

Elektromanyetik Kirliliğin Sağlığa Etkileri Effects of Electromagnetic Pollution on Health

¹Dursun Alper YILMAZ, ²İbrahim Hakkı ÇAĞIRAN, ³Gökhan DEGE, ⁴Mehmet Salih YILDIRIM

Özet: Teknoloji insan sağlığını birçok boyuttan etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Radyo frekans dalgaları yayan radyo-televizyon verici ve alıcıları, baz istasyonları, yüksek gerilim hatları, trafolar başta olmak üzere elektrikle çalışan tüm cihazların bir elektromanyetik alan oluşturduğu ve biyolojik açıdan risk faktörü oluşturarak geniş boyutta bir kirlilik yarattığı bilinmektedir. Elektromanyetik alan kaynakları; telekomünikasyon alanında doğrudan radyo frekans sinyalleri üzerinden haberleşmede kullanılan cihazlardan yayılan dalgalar ile amacı, ortama herhangi bir elektromanyetik dalga yaymak olmayan ancak işleyişi için gerekli enerjinin kullanımı sebebiyle cihaz dışına yayılması önlenemeyen dalgalar yayan tüm cihazları ifade eder. Elektromanyetik kirlilik, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip elektrik ve manyetik alan bileşen dalgalarının oluşturduğu alanın limit değerlerinin üzerinde olmasıdır. Elektromanyetik kirliliği oluşturan temel faktör, elektromanyetik alanlardır. Elektromanyetik alanların, hücre zarındaki reseptörlerin duyarlılığı üzerinden etkili oldukları düşünülmektedir. Elektromanyetik alana uzun süreli maruziyet, hücre içerisinde iyonik değişimler ve dengesizlikler oluşturmakta, hücrede RNA transkripsiyonu ve DNA sentezinde bozukluklarla birlikte hücrenin nörotransmitter ve hormonal uyarı sistemlerinde anomalileri beraberinde getirmektedir. Elektromanyetik alanların insanlar üzerindeki biyolojik etkileri hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Elektromanyetik alanların nörogenez, morfogenez, sinaptogenez, apoptoz, uyku, öğrenme ve hafıza, elektrolit dengesi ve kan basıncının sürdürülmesi, immunomodulasyon, stres yanıtı, hücresel çoğalma ve diferansiyasyon gibi birçok fizyolojik faaliyet üzerinde etkileri olduğu gösterilmiştir. Elektromanyetik alanların oluşturduğu elektriksel alan değerlerine kıyasla daha büyük enerjilerin vücudumuzda kimyasal reaksiyonlar sonucu oluştuğu gerçeğinden hareketle, vücudumuzdaki enerjiye oranla oldukça düşük kalan bu enerjinin DNA üzerinde kalıcı değişikliklere sebep olamayacağı da öne sürülen bir başka görüştür. Bu inceleme söz konusu kavramları araştırmakta ve elektromanyetik alan maruziyetinin etkilerini, kanıta dayalı şekilde özetleyerek bilgi boşluklarını doldurmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Alan, Elektromanyetik Kirlilik, Sağlık

Abstract: Technology has the potential to affect human health in many ways. It is known that all electrically operated devices, especially radio-television transmitters and receivers, base stations, high voltage lines, transformers, which emit radio frequency waves, create an electromagnetic field and create a large-scale pollution by creating a biological risk factor. Electromagnetic field sources; It refers to the waves emitted from the devices used in communication directly over radio frequency signals in the telecommunication field and all the devices that emit waves whose purpose is not to emit any electromagnetic waves to the environment, but whose spread outside the device cannot be prevented due to the use of the energy necessary for its operation. Electromagnetic pollution is the fact that the area created by the electric and magnetic field component waves, which have negative effects on the environment and human health, is above the limit values. The main factor that creates electromagnetic pollution is electromagnetic fields. Electromagnetic fields are thought to be effective through the sensitivity of the receptors in the cell membrane. Long-term exposure to the electromagnetic field creates ionic changes and imbalances in the cell, and brings along abnormalities in the neurotransmitter and hormonal stimulation systems of the cell, along with disorders in RNA transcription and DNA synthesis in the cell. Many studies have been conducted on the biological effects of electromagnetic fields on humans. It has been shown that electromagnetic fields have effects on many physiological activities such as neurogenesis, morphogenesis, synaptogenesis, apoptosis, sleep, learning and memory, electrolyte balance and maintenance of blood pressure, immunomodulation, stress response, cellular proliferation and differentiation. Based on the fact that larger energies are formed as a result of chemical reactions in our body compared to the electrical field values created by electromagnetic fields, it is another view that is claimed that this energy, which is quite low compared to the energy in our body, cannot cause permanent changes in DNA. This review explores these concepts and fills in the knowledge gaps by summarizing the effects of electromagnetic field exposure in an evidence-based manner.

Keywords: Electromagnetic Field, Electromagnetic Pollution, Health

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Sağlık Yüksekokulu, Hemşirelik, Ağrı,

²Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik, Ağrı,

³Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik, Ağrı,

⁴Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Doğubayazıt Ahmed-i Hani Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Ağrı,

GİRİŞ

İkinci Cihan Harbi elektronik endüstrisinin en hızlı geliştiği dönemlerden biridir. Elektromanyetik spektrumun farklı kısımlarını kullanan elektronik cihazların yaygın kullanımı: karasal ve uydu iletişimi, radyo ve televizyon yayıncılığı, radar, endüstriyel işleme, tıbbi uygulamalar ve tüketici ürünlerinin dâhil olduğu sayısız teknolojinin gelişimini sağlamıştır. Bu teknolojilerin sebep olduğu elektromanyetik radyasyon; özellikle iletişim, yayın ve radar cihazlarının kullanımı sayesinde geniş alanlara yayılmıştır. Endüstriyel ve tıbbi cihazların kullanımı ise bu yayılmayı desteklemiştir.

İyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyon; yansıma, kırılma ve saçılma kurallarını takip eden ve sıklıkla karmaşık alan koşulları ("çok yönlü" yayılım tarafından oluşturulan) ve uzamsal olarak düzgün olmayan elektromanyetik alanlar (EMA) ile sonuçlanan elektromanyetik dalgalar tarafından gerçekleştirilir. Elektromanyetik radyasyon zamanla "Elektromanyetik Kirlilik" şeklinde isimlendirilebileceğimiz yeni bir kirlilik olgusunu meydana getirmiştir. Radyasyon Tehlikesi olarak da adlandırılan bu kirlilik, doğası gereği biraz gizemlidir ve hali hazırda aşına olduğumuz diğer kirlilik türleri gibi ele alınamaz (Bandara & Carpenter, 2018).

On yıllar boyunca yürütülen çeşitli araştırmalar, insan yerleşim bölgelerinde elektromanyetik radyasyonun neden olduğu elektrik alan gücünün her on yılda en az bir basamak arttığını kanıtlamıştır (Kanda, 2017). Örneğin, araştırmalar ani bebek ölümü sendromu raporlarının olduğu yerlerde, elektrik alan kuvvetlerinin normal ev içi seviyelerin en az dört katı ölçüldüğünü ortaya koymaktadır (Zaini, 2016).

Günümüzde elektronik cihazların büyük kısmı, kullanım hedefleri doğrultusunda elektromanyetik sinyalleri iletir, alır ve işlerler. Kablosuz bir bağlantıda, elektromanyetik sinyalin gücü, verici ve alıcı birimler arasındaki mesafeye bağlıdır. Öte yandan, merkezi bir kaynak olarak elektromanyetik radyasyon yayan birçok cihazdan da bahsetmek

mümkündür. Neredeyse tüm elektronik ürünler; çamaşır makineleri, mikser öğütücüler, motorlu cihazlar, televizyon vb. bu kategoriye girer. Tıp alanında ise elektronik kullanımı, elektroniğin teşhis veya tedavi amaçlı kullanıldığı elektromedikal cihazlarla yeni bir döneme girmiştir. Elektronik görüntüleme cihazlarının icadı, hasta teşhis ve izleme sistemleri için yeni bir çağın kapılarını açmıştır. Tüm bu medikal cihazlar, elektrik alan kuvvetlerinin büyümesine katkıda bulunan elektromanyetik dalgaları kullanmaktadır (Stam & Yamaguchi-Sekino, 2018).

