



## კომპიუტერული მოდელირებით რადიო სიხშირის EM გამოსხივების ეფექტების კვლევა ადამიანზე

თამარ ნოზაძე<sup>1</sup>, ლელა წითაშვილი<sup>2</sup>, ივლიანე ნოზაძე<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (თსუ);

<https://orcid.org/0000-0001-7861-1264>

<sup>2</sup> სამცხე-ჯავახეთის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

<sup>3</sup> ივანე ბერიტაშვილის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრი

[tamar.nozadze@tsu.ge](mailto:tamar.nozadze@tsu.ge), [lelatsitashvili@sjuni.edu.ge](mailto:lelatsitashvili@sjuni.edu.ge), [nozadzeli@yahoo.com](mailto:nozadzeli@yahoo.com)

### აბსტრაქტი

წარმოდგენილი კვლევის მიზანია გამოიკვლიოს ადამიანზე Wi-Fi სიხშირის EM (ელექტრომაგნიტური) ველის ზემოქმედების არაბიოლოგიური (თერმული) ზემოქმედება. ერთადერთი მისაღები და საიმედო გზა EM- ველების ზემოქმედების შესასწავლად ბიოლოგიურ სხეულებზე, როგორცაა ადამიანი, არის კომპიუტერული მოდელირება რიცხვითი რეალისტური მოდელების (ან ფანტომების) გამოყენებით.

კვლევის მეთოდი არის დროით არეში სასრული სხვაობების მეთოდი (FDTD). FDTD LAB-პროგრამის გამოყენებით ჩატარებული რიცხვითი ექსპერიმენტების საფუძველზე, განისაზღვრა SAR-ის გასაშუალოებული მნიშვნელობები ადამიანის (ქალის მთლიან სხეულში) მოდელში და შედეგად შეფასდა მიღებული ტემპერატურის მატების მნიშვნელობა ( $\Delta T$ ) გამოწვეული EM ველის ენერჯის შთანთქმით. ასევე, გამოკვლეული იქნა შედეგების შესაბამისობა უსაფრთხოების ლიმიტებთან; შესაძლო რისკები შეფასდა აბსორბირებული ენერჯის რაოდენობისა და  $\Delta T$ -ის შესაბამისი მნიშვნელობის მიხედვით.

**საკვანძო სიტყვები:** ადამიანის მოდელი, FDTD, SAR, EM ველები;

### შესავალი

თანამედროვე ცხოვრებაში გამოყენებული ელექტრონული მოწყობილობები, რომელთა მუშაობას თან ახლავს ელექტრომაგნიტური (EM) გამოსხივება, იწვევს მზარდი ტემპით. მობილური ტელეფონის მომხმარებელთა რაოდენობის მატებასთან ერთად იზრდება საბაზო სადგურების რაოდენობა, რაც თავის მხრივ ზრდის EM ველის ფონს (სიხშირის დიაპაზონი - 100 კჰც-დან 6 გჰც-მდე). ჩვენს ირგვლივ ამ EM ველების ფონი დღითიდღე იზრდება, რაც იწვევს თავად ამ მოწყობილობების გამართულ ფუნქციონირების მნიშვნელოვან შეფერხებებს.

ძლიერი EM ფონი არასასურველია ელექტრონული სისტემების სრულყოფილი ფუნქციონირებისთვის და მისი გავლენა გარკვეულწილად საფრთხეს უქმნის ადამიანის ჯანმრთელობასაც. მაღალი მნიშვნელობის EM ველებმა შეიძლება გავლენა მოახდინოს იმპლანტირებული სამედიცინო მოწყობილობების გამართულ ფუნქციონირებაზე და გამოიწვიოს პაციენტის სიკვდილი [1]-[2]. მეორე მხრივ, მობილური ტელეფონების მუშაობისთვის უზრუნველყოფილი უნდა იყოს კავშირის მაღალი ხარისხი. სუსტი კავშირის შემთხვევაში მოწყობილობები ავტომატურად ზრდიან გადაცემის სიმძლავრეს, რაც არასასურველ გავლენას ახდენს როგორც ბიოლოგიურ ობიექტებზე, ასევე ახლომდებარე ელექტრონულ მოწყობილობებზე [3]-[5]. ამას ემატება მრავალი სხვა EM გამოსხივება და ცხადია, ეს ყველაფერი კონტროლს მოითხოვს, რადგან უახლოეს მომავალში EM ფონის ზრდის ასეთმა ტემპმა შეიძლება გამოიწვიოს უკონტროლო პროცესები.

საბაზო სადგურების მიერ გარემოში გამოსხივებული EM-ველები, Wi-Fi სისტემები მუდმივ გავლენას ახდენენ ადამიანებზე და სამყაროს ყველა ცოცხალ სისტემაზე, რადგან ისინი მუდმივად ასხივებენ (ჩართულ რეჟიმში) დღე და ღამე. უნდა აღინიშნოს, რომ უსაფრთხოების წესების მიხედვით, გათვალისწინებულია არაუმეტეს 30 წუთის ხანგრძლივობით ყოფნა EM ექსპოზიციის ზონაში, რომელიც აღემატება დასაშვებ ნორმას [6]. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ნათელია რომ, იზრდება შეშფოთება EM გრძელვადიანი ექსპოზიციის კუმულაციური ეფექტების შესახებ.

