

Elektromanyetik Kirliliğin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri: Güncel Bulgular, Bilimsel Kanıtlar Ve Sağlık Politikalarına Yansımalar

Esra DAHARLI¹

Öz

Amaç: Elektromanyetik kirlilik (EMK), teknolojik gelişmelerle birlikte önemli bir çevresel sağlık sorunu olarak gündeme gelmiştir. Mobil telefonlar, Wi-Fi ağları ve baz istasyonları gibi cihazların yaydığı elektromanyetik alanlara (EMA) maruziyetin insan sağlığı üzerindeki etkileri, son yıllarda yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Bu derleme, iyonlaştırıcı olmayan EMA'nın sağlık üzerindeki etkilerini güncel bilimsel kanıtlar ışığında değerlendirmektedir.

Yöntem: Nörolojik etkiler, uyku bozuklukları, baş ağrısı, stres, dikkat sorunları gibi etkiler ile üreme sağlığı, çocuk gelişimi ve kanser riski üzerindeki olası etkiler ele alınmıştır. Ayrıca, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP) gibi uluslararası kurumların önerileri ile Türkiye'deki mevcut sağlık politikaları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Sonuçlar: Mevcut bilimsel veriler, elektromanyetik kirliliğin sağlık üzerindeki etkileri konusunda kesin bir yargıya varmak için yetersizdir.

Tartışma: EMK için ihtiyatlı yaklaşım ve koruyucu politikaların önemi sağlık politikalarının belirlenmesinde göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik alan, elektromanyetik kirlilik, insan sağlığı, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon, sağlık politikaları.

1. Uzman Doktor, Yakutiye İlçe Sağlık Müdürlüğü, Halk Sağlığı, e.c.daharli2012@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1387-2751>

Gönderim tarihi : 30/04/2025

Kabul tarihi : 10.06.2025

Atıfta Bulunmak İçin:

Daharlı E. (2025). Elektromanyetik Kirliliğin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri: Güncel Bulgular, Bilimsel Kanıtlar Ve Sağlık Politikalarına Yansımalar, Eurasian Journal of Health Technology Assessment, 9(1):28-39.

Effects Of Electromagnetic Pollution On Human Health: Current Findings, Scientific Evidence And Reflections On Health Policies

Esra DAHARLI¹

Abstract

Objective: Electromagnetic pollution (EMP) has become an important environmental health problem with the increase in technological developments. The effects of exposure to electromagnetic fields (EMF) emitted by devices such as mobile phones, Wi-Fi networks and base stations on human health have been intensively investigated in recent years. This review evaluates the effects of non-ionizing EMF on health in the light of current scientific evidence.

Method: Effects such as neurological effects, sleep disorders, headache, stress, attention problems, and possible effects on reproductive health, child development and cancer risk are discussed. In addition, recommendations from international institutions such as the World Health Organization (WHO) and International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) and current health policies in Türkiye are presented comparatively.

Conclusions: Current scientific data are insufficient to reach a definitive conclusion about the effects of electromagnetic pollution on health.

Discussion: The importance of a cautious approach and protective policies for EMF should be considered in determining health policies.

Keywords: Electromagnetic pollution, electromagnetic field, health policies, human health, non-ionizing radiation

1. Specialist Doctor, Yakutiye District Health Directorate, Public Health, e-mail: e.c.daharli2012@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1387-2751>

Received :30/04/2025

Accepted :10.06.2025

Cite This Paper:

Daharlı E. 2025, Effects Of Electromagnetic Pollution On Human Health: Current Findings, Scientific Evidence And Reflections On Health Policies, Eurasian Journal of Health Technology Assessment, 9(1):28-39.

1. Giriş

Elektromanyetik kirlilik (EMK), modern toplumların karşı karşıya kaldığı yeni nesil çevresel tehditlerden biri olarak giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Bu tür kirlilik, elektromanyetik alanların (EMA) doğal sınırların ötesinde, yapay kaynaklar tarafından üretilmesi sonucu ortaya çıkmakta ve insan sağlığı üzerinde potansiyel biyolojik etkiler oluşturabilmektedir (WHO, 2007). Özellikle mobil iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, Wi-Fi ağlarının yaygınlaşması, kablosuz cihazların artan kullanımı ve şehirleşmeye bağlı olarak baz istasyonlarının yoğunlaşması gibi faktörler, bireylerin elektromanyetik radyasyona sürekli ve kontrolsüz biçimde maruz kalmasına neden olmaktadır (Hardell ve Carlberg 2013).

Elektromanyetik alanlara düşük seviyede uzun süreli maruziyetin, biyolojik sistemler üzerinde olumsuz etkiler doğurabileceğine dair hipotezler, son yıllarda artan sayıda çalışmanın konusu olmuştur. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (International Agency for Research on Cancer (IARC), 2011 yılında radyo frekansı elektromanyetik alanlarını (RF-EMA) “muhtemelen kanserojen” (Grup 2B) olarak sınıflandırmıştır (IARC, 2011). Bu sınıflama, özellikle cep telefonları ve benzeri cihazlardan yayılan radyasyonun, glioma gibi beyin tümörleri ile potansiyel bir ilişki içerisinde olabileceği yönündeki bulgulara dayanmaktadır (IARC, 2011).

