



## ელექტრომაგნიტური დაბინძურების წყაროები, ეფექტები, უსაფრთხოების ზომები თამარ ნოზაძე [ORCID](#), გიორგი ღვედაშვილი [ORCID](#)

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ელექტრული და ელექტრონული ინჟინერიის დეპარტამენტი

[Tamar.nozadze@tsu.ge](mailto:Tamar.nozadze@tsu.ge), [Giorgi.ghvedashvili@tsu.ge](mailto:Giorgi.ghvedashvili@tsu.ge)

### აბსტრაქტი

ტექნოლოგიების განვითარებამ განაპირობა გარემოში ელექტრომაგნიტური ველის ფონის ზრდა. ელექტრომაგნიტური ველები ყოველთვის იყო ჩვენს გარშემო, რომელიც გამოსხივდება ემ ბუნებრივი წყაროებიდან, რომელსაც მიეკუთვნება ვარსკვლავები, მზე და სხვ. თუმცა ემ ველის წყაროებია ასევე ელექტრონული მოწყობილობები, რომელთა მიერ გამოსხივებული ველები ბუნებრივ ემ ფონს აბინძურებენ (ემ დაბინძურება). ემ დაბინძურების პრობლემა არის მნიშვნელოვანი პრობლემა, რომელსაც ადამიანები აწყდებიან განსაკუთრებით უკანასკნელი წლების განმავლობაში.

უკაბელო საკომუნიკაციო მოწყობილობების მზარდი გამოყენების გამო და შესაბამისად საბაზო სადგურების რაოდენობის ზრდის გამო, აქტუალურია საკითხი მათ მიერ გამოსხივებული ემ ველების ადამიანზე ზემოქმედებით გამოწვეული ბიოლოგიური ეფექტების შესახებ. განსაკუთრებით საყურადღებო ჯგუფია ბავშვები და სუსტი ჯანმრთელობის მქონე ადამიანები. დღეისათვის არც ერთი ემ ზემოქმედებისაგან დაცვის გაიდლაინი, რომელიც საერთაშორისოდ აღიარებულია, არ ითვალისწინებს სხვა ცოცხალ ორგანიზმებზე ზემოქმედებას, გარდა ადამიანისა. თუმცა ემ ველების ზემოქმედება ფლორაზე და ფაუნაზე მნიშვნელოვანია. როგორც ცნობილია, ემ ველები, რომელიც გამოსხივდება საკომუნიკაციო მოწყობილობების მიერ დაკლასიფიცირდა, როგორც შესაძლო კანცეროგენი ადამიანისათვის. რაც გულისხმობს, რომ იგი შეიძლება იყოს მიზეზი გარკვეული კიბოს ეფექტების ადამიანში. არსებობს უსაფრთხოების რეკომენდაციები ემ ველების მავნე ზემოქმედებისაგან თავის დასაცავად, თუმცა მცირე რაოდენობით ადამიანი თუ ითვალისწინებს მას. ემ ველები უხილავია ადამიანის თვალისათვის, ამიტომ ადამიანები ვერ აღიქვამენ მას როგორც პოტენციურ საფრთხეს. აღსანიშნავია, რომ რთულია სრულად ავირიდოთ თავიდან ემ ველის ზემოქმედება, თუმცა მისი შენარჩუნება ზღვრულ მნიშვნელობებს ქვემოთ აგვარიდებს ჯანმრთელობის შესაძლო პრობლემებს. მიუხედავად უამრავი არსებული კვლევისა ამ მიმართულებით, დასმული საკითხი ჯერ კიდევ არ არის სრულად შესწავლილი ტექნოლოგიების სწრაფი განვითარების გამო. ამიტომ კვლევების გაგრძელება დასმულ პრობლემატიკაზე ძალზედ მნიშვნელოვანია.

განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით: გრანტის ნომერი YS-23-131