Wi-Fi სიხშირეები 2.4 გჰც და 5.0 გჰც სიხშირის დიაპაზონშია. რადიოსიხშირული EM გამოსხივებას არ გააჩნია საკმარისი ენერჯია ქიმიური ბმების დასაშლელად, მაგრამ მისი გავლენა ბიოლოგიურ სისტემებზე მნიშვნელოვანია [7]. რადიოსიხშირული ტალღები განსხვავდება უფრო ძლიერი (მაიონებელი) გამოსხივებისგან, როგორცაა რენტგენი, გამა სხივები და ულტრაიისფერი (UV) სხივები; მაიონებელი გამოსხივებამ შეიძლება დაარღვიოს დნმ-ის ქიმიური ბმები, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს კიბო ან ჯანმრთელობის სერიოზული პრობლემები [8].

EM ველის ზემოქმედება ცოცხალ ორგანიზმებზე ვლინდება ბიოლოგიური (არათერმული) და თერმული ეფექტების სახით. არათერმული ეფექტები ნიშნავს გარკვეულ ცვლილებებს, რომლებიც ხდება უჯრედულ დონეზე და თერმული ეფექტი ეხება ქსოვილის გათბობას/ტემპერატურულ ზრდას. უმეტეს შემთხვევაში, ბიოლოგიური და თერმული ეფექტები გავლენას ახდენს ერთმანეთზე და შესაძლოა ერთდროულად გამოჩნდეს. თუმცა ამ მიზნით ცალკე კვლევებია საჭირო. სპეციფიური შთანთქმის სიჩქარე SAR [ვატი კილოგრამზე-ვტ/კგ] არის პარამეტრი, რომელიც გვიჩვენებს გამოსხივებული RF ენერჯიის რა ნაწილს შთანთქავს ცოცხალი სხეულის მასის ერთეული დროის ერთეულზე [8].

$$SAR = \frac{\sigma |\vec{E}|^2}{\rho}$$

სადაც  $\sigma$  - გამტარობა;  $E$  - ელექტრული ველი;  $\rho$  - სიმკვრივე.

არსებულ რეკომენდაციებში არის შემდეგი შეზღუდვები: ძირითადი შეზღუდვები, რომლებიც ყოველთვის უნდა დაკმაყოფილდეს; და პირველადი შეზღუდვების პირობების

გამოყენებასთან დაკავშირებული შეზღუდვები; რომელიც შეიძლება დაირღვეს ცალკეულ შემთხვევებში. ძირითადი შეზღუდვები გამოიხატება ისეთი სიდიდეებით, რომლებიც არ არის გაზომვადი და ახასიათებს სხეულს, როგორცაა SAR. უსაფრთხოების მოთხოვნები და რეკომენდაციები ძირითადად ეფუძნება WHO, IEEE, ICNIRP სტანდარტებს [9]-[11]. დღემდე, ადამიანის გარდა სხვა ცოცხალ ორგანიზმებზე არ ვრცელდება რადიოსიხშირული გამოსხივებისგან დაცვის მითითებები/რეკომენდაციები. მეცნიერული თვალსაზრისით, დარწმუნებით ვერ ვიტყვით, რომ EM ველის ლიმიტების შენარჩუნებამ შეიძლება მთლიანად დაიცვას ადამიანი გრძელვადიან პერსპექტივაში შესაძლო უარყოფითი ეფექტებისგან. თუმცა, EM ველის მნიშვნელობების ზღვრული მნიშვნელობების ქვემოთ შენარჩუნება დაგეხმარებათ ჯანმრთელობის რისკების თავიდან აცილებაში. კვლევის შედეგების საფუძველზე, RF-EM-ველები კლასიფიცირდება IARC-ის მიერ, როგორც "შესაძლოა კანცეროგენი ადამიანისთვის" [12]. თუმცა, RF-EMF-ის კლასიფიკაცია, როგორც შესაძლო კანცეროგენები, ჯერ კიდევ არ არის მტკიცე დასკვნა მეცნიერებისთვის.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, წარმოდგენილი კვლევის მიზანია Wi-Fi სიხშირის EM ველის ზემოქმედებით გამოწვეული თერმული ეფექტების შესწავლა ზრდასრული ადამიანის მოდელზე; განვსაზღვრეთ SAR და შესაბამისი  $\Delta T$  მნიშვნელობები, რაც საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ შესაძლო ბიოლოგიური ეფექტები. მიღებული შედეგების საფუძველზე ჩავატარეთ შედარებითი ანალიზი.

დღეს, მიუხედავად მრავალი კვლევისა ამ მიმართულებით, ტექნოლოგიების სწრაფი განვითარების გამო, ადამიანზე EM ველის ზემოქმედების საკითხი ბოლომდე შესწავლილი არ არის და საჭიროებს შემდგომ კვლევას.

## მეთოდოლოგია

დროში არასტაციონარული პროცესების შესასწავლად, დროით არეში სასრული სხვაობების მეთოდი (FDTD) გამოიყენება დიფრაქციის პრობლემის გადასაჭრელად არაერთგვაროვან რთული ფორმის სხეულზე, როგორცაა ადამიანის სხეული. FDTD მეთოდი მოითხოვს საკვლევი არის დისკრეტიზაციას და ერთდროულად განიხილავს პროცესს, რომელიც ხდება საკვლევი ბადის ყველა უჯრედში დროის თითოეულ მომენტში. ინტეგრალური განტოლებების დისკრეტიზაცია მოცემულ სივრცე-დროის ბადეზე შესაძლებელს ხდის ამოხსნას მაქსველის განტოლებები მოცემული წყაროებისა და ფიზიკური პარამეტრებისთვის. პრობლემის გადაჭრის სიზუსტის გასაზრდელად, ბადის დისკრეტიზაციის ზომა უნდა შემცირდეს. ამიტომ, ჩვენ შეზღუდული ვართ FDTD მეთოდის გამოყენებაში საკვლევის არის დიდი ზომების შემთხვევაში, რადგან რიცხვითი სიმულაციები საჭიროებს თვლის დიდ დროს და მოითხოვს მძლავრ კომპიუტერულ რესურსებს. კვლევის განსახორციელებლად გამოყენებული იქნა კომპიუტერული პროგრამა FDTD LAB, შემუშავებული LAE- გამოყენებითი ელექტროდინამიკისა და რადიოინჟინერიის ლაბორატორიაში (თსუ). აღნიშნულმა პროგრამულმა პაკეტმა შესაძლებელი გახადა ამოგვეხსნა ჯერ ელექტროდინამიკური, შემდეგ კი თერმული ამოცანა, ადამიანის რთული და ჰეტეროგენული მოდელის EM ველით დასხივებისას.

