

## REVIEW ARTICLE / DERLEME

### Elektromanyetik Alan Oluşturan Cihazlar Sanıldığı Kadar Masum Mu?

#### Are The Devices That Creates Electromagnetic Area As Innocent As We Thought?

Miyase ERDOĞAN<sup>1</sup>, Elvan ŞAHİN<sup>1</sup>, Seher DİNÇEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı Sakarya

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı, Sakarya

Corresponding Author: Miyase ERDOĞAN

Sakarya Üniversitesi, Tıp Fakültesi Dekanlık Binası, Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı, Korucuk Kampüs  
54290 Adapazarı/SAKARYA

Tel: +905535751185

Email: miyasee@sakarya.edu.tr

#### ORCID

Miyase ERDOĞAN <https://orcid.org/0000-0002-3864-6830>

Elvan ŞAHİN <https://orcid.org/0000-0001-8585-9903>

Seher DİNÇEL <https://orcid.org/0000-0001-8799-5204>

Geliş Tarihi / Received: 21.03.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 26.03.2019

**ÖZET:** Günlük hayatta sıkça kullanılan cep telefonu, bilgisayar, tablet, televizyon, mikrodalga fırın, saç kurutma makinesi gibi elektrikli ve kablosuz birçok cihaz elektromanyetik alan (EMA) oluşturmaktadır. Bu nedenle insanlar intrauterin dönemden başlayarak, küçük çocukluk çağından itibaren giderek artan miktarda EMA'ya maruz kalmaktadır. Teknolojinin insan hayatına sağladığı kolaylıklar elbette göz ardı edilemez. Ancak EMA'nın vücuttaki organ sistemlerini olumsuz etkileyerek lösemi, infertilite, kardiyovasküler ve nöroendokrin hastalıklar gibi birçok rahatsızlıkla ilişkili olabileceğini bildiren çeşitli bilimsel araştırmalar mevcuttur. Yapılan çalışmalarda EMA'nın oksidatif stresi ve DNA hasarını tetikleyerek hücresel yapı ve fonksiyonlarda bozulmaya yol açtığı gösterilmiştir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Kuruluşu (The International Agency for Research on Cancer, IARC) düşük doz EMA'yı insanlar için olası kanserojen olarak

tanımlamaktadır. Bu çalışmada, EMA maruziyeti konusunda toplum bilincine katkı sağlamak ve bilim insanlarında yeni araştırma fikirleri uyandırmak amacıyla EMA'nın tanımı ve sınıflandırması, olası biyolojik etkileri ve hücresel etki mekanizmaları literatür bilgisi ışığında araştırılarak derlendi

**Anahtar kelimeler:** DNA hasarı, Elektromanyetik alan, Hücre ölümü, İnfertilite, Kanser, Oksidatif stres

**ABSTRACT:** Many electrical and wireless devices such as mobile phones, computers, tablets, televisions, microwaves, hair dryers are used in daily life. These tools emit electric magnetic field. Therefore, people are exposed to an increasing amount of EMA from intrauterine period and small childhood. The benefits of technology to human life cannot be ignored. However, there are a number of scientific studies reporting that EMA may be associated with many disorders such as leukemia, infertility, cardiovascular and neuroendocrine diseases by adversely affecting the organ systems in the body. Studies have shown that EMA triggers oxidative stress and DNA damage, leading to disruption of cellular structure and function. The International Agency for Research on Cancer (IARC) defines low-dose EMA as a possible carcinogen for humans. In this study, the definition and classification of EMA, possible biological effects and mechanisms of cellular action were investigated in the light of the literature.

**Key words:** DNA damage, Electromagnetic field, Cell death, Infertility, Cancer, Oxidative stress

## **GİRİŞ**

Elektromanyetik alan (EMA) veya diğer bir deyişle elektromanyetik radyasyon, elektrik yüklü partiküllerin titreşimi ile üretilen fiziksel bir alandır. Elektrik ve manyetik alanların birleşiminde meydana gelir. Partiküllerin elektrik yükleri yer değiştirdiğinde elektromanyetik dalgalar ortaya çıkar. Gözle görülmeyen bu dalgalar uzay boşluğunda süresiz olarak uzanır. Örneğin; bir elektrik lambası yandığında, elektrik alanın var olması yanında, akımın besleme kablosundan lambaya geçmesinden kaynaklanan manyetik bir alan da söz konusu olur. Bu alan yakınındaki yüklü nesnelerin davranışını etkiler. Akım lambaya geçmediğinde bile elektrik alan mevcuttur<sup>1</sup>.

