience in using AI tools for soft skills development.

2. In-depth interviews – interviews were conducted with 30 selected managers about their experience using AI tools.

3. Case studies – A detailed analysis was conducted in 5 organizations that successfully implemented AI tools in their management development programs.

4. Experiment – 50 managers were divided into control and experimental groups. The experimental group used a specially developed AI platform for soft skills development for 3 months, and then the results of both groups were compared.

Statistical methods (SPSS software) and thematic analysis of information obtained from interviews (NVivo software) were used to analyze the data.

The study showed that the use of artificial intelligence had a significant positive impact on the development of soft skills of managers. The analysis of quantitative data revealed the following trends:

• 78% of managers noted an improvement in communication skills as a result of using AI tools.

• 65% noted an improvement in the components of emotional intelligence, especially in terms of self-assessment and perception of others' emotions.

• 82% noted an improvement in the decision-making process.

• 71% reported improved conflict resolution skills.

Soft Skills Development Index (SSDI)

$$SSDI = (Ppost - Ppre) / Ppre \times 100\%$$

Where:

• SSDI = Soft Skills Development Index

• Ppost = Post-AI intervention skills assessment

• Ppre = Pre-AI intervention skills assessment

Combined Skills Development Coefficient (CSDC)

$$CSDC = \Sigma(Wi \times Si) / \Sigma(Wi)$$

Where:

• CSDC = Combined Skills Development Coefficient

• Wi = Weight (importance) of a specific soft skill

• Si = Score of a specific soft skill

Skills Utilization Effectiveness (SUE)

$$SUE = (FA \times PA) / 100$$

Where:

• SUE = Skills Utilization Effectiveness

• FA = Frequency of Skill Utilization (%)

• PA = Proficiency of Skill Utilization (%)

These results are also supported by data from an experiment, where the experimental group showed statistically significant improvements ($p<0.05$) in all measured aspects of soft skills compared to the control group.

The study revealed that different types of AI tools are characterized by different effectiveness in developing different soft skills:

AI-Enhanced Managerial Effectiveness (AIEME)

$$AIEME = (PE \times TQ \times AI_util) / 100$$

Where:

• AIEME = AI-Enhanced Managerial Effectiveness

• PE = Personal Effectiveness (on a scale of 1-100)

• TQ = Team Quality (on a scale of 1-100)

• AI_util = AI Utilization Rate (%)

Soft Skills Composite Index (SSCI)

$$SSCI = (C + EI + CM + TL + DM) / 5$$

Where:

• SSCI = Soft Skills Composite Index

• C = Communication Skills (1-10)

• EI = Emotional Intelligence (1-10)

• CM = Conflict Management (1-10)

• TL = Team Leadership (1-10)

• DM = Decision Making (1-10)

AI Organizational Impact Index (AOII)

AOII = (EE × 0.3) + (ER × 0.25) + (CR × 0.2) + (PR × 0.15) + (IC × 0.1)

Where:

• AOII = AI Organizational Impact Index

• EE = Employee Engagement Increase (%)

• ER = Employee Retention Improvement (%)

• CR = Conflict Reduction (%)

• PR = Productivity Increase (%)

• IC = Innovation Culture Enhancement (Increase in New Ideas %)

This formulation is given below:

• Text Analysis AI Tools (78% Effectiveness) – Were Particularly Effective for Improving Written Communication.

• Voice Analysis Tools (72% Effectiveness) – Helped Managers Improve the Tone, Clarity, and Persuasiveness of Oral Communication.

• Emotion Analysis Tools (68% Effectiveness) – Helped Managers Develop Emotional Intelligence.

• AI-based simulations (85% effectiveness) – were particularly effective for developing conflict resolution, negotiation and difficult conversation skills.

• Personalized learning systems (81% effectiveness) – helped managers identify gaps and create personalized development plans.

The study identified several significant challenges associated with using AI tools for soft skills development:

• Privacy and data protection issues (mentioned by 68% of respondents).

• Risk of over-reliance on technological solutions (mentioned by 57%).

• Difficulty in accurately calibrating systems in different cultural contexts (mentioned by 61%).

• Risk of reducing the human element in management (mentioned by 53%).

• Cost and difficulty in measuring return on investment (ROI) (mentioned by 72%).

Case studies examined in the study revealed that the implementation of AI tools had the following organizational impacts:

• 27% increase in employee engagement on average.

• 31% improvement in employee retention.

• 45% reduction in the number of conflicts.

• 23% increase in productivity.

• Strengthening of the culture of innovation, which was reflected in a 34% increase in new ideas.

The results of the study confirm that artificial intelligence is a powerful tool that can significantly improve managers' soft skills. Of particular interest is the fact that AI-based simulations had the highest effectiveness. This may be explained by the fact that simulations allow managers to practice different approaches in a safe environment, receive real-time feedback, and iterate the process as needed.

It is also important to note that AI tools were particularly effective for analytical soft skills, such as decision-making, but were less effective for deeply human skills, such as empathy. This suggests that artificial intelligence should be viewed as an aid, not a complete replacement for human relationships.

The challenges identified, especially privacy and data protection issues, indicate that organizations need to develop clear policies and procedures for the ethical use of AI systems. However, the difficulty of measuring ROI (Return on Investment) in soft skills development using AI is a significant challenge. Overcoming the difficulty of measuring ROI requires a comprehensive approach that combines both quantitative and qualitative metrics and takes a long-term perspective. Organizations should develop clear pre- and post-measurement systems to better assess the impact of AI investments on soft skills development.

Conclusions and Recommendations

Based on the results of the study, we can draw the following conclusions:

1. Artificial intelligence tools are an effective tool for developing managers' soft skills, especially in areas such as communication, decision-making, and conflict resolution.

2. Different types of AI tools are characterized by different effectiveness, so it is important to choose the right tool for developing a specific soft skill.

3. The use of AI tools involves significant challenges that must be considered during the implementation process.

4. The implementation of AI technologies has a positive impact at the organizational level, which is reflected in improved employee engagement, retention, and productivity.

Based on these findings, the following recommendations for organizations have been developed:

1. Develop a strategic approach to implementing AI technologies in management development programs, which includes clear goals and evaluation metrics.

2. Invest in AI-based simulations that allow for practical experience in a safe environment.

3. Develop a balanced approach that combines AI tools and traditional human interaction, especially for the development of empathy and emotional intelligence.

4. Create clear policies and procedures to ensure confidentiality and data protection.

5. Foster a culture that values continuous learning and innovation to maximize the potential of AI technologies.

6. Invest in training managers on how to use AI tools effectively.

7. Develop an adaptive approach that takes into account the rapidly changing technological landscape and organizational needs.

In conclusion, artificial intelligence is a powerful tool for managers who want to improve their soft skills. By using AI, managers can better understand and manage emotions, improve communication, resolve conflicts, and strengthen teamwork. However, it is important to use this technology in a balanced and ethical way that complements and enhances human skills, rather than replacing them.

Bibliography

1. Bradberry, T., & Greaves, J. (2019). Emotional Intelligence 2.0. TalentSmart.

2. Chen, L., & Thompson, P. (2023). Artificial Intelligence in Management Development: A Comprehensive Review. Journal of Management Studies, 60(3), 512-541.
3. Davenport, T. H. (2022). The AI Advantage: How to Put the Artificial Intelligence Revolution to Work. MIT Press.
4. Goleman, D. (2020). Emotional Intelligence: Why It Can Matter More Than IQ. Bantam Books.
5. Mikalef, P., & Gupta, M. (2021). Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study on its impact on organizational creativity and firm performance. Information & Management, 58(3), 103434.
6. World Economic Forum. (2023). Future of Jobs Report 2023. WEF.
7. Zhang, K., & Asahi, H. (2022). AI-driven Soft Skills Development for Leaders: Empirical Evidence from Multinational Corporations. Leadership Quarterly, 33(4), 101622.

მენეჯმენტში რბილი უნარები ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით

მაია ლომსაძე-კუჭავა[1], თამარ წერეთელი[2], ქეთევან ქუთათელაძე[3]

[1]პროფესორი ასოცირებული, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, [2]პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი [3]პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი

წინამდებარე კვლევა შეისწავლის ხელოვნური ინტელექტის (AI) ტექნოლოგიების ეფექტურობას მენეჯერების რბილი უნარების განვითარებაში. კვლევაში გამოყენებულია შერეული მეთოდოლოგია, რომელშიც მონაწილეობდა 150 მენეჯერი სხვადასხვა დარგიდან. კვლევა მოიცავდა ონლაინ გამოკითხვას, ჩაღრმავებულ ინტერვიუებს, შემთხვევების შესწავლას და კონტროლირებად ექსპერიმენტს.

შედეგებმა აჩვენა, რომ AI ინსტრუმენტებს აქვთ მნიშვნელოვანი დადებითი გავლენა რბილი უნარების განვითარებაზე: 78% რესპონდენტმა აღნიშნა კომუნიკაციის უნარების გაუმჯობესება, 82%-მა - გადაწყვეტილების მიღების გაუმჯობესება, 71%-მა - კონფლიქტების მოგვარების უნარების განვითარება. AI-ზე დაფუძნებული სიმულაციები აღმოჩნდა ყველაზე ეფექტური (85%), განსაკუთრებით კონფლიქტების მოგვარებისა და მოლაპარაკების უნარების განვითარებისთვის.

კვლევამ გამოავლინა გამოწვევებიც: კონფიდენციალურობის საკითხები (68%), ტექნოლოგიაზე ზედმეტი დამოკიდებულების რისკი (57%) და ROI-ის გაზომვის სირთულე (72%). ორგანიზაციულ დონეზე AI-ის დანერგვამ განაპირობა თანამშრომლების ჩართულობის 27%-იანი ზრდა, შენარჩუნების 31%-იანი გაუმჯობესება და პროდუქტიულობის 23%-იანი ზრდა.

კვლევის შედეგად შემუშავდა რეკომენდაციები ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც მოიცავს სტრატეგიული მიდგომის შემუშავებას, AI სიმულაციებში ინვესტიციას, ბალანსირებული მიდგომის შექმნას და ეთიკური გამოყენების პოლიტიკის განვითარებას.

საკვანძო სიტყვები: რბილი უნარები, ხელოვნური ინტელექტი, მენეჯმენტი, ლიდერობა, ემოციური ინტელექტი, კომუნიკაცია, ორგანიზაციული განვითარება.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.38



სკრემბლირების უმარტივესი ალგორითმი სიგნალის სიხშირული გარდაქმნის დროს

მარინა ქურდაძე[1], მამუკა გოგაძე[2]

[1]პროფესორი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების აკადემიური დეპარტამენტის უფროსი. 555441020, m.kurdadaze@gtu.ge , orcid- 0009-0001-2918-3328

[2]დოქტორანტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების აკადემიური დეპარტამენტი. 555742525 mamukagogadze01@gmail.com

რეზიუმე

მოცემული ნაშრომი იკვლევს სიგნალის ამპლიტუდის, სიხშირისა და დროის პარამეტრების გამოყენებით სკრემბლირების ალგორითმების ვარიანტებს. კვლევის მთავარი მიზანია დაადგინოს, რომელი პარამეტრი – სიხშირული, ამპლიტუდური თუ დროითი – გამოიყენება ყველაზე ხშირად სკრემბლირებაში, მათი სხვადასხვა პარამეტრებისა და კომბინაციების გათვალისწინებით.

განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა რადიოკავშირის სისტემებს, სადაც რადიოარხში არსებული ხელშეშლები მნიშვნელოვნად ართულებს სამეტყველო სიგნალის ამპლიტუდის ზუსტ აღდგენას. ამ კონტექსტში, ნაშრომი დეტალურად განიხილავს ამპლიტუდური გარდაქმნის ალგორითმს სკრემბლირებაში. მიუხედავად იმისა, რომ ეს ალგორითმი პრაქტიკულად არ გამოიყენება ზოგიერთ შემთხვევაში, იგი გთავაზობთ საინტერესო მიდგომებს შემდგომი კვლევებისთვის, განსაკუთრებით ციფრულ ფორმატში სკრემბლირების კოდირების კუთხით.

ნაშრომში ასევე წარმოდგენილია და დასაბუთებულია სიგნალის სიხშირული გარდაქმნის ალგორითმი და შესაბამისი მიდგომები სკრემბლირების სხვადასხვა სახეობებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: სკრემბლირება, ალგორითმი, ამპლიტუდა, სიხშირე, კრიპტოალგორითმები, არასანქცირებული, ამპლიტუდური.

შესავალი

საკომუნიკაციო კავშირის სისტემით სარგებლობის აუცილებელი და უპირველესი პირობაა გარეშე პირთა წვდომისაგან ინფორმაციის დაცვა. ინფორმაცია საიმედოდ არის დაცული ციფრული სტანდარტის ფიჭურ სისტემებში, სადაც გამოიყენება კრიპტოგრაფიული მეთოდები - კრიპტოალგორითმები, რომლითაც უზრუნველყოფილია დაცვის მაღალი ხარისხი არასანქცირებული წვდომისაგან. ნაშრომში გაანალიზებულია სასურველი შედეგის

მიღებამდე, სკრემბლირების ყველა შესაძლო შესასრულებელი ვარიანტები, კერძოდ: სიგნალის სპექტრის გარდაქმნის ალგორითმი; სალაპარაკო სიგნალის სიხშირის ზოლის დაყოფის ალგორითმი (რამოდენიმე ქვედიაპაზონის საშუალო სიხშირე); სალაპარაკო სიგნალის სიხშირედ ზოლის რამდენიმე ქვედიაპაზონად დაყოფის ალგორითმი და მათი სიხშირული გადაწყობის ალგორითმის სინთეზი. [3]

ძირითადი ნაწილი

ციფრულ რადიოსადგურზე დაფუძნებული ტელეკომუნიკაციის მიმართულება-მობილური კავშირი, შესამჩნევად უპირატესია ანალოგიურთან შედარებით, სადაც ინფორმაციის კონფიდენციალურობის სურვილი არ იკლებს. ზოგჯერ საჭიროა ინფორმაციის გარანტირებული დაცვა და საკმარისი გახდეს გადასაცემი ინფორმაციის გაურჩევლობა, რომლის ოპტიმალური გადაწყვეტაა სკრემბლერის გამოყენება [2].

ციფრული სიგნალის სკრემბლირება გულისხმობს საწყისი სალაპარაკო სიგნალის იმგვარად გარდაქმნას, რომ მას ჰქონდეს სალაპარაკო სიგნალისათვის დამახასიათებელი მინიმალური ნიშანი, რის შედეგადაც სიგნალი გახდება ამოუცნობი, გაურკვეველი. ამავდროულად იგი დაიკავებს იგივე სიხშირულ ზოლს, რაც ქონდა საწყის სიგნალს. ასეთი გარდაქმნის აუცილებელი თვისებაა მისი უკუგარდაქმნის შესაძლებლობა, რათა მოხერხდეს სიგნალის აღქმა მიმღებ მხარეს.

ტექნიკური საშუალებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ინფორმაციის ამ მეთოდით გარდაქმნას, ანუ სკრემბლერები, ცნობილია ინფორმაციის შემნიღბველები. როგორც წესი სკრემბლირების მეთოდით დაცულ სასაუბრო სიგნალებს მაინც აქვთ ხოლმე ღია, დაუცველი სასაუბრო სიგნალის სახე.

ზოგიერთ შემთხვევაში პრაქტიკულად, ინფორმაციის დაცვის ანალოგური ხერხები უფრო ადვილად გამოსაყენებელია, იაფია და აღდგენილი სიგნალიც უფრო მაღალი ხარისხისაა, მაგრამ ნაკლებ დაცულია ვიდრე ციფრულები,

სკრემბლირებით სიგნალის გარდაქმნა, რომელიც სამი პარამეტრითაა შესაძლებელი, (ამპლიტუდა, სიხშირე და დრო). რადიოკავშირის სისტემებში უფრო მეტად გამოიყენება სიხშირული და დროითი გარდაქმნა და მათი კომბინაცია. [6] საგულისხმოა, რომ ხელშეშლები რადიოარხში საგრძნობლად ართულებს სალაპარაკო სიგნალის ამპლიტუდის ზუსტ და ამპლიტუდური გარდაქმნა სკრემბლირებაში პრაქტიკულად არ გამოიყენება.

მობილურ სისტემებში სიგნალის სიხშირული გარდაქმნის დროს გამოიყენებული სკრემბლირების სახეები: სიგნალის სიხშირული ინვერსია ანუ სიგნალის სპექტრის გარდაქმნა; სალაპარაკო სიგნალის სიხშირის ზოლის დაყოფა რამდენიმე ქვედიაპაზონად და მათი სპექტრის ინვერსია უშუალოდ თითოეულში ქვედიაპაზონის საშუალო სიხშირედ; სალაპარაკო სიგნალის სიხშირედ ზოლის დაყოფა რამდენიმე ქვედიაპაზონად და მათი სიხშირული გადაწყობა. შეიძლება დალაგდეს წინდაწინ შერჩეული ალგორითმით, რომელსაც კონკრეტული სიგნალისთვის ინდივიდუალურად ვარჩევთ და თემატურ სახეს ვაძლევთ მსგავსი სიგნალების შემთხვევაში [4]. საგულისხმოა ამ ალგორითმებთან ერთად დროითი გარდაქმნის ალგორითმების შერჩევაც და მათი კომპლექსური გამოყენება რომლის დროსაც უფრო გამარტივებული იქნება სიგნალის დაშლა სალაპარაკო სეგმენტებად და მათი დროში

გადაწყობის საუბრის სეგმენტების ინვერსიის ალგორითმით და სასაუბრო სეგმენტების დროითი გადაწყობის ალგორითმით.

ეს მიგნება გვთავაზობს ერთდროულად იქნას გამოყენებული, როგორც სიხშირული ასევე დროითი სკრემბლირების რამოდენიმე ალგორითმი, შერჩეული მისადაგებული ვარიანტებიდან.

სკრემბლირების ძირითად პარამეტრებთან ერთად მნიშვნელოვანია წყარო-მიმღებზე შედგენილი ალგორითმების სიზუსტის დაცვა, რომელიც სიგნალის უკუგარდაქმნისთვისაა და გულისხმობს სიგნალის გარდაქმნის კომბინირებულ მეთოდს ანუ სკრემბლერის გასაღებს, რომლის რაოდენობაც განისაზღვრება ყველა შესაძლო გასაღებების ვარიანტის სიმრავლით. ერთი (გასაღებს, ძირითადი) პარამეტრის მქონე სკრემბლერისათვის იგი განისაზღვრება ამ პარამეტრის შესაძლო მდგომარეობის რიცხვით, რამდენიმე პარამეტრიანი სკრემბლერისათვის - ამ პარამეტრების შესაძლო კომბინაციების რაოდენობით (როგორც წესი ყველა პარამეტრის მდგომარეობის წარმოებით).

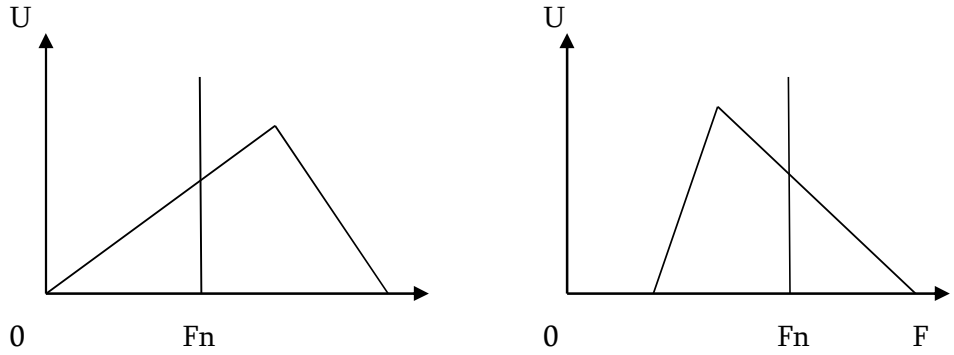
ცნობილია, რომ სიგნალის აღდგენის ხარისხი განისაზღვრება სიგნალის დამახინჯებით მისი სიხშირული და დროითი გარდაქმნისას. ფაქტობრივად ეს მახასიათებელი აისახება აღდგენილი საუბრის ხარისხით და ითვლება, რომ მსმენელი ძალისხმევით აღიქვამს საუბარს და შეტყობინების შინაარსს.

სიგნალის აღდგენის საუკეთესო ხარისხი აქვთ სიხშირულ ინვესტორებს, რომლებიც პრაქტიკულად არ აუარესებენ საუბრის გარჩევადობას სწორი რეალიზაციის დროს.სიხშირული გარდაქმნის შედარებით რთულმა მეთოდებმა შეიძლება გააჩინოს რაღაც დამახინჯებები სალაპარაკო სიგნალში. აღდგენილი საუბრის მაღალი ხარისხით აღდგენის რეალობას დროითი გარდაქმნის დროს, სჭირდება საკმაოდ რთული დამუშავება.

ნარჩენ გარჩევადობაში გულისხმობენ, ჩვეულებრივი მიმღებით, ან რადიოსადგურით (რომლებიც არ არიან შესაბამისი ანალოური სკრემბლერით აღჭურვილი) მიღებული სკრემბლირებული სიგნალის აღდგენილი ფრაგმენტების გარჩევის პროცენტს.[4]

აღსანიშნავია ისიც, რომ ცნობილი ანალოგური სკრემბლერების უმრავლესობა რაღაც დონით მაინც ტოვებს ნარჩენ გარჩევადობას, სკრემბლირების მეთოდით დაცული საუბრის მოსმენისას რჩება გარკვეული ინფორმაცია საუბრის ტემბრზე, შესამჩნევია პაუზები საუბარში. შედარებით იოლი სახის სკრემბლირებით დაცულ სიგნალში გამოცდილ ოპერატორს შეუძლია სპეციალური მოწყობილობების გამოყენების გარეშე, ნარჩენი გაღჩევადობის ხარჯზე გამოიცნოს გადაცემული საუბრის შინაარსი და აღადგინოს ინფორმაციის 10-50%, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ცნობილია გადაცემული საუბრის თემა.

კვლევის შედეგად გამოიკვეთა, რომ გადაცემული ინფორმაციის სპექტრის სიხშირული ინვერსია სალაპარაკო სიგნალის ექვივალენტურია და სიგნალის სიხშირული ზოლის შემობრუნება ექვივალენტურია ნებისმიერი საშუალო (F_n) მიმართ. იხ. გარდაქმნის პრინციპი ნახაზ N 1-ზე.

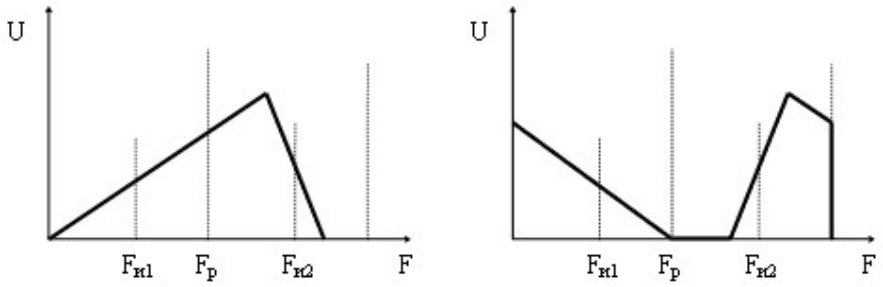


ნახ.1.

სიგნალის საწყისი სპექტრი და სიგნალი სპექტრული ინვერსია, იმ შემთხვევაში, როდესაც ვადარებთ სიგნალის სიხშირულ ინვერსიას, გამოკვლეულია, რომ ამ პრიზმაში რთულ გარდაქმნას უზრუნველყოფს სკრემბლერი. მსგავს შემთხვევებში სიგნალის ზოლი იყოფა ქვედიაპაზონებად და ხორციელდება ამ ქვედიაპაზონების სიხშირული ინვერსია (ზოლის წამანაცვლებელი ინვერტორი). ამ დროს გამოიყენება და ცნობილია:-ზოლის დაყოფა ხდება ორ ქვედიაპაზონად და ასეთი გარდაქმნის პრინციპი ნაჩვენებია მე-2-ე ნახაზზე.

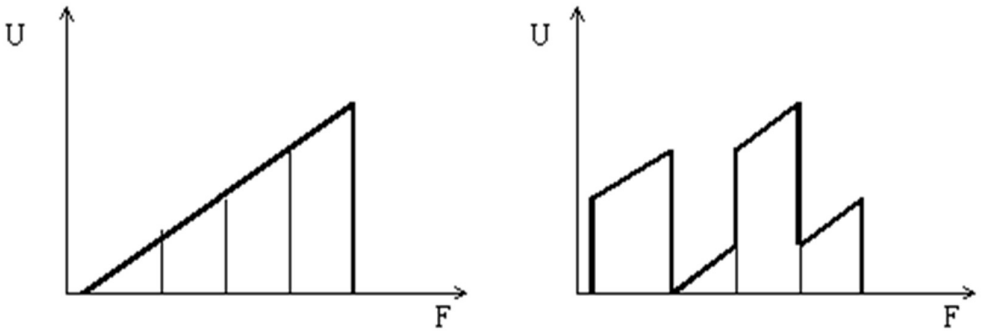
F_p - სიხშირე დაყოფილი სიგნალის სპექტრი

F_{o1} და F_{o2} - სიხშირის ინვერსია 1 და 2 ქვედიაპაზონად



ნახ.2.

ზოლური სკრემბლერები იყენებენ სალაპარაკო სიგნალის ზოლის რამდენიმე ქვედიაპაზონად დაყოფას და ამ დიაპაზონების სიხშირულ გადაწყობას. ასეთი ზოლური სკრემბლერის მუშაობის პრინციპი ნაჩვენებია მე-3-ე ნახაზზე, 4 ზოლის შემთხვევაში



ნახ. 3

ზოლური სკრემბლერი შეიძლება რეალიზებული იქნას ფურიეს სწრაფი გარდაქმნის პრინციპზე. ასეთი სკრემბლერის გადამცემ მხარეზე ხდება პირდაპირი ფურიეს სწრაფი გარდაქმნა, ზოლების სიხშირული გადაწყობა და შემდეგ უკუ ფურიეს სწრაფი გარდაქმნა. მიმღებ მხრეს განხორციელდება ანალოგური გარდაქმნა ზოლების სიხშირული უკუ გადაწყობით. ასეთი სახის სკრემბლერში შეიძლება მიიღწეს სიგნალის დაცვის მაღალი დონე, სიხშირული ზოლების გადაწყობის გაზრდის ხარჯზე, ოღონდაც სკრემბლირების ეს მეთოდი აქამდე იშვიათად გამოიყენება მობილური რადიოკავშირის სისტემებში რთული ტექნიკური მხარის გამო, მაგრამ ახლა უკვე მისი ეს დახვეწილი და აპრობირებული მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ფურიეს მწკრივის მიხედვით სწრაფ გარდაქმნას, კავშირის არხში შემოაქვს დროითი დაყოვნება და სკრემბლერი, როგორც მექანიზმი დადებითად მუშაობს მთელი სისტემის გამართულობაზე.

დასკვნა

სიგნალის გარდაქმნის ვარიანტების ცალ-ცალკე განხილვითა და დასმული ამოცანის გადაწყვეტის გზების სიმულაციით, მივიღეთ სკრემბლირების გამოკვეთილად სასურველი და უმარტივესი ალგორითმი. კვლევამ აჩვენა რომ გამოყენებული სიხშირული, ამპლიტუდური თუ დროითი პარამეტრი თავისი ბუნებით თუ კომბინაციით, ჩანაცვლებად რეჟიმში გადასვლის შემთხვევაში, თვითონ იმუშავებს განსაზღვრულობას და აქვს მკვეთრად გამოხატული სტრუქტურული მიდგომა რადიოარხში შესაძლო ხელშეშლების მიმართ, რომელიც საგრძნობლად ართულებდა სალაპარაკო სიგნალის ამპლიტუდის ზუსტ აღდგენას. ამასთან დაკავშირებით ნაშრომში დაზუსტდა სკრემბლირებაში ამპლიტუდური გარდაქმნის ალგორითმი. რომელსაც საკმაოდ საგულისხმო ანალიზი აქვს შემდგომი კვლევისთვის ციფრულ ფორმატში სკრემბლირების კოდირებისათვის. მიდგომების გაანალიზებით დასაბუთდა სიგნალის სიხშირული გარდაქმნის ალგორითმის უპირატესობა სკრემბლირების სახეების მიხედვით.

ლიტერატურა:

1. Anastasi G., Passarella A. (2023). Towards a Novel Transport Protocol for Ad hoc Networks. Proc. PWC 2023. Internet resource: http://info.iet.unipi.it/~anastasi/papers/iscc05.pdf

2. Harris Corporation, HF Technology. (2021). Edition 2, October. Radio Communications Inthe Digital Age. Internet resource: https://code7700.com/pdfs/radio_communications_in_the _digital_age.pdf

3. Leon W. Couch, William J. Weisz. Radio Spectrum Utilization. Internet resource: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122274105006402?via%3Dihub

4. Army Techniques Publication *ATP 6-02.53. (2020). Techniques for Tactical Radio Operations. Internet resource: https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/pdf/web/ARN20819

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.39



საგზაო მოძრაობის ორგანიზაციის არსებული მოდელის სრულყოფა სმარტ ტელემატიკური სისტემების გამოყენებით

ვალერი ჯაჯანიძე[1], ნათია ბუთხუზი[2], მალხაზი ხვედელიძე[3]

[1]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი, vl.jajanidze@gtu.ge; 597-933-966; [2]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი, n.butkhuzi@gtu.ge , 593-263-112; [3]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, აკადემიური დოქტორი, malxo7027@gmail.com,

რეზიუმე

თანამედროვე ქალაქების ურბანული მზარდი განვითარების და ზრდის კვალდაკვალ, გამოიკვეთა დიდ ქალაქებში საგზაო მოძრაობის ორგანიზების არსებული მოდელების ნაკლოვანებები და პრობლემები, შესაბამისად უაღრესად მნიშვნელოვანია საფუძვლიანად გადაიხედოს მოძრაობის ორგანიზაციის პრობლემატური საკითხები, რაც შეიძლება დიდი დოზით მოხდეს არსებულ მეთოდებსა და მოდელებში, სატრანსპორტო საშუალებების ნაკადების გზებზე მოძრაობის მართვის ,,ზუსტად დროში“ მოთვალთვალე და აღმსრულებელი სისტემების დანერგვა, რაც მიღწევადია საგზაო მოძრაობის ორგანიზაციის ტექნიკური საშუალებების გადაიარაღებით, მათი მოდიფიცირებისა და შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის დამუშავების გზით.

საკვანძო სიტყვები: ავტომობილი, ეკოლოგია, ტრანსპორტი, ტრანსპორტის დეტექტრები. საგზაო ნიშნები,საგზაო ქსელი, საგზაო კონტროლიორები, სმარტ ტელემატიკური სისტემები, სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურა, სატრანსპორტო ნაკადები.

შესავალი

ტრანსპორტის განვითარებასთან ერთად განისაზღვრა ფუნქციათა ნუსხა, რომლებსაც იგი ასრულებს, მათ შორის უმნიშვნელოვანესია ტრანსპორტის ეკონომიკური და სოციალური ფუნქცია, რაც გამოიხატება ქვეყნებსა და ქალაქებს შორის, თუ ქალაქის შიგნით ადამიანებისა და ტვირთის გადაადგილების დასაკმაყოფილებლად. სატრანსპორტო პროცესის განხორციელება შეუძლებელია სატრანსპორტო საშუალებებისა, სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის გამოყენების მოძრაობის ორგანიზაციის პროცესის უზრუნველყოფის გარეშე. თანამედროვე ქალაქის სატრანსპორტო სისტემის 70-80% საავტომობილო ტრანსპორტითა და შესაბამისი საგზაო ინფრასტრუქტურითაა წარმოდგენილი, ამ

უკანასკნელის მთავარი დანიშნულება ავტომობილის გადაადგილების შესაძლებლობასთან ერთად, მათი უსაფრთხო მიმოსვლის უზრუნველყოფაა, რაც მოძრაობის ორგანიზაციის არსებული სისტემებითა და მოდელით მიიღწევა. საგზაო მოძრაობის ორგანიზაციის არსებული მოდელი ითვალისწინებს ტექნიკური საშუალებების გამოყენებით სატრანსპორტო ნაკადების მოწესრიგებულ გადაადგილებას, საგზაო მოძრაობის რეგულირება მდგომარეობს სატრანსპორტო და ქვეითთა ნაკადების მაჩვენებლების განსაზღვრულ დონემდე შენარჩუნებაში, რომელიც უზრუნველყოფს საგზაო მოძრაობის ეფექტურობასა და უსაფრთხოებას. სატრანსპორტო ნაკადის უსაფრთხოდ და შეუფერხებელი გადაადგილების მისაღწევად გამოყენებულია საგზაო მოძრაობის ტექნიკური საშუალებები, რომელთა დახმარებითაც ხორციელდება სატრანსპორტო ნაკადების მართვის პროცესი. აღნიშნული პროცესის სამართავად გამოიყენება ავტომატიზებული მართვის სისტემები შუქნიშნების და მისი მართვის ელემენტების სახით და სატრანსპორტო ნაკადების იძულებითი განაწილების ტექნიკური საშუალებები - საგზაო ნიშნები და მონიშვნები.

ძირითადი ნაწილი

საგზაო მოძრაობის უსაფრთხოებისა და საგზაო ქსელის მაღალი გამტარუნარიანობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა რეგულირების ტექნიკური საშუალებების რთული კომპლექსის გამოყენება. ტექნიკური საშუალებები თავიანთი დანიშნულების მიხედვით ძირითადად წარმოდგენილია ორ დიდ ჯგუფად. პირველი, მოძრაობის მონაწილეთა ინფორმირების საშუალებები, რომლებიც უშუალოდ მოქმედებენ სატრანსპორტო და ქვეითად მოსიარულეთა ნაკადებზე მათი ფორმირების და საჭირო პარამეტრების მისაღებად. მეორე, ინფორმაციის საშუალებების ნორმალური ფუნქციონირების უზრუნველმყოფი მოწყობილობები. ესენია - საგზაო კონტროლიორები, ტრანსპორტის დეტექტორები, ინფორმაციის გადამამუშავებელი და გადამცემი საშუალებები, მოძრაობის მართვის ავტომატიზირებული სისტემების მოწყობილობები, სადისპეჩერო კავშირის საშუალებები და სხვა.

საგზაო მოძრაობის ორგანიზაციის არსებული მოდელის ანალიზის საფუძველზე გამოიკვეთა, რომ აღნიშნული მოდელი ეფექტიანად მუშაობს ავტომობილის გზის სავალ ნაწილზე არსებული მოძრაობის ორგანიზაციის საკითხებზე მძღოლის ინფორმირების კუთხით - საგზაო ნიშნებისა და მონიშვნების გამოყენებით, ეფექტიანია გზაჯვარედინების გამტარუნარიანობის მართვის კუთხით - სატრანსპორტო ნაკადების მოძრაობის შუქნიშნებით რეგულირებისას, ავტომობილებისა და ქვეითთა მოძრაობის პრიორიტეტულობის, ასევე სამარშრუტო სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობის პრიორიტეტულობის კუთხით და სხვა. მოძრაობის ორგანიზაციის არსებული მოდელის გამოყენების პირობებში შეუძლებელია სატრანსპორტო ნაკადის შემჭიდროვებული ან გაძნელებული გადაადგილების თავიდან აცილება.

თანამედროვე ქალაქების სატრანსპორტო მობილობის მთავარი პრობლემაა საავტომობილო სატრანსპორტო ნაკადების გადაადგილების გაძნელება, ან შემჭიდროვებული სატრანსპორტო ნაკადი, რაც თავის მხრივ განაპირობებს ადამიანისა თუ ტვირთის გადაადგილების შეფერხებას, რასაც თან სდევს ეკონომიკური ზარალი. შემჭიდროვებული

საგზაო მოძრაობის დროს, რამდენადაც გახშირებულია დაძვრა-გაჩერების პროცესი, ადგილი აქვს ავტოსატრანსპორტო საშუალებების მიერ მოხმარებული საწვავის ხარჯის სიდიდის მატებას, ავტომობილის სამუხრუჭო ხუნდებისა და დისკოს ცვეთის ინტენსივობის მაჩვენებლის გაზრდას და ქალაქის ეკო სისტემის სხვადასხვა მომწამვლელი ნივთიერებით დაბინძურების მაჩვენებლების გაუარესებას. სატრანსპორტო ნაკადების გადაადგილების გაძნელება, უარყოფითად მოქმედებს ავტოსატრანსპორტო საშუალებების საექსპლუატაციო რესურსის სიდიდეზე, რამდენადაც გახშირებული დაძვრა-გაჩერების პროცესის შედეგად იზრდება ავტომობილის აგრეგატებისა და კვანძების ცვეთის ინტენსივობა.

საგზაო მოძრაობის ორგანიზებისა და მართვის კონტექსტში ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანია ავტომობილის გადაადგილებისათვის საჭირო გზა, მისი სავალი ნაწილი, რომელიც ხასიათდება გამტარუნარიანობის მაჩვენებლით. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ გზის სავალი ნაწილის გამტარუნარიანობის მაჩვენებელი სტატიკური სიდიდეა, რომლის ცვლილება მხოლოდ არსებული გზის რეკონსტრუქციით ან ახალი გზის მშენებლობით მიიღწევა. აღნიშნული მაჩვენებელი დიდწილად განსაზღვრავს სატრანსპორტო ნაკადების გადაადგილების დინამიკურ და დროით მაჩვენებლებს.

საგზაო მოძრაობის ორგანიზების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ერთ დონეზე არსებული გზის სავალი ნაწილების კვეთის შედეგად მიღებულ მონაკვეთზე (გზაჯვარედინზე) სხვადასხვა მიმართულებით მოძრავ საგზაო მონაწილეთა დაყოვნების და მოძრაობის დაშვების შესაბამისი პერიოდის განსაზღვრა, რაც საბოლოო ჯამში აღნიშნულ მონაკვეთზე საგზაო მოძრაობის მონაწილეთა დაყოვნების შედეგად შემჭიდროვებული მოძრაობის უბნის წარმოქმნის წინაპირობას წარმოადგენს.

როგორც ცნობილია გზაჯვარედინზე მოძრაობის მონაწილეთა გაზრდილი ოდენობის შემთხვევაში, აღნიშნული მონაკვეთი ვეღარ რეგულირდება, მხოლოდ საგზაო ნიშნებისა და მონიშვნის გამოყენებით და აუცილებელი ხდება მოძრაობის ორგანიზაციის სხვა ტექნიკური საშუალებების - შუქნიშნების გამოყენება. შესაბამისად გზების კვეთის მსგავს მონაკვეთს რეგულირებადი გზაჯვარედინი ეწოდება. საგზაო მოძრაობის არსებული მოდელის მიხედვით რეგულირებად გზაჯვარედინებზე გამოყენებული შუქნიშნის ტიპი და მუშაობის პარამეტრები დამტკიცებულია ვენის მოქმედი კონვენციის შესაბამისად, რომლის თანახმადაც შუქნიშანი წარმოადგენს მანათობელ მოწყობილობას, რომელიც ასხივებს წითელი, ყვითელი და მწვანე ფერის შუქს, რაც მოძრაობის მონაწილეთა მიერ აღიქმება კონკრეტული ქმედების განმაპირობებელ სიგნალად, კერძოდ წითელი ფერის სინათლე მოძრაობის აკრძალვის სიგნალია, მწვანე ფერის სინათლე მოძრაობის ნებართვის, ხოლო ყვითელი ფერი მოძრაობის მონაწილე ავტოსატრანსპორტო საშუალების მძღოლის მოძრაობისა დასაწყებად მომზადების მანიშნებელია.

რეგულირებადი გზაჯვარედინის მუშაობის ძირითადი მაჩვენებელია მისი გამტარუნარიანობა სხვადასხვა მიმართულებით, სხვადასხვა ტიპის სატრანსპორტო საშუალების და ქვეითის მოძრაობის პირობებში. აღნიშნული მაჩვენებელი გზის სავალი ნაწილის გამტარუნარიანობასთან ერთად, დამოკიდებულია გზის სავალ ნაწილზე არსებულ მოძრაობის მონაწილეთა სიმკვრივეზე და შუქნიშნის სიგნალების ჩართვის პერიოდზე - ფაზებზე. ეს უკანასკნელი თავის მხრივ მჭიდროდაა დაკავშირებული ერთ დონეზე ურთიერთგადამკვეთი გზების სავალი ნაწილის სიგანეზე და ამ გზებზე არსებულ მოძრაობის

ინტენსიურობაზე. სწორედ ეს უკანასკნელი პარამეტრი განსაზღვრავს გზაჯვარედინზე არსებული მოძრაობის ნებადამრთველი სიგნალის არსებობის პერიოდს - ფაზას. მოძრაობის ნებადამრთველი სიგნალის არსებობის ფაზა, დიდწილად განაპირობებს გზის სავალ ნაწილზე შემჭიდროვებული მოძრაობის არსებობას და ნაკადის სიჩქარის შეზღუდვას.

რეგულირებად გზაჯვარედინზე მოძრაობის ნებადამრთველი ფაზის გაანგარიშება დამოკიდებულია ნაკადის შემადგენლობაზე, მოძრაობის მონაწილე სატრანსპორტო საშუალებების სიჩქარისა და აჩქარების პარამეტრებზე, მძღოლის ასაკსა და კვალიფიკაციაზე და ა.შ., რაც საბოლოო ჯამში შესაძლებელს გახდის განისაზღვროს ერთი ნებადამრთველი ფაზის დროს სხვადასხვა მიმართულებით გატარებული სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა. თავის მხრივ სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა, რომლებიც შეძლებენ გზაჯვარედინის გავლას ნებადამრთველი ფაზის დროს, დამოკიდებულია სატრანსპორტო საშუალების მიერ განვლილ მანძილზე, რომელიც გზაჯვარედინის გადასარბენის სიდიდის ტოლია.

შუქნიშნის ნებადამრთველი სიგნალის ჩართვისას, სატრანსპორტო საშუალების მძღოლი ზემოქმედებს აქსელერატორზე და ავტომობილი იწყებს აჩქარებას, აღნიშნული მაჩვენებელი ყველა სატრანსპორტო საშუალებისთვის განსხვავებულია - სპორტული ავტომობილის შემთხვევაში აჩქარების მაჩვენებელი 20-25 მ/წმ^2-ია, ხოლო ბიუჯეტური კლასის ავტომობილის, ან სატვირთო ავტომობილისთვის აღნიშნული მაჩვენებელი 4-6 მ/წმ^2-ს უტოლდება, გარდა ამისა საყურადღებოა სატრანსპორტო საშუალების მძღოლის რეაქციის დრო, რომელიც თავის მხრივ განსხვავებულია იმის მიხედვით, თუ რა ასაკისაა მძღოლი. საშუალოდ ავტომობილის აჩქარების მაჩვენებელი შესაძლებელია ავიღოთ 15-18 მ/წმ^2. სატრანსპორტო საშუალების აჩქარების მაჩვენებლისგან დამოკიდებულებით მივიღებთ ავტომობილის სიჩქარეს დროის შუალედში, რაც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\upsilon(t) = \alpha \cdot t \quad (1)$$

სადაც, $\upsilon(t)$ არის სატრანსპორტო საშუალების სიჩქარე, რომელიც განავითარა მძღოლის მიერ აქსელერატორზე მუდმივი ზემოქმედების პერიოდში (აჩქარების პერიოდში);

α - სატრანსპორტო საშუალების აჩქარების მაჩვენებელი, (გზაჯვარედინის გადასარბენზე დაძვრისას იგულისხმება, რომ მძღოლი მდოვრედ ზემოქმედებს აქსელერატორზე);

t - დროის პერიოდი, როდესაც მძღოლი ზემოქმედებს აქსელერატორზე, სატრანსპორტო საშუალების აჩქარების მიზნით.

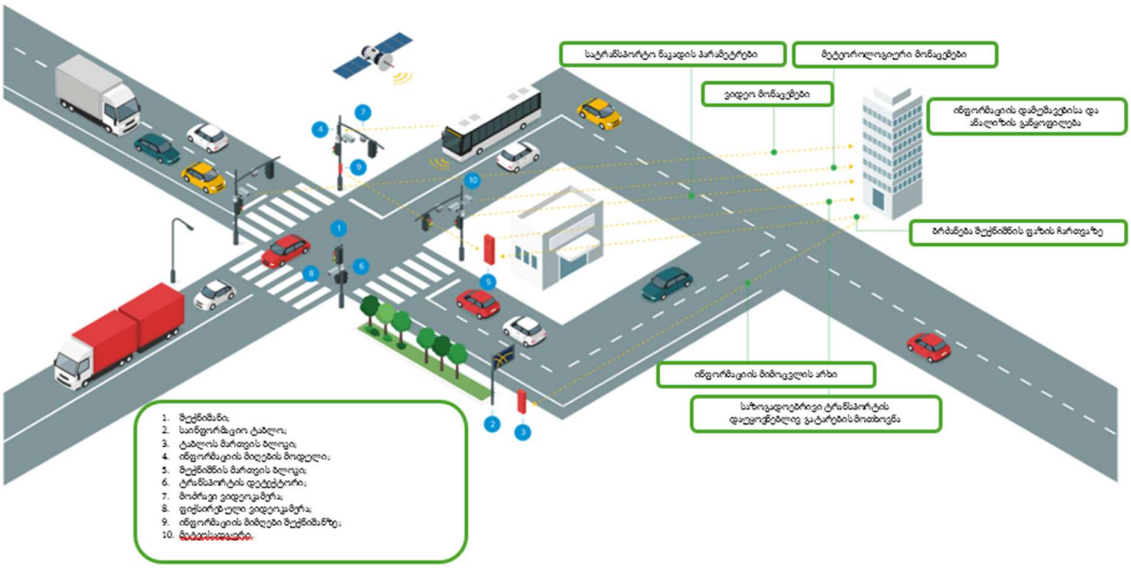
აჩქარების პერიოდში ავტომობილის სიჩქარის ცვლილების მაჩვენებელი, დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში დამოკიდებულია მძღოლის რეაქციის დროის მნიშვნელობაზე, რაც საბოლოოდ განსაზღვრავს გზაჯვარედინის გადასარბენის გავლაზე დახარჯულ დროის სიდიდეს $t(L)$, ხოლო ამ უკანასკნელის საფუძველზე უნდა მოხდეს შუქნიშნის ნებადამრთველი სიგნალის ფაზის პერიოდის განსაზღვრა, გზის კონკრეტულ მონაკვეთზე არსებული მოძრაობის ინტენსივობის მაჩვენებლების გათვალისწინებით.

თუ მივიჩნევთ, რომ გზაჯვარედინის ,,სდექ“ ხაზთან მოლოდინში მყოფი სატრანსპორტო საშუალება, ნებადამრთველი სიგნალის ჩართვის შემდგომ გადასარბენს გაივლის $t(L)$ დროში, მაშინ მის შემდგომ მყოფი სატრანსპორტო საშუალების მიერ გზაჯვარედინის გადასარბენის გასავლელად საჭირო დრო იქნება $t(L) + t(L_0)$, სადაც L_0 - ის

მნიშვნელობა ავტომობილის ,,სდექ" ხაზიდან დაშორებით საწყისი მდებარეობის განმსაზღვრელი სიდიდეა.

გზაჯვარედინზე სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობის რეგულირებისთვის გამოყენებული ტექნიკური საშუალებების კლასი იყოფა ფიქსირებული ფაზის მქონე და ტელემატიკური - ცვალებადი ფაზის მქონე შუქნიშნებად. პირველის შემთხვევაში, შუქნიშნის მუშაობის ფაზები სტატიკურია და არ იცვლება ხელოვნური ჩარევის გარეშე, ხოლო ცვალებადი ფაზის მქონე შუქნიშნებში ფაზების ცვლილება ადაპტურია გზებზე მოძრაობის ნაკადების და ინტენსივობის შესაბამისად, ეს უკანასკნელი სრულიად ცვლის წარმოდგენას ე.წ. კლასიკურ რეგულირებაზე და გვთავაზობს აბსოლუტურად ახალ მიდგომას გზაჯვარედინზე მოძრაობის ორგანიზების თვალსაზრისით, რაც თავის მხრივ გულისხმობს ერთიანი ტელემატიკური კომპლექსის შექმნას, რომელიც წარმოდგენილი იქნება გზის სავალ ნაწილზე არსებული მდგომარეობის შემფასებელი ინფორმაციის მოძიების საშუალებებით, ინფორმაციის დამუშავების მოწყობილობები (ანალიზის განყოფილება) და შემსრულებელი მოწყობილობები შუქნიშნების სახით, როგორც ვხედავთ ეს უკანასკნელი რეალურ დროში მართვის ობიექტს წარმოადგენს, რაც თავისთავად გულისხმობს ფაზების ცვლილებას გზებზე არსებული მდგომარეობის შესაბამისად.

რეალურ დროში ცვალებადი ფაზის მქონე შუქნიშნის მუშაობისთვის ძირითადად გამოიყენება შემდეგი სახის აპარატული მოდელი: გზის სავალ ნაწილ ნაწილზე არსებული სატრანსპორტო ნაკადების მთვლელი სენსორები, ვიდეომონიტორინგის სისტემები, ნავიგაციის სისტემები (GPS და სხვა); მიღებული ინფორმაციის დამუშავების ბაზები - მძლავრი კომპიუტერები შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფით; კავშირის ქსელი ინფორმაციის მიმოცვლისთვის და ადაპტური შუქნიშნები.



ნახ. 1. გზაჯვარედინის რეგულირების თანამედროვე სმარტ ტელემატიკური მოდელი

რეალურ დროში ცვალებადი ფაზის მქონე შუქნიშნის მუშაობისას ნებადამრთველი, ამკრძალავი და მოლოდინის სიგნალის დრო არაა მუდმივი სიდიდე დღე-ღამის პერიოდში და იცვლება გზებზე არსებული ნაკადების ოდენობის შესაბამისად. ნებადამრთველი სიგნალის დრო მსგავსი რეგულირების შემთხვევაში შეიძლება წარმოვადგინოთ ფორმულით:

$$t_{ამწ} = t(L) + k_1 \cdot q \quad (2)$$

სადაც $t(L)$ არის გზაჯვარედინის გადასარბენის გავლის დრო;

k_1 - კალიბრაციის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება პროგრამული უზრუნველყოფის შესაბამისად, კონკრეტული საჭიროების მიხედვით და გამოსახავს ერთ რიგში არსებული სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობის მიხედვით შუქნიშნის ნებადამრთველ სიგნალზე დასამატებელ დროს;

q - ერთ რიგში არსებული სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა.

წარმოდგენილი მოდელის მიხედვით უაღრესად მნიშვნელოვანია განისაზღვროს გზაჯვარედინის გადასარბენის გავლაზე სატრანსპორტო საშუალების მიერ დახარჯული დროის სიდიდე, რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია ავტომობილი აჩქარების მახასიათებელთან, რომელიც წარმოადგენს ცვალებად სიდიდეს და დამოკიდებულია ერთის მხრივ სატრანსპორტო საშუალების ტექნიკურ მახასიათებლებზე, ხოლო მეორეს მხრივ მძღოლის ასაკსა და რეაქციის დროზე.

წარმოდგენილი ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია წარმოვადგინოთ თანამედროვე პირობებში გზაჯვარედინებზე საგზაო მოძრაობის ორგანიზაციის ტექნიკური საშუალებები კომპლექსი, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება გზებზე არსებული სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობის ნაკადის ის მახასიათებლები, რომლებიც განსაზღვრავენ თანამედროვე სმარტ ტელემატიკური სისტემის ოპტიმალურ ფუნქციონირებას, კერძოდ გზებზე არსებული ნაკადის პარამეტრების (მოძრაობის სიჩქარე, ნაკადის სიმჭიდროვე, ნაკადის ერთგვაროვნება, ადამიანური ფაქტორის განმსაზღვრელი მახასიათებლები და სხვა) განსაზღვრისთვის ოპტიმალური საშუალებაა მაღალი გარჩევადობის ვიდეო კამერები, რომლებსაც შეეძლებათ მიღებული ინფორმაციის დამუშავება და გადაცემა, ასევე გზაჯვარედინის კიდიდან 100-150 მ-ის მანძილის სრული კონტროლი, აღნიშნული სისტემები წარმოდგენილი ტელემატიკური მოდელისთვის ინფორმაციის მიწოდების ძირითადი ელემენტია. ტელემატიკური მოდელის შემდგომი კომპონენტი ინფორმაციის დამუშავების ერთიანი ბაზაა, რომელთაც შეუძლიათ დიდი მოცულობის ინფორმაციის მცირე დროში გადამუშავება და წარმოდგენილი მოდელის შემსრულებელი ელემენტისთვის - სმარტ შუქნიშნისთვის ბრძანების გაგზავნა.

განხილული ტელემატიკური მოდელის საფუძველზე გზაჯვარედინებზე ნებადამრთველი სიგნალის დროის განმსაზღვრელი ფორმულა შეიცვლის სახეს და გვექნება:

$$t_{\partial\beta} = t(L) + k_1 \cdot k_2 \cdot q \quad (3)$$

სადაც k_2 გზებზე არსებული სატრანსპორტო ნაკადის ერთგვაროვნების გამათვალისწინებელი კალიბრაციის კოეფიციენტია, რომელიც განისაზღვრება პროგრამული უზრუნველყოფის შესაბამისად, კონკრეტული საჭიროების მიხედვით და გამოსახავს ერთ რიგში არსებული სატრანსპორტო საშუალებების ტიპს, მძღოლის ასაკს, მოძრაობის სიჩქარეს და სხვა მახასიათებლებს.

დასკვნა

გზაჯვარედინზე საგზაო მოძრაობის ორგანიზების არსებული მოდელის ნაკლოვანებაა წინასწარ გაანგარიშებული ე.წ. სტატიკური ინფომრაციის საფუძველზე მართოს სატრანსპორტო ნაკადები, რაც გაზრდილი მოძრაობის ინტენსივობის პირობებში

არაეფექტურია, შესაბამისად უმნიშვნელოვანესია მართვა განხორციელდეს რეალურ დროში მიღებული ცვალებადი პარამეტრების საფუძველზე. გზაჯვარედინზე საგზაო მოძრაობის ორგანიზაციის შემოთავაზებული ტელემატიკური მოდელის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ინოვაციაა განახორციელოს სატრანსპორტო ნაკადების მართვა რეალურ დროში მიღებული ინფორმაციის დამუშავების გზით. გამოყენებულ იქნას გზაჯვარედინის მიმდებარე პერიმეტრის სრული კონტროლის შედეგად მიღებული ინფორმაცია, სადაც გათვალისწინებული იქნება ნაკადის ერთგვაროვნების მახასიათებლები, ადამიანური ფაქტორის ჩათვლით. წარმოდგენილი ტელემატიკური მოდელი შეამცირებს შემჭიდროვებულ და გაძნელებულ გადაადგილების მონაკვეთებს, გაზრდის ავტოსატრანსპორტო საშუალების საწვავეკონომიურობის მაჩვენებელს და შეამცირებს ეკოლოგიური დაბინძურების დონეს, შეამცირებს ავტოსატრანსპორტო საშუალებების საგზაო დაყოვნებისა და მგზავრთა გადაადგილების დროს.

გამოყენებული წყაროები:

1. https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/intersections/intersection-design-principles/;
2. А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных, Проектирование регулируемых пересечений, 2007г. -208 с.;
3. Антониади, Г.Д., Архипов В.О., Цуприков А.А. Интеллектуальная система адаптивного управления работой перекрёстка автомобильных дорог. 2019 г.;
4. 2025 FDOT Design Manual 200 Series: Design Criteria.

Improving the Existing Model of Road Traffic Organization Using Smart Telematic Systems

Valeri Jajanidze[1], Natia Butkhuzi[2], Malkhazi Khvedelidze[3]

[1]Associate Professor, Georgian Technical University, vl.jajanidze@gtu.ge , 597-933-966; [2]Professor, Georgian Technical University, n.butkhuzi@gtu.ge , 593-263-112; [3]Academic Doctor, Georgian Technical University, malxo7027@gmail.com , 593- 435-553

Abstract

In light of the increasing urban development and growth of modern cities, shortcomings and problems have emerged within existing models of road traffic organization in large urban areas. Consequently, it's crucial to thoroughly re-evaluate problematic issues related to traffic organization. This can largely be achieved by implementing "just-in-time" monitoring and enforcement systems for managing vehicle flows on roads, integrating them into current methods and models. This is attainable through the re-equipping of technical means for road traffic organization, their modification, and the development of appropriate software.

Keywords: automobile, ecology, transport, transport detectors. Road signs, road network, traffic controllers, smart telematics systems, transport infrastructure, transport flows.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.40



ინდივიდუალური (კერძო) დაზღვევის როლი სახელმწიფო ხარჯების ოპტიმიზაციაში: გამოწვევები და შესაძლებლობები

ნანა ბენიძე[1], ჯამბულ ბიწაძე[2]

[1]ეკონომიკის აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი Nana.benidze1@atsu.edu.ge; [2]ეკონომიკის აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, Jambul.bitsadze@atsu.edu.ge

ანოტაცია

სტატიაში საუბარია კერძო დაზღვევაში არსებულ პრობლემებზე, სახელმწიფო ხარჯების შემცირებასა და შესაძლო გაუმჯობესების გზებზე, რომელიც გავლენას იქონიებს სახელმწიფო ბიუჯეტზე და მოახდენს რესურსების მაქსიმალურად ეფექტური გამოყენების შესაძლებლობას. ამდენად ვფიქრობთ, რომ თემა აქტუალურია.

ნაშრომში საუბარია, არსებულ რეალობაზე და სამომავლო პერსპექტივებზე, რომელიც შესაძლებელია განხორციელდეს ინდივიდუალური დაზღვევის გასაძლიერებლად, რომელიც გავლენას ახდენს ბიუჯეტის ოპტიმიზაციაში. ჩატარდა კვლევა და მოცემულია კვლევის შედეგები, რომლის ანალიზი წარმოდგენას იძლევა ბაზარზე არსებულ პრობლემებზე და პრობლემების გადაჭრის შესაძლო გზებზე, რაც მნიშვნელოვნად ხელს შეუწყობს სახელმწიფო ბიუჯეტის ხარჯების ოპტიმიზაციას. ვფიქრობთ არსებულ პრობლემებზე უნდა გამახვილდეს ყურადღება, რომელიც აუცილებლად იჩენს თავს.

სტატიაში მოცემულია ავტორთა მოსაზრებები და რჩევები, რომელიც დანახულია მეცნიერთა თვალთახედვით და მისი პრაქტიკაში განხორციელება დაეხმარება დარგს საქმიანობის ეფექტურად წარმართვაში.

საკვანძო სიტყვები: კერძო დაზღვევა. ბიუჯეტი, ჯამრთელობის დაზღვევა, სიცოცხლის დაზღვევა, საპენსიო დაზღვევა, ქონების დაზღვევა.

შესავალი

სახელმწიფოს ერთ-ერთი მთავარი ფუნქცია მოსახლეობის სოციალური დაცვაა. განსაკუთრებით კი მისი ყველაზე დაუცველი ჯგუფის: მოხუცები, ბავშვები, შშმპ, უმუშავრები

და სიღარიბის ზღვარს ქვემოთ მყოფი მოქალაქეები. ამ მიზნის მისაღწევად სახელმწიფო იყენებს სხვადასხვა ინსტრუმენტს, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია გადასახადებით დაფინანსებული სოციალური პროგრამები. როგორიცაა: ჯანდაცვა, პენსიები, განათლება და სოციალური დახმარება, ეს სწორედ ის სფეროებია, რომლებშიც სახელმწიფო აქტიურად ერევა, რათა მოახდინოს ყველასათვის მინიმალური სტანდარტებით უზრუნველყოფა. თუმცა, ამ სერვისების დაფინანსება მნიშვნელოვან საბიუჯეტო რესურსებს მოითხოვს, რაც ხშირად გადასახადებს ზრდის და შედეგად მოსახლეობაზე ეკონომიკურ პრობლემებს იწვევს.

ამ ფონზე, ჩნდება საინტერესო კითხვა - შეუძლია თუ არა სახელმწიფოს, ბიუჯეტისათვის ზიანის მიყენებისა და სოციალური დაცვის შემცირების გარეშე საგადასახადო ტვირთის შერბილება ან შემცირება?

ვფიქრობთ, რომ ამ კითხვაზე ერთ-ერთი შესაძლო პასუხი, ინდივიდუალური სადაზღვევო სისტემის განვითარებაა. დაზღვევის ეს ფორმა, მოსახლეობას საშუალებას აძლევს, თავად დააფინანსონ სოციალური რისკების ნაწილი, რაც შესაბამისად ამცირებს სახელმწიფო ხარჯებს და ქმნის გადასახადების შემცირების შესაძლებლობას.

ინდივიდუალურ (პირად) დაზღვევაში მოიაზრება, მოქალაქის ან ორგანიზაციის მიერ პირადი ფინანსური რისკების უზრუნველყოფა სადაზღვევო კომპანიების მეშვეობით. სადაზღვევო მომსახურეობა წარმოდგენილია ჯანმრთელობის, სიცოცხლის, ქონების, პენსიის და პასუხისმგებლობის სადაზღვევო პაკეტების სახით. პირადი დაზღვევა ეს არის ფინანსური სტაბილურობის, დამოუკიდებლობის და უსაფრთხოების განცდა. პირადი დაზღვევით დაზღვეული ადამიანი თავს გრძნობს მეტად დაცულად, რადგან კრიტიკულ მომენტში იცის, რომ მას ფინანსური მხარდაჭერა ექნება მის მიერ არჩეული სადაზღვევო კომპანიიდან.

ინდივიდუალური დაზღვევა არის ფინანსური სტაბილურობისა და დაცვის მექანიზმი. ინდივიდუალური დაზღვევა არა მხოლოდ ამცირებს ფინანსურ რისკებს, არამედ ზრდის ადამიანის თავდაჯერებულობას, ამცირებს სახელმწიფოზე დამოკიდებულებას და ხელს უწყობს გრძელვადიან დაგეგმვას. ამდენად ის აუცილებელ კომპონენტად შეიძლება ჩავთვალოთ ფინანსური უსაფრთხოების კუთხით.

2014-2020 წლებში ჯანდაცვაზე მთლიანი ეროვნული დანახარჯი 61%-ით გაიზარდა, თუმცა მთლიან ეროვნულ დანახარჯში დიდი ნაწილი კვლავაც მოსახლეობის ჯიბიდან გადახდილი თანხებია. „გალთ ენდ თაგარტისა“ და საერთაშორისო ფონდ „კურაციოს“ ერთობლივი კვლევის მიხედვით, 2020 წლის ჯანდაცვაზე გაწეული ერთობლივი დანახარჯების 53% მოსახლეობამ საკუთარი ჯიბიდან გადაიხადა. კვლევის პროგნოზებიც არასახარბიელოა: სახელმწიფოს მიერ ჯანდაცვაზე გაწეული ხარჯი მუდამ მზარდი, თუმცა არაკონტროლირებადია და თუ არაფერი შეიცვალა, მომავალში ჯანდაცვაზე მოსახლეობის ჯიბიდან გადახდილი თანხები კიდევ უფრო გაიზრდება [1].

2020 წელს სახელმწიფო ბიუჯეტიდან ჯანდაცვაზე დაახლოებით 1,100 მილიონი გამოიყო; 2021 წელს-1,400 მილ.ლარი; 2022 წელს-1,600 მილ.ლარი; 2023 წელს-1,710 მილ.ლარი; 2024 წელს -1.771 მილ.ლარი [2].

რაც შეეხება 2025 წელს, საქართველოს ჯანდაცვის სამინისტროს ბიუჯეტი შეადგენს 8,7 მილიარდ ლარს, რაც წარმოადგენს მნიშვნელოვან ზრდას წინა წლებთან შედარებით. ბიუჯეტი მოიცავს, როგორც ჯანდაცვის, ისე სოციალური დაცვის პროგრამებს. ფინანსთა მინისტრის მოადგილის გიორგი კაკაურიძის განცხადებით, სამინისტროს ბიუჯეტი გაიზარდა 871 მილიონი ლარით, აქედან ჯანდაცვაზე გამოიყო 1.9 ლარი,და ეს თანხა შემდეგნაირად გადანაწილდა: საყოველთაო ჯანდაცვის პროგრამა - დაფინანსება იზრდება 185 მლნ ლარით; მედიკამენტების თანადაფინანსება - ქრონიკული და ონკოლოგიური დაავადების მკურნალობა; გადაუდებელი სამედიცინო დახმარება-სასწრაფო დახმარების სერვისის გაძლიერება; საზოგადოებრივი ჯანდაცვა-ვაქცინა, პრევენციული პროგრამები, ეპიდზედამხედველობა; სოცვიალური დაცვა-6,8 მლრდ ლარია და შემდეგნაირად გადანაწილდა: რაც შეეხება, სოციალური დაცვა-დაახლოებით 6,8 მლრდ ლარია და შემდეგნაირად გადანაწილდა: პენსიები-490 მლნ ლარი.; მიზნობრივი სოციალური დახმარება; დასაქმების ხელშეწყობა; დაზღვევის პროგრამები-სოციალურად დაუცველი ჯგუფებისათვის.[3].

როგორც კვლევიდან ჩანს ბიუჯეტი იზრდება, რათა მოხდეს ამ პროგრამების დაფინანსება, რაც მძიმე ტვირთად აწვება მოსახლეობას. ვფიქრობთ, რომ ამ ფონზე აუცილებელია კერძო დაზღვევის განვითარება.

კვლევის შედეგები

ჩავატარეთ ინტერნეტ გამოკითხვა და ასევე საველე გამოკითხვა, რომელშიც მონაწილეობა მიიღო 75 რესპოდენტმა.

კვლევის შედეგების ანალიზის მიხედვით რესპოდენტები სქესის მიხედვით ასე განაწილდა: 78.4%-მდედრობითი, 21,6% -მამრობითი. ასაკის მიხედვით კი შედეგები ასეთია: 18-25 წელი-40.5%, 26-35 წელი-18.9%, 36-45 წელი-13.5%. 46-55 წელი-2,7%, 56+ წელი-24,3%. რაც შეეხება განათლებას, რესპოდენტების წილობრივი შემადგენლობა ასეთია: უმაღლესი განათლებით არის-54,1%, სტუდენტი-40,5%. საშუალო განათლებით-5,4%.

მნიშვნელოვანია ინფორმაცია, გამოკითხული რესპოდენტებიდან სარგებლობენ თუ არა სადაზღვევო კომპანიის მომსახურეობით და რა ტიპის დაზღვევა აქვთ, სადაც შედეგები ასე გადანაწილდა: სად.კომპანიით სარგებლობს-56,8%. არ სარგებლობს-43,2%. ამასთან მნიშვნელოვანია იმის ცოდნა, თუ რომელი ტიპის დაზღვევით სარგებლობენ: - 56.8% რესპოდენტების ანალიზმა აჩვენა, რომ ყველაზე მეტი მაჩვენებელი - 86,2% აქვს საყოველთაო დაზღვევას, ხოლო კერძო ჯანმრთელობის დაზღვევას და ქონების დაზღვევას აქვს თანაბარი მაჩვენებლები - 13.8%.

მნიშვნელოვანია იმის გაგება, თუ რა სარგებელს აძლევს რესპოდენტებს გამოყენებული სადაზღვევო პაკეტები, როგორც საყოველთაო ასე ინდივიდუალური. ამ თვალთაზრისით მათი შეხედულებები შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგნაირად:

- ინდივიდუალური დაზღვევა უკეთ უზრუნველყოფს ჯამრთელობის დაზღვევას;
- მედიკამენტებზე ფასები მაღალია, თუმცა არის შეღავათები;

- საყოველთაო დაზღვევა არ არის საკმარისი;
- კერძო დაზღვევა ძვირი სიამოვნებაა;

უნდა აღინიშნოს, რომ დაზღვეულთა კმაყოფილება მნიშვნელოვანია, როგორც კომპანიისთვის ასევე სახელმწიფოსათვის. ამასთან მიმართებაში რესპოდენტების პასუხები შემდეგნაირად გადანაწილდა: სადაზღვევო კომპანიის მომსახურეობით კმაყოფილია, გამოკითხულთა 56,7%, ნაწილობრივ კმაყოფილია 33,3% და უკმაყოფილოა 10%. ამიტომ სადაზღვევო კომპანიებმა მეტი უნდა იმუშაონ, რათა აამაღლონ მომხმარებელთა კმაყოფილების დონე და შეისწავლონ მიზეზები, რაც უკავშირდება მომხმარებელთა უკმაყოფილებასა და ნაწილობრივ კმაყოფილებას, უნდა შეეცადონ აღმოფხვრან უკმაყოფილების მიზეზები. კმაყოფილების და უკმაყოფილების დონე პირდაპირ კავშირშია მომსახურეობის ხარისხთან რომელთა დამოკიდებულებაში რესპოდენტების ხმები მომსახურეობის ხარისხის შეფასებასთან დაკავშირებით ასე განაწილდა: მაღალი-32,3%, საშუალო-58,1%, დაბალი-3.2%, პასუხის გაცემა გაუჭირდა-6,5%.

უნდა აღინიშნოს, რომ სადაზღვევო კომპანიების საქმიანობის გაუმჯობესებაში მნიშვნელოვანია სახელმწიფოს როლი. ამასთან მიმართებაში, კითხვაზე, სახელმწიფოს მხრიდან არის თუ არა სათანადო მხარდაჭერა, რესპოდენტების ხმები ასე განაწილდა: არის-25.7%, არ არის-8,6%. ნაწილობრივ არის-45,7%. პასუხის გაცემა გაუჭირდა-20%.

ამასთან მნიშვნელოვანია რესპოდენტების მოსაზრებები სადაზღვევო პროდუქტების ხელმისაწვდომობასა და გამჭირვალობის გაუმჯობესებასთან დაკავშირებით, რომელთა მიმართებაში რესპოდენტების 82,9% მიაჩნია, რომ შესაძლებელია, ნაწილობრივ შესაძლებელია-14,3%, პასუხის გაცემა გაუჭირდა -2,9%. არ შეუძლია-0%.

ასევე საინტერესო და მნიშვნელოვანია ინფორმაცია, რომელიც უკავშირდება სადაზღვევო კომპანიების მიერ განხორციელებულ ღონისძიებების კონკურენციის ამაღლებასთან დაკავშირებით, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს:

- მოახდინონ კერძო დაზღვევის მეტი პოპულარიზაცია (შეიქმნას საგანმანათლებლო დაწესებულებებში ამ მიმართულებით პროგრამები)
- კერძო დაზღვევამ, უნდა გააუმჯობესოს მომსახურეობის ხარისხი და იმუშაონ ინოვაციებზე.
- დაწიონ ფასები და გახადონ ხელმისაწვდომი მოსახლეობის ყველა ფენისათვის.
- უნდა გაერთიანდნენ სახელმწიფო, სადაზღვევო კომპანიები და დამსაქმებლები რათა მოახდინონ ერთობლივი მართვა სახელმწიფო პროგრამების, რომ არ მოხდეს დუბლირება.
- ხელმისაწვდომი და გამჭირვალე უნდა იყოს ყველა ინფორმაცია, რომელიც სადაზღვევო პროდუქტებს ეხება.
- უკეთ შესწავლილი იქნეს სადაზღვევო ბაზარი - მაგ.თუ რა პროდუქტებია მოთხოვნადი და მოხდეს ფასების დაწევა, ამ თანხით, არამოთხოვნადი პაკეტები, მაგ.კერძო დაზღვევა, განმეორებით იქნას შესწავლილი და ამის ხარჯზე, დაზღვევაში გაერთიანებულ პირებს მიეცეს საგადასახადო შეღავათები.

უნდაა აღინიშნოს, რომ ჩვენ სრულიად ვიზიარებთ კვლევაში მონაწილე რესპოდენტების მოსაზრებებს და ვიძლევით გარკვეულ რეკომენდაციებს, რომელთა გათვალისწინება დაეხმარება დარგის სპეციალისტებსა დროულად გადაჭრან ზემოთ ჩამოთვლილი პრობლემები, რაც ხელს უშლის სადაზღვევო ბაზრის განვითარებას ამ მიმართულებით. კერძოდ:

1. მოსახლეობის მეტი ინფორმირება
2. სახელმწიფოს, სადაზღვევო კომპანიებისა და დამსაქმებლების კოორდინებული მუშაობა
3. ინდივიდუალურ დაზღვევაში გაერთიანებული მოსახლეობისათვის შემოღებული იქნას საგადასახადო შეღავათები.
4. შეიქმნას საგანმანათლებლო პროგრამები ამ მიმართულებით
5. მეტი ინოვაციები კერძო დაზღვევაში და ეს პაკეტები მორგებული უნდა იყოს მომხმარებლების ყველა ფენაზე.
6. გადაიხედოს მედიკამენტის ფასები
7. კონკურენციის გაძლიერება

აქვე მოცემულია რესპოდენტთა რეკომენდაციები სხვადასხვა მიმართულებით. აღსანიშნავია:

- სახელმწიფო, თავის მხრივ უნდა ჩაერთოს ამ პროცესში და მოახდინოს რეგულაციების გამარტივება და ინოვაციური პროექტების წახალისება სადაზღვევო კომპანიებთან და დამსაქმებლებთან ერთად.
- საჭიროა ისეთი პროექტების დაკანონება რომელიც მორგებული იქნება მოსახლეობის ყველა ფენაზე.
- რაც მაღალია კონკურენცია, მით მაღალია მომსახურეობის ხარისხი და დაბალია პრემიის მოცულობა.
- კერძო დაზღვევის განვითარების მიზნით, სახელმწიფომ და სადაზღვევო კომპანიებმა ერთობლივი ძალისხმევით, დაზღვეული პირებისათვის დააწესოს საგადასახადო შეღავათები.
- სკოლებსა და უნივერსიტეტებში მოხდეს დაზღვევის ცნობადობის გაზრდა, ამისათვის საჭიროა საგანმანათლებლო პროგრამების შექმნა.
- აუცილებელია კიდევ ერთხელ გადაიხედოს მედიკამენტების ფასები.

დასკვნა

საქართველოში, ბოლო წლების განმავლობაში, სადაზღვევო ბაზარმა მნიშვნელოვანი ცვლილებები განიცადა. თანდათანობით ჩამოყალიბდა და განვითარდა სადაზღვევო სექტორი. გაიზარდა კონკურენცია, თუმცა არასაკმარისად, ინერგება ახალი პროდუქტები და შესაბამისად მომხმარებელთა მოთხოვნაც გაიზარდა. იზრდება მოთხოვნა კერძო დაზღვევაზეც, თუმცა არასაკმარისად, არა და კერძო დაზღვევა სახელმწიფო ხარჯების შემცირების ეფექტური გზაა. როგორც მოგეხსენებათ, განვითარებულ ქვეყნებში, კერძო დაზღვევა ავსებს სახელმწიფო პროგრამებს. ამ პრაქტიკაზე დაყრდნობით და კვლევის

საფუძველზე შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ კერძო დაზღვევა შეიძლება გახდეს ფინანსური მდგრადობის ერთ- ერთი გზა. თუმცა არსებობს მთელი რიგი წინააღმდეგობები, რომლის გადაჭრაც აუცილებელია. აღნიშნულია ის პრობლემები, რაც ხელს უშლის სადაზღვევო ბაზრის ამ სეგმენტის განვითარებას ქვეყნის მაშტაბით. კერძოდ:

1. მოსახლეობის მეტი ინფორმირება
2. სახელმწიფოს, სადაზღვევო კომპანიებისა და დამსაქმებლების კოორდინებული მუშაობა
3. ინდივიდუალურ დაზღვევაში გაერთიანებული მოსახლეობისათვის შემოღებული იქნას საგადასახადო შეღავათები.
4. შეიქმნას საგანმანათლებლო პროგრამები ამ მიმართულებით
5. მეტი ინოვაციები კერძო დაზღვევაში და ეს პაკეტები მორგებული უნდა იყოს მომხმარებლების ყველა ფენაზე.
6. გადაიხედოს მედიკამენტის ფასები
7. კონკურენციის გაძლიერება

აქვე მოცემულია რესპოდენტთა რეკომენდაციები სხვადასხვა მიმართულებით. აღსანიშნავია:

- სახელმწიფო, თავი მხრივ უნდა ჩაერთოს ამ პროცესში და მოახდინოს რეგულაციების გამარტივება და ინოვაციური პროექტების წახალისება სადაზღვევო კომპანიებთან და დამსაქმებლებთან ერთად.
- საჭიროა ისეთი პროექტების დაკანონება რომელიც მორგებული იქნება მოსახლეობის ყველა ფენაზე.
- რაც მაღალია კონკურენცია, მით მაღალია მომსახურეობის ხარისხი და დაბალია პრემიის მოცულობა.
- კერძო დაზღვევის განვითარების მიზნით, სახელმწიფომ და სადაზღვევო კომპანიებმა ერთობლივი ძალისხმევით, დაზღვეული პირებისათვის დააწესოს საგადასახადო შეღავათები.
- სკოლებსა და უნივერსიტეტებში მოხდეს დაზღვევის ცნობადობის გაზრდა, ამისათვის საჭიროა საგანმანათლებლო პროგრამების შექმნა.
- აუცილებელია კიდევ ერთხელ გადაიხედოს მედიკამენტების ფასები.

ბიბლიოგრაფია

[1] Forbes Georgia- „კერძო დაზღვევის როლი ჯანდაცვის ხარჯების დაფინანსებაში“. ბ. ფესტვენიძე; 23.06.2021. https://forbes.ge/health/kerdzo-dazghvevis-roli-jandatsvis-kharjebis-daphinansebashi/

[2] საქართველოს ფინანსთა სამინისტრო. https://www.mof.ge/ - ბიუჯეტის დოკუმენტი-2025 წლის ბიუჯეტი.

[3] BM.GE- „2025 წლისათვის ჯანდაცვისა და სოციალური პროგრამების დაფინანსება 8.7 მილიარდს აღწევს“ -გიორგი კაკაურიძე. 25.06.2025. https://bm.ge/news/2025-tslistvis-jandatsvisa-da-sotsialuri-programebis-dafinanseba-gel87-miliards-aghtsevs-giorgi-kakauridze

The Role of Individual (Private) Insurance in Optimizing Public Expenditures: Challenges and Opportunities

Annotation

The article “The Role of Individual” (Private) Insurance in Optimizing Public Expenditures: Challenges and Opportunities” discusses the existing problems in private insurance, the reduction of public spending, and possible improvement strategies that could impact the state budget and enable the most sufficient use of resources. Therefore, we believe the topic is highly relevant.

The paper addresses the current reality and future prospects that could be implemented to strengthen individual insurance, which in turn would influence budget optimization. A study was conducted, and its results are presented and analyzed, providing insights into existing market problems and potential solutions. These findings can significantly contribute to optimizing public budget expenditures. We believe attention should be focused on the existing problems, which inevitably come to the fore. The article presents the authors’ opinions and recommendations, viewed through the lens of researchers. Implementing these in practice would assist the field in carrying out its activities more effectively.

Keywords: private insurance, budget, health insurance, life insurance, pension insurance, property insurance.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.41



Enhancing Medication Safety in Hospital Setting Through Artificial Intelligence

Zaza Sopromadze[1]; Nana Shashiashvili[2]; Besarion Simonishvili[3]

[1]Associate Professor, Georgian Technical University; [2]Associate Professor, Georgian Technical University; [3]Doctor of Public Administration, Georgian Technical University

SUMMARY

Artificial Intelligence (AI) is revolutionizing medication safety in hospital settings by enhancing accuracy, efficiency and patient outcomes. AI-driven systems assist healthcare professionals in verifying prescriptions, identifying potential drug interactions, and ensuring appropriate dosages, thereby reducing the risk of medication errors. By analyzing patient data, including medical histories and laboratory results, AI tools provide personalized recommendations that support informed clinical decisions. Additionally, AI facilitates real-time monitoring of patient adherence to treatment plans, enabling timely interventions when deviations occur. Automated dispensing systems, guided by AI, ensure precise medication distribution, minimizing human errors and optimizing inventory management. Furthermore, AI contributes to the detection of adverse drug reactions by continuously analyzing patient responses and flagging anomalies. As AI technologies continue to evolve, their integration into hospital workflows promises to further enhance medication safety, streamline pharmaceutical processes, and improve overall patient care. However, successful implementation requires robust infrastructure, staff training, and adherence to ethical standards to fully realize AI's potential in healthcare.

Keywords: Artificial Intelligence, Medicinal Product, Medication Safety, Pharmaco-Intelligence.

Introduction

Medication errors remain a significant concern in hospital settings, contributing to adverse patient outcomes and increased healthcare costs. The integration of Artificial Intelligence (AI) into healthcare systems offers promising avenues to address these challenges. AI encompasses a range of technologies, including machine learning and natural language processing, which can analyze vast amounts of data to identify patterns and predict potential errors. In the context of medication safety, AI can assist in optimizing prescription practices, monitoring drug interactions, and ensuring accurate dosing. By leveraging these capabilities, healthcare providers can enhance decision-making processes,

reduce the incidence of medication-related errors, and improve overall patient safety. As hospitals continue to adopt AI-driven solutions, it is crucial to understand the mechanisms through which these technologies contribute to safer medication practices and to address any associated implementation challenges.

Research Objective

This study aims to evaluate the impact of Artificial Intelligence (AI) on enhancing medication safety within hospital environments. The focus is on how AI technologies can optimize medication management processes, support clinical decision-making, and reduce the incidence of medication errors, thereby improving patient outcomes and healthcare efficiency.

Methodology

The research employs a comprehensive literature review approach, analyzing both international and local sources, including academic studies, practical implementations, and regulatory frameworks. The review concentrates on the application of AI technologies across various stages of hospital medication management systems, such as medication procurement and inventory management, monitoring of storage conditions, drug dispensing and administration processes, patient monitoring and feedback mechanisms, and prevention of medication errors and risk management strategies. By synthesizing findings from these sources, the study seeks to identify best practices and potential challenges in implementing AI solutions to enhance medication safety in hospitals.

Results

AI technologies have a wide range of applications in hospital healthcare systems. With AI, it is possible to determine appropriate individual doses, select optimal methods for drug administration, and develop treatment strategies. Managing patient medical records is a complex and labor-intensive task, but AI simplifies the collection, storage, and analysis of data. For example, Google's DeepMind Health facilitates the rapid and efficient processing of medical records, significantly improving the quality of healthcare services.

Moor fields Eye Hospital (NHS) collaborates with DeepMind Health to improve the diagnosis and treatment of ophthalmic diseases. Meanwhile, IBM Watson for Oncology uses AI algorithms to compare patient data with thousands of historical cases, assisting doctors in making accurate treatment decisions. Its database contains millions of pages of scientific literature and more than 300 medical journals and textbooks, enabling deep analysis of information.

AI technologies play a crucial role in diagnostic imaging and visualization processes. This includes analyzing X-rays, CT scans, echocardiograms, and ECGs. IBM's Medical Sieve is a "cognitive assistant" that utilizes deep learning algorithms to analyze specialized medical imaging, improving diagnostic accuracy.

AI technologies assist in diagnostic imaging and visualization processes, such as X-rays, CT scans, echocardiograms, and ECGs, by helping to identify diseases. IBM's Medical Sieve algorithm is a "cognitive assistant" equipped with both analytical and diagnostic capabilities. It utilizes deep learning techniques to analyze specialized medical visuals based on specific body parts.

Artificial intelligence is successfully used in patient management. For instance, Molly is a virtual nurse that supports patients in managing their treatment, particularly for chronic conditions. The AI Cure app tracks patients' medication intake using smartphone cameras, proving especially useful in clinical trials and complex treatment regimens.

AI also significantly impacts genomics and genetic diagnostics. The Deep Genomics system analyzes genetic data and medical records to detect pathological mutations. An algorithm developed by Craig Venter, the author of the Human Genome Project, provides insights into human physical traits based on their genetic makeup. This technology is also used for early cancer and cardiovascular disease diagnostics.

The development of pharmaceutical products often takes decades and requires billions in costs. Atomwise is an AI platform that analyzes molecular structures using supercomputers. It identified potential Ebola treatments in just one day—a process that typically takes months or even years. Another example is a biopharmaceutical company in Boston that employs AI to determine the effectiveness of treatments based on patient biological data.

The open AI ecosystem was named one of 2016's most promising technologies. It collects and analyzes social and medical data to better understand patients' lifestyles and habits. When medical data is fully computerized, its analysis and systematic improvement become much easier. In the Netherlands, 97% of invoices are in digital format. Local company Zorgprisma Publiek uses IBM Watson to effectively analyze this data and identify patient service issues in real-time, helping to prevent unnecessary hospitalizations.

Today, leading global pharmaceutical companies are actively collaborating with AI technology providers and integrating them into their research and development processes, drug discovery, and manufacturing. According to data, around 62% of organizations in the healthcare sector are considering investments in AI, with 72% believing that AI will play a pivotal role in their future business models. The growing role of artificial intelligence in the pharmaceutical sector is evident from the examples of major companies such as Roche, Pfizer, Merck, AstraZeneca, GSK, Sanofi, AbbVie, Bristol-Myers Squibb, and Johnson & Johnson. For example, in 2018, the Massachusetts Institute of Technology (MIT) began collaborating with Novartis and Pfizer to radically transform drug design and manufacturing processes. McKinsey Global Institute estimates that AI and machine learning could add nearly $100 billion annually to the U.S. healthcare system. These technologies improve decision-making, enhance the quality and effectiveness of innovations, streamline research and clinical trials, and create new tools for doctors, patients, insurers, and regulators.

The pharmaceutical industry is continuously working on discovering new active substances for diseases that currently have no treatment. Meanwhile, efforts are being made to improve the safety of existing drugs, overcome drug resistance, and reduce therapeutic ineffectiveness. This has led to an explosion in biomedical data growth and diversity, facilitating the integration of AI technologies. For instance:

- GNS Healthcare uses the AI system REFS (Reverse Engineering and Forward Simulation), which processes millions of data points—ranging from clinical to genetic and laboratory data—to better understand causal relationships.
- Atomwise developed the first deep learning neural network, AtomNet, based on 3D protein and molecular structures, allowing researchers to quickly and accurately assess a drug's toxicity, effectiveness, and compatibility.
- Insilico Medicine employs genetic adversarial networks (GANs) and reinforcement learning algorithms in the Pharm AI project, which creates new molecular structures and explores the biological mechanisms of diseases.

Artificial intelligence (AI) is being effectively utilized in clinics and hospitals. Chatbots are deployed to enhance customer service by automatically answering simple questions and redirecting complex requests to human staff members. Walgreens has partnered with telehealth firm Medline to provide patients with video consultations with specialists. AI helps pharmacies predict their inventory needs, reducing shortages or overstocking. For instance, software created by Blue Yonder for the Otto Group achieved 90% accuracy in forecasting and optimizing delivery times. The University of California, San Francisco (UCSF) Medical Center uses robotic systems to automate medication preparation and dosing, with these systems having already prepared 350,000 medications without error. Robots are responsible for the precise dosing of both toxic chemotherapy and intravenous medications, freeing up pharmacists and nurses for direct patient care [1, 2,3].

AI is actively applied to predict and detect adverse drug reactions (ADRs). Several studies have clearly demonstrated the potential of this technology. For example, a study by Mohsen and colleagues combined two distinct data sources: gene expression profiles from the Toxicogenomics Project (TG-GATEs) caused by drugs and ADR cases from the FDA's Adverse Event Reporting System (FAERS). Using deep neural networks (DNN), they developed a prediction model that involved data filtering, cleansing, feature selection, and hyperparameter tuning. Yalçın and colleagues created a clinical decision support tool based on machine learning (ML), a risk score that predicts the likelihood of ADR development in newborns. They used the NAESS severity scale, the "Du'ADRs" algorithm, and risk matrix analysis, incorporating a multidisciplinary team, including clinical pharmacists. A study by Hamman and colleagues applied decision tree induction to determine which chemical, physical, and structural properties characterize compounds that cause ADRs. The models demonstrated high predictive accuracy for allergic, kidney, central nervous system, and liver ADRs (78.9–90.2%). Cami and colleagues used logistic regression classifiers to predict unknown ADRs for existing drugs, based on structural drug-ADR network characteristics, chemical, and taxonomic data. Rahmani and colleagues utilized a random walk algorithm on the drug-ADR network, where nodes represented

drugs and known side effects. However, the newly identified ADRs were not confirmed in real clinical data. Bresso and colleagues developed a database that integrates knowledge about drugs, ADRs, and target molecules. They used decision trees and inductive logic programming to predict ADR profiles (not individual reactions), validated by FAERS data. Bean and colleagues created a knowledge graph encompassing four nodes: drugs, protein targets, indications, and side effects. The ML algorithm developed using the graph relied on enrichment testing and successfully classified the causes of side effects.

Other studies have focused on:

- Automating pharmacovigilance processes,
- Early prediction and prevention of side effects to improve patient safety.

Overall, these studies highlight the vast potential of AI in detecting and predicting ADRs, ranging from clinical decision support systems to knowledge-based algorithms [4, 5, 6].

By integrating AI technologies into hospital workflows, healthcare professionals can enhance the evidence-based approach to pharmacy, improving clinical decision-making and reducing the risk of medication-related harm [7, 8].

Drug-drug interactions (DDIs) are recognized as a major cause of ADRs, contributing to increased healthcare costs. Predicting DDIs requires analyzing the characteristics of different medications and leveraging existing data. The most commonly used databases for DDI prediction include DrugBank, SIDER, TWOSIDES, KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes), Lexicomp, and Micromedex. Existing predictive models for DDIs are divided into three main categories:



Van Laere and colleagues developed an algorithm that assesses the risk of QTc interval prolongation and provides warnings when a combination of medications increases this risk. Suyu Mei and Kun Zhang proposed an f-drug target profile model based on L2-regularized logistic regression for predicting drug-drug interactions (DDIs). Song and others created a large-scale DDI prediction model using five types of drug similarities: 2D structure, 3D pharmacophores, interaction profiles, target-related features, and side effect similarities. Based on these data, they developed a polynomial kernel support vector machine (PK-SVM).

Integrating Artificial Intelligence (AI) into electronic health record (EHR) algorithms can significantly enhance clinical decision-making processes. AI can help identify improper medication usage patterns and patient risks by learning from large volumes of EHR data. Additionally, AI supports

the optimization of drug selection by predicting which patients are at a lower risk of experiencing side effects. The Patient Safety Learning Laboratory (PSLL) helps AI embedded in EHR systems identify and mitigate potential risks.

Natural Language Processing (NLP) and Machine Learning (ML) technologies are increasingly used in hospitals and healthcare systems to process unstructured text data, including medication safety, patient history, side effects, and therapeutic outcomes. These approaches can improve patient care and medication effectiveness assessment in real-time. This strategy can also be applied to improve decisions made by Pharmacy and Therapeutics (P&T) committees. For instance, Balestra M and colleagues developed a predictive model that detects orders that may require intervention by analyzing the actions within the provider's EHR.

Potentially inappropriate medications (PIMs) are those where the risks outweigh the benefits, especially in the elderly, who often have multiple comorbidities and take several medications (polypharmacy). Criteria such as Beers and STOPP/START are used to assess the risk of potentially inappropriate prescribing (PIP). Although these criteria are effective for evaluating medications after they have been prescribed, early detection helps prevent adverse drug reactions (ADRs). To this end, AI/ML algorithms are increasingly used in predictive models for PIMs.

For example:

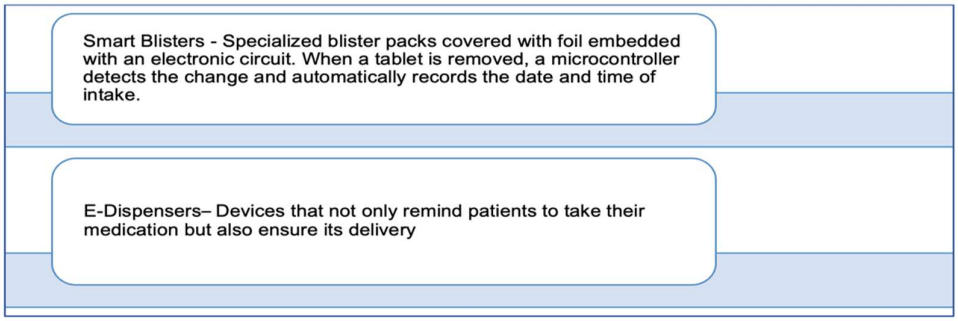
- Chun-Tien Tai and colleagues predicted the risks of digoxin using ML and successfully identified high-risk patients.
- Wongyikul et al. created a model for screening HAD medications using Gradient Boosting Classifiers, which accurately identified inappropriate prescriptions with 98-99% success.
- Patel et al. identified the risks of potentially inappropriate use of NSAIDs in elderly patients with osteoarthritis.
- Xingwei and colleagues developed over 270 ML models to predict PIP, PIM, and PPO, which have high potential for clinical use [4,9]

Approximately half of patients with chronic diseases do not adhere to their prescribed medications, leading to increased morbidity and mortality. Pharmaceutical interventions, despite their effectiveness, are often complex and multi-component. Therefore, AI technologies could become a promising tool for addressing this issue. AI technologies used to improve medication adherence are categorized into eight main types:

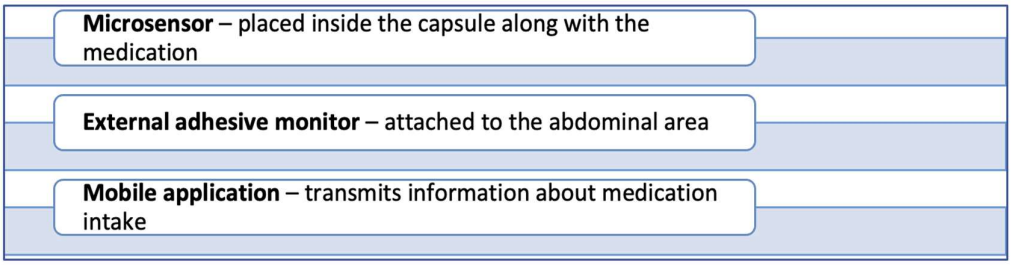
1. Electronic pillboxes/bags
2. Electronic bottles
3. Swallowable sensors
4. Blister pack technology
5. Electronic medication management systems
6. Self-reporting systems
7. Video-based methods
8. Motion sensor technology

These technologies ensure medication adherence monitoring, timely responses, and contribute to improving patients' health conditions.

Medication Event Monitoring Systems (MEMS) are technologies that enable the recording of medication intake events. For example, a sensor embedded in a pill bottle detects each opening, indicating that the patient may have taken the medication. Some modern bottles wirelessly transmit data, allowing real-time monitoring of medication intake. Near Field Communication (NFC) technology is often used in modern smartphones and medical devices, enabling data transmission over short distances (a few centimeters). NFC tags can be placed on medications, and the patient simply taps the tag with a smartphone to record the medication intake. These technologies are used for monitoring purposes.



Technologies based on motion sensors, particularly triaxial accelerometers, are of interest as they are integrated into wireless wearable devices (e.g., wristbands). These sensors track the patient's movement during medication intake. Additionally, there are medications that are combined with a fluorophore—a substance that appears in the patient's bloodstream and can be detected with a handheld device. The system of ingestible sensors includes the following:



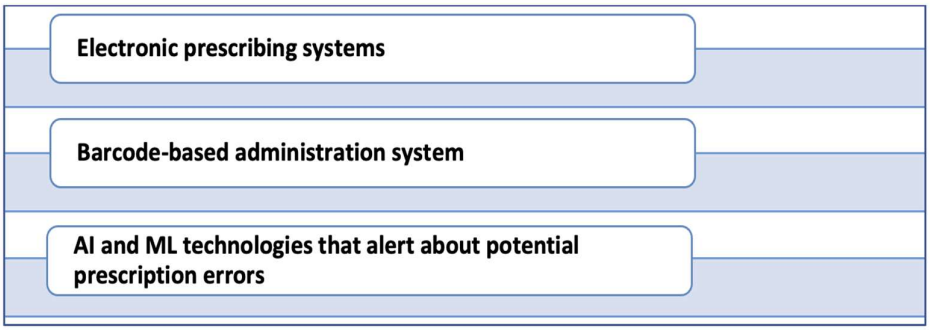
When a patient takes a capsule, stomach fluids dissolve it, and a sensor sends a signal to an external device, which then transmits the data to an application, recording information about the medication intake, heart rate, and other parameters.

Electronic Medication Management Systems (EMMS) utilize Radio Frequency Identification (RFID) to track medication adherence. The system records the intake and transmits the data for monitoring.

Video monitoring technologies use cameras to capture the process of medication intake by the patient. These videos are analyzed either by clinical staff or AI. There are also self-reporting systems

for patients, such as smart buttons, e-diaries, web platforms, and mobile applications. These systems provide real-time information about the patient's medication adherence. The US FDA receives over 100,000 reports annually regarding medication errors. The prevalence of medication errors in European hospitals varies between 0.3% and 9.1%.

Prospective strategies for reducing medication errors include:



For example, an Israeli company has developed an ML-based algorithm that warns about excessive or inappropriate prescriptions.

Medication Therapy Management (MTM). The CMM-Wrap program utilizes an artificial intelligence platform to identify high-risk patients and provide telemedicine services for them. The involvement of pharmacists and medical assistants, supported by AI, helps reduce healthcare costs, emergency visits, and hospitalizations. During the COVID-19 pandemic, a hospital in Shanghai implemented an online pharmacy where prescriptions were first verified by AI, followed by double-checking by pharmacists. Patients could access their medications at the hospital or through third-party pharmacies using a QR code [4,10,11].

Telehealth, also known as telemedicine, involves the exchange of medical information between different locations through electronic communication, aiming to improve health outcomes. Modern chatbots, using Natural Language Processing (NLP), can expedite the process of patient symptom self-description or answering questions, speeding up medical history collection, generating questionnaires, and conducting preliminary diagnostic assessments, including identifying adverse drug reactions (ADRs). These data can be stored, encrypted, and used during the patient's next visit. AI-driven conversational platforms compliant with the Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) have developed modules that automatically identify adverse events (AEs) using deep learning and NLP technologies. These modules detect and analyze questions and formulations provided by virtual assistants, automatically processing and transmitting relevant information to pharmaceutical companies and assisting in reporting to the FDA.

AI has the potential to significantly improve pharmacological safety within telehealth environments. One study showed that automated phone calls to patients after prescribing a new medication effectively identified ADR cases. Patients whose responses indicated potential issues were referred to a pharmacist for further evaluation. AI can also be used to determine which patients need

screening and when. Combined with patient portals, text messaging, and other technologies, AI plays a crucial role in enhancing the effectiveness and safety of medication therapy.

Patients are also increasingly using health information technologies such as telemonitoring, mobile applications, and wireless monitoring devices. These include disease tracking, symptom or medication logs, nutrition diaries, reminders, and communication platforms. Wearable devices and mobile health apps provide personalized analytics and monitor physiological parameters, helping patients adhere to treatment schedules. Examples include devices such as Fitbit, Apple Watch, portable insulin pumps, and pacemakers. Providers can now assess dynamic data from these devices in real time and deliver personalized care [4, 12]. Pharmaco-Intelligence refers to the integration of artificial intelligence and machine learning (AI/ML) in pharmacy practice to improve patient care and safety. As such, AI/ML components should become an integral part of pharmacy education, and professionals should be continuously educated on innovative topics. Given the rapid development of technology, the pharmacy training system must adapt to ensure the profession is prepared for these changes [13].

Artificial intelligence (AI) has emerged as a transformative force in healthcare, particularly in advancing patient safety outcomes. By streamlining clinical workflows, supporting decision-making, and reducing preventable medical errors, AI technologies have the potential to address some of the most persistent challenges in patient care. Systematic evidence highlights the diverse applications of AI in mitigating patient safety risks. According to Choudhury and Asan (2020), AI-based systems have demonstrated notable effectiveness in early detection of clinical deterioration, alerting healthcare providers to abnormal patterns in patient data and thereby facilitating timely intervention. Machine learning algorithms also contribute to minimizing diagnostic errors by enhancing the accuracy of image interpretation and supporting differential diagnosis [14]. In addition to clinical applications, AI can indirectly enhance patient safety by improving operational efficiency. AlDhaen (2025) emphasizes the mediating role of organizational workflows in translating AI interventions into tangible safety outcomes. In particular, institutions with higher levels of digital competence can better integrate AI into their practices, leading to optimized resource utilization and fewer adverse events [15].

Economic analyses further underscore the value of AI in hospital settings. Epelde (2024) outlines the cost-effectiveness of AI-driven technologies, citing their ability to reduce hospital readmissions, medication errors, and lengths of stay. These improvements not only enhance clinical outcomes but also reduce the financial burden on healthcare systems [16]. However, despite its promise, AI implementation in patient safety is not without challenges. Tighe, Mossburg, and Gale (2024) point out concerns related to algorithmic bias, lack of transparency in decision-making (the “black box” problem), and the potential for overreliance on automated systems. Addressing these challenges requires ongoing evaluation, regulatory oversight, and human-AI collaboration to ensure technology augments rather than replaces clinical judgment [17]. Artificial Intelligence (AI) is increasingly recognized for its pivotal role in enhancing patient safety, particularly by mitigating medication errors in clinical settings. These errors, which can arise from various stages of the medication use process, pose significant risks to patient health. The integration of AI technologies offers promising solutions to address these challenges effectively. One of the primary applications of AI in this domain is the

optimization of Clinical Decision Support Systems (CDSS). Traditional CDSS often generate excessive alerts, leading to alert fatigue among healthcare providers. Graafsma et al. (2024) conducted a scoping review highlighting how AI can refine these systems by reducing irrelevant alerts and enhancing the relevance of critical warnings, thereby improving clinician responsiveness and patient safety [18]. In pharmacy settings, AI has demonstrated significant potential in reducing human-related errors. Andrew (2023) emphasizes that AI-driven systems enhance the accuracy of prescription dispensing and optimize workflow processes. By automating routine tasks and providing real-time decision support, AI minimizes the likelihood of errors that can occur due to manual processes [19]. Furthermore, AI's role extends to predictive analytics, where it can forecast potential adverse drug events before they occur. Ratwani et al. (2024) discuss how AI algorithms analyze vast datasets to identify patterns and predict complications, enabling preemptive interventions that safeguard patient health [20]. Looking ahead, the integration of AI into clinical pharmacy practice is expected to expand. Wongand Wong (2025) project that AI will become integral in various aspects of pharmacy, from personalized medicine to inventory management, further enhancing the safety and efficiency of medication use [21].

Conclusion

Artificial intelligence (AI) is revolutionizing medication safety within hospital settings by significantly reducing errors and improving patient outcomes. AI-powered systems enhance prescription verification processes by cross-referencing patient data to identify potential drug interactions, allergies, and dosage discrepancies. This proactive approach minimizes the risk of adverse drug events and ensures accurate medication administration. Moreover, AI-driven tools assist healthcare professionals in monitoring patient adherence to prescribed therapies. By providing real-time alerts and personalized recommendations, these systems support timely interventions, thereby enhancing treatment efficacy and patient compliance. The integration of AI into clinical decision support systems (CDSS) has also proven beneficial. By optimizing medication alerts and reducing alert fatigue, AI ensures that healthcare providers receive relevant and actionable information, facilitating informed decision-making and improving overall patient safety. Looking ahead, the continued advancement of AI technologies holds immense potential for further enhancing medication safety. As AI systems become more sophisticated and integrated into healthcare workflows, they will play an increasingly vital role in preventing medication errors, personalizing treatment plans, and optimizing pharmaceutical care. In summary, the adoption of AI in hospital medication management is a pivotal step toward achieving higher standards of patient safety and care quality. By leveraging AI's capabilities, healthcare institutions can foster a safer, more efficient, and patient-centered approach to medication administration.

REFERENCES:

1. Raza MA, Aziz S, Noreen M, Saeed A, Anjum I, Ahmed M, Raza SM. Artificial Intelligence (AI) in Pharmacy: An Overview of Innovations. Innov Pharm. 2022 Dec 12;13(2):10.24926/iip.v13i2.4839. doi: 10.24926/iip.v13i2.4839.

2. Belagodu Sridhar, Sathvik, Mohammed Salim Karattuthodi, and Sainul Abideen Parakkal. "Role of artificial intelligence in clinical and hospital pharmacy." Application of Artificial Intelligence in Neurological Disorders. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. 229-259.

3. Tan Seng-Keong, et al. "Personalized healthcare: A comprehensive approach for symptom diagnosis and hospital recommendations using AI and location services." Journal of Informatics and Web Engineering 3.1 (2024): 117-135.

4. Chalasani SH, Syed J, Ramesh M, Patil V, Pramod Kumar TM. Artificial intelligence in the field of pharmacy practice: A literature review. Explor Res Clin Soc Pharm. 2023 Oct 21;12:100346. doi: 10.1016/j.rcsop.2023.100346.

5. Al Meslamani, Ahmad Z. "Applications of AI in pharmacy practice: a look at hospital and community settings." Journal of Medical Economics 26.1 (2023): 1081-1084.

6. Ned Milenkovich, The Rise of AI in Pharmacy Practice Presents Benefits and Challenges. Pharmacy Times. Volume 89. Issue 7. July 24, 2023

7. Shashiashvili N. (2025). Evidence-Based Pharmacy: A Scientific Approach to Safe and Effective Medication. Georgian Scientists. Vol.7 Issue 2. 27–38. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.03

8. Shashiashvili N. (2025). Artificial Intelligence in Pharmaceutical Services and the Concept of Pharmaco-Intelligence Georgian Scientists. Vol.7 Issue 2. 69–79. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.07

9. Allam H. Prescribing the Future: The Role of Artificial Intelligence in Pharmacy. *Information*. 2025; 16(2):131. https://doi.org/10.3390/info16020131

10. Abdelhafeez Ahmed, et al. "Hospital Management Leveraging AI." SciNexuses 1 (2024): 203-239.

11. Amjad Ayesha, Piotr Kordel, and Gabriela Fernandes. "A review on innovation in healthcare sector (telehealth) through artificial intelligence." Sustainability 15.8 (2023): 6655.

12. Hugh Logan Ellis, James TH Teo, The influence of AI in medicine, Medicine, Volume 52, Issue 12, 2024, Pages 811-815, ISSN 1357-3039, https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2024.09.006.

13. Hatem Najmaddin AH. "Advancing Pharmacy Practice: The Role of Intelligence-Driven Pharmacy Practice and the Emergence of Pharmacointelligence." Integrated Pharmacy Research and Practice (2024): 139-153.

14. Choudhury A., & Asan O. (2020). Role of Artificial Intelligence in Patient Safety Outcomes: Systematic Literature Review. JMIR Medical Informatics, 8(7), e18599. https://doi.org/10.2196/18599

15. AlDhaen F. S. (2025). AI-Powered Transformation of Healthcare: Enhancing Patient Safety Through AI Interventions with the Mediating Role of Operational Efficiency and Moderating Role of Digital Competence—Insights from the Gulf Cooperation Council Region. Healthcare, 13(6), 614. https://doi.org/10.3390/healthcare13060614

16. Epelde F. (2024). Revolutionizing Patient Safety: The Economic and Clinical Impact of Artificial Intelligence in Hospitals. Hospitals, 1(2), 185–194. https://doi.org/10.3390/hospitals1020015

17. Tighe P., Mossburg S., & Gale B. (2024). Artificial Intelligence and Patient Safety: Promise and Challenges. PSNet, Agency for Healthcare Research and Quality. https://psnet.ahrq.gov/perspective/artificial-intelligence-and-patient-safety-promise-and-challenges.

18. Graafsma J., Murphy R. M., van de Garde E. M. W., Karapinar-Çarkit F., Derijks H. J., Hoge R. H. L., Klopotowska J. E., & van den Bemt P. M. L. A. (2024). The use of artificial intelligence to optimize medication alerts generated by clinical decision support systems: a scoping review. Journal of the American Medical Informatics Association, 31(6), 1411–1422. https://doi.org/10.1093/jamia/ocae076

19. Andrew J. (2023). Impact of Artificial Intelligence on Reducing Medication Errors in Pharmacy Settings.

20. Ratwani R. M., Bates D. W., & Classen D. C. (2024). Patient Safety and Artificial Intelligence in Clinical Care. JAMA Health Forum, 5(2), e235514. https://doi.org/10.1001/jamahealthforum.2023.5514

21. Wong C. Y., & Wong C. M. (2025). Forecasting the impact of artificial intelligence on clinical pharmacy practice. Journal of the American College of Clinical Pharmacy, 8(1), 23-30. https://doi.org/10.1002/jac5.70004

მედიკამენტოზური უსაფრთხოების გაუმჯობესება სტაციონარულ სამედიცინო დაწესებულებში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით

ზაზა სოფრომაძე[1]-ასოცირებული პროფესორი,

ნანა შაშიაშვილი[1] - ასოცირებული პროფესორი

ბესარიონ სიმონიშვილი - საჯარო მმართველობის დოქტორი

[1]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი

ხელოვნური ინტელექტი (AI) სულ უფრო მეტად იკავებს წამყვან ადგილს მედიკამენტების მართვის პროცესების ტრანსფორმაციაში. მისი ინტეგრაცია მოიცავს არა მხოლოდ მედიკამენტების შესყიდვას, შენახვასა და განაწილებას, არამედ პაციენტზე ორიენტირებულ მკურნალობასა და უსაფრთხოების გაუმჯობესებულ ზომებს. AI-ის გამოყენება მნიშვნელოვნად ზრდის ოპერაციულ ეფექტიანობას და ამცირებს მედიკამენტური შეცდომებისა და არასასურველი რეაქციების რისკს. მისი მეშვეობით შესაძლებელია გასული პერიოდის მონაცემების, სეზონური ტენდენციებისა და პაციენტთა ნაკადების ანალიზი, რაც ხელს უწყობს საჭიროებების ზუსტ პროგნოზირებას, მოთხოვნების ოპტიმიზაციასა და დეფიციტის ან ზედმეტი მარაგის თავიდან აცილებას. AI-ით მხარდაჭერილი ავტომატიზებული განაწილების ,,კაბინეტები“ უზრუნველყოფენ ფარმაცევტული პროდუქტების სწრაფ და ზუსტ დაყოფას ინდივიდუალურ სამკურნალო გეგმებთან შესაბამისობით, რითაც უმჯობესდება მარაგების კონტროლი და მცირდება ადამიანური შეცდომების ალბათობა. ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებული კლინიკური გადაწყვეტილების მხარდაჭერის სისტემები ჯანდაცვის პროფესიონალებსა და ფარმაცევტებს აწვდის ინფორმაციას წამლების პოტენციური ურთიერთქმედებების, ალერგიული რეაქციებისა და არასწორი დოზირების შესახებ, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია პოლიფარმაციის დროს. AI-ის კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ფუნქციაა პაციენტთა მედიკამენტური თერაპიისადმი დამყოლობის მონიტორინგი, რაც დროული ჩარევის საშუალებას იძლევა მკურნალობის სქემის დარღვევის შემთხვევებში. ინოვაციური ტექნოლოგიები აქტიურად გამოიყენება ფარმაცევტული ლოგისტიკის სხვადასხვა ეტაპზე, მათ შორის შენახვის პირობების კონტროლის, ტრანსპორტირებისა და მედიკამენტების პარტიების მიკვლევადობის პროცესში, რაც ზრდის მომარაგების ჯაჭვის გამჭვირვალობას და აძლიერებს ხარისხის კონტროლს. AI-ის დანერგვა ჰოსპიტალურ სექტორში მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს მედიკამენტების მართვის პროცესებს, ზრდის პაციენტთა უსაფრთხოებას და ოპტიმიზაციას უწევს რესურსების განაწილებას. თუმცა, მისი ეფექტიანი დანერგვისთვის აუცილებელია შესაბამისი ინფრასტრუქტურის მობილიზება, სამედიცინო პერსონალის გადამზადება და ეთიკური სტანდარტების მკაცრი დაცვა.

საკვანძო სიტყვები: ხელოვნური ინტელექტი, სამკურნალო საშუალება, ფარმაკოინტელექტი, მედიკამენტური უსაფრთხოება

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.42



Linear Dependence of Pressure on Volume in Some Ideal Gas Problems

Zaza Mardaleishvili,

PHD, Akaki Tsereteli State University, Faculty of Tecnical Engineering, Department of Energy and Telecommunication, Akhalgazrdoba Av.№ 98, Kutaisi, Georgia, e-mail;
zaza.mardaleishvili@atsu.edu.ge

Abstract

The issues of changing the amount of heat and changing the molar heat capacity in problems of nonmonotonic thermodynamics are considered. Dependence of the ideal gas pressure on volume in the form of a linear function. With a negative slope. The gas molar heat capacity.

Keywords: Nonmonotonic Thermodynamics, heat, molar heat capacity

Problem situation: One mole of a monoatomic ideal gas has expanded in the process 1 → 2, in which the gas pressure depends linearly on its volume, as shown in Figure 1.

1) What is the total amount of heat absorbed by the gas in the process 1 → 2?
2) What amount of heat was transferred to the gas and the quantity of heat given off by the gas in the process 1 → 2?
3) Investigate the dependence of a gas's molar heat capacity on the volume of gas.

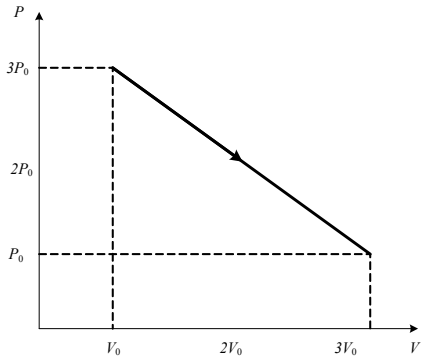


Fig. 1

The solution of the problem:

1) The first question is easy to answer: it suffices to use the first law of thermodynamics

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12},$$

where Q_{12} is a total amount of heat absorbed by the gas.

The change of the internal energy of the gas is equal to zero.

$$\Delta U_{12} = U_2 - U_1 = \frac{3}{2}\nu R T_2 - \frac{3}{2}\nu R T_1 = 0$$

Work done by the gas is equal to the area of a figure limited by the graph with a "+" sign:

$$A_{12} = S_{\text{ტრაპ.}} = \frac{1}{2}(P_0 + 3P_0)(3V_0 - V_0) = 4P_0V_0 \quad Q_{12}=4P_0V_0$$

2) Let us determine the equation of a straight line of the process 1-2 given on the graph: i.e. the relationship between the pressure and volume of gas.

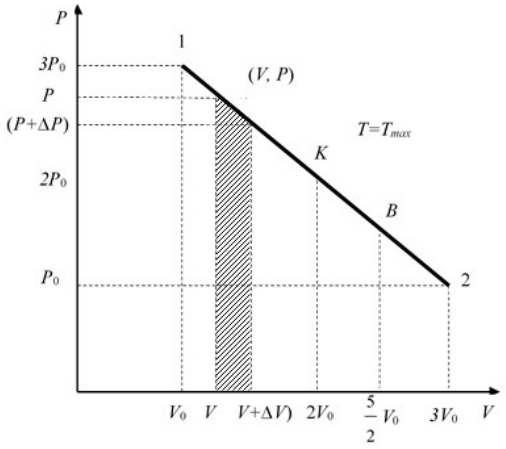


Fig. 2

The equation of a straight line can be determined in different ways:

We obtain $P = P(V) = \frac{-P_0}{V_0}V + 4P_0$, (1)

Determine how the gas temperature changes during the process 1-2, as a result of volume changes:

That is, determine the dependence $T=T(V)$.

According to the Mendeleev-Clapeyron equation:

Let us substitute $PV=\nu RT$, to the $P=P(V)$ expression

$$T = \frac{PV}{\nu R} = \frac{V}{\nu R}\left(-\frac{P_0}{V_0}V + 4P_0\right)$$

$$T = T(V) = \frac{-P_0}{\nu R V_0}V^2 + \frac{4P_0}{\nu R}V, \qquad (2)$$

The relationship between the absolute temperature and volume of the monoatomic gas has the form of a quadratic function.

We obtained that for $V=2V_0$, the gas temperature reaches its maximum value: by inserting this value into the equation (2), we shall obtain:

$$T_{\max} = \frac{4P_0V_0}{\nu R}$$

By the extremum condition:

$$\frac{dT}{dV} = 0$$

$$\frac{d}{dV}\left(-\frac{P_0}{\nu R V_0}\times V^2 + \frac{4P_0}{\nu R}\times V\right) = 0$$

$$-\frac{P_0}{\nu R V_0}\times 2V + \frac{4P_0}{\nu R} = 0 \quad \Rightarrow \quad V = 2V_0$$

$$\frac{d^2T}{dV^2}. = \frac{d}{dV}\left(\frac{-P_0}{\nu R V_0}\times 2V\right) = \frac{-P_0}{\nu R V_0}\times 2 < 0$$

That is, $T = T(V)$ is a function at a point

$$V = 2V_0.$$

It reaches a maximum: $T_{\max} = \frac{4P_0V_0}{\nu R}$

Select a point on the graph whose coordinates are (V;P). Consider an infinitesimal process from that point (Fig. 2), that is, let us increase the volume by ΔV ($V+\Delta V$): pressure will take on the value of ($P+\Delta P$), while the temperature will take on the value of ($T+\Delta T$). Let us determine how much heat was absorbed of given off by the gas in this infinitesimal process:

For this process:

$$\delta Q = dU + \delta A$$

The difference in designations of small quantities (δQ, dU, δA) reflects their different mathematical meanings.

The dU quantity is a differential of state function of the internal energy of this system: it is known that it is the so-called total differential, it can be written as the sum of the partial differentials. For example, if the volume and temperature change by the values of dV and dT, then the change of the internal energy can be written as follows:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \times dU + \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \times dT$$

Work and the amount of heat are not the state functions. These quantities are functions of the process, so their small increments cannot be considered to be the differentials.

If the changes in the volume and temperature are dV are dT respectively, then we still don't know what δQ and δA vary. As a result of the analysis of the process, we will obtain different quantities: if the volume changes first and then the temperature or vice versa, the temperature first and then the volume. None of the obtained values will match the results of a process where volume and temperature change simultaneously. It should be noted that only the internal energy will change in the same way in all three cases. That is what was about the designations.

For simplicity, let us use Δ designations:

$$\delta Q = \Delta U + A$$

Since the process is infinitesimal, we can assume that $p=const$ and A=pΔv
The work done by the gas will be equal to the area of the dashed figure in Figure 2:

$$A = \frac{1}{2}(P+P+\Delta P) \times \Delta V = \frac{1}{2}(2P+\Delta P)\,\Delta V$$

The product of $\Delta P \times \Delta V \to 0$, thus $A = P \times \Delta V$
As for the change of the internal energy of the gas:

$$U = \frac{3}{2}\gamma R = \frac{\frac{3}{2}PV}{2PV} \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}\Delta(PV)$$

$$\Delta(PV) = PV + \Delta PV + P\Delta V + \Delta P\Delta V - PV$$

We should take into account that $\Delta P \cdot \Delta V \to 0$, we shall obtain

$$\Delta(PV) = P\Delta V + V\Delta P$$

The resulting expression is valid if

$$\frac{\Delta P}{P} << 1,\ \frac{\Delta V}{V} << 1$$

To calculate the amount of heat of the infinitesimal process δQ, we shall obtain the following expression:

$$\delta Q = \frac{3}{2}\Delta(PV) + P\Delta V$$

$$\delta Q = \frac{5}{2} P\Delta V + \frac{3}{2} P\Delta V \qquad (3)$$

Let us determine ΔP:

$$\begin{cases} P + \Delta P = P_0\left(4 - \dfrac{V + \Delta V}{V_0}\right) \\ P = P_0\left(4 - \dfrac{V}{V_0}\right) \end{cases}$$

$$P = P_0\left(4 - \frac{V}{V_0}\right) + \Delta P = P_0\left(4 - \frac{V}{V_0} - \frac{\Delta V}{V_0}\right)$$

$$\Delta P = -\frac{P_0}{V_0} \cdot \Delta V$$

Going in an alternative way:

$$P'(V)\frac{\Delta P}{\Delta V} \quad \Rightarrow \quad \Delta P = P'(V)\Delta V = -\frac{P_0}{V_0}\Delta V$$

By inserting into the expression (3), we shall obtain:

$$\delta Q = 2P_0\left(5 - \frac{2V}{V_0}\right)\Delta V$$

We obtain the dependence of the function of a small portion of the amount of heat on the values of ΔV and V in the considered infinitesimal process. ΔV>0, P0>0 - for all infinitesimal processes.

Let us determine all the values of the volume V for which $\delta Q>0$ (heat is transferred to the gas).

$$\delta Q>0, \text{ if } (5 - \frac{2V}{V0}) > 0 \Rightarrow \nu < 2{,}5\nu_0$$

That is, there is a certain point B at which:

$$V_B=2{,}5\ V_0 \text{ და } P_B=1{,}5\ P_0$$

From the point to the point B, heat is transferred to the gas, that is from the volume V_0 to the volume 2,5 V_0, the gas absorbs energy:

$$V_0 < V < 2{,}5\ V_0$$

The gas absorbs energy in amount of $Q_{1B} > O$.

As we have seen above, the gas reaches its maximum temperature at the point $V=2V_0$. That is, from this point to point B, the gas still absorbs heat, but the temperature is already decreasing.

Find the V-volume values for which $\delta Q<0$, that is, the gas gives off heat.

$$\left(5 - \frac{2V}{V_0}\right) < 0 \quad \Rightarrow \quad V > 2{,}5V_0$$

That is, in the process $B \to 2$, the gas gives off heat, or in the process $1-B$, the gas absorbs heat in the amount of Q_{1B}, while in the process B-2, the gas gave off Q_{B2}.

$Q_{1B} = \frac{9}{2} P_0 V_0$ - the amount of heat transferred to the gas.

$$Q_{B2} = -\frac{9}{8} P_0 V_0 + \frac{5}{8} P_0 V_0 = -\frac{1}{2} P_0 V_0$$

$Q_{B2} = \frac{1}{2} P_0 V_0$ - the given off amount of heat.

The algebraic sum of these two quantities is precisely Q_{12} - the amount of heat that we obtained as an answer to the first question.

3) Let us investigate how the molar heat capacity of the gas changes during the process 1-2.

Let us consider the infinitesimal processes in the vicinity of which the molar heat capacity C is not changed:

$$C = C(V) = \frac{\delta Q}{\gamma \Delta T} = \frac{2P_0(5 - \frac{2V}{V0})\Delta V}{\gamma \Delta T}$$

According to the explanation:

$$T'(V) = \frac{\Delta T}{\Delta V} \quad \Rightarrow \quad \Delta T = T'(V)\Delta V$$

$$\Delta T) = \left(-\frac{P_0}{\gamma R V_0} 2V + \frac{4P_0}{\gamma R} \right) \Delta V \; C = C(V) = \frac{2P_0 \left(5 - \frac{2V}{V_0} \right) \Delta V}{\gamma \left(-\frac{P_0}{\gamma R V_0} 2V + \frac{4P_0}{\gamma R} \right) \Delta V}$$

$$C = C(V) = \frac{5 - \frac{2V}{V_0} \Delta V}{2 - \frac{V}{V_0}} \times R \qquad (4)$$

We have obtained the graphical depiction of the relationship between the molar heat capacity and volume.

At point 1 of the graph:

$C(1) = C(V_0) = 3R > 0$

At point 2 of the graph:

$$C(2) = C(3V_0) = \frac{5-6}{2-3}R = R > 0$$

The molar heat capacity is zero at point B is equal to zero at point B.

$$C(B) = C\frac{5}{2}V_0 = 0$$

$2V_0$ – the heat capacity at point K is infinity

$C(2V_0) = \infty$

Let us build $C = C(V)$ – the graph of the function.

The molar heat capacity changes its sign twice.

$V_0 \le V < 2V_0$, $C>0$; $C>0$; $\Delta T>0$: $\delta Q = C\gamma\Delta T > 0$

- $2V_0 < V < \frac{5}{2}V_0$, $C<0$; $\Delta T<0$; $\delta Q = C\gamma\Delta T > 0$
- $\frac{5}{2}V_0 < V \le 3V_0$; $C>0$; $\Delta T<0$; $\delta Q = C\gamma\Delta T < 0$

Let us consider the problem that describes a real physical device where the process described above can be implemented.

Problem situation: The lower end of a small diameter vertical pipe is soldered. The length of the tube is 2 L. The upper end of the tube is open. In the lower part of the tube, there is an ideal gas at T_0-temperature, the upper part of the tube is filled with mercury.

1) Determine the equation of dependence of the gas pressure on the volume.

2) Determine the maximum temperature in the process of expelling mercury by gas.

3) Determine the amount of heat absorbed by the gas, which is required to completely expel the mercury.

An ideal gas (γ = 1 mole) is monoatomic, the section area of the pipe rate is S. Atmospheric pressure

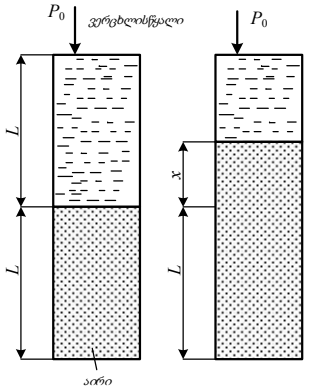


Fig. 4

The solution of the problem:

Afer the gas is expanded, denote the mole length by X, which is occupied by the gas. In this case, the gas pressure is determined the sum of the pressures generated on the gas by the external

atmospheric pressure and the fluid: $P_0=PgL$ - where P is the density of mercury. The heat pressure is conditioned by the height of pressure ($L-X$).

Then, according to Pascal's law, the gas pressure will be equal to:

$P=\rho g(2L-X)$

The gas volume: $V=S(L+X)$

$$x=\frac{v}{s}-L=\frac{v}{V_0}L-L$$

We should take into account that $SL=V_0$ – is the initial volume of the gas.

We shall obtain:

$$P=2\rho g L-\rho g x=2P_0-\rho g\left(\frac{V}{S}-L\right)$$

$$P=2P_0-\rho g\frac{V}{S}+\rho gL$$

$$P=-\frac{P_0}{V_0}+3P0$$

The form of the equation coincides with the expression we obtained for the general case: The maximum temperature is reached in the process for the value of $V=\frac{3V_0}{2}$. Using the above resulting expression $T=T(V)$ and taking into account the data of this problem, we shall obtain:

$$T_{\max}=\frac{9PoVo}{4\nu R}$$

$T_{\max}=\frac{9To}{8}$; while $Q=\frac{49}{32}PoVo$

References:

1.Statistial Thermodynamics. Dmitry Garanin Thermodynamics, 2021. https://ww.lehman.edu/faculty/dgaranin/Statistical_Thermodynamics/Thermodynamics.pdf

2.Properties of gases ai Shaoxian, Wen Shizhu, in Gas Thermohydrodynamic Lubrication and Seals, 2019. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/molar-heat-capacity

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.43



Biologically Active Polyethylene Glycol-Based Multiple-Catechol-Containing Biopolymer Poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] from Different Medicinal Plants of Boraginaceae Family

Vakhtang Barbakadze [1, *], Maia Merlani [1], Lali Gogilashvili [1], Lela Amiranashvili [1], Karen Mulkijanyan [2]

V.B. – Research Scientist, v.barbakadze@tsmu.edu, tel. 595 53 15 09
M.M.– Head of the Department, Principal Research Scientist, m.merlani@tsmu.edu, tel. 599 761 117
L.G. – Senior Research Scientist, l.gogilashvili@tsmu.edu, tel. 599 347 042
L.A. – Senior Research Scientist, l.amiranashvili@tsmu.edu, tel. 577 723 144
K.M. – Head of the Department, Principal Research Scientist. k.mulkijanyani@tsmu.edu, 555 235 829
[1]Department of Plant Biopolymers and Chemical Modification of Natural Compounds, Tbilisi State Medical University, I.Kutateladze Institute of Pharmacochemistry, Tbilisi 0159, Georgia
[2]Department of Preclinical Pharmacological Research, Tbilisi State Medical University, I.Kutateladze Institute of Pharmacochemistry, Tbilisi 0159, Georgia
*Correspondence v.barbakadze@tsmu.edu

Abstract

High molecular weight (>1000 kDa or >500 kDa) water-soluble preparations (HMPs) from *Symphytum asperum, S. caucasicum, S. officinale, S. grandiflorum, Anchusa italica, Cynoglossum officinale, Borago officinalis,* and *Paracynoglossum imeretinum* (Boraginaceae) were obtained. The main chemical constituent of these HMPs is the first and only representative of a previously unreported class of natural polyethers — a novel poly[oxy-1-carboxy-2-(3,4-dihydroxyphenyl)ethylene], also known as poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] (P-DGA). The structure elucidation of P-DGA was performed using data from various nuclear magnetic resonance (NMR) techniques, including liquid-state ^{1}H, ^{13}C NMR, two-dimensional (2D) homonuclear gCOSY, two-dimensional (2D) heteronuclear $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED, two-dimensional (2D) DOSY (Diffusion-ordered spectroscopy), and solid-state ^{13}C NMR spectra. The polyoxyethylene (polyethylene glycol) (PEG) chain serves as the backbone of this biopolymer, with a residue of 3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid functioning as the repeating unit. The 3,4-dihydroxyphenyl (catechol) and carboxyl groups consistently substitute for two carbon atoms in the PEG backbone chain. Hence, P-DGA represents a unique class of natural polyethers. Each repeating trifunctional structural unit of P-DGA contains two phenolic hydroxyl groups in the ortho position and one carboxyl group. The multifunctionality of P-DGA likely explains its wide spectrum of biological activities, including anti-complementary, antioxidant, anti-inflammatory, burn and wound healing, antimicrobial, and anti-cancer properties.

Keywords: natural polyethers; poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid]; Boraginaceae; catechol; polyethylene glycol.

1. Introduction

Herbs can be seen as biosynthetic chemical laboratories that produce numerous chemical compounds. Chemicals with medicinal benefits are known as “active ingredients” or “active principles.” Plant-derived products, also referred to as herbal or phytotherapeutic products, demonstrate a broad therapeutic spectrum. The bioactive constituents of herbal products, such as alkaloids, flavonoids, terpenes, and polyphenols, can interact with biological systems, leading to the discovery of novel drugs that provide therapeutic benefits [1-4]. Plants used in traditional medicine have endured the test of time. Medicinal plant extracts can contain hundreds or thousands of bioactive compounds in varying abundances, making it a significant challenge to identify the compounds responsible for specific biological activities [5].

Phytochemicals are categorized into primary and secondary metabolites based on their roles in plant metabolism. Primary metabolites essential for plant survival include carbohydrates, amino acids, proteins, lipids, purines, and pyrimidines found in nucleic acids. In contrast, secondary metabolites consist of other chemical compounds produced from metabolic pathways that diverge from the primary metabolic routes [6]. A wide variety of secondary metabolites intrigues scientists, particularly due to their unique pharmacophores and medicinal properties.

Polymers of natural origin are known as “biopolymers”—macromolecules typically produced by living systems, including plants, animals, and microorganisms. In recent years, there has been a growing trend toward the use of more biopolymers in the development of various food and medical products [7, 8]. Compared to synthetic polymers, biopolymers offer several advantages, such as biocompatibility, biodegradability, abundant renewable sources, and the ability to metabolize in the human body without releasing toxic or harmful products [8, 9]. The United States Food and Drug Administration (US FDA) has approved many biopolymer-based products. Biopolymers are made up of repeating units of monomers, such as sugars, amino acids, or fermentative products like aliphatic polyesters. These biopolymers may possess different functional groups: hydroxyl, amino, amide, carboxyl, phosphate, and phenolic, which impart various biological activities. Biopolymers are generally classified into three groups: polysaccharides, proteins, and polynucleotides [7, 8].

Another significant group of plant-derived compounds is phenolics, which provide numerous beneficial effects on human health due to their antioxidant, anti-inflammatory, antithrombotic, antiallergenic, anticancer, antifungal, antimicrobial, and antiatherosclerosis properties [10]. Phenolic compounds are widespread secondary metabolites produced in plants through the shikimate, pentose phosphate, and phenylpropanoid pathways [10, 11]. They consist of hydroxybenzenes that contain an aromatic ring with one or more hydroxyl substituents. These compounds can be divided into two main groups: simple phenols and polyphenols, based on the number of phenol units in their structure [10-12]. The antioxidant activity, the most notable property of phenolic compounds, relates to their structure, specifically the number and position of hydroxyl groups in relation to carboxyl groups [10]. Various mechanisms have been described regarding the effects of phenolic compounds on health: they

reduce the expression of inflammatory factors, increase brain-derived neurotrophic factor expression, modulate the gut microbiota, decrease cancer cell proliferation, and enhance apoptosis induction [10, 12]. Plant phenols range from simple phenolic molecules to highly polymerized compounds. Phenolic phytochemicals are also classified into two main categories: (i) water-soluble (e.g., phenolic acids, hydrolyzable tannins (ellagitannin), phenylpropanoids, flavonoids, and quinones) and (ii) water-insoluble (e.g., condensed tannins, lignins, and cell wall-bound hydroxycinnamic acids) [12]. The covalent conjugation of phenolics with other biomolecules (proteins, polysaccharides, fatty acids, etc.) and electrostatic interactions with metal ions (silver, gold, iron, zinc, etc.) enhance their functionality and applications [12].

Among a wide variety of phenolics, catechol (*ortho*-dihydroxybenzene) derivatives and their corresponding *ortho*-quinones represent an important class that is widespread in many living organisms, including mussels, sandcastle worms, geckos, insects, and squids. They play a crucial role in numerous biological processes and functions. Due to their unique chemical and physico-chemical properties, the remarkable biological activity of catechols encourages scientists to develop countless advanced multifunctional materials with outstanding and fascinating properties through the synergistic combination of catechols and polymers [13].

Among the catechol-containing natural products that have attracted considerable attention for their diverse biological activities and low toxicity are hydroxycinnamic acid derivatives, such as caffeic acid [14].

The Boraginaceae family includes approximately 2000 species worldwide, mainly in Europe and Asia. The therapeutic effects of these plants are attributed to the presence of various biologically active compounds, such as naphthoquinones, flavonoids, terpenoids, and phenols, which display antimicrobial, antitumor, antiviral, anti-inflammatory, cardiotonic, contraceptive, and antiplatelet activities. However, these plants are also high in hepatotoxic pyrrolizidine alkaloids, which significantly restrict their use. Nevertheless, applying Boraginaceae plants as a poultice for wounds remains acceptable. Despite the beneficial qualities of Boraginaceae plants, their medical application is still controversial [15-17].

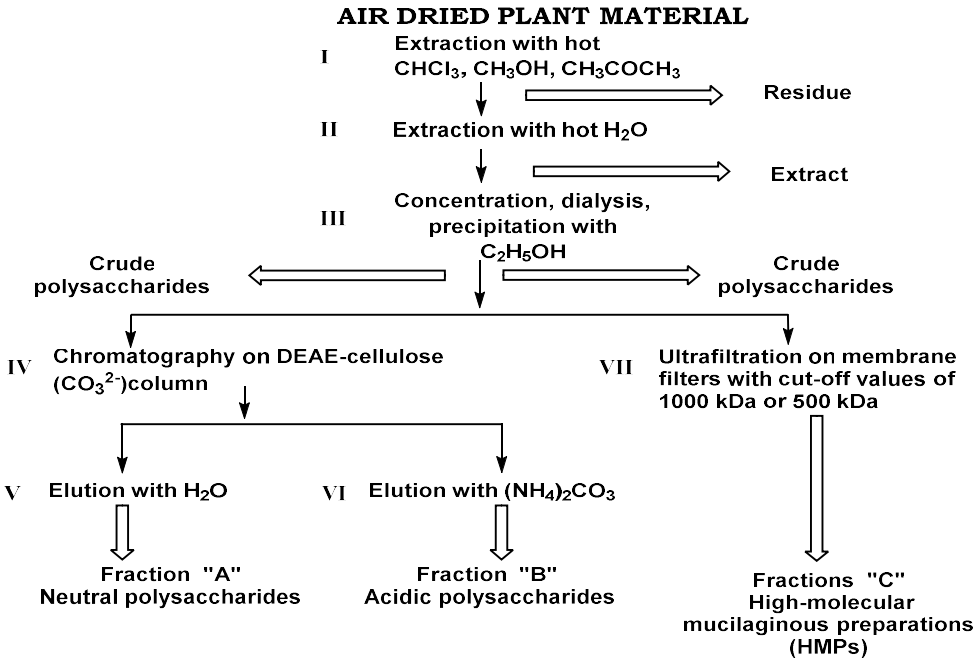
Ether bonds are found in a wide variety of natural products, mainly secondary metabolites, including lipids, oxiranes, terpenoids, flavonoids, polyketides, and carbohydrate derivatives or aromatic polymers such as lignin [18]. In the latter case, peroxidases initiate the radical coupling of monolignols to lignin, yielding ether links between two aromatic rings or between an aromatic ring and an aliphatic moiety [19]. However, reports concerning biopolymers containing aliphatic ethers as repeating units are sparse. Within the field of pharmacologically active biopolymers, the area of stable natural polyethers seems relatively new and rather attractive.