Bu derlemenin amacı, elektromanyetik alan kaynaklı kirliliğin çevresel ve biyolojik etkilerini güncel literatür ışığında değerlendirmek ve konuyla ilgili bilimsel belirsizlikleri ortaya koymaktır. Ayrıca, elektromanyetik kirliliğin olası sağlık risklerine karşı alınabilecek önlemler ve gelecekteki araştırma gereksinimleri tartışılmaktadır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Kısaltmalar

EMK	Elektromanyetik kirlilik
EMA	Elektromanyetik alanlar
RF-EMA	Radyo frekansı elektromanyetik alanlar

1.1. Elektromanyetik Alan Türleri ve Kaynakları

Elektromanyetik alanlar (EMA), elektrik ve manyetik bileşenleri içeren fiziksel alanlardır ve elektrik yüklerinin hareketiyle oluşur. Bu alanlar, farklı frekans aralıklarındaki elektromanyetik dalgaların çevreye yayılmasıyla oluşur. Elektromanyetik spektrum, frekans ve enerji düzeylerine bağlı olarak iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır (ICNIRP, 2020). Bu sınıflandırma, elektromanyetik alanların biyolojik dokular üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir.

1.1.1. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, elektromanyetik spektrumun düşük enerjili bölümünde yer alır ve atomları iyonlaştırmak için yeterli enerjiye sahip değildir. Bu radyasyon türü, çevresel elektromanyetik kirliliğin ana bileşeni olup, toplumun büyük kesimince günlük yaşamda sıklıkla maruz kalınan bir faktördür. Kaynakları arasında mobil telefonlar, baz istasyonları, Wi-Fi ağları, mikrodalga fırınlar, televizyon ve radyo vericileri, elektrikli ev aletleri ve yüksek gerilim hatları bulunmaktadır (Foster ve Repacholi, 2004).

Bu kapsamda özellikle radyo frekansı (RF) alanları, 100 kHz ile 300 GHz arasında yer almakta ve cep telefonları ile kablosuz iletişim sistemlerinin çalışmasında temel rol oynamaktadır. RF

maruziyetinin termal etkileri (vücut dokularında ısınma) iyi belgelenmiş olmakla birlikte, düşük düzeyde ve uzun süreli maruziyetin biyolojik sistemler üzerindeki etkileri halen bilimsel olarak tartışmalı bir konudur (Khurana vd., 2009). Avrupa Komisyonu'nun Bilimsel Görüşler Komitesi (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)), bu konuda 2015 yılında yayımladığı değerlendirme raporunda, mevcut epidemiyolojik ve laboratuvar bulgularının tutarsız olduğunu ve uzun dönemli sağlık etkilerinin daha ileri araştırmalara ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir (SCENIHR, 2015).

Ayrıca, elektromanyetik alanlara maruziyetin çocuklar gibi hassas gruplarda farklı etkiler yaratabileceğine dair çalışmalar bulunmaktadır. Çocukların gelişimsel süreçleri ve vücut dokularının absorpsiyon özellikleri, onları elektromanyetik dalgalara karşı daha duyarlı hale getirebilir (Kheifets vd., 2005).

1.1.2. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, elektromanyetik spektrumun yüksek frekanslı ve enerjili bölgesinde yer alır ve atomlardan elektron kopararak iyonlaşmaya neden olabilir. Bu tür radyasyon, başta X-ışınları ve gama ışınları olmak üzere tıbbi görüntüleme, radyoterapi ve nükleer enerji uygulamalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Yüksek enerjili yapısı nedeniyle DNA moleküllerinde hasara, genetik mutasyonlara ve dolayısıyla kanser riskinde artışa neden olabilmektedir (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), 2020).

Ancak elektromanyetik kirlilik bağlamında halk sağlığı açısından esas tartışma konusu, yaygınlık ve sürekli maruz kalma bakımından iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türleri olmaktadır. Çünkü bu tür radyasyona bireyler, farkında olmadan ve kontrolsüz biçimde maruz kalmaktadır. Maruziyet düzeyi ise kullanılan cihazların türüne, kullanım sıklığına, coğrafi yakınlığa, bireysel davranışlara ve fiziksel özelliklere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Teknolojik gelişmelerle birlikte elektromanyetik alan kaynaklarının sayısı ve yoğunluğu dramatik şekilde artmıştır. Bu artış, toplum genelinde EMA maruziyetinin kapsamını genişletmiş ve elektromanyetik kirliliği bir halk sağlığı sorunu haline getirmiştir. Bu bağlamda ICNIRP, WHO ve Avrupa Komisyonu gibi kuruluşlar tarafından belirlenen sınır değerler, kamu sağlığının korunması açısından önemli birer politika aracıdır (ICNIRP, 2020; SCENIHR, 2015).