Literatürdeki ilk dönem çalışmaları genellikle biyoelektrik gradyanların morfogenezi yönlendiren ön kalıplar olarak hizmet ettiği ana hipotezi üzerinden ilerlemiştir (Burr & Northrop, 1935). Sonraki çalışmalarda ise kararlı voltaj gradyanlarının, fizyolojik büyüme ve lokal yaralanmalar da dahil olmak üzere organizmadaki birçok biyolojik olayda ciddi değişikliğe yol açtığı gösterilmiştir (Al-Bareeq, 1998; Easterly, 1994). Söz konusu etkilerin iyonların dağılımındaki farklılıklarla ilgili olduğu belirtilmiştir (Yadollahpour & Jalilifar, 2014). Ayrıca bazı yazarlara göre, elektromanyetik alanlar; koloni çöküş bozukluğu olarak bilinen arıların ortadan kaybolması ile bağlantılıdır ve bunun ayrıca kuş göçüne de müdahale edebileceği yönünde görüşler mevcuttur (Sharma & Kumar, 2010).

İnsanların faaliyetleri tarafından üretilen çevresel maruziyet, elektromanyetik alanları önemli ölçüde artırmıştır (Consales ve ark., 2012). EMA'nın biyolojik ve bazen de patolojik etkileri olduğunu gösteren birçok çalışma yapılmıştır (Romeo ve ark., 2022; Schuermann & Mevissen, 2021; van Wel ve ark., 2021). Birçok araştırma, kafadaki kan-beyin bariyerinin geçirgenliğinin artması, sperm üzerindeki zararlı etkiler, DNA'daki çift iplikçik yapılarının kopması ve bir toksine maruz kalmayı gösteren stres gen aktivasyonu gibi termal temelli maruz kalma sınırlarının çok altında biyolojik etkiler tanımlamıştır (Focke ve ark., 2010; Kim ve ark., 2021; Pacchierotti ve ark., 2021). Diğer birçok çalışma, artan akustik nöroma, beyin, tükürük bezi tümörleri ve göz kanseri riskine işaret etmektedir

(Alshammary ve ark., 2022; Pareja-Peña ve ark., 2022; Perrin & Souques, 2021; Sato ve ark., 2011). EMA maruziyetinin; Alzheimer, Parkinson hastalığı, amyotrofik lateral skleroz ve epilepsi riskinin arttığı da bildirilmiştir (Ahmad ve ark., 2020; Riancho ve ark., 2021). Bu noktada EMA'ların temel probleminin, zararlılık eşiğini ve boyutunu belirlemek olduğu görülmektedir (Fragopoulou ve ark., 2010). Bu konu hala tartışılmaktadır (Oskouei ve ark., 2022).

Mobil cihaz kullanımının son yıllarda giderek artması sonucu radyofrekans dalgalarına maruz kalan insanların etkilenebilecekleri potansiyel zararlar sebebiyle birçok soru işareti akla gelmektedir. Cep telefonlarının insan vücuduna çok yakın konumlarda kullanılması ve çok sayıda baz istasyonu anteni gerektirmesi nedeniyle, cep telefonu şebekelerinin sağlık üzerindeki etkisi konusunda kamuoyunun ve bilim insanlarının kafasında soru işaretleri bulunmaktadır (Hardell, 2018). Ancak düşük frekanslı RF dalgalarının insan sağlığına zararlı etkileri olmadığı veya minimal etkileri olduğu düşüncesi hakimdir. Orta veya yüksek frekansların kullanıldığı hücresel düzeydeki çalışmalar ise istenmeyen etkileri destekler niteliktedir (Panagopoulos & Margaritis, 2010; Schüz ve ark., 2011). Literatürdeki birçok çalışma, farklı boyuttaki EMA dalgalarının hücre hatlarında herhangi bir DNA hasarına sebep olmadığını ortaya koymuştur. Brusick ve ark. radyofrekans sinyallerinin hücreler üzerinde doğrudan mutajenik bir etki göstermediğini belirtmişlerdir (Brusick ve ark., 1998). Öte yandan, son yıllarda yayınlanan çalışmalarda aksi sonuçların tespit edildiğinden bahsedilebilir (Jagetia, 2022; Yoon ve ark., 2014). Bu alanda yayınlanan çoğu çalışma, elektromanyetik alanların biyokimyasal veya hücresel etkilerinin kanıtlarıyla ilgilenmiştir.

Marino ve Becker, statik veya çok düşük frekanslı elektromanyetik alanların iyonların yeniden dağıtılmasıyla ilişkili biyolojik etkilere yol açabileceğini ve düşük frekanslı manyetik alanların biyolojik etkilerinin daha derin dokulara nüfuz edebileceğini göstermiştir (Marino & Becker, 1977). Foletti ve ark. ileri derecede düşük frekanslı

dalgaların hücre proliferasyonu ve farklılaşması gibi çeşitli hücresel fonksiyonlar üzerinde etkisi olabileceğini göstermiştir (Foletti ve ark., 2009). Romeo ve ark. ise EMA'nın apoptoz üzerindeki etkisine dikkat çekmiş (Romeo ve ark., 2022), Del Re ve ark. DNA sentezini (Del Re ve ark., 2019), Goodman ve Henderson RNA transkripsiyonu ve protein ekspresyonunu (Goodman ve ark., 1983; Goodman & Henderson, 1988), Buchachenko ve ark. ATP sentezini (Buchachenko ve ark., 2006), Pawlak ve ark. kardiyak yük, tiroid hormonlarının konsantrasyonu ve kan aminotransferaz düzeyini (Pawlak ve ark., 2013), Baranowska ve ark. adipokin salınımını (Baranowska ve ark., 2018), Kim ve ark. EMA'nın merkezi sinir sistemine etkisini (Kim ve ark., 2019), Kıvrak ve ark. antioksidan enzim sistemlerini (Kıvrak ve ark., 2017), Mahaki ve ark. metabolik aktiviteyi (Mahaki ve ark., 2019), Pesce ve ark. ise NFkB ve hücre yıkımı üzerine etkilerini (Pesce ve ark., 2013) göstermiştir. Giladi ve ark. ara frekanslardaki EMA'nın hücrelerin büyümesini durdurmada etkili olduğunu dile getirmiştir (Giladi ve ark., 2008). Kirson ve ark. hücre büyümesi üzerindeki bu doğrudan inhibitör etkinin kanser tedavisinde terapötik amaçlarla kullanılabilirliğini belirtmiştir (Kirson ve ark., 2009).

Yüksek frekanslı EMA'nın biyolojik sistemler üzerinde birçok termal etkisi bulunmaktadır. Fizyolojik mekanizmalara doğrudan müdahale eden bu termojenik etki, özgül emilim oranı (SAR) olarak tanımlanan EMA'nın yoğunluğu ile ilişkilidir. Termal etki veya sıcaklığın artması, hücresel fonksiyonlarda hücre yıkımına neden olabilecek çeşitli değişikliklere yol açar (Belyaev, 2005; Xu ve ark., 2009). Morrissey ve ark. in vitro deneysel modellerde çok küçük sıcaklık değişimlerinde bile biyolojik etkilerin ortaya çıkabileceğini göstermiştir (Morrissey, 2008). Çok düşük frekanslı EMA'nın vücut sistemleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirten çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmaların genel olarak kötü bir tasarıma sahip olduğu, uygun kontrol gruplarından yoksun oldukları ve bunlara aynı zamanda kafa karıştırıcı

faktörlerin de eşlik ettiği görülmektedir (Belyaev, 2005; Cifra ve ark., 2021).

Düşük frekanslı elektromanyetik alanların farklı hücre hatları üzerindeki etkileri yoğun biçimde araştırılmış ve doğrudan veya dolaylı DNA hasarlarına dair hiçbir kanıt tespit edilmemiştir. Maes ve ark. (Maes ve ark., 1997) ve Leal ve ark. (Leal ve ark., 2000) periferik kan hücrelerini 935 ve 2450 MHz elektromanyetik alana maruz bırakmış ve 2 saatlik periyotlardan sonra hücrelerde DNA hasarı olmadığını bildirmişlerdir. Malyapa ve ark., 2450 MHz elektromanyetik sinyallerin, insan glioblastoma hücreleri ve fare fibroblast hücreleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve hücrelerde hiçbir DNA hasarı oluşmadığını gözlemlemiştir (Malyapa ve ark., 1997). Tice ve arkadaşları, 837 ve 1909.8 MHz radyofrekans dalgalarının, 3 ve 24 saatlik maruziyetleri sonucunda lökositlerde önemli bir DNA hasarına yol açmadığını dile getirmiştir (Tice ve ark., 2002). Transkriptomik çalışmalarla EMA maruziyetinin gen ekspresyonu ile ilgisi değerlendirilmiş olup (McNamee ve ark., 2016; Sakurai ve ark., 2011) bu çalışmalardan bazıları stres yanıtında yer alan genlerin RF-EMF maruziyetinden etkilenebileceğini saptamıştır (Misa-Agustiño ve ark., 2015; Trivino Pardo ve ark., 2012). Nispeten yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise 900 MHz RF-EMF maruziyetinin miRNA'nın bir kısmını değiştirebileceği bildirilmiştir (Dasdag ve ark., 2015).

