

## ZAMONAVIY ALOQA TEXNOLOGIYALARI VA ULARNING SOG'LIQ UCHUN OQIBATLARI

<sup>1</sup>*Toshmatova G.A.,*

<sup>2</sup>*Erkinov I.A.,*

<sup>3</sup>*Mirsagatova M.R.*

<sup>1</sup>*Toshkent tibbiyot akademiyasi, Atrof muhi*

*t gigiyenasi kafedrasi katta oqituvchi*

*E-mail: g.toshmatova@yahoo.com*

<sup>2</sup>*Toshkent Tibbiyot Akademiyasi, 1-son*

*davolash fakulteti, 215-guruh talabasi*

*E-mail: islomerkinov45@gmail.com*

<sup>3</sup>*Toshkent tibbiyot akademiyasi, Atro*

*f muhit gigiyenasi kafedrasi assistent*

*E-mail: [mavludamirsagatova0@gmail.com](mailto:mavludamirsagatova0@gmail.com),*

*ORCID: 0000-0002-2463-8311*

**Annotatsiya:** Beshinchi avlod (5G) simsiz aloqa tarmoqlari yuqori tezlikdagi ma'lumot uzatish va past kechikish kabi innovatsion xizmatlarni ta'minlashda muhim o'rin tutmoqda. Biroq, 6 GHz dan yuqori chastotalardagi elektromagnit maydonlarning (EMF) inson salomatligiga ta'siri haqidagi savollar dolzarb bo'lib qolmoqda. Ushbu maqola 23 eksperimental tadqiqot natijalarini tahlil qilib, 5G chastotalarining genotoksiklik, hujayra proliferatsiyasi, gen ifodasi va hujayra signalizatsiyasiga ta'sirini ko'rib chiqadi. Tadqiqotlarning 80% past darajadagi EMF ta'sirida (ICNIRP chegaralaridan past) jiddiy biologik effektlar aniqlamadi ( $p > 0.05$ ), ammo 20%

hollarda qisqa muddatli effektlar (masalan, kalsiy oqimi o'zgarishi) qayd etildi ( $p < 0.05$ ). Metodologik cheklovlar, xususan, dozimetriya noaniqligi (40%) va harorat nazorati yetishmasligi (30%), natijalarni umumlashtirishni qiyinlashtirmoqda. Ushbu tahlil 5G tarmoqlarining xavfsizligi haqidagi ilmiy munozaralarga hissa qo'shish va jamoatchilik ishonchini oshirishni maqsad qiladi.

**Kalit so'zlar:** 5G tarmoqlari, elektromagnit maydonlar (EMF), genotoksiklik, hujayra proliferatsiyasi, gen ifodasi, hujayra signalizatsiyasi, millimetr to'lqinlar, dozimetriya, pulsatsiyali signallar, ICNIRP standartlari, inson salomatligi

Zamonaviy dunyoda simsiz aloqa texnologiyalari, masalan, Wi-Fi va mobil tarmoqlar (3G, 4G, hozir esa 5G), kundalik hayotning ajralmas qismiga aylandi. 5G tarmoqlari yuqori tezlikdagi ma'lumot uzatish, past kechikish va Internet of Things (IoT) kabi innovatsion imkoniyatlarni ta'minlab, iqtisodiy va ijtimoiy rivojlanishga hissa qo'shmoqda [3,12,15]. Yevropa Ittifoqi, AQSh va Osiyoda 5G tarmoqlarini joriy etish jadal sur'atlarda davom etmoqda, bu esa 2025-yilga kelib global miqyosda milliardlab qurilmalarni bog'laydigan "gigabit jamiyati"ni shakllantirishni maqsad qilmoqda[1]. Biroq, 5G tarmoqlarining 6 GHz dan yuqori chastotalarda, xususan, millimetr to'lqinlar (30-300 GHz) diapazonida ishlashi va zich antenna tarmoqlariga tayanishi elektromagnit maydonlarning (EMF) inson salomatligiga ta'siri haqida jiddiy savollar tug'dirmoqda [5,12,15].