İnsanların günlük yaşamda karşılaştıkları EMA, çok düşük frekanslardan (0-50 Hz) yüksek frekanslara [5 GHz-wireless LAN (Local Area Network)] kadar çeşitli frekans aralıklarını kapsar. Gezegenin doğal EMA'sına ek olarak, son derece düşük frekanslı EMA kaynağı olarak kabul edilen elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinin kurulmasının bir sonucu olarak 20. yüzyılda doğal olmayan EMA kaynakları ortaya çıkmıştır<sup>2</sup>.

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte cep telefonları, baz istasyonları, wi-fi ve bluetooth gibi kablosuz haberleşme araçları ve çeşitli elektronik cihazlar etrafa daha fazla elektromanyetik radyasyon yaymaktadır. Maalesef bu araçların sadece ihtiyaçtan dolayı değil, tamamen bilinçsiz kullanımı nedeniyle insanlar bebeklik döneminden itibaren daha fazla EMA'ya maruz kalmaya başlamıştır. Dünyadaki birçok ülkede nüfusun yarısından çoğu cep telefonu kullanmakta olup, kullanım yaşı ilkökul çağına kadar inmiştir<sup>3</sup>. GSM cep telefonları (Global System for Mobile Communications) genellikle 900/1800 MHz frekans bandını kullanmaktadır<sup>4</sup>. Düşük frekanslı EMA, elektrik yüklü partikülleri etkilediği gibi, insan vücudunda da sindirimden beyin aktivitelerine kadar birçok biyokimyasal olayı etkilemektedir. Bundan dolayı EMA'nın insan sağlığı üzerindeki etkisi toplumda endişe ve spekülasyonlara neden olmaktadır<sup>5</sup>. EMA insan ve hayvan sağlığını olumsuz etkileyen görünmez çevresel kirlenici faktörlerden biri haline gelmiştir<sup>6</sup>.

Hayvanlar üzerinde yapılan çeşitli deneysel çalışmalarda EMA maruziyetinin bazı hücrel fonksiyonları bozduğu<sup>7</sup>, sitotoksisteye, genotoksisteye ve hipersensitiviteye yol açtığı<sup>8</sup>, ayrıca sinir sistemi, sindirim sistemi, endokrin sistem, kardiyovasküler sistem ve üreme fonksiyonları ile ilgili sistemler üzerine olumsuz etkiler yaptığı rapor edilmiştir<sup>8,9</sup>.

## **EMA'NIN SINIFLANDIRILMASI**

EMA, frekans ve alan türüne göre sınıflandırılır<sup>10</sup>. Etkisine göre ise iyonize ve non-iyonize elektromanyetik (EM) ışınımın şeklinde iki ana başlık altında incelenir<sup>11</sup>.

**İyonize EM ışınımınlar**, hücrelerdeki molekülleri bir arada tutan atomik bağlarda iyonlaştırma [atomlardaki pozitif (proton) ve negatif (elektron) yükleri bir arada tutan yüksüz nötrona etki ile atomun yapısını bozma] meydana getirmeye yetecek foton enerjisine sahip yüksek frekans bölgesinde olup, minimum 12 eV (elektron volt)'tan başlayan enerji değerlerine sahiptir. Örnek olarak, röntgen (X ışını), gama ve kozmik ışınlar verilebilir. Bu ışınlarla fazla maruz kalmak, hücre organellerinin hasara uğramasına ve DNA zincirinin bozulmasına yol açabileceğinden dolayı tehlikelidir<sup>11</sup>.

**Non-iyonize (İyonlaştırıcı Olmayan) EM ışınlımlar** ise molekülleri bir arada tutan atomik bağları kırmak için gerekli enerjiye sahip olmayan fotonların oluşturduğu elektromanyetik dalgalardır. Bunlar; görünür ışık, kızılötesi, mor ötesi, radyo frekans (RF) dalgaları, mikrodalga, statik ve manyetik alanlardır. Bu alanlar mesafe, güç ve maruz kalma süresi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak vücutta ısıl etki (ısı artışı) oluştururlar; hatta bazı uzmanlarca biyolojik etkilere de sebep olabileceği öne sürülmektedir. Kanseri ile ilişkisi konusunda ise birbiriyle çelişen yayınlar bulunmaktadır<sup>11,12</sup>.