Bununla birlikte, elektromanyetik kirliliğin sağlık üzerindeki etkilerine dair veriler hâlen çelişkilidir. Bazı araştırmalar, EMK'nin baş ağrısı, uykusuzluk, kronik yorgunluk, dikkat dağınıklığı, kalp ritim bozuklukları ve stres gibi nörolojik ve fizyolojik semptomlarla ilişkili olabileceğini öne sürmektedir (Sage, 2018; Röösli vd., 2010). Ancak bu ilişkilerin nedenselliği konusunda kesin bir sonuca varılamamıştır. Özellikle çocuklar, yaşlılar, kronik hastalığı olan bireyler gibi hassas grupların elektromanyetik alanlara karşı daha duyarlı olabileceği belirtilmektedir (Zothansiana, 2017).

2. Yöntem

Bu derlemede, elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkilerine ilişkin literatür, 1993–2024 yılları arasındaki bilimsel yayınları kapsayacak şekilde taranmıştır. Literatür taraması, PubMed, Scopus, Web of Science gibi önde gelen akademik veri tabanlarının yanı sıra Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyon Koruma

Komisyonu (ICNIRP), Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) ve Avrupa Birliği Komisyonu gibi uluslararası kuruluşların yayımladığı resmi raporlar ve belgeleri de içerecek şekilde genişletilmiştir. Anahtar kelimeler olarak "electromagnetic fields", "electromagnetic pollution", "radiofrequency radiation", "health effects", "epidemiology", "public health policy", "oxidative stress", "fertility", "cancer risk" ve benzeri terimler kullanılmış; Boolean operatörleri (AND, OR) ile çeşitli kombinasyonlar oluşturularak ilgili yayınlara ulaşılmıştır. Seçim kriteri olarak, insan sağlığına yönelik etkileri inceleyen hakemli dergilerde yayımlanmış deneysel, epidemiyolojik ve gözlemsel çalışmalara, ayrıca konuya dair kapsamlı politika belgelerine öncelik verilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Sağlık Üzerine Etkiler

Elektromanyetik kirliliğin sağlık üzerindeki etkileri üzerine yapılan araştırmalar, farklı türde sağlık sorunlarının elektromanyetik alanlara maruz kalma ile ilişkilendirildiğini göstermektedir. Bu etkiler, biyolojik sistemlerdeki değişiklikler, genetik hasar, nörolojik bozukluklar ve diğer fizyolojik etkileri kapsar.

3.1.1. Uyku Bozuklukları ve Yorgunluk

Birçok çalışma, elektromanyetik alanlara maruz kalmanın uyku düzeni üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermektedir. Mobil telefonu radyasyonu ve Wi-Fi gibi düşük frekanslı elektromanyetik radyasyonlar, melatonin üretimini engelleyerek uyku kalitesini bozabilir. Bazı çalışmalar mobil telefon radyasyonuna uzun süre maruz kalan bireylerde endojen melatonin düzeylerinde azalmaya ve buna bağlı olarak uyku başlangıcında gecikmeye ve uyku süresinde azalmaya yol açabileceği bildirilmiştir (Altpeter vd., 2006, Thomée, 2018). Yine benzer çalışmalarda cep telefonu kullanımının gece uykusunu bozabileceği öne sürülmüştür (Khurana, 2019). Uyku süresi ile ilgili çalışmalarda ise elektromanyetik alanlara maruziyetin özellikle uyku süresini kısaltabileceğini ve bu durumun kronik yorgunluğa yol açabileceğini belirtmektedir (Adey, 1993; Consales, 2012). Ancak bu alandaki bulgular tutarlılık göstermemektedir. Bazı çalışmalar, EMA maruziyetinin melatonin sekresyonu üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını veya kısa süreli maruziyetin biyolojik anlamda önemli sonuçlara yol açmadığını bildirmiştir (Jammoul vd., 2022).

3.1.2. Bağışıklık Sistemi ve Genetik Etkiler

Elektromanyetik alanların bağışıklık sistemi üzerinde etkileri de önemli bir sağlık konusu olmuştur. Çeşitli çalışmalarda elektromanyetik radyasyonun bağışıklık sistemini bozarak inflamasyon seviyelerini arttırdığı ve uzun süreli maruziyetin bağışıklık sisteminin genel işlevini zayıflatabileceği belirtilmiştir (Bonhomme-Faivre, 2018). Ayrıca elektromanyetik alanların, hücre içi sinyal yollarını değiştirerek bağışıklık sisteminin zayıflamasına yol açabileceğini göstermektedir (Zhao vd., 2012). Elektromanyetik kirliliğin genetik materyal üzerinde hasar oluşturabileceğini ve bu hasarın zamanla kanser gibi genetik bozukluklara yol açabileceğini öne süren çalışmalar da mevcuttur (Stam, 2010).

