

5G Teknolojisinin Sağlık Üzerine Olası Etkileri: Literatür İncelemesi

Possible Health Effects of 5G Technology: A Literature Review

Cansu Yanık¹ 

Emrah Gingir² 

Seçil Özkan³ 

1 Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı

2 Aselsan Teknoloji Yönetimi Direktörlüğü

3 Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı

Özet

Amaç: Türkiye’de deneme çalışmalarına başlanan 5G teknolojisinin yayınımlarının neden olduğu elektromanyetik çevre kirliliğinin insan sağlığına olumsuz etkileri olup olmadığına dair araştırmalar gün geçtikçe artmaktadır. Yeni teknolojiyle birlikte sayısı ciddi şekilde artacak olan baz istasyonlarının yaratabileceği olası sağlık sorunlarının araştırılması toplum sağlığı bilimi için önem arz etmektedir. Bu çalışmada literatürdeki mevcut çalışmaların niteliksel ve niceliksel sonuçlarının bir derlemesi yapılmış ve gelecekte yapılabilecek olası 5G çalışmaları için bir bilgi tabanı oluşturması amaçlanmıştır.

Yöntem: Ocak-Mart 2021 tarihleri arasında son 10 yıl içerisinde yapılmış çalışmalar içinde ‘5G, 5G ve sağlık, EMA’ kelimeleri geçen makalelerden PubMed, Google Scholar ve ResearchGate üzerinden literatür incelemesi yapılmıştır.

Bulgular: Dünya Sağlık Örgütü’nün Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) 2011’de 30 kHz-300 GHz frekans aralığındaki RF radyasyonunu ‘olası’ insan kanserojenini Grup 2B olarak sınıflandırmıştır. Beşinci nesil kablosuz mobil iletişim altyapısı (5G), önceki nesillere oranla daha yüksek veri aktarım kapasitesini sağlamak amacıyla yeni ve dolayısıyla güvenlik açısından nispeten değerlendirilmemiş olan destekleyici teknolojilerden yararlanarak çalışacaktır. Bu yeni teknoloji veri kapasitesini artırırken baz istasyonlarının kapsama alanlarını düşürecek, bu durum da baz istasyonlarının daha sık bir şekilde konumlandırılmasına neden olacaktır. 2018’de yayınlanan iki farklı çalışmada, ABD merkezli Ulusal Toksikoloji Programı (NTP), 2G ve 3G mobil ağlarında kullanılan radyo dalgalarına yüksek düzeyde maruz kalmanın, erkek sıçanlarda kalp tümörlerine neden olduğunu belirtmiştir. Araştırma bir radyo baz istasyonu tarafından oluşturulan EMR’ye maruz kalan sıçanlarda beyin ve kalp tümörlerinin insidansında bir artış olduğunu bildirmektedir. Bazı çalışmalar yoğun 5G radyasyonuna maruz kalmanın göz ve deri sağlığını olumsuz etkilediğine dair sonuçlarını paylaşmıştır. Çalışmaların bir kısmında bahsi geçen dalga boyunun hücre ölümünü indüklediği veya inhibe ettiği ve hücre proliferasyonunu artırdığı veya baskıladığı gösterilmiştir. Öte yandan bazı çalışmalar hiçbir biyolojik etki bildirmemiş, 5G baz istasyonlarının sağlığa olumsuz etkileri ile ilgili yapılan çalışmaların bilimsel yeterliliğinin geçersiz olduğunu bildirmiştir.

Sonuç: Gelecekte insanların kaygı seviyesini daha fazla arttıracak olan 5G baz istasyonlarının insan sağlığı üzerinde tümör gibi rahatsızlıklara neden olabileceğine dair araştırmalar bulunmasına rağmen, birçok araştırma da baz istasyonlarının insan sağlığı için tamamen zararsız olduğunu iddia etmektedir. Günümüz dünya literatüründe 5G baz istasyonlarının insan sağlığı üzerine etkileri konusunda kesin bir sonuca varılamamıştır. Bu nedenle 5G baz istasyonlarının insan sağlığı üzerine yapacağı etkileri anlamak için daha çok çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: 5G, 5G ve Sağlık, EMA, Baz İstasyonları.

Bu makaleden şu şekilde alıntı yapınız / Cite this article as: Yanık C, Gingir E, Özkan S. 5G Teknolojisinin Sağlık Üzerine Olası Etkileri: Literatür İncelemesi: Chj 2021; 2(2):72-78

Sorumlu Yazar / Corresponding Author:
Cansu Yanık, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı
Anabilim Dalı
E-mail: yanikcansu@gmail.com



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Abstract

Objective: Researches are increasing day by day on whether emissions of 5G technology which's trials have been started in Turkey, have negative effects on human health. It is important for public health science to investigate the possible health problems that may be caused by base stations, whose number will increase significantly with the new technology. In this study, a review of the qualitative and quantitative results of existing studies in the literature was made and it was aimed to create a knowledge base for possible future 5G studies.

Method: Literature review was conducted between January and March 2021 on PubMed, Google Scholar and ResearchGate, among the articles that included the words "5G, 5G and health, EMR" among the studies conducted in the last 10 years.