İyonlaştırıcı olmayan EM dalgaların etkisinde kalan canlılarda ısıl olan ve ısıl olmayan iki tür etki oluşabilmektedir. Isıl etkiler, vücut tarafından emilen EM enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak tanımlanmaktadır<sup>5</sup>. Bu sıcaklık artışı, ısının kan dolaşımı, terleme, vb. yoldan atılarak dengelenmesine kadar sürmektedir. EMA maruziyeti ile ortaya çıkan doku ısınmasına yanıt olarak gelişen fizyolojik olaylar sonucunda organlarda dejeneratif değişiklikler meydana gelebilir<sup>12,13</sup>. Isıl olmayan etkiler ile ilgili çalışmalar halen devam etmektedir<sup>11</sup>.

EM radyasyona belirgin özellik kazandıran farklı dalga boyları ve frekanslarıdır. Dalganın bir saniyedeki titreşim sayısına frekans denir ve hertz (Hz) ile ölçülür. Titreşim sırasında dalganın kat ettiği mesafe ise dalga boyu (uzunluğu) olarak bilinir. İkisi arasında ters orantı bulunur. Frekans yükseldikçe dalga boyu kısalır ve enerji yükselir. Farklı frekanslardaki EMA'lar vücutla farklı şekillerde etkileşime girer<sup>14</sup>.

Frekansa göre sınıflandırmada ise elektromanyetik spektrum 2 ana gruba ayrılır: Radyo spektrum ve optik spektrum. Very Low Frequency (VLF) (3 kHz-30 kHz), Low Frequency (LF) (30 kHz-300 kHz), Medium Frequency (MF) (300 kHz-3000k Hz), High Frequency (HF) (3 MHz-30 MHz), Very High Frequency (VHF) (30 MHz-300 MHz), Ultra High Frequency (UHF) (300 MHz-3000 MHz), Super High Frequency (SHF) (3 GHz-30 GHz), Extremely High Frequency (EHF) (30 GHz-300 GHz) radyo spektrumunu oluştururken; infrared (IR), görünür (visible), ultraviyole (UV), X-ışını, Gamma ışını (Cosmic Ray) ise optik spektrumunu oluşturur<sup>10</sup>.

## **EMA'NIN KAYNAKLARI VE KULLANIM ALANLARI**

EMA doğal kaynaklardan ve insan yapımı kaynaklardan meydana gelir, çevremizdeki her yerde bulunur, ancak duyu organları ile algılanamaz. Elektrik alanları, fırtınalarla bağlantılı

atmosferde yerel elektrik yüklerinin artmasıyla üretilir. Dünyanın manyetik alanı bir pusula iğnesinin Kuzey-Güney yönünde yönelmesine neden olur ve bu durum doğal kaynaklara örnek verilebilir. Doğal kaynakların yanı sıra, elektromanyetik spektrum ayrıca insan yapımı kaynaklar tarafından üretilen alanları da içerir. Örneğin; her prizden çıkan elektrik, düşük frekanslı EMA ile ilişkilendirilmiştir. TV antenleri, radyo istasyonları, cep telefonları, baz istasyonları bilgi iletmek için çeşitli yüksek frekanslı radyo dalgalarını kullanırlar<sup>14</sup>.

Elektromanyetik spektrumda 10 kHz ile 300 GHz frekans aralığında çalışan sistemlere; televizyon, radyo-telsiz sistemleri, uydu haberleşme sistemleri, mikrodalga fırınlar, GSM haberleşme sistemleri, tıpta kullanılan RF frekansında çalışan sistemler gibi örnekler verilebilir. Bu sistemlerin oluşturduğu EMA'nın, canlı doku ile etkileşiminin ölçütü olarak özgül soğurma hızı (SAR) tanımlanmaktadır. SAR değeri dokularda soğurulan ve ısıya dönüşebilen güç ile ilgilidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) cep telefonları için SAR değerini en fazla 0,1 W/kg olarak önermektedir. Fakat ülkemizde satışa sunulan cep telefonlarının SAR değerleri 0,1 ile 1,11 W/kg arasında değişmektedir<sup>15</sup>.

EMA'nın başka bir kullanım alanı tıp bilimidir. Düşük frekanslardaki (200 MHz'e kadar) EMA'lar, tanı ve tedavi için tıpta yaygın olarak kullanılır. Kemik kırıklarının tıbbi tanısında kullanılan X ışınları (röntgen), Manyetik Rezonans görüntüleme (MRG), kardiyoloji alanında ve tümör tedavisinde kullanılan radyo-frekans ablasyonu (RFA) ve fizyoterapide kullanılan lokalize dielektrik ısıtma, tıptaki EMA uygulamalarındandır<sup>16</sup>.