This review aims to consolidate knowledge about the isolation, fractionation, detection, and structural elucidation of the first representative of a unique class of natural polyethers, which exhibits a broad spectrum of biological activity. This activity originates from the routine assessment results of the anticomplementary and antioxidant activities of crude polysaccharides isolated from *S. aspeum* and *S. caucasicum*.

2. Materials and Methods

2.1. Bioactivity-guided Isolation of the Main Chemical Constituent of Water-soluble High-molecular Preparations (HMPs) from Various Genera and Species of the Boraginaceae Family

Medicinal plants, including *Symphytum asperum* (SA), *S. caucasicum* (SC), *S. officinale* (SO), *S. grandiflorum* (SG), *Anchusa italica* (AI), *Cynoglossum officinale* (CO), *Borago officinalis* (BO), and *Paracynoglossum imeretinum* (PI) (Boraginaceae), are widely distributed across the Caucasus, particularly in Georgia. The raw plant materials — roots or stems — were cut into small pieces, air-dried, and ground. Lipids, pigments, and low-molecular-weight compounds (monosaccharides, phenolics, etc.) were extracted using Soxhlet extraction with chloroform, methanol, and acetone. The hot-water extraction of the pretreated materials was followed by dialysis, resulting in crude water-soluble polysaccharides with immunomodulatory activity, including anticomplementary and antioxidant activities [20]. A general strategy involving the fractionation of bioactive crude water-soluble polysaccharides and the isolation of active principles was used to identify new or novel compounds responsible for that activity, utilizing both i) bioactivity-guided and ii) structure-directing isolation [21]. Consequently, the fractionation of crude polysaccharides was carried out using molecular mass-based ultrafiltration (UF) under a nitrogen pressure of 3 atmospheres in a stirred ultrafiltration cell. Various membranes with cut-off values of 10 kDa, 100 kDa, 500 kDa, and 1000 kDa were employed. During the UF process, the fractionation was monitored by evaluating anticomplementary and antioxidant activities and measuring total sugars and UV absorption at 286 nm in both the solutions and effluents. Fractions containing molecules with relative molecular masses (Mr) above 1000 kDa or 500 kDa exhibited higher anticomplementary and antioxidant activities than crude polysaccharides. These active fractions had low carbohydrate content and showed strong UV absorption at 286 nm, unlike high carbohydrate content fractions below 500 kDa, which exhibited neither anticomplementary nor antioxidant activity. Thus, the removal of most ballast bio-inactive polysaccharides and the acquisition of water-soluble high-molecular-weight preparations (**HMPs**) greater than 1000 or 500 kDa has been facilitated by UF (**Scheme 1, fraction "C"**) [20, 22]. In addition, the UF enabled the complete removal of hepatotoxic and carcinogenic pyrrolizidine alkaloids with an average weight of 340 Da, characteristic of Boraginaceae family species [23].



Scheme 1. Isolation of **HMPs** from **SA, SC, SO, SG, AI, CO, BO,** and **PI**.

Fractions "A" and **"B"** represent neutral glucofructan and pectin-type acidic arabinogalactan, respectively [24].

HMPs with a low carbohydrate concentration (approx. 20%) and strong UV absorption at 286 nm displayed significant anti-complementary activity and antioxidant properties. However, sugars do not absorb light in the typical UV range due to their lack of chromophores. The monosaccharide composition of **HMPs** notably differed from that of the initial crude polysaccharide extracts. **HMPs** included rhamnose, arabinose, mannose, glucose, galactose, uronic acids, and minimal amounts of fructose. Subsequently, **HMPs** underwent gel chromatography on a Sepharose 2B column. Equal volumes of eluents were examined for the inhibition of human complement activity, total sugar content, and UV absorption at 286 nm. The elution profile showed anti-complementary activity that coincided with a UV absorption pattern at 286 nm but did not correspond with the carbohydrate elution.

To characterize an immunomodulatory component of **HMPs**, it was treated with skin powder. The modulatory effect on human complement significantly decreased, while also reducing absorption in the UV range. The absorption of active substances by skin powder, along with the UV spectrum of these compounds, exhibited an absorption maximum at 286 nm, attributable to phenolic substances, which suggested the presence of a phenolic moiety in the structure of the active compounds. Based on this data, we hypothesized that the isolated bioactive compounds are phenolic polymers, and their presence in crude polysaccharides can be explained by their similar hydrophilicity [20].

2.2. The Elucidation of the Structure of the Main Chemical Constituent of HMPs from Various Genera and Species within the Boraginaceae Family

The elucidation of the structure of a main chemical constituent of **HMPs** from **SA, SC, SO, SG, AI, CO, BO,** and **PI** was based on data obtained from UV, IR, and various NMR spectroscopy techniques in both liquid and solid states (**Figs. 1-14**, **Tables 1-5**).

The absorption maxima observed in the UV spectrum of **HMPs** from **SA, SC, SO, SG, AI, CO, BO,** and **PI** were found at 212 nm, 236 nm (shoulder), 282 nm (shoulder), and 286 nm (H_2O, λmax, nm), which can be attributed to substituted phenols. Typically, catechol exhibits an absorbance peak of around 270–290 nm [25].

The IR spectra of **HMPs** from **SA, SC, SO, SG, AI, CO, BO,** and **PI** were recorded using KBr (KBr, υ, cm^{-1}). They exhibited bands at 3425 (OH), 2924 (CH), 1605 (ionized carboxyl), 1512 and 1443 (aromatic C=C), 1404 and 1219 (phenols), 1265, 1080, and 1018 (R-O-R'), 872 (C-H in the aromatic ring with one isolated hydrogen atom), and 818 cm^{-1} (C-H in the aromatic ring with two neighboring hydrogen atoms) [26]. The spectrum contains absorption bands characteristic of phenol-carboxylic acids.

The elucidation of the main chemical constituents of **HMPs** from **SA, SC, SO, CO, PI** (**Figs. 1-6 and 8, Tables 1-3**) [27-33] and **SG, AI, BO** (**Figures 9-14, Tables 4 and 5**) [34-36] was performed at 80 °C using various techniques in liquid-state and solid-state NMR spectroscopy.

According to the data from the liquid-state ^{13}C NMR spectrum (**Figure 1**) of **HMPs** derived from **SA, SC, SO, CO,** and **PI**, nine distinct signals corresponding to the carbon atoms of the substituted phenylpropionic acid fragment are observed (**Figure 4**). Interestingly, the signals from the carbohydrate components are nearly unobservable in the HMP spectra (**Figure 1**), likely due to their diverse monosaccharide composition, which includes rhamnose, arabinose, mannose, glucose, galactose, uronic acids, and only trace amounts of fructose. The broadened signal at 175.4 ppm is assigned to the carboxyl group in the compound.

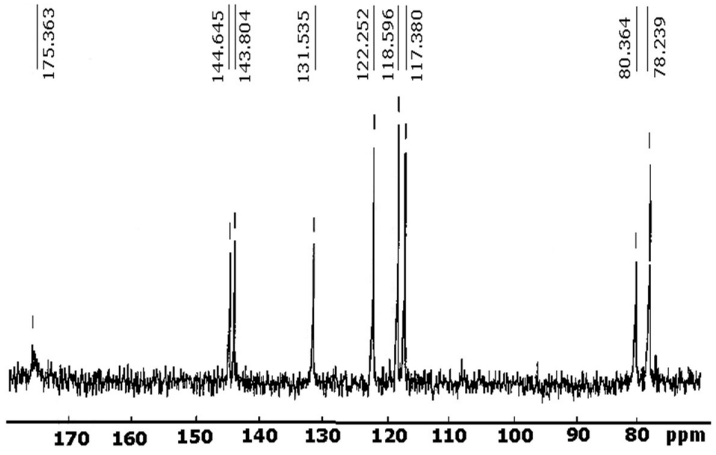


Figure 1. The ^{13}C NMR spectrum of **HMPs** from **SA, SC, SO, CO,** and **PI** at 80 °C.

The attached proton test (APT) technique [37] revealed (**Figure 2**) that five signals are assigned to CH groups and four signals to the non-protonated carbon atoms. The two signals with chemical

shifts of 78.2 and 80.4 ppm correspond to oxygen-bound protonated aliphatic carbon atoms. Six signals were assigned to aromatic carbon atoms (protonated atoms at 117.4, 118.6, and 122.3 ppm and non-protonated atoms at 131.5, 143.8, and 144.7 ppm) (**Figure 2**) [27-29].

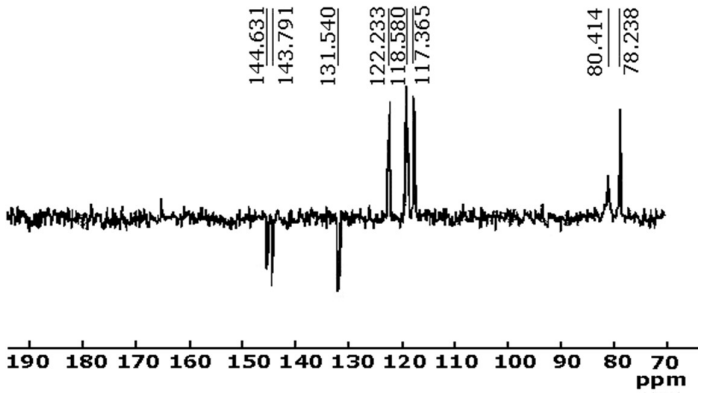


Figure 2. The proton attachment test (APT) spectrum of **HMPs** from **SA, SC, SO, CO,** and **PI** at 80 °C.

The ^{1}H NMR spectrum of **HMPs** from **SA, SC, SO, CO,** and **PI** displays four signals at 4.9, 5.3, 7.1, and 7.2 ppm, with one of these (7.1 ppm) showing double the intensity (**Figure 3**). Unfortunately, the spin-spin coupling constants could not be determined due to the broadening of these signals.

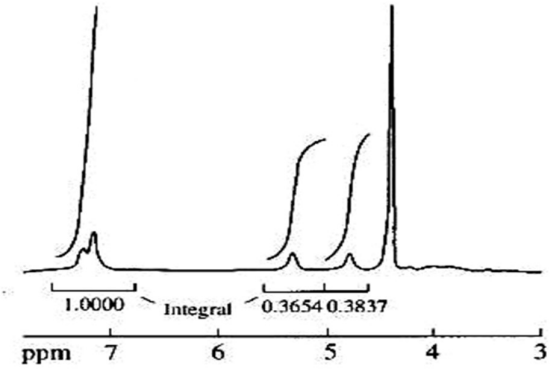


Figure 3. The ^{1}H NMR spectrum of **HMPs** from **SA, SC, SO, CO,** and **PI** at 80 °C.

The simulated ^{13}C NMR spectrum was calculated using the ACD/CNMR Version 1.1 program (Advanced Chemistry Development Inc., Canada) (**Table 1, Figure 4**) [38-40].

Table 1. Chemical shifts of resonances in the ^{13}C NMR spectrum of **HMPs** from **SA** and **SC**.

Experimental	175.4	144.6	143.8	131.5	122.3	118.6	117.4	80.4	78.2
Calculated*	175.1	145.5	145.1	128.8	118.3	115.7	114.4	82.9	77.2

* Calculated values for the 3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid residue of the corresponding polyether are provided for comparison.

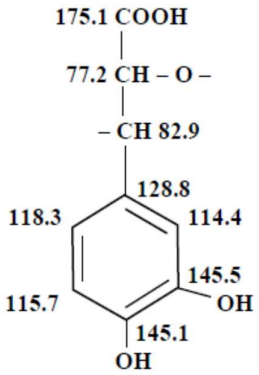


Figure 4. A hypothetical representation of the repeating unit of the biopolymer derived from **SA** and **SC**, which includes the 3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid residue.

The two-dimensional (2D) heteronuclear $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED spectrum reveals the following correlations between protons and carbon atoms at 4.9/80.4, 5.3/78.2, 7.1/118.6, 7.1/122.3, and 7.2/117.4 ppm (**Figure 5, Table 2**).

The hydroxyl groups at positions 3 and 4 of the phenyl ring were confirmed by the 1D-NOE experiment conducted in a different mode. Pre-irradiation of the aliphatic proton at position 1 (**Figures 5, 6,** and **Table 2**), with a chemical shift of 5.3 ppm, provided a NOE for two aromatic protons with chemical shifts of 7.1 (3%) and 7.2 (1%) ppm. Therefore, both *ortho*-positions in the dihydroxyphenyl ring were occupied by protons. The differing NOE values for these two protons, along with their distinct chemical shifts in the ^{1}H NMR spectrum and the varying positions of resonances of the corresponding carbons in the ^{13}C NMR spectrum, ruled out the possibility of symmetrical bis-meta-substitution of the aromatic ring by two hydroxy groups [27-29].

Based on the data about signal assignments for ^{13}C and ^{1}H NMR spectra (**Figures 1-4, Table 2**), the correlations observed in the 2D heteronuclear $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED (**Figure 5, Table 2**), and in the 2D homonuclear gCOSY (**Figure 6**), the main chemical component of **HMPs** derived from the roots and stems of **SA, SC, SO, CO,** and **PI** is poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] (**P-DGA**) (**Figure 7A-B**). Consequently, **P-DGA** represents a unique class of multiple-catechol-containing natural polyethers, specifically, poly[oxy-1-carboxy-2-(3,4-dihydroxyphenyl)ethylene], which is also recognized as a caffeic acid-derived biopolymer.

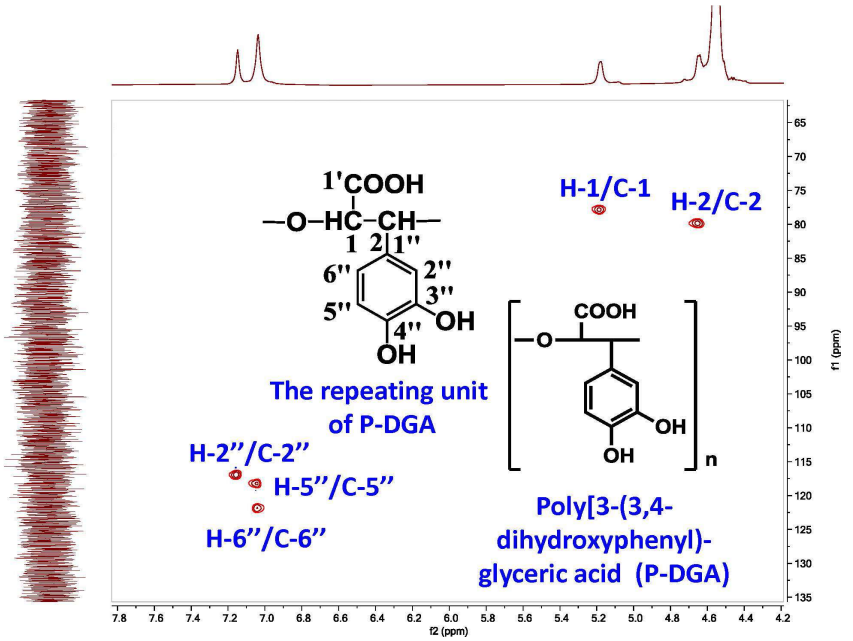


Figure 5. Correlations and assignments of the ^{1}H and ^{13}C signals in the 2D heteronuclear $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED spectrum of **P-DGA** at 80 °C.

The 2D homonuclear gCOSY spectrum (**Figure 6**) showed a cross-peak between the signals at 4.9 and 5.3 ppm, consistent with the coupling between H-1 and H-2 of **P-DGA** (**Figure 6**).

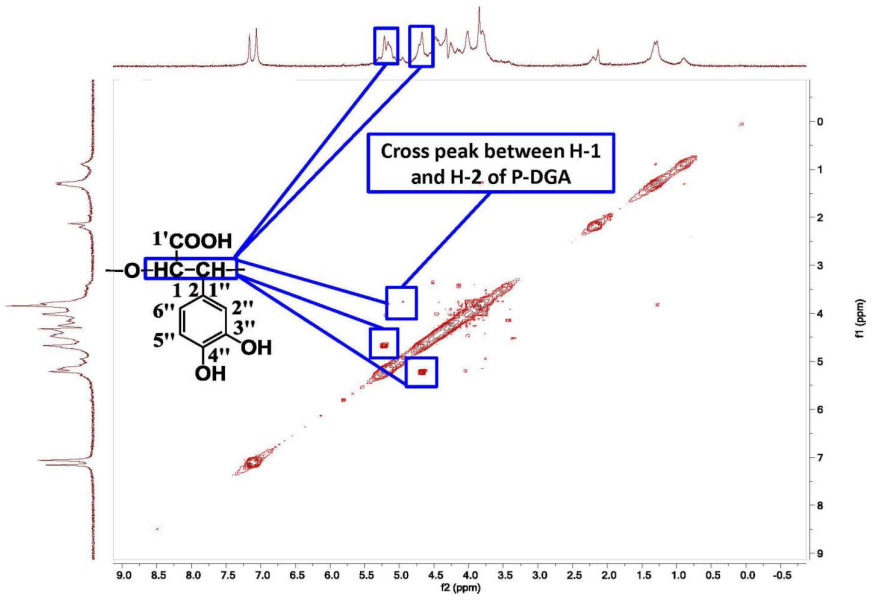


Figure 6. The 2D homonuclear gCOSY spectrum of **P-DGA** at 80 °C.

The total assignment of signals is given in **Table 2**.

Table 2. The signal assignments for the ^{13}C and ^{1}H NMR spectra of **P-DGA**.

The repeating unit of P-DGA	C atom no.	^{13}C chemical shifts, δ_C, ppm	^{1}H chemical shifts, δ_H, ppm
	1'	175.4	
	1	78.2	5.3
	2	80.4	4.9
	1''	131.5	
	2''	117.4	7.2
	3''	144.6	
	4''	143.8	
	5''	118.6	7.1
	6''	122.3	7.1

A good resolution and the narrow shape of the ^{13}C NMR signals indicate that the **P-DGA** is a regular polymer. The polyoxyethylene (polyethylene glycol) (**PEG**) chain serves as the backbone of the polymer molecule. The catechol moieties (3,4-dihydroxyphenyl residues) and carboxyl groups serve as regular substituents on two carbon atoms in the **PEG** backbone chain of **P-DGA** (**Figure 7A**).

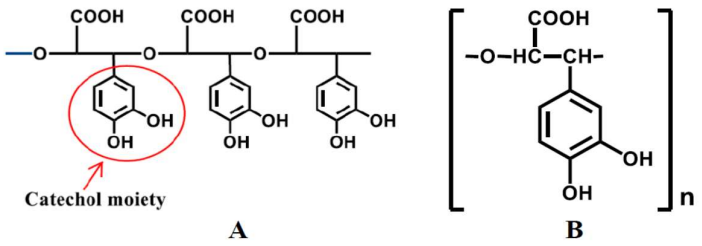


Figure 7. A - Catechol moieties and carboxyl groups are regular substituents at two carbon atoms in the PEG backbone of **P-DGA**; B – Poly[oxy-1-carboxy-2-(3,4-dihydroxyphenyl)ethylene] that is Poly[3-(3,4-dihydoxyphenyl)glyceric acid] (**P-DGA**).

To confirm the proposed structure of the poorly water-soluble high-molecular **P-DGA** from **SA**, the solid-state ^{13}C NMR spectrum was recorded under magic-angle spinning (MAS) conditions. Two different experiments were conducted to assign the ^{13}C signals to the corresponding atoms in the monomer structure. The $^{13}C\{^{1}H\}$ cross-polarization/magic-angle spinning (CP/MAS) NMR experiment is a standard method for spectral assignment of carbon signals. Additionally, a dipolar-dephasing solid-

state NMR pulse sequence with gated decoupling was utilized [41, 42]. The complete assignment of the signals is detailed in **Figure 8** and **Table 3**.

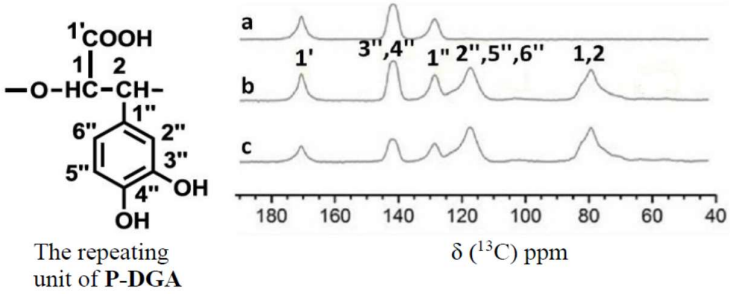


Figure 8. Solid-state $^{13}C\{^{1}H\}$ CP/MAS NMR spectrum of **P-DGA** from **SA**. a) The spectrum was recorded using a 67.0 microseconds (μs) dipolar dephasing filter with a cross-polarization (CP) time of 3.0 milliseconds (ms). b) The spectrum was recorded with a CP time of 3.0 ms. c) The spectrum was recorded with a CP time of 1.0 ms.

Table 3. The assignment of signals in the solid-state $^{13}C\{^{1}H\}$ CP/MAS NMR spectrum of **P-DGA** from SA (δc, ppm).

C atom no.	^{13}C chemical shift, δc, ppm
1,2	80
1'	174
1''	130
2'',5'',6''	118
3'',4''	143

It is important to emphasize that the resolution of solid-state NMR is inferior to that of liquid-state NMR. For nuclei other than H-1, solid-state NMR peaks are generally at least ten times broader than those of liquid-state NMR. Therefore, the applicability of solid-state NMR spectroscopy to studies is somewhat limited [43]. However, the complete assignment of the signals from the solid-state ^{13}C NMR of **P-DGA** agrees with the results of the liquid-state ^{13}C NMR spectrum (**Figure 1**).

The elucidation of the **P-DGA** structure from **AI, SG,** and **BO** was carried out using a similar approach [33-35, 40, 41]. The ^{1}H NMR, ^{13}C NMR, 2D heteronuclear $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED, 2D homonuclear gCOSY, and solid-state ^{13}C NMR spectra of **HMPs** from **AI, SG,** and **BO** exhibited a complete set of resonances characteristic of poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] (**P-DGA**) (**Figures 9-13** and **Tables 4, 5**) [34-36, 41, 42], which are present in the water-soluble high molecular fractions of **SA, SC,**

SO, CO, and **PI** (**Figures 1-6, 8** and **Tables 1-3**) [26-32]. In addition to the aforementioned signals characteristic of the **P-DGA** from **SA, SC, SO, CO,** and **PI** (**Figures 1-6, 8** and **Tables 1-3**) [34-36, 41, 42], the ^{13}C NMR, ^{1}H NMR, 2D heteronuclear $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED, and solid-state ^{13}C NMR spectra of **HMPs** from **AI, SG,** and **BO** displayed the following additional resonances: 54.9 ppm (-O$\underline{C}H_3$, ^{13}C NMR, **Figure 9**); 3.85 ppm (-OC$\underline{H}_3$, ^{1}H NMR, **Figure 10**); correlation between proton and carbon atoms: 3.85/54.9 ppm (-OC$\underline{H}_3$/-O$\underline{C}H_3$, 2D $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED, **Figure 11**); 54 ppm (-O$\underline{C}H_3$, solid-state ^{13}C NMR, **Figure 13**).

The 2D homonuclear gCOSY spectrum of **HMPs** from **AI, SG,** and **BO** (**Figure 12**) displayed a cross-peak between the signals at 4.7 and 5.2 ppm, consistent with the coupling between H-1 and H-2 of **P-DGA** (**Figure 12**).

The complete signal assignments are presented in **Figures 9-13** and **Tables 4, 5** [34-36, 41, 42]. The additional signals may be observed in the spectrum of **HMPs** from **AI, SG,** and **BO** due to the presence of the methoxy group. Two non-sharp signals (172.8 and 175.6 ppm, **Figure 9**) are believed to arise from two carboxyl groups. A resonance in the ^{13}C NMR spectrum at 54.9 ppm, which correlates with the ^{1}H resonance at 3.85 ppm (**Figures 9-12**), suggests the presence of methoxy groups are present in carboxylic acid methyl esters. Consequently, the signal at 175.6 ppm is attributed to a carboxylic acid group, while the signal at 172.8 ppm is assigned to carboxyl groups in the form of methyl esters (upfield shifted) (**Figures 9-12** and **Tables 4, 5**) [34-36]. Approximately 70% of the current carboxyl groups are methyl esterified (MeO: ^{13}C, 54.9 ppm; ^{1}H, 3.85 ppm). The extent of methyl esterification was calculated by comparing the integral intensity of the methyl ester signal (3.85 ppm, 0.5 H) to that of the aliphatic proton signal at H-1 (5.2 ppm, 0.7 H) in a ^{1}H experiment that included a WATERGATE water suppression routine. The presence of methoxy groups at C3'' and C4'' in the aromatic ring is excluded, as there are no downfield shifts of the C 3'' (145.3 ppm) and C 4'' (144.5 ppm) signals, which could result from substituting the C3'' and C4'' hydroxy groups with methyl groups.

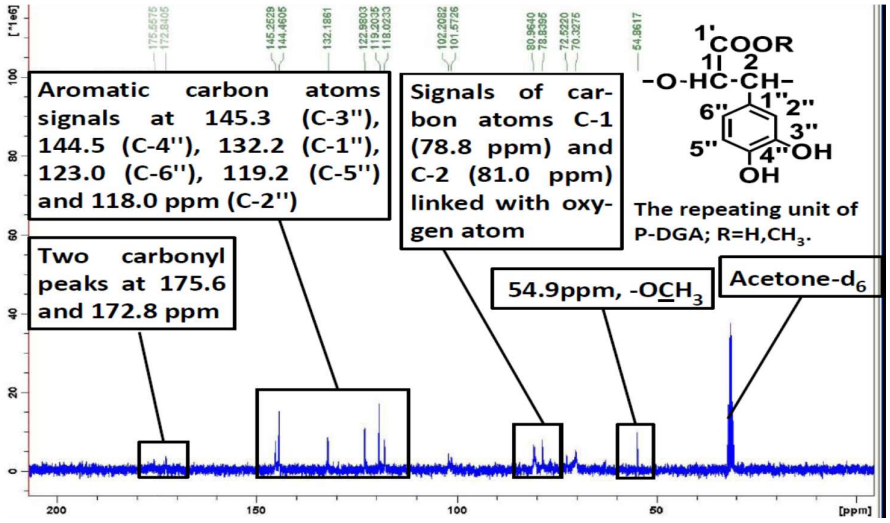


Figure 9. The ^{13}C NMR spectrum of **P-DGA** from **AI, SG,** and **BO** was recorded at 80 °C.

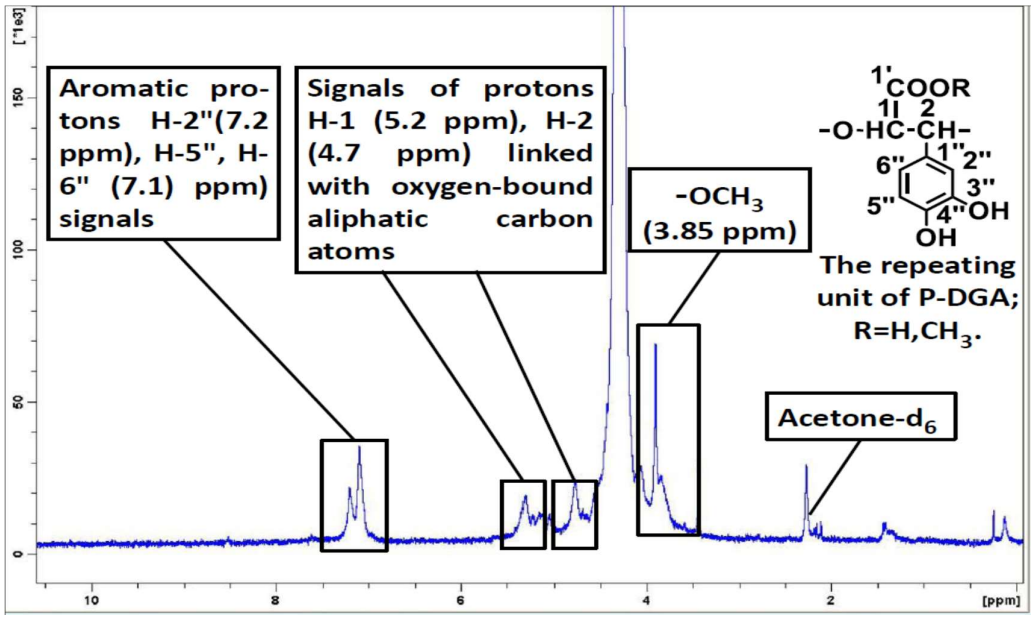


Figure 10. The ^{1}H NMR spectrum of **P-DGA** from **AI, SG,** and **BO** at 80 °C.

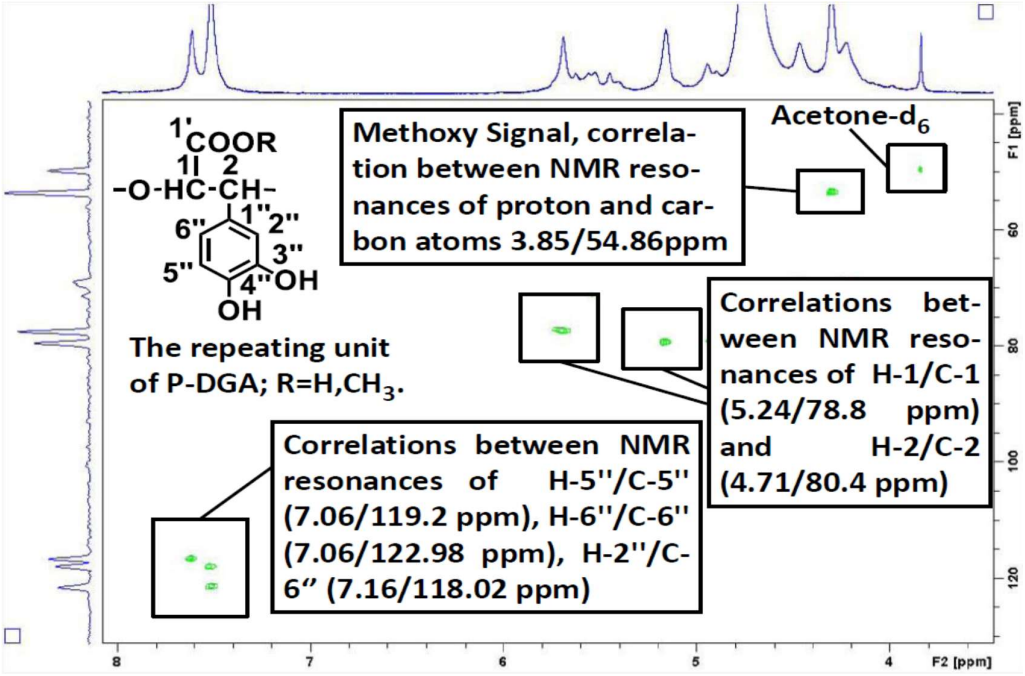


Figure 11. The 2D $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED spectrum of **P-DGA** from **AI, SG,** and **BO** at 80 °C.

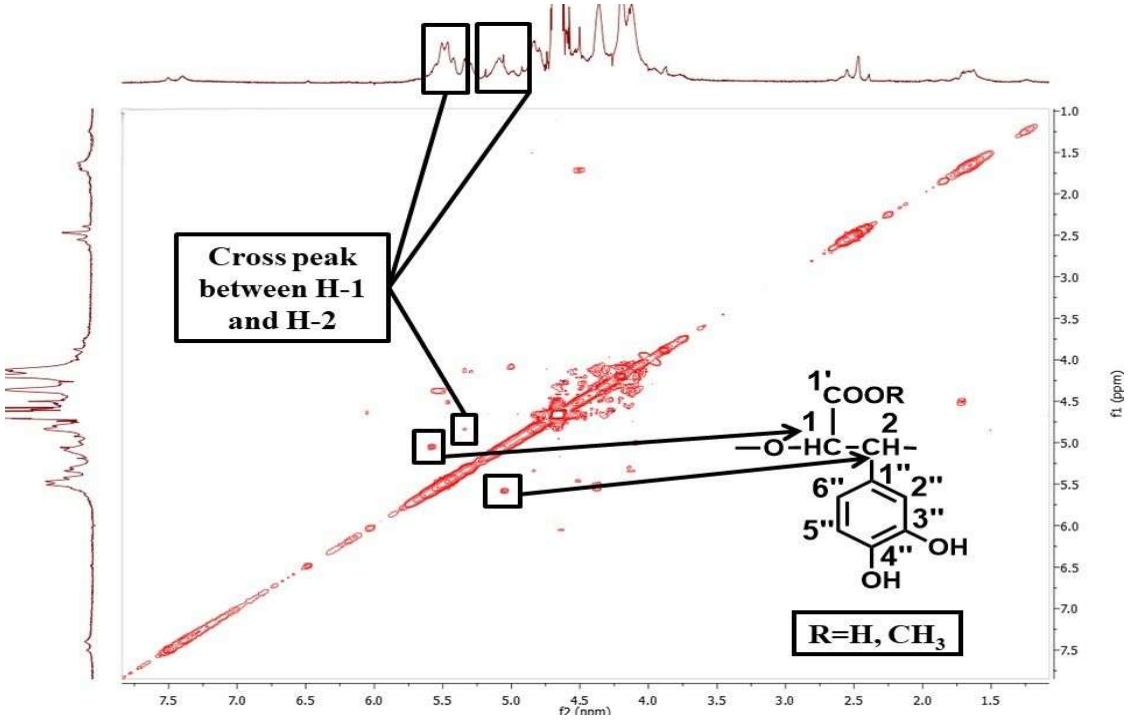


Figure 12. The 2D COSY spectrum of **P-DGA** from **AI, SG,** and **BO** at 80 °C.

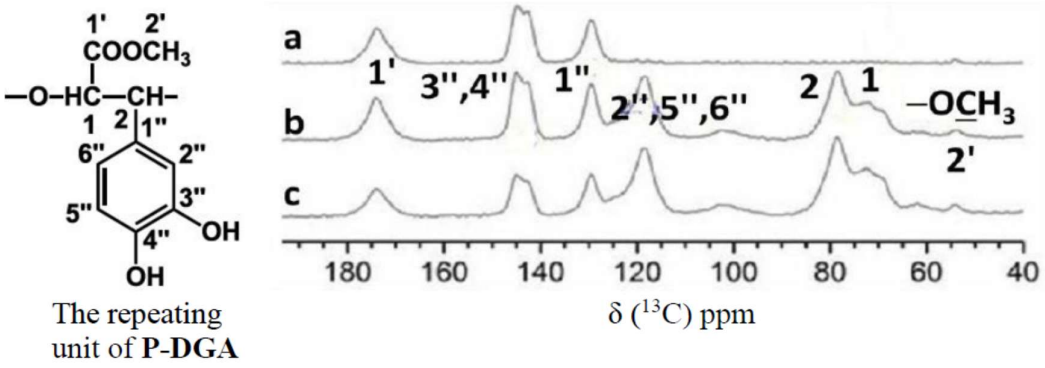
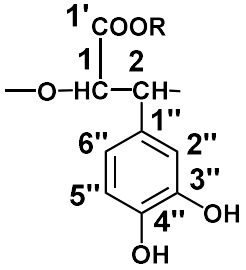


Figure 13. Solid-state $^{13}C\{^{1}H\}$ CP/MAS NMR spectrum of methylated carboxylic groups in **P-DGA** of **SG**. a) The spectrum is recorded using a 67.0 microseconds (μs) dipolar dephasing filter and a cross-polarization (CP) time of 3.0 milliseconds (ms); b) The spectrum is recorded with a CP time of 3.0 ms; c) The spectrum is recorded with a CP time of 1.0 ms.

Table 4. The signal assignments of the ^{13}C and ^{1}H NMR spectra of methylated carboxylic groups in **P-DGA** (δc, ppm) from **AI, SG,** and **BO**.

The repeating unit of P-DGA; R=H, CH_3	C atom no.	^{13}C chemical shift, δ_C, ppm	^{1}H chemical shift, δ_H, ppm
	1'	175.6 (–<u>C</u>OOH)	
	1'	172.8 (–<u>C</u>OOCH$_3$)	3.85 (–OC<u>H</u>$_3$)
		54.9 (–O<u>C</u>H$_3$)	
	1	78.8	5.2
	2	81.0	4.7
	1''	132.2	
	2''	118.0	7.2
	3''	145.3	
	4''	144.5	
	5''	119.2	7.1
	6''	123.0	7.1

Furthermore, the 2D DOSY experiment produced similar diffusion coefficients for both the methylated and non-methylated signals. Both sets of signals occupied the same horizontal range (**Figure 14**). This indicates a comparable molecular weight (same order of magnitude) for methylated and non-methylated polymers [36-38]. This was further supported by graphical representations of the intensity decay of the ^{1}H signals from aromatic H-2 and aliphatic H-1 at 7.2 and 5.2 ppm (**Figures 15a** and **15b,** respectively), as well as from the methoxy group at 3.85 ppm (**Figure 15c**). These three ^{1}H signals exhibited essentially the same curve shape. In contrast, the resonance from residual water at 4.35 ppm (**Figure 15d**) displayed a different decay pattern (faster diffusion) (**Figure 15**) [34-36].

Table 5. The signal assignments of the solid-state $^{13}C\{^{1}H\}$ CP/MAS NMR spectrum for methylated carboxylic groups of **P-DGA** (δc, ppm) from SG.

C atom no.	^{13}C chemical shift, δc, ppm
1	72
2	78
1'	174
2' (–O<u>C</u>H$_3$)	54
1''	130
2'',5'',6''	118
3'',4''	143

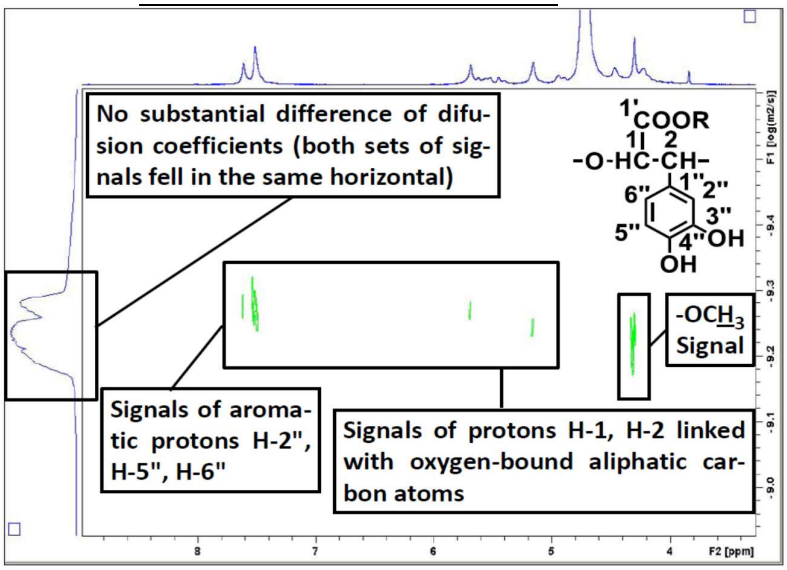


Figure 14. The 2D DOSY experiment of **P-DGA** from **AI** was conducted at 80 °C.

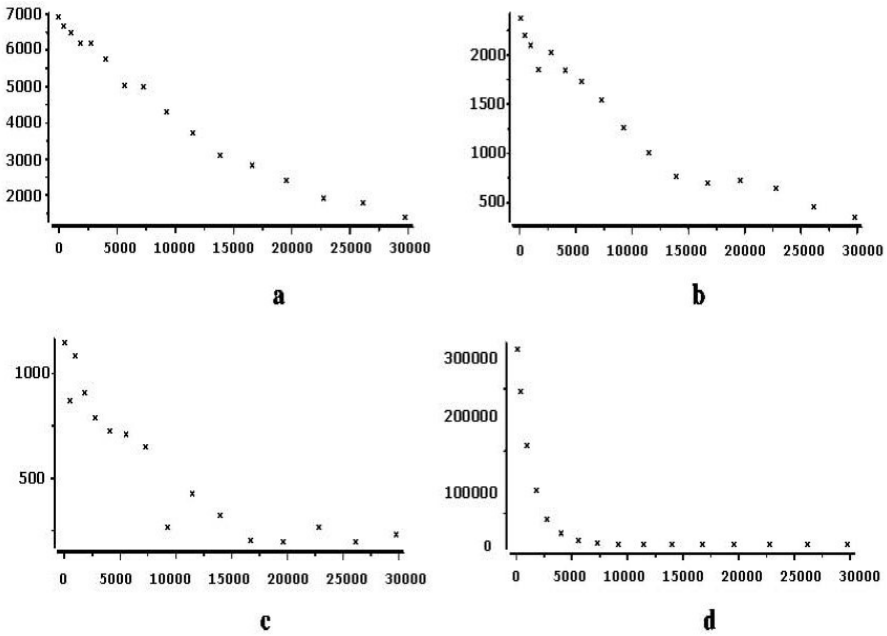


Figure 15. Intensity decay of ^{1}H signals at 7.2 ppm (Ar H-2″) (**a**), 5.2 ppm (H-1) (**b**), 3.85 ppm (OMe) (**c**), and 4.35 ppm (residual water) (**d**). Units: X-axis in s/cm²; Y-axis in relative intensity (dimensionless).

Thus, based on the data regarding the various techniques of NMR spectroscopy, the main structural component of **HMPs** isolated from **AI, SG,** and **BO** is similar to that from **SA, SC, SO, CO,** and **PI** — regular poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] (**P-DGA**), with a 3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid residue serving as the repeating unit (**Figures 1-6, 8-13** and **Tables 1-5**). However, most of the carboxylic groups in the **P-DGA** from **AI, SG,** and **BO** are methylated, unlike those in **P-DGA** from **SA, SC, SO, CO,** and **PI** (**Figures 9-14** and **Tables 4, 5**).

It is important to emphasize that **P-DGA** was detected in neither the leaves of **SA, SC, SO, CO, AI, SG, BO,** and **PI** [27-36, 44] nor in the stems of **AI** [34].

2.3. Proposing Multiple Hydrogen Bonds between P-DGA and the Residual Polysaccharides Leads to Supramolecular Association, Resulting in a Multiple-hydrogen-bonded Supramolecular Polymer

We could not fully achieve the separation of **P-DGA** and residual polysaccharides through ultrafiltration. On the one hand, this suggests that **P-DGA** and the residual polysaccharides have similar molecular masses, being of the same order of magnitude. On the other hand, this is likely due to the formation of multiple hydrogen bonds between **P-DGA** and the residual polysaccharides, resulting in a supramolecular associate (multiple-hydrogen-bonded supramolecular polymer). Additionally, **P-DGA** was subjected to gel chromatography on the Sepharose 2B column. The anticomplementary activity by the alternative pathway (AP) eluted together with the UV-286 nm absorption pattern, indicating that it coincided with **P-DGA** but does not align with the carbohydrate's elution curve. The elution peak of the polysaccharides has shifted away from the AP and **P-DGA** peaks. Thus, this phenomenon presumably excludes the covalent binding of residual polysaccharides to **P-DGA**, which is responsible for the anticomplementary activity [20, 31].

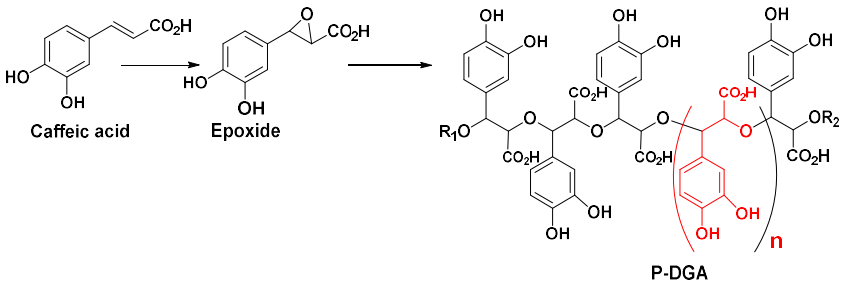
Biopolymers are often impure. They may bind to polysaccharides, proteins, phenolics, etc., substances through either covalent or non-covalent bonds. When highly directional non-covalent interactions replace the covalent bonds that hold the monomeric units of a macromolecule together, supramolecular polymers are formed. Supramolecular chemistry, also referred to as "chemistry beyond the molecule", studies the function and structure of supramolecular entities, i.e., supermolecules arising from the intermolecular binding. Combining supramolecular chemistry and polymer science has given rise to a promising class of nanomaterials called supramolecular polymers. Unlike classical (covalent) polymers, supramolecular polymers are ordered self-assembled nanostructures formed by non-covalent bridging of monomeric units. The diverse applications of supramolecular polymers range from electronics to medicine. The use of supramolecular polymers for intracellular protein delivery, bone regeneration scaffolds, and drug delivery, among other biomedical therapies, is attributed to their versatility and the ability to modulate their physical and mechanical properties. Notably, the application of supramolecular amphiphilic scaffolds in regenerative medicine reveals the promising biomedical applications of these well-ordered systems [45, 46]. This new generation of biopolymers is created through non-covalent interactions such as hydrogen bonding, hydrophobic interactions, π-π electron stacking through the aromatic (arene-arene, Ar···Ar) structures, π–π electron stacking of aromatic-carbonyl (arene-carbonyl, Ar···C═O) structures, π–π electron stacking of carbonyl-carbonyl (C═O···C═O) structures, cation–π interactions, coordination with metal oxide surfaces, and with metal ions to form supramolecular polymers [47, 48].

Catechol, the *ortho* isomer of 1,2-dihydroxybenzene, can bind to mucins by forming hydrogen bonds due to the hydroxyl groups at the *ortho* position. A significant advantage of catechol is its availability for conjugation with bioactive molecules; it can be easily oxidized to the quinone form, which is highly reactive toward numerous functional groups, including thiol and amino groups, via Michael addition or Schiff base reactions. Catechol moieties are suitable for conjugation with metals and metal oxides (i.e., Ag^{+}, Fe^{3+}, etc.) through coordination bonds. Furthermore, the unique combination of hydroxyl and phenolic groups can promote π-π stacking and π-cation interactions [48].

Thus, according to the literature data, the two hydroxyl groups of the catechol moieties of **P-DGA** can form hydrogen bonds with the hydroxyl groups of residual polysaccharides. Proposing multiple hydrogen bonds between **P-DGA** and the residual polysaccharides leads to a supramolecular association, resulting in a multiple-hydrogen-bonded supramolecular polymer.

2.4. Proposed Biosynthetic Pathway and Acid Hydrolysis of P-DGA

No information on the biosynthesis of such a polymer in plants is available. However, from the chemical perspective, this process can be viewed as the epoxidation of the double bond in caffeic acid, followed by the polymerization of the resulting epoxide (**Scheme 2**) [28, 29].



Scheme 2. Proposed biosynthetic pathway of **P-DGA**.

Acid hydrolysis (2M CF3COOH at 121°C for 2 h) of **P-DGA** produced a dark brown or black water-insoluble material. This phenomenon can be explained by the formation of a three-dimensional "lignin-like" compound due to the intermolecular oxidative cross-linking (coupling) between catechol moieties in different macromolecules of [20].

Further research should clarify the physiological functions of these polyethers in plants and demonstrate whether their biosynthesis is a unique characteristic of the Boraginaceae family or if such compounds are also produced in other plants [28, 29].

3. Conclusion

The bioactivity-guided fractionation of water-soluble high-molecular preparations (**HMPs**) from Boraginaceae species — *Symphytum asperum, S. caucasicum, S. officinale, S. grandiflorum, Anchusa italica, Cynoglossum officinale, Borago officinalis,* and *Paracynoglossum imeretinum* — revealed that the key constituent of these **HMPs** is the inaugural representative of a novel class of natural polyethers: poly[oxy-1-carboxy-2-(3,4-dihydroxyphenyl)ethylene], known as poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] (**P-DGA**). The **PEG** chain serves as the backbone of this biopolymer, with a residue of 3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid acting as the repeating unit. The 3,4-dihydroxyphenyl (catechol) and carboxyl groups regularly substitute for two carbon atoms in the chain. The structure of **P-DGA** was elucidated using data from various NMR techniques, including liquid-state ^{1}H and ^{13}C NMR, homonuclear 2D gCOSY, heteronuclear 2D $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED, 2D DOSY, and solid-state ^{13}C NMR spectra.

The synergistic combination of catecholic groups with the **PEG** main chain of **P-DGA** highlights the diverse and fascinating biological activity of **P-DGA** [13]. **P-DGA** exhibited immunomodulatory (anticomplementary) [20, 31, 49], antioxidant [20, 22, 29, 49, 50], anti-inflammatory [22, 31, 49], wound and burn healing [51, 52], anticancer [53], and antimicrobial [54] activities. Each repeating structural unit of the regular biopolymer **P-DGA** is tri-functional, comprising two catechol *vicinal* hydroxyl groups and one carboxyl group, likely responsible for its broad spectrum of biological activities. Incorporating catechol moieties into macromolecules enhances the exceptional therapeutic properties [10, 12, 55-57]. Conversely, the polymeric component — the **PEG** backbone — of **P-DGA** protects catecholic moieties from rapid degradation and ensures sustained biological efficacy. Consequently, pyrrolizidine alkaloid-free preparations of **P-DGA** may hold potential pharmaceutical value and are recommended for external and internal medical applications.

4. The Future-directed Plan

In the future, we plan to conduct the next review, which will present a detailed description of the biological activities and the structure-bioactivity relationship of **P-DGA** based on the literature data concerning catechol-derived natural and synthetic polymers.

Abbreviations

The following abbreviations are used in this manuscript:

AI *Anchusa italica*
APT Attached proton test
BO *Borago officinale*
CD Circular dichroism
CO *Cynoglossum officinale*
CP Cross-polarization
CP/MAS Cross-polarization/magic-angle spinning
DOSY Diffusion-ordered spectroscopy
gCOSY Gradient-Selected Correlation Spectroscopy
gHSQCED Gradient Heteronuclear Single Quantum Coherence and Double Exclusion
HMPs High-molecular-weight preparations
IR Infrared
kDa Kilodalton
NMR Nuclear magnetic resonance
P-DGA Poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid]
PEG Polyethylene glycol
PI *Paracynoglossum imeretinum*
ppm Parts per million
SA *Symphytum asperum*
SC *Symphytum caucasicum*
SG *Symphytum grandiflorum*
SO *Symphytum officinale*
UF Ultrafiltration
UV Ultraviolet

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Folashade, K.O.; Omoregie, E.H.; Ochogu, A.P. Standardization of herbal medicines. Intern. J. Biodiversity Conserv. 2012, 4 (3), 101–112. https://doi.org/10.5897/IJBC11.163

2. Wang, H.; Chen, Y.; Wang, L.; Liu, Q. et al. Advancing herbal medicine: enhancing product quality and safety through robust quality control practices. Front. Pharmacol. 2023, 14, 1265178. https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1265178

3. Chaachouay, N.; Zidane, L. Plant-Derived Natural Products: A Source for Drug Discovery and Development. Drugs Drug Candidates 2024, 3, 184–207.
https://doi.org/10.3390/ddc3010011

4. Umadevi, M.; Kumar, K.P.S.; Bhowmik, D.; Duraivel, S. Traditionally Used Anticancer Herbs in India. J. Med. Plants Studies 2013, 1 (3), 56–74.
https://www.plantsjournal.com/archives/2013/vol1issue3/PartA/6-378.pdf

5. Vaou, N.; Stavropoulou, E.; Voidarou, C.; Tsakris, Z. et al. Interactions between Medical Plant-Derived Bioactive Compounds: Focus on Antimicrobial Combination Effects. Antibiotics 2022, 11 (8), 1014 (1–23). https://doi.org/10.3390/antibiotics11081014

6. Muscolo, A.; Mariateresa, O.; Giulio, T.; Mariateresa, R. Oxidative Stress: The Role of Antioxidant Phytochemicals in the Prevention and Treatment of Diseases. Int. J. Mol. Sci. 2024, 25 (6), 3264 (1–22). https://doi.org/10.3390/ijms25063264

7. Qureshi, D.; Nayak, S.K.; Anis, A.; Ray, S.S. et al. Chapter 1 – Introduction of biopolymers: Food and biomedical applications. In Biopolymer-Based Formulations. Biomedical and Food Applications; Pal, K.; Banerjee, I.; Sarkar, P.; Kim, D.; Deng, W.-P.; Dubey, N.K.; Majumder, K., Eds.; Elsevier Inc.: Amsterdam, Netherlands, 2020; pp. 1–45. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816897-4.00001-1

8. Al-Ghraibah, A.M.; Al-Qudah, M.; AL-Oqla, F.M. Chapter 10 - Medical Implementations of Biopolymers. In Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers; Al-Oqla, F.M.; Sapuan, S.M., Eds.; Elsevier Inc.: Amsterdam, Netherlands, 2020; pp. 157–171. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819661-8.00010-X

9. Nitta, S.K.; Numata, K. Biopolymer-Based Nanoparticles for Drug/Gene Delivery and Tissue Engineering. Int. J. Mol. Sci. 2013, 14 (1), 1629–1654. https://doi.org/10.3390/ijms14011629

10. Nishimoto-Sauceda, D.; Romero-Robles, L.E.; Antunes-Ricardo, M. Biopolymer nanoparticles: a strategy to enhance stability, bioavailability, and biological effects of phenolic compounds as functional ingredients. J. Sci. Food Agric. 2022, 102 (1), 41–52.
https://doi.org/10.1002/jsfa.11512

11. Nemli, E.; Ozkan, G.; Subasi, B.G.; Cavdar, H. et al. Interactions between proteins and phenolics: effects of food processing on the content and digestibility of phenolic compounds. J. Sci. Food Agric. 2024, 104, 2535–2550. https://doi.org/10.1002/jsfa.13275

12. Foujdar, R.; Bera, M.B.; Chopra, H.K. Chapter 30 - Phenolic nanoconjugates and their application in food. In Biopolymer-Based Formulations. Biomedical and Food Applications; Pal, K.; Banerjee, I.; Sarkar, P.; Kim, D.; Deng, W.-P.; Dubey, N.K.; Majumder, K., Eds.; Elsevier Inc.: Amsterdam, Netherlands, 2020; pp. 751–780.
https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816897-4.00030-8

13. Patil, N.; Jérôme, C.; Detrembleur, C. Recent Advances in the Synthesis of Catechol-Derived (Bio)Polymers for Applications in Energy Storage and Environment. Prog. Polym. Sci. 2018, 8, 34–91. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2018.04.002
14. Mashhadi, S.M.A.; Yufit, D.; Liu, H.; Hodgkinson, P. et al. Synthesis and structural characterization of cocrystals of isoniazid and cinnamic acid derivatives. J. Mol. Struct. 2020, 1219 (24), 128621 (1–20). https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128621
15. Dresler, S.; Szymczak, G.; Wojcik, M. Comparison of some secondary metabolite content in the seventeen species of the Boraginaceae family. Pharm. Biol. 2017, 55 (1), 691–695. http://dx.doi.org/10.1080/13880209.2016.1265986
16. Taravati, G.; Masoudian, N.; Gholamian, A. Evaluation of Medical Metabolites in Boraginaceae Family. J. Chem. Health Risks 2014, 4 (1), 53–61.
https://www.jchr.org/index.php/JCHR/article/view/391/393
17. Gupta, P.S.P.; Vishwakarma, K.; Soni, P.; Jadhao, A.B. et al. Medicinally Important Plants of Boraginaceae Family. Afr. J. Bio. Sc. 2024, 6 (Si4), 6013–6021.
https://doi.org/10.48047/Afjbs.6.Si4.2024.6013-6021
18. Dominguez de Maria, P.; van Gemert, R.W.; Straathof, A.J.J.; Hanefeld, U. Biosynthesis of ethers: Unusual or common natural events? Nat. Prod. Rep. 2010, 27, 370–392. https://doi.org/10.1039/b809416k
19. Hatfield, W.; Vermerris, W. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. Plant Physiol. 2001, 126 (4), 1351–1357. https://doi.org/10.1104/pp.126.4.1351
20. Barbakadze, V.; Kemertelidze, E.; Usov, A.I.; Kroes, B.H. et al. Evaluation of immunomodulatory activity of some plant polysaccharides. Proc. Georgian Acad. Sci., Biol. Ser. 1999, 25 (4–6), 207–216.
https://www.researchgate.net/publication/285495080_Evaluation_of_immunomodulatory_activity_of_some_plant_polysaccharides
21. Tsuda, Y. Isolation of Natural Products; Japan Analytical Industry Co., Ltd.: Tokyo, Japan, 2004; p. 40. http://natpro.com.vn/public/assets/Download/Isolation_of_Natural_Products.pdf
22. Barthomeuf, C.M.; Debiton, E.; Barbakadze, V.V.; Kemertelidze, E.P. Evaluation of the dietetic and therapeutic potential of a high molecular weight hydroxycinnamate-derived polymer from *Symphytum asperum* Lepech. J. Agric. Food Chem. 2001, 49 (8), 3942–3946. https://doi.org/10.1021/jf010189d
23. Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L.; Barbakadze, V.; Merlani, M. et al. Obtaining of toxic pyrrolizidine alkaloid-free biologically active high molecular preparations *of Symphytum asperum* and *S. caucasicum*. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2008, 2 (2), 85–89. http://science.org.ge/old/moambe/2-2/Gogilashvili.pdf
24. Barbakadze, V.V.; Kemertelidze, E.P.; Dekanosidze, H.E.; Beruchashvili, T.G.; Usov, A.I. Investigation of Glucofructans from Roots of Two Species of Comfrey *Symphytum asperum* Lepech. and *S. Caucasicum* Bieb. Rus. J. Bioorg. Chem. 1992, 18 (5), 671–679 (in Russian). #abstract in English. https://eurekamag.com/research/007/485/007485437.php
25. Gallastegui, A.; Camara, O.; Minudri, D.; Goujon, N. et al. Aging Effect of Catechol Redox Polymer Nanoparticles for Hybrid Supercapacitors. Batteries&Supercaps 2022, 5 (9), e202200155 (1–9). https://doi.org/10.1002/batt.202200155

26. Dyer, M.A. Applications of Absorption Spectroscopy of Organic Compounds; Prentice-Hall Inc.: Englewood Cliffs, NY, USA, 1965.
27. Barbakadze, V.V.; Kemertelidze, E.P.; Shashkov, A.S.; Usov, A.I. Structure of a new anticomplementary dihydroxycinnamate-derived polymer from *Symphytum asperum* (Boraginaceae). Mendeleev Commun. 2000, 10 (4), 148–149.
https://doi.org/10.1070/MC2000v010n04ABEH001295
28. Barbakadze, V.V.; Kemertelidze, E.P.; Targamadze, I.L.; Shashkov, A.S.; Usov, A.I. Poly[3-(3,4-Dihydroxyphenyl)glyceric Acid]: A New Biologically Active Polymer from Two Comfrey Species *Symphytum asperum* and *S. caucasicum* (Boraginaceae). Rus. J. Bioorg. Chem. 2002, 28 (4), 326–330. https://doi.org/10.1023/A :1019552110312
29. Barbakadze, V.; Kemertelidze, E.; Targamadze, I.; Mulkijanyan, K. et al. Poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric Acid], A New Biologically Active Polymer from *Symphytum asperum* Lepech. and *S. caucasicum* Bieb. (Boraginaceae). Molecules 2005, 10 (9), 1135–1144. https://doi.org/10.3390/10091135
30. Barbakadze, V.V.; Kemertelidze, E.P.; Targamadze, I.; Mulkidzhanyan, K. et al. Poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] from Stems of *Symphytum asperum* and *S. caucasicum*. Chem. Nat. Compd. 2005, 41 (4), 374–377. https://doi.org/10.1007/s10600-005-0155-2
An erratum to this article: Chem. Nat. Compd., 2005, 41 (5), 615. http://dx.doi.org/10.1007/s10600-005-0226-4
31. Barbakadze, V.; van den Berg, A.J.J.; Beukelman, C.J.; Kemmink, J. et al. Poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] from *Symphytum officinale* roots and its biological activity. Chem. Nat. Compd. 2009, 45 (1), 6–10. https://doi.org/10.1007/s10600-009-9221-5
32. Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L.; Salgado, A.; Barbakadze, V. et al. Poly[3-(3,4-Dihydroxyphenyl)Glyceric Acid] from *Cynoglossum officinale* L. (Boraginaceae). Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2020, 14 (1), 108–113.
http://science.org.ge/bnas/t14-n1/16_Gogilashvili_Pharmacochemistry.pdf
33. Barbakadze, V.; Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L.; Merlani, M. et al. Biologically Active Sugar-Based Biopolyether Poly[3-(3,4-Dihydroxyphenyl)Glyceric Acid] from the Stems and Roots of *Paracynoglossum imeretinum* (Kusn.) M.Pop. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2022, 16 (3), 110–115. http://science.org.ge/bnas/vol-16-3.html
34. Barbakadze, V.; Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L.; Merlani, M. et al. Poly[3-(3,4-dihydroxy-phenyl)glyceric Acid] from *Anchusa italica* Roots. Nat. Prod. Commun. 2010, 5 (7), 1091–1095. https://doi.org/10.1177/1934578X1000500722
35. Gokadze, S.; Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L.; Barbakadze, V. et al. Investigation of Water-Soluble High Molecular Preparation of *Symphytum grandiflorum* DC (Boraginaceae). Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2017, 11 (1), 116–121. http://science.org.ge/bnas/t11-n1/19_Gokadze.pdf
36. Barbakadze, V.; Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L.; Merlani, M. et al. Carbohydrate-Based Biopolymers: Biologically Active Poly[3-(3,4-Dihydroxyphenyl)Glyceric Acid] from *Borago officinalis*. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2021, 15 (4), 140–145. http://science.org.ge/bnas/vol-15-4.html
37. Patt, S.L.; Schoolery, J.N. Attached proton test for carbon-13 NMR. J. Magn. Reson. 1982, 46 (3), 535–539. https://doi.org/10.1016/0022-2364 (82)90105-6

38. Pagenkopf, B. ACD/HNMR Predictor and ACD/CNMR Predictor Advanced Chemistry Development, Inc. (Computer Software Review). J. Am. Chem. Soc. 2005, 127 (9), 3232. https://doi.org/10.1021/ja040946z
39. Van Bramer, S. ACD/CNMR and ACD/HNMR Spectrum Prediction Software. (Software Review). Conc. Magn. Reson. 1997, 9 (4), 271–273. https://doi.org/10.1002/ (SICI)1099-0534(1997)9:4<271::AID-CMR6>3.0.CO;2-W
40. Barbakadze, V.; Kemertelidze, E.; Shashskov, A.S.; Usov, A.I. et al. Partial characterization of a new anticomplementary dihydroxycinnamate-derived polymer from *Symphytum asperum* Lepech. Proc. Georg. Acad. Sci., Biol. Ser. 1999, 25 (4–6), 199–205.
https://www.researchgate.net/publication/377261995_Partial_Characterization_Dihydroxycinnamate-derived
41. Lomsadze, K.; Lengers, I.; Barbakadze, V.; Kohler, J. et al. The investigation of structural characteristics of biologically active natural polymers using solid-state NMR experiments. 34th International Symposium on Pharmaceutical and Biomedical Analysis (PBA 2024), Geneva, Switzerland, September 9–12, 2024; pp. 73–74.
42. Mao, J.D.; Schmidt-Rohr, K. Accurate quantification of aromaticity and non-protonated aromatic carbon fraction in natural organic matter by C-13 solid-state nuclear magnetic resonance. Environ. Sci. Technol. 2004, 38 (9), 2680–2684. https://doi.org/10.1021/es034770x
43. Freitas, J.C.C.; Ejaz, M.; Toci, A.T.; Romao, W. et al. Solid-state NMR spectroscopy of roasted and ground coffee samples: Evidences for phase heterogeneity and prospects of applications in food screening. Food Chem. 2023, 409, 135317 (1–9).
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135317
44. Barbakadze, V.V.; Mulkidzhanyan, K.G.; Merlani, M.I.; Gogilashvili, L.M. et al. Extraction, composition, and the antioxidant and anticomplement activities of high molecular weight fractions from the leaves of *Symphytum asperum* and *S. caucasicum.* Pharm. Chem. J. 2011, 44 (11), 604–607. https://doi.org/10.1007/s11094-011-0527-9
45. Riseh, R.S.; Hassanisaadi, M.; Vatankhah, M.; Varma, R.S. et al. Nano/Micro-Structural Supramolecular Biopolymers: Innovative Networks with the Boundless Potential in Sustainable Agriculture. Nano-Micro Lett. 2024, 16, 147 (1–23). https://doi.org/10.1007/s40820-024-01348-x
46. Martínez-Orts, M.; Pujals, S. Responsive Supramolecular Polymers for Diagnosis and Treatment. Int. J. Mol. Sci. 2024, 25, 4077 (1–27). https://doi.org/10.3390/ijms25074077
47. Zhang, W.; Wang, R.; Sun, Z.; Zhu, X. et al. Catechol functionalized hydrogels: Biomimetic design, adhesion mechanism, and biomedical applications. Chem. Soc. Rev. 2020, 49 (2), 433–464. https://doi.org/10.1039/c9cs00285e
48. Dubashynskaya, N.V.; Petrova, V.A.; Skorik, Y.A. Biopolymer Drug Delivery Systems for Oromucosal Application: Recent Trends in Pharmaceutical R&D. Int. J. Mol. Sci. 2024, 25 (10), 5359. https://doi.org/10.3390/ijms25105359
49. Barbakadze, V.V.; Kemertelidze, E.P.; Mulkijanyan, K.G.; van den Berg, A.J.J. et al. Antioxidant and anticomplement activity of poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] from *Symphytum asperum* and *Symphytum caucasicum plants.* Pharm. Chem. J. 2007, 41 (1), 14–16. https://doi.org/10.1007/s11094-007-0004-7

An erratum to this article: Pharm. Chem. J., 2007, 41 (3), 178. http://dx.doi.org/10.1007/s11094-007-0040-3
50. Merlani, M.; Barbakadze, V.; Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L. Antioxidant Activity of Caffeic Acid-Derived Polymer from Anchusa italica. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2017, 11 (2), 123–127. http://science.org.ge/bnas/vol-11-2.html
51. Barbakadze, V.; Mulkijanyan, K.; Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L. et al. Allantoin- and Pyrrolizidine Alkaloids-Free Wound Healing Compositions from Symphytum asperum. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2009, 3 (1), 159–164. http://science.org.ge/old/3-1/Barbakadze.pdf
52. Mulkijanyan, K.; Barbakadze, V.; Novikova, Zh.; Sulakvelidze, M. et al. Burn Healing Compositions from Caucasian Species of Comfrey (Symphytum L.). Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2009, 3 (3), 114–117. http://science.org.ge/old/moambe/3-3/Mulkijanian.pdf
53. Shrotriya, S.; Gagan, D.; Ramasamy, K.; Raina, K. et al. Poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] from Comfrey exerts anti-cancer efficacy against human prostate cancer via targeting androgen receptors, cell cycle arrest, and apoptosis. Carcinogenesis 2012, 33 (8), 1572–1580. https://doi.org/10.1093/carcin/bgs202
54. Barbakadze, V.; Merlani, M.; Gogilashvili, L.; Amiranashvili, L. et al. Antimicrobial Activity of Catechol-Containing Biopolymer Poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric Acid] from Different Medicinal Plants of Boraginaceae Family. Antibiotics 2023, 12, 285. https://doi.org/10.3390/antibiotics12020285
55. Bruckhuisen, J.; Dhont, G.; Roucou, A.; Jabri, A. et al. Intramolecular H-Bond Dynamics of Catechol Investigated by THz High-Resolution Spectroscopy of Its Low-Frequency Modes. Molecules 2021, 26 (12), 3645 (1–20). https://doi.org/10.3390/molecules26123645
56. Batey, S.F.D.; Davie, M.J.; Hems, E.S.; Liston, J.D. et al. The catechol moiety of obafluorin is essential for antibacterial activity. RSC Chem. Biol. 2023, 4 (11), 926–941. https://doi.org/10.1039/d3cb00127j
57. Puertas-Bartolome, M.K.; Włodarczyk-Biegun, M.K.; del Campo, A.; Vazquez-Lasa, B. et al. Development of bioactive catechol functionalized nanoparticles applicable for 3D bioprinting. Mater. Sci. Eng. C 2021, 131, 112515 (1–14). https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112515

Boraginaceae-ს ოჯახის სხვადასხვა სამკურნალო მცენარის ბიოლოგიურად აქტიური პოლიეთილენგლიკოლის საფუძველზე მრავალკატექოლშემცველი ბიოპოლიმერი პოლი[3-(3,4-დიჰიდროქსიფენილ)გლიცერინის მჟავა]

ვახტანგ ბარბაქაძე, მაია მერლანი, ლალი გოგილაშვილი, ლელა ამირანაშვილი, კარენ მულკიჯანიანი

რეზიუმე: მიღებულია Boraginaceae-ს ოჯახის სხვადასხვა სამკურნალო მცენარედან *Symphytum asperum*-ის, *S. caucasicum*-ის, *S. officinale*-ის, *S. grandiflorum*-ის, *Anchusa italica*-ს, *Cynoglossum officinale*-ს, *Borago officinalis*-ის და *Paracynoglossum imeretinum*-ის წყალში ხსნადი მაღალ მოლეკულური (>1000 kDa ან >500 kDa) პრეპარატები (მმპ). ამ მმპ-ების ძირითადი ქიმიური შემადგენელი ნაწილია ბუნებრივი პოლიეთერების აქამდე უცნობი კლასის პირველი და ერთადერთი წარმომადგენელი - ახალი პოლი[ოქსი-1-კარბოქსი-2-(3,4-დიჰიდროქსიფენილ)ეთილენი], რომელიც ასევე ცნობილია როგორც პოლი[3-(3,4-დიჰიდროქსიფენილ)გლიცერინის მჟავა] (პ-დგმ). პ-დგმ-ს სტრუქტურის გარკვევა განხორციელდა ბირთვული მაგნიტური რეზონანსის (ბმრ) სხვადასხვა ტექნიკის მონაცემების გამოყენებით, მათ შორის თხევად ფაზაში ^{1}H, ^{13}C ბმრ, ორგანზომილებიანი (2D) ჰომონუკლეარული gCOSY, ორგანზომილებიანი (2D) ჰეტერონუკლეარული $^{1}H/^{13}C$ gHSQCED, ორგანზომილებიანი (2D) DOSY (დიფუზიური ორგანიზებული სპექტროსკოპია) და მყარ ფაზაში ^{13}C ბმრ სპექტრები. პოლიოქსიეთილენის (პოლიეთილენგლიკოლის) (პეგ) ჯაჭვი წარმოადგენს ამ ბიოპოლიმერის ხერხემალს, ხოლო 3-(3,4-დიჰიდროქსიფენილ) გლიცერინის მჟავას ნაშთი ფუნქციონირებს როგორც განმეორებადი ერთეული. 3,4-დიჰიდროქსიფენილის (კატექოლი) და კარბოქსილის ჯგუფები არიან რეგულარული ჩამნაცვლებლები პეგ-ის ჯაჭვში. ამრიგად, პ-დგმ წარმოადგენს ბუნებრივი პოლიეთერების უნიკალურ კლასს. პ-დგმ-ის თითოეული განმეორებადი სამფუნქციური სტრუქტურული ერთეული შეიცავს ორ ფენოლის ჰიდროქსილის ჯგუფს *ორთო* პოზიციაში და ერთ კარბოქსილის ჯგუფს. პ-დგმ-ს მრავალფუნქციურობა, სავარაუდოდ, ხსნის მის ბიოლოგიური აქტიურობის ფართო სპექტრს, მათ შორის ანტიკომპლემენტურ, ანტიოქსიდანტურ, ანთების საწინააღმდეგო, დამწვრობისა და ჭრილობების შეხორცების, ანტიმიკრობულ და კიბოს საწინააღმდეგო თვისებებს.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.44



ელექტროგადამცემი ხაზის განაწილებულპარამეტრებიანი მოდელის დეტალიზაციის ხარისხის გავლენა მის სიხშირულ მახასიათებლებზე

გიორგი არზიანი, გიორგი ჩხაიძე

g.arziani@gtu.ge , giorgichkhaidze1313@gmail.com

რეზიუმე

ელექტრული ენერგიის ხარისხის შეფასების ერთ-ერთი ფართოდ გავრცელებული მეთოდი ემყარება ელექტრული სისტემის რეჟიმების მოდელირებასა და სიმულაციას, რაც საშუალებას გვაძლევს სისტემის მუშაობის დეტალური ანალიზი ჩავატაროთ რეალურ გარემოში ჩარევის გარეშე. ეს მიდგომა ეფექტურია, როგორც ქსელის ოპერირების, ასევე, მისი დაგეგმარებისა და განვითარების ეტაპებზე, როდესაც ჯერ კიდევ არ არსებობს რეალური მონაცემები, ან საჭიროა სხვადასხვა სცენარის გავლენის შეფასება სისტემაზე. სიმულაცია იძლევა შესაძლებლობას წინასწარ გავარკვიოთ თუ როგორ იმოქმედებს კონკრეტული არაწრფივი დატვირთვა, ინვერტორული ინტერფეისი ან ასიმეტრიული მოვლენები ქსელის სტაბილურობაზე და ენერგიის ხარისხის პარამეტრებზე.

თუმცა იმისათვის, რომ აღნიშნულ მეთოდს რეალური სარგებლობა ჰქონდეს, აუცილებელია სისტემის ელემენტების სწორად მოდელირება. თითოეული კომპონენტი უნდა იყოს წარმოდგენილი თავისი ელექტრული, დინამიკური და სიხშირეზე დამოკიდებული მახასიათებლებით. მაღალი სიზუსტის გარეშე მოდელი ვერ ასახავს იმ საფრთხეებს, რაც რეალურ პირობებში შეიძლება წარმოიშვას. უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ჰარმონიკების, ძაბვის სწრაფი ვარიაციებისა და ფაზური ასიმეტრიების ზეგავლენა სხვადასხვანაირად ვლინდება სხვადასხვა სიხშირის დიაპაზონში, ამიტომ სისტემის ელემნტთა მოდელებში აუცილებელია ამ დამოკიდებულების ინტეგრირება. არასწორად მოდელირებული სისტემა იძლევა მცდარ პროგნოზებს და იწვევს არასრულფასოვან ტექნიკურ ან ფინანსურ გადაწყვეტილებებს.

სტატიაში განხილულია მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზის განაწილებულპარამეტრებიანი მოდელის დეტალიზაციის ხარისხის გავლენა მის სიხშირულ მახასიათებლებზე, რაც წარმოადგენს მნიშვნელოვან საკითხს ელექტრული სისტემების სიმულაციის სიზუსტისა და სანდოობის უზრუნველსაყოფად მაღალსიხშირული პროცესების ანალიზისას. ხაზის მოდელის დეტალიზაციის სიღრმე პირდაპირ ახდენს გავლენას მოდელის

შესაძლებლობაზე ზუსტად ასახოს სხვადასხვა სიხშირული კომპონენტები, განსაკუთრებით ჰარმონიკული მდგენელები და ძაბვის/დენის ზესწრაფი იმპულსები.

მოდელის გრანულარიზაციის მაღალი ხარისხი, ანუ ხაზის უფრო მცირე და მრავლად დაყოფილი სექციებით მოდელირება, საშუალებას იძლევა მაქსიმალურად ახლოს მივიდეთ რეალურ ფიზიკურ ქცევასთან, განსაკუთრებით იმ პირობებში, როდესაც სისტემა ფუნქციონირებს არაწრფივი დატვირთვებისა და ინვერტორული გენერატორების დინამიკურად ცვალებად რეჟიმებში. ასეთი მიდგომით, უფრო ზუსტად აღიბეჭდება სიხშირული მახასიათებლები, როგორიცაა რეზონანსები, ჩახშობის ეფექტები და სიხშირეზე დამოკიდებული დანაკარგები. ამავდროულად, არსებობს კომპრომისი გამოთვლით რესურსებსა და სიზუსტეს შორის — ძალიან მაღალი გრანულარიზაცია ზრდის გამოთვლის დროსა და მოდელირების სირთულეს. შესაბამისად, კვლევის ერთ-ერთი მიზანი გრანულარიზაციის ოპტიმალური დონის იდენტიფიცირებაა, რაც თავის მხრივ არ არის ფიქსირებული პარამეტრი და მკვეთრად არის დამოკიდებული დასმული ამოცანის მიზნებზე და მოდელირებულ სცენარების ტექნიკურ მახასიათებლებზე. ზოგადად, ასეთი ტიპის ოპტიმიზაციაში მოიაზრება დეტალიზაციის ისეთი დონის განსაზღვრა, რომელიც ერთი მხრივ უზრუნველყოფს კონკრეტული ამოცანისთვის დამაკმაყოფილებელ სიზუსტეს, ხოლო, მეორე მხრივ, მოდელირებისა და სიმულაციის პროცესის ეფექტურ წარმართვას.

საძიებო სიტყვები: ჰარმონიკული ანალიზი, ხაზის განაწილებულპარამეტრებიანი მოდელები, რეზონანსი, ელექტრული სისტემა, სიხშირული სკანირება, ჰარმონიკული ნაკადგანაწილება.

შესავალი

თანამედროვე ელექტროენერგეტიკული სისტემების განვითარებასთან ერთად ელექტრული ენერგიის ხარისხის ანალიზი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს. მაღალი ხარისხის ელექტროენერგია აუცილებელია ელექტრული მოწყობილობების, ავტომატიზებული სისტემებისა და ინფორმაციული ტექნოლოგიების უწყვეტი და ეფექტური ფუნქციონირებისთვის. ელექტრული ენერგიის ხარისხის გაუარესებამ, როგორიცაა ძაბვის ცვალებადობა, ჰარმონიკული სპექტრების წარმოქმნა ან ფაზების ასიმეტრია, შეიძლება გამოიწვიოს საწარმოო პროცესების დარღვევა, მოწყობილობების დაზიანება, მონაცემთა დაკარგვა და ადამიანის ჯანმრთელობის გაუარესებაც კი. ენერგიის დაბალი ხარისხი ხშირად დიდ ეკონომიკურ ზარალთან არის დაკავშირებული.

ელექტრული ენერგიის ხარისხს განსაკუთრებით დიდი ყურადღება ექცევა განვითარებულ ქვეყნებში, სადაც სტაბილური და სანდო ენერგომომარაგება ეკონომიკური განვითარების ერთ-ერთ საფუძვლად მიიჩნევა. ეს ტენდენცია არ არის შემოფარგლული მხოლოდ ტექნოლოგიურად მოწინავე რეგიონებით. მსგავსი მიდგომა აქტიურად ვრცელდება სამხრეთ-აღმოსავლეთ ევროპის ქვეყნებშიც [1]. ამ რეგიონში გაიზარდა ინტერესი ენერგიის ხარისხის ანალიზისა და მონიტორინგის მიმართ, რაც აისახება არაერთი სპეციალიზებული კვლევითი ჯგუფისა და ინიციატივის შექმნით, რომელთა მიზანია თანამედროვე მეთოდებისა და

ინსტრუმენტების გამოყენებით პრობლემების იდენტიფიკაცია და მათი გადაჭრა. ამგვარ ჯგუფებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ ენერგეტიკული სისტემების გაუმჯობესებაში, ხელს უწყობენ რეგიონულ ენერგეტიკულ ინტეგრაციას და საერთო სტანდარტების ჩამოყალიბებას.

ელექტრული ენერგიის ხარისხი ანალიზი საშუალებას იძლევა, დროულად იქნეს აღმოჩენილი და აღმოფხვრილი მოწყობილობებისა და სისტემების გაუმართაობები, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ენერგიის დანაკარგებს, ავარიების ალბათობას და აუმჯობესებს ელექტრული სისტემის ეფექტურ მუშაობას. ამასთან, ანალიზი ხელს უწყობს ენერგიის მიწოდების სტაბილურობის შენარჩუნებას, ენერგიის ოპტიმალურ გამოყენებასა და გარემოზე ზემოქმედების შემცირებას. შედეგად, ენერგიის ხარისხის მონიტორინგი და ანალიზი კრიტიკულ როლს თამაშობს ელექტროენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის ოპერირებისა და მდგრადი განვითარების პროცესში.

ელექტრული ენერგიის ხარისხის ანალიზის ერთ-ერთი ეფექტური მეთოდია სცენარების მოდელირება და სიმულაცია, რაც გვაძლევს საშუალებას მოდელირებული გარემოს დახმარებით მოხდეს შესაძლო დარღვევების პროგნოზირება და მათი შედეგების შეფასება. თუმცა, ანალიზის სიზუსტე დიდად არის დამოკიდებული იმაზე, თუ რამდენად რეალისტურად და ფიზიკურად სწორად არის აგებული მოდელი. სწორედ ამიტომ, აუცილებელია, რომ მოდელები ასახავდნენ სისტემის რეალურ თვისებებსა და დინამიკას. სისტემის კომპონენტების რეალური ფიზიკური პარამეტრების მაღალი სიზუსტით გათვალისწინება, აუცილებელია მათში მიმდინარე პროცესების სიღრმისეულად და ზუსტად გასაანალიზებლად.

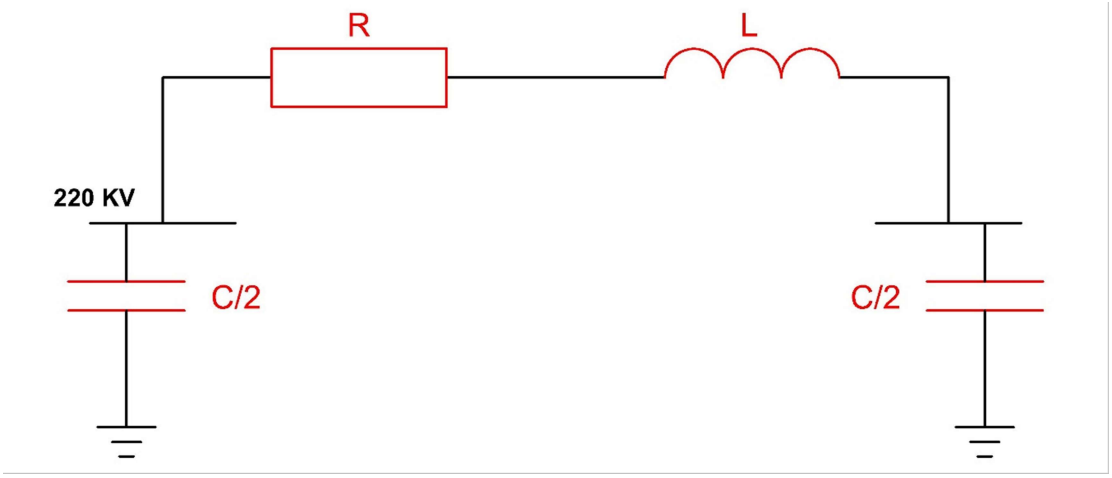
ამ კონტექსტში, განსაკუთრებით აღსანიშნავია ელექტროგადამცემი ხაზის მოდელირების სპეციფიკა. იმისათვის, რომ სწორად აისახოს გადამცემი ხაზის ფიზიკური ქცევა მაღალსიხშირულ მდგენელებთან მიმართებაში, აუცილებელია მისი განაწილებულპარამეტრებიანი მოდელით წარმოდგენა [2]. ასეთი მოდელი ითვალისწინებს ხაზის პარამეტრების სივრცულ განაწილებას და საშუალებას იძლევა სწორად იქნას ასახული მაღალსიხშირული პროცესებით გამოწვეული ეფექტები. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გრძელი ხაზებისთვის, სადაც კონცენტრირებული პარამეტრებით გამარტივებული მიდგომები არ იძლევა საკმარის სიზუსტეს. შესაბამისად, განაწილებულპარამეტრებიანი მოდელი წარმოადგენს აუცილებელ საფუძველს იმ რეალური ფიზიკური პროცესების ასახვისთვის, რომელთა ანალიზიც ენერგიის ხარისხის სრულყოფილი მართვისთვის კრიტიკულად მნიშვნელოვანია.

მოდელირებისა და სიმულაციის შედეგები

ელექტროგადამცემი ხაზის უმარტივესი მოდელი, რომელიც ყველაზე ხშირად გამოიყენება გამარტივებულ ანგარიშებში, ნახაზ 1-ზეა ნაჩვენები. მოდელის მთავარი უპირატესობა მისი სიმარტივეა, რაც საბოლოო ჯამში უზრუნველყოფს მინიმალურ მოთხოვნას გამოთვლით რესურსებზე. ამგვარი სიმარტივე განსაკუთრებით გამოსადეგია სიმძლავრის ნაკადგანაწილების სიმულაციებში, სადაც გათვლების ძირითადი მიზანი სისტემის

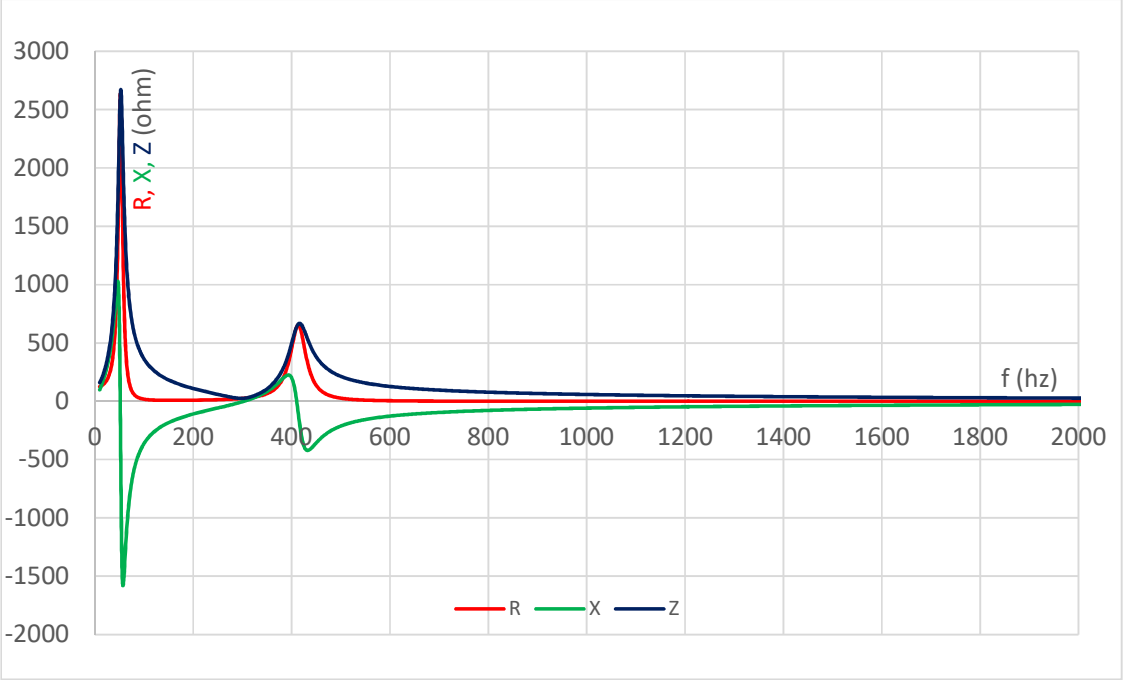
დამყარებული რეჟიმების შეფასებაა [2]. ასეთ ანგარიშში ვიგებთ თუ როგორ ნაწილდება სიმძლავრე გენერატორებსა და დატვირთვებს შორის, როგორია ძაბვები კვანძებში, როგორია ხაზებში გამავალი დენები, ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგები და სხვა [3]. ასეთ დროს ნაკლებია მოთხოვნა დროში ცვალებად, დინამიკურ კომპონენტებზე, ამიტომაც მარტივი მოდელი იძლევა საკმარისად ზუსტ და სწრაფ შედეგებს.

ხაზის უმარტივესი მოდელის სიხშირული სკანირებით მიღებული სიხშირული მახასიათებელი ნახაზ 2-ზეა ნაჩვენები. როგორც ამ მახასიათებლიდან ჩანს, ამ კონკრეტულ ხაზს სიხშირულ ღერძზე გააჩნია ორი რეზონანსული წერტილი, ერთი 60 ჰერცის, ხოლო მეორე, 415 ჰერცის მახლობლად.



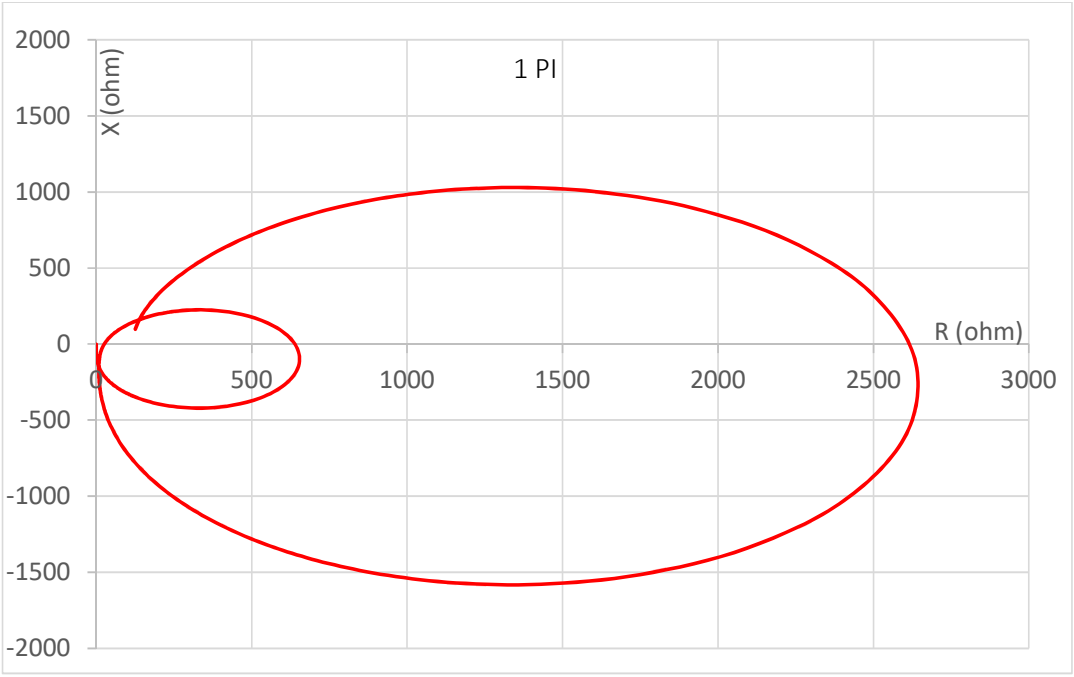
ნახაზი 1 - ელექტროგადამცემი ხაზის უმარტივესი მოდელი

სიხშირულ მახასიათებლებზე გამოყვანილია აქტიური, რეაქტიული და სრული წინაღობები.



ნახაზი 2 - ხაზის უმარტივესი მოდელის სიხშირული მახასიათებელი

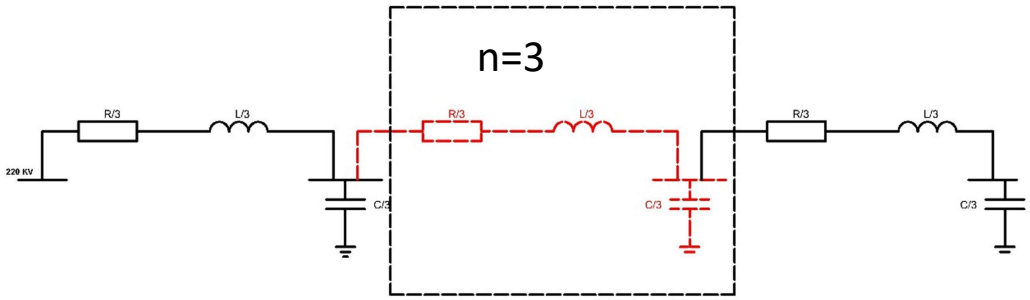
ნახაზ 3 -ზე ნაჩვენებია ელექტროგადამცემი ხაზის უმარტივესი მოდელის R-X დამოკიდებულება.



ნახაზი 3 - ხაზის უმარტივესი მოდელის R-X დამოკიდებულება

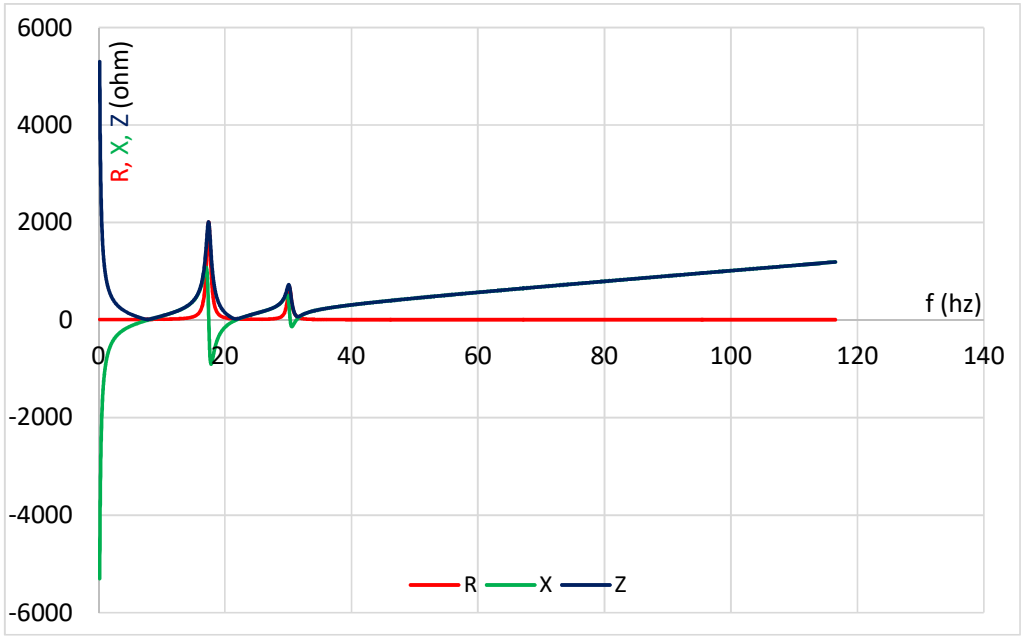
ნახაზ 3 - დან შესაძლებელია დავადგინოთ თუ აქტიური და რეაქტიული წინაღობების რა კომბინაციები გვხვდება სკანირების სრული სიხშირული დიაპაზონის გასწვრივ. ადვილი შესამჩნევია, რომ რგოლების რაოდენობა ემთხვევა რეზონანსული კონტურების რაოდენობას.

ნახაზ 4 - ზე წარმოდგენილია 3 სეგმენტიანი ხაზის მოდელი, რომლის სიხშირული და წინაღობების მახასიათებლები ნახაზ 5-ზე და ნახაზ 6 - ზეა ნაჩვენები შესაბამისად.



ნახაზი 4 - ელექტროგადამცემი ხაზის სამსეგმენტიანი მოდელი

ამ დიაგრამების ანალიზით შესაძლოა დავასკვნათ, რომ უმარტივეს მოდელსა და სამსეგმენტიან მოდელს შორის უმნიშვნელო სხვაობაა რეზონანსული კონტურების რაოდენობის კუთხით, მაგრამ საკმაოდ დიდი სხვაობაა თავად რეზონანსული კონტურების საკუთარი სიხშირეების თვალსაზრისით. ამ კონკრეტულ შემთხვევაში, სიხშირულ მახასიათებელზე თავს იჩენს რეზონანსები 17 ჰერცის მახლობლად და 32 ჰერცის მახლობლად.



ნახაზი 5 - ხაზის სამსეგმენტიანი მოდელის სიხშირული მახასიათებელი

დაბალ სიხშირეებზე შეიმჩნევა რეაქტიული და სრული წინაღობების მაღალი სიდიდეები რაც აიხსნება შემდეგნაირად. რეაქტიული წინაღობის უარყოფითი ნიშანი გამოწვეულია ამ სიხშირეებზე მისი ტევადური ბუნებით. სრული წინაღობა კი, მისი გამოსახულებიდან გამომდინარე ტევადური რეაქტიულის პროპორციულია (რადგან ინდუქციური მდგენელი უმნიშვნელოა) და ნიშნით განსხვავდება მისგან. რაც შეეხება დიაპაზონს, რომელიც იწყება დაახლოებით 40 ჰერციდან, აქ რეაქტიული და სრული წინაღობები პრაქტიკულად თანხვდება ერთმანეთს. ამ ფენომენის ახნა შემდეგნაირად არის შესაძლებელი. როგორც ჩანს ეკვივალენტური წრედის აქტიური წინაღობა საკმაოდ მცირეა (ამის დამტკიცება მარტივია, კომლექსურ რიცხვებზე მათემატიკური ოპერაციების ჩატარებით). ამასთან მაღალ სიხშირეებზე თავს იჩენს წრედის ინდუქციური რეაქტიული წინაღობა, რადგან იგი სიხშირის პირდაპირპროპორციულია. მეორე მხრივ, ტევადური კომპონენტი მიიღევა და პრაქტიკულად ქრება ამ დიაპაზონში. შესაბამისად, სქემის სრული წინაღობა ძირითადად განპირობებულია ინდუქციური რეაქტიული მდგენელით და სწორედ ამიტომ იმეორებს მის მახასიათებელს.

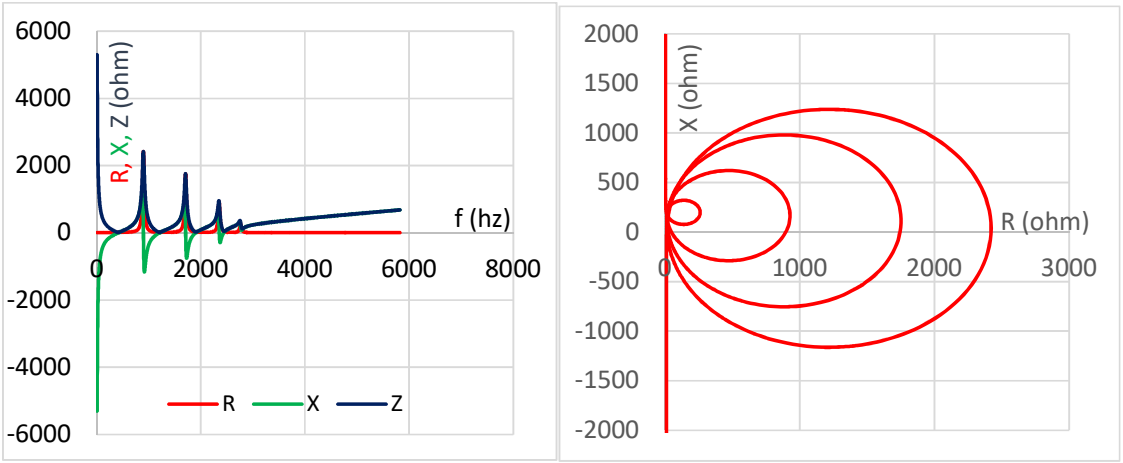


ნახაზი 6 - ხაზის სამსეგმენტიანი მოდელის R-X დამოკიდებულება

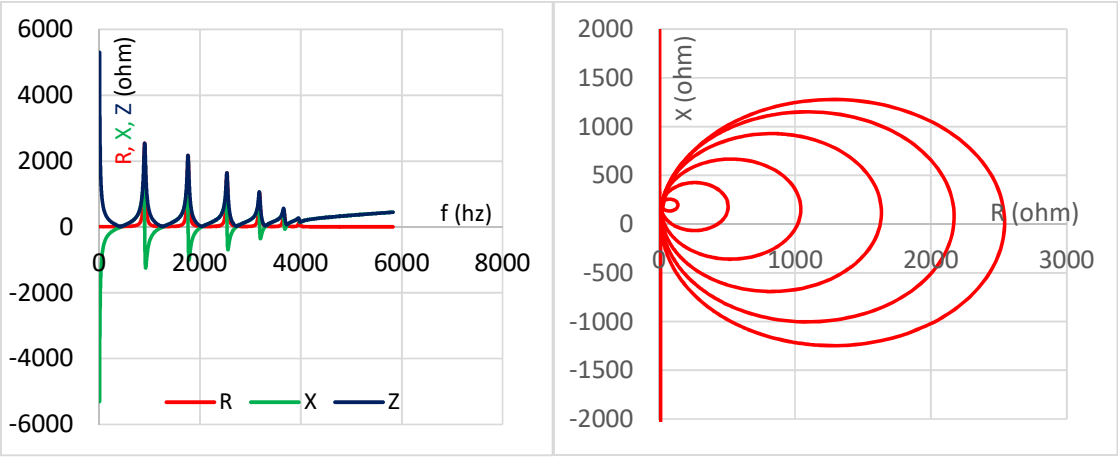
ზემოთ აღწერილი პრინციპით დავამოდელირეთ ხუთ, შვიდ და ცხრასეგმენტიანი ვარიანტები რომელთა სიმულაციის შედეგებიც ნაჩვენებია ნახაზ 7 - ზე, ნახაზ 8-ზე და ნახაზ 9-ზე შესაბიმისად.

თითოეული ამ ნახაზთაგანი შედგება წყვილი დიაგრამისგან, რომელთაგან მარცხენა არის სიხშირული მახასიათებელი, ხოლო მარჯვენა აქტიური და რეაქტიული წინაღობების დამოკიდებულება, რაზეც ზემოთაც გვქონდა საუბარი.

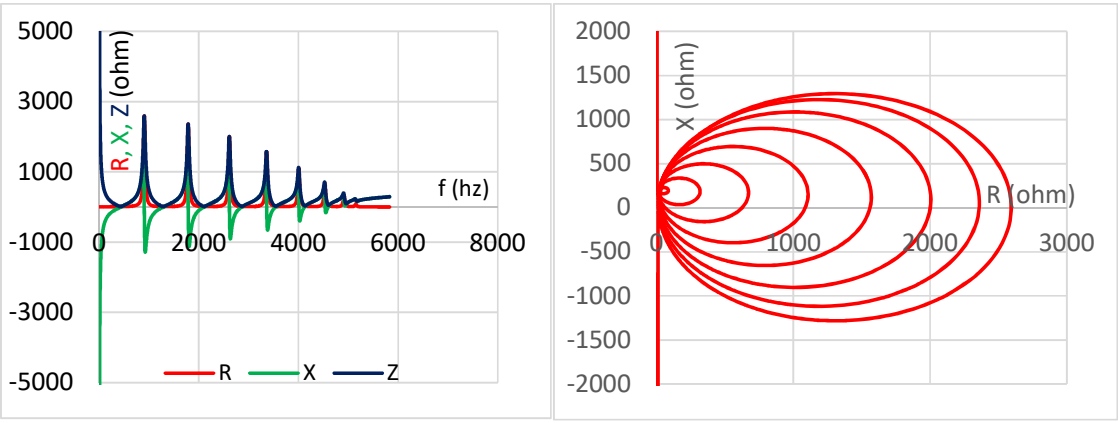
შედეგებზე დაკვირვება და ანალიზი გვაძლევს საფუძველს დავასკვნათ, რომ სეგმენტების გრანულარიზაციის ხარისხი პირდაპირ აისახება რეზონანსული კონტურების რაოდენობაზე.



ნახაზი 7 - ხაზის ხუთსეგმენტიანი მოდელის სიხშირული მახასიათებელი



ნახაზი 8 - ხაზის შვიდსეგმენტიანი მოდელის სიხშირული მახასიათებელი და RX დამოკიდებულება



ნახაზი 9 - ხაზის ცხრასეგმეტნიანი მოდელის სიხშირული მახასიათებელი და RX დამოკიდებულება

ამას თავისი ფიზიკური ახსნაც აქვს: რაც უფრო მეტი დამოუკიდებელი ინდუქციური

და ტევადური ელემენტი ჩნდება წრედში, მით უფრო იზრდება ალბათობა შემთხვევით აღებულ რეაქტიული ბუნების მქონე ელემენტთა წყვილებში რეზონანსული მოვლენის გაჩენისა.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა ზემოთ განხილული შემთხვევა მოდელირებულია ხაზის უქმ სვლაზე მუშაობისას. აქტიური დატვირთვის გაჩენა როგორც სკანირების წერტილში, ასევე, ხაზის ბოლოში, რადიკალურად ცვლის შედეგებს. კერძოდ დატვირთვის ჩართვა სქემის ბოლოში იწვევს ტევადური კომპონენტის დომინაციის შესუსტებას რაც მადემპფერირებელ ეფექტს ქმნის კონკრეტული სიხშირული დიაპაზონებისთვის.

დასკვნა

სიხშირულ დომეინში მოდელირებამ და სიმულაციამ აჩვენა, რომ რეზონანსული კონტურები, როგორც სიხშირით ისე წინაღობების ამპლიტუდებით მკვეთრად იცვლება ჩანაცვლების სქემის გრანულირების ცვლილებასთან ერთად. ეს ნიშნავს, რომ ჩანაცვლების სქემის

არასაკმარისად დეტალიზაციამ შესაძლოა გამოიწვიოს რეზონანსული კონტურების საკუთარი სიხშირეების მცდარი სიდიდეების იდენტიფიცირება. შესაბამისად ასეთ სქემაზე ჰარმონიკული ნაკადგანაწილების გაშვებისას შესაძლოა ვიხილოთ სიხშირული კომპონენტები გაძლიერებული ამპლიტუდებით, რომლებიც არ შეესაბამება რეალობას და პირიქით, სიხშირული კომპონენტები ნორმალური ამპლიტუდებით, რომლებიც რეალობაში ძლიერდება ქსელის მაღალსიხშირული მარეზონირებელი ეფექტების გამო.

ასეთ შემთხვევაში, მოდელირების არასაკმარისი პრეციზიის დროს, ასევე ჩნდება რისკი ცვლადი ძაბვის ფილტრების არაეფექტური შერჩევისა. კერძოდ, ფაქტიური მნიშვნელობებიდან გადახრილ სიხშირეებზე ფილტრების გათვლა მკვეთრად ამცირებს მათ ეფექტურობას. ამასთან ინვერტორული ინტერფეისის მქონე განახლებადი რესურსების და არაწრფივი დატვირთვების სპექტრების შესწავლისას ჩნდება რისკი, რომ ჰარმონიკული მდგენელების გაძლიერების კოეფიციენტები არასათანადოდ იქნება შეფასებული. სწორედ ამიტომ, აუცილებელია ქსელთან მიერთების წერტილებში მისაერთებელი ობიექტის მოცემული ჰარმონიკული სპექტრების გათვალისწინებით მოხდეს ჩანაცვლების სქემის შესაბამისი გრანულირება/დეტალიზაცია. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ობიექტებისთვის, რომლებიც გენერირებენ ჰარმონიკულ სპექტრებს შედარებით დაბალ და საშუალო სიხშირულ დიაპაზონებში, საკმარისია მათი მოდელების წარმოდგენა რამდენიმე ერთეული სეგმენტური ელემენტის სახით.

ლიტერატურა

[1] K. Bakič, SEERC CIGRE History: Early Electrification and Empowerment of Region where Current Electricity was Born. Ljubljana, Slovenia: Slovenian Association of Electric Power Engineers CIGRE&CIRED, 2020.

[2] G. Arziani, B. Kvatadze, and L. Baramidze, “Analyzing the Behavior of PI Section and T Section High Voltage Line Models in Harmonic Load Flow”, GS, vol. 5, no. 4, pp. 177–187, Nov. 2023. https://doi.org/10.52340/gs.2023.05.04.16

[3] G. Arziani and T. Elizarashvili, “FACTS for effective DER integration into the Georgia distribution grids,” Turk J Electr Power Energy Syst., Published online May 5, 2025. doi 10.5152/tepes.2025.24036.

The Impact of the Level of Detail in the Distributed Parameter Model of a Transmission Line on Its Frequency Characteristics

Abstract

One of the most widely used methods for assessing electric power quality is based on modeling and simulation of electrical system operating modes, which enables a detailed analysis of system behavior without interfering with real-world operation. This approach is effective both during the operational phase of the grid and in its planning and development stages—especially when real measurement data is unavailable, or when it is necessary to evaluate the impact of different scenarios on the system. Simulation makes it possible to predict how specific nonlinear loads, inverter-based interfaces, or asymmetric events will affect grid stability and power quality parameters.

However, for this method to yield meaningful and reliable results, it is essential to accurately model the system components. Each element must be represented with its electrical, dynamic, and frequency-dependent characteristics. Without high precision, the model fails to reflect the risks and behaviors that may arise under real-world conditions. It is particularly important to consider that the influence of harmonics, rapid voltage variations, and phase asymmetries manifests differently across various frequency ranges; thus, these dependencies must be integrated into the component models. An inadequately modeled system results in inaccurate predictions and leads to suboptimal technical or financial decisions.

This paper examines the impact of the level of detail in distributed-parameter modeling of high-voltage transmission lines on their frequency characteristics, which is a critical issue for ensuring accuracy and reliability in simulations of high-frequency phenomena. The depth of model granularity directly affects the model's ability to accurately reflect frequency-domain components, especially harmonic contents and fast transient voltage/current impulses.

A high degree of model granularity, which means modeling the transmission line using smaller and more numerous segments, allows the simulation to more accurately reflect real physical behavior. This is especially important in dynamic conditions involving nonlinear loads and inverter-based generation. Such detailed modeling captures frequency-dependent characteristics more precisely, including resonances, damping effects, and frequency-related losses. However, increased granularity also leads to higher computational demands and longer simulation times. As a result, one of the main objectives of this study is to determine the optimal level of model granularity. This level is not fixed and depends significantly on the purpose of the analysis and the technical characteristics of the simulated scenarios. In general, this type of optimization seeks to define a level of detail that provides sufficient accuracy for the specific task while maintaining an efficient simulation process.

Keywords: Harmonic Analysis, Distributed Parameter Line Models, Resonance, Power System, Frequency Scanning, Harmonic load flow.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.45



მჭიდრო დასახლების პირობებში ახალი მშენებლობის დამცავი კონსტრუქციული სისტემების შერჩევა

ბექა გურგენიძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

გადმოცემულია ლითონის ორტესებრი პროფილების ჩართვა, რაც შპუნტის სიხისტეს ზრდის და იძლევა გრუნტის სიღრმეში მეტად ჩასვლის საშუალებას; ასევე მათი ერთობლივი მუშაობის მდგრადობის და სიმტკიცის შემოწმების ანალიზური მეთოდი.

განხილულია და დანერგილია ინოვაციური დანადგარი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ერთდროულად „U“ პროფილის შპუნტისა და გვერდით მდებარე ორტესებრი H პროფილის მქონე ლითონის დამატებითი ხიმინჯების მიწაში განთავსება. აღნიშნული დამატებითი ხიმინჯები ასრულებენ გამბრჯენი მილების ფუნქციას და უზრუნველყოფენ კონსტრუქციის სრულ სტაბილურობას. შესაბამისად, აღარ არსებობს დამატებითი მილების გამოყენების აუცილებლობა, რაც სრულიად თავისუფალს ტოვებს ქვაბულის სივრცეს და მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს სამშენებლო სამუშაოების ეფექტურობას.

საკვანძო სიტყვები: მშენებლობა, ლარსენის შპუნტი, კონსტრუქცია, გრუნტი.

1. შესავალი

შპუნტის გამოყენების ისტორიას, რომელიც იწყება XX საუკუნის დასაწყისში. 1902 წელს გერმანიის ქალაქ ბრემენის მთავარმა სახელმწიფო ინჟინერმა, ტრიგვე ლარსენმა (Tryggve Larssen), შეიმუშავა ფოლადის ხიმინჯის "U" პროფილის პირველი მაგალითი მოქლონებით. სწორედ აქედან იღებს სახელს "U" პროფილის ლითონის ხიმინჯი "ლარსენის შპუნტი". 1914 წელს გაჩნდა იდეა, რომ შპუნტის წყობის ორივე მხარეს ყოფილიყო კავშირები, რაც საშუალებას იძლეოდა უფრო მტკიცე და სტაბილური კონსტრუქციების შექმნისა. ლარსენის შპუნტის ძირითადი ტიპები „U“ და „Z“ პროფილებია (ნახ.1). **"U" პროფილი**: ეს არის ტრადიციული ფორმა, რომელიც გამოიყენება მრავალი წლის განმავლობაში [1,2]. მისი სიმარტივე და სტაბილურობა უზრუნველყოფს კონსტრუქციის მდგრადობას. შეუძლია გაუძლოს ძლიერ გარე ზეწოლებს. **"Z" პროფილი**: ეს არის უფრო თანამედროვე ვარიანტი, რომელიც უზრუნველყოფს უკეთეს გადაბმას და სიმტკიცეს. მისი ფორმა საშუალებას იძლევა უფრო სწრაფად და ეფექტურად მოხდეს მისი მონტაჟი. **Ω“-პროფილი:** გამორჩეულია მაღალი დატვირთვისა და სტაბილურობის მოთხოვნისას, განსაკუთრებით წყალთან დაკავშირებულ

პროექტებში და სეისმურად აქტიურ რეგიონებში. მისი მრგვალი ფორმა ზრდის მდგრადობას, რაც საუკეთესო არჩევანს ხდის მძიმე სამრეწველო და საზღვაო მშენებლობებისთვის. თუმცა მისი გამოყენება იშვიათია პრაკტიკაში, ამავე კატეგორიას განეკუთვნება მილით და სხვადასხვა ლითონის პროფილებით დამზადებული შპუნტები.

2. ძირითადი ნაწილი

შპუნტიანი კედლების გამოყენება აუცილებელია, რათა უზრუნველყოფილ იქნას დაგეგმილი სამშენებლო სამუშაოების უსაფრთხოება. ისინი იცავენ ობიექტს ქვაბულის კედლების ჩამოშლისა და წყლის ზემოქმედებისგან. საწყის ეტაპზე საჭიროა შპუნტის კედლის ზუსტი გაანგარიშება. ამ ეტაპზე ხორციელდება სამშენებლო მოედნის პირობების შეფასება, რისკების დადგენა და მუშაოების პროექტის შედგენა. სწორედ ამ მონაცემებზე დაყრდნობით წარმოებს შპუნტების ანალიტიკური და მათემატიკური გამოთვლები. გაანგარიშებისას დგინდება: შპუნტის საჭირო პარამეტრები; ჩასმის ოპტიმალური სიღრმე; დამატებითი გამაგრების ღონისძიებების საჭიროება [3,4].

შპუნტის კედლის შექმნისას გრუნტი ორივე მხრიდან ერთნაირად ზემოქმედებს. თუმცა, ამოღების პროცესში ეს ბალანსი ირღვევა და შპუნტზე ზეწოლები ჩნდება. გაანგარიშებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს გარე დატვირთვები, ასევე შპუნტის კედლის თავისებურებები — მაგალითად, აქვს თუ არა მას ანკერული გამაგრება. ანკერის არსებობის შემთხვევაში შპუნტის ბრუნვის წერტილი ქვაბულის ფსკერზეა, ხოლო არარსებობის შემთხვევაში — მაღლა ინაცვლებს გადამაგრების მწყობის მიდებარედ.

კედლის გადატრიალებისადმი მდგრადობის გაანგარიშება

$M_u \le m/\gamma_n \cdot M_z$ (1)

Mu ≤M/Yn*Mz

სადაც M_u და M_z — შესაბამისი მომენტებია შეკავებისა და გადატრიალების ძალებისაგან;

m — კოეფიციენტი წებოვანი გრუნტებისთვის;

γ_n— საიმედოობის კოეფიციენტი.

შპუნტის კედლის სიმტკიცის გაანგარიშება

$M_P/w_{cm} \le R_y \cdot m$ (2)

Mp/Wcm ≤ Rym

M_P — შპუნტის კედლის სექციაში მომენტი;

w_cm — კედლის წინაღობის მომენტი (შესაბამისი ტიპის შპუნტის მიხედვით);

R_y — მასალის საანგარიშო წინღობის მახასიათებელი;

m — ექსპლუატაციის პირობების კოეფიციენტი.

შპუნტები, როგორც წესი, ფუნქციონირებენ, როგორც მოქნილი საყრდენი კონსტრუქციები. ეს ნიშნავს, რომ ისინი იჭერენ გრუნტს, წინააღმდეგობას უწევენ ძვრისა და გადაბრუნების ძალებს. ყოველივე ზემოთ თქმულის მიღწევა შესაძლებელია შემდეგი გზებით:

გრუნტში შპუნტის საკმარისად ღრმა ჩასმით;

დამჭერი კონსტრუქციების (მაგ. გამბჯენი მილების, ანკერების) მეშვეობით;

ორტესებრი კოჭებით.

შესაბამისად, შპუნტიანი კონსტრუქციები მუშაობენ ან კონსოლის საანგარიშო სქემის მიხედვით ან საანგარიშო სქემით — როდესაც დამხმარე ელემენტებია, (გამბრჯენები ან ანკერები) გამოყენებული.

როდესაც შპუნტი მუშაობს კონსოლური სქემით და ვერ უზრუნველყოფს სიმტკიცეს, სიხისტეს და მდგრადობას აუცილებელია გამბჯენებისა და ანკერების მოწყობა. როგორც წესი, როდესაც შესანარჩუნებელი გრუნტის სიმაღლე 4 მეტრს აჭარბებს, აუცილებელია დამჭერი სისტემების დამატება.

ხშირია როცა დაპროექტებით მიღებული შედეგები არ აკმაყოფილებს მოთხოვნებს, ასეთ დროს მომენტები ან ძვრის დეფორმაცია აჭარბებს დასაშვებს და აუცილებელია განხორციელდეს: შპუნტის ღრმა ჩასმა (embedment depth); ანკერების ან გამბჯენი კონსტრუქციების დამატება; პროფილის (წინაღობის მომენტით) გაძლიერება.

საქართველოს ერთ-ერთ საინჟინრო პროექტში შპუნტის კედლის მდგრადობის გაანგარიშება განხორციელდა პროგრამული პაკეტით GEO5-ით დახმარებით. სადაც გამოყენებული იყო ლარსენის ტიპის შპუნტი GU-21N, ჩასმის სიღრმით 12.0 მ. გაანგარიშება ჩატარდა ეტაპობრივად, გრუნტის ამოღების სხვადასხვა სიღრმეზე.

მიღებული პარამეტრები:

მაქსიმალური ძვრის ძალა: 19.67 kN/m

მაქსიმალური მღუნავი მომენტი: 29.66 kNm/m

მაქსიმალური გადაადგილება: 7.3 მმ

საინჟინრო პროგრამა GEO5 -ით მიღებული პარამეტრები:

შპუნტებს დაემატა გამბჯენი ელემენტები 3.6 მ ბიჯით

ჩასმის სიღრმე გაიზარდა, გაძლიერდა ბრუნვის მდგრადობა

საბოლოო მდგომარეობა – სრული ჩაღრმავება (ჩასმა 8.0 მ-მდე)

გამოცდით მიღებული ძალვები და დეფორმაცია:

ძვრის ძალა: 216.6 kN/m

მღუნავი მომენტი: 207.33 kNm

გადაადგილება: 10.2 მმ

გამოთვლებით დადასტურდა, რომ შპუნტი აკმაყოფილებს სიმტკიცის კრიტერიუმს.

შპუნტის მდგრადობის უზრუნველყოფა მრავალფაქტორული ამოცანაა, რომელიც მოითხოვს სტატიკურ, ჰიდრავლიკურ და დინამიკურ ანალიზს. სიმულაციებმა აჩვენა, რომ ეფექტური სამუშაო სქემა მოითხოვს 5მ-ზე მეტი სიღრმის გამბჯენებს და რომ სექციის სწორი შერჩევით შესაძლებელია საჭირო სიმტკიცის უზრუნველყოფა, მინიმალური დეფორმაციებით.

შპუნტის ტიპების უპირატესობის, ზიდვის უნარის და გადაადგილების სიდიდეებს დასადგენად ჩავატარეთ სამი სხვადასხვა ტიპის შპუნტების გაანგარიშება საინჟინრო პროგრამა GEO5 -ით.

მოცემულ კონკრეტულ მაგალითებში შედაარებულია სამი ვარიანტი:

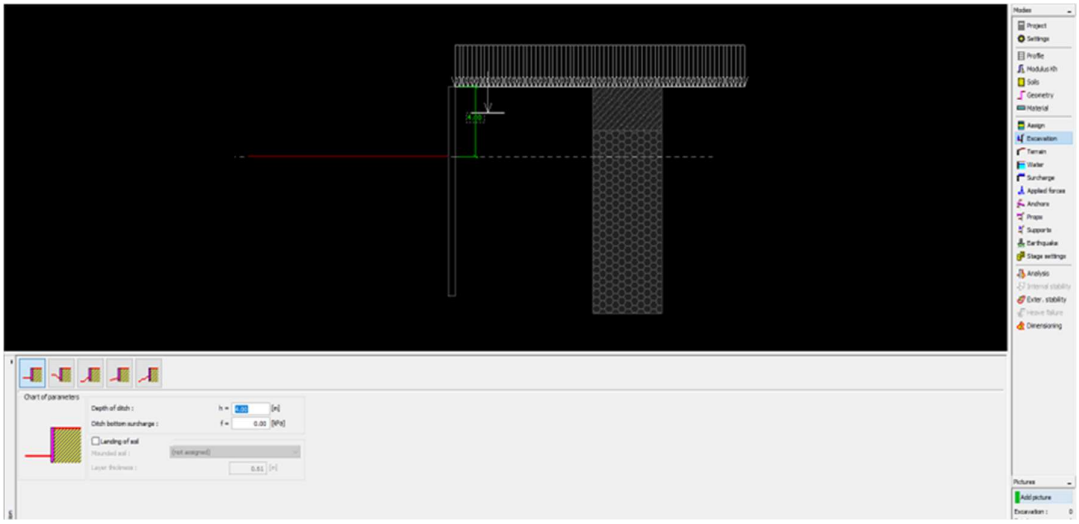
მხოლოდ შპუნტი კონსოლზე;

მხოლოდ ორტესებრი 600 მმ ბიჯით;

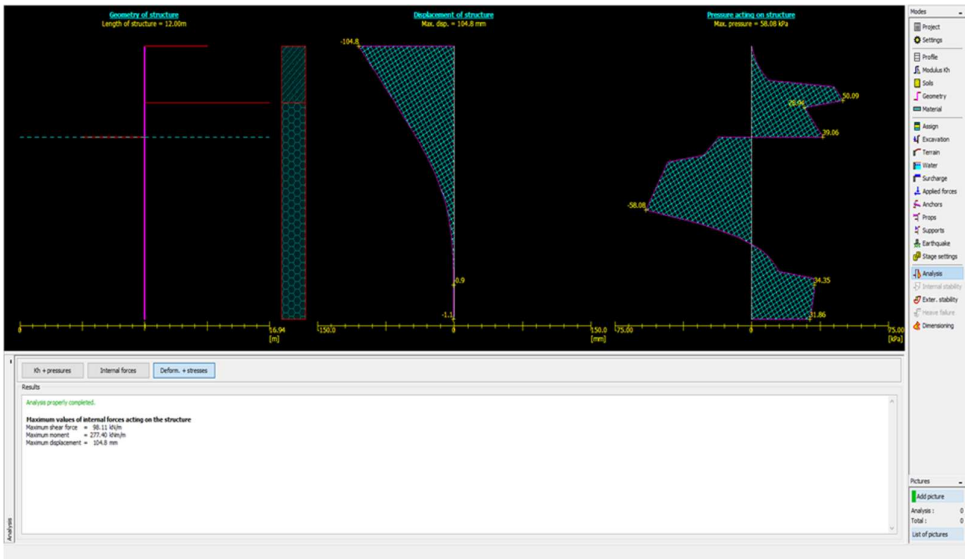
კომბინირებული შპუნტი ორტესებრით.

ამოცანა 1. 4 მეტრიანი ქვაბულის ანგარიში შპუნტური კედლით:

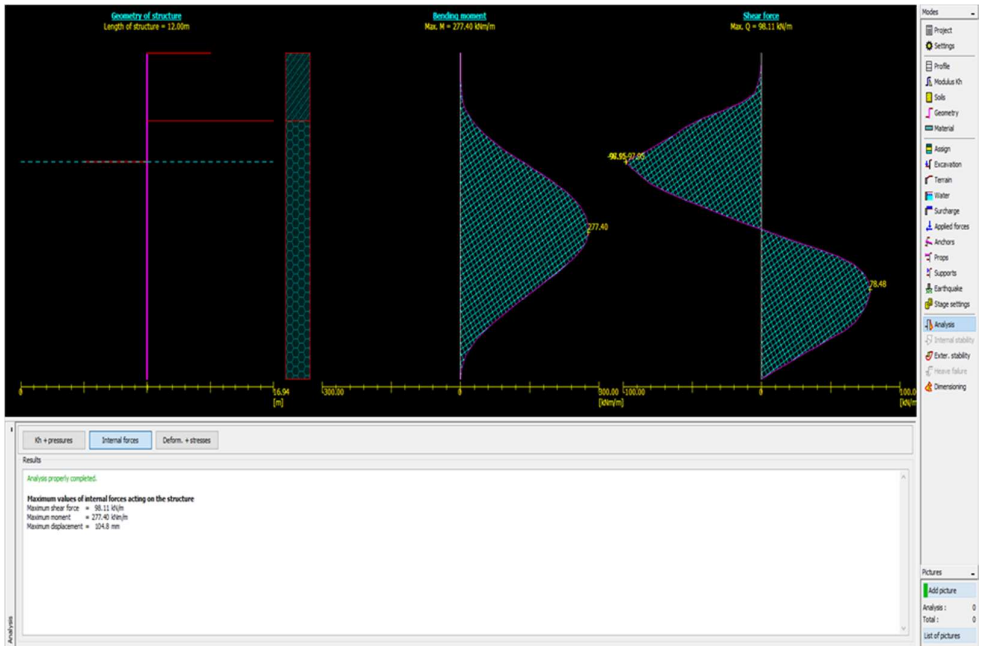
მოსაწყობია - 4 მეტრიანი ქვაბული შპუნტური კედლით. შპუნტის სიგრძე აღებულია 12 მ. პროფილის ნომერი VL605.



ნახ. 1. ქვაბულის ჭრილი



ნახ.2. შპუნტის გადაადგილება და შპუნტზე განვითარებული წნევის ეპიურა



ნახ.3. მღუნავი მომენტის და განივი ძალის ეპიურა

ძალვები და დეფორმაციები I ვარიანტისათვის:

მაქსიმალური ძალაა - 98,11 კნ/მ;

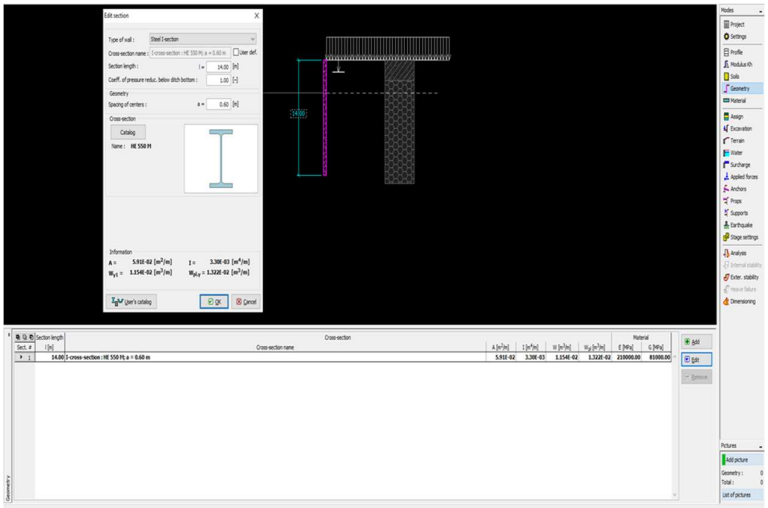
მასიმალური მღუნავი მომენტია 277,4კნ.მ

მაქსიმალური დეფორმაცია - 104,8 მმ.

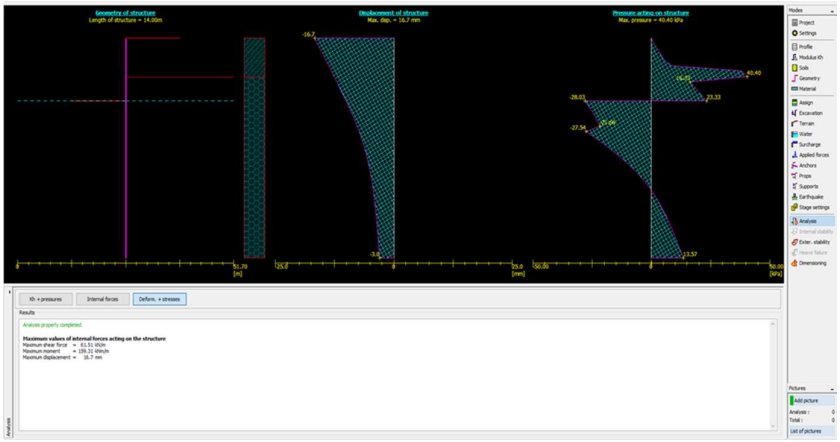
12 მეტრიანი შპუნტების შემთხვევაში მაქსიმალური გადაადგილება არის 104,8 მმ-ია, რაც ნორმების მიხედვით დაუშვებელია, ამიტომ გაანგარიშება გაგრძელდა ორტესებრი კვეთების მქონე შპუნტებზე. გაანგარიშების წინაპირობები დარჩა იგივე.

II ვარიანტი - ქვაბულის ანგარიში ორტესებრი კვეთის პროფილებით:

პირობები იგივე, გრუნტი თიხა, გაწყლოვანებული. წყლის დამყარების დონე ზედაპირიდან დაახლოებით 4 მეტრია. გაანგარიშება განხორციელდა იგივე საინჟინრო გეოლოგიური პირობებისათვის.



ნახ.4. ქვაბული მხოლოდ ორტესებრი კვეთის შპუნტებით



ნახ.5. შპუნტის გადაადგილება და შპუნტზე განვითარებული წნევის ეპიურა ორტესებრი კვეთის შპუნტებით ქვაბულის გამაგრებით ვარიანტში

III ვარიანტით ქვაბულის გამაგრება განხორციელებულია კომბინირებულად ლარსენის შპუნტი და ორტესებრი პროფილის კვეთით.



ნახ.6. ქვაბულის გამაგრება კომბინირებული მეთოდით

სამივე ტიპის ამოცანის ანგარიში ჩატარდა GEO5 საინჟინრო პროგრამის მეშვეობით, სადაც ასახულია, რომ ერთნაირ გეოლოგიურ პირობებში მხოლოდ შპუნტი ღებულობს დაუშვებელ დეფორმაციებს, რაც შეეხება მხოლოდ ორტესებრი პროფილების მოწყობის შემთხვევას, აქ დეფორმაციები მცირე და მისაღებია. კომბინირებული ვარიანტი არსებული გეოლოგიური პირობებისათვის იძლევა სიღრმის 7 მეტრამდე გაზრდის საშუალებას. კომბინირებულ მეთოდში სიმტკიცის გაზრდით იზრდება კონსოლზე მუშაობის სიღრმე, რაც იძლევა შესაძლებლობას მოეწყოს ქვაბული ანკერებისა და გამბრჯენების გარეშე.

3. დასკვნა

კვლევებმა გვიჩვენა, რომ **შპუნტი გამძლეა ჰიდრავლიკური და სეისმური დატვირთვის მიმართ** 15 მ სიღრმემდე.

LIRA SAPR-ში მოდელირების შედეგად დადგინდა, რომ მაქსიმალური გადახრა 15 მ სიღრმეზე აღწევს 1,2 მმ-ს, რაც აჩვენებს, რომ შპუნტის მდგრადობა აკმაყოფილებს საერთაშორისო სტანდარტების მოთხოვნებს.

გრუნტის და ჰიდრავლიკური დატვირთვის ერთობლივი ზემოქმედება შპუნტის კონსტრუქციაზე **იზრდება სიღრმესთან ერთად**.

სამშენებლო პროცესის უსაფრთხოების, კონსტრუქციის სტაბილურობისა და მდგრადობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ლარსენის შპუნტის გაანგარიშებისას გათვალისწინებული იქნას, რამდენიმე მნიშვნელოვანი ფაქტორის (გრუნტის, წყლისა და სეისმური დატვირთვის) კომბინირებული ზემოქმედების გავლენა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1.გურგენიძე ბექა ქვაბულის ფერდის დამჭერი კონსტრუქციები//მშენებლობა N4(64), თბილისი,2022.გვ.51-57.

2.Gurgenidze B., Giorgobiani I. The role of the steel pile sheets in building base reinforcement// AGG+journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and Related Scientific Fields 2023_11(1)-p.p. 110-121

Gurgenidze B., Kipiani G. The role of steel pile sheets in Building bast reinforcement// Book of Absrtracts XIV Annual International Meeting of the Georgian mechanical UNION 29.08.2023-31.08.2023 POTI p.96.

4.Gurgenidze B. Narandyan chimines in industrial and civil engineering// International Scientific and Technical Conference “Problems of Applied Mechanics” Dedicated to the 95th Anniversary og the Academy Corresponding Member Irakli Ghudushauri” Book of abstract. 15-16 may,2023.p.p.58-59.

Selection of protective structural systems for new construction in densely populated areas

Beka Gurgenidze
Georgian Technical University

Abstract

Georgia has a diverse relief and complex geological conditions, high seismic activity, frequent mudflows and landslides. In these conditions, it is necessary to use technologies that ensure both economic efficiency and the stability and safety of engineering structures. Particularly noteworthy is the densely populated urban environment, where ensuring safety and stability is associated with many difficulties and costs: the process of installing sheet piles is accompanied by high levels of noise and vibration, limited working area, specific conditions of a particular construction environment, etc., which requires additional work and, of course, increased costs.

For the last 10 years in Georgia, the technology of screw mounting has been intensively implemented. Pile pile is a metal sheet that, when driven into the ground, forms a kind of iron curtain that performs the function of a protective barrier and is used in the construction of temporary and permanent structures. Sections provide maximum strength at minimum costs. The construction of connecting beams allows you to fasten them with clamps or bury them, creating a solid wall consisting of connected sections.

However, it should be noted that there are many obstacles: insufficient development of theoretical and practical studies, implementation of international standards, which significantly complicates the wider implementation of technology and its development. Despite these disadvantages, Larsen piles are used both in temporary and permanent structures: in the retaining walls of pits, in strengthening the banks of rivers, in the construction of ports, in the construction of roads and bridges, and especially in the implementation of safe construction works in historical and densely populated

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.46



COVID-19 პანდემიის ეკოლოგიური გავლენა: ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის ცვლილება საქართველოს დიდ ქალაქებში

ნინო ვეფხვაძე, მანანა ხორბალაძე, ნინო კილაძე, ნანა ცხოვრებაძე, ირმა ცხოვრებაძე, თეა ქოჩორაძე-მარღიშვილი, ივანე კუგოტი

თსსუ-ის ჰიგიენის, სამედიცინო ეკოლოგიის და ჯანმრთელობის ხელშეწყობის დეპარტამენტი

რეზიუმე

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა საქართველოს დიდ ქალაქებში (თბილისი, რუსთავი, ბათუმი) ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის მაჩვენებლების (PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, CO, O_3, SO_2) კონცენტრაციის შესწავლა პრე- და პოსტკოვიდურ - 2019-2023, წლებში. მიღებული მონაცემები დამუშავდა Microsoft Exel პროგრამით.

კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ საქართველოში დიდი ქალაქების ჰაერის დაბინძურება საკმაოდ სერიოზული პრობლემაა, რომლის მოგვარებაც სამთავრობო უწყებების, სამოქალაქო და სამეცნიერო საზოგადოების ჩართულობას და კოორდინირებულ ქმედებებს მოითხოვს.