Results: The World Health Organization's International Agency for Research on Cancer (IARC) classified RF radiation in the 30 kHz-300 GHz frequency range as Group 2B as 'possible' human carcinogen in 2011. The fifth generation wireless mobile communication infrastructure (5G) will operate by utilizing new and therefore relatively unassessed supporting technologies in terms of security in order to provide higher data transfer capacity compared to previous generations. This new technology will increase the data capacity and reduce the coverage area of the base stations, which will cause the base stations to be positioned more frequently. In two different studies published in 2018, the US-based National Toxicology Program (NTP) stated that high exposure to radio waves used in 2G and 3G mobile networks caused heart tumors in male rats. The research reports an increased incidence of brain and heart tumors in rats exposed to EMR generated by a radio base station. Some studies have shared their results that exposure to intense 5G radiation negatively affects eye and skin health. In some of the studies, this wavelength has been shown to induce or inhibit cell death and increase or suppress cell proliferation. On the other hand, some studies did not report any biological effects, reporting that the scientific adequacy of the studies on the negative effects of 5G base stations on health was invalid.

Conclusion: Although there are researches that 5G base stations, which will increase the anxiety level of people in the future, may cause diseases such as tumors on human health, many studies also claim that the base stations are completely harmless for human health. In today's world literature, there is no definite conclusion about the effects of 5G base stations on human health. Therefore, more studies are needed to understand the effects of 5G base stations on human health.

Keywords: 5G, 5G and Health, EMR, Base Stations.

GİRİŞ

Elektromanyetik radyasyon (EMR), vakum veya maddede dalgalar halinde yayılan ışımaya enerjisi olarak tanımlanmaktadır (1). Elektromanyetik dalgalar yüklü bir parçacığın ivmeli hareketi sonucu oluşan elektrik ve manyetik alanların bileşenine dik bir şekilde yayılan dalgalar olarak bilinmektedir (2). Bu dalgaların temel kaynağı yüklü parçacıklar olması nedeniyle içerisinde elektrik içeren tüm sistemler elektromanyetik yayılım yapmaktadırlar. Elektromanyetik dalgalar vakumda c ile gösterilen ışık hızında yayılırken bir yüzeye çarptıklarında yansıma ya da yüzeyin içine doğru girişim yapmaktadırlar. Görünür ışığın elektromanyetik dalgaların bir alt türü olduğu düşünüldüğünde elektromanyetik radyasyonun davranışları ışığın davranışları analiz edilerek kavranabilmektedir. Elektromanyetik dalgalar frekanslarına (dalga boylarına) göre yedi ana grupta sınıflandırılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Elektromanyetik Dalgaların Sınıflandırması

İsim	Frekans (Hz)	Dalga boyu (m)
Radyo	< 300 MHz	1 m - 100.000 km
Mikrodalga	300 MHz - 300 GHz	1 mm - 1 m
Kızılötesi	300 GHz - 400 THz	750 nm - 1 mm
Görünür ışık	400 THz - 770 THz	390 nm - 750 nm
Ultraviyole	770 THz - 30 PHz	10 nm - 400 nm
X-ray	30 PHz - 30 EHz	0,01 nm - 10 nm
Gama ışını	> 15 EHz	< 0,02 nm

Elektromanyetik dalgalar molekül seviyesinde yaptıkları iyonize ve iyonize olmayan etkilere göre iki gruba ayrılmaktadır. İyonize dalgalar yüksek radyasyon etkisine sahip gama, beta, ışınları gibi spektrumun en düşük dalga boyuna sahip kısmındaki ışınımlardan oluşurken atomlardaki elektronların bir üst seviyeye yükselmesine ya da atomdan tamamen ayrılmasına neden oldukları bilinmektedir (3). Günümüzde radyasyona maruz kalmak denildiğinde daha çok iyonize etkilere sahip radyasyon anlaşılmaktadır. İyonize radyasyon insan vücudundaki atomları değiştirebileceği için büyük tehlike arz etmektedir ve kamuoyunun bu radyasyon türünün tehlikeleri hakkında yeterli farkındalığa sahip olduğu bilinmektedir. İyonize etkilere sahip olmayan radyasyon ise frekans spektrumunun daha yüksek dalga boyuna sahip kısımlarında bulunan ve atom seviyesinde etkileri bulunmayan elektromanyetik radyasyondur. İyonize olmayan radyasyon yaratan örnekler olarak yüksek gerilim hatları, cep telefonu erişim dalgaları, güneş ışığı verilebilmektedir. 50 Hz gibi düşük frekanslarda ve yüksek güç seviyelerinde yayılım yapan yüksek gerilim hatları ile 30 GHz'den daha yüksek frekanslarda yayın yapabilen 5G baz istasyonları aynı şekilde iyonize olmayan radyasyon türünün görünür olmayan spektrumunda ışınımlar yapmaktadır (4).

Elektromanyetik dalga kavramı üzerine çalışmalar 19. yüzyılda başlamıştır. İskoç matematikçi ve fizikçi James Clerk Maxwell tarafından 1861-1862 yıllarında ortaya atılan Maxwell denklemleri ile elektrik ve manyetik alanların birbirlerini nasıl etkilediği formülize edilmiştir.

Bu çalışmalar modern elektrik ve haberleşmenin temelleri olarak bilinirken 1887 yılında Alman fizikçi Heinrich Hertz laboratuvar ortamında dünyadaki ilk radyo dalgalarını üretmeyi başararak Maxwell denklemlerinin doğruluğunu ispatlamıştır. İtalyan elektrik mühendisi Guglielmo Marconi 1894 -1895 yıllarında ilk radyo alıcılarını ve vericilerini üretmeyi başarmış ve bu çalışmasıyla 1909 yılında Nobel fizik ödülüne layık görülmüştür. 1900'lü yılların başıyla birlikte radyo haberleşmesi pratik olarak kullanılmaya başlamıştır.

