

ელექტრომაგნიტური ველები: თანამედროვე სამეცნიერო ხედვები თამარ ნოზაძე

ელექტრული და ელექტრონული ინჟინერიის დეპარტამენტი, გამოყენებითი ელექტროდინამიკისა და რადიოინჟინერიის ლაბორატორია (LAE), ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
tamar.nozadze@tsu.ge

აბსტრაქტი

ბოლო ათწლეულებში უკაბელო საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა სამეცნიერო ინტერესი რადიოსიხშირული (RF) ელექტრომაგნიტური (EM) ველების შესაძლო ზემოქმედების მიმართ ადამიანის ჯანმრთელობაზე, განსაკუთრებით ბავშვებსა და მოზარდებში. მოცემული ნაშრომი წარმოადგენს სამეცნიერო კვლევების, საერთაშორისო ორგანიზაციების მიმდინარე დასკვნებისა და რეკომენდაციების მოკლე მიმოხილვას. ანალიზი ეფუძნება მრავალფეროვან კვლევით შედეგებს.

ეპიდემიოლოგიური და ექსპერიმენტული კვლევების თანახმად, არსებული მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ ამ ეტაპზე არ არსებობს თანმიმდევრული მტკიცებულება, რომელიც საბაზო სადგურებიდან ან უკაბელო ქსელებიდან მომდინარე RF გამოსხივებას ჯანმრთელობისთვის საზიანო შედეგებთან, მათ შორის კიბოს განვითარებასთან, პირდაპირ აკავშირებს. WHO-ის მიხედვით, არსებული მტკიცებულებებისა და შედარებით დაბალი ექსპოზიციის დონეების გათვალისწინებით, არ არსებობს დამაჯერებელი სამეცნიერო დასაბუთება იმისა, რომ უკაბელო საკომუნიკაციო სისტემების RF გამოსხივება საფრთხეს უქმნის ადამიანის ჯანმრთელობას.

თუმცა, რეკომენდებულია დამატებითი კვლევების ჩატარება, განსაკუთრებით გრძელვადიანი ექსპოზიციისა და მოწყვლადი მოსახლეობის ჯგუფების კონტექსტში.

საკვანძო სიტყვები: ელექტრომაგნიტური ველი (EMF), უკაბელო კომუნიკაცია, შთანთქმის კუთრი კოეფიციენტი (SAR), ადამიანი

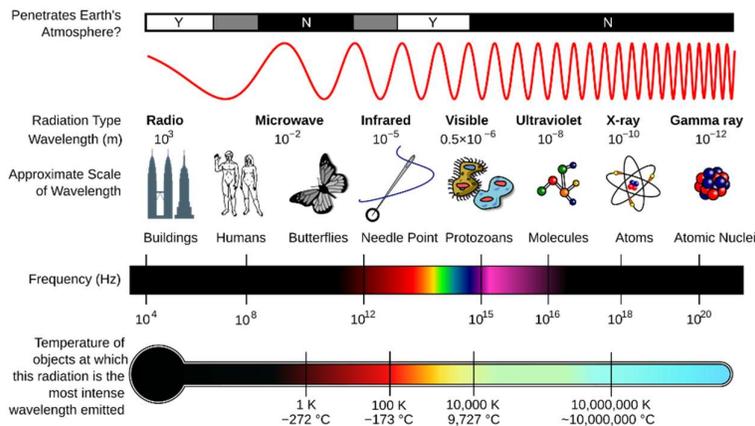
დაფინანსებულია შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის (SRNSFG) მიერ, გრანტის ფარგლებში [FR-24-469].

ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით განპირობებული დაბინძურება წარმოადგენს თანამედროვე გარემოსდაცვითი და ტექნოლოგიური განვითარების თანმდევ მნიშვნელოვან პრობლემას, რომელიც ვლინდება როგორც გარე, ასევე შიდა საცხოვრებელ გარემოში. მისი იდენტიფიცირება და რაოდენობრივი შეფასება ხორციელდება სხვადასხვა მეთოდით, მათ შორის კომპიუტერული მოდელირების გამოყენებით, ველის ტესტირების მეთოდითა და სხვ. აღნიშნული მეთოდები ფართოდ არის დანერგილი სამეცნიერო და საინჟინრო პრაქტიკაში, თუმცა მაღალი სიზუსტისა და სანდოობის უზრუნველსაყოფად კვლავ საჭიროებს დამატებით ექსპერიმენტულ კვლევებსა და ვალიდაციას [1]-[3].

გარემოში ელექტრომაგნიტური დაბინძურების ძირითადი წყაროებია სატელეკომუნიკაციო სისტემები, ელექტროენერჯის გადამცემი ინფრასტრუქტურა და სხვა ტექნიკური მოწყობილობები. საბაზო სადგურების რაოდენობის ზრდა იწვევს ელექტრომაგნიტური ველების ინტენსივობის მატებას. საბაზო სადგურების ანტენები და საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურა წარმოადგენს გამოსხივების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან წყაროს. ამასთანავე, მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზებისა და ენერგეტიკული მოწყობილობების ფუნქციონირებაც მნიშვნელოვნად ზრდის ფონურ ელექტრომაგნიტურ დონეს. აღსანიშნავია, რომ არასათანადოდ დაგეგმილი ან დამონტაჟებული სისტემები შეიძლება დამატებით ზრდიდეს გამოსხივების ინტენსივობას [2]-[8].

შიდა სივრცეებშიც ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროების რაოდენობა მუდმივად იზრდება, რაც ხელს უწყობს ინტენსიური ელექტრომაგნიტური ველების ფორმირებას [1]-[3].

არაიონიზებული ელექტრომაგნიტური გამოსხივება კლასიფიცირდება სიხშირის მიხედვით რამდენიმე კატეგორიად: რადიოსიხშირის, შუალედური სიხშირის, უკიდურესად დაბალი სიხშირის და სტატიკური ველები (სურ.1).



სურ.1. ელექტრომაგნიტური სპექტრის დიაგრამა

ელექტრომაგნიტური ზემოქმედება შეიძლება გამოვლინდეს როგორც ველების, ასევე გამოსხივების სახით. მიკროტალღური დიაპაზონის მაღალი ენერჯის გამოსხივებამ, რომელიც შედის აღნიშნულ სპექტრში, შესაძლოა გამოიწვიოს თერმული ეფექტები, მათ შორის ქსოვილების გათბობა. ზოგიერთ შემთხვევაში იგი განიხილება პოტენციურად კარცინოგენულ ფაქტორად. 300 გიგაჰერცზე დაბალი სიხშირის გამოსხივება, როგორც წესი, მიეკუთვნება არაიონიზებელ გამოსხივებას [4]-[15].

ელექტრომაგნიტური გამოსხივება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს როგორც ტექნოლოგიურ სისტემებზე, ასევე ბიოლოგიურ ორგანიზმებზე. ელექტრული მოწყობილობების ფუნქციონირება შეიძლება შეფერხდეს ელექტრომაგნიტური ჩარევის პირობებში, რაც ამცირებს მათ ეფექტიანობასა და საიმედოობას. ამასთანავე, ელექტრომაგნიტური ველები მოქმედებენ ცოცხალ ორგანიზმებზე, თუმცა მათი ზემოქმედების მექანიზმები და გრძელვადიანი ეფექტები ჯერ კიდევ სრულად არ არის შესწავლილი [5]-[10].

ამ ფონზე განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მონიტორინგი, შეფასება და შესაბამისი პრევენციული ღონისძიებების განხორციელება. ეკრანირების ტექნოლოგიების გამოყენება, რეგულარული გაზომვები და კონტროლის თანამედროვე მეთოდების დანერგვა საშუალებას იძლევა შემცირდეს მისი პოტენციურად უარყოფითი გავლენა. სამედიცინო სფეროში ელექტრომაგნიტური ენერჯია გამოიყენება მკაცრად რეგულირებულ პირობებში, განსაზღვრული სიხშირისა და ინტენსივობის ფარგლებში.