მდგომარეობის გაუმჯობესების მიზნით საჭიროა ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის სადგურების რაოდენობის გაზრდა, მოძველებული სატრანსპორტო საშუალებების თანამედროვე ელექტრო- და ჰიბრიდული ტრანსპორტით ჩანაცვლება, დიზელის ძრავიანი სატრანსპორტო საშუალებების გამონაბოლქვის კონტროლი, დიდი ქალაქების ტერიტორიაზე მწვანე ნარგავების ფართობის გაზრდა, ენერგიის ალტერნატიული წყაროების მოძიება და მშენებლობის ენერგოეფექტური მეთოდების გამოყენება.

სავარაუდოდ, ეფექტური იქნება შემდგომი კვლევის ჩატარება ქვეყნის ყველაზე მეტად დაბინძურებულ რეგიონებში, ქრონიკული არაინფექციური დაავადებების, მათ შორის ფილტვის და სასუნთქი გზების სხვადასხვა პათოლოგიით ავადობის შესწავლის პარალელურად.

ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით, მთელ მსოფლიოში 4,2 მილიონი სიკვდილის შემთხვევა ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას უკავშირდება. მსოფლიო მოსახლეობის დაახლოებით 99% ექვემდებარება ისეთი ჰაერის ზემოქმედებას, რომელშიც წვრილდისპერსიული ნაწილაკების ($PM_{2.5}$) შემცველობა მნიშვნელოვნად აღემატება ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ დადგენილ $PM_{2.5}$-ის უსაფრთხო დონეს. დაბალი და

საშუალო შემოსავლების მქონე ქვეყნებში ჰაერის დაბინძურების ხარისხი გაცილებით მაღალია განვითარებულ ქვეყნებთან შედარებით [4, 5, 13].

მოსახლეობის მაღალი სიმჭიდროვე, აქტიური ინდუსტრიალიზაცია, წიაღისეული საწვავის წვა და გადატვირთული საავტომობილო მოძრაობა დიდი ქალაქების ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების უმთავრეს მიზეზებს წარმოადგენს [5, 6, 12].

ევროპის რეგიონსა და ამერიკის შეერთებულ შტატებში მავნე ნაწილაკების გავრცელება ხდება მრავალი მობილური და სტაციონარული წყაროს მეშვეობით. მსუბუქი და სატვირთო მანქანების გადაადგილებისას ხდება გამონაბოლქვისა და მტვრის ნაწილაკების ემისია, რომელიც დაბინძურების მთავარი წყაროა. ამას ემატება მასშტაბური ხანძრები, ქარიშხალი და სხვა ბუნებრივი თუ ხელოვნური კატასტროფები [5, 8, 9, 10, 11].

ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით, ჰაერის მაღალი დაბინძურების მქონე ქალაქებში სიკვდილიანობის ზოგადი მაჩვენებელი 15-20%-ით აჭარბებს შედარებით „სუფთა“ ქალაქების მოსახლეობის სიკვდილიანობის მაჩვენებელს. სუფთა და ჯანსაღი ჰაერით გამოირჩევა სკანდინავიის ქვეყნების (შვედეთი, ნორვეგია, ფინეთი) დიდი ქალაქები, ხოლო ყველაზე საშიში და არაჯანსაღი ჰაერი ჩინეთის რეგიონებშია [4, 6, 7, 12].

2014 წელს ევროკავშირსა და საქართველოს შორის გაფორმდა ასოცირების ხელშეკრულება, რომელიც, ქვეყნის პოლიტიკურ, სოციალურ და ეკონომიკურ პრობლემებთან ერთად, გარემოს დაცვის საკითხებსაც ეხება - მათ შორის ატმოსფერული ჰაერის ხარისხს და მასთან დაკავშირებულ ჯანმრთელობის პრობლემებს. ასოცირების ხელშეკრულება მიზნად ისახავს გარემოს ხარისხის შენარჩუნებას, გაუმჯობესებას და რეაბილიტაციას ადამიანის ჯანმრთელობის დაცვის მიზნით. ასევე ითვალისწინებს საერთაშორისო დონეზე მხარდაჭერას გარემოს დაცვის რეგიონულ ან/და გლობალურ პრობლემებთან გასამკლავებლად (მუხლი 302).

ჰაერში დამაბინძურებლების კონცენტრაციის შემცირებით შესაძლებელია სიკვდილიანობის მაჩვენებლების მნიშვნელოვანი შემცირება. მაგალითად, შეწონილი მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციის 70 მკგ/მ^3-დან 20 მკგ/მ^3-მდე შემცირებით სიკვდილიანობა შეიძლება შემცირდეს 15%-ით [6, 11, 12].

შეწონილი მყარი ნაწილაკების ყველაზე აგრესიულ ნაწილს შეადგენს სულფატები, ნიტრატები, ნახშირბადი, მინერალური არაორგანული მტვერი, რომელიც ჰაერში შეწონილ წყალთან და ორგანულ ნივთიერებებთან ქმნის მყარი და თხევადი ნაწილაკების რთულ ნარევს [4, 6, 8, 9, 10].

ორგანიზმზე ზემოქმედების შეფასებისას მტვრის მყარი ნაწილაკების ფრაქცია იყოფა ორ ჯგუფად: PM_{10} (ნაწილაკები- აეროდინამიური დიამეტრით 10 მკმ) და $PM_{2,5}$ (ნაწილაკები დიამეტრით 2,5 მკმ). სწორედ ეს უკანასკნელი ითვლება ძლიერ დამაზიანებლად და საშიშად ჯანმრთელობისათვის, რადგან მათ შესწევთ უნარი შეაღწიონ ბრონქიოლების პერიფერიულ უბნებზე და ხელი შეუშალონ აირცვლას [4, 6, 7, 12].

დიდ ქალაქებში დამაბინძურებლები უარყოფითად ზემოქმედებენ საზოგადოებრივ ჯანმრთელობასა და გარემოზე. საქართველოში მსხვილი ურბანული ცენტრები, როგორიცაა თბილისი, ბათუმი, ქუთაისი და რუსთავი, წლების განმავლობაში ებრძვიან ჰაერის ხარისხის პრობლემებს. ამ ქალაქებში დღეისათვის დაბინძურების ძირითად წყაროდ ითვლება შიგაწვის

ძრავიანი ავტომანქანების გამონაბოლქვი, რასაც ინდუსტრიულ ცენტრებში ემატება სამრეწველო დაბინძურება [1, 2, 3].

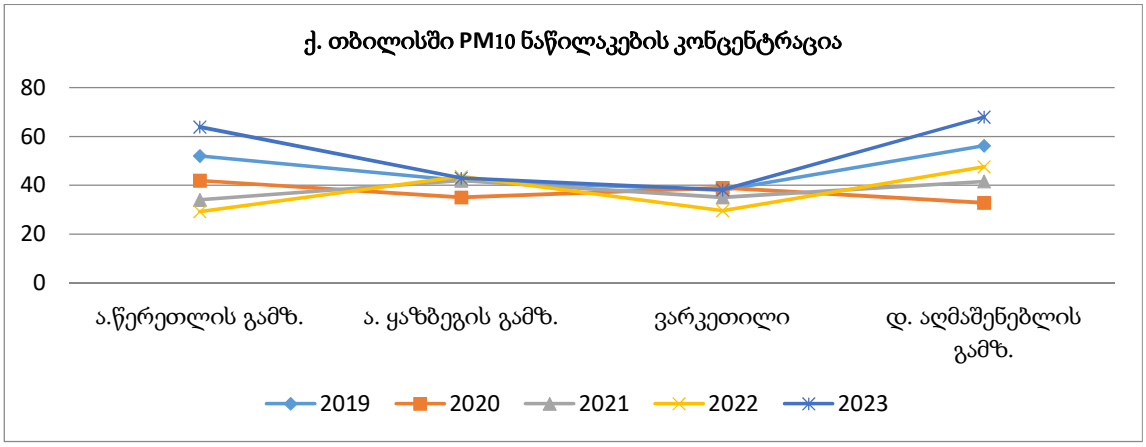
კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ჩვენი ქვეყნის დიდ ქალაქებში (თბილისი, რუსთავი, ბათუმი) ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის მაჩვენებლების (PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, CO, O_3, SO_2) კონცენტრაციის შესწავლა პრე- და პოსტკოვიდური - 2019-2023, წლების განმავლობაში.

ჰაეროვანი გარემოს მონიტორინგი წარმოებს ხუთ დიდ ქალაქში - თბილისში, რუსთავში, ქუთაისში, ზესტაფონსა და ბათუმში. აქედან ავტომატური სადგურები უწყვეტ რეჟიმში მუშაობენ ქ.თბილისის ხუთ, ქ. რუსთავის ერთ, ქ. ქუთაისის ერთ და ქ. ბათუმის ერთ ლოკაციაზე.

ქ. თბილისში ჰაერის ხარისხზე დაკვირვება მიმდინარეობს ვარკეთილში, აკ.წერეთლის, ალ.ყაზბეგის, დავით აღმაშენებლის და მარშალ გელოვანის გამზირებზე (მობილური სადგური).

მიღებული შედეგები. კვლევით დადგინდა, რომ აკ. წერეთლის გამზირზე 2022 წელს შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის საშუალო მაჩვენებელი არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს - PM_{10}- 35 მკგ/მ^3 და $PM_{2.5}$- 17მკგ/მ^3, ხოლო 2023 წელს PM_{10}-ის საშუალო წლიური მაჩვენებელი გაიზარდა და 63.9 მკგ/მ^3 მიაღწია (დიაგრამა №1).

დიაგრამა #1

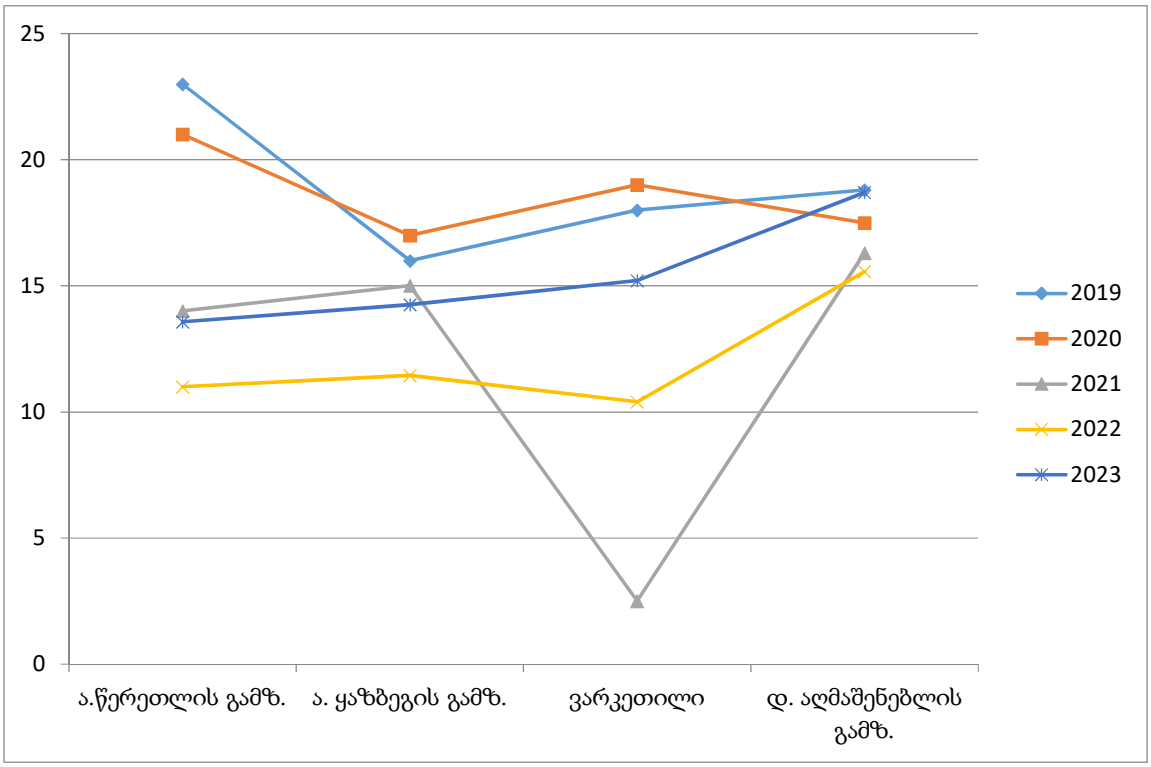


აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ღრმა ყოველდღიური კვლევის მიხედვით ფიქსირდება PM_{10}-ის კონცენტრაციის ეპიზოდური მატება (2 აპრილის მონაცემებით PM_{10}-ის კონცენტრაცია 329.3 მკგ/მ^3-ს შეადგენდა, რაც ნორმაზე 6-ჯერ მეტია).

ქ. თბილისის ოთხ წერტილში გამოსაკვლევ პერიოდში $PM_{2.5}$-ის კონცენტრაციების ცვლილებები გამოხატულია დიაგრამაზე #2.

დიაგრამა #2.

$PM_{2.5}$-ის კონცენტრაციების ცვლილებები ქ. თბილისში

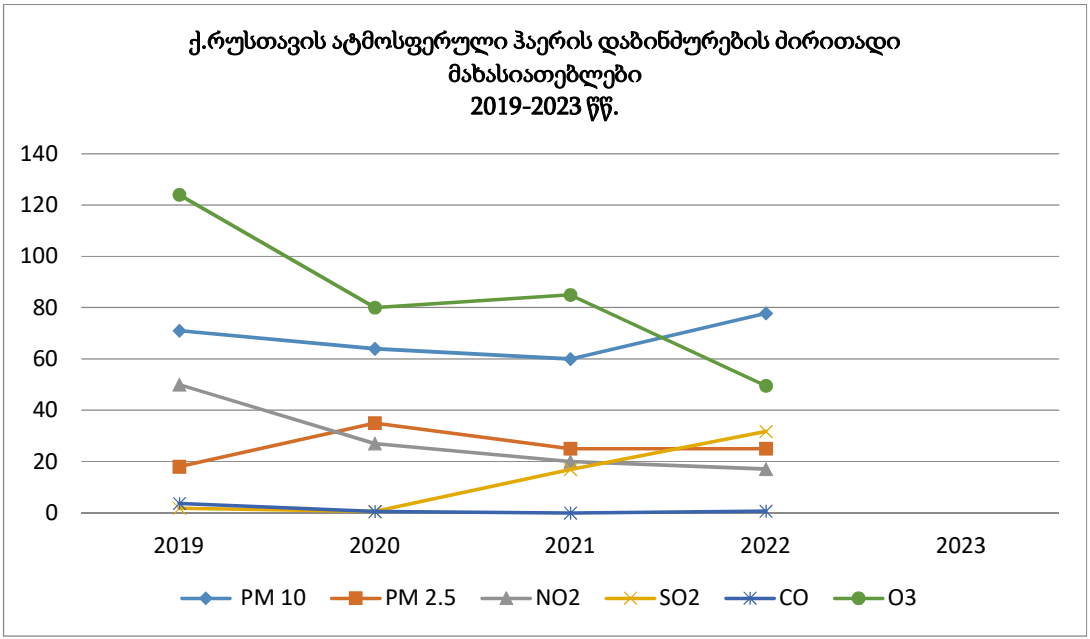


PM $_{2.5}$-ის, ისევე როგორც PM_{10}-ის, შემთხვევაში დედაქალაქის სხვადასხვა უბანში გვხვდება მათი პერიოდული მატების და კლების ტენდენცია, რაც აიხსნება გარემოში მიმდინარე პროცესებით. მიუხედვად ამ გრადაციისა, უნდა აღინიშნოს, რომ საკვლევ ინტერვალში $PM_{2.5}$-ის კონცენტრაცია ძირითადად ნორმის ფარგლებშია, ხოლო PM_{10}-ის კონცენტრაცია 2019 წელს, ისევე როგორც 2023 წელს, ნორმას აღემატება და, მასთან დაკავშირებული ჯანმრთელობის პოტენციური რისკებიდან გამომდინარე, საჭიროებს დამატებითი პრევენციული ღონისძიებების შემუშავებას.

ჰაეროვანი გარემოს სხვა დამაბინძურებლების (NO_2, SO_2, CO, O_3) კონცენტრაციების შეფასების შედეგად დადგინდა, რომ წლების მიხედვით, როგორც მყარი ნაწილაკების შემთხვევაში, კორონავირუსის საწინააღმდეგო რეგულაციებიდან გამომდინარე, შესაბამის პერიოდში მათ კონცენტრაციას ახასიათებს კლების და შემდეგ ისევ მატების ტენდენცია, თუმცა აღნიშნული ნორმას არ აღემატება არცერთ ეპიზოდში.

რაც შეეხება ქ. რუსთავს, აქ საგანგაშო მდგომარეობაა შეწონილი ნაწილაკების მიმართულებით. მაღალია როგორც $PM_{2.5}$-ის, ასევე, PM_{10}-ის ზომის ნაწილაკების კონცენტრაციის საშუალო დღეღამური მაჩვენებელი (დიაგრამა #3).

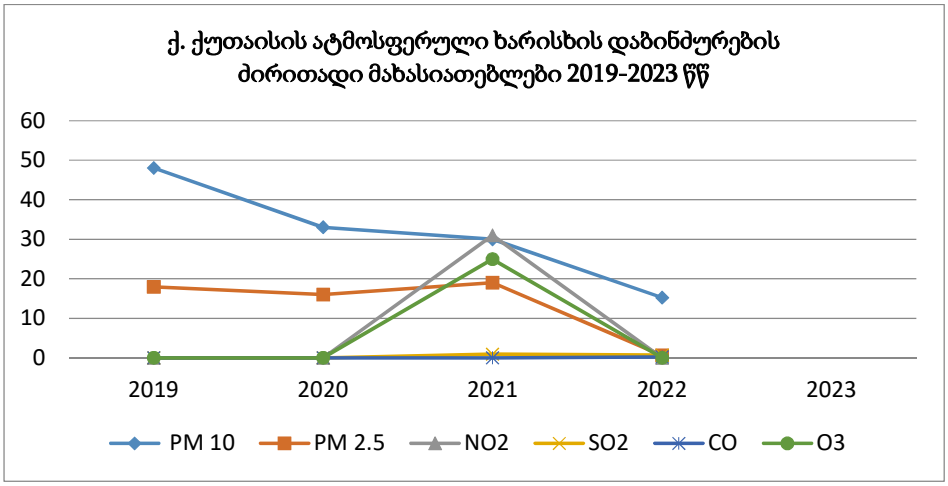
დიაგრამა #3



ღრმა კვლევის მიხედვით, მიმდინარე წლის განმავლობაში შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაცია მაღალი იყო 2024 წლის 7 მარტს. მაღალი იყო როგორც $PM_{2.5}$-ის, ასევე, PM_{10} -ის ნაწილაკების კონცენტრაცია. $PM_{2.5}$-ის ზომის ნაწილაკების კონცენტრაციის საშუალო დღიური მაჩვენებელი 63.09 მკგ/მ^3 შეადგენდა, რაც 3-ჯერ აღემატება ნორმას. ამ ლოკაციაზე აღინიშნება O_3-ის მაღალი კონცენტრაცია, რომელიც ხშირად მაქსიმუმს აღწევს, მაგრამ ნორმის ფარგლებს არ სცილდება.

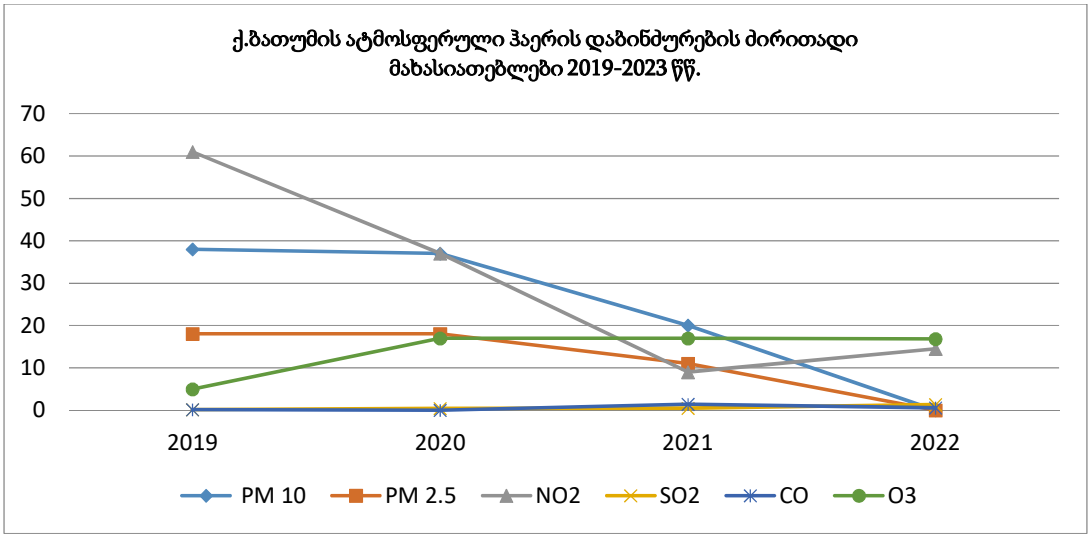
ქ. ქუთაისის ატმოსფერულ ჰაერში შეწონილი ნაწილაკების - $PM_{2.5}$ და PM_{10}-ის, წლიური საშუალო მაჩვენებელი პოსტკოვიდურ პერიოდში ნორმის ფარგლებშია, მაგრამ 2024 წლის აპრილში ჩატარებული ღრმა კვლევის მონაცემებით საშუალო დღიური კონცენტრაცია PM_{10}-ის მიხედვით 91.04 მკგ/მ^3 შეადგენდა, რაც ნორმას აღემატებოდა 2-ჯერ და ეს გრძელდებოდა 3 საათის განმავლობაში. ასევე არის შემთხვევები, როდესაც PM_{10} -ის კონცენტრაცია უფრო ხანგრძლივად არის მაღალი (დიაგრამა #4).

დიაგრამა #4



ქ. ბათუმის მონაცემების მიხედვით, პოსტკოვიდურ პერიოდში ქალაქის ჰაეროვან გარემოში შეწონილი ნაწილაკების $PM_{2.5}$ და PM_{10}-ის საშუალო წლიური კონცენტრაცია ნორმის ფარგლებშია (დიაგრამა #5).

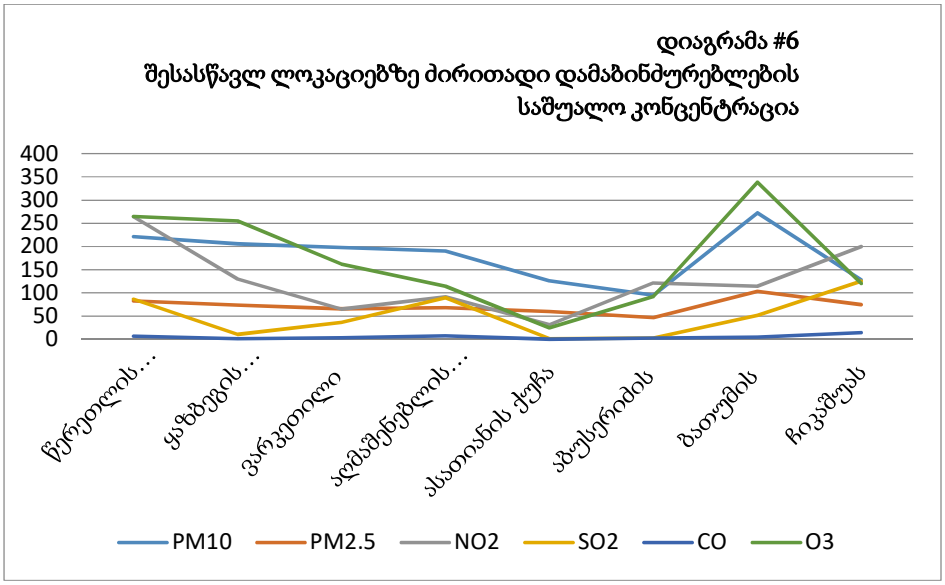
დიაგრამა #5

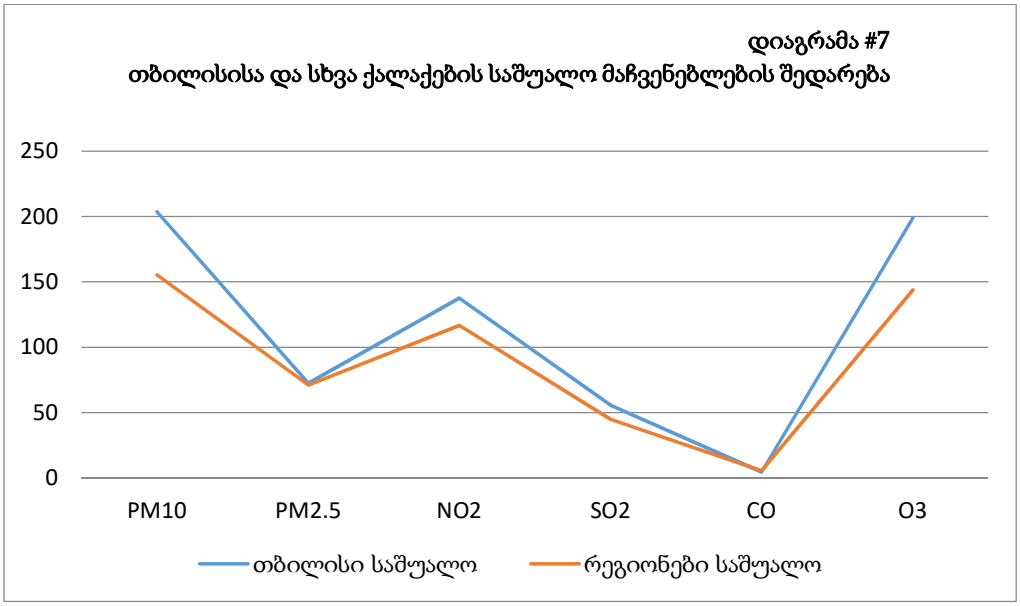


მიუხედავად ამისა, ღრმა კვლევის ყოველდღიური მონაცემებით, პერიოდულად მაღალია შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაცია. მაგალითად, 2024 წლის 31 მარტის მონაცემებით PM_{10} -ის ნაწილაკების დღიური კონცენტრაცია 67.9 მკგ/მ^3-ს შეადგენს, ხოლო $PM_{2.5}$-ის კონცენტრაცია - 28.84 მკგ/მ^3-ს. ორივე მონაცემი აღემატება ნორმით დაშვებულს 1.5-ჯერ. არის დღეები, როდესაც მაღალი კონცენტრაციის დონე გრძელდება საათების განმავლობაში და შემდეგ უბრუნდება ნორმას.

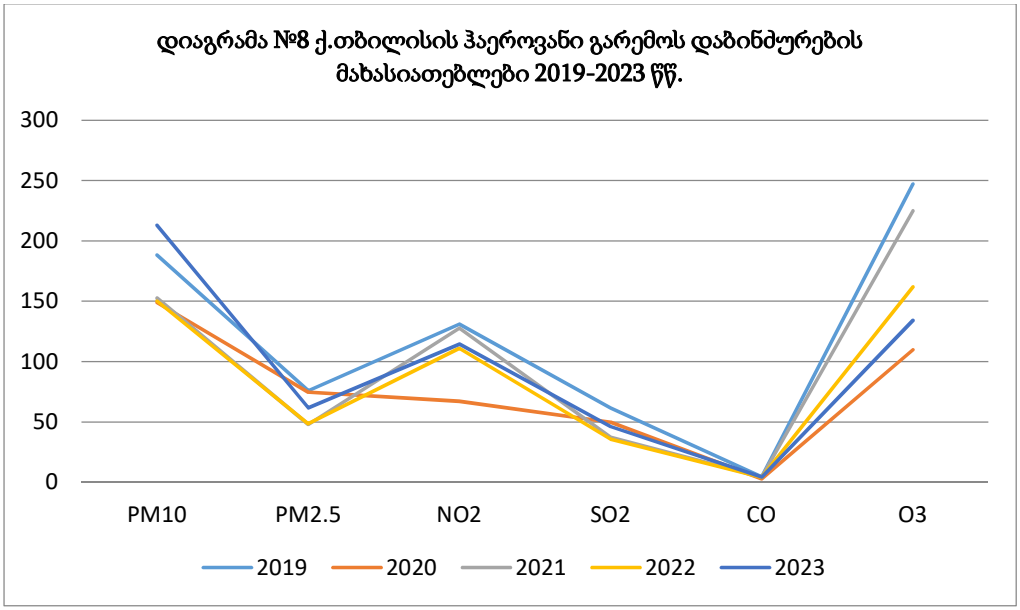
მონაცემები არ მოიძებნა ქ.ზესტაფონის ჰაეროვანი გარემოს შემადგენლობის შესახებ.

გარემოს ეროვნული სააგენტოდან აღებული მონაცემები დამუშავდა Microsoft Exel პროგრამაში; შედარდა სხვადასხვა ქალაქების მონაცემები. შესაბამისი შედეგები ასახულია დიაგრამებზე ##6-7-8.





დიაგრამაზე №8 ასახულია მოცემული ინდიკატორების მნიშვნელობების ჩაშლა თბილისში წლების მიხედვით 2019-2023 წლების ჭრილში.



კვლევის მონაცემების ანალიზით აღმოჩნდა, რომ შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაცია შედარებით მაღალია ზამთრის პერიოდში. განსაკუთრებით - მშრალ პერიოდში, რაც, სავარაუდოდ, შიგაწვის ძრავების მუშაობას და საცობების არსებობას უკავშირდება. ასევე, ამ პერიოდში აქტიურია გათბობის სეზონი, როდესაც მრავალპროფილურ გათბობის ქსელში არსებული სხვადასხვა დამაბინძურებლები ჭარბად გამოიყოფა ატმოსფეროში. ყოველდღიურმა ღრმა კვლევამ აჩვენა, რომ ძალიან ხშირია დღეები, როდესაც შეწონილი ნაწილაკების, კერძოდ $PM_{2.5}$-ის კონცენტრაცია საათების განმავლობაში აჭარბებს ნორმას. ასეთი შემთხვევები ყველა ლოკაციაზე ფიქსირდებოდა, თუმცა ყველაზე ხშირად ეს გამოვლინდა ქ.რუსთავის ჰაეროვანი გარემოს შესწავლისას.

ჩვენი კვლევის შედეგები მიუთითებს, რომ საქართველოში დიდი ქალაქების ჰაერის დაბინძურება საკმაოდ სერიოზული პრობლემაა და სამთავრობო უწყებების, სამოქალაქო და სამეცნიერო საზოგადოების ჩართულობას და კოორდინირებულ ქმედებებს მოითხოვს.

მდგომარეობის გაუმჯობესების მიზნით საჭიროა ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის სადგურების რაოდენობის გაზრდა, მოძველებული სატრანსპორტო საშუალებების თანამედროვე ელექტრო- და ჰიბრიდული ტრანსპორტით ჩანაცვლება, დიზელის ძრავიანი სატრანსპორტო საშუალებების გამონაბოლქვის კონტროლი, დიდი ქალაქების ტერიტორიაზე მწვანე ნარგავების ფართობის გაზრდა, ენერგიის ალტერნატიული წყაროების მოძიება და მშენებლობის ენერგოეფექტური მეთოდების გამოყენება.

სასურველია და, სავარაუდოდ, ძალზე ეფექტური იქნება შემდგომი კვლევების წარმოება ქვეყნის ყველაზე მეტად დაბინძურებულ რეგიონებში, ქრონიკული არაინფექციური დაავადებების, განსაკუთრებით კი სასუნთქი გზების, მათ შორის - ფილტვის სხვადასხვა პათოლოგიით ავადობის შესწავლის პარალელურად.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ნ. ვეფხვაძე, მ.ხორბალაძე, ი. კუგოტი, ნ. ცხოვრებაძე, თ. ქოჩორაძე-მარღიშვილი, ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის შეფასება საქართველოს დიდ ქალაქებში (2019-2021 წწ.), თსსუ სამეცნიერო შრომათა კრებული, 2022, ტ. 56, გვ. 76-79.
2. ნ. ვეფხვაძე, მ. ხორბალაძე, ნ. კილაძე, ნ. ცხოვრებაძე, ი. ცხოვრებაძე, თ. ქოჩორაძე-მარღიშვილი, ი. კუგოტი, საქართველოს დიდი ქალაქების ატმოსფერული ჰაერის ზოგადი დახასიათება პრეკოვიდურ, კოვიდურ და პოსტკოვიდურ პერიოდში (2019-2023 წწ.), ექსპერიმენტული და კლინიკური მედიცინა, №4, 2023, გვ. 19-23
3. Annual Air Quality Reports (2019-2023) - National Environmental Agency of Georgia.
4. Dasandi N, Jankin S, Pantera DK, Romanello M. Public engagement with health and climate change around the world: a Google Trends analysis. Lancet Planet Health 2025; **9:** e. 236–44
5. European Environmental Agency. Air Quality in Europe—2019 Report. Report № 10/2019. Available online: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019 (accessed on 7 April 2022).
6. European Environment Agency (EEA). Air Quality in Europe – 2020 Report. EEA09/2020 (published 23 November 2020)
7. European Commission. Directive 2008/50/EC on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. European Parliament and of the Council. 21 May 2008. Available online: https://www.eea.europa.eu/policy-documents/directive-2008-50-ec-of (accessed on 7 April 2022).
8. Lorenzo-Saez E., Coll-Aliaga E., Oliver-Villanueva J., Prieto del Campo F., Lerma-ArceV., Analysis of the COVID-19 Lockdown's Impact on Air Quality in the Langer Cities of Spain, Sustainability 2022, 14(9), 5613.
9. . Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. Front Public Health. 2020 Feb
   doi: 10.3389/ fpubh.2020.00014
10. United States Environmental Protection Agency (EPA). "The Clean Air Act." EPA, 2020.

11. World Health Organization (WHO). "Air Pollution." WHO, 2025
12. World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulphur Dioxide and Carbon Monoxide; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2021; Available online: https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228 (accessed on 7 April 2022).
13. https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-energy-and-health/health-impacts/exposure-air-pollution

Ecological Impact of COVID-19 Pandemic: Changes in Ambient Air Quality in Major Cities of Georgia

Nino Vepkhvadze, Manana Khorbaladze, Nino Kiladze, Nana Tskhovrebadze, Irma Tskhovrebadze, Tea Kochoradze-Margishvili, Ivane Kugoti

Department of Hygiene, Medical Ecology and Health Promotion, Tbilisi State Medical University

Abstract

This study aims to evaluate the changes in ambient air quality in major urban centres of Georgia-Tbilisi, Rustavi, and Batumi - during the period 2019 to 2023, encompassing the pre- and post-COVID-19 pandemic phases. The research focused on key atmospheric pollutants, including particulate matter (PM_{10}, $PM_{2.5}$), nitrogen dioxide (NO_2), carbon monoxide (CO), ozone (O_3), and sulfur dioxide (SO_2). The collected data were processed and analysed using Microsoft Excel.

The findings indicate that air pollution remains a significant environmental and public health issue in the studied cities. Addressing this challenge necessitates the coordinated involvement of governmental bodies, the scientific community, and civil society.

To mitigate air pollution and improve air quality, the following measures are recommended: expansion of the national air quality monitoring network, gradual replacement of aging vehicle with electric and hybrid alternatives, strengthened regulatory control over emissions from diesel-powered vehicles, development and maintenance of urban green spaces promotion and integration of renewable energy sources, adoption of energy-efficient construction technologies and practices.

Further research is recommended, particularly in regions with the highest pollution levels. Such studies should be conducted in parallel with epidemiological investigations into chronic non-communicable diseases, especially those affecting the respiratory system, in order to better understand the public health implications of long-term exposure to air pollutants.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.47



ობიექტურ–ორიენტირებული მონაცემთა ბაზების შესახებ

ცაცა ნამჩევაძე[1], ელზა ბიწაძე[2]

[1]აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ასოცირებული პროფესორი,
tsatsanamg@gmail.com,
[2]აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ასისტენტ პროფესორი,
elza.bitsadze@atsu.edu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია მონაცემთა ბაზების გამოყენების მნიშვნელობა; რელაციურ მონაცეთა ბაზების ნაკლოვანი მხარეები დიდი მოცულობის მონაცემთა დამუშავებისას. აღნიშნულია, რომ ამ ნაკლოვანებების თავიდან აცილების ერთ–ერთ საშუალებას წარმოადგენს ობიექტურ–ორიენტირებული მონაცემთა ბაზები. ასეთი ბაზების არსი განისაზღვრება ობიექტურ–ორიენტირებული მიდგომით. ობიექტურ–ორიენტირებული მიდგომა გულისხმობს ობიექტურ–ორიენტირებულ პროექტირებას და ობიექტურ ორიენტირებულ პროგრამირებას. ჩამოყალიბებულია ობიექტურ–ორიენტირებული პროექტირებისა და ობიექტურ–ორიენტირებული პროგრამირების ძირითადი ცნებები.

მონაცემთა ბაზების აგების ობიექტურ–ორიენტირებული მიდგომისათვის აუცილებელია: 1).მონაცემთა ინკაფსულაცია ე.ი. კლასებისა და ობიექტების გამოყოფა; 2).ცხრილების სტრუქტურის განსაზღვრა; 3).მონაცემებისათვის კლასების მემკვიდრეობის შექმნა; 4).პოლიმორფიზმის უზრუნველყოფა და სხვა.

აღნიშნულია, რომ ობიექტურ–ორიენტირებულ მონაცემთა ბაზებს მიეკუთვნება მხოლოდ ის მონაცემთა ბაზები, რომელთა რეალიზაციის ყველა სტრუქტურული ელემენტი აგებულია ობიექტურ–ორიენტირებული მიდგომით. თუ ერთი მაინც სტრუქტურული ელემენტი არ გამოიყენებს ობიექტურ–ორიენტირებულ მიდგომას, მაშინ საქმე გვაქვს ობიექტურ–რელაციურ მონაცემთა ბაზებთან.

ნაშრომში ჩამოყალიბებულია რელაციურ მონაცემთა ბაზებთან შედარებით ოომბ–ის უპირატესობები. ესენია: 1).სისტემის მოდელირების უკეთესი შესაძლებლობები; 2).სტრუქტურის ადვილად გაფართოების უნარი, რაც განპირობებულია ახალი ტიპის მონაცემების (თვისებების) შექმნით, მემკვიდრეობით, ახალი კავშირების დამყარებით და მეთოდების კორექტირების საშუალებებით. 3).რეკურსული მეთოდების გამოყენების შესაძლებლობა დიდი მოცულობის მონაცემებზე ნავიგაციური მეთოდით მიმართვისას;

4).მწარმოებლობის ამაღლება 3–20–ჯერ და მეტად; 5).გამოყენების ფართო სპექტრი (მაგალითად, გამოიყენება მულტიმედიურ სისტემებში, გრაფებში) და სხვა.

აღსანიშნავია, რომ ობიექტურ–ორიენტირებული მონაცემთა ბაზები რელაციურ მონაცემთა ბაზებთან შედარებით საჭიროებს 4-5–ჯერ მეტ მეხსიერებას.

ობიექტურ-ორიენტირებულ მონაცემთა ბაზებში მონაცემებთან წვდომა და მოთხოვნების შექმნა ხდება პროგრამული კოდით, რომელიც დაწერილია ობიექტურ-ორენტირებულ ენაზე (მაგ. Java, C++, Python). ზოგიერთ თანამედროვე ობიექტურ-ორენტირებულ მონაცემთა ბაზას აქვს SQL ენის-ის გაფართოებული ვერსია.

სტატიაში მოცემულია თანამედროვე პირობებში ფართოდ გამოყენებული რამოდენიმე ობიექტურ–ორიენტირებული მონაცემთა ბაზების მართვის სისტემის სახეები. მოყვანილია პროგრამის ფრაგმენტები ერთ-ერთი პოპულარული მონაცემთა ბაზების მართვის სისტემისათვის-**Versant Object Database.**

საკვანძო სიტყვები: ობიექტურ–ორიენტირებული მონაცემთა ბაზები, ობიექტურ–ორიენტირებული მონაცემთა ბაზების მართვის სისტემა, მონაცემთა ობიექტური მოდელი, ობიექტების განსაზღვრის ენა, მოთხოვნების ობიექტური ენა.

თანამედროვე პირობებში ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს მონაცემთა ბაზების გამოყენებას. იგი ეხება საზოგადოების საქმიანობის თითქმის ყველა სფეროს. ესენია: მეცნიერება, საბანკო სექტორი, ბიზნესი, ჯანდაცვა, სახელმწიფო მართვა და სხვა.

მონაცემთა ბაზები უზრუნველყოფს დიდი რაოდენობის ინფორმაციის სისტემატიზაციას, სწრაფ დამუშავებას, ანალიზს და სხვა. მისი საშუალებით შესაძლებელია ინფორმაციის დაცვა უნებართვო წვდომისგან, პარალელურად კი - მრავალმომხმარებლიანი წვდომის უზრუნველყოფა. მონაცემთა ბაზები ხელს უწყობს პროცესების ავტომატიზაციას - მცირდება ხელით შეყვანის საჭიროება, რაც ამცირებს შეცდომებს და ზრდის პროდუქტიულობას.

მონაცემთა რელაციური მოდელის სერიოზულმა ნაკლოვანებებმა გამოიწვია სხვა მოდელების ძებნის აუცილებლობა. მონაცემთა პროგრესულ და პერსპექტიულ მოდელს წარმოადგენს მონაცემთა ობიექტურ–ორიენტირებული მოდელი. მასში მონაცემთა ბაზა, მომხმარებლის ინტერფეისი და დანართების ალგორითმები აგებულია ობიექტურ–ორიენტირებული მიდგომის გამოყენებით.

მონაცემთა რელაციური მოდელის ავტორმა **ედგარ კოდმა** თავდაპირველად ჩამოაყალიბა 12 მოთხოვნა, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს **მონაცემთა ბაზები (მბ).** თანამედროვე პირობებში იგი უნდა აკმაყოფილებდეს დამატებით 15–20-ზე მეტ ტექნიკურ, უსაფრთხოების, ოპტიმიზაციის და ინტეგრაციის მოთხოვნასაც. აღნიშნულის რეალიზება დაკავშირებულია რიგ სირთულეებთან.

დიდი მოცულობის მონაცემების დამუშავებისას ვლინდება რელაციურ მბ–ის ნაკლოვანებები. ამ ნაკლოვანებებს მიეკუთვნება:

1) მბ–ის სტრუქტურის სირთულე, რომელიც განპირობებულია ნორმალიზაციის ჩატარების აუცილებლობით;
2) დაბალი მწარმოებლობა, რომელიც გამოწვეულია გასაღების მიხედვით ძებნით. აღნიშნული 3–5–ჯერ ზრდის მიმართვის ოპერაციებს;
3) მონაცემთა ტიპების შეზღუდული რაოდენობა;

4) მონაცემთა წარმოდგენა მხოლოდ 2–განზომილებიანი ცხრილის სახით;
5) შეუძლებელობა იმისა, რომ მონაცემები განხილულ იქნას ფენებად (მაგალითად, „თანამშრომლები“ ერთ ფენად, ხოლო „მეცნიერ-მუშაკები“ და „მასწავლებლები“ დაქვემდებარებულ ფენად);
6) მონაცემთა დანაკარგები მრავალრიცხოვანი განახლებისას მე–3 ნორმალურ ფორმაში;
7) მონაცემთა შენახვის სხვა პარადიგმებთან შერწყმის სირთულე და სხვა.

ჩამოთვლილი ნაკლოვანებების თავიდან აცილების ერთ–ერთ საშუალებას წარმოადგენს **ობიექტურ–ორიენტირებული მონაცემთა ბაზები (ოომბ).** იგი მოითხოვს დიდი მოცულობის მეხსიერებას (20 გიგაბაიტზე მეტი) სისტემის კონსტრუირებისათვის.

1989 წელს გამოქვეყნდა „ოომბ–ის მანიფესტი“, რომელშიც გამოიყენებოდა ფორმულა:

ოომბმს=მბმს+ოოპე

სადაც ოომბს ნიშნავს ობიექტურ–ორიენტირებულ მონაცემთა ბაზების მართვის სისტემას;

ოოპე – ობიექტურ–ორიენტირებულ პროგრამირების ენას.

ოომბმს უნდა უზრუნველყოფდეს არაწრფივი სტრუქტურის ობიექტებს, სისტემის ადვილად გაფართოებას, გამოთვლების შესრულებას, მოთხოვნების ენებს. აღნიშნული მიიღწევა ინკაფსულაციითა და მემკვიდრეობით.

1991 წელს შეიქმნა ჯგუფი Object Database Managment Group (ODMG), რომელსაც უნდა ჩამოეყალიბებია ოომბ–ის სტანდარტი. ეს სტანდარტი ჯგუფმა წარადგინა 1993 წელს სახელწოდებით ODMG-3. მასში შედიოდა:

1) მონაცემთა ობიექტური მოდელი – Object Data Model (ODM);
2) ობიექტების განსაზღვრის ენა – Object Definition Language (ODL), რომელიც გამოყენებულია მონაცემთა მანიპულირებისათვის;
3) მოთხოვნების ობიექტური ენა – Object Query Language (ODL), რომელიც გამოყენებულია მოთხოვნების დამუშავებისათვის;
4) პროგრამირების ენების ინტერფეისები (C^{++} და სხვა).

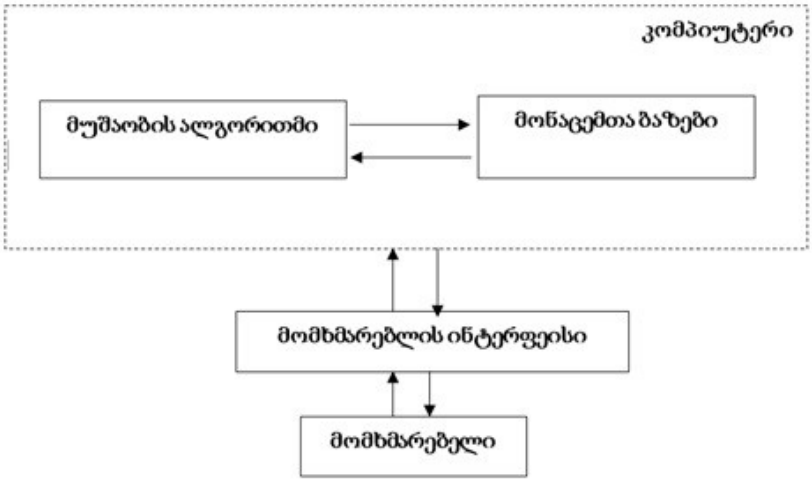
ოომბ-ის არსი განისაზღვრება ობიექტურ–ორიენტირებული მიდგომით **(სურ.1).** იგი გულისხმობს ობიექტურ–ორიენტირებულ პროექტირებას და ობიექტურ ორიენტირებულ პროგრამირებას.



სურ. 1. ობიექტურ–ორიენტირებული მიდგომა

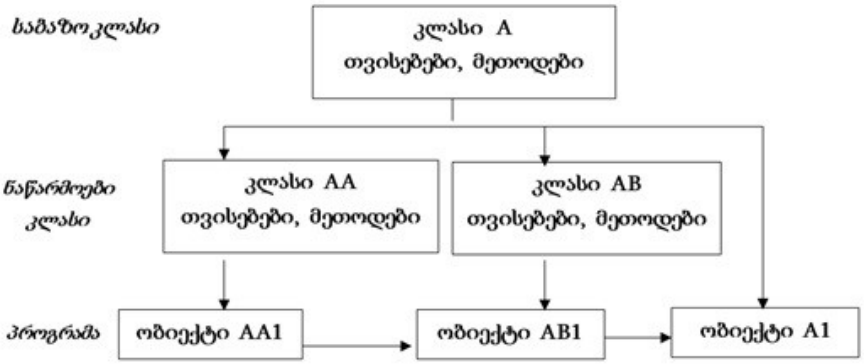
ობიექტურ–ორიენტირებული პროექტირება **(სურ.2)** არის პროექტირების მეთოდოლოგია, რომელიც თავის თავში აერთიანებს ცოდნის ბაზების ან მონაცემთა ბაზების დეკომპოზიციის (დაყოფის) პროცესს შემადგენელ ნაწილებად. ამასთან იგი მოიცავს

დასაპროექტებელი სისტემის ლოგიკურ და ფიზიკურ წარმოდგენებს, სტატიკურ და დინამიურ მოდელებს.



სურ. 2. ობიექტიურ–ორიენტირებული პროექტირება

ობიექტურ–ორიენტირებული პროგრამირება **(სურ.3)** არის პროგრამირების მეთოდოლოგია, რომელიც ემყარება პროგრამის წარმოდგენას ობიექტების ერთობლიობის სახით. მასში ყოველი ობიექტი წარმოადგენს კლასის ეგზეპლიარს. კლასები კი იქმნება იერარქიულად მემკვიდრეობის პრინციპის მიხედვით.



სურ. 3. ობიექტიურ–ორიენტირებული პროგრამირება

განვიხილოთ ოოპ–ის რამოდენიმე დამახასიათებელი ცნება. კლასი არის ლოგიკური კონსტრუქცია, ხოლო ობიექტი მისი ფიზიკური რეალიზაცია. კლასს გააჩნია თვისებები (მონაცემები), მეთოდები (ალგორითმები).

ოოპ ეყრდნობა 3 ძირითად კონცეფციას ესენია: **ინკაფსულაცია, მემკვიდრეობა და პოლიმორფიზმი.**

ინკაფსულაცია არის კლასის თვისებების ჩაკეტვა მასზე წვდომის (მიმართვის) მიხედვით. კლასის თვისებებზე წვდომა შესაძლებელი უნდა იყოს მხოლოდ კლასის მეთოდების საშუალებით. ამ მეთოდებს დაშვების ან წვდომის მეთოდებს უწოდებენ.

მემკვიდრეობა ნიშნავს, რომ კლასები იქმნება იერარქიული პრინციპის მიხედვით რომელიმე საბაზო (საწყისი) კლასიდან. წინაპარი კლასი მიჩნეულია როგორც საბაზო კლასი, ხოლო მემკვიდრე კლასი-როგორც წარმოებული კლასი. მემკვიდრე კლასი იძენს თვისებებსა და მეთოდებს წინაპარი კლასისაგან, ამასთან მასში შეიძლება გამოცხადდეს დამატებითი თვისებები და მეთოდები.

პოლიმორფიზმი საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ მეთოდები ერთი და იგივე სახელით როგორც საბაზო კლასში, ასევე წარმოებულ კლასებში. პოლიმორფიზმის გამოყენება განპირობებულია პროგრამაში დიდი რაოდენობით (100 და მეტი) კლასების არსებობით.

თუ გავავლებთ პარალელს რელაციურ მონაცემთა ბაზებთან, მაშინ კლასი (ობიექტი) შეესაბამება ცხრილს, ხოლო თვისება ველს (სვეტს).

თვისება შეიძლება იყოს მუდმივა, გადაგზავნა ობიექტზე, ჩაშენებული ობიექტები, მასივი (Array) და სია (List), მრავალგანზომილებიანი თვისება. მას მიეკუთვნება აგრეთვე ობიექტებს შორის კავშირები. თვისებას აქვს ტიპი. ძირითადი ტიპებია: String, Numeric, Float, Currency, Date, List, Status.

ქვემოთ მოცემულია ოომბ–ის ძირითადი პრინციპები, რომლებიც ეყრდნობა ობიექტურ–ორიენტირებულ მიდგომას:

1) სვეტის როლში შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი კორტეჟი. სხვანაირად რომ ვთქვათ, სვეტი შეიძლება იყოს სხვა ცხრილი.
2) მონაცემთა მანიპულაციის პროცედურები საშუალებას იძლევა გაერთიანდეს რამოდენიმე პროცედურა;
3) სვეტების მონაცემები შეიძლება ექვემდებარებოდეს მემკვიდრეობითობის პრინციპს;
4) ელემენტებს შორის დამოკიდებულებაში შესაძლებელი იქნება არა მარტო ცალკეული ელემენტის მონაწილეობა (როგორც რელაციურ მონაცემთა ბაზებში), არამედ მრავალისაც.

ოომბ-ს მიეკუთვნება მხოლოდ ის მონაცემთა ბაზები, რომელთა რეალიზაციის ყველა სტრუქტურული ელემენტი აგებულია ობიექტურ–ორიენტირებული მიდგომით. თუ ერთი მაინც სტრუქტურული ელემენტი არ გამოიყენებს ობიექტურ–ორიენტირებულ მიდგომას, მაშინ საქმე გვაქვს ობიექტურ–რელაციურ მონაცემთა ბაზებთან [1-4].

თანამედროვე პირობებში ობიექტურ-ორიენტირებული მონაცემთა ბაზების ტექნოლოგიის განვითარებაში ერთმანეთს კონკურენციას უწევს ორი ძირითადი მიმართულება: 1). Distributed Object Linking and Embedding (OLE), 2). Common Object Request Broker Architecture (CORBA). ისინი არის ობიექტზე ორიენტირებული დისტრიბუციული ტექნოლოგიები, რომლებიც ხშირად გამოიყენება ობიექტურ-ორიენტირებული მონაცემთა ბაზების ინტეგრაციისთვის. ქვემოთ ჩამოყალიბებულია ამ ტექნოლოგიების ძირითადი არსი:

1).Distributed Object Linking and Embedding (OLE)-ტექნოლოგია, რომელიც შემუშავებულია კომპანია *Microsoft*-ის მიერ და ძირითადად ორიენტირებულია Windows პლატფორმებზე. იგი უზრუნველყოფს ობიექტების გაზიარებას და ურთიერთქმედებას სხვადასხვა პროგრამას შორის.

OLE-ს მეშვეობით სხვადასხვა პროგრამას (მაგალითად, MS Word-სა და Excel-ს) შეუძლია ერთმანეთთან **ობიექტების გაზიარება** ისე, რომ ისინი მუშაობდნენ **სინქრონულად.**

მაგალითად, Excel-ში შექმნილი ცხრილი ჩაშენდეს Word დოკუმენტში ისე, რომ საჭიროების შემთხვევაში მოხდეს პირდაპირ Word-დან განახლება.

2).Common Object Request Broker Architecture (CORBA)-პლატფორმებისაგან დამოუკიდებელი სტანდარტი, რომელიც შემუშავებულია *Object Management Group (OMG)*-ის მიერ და მხარდაჭერილია ისეთი კომპანიების მიერ, როგორებიცაა *IBM, Novell, DEC* და სხვები. CORBA უზრუნველყოფს სხვადასხვა სისტემებსა და პროგრამულ გარემოში არსებული ობიექტების ურთიერთქმედებას ქსელის საშუალებით.

მაგალითად, ერთი პროგრამა შეიძლება დაწერილი იყოს Java-ზე Linux-ში, მეორე - C++-ზე Windows-ში. CORBA იძლევა მათ შორის კავშირისა და მონაცემთა გაცვლის შესაძლებლობას.

ამგვარად, ობიექტურ-ორიენტირებულ მონაცემთა ბაზებში მონაცემები ინახება ობიექტების სახით და არა ცხრილებად. მონაცემებთან წვდომა და მოთხოვნების შექმნა ხდება პროგრამული კოდით, რომელიც დაწერილია ობიექტურ-ორენტირებულ ენაზე (მაგ. Java, C++, Python). ზოგიერთ თანამედროვე ობიექტურ-ორენტირებულ მონაცემთა ბაზას აქვს SQL ენის გაფართოებული ვერსია.

თანამედროვე პირობებში ფუნქციონირებს 300-ზე მეტი სახის ოომბმს. ზოგიერთი მათგანი მოცემულია ცხრ.1–ში. ცხრილიდან ჩანს, რომ მათი შექმნისათვის გამოყენებულია დამუშავების სხვადასხვა მიდგომა:

ცხრილი 1

რამოდენიმე ოომბმს–ის დახასიათება

მწარმოებელი ფირმა	მართვის სისტემა (OODBMS)	დამუშავების ენა/ენები	დამუშავების მიდგომა	შენიშვნა / განსაკუთრებული მახასიათებლები
ObjectDB Software Ltd.	ObjectDB	Java, JPA	ობიექტების პირდაპირი შენახვა, ORM მხარდაჭერა	მაღალსიჩქარიანი JPA რეალიზაცია, მხარდაჭერა Hibernate-ის ალტერნატივად
Actian (Versant Corp.)	Versant Object Database	Java, C++	ობიექტების პირდაპირი რუკირება	გამოიყენება ტელეკომუნიკაციებში, რეალურ დროში დამუშავება
db4objects Inc.	db4o	Java, .NET (C#)	ობიექტების პირდაპირი შენახვა, არ იყენებს ORM-ს	გამარტივებული დანერგვა და მინიმალური კონფიგურაცია
GemTalk Systems	GemStone/S	Smalltalk	ობიექტების პირდაპირი შენახვა,	სრული ინტეგრაცია Smalltalk გარემოსთან

მწარმოებელი ფირმა	მართვის სისტემა (OODBMS)	დამუშავების ენა/ენები	დამუშავების მიდგომა	შენიშვნა / განსაკუთრებული მახასიათებლები
			გამართულობა ობიექტურ გარემოში	
Zope Corporation	ZODB	Python	ობიექტების პირდაპირი შენახვა	გამოიყენება Web აპლიკაციებში (Zope, Plone)
RunTime, Inc.	ODABA	C++	ობიექტური მოდელი + სუსტი რელაციური მხარდაჭერა	ძლიერი ტიპიზაცია, ინტეგრირებული GUI
Oracle Corporation	Oracle Berkeley DB (Java Edition)	Java	ჩაშენებული ობიექტური შენახვა Java-ში	გამოიყენება ჩაშენებულ აპლიკაციებში, მაღალი შესრულება
Franz Inc.	AllegroGraph	Java, Lisp, Python, C#	გრაფებზე დაფუძნებული ობიექტური მოდელი + RDF მონაცემების მხარდაჭერა	გამოიყენება knowledge graph-ებში, AI/ML სისტემებში

Object-Relational Mapping (**ORM-ობიექტურ-რელაციური რუკირება)** არის ტექნოლოგია, რომელიც გამოიყენება **ობიექტურ-ორიენტირებულ პროგრამებსა** და **რელაციურ მონაცემთა ბაზებს** შორის მონაცემების გადასაყვანად. ORM ავტომატურად გარდაქმნის ობიექტებს მონაცემთა ბაზის ცხრილებად და პირიქით - ცხრილების მონაცემებს პროგრამულ ობიექტებად SQL-ენის გამოყენების გარეშე.

ოომბმს–ის არჩევას განსაზღვრავს: ოოპე და SQL–ენის გაფართოება; ადმინისტრირების და დამუშავების საშუალებანი; მონაცემებზე წვდომა **(ODBC-**Open Database Connectivity-ღია კავშირი მონაცემთა ბაზებთან); სხვადასხვა პლატფორმით მუშაობის შესაძლებლობა.

ერთ-ერთი პოპულარული ოომბმს არის **Versant Object Database.** იგი იყენებს ენას C++ და SQL-ენის გაფართოებას **VQL-ენას**. **VQL-ენა** არის SQL-ენის მსგავსი, მაგრამ მორგებულია ობიექტებზე მანიპულირებისათვის [5].

1.1.1. *ქვემოთ მოცემულია პროგრამების ფრაგმენტები ობმბმს-თვის - Versant Object Database. (მონაცემთა ბაზაში შექმნილია ორი კლასი: 1.კლასი Person, 2.კლასი Department).*

1) პროგრამამ უნდა განაახლოს **ერთი თანამშრომლის ასაკი და წაშალოს მეორე თანამშრომლის მონაცემი.**

```
//გავაახლოთ Saba-ს ასაკი
const char* updateQuery="select from Person where name=' Saba '";
VOD_Query* q1= new VOD_Query(db, updateQuery);
Person* s;
if ((s=(Person*)q1->next()) != NULL) {
std::cout<<"მოიძებნა Saba. ასაკი: "<< s->age <<" -> ";
s->age = 40;
std::cout<<s->age<<" განახლდა"<<endl;
} else {
std::cout<<" ვერ მოიძებნა Saba."<<endl;
}
delete q1;

//წავშალოთ Akaki
const char* deleteQuery="select from Person where name = 'Akaki '";
VOD_Query* q2=new VOD_Query(db, deleteQuery);
Person* a;
if ((a = (Person*)q2->next())!=NULL) {
std::cout<<"მოიძებნა Akaki. იშლება."<<endl;
db->remove(a);
} else {
std::cout<<" ვერ მოიძებნა Akaki."<<endl;
}
```

1.1.2. *2) პროგრამამ უნდა **გამოთვალოს თანამშრომლების საშუალო ასაკი თითოეული განყოფილებისათვის.***

```
const char* vql = "select from Person";
VOD_Query* query = new VOD_Query(db, vql);
std::map<VOD_String, AgeAccumulator>ageByDept;
Person* p;
while ((p=(Person*)query->next()) !=NULL) {
if (p->department) {
VOD_String deptName = p->department->name;
ageByDept[deptName].totalAge +=p->age;
ageByDept[deptName].count +=1;
}
```

```
}
std::cout << "საშუალო ასაკი განყოფილებების მიხედვით:"<<endl;
for (const auto& entry : ageByDept) {
double avg=(double)entry.second.totalAge /entry.second.count;
std::cout<<"განყოფილება: "<<entry.first<<", საშუალო ასაკი: "<< avg<<std::endl;
}
```

1.1.3.

რელაციურ მონაცემთა ბაზებთან შედარებით ოომბ–ს აქვს შემდეგი უპირატესობები:

1) სისტემის მოდელირების უკეთესი შესაძლებლობები;
2) სტრუქტურის ადვილად გაფართოების უნარი, რაც განპირობებულია ახალი ტიპის მონაცემების (თვისებების) შექმნით, მემკვიდრეობით, ახალი კავშირების დამყარებით და მეთოდების კორექტირების საშუალებებით;
3) რეკურსული მეთოდების გამოყენების შესაძლებლობა დიდი მოცულობის მონაცემებზე ნავიგაციური მეთოდით მიმართვისას;
4) მწარმოებლობის ამაღლება 3–20–ჯერ და მეტად;
5) გამოყენების ფართო სპექტრი (მაგალითად, გამოიყენება მულტიმედიურ სისტემებში, გრაფებში).

აღსანიშნავია, რომ ოომბ რელაციურ მონაცემთა ბაზებთან შედარებით საჭიროებს 4–5–ჯერ მეტ მეხსიერებას.

ნაშრომში განხილულია ოომბ და ოომბმს-ის სახეები. ჩამოყალიბებულია ობიექტურ–ორიენტირებული პროექტირებისა და ობიექტურ–ორიენტირებული პროგრამირების არსი. გაკეთებულია რელაციურ მბ-ისა და ოომბ-ის შედარებითი ანალიზი.

ლიტერატურა:

1. Советов Б., Цахановский В., Чертовской В. Базы дных. 2013; сс. 168-166.
2. McFarland G., Rudmik A., Lange D. Object-Oriented Database Management Systems Revisited. Modus Operandi, Inc.122 Fourth Ave., Indialantic, FL 32903. 1997; pp. 4-43.
3. https://www.owox.com/blog/articles/object-oriented-data-models#build-scalable-data-models-with-owox-bi
4. https://www.mongodb.com/resources/basics/databases/what-is-an-object-oriented-database?
5. Versant Software LLC and Actian Corporation. *Versant C++ Programmer's Guide: Release 9*, Versant Server 9.3. 2020; pp. 325-346.

About Object-Oriented Databases

Tsatsa Namchevadze[1], Elza Bichadze[2]
[1]Akaki Tsereteli State University, Associate Professor, tsatsanamg@gmail.com
[2]Akaki Tsereteli State University, Assistant Professor, elza.bitsadze@atsu.edu.ge

Summary

The article discusses the importance of using databases and highlights the shortcomings of relational databases when processing large volumes of data. It is noted that one way to overcome these limitations is through the use of object-oriented databases. The essence of such databases is defined by the object-oriented approach. This approach involves object-oriented design and object-oriented programming. The article outlines the key concepts of object-oriented design and programming.

To construct databases using the object-oriented approach, the following are essential:

1. Data encapsulation, i.e., the definition of classes and objects;
2. Specification of the structure of tables;
3. Creation of class inheritance for data;
4. Ensuring polymorphism, among other aspects.

It is noted that only those databases in which all structural elements are implemented using the object-oriented approach are considered object-oriented databases. If even one structural element does not use the object-oriented approach, the database is classified as an object-relational database.

The paper presents the advantages of object-oriented databases (OODB) compared to relational databases. These include:

1. Better system modeling capabilities;
2. Easier structural extensibility enabled by the creation of new data types (attributes), inheritance, establishing new relationships, and method modification capabilities;
3. The ability to use recursive methods when accessing large datasets via navigational methods;
4. 3 to 20 times or more performance improvement;
5. A wide range of applications (e.g., in multimedia systems, graphics), among others.

It is worth noting that object-oriented databases require 4 to 5 times more memory compared to relational databases.

In object-oriented databases, data access and query execution are performed using program code written in an object-oriented programming language (e.g., Java, C++, Python). Some modern object-oriented databases provide an extended version of the SQL language.

The article also describes several widely used object-oriented database management systems available today. Code fragments are provided for one of the most popular systems-Versant Object Database.

Keywords: object-oriented databases, object-oriented database management system, object data model, object definition language, object query language.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.48



ზოგიერთი ქიმიური პესტიციდების ეფექტურობა პომიდვრის სამხრეთ ამერიკული მენაღმე ჩრჩილის *Tuta absoluta* წინააღმდეგ.

ელისო მურადაშვილი[1], მედეა ბურჯანაძე[2], ზაირა ტყებუჩავა[1]

[1]სამცხე -ჯავახეთის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ინჟინერიის, აგრარულ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი; [2] საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, აგრარული მეცნიიერებებისა და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტი, m.burjanadze@gtu.ge

აბსტრაქტი

პომიდვრის სამხრეთ ამერიკული მენაღმე ჩრჩილი - *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) არის პომიდვრის კულტურის ძირითადი მავნებელი. იგი ინვაზიური ოლიგოფაგი მწერია და აზიანებს პომიდორს როგორც მინდვრის, ისე სათბურისა და შენახვის პირობებში. იგი ასევე აზიანებს Solanacaeae-ს ოჯახის სხვა კულტურულ წარმომადგენლებს (კარტოფილი, ბადრიჯანი, თამბაქო, გოჯი და სხვ.) და ველურ სახეობებს. *T. absoluta* პირველად 2011 წელს აღმოაჩინეს საქართველოში, იგი სწრაფად გავრცელდა ქვეყნის ყველა რეგიონში, მისი მაღალი რეპროდუქციული უნარის გამო და გახდა ძირითადი მავნებელი. *T.absoluta* გავრცელდა და დააზიანა მცენარეები როგორც სათბურებში, ასევე ღია გრუნტში. ბოლო წლებში მწერის პოპულაციის სწრაფმა ზრდამ გამოიწვია პომიდვრის მნიშვნელოვანი ზიანი საქართველოში. ზოგადად, დაბალ ზონაში და სათბურში სავეგეტაციო სეზონზე შეიძლება განვითარდეს *T. absoluta* -ს 8-10 თაობა.

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია *T. absoluta*-ს წინააღმდეგ სხვადასხვა ქიმიური პესტივიდების გამოყენება და მათი ეფექტურობის დადგენა. 2023 წელს ქარელის რაიონ სოფელ დაბა აგარის მცირე სასათბურე მეურნეობაში მავნებლის წინააღმდეგ გამოვცადეთ პრეპარატები: კორაგენი, ბელტი, ბრენდონი.

თავდაპირველად, ჩატარდა *T. absoluta*-ს მატლების მიმართ რიგი პესტიციდების გამოცდა, რათა დაგვედგინა მათი ტოქსიკურობა. კორაგენი (0,04 ლ/ჰა), ბელტი (40 მლ/ჰა), ბრენდონი (100 მლ/100 ლ), რომელთა ბიოლოგიური ეფექტურობა შეადგენდა: კორაგენი - 87,5%, ბელტი - 82,2%, ბრენდონი - 76%.

საკვანძო სიტყვები: *Tuta absoluta*, ქიმიური პესტიციდები, ეფექტურობა

შესავალი

პომიდვრის სამხრეთ ამერიკული მენაღმე ჩრჩილი- *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) მსოფლიოში გავრცელებულია რეგიონალურ და გლობალურ დონეზე. ის საკარანტინო მავნებელია, რომელსაც შეუძლია 80-100 % შეამციროს პომიდვრის მოსავლიანობა და ხარისხი. მწერი გავრცელებულია და ზიანის მომტანია, როგორც საველე ისე სათბურის პირობებში (Fand et all 2020).

ამ მავნებლის მატლები იკვებება მცენარის ყველა ნაწილით, ანადგურებს ვეგეტატიურ და რეპროდუქციულ ორგანოებს (ფოთლები, ღეროები, ყლორტები, ყვავილები), ნაყოფის ჩათვლით (Miranda et al., 1998). ასეთი ტიპის დაზიანებებმა შეიძლება გამოიწვიოს წარმოების სრული დანაკარგი, თუ მის წინააღმდეგ არ არის გამოყენებული კონტროლის ეფექტური მეთოდები (Desneux et al. 2010; Sawadogo et al. 2020, CABI,2019, EPPO 2019,).

დღეის მდგომარეობით, *T. absoluta* გავრცელდა 110-ზე მეტ ქვეყანაში და მისი გაფართოების პოტენციალი, მასპინძელი ქვეყნის დიაპაზონი და გეოგრაფიული განაწილება იზრდება (Zhang et al., 2025).

Tuta absoluta -ს სამშობლოდ ითვლება სამხრეთ ამერიკის ანდების რეგიონის ქვეყნები, მაგრამ ახლა მწერი გავრცელებულია ევროპასა და ჩრდილოეთ აფრიკაში, ლათინურ ამერიკაში (Cáceres, 1992; Desneuxet al., 2010; Ostrauskas and Ivinskis, 2010; Bech, 2011; Abbes et al., 2012) და ხმელთაშუაზღვისა და შავი ზღვის აუზის ქვეყნებში Kılıç, 2010, Bayram et al., 2015).

საქართველოში *T. absoluta* პირველად 2011 წელს აღმოაჩინეს ხობის რაიონის სოფ. ხორგაში, პომიდვრის ნერგებზე როგორც არარეგისტრირებული მავნებელი, მწერი მისი მაღალი რეპროდუქციული უნარის გამო სწრაფად გავრცელდა ქვეყნის ყველა რეგიონში და გახდა ძირითადი მავნებელი. ახლა მწერს აქვს საკარანტინო მავნებლის სტატუსი საქართველოში (ლობჟანიძე და სხვ., 2015; ხოსიტაშვილი თ., 2020; Chachkhiani N., Kamkamidze N.2020).

T.absoluta აზიანებს მცენარეებს როგორც სათბურებში, ასევე ღია გრუნტში. ბოლო წლებში T. absoluta პოპულაციის სწრაფმა ზრდამ გამოიწვია პომიდვრის მნიშვნელოვანი ზიანი საქართველოში. ზოგადად, დაბალ ზონაში და სათბურში სავეგეტაციო სეზონზე შეიძლება განვითარდეს *T. absoluta*-ს 10-12 (ხოსიტაშვილი, 2020), ხოლო შიდა ქართლში 6-8 თაობას და სამცხე-ჯავეთში 2-3 თაობას (მურადაშვილი და სხვა, 2025).

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია დაგვედგინა იმ ქიმიური პესტიციდების ეფექტიანობა *T. absoluta*-ს მიმართ, რომლებსაც გამოიყენებენ ფერმერებიშიდა ქართლში სათბურსა და ღია გრუნტის პირობებში.

მასალა და მეთოდიკა

ექსპერიმენტული საიტი

2023-2024 წლებში კვლევები ჩატარდა საქართველოს შიდა ქართლში, სადაც კარგად არის განვითარებული სოფლის მეურნეობა და სასათბურე მეურნეობა, კერძოდ კი შერჩეული იყო ქარელის რაიონ სოფელ დაბა აგარის მცირე სასათბურე მეურნეობა.

ქიმიური პესტიციდები

T.absoluta-ს მატლების წინაღმდეგ გამოვცადეთ შემდეგი ქიმიური პესტიციდები: ბელტი, კორაგენი, პროკლეიმი, ბრენდონი რომელთა მახასიათებლები მოცემულია ქვემოთ:

ბელტი - (სინ. Flubendiamid). დოზა 20 მლ/100 ლ. პრეპარატი აღაგზნებს რიანოდურ რეცეპტორებს, რომლებიც აფერხებს მწერების გადაადგილებას, სიცოცხლის უნარიანობას და იწვევს სიკვდილს. ხდება მატლების დამბლა და 2 სთ-ში. გამოიყენება პომიდვრის მენაღმე ჩრჩილს ადა ხვატარების წინააღმდეგ. ხასიათდება სწრაფი მოქმედებით, უსაფრთხო სასარგებლო მწერებისათვის, არ გააჩნია ჯვარედინი რეზისტენტობა და მისაღებია ეკოლოგიურად. გამოყენება-პომიდორზე 0,5-0,1ლ/ჰა. დამუშავება-3 ჯერადად

კორაგენი - 20 კს (Coragen, Chlorantraniliprole, DUPUNT). დოზა 200 მლ/ლ, ქლორანტრანილიპოლოლი. კონტაქტური მოქმედების პრეპარატი. გააჩნია ოვიციდული და ლარვიციდული მოქმედება ღია სტადიების წინააღმდეგ. მოქმედების ვადა 3-4 კვირა. ახალი თაობის ინსექტიციდი.

პროკლეიმი - ბუნებრივი წარმოშობის ტრანსლამინარული ინსექტიციდი, გამოიყენება მატლების წინააღმდეგ. ასევე აქვს ოვიციდური აქტივობა. დამუშვების შემდეგ პრეპარატი სრულად შედის ფოთოლში, ქმნის მცენარის ქსოვილებში ემამექტინის ბენზოატის შემცველ რეზერვუარებს, რომლებიც ხანგრძლივად რჩება და მატლები იღუპება ქსოვილების კვებით. გააჩნია ოვიციდური მოქმედებაც. მცირეოდენ ტოქსიკურია ენტომოფაგებისთვის.

ბრენდონი – კონტაქტურ-ნაწლავური მოქმედების ინსექტიციდი ბოსტნეულის, ვაზისა და ხეხილის ქერცლფრთიანი მავნებლებისგან დასაცავად. მწარმოებელი: MCKINLEY – ირლანდია. პრეპარატი მოქმედებს ნერვულს სისტემაზე, იგი იწვევს მწერის კუნთების მოდუნებას, რის გამოც ვერც გადაადგილდება და შესაბამისად ვერც იკვებება. პრეპარატის ხარჯვის ნორმა არის 0,15-0,3 კგ/ჰა.

პესტიციდების გამოცდა ხდებოდა არსებული მეთოდიკის საფუძველზე (Абдул-Азиз Равашдех Шариф Халид (2014).

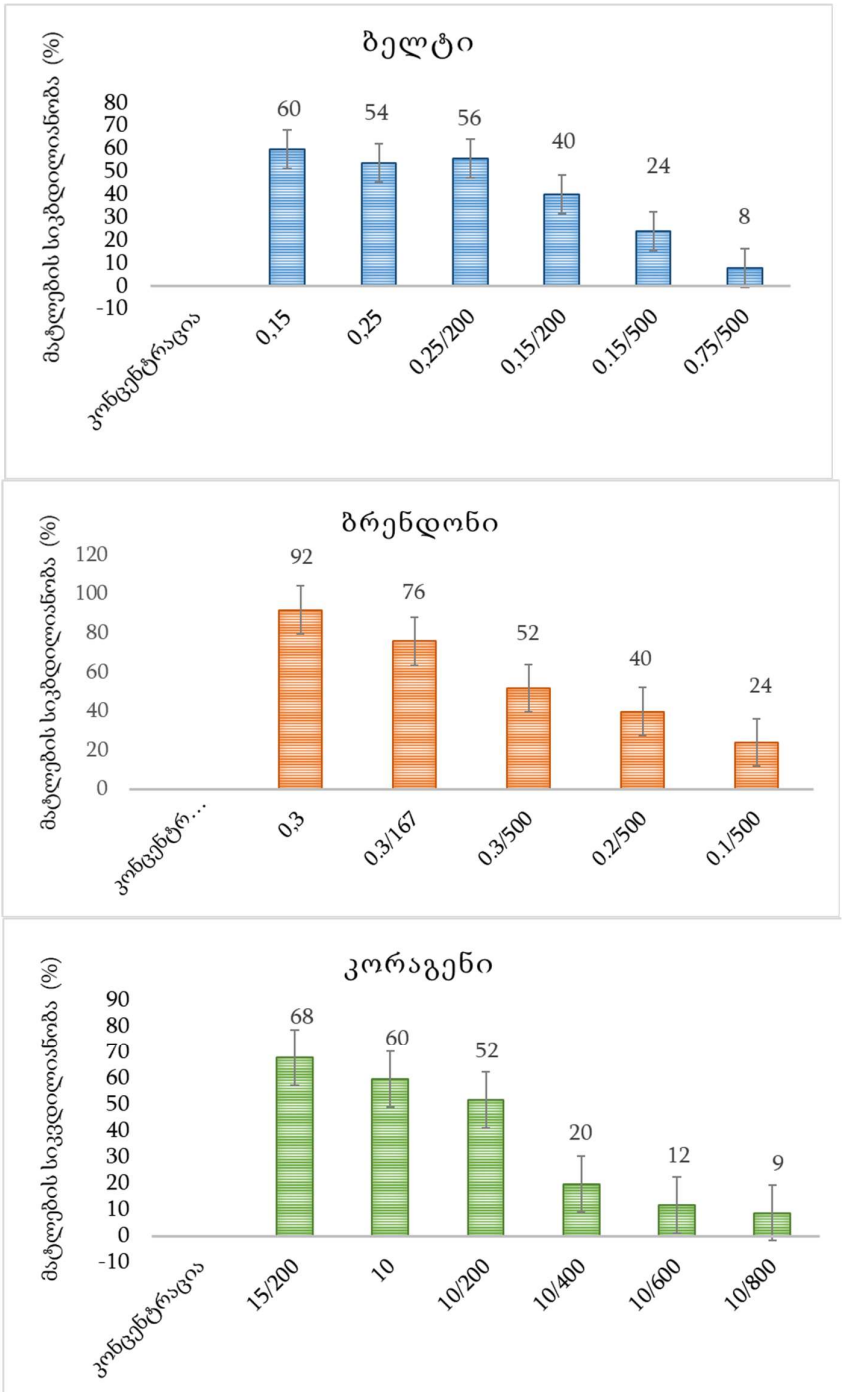
შედეგები

როგორც ავღნიშნეთ, ქარელის რაიონ სოფელ დაბა აგარის მცირე სასათბურე მეურნეობაში მავნებლის წინააღმდეგ გამოვცადეთ პრეპარატები: ბელტი, კორაგენი, პროკლეიმი, ბრენდონი, *T. absoluta*-ს მატლების მიმართ, რათა დაგვედგინა მათი ტოქსიკრობა. ღია გრუნტში ჩვენ მიერ გამოცდილი იყო 3 პრეპარატი: ბელტი, ბრენდონი, კორაგენი, რომლის შედეგები მოცემულია ცხრილი 1-ში.

ცხრილი 1. ქიმიური პრეპარატების ეფექტურობა *T. absoluta* -ს მატლების მიმართ

პრეპარატი	კონცენტრაცია, პრეპარატი მლ/ლ წყალი	მკვდარი მატლების რაოდენობა	სიკვდილიანობა % ში
ბელტი	0,15	18	60
	0,25	21	54
	0,25/200	19	56
	0,15 200	10	40
	0.15/500	6	24
	0.75/500	2	8
ბრენდონი	0,3	23	92
	0.3/167	19	76
	0.3/500	13	52
	0.2/500	10	40
	0.1/500	6	24
კორაგენი	15/200	17	68
	10	15	60
	10/200	13	52
	10/400	5	20
	10/600	3	12
	10/800	2	9

როგორც ცხრილი 1-იდან ჩანს, ყველა ინსექტიციდმა აჩვენა ტოქსიკურობა. *T.absoluta*-მატლების მიმართ. შრსაბამისად გამოყენებულ დაბალ დოზებში სიკვდილიანობის მაჩვენებელი დაბალია, ხოლო მაღალ დოზებში სიკვდილიანობის პროცენტი მაღალია. დოზების სადაც სიკვდილიანობა მერყეობდა პრეპარატებისა და გამოყენებული დოზების მიხედვით შემდეგნაირია: ბელტი 8-60%, ბრენდონი 24-92%, კორაგენი 9-68%.



სურათი 1. ქიმიური პესტიციდების სხვადასხვა დოზების გამოცდის შედეგები

როგორც ცხრილიდან ჩანს, მატლების მაქსიმალური სიკვდილიანობის ოპტიმალური დოზებია: ბელტი და ბრენდონი 0,3 მლ., კორაგენი 0,15 მლ.

ცდები ტარდებოდა სათბურში, 30 მ^2 ფართობზე, სამრეწველო პომიდვრის ჯიშზე - ვარდისფერი ჰოპორტულა, 4 ჯერადი განმეორებით. შეწამვლა ხდებოდა შესასხურებელი აპარატის გამოყენებით. სამუშაო ხსნარის ხარჯვა შეადგენდა დაახლოებით 300-400 ლ/ჰა-ზე. ცდების დამუშავების დაწყებამდე ერთი დღით ადრე, ჩატარდა *T. absoluta*-ს მატლების აღრიცხვა ექსპერიმენტის მთელ ფართობზე, თითოეულ ვარიანტზე 50 პომიდვრის ფოთლის შემოწმების გზით. დამუშავებიდან სამი დღის შემდეგ, ჩატარდა *T.absoluta*-ს მატლების

სიკვდილიანობის აღირიცხვა წარმოქმნილი ნაღმების რაოდენობის გამოთვლით. შედეგებმა აჩვენა, რომ გამოცდილი პრეპარატები შედარებით საშუალო ეფექტურია და დადგენილი იქნა მათი ბიოლოგიური ეფექტურობა *T. absoluta*– ს მატლების მიმართ (ცხრილი 2).

ცხრილი 2. ინსექტიციდების ბიოლოგიური ეფექტურობა *T. absolututa*-ს მატლების მიმართ სათბურის პირობებში 2023 წ.

პრეპარატი	დოზა	მოქმედი ნივთიერება	მკვდარი მატლები	ბ. ე %
ბელტი	3 ლ/ჰა	მალატიონი	31	40
კორაგენი	0.04 ლ/ჰა	ქროლანტრანილიპროლი	55	83,3
პროკლეიმი	0.3 კგ/ჰა	ამამექტინი	48	71,1
ბრენდონი	100მლ/100	ამამექტინ ბენზოატი	56	85,0
კონტროლი	წყალი		5	
HCP05				7,3

მიუხედავად იმისა, რომ ბრენდონმა მავნებლის რაოდენობა შეამცირა 85% -ით, მისი მოქმედების ხანგრძლივობა პომიდვრის ფოთლებში აქტიური ნივთიერების მაღალი შემცველობის ხარჯზე აღემატებოდა სხვა პრეპარატების ხანგრძლივობას, რაც განსაზღვრავს ხარისხიან დამცავ ეფექტს (ცხრილი 3).

დაღუპულ მატლების აღრიცხვამ აჩვენა, რომ მათ რაოდენობამ 6-7 -ჯერ გადააჭარბა საკონტროლო ვარიანტის მაჩვენებელს (პესტიციდებით დამუშავების გარეშე). ამავდროულად, 2-ჯერ შემცირდა იმ მატლების რაოდენობაც, რომლებმაც შეინარჩუნეს სიცოცხლის ხანგრძლივობა, მაგრამ არ შეინიშნებოდა მავნებლის სრული განადგურება. თუ 3-4 კვირის განმავლობაში მეურნეობაში არ ჩატარდებოდა განმეორებითი ქიმიური დამუშავება, ამ შემთხვევაში მავნებლების რიცხვის აღდგენა და ზოგიერთ შემთხვევაში ზრდაც კი დაფიქსირდა. ასევე 6 დღის შემდეგ მცენარეზე პოპულაციის სიმჭიდროვე 2-2,5-ჯერ ზრდა დაფიქსირდა.

ცხრილი 3. *T.absoluta*-ს მატლების სიკვდილიანობა პრეპარატებით დამუშავების შემდეგ

პრეპარატი	ხარჯის ნორმა გ/ჰა, ლ/ჰა	ნაღმების საშუალო რ-ბა	მკვდარი მატლები (ცალი)	დაზიანებული ნაყოფი (ცალი)
ბელტი	75 მლ/20 ლ	190	45	15
კორაგენი	20მლ/100 ლ	187	52	7
პროკლეიმი ВРГ	60 გ/100 ლ	190	15	18
ბრენდონი	100 მლ/100 ლ	180	55	6
კონტროლი (დამუშავების გარეშე)		200	8	38

ცხრილი 3-დან ჩანს, რომ გამოცდილი პრეპარატებიდან მხოლოდ კორაგენსა და ბრენდონს აღმოჩნდა უნარი გაეკონტროლებინათ *T. absoluta*-ს მატლების რიცხოვნობა 12 დღის განმავლობაში.

ინსექტიციდების გამოცდის შედეგები ღია გრუნტში და მათი ბიოლოგიური ეფექტურობა (ბ.ე.) მოცემულია ცხრილი 4-ში.

ცხრილი 4. *T.absoluta*-ს მატლების სიკვდილიანობა პრეპარატებით დამუშავებიდან გამოყენებიდან 12 დღის შემდეგ.

პრეპარატი	დანახარჯის ნორმა	ცოცხალი მატლები (ცალი) დამუშავების შემდეგ	
		6 დღე	12დღე
ბელტი	75 მლ/20 ლ	14	10
კორაგენი	20 მლ/100 ლ	15	13
პროკლეიმი	60 გ/100 ლ	17	17
ბრენდონი	100 მლ/100 ლ	35	33
კონტროლი		40	41

ცხრილი 5. ინსექტიციდების ბიოლოგიური ეფექტურობის შეფასება საველე პირობებში *Tula absoluta*-ს მატლების წინააღმდეგ 2023 წ.

ინსექციტიდი	დოზა	მოქმედი საშუალება	ბე, %*
კორაგენი	0,04 ლ/ჰა	ქლორანტრანილიპროლი	87,5
ბელტი	40 მლ/ჰა	ფლუბენდიქამიდი	82,0
პროკლეიმი	75 მლ/ჰა	სპინეტორამი	80,0
ფიტომაქსი	200 მლ/ჰა	აზადირაქტინი	76,0
კონტროლი (წყალი)			8,7
HCP05			9,7

* 100 ფოთოლზე დაღუპულ ლარვის რაოდენობა %,

როგორც ცხრილიდან ჩანს კორაგენი, ბელტი და ბრენდონი მაღალი ბიოლოგიური ეფექტურობით ხასიათდება, რომელიც იწვევს *T.absoluta* -ს 80-87,5% სიკვდილიანობას.

დასკვნა

T.absoluta მიეკუთვნება იმ სახეობებს, რომლებიც ინტენსიურად და სწრაფად სახლდებიან ახალ რეგიონებში, ქვეყნებში და კონტინენტებზე. გლობალურმა კომერციალიზაციამ და ვაჭრობამ კიდევ უფრო დააჩქარა მავნებლის გავრცელება. ახალ არეალებში პრაქტიკულად არ არსებობს მავნებლების რაოდენობის შემამცირებელი ბუნებრივი მტრები. საინკუბაციო პერიოდი, ხელსაყრელი გარემო პირობები, ზონები, ხელს უწყობენ მავნებლის გადარჩენა შენარჩუნებას. ფიტოსანიტარული ინფრასტრუქტურის ნაკლოვანება, აგრეთვე საკარანტინო ზომების არასათანადოდ განხორციელება ხელს უწყობს მწერის გავრცელების შემდგომ პროგრესს.

აქედან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ *T.* absoluta-ს აქვს მაღალი უნარი გამოიყენოს სხვადასხვა კულტურული და ველური მცენარეები, რომლებიც მიეკუთვნება

სხვადასხვა ოჯახებს, რომლებიც განიხილება, როგორც ალტერნატიულ მასპინძლები და განსაკუთრებულ კრიტიკულ სიტუაციებში *T. absoluta*-ს შუძლია გადაირჩინოს თავი. ზემოთ აღნიშნული მიზეზების გათვალისწინებით, ქიმიური პესტიციდების გამოყენება ამ მავნებლის მიმართ მიზანშეწონილია.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ლობჟანიძე მ. ბერუაშვილი მ., გაგოშიძე გ. მცენარეთა დაცვა. თბილისი, 2015, 195 გვ.
2. მურადაშვილი ე., ბურჯანაძე მ., ტყებუჩავა ზ. (2025). პომიდვრის სამხრეთ ამერიკული მენაღმე ჩრჩილის Tuta absoluta-ს ფენოლოგია და განვითარების ციკლი შიდა ქართლსა და სამცხე -ჯავახეთში. ქართველი მეცნიერები, ტ. 7 N 1, 2025 https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.01.29
3. ხოსიტაშვილი თ. (2020). დახურულ გრუნტში პომიდვრის სამხრეთამერიკული მენაღმე ჩრჩილის (*Tuta absoluta* M.) და მისი ბუნებრივი მტრების შესწავლის შედეგები აღმოსავლეთ საქართველოში. სადისერტაციო ნაშრომი, თბილისი, 136.
4. Abbes K, Harbi A, Chermiti B. (2012). The tomato leafminer Tuta absoluta (Meyrick) in Tunisia: Current status and management strategies. EPPO Bulletin 42: 226–233, and environmentally safe methods of disposal. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“ Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7.
5. Bayram, Y.; Büyük, M.; Özaslan, C.; Bektaş, Ö.; Bayram, N.; Mutlu, Ç.; Ateş, E.; Bükün, B. (2015). New Host Plants of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Turkey. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, Vol 12, Issue 2, p43
6. Bech, R.A. (2011). Federal Import Quarantine Order for Host Materials of Tomato Leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick). Plant Protection and Quarantine USDAAPHIS (U.S. Department of Agriculture Animal and Plant Health Inspection Service). 5pp.
7. CABI (2019). Tuta absoluta (tomato leafminer). Invasive Species Compendium. [2019-12-04]. https://www.cabi.org/isc/ datasheet
8. Cáceres, S. (1992). La polilla del tomate en Corrientes. Biología y control. Estación Experimental Agropecuaria Bella Vista, INTA, 19p.
9. Chachkhiani N., Kamkamidze N.(2020). South american tuta absoluta spread in imereti region
10. Desneux N, Wajnberg E, Wyckhuys K A G, Burgio G, Arpaia S, Narváez-Vasquez C A, González-Cabrera J, Ruescas D C, Tabone E, Frandon J, Pizzol J, Poncet C, Cabello T, Urbaneja A. (2010). Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. Journal of Pest Science, 83, 197–215.
11. EPPO, (2019). EPPO global database, https://gd.eppo.int/ taxon/GNORAB/hosts, (23/04/2019).
12. Fand BB, Shashank PR, Suroshe SS, Chandrashekar K, Meshram, NM. . Timmanna H. N. (2020). Invasion risk of the South American tomato pinworm Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in India: predictions based on MaxEnt ecological niche modelling. International Journal of Tropical Insect Science, 1-12.
13. Kılıç, T. (2010). First record of Tuta absoluta in Turkey, Phytoparasitica, 38(3):243-244. Larrain, P.S. (1986). Plagas del tomate. IPA, La Platina, 39:30-35.

14. Lobzhanidze M., Beruashvili M. South American tomato leaf miner. Journal “Agrobasis”. N2. Tbilisi. 2015, 18- 20 pp. (in Georgian).
15. Miranda M.M.M., Picanço M., Zanuncio J.C. & Guedes R.N.C. (1998). Ecological life table of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Biocontrol Sci. Technol., 8, 597-606.
16. Ostrauskas, H., Ivinskis, P. 2010. Records of the tomato pinworm Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Lithuania. Acta Zoologica Lituanica, 20(2): 151-155.
17. Sawadogo MW, Somda I, Nacro S, Legrève A, Verheggen FJ.2020. Insecticide susceptibility level and control failure likelihood estimation of Sub-Saharan African populations of tomato leafminer: Evidence from Burkina Faso. Physiological Entomology 45: 147–153. https://doi.org/10.1111/phen.12332
18. Zhang Y et all. (2025) Monitoring the insecticide susceptibility of a newly introduced invasive species, Tuta absoluta (Meyrick), in China. Crop Protection , V., 189, 107041
19. Абдул-Азиз Равашдех Шариф Халид (2014). Биология, Вредоносность и Совершенствование Мер Борьбы Против Томатной Моли - *Tuta absoluta* (Meyrick) - В Условиях Иордании, Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук, Москва- 140.

Efficacy of some chemical pesticides against the South American tomato leaf miner – *Tuta absoluta*

Eliso Muradashvili[1], MedeaBurjanadze[2], Zaira Tkebuchava[1]

[1] Samtskhe-Javakhety State University, faculty of Engineering, Agrarian and natural Sciences, Georgia

[2] Georgian Technical University, Faculty of Agricultural Sciences and Biosystem Engineering, Georgia, m.burjanadze@gtu.ge

Abstract

The tomato leaf miner -*Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) is a major pest of tomato culture. It is an invasive oligophagous insect and damages tomatoes both in the field and in greenhouses and storage conditions as well. It also damages other cultural representatives of the Solanaceae family (potato, eggplant, tobacco, goji, etc.) and wild species. *T. absoluta* was first discovered in Georgia in 2011, it quickly spread to all regions of the country due to its high reproductive capacity and became a major pest. *T. absoluta* spread and damaged plants both in greenhouses and in open field. In recent years, the rapid increase in the insect population has caused significant damage to tomatoes in Georgia. In general, 8-10 generations of *T.absoluta* can develop during the growing season in lowlands and greenhouses.

The aim of the presented work is to use various chemical pesticides against *T. absoluta* and determine their effectiveness. In 2023, in a small greenhouse farm in the village of Daba Agari, Kareli district, were tested the following preparations against the pest: Coragen, Belt, Brandon.

Initially, a number of pesticides were tested against *T. absoluta* larvae to determine their toxicity. Coragen (0.04 l/ha), Belt (40 ml/ha), Brandon (100 ml/100 l), the biological effectiveness of which was: Coragen - 87.5%, Belt - 82.2%, Brandon - 76%.

Keywords: *Tuta absoluta*, chemical pesticides, effectiveness

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.49



ქალაქის ბრენდინგი

მარიამ ხაბეიშვილი[1]; ნინო ხაბეიშვილი[2]

[1]არქიტექტურის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ელ-ფოსტა: m.khabeishvili@gtu.ge; [2]არქიტექტურის დოქტორი, პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, n.khabeishvili@gtu.ge

აბსტრაქტი

სტატიაში განხილულია დღევანდელ რეალობაში, მზარდი ურბანიზაციის ფონზე ტერიტორიის ვიზუალური იდენტობის სისტემა, ქალაქის ბრენდინგი, როგორც ბრენდის უნიკალური იმიჯის შექმნის სტრატეგიული პროცესი და მისი მნიშვნელოვანი ასპექტი ქალაქის ცნობადობის კონცეფცია - აიდენტიკა. განსაზღვრულია ქალაქის ბრენდინგის სტრუქტურაში ინტეგრირებული დიზაინის კრიტერიუმები და მათ ფორმირებაში მონაწილე სპეციფიკური ფაქტორები. გაკეთებულია სათანადო დასკვნები და დასახულია ურბანული სივრცის ევოლუციაში ჭკვიანი ქალაქების ბრენდირების პლატფორმების განვითარების სავარაუდო პერსექტივები.

საკვანძო სიტყვები: აიდენტიკა, ბრენდი, საფირმო სტილი, ტერიტორიული ბრენდინგი, ჭკვიანი ქალაქები.

შესავალი

XXI-ე საუკუნის სოციალურ რეალობაში აქტუალიზებულია ადგილის იდენტიფიკაციის მნიშვნელობა. ტერიტორიის აიდენტიკა და ბრენდინგი იწევს წინა პლანზე, რაც განპირობებულია გლობალიზაციის კონტექსტში დაახლოებით თანაბარი ეკონომიკური და საცხოვრებელი პირობების მქონე სხვადასხვა გეოგრაფიულ ზონებს შორის კონკურენციის მუდმივი ზრდის მაღალი მაჩვენებელით. შედეგად სულ უფრო მეტი ქვეყანა და ქალაქი მიზანმიმართულად ეწევა თავისი ტერიტორიების მარკეტინგს, საკუთარი ბრენდინგის ფორმირებას, რაც წარმოადგენს მათი საინვესტიციო თუ ტურისტული მიმზიდველობის საფუძველს.

ძირითადი ნაწილი

ქალაქის აიდენტიკა და ბრენდინგი ორი ურთიერთდაკავშირებული კონცეფციაა, რომლებიც მიზნად ისახავენ ქალაქის უნიკალური იმიჯის შექმნას. საფირმო სტილი და ჰერალდიკა შეიძლება ჩაითვალოს აიდენტიკის პროტოტიპებად, ხოლო სავაჭრო მარკების ბრენდირება - ქალაქის ბრენდინგის პროტოტიპად, რომელიც ჯერ კიდევ მეცხრამეტე საუკუნეში ურბანული ადგილების კომერციალიზაციის მიზნით გამოჩნდა, განვითარდა და უფრო რთულ თანამედროვე კონცეფციად ჩამოყალიბდა. დღევანდელ რეალობაში ტერიტორიის ვიზუალური იდენტობის სისტემა - ქალაქის ბრენდინგი სტრატეგიული პროცესია [1]. იგი ხორციელდება მხოლოდ კონკრეტული ადგილისთვის დამახასიათებელი ინდივიდუალური მაჩვენებლების გამოყოფით და გარკვეული კომპოზიციური პრინციპების ორიგინალური გრაფიკის გათვალისწინებით ვიზუალურ-გრაფიკული იდენტიფიკატორების - გერბის და ლოგოს; დიზაინ კოდის სლოგანის და ნავიგაციის გრაფიკული ელემენტების; რეგიონის კოლორისტულ თავისებურებებზე დაყრდნობით შემუშავებული საფირმო სტილის ნაკრების და ურბანული გარემოს სხვადასხვა კომუნიკაციური საშუალებების მომგებიანი დემონსტრირებით (სურ.1).



სურათი.1 *ბრენდინგი და აიდენტიკა. ქ. მელბურნი 2009 წ. „Landor Associates“; ქ. ნიუ-იორკი 1977 წ. მილტონ გლეიზერი; ქ. ჰელსინგი 2017 წ. „Werklig“; ქ. პორტუ 2014 წ. „White Studio“*

ქალაქის ბრენდინგი ქალაქის ბრენდის იდენტობის შექმნის პროცესია, მის ფორმირებაში მნიშვნელოვანი ასპექტია აიდენტიკა, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში არამატერიალურ ფასეულობებს წარმოადგენს და მოიცავს მნიშვნელობების გაცილებით ფართო სპექტრს. ქალაქების ცნობადობის კონცეფცია, რომელიც ხორციელდებოდა გერბის სიმბოლიზმში, დღეს ითავსებს სიმბოლოების განსხვავებულ, აბსტრაქტულ, სტილიზებულ ენას, შედეგად აიდენტიკა ხდება ახალი არსის გენერატორი, რომელიც გრაფიკული დიზაინის, რეკლამისა და

მენეჯმენტის სფეროდან გადავიდა არქიტექტურული გარემოს დიზაინის, ურბანიზმისა და ურბანული განვითარების დაგეგმვის სფეროში.

თანამედროვე ქალაქების საკომუნიკაციო სისტემები და ბრენდირების პლატფორმები ეყრდნობიან, როგორც მატერიალურ ისე არამატერიალურ ფასეულობებს. მათ ფორმირებაში მონაწილეობენ ისეთი სპეციფიკური ფაქტორები როგორებიცაა: ტერიტორიის გეოგრაფიული მდებარეობა, ბუნებრივი რესურსების პოტენციალი, ქვეყნის ეროვნული კულტურა, გეოპოლიტიკური სტატუსი და პრიორიტეტები მსოფლიოს სტრუქტურაში. ქალაქის ბრენდინგის შექმნისადმი კომპლექსური მიდგომა გულისხმობს ეროვნული იმიჯის მართვის სპეციალური ერთეულების ფორმირებას, წინასაპროექტო კვლევას, კომპეტენტური დაპროექტების მნიშვნელობის დეტალურ გააზრებას, ტერიტორიული იდენტობის და ვიზუალური პოლიტიკის ძიებას, ინტერდისციპლინურ თანამშრომლობას, სხვადასხვა დარგის სპეციალისტთა, ადგილობრივი მოსახლეობის ჩართულობას და განხორციელების გეგმას [2]. სასურველი მიზნების გათვალისწინებით ბრენდის მარტივად დამახსოვრებადი ვიზუალური გზავნილი უნიკალური, მკაფიო აქცენტებით უნდა მოიაზრებდეს განვითარების გრძელვადიან პერსპექტივას.

მსოფლიოს ცალკეული ქალაქი რთული სისტემაა, რომლის ნაწილები - ქვე-ბრენდები მრავალფეროვანი ტრაექტორიებით გადაჯაჭვულია ერთში - ქალაქის ბრენდში, რომელიც განაპირობებს მის უნიკალურ ხასიათს და იმიჯს. ამ ასპექტში მნიშვნელოვანია მკაფიოდ განისაზღვროს თითოეული ნაწილის თავისებურებანი, მათი რთული ურთიერთკავშირები და სტრუქტურა. ქალაქი ეფექტური ბრენდინგის გზით უნდა ტრანსლირებდეს ამ ინფორმაციას, საკუთარ სტრატეგიას და უნდა იყოს საკმარისად კომპეტენტური სამიზნე აუდიტორიის მოზიდვაში. ქალაქის ბრენდინგის სტრუქტურა, რომელიც იგება ინტეგრირებული დიზაინის კრიტერიუმებზე; ტერიტორიის ჰერალდიკური სიმბოლოების ფასეულობებზე; ისტორიული ფიგურების და საზოგადო მოღვაწეების, კულტურული და არქიტექტურული ძეგლების, საინვესტიციო, კორპორაციული, სოციალური ორგანიზაციების, შოუს და ღონისძიებების ქვებრენდების სტრუქტურების საფუძველზე, უნდა იყოს ორიენტირებული მდგრადი განვითარების მიზნებზე. თანამედროვე ეტაპზე კომპლექსური მარკეტინგი და ტერიტორიული ბრენდინგი სახელმწიფოს უმნიშვნელოვანესი ამოცანებია, რომლებიც უნდა გადაიჭრას ხელსაყრელი საცხოვრებელი პირობების შექმნის ტრადიციულ ამოცანებთან ერთად.

საკუთარი ინტერესების, ინდივიდუალური სოციალურ-ეკონომიკური და ეთნოკულტურული თავისებურებების მქონე ქვეყნის განვითარების პერსპექტივები მნიშვნელოვანწილად პოლიტიკურ და ეკონომიკურ სტაბილურობას უკავშირდება. იმ ვითარებაში როცა მსოფლიოში მიმდინარე პროცესები განაპირობებენ ქვეყნების კომპლექსურ ჩართულობას საერთაშორისო სტანდარტებთან ჰარმონიზაციის ასპექტში, ქალაქის წარმომადგენლობითი სტატუსი მისი წარმატებული ბრენდინგი, კონკურენტული უპირატესობების საშუალებას იძლევა, როგორც რეგიონალურ, ისე საერთაშორისო დონეზე. ბრენდის განვითარების მოდელი მსოფლიო სივრცეში სტაბილური, უსაფრთხო და მიმზიდველი ქალაქის სტატუსის ფორმირებას გულისხმობს. ცნობილი და წარმატებული

ქალაქები, ჭკვიანი ქალაქები (სურ.2), როგორც წესი, ასოცირდებიან ტურისტულ, სატრანზიტო მიმართულებებთან, შემეცნებით, კულტურულ-გასართობ ღონისძიებებთან, ფესტივალებთან და საინვესტიციო სტრატეგიებთან [3].



სურათი. 2. *ჭკვიანი ქალაქების ბრენდირება; ქ. ვენა 2019 წ. „Saffron Brand Consultants, saintstephens and Instant Design“*

ქალაქის ბრენდინგის ზუსტი პოზიციონირება ეს არის უნიკალური გზა, რომელიც უზრუნველყოფს მის გრძელვადიან ეფექტურობას. მასთან დაკავშირებული ინდექსების ღრმა გააზრებული დაგეგმვა წარმოადგენს ქალაქის სტრატეგიული გეგმის და მდგრადი სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების მნიშვნელოვან სტიმულს.

დასკვნა

მზარდი ურბანიზაციის ფონზე სხვადასხვა ქვეყნები აქტიურად ახორციელებენ ჭკვიანი ქალაქების ფორმირებას, რომლის კონცეფცია უფრო ეფექტურ, მდგრად ურბანულ გარემოს შექმნას გულისხმობს. სადაც ქალაქის აქტივების მონიტორინგი და პროცესების ეფექტიანი მართვის ინოვაციური საინფორმაციო-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიები, განახლებადი ენერგიის წყაროები, მწვანე ინფრასტრუქტურა და ენერგოეფექტური შენობები ინტეგრირებულია ქალაქის სტრუქტურაში. ეს ცვლილებები ურბანული სივრცის ევოლუციაში მოიაზრებს ქალაქის ბრენდის ჩართულობას განსხვავებულ პლატფორმაზე [4]. მწვანე ინდუსტრია; საზოგადოებრივი რესურსების ოპტიმალური, ავტომატიზირებული მართვა; მდგრადი საარსებო გარემო და ცხოვრების მაღალი ხარისხი ქალაქის ბრენდინგის ახალი კონცეპტუალური შეხედულებების სისტემას წარმოადგენს და სამომავლოდ კრეატიულ მიდგომებს საჭიროებს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Hasan Mahmoud Mansour, Fernando Brandão Alves, António Ricardo da Costa. The Challenges in Understanding Urban Identity. U.Porto Journal of Engineering, 9:2 (2023) 114-131. ISSN 2183-6493. doi: 10.24840/2183-6493_009-002_002207
2. Маслов М. М. Территориальная айдентика и брендинг мест в контексте графического дизайна. XIV Международная научно-практическая конференция „Инновации в социокультурном пространстве“ часть I. Благовещенск, 2021. С. 42-47 doi: 10.22250/ISS.2021.9
3. Yang, T.; Ye, M.; Pei, P.; Shi, Y.; Pan, H. City Branding Evaluation as a Tool for Sustainable Urban Growth: A Framework and Lessons from the Yangtze River Delta Region. *Sustainability* 2019, *11*, 4281. https://doi.org/10.3390/su11164281
4. Duque Oliva EJ, Sánchez-Torres JA, Sanabria Niño JS. City brand evolution research and future agenda: bibliometric and science mapping analysis. Heliyon. 2022 Aug 5;8(8):e10031. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10031.

City branding

Mariam Khabeishvili[1]; Nino Khabeishvili[2]

[1]Doctor of Architecture, Associate Professor, Georgian Technical University, : m.khabeishvili@gtu.ge;
[2]Doctor of Architecture, Professor, Georgian Technical University, n.khabeishvili@gtu.ge

Abstract

The article discusses the visual identity system of the territory in today's reality, against the background of growing urbanization, city branding as a strategic process of creating a unique brand image and its important aspect, the concept of city awareness - identity. The design criteria integrated into the city branding structure and the specific factors involved in their formation are determined. Appropriate conclusions are made and the probable prospects for the development of smart city branding platforms in the evolution of urban space are outlined.

Keywords: Identity, brand, corporate style, territorial branding, smart cities.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.50



სალბის ანტიბაქტერიული მოქმედების კოსმეტიკური ფანქრების შემადგენლობის განსაზღვრა და ტექნოლოგიის დამუშავება

ქეთევან ნათობიძე, მარიამ გასანოვა, ია წურწუმია, ალიოშა ბაკურიძე, მარიამ ტატანაშვილი
თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის ფარმაცევტული ტექნოლოგიის დეპარტამენტი

აბსტრაქტი

თანამედროვე აფთიაქები მდიდარია კოსმეტიკური პროდუქტების მრავალფეროვანი ასორტიმენტით, თუმცა მათი უმეტესობა სინთეზური წარმოშობის კომპონენტებზეა შემუშავებული, მათი გამოყენება ხშირად იწვევს სხვადასხვა გართულებებს და ალერგიულ რეაქციებს, აღნიშნულიდან გამომდინარე პაციენტების და ექიმების უმეტესობა უპირატესობას ანიჭებს ნატურალურ კომპონენტებზე შემუშავებულ კოსმეტიკურ საშუალებებს.

კანის მოვლის კოსმეტიკურ პროდუქტებს შორის კოსმეტიკურ ფანქრები განსაკუთრებული უპირატესობით გამოირჩევა. კოსმეტიკური ფანქრები ხასიათდება კანისა და ლორწოვანი გარსის კონკრეტულ/ლოკალურ უბანზე ხანგრძლივი მოქმედების უნარით. ფანქრების სპეციალური შეფუთვა უზრუნველყოფს პორტატულობას, გამოყენების მოხერხებულობას, ჰიგიენურობას, ეკონომიურობას, შენახვის ვადის გახანგრძლივებას. კოსმეტიკური ფანქრების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა ფუძის ბუნებიდან გამომდინარე მასში ბუნებრივი წარმოშობის კომპონენტების (მცენარეული ექსტრაქტების და ეთერზეთების, თიხების, პელოიდების და სხვა) შეტანის შესაძლებლობა.

აფთიაქებში სამკურნალო კოსმეტიკური ფანქრების ასორტიმენტი მცირეა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, სამკურნალო კოსმეტიკური ფანქრების ფორმულაციის შესწავლა, დამუშავება და წარმოება თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით ფარმაციის აქტუალურ საკითხს წარმოადგენს.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ნატურალურ პროდუქტებზე შემუშავებული ანტიბაქტერიული მოქმედების კოსმეტიკური ფანქრების ფორმულაციის, დიზაინის შემუშავება და ბიოლოგიური შეფასება.

ჩატარებული კვლევის შედეგად დადგინდა ფანქრების აქტიური ფარმაცევტული ინგრედიენტები (სალბის მშრალი ექსტრაქტისა და ეთერზეთის ნარევი) ავლენს მაღალ ანტიბაქტერიულ აქტივობას Streptococcus pyogenes-ის, Escherichia coli-ს, Salmonella typhimurium-ის, Klebsiella pneumoniae-ს, Proteus vulgaris-ის, Shigella flexneri-ს, Enterococcus faecalis-ის და Staphylococcus aureus-ის წინააღმდეგ (in vitro - „Spot Test “).

ლიტერატურული მიმოხილვის, ორგანოლეპტიკური, ფიზიკურ-ქიმიური და ტექნოლოგიური მახასიათებლების შესწავლის საფუძველზე საკვლევი ცხრა კომპოზიციიდან შეირჩა კოსმეტიკური ფანქრების ოპტიმალური ფორმულაცია შემდეგი შემადგენლობით (10 ჩხირისთვის, თითოეული ჩხირის წონაა 2.4): პარაფინი 2.0 გ; აბუსალათინის ზეთი 10.0 გ; კაკაოს ცხიმი 2.0 გ; ემულსიური ცვილი 3.94 გ; ფუტკრის ცვილი 2.0 გ; ლანოლინი 2.0 გ; სალბის ბალახის მშრალი ექსტრაქტი 2.0 გ; სალბის ეთერზეთი 0.06 გ.

ტექნოლოგიური კვლევების საფუძველზე შემუშავდა ანტიბაქტერიული მოქმედების კოსმეტიკური ფანქრების ტექნოლოგიური სქემა და ტექნოლოგიური პროცესი, შედგენილია კოსმეტიკური ფანქრების მომზადების ტექნოლოგიური პროცესის მატერიალური ბალანსი და განსაზღვრულია ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

საკვანძო სიტყვები: ტექნოლოგია, კოსმეტიკა, ფანქრები, ანტიბაქტერიული, სალბი.

თემის აქტუალობა: თანამედროვე მოსახლეობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს კანისა და ლორწოვანი გარსის დაცვა და მკურნალობა დაბინძურებული გარემოსაგან, რისი მიღწევაც შეუძლებელია ანტიბაქტერიული მოქმედების კოსმეტიკური საშუალებების გამოყენების გარეშე. აფთიაქები მდიდარია კოსმეტიკური საშუალებების მრავალფეროვენი ასორტიმენტით, მაგრამ უმეტესობა სინთეზური წარმოშობისაა, მათი გამოყენება ხშირად იწვევს სხვადასხვა გართულებებს და ალერგიულ რეაქციებს. აღნიშნულიდან გამომდინარე პაციენტიც და ექიმიც უპირატესობას ანიჭებს ბუნებრივი კომპონენტების შემცველ კოსმეტიკურ პროდუქციას. კანის მოვლის კოსმეტიკურ ფორმებს შორის უპირატესობით გამოირჩევა კოსმეტიკური ფანქრები, რომელთაც ახასიათებთ კანზე და ლორწოვან გარსზე კონკრეტულ/ლოკალურ ადგილზე მოქმედება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, ამასთან გადასატანად პორტატულია, გამოსაყენებლად მოსახერხებელია, შეფუთვის განსაკუთრებულობით მიღწეულია ჰიგიენურობა, ეკონომიურობა და ვარგისობის ვადის გახანგრძლივება. სამკურნალო ფანქრების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა ფუძის ბუნებიდან გამომდინარე მასში ბუნებრივი წარმოშობის კომპონენტების (მცენარეული ექსტრაქტების და ეთერზეთების, თიხების, პელოიდების და სხვა) შეტანის შესაძლებლობა. აფთიაქებში სამკურნალო კოსმეტიკური ფანქრების ასორტიმენტი მწირია, აღნიშნულიდან გამომდინარე სამკურნალო კოსმეტიკური ფანქრების რეცეპტურის შემუშავება და თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით სხვადასხვა დანიშნულების კოსმეტიკური ფანქრების წარმოება ერთ-ერთი აქტუალური საკითხია თანამედროვე ფარმაციისთვის /10,11,12,13,14,16 /.





კვლევის მიზანი: ბუნებრივი პროდუქტების საფუძველზე ანტიბაქტერიული მოქმედების კოსმეტიკური ფანქრების რეცეპტურის განსაზღვრა და ტექნოლოგიის დამუშავება.

კვლევის ობიექტები: სალბის (სამკურნალო სალბის - Salvia officinalis L.) ბალახის მშრალი ექსტრაქტი, ეთერზეთი; ანტიბაქტერიული მოქმედების კოსმეტიკური ფანქრების საკვლევი ცხრა კომპოზიცია, მათი შემადგენელი აქტიური და დამხმარე ნივთიერებები (ცხრილი 1 და 2).

ცხრილი № 1. ფანქრების საკვლევ კომპოზიციებში გამოყენებული აქტიური ფარმაცევტული ინგრედიენტები /17/

№	აქტიური ფარმაცევტული ინგრედიენტების დასახელება	ფარმაკოლოგიური მოქმედება
1	სალბის ბალახის მშრალი ექსტრაქტი	ანტიბაქტერიული
2	სალბის ეთერზეთი	ანტისეპტიკური, ანთების საწინააღმდეგო, ანტიბაქტერიული იმუნომოდულატორი

ცხრილი №2. ფანქრების საკვლევ კომპოზიციებში გამოყენებული დამხმარე კომპონენტები /18/

№	დამხმარე კომპონენტების დასახელება	დანიშნულება
1	პარაფინი	ფორმის და სიმყარის მიმნიჭებელი
2	ვაზელინი	პლასტიფიკატორი, დამატენიანებელი
3	ვაზელინის ზეთი	პლასტიფიკატორი, დამატენიანებელი
4	აბუსალათინის ზეთი	პლასტიფიკატორი
5	კაკაოს ცხიმი	ფორმის და სიმყარის მიმნიჭებელი
6	ატმის ზეთი	პლასტიფიკატორი
7	ნუშის ზეთი	პლასტიფიკატორი
8	ემულსიური ცვილი	სტრუქტურის მიმნიჭებელი, ემულგატორი
9	ფუტკრის ცვილი (თეთრი)	ფორმის და სიმყარის მიმნიჭებელი
10	ლანოლინი	პლასტიფიკატორი

კვლევის მეთოდები: კვლევის პროცესში გამოყენებულია ფიზიკურ-ქიმიური, ტექნოლოგიური და ბიოფარმაცევტული მეთოდები/1,14,15 /.

კვლევის შედეგები და მათი განხილვა:

კვლევის პირველ ეტაპზე შესწავლილია და დადგენილია აქტიური ფარმაცევტული ინგრედიენტების (აფი) სალბის ეთერზეთისა და სალბის მშრალი ექსტრაქტის ნარევის ანტიბაქტერიული აქტოვობა. საკვლევი ნიმუშების ანტიმიკრობული აქტიურობის in-vitro შეფასება ჩატარდა “Spot Test” - წერტილოვანი ტესტირების მეთოდით /1/ ბაქტერიული შტამების განსაზღვრული ნაკრების მიმართ (Streptococcus pyogenes, Escherichia coli, Enterobacter cloacae , Salmonella typhimurium, Klebsiella pneumoniae, Shigella flexneri, Proteus vulgaris, Enterococcus faecalis, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa). სკრინინგის შედეგები მოცემულია ცხრილში №3.

ცხრილი №3. სალბის მშრალი ექსტრაქტისა და ეთერზეთის ნარევის ანტიბაქტერიული აქტივობის სკრინინგის შედეგები

№	ბაქტერიული შტამის დასახელება	კვლევის შედეგი
1	Streptococcus pyogenes	1+
2	Escherichia coli	4+
3	Enterobacter cloacae	–
4	Salmonella typhimurium	2+
5	Klebsiella pneumoniae	4+
6	Proteus vulgaris	4+
7	Shigella flexneri	4+
8	Enterococcus faecalis	4+
9	Staphylococcus aureus	4+
10	Pseudomonas aeruginosa	–

ჩატარებული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ საკვლევ ობიექტს გააჩნია ფართო სპექტრის და მაღალი ანტიბაქტერიული ეფექტი.

ლიტერატურის მონაცემების საფუძველზე შედგენილია კოსმეტიკური ფანქრების ფუძის რამდენიმე კომპოზიცია (ცხრილი№4).

ცხრილი №4 კოსმეტიკური ფანქრების საკვლევი ფუძეების შემადგენლობა

№	საკვლევი ფუძეების კომპონენტები	ფანქრების ფუძეები								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	პარაფინი	-	5,0	-	2,2	2,5	1,0	1,0	1,5	1,5
2	ვაზელინი	-	-	-	-	2,5	-	-	2,5	2,5
3	ვაზელინის ზეთი	-	-	5,0	-	-	-	-	-	-
4	აბუსალათინის ზეთი	-	2,0	2,0	3,6	-	5,0	5,0	-	-
5	კაკაოს ცხიმი	-	-	2,2	4,2	-	-	1,0	-	-
6	ატმის ზეთი	-	-	-	-	2,5	-	-	3,5	-
7	ნუშის ზეთი	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5
8	ემულსიური ცვილი	-	-	4,0	-	2,5	3,0	2,0	2,5	2,5
9	ფუტკრის ცვილი	3,0	-	-	-	-	-	1,0	-	-
10	ლანოლინი	6,0	-	-	-	-	1,0	1,0	-	-
11	მზესუმზირას ზეთი	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-
12	სპერმაცეტი	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-
	საერთო მასა:	10,0	10,0	13,2	10,0	10,0	10,0	11,0	10,0	10,0

შესწავლილია ფანქრების საკვლევი ფუძეების გარეგნული სახე, ერთგვაროვნება, განაწილების უნარი, წასმის უნარი (ცხრილი №5).

ცხრილი №5. საკვლევი ფუძეების ფიზიკური მაჩვენებლების განსაზღვრის შედეგები

ფუძეების კომპოზიციის №	საკვლევი ფუძეების ხარისხის ფიზიკური მაჩვენებლები		
	გარეგნული სახე (ფერი, სუნი)	სტრუქტურის ერთგვაროვნება	კარგი წასმის უნარი
1	თეთრი, უსუნო	ერთგვაროვანი	–
2	ყვითელი, უსუნო	ერთგვაროვანი	–
3	ყვითელი, უსუნო	არა ერთგვაროვანი	+
4	თეთრი, უსუნო	ერთგვაროვანი	–
5	რძისფერი, უსუნო	ერთგვაროვანი	–
6	თეთრი, მარგალიტის ბზინვარებით,უსუნო	ერთგვაროვანი	–
7	თეთრი,მარგალიტის ბზივარებით, უსუნო	ერთგვაროვანი	+
8	თეთრი, მარგალიტის ბზინვარებით, უსუნო	ერთგვაროვანი	+
9	თეთრი, მარგალიტის ბზინვარებით, უსუნო	ერთგვაროვანი	+

№5 ცხრილში მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ ოპტიმალური ფიზიკური მახასიათებლებით ხასიათდება ფუძეების კომპოზიცია №7, 8 და 9.

კვლევის შემდგომ ეტაპზე შერჩეულ ფუძეებში (№7,8,9) შეტანილია ბიოლოგიურად აქტიური კომპონენტები და შედგენილია ცხრა კომპოზიცია (ცხრილი №6).

ცხრილი № 6 . ანტიბაქტერიული მოქმედები ფანქრების საკვლევი კომპოზიციები

№	კომპოზიციის კომპონენტები (გრამებში)	ფანქრების საკვლევი კომპოზიციები								
		№1	№2	№3	№ 4	№ 5	№ 6	№7	№8	**№9**
1	პარაფინი	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	**1,0**
2	ვაზელინი	-	-	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	**-**
3	აბუსალათინის ზეთი	5,0	5,0	-	-	-	-	-	-	**5,0**
4	კაკაოს ცხიმი	1,0	1,0	-	-	-	-	-	-	**1,0**
5	ატმის ზეთი	-	-	3,5	-	-	3,5	3,5	-	**-**
6	ნუშის ზეთი	-	-	-	3,5	3,5	-	-	3,5	**-**
7	ემულსიური ცვილი	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	**2,0**
8	ფუტკრის ცვილი	1,0	1,0	-	-	-	-	-	-	**1,0**
9	ლანოლინი	1,0	1,0	-	-	-	-	-	-	**1,0**
10	სალბის მშრალი ექსტრაქტი	-	-	-	-	1,0	1,0	-	-	**1,0**
11	სალბის ეთერზეთი	-	-	-	-	0.03	0.03	-	-	**0.03**

კვლევის შემდგომ ეტაპზე შესწავლილია ანტიბაქტერიული ფანქრების საკვლევი კომპოზიციების ხარისხის მაჩვენებლები /9,14,18/ მონაცემები წარმოდგენილია №7 ცხრილში.

ცხრილი №7. ანტიბაქტერიული მოქმედების ფანქრების საკვლევი კომპოზიციების ხარისხის მაჩვენებლები

№	ფანქრების საკვლევი კომპოზიციების ხარისხის მაჩვენებლები						
	გარეგნული სახე	ერთგვაროვნება (ვიზუალურად)	ერთგვაროვნება (ელ.მიკროსკოპით)	დაფარვის უნარი (ფილტრის ქაღალდზე)	განაწილების უნარი	სიმყარე/პლასტიკურობა (ფაიფურის ბურთი)	pH (5.5-6.5)
1	მუქი წითელი, დამახასიათებელი სუნით	+	+	14.28	++	-	5,9
2	ნარინჯისფერი უსუნო	+	+	50	++	-	5,7
3	ნარინჯისფერი უსუნო	+	+	40	+++	-	5,7
4	ნარინჯისფერი, უსუნო	+	+	40	++	-	5,7
5	ღია ყავისფერი, სასიამოვნო სუნით	+	+	66.66	++	42,64	5,7
6	ღია ყავისფერი, დამახასიათებელი, სასიამოვნო სუნით	+	+	50	+++	32,5	5,5
7	მუქი წითელი, დამახასიათებელი სუნით	+	+	50	++	-	5,6
8	მუქი წითელი, დამახასიათებელი სუნით	+	+	66.66	++	-	5,5
9	ღია ყავისფერი, სასიამოვნო სუნით	+	+	76.47	++++	67,34	5,6

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე საუკეთესო მაჩვენებლებით ხასიათდება ანტიბაქტერიული მოქმედების ფანქრების საკვლევი კომპოზიცია №9.

განსაზღვრულია ანტიბაქტერიული მოქმედები ფანქრებში (№9 საკვლევ კომპოზიციაში) ფლავონოიდების ჯამური შემცველობა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით (Shimadzu UV-240 Japan). ოპტიკური სიმკვრივე განისაზღვრა 415 ნმ სიგრძის ტალღაზე,

ფლავონოიდების აგლიკონების ჯამური შემცველობა გამოთვლილია ქვერცეტინზე გადაანგარიშებით. კვლევისას გამოყენებულია ჩვენს მიერ მოდიფიცირებული მეთოდი /3,20,21/. კვლევის შედეგად დადგენილია, რომ ფლავონოიდების აგლიკონების ჯამის საშუალო შემცველობა ქვერცეტინზე გადაანგარიშებით შეადგენს 0.272მგ/გ.
შემუშავებულია ანტიბაქტერიული ფანქრების მომზადების ტექნოლოგიური პროცესის სქემა და ტექნოლოგიური პროცესი /2,6,8,14,19/ .

ანტიბაქტერიული ფანქრების მიღების ტექნოლოგიური სქემა შედგება შემდეგი სტადიებისგან:

1.საწყისი მასალების/კომპონენტების მომზადება:
1.1. აქტიური ფარმაცევტული ინგრედიენტების მომზადება;
1.2. დამხმარე - ფუძის შემადგენელი ინგრედიენტების მომზადება;
2. ფანქრების ფუძის მყარი კომპონენტების გალღობა
(ლღობის ტემპერატურის გათვალისწინებით);
3. ფუძეში თხევადი კომპონენტების შეტანა და შერევა;
4. ფუძეში მშრალი ექსრტაქტის შეტანა და შერევა;
5. გაგრილებულ ფუძეში ეთერზეთის შეტანა და შერევა;
6. მასის ჩამოსხმა ყალიბებში, დაყოვნება, გაციება;
7.ფანქრების კეთილხარისხოვნების შემოწმება;
8. დაფასოება/გაფორმება.
შედგენილია ფანქრების №9 კომპოზიციის მიღების ტექნოლოგიური პროცესის მატერიალური ბალანსი და გამოთვლილია ტექნიკურ–ეკონომიკური მაჩვენებლები, შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში№10.

ცხრილი№10. ფანქრების მიღების ტექნოლოგიური პროცესის მატერიალური ბალანსი

№	კომპონენტები (აღებული)	რაოდენობა (გრ-ში)	მიღებული	რაოდენობა (გრ-ში)
1	პარაფინი	2,0	მზა პროდუქტი	23,2
2	აბუსალათინის ზეთი	10,0		
3	კაკაოს ცხიმი	2,0		
4	ემულსიური ცვილი	3.94		
5	ფუტკრის ცვილი	2,0		
6	ლანოლინი	2,0	დანაკარგი	0,8
7	სალბის მშრალი ექსტრაქტი	2,0		
8	სალბის ეთერზეთი	0.06		
		ჯამი =24,0		ჯამი=24,0
ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები				
G1=G2+G5 24,0=23,2 +0,8 ტექნოლოგიური გამოსავალი Պ= G2/ G1 x 100% = 23,2/24,0x100%=96,66% ტექნოლოგიური ხარჯი E= G5/ G1 Xx100% = 0,8/24,0x100%=3,34% ხარჯვის კოეფიციენტი Kb= G1/ G2=24,0/23,2=1,03				

დასკვნები:

1.დადგენილია აქტიური ფარმაცევტული ინგრედიენტების: სალბის ბალახის მშრალი ექსტრაქტისა და ეთერზეთის ნარევის ანტიბაქტერიული მოქმედება ბაქტერიული შტამების მიმართ (Streptococcus pyogenes, Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Klebsiella pneumoniae, Shigella flexneri, Proteus vulgaris, Enterococcus faecalis, Staphylococcus aureus);

2. შედგენილია საკვლევი ფანქრების ცხრა კომპოზიცია. შესწავლილია ანტიბაქტერიული მოქმედების ფანქრების ორგანოლეპტური მახასიათებლები და კეთილხარისხოვნების მაჩვენელებლები: ერთგვაროვნება, დისპერსიულობის ხარისხი, pH, სიმყარე/ პლასტიკურობა, წასმის უნარი, განაწილების და დაფარვის უნარი. ხარისხობრივი მაჩვენებლების შესწავლის საფუძველზე საუკეთესო მახასიათებლებით გამოირჩევა №9 კომპოზიცია შემდეგი შემადგენლობით: პარაფინი 2,0გ; აბუსალათინის ზეთი 10,0გ; კაკაოს ცხიმი 2,0გ; ემულსიური ცვილი 3.94გ; ფუტკრის ცვილი 2,0გ; ლანოლინი 2,0გ; სამკურნალო სალბის მშრალი ექსტრაქტი 2,0გ; სამკურნალო სალბის ეთერზეთი 0.06გ.

3. შემუშავებულია ანტიბაქტერიული მოქმედების ფანქრების ტექნოლოგიური სქემა, დამუშავებულია მომზადების ტექნოლოგიური პროცესი და განსაზღვრულია. შედგენილია ფანქრების მიღების ტექნოლოგიური პროცესის მატერიალური ბალანსი და დადგენილია ტექნიკურ–ეკონომიკური მაჩვენებლები (ტექნოლოგიური გამოსავალი Ꝑ=96,6%; ტექნოლოგიური ხარჯი E= 3,34%; ხარჯვის კოეფიციენტი $K_ხ$= 1,03);

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ლანა კოდანოვი, „ზოგიერთი არომატული მცენარის ინტროდუქციისა და გადამუშავების მწვანე ტექნოლოგიები“(სადისერტაციო ნაშრომი) ბსუ.ბათუმი.2021;
2. Akshatha R S, Manasa C Reddy, Ranjitha Suresh and Thanushree H R. Formulation and evaluation of antibacterial herbal deodorant stick. Department of Pharmaceutics, Vydehi Institute of Pharmacy, Bangalore, India. World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences,2023,16(02),029–034.ArticleDOI: https://doi.org/10.30574/wjbphs. 2023.16.2.0464.
3. Amjad M. Shraim , Talaat A. Ahmed, Md Mizanur Rahman ,Yousef M. Hijj. Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. LWT- Food Science and Technology.150(2021)111932;journal homepage: www.elsevier.com/locate/lwt.
4. Andrea F. Afonso , Olívia R. Pereira Artur M. S. Silva, Ângela Fernandes, Ricardo C. Calhelha, Isabel C.F.R. Ferreira and SusanaM. Cardoso.Phytochemical Composition and Bioactive E ects of Salvia africana, Salvia o cinalis ‘Icterina’ and Salvia mexicana Aqueous Extracts.Molecules 2019, 24, 4327; doi:10.3390/molecules24234327;
5. Design and evaluation of topical herbal antifungal stick containing extracts of Rhinacanthus nasutus.Mohammed Tahir Ansaria,, Nurulfalahin binti daud ibrahima, Farheen Samia, Shahnaz Majeeda, Mohammad Saquib Hasnainb, Vishal Bhagwan Badgujara.Journal of Herbal Medicine. 17–18. 2019.

6. Gabriella Baki Ph.D, and Kenneth S. Alexander Ph.D, Introduction to cosmetic formulation and technology. The University of Toledo, College of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2015;
7. Ghorbani A, Esmaeilizadeh M. Pharmacological properties of Salvia officinalis and its components. J Tradit Complement Med. 2017 Jan 13;7(4):433-440;
8. K.Natobidze, M.Gasanova, I.Tsurtsumia, A.Bakuridze, M. Tatanashvili. „Desing, formulation and biological assessment of antibaqterial medical"- Tbilissi. ISPC -2022.81-83;
9. Kristina Yu. Aleshnikova1*, Vyacheslav N. Dul1, Marina A. Dzhavakhyan1, Olga A. Semkina. Development and Standardization of Crayons with Eucalimine. DRUG DEVELOPMENT & REGISTRATION.2020.V.9, No. 4. 99-106. https: //doi.org/ 10.33380 /2305-2066-2020-9-4-99-106;
10. Nuha Rasheed, Syed Abdul Rahman, Samreen Hafsa. Formulation and Evaluation of Herbal Lipsticks.ResearchJ.Pharm.andTech.2020;13(4):1693-1700.doi:10.5958/0974-360X.2020. 00306.6
11. Premjit, Yashaswini & Kumar, Arvind. (2018). Antimicrobial Properties of Orange (Citrus reticulata var.Kinnow) Peel Extracts against Pathogenic Bacteria.737-746.10.20546/ijcmas.2018;
12. Sundriyal A, Bhatt B, Kaushik S, Formulation and Evaluation of Herbal Sunscreen Stick from Pyrostegia venusta (Ker Gawl.)Miers leaf ethanolic extract: A Modern Approach for Plants as Photo protectants, Annals Ayurvedic Med. 2024;13(2) 102-112, DOI. 10.5455/AAM.154183.
13. Vaishnavi Kale,Nilofar Khan,Mohan Kale, Rupali Yewale,Vinay Chaudhari. "Formulation And Evaluation Of Antifungal Dermal Stick From Pomegranate Rind Extract." International Journal of Current Science(IJCSPUB). Volume14,Issue1. January. 2024. ISSN:2250-1770. Indiawww.ijcspub.org.
14. Алешникова Кристина Юрьевна /Разработка состава, технологии карандашей лекарственных, содержащих эвкалимином/. Диссертация. 143 с. 2021г;
15. Государственная Фармакопея Российской Федерации 14 изд.ОФС.1.4.1.0028.18 «Карандаши лекарственные». – М., 2018. – Т.2. – С. 2014-2016;
16. Дрибноход Ю.Ю. Косметология.Ростов-на-доную Феникс.2019;
17. Дрибноход Ю.Ю.Косметика и косметология. Толковый словарь. ГЕОТАР-Медия. 2021;
18. Разработка и стандартизация карандашей лекарственных с эвкалиминомК. Ю.Алешникова, В.Н.Дул, М.А.Джавахян, О.А.Семкина. Методы анализа лекарственных средств. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2020. Т. 9, № 4.99–106.
19. ЭрнандесЕ.И. и др, Новая косметология. /Косметическиесредства /. С. 554.2020;
20. Ю. Г. Соболева и др, СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММЫ ФЛАВОНОИДОВ В ЦВЕТКАХ ПИЖМЫ ОБЫКНОВЕННОЙ. БИОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ г. Витебск, Республика Беларусь. Вестник АПК Верхневолжья 3 (55) сентябрь 2021 г. doi:10.35694/YARCX.2021.55.3.007.
21. Хоссам М. Элькаиб, Виктор Н. Леонтьев, Павел Н. Саввин. Количественное определение флавоноидов ладанника шалфеелистного (Cistus salviifolius). Вестник ВГУИТ/Proceedings of VSUET, Т. 79, № 1, 2017 .DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-271-275

Design and Technological Optimization of Cosmetic Sticks Enriched with Antibacterial Sage Extract

Keteven Natobidze, Mariam Gasanova, Ia Tsurtsumia, Aliosha Bakuridze, Mariam Tatanashvili

Tbilisi State Medical University, Department of Pharmaceutical Technology

Abstract

Modern pharmacies are rich in a variety of cosmetic products, but most of them are based on components of synthetic origin. Their use often causes various complications and allergic reactions, which is why both patients and doctors prefer cosmetics made from natural ingredients.

Among skin care cosmetic products, cosmetic sticks hold a special place. Medical cosmetic sticks are characterised by their ability to act on specific/local areas of the skin and mucous membranes for an extended period. They are portable, convenient to use, and thanks to their special packaging, they are hygienic, economical, and have an extended shelf life. One of the key advantages of medicinal cosmetic sticks is the ability to incorporate naturally derived components (such as plant extracts, essential oils, clays, muds, etc.) due to the natural origin of their base. The assortment of medicinal cosmetic sticks in pharmacies is currently limited. Therefore, the study and development of formulations for medicinal cosmetic sticks, and their production using modern technologies for various purposes, is a pressing issue in contemporary pharmacy.

