

Artan Cep Telefonu Kullanımının İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Gülçin ÖZEVCI¹
Büşra CEYHAN²
Kadir ATAĞIR³

Özet: İnsanların birbirine kolay erişimi amacıyla 1980'lerde kullanılmaya başlanan cep telefonları, gelişen teknolojiyle birlikte insanlara fotoğraf ve video çekme, görüntülü arama, sosyal medya ve e-posta hesaplarına erişim ve ilgi alanlarına uygun uygulamaların yüklenebilmesi gibi birçok kullanılabilir işlev sunmaktadır. Bu işlevsellik günlük hayatta cep telefonu kullanım süresini arttırarak cep telefonu alışkanlığının ve bağımlılığının endişe verici bir hızla artmasına neden olmaktadır. İnsanlar için olası karsinojenik sınıfta yer alan düşük frekanslı elektromanyetik alana sahip cep telefonları, günlük hayatta evde, sokakta ve iş yerinde olmak üzere birçok ortamda kullanılarak hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Cep telefonlarının vücutta özellikle konuşma esnasında baş bölgesine ve pantolon cebinde taşırken üreme organlarına yakınlığı radyo frekans radyasyonuna uzun süre maruz kalmanın insan sağlığına olası etkileri konusunda endişeleri giderek arttırmaktadır. Bu çalışmada, cep telefonu teknolojisinin nasıl geliştiği ve radyasyon türlerini açıklamak, cep telefonu kaynaklı radyo frekans radyasyonlarına maruz kalmaktan kaynaklanan insanlarda meydana gelebilecek genotoksik etkilerden DNA hasarları, mutasyonlar ve tümörler, nörolojik etkiler, bağışıklık ve üreme sisteminde meydana gelen bozukluklar gibi olası olumsuz sağlık etkilerine dikkat çekmek, bu konuda yapılan anket, hayvan ve insan deneylerinde elde edilen sonuçları derlemek ve cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyon maruziyetiyle oluşabilecek kümülatif etkileri azaltmak için alınabilecek önlemlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyon, Elektromanyetik radyasyon, İnsan sağlığı, Radyo frekans radyasyon.

Effects of Increased Mobile Phone Using on Human Health

Abstract: Mobile phones which were first used around 1980s for communication between people offer many functions such as taking photos and videos, video calling, accessing of e-mail and social media accounts besides installing various applications suitable for their interests. This functionality increases the time of cell phone usage in daily life, causing cell phone habit and addiction to increase at an alarming rate. Mobile phones with low-frequency electromagnetic fields are possibly carcinogenic to humans, have become a vital part of our daily lives, used in various places as our homes, outdoors, at work. Keeping mobile phones with our bodies mostly during talking mode near head and carrying mobile phones in trouser raises concerns about the possible effects of long-term exposure to radio frequency radiation on human health. In this study, we aimed to explain how mobile phone technology develops and the types of radiation, to draw attention the possible adverse health effects of mobile phones such as DNA damages, mutations and tumors from the genotoxic effects that may occur in humans, neurological effects, disorders in the immune and reproductive system resulting from radio frequency radiations

¹ İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, İstanbul, Turkey, gulcin.ozevci@gmail.com, 0000-0003-1375-7443

² İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı, İstanbul, Turkey, busra.ceyhan@istun.edu.tr, 0000-0001-8452-567X

³ İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, İstanbul, Turkey, kadir.atakir@istun.edu.tr, 0000-0002-3654-9375

originating from mobile phones, to compile the results obtained in the survey, animal and human experiments on this subject, and to evaluate the precautions that can reduce the cumulative effects of mobile phone exposure.

Keywords: Mobile phone radiation, Electromagnetic radiation, Human health, Radio frequency radiation.

GİRİŞ

İletişim cihazlarına olan talebin artışıyla birlikte çok sayıda baz istasyonunun kurulması elektromanyetik radyasyon kaynaklı (EMR) çevresel maruziyeti arttırmaktadır (Nazıroğlu, Yüksel, Köse ve Özkaya, 2013; Türkkkan, Çerezci ve Pala, 2012). Elektromanyetik radyasyon; elektronik cihaz, yüksek gerilim hatları, elektrikle çalışan güçlü makine sistemleri, bina elektrik tesisatları (Yener ve Andiç, 2017) gibi düşük frekanstaki kaynaklardan (elektromanyetik alanlar) yayılan ELF bandı ve cep telefonu, baz istasyonu, radyo, Tv gibi kaynaklardan yayılan radyo mikrodalga frekans bandından oluşmaktadır. Günlük yaşamımızda kullanılan saç kurutma makineleri, mikrodalga fırınlar vb. elektronik cihazlar elektromanyetik radyasyon kaynakları (Çerezci ve Yener, 2016) olup, bu radyasyon kaynakları elektromanyetik alan kirliliğini arttırmaktadır (Türkkkan, Çerezci ve Pala, 2012). Bu durumda elektromanyetik alanların yarattığı kirliliğin insan sağlığına etkilerinin tespiti, takibi ve önlenmesi önemli bir husustur.

Kablosuz teknolojiler günümüzde oldukça yaygın hale gelmiş ve bu teknolojinin olağanüstü çıktılarında biri olarak da cep telefonları karşımıza çıkmaktadır. Veri iletişim ağları gibi diğer dijital kablosuz sistemler, WHO (World Health Organization; Dünya Sağlık Örgütü) ve IARC (The International Agency for Research on Cancer; Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı) ölçeğinde cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyonu "*Grup 2B muhtemel kanserojen*" olarak sınıflandırmıştır. Bu, kanserojenlik "*biraz risk*" olabileceği anlamına gelmektedir. Bazı ulusal radyasyon danışma merkezleri, tedbirli bir yaklaşım olarak vatandaşlarına cep telefonlarına maruz kalmayı en aza indirecek önlemler önermiştir (The International Agency for Research on Cancer [IARC], 2013).

Cep telefonu kullanımının hızlı büyümesine, elektromanyetik alanın yoğunluğunda paralel bir artış eşlik etmiştir. Uzun süreli cep telefonu kullanımı artan elektromanyetik radyasyona maruziyet ile insan vücudunda makromoleküler düzeyde biyolojik hasarlar başlatabilmektedir (Christopher, Mary, Khandaker ve Jojo, 2021). Cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyonunun sağlık üzerindeki etkisine ilişkin anketler, insan ve hayvan modelleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar karşımıza çıkmaktadır. Anket çalışmalarında cep telefonu ile günlük konuşma süresi, SAR değeri, telefonun kullanılmadığı durumlarda açık ya da kapalı tutulması, yatılan odada bulundurulup bulundurulmaması gibi faktörler dikkate alınırken bu etkilerin yorumlanmasında daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için yapılan deneysel çalışmaları incelemek gereklidir (Uzun, 2016). Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda insanların gerçek hayatlarındaki maruz kalma durumu ile birebir aynı ortamın oluşturulamaması (cep telefonlarının kafes üzerine yerleştirilmesi gibi), hayvanlar ile insan boyutu arasındaki dikkate değer farkın farklı hedef alanları ortaya çıkarması, beyin yapısı farklılığı gibi kısıtlılıkların olduğu görülmüştür (Qubty, Schreiber, Rubovitch, Boag ve Pick, 2021). Bununla birlikte mevcut literatürde, yapay zekâ tekniği kullanarak deneysel bir çalışma gerektirmeden cep telefonunun sağlık üzerine etkilerini inceleyen çalışmalara da rastlanmıştır (Develi ve Sorgucu, 2015). Bu derlemede cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyonunun insanlar üzerinde biyolojik etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Cep Telefonları