Atasoy ve ark., EMA'nın periferik mononükleer hücreler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada periferik kandan izole edilen mononükleer hücrelerin 450, 900 ve 1784 MHz elektromanyetik dalgalara 2, 6 ve 24 saat maruz kalmasının ardından hücre canlılığı, apoptoz oranları, proliferasyon indeksleri ve hücre yüzeyi antijenik yapılarındaki değişiklikler analiz edilmiştir. Çalışma sonunda elektromanyetik dalgaların hücre canlılığına, apoptoza ve çoğalma indeksine etki etmediği tespit edilmiştir. Çalışmada elektromanyetik dalgalar periferik kan mononükleer hücrelerinde HLADR ve CD11b ekspresyonunu değiştirmezken CD11a ekspresyonunu azaltıp CD49d ekspresyonunu

arttırmıştır. Bu veriler, elektromanyetik sinyallerin, periferik kan mononükleer hücre yeteneklerini değiştirerek fonksiyonel kapasiteyi etkileyebileceğini düşündürmektedir (Atasoy ve ark., 2009).

Akan ve ark., monosit türevli makrofajların aşırı düşük frekanslı EMA'da patojenlere karşı bağışıklık tepkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, insan monositik lösemi hücre hattı kültürlenmiş ve *Staphylococcus aureus* veya interferon gama/lipopolisakkarit (IF γ /LPS) ile indüklenen hücrelere 4-6 saat boyunca 1 mT EMA uygulanmıştır. Nitrik oksit düzeyleri, indüklenbilir nitrik oksit sentaz düzeyleri, ısı şoku proteini 70 (hsp70) düzeyleri, cGMP düzeyleri, kaspaz-9 aktivasyonu ve *S. Aureus*'un büyüme hızında farklılıklar saptanmıştır. EMA maruziyeti ile bakterilerin büyüme eğrisinde kontrol grubuna kıyasla azalma meydana gelmiştir. Nitrik oksit düzeyi yükselmiştir. Bu artış *S. Aureus* kaynaklı hücreler için daha belirgindir. iNOS seviyelerinde hafif bir düşüş gözlenirken cGMP seviyelerinde artış olmuştur. Hsp70 düzeylerinde zamana bağlı bir yükseliş meydana gelmiştir. Hücreler *S. Aureus* veya IF γ / LPS ile indüklendiğinde, daha yüksek hsp70 seviyeleri üretimi gerçekleşmiş ve kaspaz-9 aktivasyonunu bastırılmıştır. Bu veriler, ELF-EMA'nın bağışıklık sisteminin tepkisini etkilediğini göstermiş ve faydalı kullanımlar için değerlendirilebileceğini düşündürmüştür (Akan ve ark., 2010).

ELF-EMA ile ilgili diğer bir etki hipotezi, organizmadaki serbest radikal seviyelerini değiştirmesidir. Serbest radikallerin vücutta elimine edilmesi için iki seçenek bulunmaktadır. Bu seçeneklerden ilki; glutasyon, vitaminler, karotenoidler ve flavonoidleri içeren non-enzimatik yoldur, diğer seçenek ise enzimin aktivitesine dayanmakta olup en etkili olandır. Bu anahtar enzimler katalaz ve süperoksit dismutaz gibi enzimlerdir. ELF EMA, serbest radikalleri daha az aktif moleküllere dönüştürür ve ortadan kaldırır (Lai, 2019). Serbest radikallerin üretilmesi ve yok edilmesi arasında hassas bir dengeden bahsetmek mümkündür. Bu hassas dengeyi bozacak negatif bit

etki oksidatif stresi tetikleyebilir ve hücre yıkımına yol açabilir. Hücre yıkımını gösteren belirtilerden biri, lipit peroksidasyonunun son ürünü olan malondialdehittir (Josh ve ark., 2021). Coşkun ve ark. kobayları 4 gün boyunca 50 Hz, 1.5 mT İleri derecede düşük frekanslı dalgalara maruz bırakmıştır. Maruziyet sonucunda malondialdehit, nitrik oksit ve miyeloperoksidaz aktivitesinin arttığı ve Glutation S transferaz seviyelerinin düştüğü tespit edilmiştir (Coşkun ve ark., 2009).

Martinez ve ark., ileri derecede düşük frekanslı dalgalara maruz kalmanın Wistar ratlarında karaciğer, böbrek ve plazma antioksidan sistemlerine etkisini araştırmıştır. İki saatlik 60 Hz EMA maruziyetinin serbest radikal düzeylerinde erken değişikliklere yol açtığını ve plazmada süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin, kalp ve böbrekte glutatyon (GSH) içeriğinin azaldığını, ancak lipid peroksidasyonunda bir değişiklik olmadığını bulmuşlardır (Martínez-Sámano ve ark., 2010).

Ağır Metaller ve Maruziyet ve Elektrohipersensitivite

Bazı insanlar, elektromanyetik alanlara maruz kalmaya diğer insanlardan daha yatkındır. Bu durum elektrohipersensitivite olarak tanımlanmaktadır. Elektrohipersensitivitenin patofizyolojisi tam olarak bilinmemektedir. Literatürdeki birçok çalışma, bunun ağır metal maruziyeti ile ilişkili olduğu sonucuna varmıştır. Doku proteinlere bağlı ağır metallerin toksisitesinin az olduğu tahmin edilmektedir. Mortazavi ve ark. cep telefonlarından yayılan mikrodalga radyasyonunun, amalgam taşıyıcıları arasında tükürükteki çözünmüş cıva konsantrasyonunu artırarak diş amalgamından cıva buharı salınımını tetikleyebileceğini bulmuşlardır (Ghezal-Ahmadi ve ark., 2010; Mortazavi ve ark., 2008).

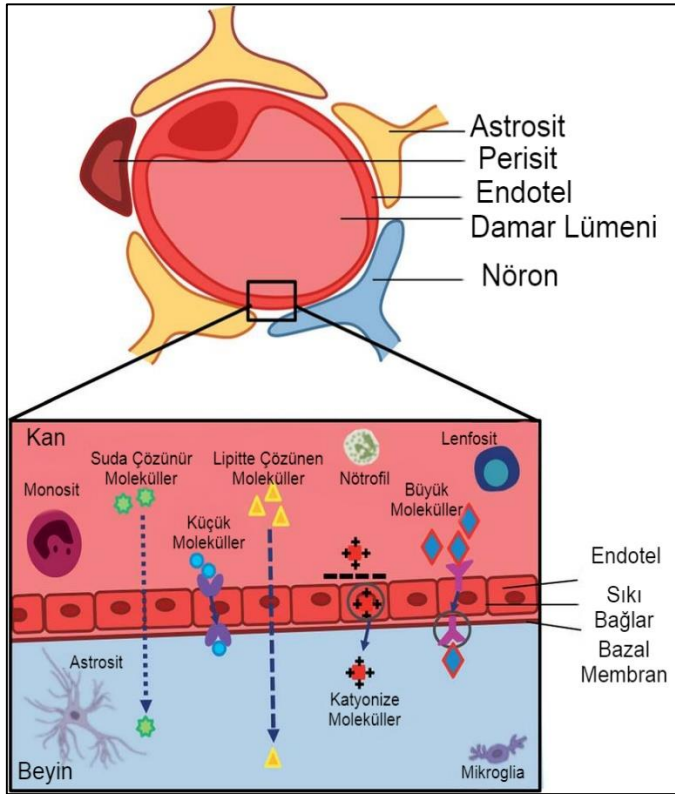
Elektromanyetik Alanlar ve Kan-Beyin Bariyeri

Memelilerdeki kan-beyin bariyeri (KBB), perisitler ve hücre dışı matriksin dahil olduğu sıkı kavşaklara sahip endotel hücrelerinden oluşur. Transmembran proteinleri fiziksel bir bariyer oluşturur (Haseloff

ve ark., 2015). KBB sıklığı, perisitler adı verilen bağ dokusu hücreleri ve bazal membranın hücre dışı matrisi tarafından sağlanır (Giannoni ve ark., 2018). Bu hücreler, hücre dışı bileşenler ve çevreleyen nöronların tümüne "nörovasküler birim" adı verilir (Iadecola, 2017). KBB, beyin sapındaki medyan eminens, postrema alanı, nucleus tractus solitarius, posterior hipofiz, hipotalamustaki subfornik organ, organum vaskülozum, subcommissural organ ve epifiz bezini içeren beyin belirli bölgelerinde mevcut değildir (Daneman & Prat, 2015).