აქტუალურია ახალი ტექნოლოგიური გადაწყვეტების განვითარება, რომლებიც შეამცირებს უკაბელო ქსელების, მათ შორის Wi-Fi სისტემების, შესაძლო ზემოქმედებას ადამიანის ჯანმრთელობასა და გარემოზე, მიუხედავად იმისა, რომ ელექტრომაგნიტურ ტექნოლოგიებს მრავალი პოზიტიური გამოყენებაც გააჩნია [6], [10]-[21].

ელექტრომაგნიტური გამოსხივება თანამედროვე ტექნოლოგიური პროგრესის შედეგად პრაქტიკულად ყველგან არის. ხელოვნური წყაროები ხშირად ხასიათდება უფრო მაღალი ინტენსივობით, ვიდრე ბუნებრივი ფონური გამოსხივება. მიუხედავად ამისა, დღემდე არ არსებობს ერთმნიშვნელოვანი სამეცნიერო მტკიცებულება, რომელიც დაადასტურებდა მობილური ტელეფონებისა და სხვა პორტატული მოწყობილობების პირდაპირ მავნე ზემოქმედებას ადამიანის ჯანმრთელობაზე. თუმცა, არ გამოირიცხება დაბალი ინტენსივობის გამოსხივებასთან ხანგრძლივი ზემოქმედების პოტენციური რისკები, მათ შორის კარცინოგენული პროცესების განვითარების შესაძლებლობა [1]-[9].

ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით, უკიდურესად დაბალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების ხანგრძლივი ზემოქმედების შესახებ არსებული მონაცემები კვლავ შეზღუდულია. სხვადასხვა ქვეყანა ადგენს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების დასაშვებ ზღვრულ დონეებს, რომლებიც, მოქმედი ნორმების მიხედვით,

არ უნდა იწვევდეს ადამიანის ქსოვილების ტემპერატურის მატებას ერთ გრადუს ცელსიუსზე მეტად [7]-[9].

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების შეფასება ხდება ელექტრული და მაგნიტური ველების ინტენსივობისა და სიმძლავრის გაზომვით. ყოველდღიური გამოყენების მოწყობილობების უმეტესობა მუშაობს 300 მეგაჰერციდან 300 გიგაჰერცამდე სიხშირის დიაპაზონში, რაც შეესაბამება მიკროტალღურ სპექტრს. ამასთანავე, ელექტროენერგიის გადამცემი სისტემები წარმოქმნიან შედარებით დაბალი სიხშირის, თუმცა ხშირად მაღალი ინტენსივობის ელექტრომაგნიტურ ველებს [8]-[21].

ეპიდემიოლოგიური კვლევების მნიშვნელოვანი ნაწილი ეძღვნება ელექტროგადამცემი ხაზების მიერ გენერირებული ველების გავლენას ადამიანის ჯანმრთელობაზე. კვლევათა უმეტესობა არ ადასტურებს მკვეთრად გამოხატულ ნეგატიურ ეფექტებს, თუმცა არსებობს მონაცემები, რომლებიც მიუთითებს სუსტი, მაგრამ შესაძლო უარყოფითი ზემოქმედების არსებობაზე. არსებულ კვლევებზე დაყრდნობით, რადიოსიხშირის ელექტრომაგნიტური ველები შესაძლოა დაკავშირებული იყოს გლიომის განვითარების გაზრდილ რისკთან, განსაკუთრებით მობილური ტელეფონების ხანგრძლივი გამოყენების შემთხვევაში [16]-[21], [26].

ბოლო პერიოდში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა Wi-Fi ტექნოლოგიებით გენერირებული ელექტრომაგნიტური ველების გავლენას. ზოგიერთი კვლევა მიუთითებს ისეთ შესაძლო ბიოლოგიურ ეფექტებზე, როგორცაა ოქსიდაციური სტრესი, დნმ-ის დაზიანება, ნეიროფსიქიატრიული ცვლილებები და ჰორმონალური დისბალანსი. თუმცა, აღნიშნული მიმართულებით არსებული მტკიცებულებები ჯერ კიდევ არასაკმარისია და საჭიროებს შემდგომ სიღრმისეულ და გრძელვადიან კვლევებს [1]-[21].