საკვანძო სიტყვები: ემ ველები, ემ დაბინძურება, ემ უსაფრთხოება

### შესავალი

ამჟამინდელი ტექნოლოგიები იქცა ყოვლისმომცველი ელექტრომაგნიტური დაბინძურების წყაროდ წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ველებით და შედეგად მიღებული ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით [1]. ხშირ შემთხვევაში, ეს დაბინძურება ბევრად უფრო ძლიერია, ვიდრე ელექტრომაგნიტური ველის ან გამოსხივების ნებისმიერი ბუნებრივი წყარო. უსადენო და რადიო კომუნიკაცია, ელექტროგადამცემი ან ყოველდღიური მოხმარების მოწყობილობები, როგორცაა სმარტფონები, ტაბლეტები და პორტატული კომპიუტერები, არიან ემ ველის წყაროები და ზრდიან ელექტრომაგნიტური დაბინძურების ფონს გარემოში. ამ დაბინძურებით გამოწვეული ზიანი ჯერ კიდევ კითხვის ნიშნის ქვეშ დგას, რადგან არ არსებობს ადამიანზე მისი უარყოფითი გავლენის მკაფიო და საბოლოო მტკიცებულება. ეს იმისდა მიუხედავად, რომ ელექტრომაგნიტური ველები იყო კლასიფიცირებული, როგორც პოტენციურად კანცეროგენი ადამიანისათვის [1]. ამ მიზეზების გამო, ბოლო ათწლეულებში მნიშვნელოვანი ზრდა შეინიშნება სამეცნიერო კვლევებში ელექტრომაგნიტური ველების და/ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ცოცხალ ორგანიზმებზე ზეგავლენის შესწავლის კუთხით.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, როგორც ელექტრომაგნიტური დაბინძურება, გავლენას ახდენს გარემოს სხვადასხვა ელემენტებზე. ამ გარემოს ელემენტებს შორის ყველა ცოცხალი ორგანიზმების უსაფრთხოება უპირველესი უნდა იყოს. ამიტომ ძალზე მნიშვნელოვანი ხდება ელექტრომაგნიტური დაბინძურების ბუნებისა და მასთან დაკავშირებული გვერდითი ეფექტების სათანადოდ განსაზღვრა და მისი ზემოქმედების შესწავლა ცოცხალ ორგანიზმებზე. ყოველდღიურად ცოცხალი ორგანიზმები არიან სხვადასხვა სახის ელექტრომაგნიტური დაბინძურების ზემოქმედების ქვეშ, რომელიც შეიძლება დახასიათდეს მათი ფიზიკური პარამეტრებით, როგორცაა ტიპი (ელექტრული, მაგნიტური, ელექტრომაგნიტური), სიხშირე და ინტენსივობა/ძალა. ელექტრული მოწყობილობები, როგორცაა სმარტფონები, ტაბლეტები, მიკროტალღური ღუმელები, რადიო და ტელევიზია, ასხივებენ დაბალი ინტენსივობის ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას 300 MHz-დან 300 GHz-მდე სიხშირულ დიაპაზონში, რაც შეიძლება დაკავშირებული იყოს მიკროტალღებთან. მეორეს მხრივ, ელექტროგადამცემი ხაზები და ელექტრული მოწყობილობები არის ელექტრომაგნიტური ველების ძლიერი წყაროები და გაცილებით დაბალი სიხშირის, მაგრამ ბევრად უფრო მაღალი ინტენსივობის გამოსხივება [1].

არამაიონებელი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროები შეიძლება კლასიფიცირდეს როგორც [1-2]:

- i. რადიოსიხშირული ველები (RF ველები),
- ii. შუალედური სიხშირის ველები (IF ველები),

- iii. უკიდურესად დაბალი სიხშირის ველები (ELF ველები),
- iv. სტატიკური ველები.

უნდა გვესმოდეს, რომ სხვადასხვა ტიპის ელექტრომაგნიტური ველი და/ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივება პასუხისმგებელია სხვადასხვა ტიპის ეფექტებზე, რომლებიც შეიძლება გამოვლინდეს ამ გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად ცოცხალ ორგანიზმზე.

მაგალითად, მაღალი ენერჯის მიკროტალღური გამოსხივება 300 MHz-დან 300 GHz-მდე სიხშირულ დიაპაზონში, შეიძლება იყოს კანცეროგენული და გამოიწვიოს თერმული ეფექტები, გაზარდოს ცოცხალ ორგანიზმებში ტემპერატურა. ძალზე მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროები, რომლებიც ხასიათდება 300 გჰც-ზე დაბალი ველის სიხშირით, შეიძლება ასოცირებული იყოს გამოსხივების არამაიონებელ ტიპთან [1-3].

მკვლევარების მოსაზრებები ცოცხალ ორგანიზმებზე ელექტრომაგნიტური დაბინძურების გავლენის შესახებ იყოფა. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ადრე ჩატარებულმა კვლევებმა ძალიან ორაზროვნად მიუთითა ელექტრომაგნიტური ველების და/ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივების უარყოფითი ან დადებითი, ან ზოგჯერ ნეიტრალური გავლენა. 1980 წლიდან 2002 წლამდე გამოქვეყნდა 200-ზე მეტი ეპიდემიოლოგიური კვლევა ადამიანებზე ელექტროგადამცემი ხაზების მიერ წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების შესახებ. მათგან დაახლოებით 60%-მა მიუთითა ამ ველების უარყოფით ეფექტებზე, ხოლო დანარჩენმა 40%-მა აღნიშნა, რომ თვალსაჩინო არ იყო მცირე ან უფრო დიდი უარყოფითი ეფექტი [3, 4].