Ilmiy adabiyotlarda 5G chastotalarining potentsial biologik effektlari – genotoksiklik, hujayra proliferatsiyasi, gen ifodasi va nevrologik ta'sirlar bo'yicha turli xil qarashlar mavjud. Ba'zi tadqiqotlar past darajadagi EMF ta'sirining xavfsiz ekanligini ta'kidlasa [6], boshqalar uzoq muddatli ta'sirlar va pulsatsiyali signallarning noma'lum xavflarini ko'rsatib, ehtiyotkor yondashuvni talab qilmoqda [2]. Ayniqsa, millimetr to'lqinlarning qisqa masofalarda yuqori quvvat zichligi va teri hujayralariga ta'siri kabi xususiyatlari ilmiy munozaralarni kuchaytirmoqda. Yevropa Ittifoqida 1999/519/EC Kengash Tavsiyanomasi EMF ta'sirini tartibga solsa-da, ushbu

standartlar 5G tarmoqlarining yangi xususiyatlarini to'liq hisobga olmaydi, bu esa qonunchilikni yangilash zarurligini ko'rsatmoqda[1]

### **Tadqiqot maqsadi:**

Ushbu maqola 5G tarmoqlarining inson salomatligiga ta'sirini eksperimental tadqiqotlar asosida tahlil qiladi, genotoksiklik, hujayra proliferatsiyasi, gen ifodasi va hujayra signalizatsiyasi kabi biologik effektlarni ko'rib chiqadi.

### **Elektromagnit to'lqinlarning tabiat va xususiyatlari**

Elektromagnit to'lqinlar radiochastota (RF) nurlanishining bir ko'rinishi bo'lib, simsiz qurilmalar, masalan, Wi-Fi routerlar, smartfonlar va 5G antennalari tomonidan ishlab chiqariladi. Wi-Fi tarmoqlari odatda 2.4 GHz yoki 5 GHz chastotalarda ishlasa, 5G tarmoqlari kengroq diapazonni, shu jumladan 6–100 GHz millimetr to'lqinlarini qamrab oladi.[5, 2-bet] [1, 10-bet]

. Millimetr to'lqinlarning asosiy farqi ularning qisqa to'lqin uzunligida va past penetratsiya qobiliyatidadir. Bu to'lqinlar inson tanasining chuqur to'qimalariga kira olmaydi va asosan teri va ko'zlarning yuzaki qatlamlariga ta'sir qiladi.[5 ,12, 4,12,9]

### **Elektromagnit to'lqinlarning ta'siri ikki asosiy toifaga bo'linadi:**

- Issiqlik ta'sirlari: To'qimalarni isitish, bu odatda yuqori quvvatli nurlanishda yuzaga keladi.
- Issiqlik bo'lmagan ta'sirlari: Harorat o'zgarishisiz biologik jarayonlarga ta'sir qilishi mumkin deb taxmin qilinadigan ta'sirlar, lekin bu ta'sirlarning mexanizmlari hali to'liq o'rganilmagan.[5,2,4,11,15]

Xalqaro Ionlashtirilmagan Nurlanishdan Himoya Qilish Komissiyasi (ICNIRP) va boshqa tashkilotlar tomonidan belgilangan xavfsizlik chegaralari issiqlik ta'sirlaridan himoya qilishga qaratilgan. Masalan, umumiy aholi uchun maxsus so'rilish darajasi (SAR) 0.08 W/kg, quvvat zichligi esa 10 W/m<sup>2</sup> (yoki 1 mW/cm<sup>2</sup>)

bilan cheklangan. Bu chegaralar to'qimalarni  $1^{\circ}\text{C}$  dan ortiq isitishning oldini olish uchun mo'ljallangan.[1,2,5,14]

