

ELEKTRİKSEL ALANLAR ve CANLILARA ETKİLERİ*

Prof. Dr. Hasan Dinçer
Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Elektriksel Alanlar

Elektriksel olaylar çevredeki canlılara ve cansızlara (örneğin; elektriksel cihazlara) etki etmektedir. Canlılara ve cansızlara etki eden Elektriksel Alanlar; Elektrik alanı, Manyetik alan ve Elektromanyetik alan diye üçe ayrılır. Bu Elektriksel Alanlar; elektrik enerjisi üretildiğinde, enerji iletim hatlarından veya kablolardan veya havadan gönderildiğinde veya dağıtıldığında veya elektriksel aletlerde kullanıldığında oluşurlar. Elektrik enerjisinin kullanımı; modern yaşantımızın tümleyen bir parçası olduğundan bu alanlar çevremizde her yerde vardır. Bu Elektriksel Alanlar; EMF (elektrik ve manyetik alanlar/electric and magnetic fields) olarak da bilinmektedir. EMF'in frekans aralığı; 0-300 GHz'dir. Frekansı 100 kHz'e kadar olan alanlara ELF (oldukça alçak frekans/extremely low frequency) alanları, 100 kHz-300 GHz frekans bandındaki alana da RF (radyo frekansı/radio frequency) alanı denilmektedir.

Elektrik alanı elektriksel yük olduğunda oluşur. Elektriksel yükler etrafındaki (uzayda) her noktada elektrik alanı meydana getirir. Elektrik alanı $E=(1/q)F$ şeklinde tanımlanır. Elektrik alan şiddeti E in birimi V/m (=N/C)'dir. Meydana gelen elektrik alanı, bu alan

içerisindeki her elektriksel yüke kuvvet uygular. Elektrik alanı içerisindeki q yüküne uygulanan kuvvet aşağıda gibi

$$F=qE$$

verilmektedir. Elektriksel iletken malzemelerde canlı doku ve cihazların iletkenlerinde bu F kuvveti elektriksel yüklerin hareketine ve dolayısıyla elektriksel akımın oluşmasına neden olurlar. Oluşan akımın akım yoğunluğu J elektriksel alan ile orantılıdır.

$$J= sE$$

Sabit orantı katsayısı s'ya ortamın elektriksel iletkenliği denir. Manyetik alan hareket halindeki elektriksel yükler tarafından oluşturulur. Manyetik alan hareket halindeki elektriksel yüklerle kuvvet uygular.

$$F=qv \times B$$

Manyetik alan, manyetik akı yoğunluğu B veya manyetik alan şiddeti H ile iki şekilde belirtilir. Manyetik akı yoğunluğu Tesla (T) veya Gauss (G) birimleri ile ifade edilir. $1T=10^4 G$ 'dir. Manyetik alan şiddetinin birimi ise A/m'dir.

$$\text{Ayrıca } 1 \mu T = 10 \text{ mG} = 1 \mu T = 0,8 \text{ A/m'dir.}$$

İletkenden akan akımın meydana getirdiği manyetik alanı açıklamak için manyetik akı yoğunluğu B, manyetik

alan şiddeti H'den daha çok kullanılır. $B= \mu H$ 'dir. Manyetik geçirgenlik katsayısı μ ortamın özelliği tarafından belirlenir. Birçok biyolojik maddede havanın μ manyetik geçirgenlik katsayısı μ_0 'a eşittir. Elektriksel kaynakta yükler zaman göre değiştiğinde bu yükler tarafında üretilen E ve H alanları dalga halinde bir enerji yayacaktır. Kaynağın boyutları yüklerin hareketinin dalga boyu ile aynı mertebede olduğunda yayılan dalga enerji büyüklüğü artacaktır. Bu şekilde elektriksel enerji yayılımını elektro manyetik (EM) dalga yayılması veya EM ışınım denir. Havada EM dalga enine dalga (TEM) halinde yayılır. TEM dalgasında yayılma doğrultusu boyunca E, H alan bileşimleri sıfırdır. Yayılma doğrultusuna dik düzlemde E, H alan bileşenleri vardır ve bunlar bu düzlemde birbirine diktirler. E / H oranı sabittir ve dalga empedansı olarak bilinir. Serbest uzay için $E/H=377 W$ 'dur. E ve H, r uzaklığı ile ters orantılı (1/r) olarak değişir.