მოცემულ კვლევებში [22]-[25] განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებულია RF ელექტრომაგნიტური ველების გავლენაზე ბიოლოგიურ სისტემებზე, დაწყებული მწერებიდან დამთავრებული ადამიანებით. შესწავლილია კონკრეტული შთანთქმის სიჩქარე (SAR) თავლის ფუტკრებში, რომლებიც 2.5-100 GHz რადიოსიხშირის ემ ველის ზემოქმედებას განიცდიან, რაც მნიშვნელოვანია მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების მცირე ორგანიზმებთან ურთიერთობის გაგებისთვის. განახორციელეს ციფრული დოზიმეტრია, რათა შეაფასონ SAR მწერებში, რომლებზეც მოქმედებს შორი-ველის RF გამოსხივება, რაც ხაზს უსვამს კომპიუტერული მოდელირების მნიშვნელობას ბიოლოგიური ორგანიზმების მიერ ემ ველის ენერჯის შთანთქმის შეფასებაში. კვლევაში [24] შესწავლილია რა გავლენას ახდენს ხელის მდებარეობა/პოზიცია მობილური ტელეფონის დიპოლის ანტენის შეთანხმების პირობებზე თავისუფალ სივრცესთან (3700 MHz სიხშირეზე), რაც ხაზს უსვამს ტელეფონის რეალისტური გამოყენების სცენარების გათვალისწინების აუცილებლობას ანტენის მუშაობის შეფასებაში. ადრე ჩატარებული კვლევა [24] შეეხებოდა ბაზური სადგურის ანტენის ელექტრომაგნიტურ გამოსხივების

ზემოქმედებას ჰომოგენურ ადამიანის მოდელზე, რომელიც იმყოფება მანქანაში, რაც ხაზს უსვამს გარემოს ფაქტორების როლს RF ზემოქმედების შეფასებაში.

რაც შეეხება არათერმულ ეფექტებს, როგორც აღნიშნავენ, სამეცნიერო მტკიცებულებები არასაკმარისი და არათანმიმდევრულია. არსებული მონაცემები არ იძლევა ადამიანებზე უარყოფითი ეფექტების მკაფიო მტკიცებულებას (<https://www.who.int/>). საჭიროა შემდგომი კვლევა, რომელიც დაფუძნებული იქნება გაცილებით ზუსტ დოზიმეტრულ პროცედურებსა და პროტოკოლებზე, რომლებიც მხარდაჭერილი იქნება ბიოლოგიურ ქსოვილში რადიოსიხშირული ველის განაწილების სიმულაციებით.

დასკვნის სახით, Wi-Fi რადიოსიხშირული ველების ზემოქმედება ადამიანებზე, მათ შორის სკოლებში ბავშვებზე ზემოქმედება, შედარებით დაბალია და უმეტეს შემთხვევაში უფრო დაბალია, ვიდრე გარემოში არსებული სხვა ელექტრომაგნიტური ველის წყაროების. ამის გათვალისწინებით, ჩვენ, ბავშვებმაც და უფროსებმაც, უნდა მივყვეთ პრაქტიკულ რჩევებს Wi-Fi-სა და მობილური ტექნოლოგიების გამოყენების მონიტორინგისა და შეზღუდვის შესახებ, რადგან რადიოსიხშირული ველები გარდაუვალ გარემოდ იქცა და რომელშიც გვიწევს ცხოვრება. დედამიწაზე თითქმის არ არსებობს ადგილები, რომლებიც არ არის დაფარული რადიოსიხშირული ველებით.

სასურველია გაგრძელდეს დაკვირვება ხელოვნურად შექმნილი ველების და შევისწავლოთ მათი შესაძლო გავლენა ადამიანისა და ადამიანისგან განსხვავებულ გენეტიკურ და ფიზიოლოგიურ სტრუქტურაზე.

გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] X. Dong, “On Measurement of Electromagnetic Radiation by Computer System in Indoor Electromagnetic Environment,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1992, p. 032145, 2021.
- [2] S. N. Darovskikh, P. M. Shonazarov, F. Sodik, F. T. Kholov, R. Umaralizoda, et al., “On the possible causal relationship of the COVID-19 viral disease with electromagnetic pollution of the environment and the main directions of its weakening,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1889, p. 052028, 2021.
- [3] M. V. Grafkina, E. Y. Sviridova, and E. R. Veliyeva, “Environmental Monitoring of Electromagnetic Fields in Residential Areas,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 688, p. 012015, 2021.
- [4] M. Scalia, F. Pulcini, and M. Sperini, “Electromagnetic characterization of the environment. An Italian experience and the ‘mapping’ method,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 853, p. 012004, 2021.

- [5] S. Y. Rybalko, Y. V. Bobrik, and A. L. Korepanov, "The influence of Wi-Fi range electromagnetic radiation on the parameters of the human's heart variability," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 853, p. 012010, 2021.
- [6] L. Moulton Howe, "Growing concern about electromagnetic pollution and cell phones," 2008. [Online]. Available: [accessed May 2012].
- [7] V. H. Céspedes, L. F. Cadavid, and Y. A. Gómez, "Electromagnetic pollution maps as a resource for assessing the risk of emissions from mobile communications antennas," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, pp. 4244–4251, 2020.
- [8] G. Redlarski, B. Lewczuk, A. Żak, A. Koncicki, M. Krawczuk, et al., "The influence of electromagnetic pollution on living organisms: historical trends and forecasting changes," *Biomed. Res. Int.*, vol. 2015, p. 25, 2015.
- [9] World Health Organization (WHO), "Electromagnetic fields," [Online]. Available: https://www.who.int/health-topics/electromagnetic-fields#tab=tab_1.
- [10] J. Wiart, A. Hadjem, N. Gadi, I. Bloch, M. F. Wong, A. Pradier, et al., "Modeling of RF head exposure in children," *Bioelectromagnetics*, Suppl. 7, pp. S19–S30, 2005.
- [11] S. Mortazavi, M. Motamedifar, G. Namdari, M. Taheri, A. Mortazavi, and N. Shokrpour, "Nonlinear adaptive phenomena which decrease the risk of infection after pre-exposure to radiofrequency radiation," *Dose-Response*, vol. 12, no. 2, 2014, doi:10.2203/dose-response.
- [12] P. A. Valberg, T. E. van Deventer, and M. H. Repacholi, "Workgroup report: base stations and wireless networks—radiofrequency (RF) exposures and health consequences," *Environ. Health Perspect.*, vol. 115, no. 3, pp. 416–424, 2007.
- [13] M. Taheri, S. Mortazavi, M. Moradi, S. Mansouri, G. Hatam, and F. Nouri, "Evaluation of the effect of radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi router and mobile phone simulator on the antibacterial susceptibility of pathogenic bacteria *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli*," *Dose-Response*, vol. 15, no. 1, 2017, doi:10.1177/1559325816688527.
- [14] D. Belpomme, L. Hardell, I. Belyaev, E. Burgio, and D. O. Carpenter, "Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective," *Environ. Pollut.*, vol. 242, pp. 643–658, 2018.
- [15] M. Blettner, B. Schlehofer, J. Breckenkamp, B. Kowall, S. Schmiedel, U. Reis, et al., "Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 1 of a population-based, cross-sectional study in Germany," *Occup. Environ. Med.*, vol. 66, no. 2, pp. 118–123, 2009.
- [16] H. Hutter, H. Moshhammer, P. Wallner, and M. Kundi, "Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations," *Occup. Environ. Med.*, vol. 63, no. 5, pp. 307–313, 2006.