3.1.3. Sinir Sistemi ve Nörolojik Etkiler

Elektromanyetik kirliliğin nörolojik etkileri üzerine yapılan birçok çalışma, bu kirliliğe maruz kalan bireylerde baş ağrısı, depresyon, anksiyete, baş dönmesi ve hafıza sorunları gibi nörolojik bozuklukların arttığını göstermektedir (Stam, 2010). Elektromanyetik alanların beyin hücrelerinde yapısal değişikliklere yol açabileceğini ve bu değişikliklerin uzun vadede nörolojik hastalıklara yol açabileceği belirtilmiştir (Salford vd., 2003). Bunu destekler nitelikte bir çalışmada elektromanyetik radyasyonun beyin fonksiyonlarını bozabileceğini ve bu bozulmaların depresyon ve anksiyete gibi ruhsal hastalıkları tetikleyebileceğini ortaya konmuştur (Nittby vd., 2008). Bazı araştırmalarda da elektromanyetik alanların, zihinsel sağlık üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ve bu etkilerin özellikle hassas bireylerde daha belirgin olduğunu vurgulanmaktadır (Kwon ve Hämäläinen, 2011). Sinir sistemini etkileyen radyasyonun özellikle kan beyin bariyerini bozucu etkisi ile nörolojik semptomlar oluşturduğu çalışmalarda ön plana çıkmaktadır.

3.1.4. Üreme Sağlığı ve Fertilite

Elektromanyetik kirliliğin (EMK) üreme sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri, son yıllarda artan bir ilgiyle araştırılmaktadır. Özellikle mobil telefonların yaydığı radyo frekansı elektromanyetik radyasyonun (RF-EMR) erkek fertilitesi üzerindeki olası olumsuz etkileri, çeşitli epidemiyolojik ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir (Erogul vd., 2006). Mobil telefon kullanımının sperm motilitesi ve canlılığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olabileceği hem in vitro hem de in vivo çalışmalardan elde edilen verileri bir araya getirerek, RF-EMR maruziyetinin sperm kalitesini düşürebileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Ancak bu ilişkiler genellikle korelasyonel düzeydedir; neden-sonuç ilişkisini kesin olarak ortaya koyan uzun dönemli ve iyi kontrollü insan çalışmaları henüz sınırlıdır. Benzer şekilde, yapılan bir diğer sistematik derleme ve meta-analiz, mobil telefon kullanımının sperm parametreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Bazı çalışmalarda, RF-EMR maruziyetinin sperm motilitesi ve canlılığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini, ancak sperm konsantrasyonu üzerindeki etkilerin daha belirsiz olduğunu belirtilmektedir (Chu vd., 2023). Çalışmaların metodolojik farklılıkları, örneklem büyüklükleri ve maruz kalma düzeylerindeki değişkenlik bu sonuçların genellenebilirliğini sınırlamaktadır. Benzer çalışmalarda, insan spermatozoalarının RF-EMR'ye maruz bırakılması sonucunda reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretiminin arttığını ve DNA hasarının meydana geldiğini göstermiştir. Bu bulgular, RF-EMR'nin sperm DNA bütünlüğü üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini düşündürmektedir (Gorpinchenko vd., 2014). Ancak bu sonuçlar, hücre kültürü koşullarında elde edildiğinden doğrudan klinik karşılıklarının yorumlanmasında dikkatli olunmalıdır.

Sonuç olarak, mevcut literatür, elektromanyetik kirliliğin özellikle erkek üreme sağlığı üzerinde potansiyel olumsuz etkileri olabileceğini göstermektedir. Ancak, bu etkilerin mekanizmalarını netleştirmek ve olası uzun vadeli sonuçları değerlendirebilmek için, daha geniş örneklemlili, uzunlamasına izlemli ve kontrollü deneysel çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Kadın üreme sağlığı açısından ise elektromanyetik alanlara maruz kalmanın etkileri üzerine yapılan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, bazı araştırmalar RF-EMR'nin over rezervi, foliküler gelişim ve hormonal regülasyon üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini öne sürmektedir. Hamilelik sürecinde EMK'ya maruz kalmanın potansiyel etkileri üzerine yapılan çalışmalar ise daha sınırlı olmakla birlikte, bazı araştırmalar elektromanyetik alanlara maruziyetin düşük yapma riskini artırabileceğini ve fetüs üzerinde genetik hasara yol açabileceğini öne sürmektedir. Ancak, bu alandaki bulgular henüz netlik kazanmamış olup genellikle gözlemsel

tasarımlar tercih edilmiş, nedensellik kurulmasına olanak tanıyan deneysel kanıtlar yetersiz bulunmuştur ve bu sonuçlara bağlı olarak daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Li vd., 2017). Hayvan modellerinde yapılan deneysel çalışmalar, yüksek düzeyde elektromanyetik radyasyonun over dokusunda oksidatif stres düzeylerini artırarak folikül gelişimini olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir (Kumar vd., 2011). Bununla birlikte, insanlarda yapılan çalışmalar henüz yetersizdir ve çoğunlukla gözlemsel niteliktedir.