გამოთვლის მეთოდი და კოდი ეფუძნება FDTD მეთოდს მაქსველის განტოლებისთვის, ხოლო თერმული სიმულაცია და ანალიზი ეფუძნება პენეს ბიო-სითბოს განტოლებას.

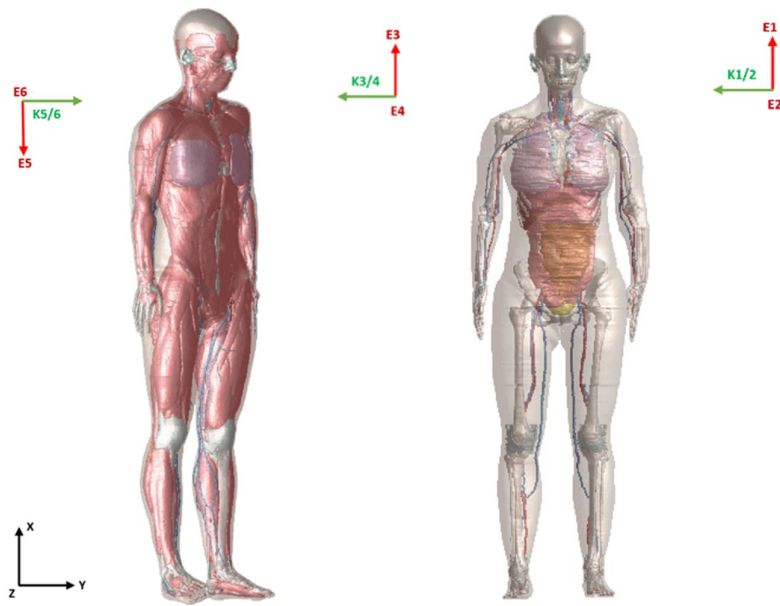
საკვლევი უბნის/დისკრეტული ბადის თითოეული უჯრედის ზომაა 2 მმ. რიცხვითი გამოთვლებისთვის გამოიყენება ქალის ჰეტეროგენული რეალისტური სამგანზომილებიანი დისკრეტული მოდელი სახელწოდებით "ELLA" (IT'IS Foundation "ვირტუალური პოპულაცია") დისკრეტიზაციით 2 მმ.

„ვირტუალური პოპულაცია“ – არის ViP ერთობლიობა მაღალი გარჩევადობის დეტალური ანატომიური მთლიანი ადამიანის სხეულის მოდელების. შერჩეული ადამიანის მოდელის სხეული შედგება 80 სხვადასხვა ტიპის ქსოვილისგან. EM დასხივების დროს, EM ველი აღწევს თითოეულ ორგანოსა და ქსოვილში სხვადასხვა სიჩქარით, თითოეული ქსოვილის შემადგენლობისა და სიმკვრივის მიხედვით.

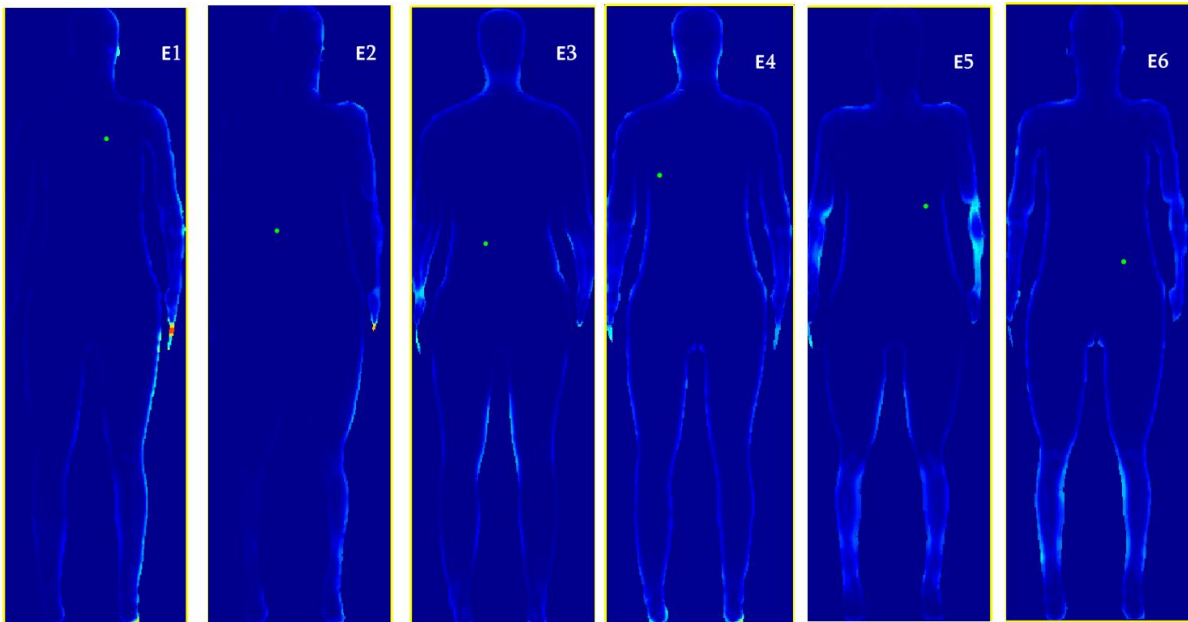
კვლევისთვის შერჩეული ქალის მოდელი დამუშავებულია MyFDTD-ით - FDTDLab-ის დამხმარე პროგრამით, რომელიც შექმნილია ადამიანზე EM ველის ზემოქმედების შესასწავლად; MyFDTD-ის გამოყენებით შესაძლებელია სხეულის საკვლევი სეგმენტის ამოჭრა, სხვადასხვა EM წყაროს დაყენება და ა.შ. [13] ; EM დიფრაქციის ამოცანის გადასაჭრელად, სიხშირეზე დამოკიდებული პარამეტრები და ქსოვილის თერმული პარამეტრები გამოიყენება IT'IS Foundation- მონაცემთა ბაზიდან [14]. EM ველის წყაროდ განიხილება ბრტყელი ტალღა; სიმულაციისთვის არჩეული იყო სინუსოიდალური ტალღა 2400 [MHz] სიხშირით. ადამიანის SAR-ის გამოთვლილი მნიშვნელობები განისაზღვრა და ნორმალიზდა დაცემული ბრტყელი ტალღის სიმძლავრის სიმკვრივეზე - 10 მვტ/სმ<sup>2</sup> [15], [16].