Cep telefonları için bağlantı ve iletişim teknolojileri geçmişten günümüze 1G, 2G, 2,5G, 3G ve 4G olarak iletişim ağındaki bant genişliği artmış ve genel olarak dört farklı nesilde sınıflandırılmıştır. Birinci nesil ağlar (1G) 1980'lerin ortalarında kullanıma sunulmuş ve Kuzey Amerika'da Gelişmiş Cep Telefonu Sistemi (AMPS: Advanced Mobile Phone System), Avrupa'nın birçok yerinde Toplam Erişim İletişim Sistemleri (TACS; Total Access Communication Systems), Japonya'da Nippon Telgraf ve Telefon (NTT: Nippon Telegraph and Telephone) ve İskandinavya'da Nordik Mobil Telefon (NMT: Nordic Mobile Telephony) bu gruba dahil edilmiştir. Sistemler analog teknolojiye dayalıdır ve sesli iletişim hizmetleri sunmada frekans modülasyonu kullanmıştır. Bu ağların birçoğu kullanıcıların yeni nesil teknolojilere geçmesiyle, 2000 yılı civarında kapanmıştır. 1990'ların başında var olan İkinci nesil ağlar (2G) dijital

teknolojiye dayanmaktadır ve spektral verimliliği artırmak için ses kodlamasını kullanır. Birçok sistem, frekans kanalları içinde zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA: time-division multiple access) kullanır ve bu tür sistemler Avrupa'da Mobil Global Sistem (GSM: Global System for Mobile), Japonya'da Kişisel Dijital Hücreli (PDC: Personal Digital Cellular) ve Kuzey Amerika'da hem Kişisel İletişim Sistemleri (PCS: Personal Communication Systems) hem de D-AMPS (digital AMPS) bulunur. 2G sistemleri bazı temel veri hizmetlerini içerecek şekilde genişletilmiştir, ancak gelişmiş veri hizmetlerine sahip sonraki sistemler genellikle 2,5 G olarak adlandırılmıştır. 2000'lerin başında kapsamlı veri hizmetlerine sahip üçüncü nesil cep telefonları (3G) kullanıma sunulmuştur. Bu telefonlar günümüzün "akıllı telefonları" olmak için geliştirilmiştir. Sistemler, Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA: Code Division Multiple Access) radyo erişim yöntemlerini kullanır. Dördüncü nesil (4G) teknoloji sadece veri hizmetlerine yönelik artan talebi karşılamak için kullanıma sunulmaya başlanmıştır. Uzun Dönemli Evrim (LTE: Long-term Evolution) olarak bilinen bazı sistemler Dikgen Frekans Bölmeli Çoklamayı (OFDM) kullanırken diğerleri Dünya Çapında Birlikte İşleyen Mikrodalga Erişimi (WiMax: Worldwide Interoperability for Microwave Access) temel alır. 3G hizmetlerinde olduğu gibi, bu teknoloji diğer hizmetlerin üzerine yerleştirilecek ve telefonlar çoklu erişim modlarını (4G, 3G ve 2G) destekleyebilmektedir.

Cep telefonu frekansları, kullanılan sisteme göre yaklaşık 900 veya 1800 MHz (GSM) ve 2200 MHz [Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS)] arasında değişmekte olup (Kesari, Siddiqui, Meena, Verma ve Kumar, 2013; Qubty vd., 2021) 2G ve 3G cep telefonları mikrodalga yayan cihazlardır. Cep telefonları, baz istasyonu antenlerine/antenlerinden mikrodalga sinyalleri iletir/alır ve 2G için 900/1800 MHz ve 3G için 2100 MHz frekans bandı aralığında daha düşük frekanslı mikrodalga radyasyonu kullanır. Vücudumuz bu dalgaları absorblayan ve onları eddy akımlarına dönüştüren antenler gibi davranabildiğinden, kullanıcılar için risk devam etmektedir (Shahin, Singh ve Chaturvedi, 2017). Cep telefonları, 2G için 900/1800 MHz ve 3G için 2100 MHz frekans bandı aralığında daha düşük frekanslı mikrodalga radyasyonu kullanır. Vücudumuz bu dalgaları absorblayan ve onları eddy akımlarına dönüştüren antenler gibi davranabildiğinden, kullanıcılar için risk devam etmektedir (Shahin, Singh ve Chaturvedi, 2017).

Radyo frekans radyasyonu (RFR), insan sağlığına olası etkileri konusunda endişeler artmaktadır. 2003 yılında dünyada bir milyar dolayında cep telefonu kullanıcısı varken 2017'de bu değer yaklaşık beş milyar gibi yüksek bir değere ulaşmıştır (Şahin ve Topal, 2020). Artan internet erişim alt yapısı ve sosyal medya kullanımı ile akıllı telefon kullanım süresinin artışı ve süre artışının da telefon bağımlılığını arttırdığı ifade edilmektedir (Işık ve Kaptangil, 2018). Cep telefonu kullanıcıları gençlerin de içinde yer aldığı toplumun tüm bireylerini kapsamakta olup üniversite öğrencilerinin cep telefonu kullanımında moda/statü, işlevsellik/sosyalleşme, eğlence/rahatlama ve mobilite/bilgilenme gibi faktörler etkilidir (Bal, 2017). Diğer iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarına (enerji iletim hatları, radar vb.) maruz kalma ile cep telefonu ve baz istasyonu radyasyonlarına maruz kalmanın artışıyla da olası olumsuz sağlık etkilerine ilişkin endişeler giderek artmaktadır (Kesari vd., 2013).

Radyasyon Türleri

Radyasyon bir kaynaktan üretilen ve madde ile etkileşerek soğrulan enerji olup, elektromanyetik ve parçacık radyasyonu olarak gruplandırılır. *Elektromanyetik (EM) radyasyon* (x-ışınları, ultraviyole ışık, radyo dalgaları vd.) enerji paketleri halinde hareket eden, ağırlığı olmayan ve evrende ışık hızıyla hareket eden radyasyon türüdür. Parçacık radyasyonu ise (alfa partikülü, beta partikülü vd.) yüksek hızlarda hareket eden, enerji taşıyan ve ağırlığı olan radyasyon türüdür. Bununla birlikte radyasyon, sahip olduğu enerjiye bağlı olarak maddeden elektron veya proton koparabilen *iyonlaştırıcı/iyonizan radyasyon* (x-ışını, gama ışını, alfa partikülü, beta partikülü vd.) ve maddeden elektron koparamayan *iyonlaştırıcı/iyonizan olmayan radyasyon* (radyo, Tv, cep telefonları, baz istasyonları, mikro dalgalar, kızılötesi vd.) olarak da gruplandırılmaktadır (Gelal, 2020). İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun frekans değerleri ve enerjileri iyonlaştırıcı radyasyona göre daha düşük değerlere sahiptir. Trenleri işleten akım ve evlerdeki akım gibi düşük frekansa (0,3 Hz- 30 kHz) sahip olan iyonlaştırıcı olmayan radyasyon örneklerinde deride tahriş, kaşıntı gibi etkiler görülürken, radyo, TV, mikro dalgalar, kızıl ötesi gibi

frekans değeri daha yüksek olan (300 kHz- 300 THz) örneklerde ise termal etkilerin etkin olduğu görülmektedir (Atakan, 2014).

Elektromanyetik alanlar kemik kırıklarının ve yaraların iyileşmesi, ağrı, depresyon ve anoksi tedavisi gibi sağlık alanında kullanılmaktadır ve gelişen teknoloji ile günlük hayatın birçok alanında (Enöz,2009) farklı seviye ve miktarlarda artış gösteren bir elektromanyetik alan maruziyeti gözlenmektedir. RF-EMR alanları, artan beyin gliomu riski temelinde, insanlar için olası kanserojen olarak sınıflandırılmış olup (Melnick, 2019; Merhi 2012) IARC düşük frekanslı elektromanyetik alanları “insanlar için olası kansinojenik” sınıfında ifade etmiştir (Kılıçkap ve Erdiş, 2013). Ancak wireless/kablosuz cihaz kullanıcılarının özellikle EM alanların neden olduğu olası tehlikelerle ilgili güvenlik konusunda kaygıları vardır. Mobil iletişim cihazları gibi RFR’ye maruz kalmaktan kaynaklanan olası olumsuz sağlık etkileri konusunda da artan bir endişe mevcuttur (Bhargavi, Balachandrudu ve Nageswar, 2013). Örneğin, Ramazzini Enstitüsü’nde radyofrekans radyasyonun kanserojen etkilerini inceleyen bir grup, 2448 Sprague-Dawley sıçanının cep telefonu baz istasyonlarının 1.8 GHz GSM anteni tarafından ürettiği kadar çevresel RFR’ye maruz kalmasını sağlamıştır. Erkek sıçanlarda en yüksek doz (50 V/m) uygulandığında hem kalp Schwannom insidansında istatistiksel olarak anlamlı bir artış, hem de erkek ve dişi sıçanlarda uygulanan bu dozda kalp Schwann hücreleri hiperplazisi insidansında bir artış gözlenmiştir. Ancak bu durumun istatistiksel olarak anlamlı olmadığı fakat bu doza maruz kalan dişi sıçanlarda malign glial tümörlerin insidansında bir artış gözlemlendiği belirtilmiştir (Falcioni vd., 2018).