Radyo dalgası, kızılötesi frekanslarından daha düşük frekanslardaki elektromanyetik dalgalar üzerine bilgilerin modüle edilmesi sonucunda oluşturulan ve bilgi taşıyan elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Elektromanyetik spektrumun her frekansındaki dalgalarda modülasyon yapılabilir ancak radyo dalgası denilince 30 Hz - 300 GHz arasındaki sinyaller anlaşılmalıdır. Bu frekans aralığı radyo frekansı (RF) olarak bilinmektedir.

RF bandı (frekans aralığı) üretilebilme yöntemlerine ve kullanım alanlarına göre çeşitli alt gruplara ayrılmaktadır. Örnek olarak, 30 MHz – 300 MHz aralığı VHF (Very High Frequency) olarak adlandırılmıştır ve FM radyolarda, karasal televizyon yayıncılığında ve telsiz haberleşmesinde kullanılabilir. 300 MHz – 3GHz frekans aralığı UHF (Ultra High Frequency) olarak tanımlanmaktadır. GPS, Wifi, Bluetooth teknolojileri ve 3G mobil telefon haberleşme sistemleri kullanım alanları arasında sayılmaktadır. Bahsedilen teknolojiler sadece bu frekans bantlarında değil, ihtiyaçlar doğrultusunda daha yüksek ya da daha düşük frekans bantlarında da tasarlanıp kullanılabilir.

20. yüzyılın başlarında kullanım alanları daha çok askeri telsiz haberleşme sistemleri ile başlayan kablosuz haberleşme teknolojisi, 20. yüzyılın sonlarına gelindiğinde kişisel mobil telekomünikasyon hizmeti olarak insanlara sunulmaya başlamıştır. Baz istasyonu temelli hücreli veri haberleşmesi üzerine kurulu mobil telefon haberleşmesi sistemleri 1979 yılında 1G (1. nesil) GSM teknolojisi olarak Tokyo'da hizmete sunulmuştur. Toplumların kullanımına sunulma tarihleri ele alındığında GSM teknolojisi 2G ile 1991 yılında dijital haberleşmeye başlamış, 2001 yılında 3G'nin hizmete alınması ile daha hızlı veri haberleşmesi sağlanmıştır (5). 2009 yılından bu yana kullanılan 4G teknolojisi ile mobil veri hızları 100 Mbps (saniyede 100 milyon bit) seviyelerine erişmiştir. 5. nesil mobil telekomünikasyon hizmeti olan 5G üzerinde geliştirmeler sürdürülmekle birlikte ilk olarak 2019 yılında kullanıma alınmış olup 4G'nin 10 katından daha fazla veri iletim

hızı sağlamıştır. 5G 2021 yılı itibarıyla Türkiye'de henüz kullanıma alınmamıştır. 2025 yılında dünyada 1,7 milyar insanın 5G teknolojisinden faydalanacağı öngörülmüştür (6).

Beşinci nesil 5G'nin RF radyasyonunun konuşlandırılması, insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkiler konusunda kapsamlı bir araştırma yapılana kadar bir moratoryum uygulamaya çalışan vatandaş gruplarıyla birçok ülkede büyük bir endişe kaynağı olmuştur. Şu anda 390'dan fazla uluslararası bilim insanı ve tıp doktoru tarafından imzalanan bir moratoryum başvurusu Eylül 2017'de Avrupa Birliği'ne (AB) gönderildi ve şu anda AB'den yanıt alınmamıştır (7). Cenevre gibi bazı bölgeler, sağlık etkileri üzerine çalışmaların eksikliğinden dolayı 5G'nin konuşlandırılmasına moratoryum uygulamıştır (8).

13 ICNIRP komisyon üyesinin görüşünün aksine, 18 ülkeden 29 bilim adamından oluşan IARC danışma grubu, yakın zamanda deney hayvanlarında ve mekanik kanıtlarda kanser biyoanalizinin RF radyasyonunun neden olduğu karsinogenin yüksek öncelikli yeniden değerlendirilmesini gerektirdiğini belirtmiştir (9).

Beşinci nesil mobil iletişim altyapısının önceki nesillere oranla daha yüksek veri aktarım kapasitesini sağlamak amacıyla yeni ve dolayısıyla güvenlik açısından nispeten değerlendirilmemiş olan destekleyici teknolojilerden yararlanarak çalışacağı öngörülmektedir. Artan veri hızı ihtiyacını karşılamak amacıyla oluşturulan 5G sistemi önceki nesillere göre algoritmik iyileştirmeler ve fiziksel ağ katmanında teknolojik gelişmeler içermesine rağmen yeterli veri hızını sağlamak amacıyla daha yüksek frekans bandında çalışmayı zorunlu kılmaktadır. Kullanılan frekans bandının yükseltilmesi, RF dalgasının madde içinden (örneğin duvardan) geçmesini zorlaştırması nedeniyle, özellikle çok fazla yapının olduğu yüksek nüfuslu şehirlerde baz istasyonu ile cep telefonu arasındaki görüş hattının (line of sight) daha net bir şekilde sağlanmasını zorunlu kılmakta ve baz istasyonlarının daha sık konumlandırılması gereksinimini doğurmaktadır. 5G teknolojisinin, düşük (0.6 GHz - 3.7 GHz), orta (3.7 - 24 GHz) ve yüksek bant frekanslarında (24 GHz ve üstü) kullanılması planlanmaktadır. ABD'de, Federal İletişim Komisyonu (FCC) 600 MHz çevresinde düşük bant spektrumunu, 3,5 GHz'de orta bant spektrumunu ve 11 GHz yüksek bant tahsis etmiş durumdadır. 27.5-28.35 GHz ve 37-40 GHz arası lisanslı spektrum ve tüm kablosuz ekipman üreticilerine açık olan 64-71 GHz lisanssız spektrum 5G teknolojisi dahilinde bulunmaktadır. Mevcut