Bazı epidemiyolojik bulgular, özellikle hamilelik döneminde yüksek frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalmanın düşük, erken doğum ve intrauterin gelişme geriliği risklerini artırabileceğini öne sürmektedir. Ancak, bu çalışmalarda da maruz kalma ölçümlerindeki belirsizlikler, olası karıştırıcı değişkenlerin kontrol altına alınamaması ve nedensellik ilişkisini kurmaya yeterli deneysel verilerin bulunmaması, elde edilen sonuçların yorumlanmasını güçleştirmektedir (Divan vd., 2011)

3.1.5. Kanser Riski

Elektromanyetik kirliliğin kanser riski üzerindeki etkisi, literatürde halen tartışmalı bir konudur. Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP), 2010 yılında yayımladığı raporda elektromanyetik alanların kanserojen etkilerine dair kesin bir kanıt bulunmadığını belirtmiştir. Ancak sonraki yıllarda yapılan bazı meta-analizler, özellikle uzun süreli cep telefonu kullanımının glioma ve meningioma gibi beyin tümörlerinin riskini artırabileceğine işaret etmektedir (Hardell ve Carlberg, 2013). Benzer şekilde, Repacholi ve arkadaşları (2017), elektromanyetik alanların hücresel biyolojiyi etkileyerek kanser gelişimine katkıda bulunabilecek değişiklikler oluşturabileceğini öne sürmüştür. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) da 2011 yılında radyo frekanslı elektromanyetik alanlarını “insanlar için muhtemelen kanserojen” olarak sınıflandırmıştır (Grup 2B) (ICNIRP, 2011). Öte yandan Carpenter (2019), özellikle kaynağına göre farklılık gösteren çalışmalarda, aşırı düşük frekanslı manyetik alanlara maruziyetin hem çocuklarda hem de yetişkinlerde lösemi, meme ve beyin kanserleri gibi çeşitli kanser türleriyle ilişkili olduğunu bildirmiştir. Kamu veya bağımsız kaynaklı çalışmalar genellikle anlamlı risk artışlarını ortaya koyarken, sanayi destekli araştırmalar bu ilişkiyi sıklıkla göz ardı etmektedir. Bu durum, elektromanyetik kirlilik ve kanser ilişkisine dair bilimsel değerlendirmelerde çıkar çatışmalarının da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

3.2. Mevcut Sağlık Politikaları ve Düzenlemeler

Elektromanyetik kirliliğin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini yönetmek amacıyla çeşitli sağlık politikaları ve düzenlemeler geliştirilmiştir. Bu düzenlemeler, elektromanyetik alanların belirli seviyelerde sınırlandırılmasını ve halkı bu konuda bilinçlendirmeyi amaçlamaktadır.

3.2.1. Uluslararası Düzeyde Düzenlemeler

Uluslararası düzeyde, elektromanyetik alanlara maruziyetin sınırlandırılması konusunda en kapsamlı kılavuzlar, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) tarafından yayımlanmaktadır. ICNIRP'nin 2020 yılında güncellediği kılavuz, 100 kHz ile 300 GHz frekans aralığındaki radyo frekanslı elektromanyetik alanlara maruziyet için güvenli sınırlar belirlemiştir. Bu kılavuz, 5G teknolojileri, Wi-Fi, Bluetooth, mobil telefonlar ve baz istasyonları gibi birçok uygulamayı da kapsamaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise elektromanyetik alanların sağlık üzerindeki etkileri konusunda bilimsel araştırmaları izlemekte ve ülkelerin bu konuda politika geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. WHO, elektromanyetik alanlara maruziyetin potansiyel sağlık etkileri konusunda kamuoyunu bilgilendirmekte ve risk değerlendirmeleri yapmaktadır. WHO, elektromanyetik alanların kanser riski oluşturduğuna dair kesin bir kanıt bulunmadığını belirtse de uzun süreli maruziyetten kaçınılması gerektiğini önermektedir.

3.2.2. Avrupa Birliği Politikaları

Avrupa Birliği (AB), elektromanyetik alanlara maruziyet konusunda hem genel halkı hem de çalışanları korumaya yönelik düzenlemeler geliştirmiştir. 1999 yılında yayımlanan 1999/519/EC sayılı Konsey Tavsiye Kararı, genel halkın 0 Hz ile 300 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik alanlara maruziyetini sınırlamayı amaçlamaktadır (Council of the European Union, 1999). Bu tavsiye kararı, ICNIRP'nin 1998 yılına ait kılavuzlarına dayanmaktadır.

Ayrıca, 2013/35/EU sayılı Direktif, çalışanların elektromanyetik alanlara maruziyetine ilişkin asgari sağlık ve güvenlik gerekliliklerini belirlemektedir. Bu direktif, 0 Hz ile 300 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik alanlara maruziyetin sınırlandırılmasını ve işverenlerin çalışanlarını bu konuda bilgilendirmesini zorunlu kılmaktadır. Direktif, kısa vadeli biyofiziksel etkileri kapsamakta olup, uzun vadeli etkileri kapsamamaktadır (European Parliament and Council of the European Union, 2013).