## **EMA'NIN BİYOLOJİK ETKİLERİ VE ETKİ MEKANİZMASI**

EMA'ya maruz kalmanın, vücudun çeşitli dokularında oksidatif strese neden olduğu bilimsel çalışmalarda bildirilmektedir. Yaşam için gerekli olmasına rağmen, oksijen molekülleri biyolojik reaksiyonlar sırasında reaktif oksijen türleri (ROS) olarak bilinen tehlikeli yan ürünlerin oluşumuna yol açabilir. ROS'lar, hücrenin yapıtaşları olan proteinlere, lipitlere ve DNA'ya zarar verebilir. Vücutta serbest radikal oluşumunu kontrol altında tutmak ve biyolojik sistem üzerinde zararlı etkilerini önlemek için antioksidan savunma sistemleri mevcuttur. Oksidatif stres, antioksidan savunma sisteminin serbest radikallerin zararlı etkilerini önleyememesi durumunda oluşur. EMA maruziyetinin serbest radikal konsantrasyonlarını arttırdığı rapor edilmiştir<sup>17</sup>. Oksidatif stres, hücre membranlarında lipid peroksidasyonuna neden olarak hücre fonksiyonlarında bozulmaya ve ilerleyici hücre ölümüne yol açar<sup>18</sup>. Oksidatif stresle birlikte artan ROS seviyeleri doğrudan DNA hasarına

sebepler olur<sup>19</sup>. Deneysel olarak düşük doz EMA'ya maruz bırakılan sıçanların spermatogenik hücrelerinde ve hepatositlerinde apoptotik hücre ölümleri saptanmıştır<sup>9,13</sup>.

Çoğu durumda manyetik alanlar birçok insan, fare ve sıçan hücre türünde ROS seviyelerini artırır. Bununla birlikte bazı çalışmalar, manyetik alanların ROS seviyelerini azalttığını veya değiştirmedeğini göstermiştir. Bu farklılık hücre tiplerinden, EMA yoğunluğundan, EMA'ya maruz kalma süresinden ve sıklığından, hayvan modellerinin spesifik dokularından, testlerin yapıldığı zaman dilimlerinin farklılığından kaynaklanabilmektedir<sup>20</sup>. Örneğin, bir çalışmada düşük yoğunluklu EMA'nın insan keratinositlerinde, dermal fibroblastlarda ROS seviyelerini azaltabildiği gösterilmişken<sup>21</sup>, başka bir çalışmada cep telefonu radyasyonuna maruz bırakılan gönüllülerde kanda ve solunumla dışarıya verdikleri havada bakılan oksidatif stres dengesinin 30. dakikadan sonra belirgin şekilde bozulduğu bulunmuştur<sup>22</sup>.

Yapılan birçok deneysel çalışmada, EMA'ya maruz kalmanın sperm kalite ve sayısında azalmaya neden olarak erkek üreme sağlığını olumsuz etkilediği ve infertilite nedeni olabileceği ileri sürülmektedir<sup>9,23-25</sup>. Bu çalışmalardan birinde, normoazospermik donör sperm örnekleri, frekansı 2,4 GHz olan Wi-Fi bağlantılı bir dizüstü bilgisayara 4 saat boyunca *ex vivo* olarak maruz bırakılmış ve bunun sonucunda progressif sperm motilitesinde (ileri doğru harekette) önemli bir azalma ve sperm DNA fragmentasyonunda artış bulunmuştur. Bu çalışma neticesinde, internete kablosuz olarak bağlı olan bir dizüstü bilgisayarın testislerin yakınında tutulmasının erkek fertilitesinde azalmaya neden olabileceği düşünülmüştür<sup>24</sup>. Cep telefonundan yayılan radyo frekanslı EMA'ya maruz bırakılan spermiler ile maruz bırakılmayan spermiler karşılaştırıldığında, maruz kalan örneklerdeki sperm canlılığının maruz kalmayan örneklerle göre anlamlı derecede daha düşük olduğu görülmüştür. ROS seviyesi ise EMA'ya maruz kalan örneklerde daha yüksek bulunmuştur<sup>20</sup>. Cep telefonu kaynaklı EM dalgaların, insan sperminde oksidatif strese yol açtığı bildirilmektedir<sup>25</sup>.