Kan-Beyin Bariyerinin Fizyolojisi

Kan- Beyin Bariyeri, kan ve beyin parankimi arasında hücre ve molekül değişimine olanak sağlar (Şekil 1.). Transselüler ve paraselüler madde geçişi sadece kan damarı duvarı yoluyla gerçekleşmez. Buna ek olarak kranial ve spinal sinir kökleri yoluyla da gerçekleşebilir (DosSantos ve ark., 2014). Lipofilik bileşikler, endotel hücre zarlarından pasif difüzyon yoluyla beyne geçebilme özelliğine sahiptir. İyonlar, amino asitler, glikoz ve nükleik asit bileşenleri gibi beyin metabolizması için gerekli olan yüklü ve hidrofilik moleküller, kan- beyin bariyerini özel kanallar ya da taşıyıcılar aracılığıyla geçer. Su molekülleri ise kan-beyin bariyerini aquaporinler veya taşıyıcılar olarak isimlendirilen protein kanalları sayesinde geçebilir (Bonomini & Rezzani, 2010).



Şekil 1: Kan- Beyin Bariyeri

Elektromanyetik Alan Maruziyetinin KBB Geçirgenliğine Termal Etkileri

Çevresel ısının fazla olduğu ve termoregülatör kapasitesini aşıldığı durumlarda, kan beyin bariyerinin makromoleküllere karşı geçirgenliği artabilir (Segarra ve ark., 2021). Merkezi sinir sistemi bölgelerindeki nöronal albümin iletiminin, sıcaklıkla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu etkiler 1 °C ve 1 °C'den daha fazla sıcaklık artışının olduğu durumlarda daha belirgindir (Kiyatkin & Sharma, 2009). Böylece, albümin ile sınırlı ilaçların alımı artar (Lin ve ark., 1998).

Nittby ve ark. yaptığı çalışmada, cep telefonları tarafından yayılan elektromanyetik radyasyonun kan-beyin bariyerinin (BBB) geçirgenliğini değiştirdiğini ve 14 gün boyunca 2 saat maruz kaldıktan hemen sonra ve 14 günün ardından albümin ekstrasvazasyonuna neden olduğunu göstermiştir (Nittby ve ark., 2009). Kan- beyin bariyerinin geçirgenlik derecesi, sıcaklık artışına ve dolayısıyla RF enerjisinin SAR'ına, maruziyet süresi ile ısının dağılım hızına göre değişiklik gösterir (Salford ve ark., 2008). Mikrodalgalara termal seviyelerde maruz kalmak, beyni

enfeksiyonlara karşı daha savunmasız hale getirebilir (Belpomme & Irigaray, 2022).

EMA Maruziyetinin Nörobilişsel Sistem Üzerine Etkileri

Cep telefonları beyin dokusuna yakın kullanıldığında elektromanyetik dalgalar beyin dokusunu etkileyebilir. Baz istasyonlarından gelen radyo frekansı elektromanyetik dalgalarına maruz kalmanın sinir sistemi ve davranışları üzerindeki etkisini araştıran çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Singh & Jindal, 2022). Çalışmalar, cep telefonu baz istasyonu radyasyonu ile maruziyet sırasında veya maruziyetten kısa süre sonra akut semptomların gelişmesi arasında anlamlı bir ilişki bulamamıştır. Sonuç olarak, 10 volta kadar MPBS maruziyeti ile semptomların gelişimi arasında ilişki olmadığına dair iyi kanıtlar olduğu sonucuna varılabilir (Roosli, 2014). Ancak, günlük hayatta sürekli karşılaştığımız uzun süreli düşük seviyeli maruziyetin, sağlığımız üzerindeki etkileri hakkında net bir tablo ortaya koymak elimizdeki veriler ile mümkün gözükmemektedir (Kowall ve ark., 2012).

Ntzouni ve ark. farelerde cep telefonundan alınan radyasyonun kısa süreli bellek üzerindeki etkisini incelemiştir. Cep telefonu EMA'larının entorhinal korteks işlevi gerektiren uzamsal olmayan bellek görevi üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Maruziyet ile tanıma belleği süreçlerinden pekiştirme aşaması arasında ciddi bir etkileşim olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, EMA'nın öncelikli hedefinin, ORT bellek görevine katılan entorhinal-parahipokampal bölgeleri bağlayan bilgi aktarım yolu olabileceği anlamına gelebilir (Ntzouni ve ark., 2011).

Heinrich ve ark., cep telefonu kullanıcılarının, radyofrekans elektromanyetik alanlara (RF EMA) maruz kalmasıyla, özellikle çocuklarda ve ergenlerde akut sağlık üzerinde potansiyel olumsuz etkileri olabileceği konusunda artan endişelerini dile getirmiştir (Heinrich ve ark., 2010).

Lowden ve ark., cep telefonu kullanımıyla ilişkili semptomları olan kişilerde cep telefonuna maruz

kalmanın ardından uyku kalitesini incelemiştir. Sonuçlar, radyo frekanslı elektromanyetik dalgalarına maruz kaldıktan sonra (10-12 Hz) uykuda görsel olarak puanlanan parametrelerde artan aktiviteyi ortaya çıkarmıştır. Üstelik REM süresinin kısaldığı bildirilmiştir. Sonuçlar, RF maruziyetinin uyku sırasında EEG alfa aralığını açtığını ve yavaş dalga uykusunda orta dereceli bozulma oluşturduğunu doğrulamaktadır (Lowden ve ark., 2011).

Mohler ve ark. kesitsel bir çalışmada her gün maruz kalınan RF EMA'nın uyku kalitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma ekibi, Basel, İsviçre'de rastgele seçilen 1375 denekten oluşan bir popülasyonda uyku bozukluklarını ve gündüz aşırı uykululuğunu değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda RF EMA'ya maruz kalma ile uyku bozuklukları ve gündüz aşırı uykululuğu arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır (Mohler ve ark., 2010).

EMA Maruziyetinin Osteogenez ve Kondrogenez Üzerindeki Etkileri

Son derece düşük elektromanyetik alanların kıkırdak dokusu üzerinde faydalı etkiler oluşturduğu gösterilmiştir (Mayer-Wagner ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2011). Lin ve Lin, EMA maruziyetinin osteoblast hücreleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma modelinde oluşturulan EMA maruziyetinin, osteoblastların proliferasyonunu ve canlılığını arttırdığı ve ortak kültürden daha fazla NO salınımını uyardığı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca aktif proliferasyon, gecikmiş osteoblastik olgunlaşma ile ilişkilendirilmiştir (Lin & Lin, 2011). Okuyan ve ark. , sıçan kemikleri üzerinde çift enerjili X-ışını absorpsiyonu (DEXA) ölçümleriyle değerlendirildiği, 50 Hz ve 0 Hz (statik) elektrik alanlarının (EF), utero ve neonatal olarak EFS'ye maruz kaldıklarında kemik içeriği ve yoğunluğu üzerindeki etkilerini bildirmişlerdir. Toplam kemik mineral yoğunluğu (KMY) için 50 Hz ve kontrol grupları arasında önemli farklar bulunmuştur. Ayrıca statik EF ile kontrol grupları arasındaki farklar kemik mineral yoğunluğu için anlamlı bulunmuştur. Çalışma sonucunda, hem statik hem

de 50 Hz EF'lerin sıçan kemiklerinin erken dönemde gelişimlerini etkilediği ve statik EF'lerin etkisinin 50 Hz alandan daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır (Okudan ve ark., 2006).

EMA Maruziyetinin Testis ve Spermatogenez Üzerindeki Etkileri

Cep telefonlarının ceplerde taşınması nedeniyle, EMA'nın üreme sistemi üzerindeki maruziyeti giderek daha fazla ilgi görmektedir. Tenorio, wistar sıçanlarında plazma testosteron düzeylerinde değişiklik olmadığını göstermiş ancak histopatolojik analizler günde 30 dakika 60 Hz ve 1 mT EMA maruziyetinden sonra testis dejenerasyonu olduğunu kanıtlamıştır (Tenorio ve ark., 2012). Wang ve ark. (2016), EMA maruziyetinin plazma hormon biyobelirteçleri (testosteron, östradiol, melatonin ve ısı şoku proteini) üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla Zhejiang (Çin) elektrik santralinde yüksek maruziyete maruz kalan işçilerle bir çalışma yürütmüştür. Sonuçlarda kontrol grubuyla kıyaslandığında düşük frekanslı EMF'lere maruz kalan deney grubunda daha düşük testosteron seviyeleri olduğunu göstermiştir. Kronik EMA maruziyeti olan erkeklerde plazma testosteron düzeylerinin azaldığı ve testosteronun estradiol oranının daha düştüğü belirlenmiştir (Wang ve ark., 2016).