That is why we aimed to develop the formulation, design and biological evaluation of antibacterial treatment cosmetic sticks developed on natural products.

Active pharmaceutical ingredients of the sticks (mixture of sage dry extract and essential oil) proved to have high antibacterial activity against Streptococcus pyogenes, Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Klebsiella pneumoniae, Proteus vulgaris, Shigella flexneri, Enterococcus faecalis and Staphylococcus aureus (in vitro - “Spot Test”).

Based on a result literature review and the study of organoleptic, physico-chemical and technological characteristics, nine optimal sticks formulations were selected. We have studied the qualitative indicators of research composition nine and among them, sticks research composition No. 9 is characterized by the best characteristics with the following composition (for 10 sticks, weight of each sticks is 2.4): paraffin 2.0g; castor oil 10.0g; cocoa fat 2.0g; emulsion wax 3.94g; beeswax 2.0g; lanolin 2.0g; dry extract of sage grass 2.0g; Sage essential oil 0.06g. On the basis of technological studies, the technological scheme and technological process of sticks with antibacterial action have been developed, the material balances of the technological process of making sticks have been drawn up and the technical-economic indicators have been determined.

Keywords: Technology, Cosmetics, Sticks, Antibacterial, Sage.

ავტორები:

ქეთევან ნათობიძე თსსუ-ის ფარმაცევტული ტექნოლოგიის დეპარტამენტის დოქტორანტი;

მარიამ გასანოვა თსსუ-ის მაგისტრი;

ია წურწუმია თსსუ-ის ფარმაცევტული ტექნოლოგიის დეპარტამენტის ასისტენტ-პროფესორი;

ალიოშა ბაკურიძე თსსუ-ის ფარმაცევტული ტექნოლოგიის დეპარტამენტის პროფესორი;

მარიამ ტატანაშვილი თსსუ-ის ფარმაცევტული და ტოქსიკოლოგიური ქიმიის დეპარტამენტის დოქტორანტი.

Authors:

Keteven Natobidze TSMU, Department of Pharmaceutical Technology, PhD student;

Mariam Gasanova TSMU, Department of Pharmaceutical Technology, master;

Ia Tsurtsumia TSMU, Department of Pharmaceutical Technology, Assistant Professor;

Aliosha Bakuridze TSMU, Department of Pharmaceutical Technology, Professor;

Mariam Tatanashvili TSMU, Department of Pharmaceutical and Toxicological Chemistry, PhD student.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.51



Digital Transformation in the Educational Institutions

Inga Abuladze[1], Maia Okhanasvili[2], Marina Kashibadze[3], Natalia Gabashvili[4], Tamar Gabashvili[5]

[1]Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia; [2]Professor, Faculty of Information Technologies, Business and Technology University, Tbilisi, Georgia, E-mail: i_abuladze@gtu.ge, inga.abuladze@btu.edu.ge, ORCID: 0000-0002-4322-8692;

[2]Assoc. Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, m.okhanashvili@gtu.ge;

[3]Assoc. Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, m.kashibadze@gtu.ge;

[4]Assoc.Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, n.gabashili@gtu.ge;

[5]Assis. Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, t.gabashvili@gtu.ge

Abstract

In this study proposes the idea of how to make the educational process more flexible in the post-pandemic period using the digital transformation technologies. Machine learning algorithms are used to solve this task, which will make the learning process more efficient and objective. Along with this, it will be adjusted to the ability of each student and will make the work of the teacher easier.

In the post-pandemic period, modern teaching methods are: face-to-face, online and hybrid teaching. Each method has its own advantages and disadvantages. Since the 21st century is era of globalization, online, distance and hybrid methods are considered to be a more acceptable form of teaching in the future.

The Author reviews all teaching methods. After the COVID-19 era, hybrid and online teaching methods are a new challenges in educational institutions, representing a more acceptable form of teaching worldwide. The situation now is that many institutions continue online classes and, at the same time, blend them with face-to-face classes. Hybrid Education is one of the most interesting concepts of the 21st century education system.

Keywords: Online and Face-to-face Learning, Modern Teaching Methods, Artificial Intelligent, Machine Learning Algorithm, Innovation Technology.

I. INTRODUCTION

In this study main challenge is using digital transformation in the education systems, include main teaching methods: online, distance and hybrid learning. For this task I developed model to transition

from one teaching method to another using machine learning algorithms, which are a subset of artificial intelligence.

Artificial intelligence (AI) has been a topic of growing interest and investigation in various fields, including higher education. This research article explores the impact of AI on higher education by examining its effects on teaching and learning, assessment, ethics, required skills, and future careers.

The aim of the scientific paper is to create a blended and student-oriented system of the educational process. At the same time, the work related to the educational process should be facilitated for the Professor/Teacher. In the educational process, the effectiveness of any educational course is assessed by the learning outcomes obtained by the student. To achieve efficiency, the educational process service must be tailored to students, that is, the teacher must learn and improve various methods of working with the online platform.

The pandemic and the post-pandemic periods have brought about a very big change in the educational system. The growing pace of technology has become even more visible and has covered all fields, especially in educational institutions. Because online learning and a distance assessment system are still relevant today.

The COVID-19 pandemic has presented the entire world's education system with a new challenge. The number of online lectures (lessons) has increased, and at this time the teacher needs to make more efforts to conduct the educational process at a high level. Such a sudden change in the format of teaching has dealt a certain blow to both lecturers and students. It has become necessary to adapt to online teaching, create many new methods, study them and use them. A fairly large army of lecturers and professors-teachers has faced this challenge. During online teaching, the lecturer is always in the focus and has the eyes of many students. It is much easier to lead the educational process when teaching in the auditorium than when teaching online. Because the teacher has to take into account many factors. For example: sudden power outages (which are common in Georgia), getting to know his students online, establishing order during online teaching, and communicating with each student. Sharing their work, and a lot of technological, psychological, moral, and physical effort is required for a teacher to conduct the learning process at a high or good level [1].

II. MATERIALS AND METHOD

In this paper presents an analysis of various teaching methods in the post-pandemic period (Table 1). The participants were asked which method between online, face-to-face, and hybrid education they preferred with the question “What is your teaching model preference?”. 45.4% of students responded as “online education”, 28.8% “face- to-face” and 25.8% “hybrid” (Table 2). These results indicated that most of the students preferred online education [2].

Table 1. Frequency Distribution of Teaching Model Preference

Model Preference	students	%
Online Education	2497	45.4
Face-to-Face Education	1587	28.8
Hybrid Education	1420	25.8
Total	5504	100

Table 2. Contingency Table Showing the Relationship Between Teaching Model Preference and Gender

Teaching model Preference		Gender		
		Female	Male	Total
Online Education	Number	1133	1364	2497
	%	45.4	54.64	100
Face-to-Face Education	Number	817	770	1587
	%	51.5	48.5	100
Hybrid Education	Number	758	662	1420
	%	5.4	46.6	100
Total	Number	2708	2796	5504
	%	49.2	50.8	100

Table 3. Contingency Table Showing the Relationship between Teaching Model Preference and Students' View of the Learning Management System Used as Complex

Teaching model Preference		Gender					
		Strongly Disagree	Disagree	Moderate	Agree	Strongly Agree	Total
Online Education	Number	884	988	311	177	105	2465
	%	85.9	40.1	12.6	7.2	4.3	100
Face-to-Face Education	Number	157	544	319	298	241	1559
	%	10.1	34.9	20.5	19.1	15.5	100
Hybrid Education	Number	172	592	287	226	118	1395
	%	12.3	42.4	20.6	16.2	8.5	100
Total	Number	1213	2124	917	701	464	5419
	%	22.4	39.2	16.9	12.9	8.6	100

1.2. III. OBJECTIVE and METHODOLOGY:

a) Develop exam sample model on Python

b) Evaluation of the effectiveness of the student's final result

Three paradigms are proposed for Artificial Intelligence in Education (AIED). They are: AI-direct, AI-support, and AI-empower [3].

- ❖ AI is used to represent knowledge models and direct cognitive learning in Paradigm One.
- ❖ AI is used to support learning while learners work as collaborators with AI in Paradigm Two.
- ❖ AI is used to empower learning while learners take agency to learn in Paradigm Three.

The main starting point in the learning process is the student. therefore, in order to get the best results, the teacher must develop the most effective methods of the exam. Machine learning algorithms help us in this approach, using which the exam process is comfortable for both the student and the lecturer.

IV. RESULTS

In this study Author developed model of modern teaching method, according in which 5 components play a key role in the learning process:

$$FS(i = 1, 2, 3, 4, 5) \qquad (1)$$

1) Student activity in the learning process
2) Adequate delivery of material by the lecturer
3) Management of the classroom by lecturer
4) Communication between lector and student
5) Respect for each other to achieve the best

V. AI IMPACT ON THE LEARNING AND TEACHING PROCESS

According to an article in The Atlantic, ("Artificial Intelligence Promises a Personalized Education for All"), artificial intelligence holds the potential to "enhance human teachers' abilities to tailor lessons to each student without knocking their class schedule off track," eliminating the need for educators to "teach to the middle," as often happens when their students have a range of skill levels and learning abilities.

Rose Luckin, a professor of learning-centered design at University College London, is quoted as saying that, "The real power of artificial intelligence for education is in the way that we can use it to process vast amounts of data about learners, about teachers, about teaching and learning interactions." Ultimately, AI can "help teachers understand their students more accurately, more effectively". She says AI in education will help us understand how we think [5].

My research mainly concerns the evaluation of the positive and negative between online and face-to-face learning. Based on their analysis, it is recommended to switch to a hybrid format to achieve effective learning results. The use of machine learning algorithms for the effectiveness of the learning process.

A two-and-a-half-year study of online learning at leading universities around the world, including Georgia (Country), has shown that the hybrid (blended) method of teaching is much better for both lecturers and students. Because human communication has a much better effect on both sides. During the pandemic, the least hit was for students and professors of the Faculty of Technology. The biggest and most devastating hit was suffered by professors of the Faculty of Humanities and Natural Sciences, because most teachers have not mastered technologies at the proper level. Based on this reality, which is present all over the world, my modest recommendation is as follows: the learning process in the future should be hybrid, which in itself includes online, distance and face-to-face learning in symbiosis.

As you know, the learning process consists of several components. For the perfect conduct of the learning process, both the teaching and assessment processes of students are important. During online learning, the teacher must be fully involved in the learning process and constantly provide his students with electronic learning materials: textbooks, lecture notes, presentations, etc. At the same time, he must conduct the assessment remotely.

The purpose of the work is to help professors and teachers around the world increase their knowledge in the distance learning process and gain more experience in effectively conducting the learning process. To solve this problem, machine learning (ML) algorithms and assessment methods have been developed, which will make the learning process more effective and flexible.

A teaching philosophy underlying this system revolves around prioritizing students as the primary beneficiaries, teachers as the driving force, industry feedback, and industry-specific guidance. Therefore, while constructing a quality evaluation system for higher education, the following two aspects should be considered:

1. *Student-Centered Approach*: Regardless of changes in teaching formats, students always play a central role in the teaching process.

2. *Teacher Leadership*: Teacher have a pivotal role in thear courses, indicating the course's practicality.

Consequently, teachers can adapt teaching techniques and approaches based on the classroom dynamics and instructional context. By integrating students theoretical knowledge and practical abilities while enhancing their overall development, teachers have relatively more freedom in guiding the higher education curriculum. If all evaluation systems solely focus on assessing lectors performance, the inherent communicative and interactive functions of the course may be compromised. Therefore, the lecturer needs support and encouragement from the administration.

The implementation of practical activities mainly relies on extracurricular activities, which in turn can promote the understanding of classroom theory. Therefore, the teaching quality evaluation must adhere to the unity of theory and practice. With continuous maturity and development of internet application technology, ML algoritms is also increasingly being applied to teaching evaluation. At the end of each semester or during a certain period of study, the university will organize students to evaluate lectors on the official account or App at the specified time. If the evaluation cannot be completed in a timely manner, students will not be able to check their grades and perform other operations. This characteristic of short time and heavy tasks can make students perfunctory in evaluating, resulting in teachers receiving feedback that has no reference value. This kind of

"evaluating teaching for the sake of evaluation" ultimately only allows evaluation to become a formality. The quality evaluation of higher education mainly targets the teaching of teachers.

Therefore, the current evaluation system mainly introduces Western theories and research techniques. The lack of empirical research has led to the lack of guarantee for the scientificity of various evaluation indicators and the effectiveness of results, let alone the goal of improving the evaluation system in the long run.

How is artificial intelligence used in education?

AI is used in education in numerous ways that enhance different aspects of teaching and learning. For example, adaptive learning platforms customize content for individual students. AI also automates grading and scheduling to free up teachers' time, and interactive tools make learning more engaging.

What is the future of AI in education?

The future of AI in education is bright, with ongoing improvements in personalized learning and accessibility. We can expect more advanced tools for adaptive learning and immersive virtual classrooms that will make education more engaging and effective.

How is AI currently being used in higher education?

AI is used in higher education in various ways, from detecting plagiarism and ensuring exam security to providing student support through chatbots. It also enhances online learning, transcribes lectures, tracks student progress, supports research and connects campuses. These diverse applications help streamline tasks and improve the learning experience for everyone.

Is AI good or bad for education?

AI has the potential to greatly improve education by personalizing learning and making administrative tasks easier. However, it also raises concerns about data privacy and equity. Thoughtful and ethical use of AI can maximize its benefits while addressing these challenges.

Below is a list of benefits of AI in education [7]:

1. ***Adaptive Learning:*** AI-driven platforms assess students' skill levels in real time and tailor instructional content to meet individual needs. These systems adapt lessons dynamically based on student responses, providing customized pathways to help students master concepts at their own pace.
2. ***Data and Learning Analytics:*** AI helps analyze data from online learning portals, classroom attendance and grades. This data provides insights into student performance, helping educators identify trends and tailor instruction to address gaps in understanding and performance.
3. ***Classroom Management:*** Platforms use AI to gamify classroom management. AI tracks student behavior and engagement, rewarding positive actions with points and badges and providing teachers with insights into classroom dynamics to manage and motivate students.
4. ***Intelligent Tutoring Systems:*** AI-powered tutoring systems such as Carnegie Learning provide personalized feedback and support, adapting to individual learning styles and needs to help students understand complex concepts and improve academic performance.
5. ***Automated Grading and Assessment Tools:*** These tools use AI to evaluate assignments and provide detailed feedback, streamlining the grading process, ensuring consistency and saving teachers time. AI can also grade more abstract assessments like essays by analyzing the content for coherence and relevance.

6. **Chatbots and Virtual Assistants:** AI-driven chatbots such as Mainstay provide students with immediate support and assistance outside classroom hours. These chatbots answer questions, remind students of deadlines and guide them through administrative processes, enhancing engagement and promoting independent learning.
7. **Curriculum Planning:** AI helps educators plan curricula by analyzing educational data to identify trends and gaps. This ensures the curriculum remains relevant, comprehensive and aligned with learning objectives by suggesting updates based on the latest educational needs and standards.
8. ***Personalized Learning:*** AI learning platforms create customized learning experiences by adapting to the unique ways students understand concepts. This reduces cognitive load and ensures that each student receives instruction tailored to their learning style and pace.
9. ***Language Learning:*** AI tools like *Duolingo* use adaptive algorithms to personalize language learning experiences. The AI adjusts the difficulty of exercises based on the user's progress, ensuring an optimal learning curve and enhancing language acquisition.
10. ***Virtual 3D Classrooms:*** The metaverse creates *immersive virtual classrooms* where students can interact with classmates and teachers. Platforms like Engage VR offer virtual environments that enhance the learning experience beyond traditional methods, providing opportunities for interactive and experiential learning.
11. ***Plagiarism Detection:*** AI tools analyze student submissions for potential plagiarism by comparing them against a vast database of academic content, ensuring academic integrity and originality in student work.

VI. CONCLUSION

In the era of globalization the crucial role online, distance and hibrid teaching. After the pandemic, such teaching methods have been recognized all in the world, although face-to-face teaching is still a priority.

In this study have been developed a modern teaching models, which criteria play a decisive role in the learning process, what the lecturer should focus on to achieve the best results.

REFERENCES

[1] I. Abuladze, I. Megrelishvili. The role of artificial intelligence for the effectiveness of the educational process. International Scientific and Practical Conference "Innovations and Modern Challenges 2022" dedicated to the 100th anniversary of the Georgian Technical University and the 65th anniversary of the Faculty of Informatics and Control Systems. Tbilisi, Georgia, 2022.

[2] N. Hotara, M. A. Özcanb, B. Baranc, E. Karagözd, L. Ö. Güneye. Face-to-Face, Online or Hybrid, Which Model is Preferred by University Students and Why? Journal of Learning and Teaching in Digital Age, 8(2), 2023, pages 1799-180.

[3] Ouyang, F., & Jiao, P. (2021). Artificial Intelligence in Education: the Three Paradigms. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2(1), 100020. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100020

[4] I. Abuladze. Programming Language Python. Technical University, Tbilisi, Georgia, 2021.

[5] UCL. (2020, March 11). Opinion: AI in education will help us understand how we think. UCL News. https://www.ucl.ac.uk/news/2020/mar/opinion-ai-education-will-help-us-understand-how-we-think

[6] E. M. Onyema, Kh. K. Almuzaini, F. U. Onu, D. Verma, U. S. Gregory, M. Puttaramaiah, R. K. Afriyie. Prospects and Challenges of Using Machine Learning for Academic Forecasting. Hindawi, Computational Intelligence and Neuroscience, 2022.

[7] Administrator. (2021, December 7). 43 Examples of Artificial Intelligence in Education. University of San Diego Online Degrees. https://onlinedegrees.sandiego.edu/artificial-intelligence-education

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.52



გვირაბის ხანძრის პირობებში სავენტილაციო სისტემის ეფექტიანობისა და სიცოცხლის გადარჩენის ინტეგრირებული ანალიზი

ომარ ლანჩავა

პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

კვლევაში ნაჩვენებია, რომ სავენტილაციო სისტემები, მიუხედავად იმისა, რომ აუცილებელია, არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ უზრუნველყოს სიცოცხლის უსაფრთხოება გვირაბის ხანძრებში. შემოთავაზებულია ახალი მეთოდოლოგიური მიდგომა, რომელიც ხაზს უსვამს დინამიური ეფექტურობის კოეფიციენტის (DEF) მნიშვნელობას - ინტეგრირებულ პარამეტრს, რომელიც აფასებს ხანძრის დინამიკის, ვენტილაციის ეფექტურობისა და ადამიანის ევაკუაციის რისკების ერთობლივ გავლენას. DEF კონცეფცია წარმოგვიდგენს ყოვლისმომცველ ჩარჩოს, რომელიც აკავშირებს ტექნიკურ მუშაობას ადამიანის ქცევის მოდელებთან საგანგებო სიტუაციებში.

გამოთვლითი სითხის დინამიკის (CFD) მოდელირება გამოიყენება ხანძრის განვითარების, ტემპერატურის გრადიენტების, კვამლის გავრცელებისა და ტოქსიკური აირის დისპერსიის მოდელირებისთვის. ანალიზი აჩვენებს, რომ მიუხედავად იმისა, რომ ფრუდის რიცხვი კვლავ რჩება ვენტილაციის მუშაობის შეფასების მნიშვნელოვან ინდიკატორად, რეალურ სცენარებში ის მნიშვნელოვნად თმობს პოზიციებს. ამრიგად, მხოლოდ ფრუდის რიცხვზე დაყრდნობამ ადაპტური კორექტირების გარეშე შეიძლება გამოიწვიოს ხანძრის საგანგებო სიტუაციების არასაკმარისი დაგეგმვა.

ამ კვლევაში განხილული ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევაა CFD მოდელების ინტეგრაცია ევაკუაციის მოდელირებებთან. მოდელებს შორის დროითი და სივრცითი გარჩევადობის განსხვავებები ართულებს ინტეგრაციის პროცესს, თუმცა ამ სირთულეების გადალახვა აუცილებელია რისკის ზუსტი შეფასებისთვის. ნაშრომში წარმოდგენილია კონკრეტული პრაქტიკული მაგალითები და გამოკვეთილია სტრატეგიული რეკომენდაციები ეფექტური, კომბინირებული მოდელირების მეთოდოლოგიების შესაქმნელად.

საბოლოო ჯამში, კვლევა ადასტურებს, რომ საიმედო ხანძარსაწინააღმდეგო უსაფრთხოების სისტემის მიღწევას მხოლოდ მექანიკური მოწყობილობები არ ყოფნის. საკითხი მოითხოვს კარგად შემუშავებულ პროცედურებს, დახვეწილ საინჟინრო მიდგომებს, ძლიერ მართვის სტრატეგიებს და ადამიანური ფაქტორების გულდასმით გათვალისწინებას. ასეთი მრავალფაქტორიანი და დინამიური ჩარჩოს გამოყენებით, გვირაბის ხანძრებთან

დაკავშირებული საგანგებო დაგეგმვა შეიძლება გახდეს უფრო მდგრადი და ეფექტური, რაც გაზრდის როგორც სტრუქტურულ უსაფრთხოებას, ასევე ადამიანების გადარჩენის პერსპექტივებს.

საკვანძო სიტყვები: ხანძრის CFD მოდელები; ევაკუაციის მოდელები; მოდელების ინტეგრაცია; დინამიური ეფექტურობის კოეფიციენტი; ფრუდის რიცხვი.

მნიშვნელოვანი მიგნებები:

- ვენტილაცია მხოლოდ ნაწილობრივ უზრუნველყოფს უსაფრთხოებას: სავენტილაციო სისტემის ეფექტიანობა აუცილებელია, თუმცა არასაკმარისია სიცოცხლის გადარჩენისთვის.
- დინამიკური ეფექტიანობის ფაქტორი (DEF): წარმოდგენილია ახალი ინტეგრირებული მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს ხანძრის დინამიკას, სავენტილაციო შესაძლებლობებსა და ევაკუაციის რისკებს.
- ფრუდის რიცხვი ცვალებადია ხანძრის რეალურ სცენარებში: მის საფუძველზე შექმნილი მოდელები საჭიროებს დახვეწას და კორექტირებას პრაქტიკული გამოყენებისთვის.
- CFD და ევაკუაციის მოდელების ინტეგრაცია გამოწვევას წარმოადგენს: სხვადასხვა დროითი და სივრცითი სიზუსტის გამო მათი სინქრონიზაცია რთულია, თუმცა აუცილებელი.

1. შესავალი

საავტომობილო გვირაბებში ხანძარი წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე რთულ უსაფრთხოების გამოწვევას დახურულ ინფრასტრუქტურულ გარემოში. ისტორიულმა ტრაგედიებმა, როგორები-ცაა მონბლანის, ტაუერნის, სენ-გოტარდისა და სხვა გვირაბების ხანძრები, ნათლად აჩვენა, რომ ხანძრის ეფექტური მართვა და ადამიანების უსაფრთხო ევაკუაცია არ შემოიფარგლება მხოლოდ სავენტილაციო სისტემით [1]. გარდა ვენტილაციისა, უსაფრთხოების ეფექტიანობა დამოკიდე-ბულია დანარჩენი ინფრასტრუქტურული სისტემებისა და ელემენტების კოორდინირებულ მუშაობაზე. მათ შორის აღსანიშნავია: ევაკუაციის მარშრუტები, ხანძარმედეგი კონსტრუქციები, დეტექციის ტექნოლოგიები და ცეცხლთან ბრძოლის აქტიური და პასიური მეთოდები.

ტრადიციულად, გვირაბის სავენტილაციო სისტემა იგეგმება კრიტიკული სიჩქარის კონცეფციაზე დაყრდნობით, რომელიც გამომდინარეობს ფრუდის რიცხვისაგან და მიზნად ისახავს კვამლისა და წვის სხვა ტოქსიკური პროდუქტების უკუდინების თავიდან აცილებას. თუმცა, ბოლო წლებში ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა და რიცხვითმა კვლევებმა აჩვენა, რომ რეალურ პირობებში, განსაკუთრებით დახრილ გვირაბებში დაღმავალი გრძივი ვენტილაციისას, ან ინტენსიური თბოგამოყოფის პირობებში, აღნიშნული კრიტიკული სიჩქარე ხშირად ვერ უზრუნველყოფს უკუდინების თავიდან აცილებას.

წინამდებარე კვლევა ერთიან სისტემაში განიხილავს თბოგამოყოფის, სავენტილაციო სისტემის მუშაობის ეფექტიანობისა და ადამიანის სიცოცხლის გადარჩენის ურთიერთკავშირს

ხანძრის სხვადასხვა სცენარებში. წარმოდგენილია ახალი კომპლექსური შეფასების მოდელი, რომელიც ეფუძნება დინამიკური ეფექტიანობის ფაქტორების (დეფ) ინტეგრირებულ ანალიზს, რომელიც ითვალისწინებს როგორც ხანძრის დინამიკას, ასევე სავენტილაციო შესაძლებლობებს და ადამიანებზე ზემოქმედების რისკებს. მოდელი იძლევა სიცოცხლის უსაფრთხოებისა და სისტემური მდგრადობის უფრო ზუსტ შეფასებას შეზღუდულ მიწისქვეშა გარემოში.

გვირაბებში უკვე მომხდარი ხანძრების კერაზე ტემპერატურა აღწევდა 1300-დან 1650K-მდე. სამიტის გვირაბში (დიდი ბრიტანეთი) მომხდარი ხანძრის დროს ტემპერატურა იყო 1500 °C, ხოლო აგურის სამაგრი 10-15 მმ სისქის მდნარი მასით დაიფარა [1].

საავტომობილო გვირაბებში მომხდარი ძლიერი ხანძრებიდან აღსანიშნავია: - იაპონიის „ნიჰოძაკას“ გვირაბში მომხდარი ხანძარი, რაც განვითარდა 1979 წელს მანქანების შეჯახების შედეგად, ხანძარი მძვინვარებდა 4 დღე-ღამის განმავლობაში და მისი ლოკალიზაცია მოხერხდა მხოლოდ მას შემდეგ, რაც გვირაბში ყველა სახის წვადი მასალა ამოიწურა; - აშშ-ის „კალდეკოტის“ გვირაბში 1982 წელს, ნასვამი მძღოლის მიზეზით მომხდარ ავარიას მოჰყვა ძლიერი ხანძარი, დაიღუპა 7 ადამიანი; - საფრანგეთში დასახლებულ პუნქტ Beaun-თან 1982 წელს მომხდარი ხანძრის დროს დაიღუპა 53 ადამიანი, მათ შორის 44 ბავშვი; - საფრანგეთ-იტალიის „მონბლანის“ გვირაბის ხანძარი 1999 წელს, ხანძარი გაჩნდა ავტომანქანის ძრავაში, მძღოლმა ვერ შეძლო რა მისი ჩაქრობა, მიატოვა მანქანა და ფეხით წავიდა იტალიის მიმართულებით, სანამ გვირაბის დირექცია დაკეტავდა გვირაბს, ყველა მანქანა, რომელიც შევიდა საფრანგეთის მხრიდან მოჰყვა ხანძრის ტოქსიკური პროდუქტების გავლენის არეალში და არავინ არ გადარჩენილა, ხოლო იტალიის მხრიდან შესულ მანქანებში ყველა გადარჩა, ტოქსიკური აირები ვრცელდებოდა იტალიის მიმართულების პორტალიდან საფრანგეთის მხარეზე 1 მ/წმ სიჩქარით, მძვინვარებდა 53 საათის განმავლობაში, 5 დღის განმავლობაში ხანძრის ჩაქრობის შემდეგ ცხელი აირები გამოდიოდა გვირაბიდან ბუნებრივი წევით, 40 ადამიანი, მათ შორის 1 მეხანძრე დაიღუპა, მოცემული გვირაბისათვის ეს იყო რიგით მე-18 და ყველაზე ძლიერი ხანძარი 1965 წლიდან; - ავსტრიის ტაუერნის გვირაბში 1999 წელს მომხდარი ხანძარი ავტომანქანების შეჯახების შედეგად, გრძელდებოდა 15 სთ-ის განმავლობაში; - შვეიცარიის „გოტარდის“ გვირაბში მომხდარი ხანძარი 2001 წელს, რომელიც გაჩნდა ავტომანქანების შეჯახების შედეგად, გრძელდებოდა 20 სთ-ის განმავლობაში [2].

საზოგადოების დიდი ყურადღება მიიქცია მე-20 საუკუნის ბოლოს და 21-ე საუკუნის დასაწყისში მომხდარმა ხანძრებმა ჟურნალისტების აქტიურობის შედეგად. გარდა ზემოაღნიშნული ხანძრებისა, აღნიშნულზე დიდი გავლენა მოახდინა აგრეთვე სხვა სატრანსპორტო გვირაბებში მომხდარმა ხანძრებმა. კერძოდ, ბაქოს მეტროში 1995 წელს მომხდარმა ძლიერმა ხანძარმა რომლის დროსაც დაიღუპა 200-ზე მეტი ადამიანი, 2003 წელს სამხრეთ კორეის დაეგუს მეტროში ბოროტი განზრახვით გაჩენილმა ხანძარმა, რომლის დროსაც დაახლოებით 200 ადამიანი დაიღუპა. ავსტრიის ქალაქ კაპრუნის ინციდენტი 2000 წელს, როცა ფუნიკულორის მატარებელში ხანძრის შედეგად 151 ადამიანი დაიღუპა, იმავე ხანძარმა იმსხვერპლა შემხვედრი მატარებლის მემანქანე და ზედა პორტალთან ტრანსპორტის მომლოდინე 3 ადამიანი.

აღნიშნული დიდი ყურადღების ნიშანია გაეროს ევროპულ კომისიაში საერთაშორისო ექსპერტების ჯგუფის შექმნა, რომლებსაც ხელმძღვანელობდნენ ევროკავშირის წევრი

ქვეყნების ტრანსპორტის მინისტრები განრიგით. აღნიშნული ჯგუფი ამზადებდა და პერიოდულად გამოსცემდა სათანადო დოკუმენტებს, რომელთა მცირე ნაწილი მოცემულია ლიტერატურაში [2-11].

გვირაბის ხანძარი ღია ხანძრისაგან მინიმუმ ორი მნიშვნელოვანი განსხვავებით ხასიათდება: 1. წვადი მანქანებისაგან გამოყოფილი სითბო უფრო მეტად საგრძნობია მიწისქვეშ, რადგან სივრცე ჩაკეტილია და წვის პროდუქტების დისიპაცია შედარებით ნაკლებია; 2. შესაძლებელია ნაკადის უკუდინების წარმოქმნა, რაც ცვლის ვენტილაციის სქემას და ხშირ შემთხვევაში იწვევს მის კოლაფსს [12-18].

ღია ადგილებისაგან განსხვავებით, გვირაბში ჟანგბადი ყოველთვის არ არის საკმარისი და ამიტომ გვხვდება ორი ტიპის ხანძარი: ა) საწვავით კონტროლირებადი ხანძარი (სკხ) და ბ) ვენტილაციით კონტროლირებადი ხანძარი (ვკხ). სკხ-ის შემთხვევაში ჰაერის რაოდენობა ბევრია და ხანძრის სიმძლავრეს (სითბოს, კვამლის, ტოქსიკური ნაერთების რაოდენობას) განაპირობებს საწვავის რაოდენობა. ასეთი ხანძრის პირობებში, ჰაერის დიდი რაოდენობის გამო, წვის პროდუქტების კონცენტრაცია ჰაერში დაბალია. ვკხ-ის შემთხვევაში ხანძრის სიმძლავრეს განაპირობებს ჰაერის ხარჯი, რადგან ამ დროს საწვავის რაოდენობა დიდია. ამ შემთხვევაში წვის პროდუქტების კონცენტრაცია მაღალია და შესაძლებელია წარმოიქმნას აქროლადების აფეთქება-საშიში კონცენტრაცია.

ამგვარად, იმისდა მიუხედავად, გვირაბში წვა მიმდინარეობს ბუნებრივი, თუ ხელოვნური ვენტილაციის პირობებში, ყოველთვის გვხვდება ორი ტიპის ხანძარი: საწვავით კონტროლირებადი და ვენტილაციით კონტროლირებადი.

2. ხანძრის მიერ აღძრული დინამიკური წნევა

გვირაბებში ხანძრის დროს თბური რადიაციის გამო სავენტილაციო ჰაერი სწრაფად თბება და ფართოვდება. აღნიშნულის ხელშეწყობი ფაქტორია აგრეთვე წვის ტოქსიკური ცხელი აირების შერევა სუფთა ჰაერში. ფრუდის თეორიის მიხედვით ხანძრის კერაზე სუფთა ჰაერისა და წვის პროდუქტების შერევა თანაბარი რაოდენობით ხდება. თერმოდინამიკური დამოკიდებულების მიხედვით, დახურულ სივრცეში თერმული გაფართოებით გამოწვეული წნევის ცვლილება შეიძლება მიახლოებით შეფასდეს შემდეგი თანაფარდობით

$$\Delta P \approx \frac{\rho_0 \cdot R \cdot \Delta T}{V} \quad (1)$$

სადაც ρ_0 არის საწყისი ჰაერის სიმკვრივე, კგ/მ³; R — აირის სპეციფიკური მუდმივა, ჯ/(კგ·K); V — კუთრი მოცულობა, მ³; ΔT — წვის შედეგად ტემპერატურის მატება, K.

ეს ფორმულა აჩვენებს, რომ თბოგამოყოფის შედეგად წარმოქმნილი ტემპერატურის გრადიენტი პირდაპირ იწვევს წნევის მატებას, რომელიც აამოძრავებს აიროვან გარემოს მასში წნევის გრადიენტის აღძვრის გამო.

უფრო ზუსტი წარმოდგენა წნევის ზემოქმედებაზე მიიღება, თუ წნევას გაფართოებული ჰაერის ტივტივადობით გამოწვეულ ინდუცირებულ სიჩქარედ განვიხილავთ, რაც აისახება დინამიკური წნევის მეშვეობით

$$\Delta P = ½ \cdot \rho \cdot v^2 \rightarrow v = \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho} \quad (2)$$

სადაც ρ არის ჰაერის ნარევის სიმკვრივე (დამოკიდებული ტემპერატურასა და შედგენილობაზე), კგ/მ^3; v — საბოლოო სიჩქარე. ტივტივადობით გამოწვეული მოძრაობა მნიშვნელოვნად იზრდება დიდი ხანძრების დროს (როცა თბოგამოყოფა > 30 მგვტ) და ხშირად აჭარბებს ვენტილატორების მიერ წარმოქმნილ მექანიკურ ნაკადს. შესაბამისად, ხანძარი ქმნის წნევით და ნაკადურ ველს, რომელიც აძლიერებს, ან ასუსტებს სავენტილაციო სისტემის ეფექტიანობას იმისდა მიხედვით თუ როგორია სავენტილაციო ნაკადი (აღმავალი თუ დაღმავალი) და გვირაბის დახრილობა.

ძალიან მნიშვნელოვანი ფაქტორია გვირაბის დახრილობა. თუ გვირაბი დახრილია, გრავიტაციული კომპონენტი მოქმედებს ცხელი აირების ნაკადის მიმართულებით და აძლიერებს ამომგდებ ძალას (ტივტივადობის ეფექტს). ეს ზემოქმედება თბოგამოყოფის, გვირაბის გეომეტრიისა და გრავიტაციის ერთობლივი შედეგია და განსაზღვრავს ნაკადის ხასიათს. დახრილობა შესაძლოა მნიშვნელოვნად ცვლიდეს კვამლისა და ცხელი აირის მოძრაობის მიმართულებასა და ინტენსიურობას, მაშინაც კი, როცა სავენტილაციო სისტემა თეორიულად საპირისპირო მიმართულებით უნდა მოქმედებდეს.

სავალდებულოა აღვნიშნოთ, რომ მექანიკური სავენტილაციო სისტემები აღძრავენ ნაკადს ელექტროძრავის მეშვეობით, მაგრამ მათი ძალა შეზღუდულია — ვენტილატორები მოქმედებენ გარკვეული ეფექტიანობით, ხოლო აირის სიმკვრივე გავლენას ახდენს წნევისა და სიჩქარის გენერირების შესაძლებლობაზე. როცა ხანძრის მიერ წარმოქმნილი დინამიკური წნევა აღემატება სავენტილაციო ვენტილატორების წნევას, სისტემა ვეღარ ასრულებს ნაკადის მართვის ფუნქციას.

ამიტომ მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ სავენტილაციო სისტემა ასეთ შემთხვევებში აღარ არის „დამოუკიდებელი“ და „მთავარი“ ფაქტორი, არამედ წარმოადგენს წნევის სხვადასხვა წყაროს ურთიერთქმედების ნაწილს: სავენტილაციო სისტემა აძლევს ენერგიას (დადებითი წვლილი), ხანძარი ან ამატებს, ან აკლებს (მიმართულების მიხედვით), ხოლო გვირაბის დახრილობა მთლიანად ცვლის სისტემას. ეს მიდგომა იძლევა სავენტილაციო სისტემის თანამედროვე გაგებას, სადაც არა მხოლოდ კრიტიკული სიჩქარე, არამედ ნაკადის საერთო დინამიკური ბალანსია მნიშვნელოვანი.

ჯამში, თბოგამოყოფა არის ძირითადი საწყისი პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს არა მხოლოდ გვირაბის სითბურ დატვირთვას, არამედ ნაკადურ მექანიკას, წნევით განსხვავებებს და სავენტილაციო სისტემის ეფექტიანობას. პრაქტიკული პროექტირებისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ, როგორ იმოქმედებს ხანძრის დინამიკური წნევა სავენტილაციო სისტემასთან ურთიერთქმედებაში და მისცემს თუ არა სისტემა უსაფრთხო ევაკუაციის საშუალებას.

3. სავენტილაციო სისტემის კოლაფსი

სამეცნიერო მიმოქცევაში შემოტანილი გვაქვს ძლიერი ხანძრების კვლევის ამოსავალი პრინციპი, რაც ისაა, რომ ხანძრის პირობებში, გარკვეული პერიოდის შემდეგ, ვენტილატორების მუშაობა სავენტილაციო ნაკადზე გავლენას ვეღარ ახდენს იმისდა მიუხედავად, თუ რა მიმართულებით წავა მაღალი ტემპერატურის გავლენა: ეს იქნება ხანძრით გამოწვეული დინამიკური წნევის გაზრდა, ჰაერის სიმკვრივის შემცირება, თუ ორივე

ერთად. მაშასადამე, კოლაფსი არის ძლიერი და სწრაფად განვითარებადი ხანძრის შედეგად გვირაბის სავენტილაციო სისტემის დეპრესიის თანაზომადი დომინანტური დინამიკური წნევის აღძვრისა და გავრცელების პროცესი [18-21, 24-33]. აღსანიშნავია, რომ ხანძრის მიერ აღძრული დინამიკური წნევა ვენტილატორის მიერ განვითარებულ წნევასთან ალგებრულად იკრიბება.

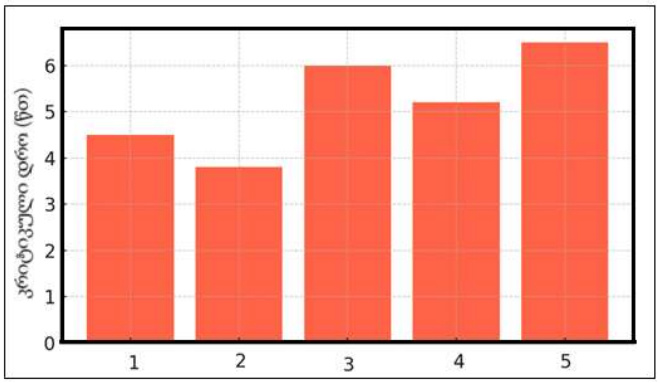
კოლაფსთან ძალიან ახლოსაა FDS მოდელირებით მიღებული შედეგი, რომელიც მოცემულია ნაშრომში [22], სადაც კერძოდ აღნიშნულია, რომ ხანძარს აქვს ტენდენცია შეეწინააღმდეგოს სავენტილაციო ჭავლის გავრცელებას, რაც უფრო დიდია ხანძარი, მით უფრო მეტია წინაღობა. ცხადად არის ნაჩვენები, რომ სულ უფრო მეტი ჭავლური ვენტილატორი არის საჭირო წვის პროდუქტების გვირაბიდან ასარინებლად ხანძრის ზრდის კვალობაზე. ნაშრომში [23] აღნიშნულია, რომ გვირაბში ხანძრის კერაზე აეროდინამიკური წინაღობა 6-ჯერ მაინც იზრდება.

4. დამაზიანებელი ფაქტორების ზღვრული დონეები (ზღურბლები)

ხანძრის სცენარებში სხვადასხვა დამაზიანებელი ფაქტორები განსხვავებულად ქმნიან სახიფათო სასიცოცხლო პირობებს მიწისქვეშ. ზოგიერთი დამაზიანებელი ფაქტორი, მაგალითად კვამლიანობა, შედარებით სწრაფად ვითარდება და აღწევს კრიტიკულ ზღურბლს. ევაკუაციის სცენარები უნდა ითვალისწინებდნენ ყველაზე სწრაფად მიღწევად დამაზიანებელი ფაქტორის ზღურბლს. ძირითად დამაზიანებელ ფაქტორებად განიხილება ტემპერატურა, ხილვადობის დეფიციტი კვამლის გამო, ტოქსიკური აირები, წნევის დინამიკური ზრდა, კუმულაციური ტოქსოდოზა. კუმულაციური ტოქსოდოზა განიმარტება როგორც დამაზიანებელი ფაქტორის განმეორებითი ზემოქმედება ადამიანზე. კრიტიკული ზღურბლების რიცხვითი სიდიდეები და მათი დადგომის დრო მოცემულია ცხრილში 1 და ფიგ. 1-ზე.

ცხრილი 1. კრიტიკული ზღურბლები და დრო დამაზიანებელი ფაქტორების მიხედვით

დამაზიანებელი ფაქტორი	კრიტიკული ზღურბლი	კრიტიკული დრო, წთ
ტემპერატურა	$> 60°C$	4.5
ხილვადობა	< 10 მ	3.8
CO-ს კონცენტრაცია	> 500 ppm	6.0
დინამიკური წნევა	> 150 პა	5.2
კუმულაციური ტოქსოდოზა (კტ)	კტ > 1	6.5



ფიგ. 1. კრიტიკული ზღურბლები და თითოეული ფაქტორის დადგომის დროის შუალედი: 1 - ტემპერატურა; 2 - ხილვადობა; 3 – CO კონცენტრაცია; 4 - დინამიკური წნევა; 5 - კუმულაციური ტოქსოდოზა

როგორც წარმოდგენილი მასალიდან ჩანს, სახანძრო უსაფრთხოება საავტომობილო გვირაბში დაფუძნებულია მრავალფაქტორიან ანალიზზე. აღსანიშნავია, რომ ყველა დამაზიანებელ ფაქტორს აქვს საკუთარი კრიტიკული ზღურბლი და ევაკუაციის სტრატეგია გაანგარიშებული უნდა იყოს იმ ფაქტორზე, რომელსაც აქვს გამოვლინების ყველაზე ნაკლები დროის შუალედი. ამგვარად, აქ მოცემული მასალის თანახმად, ევაკუაცია უნდა დასრულდეს 3,8 წთ-ის განმავლობაში, რაც შესაბამისობაშია NFPA 130 /502 და ISO 13571-ის რეკომენდაციებთან.

ნიშანდობლივია, რომ ფიგ. 1-ზე მოცემულ მასალაში მითითებული არ არის ხანძრის სიმძლავრე და ნაჩვენებია მხოლოდ კრიტიკული ზღურბლების დადგომის დრო. ამით ნაჩვენებია, რომ ხანძრის საბოლოო სიდიდე ამ შემთხვევაში საინტერესო არაა, რადგან ნებისმიერი სიმძლავრის ხანძარი გადის საწყის ფაზას, როცა თანდათანობით დგება კრიტიკული ზღურბლები.

5. CFD მოდელირება გვირაბის ხანძრის სცენარებისთვის

გვირაბებში ხანძრის დროს წარმოქმნილი თერმული და ტოქსიკური გარემოს კონტროლი წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს საინჟინრო ამოცანას. მექანიკური ვენტილაცია გამოიყენება თერმული ენერგიის, კვამლისა და ტოქსიკური აირების გვირაბიდან ასარინებლად, რაც კრიტიკულია ადამიანების ევაკუაციისა და უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. ხანძრის სიმძლავრის (HRR), ვენტილაციის სტრატეგიისა და გვირაბის გეომეტრიის ზეგავლენის შესაფასებლად გამოიყენება დენად გარემოთა გამოთვლითი დინამიკა, ანუ რიცხვითი CFD-მოდელირება. იგი ეფუძნება ნავიე-სტოქსის განტოლებებს და ენერგიის მუდმივობის პრინციპს, რაც იძლევა საშუალებას, პროგნოზირებულ იქნას ტემპერატურის, სიჩქარისა და წნევის ველები.

ქვემოთ მოცემულ მოდელირების შედეგებში განიხილება სამი სავენტილაციო სცენარი, რომლებიც ეფუძნება რეალისტური გვირაბის პარამეტრებს: სიგრძე – 800 მ, დახრილობა – 3%, ვენტილატორების წნევა – 2000 პა, და ხანძრის სიმძლავრე – 30 მგვტ. გვირაბში შერჩეულია 8 ცალი განივი კვეთი ერთმანეთისაგან 100 მ დაშორებით. აღნიშნულ კვეთებში სცენარების მიხედვით დამონტაჟებულია 1, 2 ან 4 ცალი ჭავლური ვენტილატორი. ყველა მათგანი

მოქმედებს ინდივიდუალურად და ნაკადს მიმართავს დაღმავალი მიმართულებით. ამგვარად, სცენარების მიხედვით გვირაბში ერთდროულად მოქმედებს 8, 16 და 32 ცალი ჭავლური ვენტილატორი.

ტემპერატურის საზომი სენსორები განლაგებულია გვირაბის ჭერს ქვემოთ 0,1 მ მანძილზე და აგრეთვე 1.7 მ სიმაღლეზე გვირაბის იატაკიდან, რაც ადამიანის სუნთქვის დონეს შეესაბამება. შეფასებას ექვემდებარება შემდეგი ზღვრული ფაქტორები:

- ტემპერატურა > 60°C (დაზიანების ზღვარი ადამიანისთვის);
- თერმული ნაკადი > 2.5 კვტ/მ² (სტრუქტურული მასალების დაზიანების ზღვარი);
- CO კონცენტრაცია > 500 ppm;
- ხილვადობა < 10 მ.

ხანძრის სიმძლავრის გაზრდასთან ერთად იზრდება ჰაერის სიმკვრივის შემცირებით აღძრული თერმული ნაკადი, რომელიც ეწინააღმდეგება მექანიკურ ვენტილაციას. ეს გამოხატულია ფრუდის რიცხვის კლებით, რაც მიუთითებს მექანიკური ნაკადის შესუსტებაზე თერმულ ნაკადთან შედარებით. როდესაც $Fr < 1$, თბური ნაკადი დომინანტურია. მაღალი HRR (>20 MW) მნიშვნელოვნად ამცირებს დაყენებული ვენტილატორების ეფექტურობას.

აღსანიშნავია გამოწვევა ხანძრის დროს ვენტილაციის მუშაობის ზუსტი შეფასების შესახებ. არასწორი შეფასებები არ შემოიფარგლება მხოლოდ არაკვალიფიციური პირებით - ისინი შეიძლება ასევე მოხდეს მაღალკვალიფიციურ ექსპერტებს შორის. საილუსტრაციო მაგალითია შვეიცარიაში სენ-გოტარდის გვირაბში მომხდარი ხანძარი, რომელიც გაეროს მიერ დანიშნულმა ექსპერტთა ჯგუფმა გააანალიზა [3, 7].

ანგარიშში აშკარა წინააღმდეგობაა: მე-8 პუნქტში აღნიშნულია, რომ „გვირაბის ყველა მოწყობილობა, როგორებიცაა საგანგებო განათება, ვენტილაცია და მოძრაობის მართვა, ფუნქციონირებდა გეგმის მიხედვით და ეფექტურად“.

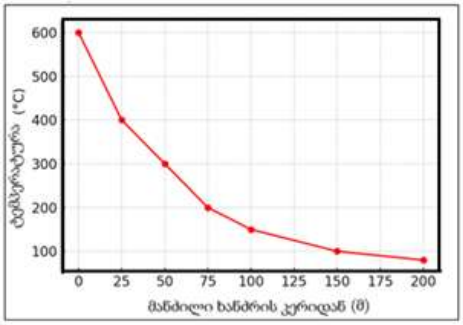
თუმცა, მე-9 პუნქტში აღნიშნულია, რომ „ყველა 11 მსხვერპლი გარდაიცვალა ტოქსიკური კვამლის შესუნთქვის შედეგად“, რომელთაგან ბევრი იპოვეს საკუთარი მანქანების საჭესთან, ხანძრიდან 1-2 კილომეტრის დაშორებით.

ეს მკვეთრი შეუსაბამობა კრიტიკულ კითხვებს ბადებს: თუ ვენტილაციის სისტემა ნამდვილად ეფექტური იყო, როგორ შეეძლო კვამლს ხანძრის წყაროდან ასე შორს მყოფი პირებისთვის ზიანის მიყენება. ეს იმაზე მიუთითებს, რომ ექსპერტების შეფასებებიც კი შეიძლება უგულებელყოფდნენ კვამლის მოძრაობას, გვირაბის გეომეტრიასა და ვენტილაციის სტრატეგიას შორის ნიუანსირებულ ურთიერთქმედებას - რაც ხაზს უსვამს რეალისტურთან მიახლოებული მოდელირების, ვალიდაციისა და გადაწყვეტილების მიღების საჭიროობას. ცხრილში 2 წარმოდგენილია დამაზიანებელი ფაქტორების: ტემპერატურის, ნახშირჟანგის კონცენტრაციისა და ხილვადობის ცვალებადობა გვირაბის სიგრძეზე, როცა მის ცენტრალურ ნაწილში, გვირაბის ღერძულა ხაზთან განვითარებულია 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძარი.

ცხრილი 2. დამაზიანებელი ფაქტორების ცვალებადობა გვირაბის სიგრძის მიხედვით 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრისათვის

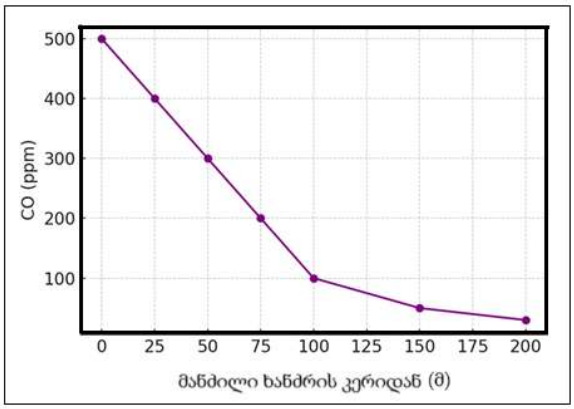
დაშორება ხანძრიდან, მ	ტემპერატურა, °C	CO კონცენტრაცია, ppm	ხილვადობა, მ
0	600	500	5
25	400	400	6
50	300	300	8
75	200	200	12
100	150	100	20
150	100	50	30
200	80	30	40

პირველი და მეორე ცხრილების შედარებიდან ჩანს, რომ ხანძრის კერიდან 200 მ მანძილზე ჰაერის ტემპერატურა აღემატება ადამიანის სასიცოცხლო ზღვარს; 25 მ მანძილიდან CO-ს კონცენტრაცია ადამიანის სასიცოცხლო ფარგლებშია, ხოლო ხილვადობა კრიტიკულია ხანძრის კერიდან 50-60 მ მანძილზე.

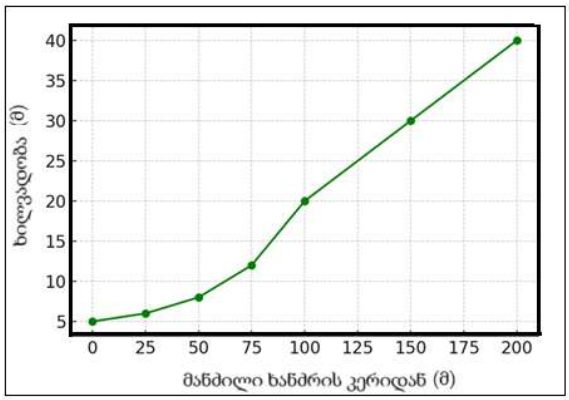


ფიგ. 2. ჰაერის ტემპერატურის ცვალებადობა გვირაბის სიგრძის მიხედვით 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის დროს

დამაზიანებელი ფაქტორების ცვალებადობის გრაფიკები (ფიგ. 1-3) შედგენილია CFD მოდელირების შედეგების იდეალიზებული იმიტაციის საფუძველზე 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრისათვის და აჩვენებს, თუ როგორ ვრცელდება დამაზიანებელი ფაქტორები საწყისი ინერციული წმინდა ნაკადის პირობებში, უკუდინების განვითარებამდე.



ფიგ. 3. ნახშირბადის მონოოქსიდიც ცვალებადობა გვირაბის სიგრძის მიხედვით 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის დროს

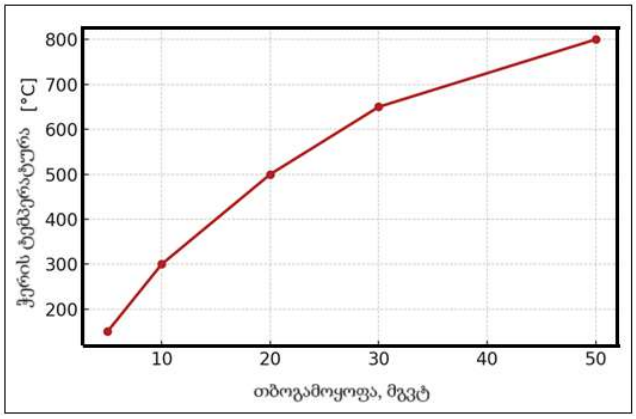


ფიგ. 4. ხილვადობის ცვალებადობა გვირაბის სიგრძის მიხედვით 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის დროს

სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრის პირობებში გვირაბის ჭერში ტემპერატურის ცვალებადობა და ბეტონის სამაგრის მინიმალური სისქე, რომელიც გაუმკლავდება აღნიშნულ ტემპერატურას დროის გარკვეული პერიოდით შეტანილია ცხრილში 3. ცხრილი შედგენილია რიცხვითი მოდელირების შედეგების მიხედვით. ტემპერატურის ცვალებადობა გვირაბის ჭერში წარმოდგენილია ფიგ. 5-ზე.

ცხრილი 3. ტემპერატურის ცვალებადობა გვირაბის ჭერში და კედლის ცეცხლმედეგობა

თბოგამოყოფა, მგვტ	ჭერის ტემპერატურა,°C	ბეტონის სისქე, მმ	ცეცხლმედეგობა, წთ
5	150	25	30
10	300	35	60
20	500	50	90
30	600	60	120
50	800	70	120



ფიგ. 5. ტემპერატურის ცვალებადობა გვირაბის ჭერში ხანძრის სიმძლავრის მიხედვით

6. ფრუდის რიცხვი (Fr)

ფრუდის რიცხვი გამოიყენება ინჟინერიასა და ფიზიკაში ინერციული და გრავიტაციული ძალების შესაფასებლად და ერთმანეთთან შესადარებლად. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ხდება ფრუდის რიცხვი ხანძრების მოდელირების დროს და გვირაბებში ვენტილაციის ეფექტიანობის დასადგენად. ფრუდის რიცხვი გვიჩვენებს, აქვს თუ არა ვენტილაციის ნაკადს საკმარისი ძალა, რომ დაძლიოს ცხელი აირების აღმავალი მოძრაობა.

ფრუდის რიცხვი ზოგადად ფორმულირებულია სავენტილაციო ნაკადის სიმკვრივის ან ტემპერატურის მიხედვით

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gH\Delta\rho/\rho_0}} \quad \text{ან} \quad Fr = \frac{u}{\sqrt{gH\Delta T/T_0}} \tag{3}$$

სადაც u არის სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარე, მ/წმ; g - დედამიწის მიზიდულობის აჩქარება, 9.81მ/წმ²; H - გვირაბის სიმაღლე, 5.0 მ; $\Delta\rho$ - გარემოსა და ცხელი აირების სიმკვრივეთა სხვაობა, კგ/მ³; ρ_0 - გარემოს (გარე) ჰაერის სიმკვრივე, 1.2 კგ/მ³; ΔT - გარემოსა და ცხელი აირების ტემპერატურათა სხვაობა, K; T - გარემოს (გარე) ჰაერის ტემპერატურა, K.

აღნიშნული ფორმულები გამოიყენება ვენტილაციის სიძლიერის შესაფასებლად ცხელი აირების საპირისპირო მოძრაობის შემთხვევაში დაღმავალი სავენტილაციო ნაკადების პირობებში. თუ $Fr > 1$, ვენტილაცია ძლიერია და ჰაერის ნაკადის უკუდინება ცხელი გაზების აღმავალი მოძრაობის გამო არ აღიძვრება. როცა $Fr < 1$, მაშინ ვენტილაცია სუსტია ხანძრის მიერ აღძრულ წევასთან შედარებით და ადგილი აქვს კვამლისა და წვის აირების უკუდინებას. შესაძლებელია ფორმულებს (3) მივცეთ ხელით ანგარიშისათვის უფრო მოსახერხებელი სახე

$$Fr = \frac{u\sqrt{\rho_0}}{\sqrt{gH\Delta\rho}} \quad \text{ან} \quad Fr = \frac{u\sqrt{T_0}}{\sqrt{gH\Delta T}} \tag{4}$$

ფრუდის რიცხვის მოცემული ფორმულები გამოიყენება თითქმის ყველა სახის CFD მოდელირებაში, ხანძრის ანალიზისა და კრიტიკული სიჩქარის განსასაზღვრად. ფრუდის რიცხვის გამოყენება გვირაბებში ხანძრის შემთხვევაში შესაძლებელია მაშინ, როცა: 1. ფრუდის რიცხვი არის მუდმივი სიდიდე, ე.წ. კრიტიკული მნიშვნელობა $Fr_c = 4.5$; 2. ხანძრის კერაზე სუფთა და ნამწვი აირების თანაფარდობა არის 50% - 50%; 3. გვირაბის სიგანისა და სიმაღლის თანაფარდობა არის 1.6. ჩვენ მივუთითეთ, რომ ეს პირობები რეალურ პირობებში

პრაქტიკულად მიუღწეველია. კერძოდ: 1. ფრუდის რიცხვი იცვლება ტემპერატურისა და ჰაერის სიმკვრივის ცვალებადობის შესაბამისად და არ არის მუდმივი სიდიდე; 2. ხანძარი არ არის სტაციონარული ან ერთგვაროვნად განაწილებული; ის უმეტესად თანდათანობით ვითარდება, ქმნის სითბოს, კვამლისა და წვის ტოქსიკური პროდუქტების ცვალებად ზონებს და ხშირ შემთხვევაში არ არის დაცული მითითებული თანაფარდობა 50% - 50%; 3. ბევრი თანამედროვე მრავალზოლიანი გვირაბი ხასიათდება დიდი სიგანით და რთული გეომეტრიით დაბალი ჭერის პირობებში და უმეტესად არ არის დაცული მითითებული თანაფარდობა 1.6. გარდა ამისა, გვირაბის დახრილობას შემოაქვს გრავიტაციულ ეფექტები, რომლებიც მნიშვნელოვნად ცვლის ამომგდები ნაკადის დინამიკას, რასაც სტანდარტული ფრუდის რიცხვი ვერ ღებულობს მხედველობაში. როგორც კი თბოგამოყოფა 30 მეგავატს გადააჭარბებს, თერმული ნაკადი ხშირად დომინირებს მექანიკურ ვენტილაციაზე, ცვლის ნაკადის მიმართულებას მიუხედავად იმისა, აქვს თუ არა ნაკადს კრიტიკული სიჩქარე.

ზოგჯერ გამოიყენება ფრუდის რიცხვის ინვერსიული სახით ჩაწერილი ფორმულა

$$Fr' = \frac{\Delta\rho g H}{\rho_0 u_c^2} \tag{5}$$

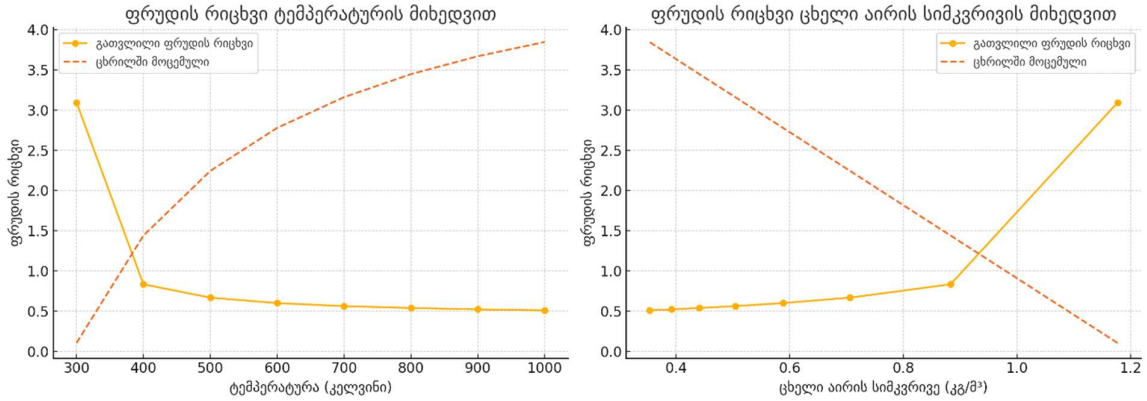
(3) ან (4) და (5) ფორმულებით განსაზღვრულ სიდიდეებს შორის დაცულია ფარდობა

$$Fr' = {}^{1}/_{Fr^2} \quad \text{ან} \quad Fr = {}^{1}/_{\sqrt{Fr'}} \tag{6}$$

ფრუდის რიცხვის სტანდარტული და ინვერსიული რიცხვითი სიდიდეები შეტანილია ცხრილში 4 და მათი შედარებისა და ანალიზის მიზნით აგებულია გრაფიკები, რომლებიც მოცემულია ფიგ. 6-ზე.

ცხრილი 4. ფრუდის რიცხვის სტანდარტული და ინვერსიული სიდიდეები, ρ_0 = 1.2 კგ/მ³

ტემპერატურა (K)	აირის სიმკვრივე ρ (კგ/მ³)	Δρ (კგ/მ³)	სტანდარტული Fr	ინვერსიული Fr′
300	1.177	0.023	3.094	0.104
400	0.883	0.317	0.833	1.440
500	0.706	0.494	0.668	2.244
600	0.588	0.612	0.600	2.779
700	0.504	0.696	0.562	3.161
800	0.441	0.759	0.539	3.447
900	0.392	0.808	0.522	3.670
1000	0.353	0.847	0.510	3.847



ფიგ. 6 . ფრუდის რიცხვის ცვალებადობა წვის პროდუქტების ტემპერატურისა და სიმკვრივის მიხედვით

ცხრილი 4 და ფიგ. 5-ის მონაცემებით ცხადი ხდება, რომ ფრუდის რიცხვი ხანძრის პირობებში არ არის მუდმივი სიდიდე. ამგვარად, ტემპერატურისა და სიმკვრივის გრადიენტების განვითარებასთან ერთად ხანძრის სცენარებში იცვლება ფრუდის რიცხვიც. აღნიშნული არასტაციონარულობა (დროზე დამოკიდებულება) ართულებს მის გამოყენებას ძირითად კრიტერიუმად საგანგებო ვენტილაციის პროექტებში.

აქედან გამომდინარე, წინსწრებით აღვნიშნოთ, რომ საჭიროა მრავალფაქტორიანი დინამიკური მოდელი. აღნიშნულმა მოდელმა უნდა გაითვალისწინოს: 1. თბოგამოყოფისა და ხანძრის გავრცელების დროში ცვალებადი ბუნება; 2. დაღმავალი მექანიკური ვენტილაციის მუშაობის გაუარესება ხანძრის განვითარების კვალობაზე; 3. გვირაბის გეომეტრია და დახრილობა; 4. თერმული და მექანიკური ნაკადების ალგებრულად შეკრებადობა; 5. გაფართოებული CFD მოდელირებების შედეგები, რომლებიც მოიცავს მითითებულ დინამიკას შედეგების ექსპერიმენტულ ვალიდაციასთან ერთად. აღნიშნული კომპონენტების მხედველობაში მიღებით შესაძლებელი გახდება საგზაო გვირაბის უფრო უსაფრთხო დაპროექტება. მითითებული მოდელირება ასევე უნდა იყოს სინქრონიზებული ევაკუაციის მოდელირებასთან, რათა უზრუნველყოფილი იყოს სიცოცხლის გადარჩენა ზემოთ მითითებული უსაფრთხოების კრიტიკული ზღურბლების დადგომის დროის შუალედის ფარგლებში.

7. ვენტილაციის სისტემის წვლილი

ვენტილაციის სისტემები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ გვირაბში ჰაერის ნაკადის კონტროლში, არა მხოლოდ სუფთა ჰაერის მიწოდებისთვის, არამედ განსაკუთრებით ისეთ კრიზისულ სიტუაციებში, როგორიცაა ხანძარი, ნაკადის მიმართულების კონტროლისა და სიჩქარის უზრუნველყოფისათვის. ვენტილაციის მიერ სისტემაზე მინიჭებული მთლიანი წნევა (P) შეიძლება დაიყოს და იყოფა კიდევაც ორ ძირითად კომპონენტად: სტატიკური წნევა (P_s) და დინამიკური წნევა (P_d). ვენტილატორის სტატიკური წნევა იხარჯება სხვადასხვაგვარი აეროდინამიკური წინაღობის გადალახვაზე, ხოლო დინამიკური წნევა სავენტილაციო ჰაერს ანიჭებს სიჩქარეს.

დინამიკური წნევა განისაზღვრება ფორმულით

$$P_d = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (7)$$

ამ ფორმულაში შემავალი ყველა სიდიდე ზემოთ განიმარტა. ცხადია, რომ ფორმულების (2) და (7)-ის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ, რომ $\Delta P = P_d$.

ამგვარად, ვენტილატორის საერთო (მთლიანი) წნევა არის სტატიკურ და დინამიკურ წნევათა ჯამი. საერთო წნევა შესაძლებელია განვიხილოთ როგორც საერთო ენერგია, რომელიც ვენტილატორმა უნდა უზრუნველყოს ელექტრული ქსელიდან წაღებული ენერგიის ხარჯზე. აღნიშნულიდან გამომდინარე, შესაძლებელია წარმოვადგინოთ საერთო წნევის საანგარიშო ფორმულა

$$P = P_s + P_d \quad (8)$$

გვირაბის სისტემებში ვენტილატორები არა მხოლოდ „ჰაერის მოცულობების გადაადგილების“ ფუნქციას ასრულებენ, არამედ მათი მთავარი წვლილია კონტროლირებადი მიმართულების ნაკადის შექმნა, რომელსაც შეუძლია ხანძრის შედეგად გამოწვეული ამომგდები მოძრაობის წინააღმდეგ ბრძოლა (კვამლის გავრცელების თავიდან ასაცილებლად ევაკუაციის მარშრუტის მიმართულებით) ან, პირიქით, ევაკუაციის მხარდაჭერა, კვამლის მიმართვით სპეციალური ღიობებისაკენ. აღნიშნული კონტროლირებადი ნაკადი საჭიროა უსაფრთხოების სტრატეგიებისა და ევაკუაციის მარშრუტების დაგეგმვისთვის.

მნიშვნელოვანია გავითვალისწინოთ, რომ ხანძარი მაქსიმალურ სიმძლავრეს მაშინვე არ ანვითარებს, მაგალითად, საბოლოოდ 30 მეგავატს მიღწეული ხანძარი თანდათან გაიზრდება ამ მნიშვნელობამდე თბოგამოყოფის ზრდის მრუდის მიხედვით, რაც დამოკიდებულია გამოყენებული საწვავის სახეობაზე, გვირაბის გეომეტრიასა და გარემო პირობებზე. ამრიგად, ხანძრის ადრეულ ეტაპებზე ვენტილაციას შეუძლია ეფექტურად იმუშაოს ნაკადთან, რადგან ხანძრის დინამიკური წნევა კვლავ დაბალია და მექანიკური წნევა დომინირებს. მხოლოდ გარკვეული ზღვრის მიღწევის შემდეგ იცვლება თანაფარდობა და ვენტილაცია კონკურენციას უწევს სულ უფრო ძლიერ ზეწოლას და გაფართოებული აირების ამომგდებ ნაკადებს. ამიტომ მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ სტატიკური საბოლოო მდგომარეობის ანალიზი, არამედ ვენტილაციის ეფექტების დროითი მსვლელობა დინამიკურად განვითარებადი ხანძრის პირობებში.

ვენტილატორის ეფექტურობას კიდევ რამდენიმე ფაქტორი ზღუდავს. მექანიკურად, ვენტილატორები შექმნილია მაქსიმალური მუშაობისთვის, რომლის დროსაც მათ შეუძლიათ გარკვეული რაოდენობის ჰაერის ნაკადის მიწოდება და წნევის ვარდნის დაძლევა. ამ ზღვრის მიღწევის შემდეგ, შეუძლებელია ნაკადის სიჩქარის შემდგომი გაზრდა სისტემის გადატვირთვის გარეშე. მეორე მთავარი შეზღუდვა არის თერმული წინააღმდეგობა, ვენტილატორები ხანძრის დროს ექსტრემალურ ტემპერატურაზე არიან დამოკიდებული და ტემპერატურის მატებასთან ერთად, მათი მასალები დეგრადირდება და საკისრები, ელექტრონიკა და სხვა კრიტიკული კომპონენტები მწყობრიდან გამოდის. თუ ვენტილაციის ზონაში ტემპერატურა აღემატება საპროექტო ლიმიტებს (როგორც წესი, დაახლოებით 250-400°C ტიპის მიხედვით), მათი ფუნქციონირების ვადა მკვეთრად მცირდება, რაც იმას ნიშნავს, რომ ვენტილაცია ეფექტურია მხოლოდ შეზღუდული დროის განმავლობაში.

კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ასპექტია ჰაერის სიმკვრივის ცვალებადობა გვირაბის გასწვრივ: ხანძართან უფრო ახლოს, ჰაერი მნიშვნელოვნად თბილი და მსუბუქია, ვიდრე გარემოდან შეწოვილი ჰაერი. ამიტომ, ვენტილატორები მუშაობენ სხვადასხვა სიმკვრივის და შესაბამისად, განსხვავებული დინამიკური წინააღმდეგობის მქონე გარემოში, რაც გავლენას ახდენს მათ ფაქტობრივ წვლილზე წნევის საერთო ბალანსში. გარდა ამისა, აღსანიშნავია, რომ გვირაბის ვენტილაცია, როგორც წესი, არ ხორციელდება ერთი მოწყობილობით - ეს არის ვენტილატორების ერთობლიობა, რომლებიც განლაგებულია თანმიმდევრულად ან განივი სეგმენტებით და ერთად მუშაობენ ნაკადზე ზეგავლენის განსახორციელებლად. თითოეულ ამ ვენტილატორს აქვს განსხვავებული მყისიერი წვლილი, რაც დამოკიდებულია მის პოზიციაზე, გარემოს ტემპერატურაზე, გვირაბის კონფიგურაციასა და ნაკადის მიმართულებაზე.

ვენტილაციის ეფექტურობის განსაკუთრებული გაძლიერება ასევე დაკავშირებულია გვირაბის განივი კვეთის ფართობთან. ეს პრინციპი ზოგადად მოქმედებს. ვენტილატორები კონსტრუქციით მიმართულები არიან - მათი ეფექტი კონცენტრირებულია გვირაბის ღერძის მიმართულებით, ხოლო ხანძრის შედეგად წარმოქმნილი ამწევი ძალებს არ ახასიათებთ გავრცელების უპირატესი მიმართულება და მათ უნდა გადალახონ გვირაბის მთელი განივი კვეთის წინააღმდეგობა. მარტივად რომ ვთქვათ, მიუხედავად იმისა, რომ ვენტილატორი ნაკადის ენერგიას მიზანმიმართულად და მიმართულებით „აგზავნის“ კონკრეტული მიმართულებით, ამწევი ძალა ნაწილდება მთელ განივი ზედაპირზე და ხახუნის, გრიგალისა და დისიპაციის გამო უფრო მეტ დანაკარგებს აქვს ადგილი. ეს ეფექტი ვრცელდება არა მხოლოდ გვირაბებზე, არამედ ზოგადად ნაკადის სისტემებზე, სადაც მექანიკურად ამოძრავებული ნაკადი უფრო მაღალ ეფექტურობას ავლენს, ვიდრე დიფუზიური ან ამომგდები ნაკადი, რადგან ნაკადის მექანიკურ კომპონენტს შეუძლია უკეთ გადალახოს ადგილობრივი დანაკარგები და მოახდინოს ენერგიის ეფექტური მიმართულებით კონცენტრირება. ამრიგად, ვენტილაციის სისტემების პროექტმა უნდა გაითვალისწინოს არა მხოლოდ ვენტილატორის სიმძლავრე, არამედ გვირაბის გეომეტრიაც, რადგან განივი კვეთის პროფილი პირდაპირ გავლენას ახდენს იმაზე, თუ როგორ გადაეცემა მიწოდებული ენერგია კონტროლირებად ნაკადის ველს და რამდენად ეფექტურად შეუძლია მას ხანძრით გამოწვეული ძალებთან წინააღმდეგობა.

შეჯამებისთვის, ვენტილაცია ხელს უწყობს ნაკადის საერთო კონტროლს მიმართულებისა და წნევის ეფექტების მეშვეობით, რაც შეიძლება სინერგიული იყოს ხანძრის მიერ წარმოქმნილ ნაკადთან ან, პირიქით, იმოქმედოს როგორც ხანძარსაწინააღმდეგო ბარიერმა. ეფექტური სისტემის შესაქმნელად აუცილებელია არა მხოლოდ მაქსიმალური მნიშვნელობების, არამედ დროითი დინამიკის ზუსტი ანალიზი. ამ შემთხვევაში ჩვენ მიგვაჩნია, რომ მართებულია ჩვენს მიერ შემოტანილი დებულება იმის შესახებ, რომ თერმული და მექანიკური ნაკადები ალგებრულად იკრიბებიან გვირაბების სავენტილაციო სისტემებში.

8. სახანძრო უსაფრთხოების ინტეგრირებული მოდელირება

8.1. პრობლემის არსი

საავტომობილო გვირაბებში ხანძრის მოდელირებისას გამოიყენება CFD მეთოდები, რათა მაღალი სიზუსტით მივიღოთ [34-44]:

- ტემპერატურული ველის ცვალებადობა;
- კვამლის გავრცელება;
- ნახშირჟანგისა და სხვა ტოქსიკური გაზების კონცენტრაციის ცვალებადობა;
- ხილვადობის ცვალებადობა;
- ჰაერის სიჩქარე და მიმართულება.

CFD მოდელირება საჭიროებს მცირე დროით ბიჯს (მაგალითად, 0.1 – 1.0 წამი), რათა აღწეროს სწრაფად ცვლადი პროცესები, განსაკუთრებით ხანძრის განვითარების პირველ წუთებში მხედველობაშა აგრეთვე მისაღები ხანძრის გავრცელების არაერთგვაროვანი და დინამიკური ბუნება. სტატიკური, ერთწერტილიანი ხანძრის წყაროს ნაცვლად, ფაქტობრივი ხანძრები ხშირად მოიცავს მრავალჯერადი აალების წერტილებს, რომლებიც გამოწვეულია სითბური გამოსხივებით ან ალის ახლომდებარე სატრანსპორტო საშუალებებზე ან ინფრასტრუქტურაზე გავრცელებით. დაგვიანებული მეორადი აალება, რაც იწვევს ახალი ხანძრის კერების წარმოქმნას სხვადასხვა ადგილას და სხვადასხვა დროს.

ევაკუაციის მოდელები (მაგალითად, Pathfinder, MassMotion, BuildingEXODUS, AnyLogic) ძირითადად იყენებენ უფრო დიდ დროით ბიჯს (5–10 წამი ან მეტი), რადგან ადამიანთა გადაადგილება შედარებით უფრო ნელა მიმდინარეობს, ვიდრე ხანძრის დინამიკა და ტემპერატურული ცვლილებები.

ამგვარად, ხანძრის სცენარებს ესაჭიროება მაღალი სიხშირის დროითი მონაცემები (წამებზე დაკვირვება), ხოლო ევაკუაციას - დაბალი სიხშირის მოდელები (წუთებზე დაკვირვება).

8.2. სამეცნიერო გამოწვევები ინტეგრაციისას

დროით დიაპაზონებს შორის ეს წინააღმდეგობა შესაძლებელია ისე გადაწყდეს, რომ ორივე მოდელის ინტეგრაცია რეალისტური და ინტერპრეტირებადი იყოს. ინტეგრაციისათვის პრინციპში გამოსაყენებელია შემდეგი მიდგომები:

1. ასინქრონული დროითი მასშტაბები – CFD-ში თითოეული წამზე მიმდინარეობს მნიშვნელოვანი პროცესები, ხოლო ევაკუაციისას ადამიანები მოძრაობენ უფრო ხანგრძლივ ინტერვალებზე.

2. ინფორმაციის აგრეგაცია – როგორ უნდა წარმოვადგინოთ სწრაფად ცვალებადი ტემპერატურული ველები ისე, რომ იყოს "საშუალო", "მაქსიმალური" ან "მინიმალური" ერთეულ დროში ადამიანთა ევაკუაციის მოდელებისთვის.

3. შერწყმის მეთოდოლოგია ორი მეთოდით:

- ცალმხრივი ინფორმირება, (CFD-ის შედეგები მიეწოდება ევაკუაციის მოდელს, მაგრამ უკუმოქმედება არ ხდება);

- ორმხრივი ინფორმირება, ევაკუაციის მოდელირების შედეგები ზემოქმედებს CFD-ზე (მაგალითად, გახსნილი კარებების გავლენა, ადამიანთა მოძრაობით გამოწვეული დინებების ცვლალებადობის გავლენა და სხვ.).

4. კრიტიკული პარამეტრების მონაცემთა გადაცემა CFD-დან ევაკუაციის მოდელებისთვის სათანადო მოქმედებების განსახორციელებლად:

- ხილვადობა, გავლენას ახდენს გადაადგილების სიჩქარეზე;
- ტემპერატურა, ზემოქმედებას ახდენს ადამიანის შესაძლებლობაზე გადაადგილდეს (მაგალითად, ≥ 60°C, გადაადგილება შეუძლებელია);
- ტოქსიკური გაზების კონცენტრაცია, მოწამვლის რისკი, დაყოვნებები/გაჩერება.

8.3. ინტეგრაციის პრაქტიკული მაგალითები

მაგალითი 1 – FDS + Pathfinder ინტეგრაცია: ხანძრის სცენარის განვითარება ხდება CFD მოდელით, FDS (Fire Dynamics Simulator). ამ შემთხვევაში ევაკუაციის მოდელი არის Pathfinder.

FDS-ის სერიების მიხედვით ხილვადობისა და CO-ის დროითი მონაცემების გადატანა ხდება Pathfinder-ით განსაზღვრულ მარშრუტზე, ევაკუაციაზე ზემოქმედებს ხილვადობა და ტოქსიკურობა.

დროითი ინტერვალები: FDS იძლევა შედეგებს 0.5 წმ ბიჯით. ევაკუაციის მოდელი Pathfinder იღებს შედეგებს 1-5 წმ ინტერპოლირებული მონაცემების სახით.

ინტეგრაციის შედეგები: FDS-ით მიღებული საშუალო მნიშვნელობების მიწოდება ყოველ 5 წმ ინტერვალში Pathfinder-ისთვის.

მაგალითი 2 – CFD და ევაკუაციის მოდელის კომბინაცია გვირაბში მიმდინარე ხანძრის სცენარზე შემდეგი პირობებით: 1000 მ სიგრძის გვირაბი, 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის წყარო განლაგებულია ცენტრში, საგანგებო ვენტილაციის სისტემის ჩართვა ხდება მე-60 წამზე

ხანძრის მოდელირება CFD მეთოდით. ტემპერატურის ველის 3D მოდელირება, 0.2 წმ ბიჯით, დროის ინტერვალი 0–300 წმ. ევაკუაციის სიჩქარის მოდელირება გამავალი პუნქტების მდებარეობით ხდება 1 წმ ბიჯით. ამგვარად, დროის ბიჯი ევაკუაციის მოდელირებისათვის 5-ჯერ მეტია.

ორივე მოდელირების შერწყმა: ყოველ მარშრუტზე Pathfinder იღებს წუთზე გადაყვანილი ტემპერატურისა და ხილვადობის მაქსიმუმებს. ზღვრული პირობები: თუ ტემპერატურა ≥ 80°C ან ხილვადობა ≤ 5 მ, ადამიანების გადაადგილება უნდა შეწყდეს.

მიღებული შედეგი: უსაფრთხო ევაკუაციის დრო შედარდეება ხელმისაწვდომ ევაკუაციის დროს. ხანძრის განვითარების მოდელირებისა (CFD მეთოდი) და ევაკუაციის მოდელირების შედეგების ინტეგრაციისა და პრაქტიკული გამოყენებისათვის შესაძლებელი რეკომენდაციები შეტანილია ცხრილში 5.

ცხრილი 5. ხანძრის განვითარებისა და ევაკუაციის მოდელირებათა ინტეგრაცია

გამოწვევა	რეკომენდაცია
სხვადასხვა დროითი მასშტაბები	CFD-დან ევაკუაციის მოდელისათვის გამოიყენე მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობები
მონაცემთა გადაცემა	გამოიყენე CSV ან Smokeview-ის SLCF ფენები გამოსატანად
ხილვადობა, ტემპერატურა CFD მოდელირების მიხედვით	გავლენის გადაცემა ევაკუაციის მოდელირების შედეგებზე
ინტეგრირებული ანალიზის სტრატეგია	გამოიყენე ზემოთ აღწერილი ცალმხრივი ინფორმირება, შემდგომ ორმხრივი ინფორმირება თუ საჭიროა

9. დასკვნები

- ტექნიკური მოწყობილობები საკმარისი არ არის უსაფრთხოებისთვის — აუცილებელია ინჟინრული, ორგანიზაციული და ადამიანური ფაქტორების სინთეზი.
- ინტეგრირებული მოდელები საჭიროებს განვითარებას: ხანძრის CFD მოდელები და ევაკუაციის მოდელები უნდა მუშაობდნენ ერთიან სისტემაში, ხანძრის რეალური სცენარების უფრო ზუსტად ასახვისთვის.
- ფრუდის რიცხვის გამოყენება ეფექტიანია, მაგრამ საჭიროებს დაზუსტებას, რათა მოერგოს ცვალებად გარემო პირობებს.
- დროითი და სივრცითი ინტეგრაციის სირთულეები გადალახვადია ადეკვატური მათემატიკური და საინჟინრო მიდგომების საშუალებით.
- უსაფრთხოების სისტემები უნდა იყოს დინამიკური, ადაპტირებული და მრავალფუნქციური, რათა ეფექტიანად უპასუხოს ხანძრის სხვადასხვა სცენარს.

ეს ნაშრომი დაფინანსდა შოთა რუსთველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ [გრანტის ნომერი FR-22-12 949]. სათაური: კრიტიკული სიჩქარისა და ხანძრით გამოწვეული უკუდინების შესწავლა საგზაო გვირაბებში სიცოცხლის გადასარჩენად.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Bird A., Carvel R. Handbook of Tunnel Fire Safety*. Second edition. Thomas Telford Limited*, 2012, p. 694.
2. FIT - Thematic Network FIT 'Fire in Tunnels' is supported by the European Community under the fifth Framework Program 'Competitive and Sustainable Growth' Contract n° G1RT-CT-2006, p. 76.
3. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/9,* 2001. p.60.
4. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/9Add 1,* 2002. p.2.
5. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/13,* 2003. p.8.
6. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/15,* 2004. p.7.
7. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/11,* 2002. p. 6.
8. The White Book 2001, Published in April 24, 2001, Sweet & Maxwell Ltd, ISBN 10: 0421745800, ISBN 13:9780421745803.
9. Haack. A. Fire Protection in Traffic Tunnels: General Aspects and Results of the EUREKA Project, TUNNELING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY, 1998, Volume 13, № 2. pp. 377-381.
10. Li Y.Z., Vylund L., Ingason H., Appel G. Influence of fire suppression on combustion products in tunnel fires. *The work Co-financed by the European Unio*n. Report 2015, p.70.
11. Lanchava O.A. Heat and mass exchange in permanent mine workings. *Journal of Mining Science*, 1982, **1** (6), 87-92.
12. Lanchava O., Ilias N., Andras I, Moraru R., Neag I. On the Ventilation of Transport Tunnels in the Présence of a Strong (Heavy) Fire. *Annales of the University of Petrosan*i, Petrosani (Romania), 2007, Vol. 9 (XXXVI), Part 1, pp. 219-227.
13. Lanchava O., Ilias N. Critical velocity analysis for safety management in case of tunnel fire. MATEC Web of Conferences 305, 00023, 2020.
14. Lanchava O., Ilias N. Some issues of thermal calculation of ventilation air for the metro. Journal of Engineering Sciences and Innovation, 2017, 2 (2), 92-105.
15. Lanchava O., Nozadze G., Bochorishvili N., Lebanidze Z., Arudashvili N., Jangidze M., Tsikarishvili K. Criteria for evaluation of emergency firefighting in transport tunnels. Transport Bridge Europe-Asia, Proceedings of conference, Tbilisi, 2014, 29-35.
16. Ланчава О.А. , Лебанидзе З.Б. По поводу коллапса системы вентиляции тоннеля при сильном пожаре. Журнал «Транспорт», №3-4 (31-32), Тбилиси , 2008. с. 29-31.
17. Lanchava O., Medzmariashvili E., Ilias N., Khitalishvili G., Lebanidze Z. Prospects of usage of transformable systems for extinguishing fire in tunnels. *International Scientific Conference "Advanced Lightweight Structures and Reflector Antennas"*, Tbilisi, 2009. pp. 301-308.

18. Lanchava O.A. Hygroscopic heat and mass transfer in underground structures. GTU, 1998, Tbilisi.
19. Lanchava O.A. Heat and mass exchange in newly driven mine workings. *Journal of Mining Science*, 1985, **1** (5), 99-104.
20. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Tsanava D. Study of Propagation of Harmful Factors of Fire in Short Road Tunnels with Different Inclinations. *MATEC Web of Conferences* 342, 03023, 2021.
21. Lanchava O., Ilias N. Complex calculation method of temperature, mass transfer potential and relative humidity for ventilation flow in subway. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*, 2018, **3** (1), 69-84.
22. Vaitkevicius A., Carvel R. Investigating the Throttling Effect in Tunnel Fires. *Fire Technology*, Vol. 52, 2016, pp. 1619–1628.
23. Li Y.Z., Ingason H. Discussions on critical velocity and critical Froude number for smoke control in tunnels with longitudinal ventilation. *Fire Safety Journal*, Vol. 99, 2018, pp. 22-26.
24. Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Jangidze M., Khokerashvili Z. Fire development study on physical models of transport tunnels*. MATEC Web of Conferences* 342, 03020, 2021.
25. Lanchava O., Abashidze G., Tsverava D. Securing fire safety for underground structures. *Quality-Access to Success*, 2017, **18**.
26. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu S., Andras I., Moraru R. Developing of Wi-Fi monitoring control systems for damage factors of fire in road tunnels. *The XIth Edition of the Annual Conference "The Academic Days of Technical Sciences Academy of Romania"*, 2016.
27. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G. Some problems for assessment of fire in road tunnels. *Supplement of Quality-Access to Success*: Bucharest, Vol. 18, (S1), 2017, pp. 69-72.
28. Ilias N., Lanchava O., Nozadze G. Numerical modelling of fires in road tunnels with longitudinal ventilation system. *Supplement of Quality-Access to Success*: Bucharest, Vol. 18, (S1), 2017, pp. 85-88.
29. Li Y.Z., Lei B., Ingason H. *Study of critical velocity and backlayering length in longitudinally ventilated tunnel fires. Fire Safety Journal*, Vol. 45, 2010, pp. 361-370.
30. Thomas P.H. The Movement of Smoke in Horizontal Passages against an Air Flow. *Fire Research Station*. Boreham Wood. 1968.
31. Lee C.K., Chaiken R.F., Singer J.M., Interaction between duct fires and ventilation flow: an experimental study. *COMBUSTION SCIENCE AND TECHNOLOGY*. Vol. 20, 1979, pp. 59-72.
32. Danziger N.H., Kennedy W.D. Longitudinal ventilation analysis for the Glenwood canyon tunnels. *Fourth International Symposium on the Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, BHRA Fluid Engineering*. 1982.
33. Kennedy W.D. Critical velocity: past, present and future. *Seminar of Smoke and Critical Velocity in Tunnels, JFL Lowndes*, 1996, pp. 305–322.
34. Lanchava O., Javakhishvili G. Impact of strong fires on a road tunnel ventilation system. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences.* 15(4), 2021.
35. Lanchava O., Ilias N., Radu S., Nozadze G., Tsanava D. Analysis of the use of transformable elements in intelligent tunnel ventilation systems. *MATEC Web of Conferences* 354, 00020, 2022.

36. Lanchava O., Ilias N., Radu S., Nozadze G., Jangidze M. Preventing the Spread of Combustible Products in Tunnels by Implementing a Divisible System. *Environmental Engineering and Management Journal.* 21 (4), 2022, 627-635.
37. Lanchava O., Ilias N., Radu S., Javakhishvili G., Makharadze L. Influence of current direction in longitudinal ventilated road tunnels on the backflow of combustion products. *MATEC Web of Conferences* 373, 00076, 2022.
38. Lanchava O., Nozadze G., Tsanava D. FDS Modeling Results for 50-100 MW Fires in Terms of Semi-Transverse Ventilation in Road Tunnels. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*. 16(4), 2022.
39. Lanchava O., Javakhishvili G., Kunchulia T., Khokerashvili Z., Arudashvili N. Aspects of Critical Velocity Variation for Managing Fires and Air Pollution in Road Tunnels. *23rd International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2023*, 23(4.1).
40. Lanchava O., Ilias N., Radu S., Nozadze G., Javakhishvili G. Dynamics of damaging factors in inclined road tunnels according to the results of numerical modeling of up to 50 MW fires in terms of natural ventilation. *MATEC Web of Conferences*, 389, 00056, 2024.
41. Lanchava O., Bezhanishvili A., Javakhishvili G., Khokerashvili Z., Arudashvili N. Study of the throttling effect in tunnel fires. *Inżynieria Mineralna 1(1)*, 2024.
42. Lanchava O., Ratiani N., Khokerashvili Z., Arudashvili N. Variation of Critical Velocity of Downward Ventilation in Inclined Road Tunnels. *24rd International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM* 2024.
43. Lanchava O., Bezhanishvili A., Abshilava A., Ratiani N. On Legislation and Some Aspects of Occupational Safety in GEORGIA. 24rd International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2024.
44. Lanchava O. Clarification of fire characteristics in a road tunnel based on numerical and laboratory studies. *Edelweiss Applied Science and Technology*, Learning Gate, 8(6), 2024.

Integrated Analysis of Ventilation System Efficiency and Lifesaving in Tunnel Fire Conditions

Professor Omar Lanchava

Summary

This scientific article explores the critical relationship between ventilation system efficiency and human survival during fire incidents in road tunnels. Through the analysis of several historical tunnel fires, the research confirms that ventilation systems, although essential, are not sufficient on their own to guarantee life safety. These findings highlight the need for comprehensive models that integrate various influencing factors.

A new methodological approach is proposed, emphasizing the importance of the Dynamic Efficiency Factor (DEF) — an integrated parameter that evaluates the joint impact of fire dynamics, ventilation efficiency, and human evacuation risks. The DEF concept introduces a holistic framework that links technical performance with human behavioral models in emergency situations.

Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations are employed to model the development of fires, temperature gradients, smoke propagation, and toxic gas dispersion. The analysis demonstrates that while the Froude number remains a crucial indicator for assessing ventilation performance, in real scenarios it fluctuates significantly. As such, reliance solely on the Froude number without adaptive corrections can lead to insufficient planning for fire emergencies.

One of the key challenges addressed in this study is the integration of CFD models with evacuation simulations. Differences in temporal and spatial resolution between the models complicate the integration process, yet overcoming these difficulties is essential for accurate risk assessment. The paper presents specific practical examples and outlines strategic recommendations for establishing effective, combined modeling methodologies.

Ultimately, the study concludes that achieving a reliable fire safety system requires more than just mechanical installations. It necessitates well-designed procedures, refined engineering approaches, robust management strategies, and close consideration of human factors. By applying such a multifactorial and dynamic framework, emergency planning for tunnel fires can become more resilient and effective, enhancing both structural safety and occupant survival prospects.

Key words: CFD models; evacuation models; integration of models; dynamic efficiency coefficient; Froude number.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.53



ტვირთების მიწოდების სისტემის შერჩევა

მალხაზ მებურიშვილი[1], თეა ცქიფურიშვილი[2]

[1]ინჟინერიის დოქტორი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საინჟინრო ტექნიკური ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველო, ქუთაისი, E-mail:malxazmeb@mail.ru
[2]ინჟინერიის დოქტორი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საინჟინრო ტექნიკური ფაკულტეტი, მოწვეული სპეციალისტი, საქართველო, ქუთაისი, E-mail:tealotea@mail.ru

ანოტაცია:

ტვირთების მიწოდების ეფექტიანობის გაზრდისათვის შემუშავდა ტვირთების მიწოდების სისტემის შერჩევის მეთოდოლოგია, სადაც გათვალისწინებულია მიწოდების შერჩევის პრობლემის მრავალვარიანტულობის თვისება და საქონლის განაწილების პროცესების ინტეგრაცია, რაც განპირობებულია წარმოების და რესურსების ეფექტურობის მოთხოვნით. შედგენილია მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის ფორმირების დიაგრამა; დამუშავებულია ბაზარზე არსებული მრავალი მოდულებისაგან ისეთი მოდულების შერჩევის ამოცანა, რომ დაკმაყოფილდეს კონკრეტული მომხმარებლის გარკვეული მოთხოვნები კონკრეტულ დროს და მიღწეულ იქნას დასახული მიზანი. გაანალიზებულია ტვირთის მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის ფორმირების მოდულური პრინციპის არსი; შედგენილია მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის ფორმირების დიაგრამა და ნაჩვენებია მიწოდების სისტემის ძირითადი მოდულები.

მათემატიკური სახით განხილულია ტვირთების მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის მოდელი და მისი ფორმირების ეტაპებად განხორციელების პროცესი.

მიწოდების სისტემასთან დაკავშირებული - ცხრილის სახით მოცემულია მიწოდების ხარისხის შეფასების პარამეტრების მნიშვნელობების დასადგენი ინფორმაციის მეთოდები და წყაროები. კლიენტის მიერ მიწოდების პროცესზე სუბიექტური მოთხოვნებისა და მოლოდინების წარმოსადგენად გამოყენებულია არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის ელემენტი „კუთვნილების ფუნქცია“. სატრანსპორტო მომსახურებაზე მოთხოვნის სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია გარკვეული პარამეტრების მიხედვით კუთვნილების ფუნქციების ტიპები ტვირთის მიწოდების ხარისხის შესაფასებლად. შედგენილია ტვირთის მიწოდების სისტემის შერჩევის მეთოდოლოგია მრავალკრიტერიანობის ფაქტორის გათვალისწინებით და ტვირთების მიწოდების სისტემის შერჩევის ამოცანა რამდენიმე კრიტერიუმის არსებობისას არამკაფიო სიმრავლეთა საფუძველზე. ვარიანტების გენერირების პრობლემის გადასაჭრელად გამოყენებულია მორფოლოგიური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდები; მიწოდების სისტემის ფორმირების

ამოცანის მორფოლოგიური მეთოდებისა და თავისებურებების ანალიზის საფუძველზე შემუშავდა ამოცანის ამოსახსნელი სპეციალური მორფოლოგიური ცხრილი.

საკვანძო სიტყვები: მიწოდების ეფექტიანობა, მეთოდოლოგია, მრავალვარიანტულობა, მოდულური პრინციპი, მოდელი, ინტეგრირებული სისტემა, მორფოლოგიური ანალიზი, სინთეზის მეთოდები.

I. საკითხის დასმა. ალტერნატივების შერჩევა ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული პრობლემაა, რომელსაც აწყდებიან ინჟინრები, დამპროექტებლები, მენეჯერები და მკვლევარები.

საბაზრო ეკონომიკაში სატრანსპორტო სერვისის მომხმარებლებს უნდა ჰქონდეთ უფლება შეიძინონ სატრანსპორტო მომსახურება იმ კომბინაციით, რომელიც მათ მიაჩნიათ ყველაზე შესაფერისად მათი საჭიროებების დასაკმაყოფილებლად. სატრანსპორტო სერვისების დიფერენციაცია ნიშნავს, რომ ნებისმიერ დროს ტვირთგამგზავნს შეთავაზონ ნებისმიერი მომსახურება ხარისხის დონის ფართო სპექტრით, რაც ტვირთგამგზავნებს უქმნის დიდი არჩევანის საშუალებას. თავისუფალი არჩევანის სპექტრი ფართოვდება, ხოლო სამომხმარებლო გემოვნების მრავალფეროვნებისა და სატრანსპორტო მომსახურების ნიუანსების დაკმაყოფილება ხდება იმ სატრანსპორტო საწარმოს მიერ, რომელიც უფრო სრულად უზრუნველყოფს სატრანსპორტო მომსახურებას. მომხმარებელთა მოთხოვნასთან მიწოდების ადაპტირება ხორციელდება სატრანსპორტო სერვისების დიფერენციაციით. ასეთი სერვისების დიაპაზონის ზრდამ შეიძლება მიაღწიოს იმ დონეს, როდესაც არჩევანი სატრანსპორტო სერვისების მომხმარებლებისთვის გახდება რთული და შეიძლება მოითხოვოს მეტი დრო. ამრიგად, წარმოიქმნება სატრანსპორტო სერვისების შერჩევის პრობლემა.

იმის გამო, რომ ტვირთგამგზავნები ცდილობენ მიიღონ მაღალი ხარისხის სატრანსპორტო მომსახურება მინიმალურ ფასად, პროდუქციის მიწოდების ეფექტური სისტემის შერჩევა სულ უფრო მზარდ გავლენას მოახდენს მოვაჭრე სუბიექტების საქმიანობის შედეგებზე. პროდუქციის მიწოდების დაგეგმვისადმი გაზრდილი ყურადღება აიხსნება ლოგისტიკური ციკლის ხანგრძლივობის შემცირებით და მომხმარებელთა მოთხოვნაზე რეაგირების დაჩქარების აუცილებლობით. ადრინდელ კვლევებში ხდებოდა განიხილვა მხოლოდ წარმოების დაგეგმვის, მარაგების მართვის საკითხები და ყველაზე ნაკლებად ხდებოდა გამოკვლევა ისეთი მნიშვნელოვანი კომპონენტის, როგორიცაა პროდუქტის მიწოდების სისტემის არჩევა და მისი გავლენა საწარმოთა საქმიანობის შედეგებზე. ამ ასპექტის მნიშვნელობაზე მიუთითებს ის ფაქტი, რომ ზოგიერთი ტიპის პროდუქციის წარმოების ხარჯები შეადგენს პროდუქტის ღირებულების მხოლოდ 10%-ს, რაც მნიშვნელოვნად ნაკლებია პროდუქციის მიწოდების და დისტრიბუციის ხარჯებზე. პროდუქციის მიწოდების ხარისხის პრობლემას ყურადღებას აქცევენ არა მხოლოდ იმ საწარმოთა მენეჯერები, რომლებსაც პროდუქციის ღირებულებაში აქვთ სატრანსპორტო მდგენელების დიდი წილი, არამედ ისეთებიც, რომლებისთვისაც ეს წილი დიდი არ არის, მაგრამ მიწოდების არასაკმარისად მაღალი ხარისხის გამო, წარმოებაზე გაწეული ხარჯები მნიშვნელოვანია

(ეფექტური წარმოების ტექნოლოგიების გამოყენების შეუძლებლობა, დიდი მარაგების შენახვის საჭიროება და ა.შ.).

ამ თვალსაზრისით მეტად აქტუალურია კვლევა, რომელიც მიმართულია ტვირთების მიწოდების ეფექტიანობის გაზრდაზე. პროდუქციის მიწოდების ეფექტურობის გაზრდის ერთ-ერთი გზა მდგომარეობს ტვირთების მიწოდების სისტემის შერჩევის მეთოდოლოგიის შემუშავებაში. ამ საკითხთან მიმართებაში თეორიული და მეთოდოლოგიური დებულებების არასაკმარისად შემუშავების გამო, ტვირთის მიწოდების სისტემების შემმუშავებლები ხშირად იძულებულნი არიან ტვირთის მიწოდების ეფექტურობის შემცირებისთვის მიწოდების სისტემაზე დაკისრებული მრავალი ფაქტორის გათვალისწინების გარეშე მიიღონ გადაწყვეტილებები პროდუქციის მიწოდების დაგეგმვასთან დაკავშირებით.

II. მიწოდების სისტემის შერჩევის საკითხის მდგომარეობა. ტვირთის მიწოდების სისტემის პროექტირების პრაქტიკის ანალიზი აჩვენებს მიწოდების პროცესისადმი მომხმარებელთა მოთხოვნების გათვალისწინების აუცილებლობას, რომლებიც ხასიათდება მრავალფეროვნებით, წინააღდეგობრივი ხასიათით, განსხვავებული მნიშვნელობით, განსხვავებული განზომილებებითა და ცვალებადობით. პრობლემის დაყენებისა და გადაჭრისას ასევე აღინიშნება ინფორმაციის ბუნდოვანობის (გაურკვევლობის) ფაქტორი. ხშირად ამოცანის მიზნები და შეზღუდვები განისაზღვრება ტვირთის მიწოდების პროცესის ხარისხობრივი კონცეფციების გამოყენებით, ე.ი. ცნებები, რომლებსაც არ გააჩნიათ პირდაპირი რაოდენობრივი საზომი ერთეული (მაგალითად: „მიწოდება კლიენტისთვის ხელსაყრელ დროს“, „კლიენტთან კარგი საინფორმაციო კომუნიკაციის უზრუნველყოფა“ და ა.შ.). თავად ეს ცნებები ორაზროვნად არის განმარტებული არა მხოლოდ სხვადასხვა კლიენტის შეკვეთების შემთხვევებში, არამედ ერთი და იგივე კლიენტისთვის სხვადასხვა სიტუაციებში. მათემატიკური აპარატის არარსებობა, რომელიც მოგვცემდა ასეთი თვისობრივი ცნებების ჩამოყალიბების საშუალებას, ბუნებრივად იწვევს ან შესაბამისი მიზნებისა და შეზღუდვების გაუთვალისწინებლობას, ან მოდელის არაადექვატურობას ტვირთის მიწოდების რეალურ პროცესთან მიმართებაში.

ასევე აუცილებელია მიწოდების შერჩევის პრობლემის მრავალვარიანტულობის თვისების გათვალისწინება. ტვირთის მიწოდების სისტემა განისაზღვრება, როგორც სატრანსპორტო პროცესის ყველა ურთიერთდაკავშირებული მონაწილის სისტემა, რომლიც ხორციელდება ტვირთგამზავნიდან ტვირთის მიმღებამდე ტვირთის გადაადგილების პროცესთან დაკავშირებულ ოპერაციების გათვალისწინებით (ანუ ტრანსპორტირება, დატვირთვა-განტვირთვის სამუშაოები, შენახვა, ტვირთების გადამუშავება და ა.შ.). ბოლო დროს იზრდება ტვირთის მიწოდების პროცესში მონაწილე საწარმოების რაოდენობა, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ტვირთის მიწოდების შესაძლო ვარიანტების რაოდენობას. ტვირთის მიწოდების სისტემაში ძირითადი მონაწილეები არიან საავტომობილო გადამზიდველები, ექსპედიტორები, საწყობები და მიწოდების პროცესში ჩართული სხვა სატრანსპორტო და არასატრანსპორტო მონაწილეები.

ტვირთების მიწოდების პრობლემებზე მიძღვნილია ქართველი და არაქართველი მეცნიერის (ო. გელაშვილი, ლ. ბოცვაძე, ლ. მიროტინი, ლ. აფანასიევი, ნ. ოსტროვსკი, ს. რეზერი და სხვები) მრავალი შრომა. თანამედროვე მეცნიერთა კვლევებში ტრადიციულ

ტექნოლოგიებთან მიმართებაში ყურადღება გამახვილებულია ტვირთის მიწოდების პროგრესული მეთოდების უპირატესობების მეცნიერულ დასაბუთებაზე (ახალი ტექნოლოგიების გამოყენება, ახალი ტექნიკური საშუალებები, მიწოდების პროცესის ორგანიზებისა და მართვის მეთოდების შემუშავება და ა.შ.). აღსანიშნავია, რომ საბაზრო პირობებში მიწოდების პროგრესული მეთოდების გამოყენება ხელს უწყობს მნიშვნელოვანი სარგებლის მიღებას, მაგრამ პრაქტიკაში ხშირად ადგილი აქვს სრულიად განსხვავებულ შედეგებს. როგორც ანალიზმა აჩვენა, ამ გარემოებათა მიზეზი უმთავრესად არის ამ საკითხის შემუშავების არასაკმარისი დონე.

ტვირთის მიწოდების პრობლემის შესახებ მეცნიერული შრომების შესწავლისას შეიძლება შევამჩნიოთ, რომ ბევრმა ავტორმა ტვირთის მიწოდების პროცესის სხვადასხვა მხარის კვლევისას უგულებელყო პრობლემასთან დაკავშირებული სხვა არანაკლებ მნიშვნელოვანი ასპექტები. საგზაო ტვირთების მიწოდების პროცესის ორგანიზების ეფექტურობის გაუმჯობესებისკენ მიმართული კვლევების ანალიზისას, შეგვიძლია პირობითად გამოვყოთ ნაშრომების ჯგუფები, რომლებიც ეძღვნება შემდეგ საკითხებს: მიწოდების ინტეგრირებული სისტემა; სატრანსპორტო მომსახურების ხარისხი; მიწოდების საიმედოობა; მიწოდების პროცესის ცალკეული მონაწილეების შერჩევა (გადამზიდველის, ექსპედიტორის შერჩევა); სატრანსპორტო საშუალებების ტიპის შერჩევა მისი ტექნიკური სიმძლავრის მაქსიმალური გამოყენების უზრუნველსაყოფად; გადაზდვების ოპერატიული დაგეგმვა; სატრანსპორტო პროცესის საინფორმაციო უზრუნველყოფა; სატრანსპორტო პროცესის პარამეტრების ოპტიმიზაცია სიმულაციური მეთოდის გამოყენებით და ა.შ.

ზემოაღნიშნულ საკითხებზე მიძღვნილი ნაშრომების ანალიზის საფუძველზე გამოვლინდა შემდეგი ხარვეზები:

-განხილული საკითხების გადაწყვეტა ხდება განცალკევებულად, ამიტომ საერთო გადაწყვეტილება არ შეიძლება ჩაითვალოს ოპტიმალურად (გადაწყვეტილების შედეგი იძლევა მხოლოდ ლოკალურ ოპტიმუმებს);

-ტვირთის მიწოდების სისტემის შერჩევის პრობლემების გადაწყვეტა ხდება გადამზიდავების ინტერესებით მიწოდების პროცესში სხვა მონაწილეების, განსაკუთრებით სატრანსპორტო მომსახურების მომხმარებლების ინტერესების გათვალისწინების გარეშე. ამ დრომდე არ არსებობს მეთოდოლოგია, რომელიც გაითვალისწინებდა ტრანსპორტის მომხმარებლების ყველა მოთხოვნას მიწოდების პროცესისადმი;

-განხილულ კვლევებში ტვირთის მიწოდების პროცესის კონცეფციების ფორმალიზებისთვის გამოყენებული მათემატიკური აპარატი სრულყოფილად არ უზრუნველყოფს შექმნილი მოდელის რეალურ სიტუაციებთან ადეკვატურობას. შერჩევის პრობლემების გადაჭრის არსებული მეთოდები დაფუძნებულია ან ხისტ ალგორითმებზე, ან ექსპერტის გამოცდილებაზე, თუმცა ისინი არ ითვალისწინებენ არამკაფიოობის ფაქტორს დასმული ამოცანის ფორმულირებისას.

-შერჩევის ამოცანების გადასაჭრელად არსებული ალგორითმების სწრაფქმედება ხშირად მიიღწევა მოდელირების ობიექტის მნიშვნელოვანი თვისებების უგულებელყოფით, რაც იწვევს მიღებული გადაწყვეტილებების ხარისხის დაქვეითებას.

-სატრანსპორტო პროდუქციის ხარისხის საკითხს აქამდე სათანადო ყურადღება არ ექცევა. ისეთი მაჩვენებლები, როგორიცაა მწარმოებლობა, საშუალო დღიური გარბენი,

გადაზიდვების გეგმის შესრულების მაჩვენებელი და ა.შ. ახასიათებენ მხოლოდ მათი თვალსაზრისიდან გამომდინარე საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ხარისხს, არ ხდება გარკვევა რამდენად დაკმაყოფილებულია ტვირთგამგზავნისა და ტვირთმიმღების სატრანსპორტო მომსახურების მომხმარებელთა ხარისხი.

III. ტვირთების მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის სინთეზის მოდულური პრინციპი.

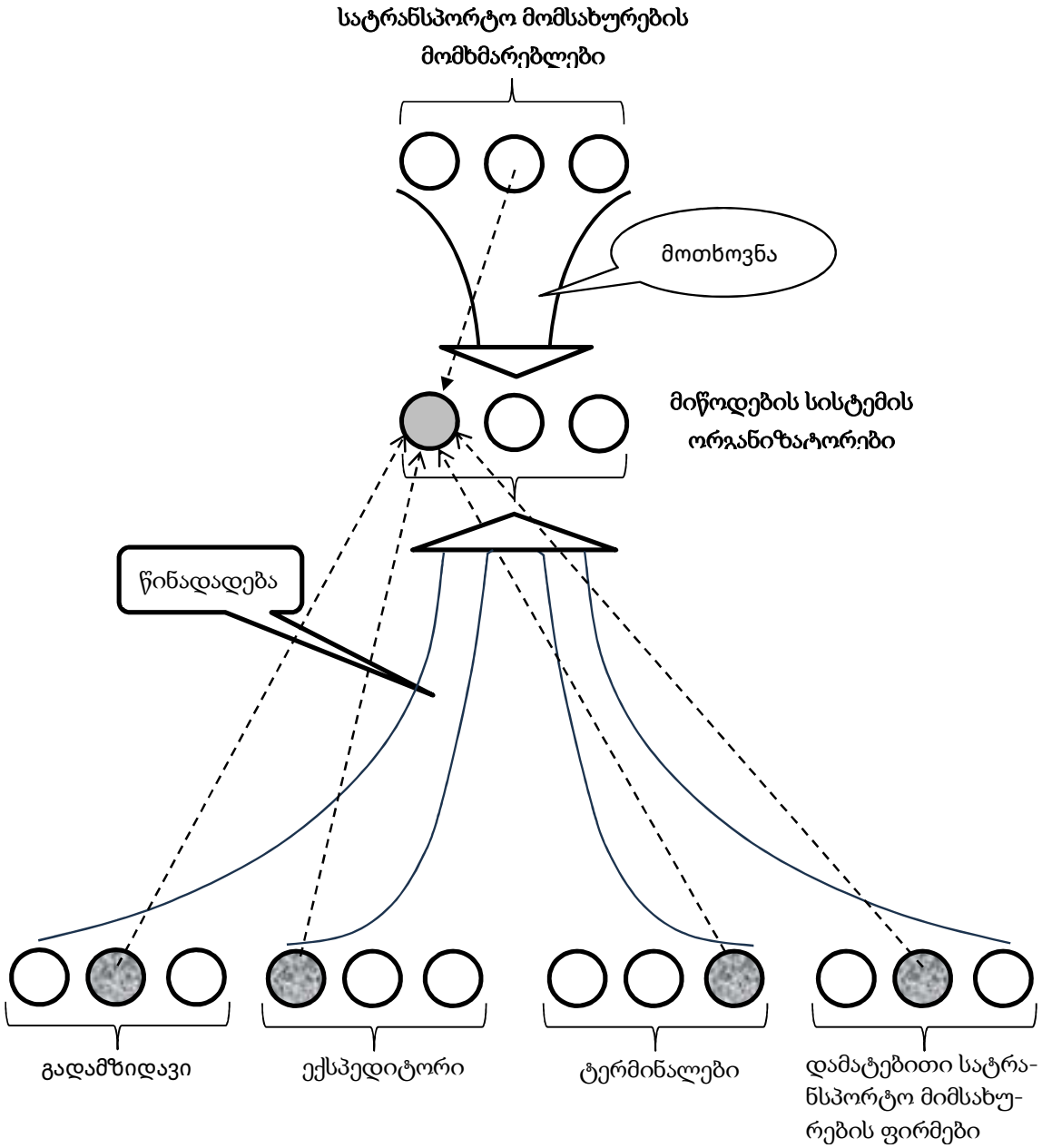
ერთ-ერთ თანამედროვე ტენდენციას წარმოადგენს სატრანსპორტო და საქონლის განაწილების პროცესების ინტეგრაცია, რაც ობიექტურად განპირობებულია წარმოების ეფექტურობის მოთხოვნით და რესურსების გამოყენებით, უწყვეტად დაკავშირებულია თანამედროვე წარმოების გლობალიზაციასთან და საქონლის განაწილებასთან. ინტეგრაციის მთავარი მიზანია გაერთიანების უპირატესობის რეალიზება, ანუ რესურსების დაზოგვის მიღწევა ან მომხმარებლისთვის ახალი, უფრო მიმზიდველი მომსახურების ხარისხის შექმნა.

სატრანსპორტო ინტეგრაციის პრობლემებისადმი მიძღვნილია დიდი რაოდენობის შრომები, თუმცა ორგანიზაციული და ინტეგრაციის საკითხები აღნიშნულ კვლევებში ძირითადად განხილულ იქნა აღწერილობით დონეზე. მათში ძირითადად საქონლის განაწილების სისტემის ფუნქციონირების პრობლემებზე არის გამახვილებული ყურადღება. ტვირთის მიწოდების სისტემის ფორმირებისა და მისი ხარისხის შეფასების პროცესების ფორმალიზაციის პრობლემები საკმარისად არ არის გათვალისწინებული.

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის ფორმირების დიაგრამა. სატრანსპორტო მომსახურებაზე მომხმარებელთა მოთხოვნის ანალიზისა და სატრანსპორტო ბაზრის მონაწილეთაგან სხვადასხვა შეთავაზების საფუძველზე მიწოდების სისტემის ორგანიზატორი განსაზღვრავს: თუ რომელი მონაწილეები უნდა იყვნენ მიწოდების სისტემის ნაწილი და რა ფუნქციები უნდა შეასრულონ. ტვირთის მიწოდების კონკრეტული ინტეგრირებული სისტემა ყალიბდება, როგორც მოთხოვნასთან შესაბამისი შეთავაზებების განხორციელება, რომელიც ეფუძნება ორგანიზატორის გადაწყვეტილებას კონკრეტული მიზნის მისაღწევად. მიწოდების სისტემის მიზანს წარმოადგენს ისეთი მაჩვენებლები, როგორიცაა მომხმარებელთა საჭიროებების დაკმაყოფილება, მთლიანი მოგების მაქსიმიზაცია, საერთო ლოგისტიკური ხარჯების მინიმიზაცია, სისტემის საიმედოობის გაზრდა, გარემოზე ზემოქმედების შემცირება და ა.შ.

ამგვარად, ტვირთის მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის ფორმირების ამოცანა შეიძლება ჩამოყალიბდეს, როგორც ბაზარზე არსებული მრავალი მოდულებისაგან ისეთი მოდულების შერჩევის ამოცანა, რომ დაკმაყოფილდეს კონკრეტული მომხმარებლის გარკვეული მოთხოვნები კონკრეტულ დროს და მიღწეულ იქნას დასახული მიზანი.

ტვირთის მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის ფორმირების მოდულური პრინციპის არსი მდგომარეობს პირველადი მოდულების გარკვეული რაოდენობისგან სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების კომპლექსური სისტემების შექმნის შესაძლებლობაში. აღნიშნულის მიხედვით, მოდული არის დამოუკიდებელი ელემენტი, რომელიც ასრულებს კონკრეტულ ფუნქციას (ან ფუნქციებს). მოდულები შეიძლება უერთდებოდნენ ერთამანეთს რთული სისტემების შესაქმნელად, განცალკევდნენ ერთმანეთისაგან და ჩაენაცვლონ ერთმანეთს, რათა მიღებულ იქნას სხვა კომპონენტების და მახასიათებლების მქონე სისტემები, მათი ფუნქციონირების დროს.



ნახ. 1. ტვირთების მიწოდების სისტემის ფორმირების სქემა

სადაც,  - სისტემის მოდულის შერჩევაა

მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის ფორმირების დიაგრამაზე (ნახ. 1) ასევე ნაჩვენებია მიწოდების სისტემის ძირითადი მოდულები და კომპანიები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დამატებით სატრანსპორტო და არასატრანსპორტო მომსახურებას.

ტვირთების მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის მოდელის მათემატიკურ ჩანაწერს ექნება შემდეგი სახე:

$$I_{ტვ.\ მიწ} = \{X, F, D, t\} \qquad (1)$$

სადაც, X - სტანდარტული მოდულების სიმრავლეა;

$X = \{X_1, X_2, \ldots, X_n\}$;

X_1 - სტანდარტული მოდულების სიმრავლეა რომელსაც შეუძლია გაუწიოს მომსახურება y_1;

$X_1 = \{x_{i1} | x_1 O X_1; i=1, \dots m_1\}$;

x_{i1} – X1 სიმრავლიდან x_{i1} მოდულის მდგომარეობაა (იცვლება დროში);

m_1 – X_1 სიმრავლეში მოდულების რაოდენობაა;

X_2 , …., X_n – შესაბამისად სტანდარტული მოდულების სიმრავლეა, რომელსაც შეუძლია მომსახურეობა გაუწიოს y_2, …, y_n ;

n – სტანდარტული მოდულების სიმრავლეთა რაოდენობაა (მომსახურების სახეთა რაოდენობა);

F - ინტეგრირებული სისტემის მიზნის ფუნქციაა;

D - სისტემაზე მომხმარებელთა მოთხოვნილების სიმრავლეა;

$D = \{Y, Z\}$;

Y- მომსახურების გაწევაზე მომხმარებელთა მოთხოვნილების სიმრავლეა (მომსახურების სახეები, მუშაობის რაოდენობა, დრო, ადგილი და ა.შ.)

$Y = \{y_1, y_2, \dots . , y_n\}$;

Z - მიწოდების სისტემის ხარისხის მიხედვით მომხმარებელთა მოთხოვნის სიმრავლეა (თავისდროულობა, დაცულობა, მოქნილობა და ა.შ.) ;

t – მიწოდების ინტეგრირებული სისტემისპროექტირების მომენტია.

(1) ამოცანის გადაჭრა ანუ არჩეული მოდულების ნაკრები (ერთობლიობა)

$$\begin{cases} X^* = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}\} \\ F(X^*, t) \\ D(X^*, t) \end{cases} \qquad (2)$$

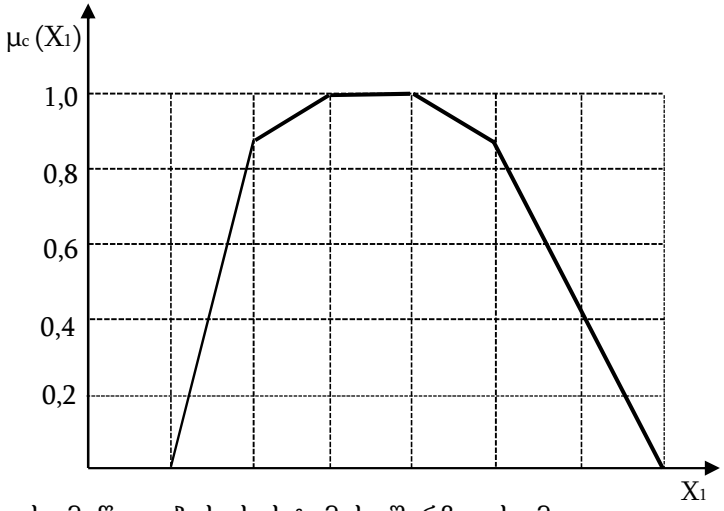
კომპონენტური აწყობის ავტომატიზაციისთვის პროექტირების მოდულური ტექნოლოგია ნებისმიერი სირთულის და ხარისხის ინტეგრალური მიწოდების სისტემისთვის საშუალებას იძლევა სტანდარტული მოდულებიდან კომპიუტერების აწყობის ანალოგიურად მზა ბლოკებიდან მოხდეს ავტომობილების ან პროგრამული კომპლექსების შედგენა, რომელიც იწოდება მაკომპლექტებელ ნაკეთობად. მოდულების და მათი სტანდარტიზაციის შესახებ ინფორმაციის შეგროვების პროცესი საკმაოდ რთული და შრომატევადია, თუმცა, შემდგომში ის იძლევა ტვირთის მიწოდების ახალი ინტეგრირებული სისტემის სწრაფად შექმნის ან მიწოდების პირობების ცვალებადობის შესაბამისად მისი მოდიფიცირების შესაძლებლობას.

ტვირთის მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის ფორმირების პროცესი ხორციელდება შემდეგ ეტაპებად:

- ინფორმაციის შეგროვება, მოდულების შესახებ მონაცემთა ბაზის აგება;
- მოდულების კლასიფიკაცია დანიშნულების მიხედვით, მათი საქმიანობის შეფასება;
- ბაზრის ანალიზი, მოთხოვნის იდენტიფიცირება;
- მიწოდების სისტემის მიმართ მომხმარებელთა მოთხოვნების განსაზღვრა;
- დასაპროექტებელი ტვირთის მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის მიზნებისა და ამოცანების განსაზღვრა;
- სისტემის სტრუქტურაში შემავალი საჭირო ტიპის მოდულების და ამ მოდულების მიმართ მოთხოვნების განსაზღვრა;
- მოდულების აკრეფა, ტვირთის მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის სტრუქტურის სხვადასხვა ვარიანტების ფორმირება

- ტვირთის მიწოდების ინტეგრირებული სისტემის შემოთავაზებული ვარიანტების შეფასება;
- ოპტიმალური ვარიანტის არჩევა;
- შერჩეულ მოდულებს შორის აქტივობების კოორდინაცია და კორექტირება.

ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია (1) ამოცანის გადაჭრის განზოგადებული სქემა.



ნახ.2.

ტვირთის მიწოდების სისტემის შერჩევის მეთოდოლოგიის შესამუშავებლად სტატიაში განხილულია შემდეგი ქვეამოცნები:

- პარამეტრების კომპლექსის განსაზღვრა ტვირთის მიწოდების ხარისხის შესაფასებლად;
- მიწოდების ხარისხის დონის შეფასების მეთოდოლოგიის შემუშავება;
- მრავალკრიტერიუმიანი ფაქტორის გათვალისწინებით ტვირთის მიწოდების სისტემის შერჩევის მეთოდოლოგიის შემუშავება;
- ტვირთის მიწოდების სისტემის ვარიანტების გენერირების ალგორითმის შემუშავება.

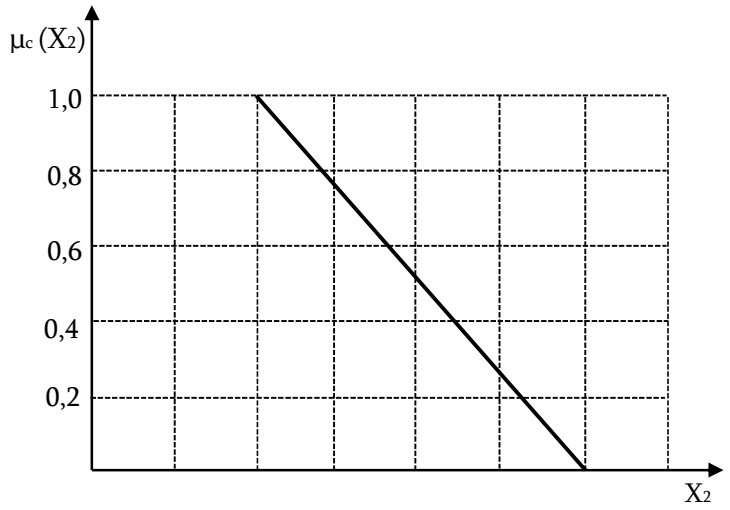
IV. მიწოდების ხარისხის დონის შესაფასებლი პარამეტრების კომპლექსი. უნდა აღინიშნოს, რომ სატრანსპორტო მომსახურების ხარისხი მხოლოდ მიწოდების ეფექტურობით (მიწოდების ხარჯები) არ ხასიათდება, რადგან სატრანსპორტო მომსახურების მომხმარებელთა ფუნქციონირების ეფექტურობა დამოკიდებულია არა მხოლოდ მიწოდების ტარიფის სიდიდეზე, არამედ დამოკიდებულია მიწოდების ხარისხის ბევრ სხვა ასპექტზეც, როგორიცაა დროულობა, უსაფრთხოება და სხვა. პრაქტიკაში, მიწოდების ვარიანტის არჩევისას, ტვირთგამგზავნი და მიმღები ხშირად ითვალისწინებენ მიწოდებასთან დაკავშირებული ხარჯების მხოლოდ ნაწილს - ტრანსპორტირების ხარჯებს. დანარჩენი ხარჯები, რომლებიც განპირობებულია მიწოდების არასაკმარისი ხარისხის გამო, როგორც წესი, მხედველობაში მიიღება როგორც ძირითადი წარმოების ხარჯები. ამრიგად, ტრანსპორტის რეალური გავლენა ძირითადი წარმოების ეფექტურობაზე გაცილებით მეტია, ვიდრე ეს გამომდინარეობს სატრანსპორტო ხარჯების ჯამიდან.

იმისათვის, რომ შევარჩიოთ ტვირთის მიწოდების სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს მაღალი დონის მომსახურებას, საჭიროა განისაზღვროს: კონკრეტულად რა მოთხოვნები აქვს კლიენტს წაყენებული მიწოდების სისტემასან მიმართებაში და რა პარამეტრებით აფასებს მომხმარებელი ამ მოთხოვნების დაკმაყოფილების ხარისხს. ეჭვგარეშეა, რომ დროთა განმავლობაში იცვლება მომხმარებლების მოთხოვნები და შესაბამისად იცვლება მათი

დაკმაყოფილების საჭირო ხარისხი. თუმცა, არჩევანის პრობლემის სისრულის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მოვახდინოთ მომხმარებლის ყველა შესაძლო მოთხოვნის იდენტიფიცირება.

აღნიშნული გარემოება მოითხოვს მომხმარებელთა მოთხოვნების ცვლილების მუდმივ მონიტორინგს და ისეთი მეთოდების გამოყენებას, როგორიცაა კითხვარები, სტრუქტურირებული ინტერვიუები, კონკრეტულ ჯგუფებზე ფოკუსირება და ა.შ. მომხმარებელთა მოთხოვნების მუდმივი შესწავლის გარდა, აუცილებელია ბაზრის ცვალებადი ფაქტორების მონიტორინგიც.

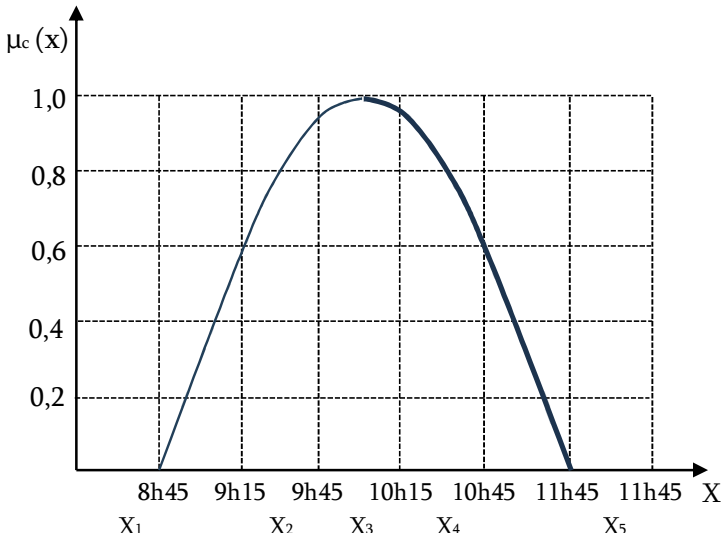
ლიტერატურის ანალიზისა და ზემოაღნიშნული კვლევების შედეგების საფუძველზე გამოვლინდა პარამეტრების კომპლექსი, რომლებიც განსაზღვრავენ ტვირთის მიწოდების ხარისხს (ნახ. 3). მიწოდების ხარისხის შეფასებისას პარამეტრების მნიშვნელობების დასადგენად ინფორმაციის მეთოდები და წყაროები მოცემულია მიწოდების სისტემესთან დაკავშირებულ ქვემოთ მოცემულ ცხრილში.



ნახ. 3. $\mu_c(X_2)$ ფუნქციის კუთვნილება ხარისხის დონის შესაფასებლად, „მიწოდების მინიმალური დროის“ პარამეტრის მიხედვით.

V. მიწოდების ხარისხის დონის შეფასების მეთოდოლოგია. მიწოდების სისტემის ანალიზისა და შერჩევისას ხარისხის დონის შეფასების მეთოდოლოგია უნდა ეფუძნებოდეს კლიენტების მიერ ამ მიზნებისთვის გამოყენებულ პარამეტრებს. როდესაც კლიენტი აფასებს მიწოდების ხარისხის დონეს, ის ადარებს გაზომილი ხარისხის პარამეტრების რეალურ მნიშვნელობებს ამ პარამეტრების მოსალოდნელ მნიშვნელობებს. თუ ორივე მნიშვნელობა ემთხვევა, მაშინ ხარისხის დონე ითვლება დამაკმაყოფილებლად.

კლიენტის მიერ მიწოდების პროცესზე სუბიექტური მოთხოვნებისა და მოლოდინების წარმოსადგენად გამოყენებულია არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის ელემენტი „კუთვნილების ფუნქცია“. ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია კუთვნილების ფუნქციის მაგალითი არამკაფიო მიზნის წარმოსადგენად: „სასურველია ტვირთი მიტანილ იქნას 10 საათში“. მიწოდების ყოველი ვარიანტი x_i აისახება მისი ტვირთის მიწოდების ხანგრძლივობის შესაბამისად. ფუნქციის x_i მნიშვნელობა აჩვენებს მოცემული არამკაფიო მიზნის მიღწევის ხარისხს, ამოცანის გადაჭრის სახით x_i ალტერნატივის შერჩევისას.



ნახ. 4. კუთვნილების ფუნქცია $\mu_c(x)$ ტვირთების მიზიდვის დროის X პარამეტრის მიხედვით

თუ მიწოდება განხორციელდება ზუსტად 10 საათში, ვარიანტი x_3 (x_3= 10 საათი), მაშინ კლიენტის მოლოდინები შეიძლება ჩაითვალოს სრულად დაკმაყოფილებულად და ვარიანტი x_3 ჩაითვალოს ოპტიმალურად (ამ პარამეტრის მიხედვით). ამ შემთხვევაში, კუთვნილების ფუნქცია ღებულობს მაქსიმალურ მნიშვნელობას $\mu_c(x_3)$=1. ვარიანტები x_2 (9 საათი 30 წუთი) და x_4 (10 საათი 30 წუთი) არ აკმაყოფილებს კლიენტის მოთხოვნას. თუმცა, მოთხოვნიდან მცირე გადახრის გამო, ისინი შეიძლება მიღებულ იქნეს როგორც გადაწყვეტა, მაგრამ მოცემული მიზნისთვის კმაყოფილების უფრო დაბალი ხარისხით: $\mu_c(x_2)$= 0.8 და $\mu_c(x_4)$= 0.8. დანარჩენი ორი ვარიანტი x_1 (8 საათი 30 წუთი) და x_5 (11 საათი 30 წუთი) გამოირიცხება შემდგომი განხილვისაგან მათი საჭირო ვადიდან მიწოდების დროის დიდი გადახრის გამო. ამ ვარიანტებისთვის კუთვნილების ფუნქცია შესაბამისად ღებულობს მინიმალურ მნიშვნელობას: $\mu_c(x_1)$=0 და $\mu_c(x_5)$= 0 .

კუთვნილების ფუნქცია აგებულია ექსპერტების სუბიექტური მოსაზრებების საფუძველზე და შეიძლება მას ჰქონდეს სხვადასხვა ფორმები. ზოგადად, ეს ფუნქცია უწყვეტია, აქვს მაქსიმუმი $\mu_c(x)$= 1 პარამეტრის ოპტიმალური მნიშვნელობის ტოლ წერტილში და მცირდება ასიმპტომურად, როდესაც x პარამეტრის მნიშვნელობა შორდება სასურველს. სიტუაციიდან გამომდინარე, კუთვნილების ფუნქციას შეიძლება ჰქონდეს რამდენიმე წერტილი ან გარკვეული ინტერვალი, სადაც $\mu_c(x)$=1. თუ პარამეტრზე დაწესებულია მკაცრი შეზღუდვები, როგორიცაა „არა უმეტეს“ (J) ან «არა ნაკლები“ (i), მაშინ კუთვნილების ფუნქცია ღებულობს ნულოვან მნიშვნელობას, როდესაც შეზღუდვების მოცემული პირობა არ სრულდება.

კუთვნილების ფუნქციის აგება არის ძირითადი და ყველაზე შრომატევადი პროცედურა არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის მეთოდებში. კუთვნილების ფუნქციის აგების პროცედურა მოიცავს შემდეგ ნაბიჯებს: ექსპერტების შერჩევა, ფუნქციის ტიპის განსაზღვრა, ფუნქციის კონკრეტული მნიშვნელობების დადგენა და მისი ადეკვატურობის შემოწმება. სატრანსპორტო მომსახურებაზე მოთხოვნის სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია გარკვეული პარამეტრების მიხედვით კუთვნილების ფუნქციების ტიპები ტვირთის მიწოდების ხარისხის შესაფასებლად.

მიწოდების ხარისხის დონის შეფასება ხორციელდება ორ შემთხვევაში:

1) მიწოდება უკვე განხორციელდა. ამ შემთხვევაში, პარამეტრის რეალური მნიშვნელობა განისაზღვრება და შედარებულია კლიენტის მიერ აგებულ კუთვნილების ფუნქციასთან. კლიენტის არამკაფიო მოთხოვნა დაკმაყოფილებულია ხარისხით:

$$Kc = \mu_c(x) \qquad (3)$$

სადაც, Kc არის კლიენტის მოთხოვნებთან მიწოდების შესაბამისობის კოეფიციენტი.

2) მიწოდების ვარიანტები ჯერ კიდევ მუშავდება, ანუ იმყოფება ამოცანის ამოხსნის არჩევანის პროცესში. ამ შემთხვევაში, ხდება პარამეტრის მნიშვნელობის მხოლოდ პროგნოზირება. პროგნოზირების შედეგი სიმკვრივის P(x) განაწილების გრაფიკის სახით შედარებულია კლიენტის მოლოდინთან შეთავსებული გრაფიკის მეშვეობით (ნახ. 5).