ამ მიზეზების გამო ბოლო ათწლეულებში მნიშვნელოვანი ზრდა შეინიშნება სამეცნიერო კვლევითი კუთხით, რათა შევისწავლოთ ელექტრომაგნიტური ველების და/ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ზეგავლენა ცოცხალ ორგანიზმებზე. ელექტრომაგნიტური დაბინძურების პოტენციურად მავნე ზემოქმედების საგანგაშო ანგარიშებმა მიიპყრო ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის (WHO) ყურადღება, რომელმაც 2007 წელს წარმოადგინა საერთაშორისო კვლევითი პროგრამის შემაჯამებელი ანგარიში სახელწოდებით *ელექტრომაგნიტური ველები* [5]. ამ პროგრამის ფარგლებში შეისწავლეს 1100-ზე მეტი სხვადასხვა სამეცნიერო პუბლიკაცია და კვლევის ანგარიში. მოხსენების განყოფილებაში, რომელიც ეძღვნება დაბალი სიხშირის მაგნიტური ველების 50Hz და 60Hz ეფექტებს, ნათქვამია, რომ არ არსებობს მყარი საფუძველი ამ ველების გრძელვადიანი ზემოქმედების მიმდინარე ზღვრული მნიშვნელობების გამკაცრებისთვის; თუმცა, სიფრთხილეს რეკომენდებული [5]. 2011 წლის მაისში, ლიონში, საფრანგეთი, კიბოს კვლევის საერთაშორისო სააგენტომ (IARC) და ჯანმო-მ დააკლასიფიცირეს რადიო სიხშირეების ელექტრომაგნიტური ველები, როგორც ტვინის ავთვისებიანი კიბოს, *გლიომის* განვითარების შესაძლო რისკის გაზრდის მიზეზად, რომელიც ძირითადად დაკავშირებულია მობილურ ტელეფონებთან [6].

ბავშვთა ნერვული სისტემა უფრო დაუცველია ელექტრომაგნიტური ტალღების ზემოქმედების მიმართ, ვიდრე მოზრდილების. მიუხედავად იმისა, რომ ბავშვთა ჯანმრთელობაზე ემ ველების ზემოქმედების შესახებ კვლევებით არ არის მკაცრად დადგენილი უარყოფითი ეფექტები, ბავშვებისთვის სიფრთხილის ზომები უნდა იყოს დაცული და ბავშვებში ემ ველების ზემოქმედება მინიმუმამდე უნდა შემცირდეს. ის ფაქტი, რომ ემ ველები შესაძლოა კანცეროგენური იყოს IARC-ის მიხედვით, არ უნდა იყოს უგულბელყოფილი ან მიკერძოებული ინტერპრეტაციის საგანი, და კლინიცისტთა მოსაზრებებს უფრო მეტი მნიშვნელობა უნდა მიენიჭოს. გარდა ამისა, საჭიროა კვლევა, რომელიც შეაფასებს 5G სიხშირის ტექნოლოგიის გავლენას ბავშვების და არა მარტო ბავშვების ჯანმრთელობაზე [7].

ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოყენებით 5G ტექნოლოგიებს შეუძლია შექმნას ჰიპერ-დაკავშირებული ქსელის გარემო, რომელსაც შეუძლია გააფართოოს რეალობა და 3-განზომილებიანი მომსახურება. 5G სიხშირე მოიცავს 3.5 გჰც და 28 გჰც ზოლებს. 3.5 გჰც სიხშირის ზონის გავლენა ადამიანებზე შეიძლება იყოს 4G-ის მსგავსი და შეუძლია გამოიყენოს არსებული საბაზო სადგურები, მაგრამ 28 გჰც ზემოქმედება შეიძლება განსხვავდებოდეს ადამიანის სხეულზე და გარემოშიც საბაზო სადგურები უფრო მჭიდროდ უნდა იყოს დამონტაჟებული. ამიტომ, 5G-ის გრძელვადიანი ეფექტი ბავშვების და ზოგადად თითოეული ჩვენგანის ჯანმრთელობაზე დღეისათვის დაუდგენელია. 5G ტექნოლოგიების გავლენა ბავშვებზე სრულყოფილად ჯერ არ შეფასებულა [8].

ხაზი უნდა გაესვას, რომ ზემოთ აღწერილი საკითხები დღესაც უპასუხოდ რჩება და იწვევს ინტერესის დიდ ზრდას ელექტრომაგნიტური დაბინძურების ყველა ასპექტის მიმართ და განსაკუთრებით მისი გავლენის შესახებ ცოცხალ ორგანიზმებზე.

### **კვლევის მეთოდები**

ზოგადად, ცოცხალ ორგანიზმებზე ელექტრომაგნიტური ველების და/ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გავლენის კვლევა შეიძლება იყოს ეპიდემიოლოგიური ან ექსპერიმენტული.