Kanserojenez ve Elektromanyetik Dalgalar

Wertheimer ve Leeper tarafından 1979'da yapılan ilk çalışmadan bu yana, manyetik alanlara maruz kalma ile kanser arasında birçok epidemiyolojik araştırma yapılmıştır (Wertheimer & Leeper, 1979). Elektromanyetik dalgaların kanserojen olabileceğine yönelik iddialar, bu konuda yapılan epidemiyolojik ve in vitro çalışmaların sayısının artmasıyla güçlenmiştir.

EMA Maruziyeti, Lenfatik- Hematopoetik Kanserler ve Beyin Tümörleri Etkileşimi

Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek frekanslı elektromanyetik alanlara kronik derecede maruz kalmanın lenfatik ve hematopoetik kanserlere yakalanma ihtimalini artırdığını tespit etmiştir.

Romadaki bir radyo istasyonunun çevresinde yaşayan insanlarda yapılan bir araştırma, bölgede beklenilenden çok daha yüksek seviyelerde çocukluk çağı lösemi vakası olduğunu saptamıştır (Michelozzi ve ark., 2002). Avustralya'da Hocking ve arkadaşları tarafından yürütülen başka bir çalışmadan da benzer veriler elde edilmiştir (Hocking ve ark., 1996). Hocking ve ark. Televizyon verici istasyonlarının 2 km civarında yaşayan yetişkinler ve çocuklar arasında daha yüksek lösemi insidansı olduğunu bildirmiştir. Ancak bu çalışmalarda lösemi vakalarının azlığı ve radyofrekans dalgalarına maruz kalan lösemi hastalarında ölçüm yapılmamış olması nedeniyle kesin bir ilişki kurulamadığı belirtilmektedir (Hocking ve ark., 1996). Morgan ve arkadaşları tarafından kablosuz cihaz üretimi, tasarımı ve testleri ile ilgili birimlerde çalışan kişiler üzerinde yapılan bir araştırma, beyin kanseri, lösemi ve lenfoma ile ilişkili ölüm oranının bu popülasyonda normal popülasyona göre daha yüksek olmadığını bulmuştur (Morgan ve ark., 2000). Lehrer ve ark.'ın yürüttüğü, başka bir vaka kontrol çalışmasının sonuçları, cep telefonu kullanımı ile beyin tümörü oluşumu arasında pozitif anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir (Lehrer ve ark., 2011). Bu çalışmanın aksine Castano-Vinyals ve ark. beyin tümörleri ile mobil iletişim cihazlarının kullanımı arasında herhangi bir ilişki bulamamıştır (Castaño-Vinyals ve ark., 2022).

Elliott ve ark., düşük yoğunluk ve frekanslı manyetik alana kronik derecede maruz kalmanın artan çocukluk çağı lösemisi ile ilişkili olduğunu ileri sürmüştür (Elliott ve ark., 2010). Draper ve ark., 1962 ile 1995 yılları arasında Birleşik Krallık'ta doğan 28.968 çocuğu inceleme altına almış ve özellikle 15 yaşın altındaki çocukların risk grubunda olduğunu önemini vurgulamıştır. Manyetik alandaki her 0,2 μ T artış için tahmini rölatif riskin lösemi için 1,14 (%95 güven aralığı 0,57 ila 2,32), Merkezi sinir sistemi/beyin tümörleri için 0,80 (0,43-1,51) ve diğer kanser türleri için 1,34 (0,84-2,15) olduğunu bulmuşlardır (Draper ve ark., 2005). Auger ve ark. gebelik sırasında elektromanyetik alanlara maruz kalmanın çocukluk kanseri riskini artırıp artırmadığını

değerlendirmiştir. 2006 ve 2016 yılları arasında Quebec, Kanada'da doğumdan on yıl sonra kanser nedeniyle takip edilen 784.944 yenidoğandan oluşan örneklem restrospektif bir biçimde incelenmiş,trafo istasyonlarına konutların yakınlığı daha büyük bir kanser riski ile ilişkilendirilmiştir (Auger ve ark., 2019).

Baldi ve ark. beyin tümörlerinin etiyolojisinin çoğunlukla bilinmediğini ve potansiyel risk faktörleri arasında EMA'ya maruz kalmanın da şüphelenilen bir parametre olabileceğini dile getirmiş ve bu konuda deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yetişkinlerde beyin tümörlerinin oluşumu ile mesleki ortamdaki etkilenim veya serbest zamandaki etkilenim arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışma sonunda elektrik hatları yakınında yaşayan olgularda meninjiom riskinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Baldi ve ark., 2011).

Khurana ve ark. 10 yılı aşkın süredir kablosuz telefon kullanımının beyin tümörü riski ile ilişkisini araştırmıştır. Toplam 11 metaanalizi kapsayan bu derleme, 10 yıldan uzun süredir kablosuz telefon kullanan kişilerde beyin tümörleri, yani glioma ve akustik nöromanın 2 kat arttığını ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir (Khurana ve ark., 2009).

Feng ve ark.'ın yaptığı yakın tarihli sistematik bir çalışma, glioma için 6 makale, meningiom için 6 makale ve akustik nöroma için 8 makaleyi derlemiştir. Bu çalışmada; cep telefonu kullanımı ile glioma ve akustik nöroma riski arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Feng ve ark., 2022).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektronik cihazlar ve iletişimdeki gelişmeler hayatı kolaylaştırırsa da bu yeni teknolojilerin olumsuz etkileri de olabilmektedir. Bu olumsuz etkiler özellikle haberleşme, radyo ve televizyon yayıncılığı, hücresel ağlar ve bina içi kablosuz sistemlerde kullanılan Radyofrekans (RF) bölgesindeki elektromanyetik alanlarla ilgilidir. Teknolojik ürünlerin günlük hayatta yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte elektromanyetik dalgaların

biyolojik etkileri daha çok tartışılmaya başlanmıştır.

Düşük frekanslı radyofrekans dalgalarının insan sağlığına zararlı etkileri olduğuna dair doğrudan bir kanıt olmadığı bilinmektedir. Orta ve yüksek frekansların kullanıldığı in vitro çalışmalar, biyolojik sistemlerde istenmeyen etkileri ortaya koymuştur. Özellikle son on yılda EMA'nın hücresel boyuttaki etkileriyle ilgili birçok akademik yayın yapılmıştır. Bu çalışmalarda EMA'nın; DNA, RNA molekülleri, proteinler, hormonlar, hücre içi serbest radikaller ve iyonlar üzerine etkisi gösterilmiştir.

Özellikle, günümüzde vazgeçilmez hale gelmesiyle artan cep telefonu kullanıcılarının sayısı, radyofrekans dalgalarına maruz kalan insanlar üzerindeki potansiyel zararı nedeniyle önemli endişeleri artırmaktadır. Cep telefonlarının, baz istasyonlarının ve diğer EMA kaynaklarının etkileri üzerine son on yılda artan sayıda in vivo, in vitro ve epidemiyolojik çalışmalar bulunmaktadır.

Günümüzde, cep telefonu kullanımı ile beyin tümörleri arasındaki nedensel ilişki, çoğunlukla epidemiyolojiye ve bu konuda yapılan geniş çaplı çalışmalara dayanmaktadır ancak bu nedensel ilişkinin etyopatogenezi kesinliğe ulaşmış değildir. Bazı hayvan deneyleri ve in vitro çalışmalar tarafından nedensel bir ilişki olduğuna dair zayıf kanıtlara ulaşılmıştır, ancak genel olarak, hem in vivo hem de in vitro genotoksisite deneylerinde kesin sonuçlar elde edilememiştir.