მიწოდების ვარიანტის მომხმარებლის მოთხოვნებთან შესაბამისობის კოეფიციენტი Kc განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$K_c = \int_{-\infty}^{+\infty} \mu c(x) * P(x) \qquad (4)$$

$$K_c = \sum_{i=1}^{n} \mu c\left(X_i^{საშ}\right) * P\left(X_i^{საშ}\right) \qquad (5)$$

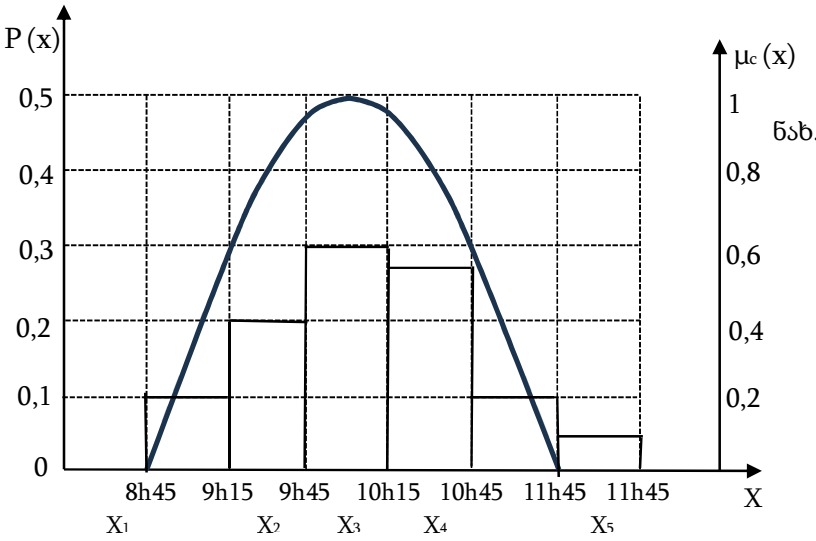
სადაც, $X_i^{საშ}$ - X პარამეტრის საშუალო მნიშვნელობაა i-ურ ინტერვალში;

i - ინტერვალის ნომერია; i = 1…n

n- პროგნოზირებადი პარამეტრების მნიშვნელობის ინტერვალების რაოდენობაა;

$P(X_i^{საშ})$ - ალბათობაა იმისა, რომ X პარამეტრი i ინტრვალში იღებს მნიშვნელობას;

$\mu c\left(X_i^{საშ}\right)$ - $\mu c(x)$ კუთვნილების ფუნქციის მნიშვნელობასა $X_i^{საშ}$ წერტილში.



ნახ. 5. სიმჭიდროვის P(x) და კუთვნილების ფუნქციის $\mu_c(x)$ განაწილების ერთობლივი გრაფიკი

VI. ტვირთის მიწოდების სისტემის შერჩევის მეთოდოლოგია მრავალკრიტერიანობის ფაქტორის გათვალისწინებით. სისტემური ანალიზის კონცეფციის მიხედვით გადაწყვეტილების მიღებისას ყველა გადაწყვეტილება დაიყვანება მიზნის მიღწევის მრავალ მისაღებ საშუალებათა შორის ოპტიმალური ალტერნატივის არჩევამდე. მართლაც, ასეთი მიდგომა ხშირად სუბიექტურად აღიქმება, როგორც მიზანი (ანუ მიზანი მდგომარეობს სისტემის ოპტიმიზაციაში მოცემული კრიტერიუმის მიხედვით). თუმცა, რეალურ კომპლექსურ სისტემებში, როგორც წესი, არსებობს რამდენიმე ასეთი მიზანი. შეიძლება იყოს დასახული რამდენიმე მიზნის მიღწევა ერთდროულად, რომლებიც ხშირად ურთიერთსაწინააღმდეგოა. რთული სისტემების დაპროექტებისას, როგორიცაა ტვირთის

მიწოდების სისტემები, შეუძლებელია ერთი მიზნის განსაზღვრა ან თუნდაც მიზნების მკაცრი იერარქიის დადგენა. ამიტომ, ხისტი მოდელის ნაცვლად, აუცილებელია გამოვიყენოთ ე.წ. „რბილი“ მოდელი, რომლის მთავარი იდეაა „კომპრომისი“ სხვადასხვა მიზნებს შორის, გადაწყვეტილებების პოვნა, რომლებიც გარკვეულწილად დააკმაყოფილებს ყველა წამოყენებულ მოთხოვნას (და ამიტომ სრულად არ დააკმაყოფილებს პერსონალურად არცერთ მათგანს). აღნიშნული მიდგომა წარმოიშვა იმის გააზრებით, რომ ხშირ შემთხვევაში არ არის საკმარისი ინფორმაცია შესაძლო გადაწყვეტილებების წრფივი რანჟირებისთვის და შესაძლებელია მხოლოდ ჯგუფური რანჟირების გაკეთება.

აღნიშნული კომპრომისული მიდგომის განხორციელებაში შეიძლება წარმოიშვას გარკვეული სირთულეები. გადაწყვეტილების მიმღებ პირს ყოველთვის არ შეუძლია ობიექტურად შეაფასოს მიღებული გადაწყვეტილების ხარისხის დონე და მით უფრო, რამდენიმე გადაწყვეტილებიდან აირჩიოს საუკეთესო. კარგი ვარიანტის არჩევა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევებში, როდესაც გამოიყენება კორექტული მოდელი და შერჩევის ალგორითმი.

განვიხილოთ ტვირთის მიწოდების სისტემის შერჩევის ამოცანა რამდენიმე კრიტერიუმის არსებობისას არამკაფიო სიმრავლეთა საფუძველზე. ამოცანის დასმა წარმოდგენილია შემდეგნაირად, დავუშვათ, რომ მოცემულია მიწოდების შესაძლო ვარიანტების სიმრავლე X:

$$X = \{x_1, x_2, \ldots x_i, \ldots, x_n\}$$

თითოეული ვარიანტი ხასიათდება ხარისხის შეფასების პარამეტრების Y სიმრავლით :

$$Y = \{y_1, y_2, \ldots y_j, \ldots ,y_n\}$$

X და Y სიმრავლის თითოეულ წევრს შორის არის არამკაფიო ფარდობა, რომელიც აღინიშნება x , y-ით ან μ_{ij}. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ μ_{ij}, ასახავს მიწოდების i-ური ვარიანტის შესაბამისობის დონეს j-ური პარამეტრის ($\mu_{ij} \in [0,1]$; i=1….n; j=1….m) მოთხოვნებთან. თუ xi-სა და yi-ს შორის ყველა არამკაფიო ფარდობას გავაერთიანებთ, მივიღებთ R ზომის არამკაფიო დამოკიდებულების მატრიცას n*m.

$$R\text{-}\{ \mu_{ij} \mid i=1, \ldots,n; j=1, \ldots m\}, \quad \text{ან}$$

$$R = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \ldots\ldots & \mu_{1m} \\ \ldots. & \mu_{ij} & \ldots. \\ \mu_{n1} & \ldots\ldots & \mu_{nm} \end{bmatrix} \qquad (6)$$

მოითხოვება X სიმრავლიდან არჩეულ იქნას X* საუკეთესო ვარიანტი.

ტვირთის მიწოდების სისტემის შერჩევის ამოცანის დასმა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი ფორმით:

$$X^*=opt\ (X, Y, R, M) \qquad (7)$$

სადაც, M – გადაწყვეტილების მიმღები პირის მიერ არჩეული ამოცანის ამოხსნის გამოყენებული მოდელია.

არსებობს შერჩევის მულტიკრიტერიული ამოცანის ამოხსნის შემდეგი მოდელები: მაქსიმინური ხვეულის მოდელი, აბსოლუტური გადაწყვეტილების მოდელი, ძირითადი პარამეტრის მოდელი, კომპრომისული ამოხსნის მოდელი. ჩამოთვლილი მოდელების

ანალიზის, მათი ამოხსნის ალგორითმის, გამოყენების პირობების, უპირატესობებისა და უარყოფითი მხარეების ანალიზის საფუძველზე შემუშავდა ეტალონური შედარების მოდელი.

შემოთავაზებული მოდელის არსი მდგომარეობს შემდეგში: აიგება x_0 ტვირთის მიწოდების ეტალონური ვარიანტი. ამ ვარიანტებს პარამეტრის იღებენ μ_{0j} მინიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობებს J=1,…,m. X სიმრავლის თითოეული ვარიანტი დარდება x_0 ეტალონთან. თუ x_i ვარიანტის ხარისხი ყველა პარამეტრში არ არის უარესი ვიდრე x_0 ეტალონისა, მაშინ x_i ვარიანტი ჩაირთვება ამოხსნის სიმრავლეში და მისთვის გამოითვლება ინტეგრალური ხარისხის პარამეტრი f_i. ეტალონური ვარიანტისთვის, ინტეგრალური პარამეტრი ღებულობს ნულოვან მნიშვნელობას $f_0=0$. ოპტიმალური გადაწვეტილებაა ვარიანტი f_{max} - ინტეგრალური პარამეტრის მაქსიმალური მნიშვნელობით.

მოდელის მათემეტიკურ ჩანაწერს ექნება შემდეგი სახე:

$$X^* = \{x_k \mid x_k \, O \, X;\ \mu_{kj} \, i \, \mu_{0j} \text{ " } j=1, \dots m;\ f_k = \max \{f_{iO} \, F;\ i=1, \dots, n\}\} \quad (8)$$

სადაც,
$$f_j = \sum_{j=1}^{m} (\mu_{ij} - \mu_{0j}) * w \quad (9)$$

w_j - y_j პარამეტრის საჭიროების დონეა.

VII. ტვირთის მიწოდების სისტემის ვარიანტების გენერირების ალგორითმი. პრაქტიკაში, მიწოდების სისტემის შემუშავებისას, დროსა და შრომითი რესურსების ნაკლებობის გამო, ასევე დიდი რაოდენობით ინფორმაციის დამუშავების შეუძლებლობის გამო, სპეციალისტი ექსპერტი ჩვეულებრივ განიხილავს მხოლოდ რამდენიმე ვარიანტს და ირჩევს მათგან ერთ-ერთს. ეს ვარიანტები, როგორც წესი, ხშირად ეფუძნება ექსპერტის გამოცდილებას და ინტუიციას, ამიტომ ისინი არ შეიძლება ჩაითვალოს ყველა შესაძლო ვარიანტში საუკეთესოდ. ეს ნიშნავს, რომ ექსპერტის მიერ არჩეული ვარიანტი განხილული ვარიანტებიდან მხოლოდ საუკეთესო ვარიანტია და არა ოპტიმალური.

გადაწყვეტილებების გენერირების მეთოდების ფორმალიზაცია უაღრესად მნიშვნელოვანი ამოცანაა. პრაქტიკაში ყოველთვის არ არის შესაძლებელი ყველა შესაძლო ვარიანტის დადგენის, მაგრამ რაც უფრო მეტია გენერირებული ვარიანტების რაოდენობა, მით უფრო მეტია ამოცანის ოპტიმალური ამოხსნის პოვნის ალბათობა. ამოცანის ამოხსნის ოპტიმალურობაზე გავლენას ახდენს გენერირების მეთოდის ხარისხიც, ანუ მეთოდის კარგი ვარიანტების გაცემის უნარი. კომპიუტერული ტექნოლოგიების დახმარებით მნიშვნელოვნად გაიზარდა ვარიანტების გენერირების ამოცანის ამოხსნის სიჩქარე. წარმოშვა საკითხი გენერირების აპარატისა და შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნის შესახებ.

ვარიანტების გენერირების პრობლემის გადასაჭრელად ვიყენებთ მორფოლოგიური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდებს. აღნიშნული მეთოდები შექმნილია ახალი და რაციონალური გადაწყვეტილებების მოსაძებნად, რომელიც დაფუძნებულია განსახილველი სისტემის ქვესისტემებად დაყოფაზე, თითოეული ქვესისტემის განხორციელების ალტერნატიული ვარიანტების იდენტიფიცირებაზე, სრული სისტემის შესაქმნელად სხვადასხვა ვარიანტების გაერთიანებაზე და სრული სისტემისთვის საუკეთესო ვარიანტის არჩევაზე.

მიწოდების სისტემის ფორმირების ამოცანის მორფოლოგიური მეთოდებისა და თავისებურებების ანალიზის საფუძველზე, აღნიშნული ამოცანის ამოსახსნელად შემუშავდა სპეციალური მორფოლოგიური ცხრილი (ნახ. 6).

სისტემი კრიტერიუმების შეფასების ხარისხი	ფუნქცია F_i	მოდულის ხარისხის შეფასების კრიტერიუმები	მოდული F_i ფუნქციის რეალიზაციისთვის			მოდულის რიცხვი
- Y_{c1} ტიპის კრიტერიუმები	F_1	კრიტერიუმიY_{f1}	M_{11}	M_{12} ……..	M_{1k1}	K_1
	F_2	კრიტერიუმიY_{f2}	M_{12}	……..	M_{2k2}	K_2
-Y_{c2} ტიპის კრიტერიუმები	…	…	….	……..	….	….
	F_i	კრიტერიუმიY_{fi}	M_{i1}	M_{i2} ……..	M_{iki}	K_i
	…	…	….	……..	…..	….
	F_n	კრიტერიუმიY_{fn}	M_{n1}	…….	M_{nkn}	K_n

ნახ. 6. მიწოდების სისტემის სინთეზის მორფოლოგიური სქემა

სადაც,

$Y_{f\ 1}$ - წარმოადგენს მთელი სისტემის ხარისხის შეფასების კრიტერიუმებს, რომლებიც განისაზღვრება უშუალოდ სისტემის ვარიანტის ფორმირების პროცესში შუალედური მნიშვნელობების დამატებით ან გამრავლებით (ღირებულება, დაცულობა, შეკვეთების დამუშავების დრო და ა.შ.);

$Y_{f\ 2}$ - მთელი სისტემის ხარისხის შეფასების კრიტერიუმებია, რომლებიც განისაზღვრება მხოლოდ სისტემის ვარიანტის საბოლოო ფორმირების შემდეგ (თავსებადობა, მიწოდების დრო, კომპლექსურობა და ა.შ.);

Y_{fi}- სისტემის ფუნქციების შესრულების ხარისხის შეფასების კრიტერიუმებია მოდულების მიხედვით (ტექნიკური, ადამიანური, საინფორმაციო რესურსები; მანქანებისა და აღჭურვილობის ტექნიკური მზადყოფნა: საინფორმაციო შინაარსი და სხვ.).

ტვირთის მიწოდების სისტემის ვარიანტების გენერირების ალგორითმი მოიცავს ორ ეტაპს:

I ეტაპი. მორფოლოგიური ცხრილის მომზადება:

სისტემის ფუნქციების (მოდულების) განსაზღვრა F_j, j=1, …., n.

თითოეული მოდულისთვის ხარისხის შეფასების კრიტერიუმების განსაზღვრა (Y_{fi}) და მთლიანად სისტემისთვის ($У_{f1}$, და $У_{f2}$).

მორფოლოგიური ცხრილის სტრიქონები ივსება მოდულებით, რომლებსაც შეუძლიათ შესაბამისი ფუნქციების შესრულება.

ორიგინალური მორფოლოგიური ცხრილის წინასწარი შეკვეცა. ცხრილის თითოეული სტრიქონისთვის (ფუნქციისთვის) ყველა არსებული მოდული მოწმდება Y_f ტიპის კრიტერიუმების მიხედვით. თუ მოდული არ აკმაყოფილებს აღნიშნული ფუნქციის რეალიზაციის მოთხოვნებს, ხდება მისი ცხრილიდან ამოღება. ამასთან, თუ შეკვეცის შემდეგ სტრიქონი ცარიელი რჩება, ანუ არ არსებობს მოდული, რომელსაც შეუძლია ინდივიდუალურად შეასრულოს ფუნქცია, მაშინ იქმნება კომბინირებული მოდულები ან გადაიხედება მოდულების მოთხოვნები. კომბინირებული მოდულები ასევე მოწმდება იმასთან დაკავშირებით შეუძლიათ თუ არა მათ დააკმაყოფილონ მოთხოვნები.

ეტაპი II. ტვირთის მიწოდების სისტემის სინთეზი:

ბიჯი 1. ხორციელდება ცხრილის პირველ ორ სტრიქონში შემავალი მოდულების ყველა დაწყვილებული კომბინაციის სინთეზი. შედეგად მიღებული მოდულების დაწყვილებული კომბინაციები ფასდება Y_{f1} ტიპის კრიტერიუმების მიხედვით (ანუ იმ კრიტერიუმების მიხედვით, რომლებიც განსაზღვრულია უშუალოდ ვარიანტის ფორმირების პროცესში) და ხდება მათი რანჟირება.

ბიჯი 2. ამ კომბინაციებიდან შეირჩევა ყველაზე ოპტიმალური ვარიანტი სინთეზის შემდეგი ეტაპისთვის, დანარჩენები კი რეზერვირდება.

ბიჯი 3. წინა ბიჯზე მიღებული ვარიანტი გაერთიანებულია ცხრილის შემდეგი სტრიქონის (მე-3 სტრიქონის) მოდულებთან. შედეგად მიღებული კომბინაციები ასევე ფასდება Y_{f1} ტიპის კრიტერიუმების მიხედვით და ხდება მათი რანჟირება. ყველაზე ოპტიმალური ვარიანტი შეირჩევა შემდეგი სინთეზის ბიჯისთვის.

…… (ბიჯები 4 ÷ к) ……..

ბიჯი К. ბიჯი 3 მეორდება სისტემაში ცხრილის k-ური სტრიქონის მოდულების ჩასართავად.

თუ к-ურ ბიჯზე არ მიიღება დამაკმაყოფილებელი კომბინაცია Y_{f1} ტიპის კრიტერიუმების მიხედვით, განვიხილავთ რა (k-1)-ურ ბიჯზე მიღებულ ყველა კომბინაციას k-ურ სტრიქონის მოდულებთან, მაშინ აიღება (k-1)-ური ბიჯის თითო რეზერვირებული ვარიანტი, რათა შეიქმნას კომბინაციები k-ური სტრიქონის მოდულებთან, იმ მომენტამდე, სანამ არ გამოჩნდება დამაკმაყოფილებელი კომბინაცია. თუ დამაკმაყოფილებელი კომბინაცია ვერ მოიძებნა, მაშინ ხდება (k-2)-ურ ბიჯზე დაბრუნება. დაბრუნების ოპერაცია შეიძლება გაგრძელდეს მანამ, სანამ არ გადაიხედება რეზერვირებული ვარიანტები, რომლებიც სინთეზირებულია ცხრილის პირველი ორი სტრიქონის მოდულებისაგან.

…… (ბიჯები к ÷ n-1) ……

ბიჯი n. როდესაც სინთეზის პროცესი ცხრილის ბოლო სტრიქონს მიაღწევს, შედეგად მიღებული ვარიანტები ფასდება არა მხოლოდ Y_{f1} ტიპის კრიტერიუმებით, არამედ Y_{f2} ტიპის კრიტერიუმებითაც (კრიტერიუმები, რომლებიც შეიძლება შეფასდეს მხოლოდ სისტემის ჰოლისტიკური ვარიანტის ჩამოყალიბების შემდეგ). აქ, ამოცანის შემდგომი ამოხსნისათვის შეიძლება იყოს ორი მიმართულება:

1) მიღებულ ჰოლისტიკურ ვარიანტებს შორის შეირჩევა ყველაზე მაღალი ხარისხის და ამოცანის ამოხსნა სრულდება. იგი გამოიყენება, როდესაც ამოცანის ამოხსნის დრო შეზღუდულია. თუმცა, შედეგი არ არის საუკეთესო.

2) მეორე მიმართულების მიზანი მდგომარეობს განსახილველი ჰოლისტიკური სისტემის ვარიანტების დიაპაზონის გაფართოებაში, რაც ზრდის შემუშავებული მიწოდების სისტემის ყველაზე ხარისხიანი ვარიანტის მიღების ალბათობას. ხდება წინა ბიჯებზე დაბრუნება, რათა მოხდეს კომბინაციების რეზერვირებული ვარიანტების გადახედვა. დაბრუნების პროცედურა შეიძლება შეჩერდეს შემდეგ შემთხვევებში:

- როდესაც ყალიბდება ჰოლისტიკური ვარიანტი, რომელიც სპეციალისტის აზრით აკმაყოფილებს ყველა მოთხოვნას;
- როდესაც გენერირებული ინტეგრალური ვარიანტების რაოდენობა აღწევს სპეციალისტის მიერ დადგენილ გარკვეულ ზღვარს;
- როდესაც ამოცანის ამოხსნისათვის გამოყოფილი დრო შეზღუდულია.

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ შემოთავაზებული მათემატიკური აპარატი (მიწოდების სისტემის მოდულური მოდელი, მიწოდების ხარისხის დონის შეფასების მეთოდოლოგია, ეტალონური შედარების მოდელი, მიწოდების ვარიანტების გენერირების ალგორითმი), ასევე მიწოდების ხარისხის შეფასების პარამეტრების კომპლექსი საშუალებას იძლევა ექსპერტთა მოსაზრებების გათვალისწინებით ინფორმაციის განუზღვრელობის პირობებში, რთული სისტემების ფუნქციონირების ფაქტორების სიმრავლისას კომპლექსურად და მოქნილად გადაიჭრას ტვირთის მიწოდების სისტემის შერჩევის ამოცანა. წარმოდგენილი სტატიის ძირითადმა დებულებებმა პრაქტიკული გამოყენება შეიძლება ჰპოვოს ლოგისტკურ ცენტრებში, სატრანსპორტო და საექსპედიტორო კომპანიების მუშაობაში, ტვირთის მიწოდების სისტემის შემუშავებისას.

გამოყენებული ლიტერეტურა

1. ლ. ბოცვაძე, მ. მებურიშვილი, ვ. ბოცვაძე, დ. შარაფიძე. ინტერმოდალური გადაზიდვების მართვა. სახელმძღვანელო. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, აწსუ-ს გამომცემლობა, 2015.521გვ.
2. ლ. ბოცვაძე, კ. ერაძე, ო. გელაშვილი, ვ. ბოცვაძე. სატრანსპორტო-ლოგისტიკური ინტეგრირებული განაწილებითი სისტემები. მონოგრაფია, სახელმძღვანელო: გაანგარიშება, მოდელირება, ოპტიმიზაცია, პროექტირება. წიგნი I – II – III. თბილისი, საქართველოს ბიზნესის აკადემია. გამომცემლობა „დიზაინპრინტექსპრესი“. 2014. – 576 – 629 – 520 გვ.
3. Емельянов С. В., Ларичев О. И. Многокритериальные методы принятия решении. – М.: Экономика, 2004. - 320 с.
4. А.Ю. Тюрин. Математическая модель интегрированной системы поставок и сбыта протукции. https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-integrirovannoy-sistemy-postavok-i-sbyta-produktsii/viewer
5. О. Д. Покровская, О. Б. Маликов , М. А. Зачешигрива. Морфология теминаьных сетей https://cyberleninka.ru/article/n/morfologiya-terminalnyh-setey/viewer

Selecting a cargo delivery system

Malkhaz Meburishvili[1], Tea Tskipurishvili[2]

[1]Doctor of Engineering, Associate Professor at the Faculty of Technical Engineering, Akaki Tsereteli State University, Georgia, Kutaisi E-mail:malxazmeb@mail.ru

[2]Doctor of Engineering, visiting teacher at the Faculty of Technical Engineering, Akaki Tsereteli State University, Georgia, Kutaisi E-mail:tealotea@mail.ru

Abstract:

To increase the efficiency of cargo delivery, a cargo delivery system selection methodology has been developed, which takes into account the multivariate nature of the delivery selection problem and the integration of goods distribution processes, which is determined by the requirements for production and resource efficiency. A diagram of the formation of an integrated delivery system has been drawn up; the task of selecting modules from many modules available on the market that would satisfy certain requirements of a specific user at a specific time and achieve the set goal has been worked out. The essence of the modular principle of forming an integrated cargo delivery system has been analyzed; a diagram of the formation of an integrated delivery system has been drawn up and the main modules of the delivery system are shown.

The model of an integrated cargo delivery system and the process of implementing its formation in stages have been considered mathematically.

Related to the delivery system - the methods and sources of information for determining the values of delivery quality assessment parameters are given in the form of a table. The element of fuzzy set theory "membership function" is used to represent the subjective requirements and expectations of the client in the delivery process. Based on the analysis of statistical data on the demand for transport services, types of membership functions are proposed according to certain parameters to assess the quality of cargo delivery. A methodology for selecting a cargo delivery system is developed taking into account the multi-criteria factor and the task of selecting a cargo delivery system in the presence of several criteria based on fuzzy sets. Morphological analysis and synthesis methods are used to solve the problem of generating variants; based on the analysis of morphological methods and features of the delivery system formation task, a special morphological table for solving the task was developed.

Keywords: delivery efficiency, methodology, multivariance, modular principle, model, integrated system, morphological analysis, synthesis methods.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.54



Use of artificial intelligence in automated transportation management

Emeliane Gogilidze[1]; **Natia Gogilidze**[2]
Georgian Technical University
[1]Gogilidzeemeliane05@gtu.ge; Emelianegogilidze1g@gmail.com
[2]**Nataligogilidze@gmail.com**

Abstract

Artificial Intelligence **(AI)** is one of the most important and rapidly developing areas of modern technological progress, which has had a fundamental impact on the development of modern society.

The development of **AI** over the past decades has significantly changed our perception of technological possibilities and opened new horizons in almost all areas.

Most industries, including logistics, have been transformed by the development of new technologies such as AI. Autonomous vehicles, warehouse automation, predictive analytics and smart roads are all examples of technologies that are now becoming the new norm.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), automated transportation, logistics.

1. The importance of artificial intelligence in human life

Most jobs that are being replaced by computers or robots involve jobs that require a high school education. However, now that computer algorithms are becoming increasingly sophisticated, this wave may reach positions requiring higher education as well. In today's modern era full of challenges, the boundaries and barriers between people have been erased thanks to technological advancements. The question is often asked: what has man-made technology changed in our lives? - The most important change is the absence of borders. The introduction of artificial technologies is happening very fast, and this process will accelerate even more.

Artificial Intelligence (AI) is a field of computer science that aims to create an intelligent computer machine/program capable of achieving the level of human intelligence. Determining the level of intelligence depends largely on the task at hand. Artificial intelligence technology acts automatically, guided by its own motivations and emotions, and has the ability to interact with people and the environment. They believe that the definition of the term should consider categories such as: nature, autonomy, purpose, operating environment and human-robot communication. However, to date, there is no universally accepted definition of the term **(Fig. 1):**



Fig. 1. Artificial intelligence is used in almost all spheres of human activity

The world is evolving and artificial intelligence is rapidly entering and has already entered the organization of human life.

2. Artificial Intelligence in Transportation

Today, "smart" traffic lights in megacities can hardly surprise anyone. Many motorists know that cameras constantly analyze the traffic situation and help regulate traffic. But this is only one way of using artificial intelligence (AI) in transportation. There are others. For example, unmanned vehicles, and not only passenger cars, but also, say, harvesters or trucks. In addition, automation helps to control the proper operation of various ground transportation systems [1-3].

Today, with the help of AI, driver fatigue monitoring systems are being tested and are beginning to be implemented. This is especially important for public transportation (buses, trolleybuses, streetcars, metro trains). There are various reasons why a driver can fall asleep at the wheel and cause an accident. But with the new system, this will not happen. - A special camera constantly "looks" at the driver and analyzes his condition. Based on many indicators (for example, movements, blinking frequency, facial expressions), the electronics determines the degree of fatigue of a person. And if the computer notices that the driver has started to fall asleep, it gives a signal to wake him up and bring him to his senses.

Artificial intelligence can be used to develop automated systems to control traffic flows, optimize routes and schedules, and create self-driving cars and drones.

- **Unmanned cars (self-driving cars)** - a system based on AI gently guides a car through the streets in compliance with all traffic rules. During the entire period of testing, such cars have not provoked a single accident.
- **Public transport** – an AI on public transport does not "drive" itself yet - it only assists the driver. The artificial brain constantly analyzes the traffic situation (traffic signals, road signs, traffic, other vehicles and pedestrians), predicts its development, promptly identifies possible dangers and, in case of their occurrence, signals the driver. If the person has not reacted in any way, and the danger is getting closer, the system activates automatic braking of the streetcar.
- **Applied to railroads** - an AI-based railroad dispatcher assistant system has been developed. It is capable of predicting, modeling and optimizing the movement of trains to make their schedules more accurate and reduce the likelihood of accidents. - The smart system analyzes the situation on the railroad in front of the train and, by recognizing other trains, switches, tracks and people, helps to avoid emergencies. Where a person might not notice something, the electronics see everything and signal the driver [4-8].

- **Agriculture** - a system of autonomous control of agricultural machinery (combine harvester, tractor, sprayer) based on artificial intelligence technologies has been in operation for a long time. It allows to entrust the control of the machine to a robot-assistant, and the operator can concentrate on controlling the quality of field cultivation or harvesting. Unlike a car, a combine harvester is a complex set of systems, a whole mobile "factory". In addition to the movement itself, harvesters perform dozens of other harvesting procedures, and it can be difficult for the operator to keep track of everything at once. Now a person will be able to control only the key functions, leaving the most complex of them - motion control - to a robot. - According to experts, a tractor with autopilot can increase tillage productivity by up to 20%, seed savings by up to 40% and yields by up to 10%.
- **Logistics** - being in a highly competitive marketplace, operating efficiently and flexibly allows any company to gain a leading position in its field. Therefore, companies are looking for tools to help them make decisions and optimize their processes to improve operational efficiency, meet customer needs and reduce costs. Now, new technologies and

AI in particular are playing a key role in solving ambitious challenges. According to the authoritative research company Gartner, in 2024, about 50% of logistics companies will invest in AI-enabled technologies **(Fig. 2):**

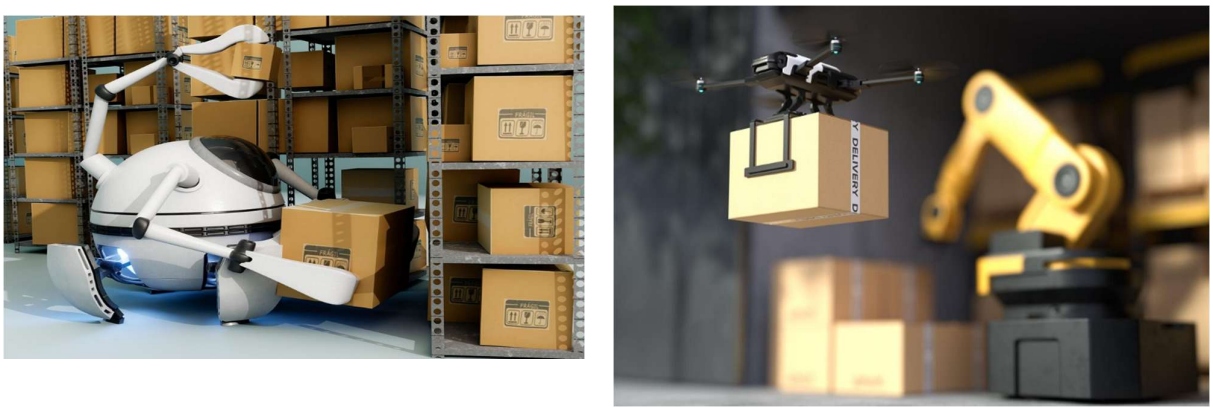


Fig. 2. An AI in logistics

An AI, using machine learning methods, collects data and, based on this, makes its own predictions and creates an optimal route, determining the delivery time very accurately. Data for analysis can be: type of customer, delivery area, floor, size and weight of the parcel, etc. It can also use data on traffic congestion during peak hours, road and weather conditions **(Fig. 3):**

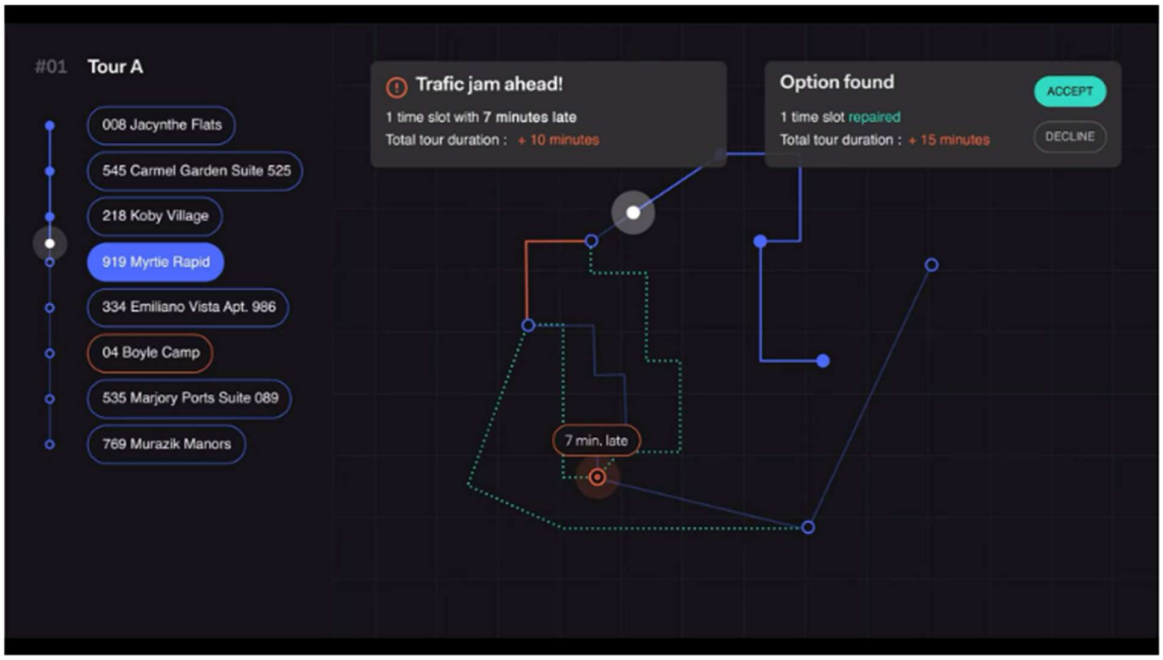


Fig. 3. A schematic of how AI works

Benefits:

- Fewer kilometres travelled;
- Lower costs and shorter delivery times;
- Higher service quality and customer satisfaction;
- Reduced CO2 emissions.

The development of artificial intelligence also has challenges:

➢ **Privacy and Security:** with AI systems capable of collecting vast amounts of information, there is a need to protect personal data, tighten data management rules and develop new policies [9-12].

➢ **Labour force reduction and employment issues:** the automation of industries will lead to significant changes in the labour market, which will require changes in social security policies and adaptation to new labour market requirements.

➢ **Transparency and explanation:** most AI models use a 'black box' effect, which means that their decision-making process is difficult to understand or opaque. This makes them difficult to use in areas where it is important to explain the logic behind decisions [13-17].

➢ **Responsibility and accountability:** who is responsible for the decisions made by artificial intelligence and the damage it causes? This question is particularly important in the sector of autonomous systems such as unmanned cars, as it is difficult to determine who is ultimately responsible - the system creator, the creator or the user [17-20].

3. Conclusion

As can be seen from the examples described above, AI already has a lot of possible applications in transport (public transport, railways), agriculture and logistics. Any tasks that require analysing large

amounts of data, accounting or calculating anything with the help of AI are solved much faster and more efficiently.

Of course, setting up and training any automated system based on artificial intelligence is a rather complex, lengthy and expensive process, but if the process is organised correctly, all investments will more than pay for themselves in the medium term. At the same time, it should be realised that AI technologies are now developing at a very rapid pace, and as they develop, they become more affordable.

The mission of artificial intelligence is twofold: it exists to enhance and improve human life, while encouraging us to use it wisely and ethically. When intelligently designed and used, AI can help create a more efficient, just and sustainable world. But like any powerful tool, it needs careful guidance to ensure that it truly serves humanity's best interest.

- Will AI change the world for the better? - I hope so.

References:

1. Gogilidze, E., & Gogilidze, N. (2023). Intelligent Transport Systems Challenges and achievements. Georgian Scientists, 5(4), 365–377. https://doi.org/10.52340/gs.2023.05.04.34
2. E. Gogilidze, N. Gogilidze, "The impact of modern information and communication technologies on the formation of society". International scientific-practical conference: „Modern challenges and achievements in information and communication technologies“, 2023, pp. 365-375.
3. E. Gogilidze, "Wireless data transmission technologies and their importance". "Automated systems of labormanagement". 2017 No. 1 (23). p. 84-92.
4. E. Gogilidze, “Embedded Systems and XXI Century”. Set of scientific researches of II International Scientific and Technical Conference "Modern problems of power engineering and ways of solving them", 2020, pp. 205-210.
5. E. Gogilidze, "Wireless data transmission technologies and their importance". "Automated systems of labormanagement". 2017 No. 1 (23). p. 84-92.
6. E. Gogilidze, “Embedded Systems and XXI Century”. Set of scientific resea- rches of II Inte- rnational Scientific and Technical Conference "Modern problems of power engineering and ways of solving them", 2020, pp. 205-210.
7. Doborjginidze G., Petriashvili L. (2020) “Improving Efficiency of Inventory Identification System” European Science Review, Issue 1-2. DOI: https://doi.org/10.29013/ESR-20-1.2-84-88
8. Giorgi Doborjginidze, Lily Petriashvili, Mariam Inaishvili (2021) Optimization of Inventory Management in the Supply Chain. Journal of Communication and Computer, David Publishing Company 16 (2021) 1-5 DOI: https://doi.org/10.17265/1548-7709/2021.01.001
9. Giorgi Doborjginidze, Lily Petriashvili, & Mariam Inaishvili. (2020). IMPROVE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF SUPPLY CHAINS USING SMART CONTRACTS. International Academy Journal Web of Scholar, (8(50), 1-6. https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30122020/7261
10. Nona Otkhozoria, Lily Petriashvili, Ani Kudukhashvili, and Nino Kakhurashvili. 2023. “COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPLEX INFORMATION SYSTEM TESTING METHODS”. World Science, no. 4(82) (November). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122023/8076

11. Tamar Bitchikashvili, Liliy Petriashvili, and Luka Kavtelishvili Jang. 2023. “DIGITALIZATION OF MANAGEMENT OF A HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION, NATIONAL AND INTERNATIONAL CHALLENGES AND WAYS OF SOLUTION”. World Science, no. 3(81) (September). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092023/8032
12. Kiknadze, M., Kapanadze, D., Zhvania, T., & Petriashvili, L. (2022). Analysis of factors affecting on e-governance and development of a cognitive model of its development. Journal of Social Studies, 9(3), 126-133. https://doi.org/10.46361/2449-2604.9.3.2022.126-133
13. Petriashvili, L., Kaishauri, T., & Otkhozoria, N. (2024). Artificial Intelligence for Decision Making in the Supply Chain. Journal of Technical Science and Technologies, 8(1), 30–34. https://doi.org/10.31578/jtst.v8i1.152
14. L. Petriashvili, Z. Modebadze, T. Lominadze, M. Kiknadze, N. Otkhozoria and T. Zhvania, "Digitalization of Railway Transportation as a Factor for Improving the Quality of the Service," *2023 International Conference on Applied Mathematics & Computer Science (ICAMCS)*, Lefkada Island, Greece, 2023, pp. 150-153, DOI:10.1109/ICAMCS59110.2023.00031
15. Gavardashvili, G., Surguladze, G., Petriashvili, L., Zhvania , T., & Topuris, N. (2024). AUTOMATED CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF BLACK SEA ECOMONITORING INFORMATION SYSTEM. 2024 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), 12, 284–287. https://doi.org/10.1109/blackseacom61746.2024.10646252
16. https://www.apptunix.com/blog/ai-in-transportation/ .
17. https://alliance.net/ru/blog/detail/how-does-ai-%D1%81hange-the-logistics-industry/ .
18. https://www.neilsahota.com/what-is-artificial-intelligence-how-does-it-work/ .
19. https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/news/kak-iskusstvennyy-intellekt-pomogaet-uluchshit-situatsiyu-na-transporte/ .
20. https://sitec-it.ru/blog/1c-wms/iskusstvennyy-intellekt-v-logistike-5-konkretnykh-primerov-primeneniya/

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.55



ჰარმონიკული რეზონანსის კვლევა მაღალი ძაბვის ქსელში

გვანცა ბარდაძე, ირაკლი გორდიაშვილი

სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

gvantsa.bardadze.gb@gmail.com , gordiashvili@gmail.com

რეზიუმე

თანამედროვე ელექტროენერგეტიკული სისტემები სწრაფად იცვლება განახლებადი ენერგიის წყაროების, განსაკუთრებით ქარისა და მზის ენერგიის მზარდი ინტეგრაციის ფონზე. ენერგიის აღნიშნული წყაროები ხშირად ოპერირებენ ინვერტორული ტექნოლოგიებით, რომლებიც ელექტრონულად უკავშირდება ელექტრულ ქსელს და წარმოქმნის ჰარმონიკულ სიგნალებს სხვადასხვა სიხშირული რიგების სახით. მაღალი სიხშირის ჰარმონიკების შესწავლა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაშინ, როდესაც განახლებადი ენერგეტიკული წყაროები ერთვება მაღალი ძაბვის გადაცემის ან ქვეგადაცემის დონეებზე. ასეთ შემთხვევებში, გარდა იმისა რომ ჰარმონიკულად ბინძურდება მთელი ელექტრული სისტემა, იზრდება ელექტრული ქსელში ჰარმონიკული რეზონანსის გაჩენის რისკი, რაც უარყოფითად აისახება ქსელის სტაბილურობასა და ელექტროენერგიის ხარისხზე. სწორედ ამიტომ კრიტიკულად მნიშვნელოვანია მაღალი ძაბვის ქსელის სიხშირული მახასიათებლების, კომპლექსური წინაღობებისა და პოტენციური რეზონანსული წერტილების სიღრმისეული გამოკვლევა, რაც ხელს შეუწყობს ამ ფენომენთან დაკავშირებული რისკების დროულ იდენტიფიცირებას, შერბილებისა და ჩახშობის ღონისძიებების დროულ შერჩევას და სისტემის სტაბილურობისა და ენერგიის ხარისხის შენარჩუნებას განახლებადი ენერგიის მზარდი ინტეგრაციის პირობებში.

ჰარმონიკული რეზონანსი წარმოიქმნება ისეთ შემთხვევებში, როდესაც ჰარმონიკული კომპონენტების სიხშირე ემთხვევა ელექტრული ქსელის ბუნებრივ რეზონანსულ სიხშირეს. ასეთ თანხვედრა იწვევს ჰარმონიკების ამპლიტუდების გაძლიერებას, რამაც საბოლოო ჯამში შესაძლოა სისტემის ელემენტების დაზიანებამდე კი მიგვიყვანოს.

დამატებით სირთულეს ქმნის განახლებადი გენერაციის დეცენტრალიზებული სტრუქტურა. ტრადიციული ცენტრალიზებული ელექტროსადგურები, როგორც წესი, გამოირჩევიან იმპედანსური მახასიათებლების სტაბილური და პროგნოზირებადი ქცევით, რაც ამარტივებს მათ შესწავლას. სამწუხაროდ, სწრაფად ცვალებადი განახლებადი გენერაციების შემთხვევაში ეს ასე არ არის. ასეთი რესურსები ფართოდ არის განლაგებული სხვადასხვა რეგიონში და მათი

სიმძლავრე მუდმივად ცვალებადია, რაც იწვევს გენერირებული სიხშირული სპექტრებისა და ტოპოლოგიური იმპედანსების მუდმივ, დინამიკურ ცვლილებებს. ეს ყოველივე საბოლოო ჯამში ართულებს ჰარმონიკული რეზონანსის მოვლენების წინასწარ შეფასებასა და მათ მართვას რეალურ დროში.

აღსანიშნავია, რომ წინამდებარე კვლევა წარმოადგენს კომპლექსური და მრავალგანზომილებიანი ანალიზის ნაწილს, რომელიც კვლავაც მიმდინარეობს. გამომდინარე თემის ტექნიკური სირთულიდან, ავტორები განაგრძობენ მონაცემთა შეგროვებას, სიხშირული მოდელების დახვეწას და სისტემური სიმულაციების განხორციელებას, რათა მიღწეული იქნეს უფრო ზუსტი და გამოყენებადი შედეგები. კვლევის გაგრძელება მიზნად ისახავს ჰარმონიკული რეზონანსის პრევენციის ინსტრუმენტების შემუშავებას, ოპტიმალური ფილტრაციის სტრატეგიების დაგეგმვას და მათ შემოწმებას მოდელირებულ გარემოში. კვლევის საბოლოო მიზანია ისეთი პრაქტიკული მიდგომისა და მეთოდების ჩამოყალიბება, რომელიც შესაძლებელს გახდის განახლებადი ენერგიის წყაროების უსაფრთხო ინტეგრაციას ელექტრულ სისტემაში, მინიმალური ტექნიკური რისკითა და მაქსიმალური ეფექტურობით.

საძიებო სიტყვები: განახლებადი ენერგია, ჰარმონიკები, ჰარმონიკული რეზონანსი, ჰარმონიკული ანალიზი, ჰარმონიკული დამახინჯება, ელექტრული სისტემა, ელექტრული ქსელი, სიხშირული სკანირება.

შესავალი

თანამედროვე ელექტრულ სისტემებში აქტიურად მიმდინარეობს ცვალებადი განახლებადი ენერგიის წყაროების, მათ შორის მსხვილმასშტაბიანი ქარისა და მზის პროექტების მასიური ინტეგრაცია [1]. ეს განახლებადი წყაროები, რომლებიც ენერგოსისტემასთან დაკავშირებისთვის იყენებენ ელექტრონულ ინვერტორებს, ქსელში წარმოქმნიან სხვადასხვა სპექტრალური რიგის ჰარმონიკებს. პროექტების მასშტაბებიდან გამომდინარე, გენერაციის წყაროები შესაძლოა დაუკავშირდნენ როგორც ქვეგადაცემის, ისე გადაცემის ძაბვის დონეებს, რაც ჰარმონიკული რეზონანსის გაჩენის ყურადსაღებ რისკს წარმოშობს. შესაბამისად, აუცილებელი ხდება ქსელის მაღალსიხშირული იმპედანსების და პოტენციური რეზონანსული წერტილების სიღრმისეული შესწავლა [2], [3], [4].

ინვერტორზე დაფუძნებული განახლებადი გენერაციის მასობრივად დანერგვას თან ახლავს ჰარმონიკებთან დაკავშირებული მნიშვნელოვანი ტექნიკური გამოწვევები. ინვერტორები წარმოქმნიან ჰარმონიკულ დენებს, რომლებიც ურთიერთქმედებენ ქსელის ბუნებრივ რეზონანსულ სიხშირეებთან. როდესაც ინვერტორების მიერ წარმოქმნილი ჰარმონიკები ემთხვევა ამ რეზონანსულ სიხშირეებს, ეს იწვევს ჰარმონიკული დამახინჯების გაძლიერებას, რაც აუარესებს ენერგიის ხარისხს და შეიძლება სისტემურ არასტაბილურობამდეც კი მიგვიყვანოს [2], [3], [4].

გარდა ამისა, განახლებადი ენერგიის დეცენტრალიზებული ბუნება არსებითად ცვლის ელექტრული სისტემის იმპედანსურ პროფილს. განახლებადი წყაროების ცვალებადობა წარმოშობს დინამიკურ ცვლილებებს სიმძლავრის ნაკადებსა და ქსელის კომპლექსურ

წინაღობებში, რაც ქმნის რეზონანსულ რისკებს, რომელთა პროგნოზირება და მართვა საკმაოდ რთულია [2], [3], [4].

ჰარმონიკული რეზონანსის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული სიმპტომია ძაბვის ანომალური დამახინჯება, განსაკუთრებით ისეთ წერტილებში, სადაც არაწრფივი დატვირთვა ან ინვერტორული გენერაცია არ არსებობს. საერთო ჯამში, ჰარმონიკული რეზონანსი მრავალმხრივ საფრთხეს უქმნის ელექტრულ ქსელებს და მათ შემადგენელ კომპონენტებს. ის იწვევს ენერგიის ხარისხის მნიშნელოვან გაუარესებას, მოწყობილობების დაზიანებას, ექსპლუატაციის ხარჯების ზრდას და უსაფრთხოების პრობლემებს. ამ ფონზე, ჰარმონიკების ანალიზის ჩატარება, ქსელის სისტემური დაგეგმარება და შესაბამისი დამცავი ტექნოლოგიების გამოყენება აუცილებელი ხდება მდგრადი და საიმედო ელექტრული სისტემის უზრუნველსაყოფად.

ნაშრომში წარმოდგენილია მოდელირებითა და სიმულაციით მიღებული შედეგები, რომლებიც ნათლად გვიჩვენებს თუ როგორ ცვლის განახლებადი ენერგიის დეცენტრალიზებული ბუნება ქსელის იმპედანსურ პროფილს და რა სირთულეებს ქმნის ეს ჰარმონიკების მართვის კუთხით. ამ კვლევაში, რომელიც წარმოადგენს მასშტაბური კვლევის მხოლოდ მცირე ნაწილს, ძირითადი ყურადღება ეთმობა პროაქტიული სტრატეგიების საჭიროებას, მათ შორის ოპტიმიზებული ფილტრაციის სისტემებისა და რეალურ დროში გაზომვისა და ანალიზის სისტემების დანერგვას, რათა მოხდეს ჰარმონიკებთან დაკავშირებული პრობლემების ეფექტური მართვა და ნეგატიური გავლენების მინიმიზაცია.

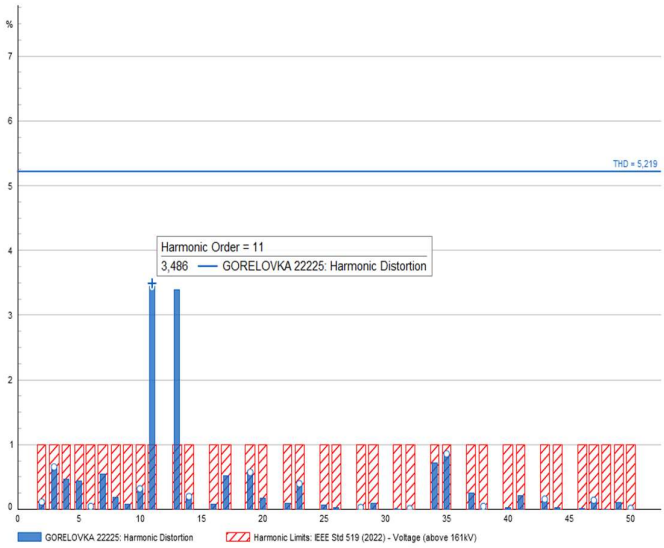
ჰარმონიკული ნაკადგანაწილებისა და სიხშირული სკანირების შედეგები

ქსელის სხვადასხვა რეჟიმში ჩატარებულმა ჰარმონიკულმა ანალიზმა გამოავლინა რიგი მნიშვნელოვანი ფაქტორები, რომელთაც განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ელექტრული სისტემის განვითარების ყველა ეტაპზე. ამ ფაქტორების შეჯამება შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოყალიბდეს:

- **განახლებადი ელექტროსადგურების მასიური ინტეგრაციის გავლენა ჰარმონიკულ დამახინჯებაზე:** ქარისა და მზის სადგურების ინტეგრაცია მნიშვნელოვნად ცვლის ქსელშის ძაბვის ჰარმონიკულ სპექტრებს. ინვერტორებზე დაფუძნებული გენერაციის წყაროები ზრდიან ჰარმონიკულ, ინტერჰარმონიკულ და სუპრაჰარმონიკულ კომპონენტებს, რაც ცალკეული ჰარმონიკების (IHD) და ჯამური ჰარმონიკული დამახინჯების (THD) დონეების გადაჭარბებას იწვევს გარკვეულ კვანძებში, რაც შესაძლოა გასცდეს ქსელის წესებით განსაზღვრულ დასაშვებ ზღვრებს.
- **ინვერტორების ტექნიკური მახასიათებლების მნიშვნელობა განახლებად სადგურებში:** იმისათვის, რომ არ მოხდეს ჰარმონიკული პროფილის გაუარესება, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმ ინვერტორების ტექნიკურ პარამეტრებს, რომლებიც გამოიყენება განახლებადი ენერგიის წყაროებზე მომუშავე სადგურებში. ყურადღება უნდა გამახვილდეს მათი მიერ წარმოქმნილ ჰარმონიკულ, ინტერჰარმონიკულ და სუპრაჰარმონიკულ კომპონენტებზე და მათ ამპლიტუდებზე. ამ პარამეტრების ნორმის ფარგლებში შენარჩუნება ხელს შეუწყობს ქსელში ძაბვის ჰარმონიკული დამახინჯების შემცირებას.

- **ქსელთან შეერთების სპეციალური მეთოდების შემუშავების აუცილებლობა:** ინვერტორზე დაფუძნებული სადგურებისა და არახაზოვანი დატვირთვების ქსელთან უსაფრთხო ინტეგრაციისთვის საჭიროა სპეციალური მიდგომების შემუშავება, რომლებიც მაღალი სიზუსტით შეაფასებენ მათ გავლენას ქსელზე. ასეთმა მეთოდებმა უნდა მოიცვას ფონური ჰარმონიკების გაძლიერების შეფასება და მათი შესაძლო ზეგავლენის პროგნოზირება, რათა მოხდეს უარყოფითი გავლენის მინიმიზაცია.
- **დატვირთვების რეაქტიული სიმძლავრის გავლენა ჰარმონიკულ პროფილზე:** დატვირთვების მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ჰარმონიკულ დამახინჯებაზე. ანალიზმა აჩვენა, რომ რეაქტიული სიმძლავრის შემცირება, როგორც წესი, არსებითად ამცირებს როგორც ცალკეულ ჰარმონიკულ, ისე ჯამურ ჰარმონიკულ დამახინჯებებს ენერგოსისტემის უმეტეს კვანძში.

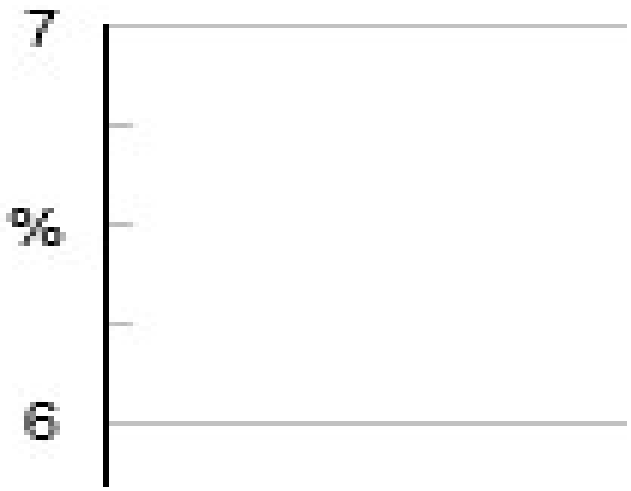
ჰარმონიკული ანალიზის ზოგიერთი კონკრეტული შედეგი, რომელშიც კარგად ჩანს ჯამური და ინდივიდუალური დამახინჯებების გადახრა დასაშვები ზღვრებიდან 1,2,3 და 4 ნახაზებზეა მოცემული. სიმულაციებმა გამოავლინა ელექტრული ქსელის ისეთი კვანძები, რომლებშიც ცალკეული და ჯამური ჰარმონიკული დამახინჯების მაჩვენებლები აღემატება იმ ზღვრულ მნიშვნელობებს, რომლებიც განსაზღვრულია როგორც ლოკალურ ქსელის წესებში, ასევე, საერთაშორისო სტანდარტებში.



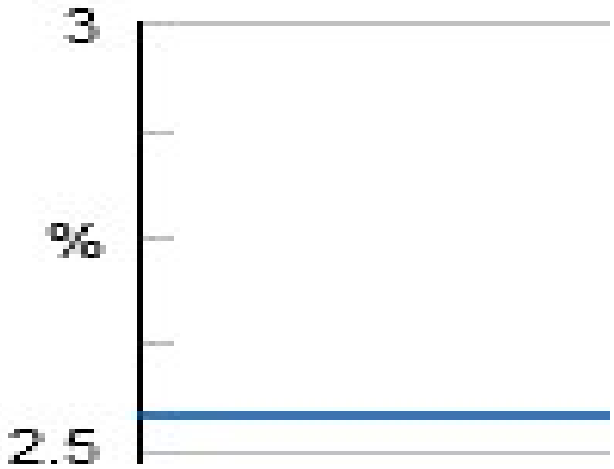
ნახაზი 7 - ინდივიდუალური ჰარმონიკული დამახინჯება ქვესადგურ 1 - ში

როგორც ნახაზ 1 - დან ჩანს ქვესადგურ 1 - ში დომინანტი ჰარმონიკები, რომლთა ამპლიტუდებიც დასაშვებ ზღვრებს მიღმაა, მე -11 და მე-13 რიგისაა.

ქვესადგურ 2-ში, გარდა მე -11 და მე -13 რიგის ჰარმონიკებისა, ყურადღებას იქცევს უფრო მაღალი, კერძოდ კი, 34 -ე და 35-ე რიგებიც.

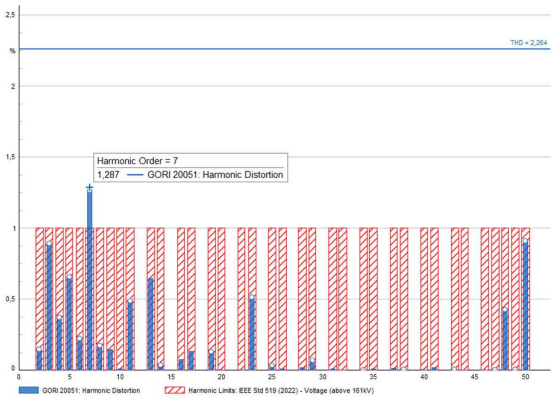


ნახაზი 8 - ინდივიდუალური ჰარმონიკული დამახინჯება ქვესადგურ 2 - ში



ნახაზი 9 - ინდივიდუალური ჰარმონიკული დამახინჯება ქვესადგურ 3-ში

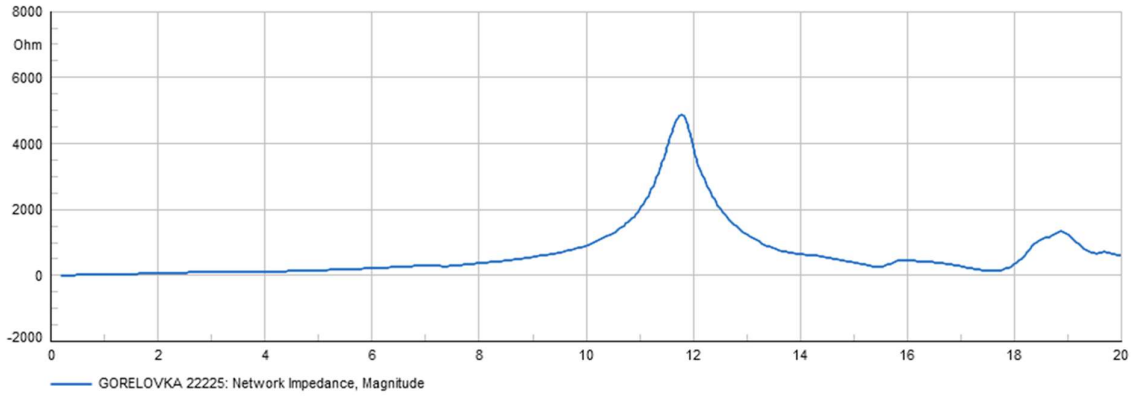
ქვესადგურ 3 - ში მხოლოდ მე-11 რიგის ჰარმონიკა არღვევს დადგენილ ლიმიტს, ქვესადგურ 4 - ში კი, მხოლოდ მე 7 რიგის ჰარმონიკა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზ 3 - ზე და ნახაზ 4 -ზე, შესაბამისად. მხოლოდ ამ მონაცემების ანალიზიც კი გვაძლევს საფუძველს დავასკვნათ, თუ რა ძლიერ არის დამოკიდებული მაღალსიხშირული ტოპოლოგიური სურათი ჰარმონიკული ნაკადგანაწილების შედეგებზე.



ნახაზი 10 - ინდივიდუალური ჰარმონიკული დამახინჯება ქვესადგურ 4 - ში

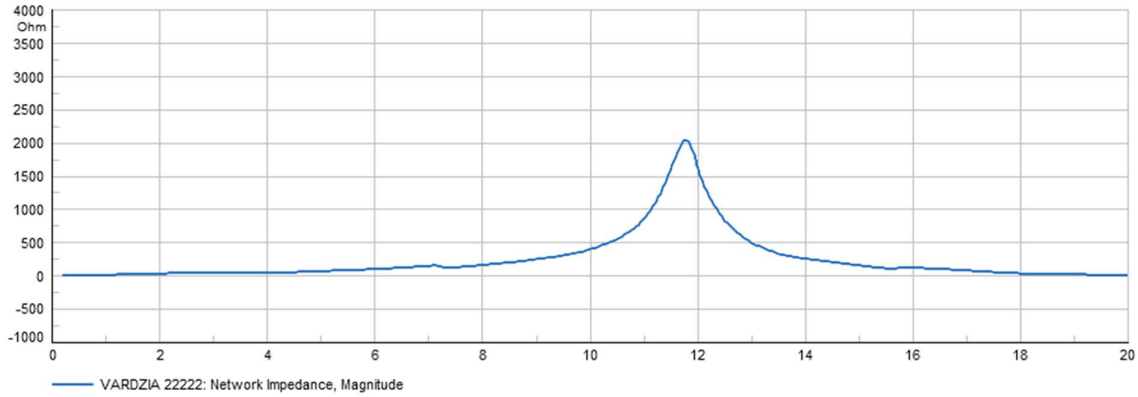
მსგავსი ტიპის ანალიზი ჩავატარეთ უფრო დამძიმებულ, ე.წ. N - 1 რეჟიმებშიც, სადაც შედეგები შედარებით მძიმეა. ეს შეიძლება აიხსნას შემდეგი გარემოებით: ჰარმონიკულ დენებს უწევთ უფრო მაღალი წინაღობების გავლა, რაც საბოლოო ჯამში ჰარმონიკული ძაბვის ვარდნების გაზრდილ მნიშვნელობებში ვლინდება.

გარდა ჰარმონიკული დონეების განსაზღვრისა, კვლევა ითვალისწინებს ქსელის სპექტრული, კომპლექსური წინაღობების შესწავლასაც. ამ მიზნის მისაღწევად, ვიყენებთ ქსელის სიხშირული სკანირების აპრობირებულ მეთოდს. აღსანიშნავია, რომ ამ მეთოდის წარმატებისთვის აუცილებელი პირობაა რომ მოდელში ქსელის კომპონენტების სიხშირული მახასიათებლები მაღალი სიზუსტით იყოს გათვალისწინებული. სიხშირული სკანირების შედეგები ქვესადგურ 1 - ისა და ქვესადგურ 2 - სთვის მე-5 და მე-6 ნახაზებზეა ნაჩვენები.



ნახაზი 11 - სიხშირული სკანირების შედეგი ქვესადგურ 1 - ში

ამ ტიპის სკანირება გვეხმარება დავადგინოთ ქსელის პარალელური რეზონანსული კონტურების ძირითადი სიხშირეები და გავითვალისწინოთ ეს ინფორმაცია, როგორც პრობლემის გამომწვევი ლოკაციების დადგენაში, ასევე ფილტრაციის ღონისძიებებისა და მექანიზმების განსაზღვრაში.



ნახაზი 12 - სიხშირული სკანირების შედეგი ქვესადგურ 2 - ში

მე - 5 და მე - 6 ნახაზებზე ნაჩვენებ მახასიათებლებში, დომინანტი სიხშირე ახლოს არის მე - 11 და მე - 12 რიგებს შორის არის მოქცეული, რაც ნაწილობრივ ხსნის ამ ქვესადგურებში მე - 11 რიგის ჰარმონიკული კომპონენტის გაძლიერებას.

წინასწარი რეკომენდაციები და დასკვნა

მოცემული ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს რამდენიმე საწყისი რეკომენდაცია, რომლებიც მიმართულია ჰარმონიკული დამახინჯების შემცირებისა და რეზონანსული მოვლენების რისკის მინიმიზაციისკენ.

ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ მიდგომად მოიაზრება ჰარმონიკების ჩამხშობი ღონისძიებების გონივრული დაგეგმვა. სწორად გათვლილი პასიური შუნტური ფილტრების გამოყენება შესაძლებლობას იძლევა, შევამციროთ მაღალი ამპლიტუდის მქონე ჰარმონიკული კომპონენტები. რიგ შემთხვევებში შესაძლებელია დადგეს გრძივი ჩამხშობი ელემენტების დანერგვის აუცილებლობაც. ეს ღონისძიებები ემსახურება არა მხოლოდ ჰარმონიკულ ჩახშობას, არამედ რეზონანსული სიხშირეების ხელოვნურ გადანაცვლებას სიხშირულ ღერძზე.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ქსელის იმპედანსურ მახასიათებლებს, რათა მათ არ მოხდეს თანხვედრა ჰარმონიკულ სიხშირეებთან, განსაკუთრებით მოწყვლად კვანძებში. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია ასევე გავლენას ახდენს იმპედანსურ პროფილზე, რაც სასიკეთოდ შეიძლება გამოვიყენოთ ორმაგი სარგებელი შევქმნათ ქსელისთვის.

განახლებადი ენერგიის მაღალი წილით დატვირთულ ქსელებში განსაკუთრებული ყურადღება უნდა გამახვილდეს ინვერტორის ტექნიკურ მონაცემებზე. დაუშვებელია ისეთი ინვერტორების გამოყენება, რომელთა მიერ გენერირებული სიხშირული სპექტრები ვერ აკმაყოფილებს საერთაშორისოდ აღიარებულ დასაშვებ ნორმებს.

ჰარმონიკების რეალურ დროში მონიტორისა და მართვისთვის აუცილებელია ცენტრალიზებული სისტემის დანერგვა. მონიტორინგის გარეშე. რეგულარული გაზომვა შესაძლებელს ხდის, რომ დროულად მოხდეს რეზონანსული მოვლენების იდენტიფიცირება

და მათზე პრევენციული რეაგირება, რაც თავიდან აგვაცილებს მოწყობილობების დაზიანებასა და სისტემურ შეფერხებებს.

საბოლოო ჯამში, აუცილებელია ენერგიის ხარისხზე ყურადღების გამახვილება, ტექნოლოგიების გონივრული დანერგვა და ამ მიმართულებით განვითარების სტრატეგიის მარეგულირებელ ჩარჩოებთან სრული თავსებადობა, რაც გრძელვადიან პერსპექტივაში უზრუნველყოფს ელექტრული სისტემის მდგრად განვითარებასა და განახლებადი ენერგეტიკული წყაროების უსაფრთხო ინტეგრაციას.

ლიტერატურა

[1] K. Bakič, SEERC CIGRE History: Early Electrification and Empowerment of Region where Current Electricity was Born. Ljubljana, Slovenia: Slovenian Association of Electric Power Engineers CIGRE&CIRED, 2020.

[2] G. Arziani, B. Kvatadze, and L. Baramidze, “Analyzing the Behavior of PI Section and T Section High Voltage Line Models in Harmonic Load Flow”, GS, vol. 5, no. 4, pp. 177–187, Nov. 2023. https://doi.org/10.52340/gs.2023.05.04.16

[3] G. Arziani and T. Elizarashvili, “FACTS for effective DER integration into the Georgia distribution grids,” Turk J Electr Power Energy Syst., Published online May 5, 2025. doi 10.5152/tepes.2025.24036.

[4] G. Arziani and G. Chkhaidze, “The Impact of the Level of Detail in the Distributed Parameter Model of a Transmission Line on Its Frequency Characteristics”, GS, vol. 7, no. 2, pp. 493–502, Jun. 2025. https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.44

Harmonic Resonance study in HV Network

Gvantsa Bardadze, Irakli Gordiashvili

Abstract

Modern power systems are undergoing rapid transformation amid the increasing integration of renewable energy sources, particularly wind and solar power. These sources often rely on inverter-based technologies, which interface with the electrical grid through power electronic converters and generate harmonic signals across a range of frequency orders. The study of high-frequency harmonics becomes especially important when renewable energy sources are connected at high-voltage transmission or sub-transmission levels. In such cases, in addition to contaminating the electrical system with harmonics, the risk of harmonic resonance within the power network increases significantly, which can adversely affect grid stability and power quality. Therefore, it is critically important to conduct an in-depth analysis of the frequency characteristics, complex impedances, and potential resonant points of the high-voltage network. Such analysis will facilitate the timely identification of risks associated with harmonic phenomena and enable the selection of optimal mitigation and suppression strategies to ensure the stability and quality of power delivery amid the growing integration of renewable energy.

Harmonic resonance occurs when the frequency of harmonic components coincides with the natural resonant frequency of the electrical network. Such frequency alignment leads to the amplification of harmonic amplitudes, which can ultimately result in damage to system components.

An additional complexity arises from the decentralized nature of renewable generation. Traditional centralized power plants typically exhibit stable and predictable impedance characteristics, making them easier to analyze and model. Unfortunately, this is not the case with rapidly fluctuating renewable energy sources. These resources are widely distributed across different regions and have variable output, leading to dynamic shifts in the generated frequency spectra and grid impedance topologies. Consequently, predicting and managing harmonic resonance phenomena in real time becomes significantly more challenging.

It is worth noting that the present study is part of an ongoing, complex, and multidimensional analysis. Due to the technical complexity of the subject and the dynamic nature of the power system, the authors are continuing their work through expanded data collection, refinement of frequency-domain models, and detailed system simulations to achieve more accurate and applicable results. The continuation of the research aims to develop tools for the prevention of harmonic resonance, plan optimal filtering strategies, and validate these approaches within modeled environments. The ultimate goal of this study is to establish practical methods and approaches that enable the safe integration of renewable energy sources into the power system with minimal technical risk and maximum efficiency.

Keywords: Renewable Energy, Harmonics, Harmonic Resonance, Harmonic Analysis, Harmonic Distortion, Power System, Electrical Network, Frequency Scanning.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.56



Ensuring Occupational Safety in the Medical Sector: Key Problems, Systemic Challenges, and Strategic Recommendations

Omar Lanchava[1], Natalia Bulia[1], Mariami Darakhvelidze [2]

[1]Georgian Technical University, 77, Kostava Street, Tbilisi
[2]LEPL Labour Inspection Office, 15a Tamarashvili Street, Tbilisi

Highlights

- 2023 was the record year for inspections – 47 facilities were monitored.
- No inspections were conducted in the medical sector during 2018–2020.
- The ILO recognizes healthcare as a fundamental human right and critical service.
- Medical institutions are high-risk zones, requiring constant oversight.
- Occupational health and safety are not optional – it is a necessity in healthcare.

Summary

This article provides a detailed overview of the importance of occupational safety in the medical sector, which is one of the most high-risk professional environments. Healthcare workers face daily exposure to a variety of biological, chemical, physical, and psychosocial hazards, making the monitoring of working conditions essential. From 2015 to 2024, the frequency of inspections in Georgia's medical institutions has been inconsistent, with some years (e.g., 2018–2020) showing no inspections at all. Despite these gaps, recent years demonstrate a clear trend toward increased state monitoring. The peak was reached in 2023 with 47 medical facilities inspected, marking a positive shift in enforcement policy. International conventions and ILO guidelines emphasize that occupational safety is vital not only for individual well-being but also for the overall efficiency and reliability of the healthcare system. Therefore, inspections must be carried out consistently, rigorously, and systematically. Such practices ensure the protection of healthcare workers' health and lives and contribute to building a safer and more trustworthy medical sector. In conclusion, strengthening labor inspection in healthcare is not just a legal obligation—it is a strategic investment in public health infrastructure.

Key words: Medical sector; Biological, Chemical, Physical risk factors; Healthcare; Inspection.

I. Introduction

The medical sector is one of the most demanding and high-risk fields globally, requiring a particularly sensitive and structured approach to occupational safety. Unlike many other industries, healthcare professionals face a combination of biological, chemical, physical, and psychosocial hazards on a daily basis. From exposure to infectious agents and toxic substances to patient-handling injuries and emotional burnout, the scope of occupational risk is vast.

Internationally, organizations such as the World Health Organization (WHO) and the International Labor Organization (ILO) emphasize the necessity of implementing effective workplace safety systems in the healthcare sector. Countries with well-established safety protocols demonstrate significantly lower injury rates, higher staff satisfaction, and better patient outcomes.

A proactive approach to workplace health and safety includes hazard identification, risk assessment, and continuous improvement through training, reporting, and preventive action. Developing robust risk management policies not only helps reduce workplace incidents, property damage, legal liabilities, and financial burdens — it also builds a resilient, trusted healthcare organization. Furthermore, safe working environments foster long-term employee engagement and protect public health as a whole. As healthcare continues to evolve, protecting those who care for others must remain a global priority.

2. International Labor Organization approaches.

According to the International Labor Organization (ILO), healthcare is a fundamental pillar of both society and the economy. It is recognized as a basic human right essential for protecting the health and safety of populations. Without a well-supported healthcare workforce, a functioning health system is inconceivable.

To ensure healthcare is high-quality and equitably accessible, it is vital to secure decent working conditions and attract and retain qualified professionals. The United Nations High-Level Commission on Health Employment and Economic Growth (HEEG) has recognized the economic significance of the healthcare sector and its capacity to generate employment. The Commission also emphasizes the urgent need to invest in healthcare as a strategy for sustainable and inclusive economic growth.

The ILO envisions a future where the healthcare sector serves as a driver of economic expansion, enabling job creation and contributing to social equity. Moreover, healthcare is expected to play a key role in achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) — including poverty reduction, quality education, gender equality, and decent work opportunities for youth.

To achieve this goal, the International Labor Organization (ILO) has taken several significant steps, such as Convention No. 149 adopted in 1977. On June 1, 1977, the Governing Body of the International Labor Office convened the 63rd session of the ILO General Conference in Geneva. Recognizing the vital role of healthcare workers in protecting and improving the health and well-being of the population, the members of the Governing Body agreed that the health sector must play an active role in improving employment and working conditions for nursing personnel.

It was also noted that, in addition to general standards, it was necessary to establish a standard specifically tailored for nursing staff, outlining sector-specific requirements. The Governing Body

agreed on common proposals and decided to adopt an international convention, resulting in the adoption of Convention No. 149 in June 1977.

This Convention is complemented by Recommendation No. 157 adopted in 1997, which applies to nursing personnel working in any type of institution. Furthermore, the ILO has developed various guidelines tailored for different areas of the healthcare sector. For example, the "Employment Impact Assessment in the Care Sector" guide, which includes key topics such as current evaluation approaches, employment assessment frameworks, indicators for measuring employment effects, progressive methodologies for assessing impact, and more. Fig. 1 presents the main directions of the work of the International Labor Organization.

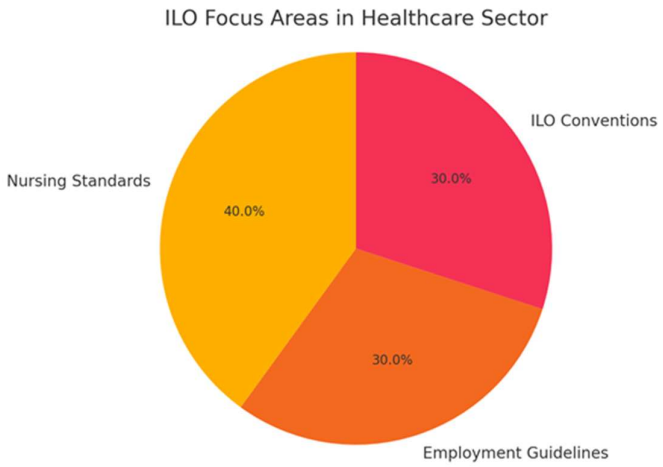


Fig. 1. ILO Focus Areas in Healthcare Sector.

In both developed and developing countries, the share of individuals employed in the healthcare sector differs significantly in relation to the total population, as clearly demonstrated in the table below. The data is based on the ILO & WHO report: *Working for Health: Five-Year Action Plan 2017–2021*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241511308

Table 1. Share of Employment in the Healthcare Sector by Country

No	Country	Share of Employment in Healthcare, %
1	Georgia	6,1
2	Norway	13,5
3	USA	13,2
4	Germany	12,8
5	Japan	11,9

The table illustrates that in developed countries — such as Norway, the United States, Germany, and Japan — the level of employment in the healthcare sector is significantly higher. This suggests that successful economies are often accompanied by strategic investments in health systems. The U.S. healthcare sector stands out for both innovation and employment volume, contributing to its global strength.

In contrast, Georgia shows a notably lower employment rate in healthcare, which indicates the need for increased investment and stronger policy focus. Such comparative analysis helps us understand how employment in healthcare correlates with a country's economic resilience, the quality of social services, and overall population well-being.

Also notable is the International Labour Organization's (ILO) 2018 guideline titled "Occupational Safety and Health in Emergency Situations." This guideline covers: occupational safety and health during emergencies, strategies and tools required during such situations and epidemics, risks during emergency cases, occupational safety and health in radiological incidents, natural disasters, and the management aspects of occupational safety and health under these scenarios.

Occupational safety is a critical aspect for the ILO, reflected clearly in its planned strategies and practical measures.

3. Department of Labor Inspection in Georgia. Activity analysis.

In Georgia, the Ministry of Labour, Health and Social Affairs introduced amendments leading to the establishment of the Labour Conditions Inspection Department by Government Resolution No. 81 in 2015. This department's creation laid the groundwork for its full functioning. With support from the international organization, the Ministry began active work to amend existing legislation and develop new legal acts related to occupational safety and health.

During this period, the functions and responsibilities of the department were redistributed, resulting in its competence being focused primarily on monitoring labor conditions and providing recommendations to employers. At that time, the department lacked the legal mandate to impose sanctions and was limited to conducting inspections on a voluntary basis. In parallel, work began on reviewing the legislative framework and proposing relevant amendments.

In 2018, the Parliament of Georgia adopted the "Law on Occupational Safety," which on February 19, 2019, was granted the status of an Organic Law. Initially, this law applied only to high-risk, harmful, and hazardous work environments. However, from September 1, 2019, its scope was expanded to cover all sectors of economic activity.

In 2020, the "Law on Labour Inspection" was adopted, following which the inspection department was dissolved in 2021. In its place, the Labour Inspection Office was established as a legal entity under public law. This new body gradually increased the scale of inspections across various sectors. In particular, it actively monitored healthcare and social service institutions to supervise the working conditions and safety of employees in the medical field. The legislative history of labor safety in Georgia is summarized in Table 2.

Table 2. Legislative History of Labour Safety in Georgia

Year	Law/Act Name	Short Description
2018	Occupational Safety Law	Law adopted to regulate occupational safety
2019	Organic Law	Law officially became organic
2019	Extended to all economic sectors	Labour safety requirements applied to all sectors
2020	Labour Inspection Law	New law regulating labour inspection
2021	Creation of Labour Inspection Service	Department abolished; Inspection Service established

In 2015, a total of 24 medical facilities were inspected in Georgia, marking one of the most active years in terms of regulatory enforcement. In 2016, the number of inspections dropped significantly, with monitoring carried out in only 5 medical institutions. In 2017, the figure rose again to 24 facilities, indicating renewed regulatory engagement.

In 2018, 2019, and 2020, the statistics show zero inspections in the medical sector, likely due to a shift in priorities during the COVID-19 pandemic in 2020. In 2021, only 4 healthcare facilities were inspected, reflecting minimal activity, although there were some signs of efforts to reestablish oversight.

In 2022, the number of inspections increased substantially, reaching 30 medical institutions, which can be interpreted as an attempt to reinforce regulatory control in the post-pandemic period.

In 2023, a record-high number of 47 medical facilities were inspected, clearly pointing to the peak activation of state supervision mechanisms.

In 2024, 19 facilities were inspected—while this represents a decrease compared to the previous year, it still reflects the ongoing trend of systematic monitoring. (See Diagram on the Fig. 2).

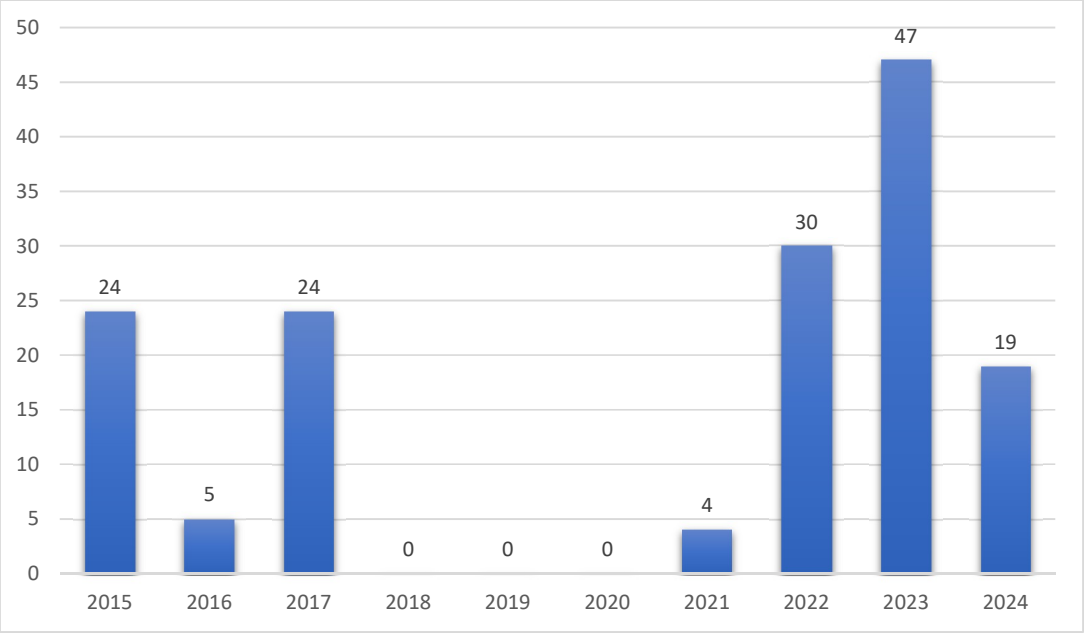


Fig. 2. Inspections carried out by the regulatory authority in the medical sector during 2015-2024

The inspection statistics in the medical sector clearly demonstrate that monitoring intensity has been inconsistent over the years. Particularly concerning are the years in which no inspections were conducted at all, potentially indicating that certain systemic deficiencies went unaddressed during those periods.

Nevertheless, the increased number of inspections in recent years should be seen as a positive trend, reflecting the state's growing commitment to strengthening labor safety in healthcare. Medical institutions are classified as high-risk workplaces, where employees are exposed daily to biological, chemical, physical, and psychosocial hazards. Staff often work with infectious patients, harmful medications, blood, and other risk factors, significantly increasing occupational risk levels.

In this context, ensuring compliance with occupational safety standards is not optional but essential — both for protecting workers' lives and health, and for guaranteeing the continuous and safe operation of healthcare services.

Therefore, inspection must be a regular, strict, and effective process, providing real oversight and contributing to the overall improvement of working conditions in the medical field.

4. Conclusions.

1. **Inspection trends were inconsistent:** Between 2015 and 2024, the frequency of inspections in the medical sector varied significantly, indicating a lack of stable oversight policy.
2. **Several years saw no inspections at all:** In 2018–2020, no inspections were conducted, potentially leaving critical systemic shortcomings unaddressed.
3. **Increased enforcement since 2022:** Recent years have shown a positive trend toward stronger government oversight of occupational safety in healthcare.
4. **The medical sector is a high-risk environment:** Employees are exposed to a variety of biological, chemical, and psychosocial hazards daily, emphasizing the need for continuous monitoring.
5. **Inspections must become a systemic standard:** A regular, strict, and well-structured inspection process is essential to protect staff health and ensure effective functioning of healthcare institutions.

References:

1.Health services sector | International Labour Organization [Internet]. www.ilo.org. 2024. Available from: https://www.ilo.org/industries-and-sectors/health-services-sector

2.The future of work in the health sector [Internet]. 2019. Available from: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_dialogue/%40sector/documents/publication/wcms_669363.pdf

3.Convention C149 - Nursing Personnel Convention, 1977 (No. 149) [Internet]. Ilo.org. 2024 [cited 2025 Jun 24]. Available from: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312294

4.Assessing employment effects for the health and care workforce A guiding framework [Internet]. [cited 2025 Jun 24]. Available from: https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-07/Assessing%20employment%20effects%20for%20the%20health%20and%20care%20workforce%20a%20guiding%20framework.pdf

5.Occupational safety and health in public health emergencies: A manual for protecting health workers and responders Geneva, 2018 contents [Internet]. 2018 [cited 2025 Jun 24]. Available from: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_protect/%40protrav/%40safework/documents/publication/wcms_633233.pdf

6.საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტროს შრომის პირობების ინსპექტირების დეპარტამენტის 2015- 2017 წლების ანგარიში [Internet]. 2018. Available from: https://lio.moh.gov.ge/editor/upload/20230425042928-LCID%20Report%20_2015%20-%202017.pdf

7.საქართველოს ოკუპირებული ტერიტორიებიდან დევნილთა, შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტროს შრომის პირობების ინსპექტირების დეპარტამენტის საქმიანობის 2018 წლის ანგარიში [Internet]. 2018. Available from: https://lio.moh.gov.ge/report/2018.pdf

8.საქართველოს ოკუპირებული ტერიტორიებიდან დევნილთა, შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტროს შრომის პირობების ინსპექტირების დეპარტამენტის 2019 წლის საქმიანობის ანგარიში [Internet]. 2019. Available from: https://lio.moh.gov.ge/editor/upload/20230425042732-LCID-Report-2019-GEO.pdf

9. შრომის პირობების ინსპექტირების დეპარტამენტის 2020 წლის საქმიანობის ანგარიში. https://lio.moh.gov.ge/report/2020.pdf

10. შრომის პირობების ინსპექტირების დეპარტამენტის 2021 წლის საქმიანობის ანგარიში. https://lio.moh.gov.ge/report/2021.pdf

11. სსიპ-შრომის ინსპექციის სამსახურის 2022 წლის საქმიანობის ანგარიში [Internet]. 2022. Available from: https://shorturl.at/EYGni

12. სსიპ-შრომის ინსპექციის სამსახურის 2023 წლის საქმიანობის ანგარიში, https://lio.moh.gov.ge/editor/upload/20240606033109-FINAL%20REPORT_2023_GEO.pdf

შრომის უსაფრთხოების განუხრელი დაცვის აუცილებლობა სამედიცინო სექტორში: არსებული პრობლემები, სისტემური გამოწვევები და სტრატეგიული რეკომენდაციები

ომარ ლანჩავა [1], ნატალია ბულია [1], მარიამი დარახველიძე [2]

[1]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, კოსტავას 77, თბილისი

[2] სსიპ შრომის ინსპექციის სამსახური, თამარაშვილის 15ა, თბილისი

მნიშვნელოვანი მომენტები

- 2023 წელი იყო ინსპექტირების რეკორდული წელი – შემოწმდა 47 ობიექტი.
- 2018–2020 წლებში სამედიცინო სფეროში ინსპექტირება არ ჩატარებულა.
- შრომის საერთაშორისო ორგანიზაცია (ILO) აღიარებს ჯანდაცვას როგორც ადამიანის ფუნდამენტურ უფლებას.
- სამედიცინო დაწესებულებები ითვლება მაღალი რისკის მქონე ობიექტებად, რაც საჭიროებს რეგულარულ ზედამხედველობას.
- შრომის უსაფრთხოება და ჯანმრთელობა არის არა არჩევითი, არამედ აუცილებელი მოთხოვნა ამ სფეროში.

რეზიუმე

სტატია დეტალურად განიხილავს შრომის უსაფრთხოების მნიშვნელობას სამედიცინო სექტორში, რომელიც ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი რისკის შემცველი სფეროა. პერსონალი ყოველდღიურად ექვემდებარება სხვადასხვა სახის საფრთხეს – ბიოლოგიურს, ქიმიურს, ფიზიკურსა და ფსიქო-სოციალურს, რაც შრომის პირობების მონიტორინგის აუცილებლობას განაპირობებს. 2015–2024 წლების პერიოდში ინსპექტირების ინტენსიურობა არაერთგვაროვანი იყო, რაც განსაკუთრებით თვალშისაცემია იმ წლებში, როდესაც საერთოდ არ განხორციელდა ზედამხედველობა. მიუხედავად გარკვეული ჩავარდნებისა, ბოლო წლებიდან მოყოლებული ინსპექტირების მაჩვენებელი მატულობს. 2023 წელს დაფიქსირდა ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი – შემოწმებულია 47 სამედიცინო დაწესებულება. ეს ტენდენცია პოზიტიურად უნდა შეფასდეს და სახელმწიფო პოლიტიკის გაძლიერებაზე მიუთითებს. საერთაშორისო კონვენციები, რეკომენდაციები და სახელმძღვანელოები ხაზს უსვამენ შრომის უსაფრთხოების მნიშვნელობას არა მხოლოდ ინდივიდუალური კეთილდღეობისთვის, არამედ ჯანდაცვის სისტემის გამართულად ფუნქციონირებისთვის. ამდენად, აუცილებელია ინსპექტირების პროცესის მუდმივი, მკაცრი და სისტემური განხორციელება, რაც უზრუნველყოფს ჯანდაცვის სექტორში დასაქმებულთა ჯანმრთელობისა და სიცოცხლის დაცვას და ხელს უწყობს სექტორის სანდოობასა და ეფექტიანობას.

საკვანძო სიტყვები: სამედიცინო სექტორი; ბიოლოგიური, ქიმიური, ფიზიკური რისკ ფაქტორები; ჯანდაცვა; ინსპექტირება.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.57



კავკასიის ენდემური მცენარის *Teucrium nuchense* K.Koch -ის მიწისზედა გენერაციულ და ვეგეტატიურ ორგანოთა ანატომიური აგებულების თავისებურებანი (Labiatae)

მჭედლიძე ქეთევანი[1*], ჯინჯოლია ლიანა[2], კორკოტაძე თეონა[3], ანელი ჯემალ[1]

[1]ს.მ.აკად დოქტორი; ფიტოქიმიის ს/კ დეპარტამენტი, ფარმაკობოტანიკის მიმართულების მთავარი მეც. თანამშრომელი; თსსუ იოველ ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტი,593-580-027, k.mchedlidze@tsmu.edu;
[2]ზ.მ. აკად დოქტორი; ფიტოქიმიის ს/კ დეპარტამენტი, ფარმაკობოტანიკის მიმართულების უფროსი მეც. თანამშრომელი; თსსუ იოველ ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტი, 555-392-953,l.jinjolia@tsmu.edu;
[3]ფ.აკად. დოქტორი; ფიტოქიმიის ს/კ დეპარტამენტი, ტრიტერპენული შენაერთების მიმართულების მეც. თანამშრომელი; თსსუ იოველ ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტი, 593-625-026; t.korkotadze@tsmu.edu;
[4]ს.მ.მაგისტრი; ფითოქიმიის ს/კ დეპარტამენტი, ფარმაკობოტანიკის მიმართულების მეც. თანამშრომელი; თსსუ იოველ ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტი,555-362-777; j.aneli@tsmu.edu

აბსტრაქტი

შესწავლილია საქართველოს ფლორის, როგორც ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების მდიდარი წყაროს კავკასიის ენდემური სახეობის *Teucrium nuchense* K.Koch-ის, მიწისზედა გენერაციული და ვეგეტატიური ორგანოების ანატომიური აგებულების თავისებურებანი. მიკროტექნიკაში მიღებული კამერალური მეთოდებით კვლევის შედეგად გამოვლენილია პერსპექტიული სამკურნალო მცენარის ანატომიური აგებულების სადიაგნოსტიკო მახასიათებლები.

T. nuchense-ს ყლორტის მუხლთშორისის ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედბეი მწყობრად დაგვირისტებულია, სწორხაზოვანი, სუსტად მოხრილ-კუთხოვანი სტრუქტურის, აღჭურვილია ენციკლოციკლური და ტეტრაციკლური ბაგის აპარატით; ბაგეთა ერთმანეთის მიმართ განწყობა ქაოტურია. ყლორტის მუხლთშორისის მონოციკლური ცენტრალური ცილინდრი შედგება უწყვეტი ფლოემისაგან და ერთფეროვანი ქსილების სტრუქტურული ელემენტებისაგან; მერქანში ტრაქეათა და გამტარ ჭურჭელთა სანათურების სიგრძივად მწკრივული ანაწყობები აღიბეჭდება; ყლორტის მერქნის ტრაქეალურ ელემენტთა სანათურები ოვალური და სფეროსებრი მოხაზულობისაა, მათი შიდა ღრუ კი სუსტად კუთხოვანი; გამტარ ჭურჭელთა სანათურების შიდა გარსის გასქელება სპირალური და რგოლურია, ტრაქეათა გარსი კი ფოროვანი; მერქანში რადიალურ სხივთა ერთრიგიანი მწკრივებია დიფერენცირებული.

T. nuchense-ს ფოთოლი ბიფაციალური ფორმის, ჰიპოსტომატური, დორზოვენტრალური სტრუქტურისაა; ფოთოლი ორმხრივად შებუსულია მარტივი და ჯირკვლოვანი ბუსუსებით,

ასევე ჯირკვლებით; ფოთლის ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედები არადაგვირისტებული, მრუდხაზოვანი და მრუდკედლიანი სტრუქტურისაა, აღჭურვილია დიაციტური ტიპის ქაოტურად განწყობილი ბაგეებით. ფოთლის რბილობში დიფერენცირებული გამტარი კონა უკუ-კოლატერალური აგებულებით ხასიათდება.

T. nuchense-ს ყვავილის ჯამის ფოთოლაკი შებუსულია კონუსური ბუსუსებით ასევე, სეკრეტორული, სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით და ჯირკვლებით; ფოთოლაკის მფარავ ქსოვილში აღიბეჭდება ბაგეები; ჯამის ფოთოლაკის რბილობი ერთფეროვანა და აღჭურვილია სრული - კოლატერალური და არასრული - მერქნის ტრაქეალური ელემენტებით წარმოდგენილი, გამტარი კონებით. *T. nuchense*-ს ყვავილის გვირგვინის ფურცელი ასევგე ერთფეროვანი სტრუქტურისაა და მასში დიფერენცირებული გამტარი კონები არასრულია.

საკვანძო სიტყვები: *Teucrium nuchense* K.Koch; ყლორტი; ფოთოლი; ანატომია; სადიაგნოსტიკო მახასიათებლები; საქართველოს ფლორა.

ტუჩოსანთა, *Labiatae*-ს ოჯახის მცენარეები ფართოდ გავრცელებული ერთწლოვანი ან მრავალწლოვანი ბალახოვანი, ნახევრად ბუჩქები, უფრო იშვიათად ლიანები ან პატარა ხემცენარეებია. ოჯახი აერთიანებს 232 გვარის 9976 სახეობას[8]; საქართველოში წარმოდგენილია 37 გვარში მოცული 148 სახეობა[3]. ტუჩოსანნი ეთერზეთოვანი მცენარეებია, აქტიურად იყენებენ ტექნიკური ზეთების მისაღებად, კვებასა და დეკორაციაში, პარფიუმერიაში და ასევე მედიცინაში [7,10,11,12].

მსოფლიოში ინტენსიურად მიმდინარეობს ტუჩოსანთა ოჯახის მცენარეთა კვლევის უახლესი მეთოდების გამოყენებით შესწავლა, ახალი ნივთიერებების გამოვლენასა და მათი ბიოლოგიური აქტივობის შეფასების თვალსაზრისით[10,11] განსაკუთრებით აქტუალურია ენდემური სახეობების ზედმიწევნითი კვლევა, რომელთა ბუნებრივი ნაერთების ბიოლოგიური, სპეციფიკური აქტივობის გამოვლენისათვის კამერალური კვლევების საფუძველს სახეობათა მაკრო- და მიკრომორფოლოგიური თავისებურებებისა და ანატომიური აგებულების სადიაგნოსტიკო მახასიათებლების დადგენა განაპირობებს. ამდენად, კვლევის მიზანს ტუჩოსანთა ოჯახის, გვარ *Teucrium* L.-ს, კავკასიის ენდემური სახეობის, *Teucrium nuchense* K.Koch-ის, ღამის კუტი ბალახის [4], მიწისზედა გენერაციული და ვეგეტატიური ორგანოების შინაგანი აგებულების შესწავლა წარმოადგენდა, მიკროსტრუქტურილი სადიაგნოსტიკო მახასიათებლების დადგენის მიზნით.

Teucrium-ი კოსმოპოლიტური გავრცელების დიდი და პოლიმორფული გვარია. მსოფლიოს მცენარეთა საერთაშორისო ნუსხის მონაცემთა მიხედვით გვარში გაერთიანებულია 482-ი სახეობის მცენარე [9]. რომლთა გავრცელების არეალი დედამიწის ზომიერ და სუბტროპიკულ ზონებს მოიცავს და განსაკუთრებით დამახასიათებელია ხმელთაშუაზღვეთის ქვეყნებისათვის. ადგილობრივ ფლორაში კი აწერილია გვარ *Teucrium*-

ის 7 სახეობა და მათგან სწორედ *T. nuchense*-ე მიეკუთვნება კავკასიის ენდემურ სახეობათა რიცხვს [2,3,4].

T. nuchense 10-30 სმ-ი სიმაღლის, ძირთან გახევებული და აქტიურად შებუსული, მრავალწლოვანი, ბალახოვანი მცენარეა. მისი ფოთლები კვერცხისებრი ან მოგრძო კვერცხისებრია, კიდეზე მომრგვალო, კბილისებრ განკვეთილი, ძირთან სოლისებრი ფორმის; სახეობას ყვავილედი კენწრული ახასიათებს, კუმსი, მჭიდრო მრავალყვავილიანი ჩხროებით; ყვავილის ყუნწი ჯამზე მნიშვნელოვნად მოკლეა; ჯამი ზარისებრია, შებუსული, ძირს დახრილი ბეწვით წარმოდგენილი, ჯამის კბილები სამკუთხაა და წაწვეტებული; ყვავილის გვირგვინი მეწამულია, გარედან ძლიერ შებუსული, 2-3-ჯერ გრძელი ჯამზე. საქართველოს ფლორისტულ რაიონებში *T. nuchense* -ს ყვავილობა ივნისი-აგვისტოს თეებს მოიცავს [2,4].

T. nuchense იზრდება მთის ქვედა, შუა, ზედა და სუბალპური სარტყლის მშრალ ფერდობებზე, ნაშალებზე, ტყის ველობებზე, ბუჩქნარებში, ზღვის დონიდან 2350 მ სიმაღლემდე[2,4]. საქართველოში *T. nuchense*-ს გავრცელების არეალი მოიცავს ზემო და ქვემო სვანეთის, რაჭა-ლეჩხუმის, ქართლის, მთიულეთის, თუშ-ფშავ ხევსურეთის, კახეთის, გარე კახეთის, გარდაბანის, თრიალეთის, ქვემო ქართლის, ჯავახეთისა და მესხეთის ფლორისტულ რაიონებს[2,4].

T. nuchense-ს მიწისზედა ორგანოები ტრადიციულ მედიცინაში გამოიყენება როგორც ანტიბაქტერიული, ანტიოქსიდანტი, ანთების საწინააღმდეგო საშუალება, გაციების, მუცლის ტკივილის, შარდსასქესო გზების დაავადების დროს, ასევე მცენარის მიწისზედა ნაწილების წყლიანი ექსტრაქტი გამოიყენება მე-2 ტიპის შაქრიანი დიაბეტის, კუჭის წყლულის და რევმატიზმის დროს [1,4].

კვლევის მეთოდიკა

T. nuchense-ს საექსპერიმენტო ნედლეული მოპოვებულ იქნა 2023 წელს ქართლის ფლორისტულ რაიონში, წავკისის მიდამოებიდან. საკვლევი ობოექტის საჰერბარიუმო ნიმუში დაცულია თსსუ ი. ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტის ჰერბარიუმში ТВПН – 22383 (სურ.1).

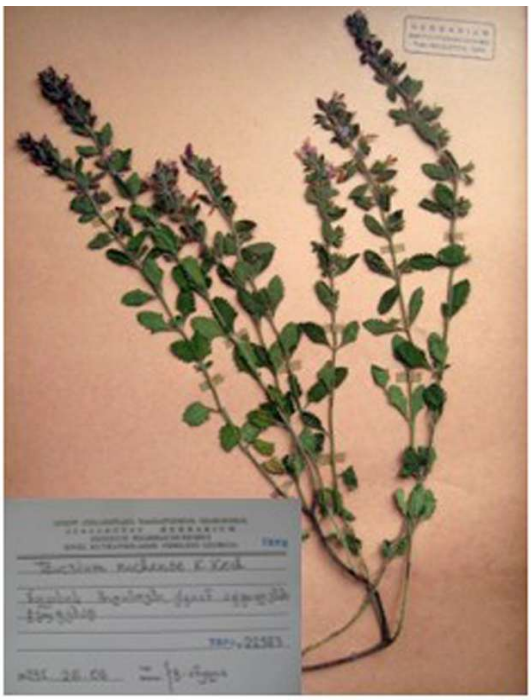
კრიტიკული სახეობის საკვლევი ობიექტიდან საექსპერიმენტო ნიმუშები აღებულია მცენარის მიწისზედა ვეგეტატიურ ორგანოთა ცენტრალური ზონიდან, საპრეპატარო ნიმუშთა განივი, სიგრძივი და ზედაპირული ანათლები გაკეთდა ცოცხალი დაუფიქსირებელი მასალიდან ბასრი სამართებლის საშუალებით. საკვლევი ჭრილები შეიღება საფრანინის

ხსნარში 24 სთ-ის განმავლობაში და მოთავსდა გლიცერინიან გარემოში სასაგნე მინაზე. კვლევის ობიექტთა მიკრო-ტექნიკური კვლევა წარმოებდა სინათლის Carl Zeiss, Jeneval მიკროსკოპზე; ფოტოდოკუმენტალური მასალა დაფიქსირდა ციფრული ფოტოაპარატის (Canon Digital IXUS75) საშუალებით და გრაფიკულად დამუშავდა Adobe Photoshop CS5 -ის პროგრამაში.

კვლევის შედეგები

ყლორტი. *T. nuchense*-ს ყლორტის განივი ჭრილი კვადრატული კონფიგუ-რაციისაა, იგი აქტიურად შებუსულია მრავალუჯრედიანი (1-6) კონუსური, სხვადასხვა სიგრძის ბუსუსებით და სფეროსებრთავიანი ორ- და ოთხუჯრედოვანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით (სურ.2-D,E). ყლორტის განაკვეთის პანორამაზე ქერქის არესთან შედარებით დიდი მოცულობის მონოციკლური ცენტრალური ცილინდრი აისახება (სურ. 2- A).

T. nuchense-ს მუხლთშორისის ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედბეი მწყობრად დაგვირისტებული, სწორხაზოვანი, სუსტად მოხრილკუთხოვანია (სურ.2-F). მფარავი ქსოვილის სტრუქტურის ამსახველ პანორამაზე ფუძემდებარე უჯრედებისაგან ბუსუსთა გადანაჭრების კვალი გამოირჩევა ორი კონტურული რკალის სახით; ასევე აღიბეჭდება ორი ტიპის - ენციკლოციკლური (6- სატელიტით) და ტეტრაციკლური (4-სატელიტით) ბაგეების დიფერენცირება (სურ.2-F). ეპიდერმულ ქსოვილში ბაგის აპარატის ზედმიწევნით კვლევისას ბაგეთა მკეტავი და სატელიტური უჯრედების სწორხაზოვანი და მნიშვნელოვნად თხელგარსიანი აგებულება აღინიშნა, ასევე მკეტავ უჯრედებში საშუალოდ ფირფიტოვანი ქლორიპლასტების არსებობა. მუხლთშორისის ფუძემდებარე უჯრედთა შორის ბაგეთა განსწობა ქაოტურია, თუმცა ბაგეთშორისი ხვრელის გათვალისწინებით ფუძემდებარე უჯრედების ანტიკლინალური კედლების მიმართ უმეტესწილად მწყობრი.



სურ.1. Teucrium nuchense K.Koch

საჰერბარიუმო ნიმუში

T. nuchense-ს ყლორტის მუხლთშორისის მფარავი ქსოვილი ერთრიგიანი, ჰეტეროციტული, კუტინიზირებული ეპიდერმისის უჯრედებით იკვეთება (სურ.2-C,G); მფარავ ქსოვილში დიფერენცირებული ბაგის აპარატი ეპიდერმული უჯრედების მიმართ თანაბარი განწყობით ხასიათდება. ღერძითი ორგანოს განივი განაკვეთის კუთხეებში ფირფიტოვანი კოლენქიმის ქსოვილი აისახება, რომელიც ემიჯნება მფარავ

ქსოვილს და გასდევს მას მთელ გაყოლებაზე, ამ უკანასკნელს კი ჯერ ქლორენქიმის ქსოვილი, ხოლო შემდგომ, ქერქის პარენქიმული უჯრედების 2-3 რიგიანი არე მოსდევს (სურ.2-B,C,G,). ყლორტში ქერქის პარენქიმას პერიციკლური ბოჭკოები ესაზღვრება და მათი აქტიური დიფერენცირება მუხლთშორისის კუთხეებში აისახება. ბოჭკოვანი უჯრედების სანათურთა ზომა არაერთგვაროვანია, მოხაზულობა ოვალური, ღრუ კი უპირატესად დიდი მოცულობის და ასევე, ოვალური კონფიგურაციის (სურ.2-C,H,).

T. nuchense-ს ყლორტის მუხლთშორისის მონოციკლური ცენტრალური ცილინდრი შედგება უწყვეტი ფლოემისაგან და ერთფეროვანი ქსილების სტრუქტურული ელემენტებისაგან, კამბიუმის ქსოვილი კი რთულად ასაღქმელია (სურ.2-B,C). მერქნის ტრაქეალურ ქსოვილში ერთმანეთს ემიჯნება, ტრაქეათა და გამტარ ჭურჭელთა სანათურების მწყობრი, სიგრძივად მწკრივული ანაწყობები. *T. nuchense*-ს ყლორტში მერქნის ტრაქეალურ ელემენტთა სანათურები ოვალური ან სფეროსებრი მოხაზულობისაა, მათი შიდა ღრუ კი სუსტად კუთხოვანი (სურ.2-C,H); გამტარ ჭურჭელთა სანათურების შიდა გარსის გასქელება სპირალური და რგოლურია, ტრაქეათა გარსი კი ფოროვანი (სურ.2-I). მერქნის ძირითად სტრუქტურულ ერთეულებს შორის ფიქსირდება მერქნის ერთრიგიანი რადიალური სხივების განწყობა.

T. nuchense-ს მუხლთშორისის ცენტრალური ცილინდის პერიმედულარული ქსოვილი მჭიდროდ ურთიერთ განწყობილი, სქელგარსიანი, პოლიგონალური უჯრედებითაა წარმოდგენილი, ხოლო მედულა - დიდი ზომის, თხელგარსიანი, ასევე მჭიდროდ ურთიერთ განლაგებული უჯრედებით (სურ.2-B,C).

ფოთოლი. *T. nuchense*-ს ფოთლის ადაქსიალური და აბაქსიალური ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედები არადაგვირისტებული, მრუდხაზოვანი და მრუდკედლიანი სტრუქტურით ხასიათდება (სურ.3-A,C); თუმცა ზედა ეპიდერ-მისის ფუძემდებარე უჯრედები მრუდკედლიანთა მე-2, ხოლო ქვედა - 1-ლ რიგს განეკუთვნება [5]. ფოთლის ადაქსიალური ეპიდერმისის პანორამაზე აღინიშნება კონუსური, 2-3 უჯრედოვანი ბუსუსების, სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომების და ასევე, ბუსუსთა ფუძის გადანაჭერთა კვალი (სურ.3-A,B). აბაქსიალური ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედთა შორის, დიდი ოდენობით, ქაოტურად განწყობილი ბაგეები გამოირჩევა. ბაგის აპარატი დიაციტური (დისექტური) ტიპისაა [5]. ბაგეთა მკეტავი უჯრედები ოვალური და სფეროსებრი მოხაზულობისაა, საშუალოდ ფირფიტოვანი ქლოროპლასტებით გამოხატული. ბაგეთშორისი ხვრელი თითისტარისებრია, სატელიტური უჯრედები კი თხელ-გარსიანი და მრუდხაზოვანი სახის. ფოთლის ქვედა ეპიდერმისში წარმოდგენილია განსხვავებული მორფოლოგიუტი ტიპის მარტივი და სეკრეტორული ტრიქომები - კონუსური, 1-3 უჯრედოვანი, ჯირკვლოვანი სფეროსებრთავიანი 1-2 უჯრედოვანი და სფეროსებრი ჯირკვლები. ამასთანავე, ფოთლის აბაქსიალური ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედებში ცხიმის წვეთების არსებობა აისახება (სურ.3-C,D) .

T. nuchense-ს ფოთოლი ბიფაციალური ფორმის, ჰიპოსტომატური, დორზოვენტრალური სტრუქტურისაა. ფოთოლი ორმხრივად შებუსულია მარტივი და ჯირკვლოვანი ბუსუსებით,

ასევე ჯირკვლებით. ბაგეთა განწყობა ეპიდერმული ქსოვილის მიმართებით წამოწეულია (სურ.3-E) .

ფოთლის რბილობის ორივე მხარის მფარავი ქსოვილი ერთრიანია, ადაქსიალური ეპიდერმისის უჯრედები კუტინიზირებული, აბაქსიალური - არა; ზედა ეპიდერმისის უჯრედების ზომა მნიშვნელოვნად აღემატება ქვედა ეპიდერმისის უჯრედებისას. ფოთლის რბილობში აღიბეჭდება ორრიგიანი მესრისებური და ღრუბლისებური პარენქიმის უჯრედთა თითქმის თანაბარი მოცულობის ქსოვილი (სურ.3-E). *T. nuchense*-ს ფოთლის რბილობში დიფე-რენცირებული გამტარი კონა უკუ-კოლატერალური ტიპისაა, შემოსაზღვრულია კოლენქიმური უჯრედების ხალთით. გმტარი კონის მერქანში აღიბეჭდება მერქნის გამტარ ჭურჭელთა სანათურების სიგრძეზე მწყობრი მწკრივები (სურ.3-F); ფოთლის რბილობში არსებული ანასტომოზები სპირალური გარსის გასქელები ხასიათდებიან.

ყვავილი. *T. nuchense*-ს ყვავილის ჯამის ფოთოლაკის განაკვეთის პანორამაზე აისახება ძლიერ შებუსული, მძლავრი მფარავი ქსოვილისა და ერთფეროვანი სტრუქტურის მქონე რბილობი. ჯამის ფოთოლაკის გარეთა მფარავი ქსოვილი აღჭურვილია მარტივი, ერთ- ან ორუჯრედოვანი, კონუსური ბუსუსებითა და სეკრეტორული, სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით და ჯირკვლებით (სურ.4-A,B). ფოთოლაკის ორივე მხარის მფარავი ქსოვილი ერთუჯრედოვანია და მძლავრად კუტინიზირებული; მის მფარავ ქსოვილში ბაგის აპარატის დიფერენცირება აღიბეჭდება. ჯამის ფოთოლაკის რბილობი ერთფეროვანი, ღრუბლისებრი პარენქიმის მსგავსია და აღჭურვილია სრული და არასრული გამტარი კონებით. სრული გამტარი კონა კოლატერალურია, ხოლო არასრულში მხოლოდ მერქნის ტრაქეალური ელემენტების კუთხოვანგარსიანი სანათურები აისახება (სურ.4-A,B).

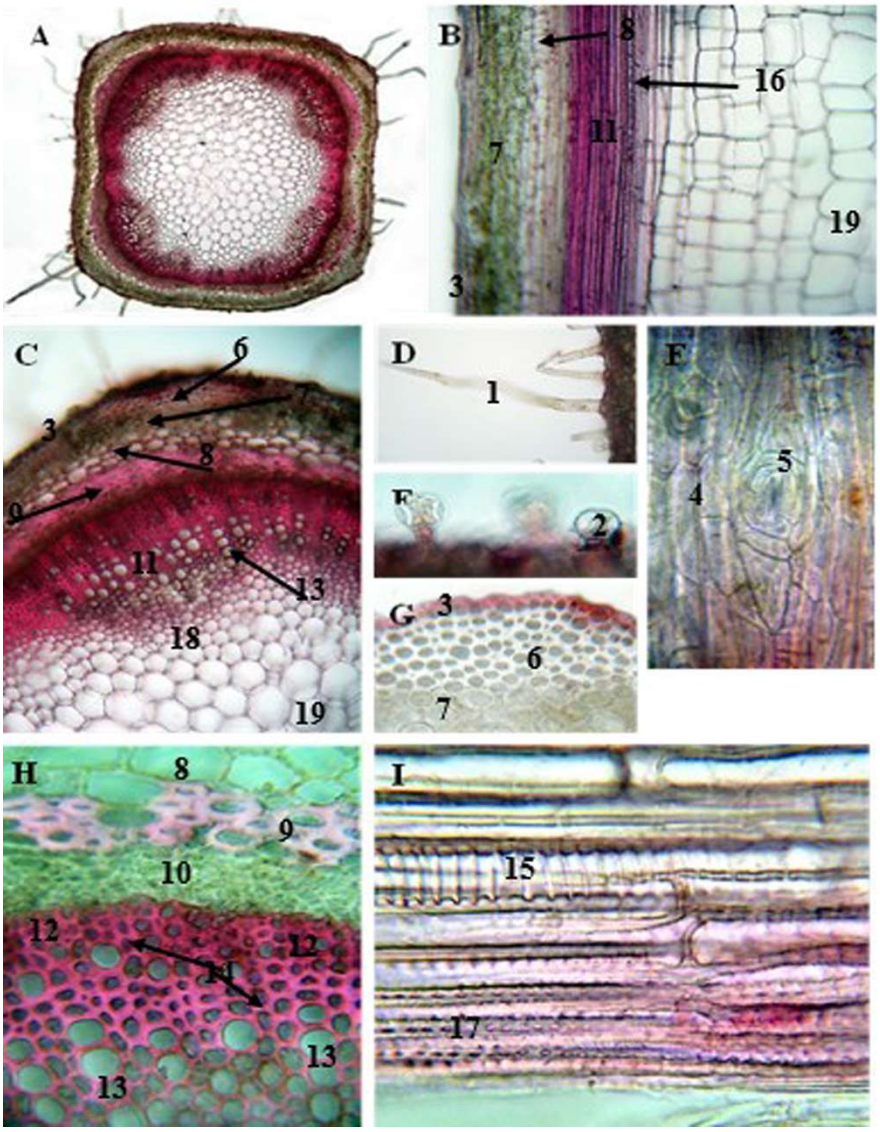
T. nuchense-ს ყვავილის გვირგვინის ფურცლის განივი ჭრილის ხედზე აღიბეჭდება ორმხრივ მფარავ ქსოვილს შორის მოქცეული ერთფეროვანი სტრუქტურის რბილობი არასრული გამტარი კონების თანხლებით. ორივე მხრის ეპიდერმული ქსოვილი ერთრიგიანია, თუმცა ზედა მფარავი ქსოვილის უჯრედები კუთხოვანია და მნიშვნელოვნად დიდი ზომის, ვიდრე ქვედა, რომელიც დვრილისებრი ფორმის, მომცრო ზომის უჯრედული სტრუქტურით ხასიათდება (სურ.4-C).

დასკვნა.

შესწავლილია საქართველოს ფლორის, კავკასიის ენდემური სახეობის *Teucrium nuchense* K.Koch-ის, ღამის კუტი ბალახის მიწისზედა გენერაციული და ვეგეტატიური ორგანოების შინაგანი აგებულება. დადგენილია კრიტიკული სახეობის მიკროსტრუქტურული აგებულების სადიაგნოსტიკო მახასიათებლების შემდეგი ერთობლიობა:

- *T. nuchense*-ს ყლორტის მუხლთშორისი აქტიურად შებუსულია მრავალუჯრედიანი კონუსური და სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით;

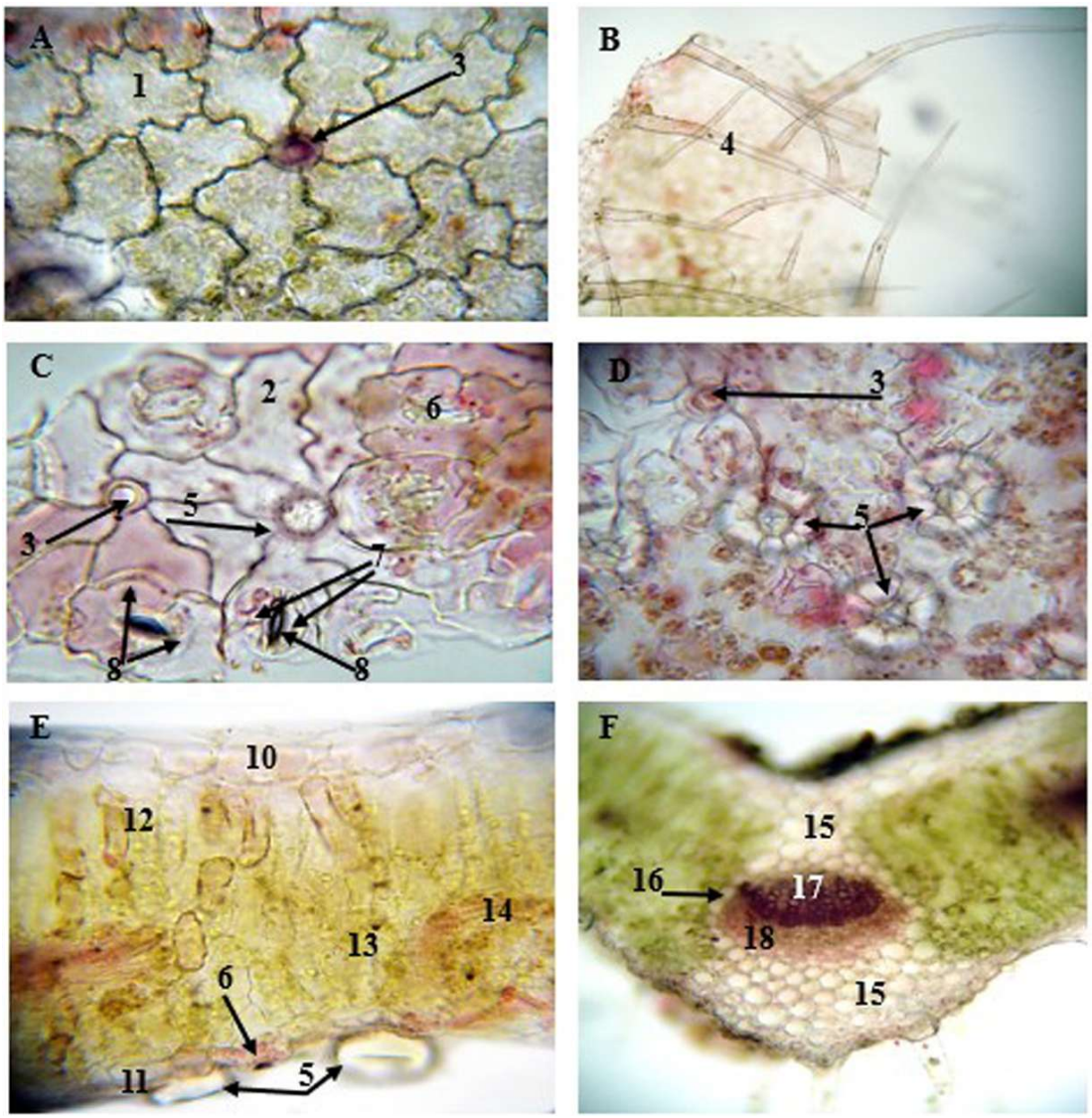
- მუხლთშორისის ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედბეი მწყობრად დაგვირისტებულია, სწორხაზოვანი, სუსტად მოხრილკუთხოვანი ფორმის;
- ყლორტის მუხლთშორისის ეპიდერმისი აღჭურვილია ენციკლოციკლური და ტეტრაციკლური ბაგის აპარატით;
- ყლორტის მფარავ ქსოვილში ბაგეთა ერთმანეთის მიმართ განწყობა ქაოტურია, ბაგეთშორისი ხვრელის გათვალისწინებით ფუძემდებარე უჯრედების ანტიკლინალური კედლების მიმართ კი მწყობრი;
- *T. nuchense*-ს მუხლთშორისის მონოციკლური ცენტრალური ცილინდრი შედგება უწყვეტი ფლოემისაგან და ერთფეროვანი ქსილების სტრუქტურული ელემენტებისაგან;
- მერქანში ტრაქეათა და გამტარ ჭურჭელთა სანათურების სიგრძივად მწკრივული ანაწყობები აღიბეჭდება;
- ყლორტის მერქნის ტრაქეალურ ელემენტთა სანათურები ოვალური და სფეროსებრი მოხაზულობისაა, მათი შიდა ღრუ კი სუსტად კუთხოვანი;
- გამტარ ჭურჭელთა სანათურების შიდა გარსის გასქელება სპირალური და რგოლურია, ტრაქეათა გარსი კი ფოროვანი;
- ყლორტის მუხლთშორისის მერქანში რადიალურ სხივთა ერთრიგიანი მწკრივებია დიფერენცირებული;
- *T. nuchense*-ს ფოთოლი ბიფაციალური ფორმის, ჰიპოსტომატური, დორზოვენტრალური სტრუქტურისაა;
- ფოთოლი ორმხრივად შებუსულია მარტივი და ჯირკვლოვანი ბუსუსებით, ასევე ჯირკვლებით;
- *T. nuchense*-ს ფოთლის ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედები არადაგვირისტებული, მრუდხაზოვანი და მრუდკედლიანი სტრუქტურისაა;
- ფოთლის ეპიდერმისში დიაციტური ტიპის ქაოტურად განწყობილი ბაგეები ფიქსირდება;
- ბაგეთა მკეტავი უჯრედები ოვალური და სფეროსებრი მოხაზულობისაა, საშუალოდ ფირფიტოვანი ქლოროპლასტებით გამოხატული, ბაგეთშორისი ხვრელი თითისტარისებრია, სატელიტური უჯრედები თხელი, მრუდხაზოვანი მოხაზულობის;
- *T. nuchense*-ს ფოთლის რბილობში დიფერენცირებული გამტარი კონა უკუ-კოლატერალური სტრუქტურისაა; გმტარი კონის მერქანში წარმოდგენილია გამტარ ჭურჭელთა სანათურების სიგრძეზე მწყობრი მწკრივები;
- *T. nuchense*-ს ყვავილის ჯამის ფოთოლაკი შებუსულია კონუსური ბუსუსებით ასევე, სეკრეტორული, სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით და ჯირკვლებით;
- ფოთოლაკის მფარავ ქსოვილში აღიბეჭდება ბაგეთა არსებობა;
- ჯამის ფოთოლაკის რბილობი ერთფეროვანი სტუქტურისაა, აღჭურვილია სრული და არასრული გამტარი კონებით;
- ფოთოლაკის სრული გამტარი კონა კოლატერალურია, ხოლო არასრულში მერქნის ტრაქეალური ელემენტები აისახება;
- *T. nuchense*-ს ყვავილის გვირგვინის ფურცელი ერთფეროვანი სტრუქტურისაა, არასრული გამტარი კონებით აღჭურვილი.



სურათი 2. *Teucrium nuchense* K.Koch -ის ყლორტის ანატომიური აგებულებია

A. ყლორტის მუხლთშორისის სტრუქტურის პანორამა განივ და B. სიგრძლივ ექსპოზიციაში; C. მუხლთშორისის ძირითადი სტრუქტურული ელემენტების ფრაგმენტი; D., E. ბუსუსები; F. ეპიდერმული ქსოვილის პანორამა; G. მფარავი და მექანიკური ქსოვილების ფრაგმენტი; H., I. მუხლთშორისის ცენტრალური ცილინდრის ფრაგმენტი განივ და სიგრძლივ ექსპოზიციაში

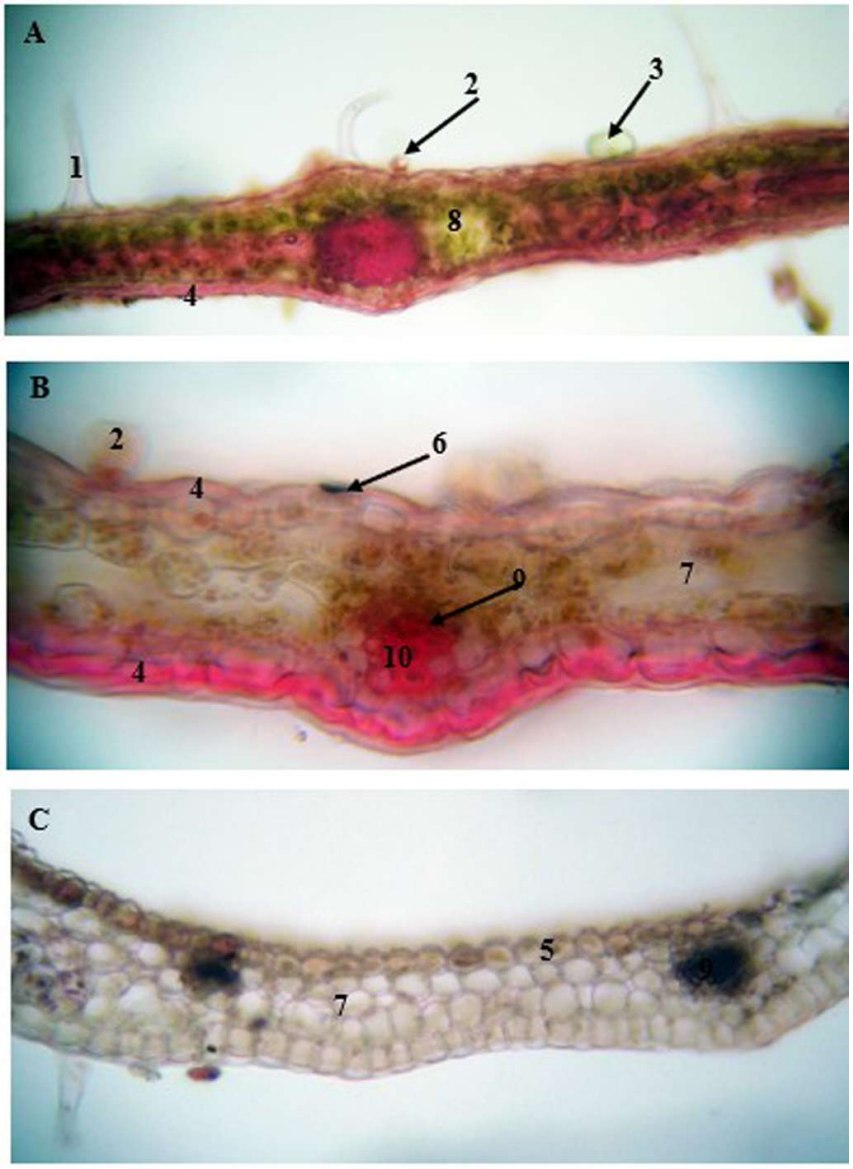
1. კონუსური და 2. ჯირკვლოვანი ბუსუსები; 3. კუტინიზირებული ეპიდერმისი; 4. ეპიდერმისის სწორხაზოვანი ფუძემდებარე უჯრედები; 5. ენციკლოციკლური ბაგე; 6. კოლენქიმა; 7. ქლორენქიმა; 8. პარენქიმული ქსოვილი; 9. პერიციკლური ბოჭკოები; 10. მლაფანი; 11. მერქანი; 12. ტრაქეა; 13. გამტარი ჭურჭლები; 14. რადიალური სხივი; 15. სპირალური, 16. რგოლური და 17. ფოროვანი გამტარი ჭურჭლები; 18. პერიმედულარული და 19. მედულარული უჯრედები



სურათი 3. *Teucrium nuchense* K.Koch -ის ფოთლის ანატომიური აგებულებია

A., B. ადაქსიალური ეპიდერმისის ფრაგმენტები; C., D. აბაქსიალური ეპიდერმისის ფრაგმენტები; E. ფოთლის რბილობის და F. მთავარი ძარღვის ფრაგმენტი

1. მე-2 რიგის მრუდკედლიანი ფუძემდებარე უჯრედი; 2. 1-ლი რიგის მრუდკედლიანი ფუძემდებარე უჯრედი; 3. ბუსუსის გადანაჭერის კვალი; 4. კონუსური ბუსუსი; 5. ჯირკვალი; 6. დიაციტური ბაგე; 7. მკეტავი უჯრედები; 8. თითისტარისებრი ბაგეთშორისი ხვრელი; 9. ბაგის სატელიტური უჯრედები; 10. ზედა ეპიდერმი; 11. ქვედა ეპიდერმისი; 12. მესრისებური პარენქიმა; 13. ღრუბლისებური პარენქიმა; 14. სპირალური ანასტომოზი; 15. კოლენქიმური ქსოვილი; 16. უკუ-კოლატერალური გამტარი კონა; 17. მერქანი; 18. ლაფანი



სურათი 4. *Teucrium nuchense* K.Koch -ის ყვავილის ანატომიური აგებულებია
A., B. ჯამის ფოთოლაკის სტრუქტურის პანორამა; C. გვირგვინის ფურცლის სტრუქტურის პანორამა
1. კონუსური და 2. ჯირკვლოვანი ბუსუსუ; 3. ჯირკვალი; 4. კუტინიზირებული ეპიდერმისი; 5. დვრილისებრი ეპიდერმისის უჯრედები; 6. ბაგის აპარატი; 7. ერთფეროვანი რბილობი; 8. სრული კოლატერალური გამტარი კონა; 9. არასრული გამტარი კონა; 10. მერქნის ტრაქეალური უჯრედები

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. თ. კორკოტაძე, “ტუჩოსანთა ოჯახის საქართველოში მოზარდი ზოგიერთი სახეობის ფარმაკოგნოსტური კვლევა”; დისერტაცია, თბილისი 2023, გვ.46-47;
2. საქართველოს ფლორა ტ. XI; გამომცემლობა „მეცნიერება“,თბილისი 1987; გვ.16,27-8,33-34;
3. საქართველოს ფლორის ნომენკლატურული ნუსხა; გამომცემლობა „უნუვერსალი“, თბილისი 2018, გვ.165-173;
4. ჯ. კუჭუხიძე რ. გაგნიძე, ც. ღვინიაშვილი მ. ჯოხაძე, საქართველოს ფლორის ენდემური ყვავილოვანი მცენარეები; თბილისი 2016, გვ.53-54;
5. Н.А. Анели; Атлас эпидермы листа; издательство «Мецниереба», Тбилиси 1975; ст.36-37;
6. E. Sezik et al., “Traditional medicine in Turkey X. Folk medicine in Central Anatolia”; Journal of Ethnopharmacology, 2001, v. 75, p-95-115;
7. G. Çeliket et al., “Biological activity, and volatile and phenolic compounds from five Lamiaceae species”; Flavour and Fragrance Journal, v. 36, (2), 2021, p. 223–232; doi: 10.1002/ffj.3636
8. https://www.worldfloraonline.org/search?query=Lamiaceae&view=&limit=24&start=0&sort=&facet=taxon.family_ss%3aLamiaceae&facet=taxon.taxonomic_status_s%3aAccepted&facet=base.class_s%3aorg.emonocot.model.Taxon
9. https://www.worldfloraonline.org/search?query=Teucrium&view=&limit=24&start=0&sort=&facet=taxon.subtribe_ss%3a&facet=taxon.family_ss%3aLamiaceae&facet=taxon.tribe_ss%3a&facet=taxon.subfamily_ss%3a&facet=taxon.taxonomic_status_s%3aAccepted&facet=base.class_s%3aorg.emonocot.model.Taxon
10. K. Carović-Stankoet et al., “Medicinal plants of the family Lamiaceae as functional foods – a review,” Czech J. Food Sci., vol. 34 (5), pp. 377–390, 2016, doi: 10.17221/504/2015-CJFS;
11. L. R. Ramos da Silvaet al., “Lamiaceae Essential Oils, Phytochemical Profile, Antioxidant, and Biological Activities,” Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, vol. 2021, pp. 1–18, Dec. 2021, doi: 10.1155/2021/6748052;
12. Milan Stankovic, Lamiaceae Species Biology, Ecology and Practical Uses; Plants 2018, 7, 19; doi:10.3390/plants7010019, DOI:10.3390/books978-3-03928-419-1 ;
13. P.Aksoy-Sagirlia et al. - In vitro antioxidant activity, cyclooxygenase-2, thioredoxin reductaseinhibition and DNA protection properties of Teucrium sandrasicum L.; Industrial Crops and Product; 2015, V. 74, p.545-550

Features of the anatomical structure of the above-ground generative and vegetative organs of the Caucasian endemic plant Teucrium nuchense K.Koch (Labiatae)

Mchedlidze Ketevan*, Jinjolia Liana, Korkotadze Teona, Aneli Jemal

Iovel Kutateladze Institute of Pharmacochemistry

Abstract

The anatomical structure of the above-ground generative and vegetative organs of the Caucasus endemic, *Teucrium nuchense* K.Koch, the representative of Georgian flora, a rich source of biologically active substances, has been studied. Key diagnostic features of the anatomical structure of this promising medicinal plant has been identified using plant microtechnique, in particular camera method.

The basal cells of the internodal epidermis of the shoot of *T. nuchense* are arranged in a linear, slightly curved-angular structure, equipped with an encyclocyclic and tetracyclic type of stoma apparatus; The stomatal complexes exhibit a chaotic spatial arrangement each other. The monocyclic central cylinder of the internodal shoot consists of continuous phloem and congenerous xylem structural elements; longitudinally arranged rows of tracheal and vascular lumens are visible in the wood; the gap of the tracheal elements of the wood of shoot are oval and spherical in shape, and their internal cavity is slightly angular; the thickening of inner membrane of the conducting vessels is spiral and annular, and the tracheal membrane is porous; In the wood, single rows of radial rays are differentiated.

The leaf of *T. nuchense* is bifacial, hypostomatic, dorsoventral in structure; the leaf is covered with simple and glandular villi, as well as glands, on both sides; the basal cells of the leaf epidermis are non-serrated, curved and curved-walled in structure, equipped with chaotically arranged stomata of the diacytic type. The differentiated vascular bundle in the leaf pulp is characterized by a reverse-collateral structure.

The sepal of the flower of *T. nuchense* is covered with conical villi as well as secretory, Spheroidal glandular trichomes and glands; the stomata are imprinted in the covering tissue of the leaf; the pulp of the sepal is monochromatic and equipped with complete - collateral and incomplete - tracheal elements of the wood, vascular bundles. The corolla petal of *T. nuchense* is also uniform in structure and the differentiated vascular bundles in it are incomplete.

Key words: *Teucrium nuchense* K.Koch; shoot; leaf; anatomy; diagnostic features; flora of Georgia.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.58



Solanum persicum Willd. ex Roem. et Schult.-ის მიწისზედა ვეგეტატიურ ორგანოთა ანატომიური აგებულება

მჭედლიძე ქეთევანი[1*], ბენიძე მარიამი[2], ნებიერიძე ვაჟა[2], საყვარელიძე ნათია[2], ბულისკერია ნანული[2], ქემერტელიძე ეთერი[2]

[1]თსსუ იოველ ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტი, ფიტოქიმიის ს/კ დეპარტამენტი, ფარმაკობოტანიკის მიმართულება 593-580-027, k.mchedlidze@tsmu.edu

[2]თსსუ იოველ ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტი, ფიტოქიმიის ს/კ დეპარტამენტი, სტეროიდული შენაერთების მიმართულება

რეზიუმე

შესწავლილია საქართველოს ფლორის, როგორც ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების მდიდარი წყაროს *Solanum persicum* Willd. ex Roem. et Schult.-ის მიწისზედა ვეგეტატიურ ორგანოთა ანატომიური აგებულება. მიკროტექნიკაში მიღებული კამერალური მეთოდებით კვლევის შედეგად გამოვლენილია პერსპექტიული სამკურნალო მცენარის შინაგანი აგებულების სადიაგნოსტიკო მახასიათებლები.