çalışmalara göre 28 GHz ve 39 GHz bantlarının 5G için öncelikli frekanslar olması öngörülmektedir. 60 GHz etrafındaki bandın çalışmalarda kullanılması sonucunda özellikle kapalı alan uygulamalarında büyük başarılar elde edilmektedir. Benzer bir şekilde 61-71 GHz frekans aralığının da kullanılması beklenmektedir (10). Ülkemizde de çeşitli şehirlerde 3.5 GHz frekansında 5G haberleşme denemeleri devam etmektedir (11). Bu bilgiler ışığında 5G teknolojisinin önceki nesillere oranla daha yüksek frekans bandını kullanacağı açık olmakla birlikte 5G teknolojisi veri kapasitesini yükseltirken baz istasyonlarının kapsama alanlarını düşürecek, bu durumun da baz istasyonlarının daha sık bir şekilde konumlandırılması ile sonuçlanacağı düşünülmektedir.

Milimetre bandı olarak da bilinen milimetre dalga (MMW), 10 milimetre (30 GHz) ile 1 milimetre (300 GHz) arasındaki dalga boylarına sahip spektrum bandı olarak tanımlanmaktadır. MMD'ların özellikleri, şu anda hücresel ve kablosuz endüstriler tarafından kullanılan düşük bant frekanslarından farklıdır ve kısa mesafelerde büyük miktarda veri iletimine olanak sağlamaktadır. Yayınlar görüş hattına göre hareket eden dar ışınlarla yönlendirilebilmekte ancak bu ışınlar duvar, ağaç, yaprak gibi cisimler tarafından engellenebilmektedir. Bu dalga boyunu kullanan cihazlardaki antenler milimetre seviyesine inebilecek kadar küçültülebilmekte ve küçük hücreli anten dizileri yüzlerce küçük anten elemanının bir araya gelmesinden oluşturulabilmektedir.

Elektromanyetik radyasyona maruz kalındığında insan vücudu tarafından soğurulan gücün, birim doku kütlesi başına düşen değeri SAR (özgül emilim oranı) olarak adlandırılır ve birimi W/kg 'dır (12). SAR, bir malzemedeki elektromanyetik alanların emiliminin ölçüsüdür ve kütle ya da hacim başına güç (W/kg) olarak ifade edilir. EMR'nin bir maddenin içinde ilerleyebilme yeteneği radyasyonun dalga boyuna ve maddenin türüne bağlıdır. Milimetre dalga boyuna sahip radyasyonun penetrasyon derinliği çok düşük olduğu için radyasyona maruz kalan 'hacim' yerine 'yüzey alanı' dikkate alınır. Bu nedenle mobil iletişim frekanslarındaki radyasyona maruz kalma ölçüsü olarak alan başına güç tanımlaması da yapılabilir ve birimi W/m^2 dir.

Günümüz dünyasında insanlar sürekli olarak farklı SAR değerlerine maruz kalırlar. Farklı frekanslar ve farklı maruz kalma süreleri için insan sağlığına zarar vermeyecek maksimum SAR değerlerini belirlemek için kapsamlı çalışmalar yürütülmektedir. ABD Federal İletişim Komisyonu (FCC), Aralık 2019'da ilk olarak 1996'da kabul ettiği RF radyasyona maruz kalma sınırlarını yeniden

onayladığını duyurmuştur. Cep telefonlarından kamuya açık maruz kalma için FCC sınırı, kilogram başına 1.6 Watt ($1.6 W/kg$) SAR değeridir (13). Günlük hayatta maruz kalınan SAR değerleri genel anlamda bu sınır değerinin oldukça altındadır. Ancak $1.6 W/kg$ değerinin altındaki maruz kalmaların yaratabileceği olası sağlık etkilerine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir.

Elektromanyetik dalgaların kişilerin sağlığı üzerine etkileri halk sağlığının ve özellikle çevre sağlığının incelediği alanlardan biri haline gelmektedir. Cep telefonlarının gün içerisinde uzun süre kullanımı çocuklar ve genç yetişkinler de dahil olmak üzere son yıllarda önemli ölçüde artmışken haberleşme amaçlı kullanılan RF dalgalarının, Gama ya da X ışınları gibi kanserojen olduğu bilinen iyonize ışın yapma özelliğine sahip olmamasına rağmen, elektromanyetik bir radyasyon olması nedeniyle halk arasında sağlığa olabilecek potansiyel zararlarıyla ilgili kaygı oluşturmaktadır. Bilim insanları ve halk sağlığı uzmanları iyonize olmayan RF dalgaların sağlığa olan etkileri konusunda geniş çalışmalar yapmış ve yapmaya devam etmektedir. Günlük hayatta tipik olarak maruz kalınan elektromanyetik radyasyon değerlerinin genelde düzenleyici sınırların altında olduğuna dair çalışma sonuçları bildirilmesine rağmen yüksek SAR değerlerindeki RF dalgaların oksidatif strese neden olduğuna dair araştırma sonuçları da bu konudaki kaygıları arttırmaktadır (14, 15).