Çalışmamız, toplum sağlığını geliştirme ve teknolojiyi ölçülü kullanma amacıyla oluşturulacak kılavuzlara bir basamak teşkil etmektedir. EMA maruziyetinin sağlığı tehdit eden olası etkilerinin tespiti için tarafsız ve daha geniş ölçekli çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çıkar Çatışması: Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, R., Fakhoury, M., & Lawand, N. (2020). Electromagnetic Field in Alzheimer's Disease: A Literature Review of Recent Preclinical and Clinical Studies. *Curr Alzheimer Res*, 17(11), 1001-1012. <https://doi.org/10.2174/1567205017666201130085853>
- Akan, Z., Aksu, B., Tulunay, A., Bilsel, S., & Inhan-Garip, A. (2010). Extremely low-frequency electromagnetic fields affect the immune response of monocyte-derived macrophages to pathogens. *Bioelectromagnetics*, 31(8), 603-612.
- Al-Bareeq, J. M. (1998). Health Risks of Electromagnetic Field. *Bahrain Medical Bulletin*, 20(1), 1-2.
- Alshammary, R. N., Mohammed Zaki, Z. D., & Al-Haak, A. G. (2022). Effect of mobile frequencies exposure on histology of retina and cornea in pregnant albino mice. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 36(1), 245-249.
- Atasoy, A., Sevim, Y., Kaya, I., Yilmaz, M., Durmus, A., Sonmez, M., Omay, S., Ozdemir, F., & Ovali, E. (2009). The effects of electromagnetic fields on peripheral blood mononuclear cells in vitro. *Bratisl Lek Listy*, 110(9), 526-529.
- Auger, N., Bilodeau-Bertrand, M., Marcoux, S., & Kosatsky, T. (2019, Sep). Residential exposure to electromagnetic fields during pregnancy and risk of child cancer: A longitudinal cohort study. *Environ Res*, 176, 108524. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108524>
- Baldi, I., Coureau, G., Jaffré, A., Gruber, A., Ducamp, S., Provost, D., Lebailly, P., Vital, A., Loiseau, H., & Salamon, R. (2011). Occupational and residential exposure to electromagnetic fields and risk of brain tumors in adults: a case-control study in Gironde, France. *International journal of cancer*, 129(6), 1477-1484.
- Bandara, P., & Carpenter, D. O. (2018, Dec). Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact. *Lancet Planet Health*, 2(12), e512-e514. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(18\)30221-3](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(18)30221-3)
- Baranowska, A., Skowron, B., Gil, K., & Kaszuba-Zwoińska, J. (2018). Obesity related adipokines release in rat adipose derived stem cell cultures influenced by pulsed electromagnetic field. *Folia Med Cracov*, 58(2), 131-145. <https://doi.org/10.24425/fmc.2018.124664>
- Belpomme, D., & Irigaray, P. (2022, Sep). Why electrohypersensitivity and related symptoms are caused by non-ionizing man-made electromagnetic fields: An overview and medical assessment. *Environ Res*, 212(Pt A), 113374. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113374>
- Belyaev, I. (2005). Nonthermal biological effects of microwaves: current knowledge, further perspective, and urgent needs. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 24(3), 375-403.
- Bonomini, F., & Rezzani, R. (2010). Aquaporin and blood brain barrier. *Current neuropharmacology*, 8(2), 92-96.
- Brusick, D., Albertini, R., McRee, D., Peterson, D., Williams, G., Hanawalt, P., & Preston, J. (1998). Genotoxicity of radiofrequency radiation. *Environmental and molecular mutagenesis*, 32(1), 1-16.
- Buchachenko, A. L., Kuznetsov, D. A., & Berdinskiĭ, V. L. (2006, May-Jun). [New mechanisms of biological effects of electromagnetic fields]. *Biofizika*, 51(3), 545-552.
- Burr, H. S., & Northrop, F. S. C. (1935). The electro-dynamic theory of life. *The Quarterly Review of Biology*, 10(3), 322-333.
- Castaño-Vinyals, G., Sadetzki, S., Vermeulen, R., Momoli, F., Kundi, M., Merletti, F., Maslanyj, M., Calderon, C., Wiart, J., Lee, A. K., Taki, M., Sim, M., Armstrong, B., Benke, G., Schattner, R., Hutter, H. P., Krewski, D., Mohipp, C., Ritvo, P., Spinelli, J., Lacour, B., Remen, T., Radon, K., Weinmann, T., Petridou, E. T., Moschovi, M., Pourtsidis, A., Oikonomou, K., Kanavidis, P., Bouka, E., Dikshit, R., Nagrani, R., Chetrit, A., Bruchim, R., Maule, M., Migliore, E., Filippini, G., Miligi, L., Mattioli, S., Kojimahara, N., Yamaguchi, N., Ha, M., Choi, K., Kromhout, H., Goedhart, G., t Mannetje, A., Eng, A., Langer, C. E., Alguacil, J., Aragonés, N., Morales-Suárez-Varela, M., Badia, F., Albert, A., Carretero, G., & Cardis, E. (2022, Feb). Wireless phone use in childhood and adolescence and neuroepithelial brain tumours: Results from the international MOBI-Kids study. *Environ Int*, 160, 107069. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107069>
- Cifra, M., Apollonio, F., Liberti, M., García-Sánchez, T., & Mir, L. M. (2021, Jan). Possible molecular and cellular mechanisms at the basis of atmospheric electromagnetic field bioeffects. *Int J Biometeorol*, 65(1), 59-67. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01885-1>
- Consales, C., Merla, C., Marino, C., & Benassi, B. (2012). Electromagnetic fields, oxidative stress, and neurodegeneration. *International journal of cell biology*, 2012.
- Coşkun, Ş., Balabanlı, B., Canseven, A., & Seyhan, N. (2009). Effects of continuous and intermittent magnetic fields on oxidative parameters in vivo. *Neurochemical research*, 34(2), 238-243.
- Daneman, R., & Prat, A. (2015). The blood-brain barrier. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 7(1), a020412.
- Dasdag, S., Akdag, M. Z., Erdal, M. E., Erdal, N., Ay, O. I., Ay, M. E., Yilmaz, S. G., Tasdelen, B., & Yegin, K. (2015, Apr). Long term and excessive use of 900 MHz radiofrequency radiation alter microRNA expression in brain. *Int J Radiat Biol*, 91(4), 306-311. <https://doi.org/10.3109/09553002.2015.997896>
- Del Re, B., Bersani, F., & Giorgi, G. (2019). Effect of electromagnetic field exposure on the transcription of repetitive DNA elements in human cells. *Electromagn Biol Med*, 38(4), 262-270. <https://doi.org/10.1080/15368378.2019.1669634>
- DosSantos, M. F., Holanda-Afonso, R. C., Lima, R. L., DaSilva, A. F., & Moura-Neto, V. (2014). The role of the blood-brain barrier in the development and treatment of migraine and other pain disorders. *Frontiers in cellular neuroscience*, 8, 302.
- Draper, G., Vincent, T., Kroll, M. E., & Swanson, J. (2005). Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *Bmj*, 330(7503), 1290.
- Easterly, C. E. (1994). A perspective on electromagnetic field bioeffects and risk assessment. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 35(1-2), 1-11.
- Elliott, P., Toledano, M. B., Bennett, J., Beale, L., De Hoogh, K., Best, N., & Briggs, D. (2010). Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. *Bmj*, 340.