S. persicum-ის ყლორტის მუხლთშორისი აქტიურად შებუსულია ერთ ან მრავალუჯრედიანი კონუსური და მოკაუჭებული ტრიქომებით. მუხლთშორისის მფარავი ქსოვილის ფუძემდებარე უჯრედები მწყობრად დაგვირისტებული, სწორხაზოვანი და კუთხოვანი ფორმისაა. ყლორტის ქერქში პარენქიმულ უჯრედებს სკლერიფიცირების ტენდენცია აღენიშნებათ. ლაფნის ბოჭკოთა სანათურები მომცრო კალიბრის, სქელგარსიანი, ოვალური მოხაზულობისაა, მათი შიდა გარსი კი ბლაგვკუთხოვანი კონფიგურაცის. *S. persicum*-ის ღერძითი ორგანოს ტრანზიტორული სისტემა მონოციკლურია; მუხლთშორისის გამტარი ქსოვილი წარმოდგენილია ლაფნის, კამბიუმისა და მერქნის ერთიანი ცილინდრის სახით; მერქანში დიფერენცირებულია მერქნის ტრაქეიდების და გამტარი ჭურჭლების სანათურები, ერთრიგიანი რადიალური სხივები, მერქნის პარენქიმული და კოლენქიმური უჯრედები; ტრაქეიდების სანათურთა შიდა გარსის მოხაზულობა სფეროსებრია, გამტარ ჭურჭელთა სანათურების კი ოვალური; ტრაქეიდების გარსის გასქელება მორიგეობით ფოროვანია, ხოლო გამტარ ჭურჭელთა - სპირალური. *S. persicum*-ის მედულარული ქსოვილი ობლიტერირებულია და სახეზეა მხოლოდ პერიმედულარული ქსოვილის პოლიგონალური უჯრედები. *S. persicum*-ის ფოთოლი ბიფაციალური ფორმისაა, დორზოვენტრალური, ამფისტომატური სტრუქტურის; ფოთოლი შებუსულია ორივე მხარეს კონუსური, გრძელი გაფარჩხული ბუსუსებით და სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით; ფოთლის ადაქსიალური და აბაქსიალური ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედები ხასიათდება

არადაგვირისტებული მრუდხაზოვანი და მრუდკედლიანი აგებულებით; ფოთლის მფარავ ქსოვილში დიფერენცირებულია ანომოციტური და ანისოციტური ტიპის ბაგეები; ბაგის მკეტავი უჯრედები თანაბრად გარსგასქელებულია, ბაგეთშორისი ხვრელი თითისტარისებრი მოხაზულობის. *S. persicum*-ის ფოთლის გამტარი ქსოვილი უკუ-კოლატერალურია, მერქნის ანასტომოზების გარსი სპირალურად გარსგასქელებული. *S. persicum*-ის ფოთლის ყუნწი (მეზოპეციოლი) ინტენსიურად შებუსულია კონუსური სხვადასხვა სიგრძის ბუსუსებით და სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით; ფოთლის ყუნწის ძირითადი ქსოვილი თხელგარსიანი, პოლიგონალური სტრუქტურისაა და ცენტრში უჯრედული ქსოვილის ობლიტერაცია ახასიათებს; *S. persicum*-ის ფოთლის ყუნწის გამტარი ქსოვილი ღია-კოლატერალური სტრუქტურისაა; ფოთლის ყუნწის მერქანში გამტარი ჭურჭლების სანათურები ოვალური და კუთხოვანია, ახასიათებთ სიგრძეზე მწყობრ მწკრივებად დიფერენცირება და მათი შიდა გარსის გასქელება სპირალურია.

საკვანძო სიტყვები: Solanum persicum Willd. ex Roem. et Schult.; ანატომია; სადიაგნოსტიკო მახასიათებლები; საქართველოს ფლორა.

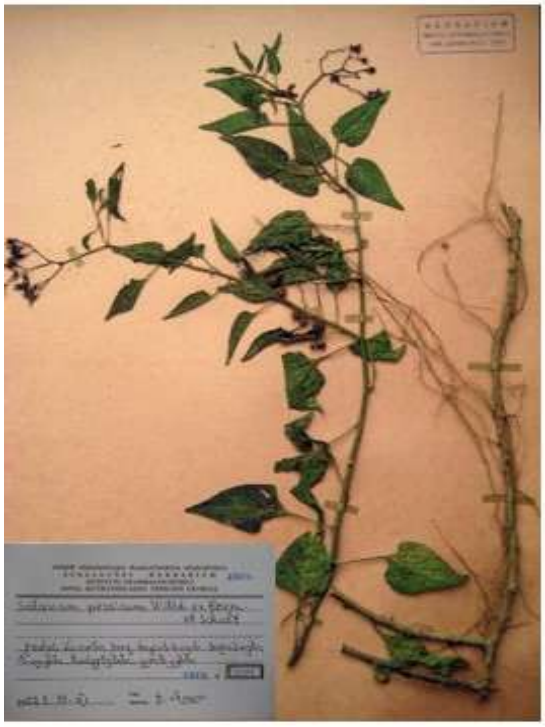
შესავალი

ძაღლყურძენისებრთა, *Solanaceae* Juss.-ის ოჯახი ბალახოვან, ბუჩქოვან, ზოგჯერ ეკლიან, შხამიან, ალკალოიდების შემცველ მცენარებს აერთიანებს. საქართველოს ფლორა მოიცავს ძაღლყურძენისებრთა ოჯახის 10 გვარში გაერთიანებულ 26 სახეობას [4,8]. *Solanum* L.-ის, ძაღლყურძენას გვარის მცენარეები ცნობილია, როგორც ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების მდიდარი წყარო. მათგან ბოლო 30 წლის განმავლობაში იზოლირებული და იდენტიფიცირებულია 670 - მდე ნივთიერება, მათი ძირითადი ნაწილი მოდის სტეროიდულ საპონინებზე, ასევე დადგენილია სტეროიდული ალკალოიდები, პრეგნანული გლიკოზიდები, ფლავონოიდები, ლიგნანები, სტერინები, კუმარინები, ცხიმოვანი მჟავები და სხვა ნივთიერებები [6].

მსოფლიოს სუბტროპიკულ და ტროპიკულ რეგიონებში ძაღლყურძენას 2000-მდე სახეობაა აწერილი. მათი სტეროიდული საპონინები ძირითადად წარმო-დგენილია ტიგოგენინის - (25 R) - 5α -სპიროსტან - 3β -ოლი, დიოსგენინის - (25 R)- 5 - ენ -სპიროსტან - 3 β - ოლი, ქლოროგენინის -(25 R)- 5α- სპიროსტან -3β,6α - დიოლი, ნეოქლოროგენინის - (25 S) - 5α - სპიროსტან - 3β, 6α -დიოლის ნაწარმებით. მათგან მიღებული სტეროიდული გლიკოზიდებისათვის დადგე-ნილია შემდეგი ფარმაკოლოგიური მოქმედებები: ანთების საწინააღმდეგო, სიცხის დამწევი, ჰიპოტენზური, ჰიპოგლიკემიური, ანტიფუნგალური, აფროდიზიაკური, ჰიპოქოლესტერინემული, სიმსივნის საწინააღმდეგო და სხვა [5,6,7]. ძველი ქართული ტრადიციული მედიცინის მონაცემებით სამკურნალოდ გამოიყენებოდა ძაღლურძენას ფოთლებიდან და ყვავილებიდან მომზადებული საშუალებები ნერვული დაავადებების დროს, ასევე ტკივილგამაყუჩებლად [1,2,3].

აქტუალურია ძაღლყურძენას სახეობათა კვლევის უახლესი მეთოდების გამოყენებით შესწავლა, ახალი ნივთიერებების გამოვლენასა და მათი ბიოლოგიური აქტივობის შეფასების თვალსაზრისით. ადგილობრივი ფლორის *Solanum persicum* Willd. ex Roem. et Schult-ის

მიწისზედა ნაწილებიდან მიღებული სპირტ-წყლიანი ექსტრაქტის ფრაქციონირებით ძირითადად ფუროსტანოლური გლიკოზიდების შემცველობა აღინიშნება. თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიული ანალიზით გამხსნელთა სხვადასხვა სისტემაში საპოგენინების მოწმეების თანაობისას დადგენილია ტიგოგენინი - (25R) -5α- სპიროსტან -3β- ოლი და სმილაგენინი - (25R) - 5β - სპიროსტან - 3β -ოლი. მცენარიდან მიღებული სტეროიდული გლიკოზიდები ავლენს ანტიოქსიდანტურ აქტიობას.



სურათი 1. *S. persicum* ჰერბარიუმის ნიმუში

ბუნებრივი ნაერთების ბიოლოგიური, სპეციფიკური აქტივობის გამოვლენისათვის კამერალური კვლევების საფუძველს კრიტიკულ სახეობათა მაკრო- და მიკრომორფოლოგიური თავისებურებებისა და ანატომიური აგებულების სადიაგნოსტიკო მახასიათებლების დადგენა განაპირობებს. შესაბამისად, კვლევის მიზანს ადგილობრივი ფლორის, პერსპექტიული სამკურნალო მცენარის *Solanum persicum* Willd. ex Roem. et Schult-ის მიწისზედა ვეგეტატიური ორგანოების მიკროსტრუქტურული აგებულების შესწავლა წარმოადგენდა, რათა კვლევის შედეგები საფუძვლად დაედოს ფუნდამენტური ცნობარების, სამეცნიერო ნაშრომების შედგენას.

S. persicum-ი ერთწლოვანი 3 მ-დე სიმაღლის ძლიერ დატოტვილი ნახევრად ბუჩქია, ძირში გახევებული, მხოხავი ღეროებით. მისი ფოთლები ყუნწიანია, 11-14 სმ სიგრძის და 5-6 სმ სიგანის, მოგრძო კვერცხისებრი, ბოლოწაწვეტებული, თითქმის კიდემთლიანი ფორმის. ყვავილის გვირგვინი სოსანია 16-18 მმ დიამეტრის, 5- ლანცეტა ფორმის გადაკეცილი ნაკვთით. 15-დან 40-მდე ყვავილი შეკრებილია დაკიდებულ ქოლგისმაგვარ საგველად; საყვავილე ყუნწები გრძელი ახასიათებს და იგი ხშირად მოფენილია მიტკეცილი ბეწვით. ნაყოფი 6-9 მმ დიამეტრის, წითელი ფერისაა, კვერცხისებრი ფორმის [4].

S. persicum-ი გვხვდება თითქმის ალპურ სარტყლამდე, ტენიან ხეობებში, ბუჩქნარებში, მდინარეთა ნაპირებზე, ბაღებსა და ბოსტნებში. მისის საერთო გავრცელება მოიცავს აღმოსავლეთ ევროპას, შუა აზიას, მცირე აზიას, აღმოსავლეთ ანატოლიას, ირანს, ამიერკავკასიას, სომხეთსა და აზერბაიჯანს. საქართველოში კი იგი თითქმის ყველა ფლორისტულ რაიონშია გავრცელებული [4].

მასალა და მეთოდიკა.

პერსპექტიული სამკურნალო მცენარის *S. persicum*-ის საკვლევი ნიმუში მოპოვებულია ქართლის ფლორისტულ რაიონში - N41.960048^0 E044.136361^0, H-620m-ზე, 2022 წელს. საექსპერიმენტო ნედლეულის ნიმუში დაცულია თსსუ ი. ქუთათელაძის ფარმაკოქიმიის ინსტიტუტის ჰერბარიუმში TBPH-22335 (სურ. 1.). საანალიზო მცენარის მიწისზედა

ვეგეტატიური ორგანოების ცენტრალური არეებიდან აღებული საპრეპატარო ნიმუშთა განივი, სიგრძივი და ზედაპირული ანათლები დამზადდა ცოცხალი დაუფიქსირებელი მასალიდან ბასრი სამართებლის საშუალებით, საკვლევი მასალა შეიღება საფრანინის ხსნარში 24 სთ-ის განმავლობაში და მოთავსდა გლიცერინიან გარემოში სასაგნე მინაზე. კვლევის ობიექტთა მიკროტექნიკური კვლევა წარმოებდა სინათლის Carl Zeiss, Jeneval-ის მიკროსკოპზე; ფოტოდოკუმენტალური მასალა დაფიქსირდა ციფრული ფოტოაპარატის (Canon Digital IXUS75) საშუალებით და გრაფიკულად დამუშავდა Adobe Photoshop CS5 -ის პროგრამაში.

კვლევის შედეგი.

ყლორტი. *S. persicum*-ის ყლორტის მუხლთშორისის განაკვეთი არასიმეტრიული, ოვალური მოხაზულობის, არაერთგვაროვნად კიდეებიანი ფორმისაა; ყლორტი ინტენსიურადაა შებუსული ერთ და მრავალუჯრედიანი კონუსური და ზოგჯერ მოკაუჭებული ტრიქომებით. ღერძითი ორგანოს ჭრილზე აღიბეჭდება მკვეთრად ძლიერი მფარავი ქსოვილი, აქტიური ქერქის პარენქიმა, ცენტრალური ცილინდრში დიფერენცირებული ტრანზიტორული სისტემის სარტყელი და ობლიტერირებული მედულარული ქსოვილი (სურ.2, A).

S. persicum-ის მუხლთშორისის მფარავი ქსოვილის აქტიური შებუსვა ართულებს ფუძემდებარე ქსოვილის სტრუქტურული ელემენტების მკვეთრ აღქმას; მიუხედავად ამისა დასაბუთებულად შეიძლება აღინიშნოს, რომ ფუძემდებარე უჯრედები მწყობრად დაგვირისტებული არქიტექტონიკის, სწორხაზოვანი და კუთხოვანია(სურ.2, F). *S. persicum*-ის ყლორტის მფარავი ქსოვილი კუტინიზირებულია, წარმოდგენილია ორრიგად განწყობილი, სქელგარსიანი, კუთხოვანი, მჭიდროდ ურთიერთ განლაგებული ეპიდერმისის ქსოვილი, რომელსაც ჯერ ქლორენქიმის ორრიგიანი არე, შემდგომ ფირფიტოვანი კოლენქიმის სამ რიგად დიფერენცირებული ქსოვილი და ქერქის პარენქიმა მოსდევს. მნიშვნელოვანია, რომ ქერქის პარენქიმას სტრუქტურული ერთეულების სკლერიფიცირების ტენდენცია აღენიშნება; შესამჩნევია, ასევე ლაფნის ბოჭკოების დიფერენცირება. ბოჭკოთა სანათურები მომცრო კალიბრისანი არიან, სქელ-გარსიანი, რადიალურად ოვალური მოხაზულობის, ხოლო მათი შიდა გარსი ბლაგვკუთხოვანი კონფიგურაციით აღიბეჭდება (სურ.2, B).

S. persicum-ის ღერძით ორგანოს ტრანზიტორული სისტემა მონოციკლურია, წარმოდგენილია აქტიური ლაფნის, კამბიუმისა და მერქნის ერთიანი ცილინდრით. მუხლთშორისის გამტარი ქსოვილის მერქანში დიფერენცირებულია მერქნის ტრაქეიდიბის, მცირედკალიბრიან სანათურთა ბადისებრი ქსოვილი და გამტარ ჭურჭელთა დიდი და საშუალოდკალიბრიანი სანათურები. ტრაქეიდების სანათურთა შიდა გარსის მოხაზულობა უმეტესწილად სფეროსებრია, ხოლო გამტარ ჭურჭელთა სანათურები ოვალური მოხაზულობის; მათი ურთიერთგანლაგება ჯგუფური ან სიგრძეზე მწყობრია. ტრაქეიდების გარსის გასქელება მორიგეობით ფოროვანია, ხოლო გამტარ ჭურჭელთა - სპირალური. მერქანში აღიბეჭდება ერთრიგიანი რადიალური სხივები; მერქნის პარენქიმული და კოლენქიმური უჯრედები ცენტრალური ცილინდრის პერიმედულარულ ქსოვილს ესაზღვრება. ძაღლყურძენას მედულა ობლიტერირებულია და სახეზეა მხოლოდ

პერიმედულარული ქსოვილის მეტ-ნაკლებად მჭიდრო სტრუქტურის, მომცრო ზომის პოლიგონალური უჯრედებით (სურ. 2, A,C,D).

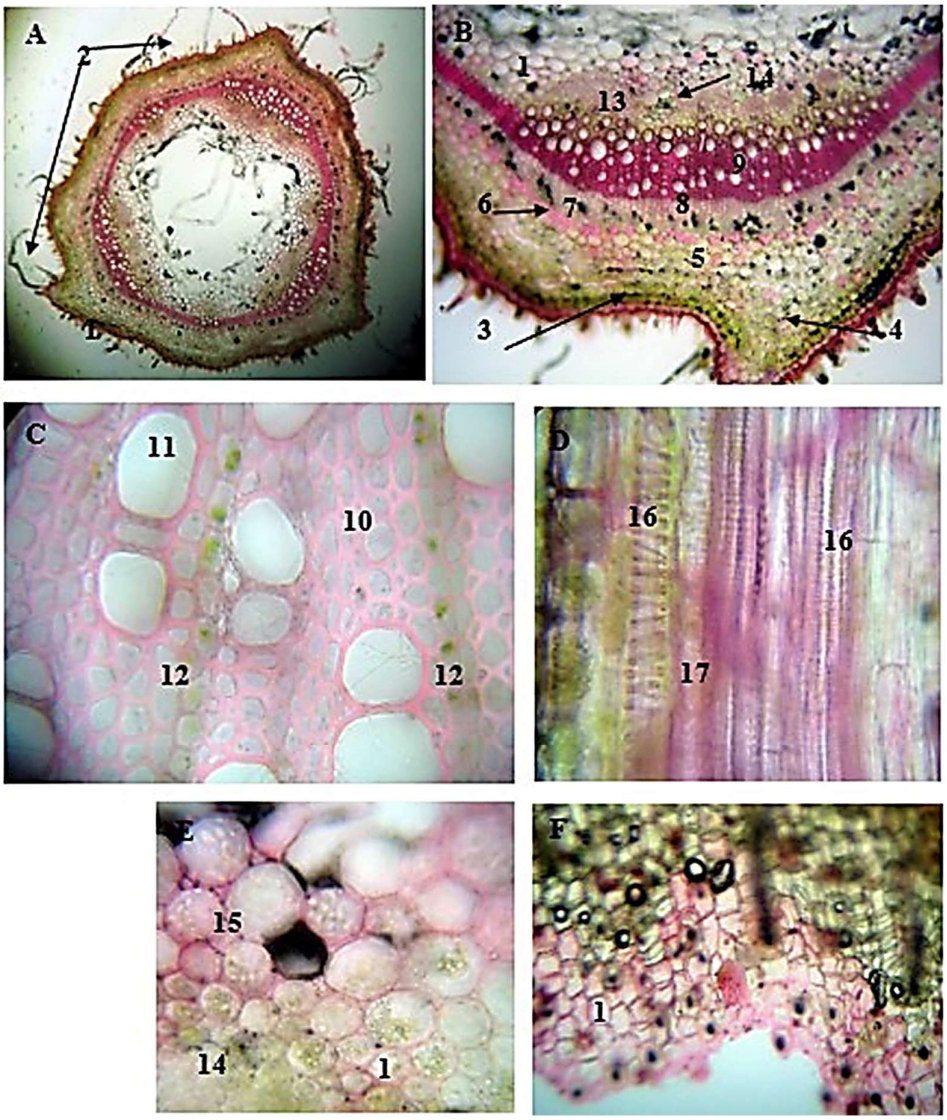
ფოთოლი. *S. persicum*-ის ფოთოლი შებუსულია ორივე მხარეს კონუსური (1-6), გრძელი გაფარჩხული ბუსუსებით, ასევე მთავარი ძარღვის არეში ფიქსირდება სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომების არსებობაც. ფოთლის ზედა და ქვედა ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედები არადაგვირისტებული მრუდხაზოვანი და მრუდკედლიანია; ბაგის აპარატი ორგვარია: ანომოციტური და ანისოციტური. ბაგის მკეტავი უჯრედები თანაბრად გარსგასქელებულია, ბაგეთშორისი ხვრელი კი თითისტარისებრი მოხაზულობის. კრიტიკული სახეობის ფოთოლი ბიფაციალურია, მეზოფილი დორზოვენტრალური სტრუქტურის, ბაგეების განლაგების მიხედვით - ამფისტომატური. ფოთლის ეპიდერმისის ქსოვილი ერთრიგიანი, სქელგარსიანი და კუტინიზირებულია, ბაგეთა განწყობა ეპიდერმისის ქსოვილთან მიმართებაში თანაბარია. მესრისებური პარენქიმა ერთრიგიანია, მაგრამ მისი უჯრედების ანტიკლინარული კედლები მნიშვნელოვნად წაგრძელებულია და ფოთლის რბილობის მოცულობის თითქმის ნახევარს მოიცავს; ღრუბლისებური უჯრედები 3-4 რიგადაა განლაგებული და თხელგარსიანი, ტანგენტალურად გადაჭიმული ფაშარი ურთიერთ განლაგებით აისახებიან. ფოთლის გამტარი ქსოვილი უკუ-კოლატერალურია, მერქნის ანასტომოზების გარსი სპირალურად გარსგასქელებული (სურ.3 A,B,C) .

S. persicum-ის ფოთლის ყუნწის (მეზოპეციოლი) განივი ჭრილი ოვალური მოხაზულობისაა და ორი მიტკეჩილი ფრთა აღენიშნება; მისი მფარავი ქსოვილი ერთრიგიანი, მომცრო ზომის, აქტიურად კუტინიზირებულია და ინტენსიურად შებუსულია კონუსური ძალზე მომცრო და გრძელი მრავალუჯრედიანი ბუსუსებით, ასევე სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით. მფარავ ქსოვილს ქლორენქიმის ორიგიანი უჯრედები მოსდევს, რომელსაც შემდგომ ფირფიტოვანი ტიპის კოლენქიმური უჯრედების ერთი ან ორი წყება ეკვრის. ფოთლის ყუნწის ძირითადი ქსოვილი თხელგარსიანი, პოლიგონალური სტრუქტურისაა და ცენტრში უჯრედული ქსოვილის ობლიტერაცია ახასიათებს. ცენტრალური ტრანზიტორული ქსოვილის მოხაზულობა რკალისებრია, ხოლო ფრთებში დიფერენცირებული თითო-თითო მომცრო დიამეტრის გამტარი კონა სფეროსებრი. ძირითადი გამტარი ქსოვილი ღია-კოლატერალურია. მერქნის გამტარი ჭურჭლების სანათურები ოვალური და კუთხოვანია, ახასიათებთ სიგრძეზე მწყობრ მწკრივებად განლაგება და მათი გარსის გასქელება სპირალურია. მერქნის ტრაქეალურ ელემენტებს შორის ერთრიგიანი რადიალური სხივებია განლაგებული. ფოთლის ყუნწის გამტარი ქსოვილის კიდეზე კი მერქნის პარენქიმული და მექანიკური ტიპის უჯრედებია დიფერენცირებული (სურ.4).

დასკვნა.

შესწავლილია საქართველოს ფლორის, პერსპექტიული სამკურნალო მცენარის *Solanum persicum* Willd. ex Roem. et Schult-ის მიწისზედა ვეგეტატიური ორგანოების ანატომიური აგებულების თავისებურებანი. დადგენილია კრიტიკული სახეობის მიკროსტრუქტურული აგებულების სადიაგნოსტიკო მახასიათებლების შემდეგი ერთობლიობა:

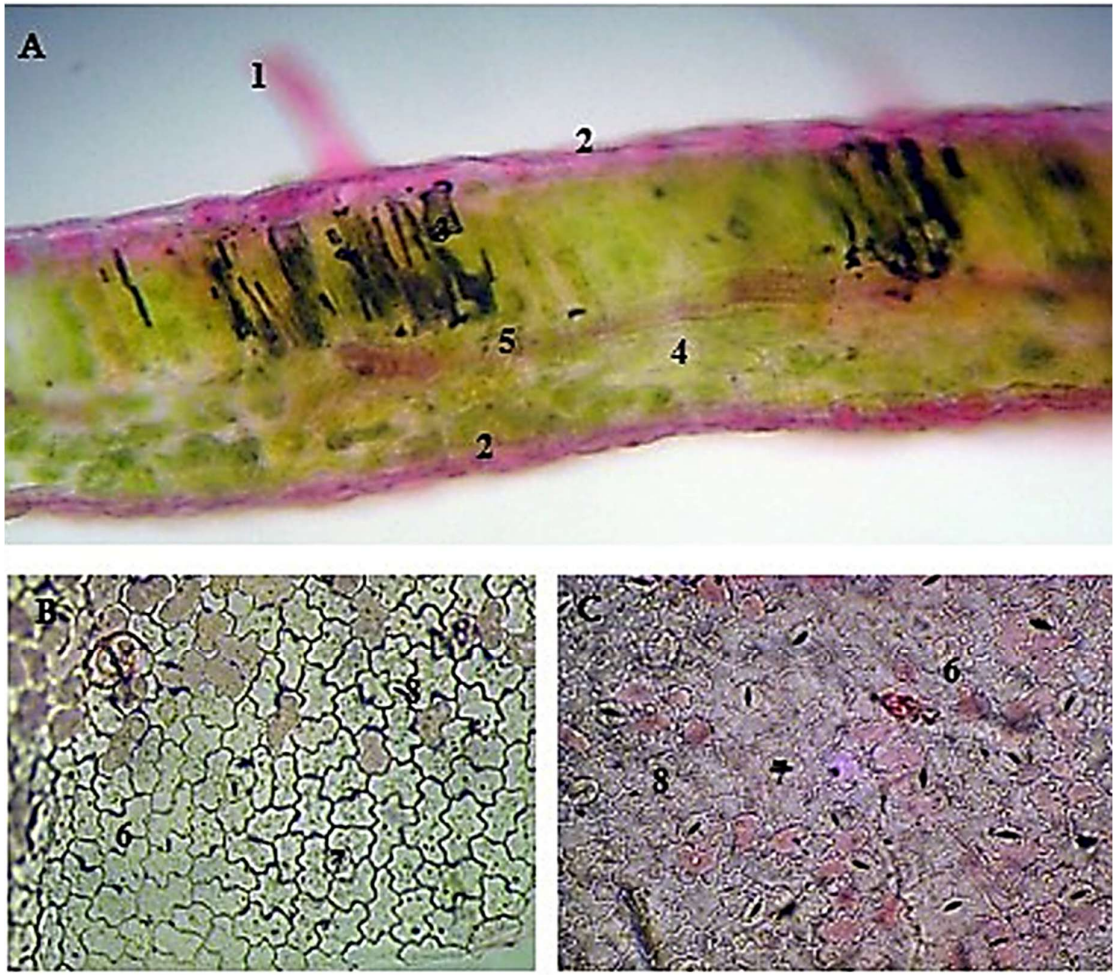
- *S. persicum*-ის ყლორტის მუხლთშორისი აქტიურად შებუსულია ერთ ან მრავალუჯრედიან კონუსური და ზოგჯერ მოკაუჭებული ტრიქომებით;
- მუხლთშორისის მფარავი ქსოვილის ფუძრმდებარე უჯრედები მწყობრად დაგვირისტებულია, სწორხაზოვანი და კუთხოვანი ფორმის;
- ყლორტის ქერქში პარენქიმულ უჯრედებს სკლერიფიცირების ტენდენცია აღენიშნება;
- ლაფნის ბოჭკოთა სანათურები მომცრო კალიბრის, სქელ გარსიანი, ოვალური მოხაზულობისაა, მათი შიდა გარსი კი ბლაგვკუთხოვანი კონფიგურაციის;
- *S. persicum*-ის ღერძითი ორგანოს ტრანზიტორული სისტემა მონოციკლურია;
- მუხლთშორისის გამტარი ქსოვილი წარმოდგენილია ლაფნის, კამბიუმისა და მერქნის ერთიანი ცილინდრით;
- მერქანში დიფერენცირებულია მერქნის ტრაქეიდიბის და გამტარ ჭურჭელთა სანათურები, ერთრიგიანი რადიალური სხივები, მერქნის პარენქიმული და კოლენქიმური უჯრედები;
- ტრაქეიდების სანათურთა შიდა გარსის მოხაზულობა სფეროსებრია, გამტარ ჭურჭელთა სანათურების კი ოვალური;
- ტრაქეიდების გარსის გასქელება მორიგეობით ფოროვანია, ხოლო გამტარ ჭურჭელთა - სპირალური;
- *S. persicum*-ის მედულარული ქსოვილი ობლიტერირებულია და სახეზეა მხოლოდ პერიმედულარული ქსოვილის პოლიგონალური უჯრედები;
- *S. persicum*-ის ფოთოლი ბიფაციალური ფორმისაა, დორზოვენტრალური, ამფისტომატური სტრუქტურის;
- ფოთოლი შებუსულია ორივე მხარეს კონუსური, გრძელი გაფარჩხული ბუსუსებით და სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით;
- ფოთლის ადაქსიალური და აბაქსიალური ეპიდერმისის ფუძემდებარე უჯრედები ხასიათდება არადაგვირისტებული მრუდხაზოვანი და მრუდკედლიანი აგებულებით;
- ფოთლის მფარავ ქსოვილში დიფერენცირებულია ანომოციტური და ანისოციტური ტიპის ბაგეები;
- ბაგის მკეტავი უჯრედები თანაბრად გარსგასქელებულია, ბაგეთშორისი ხვრელი თითისტარისებრი მოხაზულობის;
- *S. persicum*-ის ფოთლის გამტარი ქსოვილი უკუ-კოლატერალურია, მერქნის ანასტომოზების გარსი სპირალურად გარსგასქელებული
- S. persicum-ის ფოთლის ყუნწი (მეზოპეციოლი) ინტენსიურად შებუსულია კონუსური სხვადასხვა სიგრძის ბუსუსებით და სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ტრიქომებით;
- ფოთლის ყუნწის ძირითადი ქსოვილი თხელგარსიანი, პოლიგონალური სტრუქტურისაა და ცენტრში უჯრედული ქსოვილის ობლიტერაცია ახასიათებს;
- S. persicum-ის ფოთლის ყუნწის გამტარი ქსოვილი ღია-კოლატერალური სტრუქტურისაა;
- ფოთლის ყუნწის მერქანში გამტარი ჭურჭლების სანათურები ოვალური და კუთხოვანია, ახასიათებთ სიგრძეზე მწყობრ მწკრივებად დიფერენცირება და მათი შიდა გარსის გასქელება სპირალურია



სურათი 2. *S. persicum*-ის ყლორტის მუხლთშორისის ანატომიური აგებულება

A. ყლორტის სტრუქტურის პანორამა; B. ყლორტის ფრაგმენტი; C. მერქნის ტრაქეალური ქსოვილის მონაკვეთი; D. გამტარი ქსოვილის ფრაგმენტი ტანგენტალური ჭრილზე; E. პერიმედულარული უჯრედებისა და F. ეპიდერმისის ფუძემდებარე ქსოვილის ფრაგმენტები

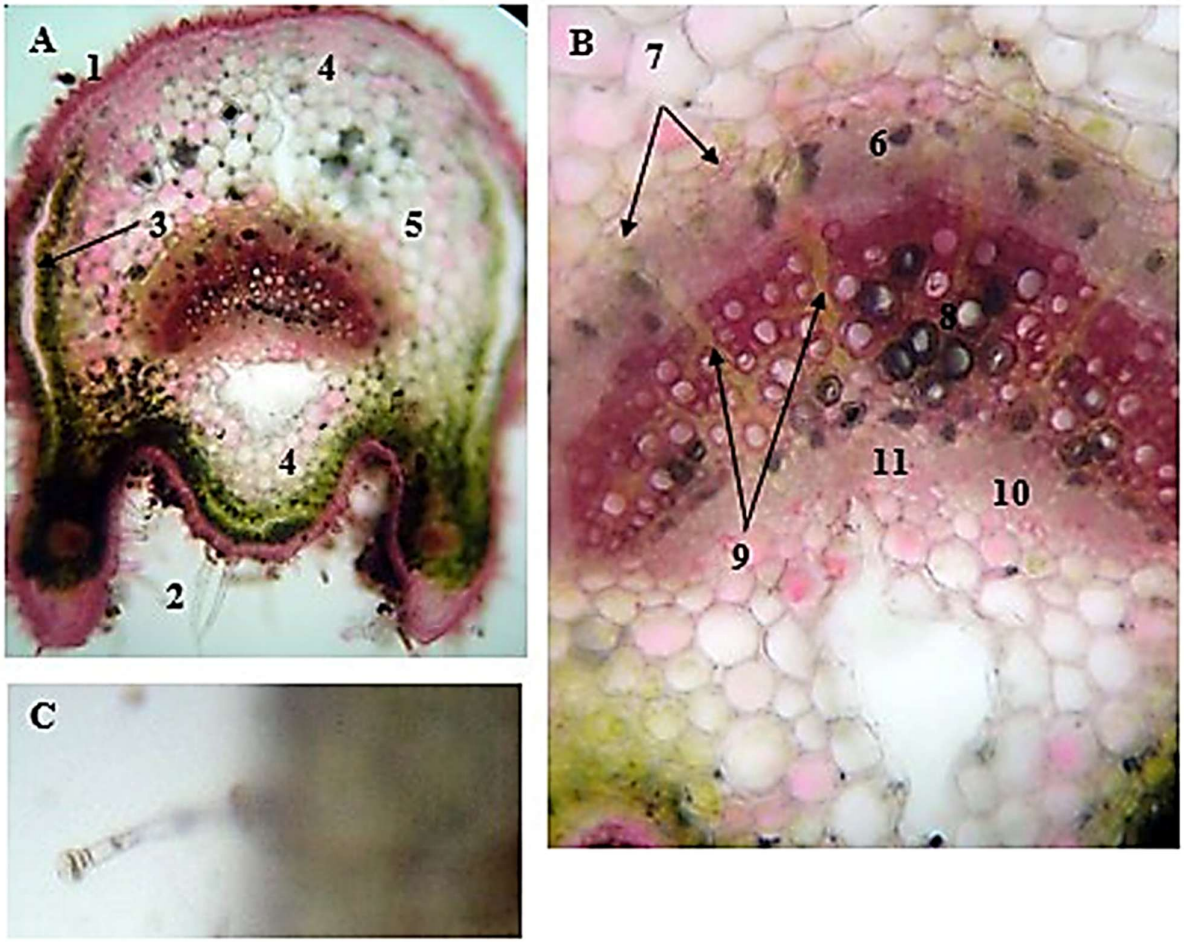
1. ეპიდერმისი; 2. კონუსური ბუსუსები; 3. ქლორენქიმა; 4. კოლენქიმა; 5. ქერქის პარენქიმა; 6. ლაფნის სქელგარსიანი ბოჭკოები; 7. ლაფანი; 8. კამბიუმი; 9. მერქანი; 10. ტრაქეიდას და 11. გამტარ ჭურჭელთა სანათურები; 12. მერქნის რადიალური სხივები; 13. მერქნის პარენქიმული და 14. სკლერენქიმური უჯრედები; 15. პერიმედულარული უჯრედები; 16. სპირალურად გარსგასქელებული გამტარი ჭურჭლები; 17. ფოროვანი ტრაქეიდები



სურათი 3. *S. persicum* -ის ფოთლის ანატომიური აგებულება

A. ფოთლის დორზოვენტრალური მეზოფილის ფრაგმენტი; B. ფოთლის ზედა და ; C. ქვედა ეპიდერმისის ფუძემდებარე ქსოვილის ფრაგმენტები

1. კონუსური ბუსუსი; 2. ეპიდერმისი; 3. მესრისებური და 4. ღრუბლისებური პარენქიმა; 5. ანასტომოზი; 6. ეპიდერმისის მრუდხაზოვანი და მრუდკედლიანი ფუძემდებარე უჯრედები; 7. ანომოციტური და 8. ანისოციტური ბაგე



სურათი 4. *S. persicum* -ის ფოთლის ყუნწის (მეზოპეციოლი) ანატომიური აგებულება

A. ყუნწის სპრუქტურის პანორამა; B. გამტარი ქსოვილის ფრაგმენტი; C. სფეროსებრთავიანი ჯირკვლოვანი ბუბუსი

1. ეპიდერმისი; 2. ბუსუსები' 3. ქლორენქიმა; 4. კოლენქიმა; 5 ძირითადი პოლიგონალური პარენქიმა; 6. ლაფანი; 7. ლაფნის ბოჭკოები; 8. მერქნის გამტარ ჭურჭელთა სანათურები; 9. რადიალური სხივები 10. მერქნის პარენქიმული და 11. სკლერენქიმული უჯრედები

ლიტერატურა:

1. დავით ბაგრატიონი. იადიგარ დაუდი . „საბჭოთა საქართველო“, 1985, გვ.741;
2. ზაზა ფანასკერტელ - ციციშვილი. სამკურნალო წიგნი - კარაბადინი. თბილისი, „მეცნიერება“, 1986 წ., ტ.1, 259გვ.; ტ.2, გვ. 1006;
3. ნ.წუწუნავა. საქართველოს სამკურნალო მცენარეები.“საბჭოთა საქართველო“ 1960, გვ.260;
4. საქართველოს ფლორა ტ.XII, გამომცემლობა „ მეცნიერება“, თბილისი 1999; გვ.41-42;
5. Ikeda Ts., Tsumagari H., Honku T.,Nohara T. Cytotoxic activity of steroidal glycosides from Solanum plants. Biological Pharmaceutical Bulletin. 2003,26, 8, p.1198-1201.

6. Joseph Sakah Kaunda, Ying-Jun Zhang. The genus Solanum: an ethnopharmacological, phytochemical and biological properties. Review. Natural Products and Bioprospecting. 2019, 9, p. 77-137;
7. Limin Xiang, Yihai Wang, Xiaomin Yi, Xiangjiu He. Anti- inflammatory steroidal glycosides from the berries of Solanum nigrum L. Phytochemistry, 2018, 148, Apr., p.87-96;
8. R. Gagnidze - Vascular plants of Georgia a nomenclatural checklist; Tbilisi 2005, p. 141

The anatomical structure of aboveground vegetative organs of Solanum persicum Willd. ex Roem. et Schult.

K.Mchedlidze, M.Benidze, V.Nebieridze, N.Sakvarelidze, N.Buliskeria. E.Kemertelidze

Iovel Kutateladze Institute of Pharmacochemistry

Abstract

The anatomical structure of *Solanum persicum*'s from Georgia's flora aboveground vegetative organs was studied using microtechnic methods, identifying key diagnostic markers for its medicinal potential. Shoot internodes bear unicellular conical/hooked trichomes, with linear/angular basal epidermal cells. Cortex parenchyma cells exhibit sclerotization. Phloem fibers have small, thick-walled, oval lumens with blunt inner edges. The monocyclic vascular system features a single cylinder of lamina, cambium, and xylem; xylem includes tracheids and vessels with oval/spherical lumens, single-row radial rays, and collenchyma. Tracheid membranes show alternately porous thickening, while vascular vessels have spiral thickenings. Medullary tissue is obliterated, leaving perimedullary polygonal cells.

Leaves are bifacial, dorsoventral, and amphistomatic, densely covered with conical bristles and spherical-headed glandular trichomes on both surfaces. Adaxial/abaxial epidermal cells have curved, non-segmented walls. Stomata include anomocytic and anisocytic types, with evenly thickened guard cells and gramineous pores. Leaf vascular tissue is reverse-collateral; xylem sheaths display spiral thickening.

The petiole is densely covered with variable-length conical bristles and glandular trichomes. Its primary tissue comprises thin-walled polygonal cells with central obliteration. Vascular tissue is reverse-collateral; xylem vessels have oval/angular lumens characterized by differentiation into longitudinal rows, with spiral inner layer thickening.

This detailed anatomical profile highlights structural adaptations and specialized cell/tissue features, providing critical diagnostic criteria for identifying and utilizing *S. persicum*.

Keywords: *Solanum persicum* Willd. ex Roem.et Schult. anatomy; diagnostic markers; flora of Georgia.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.59



ღვინოსა და წყალში მიკროორგანიზმთა მორფოლოგიური და ტინქტორიალური მახასიათებლების განსაზღვრა

მანანა მამულაშვილი[1], გიორგი ბიბილეიშვილი[2], ზაზა ჯავაშვილი[3], თინათინ ბუთხუზი[4], ელენე კაკაბაძე[5]

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

[1]ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის დოქტორი, უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი
email:mananamamula59@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-3982- 5515
[2]ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი
email: 75bibileishvili@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-7712-2436

რეზიუმე

სტატია მიმოიხილავს მიკროორგანიზმთა მორფოლოგიური და ტინქტორიალური მახასიათებლების მნიშვნელობას ღვინოსა და წყალში. კვლევა შეეხო რქაწითელის ღვინოს, როგორც საქართველოს ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ და მრავალმხრივი ჯიშის პროდუქციას, ასევე წყალს, რომელიც გამოიყენება ღვინის წარმოებაში. კვლევაში განხილულია ღვინისა და წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის მეთოდები, მათ შორის მიკროსკოპული, კულტივირებადი. მიღებული შედეგები ადასტურებს, რომ მორფოლოგიური და ტინქტორიალური მახასიათებლების ცოდნა მნიშვნელოვანია მიკროორგანიზმების იდენტიფიკაციის, დიაგნოსტიკისა და მიკრობიოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად როგორც ღვინომასალის, ასევე ღვინის წარმოებაში გამოყენებული სტერილური წყლის მიღებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: ღვინომასალა, წყალი, მორფოლოგიური, ტინქტორიალური მახასიათებლები, მიკროორგანიზმები

შესავალი - ღვინო მსოფლიოს ყველაზე მრავალფეროვანი პროდუქტია. მევენახეობა და მეღვინეობა ქვეყანაში ერთ-ერთ წამყვან ადგილს იკავებს. ღვინის წარმოება საქართველოში მრავალსაუკუნოვან ტრადიციებს ეყრდნობა, ხოლო რიცხობრივად და კულტურულად ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ჯიშია რქაწითელი (*Vitis vinifera*). ამ ჯიშით მიღებული ღვინო განსხვავდება სხვა თეთრი ღვინოებისგან თავისი სტრუქტურით, სიმდიდრით და მიკრობიოლოგიური მრავალფეროვნებით. ხარისხიანი ღვინის წარმოება დღითიდღე უფრო აქტუალური ხდება, რასაც პროდუქტზე მოთხოვნის გაზრდა განაპირობებს. მნიშვნელოვანია, როგორც საწარმოებში წარმოებული ასევე საოჯახო ღვინოების ხარისხი და უვნებლობა.

ლიტერატურული მიმოხილვა - რქაწითელი, ერთ-ერთი უძველესი და ყველაზე გავრცელებული თეთრი ყურძნის ჯიშია საქართველოში. ის ძირითადად გაშენებულია კახეთში, განსაკუთრებით ალაზნის ველზე. ამ ჯიშისგან მზადდება როგორც კლასიკური

(ევროპული ტექნოლოგიით), ისე ქვევრის (ქართული ტრადიციული ტექნოლოგიით) ღვინოები. რქაწითელისგან მიღებული ღვინო გამოირჩევა მრავალმხრივი თვისებებით, მისი ძირითადი მახასიათებლებია: ფერი- კლასიკური ღვინო – ღია ჩალისფერი ან ოქროსფერი ელფერით; ქვევრის ღვინო – ღია ნარინჯისფერი (ქარვისფერი), რაც სკინ-კონტაქტის (კანთან ხანგრძლივი კონტაქტის) შედეგია; არომატი - რქაწითელის ღვინო აერთიანებს ნაზი, ხილისა და ყვავილების არომატებს, ხშირად იგრძნობა: თეთრი ხილი (ვაშლი, მსხალი), ციტრუსები, ზოგჯერ თაფლისა და თხილის ტონები, განსაკუთრებით ქვევრის ღვინოში; გემო - მშრალი, კარგად დაბალანსებული მჟავიანობით, ხალისიანი და გამაგრილებელი, სტრუქტურით საშუალო ან მაღალი სხეულით (განსაკუთრებით ქვევრში დაყენებული); ალკოჰოლი - საშუალოდ 11.5–13.5% [8].

ხარისხიანი ღვინის წარმოებისთვის აუცილებელია სისტემატური ქიმიური და მიკრობიოლოგიური კონტროლი. მიკრობიოლოგიური კონტროლი, ხელს უწყობს ინფექციის წყაროების იდენტიფიცირებას, მათ დროულად აღმოფხვრას და შესაძლებელს ხდის ღვინომასალებში დაავადების დაწყების აღმოჩენას მათში ქიმიური და გემო აღქმადი ცვლილებების გამოვლენამდე. ის უნდა განხორციელდეს ქიმიურ კონტროლთან მჭიდრო კავშირში, რაც შესაძლებელს გახდის ტექნოლოგიური პროცესის ნორმალური მიმდინარეობის მონიტორინგს, მიკროორგანიზმების განვითარების შემაფერხებელი ან ხელშემწყობი მიზეზების და ინფექციის წყაროების იდენტიფიცირებას [1,2,3].

ღვინოში მიკროორგანიზმთა მორფოლოგიური და ტინქტორიალური მახასიათებლების განსაზღვრა და მათი დიაგნოსტიკა მნიშვნელოვანია, როგორც ღვინის ხარისხის კონტროლისთვის, ისე მიკრობიოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

მორფოლოგია გულისხმობს მიკროორგანიზმების გარეგნულ სტრუქტურულ მახასიათებლებს, რომლებიც განისაზღვრება მიკროსკოპით დაკვირვების გზით. ძირითადი ნიშნებია: ფორმა – გლობული, ჩხირისებრი (ბაცილა), სპირალური; ზომა – ჩვეულებრივ განსაზღვრული მიკრომეტრებში; სელულური განლაგება – ჯგუფებად, ჯაჭვებად, წყვილებად, ცალკეული უჯრედებად; სპორების არსებობა – ზოგ ბაქტერიას შეუძლია სპორის წარმოქმნა არასასურველ პირობებში [4,5].

ტინქტორიალური (შეღებვითი) მახასიათებლები, ეხება იმას, თუ როგორ იღებენ მიკროორგანიზმები ფერს სხვადასხვა საღებავით დამუშავებისას. ძირითადი მეთოდებია: გრამის მეთოდი - გრამდადებითი -იისფერი (მაგ. *Lactobacillus*, *Oenococcus oeni*), გრამუარყოფითი - ვარდისფერი წითელი (მაგ. *Acetobacter*, *Gluconobacter*); სპეციფიური ფერადობის მეთოდები [4,5].

მეთოდები. ღვინის წარმოება მიკრობიოლოგიური პროცესია, სადაც მიმდინარეობს ფერმენტაციული პროცესები საფუარისა და ბაქტერიების გამოყენებით. ყურძნის წვენის მაღალხარისხოვან ღვინოდ ფორმირება და ბოთლში სტერილური განთავსება დამოკიდებულია ქიმიურ და მიკრობიოლოგიურ მონიტორინგზე, დამუშავებისა და გაუსნებოვნების ეფექტურ მეთოდებზე. საწარმოებში დუღილის პროცესის მონიტორინგის, მართვისა და სტერილური გარემოს შექმნისათვის აუცილებელია ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზების ლაბორატორია, რითაც მცირე ზომის ღვინის ქარხნები, საოჯახო მარნები და შატოები ნაკლებად არის უზრუნველყოფილი [1,2]. მიკრობიოლოგიური დიაგნოსტიკა ღვინოში მოიცავს მიკროორგანიზმების გამოვლენას, იდენტიფიკაციას და

რაოდენობრივ განსაზღვრას: ა) კულტივირებადი მეთოდები - ნუტრიული აგარის ან სელექტიური მედიუმების გამოყენება (მაგ. MRS აგარი ლაქტობაცილებისათვის); ინკუბაცია განსაზღვრულ ტემპერატურასა და პირობებში (აერობული/ანაერობული); კოლონიური მორფოლოგიის შეფასება.

ბ) მიკროსკოპული მეთოდები - პირდაპირი დაკვირვება ცოცხალ ან შეღებილ პრეპარატებში და ტინქტორიალური ან ფლუორესცენტული ფერადობა.

გ) ფიზიოლოგიურ-ბიოქიმიური ტესტები - შაქრის დუღილი, მჟავების წარმოქმნა, ტემპერატურული და pH მაჩვენებელი, SO_2 მედეგობა.

დ) მოლეკულური (თანამედროვე) მეთოდები - PCR (პოლიმერაზული ჯაჭვური რეაქცია) კონკრეტული გენების გამოსაკვეთად; DNA სეკვენირება (16S rRNA ან ITS რეგიონი საფუარებისა და ბაქტერიებისთვის) [4, 5,6].

ცხრილი 1. ძირითადი მიკროორგანიზმები რქაწითელის ღვინოში

ჯგუფი	სახეობა	ზეგავლენა ღვინოზე
საფუარები	*Saccharomyces cerevisiae*	ძირითადი ალკოჰოლური ფერმენტაცია / არასასურველი გემოს წარმოქმნა
ძმარმჟავა ბაქტერიები	*Acetobacter*, *Gluconobacter* spp	არასასურველი ოქსიდაციის რისკის შემცველები.
რძემჟავა ბაქტერიები	*Oenococcus oeni*, *Lactobacillus spp*	მალოლაქტური ფერმენტაცია
სოკოები	*Botrytis cinerea*, *Penicillium spp*	მავნე – ფერმენტაციის დარღვევა ან არომატის ცვლილება

ღვინის წარმოებისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წყლის სისუფთავეს, რათა წყლიდან არ მოხდეს ღვინოში ბაქტერიების შეტანა. წყლის მიკროორგანიზმთა მორფოლოგიური და ტინქტორიალური მახასიათებლების შესწავლა გვაძლევს საშუალებას, გავარკვიოთ მათი სახეობრივი შემადგენლობა და პოტენციური რისკები. წყლის მიკრობიოლოგიური ხარისხი წარმოადგენს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს პარამეტრს, რომელიც განსაზღვრავს მის უსაფრთხოებასა და სიჯანსაღეს. მიკროორგანიზმების არსებობა წყალში შესაძლებელია იყოს როგორც ბუნებრივი, ისე დამაბინძურებელი წყაროებისგან გამოწვეული. მათი მორფოლოგიური, ტინქტორიალური მახასიათებლების შესწავლა მნიშვნელოვანია მათი ამოცნობისა და შესაბამისი კონტროლის მეთოდების განსაზღვრისათვის.

წყალში მიკროორგანიზმები შეიძლება წარმოადგენდნენ ბაქტერიებს, საფუარებს, ობებსა და სხვა მიკროორგანიზმებს. მათი მორფოლოგიური მახასიათებლები მოიცავს ზომას, ფორმას (კოკები, ბაცილები, სპირილი, ვიბრიონები), აგრეთვე უჯრედის სტრუქტურას და დაყოფის ტიპს.

მიკროორგანიზმების ტინქტორიალური მახასიათებლები განსაზღვრავს მათ რეაქციას სხვადასხვა შეღებვის მეთოდებზე, როგორიცაა გრამის შეღებვა, ზილ-ნილსენის მეთოდი,

ენდოსპორების შეღებვა და სხვ. ამ მახასიათებლების მიხედვით შესაძლებელია მათი კლასიფიკაცია და დიაგნოსტიკა [4,5,7].

ცხრილი 2. წყლის მორფოლოგიური და ტინქტორიალური მახასიათებლები

მიკროორგანიზმი	მორფოლოგიური მახასიათებლები	ტინქტორიალური მახასიათებლები
ბაქტერიები	კოკები, ბაცილები, სპირილი	გრამ-დადებითი, გრამ-უარყოფითი
საფუარები	ოვალური, მრგვალი უჯრედები	მეწამური, ცისფერი,ულებავი
ობები	ფილამენტური სპორებით	მრავალფერი ფერებით
ვირუსები	სხვადასხვა ფორმის	სპეციფიკური ანტიგენური რეაქციები

მცირე საწარმოებში, საოჯახო მარნებსა და შატოებში საწარმოო სისტემების და ღვინის ბოთლების რეცხვა-გაუსნებოვნებისთვის აუცილებელია სტერილური წყალი.

ანალიზი - მიკრობიოლოგიური ანალიზი ჩატარებული იქნა საოჯახო ღვინის საწარმოში გამოყენებულ წყლზე. მიკრობიოლოგიური უსაფრთხოების მიზნით წყლის ანალიზი ჩატარდა ფილტრაციამდე და ულტრაფილტრაციის შემდეგ. წყლის სტერილიზაციისათვის წყალი დამუშავდა 0,1 მკმ ფორის ზომის მემბრანით. კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში 3.

ცხრილი 3. წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები

განსასაზღვრავი მიკროორგანიზმი	მაჩვენებლის მნიშვნელობა ნდ-ს მიხედვით	მაჩვენებლის ფაქტიური მნიშვნელობა	მაჩვენებლის ფაქტიური მნიშვნელობა ფილტრაციის შემდეგ
E.coli 300 ml	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
მეზოფილური აერობების და ფაკულტატური ანაერო¬ბების რაოდენობა 1 მლ-ში	37°C ≤ 20	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
ტოტალური კოლიფორმები, 300მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
ფეკალური სტრეპტოკოკები (*S.fekalis*) 250 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა

შედეგი და განსჯა

კვლევამ აჩვენა, რომ მიკროორგანიზმთა მორფოლოგიური და ტინქტორიალური მახასიათებლების შესწავლა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს როგორც ღვინის, ასევე წყლის მიკრობიოლოგიური უსაფრთხოების შეფასებაში. წყლის ანალიზმა კი დაადასტურა, რომ სტერილური წყლის გამოყენება აუცილებელია მიკრობიოლოგიური რისკების შემცირებისთვის. კვლევის შედეგები მნიშვნელოვანი პრაქტიკული რეკომენდაციებია, როგორც საოჯახო მარნებისთვის, ასევე მცირე და საშუალო მეღვინეობისთვის, სადაც აუცილებელია სისტემატური მიკრობიოლოგიური კონტროლი როგორც წყლის ხარისხის კონტროლისათვის ასევე მაღალი ხარისხის ღვინის წარმოებისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა

1.ბიბილეიშვილი გ.ვ. მამულაშვილი მ.ა., ბუთხუზი თ.გ, კაკაბაძე ე.გ. ბუნებრივი წყლის და ღვინომასალების ბაქტერიოლოგიური კვლევა მიკრო- და ულტრაფილტრაციული პროცესების გამოყენებით. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი №2 2023 გვ.71-72

2.კაკაბაძე ე., ბიბილეიშვილი გ., თანანაშვილი ლ., ჯავაშვილი ზ., მამულაშვილი მ., & ებანოიძე ლ. (2024). სხვადასხვა ტიპის ღვინომასალის მიკროფილტრაციული პროცესით დამუშავების ადგილობრივი და საერთაშორისო პატენტების ანალიზი. ქართველი მეცნიერები, 6(4), 375–378. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.04.35

3.ბიბილეიშვილი გ.ვ., მამულაშვილი მ.ა., კეჟერაშვილი მ.გ., ბიბილეიშვილი ი.ვ. საფერავის ღვინომასალის სტერილური მიკროფილტრაცია და მიკრობიოლოგიური ანალიზი. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი №2, ტომ.96, 2022 DOI: https://doi.org/10.36073/1512-0187 გვ. 115-116

4.Nardi T. Microbial resources as a tool for enhancing sustainability in winemaking. Microorganisms. 2020; 8:507. doi: 10.3390/microorganisms8040507

5. ი.გველესიანი ლაბორატორიული პრაქტიკული მიკრობიოლოგიაში. სტუ 27.05.2009, ოქმი #5 თბილისი 2009

6. ჩიხლაძე ნ., და კიკვიძე მ. (2022). ადგილობრივი საფუარების დახასიათება რქაწითელის ქვევრის ღვინოებში. ღვინის მიკრობიოლოგიისა და ბიოტექნოლოგიის ჟურნალი, 7(1), 12–20

7. Margaliti, L. A. (1981). *Wine Microbiology*. AVI Publishing Company.

8. რქაწითელი - NPLG Wiki Dictionaries

Determination of morphological and tinctorial characteristics of microorganisms in wine and water

Manana Mamulashvili[1], George Bibileishvili[2], Zaza Javashvili[3], Tinatin Butkhuzi[4], Elene Kakabadze[5]

Engineering Institute of Membrane technologies of Georgian Technical University

Abstract

The article reviews the importance of the morphological and tinctorial characteristics of microorganisms in wine and water. The study focused on Rkatsiteli wine, one of the most widespread and versatile grape varieties in Georgia, and on water used in wine production. Morphological characteristics include the shape, size, cellular arrangement, and presence of spores of microorganisms. Tinctorial characteristics determine the staining properties of microorganisms, which play a crucial role in their classification and diagnosis. The study discusses microbiological analysis methods for wine and water, including microscopic, culturable. The results confirm that knowledge of the morphological and tinctorial characteristics of microorganisms is essential for their identification, diagnosis, and ensuring microbiological safety in both wine and water.

Keywords: wine, water, morphological, tinctorial characteristics, microorganisms

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.60



DevOps-ის პრაქტიკის შეფასება წარმატებულ საერთაშორისო კომპანიებში

ქეთევან მძელური[1], ანა იმერლიშვილი[2]
[1] საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი ORCID ID: 0009-0003-9242-5304; [2] საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი ORCID ID: 0009-0001-6736-3514

აბსტრაქტი

დღევანდელ სწრაფად განვითარებად ტექნოლოგიურ ლანდშაფტში, ორგანიზაციები მუდმივად ეძებენ მეთოდოლოგიებს, რომლებიც დაეხმარება მათ მაღალი ხარისხის პროგრამული უზრუნველყოფის ეფექტურად და საიმედოდ მიწოდებაში. DevOps გაჩნდა, როგორც ტრანსფორმაციული მიდგომა, რომელიც არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ ინოვაციებს ნერგავს, არამედ ხელს უწყობს კულტურულ და ორგანიზაციულ ცვლილებებს. ეს სტატია იკვლევს DevOps-ის პრაქტიკას წარმატებულ საერთაშორისო კომპანიებში, სხვადასხვა ინდუსტრიის ექსპერტების გამოკითხვის საფუძველზე. კვლევა ხაზს უსვამს DevOps-ის დანერგვის უპირატესობებსა და გამოწვევებს, სტატიაში აქცენტი გაკეთებულია იმაზე, თუ როგორ შეიძლება ამ გამოცდილებამ წარმართოს DevOps-ის განვითარება საქართველოში. დასკვნები ხაზს უსვამს იმას, რომ მიუხედავად იმისა, რომ ტექნოლოგიური ინსტრუმენტები აუცილებელია, წარმატების გასაღები კულტურულ მზადყოფნაში, პროფესიულ განვითარებასა და სტრატეგიულ დაგეგმვაშია.

საკვანძო სიტყვები: DevOps, ავტომატიზაცია, CI/CD, პროგრამული უზრუნველყოფის მიწოდება, ციფრული ტრანსფორმაცია, უწყვეტი გაუმჯობესება

შესავალი

თანამედროვე ციფრული ეპოქა მოითხოვს სწრაფ, მოქნილ და საიმედო პროგრამული უზრუნველყოფის მიწოდებას. ამ მიზნის მისაღწევად ტექნოლოგიური კომპანიები სულ უფრო მეტად მიმართავენ DevOps-ის მეთოდოლოგიას, რომელიც აერთიანებს პროგრამული უზრუნველყოფის შემუშავებისა და ოპერაციების გუნდებს ერთიან პროცესად. DevOps არა მხოლოდ ტექნოლოგიური, არამედ კულტურული ცვლილებაა, რომელიც მიზნად ისახავს თანამშრომლობის გაუმჯობესებას, ავტომატიზაციას და უწყვეტი მიწოდების პროცესების დანერგვას.

მსოფლიო მასშტაბით DevOps-მ უკვე დაამკვიდრა თავისი ადგილი როგორც ეფექტური პრაქტიკა, რომელიც უზრუნველყოფს პროგრამული პროდუქტის ხარისხის გაუმჯობესებას, განახლებების სისწრაფესა და მომხმარებელზე ორიენტირებულ მომსახურებას.

მოცემული კვლევა ემყარება უცხოელი სპეციალისტების გამოკითხვას, რომლებიც წარმოადგენენ სხვადასხვა წარმატებულ კომპანიას ტექნოლოგიური, მომსახურებისა და სხვა სექტორებიდან. კვლევის მიზანია გამოავლინოს DevOps-ის გამოყენების დონე, ინსტრუმენტების გავრცელება, სარგებელი და ძირითადი გამოწვევები, ასევე შეფასდეს მზადყოფნა სრულფასოვანი დანერგვისთვის.

კვლევის მიზანია შეფასდეს DevOps პრაქტიკის ხარისხი და ეფექტიანობა წარმატებულ საერთაშორისო კომპანიებში, სხვადასხვა დარგში. კერძოდ, ყურადღება გამახვილდა შემდეგ საკითხებზე: DevOps-ის მეთოდოლოგიის ცოდნის დონე ექსპერტებს შორის, პრაქტიკის გამოყენების ფაქტობრივი მდგომარეობა კომპანიებში, გამოყენებული ინსტრუმენტები და მათი ინტეგრაციის დონე, DevOps-ის პრაქტიკის სარგებელი და გამოწვევები, კომპანიის მზადყოფნა DevOps-ის სრული დანერგვისთვის, ექსპერტთა რეკომენდაციები შედარებით განვითარებადი ქვეყნებისათვის, როგორიცაა საქართველო.

კვლევის მეთოდოლოგია:

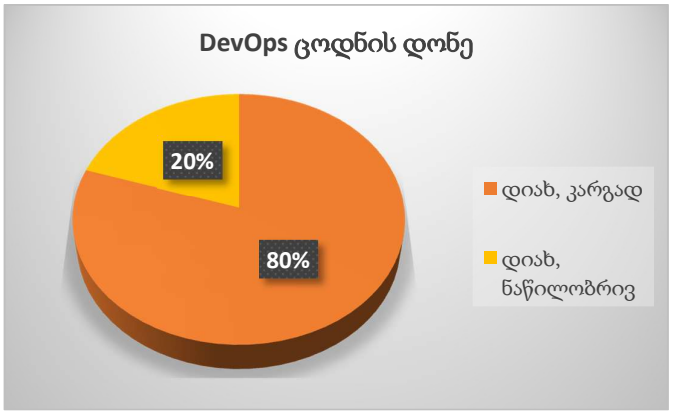
მოცემული კვლევა განხორციელდა ონლაინ ანონიმური კითხვარის მეშვეობით, რომელშიც მონაწილეობდნენ საერთაშორისო ექსპერტები — DevOps ინჟინრები, სისტემური ადმინისტრატორები, პროგრამული უზრუნველყოფის არქიტექტორები და ტექნიკური დირექტორები, რომლებიც მუშაობენ შესანიშნავი პრაქტიკით გამორჩეულ კომპანიებში. კომპანიების სიდიდე განსხვავდებოდა (10-დან 200+ თანამშრომლამდე), რაც უზრუნველყოფს მრავალფეროვან და წარმომადგენლობით ჭრილს.

კითხვარი მოიცავდა როგორც დახურული (მრავალვარიანტიანი), ისე ღია ტიპის შეკითხვებს. მონაცემები შეგროვდა შემდეგი ძირითადი მიმართულებებით: ცოდნის დონე DevOps მეთოდოლოგიის შესახებ, პრაქტიკული გამოყენება და ორგანიზაციული ინტეგრაცია, გამოყენებული ინსტრუმენტები (CI/CD, ავტომატიზაცია, მონიტორინგი), შეფასება სარგებლისა და გამოწვევების კუთხით, ორგანიზაციის მზაობის დონის თვითშეფასება.

მონაცემების ანალიზი ჩატარდა აღწერითი სტატისტიკისა და შინაარსობრივი კლასიფიკაციის საფუძველზე. შედეგებმა წარმოაჩინა როგორც DevOps-ის წარმატებული გამოყენების მოდელები, ისე ის ფაქტორები, რომლებიც განსაზღვრავენ მისი ინტეგრაციის სიღრმესა და ხარისხს საერთაშორისო პრაქტიკაში

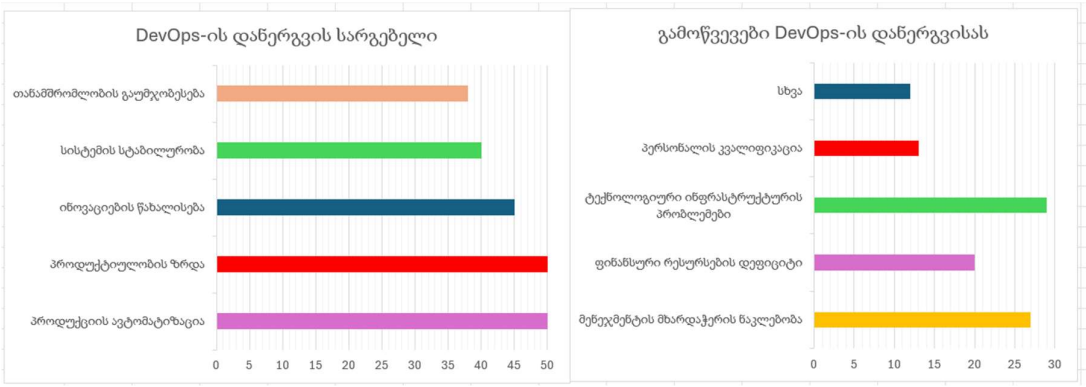
ძირითადი მიგნებები და კვლევის ანალიზი

გამოკითხულ რესპოდენტებიდან თითქმის ყველა აცხადებს, რომ ორგანიზაციაში სრულად დანერგილია DevOps პრაქტიკა, სისტემური ინტეგრაცია უკვე დასრულებულია და DevOps პროცესი სრულად ავტომატიზებულია. მიუხედავად არსებული ინტეგრაციისა, ნაწილი კომპანიებისა მაინც აცნობიერებს სრულყოფის საჭიროებას. თითოეული რესპოდენტი კარგად ან ნაწილობრივ იცნობს DevOps მეთოდოლოგიას. უმეტესობამ მიუთითა, რომ გააჩნია სრული ცოდნა.



ნახ.1 DevOps ცოდნის დონე

გამოყენებული ინსტრუმენტებიდან ყველაზე ხშირად დასახელდა Jenkins, Docker, Kubernetes, Git/GitLab/GitHub. ზოგიერთი კომპანია ასევე იყენებს Terraform, Ansible, Prometheus.



ნახ.2 DevOps-ის დანერგვის სარგებელი და გამოწვევები

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია კვლევის შედეგების ვიზუალიზაცია:

- მარცხნივ ნაჩვენებია ძირითადი სარგებელი, რომელსაც კომპანიები DevOps-ის დანერგვისას იღებენ. ყველაზე ხშირად ნახსენებია: პროდუქციის ავტომატიზაცია, პროდუქტიულობის ზრდა, და ინოვაციების წახალისება.
- მარჯვნივ ასახულია ძირითადი სირთულეები, რომლებიც ხელს უშლიან DevOps-ის სრულად დანერგვას. მათ შორის გამოირჩევა: მენეჯმენტის მხარდაჭერის ნაკლებობა, ფინანსური რესურსების დეფიციტი, და ტექნოლოგიური ინფრასტრუქტურის პრობლემები.

კვლევის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანიდ ა საინტერესო კითხვა იყო - რა ნაბიჯებია საჭირო DevOps-ის ეფექტიანი დანერგვისთვის საქართველოში, რის საფუძველზეც შევიმუშავეთ ანალიზი და რეკომენდაციები.

პირველი და ძირითადი ნაბიჯი, რომლის აუცილებლობაზე შეთანხმდნენ რესპოდენტები, არის არსებული ინფრასტრუქტურის შეფასება. სანამ ორგანიზაცია დაიწყებს DevOps პროცესების დანერგვას, აუცილებელია გაირკვეს:

- რა Bottleneck-ები არსებობს მოქმედ სისტემებში?
- რამდენად ეფექტიანია არსებული ვირტუალიზაცია, სერვერების მართვა და მონაცემთა ბაზები?
- არის თუ არა საჭირო დამატებითი რესურსების ან ტექნოლოგიების დანერგვა?

მონაწილეთა აზრით, სუსტი მხარეების აღმოჩენა დაეხმარება DevOps პროცესების სწორად აგებას და მათზე მორგებულ გადაწყვეტილებათა შექმნას.

რესპოდნეტთა პასუხებში მნიშვნელოვანი აქცენტი გაკეთდა ავტომატიზაციაზე. მონაწილეების განმარტებით, DevOps-ის ეფექტიანად მუშაობისთვის აუცილებელია:

- CI/CD სისტემების დანერგვა (მაგალითად Jenkins, GitLab CI/CD)
- კონტეინერიზაცია (Docker, Kubernetes)
- ტესტირების ავტომატიზაცია
- Deployment პროცესების გამარტივება

ეს ნაბიჯები მნიშვნელოვნად ამცირებს გამოსაყვან კოდში შეცდომების რაოდენობას და აჩქარებს პროდუქტების ბაზარზე მიწოდებას.

მონაწილეებმა ყურადღება გაამახვილეს სწორად შერჩეულ ინსტრუმენტებზე. ხშირად დასახელებული იყო შემდეგი ტექნოლოგიები:

- Jenkins
- Docker
- Kubernetes
- Terraform
- GitLab/GitHub

მნიშვნელოვანია, რომ ინსტრუმენტების არჩევა იყოს მორგებული კონკრეტული კომპანიის საჭიროებებს და იყოს კომბინირებული უსაფრთხოების სისტემებთან (Security) და მონიტორინგთან.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ DevOps არ არის მხოლოდ ტექნოლოგიური პლატფორმა — ეს არის კულტურა, რომელიც ეფუძნება დეველოპერებსა და ოპერაციებს შორის თანამშრომლობას. კვლევამ აჩვენა, რომ საქართველოში ერთ-ერთი ძირითადი გამოწვევა სწორედ გუნდური მუშაობის კულტურის გაუმჯობესებაა.

ერთ-ერთი ხშირად დასახელებული გამოწვევა იყო კვალიფიციური სპეციალისტების ნაკლებობა. ამიტომ, აუცილებელია:

- სპეციალისტების მუდმივი გადამზადება და პროფესიული განვითარება
- DevOps კურსების და სერტიფიკატების ხელმისაწვდომობა
- საერთაშორისო პრაქტიკის გაზიარება

მონაწილეებმა ხაზი გაუსვეს სტრატეგიული დაგეგმვის აუცილებლობას. კომპანიის თითოეულ დონეზე უნდა იყოს ჩამოყალიბებული ხედვა, თუ როგორ, რა ვადებში და რა რესურსებით განხორციელდება DevOps პროცესები.

DevOps-ის დანერგვა საქართველოში არ არის მხოლოდ ტექნოლოგიური ამოცანა — ესაა სტრატეგიული გადაწყვეტილება, რომელიც მოითხოვს როგორც ტექნიკურ ცოდნას, ასევე მართვის და კორპორაციული კულტურის ცვლილებებს. სწორი დაგეგმვითა და ერთობლივი ძალისხმევით შესაძლებელია საქართველოში IT ინდუსტრიის კონკურენტუნარიანობის მნიშვნელოვნად გაზრდა.

დასკვნა

ეს კვლევა აჩვენებს, რომ DevOps პრაქტიკის სრული ინტეგრაცია რეალურად შესაძლებელია და შედეგიანი — როდესაც არსებობს მკაფიო ხედვა, ინსტრუმენტების სწორად შერწყმული გამოყენება და თანამშრომლობითი სამუშაო გარემო. წარმატებულ კომპანიებში DevOps არა მხოლოდ ტექნოლოგია, არამედ მუდმივი გაუმჯობესების კულტურაა.

საქართველოს ორგანიზაციებმა, რომლებიც ისწრაფვიან ციფრული ტრანსფორმაციისკენ, უნდა გაითვალისწინონ ეს გამოცდილება — ტექნიკური მზაობა, განათლება, მენეჯმენტის ჩართულობა და ფინანსური სტაბილურობა ერთად ქმნიან DevOps წარმატების საფუძველს.

References

1. Humble, J., & Farley, D. (2010). Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation. Addison-Wesley.

2. Kim, G., Behr, K., & Spafford, G. (2013). The Phoenix Project: A Novel About IT, DevOps, and Helping Your Business Win. IT Revolution Press.

3. Forsgren, N., Humble, J., & Kim, G. (2018). Accelerate: The Science of Lean Software and DevOps. IT Revolution Press.

4. Fitzgerald, B., & Stol, K.-J. (2017). Continuous software engineering: A roadmap and agenda. Journal of Systems and Software, 123, 176-189.

5. Research Data: Anonymous Online Survey Conducted in 2025.

6. Lortkipanidze, N., & Otkhozoria, N. (2024). Navigating business excellence: The crucial role of information technology service management through best practice ITIL. Georgian Scientists, 6(1), 120–124. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.01.15

7. Otkhozoria, N., Petriashvili, L., Kudukhashvili, A., & Nino, K. (2023). Comparative analysis of complex information system testing methods. World Science, 4(82), https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122023/8076

8. Otkhozoria, N., Zhvania, T., Petriashvili, L., & Lortkipanidze, N. (2024). The critical role of information technology service management using ITIL best practices to improve business management. Works of GTU, 2(532), 6. https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-2-171-176

9. Otkhozoria, N., Petriashvili, L., Zhvania, T., & Imerlishvili, A. (2025). Advancing information system testing: challenges, methods, and practical recommendations. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, *4*(2), 203–214. https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250402.13

Evaluating DevOps practices in successful international companies

Ketevan Mdzeluri, Ana Imerlishvili

Abstract

In today's rapidly evolving technological landscape, organizations are constantly searching for methodologies that can help them deliver high-quality software efficiently and reliably. DevOps has emerged as a transformative approach, not only introducing technological innovation but also fostering cultural and organizational change. This article explores DevOps practices in successful international companies, based on a survey of experts across various industries. The study highlights both the benefits and challenges of DevOps implementation, with particular focus on how these experiences can guide the development of DevOps in Georgia. The findings emphasize that while technological tools are essential, the key to success lies in cultural readiness, professional development, and strategic planning.

Keywords: DevOps, Automation, CI/CD, Software Delivery, Digital Transformation, Continuous Improvement

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.61



ადგილობრივი და საერთაშორისო საპატენტო ნამუშევრების მოძიება და ანალიზი საფერავის, ქინძმარაულის, ხვანჭკარას, მუკუზანის ღვინომასალის მიკროფილტრაციული პროცესისათვის ცვალებადი ტემპერატურისა და სიბლანტის პირობებში.

გიორგი ბიბილეიშვილი[1], ზაზა ჯავაშვილი[2], ელენე კაკაბაძე[3], ლეილა თანანაშვილი[4], მანანა მამულაშვილი[5]

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი
[1]ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი
email: 75bibileishvili@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-7712-2436
[4]მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის სწავლული მდივანი - dodo_chanturia@mail.ru

რეზიუმე

ნაშრომში განხილული ადგილობრივი და საერთაშორისო საპატენტო ნამუშევრები ასახავს სხვადასხვა წითელი ღვინომასალის მიღების მიკროფილტრაციული პროცესის მეთოდების დამუშავების დარგობრივი სპეციფიკის არსებულ მდგომარეობას მსოფლიოში და განაპირობებს, ინსტიტუტში მიმდინარე სამეცნიერო კვლევებისათვის სათანადო პრიორიტეტების გამოკვეთას.

საკვანძო სიტყვები: ადგილობრივი და საერთაშორისო პატენტები, ცვლადი ტემპერატურა, სიბლანტის პირობები, ღვინის მასალები, საფერავი.

წითელი ღვინო მუქი ფერის ყურძნის დაწურვისა და მისი ფერმენტაციის შედეგად მიიღება. ფერმენტაციის დროს ყურძნის წვენში შემავალი ბუნებრივი შაქარი ალკოჰოლად გარდაიქმნება. ეს პროცესი ძირითადად თავისთავად მიმდინარეობს განსაზღვრულ ტემპერატურულ გარემოში, თუმცა ზოგჯერ ღვინის მწარმოებლები მის დასაჩქარებლად დაწურულ ყურძენს სპეციალურ საფუარსაც ამატებენ. ფერმენტაციის პროცესის დასრულების შემდეგ ხდება ღვინის დაძველება ქვევრში, უჟანგავი ლითონის ჭურჭელში, მუხის კასრში.

მემბრანაზე დაფუძნებული პროცესები, განსაკუთრებით წნევით მართვადი მემბრანული ოპერაციები, დღეს კარგად დამკვიდრებული მეთოდებია ღვინის მრეწველობაში მათი უნიკალური თვისებებისა და ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით უდავო უპირატესობების გამო. ახალი მემბრანული პროცესები, როგორიცაა პერვაპორაცია, ელექტროდიალიზი, ოსმოსური დისტილაცია, უკუოსმოსი და მემბრანული კონტაქტორები, გვთავაზობენ ახალ და საინტერესო პერსპექტივებს, რათა გავაუმჯობესოთ ხარისხი და შევქმნათ ახალი პროდუქტები ორგანოლეპტიკური თვისებების დაზიანების გარეშე.

მიმოხილვაში მოცემულია მემბრანული ოპერაციების გამოყენების ყოვლისმომცველი განხილვა ღვინის გადამუშავებაში. ჩატარდა ბიბლიომეტრიული და მეცნიერული ანალიზი, რათა წარმოჩენილიყო ამ ოპერაციების გამოყენების მიმდინარე პროგრესი ღვინის წარმოების სხვადასხვა ეტაპზე, მათ შორის გაფილტვრა, სტაბილიზაცია, კონცენტრაცია, მჟავიანობის გაზრდა, მჟავიანობის შემცირება და დეალკოჰოლიზაცია. აღნიშნულია მიმდინარე გამოწვევები და პერსპექტივები, რათა მოხდეს მემბრანული ტექნოლოგიის შემდგომი განვითარებისა და გაუმჯობესების მიმართულებების განსაზღვრა ამ სფეროში. ტრადიციული და ინოვაციური მემბრანული სისტემების გამოყენება საინტერესო შესაძლებლობებს იძლევა ღვინის გადამუშავების ინდუსტრიის ამჟამინდელი პრაქტიკის გაუმჯობესებისა და ოპტიმიზაციისთვის. მნიშვნელოვანი პროგრესი მიღწეულია დაბალი დაბინძურების (low-fouling) მასალების განვითარების მიმართულებით, ასევე ღვინის იმ მოლეკულების იდენტიფიკაციის კუთხით, რომლებიც მემბრანის დაბინძურებას იწვევს და მეთოდების შემუშავებაში, რომლებიც ამ პროცესის შემცირებას უწყობს ხელს მიკროფილტრაციული მემბრანების გამოყენებით ღვინის გასუფთავებისას.

ტექნოლოგიური პროგრესი ელექტროდიალიზში ამ პროცესს ძალიან მიმზიდველ მეთოდად აქცევს ღვინის ტარტრატული სტაბილიზაციისთვის, მჟავიანობის გაზრდისა და შემცირების მიზნით. ტრადიციული და ახალი მემბრანული პროცესები უზრუნველყოფს ეფექტურ სტრატეგიებს ფერმენტაციის შემდგომ ეთანოლის მოცილებისთვის, მისი თავდაპირველი თვისებების შენარჩუნებით.

საერთაშორისო კვლევების შედეგები საინტერესო პერსპექტივებს აჩენს მემბრანული პროცესების უფრო ფართოდ დანერგვისთვის მეღვინეობის ინდუსტრიაში, ასევე, ტრადიციული მეღვინეობის პროცესის გადახედვისა და ოპტიმიზაციისთვის პროცესების ინტენსიფიკაციას სტრატეგიის ფარგლებში.

MF მემბრანები, ფორების ზომით 0,2 მკმ, ჩვეულებრივ გამოიყენება წითელი ღვინოების გასაწმენდად. ამ მემბრანებს შეუძლიათ უზრუნველყონ მიკრობიოლოგიური სიკაშკაშე და სტაბილურობა დაბალი სიმღვრივის ღვინოების (1 NTU-ზე ნაკლები) საწარმოებლად მათი ორგანოლეპტიკურ მახასიათებლებზე ზემოქმედების გარეშე. თეთრი ღვინოებისთვის ჩვეულებრივ გამოიყენება MF მემბრანები ფორის ზომით, 0,1-დან 0,22 მკმ-მდე. ეს მემბრანები აწარმოებენ გამჭვირვალე ღვინოებს 0,5 NTU-ზე დაბალი სიმღვრივეებითა და უფრო სტაბილური წარმადობით, რადგან მათი ფორის ზომები მნიშვნელოვნად მცირეა ღვინოებში ყველაზე დიდი ნაწილაკების ზომებზე. სხვადასხვა პოლიმერულ MF მემბრანებს შორის (PES-ზე დაფუძნებული, ცელულოზის აცეტატი, PP, ნეილონი) ფორის ზომა 0.2-დან 5 მკმ-მდე, ცელულოზის აცეტატის მემბრანები ფორის ზომით 0.2 და 0.45 მკმ მიჩნეული იყო ყველაზე შესაფერის მემბრანებად წითელი ღვინის გამწმენდი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებისა და გაჟღენთის ნაკადის შემცირების თვალსაზრისით. მიღებული შედეგები განსაზღვრავს ამ მემბრანების ჰიდროფილურ ხასიათს, რამაც გამოიწვია პოლიფენოლების დაბალი ადსორბცია, (განსაკუთრებით ანტოციანინების) და პოლისახარიდების, სხვა ტესტირებულ მემბრანებთან შედარებისას. ზოგადად, მემბრანების უმეტესობამ აჩვენა სიმღვრივის მსგავსი შემცირება; თუმცა, PES მემბრანებს (0.45 მკმ) დასჭირდათ ყველაზე ხანგრძლივი ფილტრაციის დრო, მიუხედავად იმისა, რომ მათი საწყისი წარმადობა ყველაზე მაღალი იყო. ავტორები ვარაუდობდნენ, რომ (უკუდრეცხვა, გამორეცხვა), უკუშოკური გასუფთავება ან ინფრასონური

პულსირება შეიძლება გამოიყენონ დაბინძურების შესამცირებლად, რაც ჩვეულებრივ გამოწვეულია პოლისაქარიდებით. [1]

სტანდარტული ღვინოდან სულფიტების მოცილების მეთოდი მოიცავს შემდეგ ეტაპებს: სტანდარტული ღვინის გატარებას ბაზის ანიონგაცვლითი ფისის საშუალებით, შემდეგ ღვინის გატარებას მჟავა კათიონგაცვლითი ფისის საშუალებით და ბოლოს ღვინის დამუშავებას ნახშირით, რის შედეგადაც მიიღება სტანდარტული ღვინო, რომელიც შეიცავს 10 ppm-ზე ნაკლებ სულფიტებს. გამოგონება ასევე, მოიცავს ყურძნის სტანდარტული ღვინის წარმოების მეთოდს, რომელიც შეიცავს 10 ppm-ზე ნაკლებ სულფიტებს.[2]

სითხეების, განსაკუთრებით ღვინის, ნაკლებადწვრილფოროვანი ფილტრაციის მიკროფილტრაციის ავტომატური დანადგარი სითხეებისთვის, ამ გამოგონების შესაბამისად, აღჭურვილია სითხის ნაკადის გადამანაწილებელი მოწყობილობების სერიით, რომელთა მუშაობა ელექტრონულად კონტროლდება.

მიკროფილტრაციის პროცესის ყველა ეტაპი, აგრეთვე გამრეცხი, სტერილიზაციისა და მემბრანების აღდგენის ფაზები ავტომატურად ხორციელდება პარამეტრების შეყვანისა და გამოსახვის მოწყობილობიდან, როგორიცაა ელექტრონული კომპიუტერი. ეს კომპიუტერი უზრუნველყოფს ფილტრირებად პროდუქტთან შესაბამისი სამუშაო ეტაპების, აგრეთვე დანადგარის რეცხვისა და სტერილიზაციის ავტომატურ მართვას.[3]

ნაშრომი ეხება მაღალი ფერის კონცენტრირებული (HCC) ღვინის მომზადების მეთოდებს. მეთოდების ასპექტები შეიძლება მოიცავდეს ერთი ან მეტი ყურძნისგან მიღებული თხევადი ყურძნის კომპოზიციის მოპოვებას, ამ კომპოზიციის pH-ის შესაცვლელად რეაგენტთან შეხებას, თხევად ყურძნის კომპოზიციაში განსაზღვრული რაოდენობის გამოხდილი ალკოჰოლის დამატებას გაძლიერებული ღვინის კომპოზიციის მისაღებად და ამ ღვინის კონცენტრირებას HCC ღვინის მისაღებად.

მეთოდების სხვა ასპექტები შეიძლება მოიცავდეს ერთი ან მეტი ყურძნისგან მიღებული მასტის მოპოვებას, მასტის დადუღებას ყურძნის თხევადი კომპოზიციის მისაღებად, რომელსაც აქვს გარკვეული ალკოჰოლის შემცველობა, ამ კომპოზიციის pH-ის შესაცვლელად რეაგენტთან შეხებას და მიღებული ყურძნის თხევადი კომპოზიციის კონცენტრირებას HCC ღვინის მისაღებად. ასევე, წარმოდგენილია შემადგენლობა, რომელიც მოიცავს ამ მეთოდებით წარმოებულ HCC ღვინოს.[4]

წითელი ღვინო შეიცავს მრავალ ნივთიერებას, რომლებიც დადებით გავლენას ახდენენ ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ამ კვლევის მიზანი იყო ღვინის ღირებული კომპონენტების კონცენტრირება ნანოფილტრაციის საშუალებით, პერმეატის ნაკადის მათემატიკური მოდელის აღწერა და პროცესის ღირებულების შეფასება. ლაბორატორიული დანადგარი ნანოფილტრაციის მემბრანით გამოყენებული იყო კონცენტრირებისთვის. ექსპერიმენტები ჩატარდა მუდმივი წნევის, სხვადასხვა ტემპერატურებისა და სხვადასხვა რეციკულაციის ნაკადების პირობებში. ნივთიერებების კონცენტრაცია გაანალიზდა პერმეატსა და რეტენტატში, მათ შორის საერთო მჟავა, საერთო ექსტრაქტი, ალკოჰოლი, შაქარი, თავისუფალი სულფუროზის მჟავა, საერთო სულფუროზის მჟავა, შაქრის გარეშე ექსტრაქტის შემცველობა და ვოლატური მჟავების შემცველობა. ასევე, განხორციელდა პროცესის მათემატიკური მოდელირება და ღირებულების ანალიზი [5].

არა-საქარომიცესის საფუარები მრავალი წლის განმავლობაში გამოიყენებოდა მათი ტექნოლოგიური პოტენციალის გამო, განსაკუთრებით, როგორც ღვინის ხილის არომატის „გამაძლიერებელი“ Saccharomyces cerevisiae-თან შერეული დუღილის პროცესში. ბოლო პერიოდში მათთვის ახალი დანიშნულება გაჩნდა – ბიოდაცვა, რომელიც ღვინოში სულფიტის შემცირების კონტექსტში გარემოს კოლონიზაციას გულისხმობს. ამ კვლევაში შეფასდა არასაქარომიცესის საფუარის ქიმიური და სენსორული გავლენა სხვადასხვა გამოყენების რეჟიმის მიხედვით, დუღილის პროცესში SO_2-ის დამატების გარეშე. კვლევა ჩატარდა Merlot N. (Vitis vinifera L.)-ზე. არა-საქარომიცესის საფუარებმა დუღილისწინა ეტაპზე ეფექტურად დაიკავეს ეკოლოგიური ნიში, რაც Quantitative-PCR და MALDI-TOF MS მეთოდებით დადასტურდა. ღვინის ქიმიურმა ანალიზმა (GC-MS და GC-MS/MS) აჩვენა, რომ გამოყენებული დოზები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენდა საბოლოო პროდუქტზე: ბიოდაცვა ხასიათდებოდა ხაზოვანი ეთერებით, ხოლო თანმიმდევრული გამოყენება – მაღალი ალკოჰოლების აცეტატებით. გარდა ამისა, გამოვლინდა ღვინის არომატულ პროფილში განსხვავება გამოყენებული ბიოდაცვის საფუარის სახეობის მიხედვით. დასასრულს, სპეციალურად მომზადებულმა დეგუსტატორთა პანელმა სენსორული ანალიზისას დაადასტურა, რომ არა-საქარომიცესის საფუარები ხილის არომატის გამაძლიერებელ როლს თამაშობდნენ, განსაკუთრებით თანმიმდევრული ინოკულაციისას, შედარებით ნაკლებად – ბიოდაცვის დროს. ეს კვლევა პირველად აჩვენებს, რომ არა-საქარომიცესის საფუარის, როგორც ბიოდაცვის გამოყენებას მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს ღვინოების არომატულ პროფილზე.[6]

კვლევის მიზნის მისაღწევად - ღვინოში შაქრის შემცირება განხორციელდა ორი მიმდევრული ნანოფილტრაციის ეტაპით. მეთოდის შესამოწმებლად კვლევები ჩატარდა ორი ტიპის საწვავთან: თეთრი საწვავი ვერდეხოს ყურძნიდან და წითელი საწვავი ტინტა დე ტოროს ყურძნიდან. ნანოფილტრაციის შედეგად მოხდა მიღებული საწვავების შერევა დაუმუშავებელ საწვავთან ან ნანოფილტრაციის პირველი ეტაპის რეტენტატთან ისეთ პროპორციაში, რომელმაც უზრუნველყო საბოლოო ღვინის ალკოჰოლის შემცირება 2°-ით. პროცესის ეფექტურობის დასადასტურებლად, თითოეული ამ საწვავიდან დამზადდა ღვინოები, რომლებიც დამუშავდა კონტროლურ ნიმუშთან ერთად, რომელიც იგივე საწვავიდან იყო მიღებული. ღვინოებში ალკოჰოლის შემცირება წარმატებით განხორციელდა. თუმცა, ზოგიერთ ნიმუშში დაფიქსირდა ფერისა და არომატული ნაერთების უმნიშვნელო დაკარგვა.

კვლევის ძირითადი მიგნებები/ასპექტები :

1. შემოთავაზებული და დატესტილია ერთსაფეხურიანი ნანოფილტრაციის პროცესი, რომელიც უზრუნველყოფს ღვინის ალკოჰოლის მცირე შემცირებას როგორც წითელი, ასევე თეთრი ღვინისთვის.
2. ეს მიღწეულია შაქრის შემცირებით.
3. მიღებული ღვინოების ქიმიური და ორგანოლეპტიკური ანალიზი აჩვენებს, რომ ისინი საკმაოდ ჰგავს დაუმუშავებელ ნიმუშებს.[7]

ნაშრომში - **მეთოდი და შემადგენლობა ღვინის შენახვისთვის განხილულია, რომ** რესვერატროლი და/ან პტეროსტილბენი ემატება ღვინოს, რათა დაიცვას იგი დაჟანგვისგან, ბაქტერიებისა და სოკოებისგან. რესვერატროლი და/ან პტეროსტილბენი ასევე, ემატება წითელ

ღვინოს, რათა შეინარჩუნოს მასში არსებული პოლიფენოლები. რესვერატროლი და/ან პტეროსტილბენი შეიძლება დაემატოს ყურძნის მასტს დადუღებამდე და/ან დადუღებულ ღვინოს ბოთლში ჩამოსხმამდე.[8]

მიკროფილტრაცია (MF) ხშირად გამოიყენება ღვინის გასუფთავებისთვის, თუმცა მემბრანების დაბინძურება (fouling) მთავარი შემზღუდველი ფაქტორია პროცესის საერთო წარმადობისთვის. ამ კვლევაში წარმოდგენილია მონაცემები თეთრი ღვინის მიკროფილტრაციული გასუფთავებიდან, რაც აჩვენებს, რომ პოლიპროპილენის (PP) მემბრანები მნიშვნელოვნად უფრო მაღალ ნაკადსა და გამტარუნარიანობას უზრუნველყოფს, ვიდრე პოლიარილსულფონის (PAS) მემბრანები, მიუხედავად იმისა, რომ ორივე მათგანს ერთნაირი საკონტროლო ფორების ზომა (0.2 მკმ) აქვს.

ამ კვლევის მიზანი იყო დაედგინა ჰიპოთეზა, რომ სხვადასხვა მემბრანები (PP ან პოლიეთერსულფონი, PES) განსხვავებულად შეიწოვენ ღვინოში არსებულ დამაბინძურებელ ელემენტებს, როგორიცაა პოლიფენოლები და პოლისაქარიდები, დაეკავშირებინა შეწოვის დონე მემბრანის პოლიმერულ მახასიათებლებსა და გაეტარებინა კორელაცია მემბრანების ნაკადებთან.

შეიქმნა ღვინის მოდელირებული ხსნარი („სინთეზური წითელი ღვინო“), რომელიც დაყენდა ფერმენტაციის შემდეგ მიღებული კომერციული წითელი ყურძნის ნარჩენების ექსტრაქტის გამოყენებით.

აღმოჩნდა, რომ პოლიფენოლები და პოლისაქარიდები მხოლოდ უმნიშვნელოდ შეიწოვება PP-მემბრანებზე, მაშინ როცა PES-მემბრანები მათ ძლიერად იჭერენ.

ცალკეული მოდელირებული ნივთიერებების (პოლიფენოლი ან პოლისაქარიდი) და მათი ნარევების მონაცემების შედარებამ „სინთეზური წითელი ღვინის“ მონაცემებთან დაადასტურა ჰიპოთეზა, რომ წითელ ღვინოში არსებული პოლიფენოლებისა და პოლისაქარიდების აგრეგატები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ადსორბციულ დაბინძურებაში, ხოლო პოლიფენოლების და მემბრანის ზედაპირის ურთიერთქმედება არის მთავარი მამოძრავებელი ძალა.

შედეგად, ღვინის ინგრედიენტების PP-მემბრანებზე დაბალი შეწოვის უნარი უზრუნველყოფს უფრო მაღალ წარმადობასა და უფრო ხანგრძლივ მომსახურების ვადას ღვინის მიკროფილტრაციული გასუფთავების პროცესში.[9]

გამოგონება ეხება პროცესს, რომელიც სითხიდან სიმღვრივის გამომწვევი კომპონენტების მოცილებას მიკროფილტრაციის საშუალებით უზრუნველყოფს. აღნიშნული სითხე შეიძლება იყოს ლუდი, ღვინო, ხილის წვენი, ბაქტერიული სუსპენზია, სისხლი, რძე, ფერმენტული სუსპენზია და ა.შ.

გამოგონების მიხედვით, დასამუშავებელი სითხე გადის ასიმეტრულ მემბრანაზე, რომლის ფოროვანი სტრუქტურა ისეა მოწყობილი, რომ მემბრანის საკვების მხარეს ფორები უფრო დიდია, ვიდრე ნომინალური ფორების ზომა, ხოლო ნომინალური ზომის ფორები გვხვდება მემბრანის განივი კვეთის იმ მხარეს, რომელიც მიმართულია გამავალი სითხისაკენ (პერმეატის მხარეს).

გაფილტრული კომპონენტები მემბრანიდან უკან ირეცხება და შემდგომ სითხესთან ერთად გამოიდევნება. ნომინალური ფორების ზომა, ჩვეულებრივ, 0.1-5.0 მკმ-ია, ხოლო უპირატესად 0.2-1.0 მკმ. მემბრანა შეიძლება იყოს მილაკოვანი, ბრტყელი ან კაპილარული.

უკან გამორეცხვის (back-flushing) პროცესი ხორციელდება პერიოდულად, 1 წამიდან 10 წუთამდე სიხშირით, თითოეული ციკლი კი გრძელდება 0.1-1 წამი, 0.5-5 ბარის საწინააღმდეგო წნევის პირობებში. შემავალი სითხის სიჩქარე სასურველია, იყოს 2 მ/წმ-ზე ნაკლები, ხოლო მემბრანაზე წნევის სხვაობა უნდა იყოს 0.5 ბარ-ზე ნაკლები.[10]

საქართველოში წითელი ღვინის არაერთი სახეობა არსებობს, რომლებიც ერთმანეთისგან ფერითა და გემოვნური თვისებებით განსხვავდება.

ადგილობრივი ვაზის ჯიშებისგან დამზადებული წითელი ღვინოებია: ქინძმარაული, საფერავი, ხვანჭკარა, მუკუზანი...

მუკუზანი—მუკუზანში მოყვანილი საფერავისგან დამზადებული უმაღლესი ხარისხის წითელი მშრალი ღვინოა. იგი ძველდება მუხის კასრში სულ ცოტა 3 წელი, მაშინ როცა ქინძმარაული ორი წელი, ხოლო საფერავი მხოლოდ ერთი. მუკუზანი გამოირჩევა მუქი წითელი ფერით, სურნელში იგრძნობა მუხისა და კენკროვანის ტონები. ალკოჰოლის შემცველობაა 10,5-12,5 % და ტიტრული მჟავიანობა 6,0-7,0 %. [11]

საფერავი საშუალო ზრდისა და უხვმოსავლიანია. სავეგეტაციო პერიოდი 155-დან 164 დღემ-დე გრძელდება და სექტემბრის მეორე ნახევრიდან ოქტომბრის პირველ ნახევრამდე მწიფდება. ყურძნის სრული სიმწიფის პერიოდში მისი შაქრიანობა აღწევს 20-26%-ს, ხოლო მჟავიანობა — 7.5-8.5 გ/ლ-ს. მოსავლიანობის, შაქრის დიდი შემცველობისა და საღებავის სიუხვით ძვირფას ვაზის ჯიშად ითვლება. საჭმელად ნაკლებად იხმარება, უპირატესად საღვინე ჯიშია. საფერავისგან დაყენებული წითელი ღვინო გამოირჩევა სურნელით, ფერითა და სიმაგრით. იყენებენ სხვა ღვინოების გაუმჯობესებისა და შეფერადებისთვის. დაძველების მიხედვით მისგან დაყენებული ღვინის მარკებია „საფერავი“ (ერთ წლიანი), „ქინძმარაული“ (ორ წლიანი) და „მუკუზანი“ (სამი და ზევით). [12]

ღვინო „ხვანჭკარა“ ხასიათდება მუქი ლალისფერი შეფერვით, გემოზე ჰარმონიული, ხავერდოვანი, დახვეწილი, სასიამოვნო სიტკბოთი, ხილის ტონებით და ჯიშური არომატით. ღვინო „ხვანჭკარის“ მოცულობითი სპირტშემცველობა 10,5-12,0 %, შაქრის მასური კონცენტრაცია — 30-50 გ/დმ³, ტიტრული მჟავიანობა — 5-7 გ/დმ³, აქროლადი მჟავიანობა არაუმეტეს — 1,2 გ/დმ³, დაყვანილი ექსტრაქტის მასის კონცენტრაცია — არანაკლებ 20 გ/დმ³, გოგირდოვანი მჟავის საერთო მასის კონცენტრაცია — არაუმეტეს 210 მგ/დმ³, თავისუფალი გოგირდოვანი მჟავის კონცენტრაცია — არაუმეტეს 30 მგ/დმ³.[13]

ქინძმარაული — უმაღლესი ხარისხის წითელი ბუნებრივად ნახევრადტკბილი ღვინო. მზადდება საფერავის ჯიშის ყურძნისაგან. ღვინო „ქინძმარაული“ ხასიათდება მუქი ბროწეულისფერი შეფერვით, გემოზე ჰარმონიული, სრული, ხავერდოვანი, დახვეწილი, სასიამოვნო სიტკბოთი, ხილის ტონებით და ჯიშური არომატით. ღვინო „ქინძმარაულის“ მოცულობითი სპირტშემცველობა შეადგენს 10,5-12,0%-ს, შაქრების მასიური კონცენტრაცია — 30-50გ/დმ³; ტიტრული მჟავიანიბა — 5-7გ/დმ³; აქროლადი მჟავიანობა — არაუმეტეს 1,2გ/დმ³; დაყვანილი ექსტრაქტის მასის კონცენტრაცია — არანაკლებ 20 გ/დმ³; გოგირდოვანი მჟავის საერთო მასის კონცენტრაცია — არაუმეტეს 210 მგ/დმ³; თავისუფალი გოგირდოვანი მჟავის კონცენტრაცია — არაუმეტეს 30 მგ/დმ³. [14]

მადერის ტიპის მაგარი ღვინის მიღების ხერხი.

ხერხი ითვალისწინებს რქაწითელის ჯიშის ყურძნის კლერტის გაცლას, მის დაჭყლეტას დურდოს მიღებით, დურდოს გაცხელებას, დურდოს გამოწნეხას თვითნადენი და პირველი ფრაქციის ტკბილის მიღებით, გაცივებას, სულფიტაციას 30-70 მგ/ლ გოგირდოვანი ანჰიდრიდით, ლექიდან მოხსნას, საფუვრის წმინდა კულტურის შეტანას, ალკოჰოლურ დუღილს, დასპირტვას ორწლიან ღვინოზე დამზადებული 68°-იანი საბრენდე სპირტით, ეგალიზაციას და მადერიზაციას.[15]

შესწავლილია საფერავის ყურძნიდან მიღებული საღვინე მასალების შენახვის, სიმწიფისა და დაძველების პროცესში ფერების და ძირითადი შემადგენელი კომპონენტების ცვლილებისა და ტრანსფორმაციის დინამიკა. ამ დასკვნებს დიდი მნიშვნელობა აქვს წითელი ღვინოების ბუნებრიობის ძირითადი კრიტერიუმებისა და ამ ღვინოების ტექნოლოგიური დამუშავების სტაბილიზაციის 24 ოპტიმალური პირობების დასადგენად. საფერავის ჯიშის ყურძნის ნატურალურ ჩვეულებრივ წითელ სუფრის ღვინოებში ფერების საერთო შემცველობა არ უნდა იყოს 380/400 მგ/დმ^3-ზე ნაკლები, ხოლო ბუნებრივ, წითელ სუფრის ღვინოებში, 3 წლიან დაძველების პროცესში, ფერების ჯამური შემცველობა არ უნდა იყოს ნაკლები 253/162 მგ/დმ^3, რაც უნდა ჩაითვალოს ბუნებრიობის ერთ-ერთ მთავარ კრიტერიუმად.[16]

განხილულია 1910 და 2010 წლებში გამოუყენებელი ქვევრის ფრაგმენტებში შემავალი ნივთიერებების (მძიმე ლითონების) შესწავლის შედეგები. კვლევის მთავარი მიზნის მისაღწევად, რომელიც გულისხმობს არა მხოლოდ ქვევრში შემავალი ნივთიერებების ანალიზს, არამედ მათ გავლენას ღვინოზე, შესწავლილი იქნა მინის ჭურჭელში და ქვევრში დამზადებული ღვინოების ნიმუშები. კვლევას უნდა ეპასუხა - კითხვაზე - გადადის თუ არა მძიმე ლითონები ჭურჭლიდან ღვინოში, დაშვებულ დონეზე ზემოთ. შედეგმა აჩვენა, რომ ორივე შემთხვევაში კონცენტრაციის დონე არ აღემატებოდა დასაშვებ ზღვარს.[17]

ამრიგად, ნაშრომში მოცემულია ზოგიერთი საერთაშორისო და ადგილობრივი პატენტების ანალიზი, რომლებიც დაკავშირებულია წითელი ღვინომასალის მიღება - გასუფთავების მეთოდებთან.

ლიტერატურა:

1. Current advances in membrane processing of wines: A comprehensive review,3; Youssef El Rayess a, Roberto Castro-Muñoz b, Alfredo Cassano c, Trends in Food Science & Technology,Volume 147, May 2024, 104453;

2. Method of removing sulfites from standard wine -Sand T. Brown , US5071664, 12/10/1991

3. Automatic plant for the microfiltration of liquids, in particular of wines - Maurizio De Mattia, EP0464322A1, 01/08/1992

4. Methods for preparing high color concentrate wine, David Charles Hayman Denise Rochelle Worden, US12203058B2, 2025-01-21;

5. Concentration of red wine by nanofiltration, Szilvia Banvolgyi, Istvan Kiss, Erika Bekassy-Molnar, Gyula Vatai, Desalination, Volume 198, Issues 1–3, 30 October 2006, Pages 8-15;

6. Non-Saccharomyces yeasts as bioprotection in the composition of red wine and in the reduction of sulfur dioxide; Sara Windholtz a, Pascaline Redon a, Soizic Lacampagne a, Laura Farris a c, Georgia Lytra a c, Margaux Cameleyre a, Jean Christophe Barbe a c, Joana Coulon b, Cécile Thibon a, Isabelle Masneuf Pomarède a c, LWT, Volume 149, September 2021, 111781;

7. Sugar reduction in musts with nanofiltration membranes to obtain low alcohol-content wines,Noemi García-Martín a, Silvia Perez-Magariño b, Miriam Ortega Heras b, Carlos González-Huerta b, Mihaela Mihnea c, MaríaLuisa González Sanjosé c, Laura Palacio a, Pedro Prádanos a, Antonio Hernández a, Separation and Purification Technology,Volume 76, Issue 2, 13 December 2010, Pages 158-170;

8. Method and compositions for preserving wine, David Rubin, Ely Rubin, US8871284B2;

9. Fouling in microfiltration of wine: The influence of the membrane polymer on adsorption of polyphenols and polysaccharides, Mathias Ulbricht , Wolfgang Ansorge, Inge Danielzik , Martin König, Separation and Purification Technology 68(3):335342DOI:10.1016/j.seppur.2009.06.004;

10. Method for the removal of components causing turbidity, from a fluid, by means of microfiltration; Gede Wenten, Dirk M. Koenhen,Hendrik D. W. Roesink, Alan Rasmussen, Gunnar Jonsson, US5560828A;

11. ღვინო მუკუზანი - W ka.wikipedia.org.

12. ღვინო საფერავი - W ka.wikipedia.org.

13. ღვინო ხვანჭკარა - W ka.wikipedia.org.

14. ღვინო ქინძმარაული - W ka.wikipedia.org.

15. მადერის ტიპის მაგარი ღვინის მიღების ხერხი კონსტანტინე ბალავაძე. სასარგებლო მოდელის პატენტი: (11) GE U 2015 1845 Y : (51) C 12 G 1/00 (IPC, 2006)

16. Biological and technological research of wine materials processing, ripening and aging from Saperavi grapes. /N. Baghaturia, T. Nanitashvili, N. Begiashvili, Ts. Shilakadze, B. Baghaturia/, GEORGIAN ABSTRACTS JOURNAL, Teqinformi,# 11(23), 2013.Agriculture; Agrarian-economic Science and Technologies, 2013, #1, pp. 61-72.

17. Does kvevri (amphora) clay influence the quality of wine? /G.Barisashvili/, GEORGIAN ABSTRACTS JOURNAL, Teqinformi,# 11(23), 2013.Agriculture; New Agrarian Georgia - 2013. - № 4 - pp .19-22

Search and analysis of local and international patented works for the microfiltration process of Saperavi, Kindzmarauli, Khvanchkara and Mukuzani wine materials under variable temperature and viscosity conditions.

George Bibileishvili[1], Zaza Javashvili[2], Elene Kakabadze[3], Leila Tananashvili[4], Manana Mamulashvili[5]

Engineering Institute of Membrane technologies of Georgian Technical University

Abstract

The local and international patent works discussed in the paper reflect the current state of the sectoral specificity of the development of microfiltration process methods for obtaining various red wine materials in the world and determine the appropriate priorities for ongoing scientific research at the institute.

Keywords: local and international patents, variable temperature, viscosity conditions, wine materials, Saperavi.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.62



გამხსნელების გავლენა პოლიეთერსულფონური მემბრანების მახასიათებლებზე და პოლიმერის კონფორმაციული მდგომარეობაზე დასასხმელ ხსნარში დანამატად პვპ-ს გამოყენებისას

გიორგი ბიბილეიშვილი[1], ნანა გოგესაშვილი[2], ელენე კაკაბაძე[3], ზაზა ჯავაშვილი[4], თინათინ ბუთხუზი[5]

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი
[1]ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი
email: 75bibileishvili@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-7712-2436
[2]ქიმიის დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი email: nanagogesashvili@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5140-5815

რეზიუმე

ნაშრომში პოლიეთერსულფონური(პეს) 5200 მიკროფილტრაციული მემბრანები მიღებული იყო ფაზური ინვერსიით. შესწავლილი იყო გამხსნელის როლი პოლიმერულ ხსნარებში მიმდინარე კომფორმაციის ცვლილებაზე, ნაწილაკის ზომებზე და მემბრანული ნიმუშების მახასიათებლებზე. დანამატად განსხვავებული რაოდენობით პოლივინილპიროლიდონის (პვპ) K30-ის შეტანისას. 15%-იან პეს -ის პეს/დმფ და პეს/დმაა კომპოზიციებში დამატებული იყო მასით 3%,5%,7% პვპ. დადგენილია, რომ უდანამატო კომპოზიციებში პვპ შეტანა იწვევს გამოლექილი მემბრანების სუფთა წყლის ნაკადის ზრდას ორივე გამხსნელიდან გამოლექილი მემბრანების შემთხვევაში, მაგრამ წარმადობის უფრო მაღალი მაჩვენებლები და ფორის ზომის მნიშვნელობებიც, აქვს დიმეთილფორმამიდიდან გამოლექილ მემბრანებს. მიღებული მემბრანებიდან უკეთესი მახასიათებლები,სუფთა წყლის ნაკადი და სტრუქტურა გააჩნია PES/ DMF /7% PVP ხსნარიდან გამოლექილ P7 მემბრანას.

საკვანძო სიტყვები: პოლიეთერსულფონი, მიკროფილტრაცია, DMF, DMAc, PVP.

შესავალი

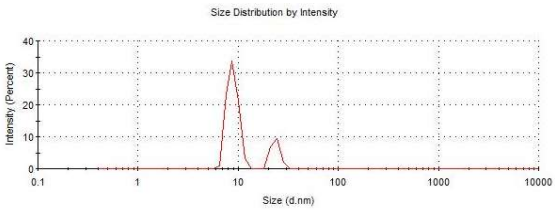
50 წელია სინთეზურმა პოლიმერებმა მნიშვნელოვანი გამოყენება ჰპოვა მემბრანულ ტექნოლოგიაში, რადგან დადგინდა, რომ პოლიმერები წარმოადგენენ უნიკალურ მასალას მემბრანების შესაქმნელად [1, 2]. ამ მიზნის რეალიზაციისათვის ინსტიტუტშივე მიმდინარეობს ინტენსიური მუშაობა სხვადასხვა პოლიმერული მასალებიდან ახალი გაუმჯობესებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე პოლიმერული მემბრანების შექმნის მთლიანი ტექნოლოგიური სქემის დასადგენად[3,4,5]. მემბრანების მიღება და კვლევა წარმოებს ინსტიტუტში შექმნილ ლაბორატორიულ დანადგარებზე.

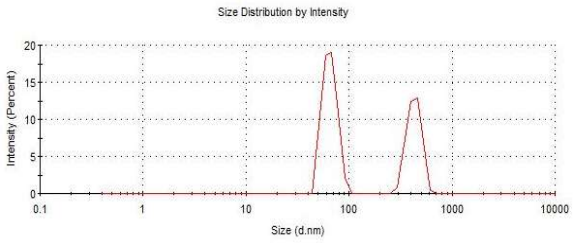
ფაზური ინვერსიის პროცესის წარმართვა და ამ პროცესის რეჟიმული პარამეტრების დადგენა მემბრანების შექმნის ბოლო მნიშვნელოვანი ეტაპია. აღიშნული პროცესის დროს ერთდროულად წარმოებს აორთქლებაც და დიფუზიაც. საკოაგულაციო აბაზანაში მთლიანად ხდება გამხსნელის და ფორწარმომქმნელი დანამატის გამოდევნა და არაგამხსნელით გაჯირჯვებული მემბრანის წარმოქმნა. პოლიმერული მემბრანის დამზადებისას გამოყენებული გამხსნელის ტიპი მნიშვნელოვნად მოქმედებს მემბრანის საბოლოო თვისებებზე [6,], გავლენას ახდენს მის მორფოლოგიაზე, ფორების სტრუქტურაზე, მახასიათებლებზე და ანტიბაქტერიალურ თვისებებზე. სხვადასხვა გამხსნელი სხვადასხვაგვარად ურთიერთქმედებს პოლიმერულ ჯაჭვებთან, რაც იწვევს ფაზური ინვერსიის პროცესების განსხვავებულ მიმდინარეობას მემბრანების ფორმირებისას. რამაც შეიძლება გამოიწვიოს სხვადასხვა მორფოლოგიის მქონე მემბრანების წარმოქმნა, კანის მკრივი ფენებიდან დაწყებული თითისებური ან ღრუბლისებური ფოროვანი სტრუქტურებით დამთავრებული [7] .

დასასხმელ პოლიმერულ ხსნარებში შესწავლილი იყო ნაწილაკების ზომების მნიშვნელობების ცვლილებები პვპ-ს კონცენტრაციის ცვლილებისას ორივე გამხსნელში. მემბრანების ზედაპირის მორფოლოგია შესწავლილია მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით. დადგინდა, რომ დიმეთილფორმამიდიდან მიღებული მემბრანების წარმადობა მეტია, ვიდრე დიმეთილაცეტამიდიდან გამოლექილი მემბრანების, ასევე უკეთესია ზედაპირის სტრუქტურა და ფორიანობა.

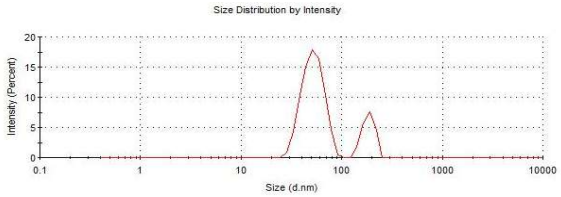
ექსპერიმენტი

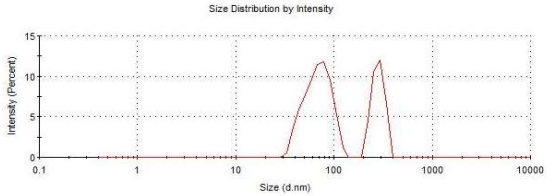
ორ 100მლ-იან კოლბაში ჩატარებული იქნა პოლიეთერსულფონის გახსნა ორ გამხსნელში დიმეთილფორმამიდში და დიმეთილაცეტამდში, 55°C -ზე გაცხელებით 24სთ მაგნიტური სარევალათი მუდმივი მორევის პირობებში. მიღებულ იქნა პეს-ის 15%-იანი კომპოზიციები PES/ DMF და PES/ DMAc. პოლიმერის გახსნის პროცესის მონიტორინგი ხორციელდებოდა პოლარიზაციულ-ინტერფერენციული ოპტიკური მიკროსკოპით (Biolar) შემდგომში ამ ორ კომპოზიციაში ჩამატებული იყო მასით 3%,5% და 7% პვპ. შესაბამისად მიღებული იყო PES/ DMF/3%PVP,PES/ DMAc3%PVP, PES/ DMF/5%PVP, PES/DMAc/5%PVP, PES/DMF/7%PVP და PES/DMAc/7%PVP. მიღებულ დასასხმელ პოლიმერულ ხსნარებში შესწავლილი იყო ნაწილაკების ზომების მნიშვნელობების ცვლილებები პვპ-ს კონცენტრაციის ცვლილებისას ორივე გამხსნელში. დადგინდა, რომ უდანამატო PES/ DMF და PES/ DMAc კომპოზიციებში ნაწილაკების ზომები შესაბამისად არის 50 ნმ-მდე (სურ.1) და120 ნმ-მდე(სურ. 3). მასით 7% პოლივინილპიროლიდონის დამატებით მიღებულ ხსნარებში კი ხდება ნაწილაკების ზომების ზრდა 700ნმ-მდე (სურ.2) და 400ნმ-მდე (სურ.4).რაც ნიშნავს იმას, რომ პვპ-ს დამატება ორივე გამხსნელში იწვევს ხსნარში პოლიმერული კონფორმაციების ცვლილებას, განაპირობებს განსხვავებას წარმოქმნილი ნაწილაკების ზომებში, უფრო მეტად ზრდის ნანაწილაკის ზომას დიმეთილფორმამიდში, რადგან პოლიეთერსულფონს დმფ-ში აქვს ტენდენცია წარმოქნას არაორგანიზებული შემთხვევითი კონფორმაციები თავისი გრძელი ჯაჭვის მთელ სიგრძეზე. აღნიშნული ფაქტორი იწვევს პოლიეთერსულფონის გახსნას და პოლიმერის ჰომოგენური ხსნარის წარმოქმნას.



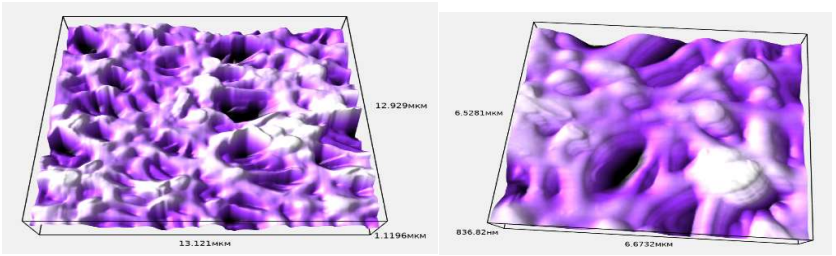


სურ.1. PES/ DMF ხსნარში სურ.2. PES/ DMf /7%PVP ხსნარში ნაწილაკების ინტესივობის მრუდები ნაწილაკების ინტესივობის მრუდები

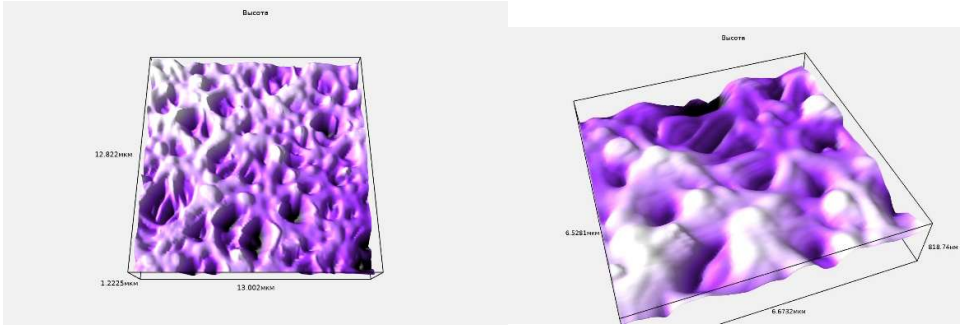




სურ.3. PES/ DMAc ხსნარში სურ.4. PES/ DMAc7%PVPხსნარში ხსნარში ნაწილაკების ინტესივობის მრუდები ნაწილაკების ინტესივობის მრუდები



სურ.5 მემბრანა P3 სურ. 6 მემბრანა P6



სურ.7 მემბრანა P4 სურ.8 მემბრანა P7

მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით შესწავლილი იყო მიღებული მემბრანული ნიმუშების ზედაპირის ტოპოგრაფია . დადგინდა, რომ მემბრანები, რომლებიც მომზადებული იყო დიმეთილაცეტამიდიდან (სურ.6,8) გამოირჩევიან ფაშარი სტრუქტურით, ზედაპირის

სიმქისით, მაშინ როდესაც დიმეთილფორმამიდიდან გამოლექილ მიკროფილტრაციულ მემბრანებს გააჩნიათ მკვრივი, გლუვი და მოწესრიგებული სტრუქტურა (სურ.5,7). მართალია დმფ და დმაც ორივე პოლარული გამხსნელებია, მაგრამ შესაძლებელია რომ დმფ-ში არსებული წყალბადის გავლენით პოლიმერულ ხსნარებში წარმოქმნილი წყალბადური ბმები იწვევენ განსხვავებას პოლიმერულ კონფორმაციებში და საბოლოოდ გამოლექვისას განსხვავებული სტრუქტურების მემბრანების მიღებას. ამასთანავე პვპ-ს დამატება პოლიმერულ ხსნარებში ორივე გამხსნელისთვის იწვევს ფაზური ინვერსიის შედეგად გამოლექილი მიკროფილტრაციული მემბრანების წარმადობის ზრდას და მორფოლოგიის გაუმჯობესებას. ცხრილში 1 მოცემულია მიღებული დანამატიანი და უდანამატო ხსნარებიდან გამოლექილი მემბრანების მახასიათებლები.

ცხრილი 1. 15%--ანი პოლიეთერსულფონური მემბრანების მახასიათებლები დასასხმელ ხსნარში პვპ-ს დანამატით.

პოლიმერული კომპოზიციები	პვპ, %	მემბრანები	სუფთა წყლის ნაკადი ლ/მ² სთ	ფორის ზომა,მკმ
პეს/ დმფ	-	P1	140	0,62
პეს/დმფ/პვპ	3	P2	179	0,56
პეს/დმფ/პვპ	5	P3	298	0,46
პეს/დმფ/პვპ	7	P4	349	0,52
პეს/დმაა	-	P5	125	0,75
..პეს/ დმაა / პვპ	3	P6	191	0,81
პეს/ დმაა / პვპ	5	P7	233	0.79
პეს/ დმაა / პვპ	7	P8	242	0,9

ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ პოლიმერებისთვის გამხსნელების შერჩევა, რომელიც განაპირობებს განსხვავებული პოლიმერული კონფორმაციების წარმოქმნას დასასხმელ ხსნარებში, ასრულებს უმნიშვნელოვანეს როლს ფაზური ინვერსიის პროცესის წარმართვის და მემბრანების მახასიათებლების ფორმირების საკითხში. 15% პეს-ის ხსნარში დანამატად პვპ-ს განსხვავებული რაოდენობით შეტანისას დიმეთილფორმამიდში მიღებული იქნა უფრო მაღალი წარმადობის ფორიანობის და სტრუქტურის მიკროფილტრაციული მემბრანები, ვიდრე გამხნელად დიმეთილაცეტამიდის გამოყენებისას. საუკეთესო მახასიათებლები აღმოაჩნდა მემბრანას, რომელიც მიღებული იყო PES/ DMF სისტემიდან მასით 7% პოლივინილპიროლიდონის დამატებით.

ლიტერატურა

1 J. JAGANGELO, R. TRUSSEL, M. WATSON: Role of Membrane Technology in Drinking Water, Reatment in the United, Desalination 113,119-127, (1997).

2. G. BIBILEISHVILI, N. GOGESASHVILI, M. KEZHERASHVILI, L. KUPARADZE, Z. JAVASHVILI: Influence of Some Factors on Characteristics of Poly-m-phenyleneisophtalamide Membranes - Preparation and Examination of Polyamide Membranes. Oxidation Communications 45(2), 300–308. (2022).

3. A. AHMAD, O. SENG, A. ABDULKARIM, S. ISMAIL: Recent development in Additives Modifications of Polyethersulfone Membrane for Flux Enhancement. Chemical Engineering Journal 223, 246-267, (2013).

4. N. GOGESASHVILI, L. KUPARADZE, L. EBANOIDZE, Z. JAVASHVILI: Obtaining of Natural Water Microfiltration Membranes Based on Polyethersulphone With PEG 300, PEG 600 and LiCl Additives. Oxidation Communication 47(3), 543–550 (2024).

5.G. BIBILEISHVILI, M. KEZHERASHVILI, N. GOGESASHVILI, L. KUPHARADZE, L. EBANOIDZE: Effect of the Temperature of the Non-Solvent on the Morphology of the Polymeric Membrane. European Journal of Scientific Research, 161(1), 5 – 15, (2022).

6.C. BARTH, M. GONCALVES, A. PIRES, J. ROEDER, B. WOLF: Asymmetric Polysulfone and Polyethersulfone Membranes: of Thermodynamic Conditions During formation on their performance. Journal Membrane Science 169(2), 287–299, (2000).

7. G. BIBILEISHVILI, M. KEZHERASHVILI, M. MAMULASHVILI: Effect of Different Solvents and Fore-Forming Agents on Morphology and Performance of Polyethersulphone Membranes. Oxidation Communication 47(3), 534–542 (2024).

The influence of solvents on the characteristics of polyethersulfone membranes and the conformational state of the polymer when using PVP as an additive in the casting solution

Giogi Bibileishvili[1], Nana Gogesashvili[2], Elene Kakabadze[3], Zaza Javashvili[4], Tinatin Buthkuzi[5]

Georgian Technical University, Membrane Technology Engineering Institute

Abstract

In this work, polyethersulfone (PES) 5200 microfiltration membranes were obtained by phase inversion. The role of the solvent on the conformational changes occurring in polymer solutions, particle sizes, and characteristics of membrane samples was studied when different amounts of polyvinylpyrrolidone (PVP) K30 were added as an additive. In PES/DMF and PES/DMA compositions with 15% PES, 3%, 5%, and 7% by weight of PVP were added. It has been established that the addition of PVP to the unmodified compositions leads to an increase in the pure water flux of the precipitated membranes in the case of membranes precipitated from both solvents, but membranes precipitated from dimethylformamide have higher performance indicators and pore size values. Of the obtained membranes, the P7 membrane precipitated from a PES/DMF/7%PVP solution has better characteristics, PWF and structure.

keywords: polyethersulfone, microfiltration, DMF, DMAc, PVP.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.63



ბუნებრივ წყალზე ჰიბრიდული ნაკადის განხორციელების გზით ტანგენციალური ბარომემბრანული პროცესის თეორიული კვლევები და ექსპერიმენტების შედეგები

გიორგი ბიბილეიშვილი[1], ლიანა ყუფარაძე[2], ზაზა ჯავაშვილი[3], მზია კეჟერაშვილი[4], ელენე კაკაბაძე[5]

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი
[1]ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი
email: 75bibileishvili@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-7712-2436
[2]აკადემიური დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი email LianaKuparadze@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-6786-5669

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია ბარომემბრანული გაყოფის პროცესების განსახორციელებლად შექმნილ მოწყობილობებში ბუნებრივ წყალზე ჰიბრიდული ნაკადის განხორციელების გზით თეორიული კვლევები. ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების თეორიული ანგარიშისათვის გამოყენებულია რეინოლდსის რიცხვი, თეორიული კვლევებით დადგინდა ჰიბრიდული ნალკადის რეჟიმული პარამეტრები. სადაწნეო საკნის სიმაღლის განსხვავებული მნიშვნელობებისათვის განისაზღვრა სიჩქარის კრიტიკული მნიშვნელობები, ლამინარული და ტურბულენტური დინების სიჩქარეთა დიაპაზონი. სადაწნეო საკანში წყლის ნაკადის ჩვეულებრივი რეჟიმულ პარამეტრების შედარებამ ჰიბრიდული ნაკადის რეჟიმულ პარამეტრებთან გვიჩვენა,რომ ჰიბრიდული რეჟიმის პირობებში, ერთი და იგივე ხარჯის მიწოდებისას განვითარებული წყლის სიჩქარე აღემატება ჩვეულებრივი ნაკადის სიჩქარეს, ხოლო ექსპერიმენტების შედეგებით კი ჰიბრიდული ნაკადის პირობებში ხვედრითი წარმადობა მნიშვნელოვნად აღემატება ჩვეულებრივი დინებით მიღებულ ხვედრით წარმადობას.

ამგვარად ლაბორატორიულ დანადგარზე ჩატარებული ექსპერიმენტული შედეგებით ჩანს ჰიბრიდული რეჟიმის უპირატესობა, რომელიც საწინდარია მემბრანული დანადგარების მაღალეფექტურობის და რაც მთავარია, ხელს შეუწყობს სამამულო წარმოების საწარმოო მემბრანული დანადგარების დამუშავებასა და შექმნას.

საკვანძო სიტყვები: ჰიბრიდული ნაკადი, ლამინარული და ტურბულენტური დინება, ხვედრითი წარმადობა.

შესავალი (პრობლემა, აქტუალობა)

ადამიანის ჯანმრთელობისა და სასურსათო უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად უპირველეს ყოვლისა აუცილებელია სასმელი წყლის ISO-ს სტანდარტის ნორმების დაცვა. ეს კი უშუალო კავშირშია მემბრანული ტექნიკის და ტექნოლოგიების თანამედროვე ნანოსისტემების დამუშავებასა და ათვისებასთან [4,5]. მემბრანული აპარატების ხვედრითი წარმადობის ასამაღლებლად და მასში ბარომემბრანული პროცესების ეფექტური წარმართვისათვის აქტუალურია შეიქმნას ისეთი მოდელების მემბრანული დანადგარები, რომელშიც შექმნილმა სადაწნეო საკნის კონსტრუქციამ, ჰიდროდინამიურმა და მასაგადატანის პროცესებმა უნდა უზრუნველყონ დაყოფის პროცესის ეფექტურობა და ექსპლოატაციის მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლები [1,2,3].

ამ მიზნით მემბრანულ აპარატებში უნდა განხორციელდეს ისეთი ჰიდრავლიკური რეჟიმები, რომ ერთის მხრივ ნაკადის სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს კრიტიკულს, მეორეს მხრივ, დანადგარი უნდა მუშაობდეს დაბალ წნევაზე, რაც განაპირობებს ნაკლებ ენერგოდანახარჯებს. ამისათვის ჩვენს მიერ ჩატარდა როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტული კვლევები ჰიბრიდული ნაკადის პირობებში.

მეთოდი

ჰიდრავლიკური რეჟიმული პარამეტრების დასადგენად ჩატარდა ლაბორატორიული დანადგარის მუშა კვანძისათვის წყლის ნაკადის პარამეტრების თეორიული გათვლა ჰიბრიდული რეჟიმის პირობებში რეინოლდსის რიცხვის დახმარებით $\mathrm{Re} = \frac{v\,d}{\nu}$, სადაც v-სიჩქარეა, d-ჰიდრავლიკური დიამეტრია, ν-სითხის კინემატიკური სიბლანტეა.

ლაბორატორიული მუშა კვანძის- სადაწნეო საკნის გეომეტრიული ზომებია: სიგანე B=9მმ=9×10^{-3}მ; სიგრძე $l = 30$მმ $= 30 \times 10^{-3}$მ; სიმაღლეები: $h = 1$ მმ=1×10^{-3}მ და $h = 0{,}6$მმ $= 0{,}6 \times 10^{-3}$მ; წყლის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი 20^0C-ზე შეადგენს $\nu = 1{,}004$ მმ²/წმ = $1{,}004\times10^{-6}$ მ²/წმ. ცხრილში 1. მოყვანილია ჰიბრიდული რეჟიმის პირობებში მუშა კვანძის სხვადასხვა სიმაღლისათვის ჰიდრავლიკური მახასიათებლები, Re რიცხვის მნიშვნელობები წყლის სიჩქარეებისთვის: 0,5 მ/წმ; 1,3333 მ/წმ; 1,5 მ/წმ; 2მ/წმ; 2,075მ/წმ; 2,541მ/წმ; 6 მ/წმ; 6,83 მ/წმ და შესასვლელ კვეთში წყლის ხარჯი Q,: ასევე ჩეულებრივი რეჟიმის პირობებში სადაწნეო საკნისათვის სიმაღლით $h = 0{,}6$მმ $= 0{,}6 \times 10^{-3}$მ −თვის.

ცხრილი1-ის თეორიული გაანგარიშების მონაცემებით სადაწნეო საკანში ჰიბრიდული რეჟიმის პირობებში ლამინარული დინებას ადგილი აქვს : როდესაც h= 1მმ $v \le v_{კრ}$=2,541 მ/წმ და $h = 0{,}6$მმ $= 0{,}6 \times 10^{-3}$მ $v \le \mathrm{v}_{კრ}$=6,83 მ/წმ. როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს ხარჯის Q=$2{,}7\times10^{-6}$მ³/წმ მიწოდებით (ცხრილში აღნიშნულია დახრილი შრიფტით) საკანში ჩვეულებრივი დინებით ვითარდება v=0,5 მ/წმ სიჩქარე, ხოლო ჰიბრიდულის შემთვევაში v=1,333 მ/წმ.

ცხრილი 1. თეორიული ანგარიშის შედეგები ჰიბრიდული და ჩვეულებრივი რეჟიმებისათვის.

v (მ/წმ)	*0,5*	*1.3333*	1,5	2	2,075	**2,541**	6	**6,83**
სადაწნეო საკანი ჰიბრიდული რეჟიმით								
h=1მმ, F= = $5{,}625მმ^2 = 5{,}625 \times 10^{-6}მ^2$ χ=24,5მმ= 24,5 ×10^{-3}მ; R= $\frac{F}{\chi}=\frac{5{,}625}{24{,}5}$ ≈0,2295მმ=0,2295 ×10^{-3}მ; d=4 × R = 4 ×0,2295მმ=0,91836×10^{-3}მ;								
$v \times d$ (მ²/წმ)	*0,4591* ×10^{-3}	*1,2244* ×10^{-3}	1,3775 ×10^{-3}	1,8367 ×10^{-3}	1,9055 × 10^{-3}	**2,3335** **10^{-3}**	5,51 × 10^{-3}	6672 ×10^{-3}
Re	*457*	*1219*	1372	1829	1898	**2324**	5488	6247
Q (მ³/წმ)	*2,812* × *10^{-6}*	*7,4981* ×10^{-6}	11,25 × 10^{-6}	11,25 × 10^{-6}	11,671 × 10^{-6}	**14,293** × **10^{-6}**	33,75 ×10^{-6}	37,735 ×10^{-6}
h=0,6მმ, F= = $2{,}025მმ^2 = 2{,}025 \times 10^{-6}მ^2$ χ=23,7მმ= 23,7 ×10^{-3}მ; R= $\frac{F}{\chi}=\frac{2{,}025}{23{,}7}$ ≈0,08544მმ=0,08544 ×10^{-3}მ; d=4 × R = 4 ×0,08544მმ=0,34177×10^{-3}მ;								
$v \times d$ (მ²/წმ)	*0,17028* ×10^{-3}	*0,4556* ×10^{-3}	0,5126 ×10^{-3}	0,6835 ×10^{-3}	0,7094 ×10^{-3}	0,868	2.050 ×10^{-3}	**2,334** **×10^{-3}**
Re	*170*	*453*	510	681	706	865	2042	**2325**
Q (მ³/წმ)	*1,0125* ×10^{-6}	*2,699* ×10^{-6}	3,032 ×10^{-6}	4,05 ×10^{-6}	4,201 ×10^{-6}	4,201 ×10^{-6}	12,15 ×10^{-6}	**13,,83** **×10^{-6}**
სადაწნეო საკანი ჩეულებრივი რეჟიმით								
h=0,6მმ, F=B× h =9× 0,6 = $5{,}4მმ^2 = 5{,}4 \times 10^{-6}$ მ² ;χ=2B+2h=18+1,2=19,2 მმ=19,2× 10^{-3} მ; R=$\frac{F}{\chi}=\frac{5{,}4}{19{,}2}$ = 0,28125 × 10^{-3} მ; d=4 × R =1,125მმ=1,125×10^{-3}მ;								
$v \times d$ (მ²/წმ)	0,5627 ×10^{-3}	*1,05* ×10^{-3}	1,6875 ×10^{-3}	2,25 ×10^{-3}	**2,3343** **×10^{-3}**	2,8586 × 10^{-3}	6,75 ×10^{-3}	7,683 ×10^{-3}
Re	*560*	*1494*	1680	2241	**2325**	2847	6723	7653
Q (მ³/წმ)	*2,7* ×10^{-6}	*7,19* ×10^{-6}	8,1 ×10^{-6}	10,8 ×10^{-6}	**11,205** **×10^{-6}**	12,721 × 10^{-6}	32,4 ×10^{-6}	36,882 ×10^{-6}

ექსპერიმენტული ნაწილი. ლაბორატორიულ დანადგარზე ჩატარდა ექსპერიენტები როგორც ჩვეულებრივი დინებით, ასევე ჰიბრიდულით ლამინარული რეჟიმის პირობებში გამოხდილ წყალზე მემბრანაზე ფორის ზომით 2 მკმ წნევა P=1 ატ ისე, რომ შესასვლელ კვეთში წყლის ხარჯი იყო Q=2,7×10^{-6}მ³/წმ. ცდების შედეგები მოცემულია ცხრილში 2.

ცხრილი 2.ექსპერიმენტების შედეგები

წნევა P ატ	ხარჯი Q მ³/წმ	T C⁰	J ლ/(სთ მ²)	
1	2,7×10^{-6}	20	ჩვეულებრივი სიჩქარე v=0,5მ/წმ	ჰიბრიდული სიჩქარv=1,333 მ/წმ
			2000	2500

ექსპერიმენტებით მიღებული ხვედრითი წარმადობის მნიშვნელობა ჰიბრიდულ რეჟიმის დროს გაცილებით ბევრად მეტია ვიდრე ჩვეულებრივი რეჟიმის დროს. ეს იძლევა საშუალებას გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: თანაბარი ენერგეტიკული დანახარჯების პირობებში უპირატესობა ენიჭება ჰიბრიდულ რეჟიმს. ასევე ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტები ლაბორატორიულ დანადგარზე ჰიბრიდული რეჟიმის პირობებში მემბრანაზე ფორის ზომით 2 მკმ P=0,5 ატ v=1მ/წმ გამოხდილ წყალზე სიმღვრივით 0,03 NTU და კრანის წყალზე სიმღვრივით 0,75 NTU. ექსპერიმენტების შედეგები მოყვანილია ცხრილში 3.