Cep Telefonu Kullanımının Biyolojik Etkileri

Cep telefonlarından yayılan elektromanyetik radyasyonlar hem doğrudan hem de dolaylı olarak biyolojik değişikliklere neden olmaktadır. Cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyona maruz kalmayla ilgili mevcut bulgular ve radyofrekans (RF)/elektromanyetik alanlara maruz kalındığında meydana gelen biyolojik etkiler bilimsel araştırmalara ve kamu politikası girişimlerine dayanmaktadır. Sonuçlardaki çelişkinin temelinde ise etki parametrelerinin kontrol edilmesindeki zorluk karşımıza çıkmaktadır. Biyolojik etkiler yalnızca nesnenin uzaklığına ve boyutuna değil, aynı zamanda çevresel parametrelerine de bağlıdır. Elektromanyetik enerjinin absorpsiyonunun doku sıcaklığı, katarakt, cilt yanıkları, testiküler bozulma, kromozal değişimler, bağışıklık sistemini etkileme, beyin tümörleri ve hücre mutasyon oranı artışına sebep olduğunu tartışan bilimsel çalışmaların olduğu belirtilirken (Christopher vd., 2021) benzer olarak çocukluk çağı lösemisi, beyin tümörleri, genotoksik etkiler, nörolojik etkiler ve nörodejeneratif hastalıklar, bağışıklık sistemi bozuklukları, alerjik ve enflamatuvar tepkiler, infertilite ve bazı kardiyovasküler etkilerin RF ile ilişkili olduğu da rapor edilmiştir (Kesari vd., 2013). Kendiliğinden oluşan gen mutasyonları olduğu gibi fiziksel ve kimyasal ajanlarla da gen mutasyonları meydana gelmektedir. İyonize ve iyonize olmayan radyasyon, fiziksel ajanlar grubunda yer alan ve DNA hasarına yol açan çevresel faktörlerdir (Sorgucu, 2011). EMF'nin genotoksik etkileri ile ilgili çalışmalarda da genellikle DNA hasarına odaklanılmış (Yahyazadeh vd., 2018) ve EMF radyasyonuna dayalı DNA hasarı bildirilmiştir (Christopher vd., 2021). DNA'daki herhangi bir değişikliğin kanser riskinde olası bir artışa yol açması (Kesari vd., 2013), DNA zincirinde meydana gelen kırılmalara yol açan süreçlerin tanımlanarak RF-EMR’ye maruz kalmakla oluşan biyolojik etkilerin kapsamını belirlemeyi önemli hale getirmektedir (Diem, Schwarz, Adlkofer, Jahn ve Rudiger, 2005). Örneğin Lai ve Singh (1997) sıçanların beyin hücrelerinde in vivo mikrodalgaya maruz kalmanın DNA hasarının bir şekli olan DNA iplik kopmaları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada 2450-MHz radyofrekansa akut elektromanyetik radyasyona maruziyetten 4 saat sonra bir mikrojel elektroforez testi kullanılarak maruziyet test edilmiş ve maruziyetin sıçanın beyin hücrelerinde DNA tek ve çift zincir kırılmalarında artışa neden olduğu belirtilmiştir. Erkek ve dişi sıçanlarda ve farelerde cep telefonu radyo frekansı radyasyonunun genotoksitesini değerlendiren Smith-Roe vd. (2020) de RFR’ye maruz kalmanın DNA hasarında bir artış ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

Cep telefonlarının uzun dönem etkilerinin genetik hasar (De Juliis, Newey, King ve Aitken, 2009; Lai ve Singh, 1997; Kumar vd., 2014; Smith-Roe vd., 2020), tümör riski (Hardell, Carlberg, Hansson ve Mild, 2009; Melnick, 2019), davranışsal bozukluklar (Daniels, Pitout, Afullo ve Mabandla, 2009), hipokampus morfolojisinde değişiklik (Narayanan vd., 2010), nöronal aktivitede değişiklik (Aalto vd., 2006) üreme

sisteminde abnormallikler (Adams vd. 2014; Agarwal vd., 2008; Imai vd., 2011; Kumar vd., 2014; Kesari vd. 2018; Yan vd., 2007; Zalata vd., 2015) ve vücutta kulak gibi belirli bölgelerde sıcaklık artışı (Moradi vd.,2016; Taurisano ve Vorst, 2000) gibi zararlı etkileri olduğunu ifade eden çalışmalar mevcuttur. Bununla birlikte epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen kanıtların, cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyonun kanser, kardiyovasküler hastalıklar, üreme sistemi, katarakt gibi sağlık sorunları ile bir ilişkisi olmadığını (Bhargavi vd., 2013) ya da nadir bir ilişki olduğunu ve uzun süre maruz kalmanın hasar olasılığını arttırdığını belirten çalışmalar (Ahlbom, Green, Kheifets, Savitz ve Swerdlow, 2004; Moradi, Naghdi, Hemmati, Asadi-Samani ve Bahmani, 2016) mevcuttur.

Telefonların beklemedeyken ve görüşme yapılmadığında yaydıkları enerji de ilgi çekici bir konudur. Bu konuda sistematik çalışmalar yayınlanmamıştır, ancak belirtilen koşullar altındaki aktarımlar kısa ve seyrek olduğundan zaman içerisindeki ortalama alındığında maruziyetin çok küçük olması beklenmektedir. E-posta gibi veri hizmetleri için donatılmış telefonlar, e-posta sunucularını kontrol edecekleri ve telefonda tutulan veri tabanlarını uzak sunuculardakilerle senkronize edecekleri için normal telefonlardan daha uzun süre frekans gönderir ve bu yüzden video ve fotoğraf gibi büyük dosyaların yüklenmesi birkaç dakika sürebilmektedir. Bu durum gerçekleşirken, telefon arama sırasında olandan daha fazla güç seviyesinde bölgesel emisyonlara neden olabilecektir bu nedenle kullanıcının kafasında, cebinde veya vücudunun başka bir yerinde tutulmamalıdır. Bir cep telefonundan bir metin mesajının gönderilmesi kısa bir iletim süresinde gerçekleşirken uzun bir metin mesajının GSM sistemleri ile gönderilmesinin en fazla 1,5 saniye süreceği ifade edilmektedir (IARC, 2013).

Termal artış ve merkezi sinir sistemi üzerine etkisi

EM absorpsiyonunun neden olduğu en önemli etkilerden biri sıcaklık artışı olup, sıcaklık artışı ile ilgili literatürde yaygın olarak kullanılan parametre *ölgül absorpsiyon hız değeri*; SAR (Specific Absorption Rate)'dır (Develi ve Sorgucu, 2015). Düşük frekanslarda (<100 kHz), birçok biyolojik etki dokudaki akım yoğunluğu cinsinden ölçülür ve bu parametre çoğunlukla dozimetrik bir miktar olarak kullanılır. Daha yüksek frekanslarda etkileşimlerin çoğu birim kütle başına enerji biriktirme oranından kaynaklanır. Bu nedenle, bu frekanslarda dozimetrik ölçü olarak SAR kullanılır. SAR, W/kg olarak ifade edilir yani SAR, absorbe kütle tarafından absorblanan güçtür. Dozimetri analizine yönelik en belirgin yaklaşım kadavralarda olduğu kadar fantomlarda SAR dağılımını deneysel olarak belirlemektir. Sıcaklık ölçümleri bölgesel veya tüm vücut SAR'ını belirlemenin bir yoludur ve SAR, yalnızca ısı difüzyonunun etkileri ihmal edilebildiği zaman sıcaklık artışıyla orantılıdır (Kesari vd., 2013). Vücutta 30 dakika boyunca 1°C'lik sıcaklık artışına sebep olan RF kaynaklı değere SAR sınır değeri denir ve bu değer 4W/kg'dır (Atakan, 2014). SAR sınır değeri korunma faktörü dikkate alındığında ilgili meslek çalışanları için 0,4 W/kg iken halk için 0,08 W/kg olarak önerilmiştir (Kılıçkap ve Erdiş, 2013). Bu sınır değerler yapılan deneyler sonucunda belirlenmiş (Atakan, 2014) olup vücudun tamamı ve belirli kısımları için farklıdır. Altı dakika ve üzeri 100 kHz- 6 GH elektromanyetik alan maruziyetinde ilgili meslek çalışanları ve halkın tüm vücut için sınır değerleri sırasıyla 0,4 W/kg ve 0,08 W/kg, lokal baş/gövde için sınır değerleri 10 W/kg ve 2 W/kg ve üst ekstremiteler için sınır değerleri ise 20 W/kg ve 4 W/kg'dır (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [ICNIRP], 2020). Genellikle el tipi cep telefonlarının ve telsiz telefonların vücutta göre çeşitli pozisyonlarda kullanılması nedeniyle kişiler bu limitlere yakın maruziyetler almaktadır. Cihazlarının kullanım sırasında bu konumlarda olması ile 40 MHz ile 6 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik alanlar çoğu kez dokuya derinlemesine nüfuz ederek sitoplazmada rastgele moleküler hareket artışına neden olmaktadır (Qubty vd., 2021).