ეპიდემიოლოგიური კვლევა გულისხმობს ადამიანებზე დაკვირვებას, რომლებიც განიცდიან/ექვემდებარებიან ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას დიდი ხნის განმავლობაში, როგორცაა მაგალითად ელექტროგადამცემი ხაზების მიმდებარედ მცხოვრები ადამიანები. მეორეს მხრივ, ექსპერიმენტული კვლევა გულისხმობს კონკრეტულ შერჩეული ორგანიზმების მოდელების გამოყენებას კვლევაში და ტარდებოდა ბევრად უფრო ხშირად, ვიდრე ეპიდემიოლოგიური კვლევები. ეპიდემიოლოგიური კვლევისგან განსხვავებით, ექსპერიმენტულ კვლევაში ორგანიზმების მოდელის სათანადო შერჩევას ყოველთვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს და ეფუძნება კვლევის ბუნებას და მოსალოდნელ შედეგებს.

### **ეპიდემიოლოგიური კვლევები და ექსპერიმენტული კვლევები**

ისტორიულად, მე-19 საუკუნე იყო ელექტრობის და მაგნეტიზმის ოქროს ხანა და მათი, როგორც სამეცნიერო მიმართულების სწრაფი განვითარების პერიოდი. უფრო მეტიც, იმ



დროისთვის ძალიან გავრცელებული იყო მოსაზრება ადამიანის სხეულზე ელექტრობის და მაგნიტიზმის დადებითი გავლენის შესახებ, რომელიც გვხვდება ბევრ სამედიცინო სახელმძღვანელოში [3-4]. თუმცა, მე-20 საუკუნის 50-60-იან წლებში ეს პოზიტიური აზრი თანდათან ვითარდებოდა და იცვლებოდა, როგორც პასუხი ახალ აღმოჩენებზე, რომლებიც მოჰყვა თანამედროვე მეცნიერების შესაბამისი სფეროების განვითარებას. ბევრი მეცნიერი, რომელიც ცდილობდა აღეწერა დაკვირვებული ფენომენების მექანიზმები, უფრო ხშირად მიდრეკილი იყო ცოცხალ ორგანიზმებზე ელექტროენერჯის და მაგნიტიზმის ნეიტრალური ეფექტის მოსაზრებისკენ [1-4].

ცოცხალ ორგანიზმებზე მათი პოტენციურად მაგნე ზემოქმედების შესახებ ერთ-ერთი პირველი მოხსენება იყო ეპიდემიოლოგიური კვლევის ანგარიში, რომელიც გამოქვეყნდა 1979 წელს Wertheimer and Leeper-ის მიერ [9]. მათ შეისწავლეს ბავშვების ჯანმრთელობის პრობლემები დენვერში (კოლორადო, აშშ), რომლებიც ცხოვრობდნენ სახლებში, რომლებიც მდებარეობდა მაღალი ინტენსივობის მაგნიტური ველების ზონაში. განსახილველი მაგნიტური ველების ინტენსივობა შეფასდა ელექტროგადამცემი ხაზების ჯამური რაოდენობის საფუძველზე, შერჩეული სახლების მახლობლად და გამოკვლეულ ზონაში ელექტროენერჯის გადამცემი სხვა ხაზების საერთო რაოდენობის საფუძველზე [9]. ავტორებმა განაცხადეს, რომ ბავშვები, რომლებიც განიცდიან უფრო მაღალი ინტენსივობის მაგნიტური ველების ზემოქმედებას, ჰქონდათ ლეიკემიის განვითარების ოდნავ უფრო მაღალი რისკი, ვიდრე ემ დასხივების გავლენის ქვეშ არ მყოფ ბავშვებს. ავტორებმა ასევე ვიზუალურად შეიმუშავეს საკუთარი მეთოდოლოგია ექსპოზიციის დონის შესაფასებლად, საცხოვრებელი ზონის ყველა გადამცემი ხაზის საერთო რაოდენობის მიხედვით. გამოქვეყნებულმა შედეგებმა ბევრი წინააღმდეგობა გამოიწვია და შედეგად მეცნიერთა გაზრდილი ინტერესი კვლევის ამ სფეროში.

ისიც უნდა ითქვას, რომ შემდგომმა ტესტებმა დაადასტურა ვერტიკალური და ლიპერის მოხსენების წინააღმდეგ წაყენებული ბრალდების მართებულობა. როდ აილენდში [10] ბავშვების ჯანმრთელობის პრობლემების გამოკვლევამ გამორიცხა კავშირი მაგნიტური ველების გავლენასა და კიბოთი ავადობის გაზრდილ დონეს შორის. თუმცა, ამავე დროს, განსხვავებული შედეგები იქნა მიღებული და გამოქვეყნებული შვედი მკვლევარების მიერ [11], რომლებმაც დაადგინეს, რომ ლეიკემიის სიხშირე შეიძლება შემცირდეს ტვინის სიმსივნეების სიხშირის საწინააღმდეგოდ, რაც შეიძლება გაიზარდოს იმ ადამიანების შემთხვევაში, რომლებიც განიცდიან უფრო მაღალ ინტენსივობის მაგნიტური ველების ზემოქმედებას [11].