Dünya Sağlık Örgütü'nün Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) 2011'de 30 kHz-300 GHz frekans aralığındaki RF radyasyonunu 'olası' insan kanserojeni Grup 2B olarak sınıflandırmıştır (16). Bu gelişmenin ardından RF radyasyonunun olumsuz etkilerine kanıt oluşturabilecek çalışmalar epidemiyolojik insan ve hayvan çalışmalarına dayandırılarak güçlendirilmiştir (17, 18, 19, 20, 21).

YÖNTEM

Ocaklımış çalışmalar içinde '5G, 5G ve sağlık, EMR, EMA' kelimeleri geçen makalelerden PubMed, Google Scholar ve ResearchGate üzerinden literatür incelemesi yapılmıştır.

BULGULAR

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Uluslararası Komisyonu (ICNIRP), iyonlaştırıcı olmayan radyasyondan korunma konusunda uzmanlaşmış, merkezi Almanya'da bulunan ve kâr amacı gütmeyen uluslararası bilimsel organizasyon olup kuruluşun ana faaliyet alanlarından biri mobil haberleşme cihazları tarafından yayılan elektromanyetik dalgalar için

maruz kalma sınırlarının, maksimum SAR değerlerinin belirlenmesidir (22). ICNIRP bu değerleri düzenli olarak yayınlamaktadır. Bu kurumun açıkladığı değerler uluslararası kamuoyu tarafından ana referans kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

2021 yılı itibariyle ICNIRP'nin yayınladığı son kılavuz dokümana göre,

10 MHz altındaki frekanslarda yüksek RF enerjisine uzun süreli maruz kalma sinir uçları uyarılmasına neden olmaktadır.

- Mobil iletişim teknolojileri 10 MHz frekansının üstünde çalışmaktadır ve bu nedenle kapsam dışıdır. Bu frekanslardaki en dikkat çekici EMR kaynağı yüksek gerilim hatlarıdır.
1. 100 kHz üstündeki frekanslarda yüksek RF enerjisine uzun süreli maruz kalma vücut sıcaklığının artmasına neden olmaktadır.
 - Günümüz dünyasında toplumların genel anlamda kullandığı tüm kablosuz haberleşme cihazları 100 kHz'in üzerinde çalışmaktadır.
 2. RF enerjisinin yukarıdaki bilgiler dışında kanser, kısırlık gibi herhangi bir sağlık sorununa neden olduğuna dair bir kanıt yoktur.

5G teknolojisi kullandığı frekans bandı itibariyle iki numaralı maddede bahsedilen vücut sıcaklığının artması konusundaki kaygıları paylaşmaktadır. İlgili rapor maruz kalınan RF enerjisi seviyesi ve süresine göre, derin vücut sıcaklığının 1 santigrat derece değerinden fazla yükselebileceğini, doku sıcaklığının ise 41 santigrat derece değerinin üzerine yükselebileceğini belirtmektedir (23).

2018'de yayınlanan iki farklı çalışmada, ABD merkezli Ulusal Toksikoloji Programı (NTP), 2G mobil ağılar için kullanılanlar gibi radyo baz istasyonlarından yüksek düzeyde radyasyona maruz kalmanın, erkek sıçanlarda kalp tümörlerine neden olduğunu açıklamıştır (20, 24). Araştırmalar bir baz istasyonu tarafından oluşturulan EMR'ye maruz kalan sıçanlarda beyin ve kalp tümörlerinin insidansında artış olduğunu bildirmektedir. NTP tarafından yapılan çalışmadan kısa bir süre sonra kar amacı gütmeyen özel bir kuruluş olan İtalyan Ramazzini Enstitüsü'nün yayınladığı bir çalışmada radyo baz istasyonu emisyonlarıyla ilişkili sağlık risklerini doğrulamıştır (21). Araştırma, bir radyo baz istasyonu tarafından oluşturulan EMR'ye maruz kalan Sprague-Dawley sıçanlarında beyin ve kalp tümörlerinin insidansında bir

artış olduğunu bildirmektedir. EMR'ye maruz bırakılan erkek sıçanlarda, NTP çalışmalarında dikkate alınandan çok daha düşük seviyelerde ve günlük olarak insanlar tarafından deneyimlenenlerle uyumlu olan seviyeler uygulanmasına rağmen kalp Schwannoması insidansında istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlenmiştir. Ancak bu çalışmalarda dikkate alınan teknolojinin ikinci nesil (2G) mobil ağılar üzerine kurulu olması tartışmalı bir konudur. Daha yeni nesil radyo baz istasyonları, 1991 yılında devreye giren 2G teknolojisine oranla indüklenen EMR seviyelerini azaltmada daha etkilidir. Bu nedenle, her iki çalışmanın sonucu da 3G, 4G veya 5G teknolojilerini temsil etmemektedir. Aynı zamanda her iki çalışmadaki EMR maruziyet seviyelerinin gerçekçi olmadığı başka bir çalışmada belirtilmiştir (14). Her iki çalışmada da 2G radyo baz istasyonunun hayvanlara sadece birkaç metre mesafede yerleştirilmiş olması literatürde çalışmanın gerçekçiliğinin sorgulanmasına yol açmıştır. Operasyonel ağlarda baz istasyonlarının yüksek direklerin üzerine ya da binaların çatılarına yerleştirilmesi, genel anlamda yakın mesafelerinin halkın erişimine kapalı hale getirilmiş durumda olması NTP çalışmalarının varsaydığı maruz kalma koşullarının gerçekçilik açısından sorgulanmasına neden olmuştur.