3.2.3. Birleşik Krallık Uygulamaları

Birleşik Krallık'ta, Çalışanların Elektromanyetik Alanlara Maruziyetinin Kontrolü Yönetmeliği (Control of Electromagnetic Fields at Work Regulations, (CEMFAW), 2016), çalışanların elektromanyetik alanlara maruziyetini sınırlamayı amaçlamaktadır. Bu düzenleme, işverenlerin maruziyet seviyelerini değerlendirmesini, sınır değerlerin aşılması durumunda önlemler almasını ve çalışanları bilgilendirmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, düzenleme, elektromanyetik alanların duyuşal ve sağlık etkilerini tanımlamakta ve maruziyet sınırlarını belirlemektedir.

3.2.4. Amerika Birleşik Devletleri ve Eyalet Politikaları

Amerika Birleşik Devletleri'nde, elektromanyetik alanlara maruziyet konusunda federal düzeyde belirli düzenlemeler bulunmakla birlikte, bazı eyaletler kendi politikalarını geliştirmiştir. Örneğin, Maryland Eyaleti'nin Çocukların Çevresel Sağlığı ve Korunması Danışma Konseyi (Children's Environmental Health and Protection Advisory Council (CEHPAC)), çocukların elektromanyetik alanlara maruziyetini azaltmaya yönelik rehberler yayımlamıştır (Israel Barbara vd., 2005). Bu rehberlerde, Wi-Fi cihazlarının gece kapatılması, kablolu bağlantıların tercih edilmesi ve mobil cihazların kullanım süresinin sınırlandırılması gibi öneriler yer almaktadır.

3.2.5. Türkiye'deki Düzenlemeler

Türkiye'de elektromanyetik alanlara maruziyetin düzenlenmesi ve denetlenmesi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından yürütülmektedir. BTK, elektromanyetik alan şiddetlerini ölçmek ve denetlemek amacıyla özel bir birim oluşturmuş olup, ICNIRP'nin en güncel kılavuzlarını takip etmektedir. Ayrıca, Türkiye'de elektromanyetik alanlara maruziyet sınırları, ICNIRP tarafından belirlenen limitlerin dörtte biri olarak uygulanmaktadır.

Bu yaklaşım, halk sağlığını koruma amacıyla daha sıkı maruziyet sınırları belirlemektedir (Gürkan, 2016).

Bu düzenlemeler ve politikalar, elektromanyetik kirliliğin insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerini azaltmayı ve toplum sağlığını korumayı amaçlamaktadır. Ancak, teknolojinin hızla gelişmesi ve yeni uygulamaların ortaya çıkmasıyla birlikte, bu politikaların sürekli olarak güncellenmesi ve bilimsel verilerle desteklenmesi gerekmektedir.

4. Tartışma

Elektromanyetik kirlilik (EMK), modern teknolojik toplumun kaçınılmaz bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada ortaya konan literatür, EMK'nın potansiyel sağlık etkilerinin çeşitli biyolojik sistemleri etkileyebileceğini, özellikle sinir sistemi, bağışıklık sistemi, üreme sağlığı ve kanser riski açısından önemli sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Ancak, bu bulguların çoğunun nedensellikten ziyade korelasyona dayandığı ve bilimsel kesinliğin halen tartışmalı olduğu unutulmamalıdır.

Uyku bozuklukları ve kronik yorgunluk üzerine yapılan araştırmalar, elektromanyetik alanların melatonin düzeylerini baskılayarak uyku kalitesini bozabileceğini ileri sürmektedir. Ancak bu etkiyi doğrudan gösteren klinik çalışmaların sınırlılığı, söz konusu ilişkiyi destekleyen verilerin ihtiyatla yorumlanmasını gerektirmektedir. Aynı şekilde bağışıklık sisteminde ve genetik materyalde oluşabilecek hasarlara dair bulgular da hücresel düzeyde bazı değişimleri gösterse de bu değişimlerin insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkileri henüz netlik kazanmamıştır.

Sinir sistemi üzerindeki etkiler, özellikle elektromanyetik alanların kan-beyin bariyerini geçme potansiyeli ve nörolojik bozukluklarla ilişkilendirilmesi açısından dikkat çekicidir. Depresyon, anksiyete ve hafıza sorunları gibi belirtilerin EMK maruziyetiyle ilişkisi bazı bireylerde gözlemlenmiş olsa da bu bulgular genelleştirilebilir nitelikte değildir. Hassas bireylerde daha belirgin etkilere rastlanması, bireysel duyarlılığın da göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Üreme sağlığı konusundaki bulgular ise daha bütünlüklü bir resim sunmaktadır. Özellikle erkek fertilitesi üzerine yapılan çalışmalar, RF-EMR maruziyetinin sperm kalitesini düşürebileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, çalışmalar arasında metodolojik farklılıklar ve örneklem çeşitliliği, bu bulguların genellenebilirliğini sınırlamaktadır. Kadın üreme sağlığı ve gebelik üzerindeki etkiler ise henüz yeterince araştırılmamış ve veriler oldukça sınırlıdır.