Quvvat va vaqt bog'liqligi: Tadqiqotlar quvvat zichligi ( $0.01 \text{ mW/cm}^2$  dan  $5000 \text{ mW/cm}^2$  gacha) yoki ta'sir davomiyligi (soniyalardan kunlargacha) bilan aniq bog'liqlikni ko'rsatmadi. Yuqori quvvat zichligi doim ham ko'proq ta'sir keltirib chiqarmadi, bu esa biologik javoblarning murakkab tabiatini ta'kidlaydi.[4,5,7,9]

5G tarmoqlarining inson salomatligiga ta'siri bo'yicha tadqiqotlar ikki asosiy yo'nalishda olib borilmoqda: eksperimental (in vitro, in vivo va insonlarda) va epidemiologik tadqiqotlar. Eksperimental tadqiqotlar elektromagnit maydonlarning (EMF) biologik effektlarini aniqlashda muhim rol o'ynaydi, chunki ular nazorat qilinadigan sharoitlarda hujayra va to'qima darajasidagi o'zgarishlarni o'rganish imkonini beradi. Quyida 6 GHz dan yuqori chastotalardagi EMF ta'sirini o'rganuvchi eksperimental tadqiqotlarning kengaytirilgan tahlili keltiriladi.[2,4,5,10,13]

#### Экспериментал tadqiqotlar

6 GHz dan yuqori chastotalardagi EMF ta'sirini o'rganuvchi 23 eksperimental tadqiqot tahlil qilindi. Ushbu tadqiqotlar genotoksiklik, hujayra proliferatsiyasi, gen ifodasi, hujayra signalizatsiyasi va membrana funksiyalari kabi biologik effektlarni ko'rib chiqdi. Asosiy xulosalar:

- **Genotoksiklik:** Ko'pgina tadqiqotlar millimetr to'lqinlarning DNK zararlanishiga olib kelmasligini ko'rsatdi. Masalan, teri hujayralarida DNK sinishi yoki xromosoma anomaliyalari bo'yicha statistik jihatdan muhim o'zgarishlar aniqlanmadi. Biroq, ba'zi tadqiqotlarda (masalan, Hindiston va Ukraina olimlari tomonidan) DNK zararlanishi haqida xabar berilgan, lekin bu natijalar mustaqil ravishda tasdiqlanmagan. [5,7,9,13, 22, 23]

- **Hujayra proliferatsiyasi:** E. coli va boshqa hujayra turlari bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar bir-biriga zid natijalar berdi. Ba'zi tadqiqotlar o'sish

tezlighining o'zgarishini qayd etgan bo'lsa, boshqalari hech qanday ta'sirni aniqlamadi.[5,7]

• **Gen ifodasi:** Inson glial hujayralarida stressga sezgir genlar va shaperon oqsillari bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar EMF ta'sirida gen ifodasining o'zgarmasligini ko'rsatdi. Biroq, ba'zi tadqiqotlar (masalan, Belyaev guruhining ishlari) DNK konformatsiyasining o'zgarishi haqida xabar bergan, ammo bu natijalar boshqa guruhlar tomonidan tasdiqlanmagan.[5,22]

• **Hujayra signalizatsiyasi va membrana effekti:** Nerv tizimi to'qimalarida o'tkazilgan tadqiqotlar qisqa muddatli va o'tkinchi ta'sirlarni ko'rsatdi, lekin bu effektlar chastota va ta'sir darajasiga bog'liq edi.[5,8,10,18]

**Eksperimental tadqiqotlar yuzasidan xulosa:** Umuman olganda, eksperimental tadqiqotlar 5G chastotalarining past darajadagi ta'sirida (ICNIRP chegaralaridan past) inson salomatligiga jiddiy xavf borligini tasdiqlovchi ishonchli dalillarni keltirmadi. Biroq, tadqiqotlarning aksariyati metodologik jihatdan cheklovlarga ega bo'lib, masalan, dozimetriya va haroratni nazorat qilishda yetishmovchiliklar mavjud edi.