- Feng, Y., Zhou, Z., Fei, Q., & Wang, Y. (2022). RF-EMF Exposure Emitted From Mobile/cellular Phone and Risk of Glioma, Meningioma and Acoustic Neuroma: A Meta-analysis.
- Focke, F., Schuermann, D., Kuster, N., & Schär, P. (2010, Jan 5). DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure. *Mutat Res*, 683(1-2), 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2009.10.012>
- Foletti, A., Lisi, A., Ledda, M., de Carlo, F., & Grimaldi, S. (2009). Cellular ELF signals as a possible tool in informative medicine. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 28(1), 71-79.
- Fragopoulou, A., Grigoriev, Y., Johansson, O., Margaritis, L. H., Morgan, L., Richter, E., & Sage, C. (2010, Oct-Dec). Scientific panel on electromagnetic field health risks: consensus points, recommendations, and rationales. *Rev Environ Health*, 25(4), 307-317.
- Ghezel-Ahmadi, D., Engel, A., Weidemann, J., Budnik, L. T., Baur, X., Frick, U., Hauser, S., & Dahmen, N. (2010). Heavy metal exposure in patients suffering from electromagnetic hypersensitivity. *Science of The Total Environment*, 408(4), 774-778.
- Giannoni, P., Badaut, J., Dargazanli, C., De Maudave, A. F. H., Klement, W., Costalat, V., & Marchi, N. (2018). The pericyte-glia interface at the blood-brain barrier. *Clinical Science*, 132(3), 361-374.
- Giladi, M., Porat, Y., Blatt, A., Wasserman, Y., Kirson, E. D., Dekel, E., & Palti, Y. (2008). Microbial growth inhibition by alternating electric fields. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 52(10), 3517-3522.
- Goodman, R., Bassett, C., & Henderson, A. S. (1983). Pulsing electromagnetic fields induce cellular transcription. *Science*, 220(4603), 1283-1285.
- Goodman, R., & Henderson, A. S. (1988). Exposure of salivary gland cells to low-frequency electromagnetic fields alters polypeptide synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85(11), 3928-3932.
- Hardell, L. (2018). Effects of mobile phones on children's and adolescents' health: A commentary. *Child development*, 89(1), 137-140.
- Haseloff, R. F., Dithmer, S., Winkler, L., Wolburg, H., & Blasig, I. E. (2015). Transmembrane proteins of the tight junctions at the blood-brain barrier: structural and functional aspects. *Seminars in cell & developmental biology*,
- Heinrich, S., Thomas, S., Heumann, C., von Kries, R., & Radon, K. (2010). Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study. *Environmental health*, 9(1), 1-9.
- Hocking, B., Gordon, I. R., Grain, H. L., & Hatfield, G. E. (1996). Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Medical Journal of Australia*, 165(11-12), 601-605.
- Iadecola, C. (2017). The neurovascular unit coming of age: a journey through neurovascular coupling in health and disease. *Neuron*, 96(1), 17-42.
- Jagetia, G. C. (2022, Sep). Genotoxic effects of electromagnetic field radiations from mobile phones. *Environ Res*, 212(Pt D), 113321. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113321>
- Josh, F., Soekamto, T. H., Adriani, J. R., Jonatan, B., Mizuno, H., & Faruk, M. (2021). The combination of stromal vascular fraction cells and platelet-rich plasma reduces malondialdehyde and nitric oxide levels in deep dermal burn injury. *Journal of Inflammation Research*, 14, 3049.
- Kanda, M. (2017). Electric-Field Strength. In *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook* (pp. 38-31-38-12). CRC Press.
- Khurana, V. G., Teo, C., Kundi, M., Hardell, L., & Carlberg, M. (2009). Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data. *Surgical neurology*, 72(3), 205-214.
- Kim, J. H., Kang, D. J., Bae, J. S., Lee, J. H., Jeon, S., Choi, H. D., Kim, N., Kim, H. G., & Kim, H. R. (2021, Apr 7). Activation of matrix metalloproteinases and FoxO3a in HaCaT keratinocytes by radiofrequency electromagnetic field exposure. *Sci Rep*, 11(1), 7680. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87263-2>
- Kim, J. H., Lee, J. K., Kim, H. G., Kim, K. B., & Kim, H. R. (2019, May 1). Possible Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure on Central Nerve System. *Biomol Ther (Seoul)*, 27(3), 265-275. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2018.152>
- Kirson, E. D., Schneiderman, R. S., Dbalý, V., Tovaryš, F., Vymazal, J., Itzhaki, A., Mordechovich, D., Gurvich, Z., Shmueli, E., & Goldsher, D. (2009). Chemotherapeutic treatment efficacy and sensitivity are increased by adjuvant alternating electric fields (TTFields). *BMC medical physics*, 9(1), 1-13.
- Kıvrak, E. G., Yurt, K. K., Kaplan, A. A., Alkan, I., & Altun, G. (2017). Effects of electromagnetic fields exposure on the antioxidant defense system. *Journal of microscopy and ultrastructure*, 5(4), 167-176.
- Kiyatkin, E. A., & Sharma, H. S. (2009). Permeability of the blood-brain barrier depends on brain temperature. *Neuroscience*, 161(3), 926-939.
- Kowall, B., Breckenkamp, J., Blettner, M., Schlehofer, B., Schüz, J., & Berg-Beckhoff, G. (2012). Determinants and stability over time of perception of health risks related to mobile phone base stations. *International journal of public health*, 57(4), 735-743.
- Lai, H. (2019). Exposure to Static and Extremely-Low Frequency Electromagnetic Fields and Cellular Free Radicals. *Electromagn Biol Med*, 38(4), 231-248. <https://doi.org/10.1080/15368378.2019.1656645>
- Leal, B. Z., Szilagyi, M., Prihoda, T. J., & Meltz, M. L. (2000). Primary DNA damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiation Research*, 153(4), 479-486.
- Lehrer, S., Green, S., & Stock, R. G. (2011, Feb). Association between number of cell phone contracts and brain tumor incidence in nineteen U.S. States. *J Neurooncol*, 101(3), 505-507. <https://doi.org/10.1007/s11060-010-0280-z>
- Lin, H. Y., & Lin, Y. J. (2011). In vitro effects of low frequency electromagnetic fields on osteoblast proliferation and

- maturation in an inflammatory environment. *Bioelectromagnetics*, 32(7), 552-560.
- Lin, J. C., Yuan, P. M., & Jung, D. T. (1998). Enhancement of anticancer drug delivery to the brain by microwave induced hyperthermia. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 47(2), 259-264.
- Lowden, A., Åkerstedt, T., Ingre, M., Wiholm, C., Hillert, L., Kuster, N., Nilsson, J. P., & Arnetz, B. (2011). Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. *Bioelectromagnetics*, 32(1), 4-14.
- Maes, A., Collier, M., Van Gorp, U., Vandoninck, S., & Verschaeve, L. (1997). Cytogenetic effects of 935.2-MHz (GSM) microwaves alone and in combination with mitomycin C. *Mutation Research/genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 393(1-2), 151-156.
- Mahaki, H., Tanzadehpanah, H., Jabarivasal, N., Sardanian, K., & Zamani, A. (2019). A review on the effects of extremely low frequency electromagnetic field (ELF-EMF) on cytokines of innate and adaptive immunity. *Electromagn Biol Med*, 38(1), 84-95. <https://doi.org/10.1080/15368378.2018.1545668>
- Malyapa, R. S., Ahern, E. W., Straube, W. L., Moros, E. G., Pickard, W. F., & Roti, J. L. R. (1997). Measurement of DNA damage after exposure to electromagnetic radiation in the cellular phone communication frequency band (835.62 and 847.74 MHz). *Radiation Research*, 148(6), 618-627.
- Marino, A. A., & Becker, R. O. (1977). Biological effects of extremely low frequency electric and magnetic fields: a review. *Physiol Chem Phys*, 9(2), 131-147.
- Martínez-Sámano, J., Torres-Duran, P. V., Juárez-Oropeza, M. A., Elias-Vinas, D., & Verdugo-Díaz, L. (2010). Effects of acute electromagnetic field exposure and movement restraint on antioxidant system in liver, heart, kidney and plasma of Wistar rats: a preliminary report. *International journal of radiation biology*, 86(12), 1088-1094.
- Mayer-Wagner, S., Passberger, A., Sievers, B., Aigner, J., Summer, B., Schiergens, T. S., Jansson, V., & Müller, P. E. (2011). Effects of low frequency electromagnetic fields on the chondrogenic differentiation of human mesenchymal stem cells. *Bioelectromagnetics*, 32(4), 283-290.
- McNamee, J. P., Bellier, P. V., Konkle, A. T., Thomas, R., Wasoontarajaroen, S., Lemay, E., & Gajda, G. B. (2016, Jun). Analysis of gene expression in mouse brain regions after exposure to 1.9 GHz radiofrequency fields. *Int J Radiat Biol*, 92(6), 338-350. <https://doi.org/10.3109/09553002.2016.1159353>
- Michelozzi, P., Capon, A., Kirchmayer, U., Forastiere, F., Biggeri, A., Barca, A., & Perucci, C. A. (2002). Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *American journal of epidemiology*, 155(12), 1096-1103.
- Misa-Agustiño, M. J., Leiro-Vidal, J. M., Gomez-Amoza, J. L., Jorge-Mora, M. T., Jorge-Barreiro, F. J., Salas-Sánchez, A. A., Ares-Pena, F. J., & López-Martín, E. (2015, Apr 15). EMF radiation at 2450 MHz triggers changes in the morphology and expression of heat shock proteins and glucocorticoid receptors in rat thymus. *Life Sci*, 127, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.01.027>
- Mohler, E., Frei, P., Braun-Fahrlander, C., Fröhlich, J., Neubauer, G., Rössli, M., & Team, Q. (2010). Effects of everyday radiofrequency electromagnetic-field exposure on sleep quality: a cross-sectional study. *Radiation Research*, 174(3), 347-356.
- Morgan, R. W., Kelsh, M. A., Zhao, K., Exuzides, K. A., Heringer, S., & Negrete, W. (2000). Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology*, 118-127.
- Morrissey, J. J. (2008). Possible mechanisms to explain biological effects from low level RF exposure (ie, wireless communication signals). *URSI GA 2008 in Chicago Proceedings*.
- Mortazavi, S. M., Daiee, E., Yazdi, A., Khiabani, K., Kavousi, A., Vazirinejad, R., Behnejad, B., Ghasemi, M., & Mood, M. B. (2008). Mercury release from dental amalgam restorations after magnetic resonance imaging and following mobile phone use.
- Nittby, H., Brun, A., Eberhardt, J., Malmgren, L., Persson, B. R., & Salford, L. G. (2009, Aug). Increased blood-brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM-900 mobile phone. *Pathophysiology*, 16(2-3), 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.01.001>
- Ntzouni, M., Stamatakis, A., Stylianopoulou, F., & Margaritis, L. (2011). Short-term memory in mice is affected by mobile phone radiation. *Pathophysiology*, 18(3), 193-199.
- Okudan, B., Keskin, A. Ü., Aydın, M. A., Cesur, G., Çömlekçi, S., & Süslü, H. (2006). DEXA analysis on the bones of rats exposed in utero and neonatally to static and 50 Hz electric fields. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 27(7), 589-592.
- Oskouei, K., Khodahemmati, S., XiaoJin, S., Rafiee, S., Gao, J., & Wang, M. (2022). Cell Biological Effects of Long-term Exposure to Electromagnetic Field of Simulated Mobile Phones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*,
- Pacchierotti, F., Ardoino, L., Benassi, B., Consales, C., Cordelli, E., Eleuteri, P., Marino, C., Sciortino, M., Brinkworth, M. H., Chen, G., McNamee, J. P., Wood, A. W., Hooijmans, C. R., & de Vries, R. B. M. (2021, Dec). Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field (RF-EMF) exposure on male fertility and pregnancy and birth outcomes: Protocols for a systematic review of experimental studies in non-human mammals and in human sperm exposed in vitro. *Environ Int*, 157, 106806. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106806>
- Panagopoulos, D. J., & Margaritis, L. H. (2010). The effect of exposure duration on the biological activity of mobile telephony radiation. *Mutation Research/genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 699(1-2), 17-22.
- Pareja-Peña, F., Burgos-Molina, A. M., Sendra-Portero, F., & Ruiz-Gómez, M. J. (2022, Jan). Evidences of the (400 MHz - 3 GHz) radiofrequency electromagnetic field influence on brain tumor induction. *Int J Environ Health Res*, 32(1), 121-130. <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1738352>
- Pawlak, K., Sechman, A., Niecarz, Z., & Wojtysiak, D. (2013, Sep). Effect of weak electromagnetic field on cardiac work, concentration of thyroid hormones and blood aminotransferase level in the chick embryo. *Acta Vet Hung*, 61(3), 383-392. <https://doi.org/10.1556/AVet.2013.014>