### მიღებული შედეგები

უხილავი EM ველის ენერგია შეიძლება შთანთქმას ადამიანის სხეულმა და რიცხობრივად იზომება როგორც SAR (Specific absorption rate ). EM ველებზე ადამიანის ზემოქმედების შეფასება გულისხმობს ადამიანის ქსოვილის მიერ შთანთქმული EM ველის ენერგიის (SAR) განსაზღვრას და ამ შთანთქმით გამოწვეული  $\Delta T$  (ტემპერატურის მატება) შეფასებას. FDTDLab პროგრამული პაკეტის გამოყენებით მოდელების მომზადების შემდეგ, ჯერ უნდა ამოვსნათ წყაროს მიერ გამოსხივებული EM ველის დიფრაქციის პრობლემა მოცემულ ქალისა და ბავშვის არაერთგვაროვან მოდელებზე და განისაზღვროს დიფრაქციული ველები, რომელიც აღწევს ადამიანის მოდელში, რის შედეგადაც ველის ენერგია შთანთქმება ადამიანის ქსოვილების მიერ. ამის შემდეგ იხსნება თერმული ამოცანა და ითვლება ქსოვილის ტემპერატურის მატება, რომელიც გამოწვეულია EM ველის ენერგიის შთანთქმით. კომპიუტერული მოდელირებისთვის სისხლის ტემპერატურად აღებულია 37°C-ის ტოლი, ჰაერის ტემპერატურა - 22.0°C, ყველა უჯრედის საწყისი ტემპერატურა - 37.0°C. შერჩეული ადამიანის სხეულის მოდელისთვის გამოთვლები შესრულდა დაცემულის ველის პოლარიზაციისთვის - E1, E2, E3, E4, E5, E6 (ნახ. 1).



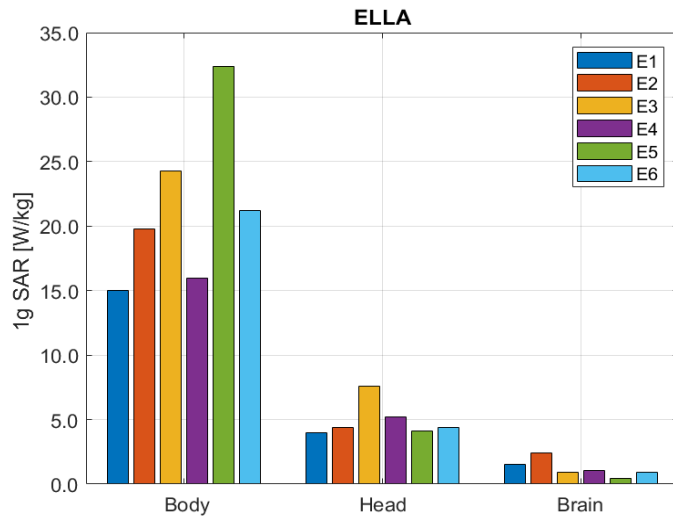
ნახ. 1. ქალის [ELLA](#) სხეულის მოდელი ყველა განხილული დაცემული ველის პოლარიზაციასთან ერთად



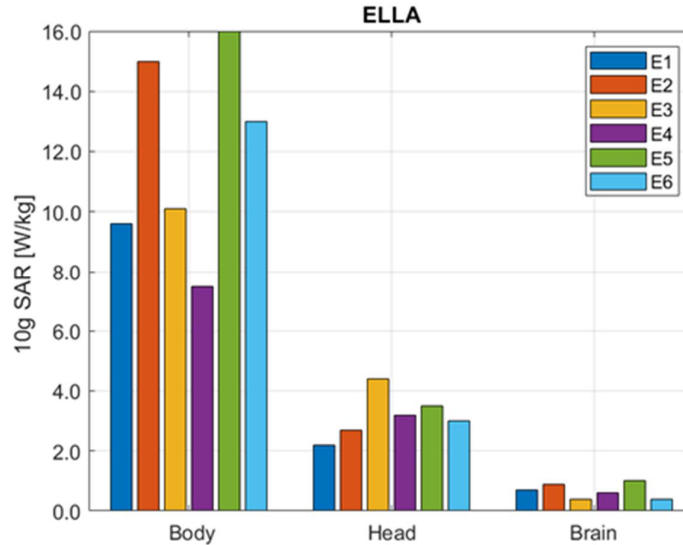
ნახ. 2. SAR 1g-ის განაწილება ქალის მოდელში ყველა განხილული პოლარიზაციისთვის 2400 MHz სიხშირეზე