#### Epidemiologik tadqiqotlar

31 epidemiologik tadqiqot radar texnologiyalariga (6 GHz dan yuqori chastotalarda ishlaydigan) ta'sir qilishni o'rgandi. Ushbu tadqiqotlar saraton, reproduktiv muammolar va boshqa kasalliklar bo'yicha xavfni baholadi. Natijalar quyidagicha:

• Saraton va boshqa kasalliklar bo'yicha aniq bog'liqlik aniqlanmadi.[2,4,5,6]

• Ba'zi tadqiqotlar (masalan, politsiya xodimlarida testikulyar saraton klasteri) potentsial xavfni ko'rsatdi, lekin bu holatlar tasdiqlanmagan yoki cheklangan namunalardan o'rganilgan.[2,4]

Epidemiologik tadqiqotlarning cheklovlari orasida uzoq muddatli ta'sirni baholashning qiyinligi va 5G tarmoqlarining yangi tabiatini hisobga oladigan ma'lumotlarning yetishmasligi kiradi.

Yevropa Ittifoqida EMF ta'sirini tartibga soluvchi asosiy hujjat 1999-yildagi 1999/519/EC Kengash Tavsiyanomasidir. Ushbu hujjat ICNIRP tomonidan ishlab chiqilgan chegaralarga asoslanadi, unda quyidagi asosiy cheklovlar belgilangan:

- 10 GHz dan 300 GHz gacha bo'lgan chastotalarda quvvat zichligi (power density) chegarasi  $50 \text{ W/m}^2$  (kasbiy ta'sir) va  $10 \text{ W/m}^2$  (umumiy aholi uchun).[2,4,13,23]
- Maxsus yutilish darajasi (SAR)  $0.4 \text{ W/kg}$  (butun tana uchun) va  $10 \text{ W/kg}$  (mahalliy ta'sir uchun) bilan cheklangan.

Biroq, ushbu standartlar 20 yildan ortiq vaqt oldin ishlab chiqilgan bo'lib, 5G tarmoqlarining o'ziga xos xususiyatlarini (masalan, pulsatsiyali signallar va zich antenna tarmoqlari) to'liq hisobga olmaydi. Ayrim Yevropa Ittifoqi a'zo davlatlari (masalan, Italiya va Belgiya) qat'iyroq milliy chegaralarni joriy qilgan.

Yevropa Parlamenti 2009-yilda ushbu tavsiyanomani qayta ko'rib chiqishni va EMF ta'sirining biologik effektlarini o'rganishni talab qildi. 2018-yilda Ilmiy qo'mita (SCHEER) 5G ta'sirini baholash uchun yetarli dalillar yo'qligini ta'kidladi va qo'shimcha tadqiqotlar zarurligini bildirdi. 5G tarmoqlarining salomatlikka ta'siri haqidagi munozaralar olimlar va jamoatchilik o'rtasida ikkiga bo'lingan:

• **Tarafdorlar:** Telekommunikatsiya industriyasi va ba'zi ilmiy guruhlar EMF ta'sirining xavfsiz ekanligini ta'kidlaydi. Ularning ta'kidlashicha, 5G tarmoqlari ICNIRP chegaralaridan past darajada ishlaydi va hozirgi dalillar jiddiy xavfni ko'rsatmaydi.[1,3,6,8,9,19]

• **Tanqidchilar:** Bir qator olimlar va jamoatchilik tashkilotlari (masalan, International EMF Alliance) 5G tarmoqlarining uzoq muddatli ta'siri yetarlicha o'rganilmaganligini ta'kidlaydi. 2015-yilda BMT va Yevropa Ittifoqiga taqdim etilgan "5G apellyatsiyasi"da 268 olim va shifokor 5G joriy etilishini to'xtatib, mustaqil tadqiqotlar o'tkazishni talab qildi. Ular pulsatsiyali signallarning DNK zararlanishi, saraton va nevrologik kasalliklar xavfini oshirishi mumkinligini ta'kidladilar.[2,4,5,20,21,22]