Yapılan bir başka deneysel çalışmada ise, 1 ay boyunca günde 1 saat 900 mHz (cep telefonu düzeyi) EMA'ya maruz bırakılan sıçanların semen incelemesinde, sperm konsantrasyonunda ve ileri hareketli sperm sayısında azalma, sperm morfolojisinde bozulma ve sperm baş anomalileri saptanmıştır. Yine bu çalışmada, EMA uygulanan sıçanların spermilerinde akım sitometri (flow cytometer) analizi ile hesaplanan DNA hasar yüzdesinin diğer gruplara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. EMA uygulanan sıçanların testislerinde ışık mikroskopik düzeyde histopatolojik dejenerasyonlar, nekrotik ve apoptotik hücre ölümleri ve ayrıca, bu sıçanların kan ve semen örneklerinde oksidatif marker düzeylerinde değişiklikler

görülmüştür<sup>9</sup>. Bunların yanı sıra, bir antioksidan olan kafeik asit fenetil ester (CAPE) uygulandığında ise testiste, semende ve kanda EMA'nın yarattığı oksidatif strese kaynaklandığı düşünülen değişimlerin düzeldiği bildirilmiştir<sup>9</sup>.

EMA'nın biyolojik etki mekanizmaları olarak; polarizasyon kuvvetleri, kolombik etkiler, siklotron rezonans ve iyon parametrik rezonans, biyolojik elektron transferi, serbest radikal oluşumu kabul edilmektedir. Bu biyolojik etki mekanizmalarına göre belirli düzeydeki EMA'lar kardiyak dokuda iyon hareketlerini etkileyerek, kardiyak kasılma ve ritim bozukluklarına neden olabilmektedir. Kalbin uyarılmasında ve kasılmasında  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $K^+$  ve  $Cl^-$  iyonları işlev görmektedir. İyon giriş çıkışları kendine özgü kanallar aracılığı ile olmaktadır ve bu kanallar EMA'dan etkilenmektedir<sup>26</sup>. EMA'nın intrasellüler  $Ca^{++}$  miktarını değiştirdiği<sup>27</sup>, insan vücuduna nüfuz ederek tüm organlarda iyonları etkilediği, hücre membran potansiyelini ve iyon-dipol dağılımını değiştirdiği bildirilmektedir<sup>28</sup>.

Kardiyak dokuda, kalp ritmi (HR) ve kalp ritim değişkenliği (HRV) önemli unsurlardır. Azalmış HRV manyetik alanın olumsuz etkisini gösterir ve miyokardiyal infarkt insidansının temelini oluşturan mekanizma olarak kabul edilmektedir. Yapılan bir araştırmada, EMA'ya maruz kalınması ile kalp ritminin yavaşladığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmalarda manyetik alanın HR ve HRV parametrelerini etkilediği ve alan büyüdükçe etkinin arttığı saptanmıştır<sup>29</sup>. Eğer hastalarda kalp pili veya stent varsa, hastaların aritmisi mevcutsa manyetik rezonans görüntülemeye kontrol altında alınmalıdır<sup>26</sup>.

Başka bir makalede ise mikrogravite ve kozmik radyasyonun hamilelikte dengeyi prooksidatif duruma kaydırarak düşük, erken membran rüptürü, preterm doğum, intrauterin gelişme geriliği, preeklampsi ve gestasyonel diyabet riskini arttırdığından söz edilmiştir<sup>30</sup>.

Cep telefonu kaynaklı EMA'ya maruz kalmanın, tükürükte ROS'u arttığı gösterilmiştir. EMA, insan salyasında süper oksit dismutaz (SOD) aktivitesinde önemli bir artışa neden olmuştur. Tükürükteki antioksidan biyo-belirteçlerindeki artma ile uzun ve aşırı cep telefonu kullanımı arasında korelasyon bulunmuştur. Bu oksidatif değişiklikler, canlı hücrelerde metabolik değişikliklerden onkojenik transformasyona kadar uzanan değişimlere neden olabilir. Bu bulgulara dayanarak uzun süreli ve aşırı cep telefonu kullanımından kaçınılması önerilmiştir<sup>31</sup>.

Cep telefonu ile yirmi dakikadan az bir süre konuşmakla karşılaştırıldığında, bir saat boyunca konuşmak tükürüğün toplam antioksidan kapasitesini azaltır. Konuşma süresi uzadıkça tükürükteki IgA seviyesi de o kadar düşer. IgA'nın düşmesi ise tükürüğün bağışıklık

kapasitesinin azaldığını gösterir. Bu durum insanlarda iltihaplı hastalıklar veya ağız kanseri riskini artırabilir<sup>32</sup>.

Cep telefonlarının yaydığı EMA, yakınındaki dokuların sıcaklığını artırır ve yüzdeki sinirlerin disfonksiyonuna neden olur<sup>33</sup>. Dokudaki normal ısı değerinin 1°C üzerine çıkılması durumunda advers biyolojik değişikliklerin olduğu laboratuvar çalışmalarıyla kanıtlanmıştır<sup>12</sup>. EMA'nın sebep olduğu ısıl etki ya da termal hasar bakımından merkezi sinir sistemi, göz lensi ve testisler en hassas organlardır<sup>12</sup>. Akut ve kronik EMA uygulamasına maruz bırakılan sıçanların karaciğerlerinde ışık mikroskopik düzeyde vazodilatasyon ve hemoraji gösterilmiş olup, bunun ısıl etkiden kaynaklanmış olabileceği bildirilmiştir<sup>13</sup>.