უსაფრთხოების საერთაშორისო სტანდარტების მიხედვით, SAR-ის გასაშუალოებული მნიშვნელობა 10 გ-ზე მეტი არ უნდა აღემატებოდეს 10 ვტ/კგ-ს, ხოლო  $\Delta T$  არ უნდა აღემატებოდეს  $1^{\circ}\text{C}$ -ს [10], [12]. SAR 1g-ის (ნახ. 2) განაწილების გამოკვლევა ქალის მოდელში გვიჩვენებს, რომ E- ველის ყველა განხილული პოლარიზაციისთვის შთანთქმა შედარებით მაღალია სხეულის სხვა ნაწილებში, ვიდრე თავში და ტვინში. იმის გამო, რომ SAR მნიშვნელობები დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე, რომლებიც გავლენას ახდენენ სხეულის

ქსოვილების მიერ ველის ენერჯის შთანთქმაზე. SAR მნიშვნელობები განსხვავდება სხეულისა და EM ველის ტალღის მახასიათებლების მიხედვით. მისი ცვლილება დამოკიდებულია გამოსხივებული ველის სიხშირესა და პოლარიზაციაზე [17]. როგორც ნათლად ჩანს რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგებიდან, SAR 1g-ისა და SAR 10g-ის გასაშუალოებული მნიშვნელობები ასევე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული RF (რადიოსიხშირის) ველის პოლარიზაციაზე და სხეულის მახასიათებლებზე. კერძოდ, SAR 1g და SAR 10g მნიშვნელობები თითქმის ორჯერ მაღალია სხეულისთვის, ვიდრე თავისთვის და მნიშვნელოვნად აღემატება ტვინში აბსორბირებული ენერჯის რაოდენობას (ნახ.3, ნახ. 4).

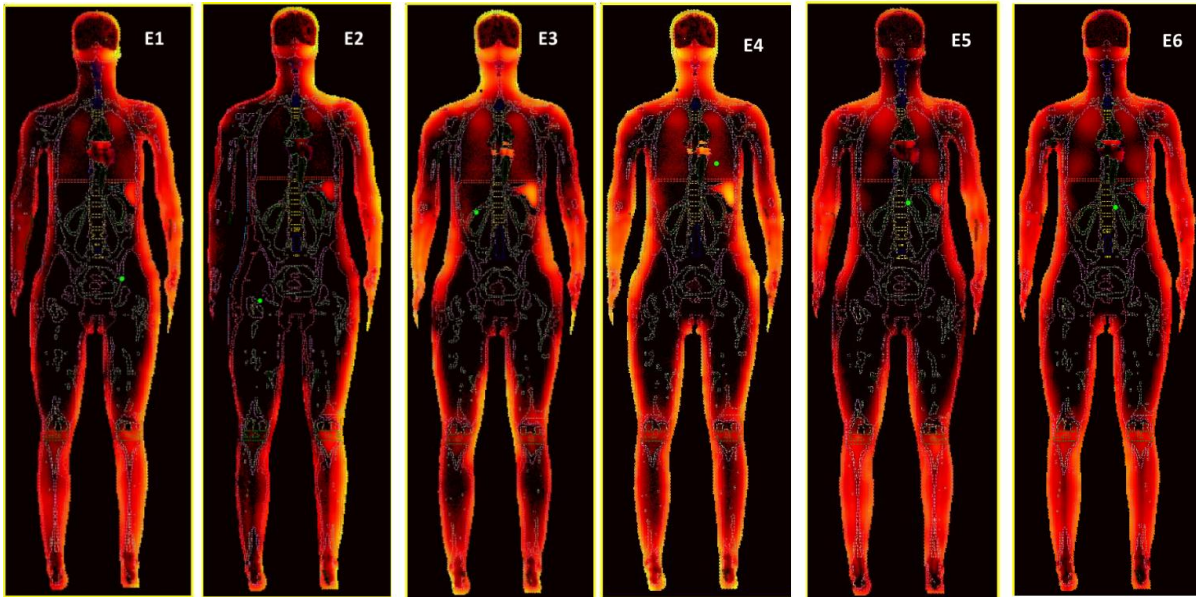


ნახ. 3. SAR 1g-ის მნიშვნელობები ქალის Ella მოდელისთვის 2400 MHz სიხშირეზე



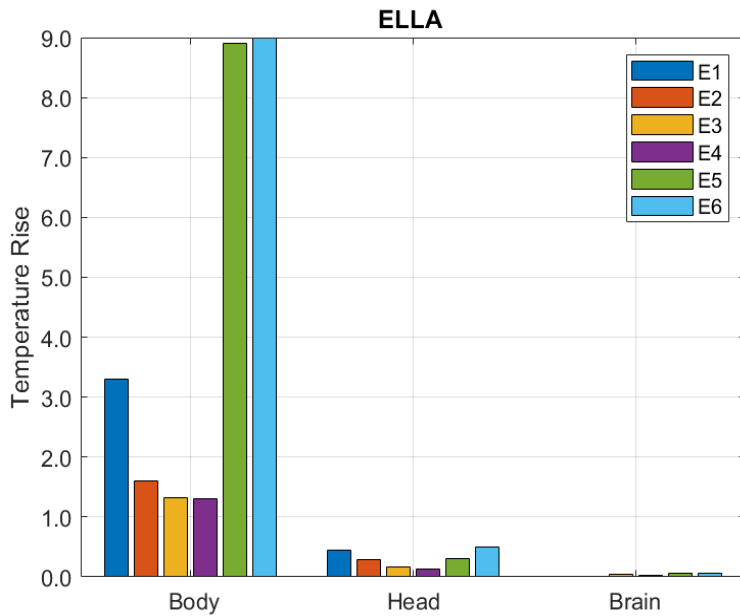
ნახ. 4. SAR 10g-ის მნიშვნელობები ქალის Ella მოდელისთვის 2400 MHz სიხშირეზე.