ცხრილი 3. .ექსპერიმენტების შედეგები

წნევა P ატ	ტემპერატურა T C^0	სიჩქარე v მ/წმ	ხვედრითი წარმადობა J ლ/(სთ $მ^2$)			
			გამოხდილი წყალი 0,03 NTU		კრანის წყალი 0,75 NTU	
			ჰიბრიდული	ჩვეულებრივი	ჰიბრიდული	ჩვეულებრივი
0,5	20	1	2900	2000	1700	1200

როგორც ცხრილი 3-დან ჩანს ექსპერიმენტებით მიღებული ხვედრითი წარმადობების მნისვნელობები ბევრად აღემატება ჰიბრიდული რჟიმის პირობებში, ვიდრე ჩვეულებრივი რეჟიმის დროს.

განსჯა. ამრიგად, ჰიბრიდული რეჟიმის პირობებში მემბრანული დანადგარის სადაწნეო საკნის სიმაღლის განსხვავებული მნიშვნელობისათვის, დადგენილია ლამინარული და ტურბულენტური რეჟიმების სიჩქარეთა დიაპაზონი. ლაბორატორიულ დანადგარზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტების შედეგებმა დაგვანახა ჰიბრიდული რეჟიმის უპირატესობა, რომელიც საწინდარია მემბრანული დანადგარების მაღალეფექტურობის, და რაც მთავარია ხელს შეუწყობს სამამულო წარმოების საწარმოო მემბრანული დანადგარების დამუშავებასა და შექმნას.

ლიტერატურა

1.ბილეიშვილი გ.ვ., ყუფარაძე ლ.პ., კეჭერაშვილი მ.გ., გოგესაშვილი ნ.ნ., ებანოიძე ლ.ო.“ სადაწნეო საკანში წყლის ნაკადის ტურბულენტური რეჟიმის თეორიული დახასიათება“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №1 ტ. 97, 2023. გვ.111-114. ISSN 1512-0287

2. ბიბილეიშვილი გ.ვ.,კეჭერაშვილი მ. გ., ყუფარაძე ლ.პ., ჯავაშვილი ზ.დ. „მიკროფილტრაციული პროცესში ნაკადის ჰიდროდინამიკის კვლევა მემბრანული სისტემების სადაწნეო საკნის ოპტიმალური გეომეტრიული კონფიგურაციის შესწავლისათვის.“.საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №2 ტ. 98, 2023, გვ 87. ISSN 1512-0287

3..ბიბილეიშვილი გ.ვ., ყუფარაძე ლ.პ., კეჭერაშვილი მ.გ.“წყლის ნაკადის დინების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა სადაწნეო საკნის განსხვავებული გეომეტრიისათვის კვლევა“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №2 ტ.98, 2023, გვ 51. ISSN 1512-0287

4. Belfort, G. (1976), Cleaning of reverse osmosis membranes in wastewater renovation, in Water 75, published by AIChE, NY, 76-81.

5. Venkiteshwaran A. and Belfort, G. (2010) process optimization diagrams for membrane microfiltracion, J. Membrane Science, 357 (1-2) 105-108

Theoretical studies and experimental results of tangential baromembrane process through hybrid flow implementation on natural water.

George Bibileishvili[1], Liana Kuparadze[2], Zaza Javashvili[3], Mzia Kezherashvili[4], Elene Kakabadze[5]

Engineering Institute of Membrane technologies of Georgian Technical University

abstract

The paper presents theoretical studies on the implementation of hybrid flow in natural water in devices designed to implement baromembrane separation processes. The Reynolds number is used for the theoretical calculation of hydrodynamic characteristics, and the regime parameters of the hybrid flow were determined through theoretical studies. Critical velocity values, laminar and turbulent flow velocity ranges were determined for different values of the pressure cell height. In addition, a comparison of the water flow regime parameters in the pressure cell with the hybrid flow regime parameters showed that under the hybrid regime, the velocity developed when delivering the same flow rate exceeds the water flow velocity, and according to the experimental results, under the hybrid flow conditions the specific permeability significantly exceeds the specific permeability obtained with conventional flow. Thus, the results of experiments conducted on a laboratory device show the advantage of the hybrid mode, which is a prerequisite for the high efficiency of membrane devices and, most importantly, will facilitate the development and creation of domestically produced industrial membrane devices.

Keywords: hybrid flow, laminar and turbulent flow, specific permeability.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.64



ფაზური ინვერსიით მემბრანის მიღებისას დამლექავ და გამრეცხ აბაზანებში ხსნარების შედგენილობის კვლევა

გიორგი ბიბილეიშვილი[1], ლიანა ებანოიძე[2], მანანა მამულაშვილი[3], ელენე კაკაბაძე[4], ზაზა ჯავაშვილი[5], მზია კეჟერაშვილი[6], თინათინ ბუთხუზი[7]

[1]ქიმური და ბიოლოგიური ინჟინერიის აკადემიური დოქტორი, მთავარი მეცნიერი - e-mail 75bibileishvili@mail.com ORCID https://orcid.org/0009-0003-7712-2436

[2]ქიმიის აკადემიური დოქტორი, უფროსი მეცნიერი e-mail l.ebanoidze@gtu.ge ORCID https://orcid.org/0009-0008-9232-3515

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

აბსტრაქტი

ნაშრომში წარმოდგენილია ფაზური ინვერსიით მემბრანის მიღებისას დამლექავი და გამრეცხი აბაზანების ხსნარების შედგენილობის კვლევა И-160 მარკის იონომეტრზე და FTIR-ფურიე გარდაქმნის ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე „TERMO NICOLET“, AVATAR 370. განსაზღვრულია დამლექავ და გამრეცხ ხსნარებში კათიონების - Li^+, Na^+, Ca^{++}, ანიონის - Cl^- კონცენტრაცია და სიხისტე. შესწავლილია მემბრანის ზედაპირის სტრუქტურა მასკანირებელ ზონდურ მიკროსკოპზე CERTUS STANDART V. დადგენილია დამლექი ხსნარის სიხისტის გავლენა მემბრანის საფილრაციო მახასიათებლებსა და ზედაპირის სტრუქტურაზე. მემბრანის რეცხვის შესაფასებლად განხორციელებულია გამრეცხი ხსნარის იონომეტრული და იწ-სპექტრომეტრული კვლევა სრული ნეიტრალური გარემოს მიღებამდე.

საკვანძო სიტყვები: მემბრანა, კათიონი, ანიონი, არაგამხსნელი, აბაზანა, ფაზური ინვერსია

ფაზური ინვერსიის მეთოდით მემბრანის ფორმირებისას პოლიმერის კონცენტრაცია, გამხსნელის ტიპი, არაგამხსნელის ბუნება, მისი პოლარულობა და სიხისტე, გამხსნელი-არაგამხსნელ შორის მიმდინარე პროცესის დიფუზიის სიჩქარე პირდაპირ გავლენას ახდენს მემბრანის მორფოლოგიასა და მის სატრანსპორტო თვისებებზე. ამ პირობების შერჩევა განსაზღვრავს თუ როგორი სტრუქტურის, ფორის ზომის, სიმქისის და წარმადობის მემბრანა წარმოიქმნება [1-5].

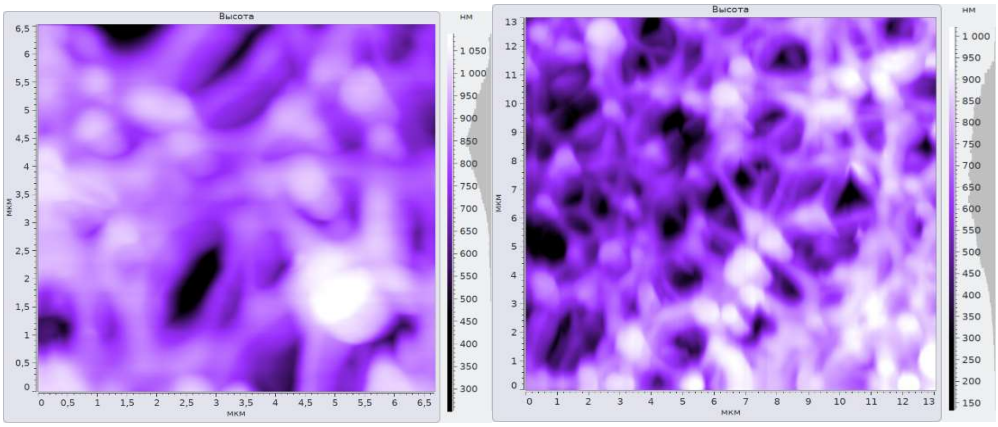
სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა ფაზური ინვერსიით მემბრანის მიღებისას დამლექავი და გამრეცხი აბაზანების ხსნარების შედგენილობის კვლევა იონომეტრული და იწ სპექტრომეტრული მეთოდებით. განხორციელებულია მემბრანის დამლექავ და გამრეცხ

ხსნარებში კათიონების - Li^+, Na^+, Ca^{++} და ანიონის - Cl^- კონცენტრაციის განსაზღვრა და სიხისტის დადგენა И-160 მარკის იონომეტრზე ლითიუმის, ნატრიუმის, კალციუმის, ქლორის ელექტროდების საშუალებით [6]. კვლევისას გამოყენებულია სათანადო საკალიბრო და ბუფერული ხსნარები. ჩატარებულია გამრეცხი ხსნარის შედგენილობის კვლევა სპექტრომეტრული მეთოდით, რომლის იწ სპექტრები ჩაწერილია FTIR-ფურიე გარდაქმნის ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე „TERMO NICOLET“, AVATAR 370, დიაპაზონით: 4000-400 $სმ^{-1}$ და გაზომვის სიზუსტით: 0.5 $სმ^{-1}$ (ნიმუშები დამუშავებული ვაზელინში და დატანილია KBr-ის ფირფიტაზე) [7-8]. მაფორმირებელი ხსნარები გამოლექილია განსხვავებული შედგენილობის არაგამხსნელში ერთნაირი რეჟიმული პარამეტრების პირობებში. ფაზური ინვერსიის მეთოდით მიღებული მემბრანის ფორის ზომები განსაზღვრულია ბუშტულაკების წერტილის მეთოდით ლაბორატორიულ დანადგარზე MTSI-JM-5, ხოლო ხვედრითი წარმადობა - MTSI-BP-3. მემრანების სტრუქტურა შესწავლილია მასკანირებელ ზონდურ მიკროსკოპზე CERTUS STANDART V [9-10]. სკანირების ფართობი იზომებოდა მიკრომეტრებში. მიღებული ექსპერიმენტული შედეგები მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. დამლექავი აბაზანის ხსნარის მარილოვანი შედგენილობა და მემბრანის საფილტრაციო მახასიათებლები

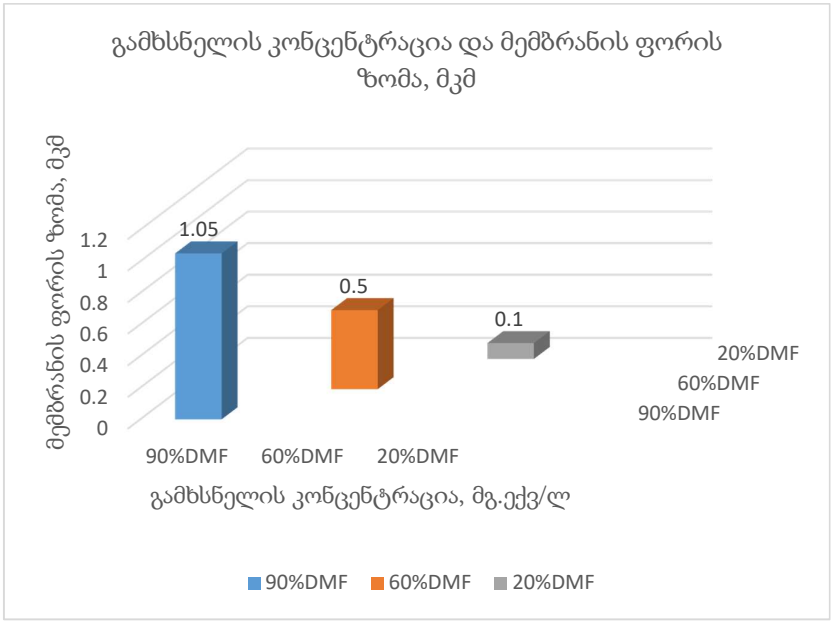
დამლექავი აბაზანის შედგენილობა	საკოაგულაციო აბაზანის მარილოვანი შედგენილობა, 1 მგ.ექვ./ლ-ში					მემბრანის საფილტრაციო მახასიათებლები	
	Li^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	ფორის ზომა, მკმ	ხვედრითი წარმადობა, ლ/მ²სთ
H_2O	0.16	10.70	68.00	59.00	10.00	1.05	600
H_2O+CH_3COOH	0.10	7.90	40.00	29.00	7.50	0.5	950

ცხრილის 1. მონაცემების მიხედვით ხვედრითი წარმადობის მაქსიმალური მაჩვენებელი - 950 ლ/მ²სთ, ყველაზე მცირე ფორის ზომა 0.5 მკმ და გაუმჯობესებული ზედაპირი გააჩნია CH_3COOH-იან ხსნარში გამოლექილ მემბრანას. ეს განსხვავება შეიძლება აიხსნას იმ გარდაქმნებით, რომლებიც მიმდინარეობს საკუაგულაციო აბაზანაში ფაზური ინვერსიის დროს, როდესაც ხდება გამხსნელისა და დანამატების მთლიანად გამოდევნა და გამხსნელის გარეშე გაჯირჯვებული მემბრანის წარმოქმნა. მაფორმირებელი ხსნარის წყალთან შეხება და პოლიმერის გამოლექვა - კოაგულაციის პროცესია. დიფუზიის სიჩქარის მიხედვით წყალი ხისტი დამლექავია, იწვევს პოლიმერის ჩქარ კოაგულაციას და მემბრანის მაკროფორების წარმოქმნას. კვლევამ აჩვენა, რომ წყალის დასარბილებლად დამატებულმა ორგანულმა გამხსნელმა (CH_3COOH) შეცვალა პოლიმერული კომპოზიციიდან კოაგულანტში გამხსნელის დიფუნდირების სიჩქარე და გამოიწვია პოლიმერის ნელი კოაგულაცია. დამლექავის ხსნარიდან პოლიმერულ ბადეში გადასულმა წყალბადის იონებმა სავარაუდოდ განახორციელეს პოლიმერის დახვეული მაკრომოლეკულური სეგმენტების გასწორება, მოწესრიგებული (ღრუბლის ფორმის) სტრუქტურის და მაღალი ხვედრითი წარმადობის მქონე მემბრანის შექმნა (სურათი 1 და სურათი 2) .

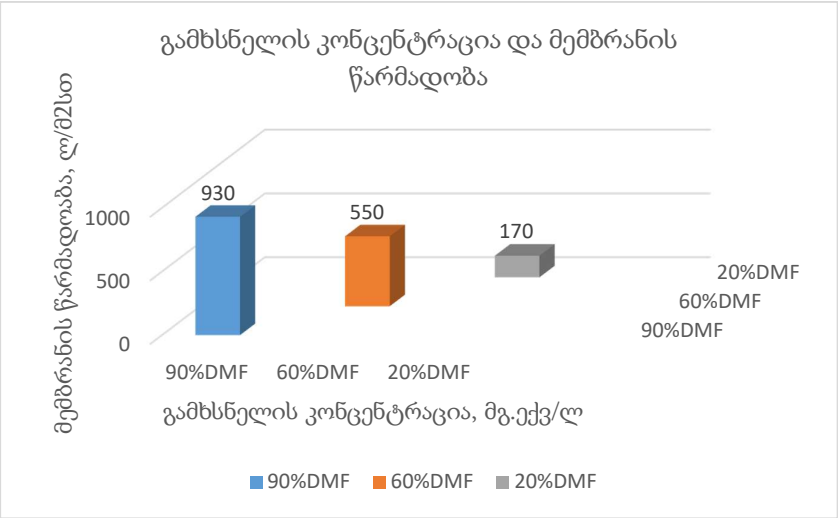


სურათი 1. წყალში გამოლექილი მემბრანის მიკროგრაფიული მემბრანის მიკროგრაფიული გამოსახულება 2D-ში სურათი 2. ძმარმჟავას ხსნარში გამოლექილი მემბრანის გამოსახულება 2D-ში

ექსპერიმენტული კვლევისას გამოვლენილია როგორც დამლექავის შედგენილობის, ასევე კონცენტრაციის გავლენა მემბრანის საფილტრაციო მახასიათებლებზე (სურათი 3 და სურათი 4.).



სურათი 3. მემბრანის ფორის ზომების დამოკიდებულება გამხსნელის კონცენტრაციაზე



სურათი 4. მემბრანის ხვედრითი წარმადობის დამოკიდებულება გამხსნელის კონცენტრაციაზე

კვლევამ ცხადყო, რომ გამხსნელისა და არაგამხსნელის შერევისას ადგილი ჰქონდა აღმავალ დიფუზიას მცირე კონცენტრაციებიდან დიდ კონცენტრაციებამდე. გამხსნელის მაღალმა კონცენტრაციამ შეანელა ხსნარიდან პოლიმერული ფაზის გამოყოფის სიჩქარე და განაპირობა მემბრანის სტრუქტურის ცვლილება ფორების ზრდის მიმართულებით. დაბალმა კონცენტრაციამ გამოიწვია ხსნარის დაშლის ტენდენცია ფაზების გამოყოფით, განსაკუთრებით ზედაპირულ შრეში, წარმოქმნა მაღალი შინაგანი დაძაბულებები პოლიმერულ გელში, რაც იწვევს კარკასის რღვევას და რადიალური ფორების მინიმუმამდე წარმოქმნის შესაძლებლობას.

იმის გამო, რომ მაფორმირებელი ხსნარიდან დამლექავ ხსნარში მუდმივად გამოიყოფა გამხსნელი და დანამატები, კოაგულაციის დასრულების შემდეგ ახდენენ მემბრანის რეცხვას ნარჩენი გამხსნელის, დანამატების ან დამლექავის მოსაცილებლად. მემბრანის რეცხვასას ჩატარებულია გამრეცხი ხსნარის როგორც იონომეტრული, ასევე იწ სპექტრომეტრული კვლევა ხსნარში გადასული იონების და ნარჩენი გამხსნელის სრულ მოცილებამდე, ე.ი. სრულ ნეიტრალიზაციურ რეაქციამდე.

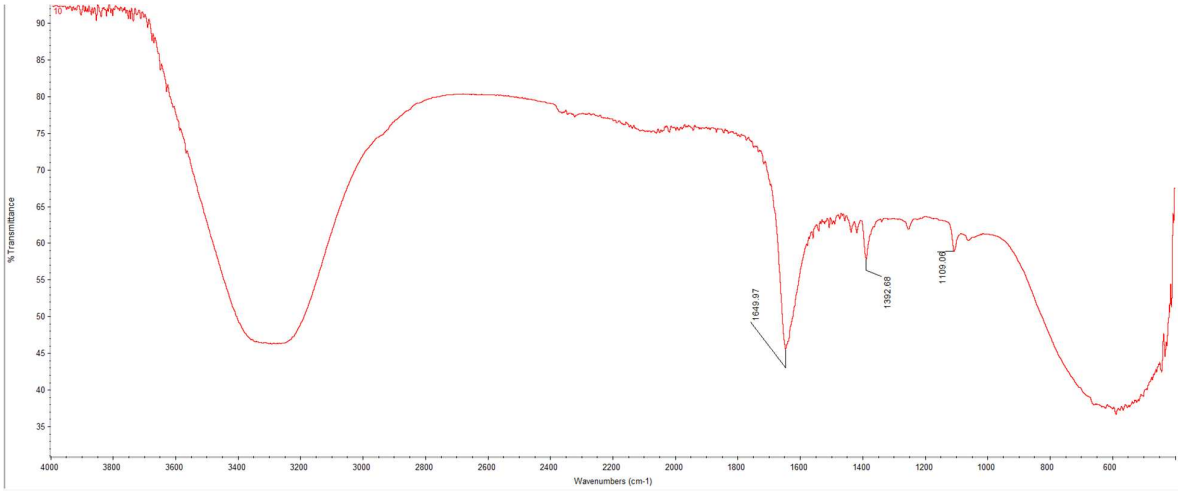
ცხრილი 2. გამრეცხავი აბაზანის ხსნარის მარილოვანი შედგენილობა

მემბრანის რეცხვა	საკოაგულაციო აბაზანის მარილოვანი შედგენილობა, 1 მგ.ექვ./ლ-ში				
	Li^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-
მემბრანის რეცხვამდე	0.16	10.70	68.00	59.00	10.00
მემბრანის ერთჯერადი რეცხვა	0.15	7.90	40.00	29.00	9.5
მემბრანის ორჯერადი რეცხვა	0.15	7.90	40.00	29.00	9.5

მემბრანის ორჯერადი რეცხვის შემდეგ გამრეცხი ხსნარის მარილოვანი შედგენილობის დადგენით დაადასტურა კომპოზიციის კომპონენტებიდან იონების სრული გამოყოფა.

ცხრილში 2. მოყვანილი შედეგებით გამრეც ხსნარში Li^+-ის თავდაპირველი რაოდენობა შეადგენდა 0.16 მგ.ექვ/ლ-ს, Cl^--ის კი 10.00 მგ.ექვ/ლ-ს. მემბრანის ერთჯერადი რეცხვის შემდეგ მათი კონცენტრაცია შემცირდა 5%-ით, მემბრანის ორჯერადი რეცხვის შემდეგ რაოდენობა არ შეცვლილა, რაც იონების სრულ გამოყოფაზე მიუთითებს.

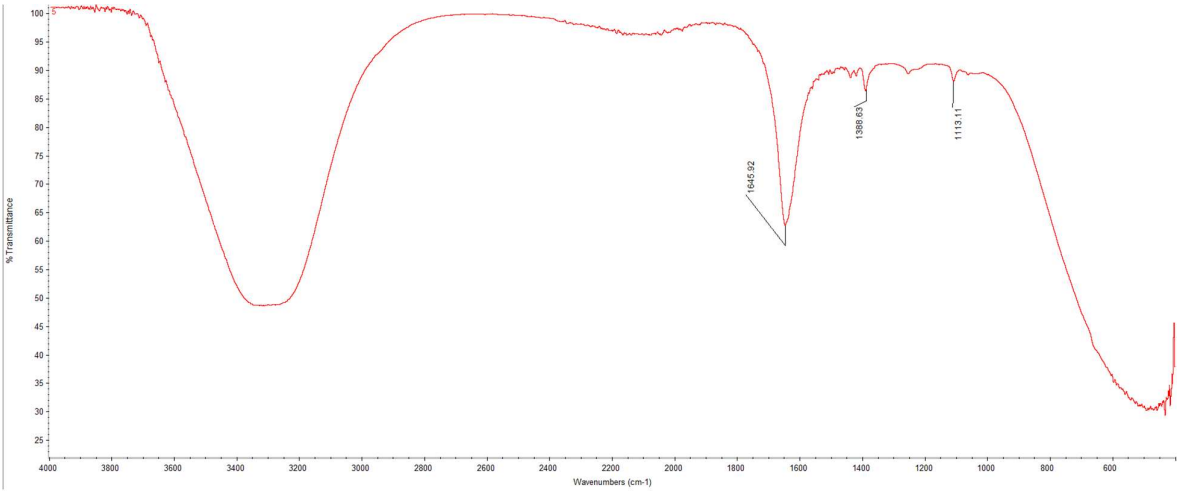
მემბრანის ერთჯერადი რეცხვის შემდეგ გადაღებულ გამრეცხი ხსნარის იწ სპექტრზე დაფიქსირებულია როგორც წყლის, ასევე დიმეთილფორმამიდის შთანთქმის ზოლები (სურათი 5.).



სურათი 5. გამრეცხი ხსნარის იწ სპექტრი მემბრანის ერთჯერადი რეცხვის შემდეგ

სუფთა წყლის იწ სპექტრი, რომელიც მდებარეობს 4000-700 $სმ^{-1}$ დიაპაზონში განპირობებულია ν(OH)-ის შთანთქმის ინტენსიობით. ლიბრაციული მოძრაობით გამოწვეული წყლის მოლეკულების ძლიერი და ფართო შთანთქმის სპექტრის მაქსიმუმი 1645.92 $სმ^{-1}$ - 3200 $სმ^{-1}$ უბანშია. ფართო, მაგრამ უფრო სუსტი შთანთქმის სპექტრის მაქსიმუმი კი - 1113.11 $სმ^{-1}$ უბანში. DMF-ს სპექტრალურ მონაკვეთზე ორი უბანია გამოკვეთილი, სადაც წყალბადური C-H···O ბმები გადაფარულია DMF-ს ν(CH)-ით (4000-2500 $სმ^{-1}$ უბანი) და- DMF-ს ν(CO) ბმები - წყლის ν(OH)-ითი (1900-1400 $სმ^{-1}$ უბანი).

მემბრანის ორჯერადი რეცხვის შემდეგ გადაღებულ გამრეცხი ხსნარის იწ სპექტრზე წყლის რაოდენობა მაქსიმუმამდეა გაზრდილი, xDMF-სი კი მინიმუმამდეა შემცირებული, რასაც ადასტურებს ზოლების წანაცვლება შესაბამისად 3400 $სმ^{-1}$-დან 3850 $სმ^{-1}$-მდე და 1649.97 $სმ^{-1}$-დან 1109.06 $სმ^{-1}$-მდე (სურათი 6). კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ორჯერადი რეცხვის შემდეგ გამრეცხავი ხსნარში xDMF-ს რაოდენობა იმდენად უმნიშვნელოა, რომ არ ცვლის ნეიტრალურ გარემოს და მემბრანის რეცხვა სრულყოფილად შეიძლება ჩაითვალოს.



სურათი 6. გამრეცხი ხსნარის იწ სპექტრი მემბრანის ორჯერადი რეცხვის შემდეგ

ამრიგად, ფაზური ინვერსიის პროცესზე გავლენას ახდენს დამლექი ხსნარის სიხისტე, რომელიც თავის მხრივ უზრუნველყოფს სასურველი ზედაპირის სტრუქტურის და მაღალი საფილრაციო მახასიათებლების მქონე მემბრანის მიღებას. მემბრანის რეცხვის შესაფასებლად განხორციელებულია გამრეცხი ხსნარის იონომეტრული და იწ- სპექტრომეტრული კვლევა სრული ნეიტრალური გარემოს მიღებამდე.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ბიბილეიშვილი გ.ვ. გოგესაშვილი ნ.ნ., ებანოიძე ლ.ო. არაგამხსნელის როლის გავლენა ფაზური ინვერსიის მიმდინარეობაზე და მიღებული მემბრანების მახასიათებლებზე. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, ტ.99, №3, 2023. გვ.76-78. ISSN: 1512-0287. https://doi.org/10.36073/1512-0287;
2. ჯავაშვილი ზ., ბიბილეიშვილი გ., გოგესაშვილი ნ., კაკაბაძე ე., კეჟერაშვილი მ., & ბუთხუზი თ. (2024). ბუნებრივი წყლის ულტრაფილტრაციული მემბრანების მიღება და კვლევა პოლიეთერსულფონის ბაზაზე . ქართველი მეცნიერები, 6(4), 350–354. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.04.30
3. Kuparadze L.P., Gogesashvili N.N. Ebanoidze L.O., Javashvili Z.D. Obtaining of Natural Water Microfiltration Membranes Based on Polyethersulphone With PEG 300, PEG 600 and LiCl Additives._Oxidation Communication, V.47, №3, 2024. pp.543–550. ISSN: 0209-4541. https://scibulcom.net/en/article/ZrGfjjEAHMz45dN7qeWe;
4. Bibileishvili G.V., Kezherashvili M.G., Mamulashvili M.A. Effect of Different Solvents and Fore-Forming Agents on Morphology and Performance of Polyethersulphone Membrans. Oxidation Communication, V.47, №3, 2024. pp.534–542. ISSN: 0209-4541. https://scibulcom.net/en/article/ZrGfjjEAHMz45dN7qeWe;
5. G.V.Bibileishvili, N.N.Gogesashvili, M.G.Kezherashvili, L.P.Kuparadze, Z.D.Javashvili. Influence of Some Factors on Characteristics of Poly-m-Phenyleneisophtalamide Membranes – Preparation and Examination of Polyamide Membranes. Oxidation Communications V.45, №2, 2022. pp.300-308. ISSN: 0209-4541. https://scibulcom.net/en/article/X7OI5C6pfzj4kduNXdyg;

6. W.M. Nielen, J.D. Willott, Z.M. Esguerra, W.M. de Vod. Ion Specific Effects on Aqueous Phase Separation of Responsive Copolymers for Sustainable Membranes. Journal of Colloid and Interface Science. V.576, 2020. pp.186-195
7. N.Biliškov, G.Baranović. Infrared Spectroscopy of Liquid Water-N,N-Dimethylformamide Mixtures. Journal of Molecular Liquids, V.144, №3, 2009, pp.155–162. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2008.11.004;
8. D.Tomar, B.Rana, K.Jena. The Structure of Water–DMF Binary Mixtures Probed by Linear and Nonlinear Vibrational Spectroscopy. Journal of Chemical Physics 152, 2020. pp.114707. https://doi.org/10.1063/1.5141757;
9. A.F. Ismail, A.R. Hassan. Effect of Additive Contents on the Performances and Structural Properties of Asymmetric Polyethersulfone (PES) Nanofiltration Membranes. Separation and Purification Technology, V.55, 2007. pp.98–109. https://doi.org/10.1016/0968-4328(95)00012-7;
10. L. Zheng, Z. Wu, Y. Zhang, Y. Wei, J. Wang, Effect of Non-Solvent Additives on the Morphology, Pore Structure, and Direct Contact Membrane Distillation Performance of PVDF-CTFE Hydrophobic Membranes. Journal of Environmental Sciences, V.45, 2016. pp.28-39. https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.09.023.

Study of the composition of solutions in coagulation and rinsing baths during upon receipt membrane via phase inversion

Abstract

The study presents an investigation into the composition of solutions in coagulation and rinsing baths used during membrane formation via phase inversion using an И-160 ionometer and a Fourier-transform infrared (FTIR) spectrometer "Thermo Nicolet" AVATAR 370. The concentrations of cations (Li^+, Na^+, Ca^{2+}) and the anion (Cl^-), as well as solution hardness, were determined in both coagulation and rinsing solutions. The surface structure of the membranes was studied using a CERTUS STANDARD V scanning probe microscope. The effect of the coagulation bath solvent (water) hardness on the membrane's filtration properties and surface morphology was established. To evaluate membrane washing, ionometric and IR spectrometric studies of the washing solution were conducted until an neutral environment was achieved.

Keywords: membrane, ation, canion, non-solvent, phase inversion

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.65



საქალაქო ავტობუსის საიმედოობის კვლევის მეთოდის ოპტიმიზაცია

ვალერი ჯაჯანიძე[1], მალხაზი ხვედელიძე[2]

[1]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი, vl.jajanidze@gtu.ge. 597-933-966, ORCID id - 0009-0000-1442-2595; [2]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, აკადემიური დოქტორი malxo7027@gmail.com, 593-435-553.

რეზიუმე

თანამედროვე ქალაქების საზოგადოებრივი ავტოტრანსპორტის საიმედოობის მართვის თვალსაზრისით, მხოლოდ ნამუშევრის - გარბენის სიდიდის გამოყენება არადამაკმაყოფილებელია, რამდენადაც წარმოდგენილი სახეობის ავტოტრანსპორტის საექსპლუატაციო პირობები მოიცავს ისეთ რეჟიმებს, როლის დროსაც ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება მხოლოდ გარბენის მიხედვით არ იქნება რელევანტური. წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია საზოგადოებრივი დადგენილი მარშრუტით მოძრავი M1 და M2 კატეგორიის ავტობუსების მუშაობის დამახასიათებელი თავისებურებები, გამოვლენილია უსაფრთხოებაზე მოქმედი მექანიზმებისა და სისტემების ძირითადი სამუშაო რეჟიმები და დამუშავებულია მისი, როგორც ერთიანი ტექნიკური ნაკეთობის საიმედოობის მართვის კომპლექსური მიდგომა.

საკვანძო სიტყვები: საქალაქო ავტობუსი, საიმედოობა, უმტყუნებო მუშაობა, საშუალო რესურსი

შესავალი

ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილის საიმედოობის მაჩვენებლების გამოვლენა ხდება მათზე დაკვირვების შედეგად მიღებული მტყუნებების და უწესივრობების შესახებ სტატისტიკური მასალების დამუშავების და ანალიზის გზით. როგორც წესი ამ დროს სტრუქტურული ელემენტის მტყუნება განიხილება როგორც ხდომილება შემთხვევითი ნამუშევრის გარკვეულ მნიშვნელობაზე. საავტომობილო ტრანსპორტის მოძრავი შემადგენლობისთვის კი ნამუშევარი წარმოადგენს გარბენას კმ-ში, ამიტომ ყველა საანგარიშო და ნორმატიული მაჩვენებლები მოცეულია (ან მიღებულია) გარბენის მიხედვით. ასეთი მიდგომა საყოველთაოდ აღიარებული და დადასტურებულია ავტომობილების მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზისა და შეფასების დროს.

თანამედროვე საქალაქო საზოგადოებრივი ავტოტრანსპორტის ექსპლუატაციის რეჟიმები უმეტესად ერთგვაროვანია, რაც გამოიხატება წინასწარ შერჩეული მარშრუტის შესაბამისად სხვადასხვა კატეგორიის ავტობუსების გადაადგილებით და მარშრუტზე არსებული მგზავრთა ჩასხდომა-გადმოსხდომის ადგილებში აუცილებელი გაჩერების უზრუნველყოფით. საიმედოობის ძირითადი პარამეტრების შეფასების მიზნით მნიშვნელოვანია წარმოდგენილი ე.წ. ჩაკეტილი ციკლის საექსპლუატაციო რეჟიმის დამახასიათებელი შემფასებელი პარამეტრი გახდეს ძირითადი ფაქტორი ავტობუსის ტექნიკური მდგომარეობის უზრუნველყოფისა და პროგნოზირების მეთოდების დამუშავებისას.

საზოგადოებრივი ავტოტრანსპორტი წარმოადგენს რთულ კონსტრუქციულ ნაკეთობას რომელიც მოიცავს მრავალ კვანძს, მექანიზმს და სისტემას, ერთმანეთზე ფუნქციონალური დამოკიდებულებით და მუშაობის პარამეტრებით. ამას ემატება ისიც, რომ ერთი და იგივე მოდელის ავტომობილს მუშაობა უხდება სხვადასხვა საექსპლუატაციო პირობებში, ე.ი. იცვლება მათი მუშაობის რეჟიმი. ეს კი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს საიმედოობის მაჩვენებლებზე.

ძირითადი ნაწილი

საზოგადოებრივი ავტოტრანსპორტის ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის სამუშაოების პერიოდულობის, ასევე მათი მოლოდინის განსაზღვრისას გამოყენებულია ნამუშევრის ძირითადი სახეობა გარბენი, რაც საქალაქო ავტობუსის შემთხვევაში ვერ უზრუნველყოფს სრულად შეაფასოს ავტოტრანსპორტის, როგორც ტექნიკური ნაკეთობის საიმედოობის მაჩვენებლები, რამდენადაც სამუშაო რეჟიმის შესაბამისად გარდა მოძრაობისა ადგილი აქვს ტექნიკური სისტემის ისეთი ელემენტების მუშაობას, რაც არაა დაკავშირებული გარბენთან. საქალაქო ავტობუსის შემთხვევაში ასეთ მექანიზმებს და სისტემებს მიეკუთვნება სამუხრუჭო და საჭით მართვის სისტემა, გადაბმულობა, გადაცემათა კოლოფი, კარებების გამღებ-ჩამკეტი მექანიზმი, დაკიდების სისტემა და სხვ. აღნიშნული მექანიზმების მუშაობის რეჟიმების ამსახველ ერთ-ერთ მნიშვნელოვან კომპონენტს წარმოადგენს დატვირთვათა ციკლების რაოდენობა, მუხრუჭებისთვის დამუხრუჭებათა რაოდენობა, რაც პირდაპირ კავშირშია საჭის მექანიზმის, გადაბმულობის და გადაცემათა კოლოფის გაზრდილ სადატვირთვო რეჟიმებთან, კარების გაღება-დაკეტვის მექანიზმის ამუშავებასთან, დაკიდების სისტემის ელემენტების გადატვირთვასთან და ძრავას მუშაობის გაზრდილ დატვირთვებთან. საქალაქო ავტობუსის საერთო გარბენი, რომლის მიხედვითაც ხდება ზოგადად საავტომობილო ტრანსპორტის საიმედოობის კვლევა, შედგება ნულოვანი (ავტოსატრანსპორტო ბაზიდან საწყის პუნქტამდე სამუშაო დღის დასაწყისში პირიქით დღის ბოლოს) და მარშრუტზე შესრულებული გარბენებისაგან.

მარშრუტზე მოძრაობისას ავტობუსის ზემოთ ჩამოთვლილი მექანიზმების და სისტემების მუშაობის რეჟიმების ამსახველ ერთ-ერთ მნიშვნელოვან კომპონენტს წარმოადგენს დატვირთვათა ციკლების რაოდენობა, რომლის მიხედვითაც უნდა

მოვახდინოთ შესრულებული გარბენის კორექტირება, ხოლო ნულოვანი გარბენის შემთხვევაში დატვირთვათა ციკლების რაოდენობა მინიმალურია ან საერთოდ არ არის. შესაბამისად შეგვიძლია ჩავწეროთ, რომ ავტომობილის ძირითადი სისტემებისა და მექანიზმების საშუალო რესურსი, რომელიც ზღვრული მდგომარეობით განისაზღვრება, დამოკიდებულია ნამუშევრის სიდიდეზე და დატვირთვათა ციკლების რაოდენობაზე.

ავტომობილის, მისი აგრეგატების და სისტემების საიმედოობა დამოკიდებულია, მის კონსტრუქციაზე, დამზადების ტექნოლოგიაზე, საექსპლუატაციო პირობებზე, მუშაობის რეჟიმებზე და სხვა ფაქტორებზე.

საიმედოობის, როგორც კომპლექსური თვისების, ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს ავტომობილის და მისი ელემენტების უმტყუნებლობა. უმტყუნებლობა ესაა ავტომობილის, აგრეგატის, სისტემის, დეტალის თვისება უწყვეტად შეინარჩუნოს მუშაობის უნარი გარკვეული ნამუშევრის (გარბენის) განმავლობაში. უმტყუნებლობის თვისების შესაფასებლად გამოიენება სხვადასხვა მაჩვენებლები, რომელთა შორის ერთ-ერთ ძირითად მაჩვენებელს წარმოადგენს უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა – $P(L)$.

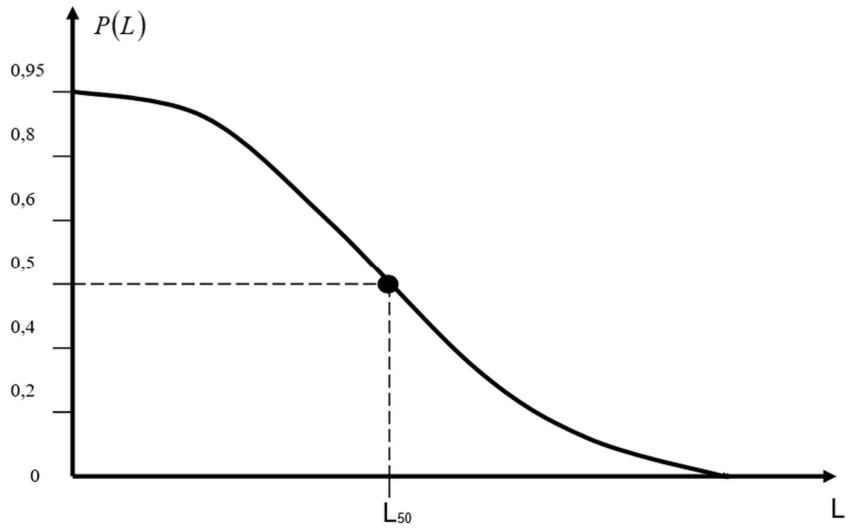
უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა ესაა ალბათობა იმისი, რომ მოცემული ნამუშევრის (გარბენის) განმავლობაში მტყუნება არ მოხდება. სტატისტიკური შეფასებისას უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება დამიკიდებულებით:

$$P(L)=\frac{N_0-n}{N_0}=\frac{N(L)}{N_0}$$

სადაც, N_0 არის დასაკვირვებელი ავტომობილების რაოდენობა;

n - მწყობრიდან გამოსული ელემენტების რაოდენობა 0-დან - მდე;

$N(L)$ - მუშაობის უნარის მქონე ელემენტების რაოდენობა იგივე გარბენაზე.



ნახ. 1. უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდი.

ავტომობილის, მისი აგრეგატების და სისტემების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა დიაგრამის სახით წარმოდგენილია ნახ. 1 სახით.

წარმოდგენილი დიაგრამა სტანდარტულად ასახავს დამოკიდებულებას ავტომობილის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობასა და მის ძირითად ნამუშევარს - გარბენს შორის, რაც არასაკმარისია ქალაქში მომუშავე ავტობუსების საიმედოობის კვლევისათვის, გამომდინარე იქედან, რომ საქალაქო ავტობუსების მუშაობის რეჟიმი ხასიათდება მოძრაობის განსხვავებული სიჩქარით და დამუხრუჭებათა დიდი რაოდენობით, რაც გავლენას ახდენს (კერძოდ ამცირებს) საქალაქო ავტობუსის (მუხრუჭები, გადაბმულობა, გადაცემათა კოლოფი, კარებების გამღებ-ჩამკეტი მექანიზმი, ძრავა და სხვ.) რესურსზე. ამიტომ აუცილებელია ქალაქში მომუშავე ავტობუსების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა შეფასდეს გარბენის მნიშვნელობით, რომელიც დატვირთვათა ციკლების დამყვანი კოეფიციენტით იქნება დაკორექტირებული.

ავტომობილის საიმედოობის მაჩვენებლების კვლევის დროს, უაღრესად მნიშვნელოვანია მისი მექანიზმების, სისტემების, კვანძებისა და დეტალების საშუალო რესურსის განსაზღვრა, რაც თავის მხრივ ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობით მიხედვით განისაზღვრება ცნობილი ფორმულით:

$$L_{საშ} = \sum_{0}^{\infty} P(\Delta L_i)\Delta L_i$$

სადაც ΔL_i არის ინტერვალის სიდიდე, ათასი კმ.

საქალაქო ავტობუსის საერთო გარბენა, რომლის მიხედვითაც ხდება ზოგადად საავტომობილო ტრანსპორტის საიმედოობის კვლევა, შედგება ნულოვანი (ავტოსატრანსპორტო ბაზიდან საწყის პუნქტამდე სამუშაო დღის დასაწყისში პირიქით დღის ბოლოს) და მარშრუტზე შესრულებული გარბენებისაგან.

საქალაქო პირობებში მომუშავე ავტობუსების დამუხრუჭებათა რაოდენობა უშუალოდ დამოკიდებულია, მარშრუტზე არსებულ სავალდებულო გაჩერებათა რაოდენობაზე, გადასარბენის სიდიდეზე, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება ხაზზე მგზავრთნაკადების მოცულობის მიხედვით, მარშრუტზე არსებული რეგულირებადი გზაჯვარედინების რაოდენობაზე და ზოგად საგზაო პირობებზე.

საქალაქო ავტობუსის საიმედოობის კვლევისას, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მისი გარბენის, როგორც ნამუშევრის ძირითადი სახეობის კორექტირებას დატვირთვათა ციკლების რაოდენობის გათვალისწინებით, სწორედ ამ მიზნით შემოგვაქვს ე.წ. ,,მაკორექტირებელი კოეფიციენტი" - ს ცნება, რაც საშუალებას მოგვცემს კვლევის აქტიურ ფაზაში ექსპერიმენტულად განისაზღვროს საქალაქო საზოგადოებრივი ავტოტრანსპორტის კონკრეტული მარშრუტის თავისებურება დატვირთვათა ციკლების რაოდენობის თვალსაზრისით, მოხდეს მისი შესაბამისი მაკორექტირებელი კოეფიციენტის დაყვანა და დაკორექტირდეს გარბენის მნიშვნელობა კონკრეტული საექსპლუატაციო რეჟიმის შესაბამისად.

გარბენის სიდიდის მაკორექტირებელი კოეფიციენტის განსზღვრისთვის აუცილებელია წარმოვადგინოთ საქალაქო ავტობუსის აგრეგატების, კვანძების, დეტალების სრული რესურსის დაყვანილი მნიშვნელობა ნამუშევრის 1000 კმ-ზე და არნისნული ნამუშევრის შესაბამისი დატვირთვათა ციკლების თეორიული (ეტალონური) მნიშვნელობა, რაც შესაძლებელს გახდის გარბენის ნომინალურ მნიშვნელობაზე დატვირთვათა ციკლების ცვლილების შემთხვევაში, ნამუშევრის სიდიდის კორექტირება განხორციელდეს, არა მხოლოდ გარბენის, არამედ დატვირთვათა ციკლების რაოდენობის გათვალისწინებით, შესაბამისად გარბენის, როგორც ნამუშევრის დატვირთვათა ციკლების რაოდენობის მიხედვით მაკორექტირებელი კოეფიციენტი შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\alpha = \frac{n_{რ}}{n_{ეტ.}}$$

სადაც, $n_{რ}$ არის საქალაქო ავტობუსის გარბენის 1000 კმ-ზე არსებული დატვირთვათა ციკლების რეალური (გაზომილი) მნიშვნელობა;

$n_{ეტ.}$ - საქალაქო ავტობუსის გარბენის 1000 კმ-ზე არსებული დატვირთვათა ციკლების ეტალონური მნიშვნელობა.

საიმედოობის კვლევის თვალსაზრისით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება საქალაქო ავტობუსის საერთო გარბენის სიდიდის განსაზღვრას, სადაც გათვალისწინებული იქნება გარბენის ერთეულზე მოსული დატვირთვათა ციკლების რაოდენობა, აღნიშნული სიდიდე შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი ფორმულით:

$$L_{ს} = L_{მარ} \cdot \alpha + L_0, \quad \text{კმ.}$$

სადაც $L_{მარ}$ და L_0 არის შესაბამისად მარშრუტზე შესრულებული და ნულოვანი გარბენა, კმ;

α - მარშრუტზე შესრულებული გარბენის დატვირთვათა ციკლების გათვალისწინებით დამაკორექტირებელი კოეფიციენტი (რაც მეტია მარშრუტზე დამუხრუჭებათა რაოდენობა, მით უფრო მეტია მისი სიდიდე).

საქალაქო ავტობუსის იმ აგრეგატებისა და კვანძების საიმედოობის შესაფასებლად, რომელთათვისაც გარბენის, როგორც ნამუშევრის დაკორექტირება მოხდა დატვირთვათა ციკლების შესაბამისად, კვლევა მიზანშეწონილია განვახორციელოთ მარშრუტზე შესრულებული გარბენის მიხედვით, რომელიც გამოისახება ფორმულით:

$$L_{მარ} = \frac{L_{ს} - L_0}{\alpha}, \quad \text{კმ.}$$

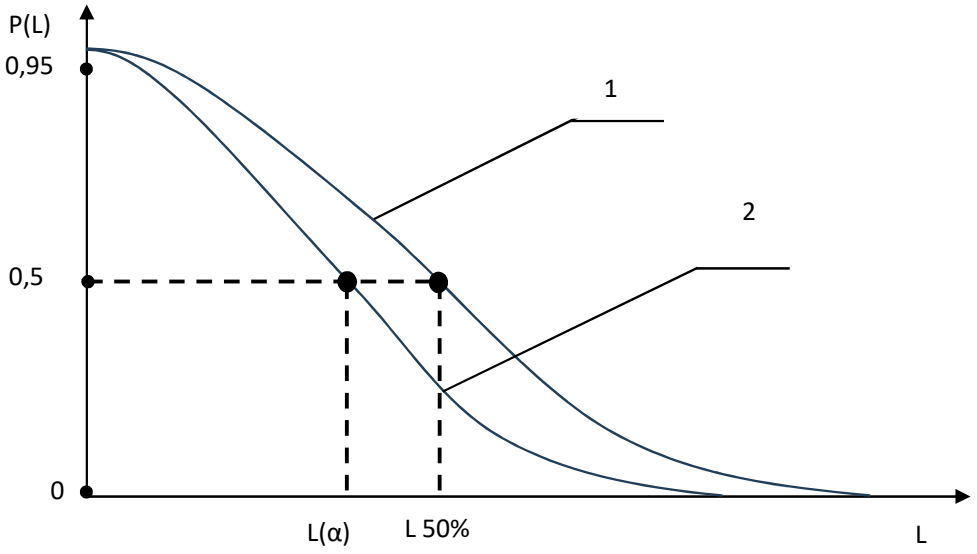
შედეგად მოცემული მექანიზმებისა და სისტემების საშუალო რესურსი, დატვირთვათა ციკლების გათვალისწინებით გარბენის მაკორექტირებელი კოეფიციენტის გამოყენებით მარშრუტზე შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$L_{საშ} = \sum_{0}^{\infty} P(\Delta L_{მარ}) \Delta L_{ინტ}, \quad კმ$$

სადაც $\sum_{0}^{\infty} P(\Delta L_{მარ})$ არის სისტემის ან მექანიზმის უმტყუნებო მუშაობის ინტერვალური ალბათობა;

$\Delta L_{ინტ}$ - ინტერვალის სიდიდე, კმ.

საქალაქო ავტობუსის იმ აგრეგატებისა და სისტემების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა, რომელთა ნამუშევარი ხასიათდება დატვირთვათა ციკლებით და აუცილებელია მოვახდინოთ გარბენის დაკორექტირება დატვირთვათა ციკლების რაოდენობის გათვალისწინებით, წარმოდგენილია ნახაზზე 2.



ნახ. 2. ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა.

1. *საქალაქო ავტობუსის აგრეგატებისა და სისტემების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდი სტანდარტული გარბენის შემთხვევაში;*
2. *საქალაქო ავტობუსის აგრეგატებისა და სისტემების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდი სტანდარტული გარბენის დატვირთვათა ციკლების მაკორექტირებელი კოეფიციენტის გათვალისწინებით.*

როგორც წარმოდგენილი ნახაზიდან ჩანს, დატვირთვათა ციკლების მაღალი ინტენსივობის პირობებში, საქალაქო ავტობუსის იმ აგრეგატებისა და სისტემების საიმედოობის კვლევა მხოლოდ გარბენის გამოყენებით არ იძლევა სასურველ შედეგს, რამდენადაც $L(\alpha) < L(50)$ და შესაბამისად აუცილებელია საქალაქო ავტობუსის ტექნიკური მომსახურებისა და პროფილაქტიკური სამუშაოების დაგეგმვა მოხდეს შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენებით.

დასკვნა

გარბენის, როგორც ნამუშევრის შემფასებელი ძირითადი პარამეტრის გამოყენება ავტომობილის ტექნიკური მომსახურების და პროფილაქტიკური სამუშაოების შესრულების პერიოდულობის განსაზღვრის და ზოგადად საიმედოობის კვლევის მიზნით, რიგ შემთხვევებში არ იძლევა სასურველ შედეგს, რაც თავისთავად ქმნის საიმედოობის კვლევის ახალი მიდგომების შექმნის საჭიროებას. ნაშრომში შემოთავაზებული საქალაქო ავტობუსის საიმედოობის კვლევის მეთოდიკა საშუალებას იძლევა კვლევა და მისი ძირითადი მაჩვენებლების დაზუსტება მოხდეს ავტობუსის კონკრეტული კვანძისა და მექანიზმის მუშაობის რეჟიმის გათვალისწინებით, რაც რეალურ საექსპლუატაციო პირობებში ტექნიკური მდგომარეობის უზრუნველყოფის ორგანიზაციულ-ტექნიკურ ღონისძიებათა კომპლექსის დამუშავებისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ვ. ლეკიაშვილი, ვ. ჯაჯანიძე, დ. უგულავა, მუშაობის რეჟიმების გავლენა ავტომობილის საიმედოობის მაჩვენებლებზე. სტუ, ,,ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა", თბ. 2009წ. გვ. 81-85;
2. ვ. ლეკიაშვილი, ავტომობილის საიმედოობა, გამომცემლობა ,,ტექნიკური უნივერსიტეტი", თბილისი 2005წ. 93 გვ.;
3. В. Лекиашвили, Диссертация на сойсканиеучетной степени кандидата наук. Москва, МАДИ. 1978г. с. 132-137.

Optimization of Study Method for the Reliability of Urban Bus

Valeri Jajanidze[1], Malkhazi Khvedelidze[2]

[1]Associate Professor, Georgian Technical University, vl.jajanidze@gtu.ge; 597-933-966, ORCID id - 0009-0000-1442-2595; [2]Academic Doctor, Georgian Technical University, malxo7027@gmail.com, 593- 435-553.

Abstract

In modern cities, relying solely on mileage to manage the reliability of public bus transport is insufficient. This is because the operational conditions of such vehicles include modes where assessing technical condition based solely on mileage is not relevant. This paper examines the characteristic features of M1 and M2 category buses operating on established public routes. It identifies the primary operating modes of mechanisms and systems affecting safety and develops a complex approach to reliability management for these buses as a unified technical product.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.66



Eye-Tracking Emotional and Spiritual Responses in Bilinguals: A Comparative Study of Georgian and Arabic Speakers

Zurab Kherodinashvili; Kholoud Al-Baker

Clinical and Counseling Psychology, Teachers College, Columbia University

Abstract

This study examined how bilingual speakers of Georgian-English and Arabic-English process emotional and spiritual language across their first (L1) and second (L2) languages using eye-tracking methodology. Participants viewed a series of emotionally neutral, negative, and spiritually themed words and sentences presented in both L1 and L2. Eye-tracking measures, including fixation duration, time to first fixation (TTFF), revisit counts, and total gaze time, were analyzed to assess cognitive and emotional engagement with the stimuli. Data from 35 participants (17 Georgian-English and 18 Arabic-English bilinguals) revealed that participants generally exhibited longer fixation durations and greater total gaze time when reading in English (L2), indicating increased cognitive load. However, spiritually themed content elicited longer fixations and higher gaze time in L1, suggesting deeper emotional and cultural resonance. TTFF was faster in L2 for both groups, though Arabic participants showed slower TTFF for spiritual content in Arabic, implying reflective processing. These findings support theories of emotional grounding in L1 and offer implications for multilingual education, therapy, and cross-cultural communication. Cultural and design limitations are acknowledged, with recommendations for incorporating religiosity measures and standardized stimuli in future research.

Key Words: Eye-tracking - Language - Spiritual - Georgian Population - Arab Population - Gaze - Fixation

Recent linguistic research reveals the complexity of language as deeply entangled with its speakers' emotional, psychological, and cultural fabric. This shift in contemporary literature disrupts earlier models of language conceptualization that viewed language through the limited prism of *structural* or *functional* transmission. Structural theories were mainly based on internal linguistic relationships, while functionalist models focused on "speaker-hearer" dynamics and communal needs. However, increasing evidence suggests that both approaches overlook the full depth of how language operates within lived human contexts. Instead, language now appears less as a fixed system and more

as a fluid, dynamic process shaped by emotion. However, such a broad definition of the term makes it almost impossible to create a cohesive scientific narrative.

One of the main challenges that face linguistic research is the multiplicity of the term 'language.' For instance, a wide range of interrelated elements influence the success of language learning and acquisition. These variables include, but are not limited to, age of acquisition, adult-child connections, and overall cultural dynamics (e.g., individualistic vs. collectivist). Therefore, it is unsurprising that language is one of the most extensively researched communication systems, possibly due to the interconnection of many elements (Smith & Kirby, 2008). Due to its conceptual complexity, several scholars from multiple disciplines have tried to broaden the theory of language through their chosen disciplines, including psychology (Miller, 1990) and philosophy (Ekpenyong & Ikegbu, 2018). This being said, a significant chunk of the current understanding of language has been broadened by clinical psychology, offering a new way of understanding how language and language structures may affect human perception and mental health (Lindquist et al., 2015).

A growing body of research within clinical psychology and neuroscience supports the idea that language is not just a tool for expressing emotion but is also integral to how emotions are constructed and understood. The *affective turn* in linguistics is marked by the increased emphasis placed on the role of language in emotion categorization. For instance, Lindquist et al. (2015) suggest that individuals with limited emotional vocabularies may struggle with emotional regulation, identity formation, and interpersonal connection.

Perhaps the most striking example of the limited emotional vocabulary and its role in the emotion regulation hypothesis has been repeatedly demonstrated in psycho-therapeutic settings. Research in clinical psychology has increasingly focused on the unique challenges bilingual individuals face in psychotherapy, especially regarding "language switching"—the transition between a first language (L1) and a second language (L2). One immediate concern involves the emotional engagement/accessibility of early life experiences, with the primary premise being that L1 offers richer emotional engagement/accessibility in therapy than L2. Scholars such as Harris et al., 2006; and Lindquist et al., 2015 have demonstrated that developmental memories encoded in the mother tongue (L1) are more challenging to access and process when therapy is conducted in L2. This "here and now" divide can disrupt emotional regulation and hinder therapeutic progress- particularly in building strong therapeutic alliances.

Further research has indicated a deeper and more intimate link between language and emotion regulation. In particular, researchers such as Nook et al. (2024) and Tang and Ding (2023) have demonstrated how different types of words (concrete and abstract) are processed. In literature, these type words have quite common and heterogeneous definitions, defining concrete type words as words with an apparent physical reference (e.g., an apple) and abstract type words as words without apparent physical reference (e.g., Justice). It should be noted that Abstract words, due to their nature, have become central to studies on emotional regulation. The reasoning behind this interest is inherently linked to similarities between abstract words and emotions, which are anatomically similar. For

example, abstract words and emotions lack clear physical referents and are closely tied to context and subjectivity. Recent work by Nook et al. (2024) found that people who use more abstract words tend to engage in more effective emotion regulation. This finding aligns with the Construal Level Theory (Trope & Liberman, 2010), which is based on the notion that representations of things differ in their degree of abstraction and level of *construal* (subjective interpretation of the stimulus). An example of this notion would be planning to run a marathon in a year (distant abstraction), which leads to a high level of construal (fun, challenging, exciting = more positive regulation) while thinking about running a marathon next week (near=lower abstraction) would lead to low construal (getting the right equipment, correct sleep schedule =more concrete regulation). In other words, the shift to abstract language/increased psychological distance promotes a more flexible range of emotion regulation. However, the exact benefits of abstraction and concreteness, including their neural mechanisms, remain controversial (Nook et al., 2024).

What we do know about the neural mechanisms of abstract and concrete words is that concrete word categories activate sensory and motor brain regions due to their physical characteristics, like shape. For example, as demonstrated by Pulvermüller, 2013 and Cousins et al., 2018 thinking about an "apple" may activate the visual cortex (for its shape), or the gustatory cortex (for its taste).

Abstract words, however, do not activate the brain in the same clear-cut way. Without physical referents, they are believed to rely more on contextual and emotional networks (Moseley et al., 2012). Still, new research challenges the strict division between abstract and concrete word processing. According to Moseley et al. (2012) and Pulvermüller (2013), abstract words can become "concretized" when presented in contexts that align with their meaning, particularly emotional or action-related settings. This suggests abstract words may still activate brain regions linked to emotion and movement. According to the two above-mentioned researches, abstract words carry emotional weight, even without physical form. For example, words like "grief" may activate brain areas involved in facial expressions or bodily sensations associated with sadness (Mortillaro & Dukes, 2018). In this sense, the emotional referent of an abstract word can function similarly to the physical referent of a concrete word in terms of neural activation. In other words, processing abstract emotional words may be closely linked to activation in emotion-based brain regions, reinforcing that language, emotion, and facial expression are deeply interconnected.

Furthermore, the difference between concrete and abstract language, especially when describing emotional events, has been observed in various clinical psychology literature. Nook et al., 2024, indicated that people frequently turn to more abstract language when describing negative emotions, suggesting the role of language in emotion regulation. This leads to the possibility that using abstraction when describing negative (such as traumatic) experiences within a clinical setting may lead to better emotional processing (White & Wild, 2016). While this is a relatively unexplored part of the psycho-linguistic literature, such ideas of linguistic distancing have been observed quite heavily in spiritual publications.

For instance, in meditation literature, the method of linguistic distancing, termed "affect labelling," has been used laboriously (Creswell et al., 2007). Affect labelling is an element of *Mindfulness Meditation* and involves the cognitive effort of vocalizing or "labelling" specific emotions through the body (Torre et al., 2018). Examples of linguistic distancing are also present in religious terminology in various Christian traditions, as demonstrated by spiritual elements such as sermons and prayers (Halbband, 1987, as cited in True, 2023). Similarly, people are more inclined to approach God/Divine/Sacred/Spiritual through dialogue if they engage in internal monologues, often as a regulatory function to resolve interpersonal and internal issues (True, 2023). Additionally, the same research indicates that prayer, like an internal monologue, enables individuals to control their thoughts and actions. However, it is worth mentioning that while in traditional spiritual literature, people define prayer as a tool for self-reflection, clinical research emphasizes the wider psychological advantages of such spiritual practices.

Much like language, *spirituality* is a scientific or phenomenological concept that is as complex as subjective. It defies simple classification and empirical reduction, but it is a crucial component of human individuality and mental health. Despite these insights, empirical investigations comparing spiritual word processing across languages remain scarce. This study addresses this gap by employing eye-tracking technology to assess how Georgian-English and Arabic-English bilinguals process spiritual, negative, and neutral words in their native and second languages. By measuring fixation duration, time to first fixation (TTFF), and gaze total time, we aim to evaluate the depth of emotional and cognitive engagement associated with spiritual vocabulary, thereby attempting to link bilingualism, emotion regulation, and the psycholinguistics of spirituality.

Method

Participants

The study included 38 bilingual participants, evenly divided into two groups: 19 Georgian-English bilinguals and 19 Arabic-English bilinguals. All participants were recruited through Instagram advertisements targeting relevant linguistic and cultural communities. To ensure sufficient English language proficiency, all participants completed the LexTALE test. Only those who scored above the threshold for intermediate-to-advanced proficiency (B1 level) were included in the final sample.

Participants were also screened for eye-tracking data quality. Only those whose data met RealEye.io quality metrics between grades 4 and 6 were retained. These quality grades reflect the accuracy and reliability of the eye-tracking data, with 1 being the lowest and 6 the highest. Two participants from the Georgian-English group were excluded due to missing data in the spiritual word category and low data quality (grade 2). One participant from the Arabic-English group was excluded for similar reasons (grade 3). The final sample, therefore, consisted of 35 participants.

The inclusion criteria for the Georgian group were: aged between 18 and 65, native Georgian speakers with English as a second language, and residing in Georgia. For the Arabic group, the inclusion

criteria were: aged between 18 and 65, native Arabic speakers with English as a second language, and residing in Qatar.

Design

The study employed a within-subjects design with three independent variables: word category (spiritual, negative, neutral), language (L1 vs. L2), and population (Arabic-English bilinguals vs. Georgian-English bilinguals). For each participant, the first language (L1) was either Arabic or Georgian, depending on their population group, and the second language (L2) was English for all participants. All participants were exposed to all levels of the word category and language variables, while population served as a quasi-independent grouping variable. The primary dependent variables were fixation duration (the average length of individual fixations in milliseconds), time to first fixation (TTFF; the time taken to make the first fixation on a target area in milliseconds), and gaze total time (the total gaze duration on a target area in milliseconds). Stimuli were grouped by category on the RealEye.io platform and randomized within each condition to minimize anticipatory effects and prevent implicit learning. Additionally, L1 and L2 stimuli were alternated between the left and right sides of the screen to control for spatial bias. All participants completed the study in one sitting and followed the same sequence of tasks: providing informed consent, completing the LexTALE English proficiency test, participating in the RealEye experimental task, and finally responding to the Adult Attachment Scale and Daily Spiritual Experience Scale.

Materials

RealEye.io for Eye-Tracking Data

Eye-tracking data were collected using RealEye.io (https://www.realeye.io/), a webcam-based platform that employs artificial intelligence, specifically deep neural networks, to estimate eye gaze points. This platform is particularly well-suited for remote data collection, as it does not require specialized hardware such as Gazepoint or Tobii systems. Given the study's focus on basic eye-tracking metrics, including fixation and gaze duration, RealEye.io provided a cost-effective and accessible solution. While future studies may benefit from more advanced tools, this method was appropriate for the current research.

Stimuli consisted of 120 grayscale images, evenly divided into two types: 60 individual word images and 60 sentence images. Word stimuli included 20 spiritual, 20 negative, and 20 neutral words. Sentence stimuli were matched for linguistic complexity and divided equally between L1 and L2 sentences (30 each). All stimuli were randomized in terms of screen position; L1 and L2 items were alternated between the left and right sides of the screen to prevent learning effects and reduce anticipatory bias.

Adult Attachment Scale (AAS)

The Adult Attachment Scale (AAS), developed by Hazan and Shaver (1987), was used to assess attachment styles. It consists of 18 items rated on a 5-point Likert scale and measures three dimensions of attachment: Depend (α = .75), Anxiety (α = .72), and Close (α = .69). Based on participants' scores across these subscales, attachment styles were categorized as Secure, Avoidant, or Anxious.

Daily Spiritual Experience Scale (DSES)

The Daily Spiritual Experience Scale (DSES), developed by Underwood (2011), was used to assess the frequency of daily spiritual experiences, including both theistic and nontheistic items. It has demonstrated high internal consistency (α = .90). Participants responded to 16 items using binary choices (0 = No, 1 = Yes), and total scores were calculated by averaging their responses.

Procedure

This study was approved by the Institutional Review Board at Teachers College, Columbia University. Participants began by reading and agreeing to an informed consent form. They then completed the LexTALE English proficiency test. Those who met the inclusion criteria proceeded to the experimental task, which was conducted using the RealEye.io platform. This task involved viewing pairs of words categorized as spiritual, negative, or neutral, presented in both the participant's native language and in English. Words and sentences were matched for frequency, length, and emotional valence.

Stimuli were randomized within each category. Individual words were presented for approximately 1 to 2 seconds, followed by an interstimulus interval of 1.5 seconds. Sentences were displayed for 3 to 5 seconds. A subset of stimuli included spiritually themed sentences, customized by group, drawn from the Orthodox Bible for Georgian participants and the Islamic Religiosity Measure and the Psychological Measure of Islamic Religiousness (PMIR) for Arabic participants, with English translations. Eye movements were recorded using RealEye.io, with fixation duration, time to first fixation (TTFF), and gaze total time as the primary dependent variables.

Following the experimental task, participants completed two surveys: the Daily Spiritual Experience Scale (DSES) and the Adult Attachment Scale (AAS). The DSES was customized using Orthodox terminology for Georgian participants and Islamic terminology for Arabic participants. The entire procedure was completed in one sitting and took approximately 15 minutes.

Data Analysis

Data were analyzed using Jamovi to assess the effects of word category (spiritual, negative, neutral) and language (L1 vs. L2) on the dependent variables: fixation duration, time to first fixation (TTFF), and gaze total time. A mixed-design ANOVA was conducted, with word category and language as within-subjects factors, and population (Arabic-English vs. Georgian-English bilinguals) as a between-subjects factor.

Prior to analysis, the data were screened for outliers, and participants with low-quality eye-tracking data (below RealEye.io grade 4) were excluded from the analysis. The assumptions of normality and homogeneity of variance were tested using the Shapiro-Wilk test and Levene's test, respectively. No significant violations of these assumptions were found.

Effect sizes were calculated, and the significance level was set at $\alpha = 0.05$. Post-hoc pairwise comparisons were performed using Tukey's HSD test to explore significant interactions or main effects. All statistical analyses were conducted using Jamovi Desktop 2.6.44 (The Jamovi project 2025, *jamovi* Version 2.6).

Results

For the Arab participant group, descriptive statistics for fixation-related measures across language and word categories are presented in Appendix A. For individual words, participants generally exhibited shorter fixation durations, fewer revisits, and lower total gaze time when viewing Arabic (L1) words compared to English (L2) words. Specifically, for spiritual words, the average fixation duration was 291 ms in Arabic and 298 ms in English, while total gaze time was substantially lower in Arabic (2921 ms) than in English (6177 ms) (see Appendix A). The data for spiritual sentences revealed a similar pattern, with nearly identical fixation durations between languages (301 ms for Arabic vs. 302 ms for English), but faster time to first fixation (1136 ms vs. 1346 ms) and reduced total gaze time (1336 ms vs. 1684 ms) in Arabic (see Appendix A). These trends suggest more efficient cognitive processing in participants' first language, particularly for spiritually themed content.

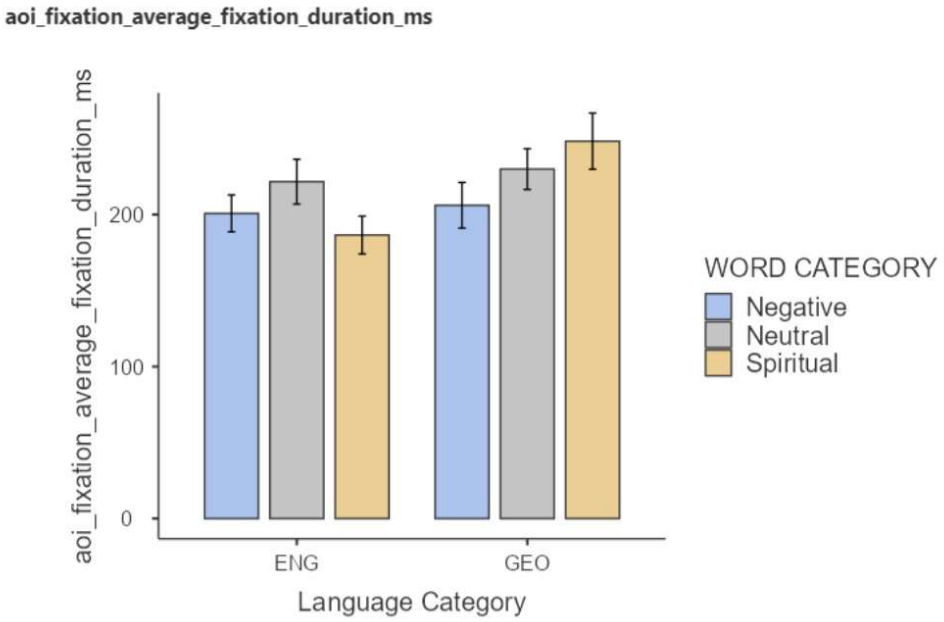
For the Georgian participant group, descriptive statistics for fixation-related measures across language and word categories are presented in Appendix A. For individual words, participants generally exhibited shorter fixation durations, fewer revisits, and lower total gaze time when viewing Georgian (L1) words compared to English (L2) words. For spiritual words, average fixation duration was (243 ms) in GEO and (187 ms) in ENG. The total Gaze time on Georgian Spiritual words were (1271 ms) and (1444 ms) in English translations respectively (See Appendix A). The data for Spiritual Sentences revealed that Georgian participants spent (235 ms) on Georgian Spiritual Sentences and (247 ms) on English Spiritual Sentences. Additionally, Georgian participants had faster fixation times (1233 ms vs 1318 ms) and reduced gaze (1233 vs 1318) in their first language as opposed to their second language (see Appendix A). These trends suggest more efficient cognitive processing in participants' first language, particularly for spiritually themed content.

Fixation Duration

Georgian Population

A two-way ANOVA was conducted to examine the effects of language category (English vs. Georgian) and word category (Negative, Neutral, Spiritual) on average fixation durations in Georgian-English bilinguals. As shown in Bar Chart 1a, when reading in English, participants exhibited the longest average fixation durations for neutral words, followed by negative and then spiritual words. In contrast,

during Georgian reading, spiritual words elicited the longest fixations, followed by neutral and negative words.



Bar Chart 1a. AOI Fixation Duration (ms) for the Georgian Population

ANOVA

ANOVA - aoi_fixation_average_fixation_duration_ms

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Word Category	8397	2	4198	3.374	0.038
Language Category	10231	1	10231	8.221	0.005
Word Category ✻ Language Category	2042	2	1021	0.821	0.443
Residuals	141864	114	1244		

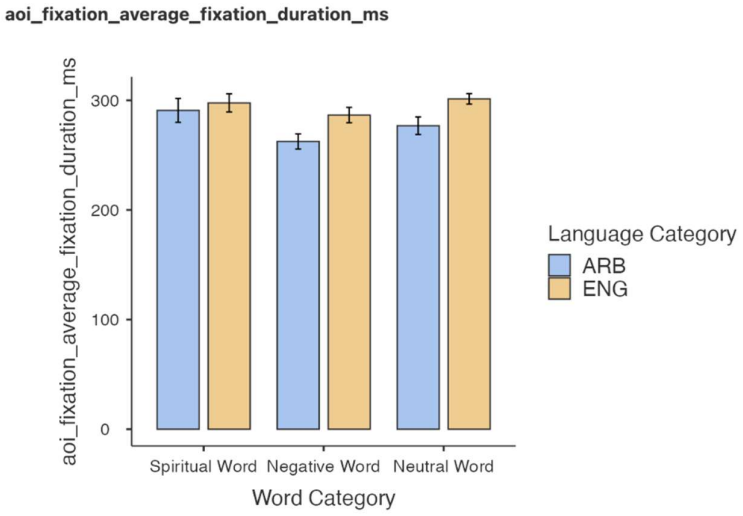
[3]

Table 1a. ANOVA of AOI Fixation Duration (ms) for the Georgian Population

The analysis revealed a significant main effect of Language Category, $F(1, 114) = 4.35$, $p = .039$, indicating that average fixation durations differed significantly between language groups. The main effect of Word Category was not significant, $F(2, 114) = 1.14$, $p = .322$, suggesting no meaningful differences in fixation duration across word types. Additionally, the interaction between Language Category and Word Category did not reach statistical significance, $F(2, 114) = 2.33$, $p = .101$, although the result may suggest a trend worth exploring in future studies. Overall, these findings suggest that language context plays a significant role in modulating visual attention during reading, whereas word category and its interaction with language do not (view Table 1a).

Arab Population

Analysis of fixation duration revealed significant main effects of both Word Category, F(2, 114) = 3.374, p = .038, and Language, F(1, 114) = 8.221, p = .005 (see Table 1b,). These results indicate that participants' gaze behavior varied across spiritual, emotional, and neutral word types, and differed significantly between Arabic (L1) and English (L2). As shown in Bar Chart 1b, participants exhibited longer fixation durations on English words across all word categories compared to Arabic words. Interestingly, greater variability in fixation time by word category was observed in Arabic, with the longest fixations occurring for spiritual words. In contrast, fixation durations in English were relatively stable across categories. This pattern suggests heightened sensitivity to word meaning in the native language, particularly for spiritually salient content.



Bar Chart 1b. AOI Fixation Duration (ms) for the Arab Population

ANOVA

ANOVA - aoi_fixation_average_fixation_duration_ms

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Word Category	8397	2	4198	3.374	0.038
Language Category	10231	1	10231	8.221	0.005
Word Category ✻ Language Category	2042	2	1021	0.821	0.443
Residuals	141864	114	1244		

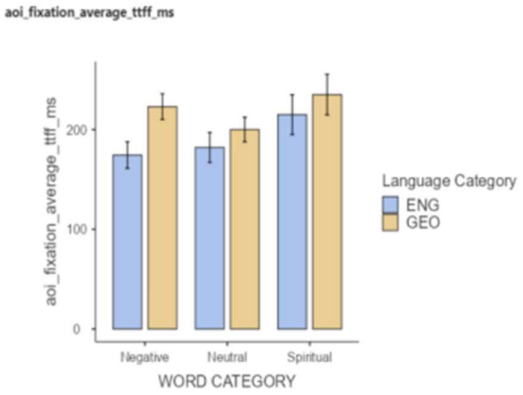
[3]

Table 1b. ANOVA of AOI Fixation Duration (ms) for the Arab Population

Time To First Fixation (TTFF)

Georgian Population

Results for Time to First Fixation (TTFF) indicated a significant main effect of Language, with F(1, 114) = 4.742, p = .031, indicating that language significantly influenced fixation latency. In contrast, WORD CATEGORY showed no significant effect, F(2, 114) = 2.531, p = .084, nor did the interaction between the two factors, F(2, 114) = 0.515, p = .599. These findings suggest that language plays a more prominent role than word type in shaping early visual attention (View Bar Chart 2a; Table 2a).



Bar Chart 2a. Time to First Fixation (TTFF) in Milliseconds (ms) for the Georgian Population

ANOVA

ANOVA - aoi_fixation_average_ttff_ms

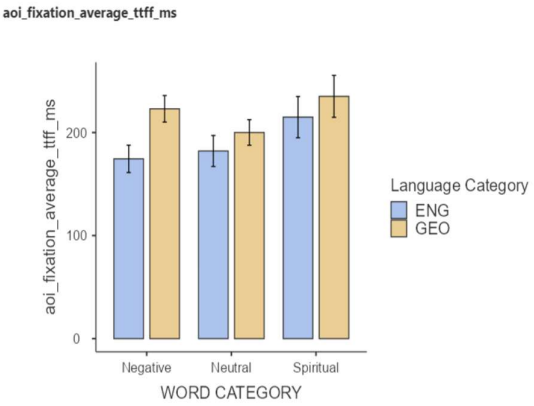
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
WORD CATEGORY	26267	2	13134	2.531	0.084
Language Category	24606	1	24606	4.742	0.031
WORD CATEGORY ✻ Language Category	5341	2	2671	0.515	0.599
Residuals	591530	114	5189		

[3]

Table 2a. ANOVA of Time To First Fixation (TTFF) in Milliseconds (ms) for the Georgian Population

Arab Population

Results for Time to First Fixation (TTFF) indicated a significant main effect of Language, F(1, 114) = 37.24, p < .001, with participants orienting their gaze faster to words in English (L2) than in Arabic (L1) (see Table 2b). There were no significant effects of Word Category, p = .063, nor a significant interaction between Word Category and Language, p = .984, suggesting that attentional



ANOVA

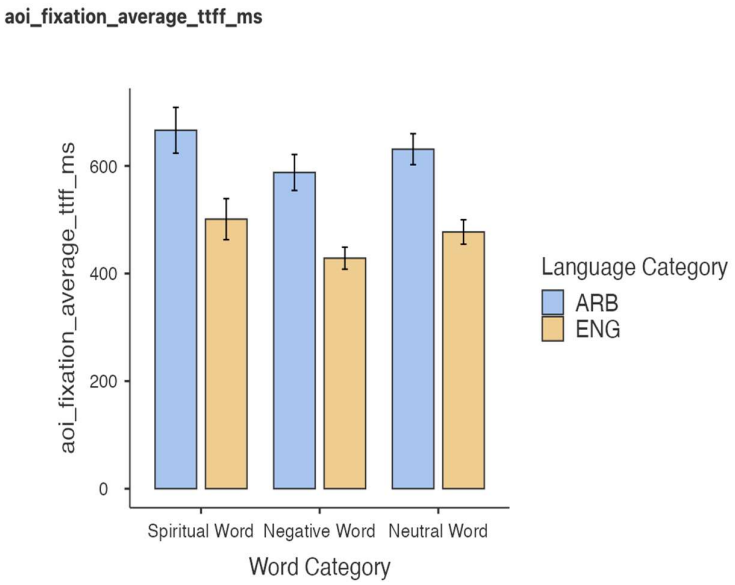
ANOVA - aoi_fixation_average_ttff_ms

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
WORD CATEGORY	26267	2	13134	2.531	0.084
Language Category	24606	1	24606	4.742	0.031
WORD CATEGORY ✻ Language Category	5341	2	2671	0.515	0.599
Residuals	591530	114	5189		

[3]

orientation occurred at a similar rate across word types in both languages. However, Bar Chart 2b shows that TTFF was consistently faster in English, with minimal variation across word categories. In contrast, Arabic words, especially spiritual ones, elicited slightly longer delays, potentially indicating deeper cognitive or emotional engagement with content presented in the native language. These findings

suggest that while English (L2) may prompt quicker, more automatic gaze orientation, Arabic (L1) may trigger more reflective processing, particularly for spiritually salient content.



Bar Chart 2b. Time to First Fixation (TTFF) (ms) for the Arab Population

ANOVA

ANOVA - aoi_fixation_average_ttff_ms

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Language Category	763207	1	763207	37.2399	<.001
Word Category	115809	2	57905	2.8254	0.063
Language Category ✻ Word Category	644	2	322	0.0157	0.984
Residuals	2.34e+6	114	20494		

[3]

Table 2a. ANOVA of Time To First Fixation (TTFF) in Milliseconds (ms) for the Georgian Population

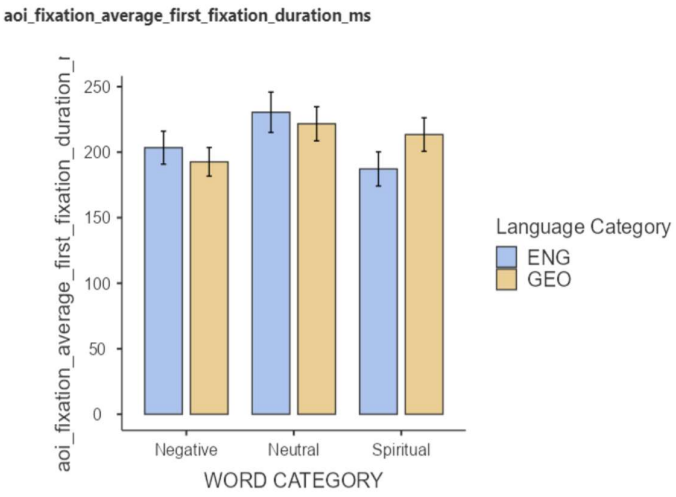
Gaze Total Time

Georgian Population

A two-way ANOVA examining gaze duration (aoi_gaze_average_total_time_spent_ms) revealed a significant main effect of WORD CATEGORY, $F(2, 114) = 3.977$, $p = .021$, indicating that word type influenced sustained visual attention. Language Category showed a marginal effect, $F(1, 114) = 3.734$, $p = .056$, suggesting a possible trend. No significant interaction was found, $F(2, 114) = 0.124$, $p = .884$,

indicating that word effects were consistent across languages. These results suggest differential attentional engagement by word type, relevant for understanding cognitive processing in clinical populations (Table 3a).

First fixation durations were longest for neutral words, shortest for negative words, and intermediate for spiritual words. Fixations were slightly longer in English than Georgian, especially for negative words, indicating faster emotional processing in the native language (Bar Chart 3a).



Bar Chart 3a. AOI Gaze Total Time Spent (ms) for the Georgian Population

ANOVA

ANOVA - aoi_gaze_total_time_spent_ms

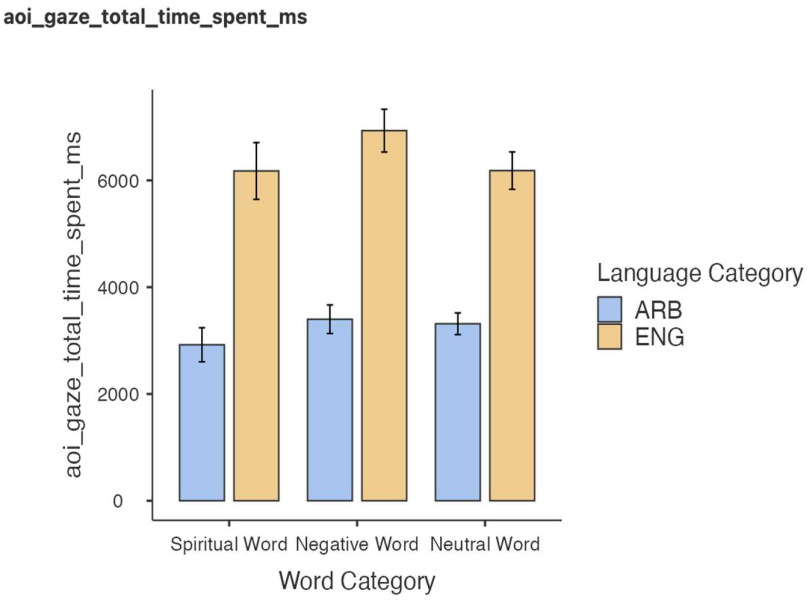
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
WORD CATEGORY	3.37e+7	2	1.69e+7	33.01	< .001
Language Category	1.63e+6	1	1.63e+6	3.19	0.077
WORD CATEGORY ✻ Language Category	2.72e+6	2	1.36e+6	2.67	0.074
Residuals	5.82e+7	114	510766		

[3]

Table 3a. ANOVA of Gaze Total Time in Milliseconds (ms) for the Georgian Population

Arab Population

The analysis of Gaze Total Time showed a significant main effect of Language, $F(1, 114) = 119.460$, $p < .001$, indicating that participants spent more time looking at words in English (L2) than in Arabic (L1) (see Table 3b). No significant effects were found for Word Category or for the interaction between Word Category and Language, suggesting that the overall amount of visual attention allocated to words was not influenced by their emotional or spiritual content, nor did it vary meaningfully across languages. As illustrated in Bar Chart 3b, gaze time was consistently longer for all word types in English, with negative words drawing the most attention in both languages. This may suggest that English requires more cognitive processing or emotional effort, challenging assumptions that the native language always facilitates deeper engagement.



Bar Chart 3b. AOI Gaze Total Time Spent (ms) for the Arab Population

ANOVA

ANOVA - aoi_gaze_total_time_spent_ms

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Language Category	3.11e+8	1	3.11e+8	119.460	<.001
Word Category	7.93e+6	2	3.96e+6	1.523	0.222
Language Category ✻ Word Category	2.23e+6	2	1.11e+6	0.428	0.653
Residuals	2.97e+8	114	2.60e+6		

[3]

Table 3b. ANOVA of Gaze Total Time in Milliseconds (ms) for the Arab Population

Language and Spiritual Words

Georgian Population

A paired samples t-test was conducted to compare fixation durations between language categories and a specific condition labeled as Average Duration SW. The results revealed a highly significant difference, t(11) = –20.8, p < .001, with an extremely large effect size (Cohen's d = –5.99), indicating a substantial difference in fixation duration between the two conditions (Table 4a).

Paired Samples T-Test

Paired Samples T-Test

			statistic	df	p		Effect Size
Language Category	AVERAGE DURATION SW	Student's t	−20.8	11.0	< .001	Cohen's d	−5.99

Note. H_a $\mu_{\text{Measure 1 - Measure 2}} \neq 0$

Normality Test (Shapiro-Wilk)

			W	p
Language Category	-	AVERAGE DURATION SW	0.917	0.264

Note. A low p-value suggests a violation of the assumption of normality

Descriptives

	N	Mean	Median	SD	SE
Language Category	12	1.50	1.50	0.522	0.151
AVERAGE DURATION SW	12	188.68	193.58	31.248	9.021

Table 4a. Paired Samples t-Test Comparing Fixation Duration for Spiritual Words Across Languages for the Georgian Population

Arab Population

A focused t-test comparing fixation duration for spiritual words across languages revealed a significant difference, t(39) = 43.1, p < .001. Participants spent significantly more time fixating on spiritual words in Arabic (L1) than in English (L2), highlighting the greater emotional or cultural resonance of spiritual content when presented in the native language. The validity of this finding is supported by the Shapiro-Wilk test of normality, p = .966, confirming that the data met parametric assumptions. This suggests that spiritually meaningful words in L1 engage participants more deeply, both cognitively and emotionally, than when encountered in L2.

Paired Samples T-Test

Paired Samples T-Test

			statistic	df	p
aoi_fixation_average_fixation_duration_ms	Word Category	Student's t	43.1	39.0	<.001

Note. H_a $\mu_{\text{Measure 1 - Measure 2}} \neq 0$

Normality Test (Shapiro-Wilk)

			W	p
aoi_fixation_average_fixation_duration_ms	-	Word Category	0.989	0.966

Note. A low p-value suggests a violation of the assumption of normality

Table 4b. Paired Samples t-Test Comparing Fixation Duration for Spiritual Words Across Languages for the Arab Population

General Discussion

This study set out to explore how bilingual individuals, specifically Georgian-English and Arabic-English speakers, process emotional and spiritual language across their first (L1) and second (L2) languages. By using eye-tracking technology to measure fixation duration, time to first fixation (TTFF), and total gaze time, we aimed to uncover how language context influences emotional and spiritual engagement. Our findings support the hypothesis that bilingual speakers process emotionally salient and spiritually themed words differently depending on language, with notable cross-linguistic and cultural variations.

Across both populations, participants generally exhibited longer fixation durations and greater total gaze time when engaging with L2 (English) stimuli. This pattern is consistent with cognitive load theory, which posits that processing a second language typically requires more mental resources due to reduced automaticity and emotional grounding. However, this effect was modulated by word type. For example, among Georgian-English bilinguals, spiritual words in Georgian elicited the longest fixation durations, suggesting a deeper level of emotional and cognitive engagement in L1 when content carries personal or cultural resonance. Similarly, Arabic speakers showed significantly longer fixation durations and total gaze time for spiritual content in Arabic, aligning with previous findings in clinical and affective neuroscience that highlight the emotional specificity of L1 in memory encoding and affect regulation.

Interestingly, TTFF results revealed a different pattern. Both groups oriented faster to English (L2) words across categories, perhaps due to the experimental design in which English appeared on alternating sides, or due to the visual salience of unfamiliar words prompting quicker initial fixations. However, Arabic speakers took longer to fixate on spiritual words in Arabic compared to English, potentially reflecting deeper cognitive or emotional appraisal rather than processing speed. This slower initial fixation, coupled with longer gaze durations, supports the idea that spiritually resonant content in L1 triggers more reflective processing, as observed in mindfulness and affects labeling literature.

These findings extend previous research on linguistic embodiment and emotional abstraction. The emotional and spiritual salience of abstract words, like those used in this study, appears to depend heavily on cultural and linguistic context. The longer fixation durations and gaze times for spiritual words in L1 support the hypothesis that such content is processed with more personal significance in one's native language. This has important implications for clinical practice, particularly in multilingual therapeutic settings. Therapists working with bilingual clients should be aware that L2 communication may hinder access to emotionally charged or spiritually meaningful content, potentially impacting therapeutic alliance and emotional regulation.

Notably, both populations exhibited increased engagement with spiritual words compared to neutral and negative words, but only in their respective native languages. This aligns with the concept that spirituality is often embedded in culturally specific language and practices, and that abstract spiritual vocabulary can activate emotion-regulating neural circuits, as shown in recent neuroscientific studies. The use of culturally and religiously tailored stimuli (e.g., Orthodox Christian terms for

Georgians and Islamic phrases for Arabs) likely enhanced this effect, underscoring the importance of cultural congruence in future bilingual research.

Limitations and Future Directions

Cultural Interpretation of Spiritual Content

One limitation of the current study concerns the cultural interpretation of spiritual stimuli. The perception and emotional resonance of spiritual texts may vary significantly within the Georgian population. Cultural or generational norms may influence how individuals engage with emotionally or religiously charged content. For instance, some participants may read spiritual texts quickly out of respect, while others may read them more slowly as a form of contemplation. Similarly, in Arab culture, spiritual words, particularly in Arabic, are often deeply tied to religious practice and everyday language. Some individuals may process these words slowly due to reverence, while others may read them quickly due to high familiarity. These culturally shaped reading behaviors could influence fixation duration and gaze patterns during the task. Future studies should account for individual differences in religiosity and familiarity with spiritual content, potentially using pre-screening surveys or including religiosity as a covariate in analyses.

Social Desirability and Cultural Norms

A further limitation is the potential influence of social desirability and cultural norms on participants' behavior. In more conservative or religious Georgian subgroups, participants may alter their reading behavior, such as reading more slowly or carefully, in response to internalized social expectations or perceived evaluation by researchers. These behaviors may confound dependent measures like total fixation time and time to first fixation. Similarly, Arab participants might feel a cultural or religious obligation to demonstrate respect when reading spiritual words, resulting in prolonged fixations regardless of their emotional engagement. This pressure could lead to attention metrics that reflect social norms more than true cognitive or emotional processing. To mitigate social desirability effects, future research should consider incorporating more implicit measures, such as physiological responses (e.g., pupil dilation), to capture less consciously regulated aspects of emotional engagement.

Stimulus Consistency and Design Limitations

The current study also faced limitations related to stimulus design. Potential incongruities between stimuli across populations, such as differences in visual formatting, font type, or image quality, may have introduced unintended variability in participants' attention. Variations between black-word and white-word stimuli could have affected visual salience or readability, thereby influencing eye-tracking measures. Future studies should ensure that all visual and design elements are standardized across populations to minimize design-based confounds and preserve the validity of cross-linguistic comparisons.

References

Adult Attachment Scale (AAS). (n.d.). Statistics Solutions. Retrieved 17 February 2025, from https://www.statisticssolutions.com/free-resources/directory-of-survey-instruments/adult-attachment-scale-aas/

A Psychological Measure of Islamic Religiousness: Development and Evidence for Reliability and Validity. (n.d.). Retrieved 9 May 2025, from https://www.researchgate.net/publication/248941665_A_Psychological_Measure_of_Islamic_Religiousness_Development_and_Evidence_for_Reliability_and_Validity

Construal-level theory of psychological distance. (n.d.). Retrieved 25 March 2025, from https://psycnet.apa.org/record/2010-06891-005

Cousins, K. A., Ash, S., Irwin, D. J., & Grossman, M. (2017). Dissociable substrates underlie the production of abstract and concrete nouns. *Brain and Language*, *165*, 45–54. https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.11.003

Creswell, J. D., Way, B. M., Eisenberger, N. I., & Lieberman, M. D. (2007). Neural Correlates of Dispositional Mindfulness During Affect Labeling. *Psychosomatic Medicine*, *69*(6), 560–565. https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3180f6171f

*Ekpenyong, B., & Ikegbu, E. A. (2018). The Language of Philosophy and the Philosophy of Language: a Symbiotic Paradigm. Budapest International Research and Critics Institute (BIRCI-Journal) : Humanities and Social Sciences, 1(3), 296–305. https://doi.org/10.33258/birci.v1i3.53*Torre, J. B., & Lieberman, M. D. (2018). Putting Feelings Into Words: Affect Labeling as Implicit Emotion Regulation. *Emotion Review*, *10*(2), 116–124. https://doi.org/10.1177/1754073917742706

El-Dakhs, D. A., Sonbul, S., & Altarriba, J. (2023). How do foreign language learners process L2 emotion words in silent reading? an eye-tracking study. Languages, 8(2), 125. https://doi.org/10.3390/languages8020125

Harris, C. L., Gleason, J. B., & Ayçiçeği, A. (2006). 10. When is a First Language More Emotional? Psychophysiological Evidence from Bilingual Speakers. In A. Pavlenko (Ed.), *Bilingual Minds* (pp. 257–283). Multilingual Matters. https://doi.org/10.21832/9781853598746-012

LexTALE. (n.d.). Retrieved 9 May 2025, from https://www.lextale.com/whatislextale.html

Lindquist, K. A., MacCormack, J. K., & Shablack, H. (2015). The role of language in emotion: Predictions from psychological constructionism. *Frontiers in Psychology*, *6*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00444

Miller, G. A. (1990). The Place of Language in a Scientific Psychology. *Psychological Science*, *1*(1), 7–14. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1990.tb00059.x

Mortillaro, M., & Dukes, D. (2018). Jumping for Joy: The Importance of the Body and of Dynamics in the Expression and Recognition of Positive Emotions. *Frontiers in Psychology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00763

Moseley, R., Carota, F., Hauk, O., Mohr, B., & Pulvermüller, F. (2012). A Role for the Motor System in Binding Abstract Emotional Meaning. *Cerebral Cortex (New York, NY)*, *22*(7), 1634–1647. https://doi.org/10.1093/cercor/bhr238

Nook, E. C., Ahn, H. E., Schleider, J. L., & Somerville, L. H. (2024). Emotion Regulation is Associated with Increases in Linguistic Measures of Both Psychological Distancing and Abstractness. *Affective Science*, *6*(1), 63–76. https://doi.org/10.1007/s42761-024-00269-7

Pulvermüller, F. (2013). How neurons make meaning: Brain mechanisms for embodied and abstract-symbolic semantics. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*(9), 458–470. https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.06.004

Smith, K., & Kirby, S. (2008). Cultural evolution: Implications for understanding the human language faculty and its evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1509), 3591–3603. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0145

Tang, E., & Ding, H. (2023). Emotion effects in Second language processing: Evidence from eye movements in natural sentence reading. Bilingualism: Language and Cognition, 27(3), 460–479. https://doi.org/10.1017/s1366728923000718

THE CHRISTIAN ORTHODOXY SCALE. (n.d.). Retrieved 9 May 2025, from https://scales.arabpsychology.com/s/the-christian-orthodoxy-scale/

The jamovi project (2025). *jamovi* (Version 2.6) [Computer Software]. Retrieved from https://www.jamovi.org

True, R. (2023). Pragmatic Features of Prayer. *Channels*, *8*(1), 81–98. https://doi.org/10.15385/jch.2023.8.1.4

Underwood, L. G., & Teresi, J. A. (2002). The daily spiritual experience scale: Development, theoretical description, reliability, exploratory factor analysis, and preliminary construct validity using health-related data. *Annals of Behavioral Medicine: A Publication of the Society of Behavioral Medicine*, *24*(1), 22–33. https://doi.org/10.1207/S15324796ABM2401_04

White, C. N., Kapucu, A., Bruno, D., Rotello, C. M., & Ratcliff, R. (2014). Memory bias for negative emotional words in recognition memory is driven by effects of category membership. Cognition and Emotion, 28(5), 867–880. https://doi.org/10.1080/02699931.2013.858028

White, R., & Wild, J. (2016). "Why" or "How": The Effect of Concrete Versus Abstract Processing on Intrusive Memories Following Analogue Trauma. *Behavior Therapy*, *47*(3), 404–415. https://doi.org/10.1016/j.beth.2016.02.004

Zlatev, J., & Blomberg, J. (2015). Language may indeed influence thought. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1631. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01631

Appendices

Appendix A

Georgian Population

Table 1a

Descriptive Statistics of Word Categories

Descriptives

	WORD CATEGORY	Language Category	aoi_fixation_average_ttff_ms	aoi_fixation_average_fixation_duration_ms	aoi_gaze_total_time_spent_ms
Mean	Negative	ENG	174	201	2528
		GEO	223	206	2885
	Neutral	ENG	182	222	1822
		GEO	200	230	2343
	Spiritual	ENG	215	187	1444
		GEO	235	243	1271
	Spiritual Sentences	ENG	1318	247	12389
		GEO	1233	235	13980
Standard deviation	Negative	ENG	56.3	51.5	810
		GEO	51.5	60.1	947
	Neutral	ENG	70.4	69.2	661
		GEO	60.7	65.8	804
	Spiritual	ENG	89.5	55.6	570
		GEO	90.9	79.7	424
	Spiritual Sentences	ENG	441	28.6	3785
		GEO	371	28.3	5096
Shapiro-Wilk W	Negative	ENG	0.946	0.881	0.943
		GEO	0.986	0.955	0.968
	Neutral	ENG	0.964	0.937	0.907
		GEO	0.936	0.976	0.963
	Spiritual	ENG	0.988	0.917	0.956
		GEO	0.985	0.947	0.936
	Spiritual Sentences	ENG	0.957	0.984	0.973
		GEO	0.964	0.950	0.976
Shapiro-Wilk p	Negative	ENG	0.367	0.027	0.327
		GEO	0.994	0.576	0.807
	Neutral	ENG	0.584	0.170	0.041
		GEO	0.130	0.823	0.502
	Spiritual	ENG	0.995	0.087	0.473
		GEO	0.984	0.321	0.201
	Spiritual Sentences	ENG	0.264	0.918	0.619
		GEO	0.391	0.173	0.708

Table 2a

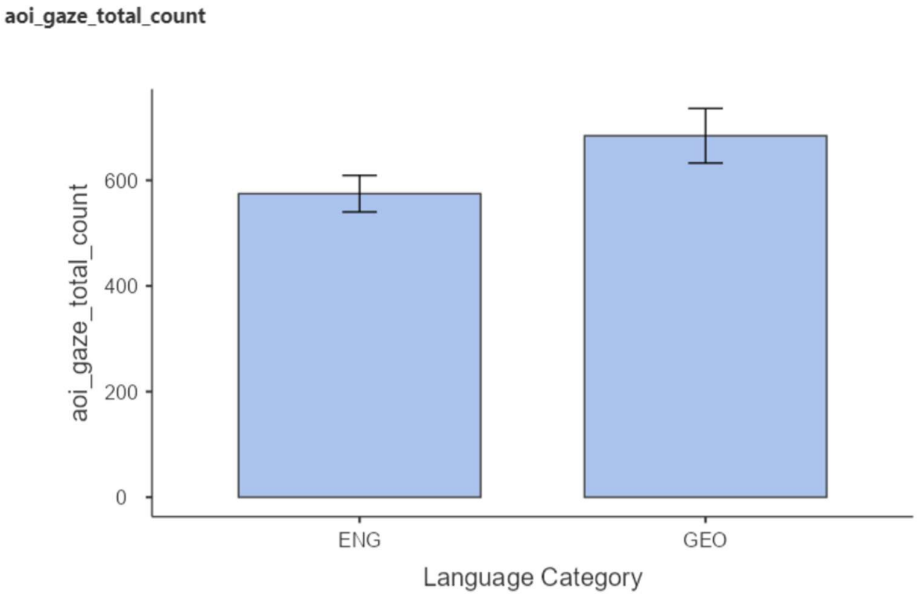
Descriptive Statistics of Spiritual Sentences

Descriptives

	WORD CATEGORY	Language Category	aoi_fixation_average_ttff_ms	aoi_fixation_average_fixation_duration_ms
N	Spiritual Sentences	ENG	30	30
		GEO	30	30
Missing		ENG	0	0
		GEO	0	0
Mean		ENG	1318	247
		GEO	1233	235
Median		ENG	1275	247
		GEO	1191	226
Standard deviation		ENG	441	28.6
		GEO	371	28.3
Minimum		ENG	690	183
		GEO	568	183
Maximum		ENG	2251	321
		GEO	2321	283

Bar Graph 4

Spiritual Sentence Comparison (Total Gaze Count)



Arab Population

Table 1b

Descriptive Statistics of Word Categories

Descriptives

Descriptives

	Word Category	Language Category	aoi_fixation_average_fixation_duration_ms	aoi_fixation_average_first_fixation_duration_ms	aoi_fixation_average_ttff_ms	aoi_revisit_total_count	aoi_gaze_total_time_spent_ms
Mean	Spiritual Word	ARB	291	301	666	0.650	2921
		ENG	298	311	501	0.950	6177
	Negative Word	ARB	262	282	588	0.750	3400
		ENG	287	308	429	2.45	6933
	Neutral Word	ARB	277	300	631	0.750	3315
		ENG	301	326	477	2.15	6184
Standard deviation	Spiritual Word	ARB	49.0	45.0	190	0.745	1428
		ENG	37.2	41.0	171	0.887	2376
	Negative Word	ARB	30.9	33.2	150	0.550	1197
		ENG	31.4	35.6	91.5	1.39	1795
	Neutral Word	ARB	35.9	40.3	129	0.851	909
		ENG	21.4	22.5	101	1.27	1565

Table 2b

Descriptive Statistics for Spiritual Sentences

Descriptives

Descriptives

	Language Category	Word Category	aoi_fixation_average_fixation_duration_ms	aoi_fixation_average_ttff_ms	aoi_gaze_average_total_time_spent_ms
N	ARB	Spiritual Sentence	30	30	30
	ENG		30	30	30
Mean	ARB		301	1136	1336
	ENG		302	1346	1684
Standard deviation	ARB		16.5	271	363
	ENG		16.1	264	325

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.67



თაფლის ხარისხობრივი შედარებითი ანალიზი: ადგილობრივი და იმპორტირებული ნიმუშების ექსპერტიზის საფუძველზე

ნანა ბარათელი[1]; სალომე ჭეიშვილი[2]; ნიკა სანთელაძე[3]; ელენე ჩიხლაძე[4]; თამარ ფალავანდიშვილი[5]

[1]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოც. პროფესორი, აკადემიური დოქტორი; [2]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის დოქტორანტი, ასისტენტი; [3]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მაგისტრანტი; [4]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მაგისტრანტი; [5]საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოც. პროფესორი, აკადემიური დოქტორი

რეზიუმე

თაფლი წარმოადგენს ბუნებრივ, სრულიად მზა და კონცენტრირებულ დამატკბობელს, რომელსაც მრავალსაუკუნოვანი გამოყენების ისტორია აქვს. იგი არა მხოლოდ საკვები, არამედ კულტურული და სამკურნალო ღირებულების მქონე პროდუქტია, რომელიც გამოირჩევა მაღალი ბიოლოგიური აქტიურობით, დაბალი გლიკემიური ინდექსითა და იმუნური სისტემის მხარდამჭერი თვისებებით.

საქართველოში თაფლი ისტორიულად ასოცირდება ტრადიციებთან, რელიგიურ რიტუალებთან და ადგილობრივ ბუნებრივ პირობებთან. რეგიონების მიხედვით განსხვავდება თაფლის სახეობებიც – ცაცხვის, ტყის, აკაციის, მუხის, წაბლის და სხვა.

თაფლი წარმოადგენს ეკონომიკურად მნიშვნელოვან პროდუქტს, რაც ფალსიფიკაციის რისკს ზრდის. ხშირად ვრცელდება ეტიკეტირების გარეშე ან რეგულაციებთან შეუსაბამო პროდუქტი. აქედან გამომდინარე, ხარისხის, უსაფრთხოებისა და იდენტიფიკაციის დადასტურება აუცილებელია როგორც მომხმარებლის დაცვასთან, ისე ბაზარზე სამართლიან კონკურენციასთან მიმართებით. განსაკუთრებით აქტუალური გახდა ეს საკითხი მაშინ, როცა ევროკავშირის ბაზარზე ქართული თაფლის ექსპორტის შესაძლებლობა რეალურად გაჩნდა.

კვლევის მიზანია თაფლის ქიმიური და ორგანოლეპტიკური მახასიათებლების შეფასება თანამედროვე სტანდარტული მეთოდებით, მათი შესაბამისობის დადგენა Codex Alimentarius-თან და ადგილობრივ რეგულაციებთან. ანალიზი ჩატარდა ექვს ნიმუშზე, მათ შორის იყო როგორც ქართული, ასევე იმპორტირებული თაფლი. შეფასება მოიცავდა ორგანოლეპტიკურ, ფიზიკურ-ქიმიურ (pH, მჟავიანობა, დიასტაზის რიცხვი, შაქრები, ნაცარი და სხვ.) და უვნებლობის (მძიმე მეტალები) პარამეტრებს.

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ თაფლის ნიმუშების უმეტესობა შეესაბამება როგორც ეროვნულ, ისე საერთაშორისო სტანდარტებს. ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების (გლუკოზა, ფრუქტოზა, pH, მჟავიანობა, ნაცარი) მიხედვით თაფლი გამოირჩევა ბუნებრივი წარმოშობის და ბიოქიმიური სიმწიფის ნიშნებით, ხოლო

ორგანოლეპტიკური შეფასებაც ადასტურებს მის იდენტიფიკაციას. აღსანიშნავია, რომ ერთ-ერთ ნიმუშში (საოჯახო თაფლი) დაფიქსირდა საქაროზის დასაშვებზე მაღალი მაჩვენებელი, რაც შესაძლოა მიუთითებდეს დაუმწიფარ მდგომარეობაში შეგროვებაზე ან ფალსიფიკაციაზე. ასევე გამონაკლისს წარმოადგენდა ორი ნიმუში, რომლებშიც დიასტაზური აქტივობა და ნაცრის შემცველობა ნორმას აჭარბებდა, რაც სავარაუდოდ ტექნოლოგიური პროცესის დარღვევით ან არასათანადო შენახვით იყო განპირობებული. ეტიკეტირების ანალიზმა გამოავლინა მოთხოვნების დარღვევა შპს „აგროჰაბისა“ და საეკლესიო მაღაზიაში შეძენილ თაფლში – ეტიკეტზე არ იყო მითითებული სავალდებულო ინფორმაცია. უვნებლობის თვალსაზრიოსით ნიმუშები შეესაბამება დადგენილ მოთხოვნებს.

საკვანძო სიტყვები: ექსპერტიზა, თაფლი, ხარიხი, უვნებლობა, იდენტიფიკაცია

თაფლი წარმოადგენს ბუნებრივ ბიოლოგიურად აქტიურ პროდუქტს, რომლის კვებითი და სამკურნალო ღირებულება მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მის ქიმიურ შემადგენლობაზე, წარმოშობაზე და დამუშავების ხარისხზე. თანამედროვე ბაზარზე ფართოდ გავრცელებულია როგორც ადგილობრივი, ისე იმპორტირებული თაფლი, რაც საჭიროებს მათი ხარისხის, იდენტიფიკაციის და უვნებლობის სისტემატურ კონტროლს. ნიმუშების ექსპერტიზა საფუძველს იძლევა იმის დასადგენად, თუ რამდენად აკმაყოფილებენ მოქმედ სტანდარტებს და შეიცავენ თუ არა არადეკლარირებულ ან მავნე მინარევებს. მოცემული კვლევა მიზნად ისახავს ადგილობრივი და იმპორტირებული თაფლის ნიმუშების შედარებით ანალიზს ქიმიურ და ორგანოლეპტიკურ მახასიათებლებზე დაყრდნობით, რათა გამოიკვეთოს ხარისხობრივი განსხვავებები და შეფასდეს მათი შესაბამისობა სურსათის უვნებლობის მოთხოვნებთან [1-3].

კველევისათვის შერჩეულია შემდეგი ნიმუშები საცალო ვაჭრობის დონეზე „ორი ნაბიჯისა“ და „აგროჰაბის“ სუპერმარკეტებიდან ნიმუშების აღების წესის შესაბამისად; მონასტრის თაფლი (შავნაბადა)- „ მაისის თაფლი“; თაფლი სახლში - „ცაცხვისა და ალპური მინდვრის ყვავილების“ თაფლი; ჰობი -შერეული „ ქართული მთის თაფლი“; აგროჰაბი - „თაფლი შერეული“; იმერეთის ოჯახის თაფლი - „ცაცხვის თაფლი“; ბელორუსული თაფლი - „ყვავილოვანი თაფლი“.

ჩვენს ქვეყანაში თაფლის ხარისხი რეგულირდება საერთაშორისო სტანდარტებითა და ტექნიკური რეგლამენტებით (ევროკავშირის დირექტივები, Codex Alimentarius სტანდარტები და საქართველოს ტექნიკური რეგლამენტი N579).

წინამდებარე კვლევაში თაფლის ხარისხი შეფასებულია ორგანოლეპტიკური, ფიზიკურ-ქიმიური და უვნებლობის მაჩვენებლების მიხედვით [4-6].

საკვლევი ნიმუშების ხარისხის შეფასება და მათი შესაბამისობის დადგენა მოქმედ სტანდარტებთან და რეგლამენტებთან მოვახდინეთ მარკირებით და შეფუთვის ვიზუალური ინსპექტირებით, რაც მნიშვნელოვანი ეტაპია პროდუქტის იდენტიფიკაციის, სამომხმარებლო ინფორმაციის სიზუსტისა და უსაფრთხოების წინასწარი შეფასებისთვის. შედეგები მოცემული №1 ცხრილში.

ცხრილი №1. თაფლის ნიმუშების შეფასება შეფუთვისა და მარკირების მიხედვით

დასახელება	შავნაბადა, (ქვემო ქართლის რაიონი, შავნაბადას მონასტერი)	თაფლი სახლში (კომპანია შპს „თფლი სახლში „)	ჰობი (შპს „ჰობი“)	თაფლი შერეული (შპს „აგროჰაბი“)	საოჯახო თაფლი (ხარაგაულის რაიონის საოჯახო მეფუტკრეობა)	ბელორუსული თაფლი (შპს“მიადოვი შლიახ“)
1	2	3	4	5	6	7
დამზადების თარიღი	-	11.16.2024	12.11.2024	-	-	05.02.2025
წონა	-	420გ	400გ	500 გ	-	350გ
შენახვის პირობები	-	+5: +20	+5 : +20	-	-	<+20
შენახვის ხანგრძლივობა	-	უვადო	3 წელი	-	-	24 თვე
ენერგეტიკული ღირებულება	-	300 კკალ	-	326კკალ	-	320კკალ

თაფლის ნიმუშების ეტიკეტირების ანალიზმა აჩვენა, რომ მხოლოდ შპს „აგროჰაბის“ პროდუქციას არ ახლდა სრული საინფორმაციო მარკირება, როგორც ეს განსაზღვრულია მოქმედი ტექნიკური რეგლამენტით. საყურადღებოა ის ფაქტიც, რომ ერთ-ერთ საეკლესიო მაღაზიაში შეძენილ თაფლზე ეტიკეტზე მითითებული იყო მხოლოდ სახელწოდება – „მაისის თაფლი“, ხოლო სხვა სავალდებულო მონაცემები არ ფიგურირებდა. საქართველოს „სურსათის უვნებლობისა და ხარისხის კოდექსისა“ და სურსათის ეროვნული სააგენტოს მიერ დამტკიცებული „სურსათის ეტიკეტირების წესის“ შესაბამისად, სურსათის მარკირება აუცილებელია ყველა საცალო რეალიზაციის შემთხვევაში, მათ შორის რელიგიური დაწესებულებების ვაჭრობის ობიექტებში. რაც შეეხება საოჯახო წარმოების თაფლს, რომელიც მომხმარებლამდე უშუალოდ მეფუტკრისგან აღწევს, გარკვეული რეგულაციური გამონაკლისები შესაძლებელია, თუმცა აუცილებელია პროდუქტის წარმოშობისა და უვნებლობის შესახებ ინფორმაციის გამჭვირვალე მიწოდება მომხმარებლისთვის.

ორგანოლეპტიკური ანალიზის საფუძველზე დადგენილია თაფლის ხარისხი და მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილი №2-ში.

ცხრილი №2. ორგანოლეპტიკური თვისებები შეფასება თაფლის სხვადასხვა ნიმუშში

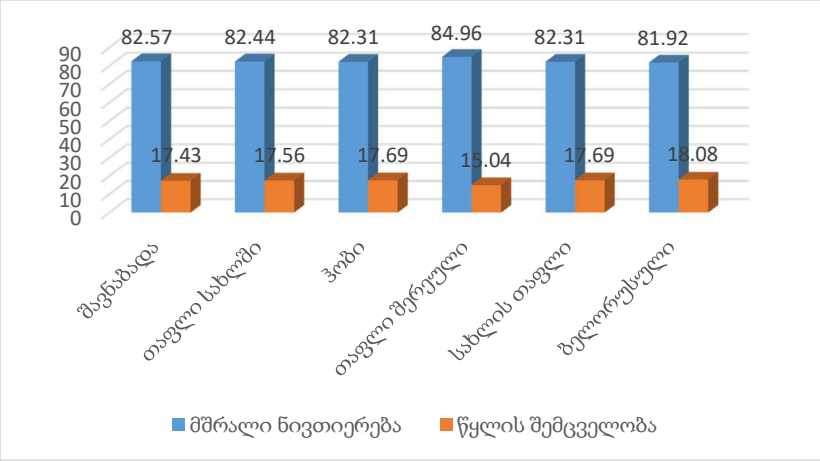
ნიმუშები	ფერი	არომატი	გემო	კონსისტენცია	კრისტალიზაციის ტიპი
შავნაბადა	ღია	ყვავი-ლოვანი	ფიჭის, მსუბუქი	გამკვრივებული	სრულად კრისტა-ლიზებული
თაფლი სახლში	ღია	ძლიერი მცენა-რეული, მომწარო	გადა-მტკბარი	თხევადი	არაკრისტა-ლიზებული
ჰობი	ღია	კარა-მელის	კარა-მელის	თხევადი	არაკრისტა-ლიზებული
თაფლი შერეული	ღია	მსუბუ-ქი ყვავი-ლების	ყვავი-ლების	თხევადი	არაკრისტა-ლიზებული
საოჯახო თფლი	მუქი	ყვავი-ლების	ყვავილები ს	გამკვრივებული	სრულად კრისტალიზებული
ბელორუსუ ლი თაფლი	ღია	ფიჭის სუნი	ყვავილები ს მტვრის	კრემისებური	წვრილკრი-სტალური

ორგანოლეპტიკური ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ თაფლის ნიმუშების ფერი, არომატი, გემო და კონსისტენცია შეესაბამება დადგენილ სტანდარტებს. პროდუქტი გამოირჩევა ჰარმონიულობითა და ტიპური თვისებებით, რაც მიანიშნებს მის ბუნებრივ წარმოშობაზე და ხარისხზე. სენსორული მაჩვენებლების შესაბამისობა გამორიცხავს ფალსიფიკაციის ნიშნებს და მიუთითებს პროდუქტის სახეობრივი თავისებურებების შენარჩუნებაზე. აღნიშნული შედეგები ასევე ასახავს ტექნოლოგიური პროცესის სწორად მართვას და თაფლის შენახვისა და გადამუშავების პირობების დაცვას.

ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრებიდან თაფლში დადგინდა ტენიანობა და მშრალი ნაშთი (არეომეტრით), ნაცრის ელემენტები (600^0-ზე დანაცრებით), pH (pH-მეტრით), მარტივი შაქრების მასური წილი (ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით), სატიტრავი მჟავიანობა (ტიტრაციის მეთოდი), ჰიდროქსიმეთილფურფუროლის (HMF) დონე (თვისებითი), დიასტაზური რიცხვი (ფოტომეტრული მეთოდით), მძიმე მეტალების შემცველობა (ატომურ-აბსორბციული მეთოდით).

წყლის მასური წილი თაფლში განსაზღვრავს სტაბილურობას, ფერმენტაციისადმი მდგრადობასა და შენახვისუნარიანობას. წყლის მაღალი დონე ზრდის სპირტული დუღილის პროცესის განვითარების რისკს და აუარესებს მის ხარისხს. ნორმის ფარგლებში არსებული წყლის შემცველობა აფერხებს მიკრობული აქტივობის განვითარებას და ხელს უწყობს თაფლის ბუნებრივი მდგომარეობის შენარჩუნებას. ტექნიკური რეგლამენტის თანახმად ყველა სახეობის თაფლში წყლის მასური წილი ა/უ 20%-ია.

დიაგრამა №1-ზე წარმოდგენეილია თაფლის საკვლევ ნიმუშებში წყლის შემცველობისა და მშრალი ნივთიერების მასური წილები.



დიაგრამა №1. წყლისა და მშრალი ნივთიერების შემცველობა თაფლში

თაფლის ყველა გამოკვლეული ნიმუშში წყლის შემცველობა და შესაბამისად მშრალი ნაშთის მასურიო წილი შესაბამისობაშია ტექნიკური რეგლამენტის მოთხოვნებთან.

ნაცრის ელემენტებითაფლში დამოკიდებულია მის ბოტანიკურ ტიპზე -ანუ იმ მცენარეებზე, რომელთაც ფუტკარი მოინახულებს ნექტრისთვის - და აგრეთვე გეოგრაფიულ ზონაზე, სადაც ხდება თაფლის წარმოება.

ნაცრიანობა მნიშვნელოვანი პარამეტრია თაფლის იდენტიფიცირებისას, რადგან ის ხშირად კორელაციაშია თაფლის სხვა ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებთან, როგორიცაა ელექტროგამტარობა, მინერალური სპექტრი და ზოგადი კვებითი ღირებულება. მაღალი ნაცრიანობის მქონე თაფლი, როგორც წესი, მდიდარია კალიუმით, კალციუმით, მაგნიუმითა და სხვა მიკროელემენტებით, რაც ზრდის მის ბიოლოგიურ აქტივობას. ნაცრიანობა საკვლევ ნიმუშებში განვსაზღვრე წონითი მეთოდით. დანაცვრა ნიმუშების მოხდა ღუმელებში 600^{0}C–ზე. შედეგები მოცემულია ცხრილში №3.

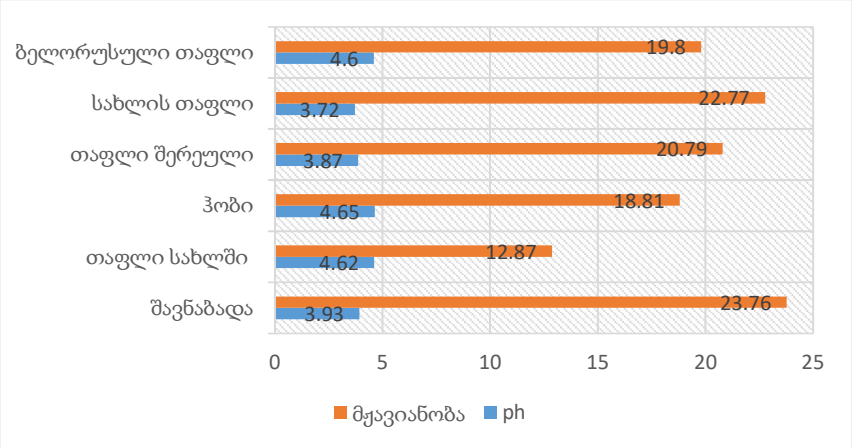
ცხრილი №3. თაფლის საკვლევ ნიმუშებში ნაცრიანობის შემცველობა

თაფლის დასახელება	ნორმა	შედეგი
შავნაბადა	ა/უ 0,3-0,6%	0,38
თაფლი სახლში		0,17
ჰობი		0,82
თაფლი შერეული		0,43
საოჯახო თაფლი		0.35
ბელორუსული თაფლი		0.56

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ თაფლის ნიმუშში „თაფლი სახლში“ ნაცრის შემცველობა დაბალია, ხოლო ჰობის თაფლში მაღალი. დანარჩენ 4 ნიმუშში ნაცრის

შემცველობა შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტებით (Codex Alimentarius) და საქართველოში მოქმედი ტექნიკური რეგლამენტით დადგენილ ნორმებს და არ აღემატება 0.6%-ს.მაღალი შემცველობა მიუთითებს ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევაზე (მაგ. გადახურება, კონტაქტი მინარევებთან); დაბალი კი შესაძლოა მიუთითებდეს თაფლის ნაკლებად მდიდარ მინერალურ შემადგენლობაზე, რაც ზოგჯერ დაკავშირებულია მცენარეთა სახეობრივ თავისებურებასთან ან განზავებასთან (მაგ., შაქრიანი სიროფის დამატება). თუმცა, ბუნებრივ თაფლშიც არსებობს დაბალი ნაცრის შემცველობის შემთხვევები.

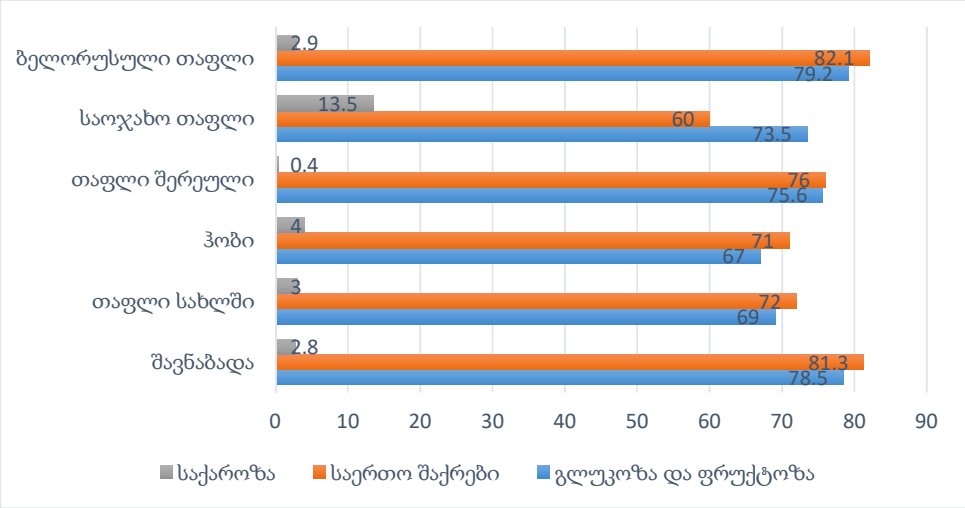
თაფლის სიმწიფის შეფასებისას მჟავების შემცველობა და pH ერთ-ერთ მნიშვნელოვანი პარამეტრებია და გავლენას ახდენენ როგორც მის საგემოვნო და არომატულ თვისებებზე, ისე მიკრობიოლოგიურ სტაბილურობაზე.



დიაგრამა №2. pH-სა და სატიტრავი მჟავიანობის მაჩვენებლები თაფლის ნიმუშებში

საანალიზოდ აღებულ თაფლის ნიმუშებში pH-ისა და მჟავიანობის მაჩვენებლები შეესაბამება თაფლის ხარისხისათვის დადგენილ ნორმებს, რაც ადასტურებს, რომ პროდუქტი არ შეიცავს ფერმენტაციის ნიშნებს. ასევე მიუთითებს პროდუქტის ბიოქიმიური სიმწიფის, მიკრობიოლოგიური სტაბილურობისა და სათანადო შენახვის პირობების დაცვაზე.

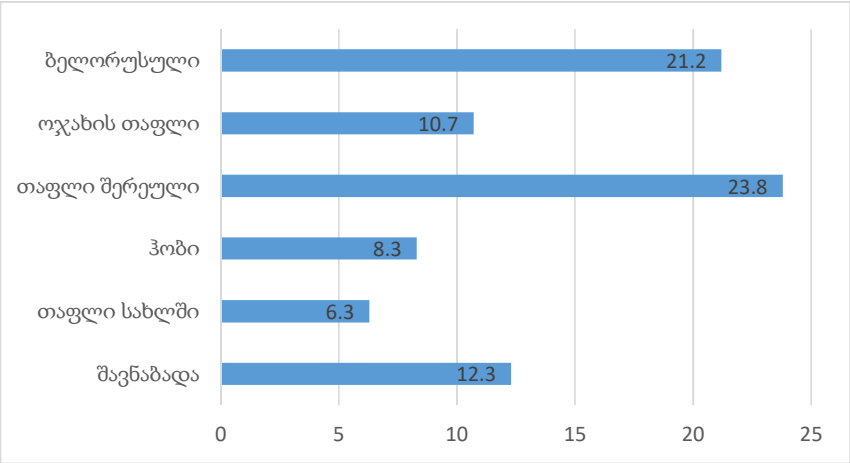
მარტივი შაქრების შემცველობა პირდაპირ არის დამოკიდებული თაფლის ბოტანიკურ და გეოგრაფიულ წარმომავლობაზე, აგრეთვე კლიმატურ პირობებზე. თაფლის ენერგეტიკული ღირებულება, ფიზიკური თვისებები (სიბლანტე, ჰიგროსკოპულობა და კრისტალიზაციის უნარი) მნიშვნელოვანწილად განისაზღვრება სწორედ მასში შაქრების შემცველობით. შედეგები წარმოდგენილია დიაგრამებზე №3.



დიაგრამა №3. თაფლში ნახშირწყლების შემცველობა

შაქრების რაოდენობრივი ანალიზის საფუძველზე გაირკვა, რომ ყველა გამოკვლეულ ნიმუშში ფრუქტოზისა და გლუკოზის შემცველობა სრულად შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტებითა და რეგლამენტით განსაზღვრულ ნორმებს. მონოსაქარიდების ჯამური კონცენტრაცია აღემატება მინიმალურ ზღვარს (60 გ/100 გ-ზე), რაც მიუთითებს თაფლის ბუნებრივ წარმოშობაზე და მის ფიზიოლოგიურად მომწიფებულ მდგომარეობაზე. რაც შეეხება საქაროზის მაჩვენებელს — იგი დასაშვებ ფარგლებს არ სცდება თითქმის ყველა ნიმუშში, გარდა ერთისა, რომელიც წარმოშობით საოჯახო მეურნეობიდანაა და რომლის შემადგენლობაშიც საქაროზის რაოდენობა აჭარბებს დასაშვებ მაქსიმუმს (5 გ/100 გ). აღნიშნული გადაჭარბება შესაძლოა განპირობებული იყოს როგორც თაფლის დაუმწიფარ მდგომარეობაში შეგროვებით — როდესაც ფუტკრებს არ ჰქონდათ საკმარისი დრო ნექტარში საქაროზის მონოსაქარიდებად გარდაქმნისთვის — ასევე შესაძლებელია ადგილი ჰქონდა თაფლის ფალსიფიკაციას, კერძოდ შაქრიანი სიროფის ან სხვა დამატკბობელი ნივთიერებების შეყვანას.

თაფლის ხარისხის კიდევ ერთი მახასიათებელია დიასტაზური რიცხვი, რომელიც განსაზღვრავს ჰიდროლიზური ფერმენტების α- და β ამილაზების აქტივობას. დიასტაზა უზრუნველყოფს ნექტრის პოლისაქრიდების დაშლას დი - და ტრისაქარიდებად. ისინი მგრძნობიარენი არიან თერმული დამუშავების მიმართ . დიასტაზურ აქტივობას საზღვრავენ Gothe-სა და Shade-ს ერთეულით. დიასტაზური რიცხვი ცვალებადია და დამოკიდებულია ბოტანიკურ და გეოგრაფიულ წარმოშობაზე, მეთაფლია ფუტკრის ასაკსა და ნექტრის შეგროვების პერიოდზე.



დიაგრამა №4. დიასტაზური რიცხვის შედეგები

დიაგრამიდან ნათლად ჩანს, რომ დიასტაზური რიცხვის მნიშვნელობა მხოლოდ ნიმუშში „თაფლი სახლში“ დასაშვებ ნორმაზე დაბალია, ეს შეიძლება ავხსნათ თაფლის შენახვის პირობების დარღვევით.

თაფლი, როგორც მაღალი კვებითი ღირებულების ბუნებრივი პროდუქტი, უნდა იყოს უსაფრთხო მოხმარებისთვის და დაცული მავნე მინარევებისგან, მათ შორის მძიმე მეტალებისაგან. ისინი შეიძლება თაფლში მოხვდეს გარემოს დაბინძურების, მცენარეთა ზრდის პირობებისა და ტექნოლოგიური პროცესების გავლენით. მათი არსებობა თაფლში უკიდურესად საშიშია როგორც მომხმარებლის ჯანმრთელობისთვის, ისე პროდუქტის სავაჭრო ღირებულებისა და საექსპორტო პოტენციალისათვის. შესაბამისად, თაფლში მძიმე მეტალების რაოდენობრივი განსაზღვრა წარმოადგენს სურსათის უვნებლობისა და ხარისხის კონტროლის აუცილებელ ეტაპს და წინაპირობას შესაბამისი სანიტარიულ-ჰიგიენური რეგულაციების შესრულებისა. აღნიშნული მოთხოვნა ასახულია ევროკავშირის რეგლამენტში №1881/2006, სადაც განსაზღვრულია სურსათში, მათ შორის თაფლში, მძიმე მეტალების დასაშვები ზღვრული კონცენტრაციები. აღნიშნულ რეგლამენტს ეყრდნობა საქართველოც, თავისი საკანონმდებლო ბაზით, რაც კიდევ უფრო ამყარებს საჭიროებას თაფლის რეგულარული ანალიზისა და მაღალი სტანდარტების დაცვაზე.

წინამდებარე კვლევაში მძიმე მეტალებიდან ზოგიერთ თაფლის ნიმუშში განსაზღვრულია კადმიუმი, ტყვია, სპილენძი. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილი № 4-ის სახით.

ცხრილი №4. მძიმე მეტალების შემცველობა თაფლის ნიმუშებში

ნიმუშების დასახელება	მძიმე მეტალების რაოდენობა. ppm (მგ/კგ)					
	Cd		Cu		Pb	
	ნორმა	შედეგი	ნორმა	შედეგი	ნორმა	შედეგი
შავნაბადა	≤ 0.05	0.0012	≤ 5.00	1.3	≤ 0.10	0.045
თაფლი სახლში		0.008		0.9		0.032
ჰობი		0.017		1.7		0.058
აგროჰაბი		0.004		0.6		0.025
ოჯახის თაფლი		0.015		2.0		0.070
ბელორუსული		0.010		1.1		0.050

შედეგები შეესაბამებოდა საერთაშორისო სტანდარტით დაშვებულ ნორმებს.

დასკვნა:

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ თაფლის ნიმუშების უმეტესობა შეესაბამება როგორც ეროვნულ, ისე საერთაშორისო სტანდარტებს. ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების (გლუკოზა, ფრუქტოზა, pH, მჟავიანობა, ნაცარი) მიხედვით თაფლი გამოირჩევა ბუნებრივი წარმოშობის და ბიოქიმიური სიმწიფის ნიშნებით, ხოლო ორგანოლეპტიკური შეფასებაც ადასტურებს მის იდენტიფიკაციას. აღსანიშნავია, რომ ერთ-ერთ ნიმუშში (საოჯახო თაფლი) დაფიქსირდა საქაროზის დასაშვებზე მაღალი მაჩვენებელი, რაც შესაძლოა მიუთითებდეს დაუმწიფარ მდგომარეობაში შეგროვებაზე ან ფალსიფიკაციაზე. ასევე გამონაკლისს წარმოადგენდა ორი ნიმუში, რომლებშიც დიასტაზური აქტივობა და ნაცრის შემცველობა ნორმას აჭარბებდა, რაც სავარაუდოდ ტექნოლოგიური პროცესის დარღვევით ან არასათანადო შენახვით იყო განპირობებული. ეტიკეტირების ანალიზმა გამოავლინა მოთხოვნების დარღვევა შპს „აგროჰაბისა“ და საეკლესიო მაღაზიაში შეძენილ თაფლში – ეტიკეტზე არ იყო მითითებული სავალდებულო ინფორმაცია. უვნებლობის თვალსაზრისით ნიმუშები შეესაბამება დადგენილ მოთხოვნებს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ღოღობერიძე თ., მაძღარაშვილი გ.,ფეიქრიშვილი მ., ნაფეტვარიძე ც., ბალიაშვილი ლ., კორძახია ა., კვეზერელი შ. ©UNDP Georgia 2017 "მეფუტკრეობა";
2. Sultan Ayoub Meoa, Saleh Ahmad Al-Asirib, Abdul Latief Mahesarc, Mohammad Javed Ansarid ,,Role of honey in modern medicine" Volume 24, Issue 5, July 2017;
3. გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტრო. თაფლი – მსოფლიო ბაზრის ანალიზი. ეკონომიკური კვლევის და მონაცემთა ანალიზის სამმართველო 2024 წ.;
4. ვანიძე მ., კალანდია ა., ჯაფარიძე ი., ,,ღვინისა და თაფლის ანალიზის საერთაშორისო მეთოდები''. გამომცემლობა ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ბათუმი _ 2019 წ.;
5. GOST 19792-87 ნატურალური თაფლი (ტექნიკური პირობები);
6. საერთაშორისო სტანდარტი GOST 34232—2017. თაფლი, საქაროზას აქტივობის, დიასტაზის რაოდენობის, უხსნადი ნივთიერებების განსაზღვრის მეთოდები

Comparative Quality Analysis of Honey Based on the Expertise of Local and Imported Samples

Nana Barateli[1], Salome Cheishvili[2]; Nika Santeladze[3];Elene Chikhladze[4]; Tamar Palavandishvili[5]

[1]Associate Professor, Academic Doctor, Georgian Technical University (GTU), 593691521, n.barateli@gtu.ge; , [2]PhD Student, Assistant, Georgian Technical University (GTU), 598198540, cheishvili.salome@gtu.ge; [3]Master's Student, Georgian Technical University (GTU), 579237930; [4]Master's Student, Georgian Technical University (GTU), 555219787, echixladze500@gmail.com; , [5]Associate Professor, Academic Doctor, Georgian Technical University (GTU), 511147679, t.palavandishvili@gtu.ge

Abstract

Honey is a natural, fully prepared and concentrated sweetener with a centuries-old history of use. It is not only a food, but also a product with cultural and medicinal value, which is distinguished by high biological activity, low glycemic index and immune system supporting properties.