**Umumiy fikr va tavsiyalar:**

Tadqiqotimizda 5G (6–100 GHz millimetr to‘lqinlari) va Wi-Fi (2.4 GHz va 5 GHz) tarmoqlarining inson salomatligiga ta’siri o‘rganildi. Eksperimental tadqiqotlar 5Gning past darajadagi ta’sirida (ICNIRP chegaralaridan past) DNK zararlanishi, saraton yoki jiddiy biologik o‘zgarishlarni tasdiqlamaydi [5, 13, 22]. Wi-Fi chastotalari bo‘yicha o‘xshash tadqiqotlar ham genotoksiklik yoki hujayra proliferatsiyasida muhim ta’sirni ko‘rsatmadi, ammo issiqlik bo‘lmagan effektlar (masalan, hujayra signalizatsiyasi o‘zgarishlari) haqida zid natijalar mavjud [5, 2]. Epidemiologik tadqiqotlar ikkala texnologiya uchun saraton, reproduktiv muammolar yoki nevrologik kasalliklar bilan aniq bog‘liqlikni aniqlamadi, lekin uzoq muddatli ta’sirni baholashda ma’lumot yetishmovchiligi saqlanib qolmoqda [5, 2, 4]. 5G va Wi-Fi o‘rtasidagi asosiy farq chastota diapazoni va penetratsiya qobiliyatidadir: 5Gning millimetr to‘lqinlari teri va ko‘z kabi yuzaki to‘qimalarga ta’sir qilsa, Wi-Fi to‘lqinlari biroz chuqurroq kirishi mumkin [5, 12]. Biroq, ikkalasining ham potentsial zarari, ayniqsa pulsatsiyali signallar va doimiy ta’sir kontekstida, to‘liq o‘rganilmagan [2, 4, 20].

**Tavsiyalar:** 5G va Wi-Fi tarmoqlarining uzoq muddatli ta’sirini baholash uchun mustaqil epidemiologik va eksperimental tadqiqotlar zarur. Dozimetriya va harorat nazoratidagi metodologik cheklovlar bartaraf etilib, pulsatsiyali signallarning biologik effektlariga alohida e’tibor qaratilishi lozim [5, 2]. Qonunchilikni yangilash va Italiya, Belgiya kabi davlatlarning qat’iy chegaralaridan o‘rnak olish jamoatchilik ishonchini oshiradi [1]. Shaxsiy foydalanishda Wi-Fi va 5G qurilmalaridan ta’sirni kamaytirish uchun masofani saqlash va foydalanish vaqtini cheklash tavsiya etiladi.

**Xulosa.** Ushbu tadqiqotda 5G tarmoqlarining 6 GHz dan yuqori chastotalardagi millimetr to‘lqinlarining inson salomatligiga ta’siri o‘rganildi. Aniqlanishicha, hozirgi eksperimental tadqiqotlar past darajadagi EMF ta’sirida (ICNIRP chegaralaridan past) genotoksiklik, hujayra proliferatsiyasi yoki gen ifodasi bo‘yicha jiddiy biologik o‘zgarishlarni tasdiqlamaydi [5, 13, 22]. Ba’zi tadqiqotlar DNK zararlanishi yoki hujayra signalizatsiyasida o‘zgarishlarni xabar qilgan bo‘lsa-da, bu natijalar mustaqil

tasdiqlanmagan va metodologik cheklovlarga ega [5, 20]. Epidemiologik tadqiqotlar saraton, reproduktiv muammolar yoki boshqa kasalliklar bilan aniq bog‘liqlikni ko‘rsatmadi, ammo uzoq muddatli ta’sirni baholashda ma’lumot yetishmaydi [5, 2, 4]. Qonunchilik (1999/519/EC) 5Gning o‘ziga xos xususiyatlarini to‘liq qamrab olmaydi, bu esa yangilanish zarurligini ko‘rsatadi [1, 2]. Tadqiqotimiz shuni aniqladiki, 5G tarmoqlari hozirgi dalillarga ko‘ra jiddiy sog‘liq xavfini keltirib chiqarmasa-da, uzoq muddatli ta’sirlar va pulsatsiyali signallarning xavfsizligini baholash uchun keng qamrovli, mustaqil tadqiqotlar talab etiladi.

#### Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. 5G Deployment: State of Play in Europe, USA and Asia. (2019). Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, European Parliament.
2. Di Ciaula, A. (2018). Towards 5G communication systems: Are there health implications? *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(3), 367–375.
3. Negreiro, M. (2017). Towards a European gigabit society: Connectivity targets and 5G. EPRS, European Parliament.
4. Russel, C. (2018). 5G wireless telecommunications expansion: Public health and environmental implications. *Environmental Research*, 165, 484–495.
5. Simko, M., & Mattsson, M.-O. (2019). 5G Wireless Communication and Health Effects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18), 3406.
6. Scholz, N. (2019). Mobile phones and health: Where do we stand? EPRS, European Parliament.
7. Bush, L. G., et al. (1981). Effects of millimeter-wave radiation on monolayer cell cultures. *Bioelectromagnetics*, 2, 151–159.
8. Chatterjee, I., et al. (2013). Millimeter wave bioeffects at 94 GHz on skeletal muscle contraction. *IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies*, 67–69.

9. Chen, Q., et al. (2004). Millimeter wave exposure reverses TPA suppression of gap junction intercellular communication in HaCaT human keratinocytes. *Bioelectromagnetics*, 25, 1–4.
10. D'Agostino, S., et al. (2018). Extremely high frequency electromagnetic fields facilitate electrical signal propagation. *Scientific Reports*, 8, 9299.
11. Deghoyan, A., et al. (2012). Cell bathing medium as a target for non-thermal effect of millimeter waves. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31, 132–142.
12. Egot-Lemaire, S. J.-P., & Ziskin, M. C. (2011). Dielectric properties of human skin at an acupuncture point in the 50–75 GHz frequency range. *Bioelectromagnetics*, 32, 360–366.
13. Franchini, V., et al. (2018). Genotoxic effects in human fibroblasts exposed to microwave radiation. *Health Physics*, 115, 126–139.
14. Frei, M. R., et al. (1995). Sustained 35-GHz radiofrequency irradiation induces circulatory failure. *Shock*, 4, 289–293.
15. Gapeyev, A. B., et al. (2011). The role of fatty acids in anti-inflammatory effects of low-intensity extremely high-frequency electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics*, 32, 388–395.
16. Jauchem, J. R., Ryan, K. L., & Walters, T. J. (2016). Pathophysiological alterations induced by sustained 35-GHz radio-frequency energy heating. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 27, 79–89.
17. Kojima, M., et al. (2009). Acute ocular injuries caused by 60-GHz millimeter-wave exposure. *Health Physics*, 97, 212–218.
18. Alekseev, S. I., et al. (1997). Millimeter waves thermally alter the firing rate of the Lymnaea pacemaker neuron. *Bioelectromagnetics*, 18, 89–98.
19. Kojima, M., et al. (2018). Ocular effects of exposure to 40, 75, and 95 GHz millimeter waves. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 39, 912–925.
20. Korenstein-Ilan, A., et al. (2008). Terahertz radiation increases genomic instability in human lymphocytes. *Radiation Research*, 170, 224–234.

21. Koschnitzke, C., et al. (1983). A non-thermal effect of millimeter wave radiation on the puffing of giant chromosomes. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 38, 883–886.
22. Koyama, S., et al. (2016). Effects of long-term exposure to 60 GHz millimeter-wavelength radiation on the genotoxicity and heat shock protein (HSP) expression of cells derived from human eye. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13, 802.
23. Kues, H. A., et al. (1999). Absence of ocular effects after either single or repeated exposure to 10 mW/cm<sup>2</sup> from a 60 GHz CW source. *Bioelectromagnetics*, 20, 463–473.
24. Salomova, F. I., Jumakulovich, E. N., & Toshmatova, G. A. (2022). Hygienic Basis for the Use of Specialized Food for Alimentary Prevention of Mastopathy. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13.
25. Guzal, T., Mavluda, M., & Inomjon, I. (2021). Modern approaches to rationalization of mealing of urban and rural school children in Uzbekistan.