როდესაც ადამიანზე ზემოქმედებს 2400 MHz სიხშირის EM ტალღები, ადამიანის სხეულის მიერ EM ველის ენერჯის შთანთქმა იწვევს გათბობის რეაქციას და, როგორც აღინიშნა, რაოდენობრივად ხასიათდება SAR-ით (100KHz-10GHz ფარგლებში სიხშირეებისთვის), რომელიც გამოიხატება სხეულის ტემპერატურის მატებაში -  $\Delta T$ .



ნახ. 5. სითბოს განაწილება ქალის EIIa მოდელში 2400 MHz სიხშირეზე ( $\Delta T$  [dB])

$\Delta T$ -ის მნიშვნელობის დასადგენად, ჩვენ ჯერ შევავსეთ ტემპერატურის განაწილება სტაბილურ (STEADY STATE) მდგომარეობაში, როდესაც EM ველის ენერჯის შთანთქმა არ არის გათვალისწინებული. ამის შემდეგ შეიძლება შეფასდეს ადამიანის სხეულის შემდგომი ტემპერატურული რეაქცია EM ველის ენერჯის შთანთქმის გამო (SAR-ის მიხედვით).



სურ. 6.  $\Delta T$  [°C]-ის მნიშვნელობები EIIa მოდელისთვის 2400 MHz სიხშირეზე როგორც ნათლად ჩანს, ადამიანის ორგანიზმში ძირითადი თერმული რეაქცია ხდება სხეულის კანის ფენებში და თავის სკალპში. ვინაიდან RF ველს 2400 MHz სიხშირეზე ველი აღწევს ღრმად ადამიანის თავში; მაღალი რეაქტიული RF ველის შემთხვევაში, ტვინის ქსოვილებში ტემპერატურის მატება შეიძლება იყოს მნიშვნელოვნად მაღალი [18]. SAR მნიშვნელობების მსგავსად, ადამიანის სხეულის ტემპერატურული რეაქციაზე გავლენას ახდენს სხვადასხვა ფაქტორები. კერძოდ, ადამიანის ქსოვილის ბიო-თერმული თვისებები, აგრეთვე გამოსხივების წყაროების მახასიათებლები [18]. კვლევამ აჩვენა, რომ  $\Delta T$  მნიშვნელობები მნიშვნელოვნად

არის დამოკიდებული გამოსხივების წყაროს პოლარიზაციაზე (ნახ. 5. სურ. 6).  $\Delta T$  მნიშვნელობები ELLA-ს სხეულის, თავისა და ტვინის შიგნით E5 და E6 პოლარიზაციისთვის გაცილებით მაღალია E- ველის სხვა პოლარიზაციასთან შედარებით. უნდა აღინიშნოს, რომ E5 და E6 ველების პოლარიზაციის შემთხვევაში,  $\Delta T$  მნიშვნელობა ადამიანის თავში (ტვინში) არის  $0,007^{\circ}\text{C}$ , რაც ორჯერ მეტია, ვიდრე E1, E2, E3, E4 შემთხვევაში. მსგავსი ტენდენცია შეინიშნება  $\Delta T$  მნიშვნელობებს შორის ELLA-ს თავში და სხეულში. მიუხედავად იმისა, რომ მაღალი სიხშირის EM ველებით დასხივებისას ენერგია ძირითადად შეიწოვება კანის ფენებში, ყურადღება უნდა მიექცეს დასხივების ხანგრძლივობას, რადგან ადამიანები და სამყაროში ნებისმიერი ცოცხალი სისტემა მუდმივად იმყოფება უხილავი EM გამოსხივების ქვეშ. ამიტომ, მიუხედავად იმისა, რომ SAR და  $\Delta T$  მნიშვნელობები დადგენილ ზღვრებშია, გრძელვადიან ეფექტებზე ვერაფერს ვიტყვით. რადგან აღსანიშნავია, რომ EM- დასხივების ცხოველებზე კვლევებმა აჩვენა ტვინის კიბოს ეფექტი, რაც ადასტურებს RF EM ველების კლასიფიკაციას, როგორც შესაძლო კანცეროგენებს [19]. უნდა აღინიშნოს, რომ EM წყაროსთან ახლოს მცხოვრები ადამიანები მუდმივად იმყოფებიან EM გამოსხივების ზემოქმედების ქვეშ და ხშირ შემთხვევაში არ იციან შესაძლო ნეგატიური/არასასურველი ეფექტის შესახებ. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ მიღებული ICNIRP სტანდარტული მნიშვნელობები არ ითვალისწინებს ადამიანის გენდერულ და ასაკობრივ განსხვავებებს. არსებული სტანდარტები გვიცავს მოკლევადიანი ზიანისგან არსებულ ცოდნაზე დაყრდნობით. გრძელვადიანი ეფექტების შეფასება ძნელია, მაშინაც კი, თუ ველის მნიშვნელობები მიღებულ ლიმიტებზე დაბალია და მაშინაც კი, საექვოა, არის თუ არა ადამიანები სრულად დაცული. საფრთხე ასევე იზრდება - 5G სიხშირეზე [20], [21]. ადამიანზე EM ველის გავლენის შეფასებისას გასათვალისწინებელია მრავალი ფაქტორი, როგორცაა: ადამიანის სხეულის რთული გეომეტრია, სად მდებარეობს მანქანაში კომუნიკაციისას, დახურულ ოთახში, ოთახის კედლების გამჭვირვალობა. და ტელეფონის დაჭერის კონფიგურაცია და ა.შ. [24]. ძნელია ყველა ამ დეტალის გათვალისწინება, მაგრამ მათი მნიშვნელობის შეფასება შესაძლებელია.