მკვლევარებმა შვედეთიდან [12], რომლებმაც შეისწავლეს 16 წლამდე ასაკის ყველა ბავშვი, რომლებიც ცხოვრობდნენ, 25 წლის განმავლობაში 1960 წლიდან 1985 წლამდე, არაუმეტეს 300 მეტრის მანძილზე 220კვ ან 400კვ ელექტროგადამცემი ხაზებიდან. ავტორებმა შენიშნეს დიაგნოზირებული ლეიკემიის სიხშირე ბავშვთა ამ ჯგუფში, რაც 2,4-ჯერ მეტი იყო, ვიდრე მათ სხვა თანატოლებში. საკმაოდ განსხვავებული შედეგები მიიღეს მკვლევარებმა დანიიდან [13] და ფინეთიდან [14], რომლებმაც ვერ შეძლეს მსგავსი დასკვნის ჩამოყალიბება მსგავსი

ტესტის პირობებში და ვერ აღმოაჩინეს მაგნიტური ველის პირდაპირი გავლენა ბავშვების ჯანმრთელობაზე.

ცხოველებზე ელექტრომაგნიტური ველების ზეგავლენის შესწავლაში დიდი წვლილი შეიტანეს იაპონელმა მეცნიერებმა, რომლებმაც ჩაატარეს ტესტების სერია იაპონიის ოთხ დამოუკიდებელ კვლევით ცენტრში 6 წლის განმავლობაში 1993 წლიდან 1999 წლამდე [ 1 ]. მოგვიანებით აშშ-სა და გერმანიის მეცნიერებმა ნათლად დაამტკიცეს, რომ დაბალი სიხშირის ძლიერი მაგნიტური ველები არ იწვევს მუდმივ ფიზიოლოგიურ პრობლემებს და ასევე არ ცვლის გენეტიკურ სტრუქტურებს [1].

2013 წლის იანვარში გამოქვეყნდა ძალიან ვრცელი ანგარიში გარემოსდაცვითი მეცნიერებათა ინსტიტუტისა და ნიდერლანდების საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის ეროვნული ინსტიტუტის მიერ [15]. ამ მოხსენების ავტორებმა ძალიან საფუძვლიანად მიმოიხილეს ყველა გამოქვეყნებული შედეგი, რომელიც დაკავშირებულია ელექტრომაგნიტური ველების გარემოზე ზემოქმედებასთან სიხშირის დიაპაზონში 10 MHz-დან 3.6 GHz-მდე. ავტორებმა დაასკვნეს, რომ ყველა შემთხვევის 65%-ში (50% ცხოველებისთვის და 75% მცენარეებისთვის), ელექტრომაგნიტური ველების გარკვეული ზეგავლენა დაფიქსირდა გამოსხივების დიდი და მცირე დოზების შემთხვევაში.

თანამედროვე ტექნოლოგიების ეპოქაში ადამიანი და ზოგადად, ცოცხალი ორგანიზმები მუდმივად იმყოფებიან ელექტრომაგნიტურ ველების და/ან ელექტრომაგნიტურ გამოსხივების ზეგავლენის ქვეშ. ამიტომ გასაკვირი არ არის, რომ ამ ტიპის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების პოტენციური საფრთხე ცოცხალ ორგანიზმებზე ძალიან დიდ ინტერესს იწვევს.

არამაიონებელი ელექტრომაგნიტური ველების ატმოსფერული დონეები მკვეთრად გაიზარდა ბოლო ხუთი ათწლეულის განმავლობაში და გახდა ყველგანმყოფი, უწყვეტი, ბიოლოგიურად აქტიური გარემოს დამაბინძურებელი, თუნდაც სოფლად და შორეულ რაიონებში. ფლორისა და ფაუნის მრავალი სახეობა, უნიკალური ფიზიოლოგიისა და ჰაბიტატების გამო, მგრძნობიარეა ხელოვნური/ადამიანის მიერ შექმნილი ემ ველების მიმართ. ამან შეიძლება გამოიწვიოს კომპლექსური ენდოგენური რეაქციები, რომლებიც ძალიან ცვალებადია, დიდწილად უხილავი და შესაძლო ხელშემწყობი ფაქტორი სახეობების გადაშენებაში. როგორც ბუნებრივი, ისე ადამიანის მიერ შექმნილი ემ ველების ზემოქმედება სიხშირეების, ინტენსივობის, ტალღის ფორმებისა და სიგნალის მახასიათებლების ფართო დიაპაზონში დაფიქსირდა გამოკვლევულ ცხოველთა და მცენარეთა ყველა სახეობაში [18]. მონაცემთა ბაზა ახლა მოცულობითია *in vitro*, *in vivo* და სავლევ კვლევებით, საიდანაც შესაძლებელია ექსტრაპოლაცია. კვლევების უმეტესობამ აღმოაჩინა ბიოლოგიური ეფექტები გამოწვეული, როგორც მაღალი, ასევე დაბალი ინტენსივობის ადამიანის მიერ შექმნილი ემ ველების ზემოქმედებით; კერძოდ, ემ ველები ზეგავლენას ახდენს ველური ბუნების ჯანმრთელობასა და სიცოცხლისუნარიანობაზე. ცხადია, რომ ატმოსფერული გარემოს დონეები ბიოლოგიურად აქტიურია ყველა ადამიანისგან განსხვავებულ სახეობებში, რომლებსაც შეუძლიათ ჰქონდეთ უნიკალური ფიზიოლოგიური მექანიზმები, რომლებიც საჭიროებენ ბუნებრივ გეომაგნიტურ ინფორმაციას მათი ცხოვრების ყველაზე მნიშვნელოვანი