İnsanların cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyona maruz kalmasıyla merkezi sinir sistemi (MSS) üzerine etkilerini inceleyen birçok çalışma mevcuttur. Cep telefonlarının yaydığı EMF'lerin MSS üzerindeki etkileri, konuşma sırasında çoğunlukla cep telefonlarının başa yakın tutulması ve beyne yakın olması nedeniyle farklı bir endişe odağı haline gelmiştir. Bu işlemler sırasında, bir cep telefonu anteni, insan beyninin 4-6 cm derinliğine penetre edebilen radyo frekanslı elektromanyetik alan yayar. Radyasyonun penetrasyonu da hipokampus ve epifiz bezi sırasıyla protein kinaz C ve melatonin aktivitelerindeki azalmadan etkilenebilir (Kesari vd., 2013). RF-EMR etkilerine duyarlı olan insan beyni

cep telefonu antenine en yakın bölge olduğu için beyin RF-EMR absorpsiyonuna maruz kalması beyin dokusunun uyarılabilirliğini arttırabilmektedir (Merhi, 2012). Develi ve Sorgucu (2015) elektromanyetik radyasyona maruz kalmakla insan beyni eşdeğer sıvısındaki (BEL) sıcaklık dağılımını tahmin ettikleri çalışmada 900 mHz cep telefonu radyasyon frekansında çalışmıştır. Deneysel bir çalışma gerektirmeden nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yapay zeka tekniği ile bir insan BEL'indeki sıcaklık dağılımını yüksek doğrulukla tahmin etmede kullanılabileceğini önermişlerdir. 900 MHz'lik bir elektromanyetik alan sinyaline maruz bırakılan erkek sıçanlarda, iki ay boyunca 900 MHz EMF sinyaline subkronik maruz kalmanın sıçan beynini olumsuz etkileyebileceğini ve bu durumun potansiyel bir gliosis belirtisi olduğu ifade edilmektedir (Ammari vd., 2010). Cep telefonun insanlarda serebral kan akışına etkisini çalışan Aalto vd. (2006) ticari bir cep telefonu tarafından yayılan EMF'nin insanlarda rCBF'yi etkilediğini bulmuştur ve bu sonucun EMF'nin nöronal aktivitede değişikliklere neden olduğu varsayımıyla tutarlı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca fantom kafa kullanan yayınlanmış dozimetri çalışmalarında, anatomik ve fizyolojik farklılıklar nedeniyle çocuklarda RF absorpsiyonunun yetişkinlere göre daha yüksek olabileceği ifade edilmiştir (IARC, 2013) ki çocukların yetişkinlere göre daha uzun bir yaşam ömrü vardır.

Laboratuvar çalışmaları dokuda normal sıcaklığından 1°C'den fazla bir artışın olumsuz biyolojik etkilere sebep olabileceğini ileri sürmektedir. Vücut sıcaklığındaki mutlak artış, ısıtma süresi ve termo düzenleyici kapasitesi doku ısınmasındaki zararlı seviyelerin önemli belirleyicileridir (Ahlbom vd., 2004). Cep telefonu kullanıcılarında, cep telefonları ile temaslarından dolayı sıklıkla gözlemlenen etki de kulaklarının ısınmasıdır (Christopher vd., 2021; Gökoğlan, Ekinci, Özgenç, Özdemir ve Aşıkoğlu, 2020) ve bu sıcaklık artışı, kullanıcının kafası tarafından absorblanan radyo frekans ve elektromanyetik dalgadan kaynaklanıyor olabilir. İnsan (Hillert vd., 2008) ve hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalarda ve anket çalışmalarında (Ofstedal, Wilen, Sandstrom ve Mild, 2000) belirtilen baş ağrısı vakalarında (Schreier, Huss ve Rösli, 2006; Christopher vd., 2021), uyku düzeninde (Schreier, Huss ve Rösli, 2006) ve sinir hücrelerinin işlevlerinde meydana gelen değişikliklerdeki önemli artış (Christopher vd., 2021) da bu durumu destekler niteliktedir.

EMF'lerin termal olmayan maruziyet seviyelerinde tümör gelişimine neden olduğuna dair ikna edici bir laboratuvar kanıtı olmadığını belirten Salford, Brun ve Persson (1997), 914 sıçanla yaptıkları deneyde 915 MHz'e maruz kalan hayvanlar ile maruz kalmayan hayvanlar arasında tümör boyutunda önemli bir fark bulmamıştır. Bir başka çalışmada farklı frekans ve güç seviyelerine sahip iki cep telefonu teknolojisi olan GSM ve CDMA elektromanyetik radyasyonlarının etkisi 10 gönüllü insan üzerinde laboratuvar ortamında telefonla 10 dakikalık konuşma süreleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sırasında beyin sinyallerini izlemek ve yakalamak için elektroensefalogram kullanılmıştır. Denemeler sonunda GSM hizmeti veren cep telefonunun, CDMA hizmeti veren cep telefonuna kıyasla beyin üzerinde daha büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür (Bhargavi vd., 2013). Sıçanlar ve fareler üzerinde cep telefonu radyasyon etkisini çalışan Melnick (2019) ise GSM ve CDMA modülasyonlu RFR'nin kalp ve beyin için kanserojen olduğunu belirtmiştir.

Radyofrekansa maruz kalma ve bu maruziyetin sebep olabileceği radyobiyojik etkiler üzerine yapılmış olan çalışmaların birçoğunun RF maruziyeti ile cep telefonlarının vücutta oluşturduğu riskler arasında nadir bir ilişki olduğunu bildiren Moradi vd. (2016), RF maruziyetinin özellikle eşik dozu düşük olan baş ve boyunda vücut ısısının artmasına neden olabileceği ve bu dalgalara uzun süre maruz kalındığında hasar olasılığının arttığını ifade etmiştir. İsveç'teki Hardell ve Interphone grubunda cep telefonu kullanımı ile tümör arasındaki ilişki incelenmiş, 10 yıl ve daha üzeri cep telefonu kullanımından sonra tükürük bezi tümörleri, Nonhodgkin lenfoma ve testis kanseri için kablosuz telefon kullanımı ile tutarlı bir ilişki modeli bulunamazken glioma ve akustik nöroma için artan risk olduğu belirtilmiştir (Hardell vd., 2009). 13 ülkede yürütülen INTERPHONE çalışma grubu ise cep telefonu kullanımıyla glioma ve meningioma riskinde artış gözlenmediğini belirtmiştir (Interphone, 2010). Benzer şekilde cep telefonu kullanıcılarındaki gliomaların, beyin cep telefonundan en yüksek radyo frekans alana maruz kalan kısımlarında tercihli olarak yer almadığı da belirtilmiştir (Bor, 2016; Larjavaara, Schüz ve Swerdlow, 2011). Bu durumda bazı raporlar cep telefonu kullanımı ile beyin