## დასკვნა

EM ველების ადამიანზე ზემოქმედებით გამოწვეული თერმული ეფექტები შესწავლილი იყო SAR-ის და შესაბამისი ტემპერატურის მატების- $\Delta T$  მნიშვნელობების განსაზღვრის საფუძველზე, რის შედეგადაც შეფასდა შესაძლო ბიოლოგიური ეფექტები.

კვლევაში მიღებული შედეგების გაანალიზების შედეგად დადგინდა [25], რომ SAR და ადამიანის სხეულის შესაბამისი ტემპერატურული რეაქცია -  $\Delta T$  არის დადგენილ უსაფრთხოების საზღვრებში. კიდევ ერთხელ უნდა აღინიშნოს, რომ ადამიანები მუდმივად ექვემდებარებიან EM გამოსხივებას. ისინი შეიმუშავენ დამცავ ზომებს ფიზიკურად ხილული საფრთხეებისგან, მაგრამ ეს რთულია არახილული EM ველების წინააღმდეგ. რა თქმა უნდა, რთულია EM გამოსხივების ზემოქმედების სრულად თავიდან აცილება, მაგრამ მისი დაცვა აღიარებულ უსაფრთხო საზღვრებში გარკვეულწილად დაგვიცავს ჯანმრთელობის შესაძლო პრობლემებისგან. ბავშვები ამ მხრივ განსაკუთრებული ჯგუფია; მათი სხეულები განვითარების ეტაპზეა, ისინი უფრო შეღწევადია EM ველებისათვის და მათი



ზემოქმედებით გამოწვეული ეფექტები შესაძლოა უფრო შესამჩნევი იყოს [22]. ასევე, აღსანიშნავია სუსტი ჯანმრთელობის მქონე ადამიანების ჯგუფი.

დღეს, მიუხედავად ამ მიმართულებით მრავალი კვლევისა, ტექნოლოგიების სწრაფი განვითარების გამო, ადამიანზე EM ველის ზემოქმედების საკითხი ბოლომდე შესწავლილი არ არის და დებატების საგანია [21]. ამ მიმართულებით საჭიროა შემდგომი კვლევა.

### ალიარება

დაფინანსების პროგრამა/-ID: Joint Rustaveli-DAAD-fellowship programme, 2024 (დაფინანსების პროგრამის ნომერი - 57735997); პირადი რეფ. No: 91852390; საგრანტო ხელშეკრულება № 04/05; 16.05.2024.

### გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] J. Mydlováa , I. Gálováa, M. Beňováa, "Impact of Electromagnetic Fields in Transport on Active Implantable Medical Devices". Transportation Research Procedia. 40 (2019), pp. 1497–1503, 2019.
- [2] Zuzana Pšenáková, Mariana Beňová, „Effects of 2.4 GHz radiofrequency radiation to pacemaker“, Advanced Methods of Theory of Electrical Engineering, Trebic, Czech Republic, September 6 – 8, 2015,
- [3] T. Nozadze, V. Jeladze, R. Zaridze, 'Mobile Antenna Matching Study Considering Different Holding Positions at 2100 MHz Frequency', XXVIth International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory DIPED-2020, Tbilisi, Georgia, September 15-18, 2020
- [4] T. Nozadze, V. Jeladze, M. Tsverava, V. Tabatadze, M. Prishvin, R. Zaridze, "EM Exposure Study on an Inhomogeneous Child Model Considering Hand Effect", 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kyiv, Ukraine, May 29 -June 2, pp. 51-54, 2017.
- [5] V. Jeladze, T. Nozadze, I. Petoev-Darsavelidze and B. Partsvania, "Mobile phone antenna-matching study with different finger positions on an inhomogeneous human model," Electromagnetic Biology and Medicine, 38(4), 297-306, 2019. DOI: 10.1080/15368378.2019.1641721.
- [6] Online - <https://mdsafetech.org/wi-fi-effects/>
- [7] G. Redlarski, B. Lewczuk, A. Żak, A. Koncicki, M. Krawczuk, J. Piechocki, K. Jakubiuk, P. Tojza, J. Jaworski, D. Ambroziak, Ł. Skarbek, D. Gradolewski, "The Influence of Electromagnetic Pollution on Living Organisms: Historical Trends and Forecasting Changes", Biomed Res Int. 2015 (234098), 2015.
- [8] Abdul-Al, M., Amar, A.S. I., Elfergani, I., Littlehales, R. , Ojaroudi Parchin, N. , Al-Yasir, Y., See, C.H., Zhou, D., Abidin, Z. Z. , Alibakhshikenari, M., Zebiri, C., Elmegri, F., Abusitta, M., Ullah, A., Abdussalam, F. M. A. , Rodriguez, J., McEwan, N.J., Noras, J.M., Hodgetts, R., Abd-Alhameed, R. A." Wireless Electromagnetic Radiation Assessment Based on the Specific Absorption Rate (SAR): A Review Case Study". Electronics. 11(4), 511, 2022.
- [9] "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic-Fields, 3 kHz to 300 GHz". IEEE: New York, NY, USA, 95, pp. 1–1999, 1999.