Kanser riskiyle ilgili değerlendirmelerde ise bilimsel topluluk ikiye bölünmüş görünmektedir. Bazı çalışmalar EMK'nın glioma gibi tümör türleriyle ilişkisini öne sürerken, ICNIRP ve WHO gibi otoriteler bu ilişkinin yeterince kanıtlanmadığını belirtmektedir. Bununla birlikte, IARC tarafından RF-EMR'nin "muhtemelen kanserojen" olarak sınıflandırılması, ihtiyatlı olunması gerektiğini göstermektedir.

Politika ve düzenlemeler açısından değerlendirildiğinde, ICNIRP ve WHO gibi kuruluşların yayımladığı rehberler, küresel düzeyde bilimsel verilere dayalı sınırlar belirleme çabası içindedir. Ancak bu düzenlemelerin çoğu kısa vadeli etkiler üzerine odaklanmış olup, uzun vadeli ve kronik maruziyetlerin etkileri hâlâ büyük ölçüde belirsizdir. Avrupa Birliği, ABD ve Türkiye gibi bölgelerde benimsenen farklı yaklaşım düzeyleri, ülkeler arasında farklılık gösteren önleyici politikaların gelişmesine yol açmaktadır. Türkiye'nin daha sıkı sınırlar belirlemesi, ihtiyatlılık ilkesinin bir örneği olarak değerlendirilebilir.

5. Sonuç

Sonuç olarak, elektromanyetik kirliliğin halk sağlığı üzerindeki etkileri konusunda farkındalığın artırılması, risklerin azaltılması ve bilimsel temelli sağlık politikalarının oluşturulması, bu alandaki olası zararların önlenmesinde temel stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Gelecekteki çalışmaların, farklı frekans aralıklarında ve çeşitli maruziyet sürelerinde gerçekleştirilecek kontrollü deneylere, çevresel izleme sistemlerinin geliştirilmesine ve daha sağlam epidemiyolojik tasarımlara odaklanması, elektromanyetik kirliliğin potansiyel etkilerinin daha sağlıklı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

1. Adey, W. R. (1993). Biological effects of electromagnetic fields. *Journal of Cellular Biochemistry*, 51(4), 410–416. <https://doi.org/10.1002/jcb.240510402>
2. Altpeter, E. S., Rösli, M., Battaglia, M., Pfluger, D., Minder, C. E., & Abelin, T. (2006). Effect of short-wave (6–22 MHz) magnetic fields on sleep quality and melatonin cycle in humans: The Schwarzenburg shut-down study. *Bioelectromagnetics*, 27(2), 142–150. <https://doi.org/10.1002/bem.20183>
3. Bonhomme-Faivre, L., Marion, S., Forestier, F., Santini, R., & Auclair, H. (2003). Effects of electromagnetic fields on the immune systems of occupationally exposed humans and mice. *Archives of Environmental Health*, 58(11), 712–717. <https://doi.org/10.3200/AEOH.58.11.712-717>
4. Carpenter, D. O. (2019). Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: How source of funding affects results. *Environmental Research*, 178, 108688. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108688>
5. Chu, K. Y., Khodamoradi, K., Blachman-Braun, R., Dullea, A., Bidhan, J., Campbell, K., Zizzo, J., Israeli, J., Kim, M., Petrella, F., Ibrahim, E., & Ramasamy, R. (2023). Effect of radiofrequency electromagnetic radiation emitted by modern cellphones on sperm motility and viability: An in vitro study. *European Urology Focus*, 9(1), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.euf.2022.08.007>
6. Consales, C., Merla, C., Marino, C., & Benassi, B. (2012). Electromagnetic fields, oxidative stress, and neurodegeneration. *International Journal of Cell Biology*, 2012, 683897. <https://doi.org/10.1155/2012/683897>
7. Council of the European Union. (1999). *Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC). Official Journal of the European Communities*, L199, 59–70. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31999H0519>
8. Divan, H. A., Kheifets, L., Obel, C., & Olsen, J. (2008). Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiology*, 19(4), 523–529. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318175dd47>
9. Erogul, O., Oztas, E., Yildirim, I., Kir, T., Aydur, E., Komesli, G., Irkilata, H. C., Irmak, M. K., & Peker, A. F. (2006). Effects of electromagnetic radiation from a cellular phone on human sperm motility: An in vitro study. *Archives of Medical Research*, 37(7), 840–843. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2006.05.003>
10. European Parliament and Council of the European Union. (2013). *Directive 2013/35/EU of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC). Official Journal of the European Union*, L 179, 1–21. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013L0035>
11. Foster KR, Repacholi MH. Biological effects of radiofrequency fields: does modulation matter? *Radiat Res*. 2004 Aug;162(2):219-25. doi: 10.1667/r3191. PMID: 15387150.
12. Gürkan, M. F. (2016). Düzenleyici ve Denetleyici Kurum Olarak Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu BTK. *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 4(2), 333-356. <https://doi.org/10.21492/inuhfd.239846>