tümörleri arasında bir ilişki sunmazken, bazı raporlar beyin tümörü riskinin cep telefonu kullanımı ile arttığını öne sürmüştür. Bununla birlikte cep telefonu kullananların kullanmayanlara kıyasla baş ağrısı (Christopher vd., 2021; Liu vd., 2014; Qubty vd., 2021) ve uyku bozuklukları (Schreier, Huss ve Röösli, 2006) gibi semptomlarının olduğu belirtilmiştir. Cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyona uzun süre maruz kalma nedeniyle beyin, göz ve cilt dokularının termal değişimlerini ve SAR'ı analiz eden bir çalışmada insan kafasını; deri, kafatası ve beyinle simüle eden bir fantom kullanılmıştır. Fantom, 600 s ve daha fazla olmak üzere uzun süre radyasyona maruz bırakılmış ve hassas termokupl problemleri ile farklı spesifik noktalarda sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Çalışmada beyinde 30 mm derinlikte beyin sıcaklığındaki ortalama artış, $0,10 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$ ve tahmini SAR $0,66 \pm 0,35 \text{ W/kg}$, göz yuvası için sıcaklıktaki artış, $0,03 \pm 0,02^{\circ}\text{C}$ ile SAR $0,15 \pm 0,08 \text{ W/kg}$ ve cilt sıcaklığındaki ortalama artış $0,14 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$ ve SAR $0,66 \pm 0,42 \text{ W/kg}$ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) tarafından baş/gövde için önerilen 2 W/kg değer limit değerleri içindedir ancak cep telefonu kullanıcılarının sayısındaki büyük artış ve cep telefonunun iletişim amaçlı uzun süreli kullanımı göz önüne alınırsa, kümülatif etkiler insan sağlığı için gerçek bir endişe kaynağı olabilir (Christopher vd., 2021). Son olarak 1990 ve 2015 yılları arasında 88 ülkenin Dünya Sağlık Örgütü'nden alınan beyin kanseri ölüm oranlarını ve Dünya Bankası'ndan ülke düzeyinde cep telefonu abonelik oranlarını kullanarak cep telefonları ve beyin kanseri arasındaki ilişkiyi araştıran bir grubun 15-20 yıl sonra cep telefonu abonelikleri ile beyin kanseri ölüm oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunurken falsifikasyon testlerinde, cep telefonu abonelik oranları ile rektal, pankreas, mide, meme veya akciğer kanseri veya iskemik kalp hastalığından kaynaklanan ölümler arasında çok az sayıda pozitif ilişki bulunduğu (Mialon ve Nesson, 2020) dikkat çekicidir.

Üreme hücrelerine etkisi

Cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyonun üremeyi etkileyip etkilemediği önemli bir araştırma konusu olup (Yu vd., 2021) üreme denildiğinde akla gelen iki sistem erkek ve dişi genital organlarıdır (Nazıroğlu vd., 2013). Telefon radyasyonunun erkek ve dişi hayvanlar ve insanlarda üreme üzerine etkisinde; gonad metabolizması, üreme hücrelerinin apoptozu ve fertilitite durumuna odaklanılmıştır (Merhi, 2012). Cep telefonlarının infertilite için potansiyel bir risk faktörü olduğu, cep telefonu kullanımının erkeklerde sperm motilitesi (Adams, Galloway, Mondal, Esteves ve Mathews, 2014; De Iuliis vd., 2009; Hasan, Amin, Alam ve Islam, 2021; Kesari, Agarwal ve Henkel, 2018), sayısı (Hasan vd., 2021; Kesari vd., 2018) ve morfolojisi (Kesari vd., 2018), kan-testis bariyerinin artan geçirgenliği (Hasan vd., 2021), testiküler ağırlığı (Imai vd., 2011; Kumar, Nirala, Behari ve Paulraj, 2014) ve DNA hasarı (Kumar vd., 2014), kadın infertilitesinde yumurtalık ve uterin histolojik yapı ve steroidojenez fonksiyonu (Shahin vd., 2017), folikülde madde artışı (Nazıroğlu vd., 2013) ve sayısında değişim, granüloza hücreleri, endometriyal doku, oosit ve embriyo kalitesi, hamilelik esnasında fetal kalp fizyolojisindeki değişim (Merhi, 2012), hormon seviyelerinde düşüş (Yüksel, Nazıroğlu ve Özkaya, 2016) gibi üremede olumsuz etkiler gösterebileceğini ifade eden çalışmalar olduğu gibi, cep telefonu kullanımı ile sperm kalitesinde düşüş arasındaki ilişkiyi desteklemeyen çalışmaların olduğu (Yu vd., 2021) belirtilmektedir. Ayrıca cep telefonlarının gebelik gelişim sürecine olumsuz etkisi olmadığını bulan (Takahashi vd., 2010) çalışmalar da mevcuttur.

Wi-Fi ve cep telefonu EMR'si kaynaklı oksidatif stres, kadın ve erkek üreme sistemlerini etkileyen önemli bir mekanizmadır. Erkeklerde oksidatif stresin indüklenmesinin sadece spermilerin dölllenme kapasitesini bozmadığı, ayrıca sperm DNA hasarına yol açtığı belirtilmektedir (De Iuliis vd., 2009) Kadın infertilitesinde yumurtlamaya yakın bir zamanda, foliküldeki çeşitli maddelerde artış, fizyolojik olarak oksidatif stres ve reaktif oksijen türleri (ROS) üretimini indükleyebilir (Nazıroğlu vd., 2013) ve ROS üretimi hedef hücrelerde oksidatif hasara sebep olur (Altun, Deniz, Yurt, Davis ve Kaplan, 2018). Fetüsün EMR ile indüklenen anormal gelişimi ise endişe arttırmaktadır. Örneğin anne sıçanlarda hamilelik sırasında cep telefonuna maruziyet sonrası etkilerin incelendiği bir çalışmada prolaktin, östrojen ve progesteron seviyeleri azalırken yavruların gelişimi sırasında anne sıçanların uteruslarında EMR kaynaklı oksidatif stresin, toplam plazma oksidant durumunun ve vücut sıcaklığının arttığı görülmüştür (Yüksel vd., 2016). Shahin vd. (2017), çalışmalarında cep telefonu kullanımının uzun

dönem etkileri olarak ROS, NO (azot oksit), lipid peroksidasyonu, toplam karbonil içeriği ve serum kortikosteronunda önemli bir yükselişe ve farelerin hipotalamus, yumurtalık ve uterusunda antioksidan enzimlerde önemli miktarda azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Aburawi vd. (2020) ise cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyona maruz kalan on iki dişi albino farede, maruz kalma sırasında davranışlarında herhangi bir etki görmezken histolojik olarak yumurtalık ve uterusu hasar meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Cep telefonlarının artan popülaritesi, bu telefonları cepte ya da belde taşıyarak kullanmanın (Kesari vd., 2018) cep telefonlarından gelen RF-EMR'nin sperm gelişimini ve işlevini potansiyel olarak etkileyip etkilemediği (Yu vd., 2021) ve çoğu batı ülkesinde artan bir testis kanseri insidansının varlığı, toplumda cep telefonu kullanımının testis disfonksiyonu için bir risk faktörü olabileceği endişesini oluşturmaktadır (Hardell vd., 2009; Yu vd., 2021). Yan vd. (2007), birçok araştırmacının laboratuvar çalışmalarında RF-EMR ile ısı faktörünün birlikte abnormalliğe yol açtığını, bazı araştırmacılara göre ise ısı faktörü ortadan kaldırıldığında veya aşırı miktarda olmadığında cep telefonlarının etkilerinin minimal ile yok arasında olduğunu belirtmiştir. Cep telefonu kullanımının erkek fertilitesi üzerindeki etkilerinin daha kesin olarak belirlenmesi, erkeklerin cep telefonlarını sıklıkla ceplerinde üreme organlarına yakın bir yerde taşıdıkları düşünüldüğünde önemlidir (Agarwal, Deepinder, Sharma, Ranga ve Li, 2008).