3 MHz 30 MHz frekanslı EMA'daki metalik nesnelere insanların teması sonucunda şoklar ve ciltte yanıklar gibi olumsuz dolaylı etkilerin ortaya çıkabileceğini bildiren yayınlar bulunmaktadır<sup>34</sup>. Cep telefonundan yayılan radyasyon, ağızdaki mukozal hücrelerde çekirdek anomalilerine neden olur<sup>35</sup>. Parotis bezlerinin cep telefonlarına maruz kalması, ısı üretimi ile ilişkili olarak tükürük IL-10 ve IL-1 $\beta$  seviyelerini değiştirebilir<sup>33</sup>.

Cep telefonu radyasyonuna maruz kalmanın neden olduğu sitogenetik anormalliklerin etkilerini araştırmak için haftada 60 dakikadan daha kısa ve haftada 60 dakikadan daha fazla cep telefonu kullanan iki grup karşılaştırıldığında; haftada 60 dakikadan daha fazla konuşan kişilerin alt dudagındaki hücrelerin mikroskopik incelenmesinde anlamlı derecede daha fazla sayıda mikronükleus bulunmuştur. Ayrıca, bu bireylerin ağız tabanlarında hücre sayısında da ileri derecede artış gözlenmiştir<sup>36</sup>.

Bekleme modunda tutulan geleneksel bir cep telefonu tarafından yayılan düşük yoğunluktaki radyofrekansa maruz bırakılan insan lenfosit kültürlerinde ise DNA hasarı ve kromozom aberasyonları tespit edilmiştir. Bu etki, artmış serbest radikal aktivitesine bağlanmıştır<sup>37</sup>.

Başka bir çalışmada cep telefonu radyasyonunun beyin glukoz metabolizması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda 33 dakika boyunca, 902,4 MHz GSM radyasyonuna maruz kalan grupta bu radyasyonun beyin glikoz tüketimi üzerine lokal baskılayıcı etkisi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda başın maruz kalan tarafında sıcaklık artışı da gözlenmiştir<sup>38</sup>. Yine bir başka araştırmada, 6 dakika boyunca sıçan beyin korteksinin lokal olarak 1,5 GHz, 6 GHz, 10 GHz şeklinde 3 farklı frekansa karşılık gelen mikrodalga radyasyonuna maruz kalması, sıcaklık ile birlikte lokal serebral kan akışını arttırdığı

bulunmuştur<sup>39</sup>. RF-EMA'ların insan istirahat EEG'si alfa bandı üzerindeki etkilerini araştırmak için yapılan bir çalışmada ise, 26 dakika boyunca 900 MHz GSM-EMA'sına maruz bırakıldığında, istirahat eden insan EEG'sinin spektral gücü içindeki alfa bandını (8-12 Hz) etkilediği gösterilmiştir<sup>40</sup>.

Cep telefonlarının yaydığı EMA ile lösemi ve beyin tümörü oluşumu arasında büyük olasılıkla bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur<sup>28,41,42</sup>. EMA'nın bazı kronik hastalıklarla da ilişkisinin olabileceği düşünülmektedir, ancak henüz kanıtlanmış bir kronik hastalık bağlantısına rastlanılamamıştır<sup>41,42</sup>. Bazı çalışmalarda özellikle östrojen pozitif meme tümörlerinde EMA'ya kronik maruziyetin genel etkisine dikkat çekilmekle birlikte, meme kanserinde EMA'yı suçlamak için yeterli kanıt bulunamamıştır<sup>43</sup>. Bazı yayınlarda cep telefonu kullanımının intrakranial tümörler için risk faktörlerini artırdığı belirtilmektedir. Bir çalışmada, cep telefonu kullanımı ile intrakranial tümör riski arasındaki ilişki incelenmiştir. Gliyomlar için, mobil telefon kullanımı ile beyin tümörü oluşumu riskinin artması arasında bir bağlantı olduğunu gösteren kanıtlar bulunmuştur. Menenjiyomlar, akustik nöromlar ve hipofiz tümörleri için ise bir kanıt bulunamamıştır<sup>44</sup>.