- Perrin, A., & Souques, M. (2021). *Champs électromagnétiques, environnement et santé*. EDP sciences.
- Pesce, M., Patruno, A., Speranza, L., & Reale, M. (2013, Mar). Extremely low frequency electromagnetic field and wound healing: implication of cytokines as biological mediators. *Eur Cytokine Netw*, 24(1), 1-10. <https://doi.org/10.1684/ecn.2013.0332>
- Riancho, J., Sanchez de la Torre, J. R., Paz-Fajardo, L., Limia, C., Santurtun, A., Cifra, M., Kourtidis, K., & Fdez-Arroyabe, P. (2021, Jan). The role of magnetic fields in neurodegenerative diseases. *Int J Biometeorol*, 65(1), 107-117. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01896-y>
- Romeo, S., Zeni, O., Scarfi, M. R., Poeta, L., Lioi, M. B., & Sannino, A. (2022, Feb 19). Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and Apoptosis: A Scoping Review of In Vitro Studies on Mammalian Cells. *Int J Mol Sci*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/ijms23042322>
- Roosli, M. (2014). *Epidemiology of electromagnetic fields*. CRC press.
- Sakurai, T., Kiyokawa, T., Narita, E., Suzuki, Y., Taki, M., & Miyakoshi, J. (2011). Analysis of gene expression in a human-derived glial cell line exposed to 2.45 GHz continuous radiofrequency electromagnetic fields. *J Radiat Res*, 52(2), 185-192. <https://doi.org/10.1269/jrr.10116>
- Salford, L. G., Nittby, H., Brun, A., Grafström, G., Malmgren, L., Sommarin, M., Eberhardt, J., Widegren, B., & Persson, B. R. (2008). The mammalian brain in the electromagnetic fields designed by man with special reference to blood-brain barrier function, neuronal damage and possible physical mechanisms. *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 173, 283-309.
- Sato, Y., Akiba, S., Kubo, O., & Yamaguchi, N. (2011, Feb). A case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics*, 32(2), 85-93. <https://doi.org/10.1002/bem.20616>
- Schuermann, D., & Mevissen, M. (2021, Apr 6). Manmade Electromagnetic Fields and Oxidative Stress-Biological Effects and Consequences for Health. *Int J Mol Sci*, 22(7). <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>
- Schüz, J., Elliott, P., Auvinen, A., Kromhout, H., Poulsen, A. H., Johansen, C., Olsen, J. H., Hillert, L., Feychting, M., & Fremling, K. (2011). An international prospective cohort study of mobile phone users and health (Cosmos): design considerations and enrolment. *Cancer Epidemiology*, 35(1), 37-43.
- Segarra, M., Aburto, M. R., & Acker-Palmer, A. (2021). Blood-brain barrier dynamics to maintain brain homeostasis. *Trends in Neurosciences*.
- Sharma, V. P., & Kumar, N. R. (2010). Changes in honeybee behaviour and biology under the influence of cellphone radiations. *Current Science(Bangalore)*, 98(10), 1376-1378.
- Singh, N., & Jindal, T. (2022). Electromagnetic Field Mobile Phone Radiation Toxicity. In *New Frontiers in Environmental Toxicology* (pp. 1-7). Springer.
- Stam, R., & Yamaguchi-Sekino, S. (2018, Apr 7). Occupational exposure to electromagnetic fields from medical sources. *Ind Health*, 56(2), 96-105. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2017-0112>
- Tenorio, B. M., Jimenez, G. C., de Morais, R. N., Peixoto, C. A., de Albuquerque Nogueira, R., & da Silva, V. A. (2012). Evaluation of testicular degeneration induced by low-frequency electromagnetic fields. *Journal of Applied Toxicology*, 32(3), 210-218.
- Tice, R. R., Hook, G. G., Donner, M., McRee, D. I., & Guy, A. W. (2002). Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, the Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, the European Bioelectromagnetics Association*, 23(2), 113-126.
- Trivino Pardo, J. C., Grimaldi, S., Taranta, M., Naldi, I., & Cinti, C. (2012, Mar). Microwave electromagnetic field regulates gene expression in T-lymphoblastoid leukemia CCRF-CEM cell line exposed to 900 MHz. *Electromagn Biol Med*, 31(1), 1-18. <https://doi.org/10.3109/15368378.2011.596251>
- van Wel, L., Liorni, I., Huss, A., Thielens, A., Wiart, J., Joseph, W., Rössli, M., Foerster, M., Massardier-Pilonchery, A., Capstick, M., Cardis, E., & Vermeulen, R. (2021, Nov). Radio-frequency electromagnetic field exposure and contribution of sources in the general population: an organ-specific integrative exposure assessment. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 31(6), 999-1007. <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00287-8>
- Wang, Z., Fei, Y., Liu, H., Zheng, S., Ding, Z., Jin, W., Pan, Y., Chen, Z., Wang, L., Chen, G., Xu, Z., Zhu, Y., & Yu, Y. (2016, Jan). Effects of electromagnetic fields exposure on plasma hormonal and inflammatory pathway biomarkers in male workers of a power plant. *Int Arch Occup Environ Health*, 89(1), 33-42. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1049-7>
- Wertheimer, N., & Leeper, E. (1979). Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American journal of epidemiology*, 109(3), 273-284.
- Xu, L. S., Meng, M. Q., & Li, B. P. (2009). Effects of dielectric values of human body on Specific Absorption Rate (SAR) following 800 MHz radio frequency exposure to ingestible wireless device. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2009, 5060-5063. <https://doi.org/10.1109/iembs.2009.5334263>
- Yadollahpour, A., & Jalilifar, M. (2014). Electromagnetic fields in the treatment of wound: A review of current techniques and future perspective. *J pure appl microbio*, 8(4), 2863-2877.
- Yoon, H. E., Lee, J. S., Myung, S. H., & Lee, Y. S. (2014, Apr). Increased γ -H2AX by exposure to a 60-Hz magnetic fields combined with ionizing radiation, but not hydrogen peroxide, in non-tumorigenic human cell lines. *Int J Radiat Biol*, 90(4), 291-298. <https://doi.org/10.3109/09553002.2014.887866>
- Zaini, H. G. (2016). Adverse Effect of Electromagnetic Fields from Power Transmission Lines (A Review). *International Journal of Control, Automation and Systems*, 5(3).
- Zhang, D., Pan, X., Ohno, S., Osuga, T., Sawada, S., & Sato, K. (2011). No effects of pulsed electromagnetic fields on expression of cell adhesion molecules (integrin, CD44) and matrix metalloproteinase-2/9 in osteosarcoma cell lines. *Bioelectromagnetics*, 32(6), 463-473.