Cep telefonu kullanımının erkek üreme sistemi üzerine etkileri incelendiğinde karşımıza epidemiyolojik çalışmalar, in vitro laboratuvar çalışmaları ve hayvan çalışmaları da dahil olmak üzere birçok araştırma türü çıkmaktadır. Liu vd. (2014), insan çalışmaları ve in vitro laboratuvar çalışmalarının çoğunun radyofrekansa maruz kalmanın sperm konsantrasyonu ve motilitesi üzerinde zararlı etkilere yol açtığını ancak insan çalışmalarındaki meta-analiz sonuçlarının cep telefonu kullanımının sperm parametreleri üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını işaret etmiştir. İn vitro çalışmalarda meta-analiz, radyofrekans radyasyonun sperm motilitesi ve in vitro canlılığı üzerinde zararlı etkisi olduğunu belirtmiştir. Mevcut araştırmaların sonuçları çelişkili olup cep telefonu RF-EMR maruziyetinin erkek sperm kalitesini düşürüp düşürmediği bilim camiasında tartışılmaya devam etmektedir (Yu vd., 2021). Yapılan hayvan çalışmalarına bakıldığında cep telefonuna maruz kalma durumunda sperm konsantrasyonu, motilitesi (Liu vd., 2014; Yan vd., 2007), sperm hücre morfolojisi (Agarwal vd., 2008; Yan vd., 2007), toplam sperm hücre sayısı ve mRNA seviyeleri (Yan vd., 2007) ve üreme organlarının ağırlığı (Imai vd., 2011; Kumar vd., 2014) gibi parametreler incelenirken insanlarda da infertilite kliniklerinden alınan örneklerde benzer olarak cep telefonu kullanımının erkeklerde sperm canlılığı (Adams vd., 2014; Agarwal vd., 2008), konsantrasyonu (Adams vd., 2014) sayısı (Agarwal vd., 2008; Zalata, El-Samanoudy, Shaalan, El-Baiomy ve Mostafa, 2015), motilitesi (Adams vd., 2014; Agarwal vd., 2008; Zalata vd., 2015) gibi parametreler incelenmiştir. 3G cep telefonlarının erkek sıçanların üreme sistemi üzerine etkilerinin incelendiği çalışmada, cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyona maruz kalmanın, oksidatif stres içeren mekanizmalar yoluyla sperm fonksiyonlarını etkileyebileceği ve oksidatif stresin, erkek kısırlığının ana nedeni olduğu belirtilmiştir (Kumar vd., 2014). Kesari vd. (2018), cep telefonunu cepte ya da belde taşımanın sperm motilitesi, konsantrasyonu ve viyabilitesi düşürdüğü ve abnormal sperm morfolojisine neden olduğunu ifade eden çalışmaların mevcut olduğunu ifade etmiştir. Benzer şekilde Adams vd. (2014) yapılan hayvan çalışmalarının, RF-EMR'nin sperm hücresi ölümünü arttırabileceğini ve testislerde histolojik değişiklikler üretebileceğini, Fatahi vd. (2021), cep telefonu kullanımının infertilite tehlikesinin hafif ile orta düzeyde olduğunu ve infertilitede uzun vadeli etkilerinin olabileceğini ifade eden çalışmaların mevcut olduğunu belirtmiştir. İsviçre albino fareleri üzerinde dördüncü nesil cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyona maruz kalmanın; hematolojik, biyokimyasal parametreler, böbrek ve testisteki histopatolojik değişiklikler üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada ise radyasyona maruz kalan gruplarda vücut ağırlığı ve toplam eritrosit sayısı değerlerinin önemli ölçüde azaldığı, toplam lökosit sayısı, hemoglobin yüzdesi ve serum kreatin değerlerinin önemli ölçüde arttığı, dördüncü nesil telefonların farelerin böbrek ve testis dokusunun iltihaplanmasını etkileyebileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle cep telefonu radyo frekansıyla elektromanyetik radyasyona maruz kalmanın olası olumsuz etkileri konusunda halkın bilincini arttırmak önem kazanmaktadır (Hasan vd., 2021).

Yüksek ve orta gelirli ülkelerdeki çiftlerin yaklaşık %14'ünün gebe kalmakta güçlük çekmekte ve birçok ülkede sperm kalitesinde açıklanamayan düşüşler rapor edildiğini ifade eden Adams vd. (2014) çalışmalarında cep telefonlarından yayılan RF-EMR'ye maruz kalmanın insan sperm kalitesini etkileyip etkilemediğini belirlemek amacıyla sistematik bir inceleme ve değerlendirme için meta-analiz uygulamıştır. Katılımcıları fertilitite kliniği ve araştırma merkezlerinden olup sperm kalitesi sonuç ölçütleri olarak klinik ortamlarda fertilititeyi değerlendirmek için en sık kullanılan parametrelerden hareketlilik, canlılık ve konsantrasyon seçilmiştir. Çalışma sonucunda deneysel in vitro ve gözlemsel in vivo çalışmaların tutarlı olduğu, in vitro ve in vivo çalışmalardan toplanan sonuçların, cep telefonuna maruz kalmanın sperm kalitesini olumsuz etkilediğini gösterdiği ancak hem düşük fertil erkeklerin hem de genel popülasyonun tam klinik sonuçlarını belirlemek için daha fazla çalışmanın gerekli olduğunu bildirmiştir.

Sıçanların 18 hafta boyunca günde 2 defa 3'er saatlik cep telefonu emisyonuna maruz bırakıldığı çalışmada cep telefonu emisyonlarına maruz kalan sıçanlarda kontrol grubunun aksine yüksek sperm hücresi ölümü insidansı ile anormal sperm hücresi kümelenmesi görülmüştür (Yan vd., 2007). Erkek sıçanların üreme organlarının (testisler, epididimitler, seminal veziküller ve prostat) ağırlığının incelendiği çalışmada üreme organlarının 5 haftalık bir süre boyunca günde 5 saat 1,95 GHz cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyona maruz kalmanın bir sonucu olarak farklılık görülmüştür (Imai vd., 2011). İnfertilite kliniğinden cep telefonu hiç kullanmayan, <2 saat/gün, 2-4 saat/gün; >4 saat/gün olmak üzere 4 grubun örnekleriyle yapılan incelemede de cep telefonu kullanımının erkeklerde sperm sayısını, motilitesini ve canlılığını azaltarak ve normal morfolojisini değiştirerek sperm kalitesini düşürdüğü, sperm parametrelerindeki azalmanın, cep telefonlarına günlük maruz kalma süresine bağlı ve başlangıçtaki sperm kalitesinden bağımsız olduğu ifade edilmiştir (Agarwal vd., 2008). Cep telefonlarından yayılan in vitro RF-EMF maruziyetinin etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; sperm motilitesinde, sperm lineer hızında, sperm lineerite indeksinde ve sperm akrosin aktivitesinde önemli bir azalmanın olduğu, sperm DNA fragmentasyon yüzdesi ve seminal clusterin (CLU) gen ekspresyonu ve CLU protein seviyelerinde ise önemli bir artışın olduğu Zalata vd. (2015) tarafından bildirilmiştir. Cep telefonu kaynaklı radyasyonunun erkek eşey hücresinde mutasyon ve cinsel travma ve infertilite riskini açıklamak amacıyla farklı frekanslarda yüksek voltajın aktarılmasıyla yayılan dozun bir sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçüldüğü bir çalışmada ise cep telefonu kullanarak günde 50 dakikadan fazla zaman harcayan kişilerin, beyinde glikozun harcanması nedeniyle erken bunama veya başka termal hasarlar yaşanabileceği gösterilmiştir (Moradi vd., 2016).

SONUÇ ve ÖNERİLER

İnsanların her gün evde, işte ya da çevresindeki herhangi bir ortamda EMR'ye maruz kaldığı, çocuklardan yetişkinlere kadar her bireyin kişisel cep telefonu kullanıcısı olması ve bu oranın giderek artması RF kaynağı olan cep telefonlarının insan sağlığına etkisi üzerine endişe yaratmış ve yaratmaya devam etmektedir. Cep telefonlarının biyolojik etkileri (DNA hasarları, tümörler, üreme sistemi bozuklukları, beyin, göz ve cilt dokularının termal değişimler vd.) incelendiğinde muhtemelen kanserojen sınıfında yer alan cep telefonu kaynaklı radyofrekans radyasyonun beyin tümörü ile ilişkili olduğunu ve olmadığını öne süren çalışmaların olması bu konuda henüz bir kesinliğin olmadığını göstermektedir. Cep telefonunun üreme sistemine etkileri incelendiğinde ise cep telefonu kullanımının erkek ve kadın üreme sistemi üzerinde potansiyel zararlı etkileri olduğu görülmüştür. Bu nedenle cep telefonu kullanımının üreme sistemi üzerindeki riskini değerlendirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bununla birlikte cep telefonlarının konuşma sırasında vücutta en yakın bölge olan kulak ile temasıyla birlikte kulağın ısınması ve kafa tarafından absorblanan elektromanyetik radyasyon ile görülen baş ağrısı ve uyku düzensizliği gibi semptomlar cep telefonu kaynaklı merkezi sinir sistemini etkileyen termal etkiler arasında sıralanabilir. Bu durumda yapılan çalışmalardaki kısıtlılıklar (boyut, yapı, aynı ortamın birebir oluşturulamaması, etkenlerin kontrolündeki zorluklar gibi), etkilerin kümülatif olarak artması, çocukların yetişkinlere göre daha riskli olmaları dikkate alınarak cep telefonlarının uzun vadeli ve yoğun kullanımına ilişkin daha fazla araştırmanın yapılması gerekmektedir. Ayrıca cep telefonlarının birer iletişim aracı olduğunu unutmadan cep telefonu

kaynaklı radyofrekans radyasyona maruziyeti azaltmak amacıyla alınacak tedbirler de büyük önem taşımaktadır. Aşağıda bu önlemler sıralanmıştır:

- ✓ Araba kullanırken cep telefonu kullanmamak (Kılıçkap ve Erdiş, 2013),
- ✓ Sinyal seviyesinin düşük olduğu zamanlarda (araç yolculuğu gibi) değil (Kılıçkap ve Erdiş, 2013), sinyal seviyesinin yüksek olduğu durumlarda (baz istasyonuna yakın) telefonla görüşme yapmak (Atakan, 2014),
- ✓ Telefonu bağlantı kurulduktan sonra kulağa yaklaştırmak ve konuşma esnasında kulaktan 1 cm kadar uzak tutmak (Atakan, 2014),
- ✓ Cep telefonu yasal SAR değerinin 2,0 W/kg ile sınırlı olduğunu bilmek ve bu değer dikkate alınarak düşük SAR değerli telefon satın almak (Adams vd., 2014),
- ✓ Bluetooth gibi ellerin serbest olduğu sistemler kullanmak (Merhi, 2012),
- ✓ Cep telefonlarını “konuşma modunda” baş bölgesinden uzağa yerleştirmek (Merhi, 2012),
- ✓ E-posta, video vb. büyük kapasiteli dosyaları gönderirken cep telefonunu kafanın yakınında, cepte veya vücudun başka bir yerinde tutmamak (IARC, 2013),
- ✓ Cep telefonlarını üreme organlarının yakınında tutmamak (Akbari ve Gaeini, 2021),
- ✓ Cep telefonu ile günlük konuşma süresini azaltmak,
- ✓ Konuşmak yerine mesajlaşmayı tercih etmek (Merhi, 2012; Kılıçkap ve Erdiş, 2013),
- ✓ Görüşmelerde kulaklık kullanmak (Gökoğlan vd., 2020), kulaklık olmadığı taktirde termal etkiden dolayı telefonun temas ettiği kulağı değiştirmek (Kılıçkap ve Erdiş, 2013),
- ✓ Telefonun kullanılmadığı durumlarda kapalı tutmak ve yatılan odada bulundurmamak,
- ✓ Cep telefonunu insülin pompası, kalp ve kulak aletlerinden en az 25 cm uzakta kullanmak (Atakan, 2014),
- ✓ Orta düzeyde egzersiz yapmak (Akbari ve Gaeini, 2021),
- ✓ Yaşa göre en yüksek riskin kablosuz telefonların ilk kez kullanıldığı 20 yaş altı grubunda bulunduğuna dikkat etmek (Hardell vd., 2009),
- ✓ Cep telefonlarını fırsat bulunduğunda uçuş moduna almak (Tamam, Evrensel ve Tamam, 2016).

KAYNAKLAR

- Aalto, S., Haarala, C., Brück, A., Sipilä, H., Hämäläinen, H., Rinne, J. O. (2006). Mobile phone affects cerebral blood flow in humans. *Journal of cerebral blood flow and metabolism: Official Journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 26(7), 885–890.
- Aburawi, S., Abusaida, H., Jaafari, H.E., Alkayed, F., Shibani, N., Dali, A.,..., Altaboni, O.(2020). Effect of Mobile Phone Radiation on Reproductive System and Behavior Using Female Albino Mice. *Med App Sci.*, 4(1), 31-39.
- Adams, J.A., Galloway, T.S., Mondal, D., Esteves, S.C., Mathews, F.(2014). Effect of mobile telephones on sperm quality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 70, 106–112.
- Agarwal, A., Deepinder, F., Sharma, R.K., Ranga, G., Li, J. (2008). Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertility and Sterility*, 89(1), 124-128.

- Ahlbom, A., Green, A., Kheifets, L., Savitz, D., Swerdlow, A. (2004). Epidemiology of Health Effects of Radiofrequency Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 112(17), 1741-1754.
- Akbari, H.A., Gaeini, A.A. (2021). Moderate exercise training as an effective strategy to reduce the harmful effects of cell phone radiation on Wistar rat's semen quality. *International Journal of Radiation Research*, 19(2), 317-323.
- Altun, G., Deniz, Ö.G., Yurt, K.K., Davis, D., Kaplan, S. (2018). Effects of mobile phone exposure on metabolomics in the male and female reproductive systems. *Environmental Research*, 167, 700-707.
- Ammari, M., Gamez, C., Lecomte, A., Sakly, M., Abdelmelek, H. de Seze, R. (2010). GFAP expression in the rat brain following sub-chronic exposure to a 900 MHz electromagnetic field signal. *International Journal of Radiation Biology*, 86, 367-375.
- Atakan, Y. (2014). *Radyasyon ve Sağlığımız*. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim ve Danışmanlık Tic.Ltd.Şti.
- Bal, E. (2017). Teknoloji Çağında Cep Telefonu Kullanım Alışkanlıkları ve Motivasyonlar: Selçuk Üniversitesi Öğrencileri Üzerine Bir İnceleme. *Humanities Sciences*, 12(3), 112-132.
- Bhargavi, K., Balachandrudu, K.E., Nageswar, P. (2013). Mobile Phone Radiation Effects on Human Health. *International Journal of Computational Engineering Research*, 03(4), 196-203.
- Bor, D. (2016). Cep telefonları sağlığımıza zararlı mı?. *Türk Radyoloji Dergisi*, 35, 85-87.
- Christopher, B., Mary, Y.S., Khandaker, M.U., Jojo, P.J. (2021). Empirical study on specific absorption rate of head tissues due to induced heating of 4G cell phone radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 178(08910), 1-5.
- Çerezci, O., Yener, Ş.Ç. (2016). *Çevremizdeki Elektromanyetik Kirlilik ve Sağlığımıza Etkileri*. ISEM2016, 3rd International Symposium on Environment and Morality (s.1137-1147). Alanya
- Daniels, W.M.U., Pitout, I.L., Afullo, T.J.O., Mabandla, M.V. (2009). The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat. *Metab Brain Dis*, 24, 629-641.
- Develi, I., Sorgucu, U. (2015). Prediction of temperature distribution in human BEL exposed to 900 MHz mobile phone radiation using ANFIS. *Applied Soft Computing*, 37, 1029-1036.
- De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ (2009) Mobile Phone Radiation Induces Reactive Oxygen Species Production and DNA Damage in Human Spermatozoa In Vitro. *Plos One* 4(7): e6446.
- Diem, E., Schwarz, C., Adlkofer, F., Jahn, O., Rudiger, H.(2005). Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutation Research*, 583, 178-83.
- Enöz, M. (2009). 3G cep telefonlarının sağlık açısından ülkemize getirebileceği sorunlar. *Kulak Burun Bogaz İhtis Derg*, 19(3), 115-121.
- Falcioni, L., Bua, L., Tibaldi, E., Lauriola, M., De Angelis, L., Gnudi, F...Belpoggi, F. (2018). 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. *Environmental research*, 165, 496-503.
- Fatahi, J., Shirbandi, K., Rezaie, A., Rastegarpour, S., Pahlavani, S., Ahangarpour, A.,... Mansouri, E. (2021). Short-Term Effects of Cell Phone Radiation on Fertility and Testosterone Hormone in Male Rats. *Duzce Med J*, 23(2), 151-156.
- Gelal, F. (2020). *Radyoloji Fiziği*. Nobel Tıp Kitapevleri.