## **KAYNAKLAR**

1. Electromagnetic field [Internet]. Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_field](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_field)
2. Reflex, A project funded by the European Union. Project: Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Energy Electromagnetic Fields (Emf) Exposure Using Sensitive in Vitro Methods. 2004. <http://www.iaff.org/hs/pdf/reflex%20final%20report.pdf>
3. Swerdlow AJ, et al. Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: where are we now? Environ Health Perspect 2011; 119: 1534-1538.
4. Pourslis AF. Reproductive and developmental effects of EMF in vertebrate animal models. Pathophysiology 2009; 16: 179-189.
5. World Health Organization (WHO). Electromagnetic field [Internet]. 2002 [cited 2002 July 3]. Available from: <https://www.who.int/peh-emf/en>
6. Zaghoul MS. Histological study on the effects of electromagnetic field on the liver of albino rats. Egyptian Journal of Histology. 2009;32(1):165-172.

7. Lagroye I, Poncy JL. Influence of 50-Hz magnetic fields and ionizing radiation on c-jun and c-fos oncoproteins. *Bioelectromagnetics*. 1998;19:112–116.
8. Sarika S, Kapoor N. Health implications of electromagnetic fields, mechanisms of action, and research needs. *Advances in Biology*. 2014;2014:1-24.
9. Açıkgöz Ş. Deneysel Düşük Doz Elektromanyetik Alanın Sıçan Testis ve Semen Dokularına Etkileri ve Kafeik Asit Fenetil Esterin Antioksidan Rolünün Araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Uzmanlık Tezi. Mart 2019.
10. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Elektromagnetic spectrum [internet]. Available from: [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt\\_electromagnetic\\_spectrum.htm](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_electromagnetic_spectrum.htm)
11. Bilgi Teknolojileri ve Haberleşme Kurumu. Elektromanyetik dalgalar ve sağlık [internet] 2019. <http://www.bthk.org.tr/tuketici/elektromanyetik-dalgalar-ve-saglik>
12. Ahlbom A, Gren A, Kheifets L, Savitz D, Swerdlow A. Epidemiology of health effects of radio-frequency exposure. *Environmental Health Perspectives*. 2004;112:1741-1754.
13. Şahin E, Güzel D, Açıkgöz Ş, Tufan N. Effects of Acute and Chronic Exposure to 900 MHz Electromagnetic Field on the Rat Liver Microarchitecture. *Proceedings*. 2018;2(25):1585. <https://www.mdpi.com/2504-3900/2/25/1585>
14. World Health Organization (WHO). Electromagnetic field [Internet]. 2002 [cited 2002 July 3]. Available from: <https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/>
15. Sevgi L. Teknoloji, Toplum ve Sağlık: Cep Telefonları ve Elektromanyetik Kirlilik Tartışmaları. [Internet] [http://www.emo.org.tr/ekler/e73a9a0d37efb96\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/e73a9a0d37efb96_ek.pdf)
16. The British Columbia Centre for Disease Control (BCCDC). EMA usage areas [Internet]. Available from: <http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Guidelines%20and%20Forms/Guidelines%20and%20Manuals/EH/EH/Section7Final06062013.pdf>
17. Kırarak EG, Yurt KK, Kaplan AA, Alkan I, Altun G. Effects of electromagnetic fields exposure on the antioxidant defense system. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*. 2017; 5(4): 167–176.
18. LeDoux SP, Druzhyna NM, Hollensworth SB, Harrison JF, and Wilson GL. Mitochondrial DNA Repair: A Critical Player in the Response of Cells of the CNS to Genotoxic Insults. *Neuroscience*. 2007 Apr 14; 145(4): 1249–1259.
19. Kaufman E, Lamster IB. The Diagnostik Applications of Saliva— A Review. *Sage Journals*. 2002; 13(2): 197-212.