13. Gorpichenko, I., Nikitin, O., Banyra, O., & Shulyak, A. (2014). The influence of direct mobile phone radiation on sperm quality. *Central European Journal of Urology*, 67(1), 65–71. <https://doi.org/10.5173/cej.2014.01.art14>
14. Hardell, L., & Carlberg, M. (2013). Using the Hill viewpoints from 1965 for evaluating strengths of evidence of the risk for brain tumors associated with use of mobile and cordless phones. *Reviews on Environmental Health*, 28(2–3), 97–106. <https://doi.org/10.1515/reveh-2013-0006>
15. International Agency for Research on Cancer. (2011). IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans (Group 2B). https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf
16. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2010). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Physics*, 99(6), 818–836. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>
17. Israel Barbara, A., Parker Edith, A., Rowe, Z., Salvatore, A., Minkler, M., López, J., . . . Halstead, S. (2005). Community-Based Participatory Research: Lessons Learned from the Centers for Children’s Environmental Health and Disease Prevention Research. *Environmental Health Perspectives*, 113(10), 1463–1471. doi:10.1289/ehp.7675
18. Jammoul, M., & Lawand, N. (2022). Melatonin: A potential shield against electromagnetic waves. *Current Neuropsychopharmacology*, 20(3), 648–660. <https://doi.org/10.2174/1570159X19666210609163946>
19. 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. <https://doi.org/10.1016/j.surneu.2009.01.019>
20. Kheifets L, Repacholi M, Saunders R, van Deventer E. The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics*. 2005 Aug;116(2):e303-13. doi: 10.1542/peds.2004-2541. PMID: 16061584.
21. Kumar, S., Kesari, K. K., & Behari, J. (2011). Influence of microwave exposure on fertility of male rats. *Fertility and Sterility*, 95(4), 1500–1502. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2010.04.078>
22. Kwon, M. S., & Hämäläinen, H. (2011). Effects of mobile phone electromagnetic fields: Critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. *Bioelectromagnetics*, 32(4), 253–272. <https://doi.org/10.1002/bem.20637>
23. Li, D. K., Chen, H., Ferber, J. R., Odouli, R., & Quesenberry, C. (2017). Exposure to magnetic field non-ionizing radiation and the risk of miscarriage: A prospective cohort study. *Scientific Reports*, 7, 17541. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16623-8>
24. Nittby, H., Grafström, G., Eberhardt, J. L., Malmgren, L., Brun, A., Persson, B. R., & Salford, L. G. (2008). Radiofrequency and extremely low-frequency electromagnetic field effects on the blood–brain barrier. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 27(2), 103–126. <https://doi.org/10.1080/15368370802072148>
25. Repacholi, M. H. (1997). Radiofrequency field exposure and cancer: What do the laboratory studies suggest? *Environmental Health Perspectives*, 105(Suppl 6), 1565–1568. <https://doi.org/10.1289/ehp.97105s61565>
26. Rösli, M., Frei, P., Mohler, E., & Hug, K. (2010). Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Bulletin of the World Health Organization*, 88(12), 887–896F. <https://doi.org/10.2471/BLT.09.071852>
27. Sage, C., & Burgio, E. (2018). Electromagnetic fields, pulsed radiofrequency radiation, and epigenetics: How wireless technologies may affect childhood development. *Child Development*, 89(1), 129–136. <https://doi.org/10.1111/cdev.12824>

28. Salford, L. G., Brun, A. E., Eberhardt, J. L., Malmgren, L., & Persson, B. R. R. (2003). Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environmental Health Perspectives*, 111(7), 881–883. <https://doi.org/10.1289/ehp.6039>
29. Scientific Committee on Emerging Newly Identified Health Risks. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2015 Sep;36(6):480-4. doi: 10.1002/bem.21930. Epub 2015 Jul 16. PMID: 26179386.
30. Stam, R. (2010). Electromagnetic fields and the blood-brain barrier. *Brain Research Reviews*, 65(1), 80–97. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2010.06.001>
31. Thomée, S. (2018). Mobile phone use and mental health. A review of the research that takes a psychological perspective on exposure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12), 2692. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122692>
32. UK Government. (2016). *The Control of Electromagnetic Fields at Work Regulations 2016 (Statutory Instrument No. 588)*. <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2016/588>
33. World Health Organization. (2007). Electromagnetic fields and public health: Exposure to extremely low frequency fields. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/emf>
34. Zhao, J., Tian, Y., Nie, J., Xu, J., & Liu, D. (2012). Red light and the sleep quality and endurance performance of Chinese female basketball players. *Journal of Athletic Training*, 47(6), 673–678. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.6.04>
35. Zothanslama, Zosangzuali, M., Lalramdinpuii, M., & Jagetia, G. C. (2017). Impact of radiofrequency radiation on DNA damage and antioxidants in peripheral blood lymphocytes of humans residing in the vicinity of mobile phone base stations. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 36(3), 295–305. <https://doi.org/10.1080/15368378.2017.1350584>