- Gökoğlan, E., Ekinci, M., Özgenc, E., Özdemir, D.İ., Aşıkoğlu, M. (2020). Radyasyon ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri. *Anadolu Kliniği Tıp Bilimleri Dergisi*, 25(3), 289-294.
- Hardell, L., Carlberg, M., Hansson Mild, K. (2009). Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumor diseases. *Pathophysiology*, 16, 113-122.
- Hasan, I., Amin, T., Alam, MdR., Islam, M.R. (2021). Hematobiochemical and histopathological alterations of kidney and testis due to exposure of 4G cell phone radiation in mice. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, 2933–2942.
- Hillert, L., Åkerstedt, T., Lowden, A., Wiholm, C., Kuster, N., Ebert, S..., Arnetz, B.B. (2008). The Effects of 884 MHz GSM Wireless Communication Signalson Headache and Other Symp toms:An Experimental Provocation Study. *Bioelectromagnetics*, 29, 185-196.
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2013). Non-ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 102(Part 2), 1–460.
- ICNIRP Guidelines For Limiting Exposure To Electromagnetic Fields (100 khz to 300 ghz) (2020). *Health Phys*, 118(5), 483–524.
- Imai, N., Kawabe, M., Hikage, T., Nojima, T., Takahashi, S., Shirai, T. (2011). Effects on rat testis of 1.95-GHz W-CDMA for IMT-2000 cellular phones. *Systems Biology in Reproductive Medicine*, 57, 204–209.
- Interphone Study Group (2010). Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the Interphone international case-control study. *International Journal of Epidemiology*, 39(3), 675–694.
- Işık, M., Kaptangil, İ. (2018). Akıllı Telefon Bağımlılığının Sosyal Medya Kullanımı ve Beş Faktör Kişilik Özelliği İle İlişkisi: Üniversite Öğrencileri Üzerinden Bir Araştırma. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 695-717.
- Kesari, K.K., Agarwal, A., Henkel, Z. (2018). Radiations and male fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 16(118), 1-16.
- Kesari, K.K., Siddiqui, M.H., Meena, R., Verma, H.N., Kumar, S. (2013). Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian Journal of Experimental Biology*, 51, 187- 200.
- Kılıçkap, S., Erdiş, E. (2013). Düşük frekanslı elektromanyetik alan, cep telefonları, baz istasyonları ve kanser riski. *Cumhuriyet Tıp Dergisi*, 35, 311-317.
- Kumar, S., Nirala, J.P., Behari, J., Paulraj, R. (2014). Effect of electromagnetic irradiation produced by 3G mobile phone on male rat reproductive system in a simulated scenario. *Indian J Exp Biol.*, 52(9), 890-7.
- Lai, H., Singh, N.P. (1997). Melatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, 18(6), 446–454.
- Larjavaara, S., Schüz, J., Swerdlow, A., Feychting M., Johansen, C., Lagorio, S., ... Auvinen, A. (2011). Location of gliomas in relation to mobile telephone use: a case-case and case-specular analysis. *American Journal of Epidemiology*, 174(1), 2-11.
- Liu, K., Li, Y., Zhang, G., Liu, J., Cao, J., Ao, L., Zhang, S. (2014). Association between mobile phone use and semen quality: a systemic review and meta-analysis. *Andrology*, 2, 491–501.
- Melnick, R.L. (2019). Commentary on the utility of the National Toxicology Program study on cell phone radiofrequency radiation data for assessing human health risks despite unfounded criticisms aimed at minimizing the findings of adverse health effects. *Environmental Research*, 168, 1–6.
- Merhi, Z.O. (2012). Challenging cell phone impact on reproduction: A Review. *J Assist Reprod Genet*, 29, 293–297.

- Mialon, H.M., Nesson, E.T. (2020). The Association Between Mobile Phones and The Risk of Brain Cancer Mortality: A 25-year cross-country analysis. *Contemporary Economic Policy*, 38(2), 258–269.
- Moradi, M., Naghdi, N., Hemmati, H., Asadi-Samani, M., Bahmani, M. (2016). Effects of the Effect of Ultra High Frequency Mobile Phone Radiation on Human Health. *Electronic Physician*, 8(5), 2452-2457.
- Narayanan, S.N., Kumar, R.S., Potu, B.K., Nayak, S., Bhat, P.G., Mailankot, M. (2010). Effect of radio-frequency electromagnetic radiations (RF-EMR) on passive avoidance behaviour and hippocampal morphology in Wistar rats. *Upsala Journal of Medical Sciences*, 115, 91-96.
- Nazıroğlu, M., Yüksel, M., Köse, S.A., Özkaya M.O. (2013). Recent Reports of Wi-Fi and Mobile Phone-Induced Radiation on Oxidative Stress and Reproductive Signaling Pathways in Females and Males. *J Membrane Biol*, 246, 869–875.
- Qubty, D., Schreiber, S., Rubovitch, V., Boag, A.G., Pick, C. (2021). No Significant Effects of Cellphone Electromagnetic Radiation on Mice Memory or Anxiety: Some Mixed Effects on Traumatic Brain Injured Mice. *Neurotrauma Reports*, 2(1), 381-390.
- Salford, L. Brun, A., Persson, B. (1997). Brain tumour development in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless cellular communication. *Wireless Networks*, 3, 463-469.
- Schreier, N., Huss, A., Rösli, M. (2006). The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: A cross-sectional representative survey in Switzerland. *Sozial- und Präventivmedizin*, 51, 202-209.
- Shahin, S., Singh, S.P., Chaturvedi, C.M. (2017). Mobile phone (1800 MHz) radiation impairs female reproduction in mice, *Mus musculus*, through stress induced inhibition of ovarian and uterine activity, *Reproductive Toxicology*, 73, 41–60.
- Smith-Roe, S. L., Wyde, M. E., Stout, M. D., Winters, J. W., Hobbs, C. A., Shepard, K. G...Witt, K. L. (2020). Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure. *Environmental and molecular mutagenesis*, 61(2), 276–290.
- Sorgucu, N. (2011). *Elektromanyetik Radyasyonun Yeni Doğan Fare Derisindeki Etkilerinin Comet Assay ile Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Ulusal Tez Merkezi. 288945.
- Şahin, H., Topal, B. (2020). Cep Telefonu Kullanıcılarının GSM Operatörü Tercihine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması: Kütahya İli Örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 1155- 1172.
- Taurisano, M.D., Vorst, A.V. (2000). Experimental thermographic analysis of thermal effects induced on a human head exposed to 900-MHz fields of mobile phones. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 48(11): 2022-2032.
- Takahashi, S, Imai, N, Nabae, K, Wake, K, Kawai, H, Wang, J, Watanabe, S, Kawabe, M, Fujiwara, O, Ogawa, K, Tamano, S., Shirai, T. (2010). Lack of adverse effects of whole-body exposure to mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. *Radiation Research*, 173, 362–372.
- Tamam, C., Evrensel, M., Tamam, Y. (2016). Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri. *Bilimsel Tamamlayıcı Tıp, Regülasyon ve Nöralterapi Dergisi*, 10(3), 19-25.
- Türkkan, A., Pala, K., Kartal, Z., Cerezci, O. (2012). *Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri*. F. Özsan Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti.

- Uzun, A.S. (2016). Günlük Hayatta Maruz Kalınan Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarının ğrencilerin Yaşam Kalitesi zerindeki Olumsuz Etkileri ve Korunma nerileri. *Kesit Akademi Dergisi*, 2(4), 322-335.
- Yahyazadeh, A., Deniz, .G., Kaplan, A.A., Altun, G., Yurt, K.K., Advis, D. (2018). The genomic effects of cell phone exposure on the reproductive system. *Environmental Research*, 167, 684–693.
- Yan, J.G., Agresti, M., Bruce, T., Yan, Y.H., Granlund, A., Matloub, H.S. (2007). Effects of cellular phone emissions on sperm motility in rats. *Fertility and sterility*, 88(4), 957–964.
- Yener, S., Andiç, F. (2017). Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü içerisindeki enerji iletim hatlarının elektromanyetik alan etkileri açısından incelenmesi. *SA Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(4), 681-690.
- Yu, G., Bai, Z., Song, C., Cheng, Q., Wang, G., Tang, Z., Yang, S. (2021). Current progress on the effect of mobile phone radiation on sperm quality: An updated systematic review and meta-analysis of human and animal studies. *Environmental Pollution*, 282, 1-12.
- Yüksel, M., Nazıroğlu, M., zkaya, M.O. (2016). Long-term exposure to electromagnetic radiation from mobile phones and Wi-Fi devices decreases plasma prolactin, progesterone, and estrogen levels but increases uterine oxidative stress in pregnant rats and their offspring. *Endocrine*, 52, 352–362.
- Zalata, A., El-Samanoudy, A.Z., Shaalan, D., El-Baiomy, Y., Mostafa, T. (2015). In vitro effect of cell phone radiation on motility, DNA fragmentation and clusterin gene expression in human sperm. *International Journal of Fertility & Sterility*, 9(1),129–136.