20. Wang H, Zhang X. Magnetic Fields and Reactive Oxygen Species. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017; 18(10): 2175.
21. Ferroni L, Bellin G, Emer V, Rizzuto R, Isola M, Gardin C, et al. Treatment by Therapeutic Magnetic Resonance (TMR) increases fibroblastic activity and keratinocyte differentiation in an InVitro model of 3D artificial skin. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*. 2017 May; 11(5): 1332–1342.
22. Anthony M, Tasteyre A, Dé Séze R, Fogel P, Simoneau G, Conti M, et al. Multivariate Entropy Analysis of Oxidative Stress Biomarkers Following Mobile Phone Exposure of Human Volunteers: A Pilot Study. *Journal of Scientific Exploration*. 2015;29: 449-465.
23. Vignera SL, Condorelli RA, Vicari E, D'agata R, Calogher AE. Effects of the Exposure to Mobile Phones on Male Reproduction: A Review of the Literature. *Journal of Andrology*. 2012 May-Jun;33(3):350-356.
24. Avendaño C., Mata A, Sarmiento CAS, Doncel GF. Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. *Fertility and Sterility*. 2012;97(1):39-45.
25. Agarwal A, Desai NR, Makker K, Varghese A, Mouradi R, Sabanegh E, Sharma R. Effects of radio frequency electro magnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study. *Fertility and Sterility*. 2009 Oct;92(4):1318-1325.
26. Havas M. Biological effects of low frequency electromagnetic fields. *Electromagnetic Environments and Health in Buildings*. 2000;8:173-253.
27. Lyle DB, Fuchs TA, Casamento JP, Davis CC, Swicor ML. Intracellular Calcium Signaling by Jurkat T-Lymphocytes Exposed to a 60 Hz Magnetic Field. *Bioelectromagnetics*. 1997;18(6):439-445.
28. Sallam SM, Awad AM. Effect of Static Magnetic Field on The Electrical Properties and Enzymes Function of Rat Liver. *Romanian Journal of Biophysics*. 2008;18(4):337-347.
29. Tsuji H, Larson MG, Venditti Jr FJ. Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. *The Framingham Heart Study Circulation*. 1996;94(11):2850-2855.
30. Steller JG, Alberts JR, Ronca AE. Oxidative Stress as Cause, Consequence or Biomarker of Altered Female Reproduction and Development in the Space Environment. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018;19(12):3729.

31. Abu Khadra KM, Khalil AM, Abu Samak M, Aljaber A. Evaluation of selected biochemical parameters in the saliva of young males using mobile phones. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2015;34(1):72-76.
32. Arbabi-Kalati F, Salimi S, Vaziry-Rabiee A, Noraei M. Effect of mobile phone usage time on total antioxidant capacity of saliva and salivary immunoglobulin. *Iranian Journal of Public Health*. 2014;43(4):480-484.
33. Siqueira EC, de Souza FT, Ferreira E, Souza RP, Macedo SC, Friedman E, et al. Cell phone use is associated with an inflammatory cytokine profile of parotid gland saliva. *Journal of Oral Pathology and Medicine*. 2016;45(9):682–686.
34. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guideline for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz). Published in: *Health Physics*. 1998;74(4):494-522.
35. Mishra SK, Chowdhary R, Kumari S, Rao SB. Effect of Cell Phone Radiations on Orofacial Structures: A Systematic Review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2017 May;11(5):ZE01-ZE05
36. Daroit NB, Visioli F, Magnusson AS, Vieira GR, Rados PV. Cell phone radiation effects on cytogenetic abnormalities of oral mucosal cells. *Brazilian Oral Research*. 2015;29:1–8.
37. El-Abd SF, Eltoweissy M. Cytogenetic alterations in human lymphocyte culture following exposure to radiofrequency field of mobile phone. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2012;02(02):16-20.
38. Kwon MS, Vorobyev V, Kännälä S, Laine M, O Rinne J, Toivonen T, et al. GSM Mobile Phone Radiation Suppresses Brain Glucose Metabolism. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*. 2011 Dec;31(12):2293-2301.
39. Masuda H, Hirata A, Kawai H, Wake K, Watanabe S, Arima T, et al. Local exposure of the rat cortex to radiofrequency electromagnetic fields increases local cerebral blood flow along with temperature. *Journal of Applied Physiology*. 2011;110(1):142-148.
40. Ghosn R, Yahia-Cherif L, Hugueville L, Ducorps A, Lemaréchal JD, Thuróczy G, et al. Radiofrequency signal affects alpha band in resting electroencephalogram. *Journal of Neurophysiology*. 2015 Apr 1;113(7):2753-2759.
41. Ahlbom A, Green A, Kheifets L, Savitz D, Swerdlow A. ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology. Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. *Environmental Health Perspectives*. 2004; 112(17): 1741-1754.

42. Ahlbom A, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D, Swerdlow A, ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology. Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. *Environmental Health Perspectives*. 2001;109(6): 911-933.
43. Nazıroğlu M, Tokat S, Demirci S. Role of melatonin on electromagnetic radiation-induced oxidative stress and Ca<sup>2+</sup> signaling molecular pathways in breast cancer. *Journal of Receptor and Signal Transduction Research*. 2012 Dec;32(6):290-297.
44. Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, et al. Does Short-Term Exposure to Mobile Phone Base Station Signals Increase Symptoms in Individuals Who Report Sensitivity to Electromagnetic Fields? A Double-Blind Randomized Provocation Study. *Environmental Health Perspectives*. 2007 Nov;115(11):1603-1608.