- [10] "IICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up 300 GHz), International Commission on Non-Ionising Radiation Protection". Health Phys. 56, pp. 494–522, 1998.
- [11] Z. Szilágyi, Z. Németh, J. Bakos, G. Kubinyi, P.P. Necz, E. Szabó, G. Thuróczy, R. Pinto, B. Selmaoui, "Assessment of Inflammation in 3D Reconstructed Human Skin Exposed to Combined Exposure to Ultraviolet and Wi-Fi Radiation", Int. J. Mol. Sci. 24(3), 2853, 2023.
- [12] International Agency for Research on Cancer IARC- Press Release N: 208. 2011. Available from: [http://emfguide.itu.int/pdfs/pr208\\_E.pdf](http://emfguide.itu.int/pdfs/pr208_E.pdf).
- [13] T. Nozadze, K. Henke, M. Kurtsikidze, V. Jeladze, G. Ghvedashvili, R. Zaridze, "Study How the Hand Effects on the Mobile Phone Dipole Antenna Matching Conditions to the Free Space at 3700 MHz Frequency", UkrMW 2022 - Proceedings, pp. 439–443, 2022.
- [14] Online - IT'IS Foundation. <http://www.itis.ethz.ch/itis-for-health/tissueproperties/database/database-summary/> 99
- [15] Online - Physicians for Safe Technology. <https://mdsafetech.org/conversion-and-exposure-limits-emr-emf/>
- [16] Online - <https://ampeid.org/documents/georgia/order-no-297-n-of-2001-of-minister-of-labor-health-and-social-affairs-of-georgia-on-environmental-quality-requirements/>
- [17] S. Miguel-Bilbao, V. Ramos, J. Blas, "Comments on assessment of polarization dependence of body shadow effect on dosimetry measurements in the 2.4 GHz band," Bio-electromagnetics, Vol. 38, No. 4, 315–321, 2017.
- [18] H. Tooba, M. Moazam, " SAR Calculation & Temperature Response of Human Body Exposure to Electromagnetic Radiations at 28, 40 and 60 GHz mmWave Frequencies", Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 73, 47–59, 2018
- [19] "Report of Partial Findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley® SD rats (Whole Body Exposures)," bioRxiv, 2016.
- [20] Online- IEEE SPECTRUM- <https://spectrum.ieee.org/will-5g-be-bad-for-our-health>
- [21] D. Leszczynski, „Call for consensus debate on mobile phone radiation and health: Are current safety guidelines sufficient to protect everyone's health?", Front. Public Health, 10:1085821, 2022 doi: 10.3389/fpubh.2022.1085821
- [22] L. Hardell, "Effects of Mobile Phones on Children's and Adolescents' Health: A Commentary," *US National Library of Medicine National Institutes of Health*, vol. 89(1), pp. 137-140, 2018
- [23] A. Warille, M. Onger, A. Turkmen, Ö. Deniz, G. Altun, K. Yurt, et al. „Controversies on electromagnetic field exposure and the nervous systems of children". *Histol Histopathol*. vol. 31, pp. 461–8, 2016
- [24] T. Nozadze, V. Jeladze, V. Tabatadze, I. Petoev, M. Prishvin, R. Zaridze, "Base Station Antenna's EM Exposure Study on a Homogeneous Human Model Located Inside the Car", XXII-nd International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory DIPED 2017, Dnipro, Ukraine, September 25-28, pp. 209-213, 2017

[25] Tamar Nozadze, Jens Haueisen, Vera Jeladze. " Assessment of Electromagnetic Field Exposure to Humans at 2.4 GHz Wi-Fi Frequency", Conference: 2024 IEEE 29th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED), 11-13 September 2024, DOI: [10.1109/DIPED63529.2024.10706179](https://doi.org/10.1109/DIPED63529.2024.10706179)

## Computer Modeling Study of the Effects of Radio Frequency EM Radiation on Humans

Tamar Nozadze<sup>1</sup>, Lela Tsitashvili <sup>2</sup>, Ivliane Nozadze <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ivane Javakhishvili Tbilisi State University (TSU)

2.1. <sup>2</sup>Samtskhe-Javakheti State University

<sup>3</sup> Ivane Beritashvili Center of Experimental Biomedicine

[tamar.nozadze@tsu.ge](mailto:tamar.nozadze@tsu.ge), [lelatsitashvili@sjuni.edu.ge](mailto:lelatsitashvili@sjuni.edu.ge), [nozadzelia@yahoo.com](mailto:nozadzelia@yahoo.com)

### Abstract

Thermal effects of radiofrequency EM field exposure on humans were studied. The only acceptable and reliable way to study the effects of electromagnetic fields on biological bodies such as humans is computer simulation using numerically realistic models (or phantoms). The method of study is the finite difference time domain (FDTD) method. Based on numerical experiments performed by the FDTD LAB program, the average SAR values in a female whole body model and the temperature response ( $\Delta T$ ) caused by the absorption of EM field energy were determined. The compliance of the results with safety limits was also studied; Possible risks were assessed based on the amount of absorbed energy and the corresponding  $\Delta T$  value.

**Keywords:** human model, FDTD, SAR, EM fields;

### *Acknowledgment*

Funding programme/-ID: Joint Rustaveli-DAAD-fellowship programme, 2024 (Funding programm number - 57735997); Personal ref. no.: 91852390; Grant Agreement № 04/05; 16.05.2024.