- [17] B. B. Levitt and H. Lai, “Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays,” *Environ. Rev.*, vol. 18, no. NA, pp. 369–395, 2010.
- [18] C. Baliatsas, I. van Kamp, G. Kelfkens, M. Schipper, J. Bolte, J. Yzermans, et al., “Nonspecific physical symptoms in relation to actual and perceived proximity to mobile phone base stations and powerlines,” *BMC Public Health*, vol. 11, no. 1, pp. 1–12, 2011.
- [19] S. Yassin, M. Musleh, and S. Abuzerr, “Electromagnetic radiation exposure from nearby cellular base stations in the Gaza Strip, Palestine: a concern for public health,” *J. Biosci. Med.*, vol. 7, no. 4, pp. 46–59, 2019.
- [20] O. F. Sonmez, E. Odaci, O. Bas, and S. Kaplan, “Purkinje cell number decreases in the adult female rat cerebellum following exposure to 900 MHz electromagnetic field,” *Brain Res.*, vol. 1356, pp. 95–101, 2010.
- [21] E. Odacı, H. Hancı, A. İkinci, O. F. Sönmez, A. Aslan, A. Şahin, et al., “Maternal exposure to a continuous 900-MHz electromagnetic field provokes neuronal loss and pathological changes in cerebellum of 32-day-old female rat offspring,” *J. Chem. Neuroanat.*, vol. 75, pp. 105–110, 2016.
- [22] V. Jeladze, A. Thielens, T. Nozadze, G. Korkotadze, B. Partsvania, and R. Zaridze, “Estimation of the specific absorption rate for a honey bee exposed to radiofrequency electromagnetic fields from 2.5 to 100 GHz,” in *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, vol. 1, pp. 180–185, Sep. 2023, IEEE.
- [23] V. Jeladze, T. Nozadze, B. Partsvania, A. Thielens, L. Shoshiashvili, and T. Gogoladze, “Numerical dosimetry of specific absorption rate of insects exposed to far-field radiofrequency electromagnetic fields,” *Int. J. Radiat. Biol.*, vol. 101, no. 3, pp. 327–340, Mar. 2025, Taylor & Francis.
- [24] T. Nozadze, K. Henke, M. Kurtsikidze, V. Jeladze, G. Ghvedashvili, and R. Zaridze, “Study how the hand affects on the mobile phone dipole antenna matching conditions to the free space at 3700 MHz frequency,” in *2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, pp. 439–443, Nov. 2022, IEEE.
- [25] T. Nozadze, V. Jeladze, V. Tabatadze, I. Petoev, M. Prishvin, and R. Zaridze, “Base station antenna's EM exposure study on a homogeneous human model located inside the car,” in *2017 XXIIInd International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, pp. 209–213, Sep. 2017, IEEE.
- [26] Mate R, Benke G, Loughran SP, Abramson MJ, Vjadic C, Turner M, Turuban M, Cardis E, Karipidis K. Is occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields associated with glioma risk? An Australian population-based family case-control study. *BMJ Open*. 2026 Mar

Electromagnetic Fields: Current Scientific Insights

Tamar Nozadze

*Department of Electrical and Electronics Engineering, Laboratory of Applied Electrodynamics and Radio Engineering
LAE,*

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University,

Tbilisi, Georgia

tamar.nozadze@tsu.ge

Abstract:

Over recent decades, the rapid expansion of wireless communication technologies has increased scientific interest in the potential health effects of electromagnetic (EM) radiofrequency (RF) fields, particularly among children and adolescents. This study provides a brief review of the current conclusions and recommendations of international organizations. The analysis incorporates findings from a wide range of studies.

As reported in several epidemiological and experimental studies, no consistent evidence has been found linking RF exposure from base stations or wireless networks to adverse health outcomes, including cancer. Based on the existing body of evidence and relatively low exposure levels, there is no convincing scientific proof that weak RF signals from wireless communication systems pose a risk to human health. Nevertheless, further research is recommended, particularly with regard to long-term exposure and vulnerable populations.

Keywords: Electromagnetic Field (EMF), Wireless Communication, Specific Absorption Rate (SAR), Human

This study was financially supported by the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) under grant [FR-24-469].