In Georgia, honey is historically associated with traditions, religious rituals and local natural conditions. Types of honey also vary by region – lime, forest, acacia, oak, chestnut and others.

Honey is an economically important product, which increases the risk of counterfeiting. Products without labeling or not complying with regulations are often distributed. Therefore, confirmation of quality, safety and identification is necessary both in terms of consumer protection and fair competition in the market. This issue has become especially relevant when the possibility of exporting Georgian honey to the EU market actually appeared.

The aim of the study was to evaluate the chemical and organoleptic characteristics of honey using modern standard methods, to determine their compliance with the Codex Alimentarius and local regulations. The analysis was conducted on six samples, including both Georgian and imported honey. The assessment included organoleptic, physicochemical (pH, acidity, diastase number, sugars, ash, etc.) and safety (heavy metals) parameters.

Based on the analysis, it was determined that most of the honey samples comply with both national and international standards. According to the physicochemical characteristics (glucose, fructose, pH, acidity, ash), honey is distinguished by signs of natural origin and biochemical maturity, and the organoleptic evaluation also confirms its identification. It is noteworthy that in one of the samples (family honey), a higher than permissible level of sucrose was observed, which may indicate collection in an immature state or falsification. Also, two samples were exceptions, in which diastase activity and ash content exceeded the norm, which was probably due to a violation of the technological process or improper storage. Labeling analysis revealed a violation of the requirements in the honey purchased from Agrohab LLC and the church shop - the mandatory information was not indicated on the label. From the point of view of safety, the samples comply with the established requirements.

Keywords: honey, expertise, quality, bee products, safety, authentication, identification

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.68



მაკრო გარემოს გავლენა ტურიზმისა და სტუმარმასპინძლობის ინდუსტრიის განვითარებაზე

ელისო გველესიანი

ეკონომიკის აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. E-mail: eliso.gvelesiani@atsu.edu.ge

ანოტაცია

სტატია შეიცავს ტურისტული ორგანიზაციების ხელმძღვანელების გამოკითხვის საფუძველზე დადგენილი გარე ფაქტორების გავლენის ანალიზს სტუმარმასპინძლობის ინდუსტრიის საწარმოების საქმიანობაზე.

ნებისმიერი საწარმოსა და ორგანიზაციის უმნიშვნელოვანესი სტრატეგიული გადაწყვეტილებები მიიღება გარემომცველი ფაქტორების, მაკროგარემოს ანალიზის საფუძველზე, რომელთანაც კომპანია მუდმივ ურთიერთკავშირია. ამ მხრივ, მიმდინარე პოლიტიკური და ეკონომიკური სიტუაციის პირობებში სტუმარმასპინძლობის ინდუსტრიის სპეციფიკის გათვალისწინებით, გარე ფაქტორების გავლენის შეფასება აქტუალურ საკითხს წარმოადგენს.

ტურისტულ საწარმოზე გარემომცველი ფაქტორები გავლენას ახდენს მაკროგარემოსა და მიკროგარემოს დონეზე. მიკროგარემოს უფრო მჭიდრო ურთიერთქმედება აქვს ბიზნეს სტრუქტურებთან, რადგან ის პირდაპირ კავშირშია მომხმარებლების, კონკურენტების, მიმწოდებლების, პარტნიორების და ა.შ. საქმიანობასთან. მიკროგარემოსაგან განსხვავებით, მაკროგარემოზე გავლენას არ ახდენს ორგანიზაციის მუშაობა: მას არ შეუძლია შეცვალოს ისეთი გავლენის ფაქტორების ბუნება და შინაარსი, როგორიცაა პოლიტიკური, ეკონომიკური, სოციალურ-კულტურული და ტექნოლოგიური პირობები.

საკვანძო სიტყვები: ტურიზმის ინდუსტრია, ტურისტული საწარმო, მაკრო გარემო.

მაკრო გარემო ეს არის გარემო, რომელიც ორგანიზაციის, ინდუსტრიისა და ბაზრის მიღმა არსებობს. იგი დიდ გავლენას ახდენს იმ მიკრო გარემოზე, (ინდუსტრიასა და ბაზარზე) რომელშიც კომპანია ოპერირებს. მაკრო გარემოს ხშირად შორეულ და განცალკევებულ ცვლადად მოიაზრებენ, რადგან იგი გარეგანი ძალების მიერაა მართული და არ ექვემდებარება ცალკეული კომპანიის კონტროლს.

მაკრო გარემოში მომხდარ ცვლილებებს, სხვა ასპექტებთან ერთად, წარმოუდგენლად დიდი გავლენის მოხდენა შეუძლია ორგანიზაციაზე, რადგან ის განსაზღვრავს კონკურენციის დონეს ინდუსტრიაში, ზრდის ან ამცირებს ბაზარის მოცულობას, წარმოშვებს ან კლავს ინდუსტრიებს; სწორედ ამიტომ, ტურიზმსა და სტუმარ-მასპინძლობის ინდუსტრიაში მომუშავე მენეჯერებს უნდა შეეძლოთ მაკრო გარემოში მოსალოდნელი თუ მიმდინარე ცვლილებების დანახვა და ინდუსტრიაზე მათი გავლენის სწორად შეფასება.

ტურიზმსა და სტუმარ-მასპინძლობის ინდუსტრიაში მომუშავე მენეჯერების გამოკითხვის შედეგებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ მაკრო გარემოს ანალიზის პოტენციური დადებითი მხარეები შეიძლება იყოს:

- გარემოს ცვალებადობაში მენეჯერების გათვითცნობიერება;
- იმ ბაზრისა და ინდუსტრიის კონტექსტის გააზრება რომელშიც კომპანია ოპერირებს;
- მულტინაციონალური გარემოს გაგება;
- რესურსების უკეთ მართვა;
- რისკების მართვის გაადვილება;
- ყურადღების გადატანა სტრატეგიული ცვლილებების გამომწვევ ფაქტორებზე;
- მოსალოდნელი ცვლილებების წინასწარ დანახვისა და ამ ცვლილებების პირობებში ადეკვატურად რეაგირების საშუალება.

მაკრო გარემოს ანალიზი ხშირად შიდა გარემოს ანალიზზე გაცილებით რთულია რადგან იგი მოიცავს ყველაფერს რაც კომპანიის გარეთ ხდება. ინფორმაციის ასეთ მასასთან გამკლავებისას თავს რამდენიმე პრობლემა იჩენს. კერძოდ:

- იმის განსაზღვრა თუ რა უნდა გავითვალისწინოთ აუცილებლად;
- იმის განსაზღვრა რისი გათვალისწინება არ არის აუცილებელი;
- ინფორმაციის რაციონალური ორგანიზება.

სამწუხაროდ, არ არსებობს მაკრო გარემოს გაანალიზებისა და შედეგების პრეზენტაციის განსაზღვრული წესები.

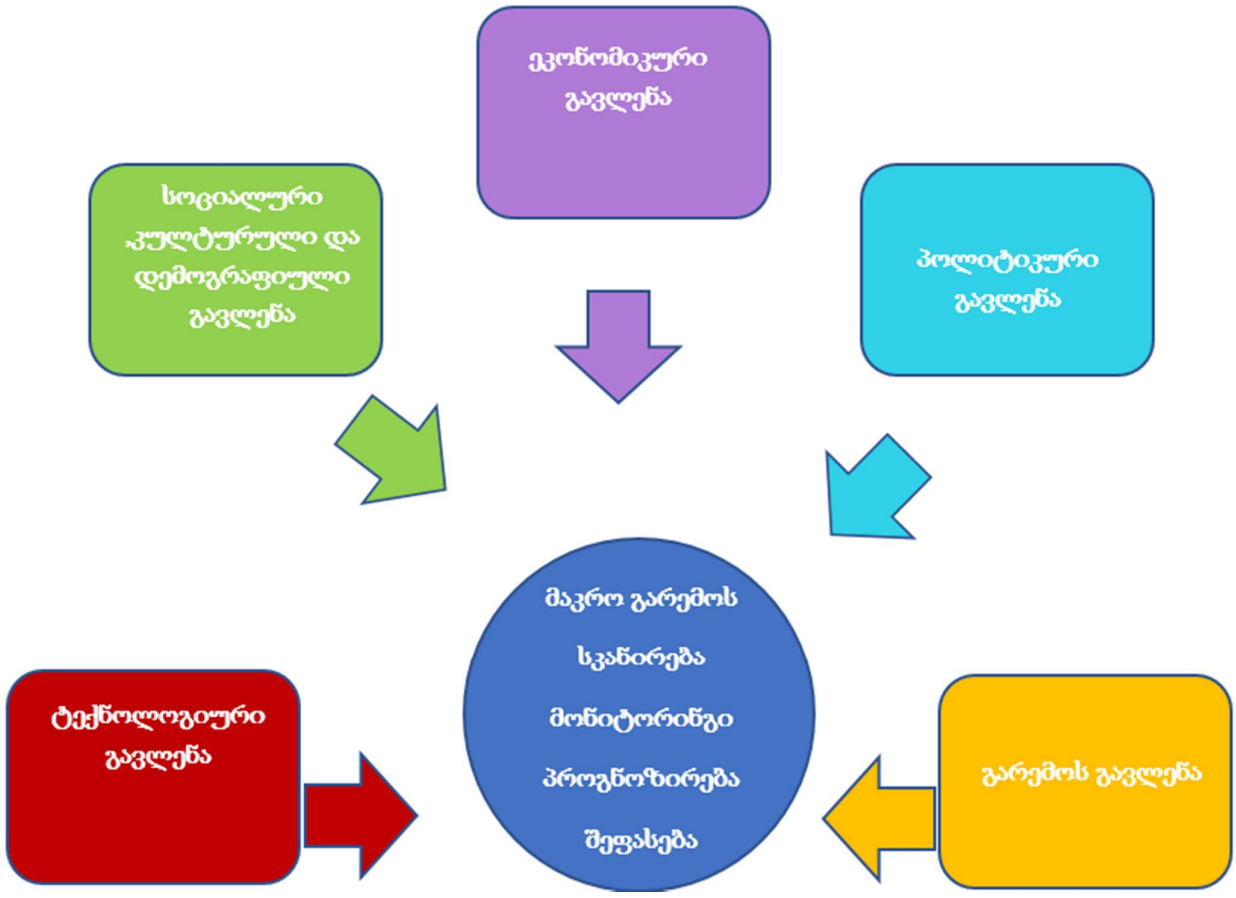
გინტერისა და დანკანის მოსაზრების თანახმად მაკრო გარემოს ანალიზი მოიცავს: „მაკრო გარემოს სკანირებას, იმ მოსალოდნელი ცვლილებების გამოსავლენად, რომლებიც გავლენას მოახდენს ორგანიზაციის საქმიანობაზე; სპეციფიკური ტრენდებისა და შაბლონების მონიტორინგს; მაკრო გარემოში მოსალოდნელი ცვლილებების პროგნოზირებას; მიმდინარე და მოსალოდნელი ცვლილებების გავლენის შეფასებას.“[1]

მაკრო გარემოს ანალიზის პროცესში არსებობს გარკვეული შეზღუდვები, ვაწყდებით არაერთ სირთულეს, რადგან ხშირად გარემოში ურთიერთგამომრიცხავი ტენდენციები იჩენს თავს.

სწორედ ამიტომ, მენჯერებმა სტატეგიული ანალიზის წარმოებისას აუცილებლად უნდა გაითვალისწინონ მაკრო გარემოს ანალიზის შეზღუდვები და მოსალოდნელი უზუსტობები, გადაამოწმონ მიღებული მონაცემები და ანალიზის შედეგი (რადგან ის ხშირად იცვლება),

სცადონ ინფორმაციის ახალი წყაროების მოძიება და ანალიზის ახალი ტექნიკის შემუშავება, გამოიყენონ მიღებული ინფორმაცია სამომავლო სტრატეგიის შემუშავებისას.

აქვე უნდა ავღნიშნოთ, რომ მაკრო გარემოს ანალიზი მენეჯერების სტრატეგიული ცნობიერების ამაღლებას უწყობს ხელს.



STEEP ანალიზი

სტრატეგიის, ტექნოლოგიების, ეკონომიკის, გარემოს და პოლიტიკის ანალიზი

STEEP-ის ცალკეული ელემენტების განხილვამდე საჭიროა გავიაზროთ აღნიშნული სისტემის მოქმედების მექანიზმი. მოცემული ანალიზი ოთხი ეტაპისგან შედგება. ესენია:

1. მაკრო გარემოს სკანირება მიმდინარე თუ პოტენციური სოციალური, ტექნოლოგიური, ეკონომიკური და პოლიტიკური ფაქტორების გამოსავლენად.
2. შესაძლო ცვლილებების მნიშვნელობის შეფასება;
3. თითოეული რელევანტური ცვლილების დეტალური განხილვა და მათ შორის შესაძლო კავშირის ძიება.
4. მოცემული ცვლილებების შესაძლო გავლენის შეფასება.

STEEP ანალიზის ჩატარებით ჩვენ ვიკვლევთ რა გავლენას ახდენს მისი შემადგენელი თითოეული კომპონენტი ქვემოთ მოყვანილ ფაქტორებზე:

- ორგანიზაციის შემადგენელ ნაწილებზე - STEEP-ის ფაქტორების გავლენას ორგანიზაციის ფუნდამენტურ კომპეტენციებზე, სტრატეგიებზე, რესურსებზე, ღირებულებათა სისტემასა და კომპანიის ფუნქციონირებაზე (ოპერაციებზე, მარკეტინგზე, ადამიანური რესურსების მართვასა და ფინანსებზე).
- ბაზარზე - STEEP-ის ფაქტორების გავლენას იმ ბაზარზე რომელზეც კომპანია ოპერირებს (მაგალითად, ბაზრის სტრუქტურა, სეგმენტები, მომხმარებლების მოთხოვნა და სურვილები და ა.შ), ადამიანური რესურსების ბაზარზე, ფინანსურ რესურსებსა და ა.შ.

ინდუსტრიაზე, რომელშიც ოპერირებს მოცემული კომპანია - STEEP-ის ფაქტორების გავლენას კონკურენტუნარიანობის ხუთ ძალაზე (მყიდველის ძალა, მიმწოდებლის ძალა, შესვლის საფრთხე, შემცვლელების საფრთხე, მეტოქეობა). [2]

კომპანიის მუშაობაზე მოქმედი პოტენციური გავლენები ძალიან განსხვავდება კონტექსტის მიხედვით (მაგალითად, კომპანიის მასშტაბი, მისი მდებარეობა, სექტორი რომელშიც ოპერირებს, და ა.შ).

სოციო-დემოგრაფიული გავლენა. სოციალური გარემოს ანალიზი უკავშირდება საზოგადოებსა და სოციალური ცვლილებების პოტენციურ გავლენას ბიზნესზე, ინდუსტრიასა და ბაზარზე.

სოციალური გარემოს გაანალიზებისას აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ:

- სოციალური კულტურა (ღირებულებები, დამოკიდებულება და რწმენა) - მისი გავლენა მოთხოვნაზე რომელიც ამა თუ იმ პროდუქტის მიმართ ჩნდება, შრომიის მიმართ დამოკიდებულებაზე, ინვესტიციებზე, ეკოლოგიაზე, ეთიკასა და ა.შ.
- დემოგრაფია - ადამიანების პოპულაციის მასშტაბისა და სტრუქტურის გავლენა შრომთ ბაზარსა და ბაზარზე არსებულ მოთხოვნაზე.
- სოციალური სტრუქტურა, შრომის მიმართ დამოკიდებულება და მომსახურების ხარისხის გავლენა.

არ არსებობს მარტივი წესები, რომლებიც ორგანიზაციას მაკრო გარემოს გაანალიზებაში დაეხმარება. (მაკრო გარემოს ანალიზის) თითოეული შემთხვევა ინდივიდუალური და მოცემული ორგანიზაციისთვის რელევანტური მიდგომის პოვნას გულისხმობს.

დასკვნა

ჩატარებული კვლევის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მიმდინარე პირობებში, სტუმარმასპინძლობის ინდუსტრიაში საწარმოო სტრუქტურების განვითარებაზე უდიდეს გავლენას ახდენს ეკონომიკური გარემო, რომელიც მაკროგარემოს პირდაპირი სტუქტურული ნაწილია. ტურიზმის სექტორში საწარმოოს მომგებიანობის შესანარჩუნებლად ორგანიზაციის სტრატეგიული გეგმის შემუშავებისა და ანალიზის პროცესში ტურიზმისა და

სტუმარმასპინძლობის დარგის მენეჯერებმა განსაკუთრებული ყურადღება უნდა გაამახვილონ ფასების პოლიტიკაზე, ასევე გარკვეული იმპორტირებული პროდუქტების ადგილობრივით პოტენციური ჩანაცვლების საკითხებზე, როგორც მთავარ პრევენციულ ღონისძიებაზე გაცვლითი კურსების შესაძლო ცვლილების შემთხვევაში..

სტუმართმოყვარეობის ინდუსტრიაში ბიზნეს სტრუქტურის განვითარებაზე ასევე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს პოლიტიკური ფაქტორები. უშუალოდ რეგიონულ პოლიტიკას შეუძლია განსაზღვროს საქმიანობის დიფერენციაცია და სტუმარმასპინძლობის საწარმოს მუშაობის პროფილი. ასეთი პოლიტიკის მიზანი შეიძლება იყოს მთლიანად რეგიონში ტურიზმის მხარდაჭერა ან ახალი და არსებული საწარმოების მიზნობრივი მხარდაჭერა.

ისეთი ფაქტორები, როგორიცაა „პროდუქტის ხარისხისა და მომსახურების დონის მოთხოვნები“ და „ინტერნეტის, ასევე მობილური მოწყობილობების განვითარება“, თანამედროვე პირობებში ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან, მჭიდრო კავშირში არიან და ავსებენ ერთმანეთს. ინტერნეტისა და მოწყობილობების გამოყენების ხარისხი ფართოდ არის გავრცელებული ტურიზმისა და სტუმარმასპინძლობის ინდუსტრიაში. მიწოდებული მომსახურეობის ხარისხს ყოველთვის უდიდესი მნივნელობა ჰქონდა და აქვს სასტუმროების, რესტორნებისა და ტურისტული საწარმოების მომგებიანობისა და კონკურენტუნარიანობის შესანარჩუნებლად, პირდაპირ კავშირშია მობილური მოწყობილობებისა და ინტერნეტით მიწოდებულ მომსახურეობასთან.

ამრიგად, სტუმატრმასპინძლობის ინდუსტრიის ორგანიზაციების განვითარების დაგეგმვისას აუცილებელია ისეთი სერვისების მიწოდებისა და დამუშავების ტექნოლოგიური საშუალებების დანერგვა, რომლებიც დააკმაყოფილებს ინტერნეტისა და მობილური მოწყობილებების ფართოდ გამოყენების მსურველი მომხმარებლების მოთხოვნებს.

სოციალურ-კულტურული გარემოს ისეთი პარამეტრები, როგორიცაა „მიგრაციის დონე და იმიგრაციის განწყობები“, ასევე მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ტურიზმის ინდუსტრიაში. ინდუსტრიის მენეჯერებმა უნდა გაითვალისწინონ მოსახლეობის განწყობები და რეგიონში არსებული ტურისტული პოტენციალიდან გამომდინარე შექმნან რაც შეიძლება მეტი სამუშაო ადგილი, რათა თავიდან იქნას აცილებული „მიგრაცია ქვეყნის მსხვილ ქალაქებში და ემიგრაცია უცხოეთის სხვადასხვა ქვეყნებში სამუშაო ადგილების საძებნელად.“[3]

ბიბლიოგრაფია

[1] https://www.scribd.com/document/508170356/Macroenvironmental-analysis-for-strategic-management

[2] https://researchguides.library.brocku.ca/external-analysis/macro-environment

[3] იაკობ მესხია, ელისო გველესიანი „რეგიონული ეკონომიკური პოლიტიკა“, თბილისი 2010.

The impact of the macro environment on the development of the tourism and hospitality industry

Eliso Gvelesiani

Academic Doctor of Economics, Associate Professor Akaki Tseretali State University

Abstract

The article presents an analysis of the impact of external factors on the activities of enterprises within the hospitality industry, based on a survey conducted among managers of tourism organizations. The most important strategic decisions of any enterprise or organization are made on the basis of an analysis of the surrounding environment, the macro-environment, with which the company maintains constant interaction. In this regard, under the current political and economic conditions, and taking into account the specifics of the hospitality industry, assessing the impact of external factors represents a highly relevant issue. External factors affect a tourism enterprise at both the macro-environmental and micro-environmental levels. The micro-environment is characterized by closer interaction with business structures, as it is directly connected to the activities of consumers, competitors, suppliers, partners, etc. Unlike the micro-environment, the organization's activities do not influence the macro-environment: it cannot change the nature and content of such influencing factors as political, economic, socio-cultural, and technological conditions.

Keywords: tourism industry, tourism enterprise, macro environment.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.69



ქართული ტრადიციული ეთნოფარმაკოლოგია: ისტორიული საფუძვლები, სამკურნალო მცენარეთა კულტივაციის პრაქტიკა და ცოდნის გადაცემის გზები

დიმიტრი კოჩაძე[1], ელგუჯა ლაჭყეპიანი[2], რობერტ მახარაშვილი[3]

[1]შპს "რეგიონული ჯანდაცვის ცენტრი" ხარაგაულის სამედიცინო დაწესებულების კლინიკური მენეჯერი, ექიმი ინფექციონისტი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის PhD სტუდენტი. https://orcid.org/0009-0009-9976-4724; [2]სსიპ ლ. სამხარაულის სახელობის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნული ბიურო, სამედიცინო ექსპერტიზის დეპარტამენტის სასამართლო სამედიცინო ექსპერტი, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის PhD სტუდენტი. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.02.42; [3]პედიატრიული კლინიკა Mმედი22, ანესთეზია-რეანიმაციის და ინტენსიური თერაპიის დეპარტამენტის ექიმი ანესთეზიოლოგ-რეანიმატოლოგი.

ანოტაცია

მოცემული კვლევა მიმოიხილავს ქართული ტრადიციული ეთნოფარმაკოლოგიის ისტორიულ, პრაქტიკულ და ზეპირსიტყვიერ საფუძვლებს, რაც საშუალებას იძლევა, მოხდეს ამ რთულად სტრუქტურირებული ცოდნის სისტემის მეცნიერული ინტერპრეტაცია. ეთნოფარმაკოლოგია, როგორც დისციპლინა, აერთიანებს ბოტანიკურ, კულტურულ და სემიოტიკურ ანალიზს და ამ თვალსაზრისით, ქართული ტრადიციული მედიცინა წარმოადგენს ორიგინალურ, თუმცა უნივერსალურ მოდელს.

კვლევა ეფუძნება ხარისხობრივ მეთოდოლოგიას, პირველწყაროების დოკუმენტურ ანალიზს და ზეპირსიტყვიერი ტექსტების ეთნოგრაფიულ ჰერმენევტიკას. გამოყენებულ იქნა XIX–XX საუკუნეების ქართული მონოგრაფიები, ხალხური რეცეპტები, შელოცვები, სიმღერები და მცენარეთა ბოტანიკური აღწერილობები. კვლევის ერთ-ერთი მიზანი იყო გამოევლინა მცენარეთა გამოყენების პრაქტიკებსა და რიტუალურ სტრუქტურებს შორის კავშირი, რაც ხშირად განსაზღვრავს სამკურნალო ქმედების კულტურულ ლეგიტიმაციას.

შესწავლილ იქნა ოთხი ძირითადი მცენარის (კატაბალახა, შხამა, ცოცხანა, ძახველი) ეთნოფარმაკოლოგიური პროფილი, რომლებიც წარმოაჩენენ როგორც ბიოაქტიურ მოქმედებებს, ასევე ღირებულ რიტუალურ-სემანტიკურ ფაქტორებს. აღმოჩნდა, რომ ტრადიციული გამოყენება ხშირ შემთხვევაში ემთხვევა თანამედროვე ფარმაკოლოგიურ პრაქტიკას, რაც მიუთითებს ტრადიციული ცოდნის ემპირიულ საფუძვლებზე.

კვლევამ გააანალიზა ზეპირსიტყვიერი ცოდნის გადაცემის მექანიზმები, მათ შორის – ცოდნის დაცვა, შერჩევითობა და რიტუალურ-ლინგვისტური ჩარჩოები. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა მცენარეთა კლასიფიკაციის ხალხური სისტემები („ცხელი/ცივი",

„მდუმარე/ხმოვანი“), რაც მიუთითებს ქვეცნობიერ სტრუქტურირებულ მიდგომაზე. კვლევაში ხაზგასმულია ისეთი საფრთხეები, როგორიცაა ცოდნის გადაცემის წყვეტა, ჰაბიტატების შემცირება და ტრადიციული პრაქტიკის იგნორირება.

დასკვნით ნაწილში წარმოდგენილია რეკომენდაციები ეთნოფარმაკოლოგიური მემკვიდრეობის დოკუმენტირებისა და მისი სამეცნიერო ინტეგრაციის გზებზე, აქცენტით ეთიკურ პრინციპებსა და ადგილობრივი ავტორების პატივისცემაზე. ტრადიციული ქართული ეთნოფარმაკოლოგია არ წარმოადგენს მხოლოდ კულტურულ რელიქვიას, არამედ შეიძლება გახდეს თანამედროვე ფარმაკოლოგიური ინოვაციის წყარო, თუკი მისი შესწავლა წარიმართება კომპლექსურად, ეთიკურად და ინტერდისციპლინურად.

საკვანძო სიტყვები: ეთნოფარმაკოლოგია; ქართული ტრადიციული მედიცინა; სამკურნალო მცენარეები; ზეპირსიტყვიერი ცოდნა; რიტუალური პრაქტიკა; ფიტოთერაპია; ბიოაქტიური ნივთიერებები; ბოტანიკა; სამონასტრო ბაღები; სიმბოლური კლასიფიკაცია; კულტურული მემკვიდრეობა; ტრადიციული რეცეპტები; შელოცვები; ფარმაკოგნოზია; ფარმაკოლოგიური ანალიზი; ხალხური მკურნალობა;

შესავალი

ეთნოფარმაკოლოგია წარმოადგენს ინტერდისციპლინურ მეცნიერების დარგს, რომელიც შეისწავლის მცენარეთა, ცხოველთა და სხვა ბუნებრივ ნივთიერებათა გამოყენებას მკურნალობაში ტრადიციული ცოდნისა და კულტურული პრაქტიკის კონტექსტში. ეს დისციპლინა განსაკუთრებით დიდ მნიშვნელობას ანიჭებს ზეპირსიტყვიერ გადაცემას, რიტუალურ პრაქტიკებს, ხალხურ წარმოდგენებსა და სამკურნალო ქცევის სოციალურ-საგანმანათლებლო განზომილებებს. მიუხედავად იმისა, რომ მსოფლიოში ეთნოფარმაკოლოგიური კვლევები ბოლო ათწლეულების განმავლობაში ინტენსიურად განვითარდა, ქართული ტრადიციული მედიცინა და მისი ფარმაკოგნოზიური მემკვიდრეობა ჯერაც სათანადოდ არ არის შესწავლილი.

საქართველო, როგორც კავკასიის კულტურული და ბიომრავალფეროვნების ერთ-ერთი მდიდარი კერაა, ფლობს სამკურნალო მცენარეთა მრავალფეროვან არსენალს, რომელიც საუკუნეების განმავლობაში გამოიყენებოდა ეთნოფარმაკოლოგიურ ცოდნის გამდიდრებისთვის საუკუნეების განმავლობაში. საქართველოს კლიმატი ქმნიდა განსხვავებული ფიტოთერაპილი მიდგომების ჩამოყალიბების მსუყე საფუძველს. რაც შერწყმული იყო რელიგიურ წარმოდგენებთან, სოფლის მეურნეობასა და ყოფით კულტურასთან.

ქართულ ტრადიციულ მედიცინაში სამკურნალო მცენარეები წარმოადგენდა არამხოლოდ ბიოლოგიური სამკურნალო საშუალებების წყაროს, არამედ სულიერი და რიტუალური პრაქტიკის განუყოფელ ნაწილს. მცენარეთა შეგროვება, დამუშავება და გამოყენება რეგულირდებოდა როგორც ემპირიული, ასევე რელიგიური პრინციპებით. სახალხო

მკურნალები - ხევსური დასტაქრები, მოკმელები, ბერები, სოფლის მკურნალები - ფლობდნენ ცოდნას, რომელიც გადაიცემოდა ზეპირსიტყვიერად, სიმღერებით, შელოცვებითა და ხელნაწერი სამკურნალო რეცეპტებით. აღნიშნული ცოდნა საუკუნეების განმავლობაში ინახებოდა გადეცემოდა კონკრეტული პირების შთამომავლების მიერ.

ამ ნაშრომის მიზანია, შეაფასოს ქართული ტრადიციული ეთნოფარმაკოლოგიის ისტორიული, პრაქტიკული და ზეპირსიტყვიერი საფუძვლები. სტატიაში განხილულია სამკურნალო მცენარეთა მოპოვების, კულტივაციისა და დამუშავების პრაქტიკა, განსაკუთრებული აქცენტი კეთდება მათ გამოყენებაზე ხალხურ მედიცინაში. აგრეთვე წარმოდგენილია კონკრეტული მცენარეების ანალიზი (მაგალითად: კატაბალახა, შხამა, ცოცხანა, ძახველი), რომელთა ეთნოფარმაკოლოგიური მნიშვნელობა გადაჯაჭვულია როგორც ბიოქიმიურ, ასევე კულტურულ-რელიგიურ მნიშველობებთან.

ნაშრომი ეყრდნობა ქართულენოვან პირველწყაროებს, მათ შორის XIX–XX საუკუნეების ეთნოგრაფიულ ჩანაწერებს, სამკურნალო მცენარეთა მონოგრაფიულ აღწერებს, ზეპირსიტყვიერ ჩანაწერებსა და ფარმაცევტულ დოკუმენტაციას.

მეთოდოლოგია

წინამდებარე კვლევა ეყრდნობა ხარისხობრივ ანალიზს, რომელიც მიზნად ისახავს ქართული ტრადიციული ეთნოფარმაკოლოგიური ცოდნის მეცნიერულ ინტერპრეტაციას. კვლევის მეთოდოლოგიური ჩარჩო მოიცავს როგორც პირველწყაროებზე დაფუძნებულ დოკუმენტურ ანალიზს, ასევე თანამედროვე ეთნოფარმაკოლოგიური კვლევის სტანდარტებს.

კვლევისთვის გამოყენებული ძირითადი მასალა მოიცავს:

XX საუკუნის ქართულენოვან მონოგრაფიებსა და სამეცნიერო პუბლიკაციებს სამკურნალო მცენარეთა შესახებ, ხალხური რეცეპტების წიგნებსა და ზეპირსიტყვიერ ჩანაწერებს სხვადასხვა კუთხის ეთნოგრაფიული კვლევებიდან, მცენარეთა აღწერილობებს, რომლებშიც მოცემულია როგორც ბოტანიკური მახასიათებლები, ისე სამკურნალო და რიტუალური გამოყენების ფორმები, სამკურნალო პრაქტიკის კონტექსტში შემონახულ ზეპირსიტყვიერ მასალას - შელოცვებს, სიმღერებს, რიტუალურ ტექსტებს. წყაროების შერჩევისას უპირატესობა მიენიჭა მასალას, რომელიც ასახავს მცენარის მოქმედების პრაქტიკულ გამოყენებას და ხალხურ ჩანაწერებში მოცემული მცენრაის იდენტურობას. ტექსტში განხილული მცენარეები კლასიფიცირებულია შემდეგი პარამეტრებით: სამეცნიერო და ქართულ-ხალხური სახელწოდება, ბიოგეოგრაფიული გავრცელება, სამკურნალო გამოყენება ტრადიციულ მედიცინაში, ბიოაქტიური ნივთიერებები და მათი ფარმაკოლოგიური თვისებები. თითოეულ მცენარეზე ჩამოყალიბებული აღწერილობა ეფუძნება კრიტიკული შედარების პრინციპს - ხალხური პრაქტიკის, ბოტანიკური აღწერილობისა და ფარმაცევტული მონაცემების შეჯერებას. ზეპირსიტყვიერი ტექსტების, შელოცვების, სიმღერების და ხალხური თქმულებების, გაანალიზება მიმდინარეობდა ეთნოგრაფიული ჰერმენევტიკის საფუძველზე, რაც ითვალისწინებს: ლინგვისტური კოდის და კულტურულ-სოციალური კონტექსტის გათვალისწინებას; პრაქტიკულ შინაარსზე ფოკუსირებას (ვინ, როგორ და როდის იყენებდა

ცოდნას); ცოდნის გადაცემის ფორმალურ და არაფორმალურ გზებს (ოჯახური ზეპირსიტყვიერება, ბერ-მონაზვნების ზეპირსიტყვიერება). მიუხედავად მდიდარი მდიდარი მემკვიდრეობისა, აღსანიშნავია რამდენიმე მეთოდოლოგიური შეზღუდვა: მასალის სტანდარტიზაციის სირთულე; ზოგიერთი ზეპირსიტყვიერი მონაცემის შინაარსობრივი ფრაგმენტულობა; ბიოქიმიური კომპონენტების ზოგ შემთხვევაში ჰიპოთეზურ დონეზე ცოდნა, რაც საჭიროებს სამომავლო ლაბორატორიულ კვლევებს.

მიმოხილვა

ისტორიული საფუძვლები: ქართული ეთნოფარმაკოლოგიის წარმოშობა და განვითარების ტენდენციები

საქართველოს ტერიტორიაზე ეთნოფარმაკოლოგიური პრაქტიკის ფესვები უკავშირდება ადამიანთა მიერ ბუნებაში არსებული რესურსების გამოყენების მცდელობებს, თვითმკურნალობისა და ტკივილების შემსუბუქების მიზნით. არქეოლოგიური მონაცემები მოწმობს, რომ ჯერ კიდევ მეზოლითისა და ნეოლითის ეპოქებში მცხოვრები მოსახლეობა იყენებდა სხვადასხვა მცენარეს, როგორც საკვებად, ასევე სამკურნალოდ. აღნიშნული პრაქტიკები, სავარაუდოდ, ემპირიულ დაკვირვებასა და იმიტაციური ქცევის მექანიზმებზე იყო დაფუძნებული; მაგალითად, რომელი მცენარე ჭამა ცხოველმა ავადმყოფობისას და როგორ მოქმედებდა ის.

ქართული ეთნოფარმაკოლოგიის წერილობითი ისტორია უძველესი ლიტერატურული წყაროებით იწყება. სამედიცინო თემებზე შექმინილი პირველი ტექსტები ქრისტიანული ეპოქის საეკლესიო ძეგლებში გვხვდება. ქართველი ბერ-მონაზვნები შუა საუკუნეებში ითვლებოდნენ სამედიცინო ცოდნის მქონე იდივიდებად. მონასტრებში არა მხოლოდ ინახავდნენ უცხოურ სამედიცინო ტრაქტატებს, არამედ თავადაც ქმნიდნენ ადგილობრივ სამკურნალო პრაქტიკას, რომელიც დაფუძნებული იყო მცენარეულ ნედლეულზე, რომელიც მოიპოვებოდა საცხოვრებელი ადგილების მახლობლად ძველი ქართველი მკურნალების ტექსტებში შესაძლოა არ გვხეებოდეს პირდაპირი მითითებები სამკურნალო მცენარეებზე, თუმცა მათ ლიტერატურულ მემკვიდრეობაში ჩართულია სნეულებების აღწერისა და მკურნალობის მხატვრული მინიშნებები.

XIX საუკუნიდან იწყება ქართული სამეცნიერო ეთნოგრაფიის ჩამოყალიბება და პირველად ხდება მცენარეთა აღწერის სისტემატიზაცია ხალხური გამოყენების კონტექსტში. ქართველი ისტორიკოსების თხზულებებში ასახულია როგორც მცენარეთა გეოგრაფიული გავრცელება, ასევე მათი პრაქტიკული მნიშვნელობა რეგიონებში. განსაკუთრებით ღირებულია სვანეთის, რაჭის, გურიის და კახეთის მონაცემები, სადაც მკურნალები არა მხოლოდ მცენარეებს იყენებდნენ, არამედ მათ გარშემო არსებობდა სარწმუნოებრივი და რიტუალური სქემა; მაგალითად, ფითრის წვა ან იის სურნელება გამოიყენებოდა „ცუდის“ განსადევნად, რაც მკაფიოდ გამოხატავს სულიერი სიმბოლიკით დატვირთულ ტრადიციაში მცენარეების გამოყენების პრაქტიკას.

განსაკუთრებულ ადგილს იკავებს ხალხური მკურნალის ინსტიტუტი, რომელსაც რეგიონების მიხედვით სხვადასხვა სახელი ჰქონდა: ,,დასტაქარი“, „მოკმელი“, „მღვდელ-მკურნალი“, „მრევლში გამცნობელი“. ისინი ფლობდნენ ცოდნას, რომელიც ხშირად ოჯახური ხაზით გადაეცემოდა ან მონასტრებში მღვდელ მონაზვნების მიერ ერთმანეთში გადეცემოდა. ეს ცოდნა ზეპირსიტყვიერი იყო და მკაცრ ეზოთერულ ჩარჩოებში იყო მოქცეული; მაგალითად, კონკრეტული მცენარის სახელის, დამზადების წესისა და ლოცვის კომბინაციის გასაჯაროება არ შეიძლებოდა რიგითი ადამიანისთვის.

ისტორიულად, ქართულ ეთნოფარმაკოლოგიაში მცენარეთა გამოყენება არ შემოიფარგლებოდა ფიზიკური სნეულების მკურნალობით. ის მოიცავდა რიტუალურ და საკრალურ ასპექტებს: მცენარეებს კიდებდნენ ჭიშკარზე, საჭმელში აზავებდნენ შელოცვების წარმოთქმასთან ერთად ან გამოიყენებდნენ დღეობებში რიტუალურად. ამის პარალელურად მკურნალობა ეყრდნობოდა მკაცრად ჩამოყალიბებულ სტანდარტებს: მცენარის მოპოვება ხდებოდა კონკრეტულ პერიოდში (ახალი მთვარისას, განთიადზე, დაუწოლავ მდელოზე) და აუცილებლად უნდა წარმოთმულიყო შესაბამისი ლოცვა ან „დადება“. ამრიგად, ქართული ეთნოფარმაკოლოგიის ისტორიული საფუძვლები არ წარმოადგენს მხოლოდ მცენარეების შესახებ პრაგმატულ ცოდნას, არამედ შეიცავს სამყაროს ჰოლისტურ ხედვას, რომელიც აერთიანებს ფიზიოლოგიურ, ფსიქოსოციალურ და სულიერ განზომილებებს.

სამკურნალო მცენარეთა კულტივაციის პრაქტიკა საქართველოში

ისტორიულად, სამკურნალო მცენარეების უმეტესობა პირდაპირ ბუნებიდან - ტყიდან, მდელოდან, მინდვრიდან - მოიპოვებოდა. თუმცა, გარკვეული მცენარეების მიმართ სიფრთხილით მოპყრობა მიანიშნებს იმაზე, რომ ქართულ სოფლის მეურნეობაში არსებობდა მცენარეთა მიზანმიმართული მოშენების ტრადიცია, რომელიც დღემდე შემორჩენილია რეგიონებში.

საზოგადოებაში სამკურნალო მცენარის დათესვა არ იყო სოფლის მეურნეობის ჩვეულებრივი ნაწილი; მას თან სდევდა გარკვეული წეს-ჩვეულებები. ბევრი მცენარის დათესვა ან მოყვანა ითვლებოდა „საღმრთო საქმედ“; მაგალითად, ღვთისმშობლის ბალახად წოდებული მჭადა (Achillea millefolium) ან იოანეს ბალახი (Hypericum perforatum) უნდა დაეთესათ წმინდანის დღის წინა ღამეს, თან მთესველს უნდა სცოდნოდა შესაბამისი ლოცვა რომლითაც მცენარე „იწმინდებოდა“.

კულტივაციის პროცესში არამხოლოდ ბიოლოგიური, არამედ სიმბოლურ-რელიგიური მოტივაციებიც ჩნდებოდა. მაგალითად, მცენარეებს არ თესავდნენ „გადაუზამთრებელ“ მიწის ნაკვეთზე; მიიჩნეოდა, რომ მიწა უნდა ყოფილიყო „მომწიფებული“ და მიწათმოქმედის ქმედება - მორალურად წმინდა. განსაკუთრებით ღირებული მცენარეების მოყვანა ხშირად ენდობოდა ოჯახში უხუცესს ან ქალს, რომელიც ფლობდა ცოდნას მის სასწაულებრივ მოქმედებაზე.

სათანადო მნიშვნელობა უნდა მიენიჭოს სამკურნალო მცენარეთა მიზანმიმართულ მოშენებაში მონასტრებში არსებული ბაღების როლს. შუა საუკუნეებიდან მოყოლებული, ქართველ ბერებს ჰქონდათ საკუთარ სამონასტრო ბაღებში სპეციალურად გამოყოფილი

ადგილები სამკურნალო მცენარეებისთვის. ასეთი მაგალითებია გელათის, შიომღვიმის, დავითგარეჯის და იყალთოს მონასტრები. ამ ბაღებში მოჰყავდათ ისეთი მცენარეები, რომლებიც ბუნებრივად შეიძლება არ იზრდებოდნენ რეგიონის პირობებში, მაგრამ ადგილობრივ პირობებთან ადაპტირდებოდნენ. ბერები ზრდიდნენ მცენარეებს, ამზადებდნენ მათგან მალამოებს, ნახარშებსა და ტინქტურებს, რომლებიც გამოიყენებოდა როგორც ადგილობრივი მოსახლეობის, ასევე თავად მონასტრის ბინადართა სამკურნალოდ.

მიუხედავად იმისა, რომ საბჭოთა პერიოდში ეთნომედიცინის ტრადიციებმა ნაწილობრივ დაკარგა სისტემური ფორმა, გარკვეულმა ოჯახებმა და ტრადიციულმა მკურნალებმა შეინარჩუნეს მცენარეთა მოშენების უნიკალური მეთოდები. განსაკუთრებით დასავლეთ საქართველოში - გურიაში, სამეგრელოს მთიანეთში, აჭარაში - დღესაც გვხვდება ბაღები, სადაც ადგილობრივები სპეციალურად რგავენ სამკურნალო მცენარეებს და მკაცრად იცავენ მოშენების ტრადიციულ წესებს. კონკრეტული მაგალითია კოლხური ცოცხანა (Asarum caucasicum), რომელიც უნიკალურია კოლხეთის ბიოსფეროსთვის და ადგილობრივ მოსახლეობაში გამოიყენებოდა როგორც სუნთქვისა და გულ-სისხლძარღვთა დაავადებათაა სამკურნალო საშუალება. მას ხშირად ზრდიდნენ ჩრდილში, მუდმივი ტენიანობის პირობებში და განიხილებოდა, როგორც „ოჯახური ბალახი“.

ზეპირსიტყვიერი ცოდნის გადაცემის ფორმები და რიტუალური შრეები ქართულ ეთნოფარმაკოლოგიაში

ქართული ეთნოფარმაკოლოგიური ცოდნის მნიშვნელოვანი ნაწილი ზეპირსიტყვიერად გადაეცემოდა. სამკურნალო მცენარეებთან დაკავშირებული ცოდნა საუკუნეების განმავლობაში გადაეცემოდა თაობიდან თაობას, არა წერილობითი ტექსტებით, არამედ ყოფით ენაში, სიმღერებში, შელოცვებში, მითებში და პრაქტიკულ რიტუალებში ინტეგრირებული ფორმით. ეს ცოდნა იყო ცოცხალი, ქმედითი და კონტექსტურად განხორციელებადი - იგი არ არსებობდა თეორიულად განცალკევებულად, არამედ მხოლოდ მოქმედების დროს იძენდა სრულ მნიშვნელობას.

სახალხო მკურნალები - დასტაქრები, მოკმელები, გამცნობლები, ან ბერ-მონაზვნები - ხშირად არ იყენებდნენ მხოლოდ მცენარეს, არამედ მას თან ურთავდნენ „დადებას“ - სპეციალურად ფორმულირებულ ტექსტს, რომელიც ითვლებოდა მოქმედების განუყოფელ ნაწილად. ეს შეიძლებოდა ყოფილიყო ლოცვა, ტექსტი, წრეში ნათქვამი სიტყვა, ან ფრაზა, რომელსაც მკურნალი იმეორებდა მცენარის საშუელბით წამლის დამზადების დროს. მაგალითად, როდესაც ადამიანს ტანჯავდა „გულის შუაზე დარტყმა“, მკურნალი ადუღებდა კუნელის ნაყოფს და მასთან ერთად ამბობდა: „ვითარცა ეს ბუჩქი ისმინოს ტკივილი, ისე შენს გულსაც მოეკვეთოს ვარამი.“ ამ ფრაზას თან ახლდა ჯვრის გადასახვა, მცენარისგან დამზადებული წამლის მიღება სამჯერ და დუმილის წესის დაცვა რამდენიმე საათით. ზეპირსიტყვიერი ცოდნა არ იყო საზოგადოებაში თავისუფლად ხელმისაწვდომი. მას ხშირად იცავდნენ რჩეული პირები: ოჯახური ხაზით გადასცემდნენ შვილს ან მემკვიდრეს, ვინც აღიარებული იყო როგორც „ღირსი ცოდნის მატარებელი“. პრაქტიკის მემკვიდრეობა არ იყო მხოლოდ ტექნიკური უნარის გადაცემა; ის მოითხოვდა მორალურ, სულიერ და სოციალურ მზაობას. ზოგიერთ რეგიონში, მაგალითად, ხევსურეთში ან/და რაჭაში, მკურნალს ჰქონდა „დადებული

ცოდნა“, რაც ნიშნავდა, რომ მან ცოდნა უნდა გადასცეს რჩეულს მხოლოდ მაშინ, როცა „მოწოდებას“ იგრძნობდა. ამგვარი ცოდნა შეიძლებოდა გადაცემულიყო სიმღერით, მითითებით, მეტაფორით ან ალუზიით. მაგალითად, კახეთში გავრცელებული იყო სიმღერა, რომელიც აღწერდა, თუ როგორ უნდა შეგროვებულიყო მრავალძარღვას (Plantago major) ფოთოლი დილის სხივის ქვეშ, ოდნავ ნესტიანი მიწიდან, შემდეგ უნდა დადებულიყო მარცხენა ხელისგულზე და სამი სიტყვით „გადაერია სნეულებას“.

ბევრი მცენარე ითვლებოდა არა მხოლოდ სამკურნალოდ, არამედ „ღვთაებრივად შობილად“, რაც ნიშნავდა, რომ მის მოჭრას, შერევას ან გამოყენებას უნდა ახლდეს სპეციალური რიტუალი. მაგალითად, ცოცხანა (Verbena s.) უნდა შეეგროვებინა მხოლოდ ქალს მზიან ამინდში, თან უნდა ეთქვა სიტყვები: „ცოცხა ხარ, ბალახო ხარ, სიცოცხლის ძალა მოგაქვს.“ ზოგიერთ მცენარეს შეძახილებით „აძლევდნენ ძალას“. მაგალითად, ფითრის ფოთოლზე აწვენდნენ ავადმყოფს და ასწავლიდნენ გამოთქმას: „ცივი ხარ, მწარე ხარ, მაგრამ გულიდან შიშს მიშორებ!“ - რაც ასახავდა მცენარის არამხოლოდ ფიზიოლოგიურ, არამედ ფსიქოემოციურ მოქმედებაზე ხალხურ დაკვირვებას.

თანამედროვე ეპოქაში ზეპირსიტყვიერი ცოდნა გაქრობის საფრთხის წინაშეა. ჩანაწერების გარეშე ასეთი ცოდნა უკვალოდ ქრება, რადგან მისი ძალა დიდწილად დამოკიდებულია პრაქტიკის გარემოზე და ადამიანურ ურთიერთობებზე. ნაშრომი ცდილობს დააფიქსიროს ის ფორმები, რომლებიც დღემდე შემორჩა და რომელთა დოკუმენტირება შეიძლება თანამედროვე ეთნოფარმაკოლოგიური კვლევის მეთოდებით.

სამკურნალო მცენარეთა ინდივიდუალური ეთნოფარმაკოლოგიური ანალიზი

<u>კატაბალახა – Valeriana officinalis L. -</u> კატაბალახა წარმოადგენს მრავალწლოვან ბალახოვან მცენარეს, რომელიც მიეკუთვნება Valerianaceae - ის ოჯახს. საქართველოში ის ფართოდ არის გავრცელებული ტყიან და სუბალპურ ზონაში, განსაკუთრებით მთიანი რეგიონების (რაჭა, ლეჩხუმი, იმერეთი, აჭარა) მდინარისპირა მდელოებში. მცენარეს ახასიათებს სქელი რიზომა, რომელიც შეიცავს მაღალი კონცენტრაციის ეთერზეთებს, ვალეპოტრიატებსა და ალკალოიდებს.

<u>ეთნოფარმაკოლოგიური გამოყენება საქართველოში</u>

კატაბალახა ქართულ ტრადიციულ მედიცინაში ცნობილია როგორც ნერვული სისტემის მოწესრიგებისთვის ერთ-ერთი ძირითადი სამკურნალო მცენარე. ხალხურ მედიცინაში მას ეწოდებოდა „გულის დამამშვიდებელი“, ხოლო ზოგიერთ კუთხეში - „ღამის მშვიდობის მცენარე“. მის ფესვებს ხარშავდნენ წყალში ან არაყში, რის შედეგად მიღებულ ნახარშს ან ნაყენს ღებულობდნენ შფოთვის, უძილობის, არითმიის, გონების გაფანტვის ან „დაჩრდილვის“ დროს. ფესვებს აცხელებდნენ და იდებდნენ საფენად ნერვული სპაზმებისას. განსაკუთრებული ადგილი უკავია მის გამოყენებას ბავშვებში ტკივილის ან შიშის საწინააღმდეგოდ. გურიაში და იმერეთში ცნობილია რეცეპტი: ბავშვს, რომელსაც ცუდი სიზმრები აწუხებდა, ასმევდნენ კატაბალახის ფესვის წყალში განზავებულ ნაყენს, თან ასწავლიდნენ შემდეგ სიტყვებს: „რაც შიგ არის, დაეშვას წყალში, რაც გულშია, გაიფანტოს ძილში.“

თანამედროვე მეცნიერული შეფასება

Valeriana officinalis-ის ძირითადი აქტიური ნივთიერებებია ვალერიანული მჟავები, იზოვალერიანის მჟავა, ვალეპოტრიატები და ეთერზეთები, რომლებიც მეცნიერულად აღიარებულია როგორც ცენტრალური ნერვული სისტემის დამამშვიდებელი საშუალებები. კლინიკური კვლევებით დადასტურებულია მისი მოქმედება როგორც მსუბუქი სედატიური და უძილობის საწინააღმდეგო ბუნებრივი პრეპარატი. თანამედროვე ფიტოთერაპიაში იგი გამოიყენება იზოლირებულად ან კომბინაციაში სხვა მცენარეებთან (მაგ. Melissa officinalis, Passiflora incarnata).

კატაბალახას ეთნოფარმაკოლოგიური გამოყენება საქართველოში მნიშვნელოვნად ემთხვევა მის თანამედროვე ფარმაკოლოგიურ პროფილს, რაც კიდევ ერთხელ უსვამს ხაზს ტრადიციული ცოდნის ემპირიულ სიღრმესა და სიზუსტეს.

შხამა – Veratrum lobelianum Bernh.- მრავალწლოვანი, შხამიანი ბალახოვანი მცენარეა Melanthiaceae-ის ოჯახის შემადგენლობაში. საქართველოში ის გავრცელებულია ძირითადად ალპურ და სუბალპურ ზონებში (თრიალეთი, ხევსურეთი, ლეჩხუმი, სამცხე), ხშირად იზრდება ტენიან და ჩრდილოვან ფერდობებზე. მცენარეს აქვს მაღალი ღერო, ლანცეტოვანი ფოთლები და მწვანე-თეთრი ყვავილები. მთელი მცენარე, განსაკუთრებით კი ფესვი შეიცავს ძლიერ ტოქსიკურ ალკალოიდებს: ვერატრინი, ვერატრიდინი, იზოვერატრინი.

ეთნოფარმაკოლოგიური გამოყენება ქართულ ტრადიციულ მედიცინაში

შხამა ტრადიციულ მედიცინაში გამოიყენებოდა განსაკუთრებული სიფრთხილით და მხოლოდ გამოცდილ მკურნალთა მიერ. მას მიიჩნევდნენ „ძალმომცემად“ და „დამატყვევებლად“ - რაც ნიშნავდა, რომ მცენარეს ჰქონდა ძლიერი ფიზიოლოგიური და „მაგიური“ მოქმედება. ფესვის მცირე დოზას იყენებდნენ სერიოზულ სნეულებებთან ბრძოლაში, როგორიცაა ძლიერი სპაზმები, პარალიზი, ლამია (მოწამვლა), ან სიყვითლე. სვანეთში შხამას ფესვს ადუღებდნენ რძეში, ასმევდნენ წყალში განზავებულ ერთ წვეთს და თან ამბობდნენ: „მიწის შხამი შიგნით შემოვიდა, მაგრამ კაცმა შიშით არა დაჰმდაბლოს.“ რიტუალის ეს ნაწილი ასახავს მცენარის ორმაგ ბუნებას - წამალია და შხამი ერთდროულად, მის ძალას კი ადამიანმა უნდა „გაუძლოს“. მცენარის ფოთლებს ხარშავდნენ და იყენებდნენ გარეგანი შეზელვისთვის რევმატული ტკივილების, წყლულების ან პარალიზისას; იმავე ნახარშს ისხამდნენ ბანაობისას „გადაჭარბებულ სიცხეში“ გასაგრილებლად.

თანამედროვე მეცნიერული ინტერპრეტაცია

Veratrum lobelianum წარმოადგენს ძლიერმოქმედ მცენარეს, რომელიც შეიცავს სტეროიდულ ალკალოიდებს, მათ შორის ვერატრინს, რომელსაც ახასიათებს ნეიროტოქსიკურობა. ფარმაკოლოგიურად, მას გააჩნია გულ-სისხლძარღვთა სისტემაზე დამთრგუნველი მოქმედება. იგი გამოიყენებოდა XIX საუკუნეში არტერიული წნევის დასაქვეითებლად, თუმცა ტოქსიკურობის გამო თანამედროვე მედიცინაში თითქმის არ გამოიყენება.

ტრადიციულ ქართულ მედიცინაში მისი მოხმარება იმაზე მეტყველებს, რომ ხალხურ მკურნალებს ჰქონდათ ღრმა ცოდნა დოზირების ზღურბლზე, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია ასეთი ტოქსიკური მცენარის გამოყენებისას. პრაქტიკაში იგი ყოველთვის ასოცირდებოდა რიტუალთან.

ცოცხანა – Verbena supina Willd – ვერბენა, ხალხურად ცნობილია როგორც ცოცხანა, მრავალწლოვანი ბალახოვანი მცენარეა, რომელიც უძველესი დროიდან გამოიყენებოდა სამკურნალოდ საქართველოს სხვადასხვა კუთხეში და მას მიიჩნევდნენ ღვთაებრივად კურთხეულ ბალახად. იგი შედის Verbenaceae-ის ოჯახში და ფართოდაა გავრცელებული.

ბოტანიკური და ეთნოფარმაკოლოგიური მახასიათებლები

Verbena supina-ს ღერო იშვიათად დაყოფილია, აქვს წვრილი ფოთლები და მცირე ზომის ყვავილები. მცენარე შეიცავს გლიკოზიდებს, ეთერზეთებსა და ფენოლურ მჟავებს, რაც განაპირობებს მის ანთებისსაწინააღმდეგო და სპაზმოლიზურ თვისებებს.

ეთნოფარმაკოლოგიური გამოყენება საქართველოში

ვერბენა გამოიყენებოდა როგორც ოფლისმომგვრელი, შარდმდენი და ანთების საწინააღმდეგო საშუალება. ხალხური პრაქტიკის მიხედვით, მისგან ამზადებდნენ ნაყენებსა და ნახარშებს, რომლებსაც იყენებდნენ შემდეგი მდგომარეობებისას: კუჭ-ნაწლავის დარღვევები; შარდსასქესო სისტემის ანთებითი დაავადებები; მსუბუქი ნევროზები; გაციების და გრიპის სიმპტომები (ჩაის სახით). ზეპირსიტყვიერ პრაქტიკაში მას ხშირად იყენებდნენ რიტუალური წმენდებისთვის: ავადმყოფის საწოლთან მიჰქონდათ ქოთანში დარგული ვერბენა და სპეციალურ ლოცვასთან ერთად ასხურებდნენ ოთახს მის ნახარშს. ზოგიერთ რეგიონში მას მიიჩნევდნენ „ღმერთისთვის შეწირულ ბალახად“. მწვანე ნაზავს აყოლებდნენ საფიცარ ტექსტებს, მაგალითად: „ცოცხა ხარ, ბალახო ხარ, ძალა ღვთისგან გებარა.“

თანამედროვე მეცნიერული ინტერპრეტაცია

Verbena supina შეიცავს ბიოაქტიურ ნაერთებს, როგორიცაა verbascoside, aucubin და სხვადასხვა პოლიფენოლური კომპონენტები, რომელთაც გააჩნიათ ანთებისსაწინააღმდეგო, ანტიოქსიდანტური და მსუბუქად იმუნომოდულაციური მოქმედება. ფიტოთერაპიულ ლიტერატურაში იგი კლასიფიცირდება როგორც უსაფრთხო მცენარე ზომიერი დოზით მოხმარების პირობებში.

ქართული ტრადიციული გამოყენება მისი გამოყენება ხაზს უსვამს იმ ფაქტს, რომ ვერბენა საქართველოს ეთნოფარმაკოლოგიური მემკვიდრეობის ღირებული კომპონენტია.

ძახველი – Viburnum opulus L. - ბოტანიკური დახასიათება და გავრცელება: ძახველი ბუჩქოვანი მცენარე, ეკუთვნის ოჯახს Adoxaceae-ის, ბუნებრივად გავრცელებულია ტყის ნაპირებზე, ტენიან მდელოებზე, ბორცვებსა და ხევებში, განსაკუთრებით დასავლეთ საქართველოს რეგიონებში. ბუჩქი 3–4 მეტრ სიმაღლეს აღწევს, ფოთლები სამნაკვთიანია, ყვავილები თეთრი ფერის, შეკრული ქოლგისებრ ყვავილედებში, ხოლო ნაყოფი - წითელი, მომწარო გემოს მქონე კენკრა.

ეთნოფარმაკოლოგიური გამოყენება საქართველოში:

ძახველი ერთ-ერთ ყველაზე ფართოდ ცნობილი და გამოყენებული სამკურნალო მცენარეა ქართულ ტრადიციულ მედიცინაში. მისი ნედლეული - ქერქი და ნაყოფი გამოიყენებოდა როგორც ჰემოსტატური საშუალება - განსაკუთრებით საშვილოსნოს და მენსტრუალური სისხლდენების დროს; სპაზმოლიზური საშუალება - მუცლის ტკივილების, მენსტრუალური დისკომფორტის და ნაწლავური სპაზმების დროს; დამამშვიდებელი საშუალება - უძილობის, შფოთვითი აშლილობებისა და ნევროზის დროს; მატონიზირებელი საშუალება - ლოგინობის ხანაში გამოსაყენებლად, განსაკუთრებით სოფლებში, სადაც იგი მიიჩნეოდა „ქალთა მცენარედ“. ზეპირსიტყვიერი მემკვიდრეობის მიხედვით, ძახველს განსაკუთრებული სტატუსი ჰქონდა ორსულობასა და მშობიარობასთან დაკავშირებულ რიტუალებში. დედები ახალშობილებს თვალის დასაცავად ძახველის ტოტით „აკმევდნენ“, ხოლო მშობიარობის შემდგომ ძახველის ნახარშით ასხურებდნენ ოთახს, როგორც ბოროტებისგან დამცავ საშუალებას.

თანამედროვე ფიტოთერაპიული ინტერპრეტაცია:

ძახველის ქერქში და ნაყოფში აღმოჩენილია გლიკოზიდი ვიბურნინი (viburnin), ორგანული მჟავები, ფლავონოიდები (კვერცეტინი, რუტინი), ტანინები და C ვიტამინი. ეს ნივთიერებები განაპირობებენ მის ანთების საწინააღმდეგო, სისხლდენის შემჩერებელ და მსუბუქად ჰიპოტენზიურ მოქმედებას. თანამედროვე კვლევებით მტკიცდება მისი ეფექტი მენსტრუალური ტკივილებისა და პერიმენოპაუზური სიმპტომების შემსუბუქებაში.

ფარმაცევტულ პრაქტიკაში ძახველის ექსტრაქტი ხშირად გამოიყენება მატონიზირებელ მცენარეულ პრეპარატებში; ასევე იყენებენ ჰომეოპათიურ პრეპარატებში, რომლებიც გამოიყენება გინეკოლოგიური დარღვევებისა და ვეგეტატიური დისფუნქციის დროს.

შედეგების შინაარსობრივი ანალიზი

წინამდებარე კვლევის ფარგლებში განხილულმა მასალამ, როგორც დოკუმენტურმა, ასევე ზეპირსიტყვიერმა, გამოავლინა ქართული ეთნოფარმაკოლოგიის რამდენიმე განმასხვავებელი და განმსაზღვრელი მახასიათებელი. მათ შორის, განსაკუთრებით თვალსაჩინოა მცენარეთა გამოყენებისა და ცოდნის გადაცემის ინტეგრირებულობა, რიტუალიზაცია და სელექციური პრაქტიკა.

სამკურნალო მცენარეთა ტრადიციული გამოყენება საქართველოში არ შემოიფარგლებოდა მხოლოდ ბიოლოგიური ეფექტით. მცენარე იყო აგრეთვე სიმბოლური საშუალება, რომელსაც მიაწერდნენ „სიტყვაში ჩაბუდებულ ძალას“. თითქმის ყველა შემთხვევას თან ახლდა სიტყვიერი ფორმულა, ლოცვა ან შეძახილი, რაც მცენარეს ანიჭებდა გამაძლიერებელ ენერგიას. ამგვარი მიდგომა აჩვენებს ჰოლისტურ სისტემას, სადაც მცენარეული, ენობრივი და ზოთერული დონეები ერთმანეთთანაა გადაჯაჭვული.

ცოდნის პრაქტიკული გამოყენება მკაცრად იყო ჩასმული დრო-სივრცით ჩარჩოებში. მაგალითად: მცენარის შეგროვება ხდებოდა დღის განსაზღვრულ პერიოდში, მომზადება

ხშირად მოითხოვდა დუმილის დაცვას, მარჯვენა ხელით შერევას ან გენდერულად შერჩეულ პირს, გამოყენება იმართებოდა სტანდარტიზირებული წესების დაცვით. ეს ყველაფერი აჩვენებს, რომ მკურნალობა აღიქმებოდა არა როგორც ჩვეულებრივი ფიზიკური პროცედურა, არამედ როგორც რიტუალიზებული ქმედება, რაც უნდა განმეორებულიყო ზუსტად და მორალურად სუფთა კონტექსტში.

ცოდნის მემკვიდრეობით გადაცემა ხდებოდა შერჩევითად. ყველა მცენარის რეცეპტი არ იყო საჯარო - გარკვეული მცენარეების შესახებ (მაგალითად, შხამა ან ცოცხანა) ცოდნა გადაეცემოდა მხოლოდ ღირსეულ მემკვიდრეს. ამის შედეგად შეიქმნა ინფორმაციის „ჩაკეტილი წრეები“, სადაც არამხოლოდ მცენარის მოქმედება, არამედ მისი სახელიც კი სიმბოლურად იყო დაშიფრული. მიუხედავად ზეპირსიტყვიერი ფორმისა, ეს ცოდნა სტრუქტურულად მოიცავდა კლასიფიკაციის შიდა სისტემებს: მცენარეთა "ცხელი და ცივი" ტიპები, "მზის" და "ჩრდილის" ბალახები, "მდუმარე" და "ხმოვანი" მოქმედება - რაც ნიშნავს, რომ ტრადიციული ცოდნა არ იყო ქაოტური ან არათანმიმდევრული, არამედ ეფუძნებოდა მკაცრ სისტემატიზაციას.

განსაზღვრული მცენარეების შემთხვევაში (მაგ.: კატაბალახა, ძახველი, ფითრი), ტრადიციული გამოყენება დიდწილად შეესაბამება თანამედროვე ფარმაკოლოგიური კვლევებით დადასტურებულ მოქმედებებს, რაც მიუთითებს, რომ ტრადიციულ ცოდნაში ჩადებულია დაკვირვებაზე დაფუძნებული სამკურნალო სისტემატიკა, თუნდაც არამეცნიერული ენით გამოხატული.

ერთდროულად იკვეთება რამდენიმე საფრთხე: ზოგიერთი მცენარის ტოქსიკურობა (მაგ.: შხამა, ცოცხანა) დღეს უკვე მოითხოვს მკაცრ კონტროლს და ლაბორატორიულ სტანდარტებს, ცოდნის ზეპირსიტყვიერი ხასიათი ქმნის გადასაცემის სირთულეს თანამედროვე თაობებისთვის, ბალახების ბუნებრივი ჰაბიტატების შემცირება საფრთხეს უქმნის პრაქტიკულ წვდომას. მიუხედავად ამისა, ნიშანდობლივია, რომ ამ ცოდნის ძარღვები ჯერ კიდევ ცოცხალია რეგიონებში და შესაძლებელია მისი თანმიმდევრული აკადემიური დოკუმენტირება და ნაწილობრივი ინტეგრაცია თანამედროვე ეთნოფარმაკოლოგიაში.

ტრადიციული ეთნოფარმაკოლოგიის სამეცნიერო პოტენციალი და გამოწვევები

ქართული ეთნოფარმაკოლოგია წარმოადგენს კომპლექსურ, ინტეგრირებულ ცოდნის სისტემას, რომელიც აერთიანებს ბოტანიკურ დაკვირვებას, გამოცდილებით დამკვიდრებულ გამოყენებას, ზეპირსიტყვიერ კულტურას და რიტუალურ წესებს. მოცემული კვლევა ადასტურებს, რომ ეს ცოდნა არ არის მხოლოდ კულტურული მემკვიდრეობა, არამედ შეიცავს პრაქტიკულ ბირთვს, რომლის ინტეგრირება შესაძლებელია თანამედროვე მედიცინისა და ფარმაკოლოგიაში. საერთაშორისო ეთნოფარმაკოლოგიური კვლევები ადასტურებს, რომ ტრადიციული მედიცინის სისტემები (მაგ.: ინდური აიურვედა, ჩინური ტრადიციული მედიცინა, ანდების ხალხური თერაპია) ხშირად ეფუძნება იმავე სტრუქტურულ ელემენტებს, რაც შეინიშნება ქართულ პრაქტიკაშიც: მცენარეთა კლასიფიკაცია მოქმედების სიმბოლური ნიშნებით („ცხელი/ცივი“, „მზის/ჩრდილის“), რიტუალიზებული მოხმარება სიტყვიერი

თანმხლები ფორმულებით, ცოდნის ლოკალურობა და სოციალური რეპროდუქციის სელექციური ხასიათი. ამ პარალელების ფონზე ჩანს, რომ ქართული მოდელი წარმოადგენს ორიგინალურ, მაგრამ უნივერსალურ სისტემას, რომელიც იმსახურებს შედარებით და კოოპერაციულ კვლევას სხვა რეგიონულ ტრადიციებთან.

კვლევისას განხილული Veratrum lobelianum მიუთითებს, რომ ქართულ ეთნოფარმაკოლოგიაში ფიგურირებს არაერთი ენდემური ან მეჩხრად გავრცელებული სახეობა, რომლებიც უცხოურ ფიტოთერაპიულ ნიმუშებში პრაქტიკულად არ ფიგურირებენ. ეს ნიშნავს, რომ საქართველოს ეკოფარმაკოლოგიური მემკვიდრეობა შეიძლება გახდეს ახალ აქტიური ნივთიერებების წყარო, რასაც შეუძლია მნიშვნელოვანი წვლილის შეტანა ბიომედიცინაში, იმ პირობით, რომ დაცული იქნება ბიოეთიკური და ეკოლოგიური სტანდარტები. ზეპირსიტყვიერი ფორმით არსებული ცოდნა დღეს გაქრობის საფრთხის წინაშეა. კვლევის დროს აშკარად ჩანს, რომ შთამომავლობას აღარ გადაეცემა ის სიმბოლური, რიტუალური და სემანტიკური დეტალები, რაც სინამდვილეში განაპირობებს მკურნალობის ეფექტიანობას ტრადიციულ სისტემაში. ამავე დროს, მცენარეთა გამოყენების პრაქტიკაც კარგავს აქტუალობას და გარდაიქმნება ტექნიკურ რეცეპტებად, რაც სცდება ტრადიციული მედიცინის არსს.

ამ ფონზე, დოკუმენტირება (მათ შორის აუდიო-ვიდეო ჩანაწერებით, ენთნობოტანიკური რუკებითა და ფარმაკოქიმიური აღწერებით) არ წარმოადგენს მხოლოდ აკადემიურ ამოცანას - იგი აუცილებელია კულტურული მემკვიდრეობის დაცვისა და სამეცნიერო ინოვაციისთვის. ტრადიციული ცოდნის აკადემიური გამოყენება საჭიროებს ეთიკური ჩარჩოების მკაცრ დაცვას: ცოდნის გამოყენებისას უნდა მოხდეს საავტორო უფლებების დაცვა, რაც გულისხმობს რეცეპტის წყაროს მითითებას; კვლევებმა უნდა მოიცვან თანამშრომლობის პრინციპი და არ წარმოაჩინონ კოლონიური ჩარჩოებით „აღებული ცოდნა“; სამომავლო ფარმაცევტული განვითარება (მაგ.: პროდუქტის კომერციალიზაცია) უნდა გაითვალისწინოს სარგებლის სამართლიანი განაწილება.

დასკვნა

წინამდებარე კვლევამ ნათლად წარმოაჩინა ქართული ეთნოფარმაკოლოგიური ცოდნის სიმდიდრე, მრავალფეროვნება და მისი ინტეგრირებული ბუნება. იგი აერთიანებს ბუნებაზე დაფუძნებულ პრაქტიკულ გამოცდილებას, ზეპირსიტყვიერ კულტურას, რიტუალიზებულ ქმედებებსა და ღრმა სემანტიკურ განზომილებებს. ამ ცოდნის სისტემა არ არის მხოლოდ ერის პირად გამოცდილებაზე დაფუძნებული წამლების კომპილაცია; იგი წარმოადგენს ჰოლისტურ მსოფლმხედველობას, სადაც მცენარე, სიტყვა და ქმედება ერთიანად ქმნიან სამკურნალო ქმედებას.

ისტორიულად ეს ცოდნა „სოციალურ ქსოვილში“ იყო ჩაბუდებული: ოჯახში, მონასტერში, თემში. მცენარეები მოიპოვებოდა განსაზღვრულ დროს, სპეციფიკურ რიტუალებთან და შელოცვებთან ენასთან ერთად. ეს გარემოებები აძლევდა მცენარეულ საშუალებებს იმ „ძალას“, რომლის გარეშეც მათი მნიშვნელობა ქრება.

მოცემულმა კვლევამ, თანამედროვე ეთნოფარმაკოლოგიური მიდგომებითა და პირველწყაროთა ანალიზით, შეძლო რამდენიმე ძირითადი მცენარის (მაგ. კატაბალახა, შხამა, ცოცხანა, ძახველი) გამოყენების ფორმების ინტერპრეტაცია როგორც ტრადიციულ, ისე თანამედროვე სამეცნიერო სფეროში. მან აჩვენა, რომ ქართული ტრადიციული ცოდნა ხშირად ემთხვევა თანამედროვე ფარმაკოლოგიურ მიგნებებს, რაც მიუთითებს მის ინტელექტუალურ ღირებულებაზე. თუმცა, პარალელურად იკვეთება სერიოზული საფრთხეები: ცოდნის გადაცემის შეწყვეტა, ჰაბიტატების გაქრობა და ალტერნატიული მედიცინის გაბატონებული, არაკონტექსტური აღქმა. შესაბამისად, აუცილებელია ეროვნულ და საერთაშორისო დონეზე ინიცირებული ეთნოფარმაკოლოგიური ჩანაწერების სისტემატიზაცია და მკაცრი ეთიკური ჩარჩოს არსებობა, რომელიც თავიდან აგვარიდებს რეცეპტების მოდიფიკაციას ადგილობრივი ავტორების იგნორირებით.

ამ კვლევამ აჩვენა, რომ ზეპირსიტყვიერი ტექსტები, პრაქტიკული ცოდნა და რიტუალური პროტოკოლები ერთობლივად ქმნიან სამკურნალო პრაქტიკის ლოკალურ მატრიცას, რომლის დეტალური აღწერა და ანალიზი აუცილებელია როგორც ბიოკულტურული მემკვიდრეობის შესანარჩუნებლად, ისე სამომავლო ფიტოთერაპიული კვლევებისა და კლინიკური აპრობაციის საფუძვლისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა

ბიძინაშვილი, რ. (2016). ავი სენი და სამკურნალო მცენარეები. თბილისი: მწიგნობარი.

ბიძინაშვილი, რ. (2017). გულ-სისხლძარღვთა დაავადებები და ფიტოთერაპია. თბილისი: მწიგნობარი.

ბიძინაშვილი, რ. (2020). შხამიანი მცენარეების როლი ფიტოთერაპიაში. თბილისი: მწიგნობარი.

ბიძინაშვილი, რ. (2020). საერთო ცნობები კანაფის კულტურის ავ-კარგიანობაზე. თბილისი: მწიგნობარი.

ბიძინაშვილი, რ., & ერაძე, ნ. (2021). სამკურნალო მცენარეების კულტურა. თბილისი.

გელბახიანი, პ.გ., & გერსამია, ვ.ს. (1965). სამკურნალო მცენარეები და მათი კლინიკური გამოყენება. თბილისი.

შენგელია, ზ. (1983). სამკურნალო მცენარეთა კულტურა საქართველოში. თბილისი.

ღამბაშიძე, გ. (1965). ქართული ხალხური მედიცინა. თბილისი.

ზალდასტანიშვილი, ს. (1972). საქართველოს ფლორის ფარმაკოგნოსტური მიმოხილვა. თბილისი: თსუ გამომცემლობა.

ბერიძე, ბ. (1957). მცენარეთა კულტივაციის ტრადიციები ძველ საქართველოში. თბილისი.

წურწუმია, ლ. (1998). ზეპირსიტყვიერი კულტურა და სამკურნალო პრაქტიკა დასავლეთ საქართველოში. ქუთაისი.

ნინუა, ე. (2006). სვანეთის ეთნოგრაფია და სამკურნალო მცენარეთა ცოდნა. მესტია.

Albuquerque, U. P., & Hanazaki, N. (2009). Five problems in current ethnobotanical research—and how to fix them. Human Ecology, 37(5), 653–661. https://doi.org/10.1007/s10745-009-9259-9

Balick, M. J., & Cox, P. A. (1996). Plants, People, and Culture: The Science of Ethnobotany. Scientific American Library.

Cox, P. A., & Balick, M. J. (1994). The ethnobotanical approach to drug discovery. Scientific American, 270(6), 60–65. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0694-60

Etkin, N. L. (2008). Edible Medicines: An Ethnopharmacology of Food. University of Arizona Press.

Fabricant, D. S., & Farnsworth, N. R. (2001). The value of plants used in traditional medicine for drug discovery. Environmental Health Perspectives, 109(Suppl 1), 69–75. https://doi.org/10.1289/ehp.01109s169

Gaoue, O. G., Coe, M. A., Bond, M., Hart, G., Seyler, B. C., & McMillen, H. (2017). Theories and major hypotheses in ethnobotany. Economic Botany, 71(3), 269–287. https://doi.org/10.1007/s12231-017-9389-8

Hamilton, A. C. (2004). Medicinal plants, conservation and livelihoods. Biodiversity and Conservation, 13(8), 1477–1517. https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000021333.23413.42

Heinrich, M., & Jäger, A. K. (2015). Ethnopharmacology. Wiley-Blackwell.

Heinrich, M., Barnes, J., Gibbons, S., & Williamson, E. M. (2018). Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy (3rd ed.). Elsevier Health Sciences.

Kayser, O., & Quax, W. J. (Eds.). (2007). Medicinal Plant Biotechnology: From Basic Research to Industrial Applications. Wiley-VCH.

Pieroni, A., & Price, L. L. (Eds.). (2006). Eating and Healing: Traditional Food As Medicine. Haworth Press.

Schippmann, U., Leaman, D. J., & Cunningham, A. B. (2006). A comparison of cultivation and wild collection of medicinal and aromatic plants under sustainability aspects. In R. R. J. (Ed.), Biodiversity and the Ecosystem Approach in Agriculture, Forestry and Fisheries. FAO.

van Wyk, B.-E., & Wink, M. (2018). Medicinal Plants of the World. CABI.

World Health Organization (WHO). (2005). National policy on traditional medicine and regulation of herbal medicines: Report of a WHO global survey. Geneva: WHO.

World Health Organization (WHO). (2013). Traditional Medicine Strategy: 2014–2023. Geneva: WHO.

Bitadze, L., & Elguja, L. (2022). Frequency and Types of Traumas in Khevsureti according tothe Fossil Material of the High and Late Middle Ages. DOI - 10.48616/openscience-60

Latchkepiani, E., Gambarashvili, M., & Kochadze, D. (2024). Heart rupture–a complication of adrenal cortical adenoma–case report. Georgian Scientists, 6(2), 405-416. https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.02.42

Traditional Georgian Ethnopharmacology: Historical Foundations, Medicinal Plant Cultivation Practices, and Knowledge Transmission Pathways

Dimitri Kochadze MD[1], Elguja Latchkepiani MD[2], Robert Makharashvili MD[3]

[1]Clinical Manager of Kharagauli Medical Institution, LLC "Regional Healthcare Center", PhD student of Tbilisi State Medical University; Infectious deseases hospital; [2]LEPL Levan Samkharauli National Forensics Bureau, Department of Medical Expertise, Forensic Medical Expert; PhD Student at Ivane Javakhishvili Tbilisi State University; [3]Pediatric Hospital Mmedi22, Anesthesia and Intensive Care Department, Anesthesiologist, Intensive Care Physician.

Abstract

This study explores the historical, practical, and oral foundations of traditional Georgian ethnopharmacology, enabling a scientific interpretation of this complexly structured knowledge system. Ethnopharmacology, as a discipline, integrates botanical, cultural, and semiotic analysis, and in this context, traditional Georgian medicine represents an original yet universally applicable model.

The research is based on qualitative methodology, primary source document analysis, and ethnographic hermeneutics of oral texts. It draws upon 19th-20th century Georgian monographs, folk remedies, incantations, songs, and botanical descriptions of plants. One of the aims was to reveal the link between plant use practices and ritual structures, which often define the cultural legitimacy of therapeutic action.

The study examined the ethnopharmacological profiles of four key plants (*Valeriana officinalis*, *Aconitum spp.*, *Symphytum spp.*, *Sambucus nigra*), which exhibit both bioactive effects and valuable ritual-semantic significance. Findings indicate that traditional uses frequently align with contemporary pharmacological practices, suggesting an empirical basis for traditional knowledge.

Mechanisms of oral knowledge transmission were analyzed, including knowledge protection, selectivity, and ritual-linguistic framing. Of particular significance were folk classification systems of plants (e.g., "hot/cold", "silent/loud"), which point to an unconscious but structured cognitive framework. The study highlights threats such as the disruption of knowledge transmission, habitat loss, and disregard for traditional practices.

In conclusion, the paper offers recommendations for documenting and scientifically integrating ethnopharmacological heritage, emphasizing ethical principles and respect for local authorship. Traditional Georgian ethnopharmacology should not be seen merely as a cultural relic, but as a potential source of modern pharmacological innovation, provided it is studied in a complex, ethical, and interdisciplinary manner.

Key words: Ethnopharmacology; Traditional Georgian Medicine; Medicinal Plants; Oral Knowledge; Ritual Practice; Phytotherapy; Bioactive Compounds; Botany; Monastic Gardens; Symbolic Classification; Cultural Heritage; Traditional Recipes; Incantations; Pharmacognosy; Pharmacological Analysis; Folk Healing

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.70



დასავლეთ საქართველოში ინტროდუცირებული, რემონტატული ჟოლოს (*Rubus idaeus*) გაყინვის ახალი ტექნოლოგიების გამოყენება

ინგა გაფრინდაშვილი[1*], ნარგული ასანიძე[2], მამუკა თურმანიძე[3]; ხათუნა გამყრელიძე[3]; თამილა. არდემანაშვილი[4]

[1*]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ნინოშვილის ქ. N 35, ბათუმი, 6010, საქართველო, gaprindashvili.inga@gmail.com; [2]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ნინოშვილის ქ. N 35, ბათუმი, 6010, საქართველო asanidze.narguli@gmail.com; [3]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ნინოშვილის ქ. N 35, ბათუმი, 6010, საქართველო mamuka.agr86@gmail.com; [3]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ნინოშვილის ქ. N 35, ბათუმი, 6010, საქართველო gamkrelidze.khatuna@bsu.edu.ge; [4]ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ნინოშვილის ქ. N 35, ბათუმი, 6010, საქართველო tamila.ardemanashvili@bsu.edu.ge

აბსტრაქტი

საქართველოს თითქმის ყველა რეგიონში მოიძებნება ისეთი სასოფლო-სამეურნეო ადგილები, სადაც ჟოლოს (*Rubus idaeus*) მოყვანისთვის ხელსაყრელი აგროკლიმატური პირობებია. მართალია, საქართველოში ჟოლო ამჟამად დიდი რაოდენობით არ მოჰყავთ, მაგრამ ამ კულტურის წარმოების გაფართოებისთვის შესანიშნავი პოტენციალია. იმ ფერმერებს, რომლებსაც შეუძლიათ მაღალი ხარისხის ჟოლოს სტაბილური მიწოდების უზრუნველყოფა, აქვთ რეალიზაციის კარგი შესაძლებლობები როგორც ქვეყნის შიგნით, ისე საზღვარგარეთ. ჟოლო მალფუჭებადი ხილია, ამიტომ აუცილებელია მისი შენახვისათვის გამოვიყენოთ გაყინვის ახალი ტექნოლოგია, რომელსაც ახორციელებს **ფლუიდიზირებული სწრაფგამყინავი აპარატები.** ამ აპარატებს ახასიათებს მინიმალური გამოშრობის, პროდქტის მარალხარისხოვნად შენახვის და სწრაფი სიჩქარით გაყინვის უნარი. **კვლევის მიზანია დავადგინოთ ამ აპარატების უპირატესობა სხვა სამაცივრო დანადგარებთან მიმართებაში.** ასეთი სახით გაყინული პროდუქტი კარგად ფასოვდება და დაუფასოებელიც ინახება. ჩვენს მიერ განხორციელდა ჟოლოს შენახვა ასეთ აპარატებში, სადაც ჟოლოს შენახვის ოპტიმალური ტემპერატურაა -1 - 0 °C (30 - 32 °F), და > 90 %–ი ტენიანობის პირობები. ჟოლოსათვის მისაღებია ჰაერის რეგულირების შემდეგი რეჟიმი: 10-20% CO_2 + 5-10%O_2. ასე გაყინულ ჟოლოში შენარჩუნებულია ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების თავდაპირველი რაოდენობრივი შემცველობა, იერსახე და გემური თვისებები. საქართველო ისწრაფვის რა ევროკავშირში გაერთიანებისათვის, მით უფრო მეტ აქტუალობას იძენს უსაფრთხო და სტანდარტიზირებული, კონტროლს დაქვემდებარებული პროდუქციის წარმოება.

საკვანძო სიტყვები: ჟოლო (Rubus ideaus L.), ფლუიდიზირებული შოკური მაცივარი, HACCP.

შესავალი

საქართველოში არსებული ხეხილის ბარების მნიშვნელოვანი ნაწილი ჯერ კიდევ წარმოდგენილია ისეთი ჯიშებით, რომლებიც არ პასუხობს თანამედროვე მოთხოვნებს და კონკურენციას ვერ უწევს ახალ გენოტიპებს. მდგომარეობის გამოსწორებისა და ასორტიმენტის გაუმჯობესების ერთერთი მნიშვნელოვანი მიმართულებაა მსოფლიოში მაღალმარკეტინგული მახასიათებლების მქონე ახალი ჯიშების შემოტანა-ინტროგუქცია და მათი კომპლექსში შესწავლა

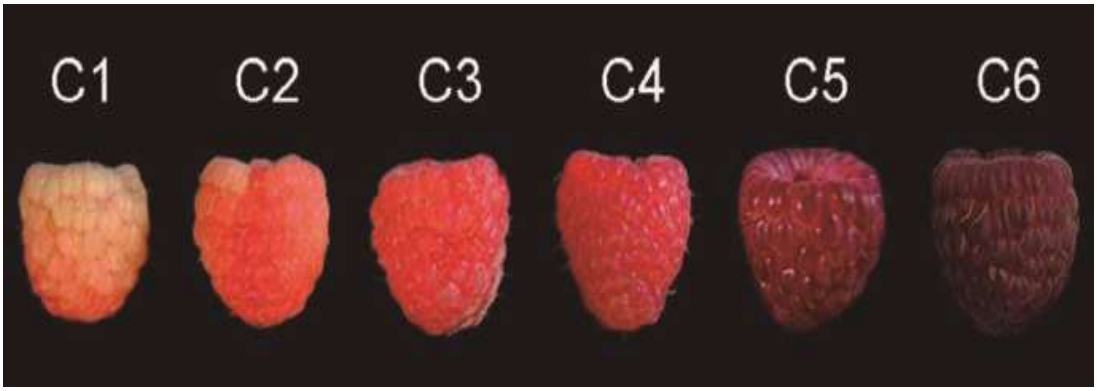
ჟოლო (Rubus ideaus L.) არის ვარდისებრთა ოჯახის წევრი, რომელიც იზრდება, როგორც მრავალწლოვანი კულტურა. ბაზარზე იყიდება წითელი, ყვითელი, იისფერი და შავი ფერის ჟოლო. წითელი და ყვითელი ჟოლო ჯგუფდება ორ ქვე-სახეობად: R. idaeus subsp. vulgatus Arrhen.(ევროპული წითელი ჟოლო) და R. idaeus subsp. strigosus Michx. (ამერიკული წითელი ჟოლო). შავი ჟოლო, რომელიც ჩრდილოეთ ამერიკის აღმოსავლეთ ნაწილშია გავრცელებული (R. occidentalis L.; R. glaucus L.) არის სამხრეთ ამერიკული ტეტრაპლოიდი. იისფერი ფერის ჟოლო (R. neglectus Peck.) გამოყვანილია შავი და წითელი ჟოლოს შეჯვარების შედეგად. ბაზარზე გამოტანილი ჟოლოს ჯიშები სევა, პოლიანა და კაროლინა გამოირჩევიან უნიკალური და დელიკატური საგემოვნო თვისებებით და არომატით. ჟოლოს ნაყოფები ხშირად გამოიყენება დესერტის მოსამზადებლად. ჟოლო კენკრაა, რომელიც შედგება მრავალი წვრილი, წვნიანი პატარა ნაწილებისგან, ჟოლოს ნაყოფს აქვს კონუსურად ჩაღრმავებული ადგილი და მწვანე ყუნწი ფოთოლსაფარით. ჟოლოს გავრცელებული ჯიშებია: მიკერი, ჰერიტაჟი, ტულამეენი, ვილამეტი, ჩილივაკი და მუნგერი (Meeker, Heritage, Tulameen, Willamette, Chilliwack, Munger. გვარა-ხუცუბნის აგროსერვის ცენტრში ჩატარებულმა ბაზრის კვლევამ აჩვენა, რომ ჟოლო რეგიონში ერთ- ერთ ყველაზე მოთხოვნად პროდუქტად ითვლება. სამწუხაროდ, ის რეგიონში მცირე რაოდენობით იწარმოება. სოფლის მეურნეობის სამინისტროს ა(ა)იპ აგროსერვის ცენტრში ჟოლოს 500მ^2 სადემონსტრაციო ნაკვეთი ამოქმედდა. ნაკვეთზე 3 სხვადასხვა ჯიშის ჟოლოს ჯიშები სევა, პოლიანა და კაროლინა, საშუალოდ 3-5კგ-მდე ნაყოფს იძლევა. ეს ჯიშები უხვმსხმოიარობით გამოირჩევა.

იგი განაშენიანდა სწორ ან ოდნავ დაქანებულ (<8 %) მიწის ფართობებზე. ნიადაგის ეროზიის თავიდან ასაცილებლად რიგები მოეწყო დაქანების საწინააღმდეგო მიმართულებით. ნარგავების ირგვლივ ჰაერის სათანადო მოძრაობამ ხელი შეუწყო ფოთლების ზედაპირის გაშრობას მეორეს მხრივ, ჟოლო დაცული იყო ძლიერი ქარისაგან, რომელიც ამცირებს მცენარეთა სიძლიერეს და აფერხებს ღეროს ზრდას. გადასამუშავებელი კენკრის თვისებები დამოკიდებულია მათს აგებულებაზე, ფიზიკურ და ქიმიურ შედგენილობაზე, მათში ცალკეული სხვადასხვა კომპონენტის ხარისხობრივ და რაოდენობრივ შემცველობაზე, პროდუქტებზე მოქმედ ტემპერატურაზე, ფარდობით ტენიანობაზე, წნევასა და სხვა ფაქტორებზე.

მასალები და მეთოდები

ჟოლო უნდა მოიკრიფოს დღის ყველაზე გრილ პერიოდში, ჩვეულებრივ, დილით. არ არის რეკომენდებული კრეფა, როდესაც რბილობის ტემპერატურა 27°C-ზე მაღალია, ამ დროს ნაყოფი ძალიან მგრძნობიარეა დაჭყლეტით დაზიანებისადმი. ამას გარდა, თუ ხილის ტემპერატურა მაღალია, საჭირო იქნება მეტი გაცივება მოსავლის აღების შემდგომ შესანახად

გაგრილებისათვის. ჟოლოს მოსავლის აღება არ შეიძლება მაშინ, როდესაც ნაყოფი სველია. ეს გაზრდის ობის განვითარების შემთხვევებს. მოსავლის აღება უნდა ხდებოდეს ყოველდღიურად მთელი სიმწიფის პერიოდში. ჟოლო როგორც წესი, მოკრეფის შემდეგ ეწყობა პატარა (პლასტიკატის ან სხვა სახის) ყუთებში ან საველე ჩასალაგებელში, შესაძლებელია შესაბამისი ხარისხის სპეციალური მუყაოს ყუთების, ასევე, მსუბუქი გადასატანი სადგამის გამოყენება, რომელზეც მოთავსდება პატარა ზომის ყუთები. შესაძლებელია, ასევე მსუბუქი პორტატული სადგამის გამოყენება, რომელზეც მოთავსდება ყუთი, მკრეფავი კი რიგში თავისუფლად გადაადგილდება. ყუთში უნდა იყოს ცალკეული პატარა კონტეინერები ხილის ბაზრისათვის განსაზღვრული ხარისხის მიხედვით დასახარისხებლად. უმჯობესია ნაყოფის დაზიანების თავიდან ასაცილებლად ნედლად რეალიზაციის შემთხვევაში მოკრეფის შემდეგ ჩაეწყოს პირდაპირ სარეალიზაციო ტარაში, გადამუშავების შემთხვევაში შესაძლებელია შედარებით დიდი ტევადობის ტარის გამოყენება. ევროკავშირში საექსპორტოდ გამიზნული კენკრა იკრიფება, ჩვეულებრივ, გამჭვირვალე პატარა კონტეინერებში, რომლებშიც ეტევა დაახლოებით 125-160 გრამი. საქართველოს ადგილობრივი ბაზრისთვის შესაძლებელია სხვა სახის დასაფასოებელი ტარის გამოყენებაც. ჟოლო მალფუჭებადი ხილია ამიტომ იმისათვის რომ შენარჩუნებული იქნას ხარისხი, სასაქონლო სახე და კვებითი ღირებულება, ტრანსპორტირება მიზანშეწონილია მაცივარკონტეინერით აღჭურვილი მანქანებით. ჟოლოს სიმწიფის ძირითადი მანიშნებელია ფერი. ჟოლო უნდა დაიკრიფოს მაშინ, როდესაც ნაყოფს მთლიანად ჯიშისათვის დამახასიათებელი ფერი აქვს. (სხვადასხვა ჯიშს, განსხვავებული წითელი ან ყვითელი ფერის ტონი აქვს) არ შეიძლება ჟოლოს დაკრეფა, ვიდრე ნაყოფი სრულად დამახასიათებელ შეფერილობას არ მიაღწევს. ჟოლოს არ ახასიათებს მოსავლის აღების შემდგომი დამწიფება, ნაყოფში საკვები ნივთიერებების შემცველობა დაკრეფის შემდეგ არ იზრდება და დამწიფებამდე მოკრეფილ ჟოლო უგემურია და დაბალი სასაქონლო სახე აქვს, გარდა ამისა დამწიფებამდე მოკრეფილი ნაყოფის მარცვლები მოკრეფის დროს ჩამოცვივდება ან დაზიანდება.



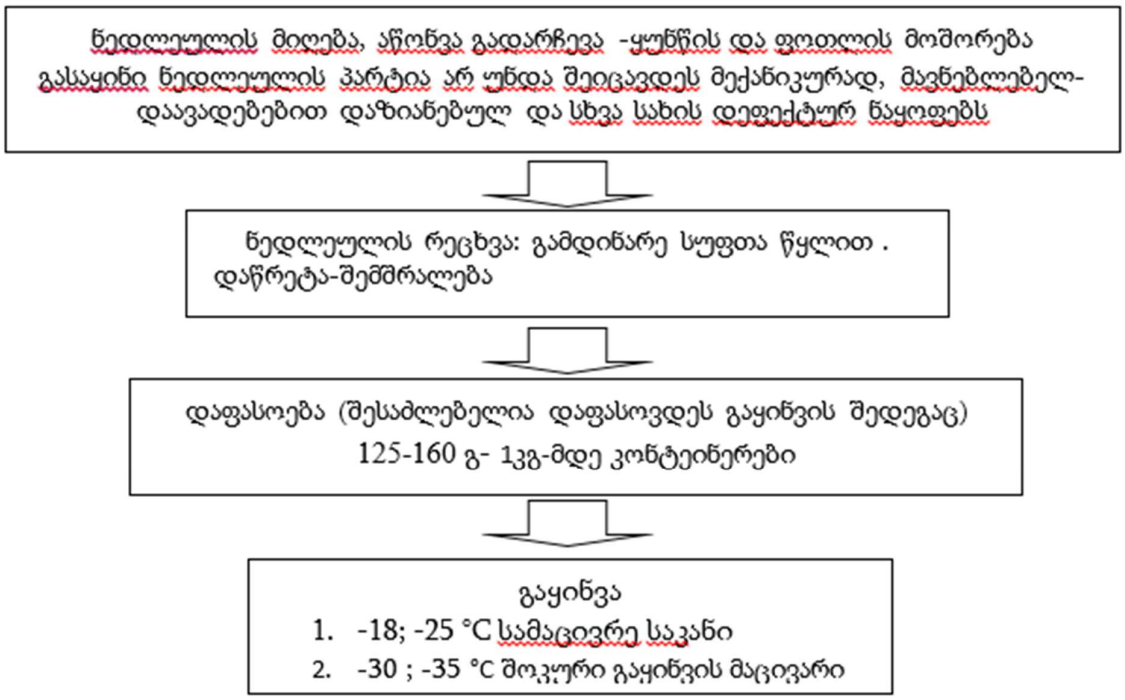
თუ ნედლეული განკუთვნილია სარეალიზაციოდ 1-2 დღეში საკმარისია მისი გაგრილება 8-10°C, 2-3 საათის განმავლობაში (აღების შემდეგ სწრაფად), ამ შემთხვევაში ტრანსპორტირება უნდა განხორციელდეს 10-15°C, ხოლო შენახვა 4-5°C.

სამაცივრო კამერებში კენკრის შენახვისას დროდადრო აუცილებელია ჰაერის გამოცვლა–განახლება, მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ გარედან შემოსული ჰაერის ტემპერატურა ხშირ შემთხვევაში მეტია ვიდრე სამაცივრო კამერაში მყოფი ჰაერის ტემპერატურა. სათავსოში

შემოსული ახალი ჰაერი კი უნდა გაცივდეს სამაცივრო კამერის ტემპერატურამდე. უფრო სასურველია ჟოლოს შენახვა **ფლუიდიზირებულ სწრაფგამყინავ** მოდიფიცირებულ აიროვან გარემოში, რომელიც ითვალისწინებს შენახვის შემდეგი რეჟიმის დაცვას: ჟოლოს წინასწარი გაგრილება 0-0,5°C ტემპერატურამდე ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა ა. ნ. 90%, $C0_2$ (ნახშირორჟანგი) შემცველობა საცავში უნდა იყოს 20-25% და 0_2 (ჟანგბადი) 8-10% . ამ რეჟიმით ნაყოფი ინახება 15-20 დღის განმავლობაში ინარჩუნებს ფერს, სიმკვრივეს და არ ფიქსირდება სოკოვანი დაავადებები {1,2,3,4,5]. მცენარეული პროდუქტის შენახვის ეს მეთოდი განსხვავდება დაბალ ტემპერატურაზე შენახვისგან იმით, რომ ეს არ არის ნაყოფის სრულად ცოცხლად შენახვის მეთოდი, თუმცა სასარგებლო ნივთიერებების დიდი უმრავლესობის შენარჩუნება ხდება. კენკროვნებისათვის რომელთა შენახვის ხანგრძლივობა იდეალურ პირობებშიც კი სულ რამდენიმე დღით განისაზღვრება, „ნედლად“ შენახვისთვის იდეალურ მეთოდად შეიძლება ჩაითვალოს [6,7,8,9,10].

როცა სითბო (ენერგია) გადადის მაღალი ტემპერატურული არედან დაბალზე, მაშინ იწარმოება მუშაობა და სრულდება პირდაპირი ციკლი. ხოლო როცა ენერგია გადადის დაბალი ტემპერატურული არედან მაღალზე, მაშინ ენერგია (მუშაობა) იხარჯება და სრულდება შექცევადი ციკლი. როდესაც კარნოს შექცევადი სამაცივრო ციკლის განსახორციელებლად იხარჯება სითბური ენერგია, მაშინ შესაბამის სამაცივრო მანქანებს ეწოდებათ **ფლუიდიზირებული მაცივრები**, 0°C-ზე ქვევით ტემპერატურის დაწევა გაყინვის დაწყებას იწვევს ჟოლოსათვის. ტემერატურის დაწევასთან ნაყოფის შიგნით ტემპერატურა კლებულობს, მაგრამ გარკვეულ წერტილს რომ მიაღწევს ტემპერატურა მაღლა იწევს განსაზღვრულ დონემდე და შემდეგ ისევ ეცემა, გარემო ტემპერატურის პარალელურად, ვინაიდან ტემპერატურის დაწევის გამო გამოიყოფა წყლის ყინულად ქცევის კუთრი სითბო რაც ტემპერატურას ერთ მომენტში მაღლა სწევს (გადამეტცივების ტემპერატურა) და შემდეგ ტემპერატურა ისევ დაბლა იწევს და წყალი იყინება, ჟოლოს გაყინვის წერტილი გარდა ამისა დამოკიდებულია ჯიშზე და ნაყოფის თვისებებზე: სიმწიფის ხარისხი, ქიმიური შემადგენლობა, უჯრედის წვენის კონცენტრაცია და სხვა. რაც მეტია ნაყოფში მშრალი ნივთიერების პროცენტული რაოდენობა და ნაკლებია წყალი, მით უფრო დაბალია მისი გაყინვის ტემპერატურა, მაგრამ ყველა შეთხვევაში ის 0°C-ზე ნაკლებია, ჟოლოს ძირითადი სახეობებისთვის მისი ნიშნული -1°C,-ის დაბლა ფარგლებშია. გაყინვით შენახვის პრაქტიკაში ნედლეულს ორი დანიშნულება შეიძლება ჰქონდეს: გაყინული ხილი როგორც უშუალო - მოხმარების პროდუქტი და გაყინული ხილი როგორც გადასამუშავებელი ნედლეული-ნახევარფაბრიკატი[11,12,13,14,15].მაცივარ კამერაში გაყინვის პროცესი შემდეგი ეტაპისაგან შედგება: 1. ტემპერატურის დაწევა +20°C ; 0°C მდე. 2. 0 °C –5°C მდე. 3. –5 °C; –18°C მდე . 4. –18°C ; –25°C. პროცესის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია გაცივების სისტემებზე, კამერის დატვირთვის ნორმებზე და სხვა[16,17,18,19].

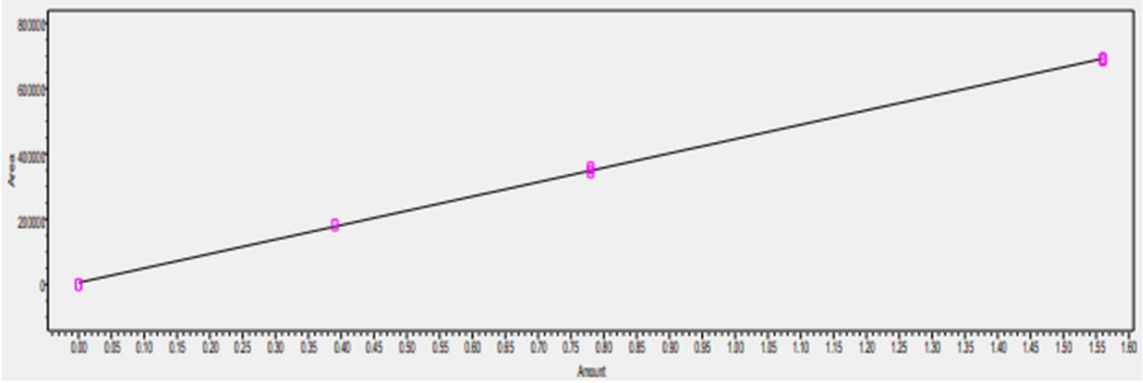
ჟოლოს გაყინვის ტექნოლოგიური სქემა



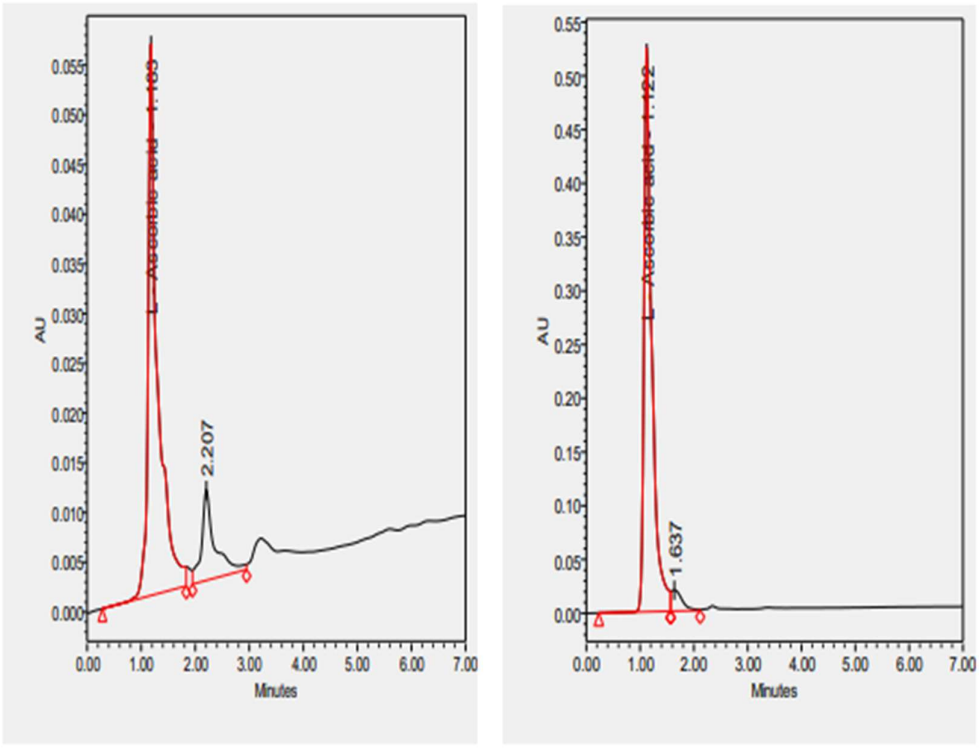
ჟოლოს ნაყოფის პოპულარობა გამოწვეულია მასში ბიოლიგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველობით, მათ შორის L–ასკორბინის მჟავას მაღალი კონცენტრაციით. ვიტამინ C-ს განსაზღვრას ვაწარმოებდით მაღალი წნევის სითხური ქრომატოგრაფირების მეთოდით. ამ ნაერთების დეტექტირება მიმდინარეობდა 254 ნმ-ზე. მოძრავ ფაზად გამოყენებულ იქნა 5% MeOH 5M H2SO4-ით, გამხსნელის სიჩქარე შეადგენდა 0,7 მლ/წთ-ში, ხოლო საკვლევი ნიმუშის რაოდენობა 20µl -ს. ქრომატოგრაფირებისათვის ნიმუშის მომზადება მიმდინარეობს სწრაფად, რადგანაც ადგილი არ ჰქონოდა საანალიზო ნიმუშში ვიტამინ C-ს დაჟანგვას. საერ- თო ვიტამინ C-ს განსაზღვრისათვის ქიმიურ ჭიქაში ვწონიდით საანალიზო ნიმუშის 1გ-ს, გადაგვქონდა ფაიფურის როდინში, სადაც ვამატებდით 2%-იანი მარილმჟავას 10 მლ-ს. ვსრესდით და ვაყოვნებდით 10-15 წუთით. ვიტამინ C-ს სტაბილიზაციისათვის ვამატებდით 2%-იან მეტაფოსფორმჟავას ან მჟაუნმჟავას. ფილტრატი გადაგვქონდა 25 მლ-იან მზომ კოლბაში და წყლით ვავსებდით ნიშანხაზამდე. ნიმუში მომზადების შემდეგ უმალვე ექვემდებარება ქრომატოგრაფირებას. როგორც ცნობილია, ვიტამინი C მცენარეულ ნედლეულში არსებობს ბმული და თავისუფალი სახით. Rubus-ის ნაყოფში ამ თანაფარდობის დასადგენად ვაწარმოეთ მათი ცალკეულად ქრომატოგრაფირება. კერძოდ, თავისუფალი სახით მყოფი ვიტამინ C-ს განსაზღვრისათვის მოვამზადეთ საანალიზო ნიმუშის წყლიანი გამონაწვლილი (1:25), რომლის ფილტრატი იყო უკვე ნიმუში თავისუფალი ფორმის რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის, ხოლო ბმულ მდგომარეობაში მყოფი ვიტამინ C- ს გამოწვლილვისათვის ფილტრის ქაღალდზე დარჩენილი ნიმუში გადაგვქონდა ფაიფურის როდინში, რომლის დამუშავებასაც ვაგრძელებდით ისე, როგორც საერთო ვიტამინ C-ს განსაზღვრისას. კერძოდ, ვამატებდით 2%-იანი მარილმჟავას 10 მლ-ს. ვსრესდით და ვაყოვნებდით 10-15 წუთით. სტაბილიზაციისათვის კი ვამატებდით 10 მლ 2%-იან მეტაფოსფორმჟავას ან მჟაუნმჟავას. ფილტრატი გადაგვქონდა 25 მლ- 124 იან მზომ კოლბაში

და წყლით ვავსებდით ნიშანხაზამდე. შემდეგ ვახდენდით მიღებული ხსნარების ცენტრიფუგირებას 2-3 წთ-ის განმავლობაში 3000-5000 ბრ/წთ- ში. სუპერნატანტს ვუშვებდით მემბრანულ ფილტრში (Acrodisc LC PVDF-Waters Corporation), (0,45მკმ), რაც ხელს უწყობდა ქრომატოგრაფიული სვეტის ექსპლუატაციის დროის გახანგრძლივებას. მწსქ დროს აღმოჩენილი იქნა კორელაცია ასკორბინის მჟავას რაოდენობრივ შემადგენლობასა და ქრომატოგრამაზე პიკის ფართობს შორის, რამაც საშუალება მოგვცა აგვეგო საკალიბრო მრუდი (სურათი 7.1.) და L-ასკორბინის მჟავას რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის გამოგვეყენებინა შემდეგი ფორმულა: X = a 0.019 fv სადაც:X-L–ასკორბინის მჟავას შემცველობა მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით მგ/გ . V- საანალიზო ექსტრაქტის საერთო მოცულობა მლ; a – ნიმუშის მასა გ; *ƒ* – ქრომატოგრამაზე L –ასკორბინის მჟავას ფართობი სმ 2 ; 0,019 - კორელაციის კოეფიციენტი პიკის ფართობსა და L –ასკორბინის მჟავას კონცენტრაციას შორის. სურათი 7.1. L –ასკორბინის მჟავას საკალიბრო მრუდი:

სურათი 7.1. L –ასკორბინის მჟავას საკალიბრო მრუდი Area 0 200000 400000 6



სურათი 7.7. Rubus saxatilis L.-ის წვენის საერთო ასკორბინის მჟავას ქრომატოგრამა ცხრილი 7.5. Rubus saxatilis L.-ის წვენის საერთო L - ასკორბინის მჟავას მწსქ დახასიათება Name Retention Time Area % Area 1. L - Ascorbic acid 1.195 1277410 78.82 ასკორბინის მჟავათი ასევე მდიდარია მაყვლის - Rubus caucasicus focke-ს ნაყოფი, მაგრამ ჟოლოსთან შედარებით მისი რაოდენობა ნაკლებია და შეადგენს 1,42 გ/კგ (საერთო ვიტამინი C). ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მაყვლისა და ჟოლოს ნაყოფი ხასიათდება სასიამოვნო არომატით. ამასთან ერთად, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ჟოლოსა და მაყვლის ნაყოფი მდიდარია ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთებით და ადამიანის დღიურ მოთხოვნას ნაწილობრივ უზრუნველყოფს. L - Ascorbic acid - 1.195 1.8212.305 3.311 AU 0.000 0.010 0.020 0.030 0.040 0.050 0.060 0.070 0.080 0.090 Minutes 0.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00 129 8. მაყვლის ნაყოფში რესვერატროლის კვლევა ბოლო დროს დიდი ყურადღება ეთმობა ხილსა და კვების პროდუქტებს შორის.



ი 7.2. ავთენთური თავისუფალი და ბმული L - ასკორბინის მჟავას ქრომატოგრამა

ცხრილი № Rubus saxatilis L.-ის ჭვენის საერთო L - ასკორბინის მჟავას მწსქ დახასიათება Name Retention Time Area % Area 1. L - Ascorbic acid 1.195 1277410 78.82 ასკორბინის მჟავათი (საერთო ვიტამინი C). ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, ჟოლოს ნაყოფი ხასიათდება სასიამოვნო არომატით. ამასთან ერთად, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ჟოლოსა და მაყვლის ნაყოფი მდიდარია ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთებით და ადამიანის დღიურ მოთხოვნას ნაწილობრივ უზრუნველყოფს.

დასკვნა

კვლევით დავადგინეთ, რომ ჟოლოს გაყინვის წერტილი დამოკიდებულია როგორც ჯიშზე, ასევე ნაყოფის თვისებებზე: სიმწიფის ხარისხი, ქიმიური შემადგენლობა, უჯრედის წვენის კონცენტრაცია და სხვა. რაც მეტია ნაყოფში მშრალი ნივთიერების პროცენტული რაოდენობა და ნაკლებია წყალი, მით უფრო დაბალია მისი გაყინვის ტემპერატურა, მაგრამ ყველა შეთხვევაში ის 0°C-ზე ნაკლებია, ჟოლოს ძირითადი სახეობებისთვის მისი ნიშნული -1°C,-ის დაბლა ფარგლებშია. გაყინვით შენახვის პრაქტიკაში ნედლეულს ორი დანიშნულება შეიძლება ჰქონდეს: გაყინული ხილი როგორც უშუალო-მოხმარების პროდუქტი და გაყინული ხილი როგორც გადასამუშავებელი ნედლეული-ნახევარფაბრიკატი. ფლუიდიზირებულ აპარატებში -მაცივარ კამერაში გაყინვის პროცესი შემდეგი ეტაპისაგან შედგება: 1. ტემპერატურის დაწევა +20°C ; 0°C მდე. 2. 0 °C –5°C მდე. 3. –5 °C; –18°C მდე . 4. –18°C ; –25°C. პროცესის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია გაცივების სისტემებზე, კამერის დატვირთვის ნორმებზე და სხვა. დადგენილი იქნა რომ რემონტატული ჟოლოს ნაყოფების გაყინვა

ფლუიდიზირებულ დანადგარებში უფრო მნიშვნელოვანი და ხელსაყრელია, რადგანაც ნარჩუნდება ვიტამინ L - Ascorbic acid თავდაპირველი რაოდენობა.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Frozen Food Technology, edited by C.P. Mallett, Blackie Academic & Professional, pp. 339. ANON., 1997.

2.Handbook of Food Preservation, edited by M.S. Rahman, Marcel Dekker, Inc., pp. 809. ANON., 2000.

3.მიქაბერიძე მ. კვების საწარმოების პროცესები და აპარატები. დამხმარე სახელმძღვანელო. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი. 2011 წ. 270 გვ.

4.მიქაბერიძე მ. მასათაცვლის პროცესები კვების მრეწველობაში. დამხმარე სახელმძღვანელო. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი. 2011 წ. 108 გვ.

5. მიქაბერიძე მ. საკვები პროდუქტების და ნედლეულის ძირითადი თვისებები. მეთოდური მითითება საგანში: "კვების საწარმოების პროცესები და აპარატები" და "ს/კ ნედლეულის გადამამუშავებელ საწარმოთა ტექნოლოგიური მოწყობილობა". აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი. 2012 წ. 50გვ

6.მიქაბერიძე მ. კვების საწარმოებში ნაყარი, თხევადი და გაზობრივი მასალების შიგა საწარმოო სატრანსპორტო მოწყობილობანი. მეთოდური სახელმძღვანელო. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი. 2012. 76 გვ.

7.მიქაბერიძე მ. კვების საწარმოების ზოგიერთი მანქანა-აპარატურული სისტემის გაანგარიშება-შერჩევა. მეთოდური სახელმძღვანელო. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი. 2012 წ. 100 გვ.

8.მიქაბერიძე მ. ხილ-ბოსტნეულის სამაცივრო ტექნიკა–ტექნოლოგია. დამხმარე სახელმძღვანელო.Aაკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი.2013. 216 გვ.

9. ჩავლეიშვილი ა. სოფლის მეურნეობის პროდუქტთა შენახვისა და გადამუშავების ტექნოლოგია. გამომცემლობა „განათლება". თბილისი, 1988, 508გვ.

10. Kavetskiy G., Vasiliev B. Processes and apparatuses of food technology, Moscow "Kolos", 2000, p. 551.

11. Pigarev V. Arkhipov P. Refrigerating machines and air conditioning units. Publishing house "Marshrut". Moscow. 2003, p.423.

12. Gorev S. Automation of refrigeration units and control equipment. Lecture course. Publishing house KSTU. Petrozavodsk-Kamchatsky. 2008, p.116.

13. Krzhimovsky V.E., Skripkin V.V., Filyunin G.I. Domestically built refrigeration sections. Moscow: Transport, 1983. — 184 p.

14. Kurylev E.S., Gerasimov N.A. Refrigeration units. 2nd edition, add. L.; Mechanical Engineering, 1970. — 672 p.

15. Langley B.K. Refrigeration Engineering and Air Conditioning. Moscow: Light and Food Industry, 1981. — 480 p.

16. Installation and Operation Manual: Air Conditioning Unit for UKV-31 Passenger Cars. Moscow:

Transport, 2000. 400 p.
17. Heat Exchangers of Heat Exchange Units / G.N. Danilova, S.N. Bogdanov, O.P. Ivanov et al.; Ed. by G.N. Danilova. Leningrad: Mechanical Engineering, 1986. - 303 p.
18. Guide to Calculating the Heat Balance of Cold Storage Chambers and Selecting the Main Design Parameters of Refrigeration Units. JSC OSTROV. Moscow. 2003, p. 60.
19. Obolensky N. V., Zhuravlev A. P., Denisyuk E. A. Practical training in refrigeration and ventilation equipment: Textbook for universities. Publishing house Kolos, 2007, p. 305

Application of new freezing technologies for introduced, repaired raspberry (Rubus idaeus) in Western Georgia

Inga. Gaprindashvili*; Narguli. Asanidze; Mamuka. Turmanidze; Khatuna. Gamkrelidze; Tamila. Ardemanashvili

Batumi Shota Rustaveli State University, Ninoshvili St. N 35, Batumi, 6010, Georgia,

Abstract

In almost every region of Georgia there are agricultural areas with favorable agro-climatic conditions for growing raspberries (Rubus idaeus). Although raspberries are not currently grown in large quantities in Georgia, there is great potential for expanding the production of this crop. Those farmers who can ensure a stable supply of high-quality raspberries have good sales opportunities both within the country and abroad. Raspberries are a perishable fruit, therefore it is necessary to use a new freezing technology for its storage, which is implemented by fluidized bed quick-freezing machines. These devices are characterized by minimal drying, preservation of product quality and fast freezing. The aim of the study is to determine the advantages of these devices over other refrigeration equipment. The product frozen in this way is well priced and can be stored without spoilage. We have stored raspberries in such devices, where the optimal temperature for raspberry storage is -1 - 0 °C (30 - 32 °F), and > 90% humidity conditions. The following air regulation regime is acceptable for raspberries: 10-20% CO2 + 5-10%O2. In this way, the original quantitative content of biologically active substances, appearance and taste properties are preserved in frozen raspberries. As Georgia strives to join the European Union, the production of safe and standardized, controlled products becomes more relevant.

Keywords: raspberry (Rubus ideaus L.), fluidized bed blast freezer, HACCP.

Georgian Scientists
ქართველი მეცნიერები
Vol. 7 Issue 2, 2025
https://doi.org/10.52340/gs.2025.07.02.71



გამხსნელის ბუნების გავლენის კვლევა პოლიეთერსულფონური მემბრანის წარმადობაზე

გიორგი ბიბილეიშვილი[1], მზია კეჟერაშვილი[2], ნანა გოგესაშვილი[3], ლიანა ყუფარაძე[4], ელენე კაკაბაძე[5]

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

[1]დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი-e-mail:75bibileishvili@gmai.com ORSID ID:http:/orsid/0009-0003-7712-2436; [2]დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი-e-mail: kezherashvilimzia@gmai.com ORSID ID:http:/orsid/0009-0001-9491-7949

რეზიუმე

შესწავლილია გამხსნელების დიმეთილფორმამიდის (DMF), დიმეთილაცეტამიდის (DMAc), დიმეთილსულფოქსიდის (DMSO) გავლენა პოლიეთერსულფონის (PES 5900) ბაზაზე დამზადებული მემბრანების მორფოლოგიასა და ხვედრით წარმადობაზე. ფორწარმომქმნელ აგენტად გამოყენებული იქნა პოლივინილპიროლიდონი (PVP), რომელიც ამაღლებს მემბრანის ჰიდროფილურობას და მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა მიღებული პოლიმერული მემბრანის სხვადასხვა თვისების რეგულირებაში. ნაჩვენები იქნა, რომ განსხვავებული ზედაპირის სტრუქტურისა და ხვედრითი წარმადობის მქონე მემბრანები, რაც დამოკიდებულია შერჩეული გამხსნელების ფიზიკურ-ქიმიური ბუნებაზე, პოლიმერს, გამხსნელს და არაგამხსნელს შორის ხსნადობის პარამეტრების სხვაობით. კოაგულაციის პროცესში, DMSO-ს დაბალი აფინურობა PES-ის მიმართ და მაღალი აფინურობა წყლის მიმართ განაპირობებს გამხსნელსა და არაგამხსნელს შორის ურთიერთქმედების გაძლიერებას და უზრუნველყოფს ფაზური ინვერსიის პროცესში კოაგულაციის ოპტიმალურ სიჩქარეს. მიღებული იქნა მიკროფილტრაციული მემბრანები 0,24-0,9 მკმ ფორის ზომის დიაპაზონში, რომელთა ტესტირება ტარდებოდა ინსტიტუტში შექმნილ ლაბორატორიულ დანადგარზე. გამხსნელად DMSO-ის გამოყენების შემთხვევაში, მიიღება მაღალი წარმადობის მემბრანები (2184ლ/მ სთ), რომელიც 47.16% და 44.13%-ით აღემატება შესაბამისად PES/DMF/წყალი და PES/DMAc/წყალი სისტემიდან მიღებული მემბრანების წარმადობას. PES გახსნის პროცესის მონიტორინგი ხორციელდებოდა პოლარიზაციულ-ინტერფერენციული მიკროსკოპით (Biolar). ხსნარებში ნაწილაკების ზომა, კონცენტრაცია და დისპერსიულობის ინდექსი შესწავლილი იქნა სინათლის გაბნევის დინამიური მეთოდით (Zetasizer Nano Zen3690, Malvern Instruments), მემბრანების სტრუქტურა და მორფოლოგია მასკანირებელი ზონდური (ტუნელური) მიკროსკოპით (Certus Standard V, Nano Can Technologies).

საკვანძო სიტყვები: მემბრანები, გამხსნელები, წყალი, მიკროფილტრაცია, ფაზური ინვერსია.

შესავალი სუფთა სასმელი წყლის ნაკლებობასთან დაკავშირებული ძირითადი პრობლემების გადასაჭრელად, ეკოლოგიური ბალანსის და ეკონომიკის სტაბილური ზრდის შესანარჩუნებლად საჭიროა წყლის რესურსების სწორი მენეჯმენტი და მდგრადი მართვა. ამ მიმართულებით სულ უფრო მზარდ მნიშვნელობას იძენს წყლის დამუშავების მემბრანული დაყოფის პროცესები და ტექნოლოგიები, სადაც პრიორიტეტი ენიჭება კვლევებს შემდეგი ძირითადი მიმართულებით: დაბალი დაბინძურების მემბრანების შემუშავება, მემბრანის ხვედრითი წარმადობის, სელექტიურობის გაუმჯობესება, მემბრანის მომსახურების ხანგრძლივობის გაზრდა, ენერგიის მოხმარებისა და ქიმიკატების გამოყენების შემცირება [1-3]. მემბრანული ფილტრაციის პროცესებს აქვთ გამოყენების ფართო სპექტრი როგორც სამრეწველო, ისე კომერციული გამოყენების თვალსაზრისით სხვადასხვა წარმოშობის ბუნებრივი წყლების გასუფთავების, გაუსნებოვანების და რეგენერაციისათვის საკვები პროდუქტების, სასმელების წარმოებაში, ფარმაცევტულ მრეწველობაში, სამრეწველო ნარჩენების დამუშავების პროცესებში [4-5]. პოლიეთერსულფონის (PES) ბაზაზე დამზადებულ მემბრანებს გააჩნიათ მაღალი თერმული, ქიმიური სტაბილურობა და დაბალი ჰიდროფილურობა, რაც ზღუდავს PES მემბრანების ფართოდ გამოყენებას. ამიტომ აქტუალურია კვლევები, რომლებიც მიმართულია მემბრანების წარმადობის, მორფოლოგიის, ჰიდროფილურობის, საექსპლოატაციო ვადების გასაუმჯობესებლად, რაც უზრუნველყოფს მათი გამოყენების არეალის გაფართოებას წყალხსნარებისა და მათ ბაზაზე დამზადებული პროდუქტებისთვის [6-11].

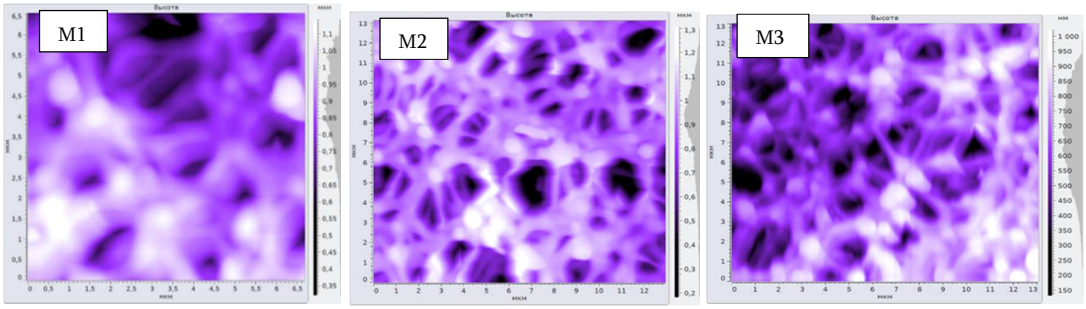
სამუშაოს მიზანი და ანალიზი კვლევაში შესწავლილია გამხსნელების DMF, DMAc, DMSO გავლენა პოლიეთერსულფონის- PES5900 ბაზაზე მიღებული მემბრანების ფორის ზომებსა და ხვ. წარმადობაზე. PES/DMF, PES/DMAc და PES/DMSO სისტემებიდან მემბრანები იწარმოებოდა ფაზური ინვერსიის სველი მეთოდით, რომელიც პოლიმერული მემბრანების ფორიანობის, ფორების ზომისა და ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების რეგულირების საშუალებას იძლევა. მემბრანის მისაღები პოლიმერული კომპოზიციის შედგენილობა მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. პოლიმერული კომპოზიციის შედგენილობა

	მემბრანა	PES (wt.%)	DMF (wt.%)	DMAc (wt.%)	DMSO (wt.%)	PVP40 (wt.%)
M1	PES/DMF	15	85	-	-	-
M2	PES/DMAc	15	-	85	-	-
M3	PES/DMSO	15	-	-	85	-
M4	PES/DMF/PVP40	15	-	-	82	3
M5	PES-DMSO-PVP40	15	-	-	82	-
M6	PES/DMAc/PVP40	15	82	-	-	3

პოლიმერის გახსნის პროცესის მონიტორინგი ხორციელდებოდა სინათლის გაბნევის დინამიური მეთოდით, რომლის შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ ხსნარებში ნაწილაკების ზომები და დისპერსიულობის ინდექსი ძირითადად დამოკიდებულია გამხსნელის ბუნებაზე, ხსნარების მომზადების ტემპერატურასა და კონცენტრაციაზე.

მიღებული მემბრანების ზედაპირები შესწავლილი იქნა მასკანირებელი ზონდური (ტუნელური) მიკროსკოპით. მემბრანის ზედაპირების შესწავლამ აჩვენა (სურათი 1), რომ მიღებული მემბრანებს ზედაპირის განსხვავებული სტრუქტურა და ფორიანობა გააჩნია. PES/DMSO(M3) მემბრანის ზედაპირის ფორიანობა მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე PES/DMF(M1) და PES/DMAc(M2) მემბრანების.



სურათი 1. PES/DMF (M1), PES/DMAc (M2), PES/DSO(M3) მემბრანების 2D მიკროფოტოგრაფიული სურათები

ცლილებები მემბრანის მორფოლოგიაში შესაძლებელია აიხსნას პოლიმერის, გამხსნელის და არაგამხსნელის ხსნადობის სხვადასხვა პარამეტრით(δ), რომელიც მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს ფაზური ინვერსიის სველი მეთოდით მემბრანების მიღების პროცესში.

ცხრილი 2. ხსნადობის პარამეტრები

გამხსნელი (S)/არაგამხსნელი (NS)/პოლიმერი(P)	δ t/MPa$^{1/2}$
დიმეთილაცეტამიდი (S)	22.77
დიმეთილფორმამიდი (S)	24.86
დიმეთილსულფოქსიდი(S)	26.7
წყალი (NS)	47.8
პოლიეთერსულფონი (P)	24.20
პოლივინილპიროლიდონი	32,54

δP-S მცირე სხვაობა გამხსნელსა და პოლიმერს δP-S შორის მიუთითებს მათ შორის ძლიერ ურთიერთქმედებაზე და მაღალ თერმოდინამიკურ სტაბილურობაზე. ურთიერთქმედება

PES/DMF შორის უფრო ძლიერია, ვიდრე DMAc-თან და DMSO-თან, რაც მიუთითებს, რომ DMF უკეთესი გამხსნელია PES-ისთვის. რადგან ასევე დაბალია δS-NS (გამხსნელი-არაგამხსნელი) მნიშვნელობა, შესაბამისად DMSO/წყალი ურთიერთქმედება უფრო ძლიერია, ვიდრე DMF/წყალი და DMAc/წყალი. კოაგულაციის პროცესში DMSO-ს დაბალი მიდრეკილება PES-თან და მაღალი წყლის მიმართ იწვევს პროცესის ოპტიმალურ სიჩქარეს გამხსნელსა და არაგამხსნელს შორის ურთიერთქმედების გაძლიერების გამო. DMSO გამხსნელად გამოყენების შემთხვევაში მიიღება უფრო მაღალი ფორიანობისა და წარმადობის მემბრანები, ვიდრე DMF-ისა და DMAc-ის შემთხვევაში (ცხრილი 3). მემბრანის ხვედრითი წარმადობა განსაზღვრული იქნა 20 ტემპერატურის და 1 ბარი წნევის პირობებში. PES/DMSO (M3) მემბრანის ხვ. წარმადობა 47.16%-ით და 44.13%-ით მაღალია შესაბამისად PES/DMF, PES/DMAc სისტემიდან მიღებულ მემბრანების წარმადობაზე. ეს შედეგები დადასტურებულია მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპის ანალიზით, რომლის მიხედვითაც M3 მემბრანას გააჩნია მაღალი ფორიანობა (სურათი 1)

ცხრილი 3. მემბრანების ფორის ზომები და ხვ. წარმადობა

მემბრანის კოდი	მემბრანები	ფორის ზომა mμ	ხვ. წარმადობა $\boldsymbol{L/m^2\,h}$
M1	PES/DMF	0,58	1030
M2	PES/DMAc	0,61	964
M3	PES/DMSO/	0,56	2184
M4	PES/DMF/PVP40	0,9	1272
M5	PES/DMAc/PVP40	0,38	858
M6	PES/DMSO/PVP40	0,24	1560

მემბრანის კომპოზიციაში დანამატად PVP-ის გამოყენების დროს მიღებულ მემბრანებს აქვთ უფრო დიდი ზომის ფორები, ვიდრე უდანამატო მემბრანებს (ცხრილი 3). ეს აიხსნება იმით, რომ PVP-ის δt უფრო ახლოს არის წყლის δt მნიშვნელობასთან, ვიდრე PES-ის δt წყალთან, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ PVP-ს აქვს უფრო მაღალი აფინურობა წყლის მიმართ, მოქმედებს როგორც ფორების წარმომქმნელი და წარმოქმნის დიდი რაოდენობით ფორებს მემბრანაში.

შედეგი და დასკვნა მემბრანული პროცესის ეფექტურობის გაუმჯობესება ეკონომიური და ეკოლოგიურად სუფთა წყლის მისაღებად შემუშავდა და დამზადდა მიკროფილტრაციული მემბრანები, რომელთა ფორიანობის და წარმადობის გაზრდა განხორციელდა პოლარული აპროტონული გამხსნელებით, რომლებიც ახდენენ მემბრანების სტრუქტურის მოდიფიცირებას. პოლარული გამხსნელების საშუალებით განხორციელდა ფაზური

ინვერსიის პროცესის სიჩქარის კონტროლი ფორების თანამიმდევრობით განაწილებისათვის, რამაც ფილტრაციის ეფექტურობის მნიშვნელოვანი ზრდა გამოიწვია.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. P. D. Amin, V. Bhanushali, S. Joshi: Role of Polyvinlyppyrrolidone in Membrane Technologies," International Journal of ChemTech Research, vol. 11, no. 9, pp. 247–259, (2018).

2. Sophie Cerneauxa, Izabela Struzynska, Wojciech M. Kujawski, Michel Persina, André Larbot: Comparison of various membrane distillation methods for desalination using hydrophobic ceramic membranes, Journal of Membrane Science, 337, 55–60, (2009)

3. K. Elsaid, E.T.Sayed, M.A.Abdelkareem, M.S. Mahmoud, M.Ramadan: Environmental impact of emerging desalination technologies: A preliminary evaluation. J. Environ. Chem. Eng**. 8** (2020).

4. B.Keskin, T.Ormancı-Acar, T.Türken, D.Y. Imer, I. Koyuncu: Effect of wetting agent on the dye filtration performance of ultrafiltration membrane. Water Sci. Technol., (82) 577-586 (2020).

5. X. Wei, Z. Wang, J. Wang, and S. Wang, "A novel method of surface modification to polysulfone ultrafiltration membrane by preadsorption of citric acid or sodium bisulfite," vol. 3, no. 1, pp. 35–49, 2012.

6. W. Sun, J. Liu, H. Chu, and B. Dong: Pretreatment and membrane hydrophilic modification to reduce membrane fouling, Membranes (Basel), **3**, (3), 226–241, (2013).

7. G. BIBILEISHVILI, M. KEZHERASHVILI, N. GOGESASHVILI, L. KUPARADZE: Effect of the Temperature of the Non-Solvent on the Morphology of the Polymeric Membrane. European Journal of Scientific Research (EJSR), 161 (1), 5 (2022).

8. G. V. BIBILEISHVILI, M.G. KEZHERASHVILI, M.A. MAMULASHVILI: Effect of Different Solvent and Fore-Forming Agent on Morphology and Performance of Polyethersulfone Membranes. Oxidation Communications,Vol. 47, No 3, (2024).

9. A. K Holda, F. J. Vankelecom, Understanding and guiding the phase inversion process for synthesis of solvent resistant nano filtration membranes J. APPL. POLYM. Sci. 2015, 442,1-17

10. A. Abdelrasoul, H. Doan, A. Lohi, C.H. Cheng, Morphology control of polysulfone membrane sinfiltration processes: A critical review, ChemBioeng Rev., 2, 22–43, (2015)

11.G.BIBILEISHVILI, M.KEZHERASHVILI, N.GOGESASHVILI, L.KUPARADZE: Influence of Some Factors on Characteristics of Poly-m-phenylene-isophthalamide Membranes-Preparation and Examination of Polyamide Membranes. Oxidation Communications, 45 (2), 300 (2022).

Study of the influence of the nature of the solvent on the performance of polyethersulfone membranes

Georgi Bibileishvili[1], Mzia Kezherashvili[2], Nana Gogesashvili[3], Liana Kuparadze[4], Elene kakabadze[5]

Engineering Institute of Membrane Technologies of Georgian Technical University

Abstract

The influence of solvents dimethylformamide (DMF), dimethylacetamide (DMAc), dimethyl sulfoxide (DMSO) on the morphology and specific productivity of membranes made on the basis of polyethersulfone (PES 5900) was studied. Polyvinylpyrrolidone (PVP) is used as a pore-forming agent, which increases the hydrophilicity of the membrane and plays an important role in regulating various properties of the resulting polymer membrane. It is shown that membranes with different surface structure and specific productivity depending on the physicochemical nature of the selected solvents, the difference in the solubility parameters of the polymer, solvent and non-solvent. During the coagulation process, the low affinity of DMSO for PES and the high affinity for water lead to increased interaction between the solvent and non-solvent and ensure an optimal coagulation rate during the phase inversion process. Microfiltration membranes in the pore size range of 0.24-0.9 μm were obtained and tested on a laboratory setup created at the institute. In the case of using DMSO as a solvent, high-performance membranes (2184 l/m^2 h) were obtained, which is 47.16% and 44.13% higher than the productivity of membranes obtained from PES/DMF/water and PES/DMAc/water systems, respectively. The process of PES dissolution was monitored using a polarization interference microscope (Biolar). The particle size, concentration and dispersion index in solutions were studied by dynamic light scattering (Zetasizer Nano Zen3690, Malvern Instruments), the structure and morphology of the membranes were studied by scanning probe (tunneling) microscopy (Certus Standard V, Nano Can Technologies).

Key words: membranes, solvents, water, microfiltration, phase inversion