Yukarıdaki düşük bandı hedefleyen (900 MHz) çalışma sonrasında aynı kurumun orta bant frekanslarına (1900 MHz) yönelik yaptığı bir diğer çalışmada erkek veya dişi sıçanlar dikkate alındığında tümörlere dair net bir kanıt bulunamamıştır (20). Çalışma istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen ciddi hastalıkların insidansı RF maruziyetiyle ilişkili olabilir ve daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır şeklinde bir sonuca ulaşmıştır. Son olarak düşük ve orta bant 2G radyasyonunu inceleyen bu çalışmaların sonuçları tarafından analiz edilerek RF maruziyetinin DNA hasarında bir artışa neden olabileceği sonucuna varılmıştır (25).

Maksimum kamu kullanımı için yetkilendirilmiş güç yoğunluğu ile yapılan bir çalışmada, 60.4 GHz frekansında 20 mW/cm² SAR değerine maruz kalındığında, insan deri hücrelerinde endoplazmik retikulumun işlevinde sapmalar olduğu gözlenmiştir (26). Bu çalışmanın devamı sayılabilecek başka bir çalışmada ise benzer koşulların keratinositlerde hücre içi iletişimi sağlayan genlerin çalışmasında değişikliklere neden olduğunu bildirmiştir (27).

İyonize etkileri olmayan düşük seviyelerdeki EMR'nin beyin kanserlerine neden olmayacağını açıklayan bir çalışma, yüksek seviyelerde geri döndürülemez hasar ve

dolayısıyla artmış kanser riskinin mümkün olduğunu belirtmektedir (28).

Milimetre dalga radar ve tıbbi uygulamalarda da sıklıkta kullanılmaktadır. Radarlara mesleki anlamda maruz kalma durumu epidemiyolojik çalışmalarda araştırılmıştır ve genel sonuç, bu maruziyetin maruz kalan personel için bir sağlık tehlikesi oluşturmadığı yönünde olmuştur (29). Pratik kullanımdaki maruziyetlerin kılavuz seviyelerin altında olması ve dolayısıyla doku ısınmasına neden olmayacağı bildirilmiştir. Bununla birlikte, maruz kalan işçilerde olası kanser riski ile ilgili daha fazla araştırma yapılmasının gerekliliği de belirtilmiştir. Milimetre dalganın tıbbi kullanımı yakın zamanda gözden geçirilmiş olup, etki mekanizmaları net olmasa da belirli terapötik uygulamalar için olumlu sonuçlar alınabildiğini belirtmektedir (30).

Milimetre dalga radyasyonu üzerine yapılan çeşitli çalışmaların farklı frekans ve farklı SAR seviyeleri için elde edilen bulguları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Milimetre Dalga Boyunun Sağlık Üzerine Etki Deneyleri

Frekans	SAR	Süre	Gözlem
25 GHz	20 W/kg	20 dakika	Fibroblastlar üzerinde genotoksik etkiler gözlenmiştir (31).
30 – 40 GHz	4 mW/cm ²	Çeşitli	Sıçan kemik hücreleri ve mezenkimal kök hücrelerinde hücre döngüsü değişiklikleri, hücre ölümünün indüksiyonu ve farklılaşma süreçlerinin aktivasyonu gözlenmiştir (32).
60.4 GHz	0.14 mW/cm ²	24 saat	Sinir hücresi ile ilgili yapılan çalışmada, dopamin iletim özellikleri, stres, ağrı ve membran protein ekspresyonu araştırılmış ve hiçbir yanıt tespit edilmemiştir (33).
75 GHz	143 mW/cm ²	-	Sıçanlar üzerindeki çalışmada kornea epitelinde %50 hasar yaratma ihtimali olduğu gözlenmiştir (34).
70 GHz üzeri tarama testi	0.8 – 1.27 μ W/cm ²	94 saat	İnsan dermal fibroblastları ve insan glioblastoma hücreleri kullanılmıştır. Protein seviyesinde (proliferasyon veya sitotoksitesite belirteçleri) hiçbir etki tespit edilmemiştir (35).
42.25 GHz	0.03 mW/cm ²	15 dakika	İnsan spermatozoanın hareketliliğinde artış gözlenmiştir (36).

İsveçte yapılan kapsamlı bir çalışmada bir apartmanın çevresine yakın olacak şekilde iki grup halinde baz istasyonları konumlandırılmıştır ve apartman içerisinde toplam 74531 ölçüm alınmıştır. Yapılan ölçümlerde ortalama SAR değeri: 0.38 μ W/cm², odalarda görülen maksimum SAR değeri 1.37 μ W/cm²’dir. Bu çalışma ile Tablo 2’de verilen çalışmalar karşılaştırıldığında düşük SAR değerlerine maruz kalma üzerine yapılacak çalışmaların artırılması gerektiği görülmektedir (37).

Türkiye’de EMR üzerine yasal düzenlemeler, BTK tarafından yapılmakta olup hali hazırda ICNIRP değerlerinin %70’i limit değerler olarak belirlenmiştir (38). Belirlenen %70 limit değeri, ICNIRP limitlerine göre daha sıkı bir uygulamadır ve halk sağlığını korumaya yönelik bir uygulama olarak değerlendirilebilir.

SONUÇ

RF radyasyonun insan vücut sıcaklığını arttırdığı deneyler sonucunda netleştirilmiş bir bilgidir. Ancak literatürde termal olmayan etkiler konusunda yapılan çalışmalarda farklı bilgiler bulunmaktadır. Gelecekte insanların kaygı seviyesini daha fazla artıracak olan 5G baz istasyonlarının insan sağlığı üzerinde tümör gibi rahatsızlıklara neden olabileceği ya da kornea epiteline zarar verebileceğine dair araştırmalar bulunmasına rağmen, birçok araştırma da baz istasyonlarının insan sağlığı için tamamen zararsız olduğunu iddia etmektedir. Günümüz dünya literatüründe 5G baz istasyonlarının insan sağlığı üzerine etkileri konusunda kesin bir sonuca varılamamıştır. Bu nedenle 5G baz istasyonlarının insan sağlığı üzerine yapacağı etkileri anlamak için daha çok çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır. Gelecekte yapılacak çalışmalarla birlikte ICNIRP’nin kılavuzundaki limit değerlerin değiştirebileceği öngörülmektedir.