საქმიანობისთვის. მგრძობიარე მაგნიტორეცეპცია საშუალებას აძლევს ცოცხალ ორგანიზმებს, მათ შორის მცენარეებს, აღმოაჩინონ მცირე ცვალებადობა გარემოს ემ ველების და რეაგირება მოახდინონ მყისიერად, ისევე როგორც გრძელვადიან პერსპექტივაში, მაგრამ მას ასევე შეუძლია ზოგიერთი ორგანიზმი დაუცველი გახადოს ადამიანის მიერ შექმნილი ველების მიმართ. ანთროპოგენურ ემ ველებს შეიძლება ქონდეთ უფრო მეტი წვლილი, ვიდრე ჩვენ ამჟამად ვაცნობიერებთ, სახეობების შემცირებასა და გადაშენებაში [18]; რამაც შეიძლება გამოიწვიოს კასკადური ეფექტი, რადგან ბუნებაში ყველაფერი ერთმანეთთან დაკავშირებულია და აუცილებლად ჰპოვებს ასახვას ადამიანის ცხოვრებასა და სიცოცხლის ხარისხზე.

რადიოსიხშირული გამოსხივების ზემოქმედების ლიმიტები დადგენილია კომუნიკაციების ფედერალური კომისიის (FCC), შრომის ჯანმრთელობისა და უსაფრთხოების ადმინისტრაციის (OSHA) და სხვადასხვა სახელმწიფო მარეგულირებელი ორგანიზაციების მიერ. გარდა ამისა, ელექტრო და ელექტრონიკის ინჟინერთა ინსტიტუტმა (IEEE), არაიონებელი გამოსხივებისგან დაცვის საერთაშორისო კომისიამ (ICNIRP), ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციამ (WHO) და ამერიკის სამთავრობო სამრეწველო ჰიგიენისტთა კონფერენციამ (ACGIH) დაადგინეს გაიდლაინები RF ზემოქმედების შესაძლო მავნე შედეგებისგან დასაცავად.

[WHO](#)-ის მიხედვით, ელექტრომაგნიტური ველის გაიდლაინები უზრუნველყოფენ, რომ მოცემული დასხივების ლიმიტის ფარგლებში არ მოხდება ჯანმრთელობისთვის ცნობილი მავნე ზემოქმედება. უსაფრთხოების გამკაცრებული ზომები გამოიყენება იმ დონეზე, როდესაც ცნობილია, რომ ის იწვევს ჯანმრთელობის უარყოფით შედეგებს.

ყოველდღიურ სიტუაციებში, ადამიანებზე არ მოქმედებს ელექტრომაგნიტური ველები, რომლებიც აღემატება არსებულ ლიმიტებს. ტიპური ექსპოზიციები გაცილებით დაბალია ამ მნიშვნელობებზე. თუმცა, არის შემთხვევები, როდესაც ადამიანის ექსპოზიცია შეიძლება მოკლე პერიოდის განმავლობაში მიუახლოვდეს ან თუნდაც გადააჭარბოს არსებულ ლიმიტებს. ICNIRP-ის მიხედვით, რადიოსიხშირული და მიკროტალღური ზემოქმედებისგან დაცვა მიმართული უნდა იყოს საშუალოდ დროთა განმავლობაში კუმულაციური ეფექტების მოსაგვარებლად.

არაიონებელი გამოსხივების ბიოლოგიური ეფექტებზე და სამედიცინო სფეროში ამ მიმართულებით ბოლო 30 წლის განმავლობაში გამოქვეყნდა დაახლოებით 25000 სტატია. მიუხედავად იმისა, რომ ზოგიერთი ადამიანი ფიქრობს, რომ მეტი კვლევაა საჭირო, მეცნიერული ცოდნა ამ სფეროში ახლა უფრო ვრცელია, ვიდრე ქიმიკატების უმეტესობაზე არსებობს დღეისათვის. სამეცნიერო ლიტერატურის ბოლოდროინდელი სიღრმისეული მიმოხილვის საფუძველზე, ჯანმო-მ დაასკვნა, რომ არსებული მტკიცებულებები არ ადასტურებს მკაცრად ჯანმრთელობის რაიმე უარყოფითი შედეგების არსებობას დაბალი დონის ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედებით. თუმცა, არსებობს გარკვეული ხარვეზები ბიოლოგიური ეფექტების შესახებ ცოდნაში და საჭიროებს შემდგომ კვლევას.