5G gibi milimetre dalga boyunda yayın yapan cihazlar GSM teknolojilerinde yeni ve görece daha az test edilmiş teknolojiler olduğu için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüz mobil iletişim cihazlarının temel çalışma prensibinde de kullanılan RF radyasyonun insan sağlığına olan olumsuz etkileri kanıtlanmış durumdadır. Ancak bu etkinin görülmesi için maruz kalınacak RF radyasyon değerinin görece yüksek olması gerekmektedir. Maruz kalmanın sağlığa olumsuz etki edebilecek eşik değerini belirleme konusunda literatürde farklı bilgiler bulunmaktadır. Konu hakkında yapılan mevcut çalışmalar kesin bir görüş birliği etrafında toplanamamakla birlikte, iletişim teknolojisindeki ilerlemeler sonucunda geliştirilen yeni nesil cihazların sağlık üzerindeki olası etkileri sürekli bir test ve araştırma sürecini zorunlu kılmaktadır.

KAYNAKLAR / REFERENCES

1. Britannica, Electromagnetic Radiation, Erişim adresi :<https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation>, Erişim tarihi:15.03.2021
2. ScienceDirect, Electromagnetic Wave, Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/electromagnetic-wave>, Erişim tarihi:15.03.2021
3. WHO, Radiation: Ionizing Radiation, Erişim adresi: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/radiation-ionizing-radiation>, Erişim tarihi:15.03.2021
4. Sengupta, D.L. & Sarkar, Tapan. (2003). Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the early history of electromagnetic waves. *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*. 45. 13 - 19. 10.1109/MAP.2003.1203114.
5. Salih, Azar & Zeebaree, Subhi & Abdulaheem, Ahmed & Zebari, Rizgar & M.Sadeeq, Mohammed & Ahmed, Omar. (2020). Evolution of Mobile Wireless Communication to 5G Revolution. *Technology Reports of Kansai University*. 62. 2139-2151.
6. "Positive 5G Outlook Post COVID-19: What Does It Mean for Avid Gamers?". Forest Interactive. Erişim Adresi: <https://www.forest-interactive.com/newsroom/positive-5g-outlook-post-covid-19-what-does-it-mean-for-avid-gamers/>
7. Hardell L and Nyberg R: Appeals that matter or not on a moratorium on the deployment of the fifth generation, 5G, for microwave radiation. *Mol Clin Oncol*. 12:247–257. 2020.(Review).
8. Environmental Health Trust, . Three-year moratorium on 4G and 5G in Geneva, Switzerland July 6 2020
9. Marques MM, Berrington de Gonzalez A, Beland FA, Browne P, Demers PA, Lachenmeier DW, Bahadori T, Barupal DK, Belpoggi F, Comba P, et al IARC Monographs Priorities Group, : Advisory Group recommendations on priorities for the IARC Monographs. *Lancet Oncol*. 20:763–764. 2019.
10. Türk Telekom, 5G, Erişim adresi: <https://www.turktelekom.com.tr/hakkimizda/duyurular/Documents/tt-5g-final-version-03082018.pdf>, Erişim tarihi: 15.03.2021
11. Bilgi teknolojileri ve iletişim kurumu, verilmiş olan deneme izinleri, <https://www.btk.gov.tr/verilmis-olan-deneme-izinleri-listesi>, Erişim tarihi: 07.03.2021
12. Jianming Jin (1998). *Electromagnetic Analysis and Design in Magnetic Resonance Imaging*. CRC Press. ss. §5.3.3 pp. 226ff. ISBN 978-0849396939.
13. "Resolution of notice of inquiry, second report and order, notice of proposed rulemaking, and memorandum opinion and order," U.S. Federal Communications Commission (FCC), Washington, D.C., FCC 19-126. Erişim adresi: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-19-126A1.pdf>, Erişim tarihi:14.03.2021
14. Sagar, S., Dongus, S., Schoeni, A., Roser, K., Eeftens, M., Struchen, B., Foerster, M., Meier, N., Adem, S., Roosli, M., 2017. Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: a systematic literature review. *J. Exposure Sci. Environ. Epidemiol*. <http://dx.doi.org/10.1038/jes.2017.13>.
15. Dasdag, S., & Akdag, M. Z. (2016). The link between radiofrequencies emitted from wireless technologies and oxidative stress. *Journal of chemical neuroanatomy*, 75(Pt B), 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.09.001>
16. Hardell L. (2017). World Health Organization, radiofrequency radiation and health - a hard nut to crack (Review). *International journal of oncology*, 51(2), 405–413. <https://doi.org/10.3892/ijo.2017.4046>
17. Belpomme D, Hardell L, Belyaev I, Burgio E, Carpenter DO. Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. *Environ Pollut*. 2018;242 (Pt A):643–658. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.019.
18. Miller AB, Morgan LL, Udasin I, Davis DL. Cancer epidemiology update, following the 2011 IARC evaluation of radiofrequency electromagnetic fields (Monograph 102) *Environ Res*. 2018;167:673–683. doi: 10.1016/j.envres.2018.06.043.
19. Hardell L, Carlberg M. Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma - Analysis of pooled case-control studies in Sweden, 1997-2003 and 2007-2009. *Pathophysiology*. 2015;22:1–13. doi: 10.1016/j.pathophys.2014.10.001.
20. National Toxicology Program et al., "NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a fre- quency (1,900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones," *NTP Tech. Rep.*, vol. 596, pp. 1–260, 2018.
21. Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, Mandrioli D, Manservigi M, Manservigi F, Manzoli I, et al. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res*. 2018;165:496–503. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.037.
22. WHO, "Framework for Developing Health-Based EMF Standards" (pdf). World Health Organization. Erişim tarihi: 02.02.2021
23. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)1 Principles for Non-Ionizing Radiation Protection, *Health Physics: May 2020 - Volume 118 - Issue 5 - p 477-482* doi: 10.1097/HP.0000000000001252
24. National Toxicology Program et al., "Toxicology and carcinogenesis studies in Hsd:Sprague-Dawley SD rats exposed to whole-body radiofrequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones," *NTP Tech. Rep.*, vol. 595, pp. 1– 384, 2018.
25. S. L. Smith-Roe, M. E. Wyde, M. D. Stout, J. W. Winters, C. A. Hobbs, K. G. Shepard, A. S. Green, G. E. Kissling, K. R. Shockley, R. R. Tice, J. R. Bucher, and K. L. Witt, "Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure," *Environmental and Molecular Mutagenesis*, vol. 61, no. 2, pp. 276–290, 2020.
26. Le Quement, C., Nicolaz, C.N., Habauzit, D., Zhadobov, M., Sauleau, R., Le Drean, Y., 2014. Impact of 60-GHz millimeter waves and corresponding heat effect on endoplasmic reticulum stress sensor gene expression. *Bioelectromagnetics* 35, 444–451.
27. Habauzit, D., Le Quement, C., Zhadobov, M., Martin, C., Aubry, M., Sauleau, R., Le Drean, Y., 2014. Transcriptome analysis reveals the contribution of thermal and the specific effects in cellular response to millimeter wave exposure. *PLoS One* 9, e109435.
28. Mortazavi S, Mortazavi S, Haghani M. Evaluation of the validity of a Nonlinear J-shaped dose-response relationship in cancers induced by exposure to radiofrequency electromagnetic fields. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*. 2019;9. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.771.
29. WHO, Radiation: Radar, Erişim adresi: <https://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs226/en/>, Erişim tarihi: 13.03.2021
30. Mattsson M.O., Zeni O., Simkó M. Is there a Biological Basis for Therapeutic Applications of Millimetre Waves and THz Waves? *J. Infrared Millim. Terahertz Waves*. 2018;39:863–878. doi: 10.1007/s10762-018-0483-5, Ziskin M.C. Millimeter waves: Acoustic and electromagnetic. *Bioelectromagnetics*. 2013;34:3–14. doi:10.1002/bem.21750.
31. Franchini, V., Regalbutto, E., De Amicis, A., De Sanctis, S., Di Cristofaro, S., Coluzzi, E., Marinaccio, J., Sgura, A., Ceccuzzi, S., Doria, A., Gallerano, G. P., Giovenale, E., Ravera, G. L., Bei, R., Benvenuto, M., Modesti, A., Masuelli, L., & Lista, F. (2018). Genotoxic Effects in Human Fibroblasts Exposed to Microwave Radiation. *Health physics*, 115(1), 126–139. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000871>
32. Trosic, I., Busljeta, I., & Modlic, B. (2004). Investigation of the genotoxic effect of microwave irradiation in rat bone marrow cells: in vivo exposure. *Mutagenesis*, 19(5), 361–364. <https://doi.org/10.1093/mutage/geh042>
33. Nicolaz, Christophe & Zhadobov, Maxim & desmots-Loyer, Fabienne & Sauleau, Ronan & Thouroude, Daniel & Michel, Denis & Drean, Yves. (2008). Absence of direct effect of low-power millimeter-wave radiation at 60.4 GHz on endoplasmic reticulum stress. *Cell biology and toxicology*. 25. 471-8. 10.1007/s10565-008-9101-y.
34. Kojima M., Kojima M., Suzuki Y., Sasaki K., Taki M., Wake K., Watanabe S., Mizuno M., Tasaki T., Sasaki H. Ocular Effects of Exposure to 40, 75, and 95 GHz Millimeter Waves. *J. Infrared Millim. Terahertz Waves*. 2018;39:912–925. doi: 10.1007/s10762-018-0497-z.
35. Yaekashiwa N., Otsuki S., Hayashi S., Kawase K. Investigation of the non-thermal effects of exposing cells to 70-300 GHz irradiation using a widely tunable source. *J. Radiat. Res*. 2018;59:116–121. doi: 10.1093/jrr/rrx075
36. Volkova, Nataliia & Pavlovich, Elena & Gapon, A & Nikolov, Oleg. (2014). Effects of Millimeter-Wave Electromagnetic Exposure on the Morphology and Function of Human Cryopreserved Spermatozoa. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 157. 10.1007/s10517-014-2618-6.
37. Hardell, Lennart & Carlberg, Michael & Hedendahl, Lena. (2018). Radiofrequency radiation from nearby base stations gives high levels in an apartment in Stockholm, Sweden: A case report. *Oncology Letters*. 15. 10.3892/ol.2018.8285.
38. BTK, 2018. Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. 17 Nisan 2018 tarihli Resmi Gazete, Sayı no.30394.