## დასკვნა

ზემოაღნიშნული მიმოხილული ფაქტების შედეგად ცოცხალ ორგანიზმებზე ელექტრომაგნიტური დაბინძურების ზემოქმედებასთან დაკავშირებული სამეცნიერო კვლევის სფერო ძალიან პოპულარულია მეცნიერთა შორის მთელ მსოფლიოში.

ამ ტიპის კვლევის ერთ-ერთი მთავარი პრობლემაა მეორადი გამოსხივების წყაროების აღმოფხვრა, რაც რთული ამოცანაა; ამიტომ ყველა ეპიდემიოლოგიურ გამოკვლევას უნდა მოჰყვეს ექსპერიმენტული. რაც მთავარია, მიუხედავად არსებული კვლევის შედეგების ფართო მასშტაბისა, ჯერ არ არის გაცემული მკაფიო პასუხი კითხვაზე, აქვს თუ არა ელექტრომაგნიტურ დაბინძურებას უარყოფითი გავლენა ცოცხალ ორგანიზმებზე. ასევე პასუხი საპირისპირო კითხვაზე, შეიძლება თუ არა ელექტრომაგნიტური ველები და/ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივება სასარგებლო იყოს ცოცხალი ორგანიზმებისთვის გარკვეულ შემთხვევებში, ჯერჯერობით პასუხი არ არის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა შესაბამის ცოცხალი ორგანიზმების მოდელებს გააჩნია გარკვეული თვისებები, რომლებიც სასარგებლოა ბიოლოგიური კვლევის ჩასატარებლად. ეს მოიცავს სხვა ცოცხალ ორგანიზმებთან მსგავსებას, რაც საშუალებას აძლევს მეცნიერებს ორგანიზმების მოდელი ჩაითვალოს სხვა ორგანიზმების, მათ შორის ადამიანების შემცვლელად.

ჯერჯერობით, ცოცხალ ორგანიზმებზე ელექტრომაგნიტური ველების და/ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ზემოქმედების არეალში ჩატარებულ კვლევებს არ გააჩნია ყოვლისმომცველი ხასიათი, ამიტომ შეუძლებელია რაიმე მტკიცე კავშირის ფორმულირება ელექტრომაგნიტური ველის მახასიათებლებსა და ველის გავლენას შორის. საკმარისი ემპირიული მონაცემთა რესურსების არარსებობის მიუხედავად, ლიტერატურაში რამდენიმე საინტერესო ჰიპოთეზა იქნა შემოთავაზებული, რომლის მიხედვითაც ელექტრომაგნიტური ველი გავლენას ახდენს და ერევა ადამიანის ფიზიოლოგიურ მექანიზმებში, რაც იწვევს ძილის დარღვევას, განწყობის დაქვეითებას, კონცენტრაციის დაქვეითებას, დეპრესიას და გარკვეული სახის კიბოს განვითარებას [16-17].

ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის საერთაშორისო EMF (ემ ველები) პროექტის მთავარი მიზანია დაიწყოს და კოორდინაცია გაუწიოს კვლევებს მთელ მსოფლიოში, რათა მოხდეს საზოგადოების შემფოთებაზე საფუძვლიანი პასუხის გაცემა. ეს შეფასება აერთიანებს ფიჭური, ცხოველთა და ადამიანის ჯანმრთელობის კვლევების შედეგებს, რათა შესაძლებელი გახდეს ჯანმრთელობის რისკის რაც შეიძლება ყოვლისმომცველი შეფასება. სხვადასხვა შესაბამისი და სანდო კვლევების ყოვლისმომცველი შეფასება მოგცემთ ყველაზე სანდო პასუხს ელექტრომაგნიტური ველების გრძელვადიანი ზემოქმედების ჯანმრთელობის მავნე ზემოქმედების შესახებ, ასეთის არსებობის შემთხვევაში.



## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Redlarski G, Lewczuk B, Żak A, Koncicki A, Krawczuk M, Piechocki J, Jakubiuk K, Tojza P, Jaworski J, Ambroziak D, Skarbek Ł, Gradolewski D. The influence of electromagnetic pollution on living organisms: historical trends and forecasting changes. *Biomed Res Int.* 2015; 2015:234098. doi: 10.1155/2015/234098.
2. European Commission. Possible Effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR); 2007. (Public Health and Risk Assessment).
3. Szuba M., Dołowy K., Duszyński J., et al. Power Lines and Substations in Human Environment. Warsaw, Poland: Registor of PSE Operator S.A.; 2008. (Polish)
4. Ahlbom A., Cardis E., Green A., Linet M., Savitz D., Swerdlow A. Review of the epidemiologic literature on EMF and health. *Environmental Health Perspectives.* 2001;109(supplement 6):911–933. doi: 10.1289/ehp.01109s6911.
5. World Health Organization. Extremely Low Frequency Fields. Vol. 238. Geneva, Switzerland: WHO; 2007. (Environmental Health Criteria Monograph).
6. World Health Organization. IARC Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as Possibly Carcinogenic to Humans. Lyon, France: International Agency for Research Cancer; 2011.
7. Moon JH. Health effects of electromagnetic fields on children. *Clin Exp Pediatr.* 2020 Nov;63(11):422-428. doi: 10.3345/cep.2019.01494. Epub 2020 May 26. PMID: 32683815; PMCID: PMC7642138.
8. Choi HD, Kim N. 5G jeonjapawa inche yeonghyang. In: Proceedings of the Korea Electromagnetic Engineering Society. 2018 29 :26–30.
9. Wertheimer N., Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology.* 1979;109(3):273–284.
10. Savitz D. A., Wachtel H., Barnes F. A., John E. M., Tvrdik J. G. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. *The American Journal of Epidemiology.* 1988;128(1):21–38.
11. Feychting M., Kaune W. T., Savitz D. A., Ahlbom A. Estimating exposure in studies of residential magnetic fields and cancer: Importance of short-term variability, time interval between diagnosis and measurement, and distance to power line. *Epidemiology.* 1996;7(3):220–224. doi: 10.1097/00001648-199605000-00001.
12. Feychting M., Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *American Journal of Epidemiology.* 1993;138(7):467–481. [

13. Olsen J. H., Nielsen A., Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *British Medical Journal*. 1993;307(6909):891–895. doi: 10.1136/bmj.307.6909.891.
14. Verkasalo P. K., Pukkala E., Kaprio J., Heikkilä K. V., Koskenvuo M. Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults: nationwide cohort Study. *British Medical Journal*. 1996;313(7064):1047–1051. doi: 10.1136/bmj.313.7064.1047.
15. Cucurachi S., Tamis W. L. M., Vijver M. G., Peijnenburg W. J. G. M., Bolte J. F. B., de Snoo G. R. A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) *Environment International*. 2013;51:116–140. doi: 10.1016/j.envint.2012.10.009.
16. Naziroğlu M., Tokat S., Demirci S. Role of melatonin on electromagnetic radiation-induced oxidative stress and Ca<sup>2+</sup> signaling molecular pathways in breast cancer. *Journal of Receptors and Signal Transduction*. 2012;32(6):290–297. doi: 10.3109/10799893.2012.737002.
17. Vanderstraeten J., Verschaeve L., Burda H., Bouland C., de Brouwer C. Health effects of extremely low-frequency magnetic fields: reconsidering the melatonin hypothesis in the light of current data on magnetoreception. *Journal of Applied Toxicology*. 2012;32(12):952–958. doi: 10.1002/jat.2761.
18. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/reveh-2021-0050/html?lang=en>

## Sources of the Electromagnetic Pollution, Effects, Safety Measures

Tamar Nozadze<sup>ORCID</sup>, Giorgi Ghvedashvili<sup>ORCID</sup>

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Department of Electrical and Electronics Engineering

[Tamar.nozadze@tsu.ge](mailto:Tamar.nozadze@tsu.ge), [Giorgi.ghvedashvili@tsu.ge](mailto:Giorgi.ghvedashvili@tsu.ge)

---

### Abstract

The development of technologies led to an increase in the electromagnetic field background in the environment. Electromagnetic fields have always been around us, emitted by natural sources, including stars, the sun etc. However, the sources of the electromagnetic field are also electronic devices, the EM fields emitted by which pollute the natural electromagnetic background (EM pollution). The problem of EM pollution is an important problem that people face especially in recent years.

Due to the growing use of wireless communication devices, the issue of the biological effects caused by human exposure to the electromagnetic fields emitted by them is relevant. Children and people with poor health are a particularly noteworthy group. To date, none of the internationally recognized guidelines for protection against exposure to EM fields do not consider exposure to living organisms

other than humans. However, the impact of EM fields on flora and fauna is significant. As is known, EM fields emitted by communication devices have been classified as a possibly carcinogen to humans, which implies that it may cause certain cancer effects in humans. There are safety recommendations to protect the body from the harmful effects of electromagnetic fields, but few people take them into account. EM fields are invisible to the human eye, so people cannot perceive them as a potential threat. Admittedly, it is difficult to completely avoid EMF exposure, but keeping it below threshold values can prevent health problems. Despite a lot of existing research in this direction, the problem has not yet been fully explored due to the rapid development of technologies. That is why it is very important to carry out research on the given problem.

**Keywords:** EM fields, EM pollution, EM safety

**Acknowledgement:** Supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) [grant number YS-23-131]