Zamanla değişen elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar canlıların vücudunda akım oluşturur ve dokuları tarafından enerji yutulur. Bu olay alan ile vücuda enerji geçiş mekanizmasının ve alanın frekansına bağlıdır. Canlı ile alan arasında doğrudan enerji geçişi üç şekilde oluşmaktadır. Alçak

* Kıbrıs Elektrik Mühendisleri Odası'nın Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü'nden talebi üzerine Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde mevcut olan 66 kV ve yeni çekilen 132 kV yüksek gerilim hatları ile ilgili şikayet konusu problemleri bilimsel açıdan incelemek amacıyla görevlendirilmesi üzerine Prof. Dr. Hasan Dinçer'in yaptığı çalışmalar sonucunda hazırladığı "Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Enerji İletim Hatları Elektromanyetik Işınımın Ölçüm Raporu"ndan derlenmiştir. Elektrik Mühendisliği Dergisi'nin bu sayısında raporun yalnızca Elektriksel Alanlar ve Canlılara Etkileri bölümü okuyucuya özetlenerek sunulabilmektedir. Gelecek sayıda raporun Enerji İletim Hatları bölümüne yer verilecektir. Raporun tamamına www.emo.org.tr adresinden elektronik ortamda ulaşabilirsiniz.

frekanslarda elektrik alanından canlıya enerji geçişi, alçak frekanslarda canlıya enerji geçişi ve canlı tarafından EM alandan enerji yutulması. Bu her üç elektriksel alan canlılara ve elektriksel cihazlara etki etmektedir.

RF EM ışıması etkisinde kalan canlılar, EM enerjisini soğurmaktadır. EM ışınının etkisi ısı etki ve ısı olmayan etki olarak ikiye ayrılmaktadır. Soğurulan EM enerjisi vücutta ısınmaya yol açmaktadır.

Isıl etki bilimsel olarak doğrulandığı için EM ışınının büyüklüğü konusunda sınırlamalar getirilmiştir.

Isıl olmayan etkilerin aşağıdaki olaylara neden olduğu iddia edilmektedir:

"EM ışınım; bazı organlardaki elektrik akımlarının değişmesine neden olduğu, doku hücrelerinin kimyasal yapısını bozduğu, hücrelerdeki büyük moleküllerin bozulmasına, hücre zarlarının birbirine yapışmasına, hücre iyon dengesinin bozulmasına, sinir sisteminin etkilenmesine, beyinin elektriksel işaretin (EEG) değişmesine, uykusuzluğa, baş ağrısına, baş dönmesine" .

Ayrıca "EM ışınımının soğurulmasının; baş ağrısı, hafıza kaybı, sinir sistemi bozuklukları, dolaşım sistemi bozuklukları, bağışıklık sisteminin zayıflaması, karmaşık rüyaların görülmesi gibi hasarlara yol açtığı ve göze, üreme organlarına, sinir sistemine, dolaşım sistemine de kötü etkileri olduğu" da iddia edilmektedir.

Isıl olmayan etkiler bilimsel olarak doğrulanmamıştır. Bu konuda bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Fakat ileride bu iddialarının veya bir kısmının doğrulanması olasılığından dolayı EM ışınımın sınırları ihtiyati tedbir olarak daha küçük değerlere çekilmektedir.

Yapılan çalışmalar EM ışınımının belirli bir değer altında olduğunda insan üzerinde zararlı etkilerinin az olduğunu göstermektedir.

Konutlarda ELF Manyetik Alanlar İle İlgili Epidemiyolojik Kanser Çalışmaları

ELF manyetik alanlar ve güç hatlarının evlere yakınlığı ve kanser riski ile çocuk kanserinden kaynaklanan ölüm vakası arasında bir bağı Wertheimer ve Leeper'in (1979) ortaya koymasından bu yana birçok rapor ortaya çıkmıştır. Çocuklardaki kanser artışının ELF'ye bağlanması konusu; güç hatları kadar diğer harici kaynaklarla birlikte çevreyi kuşatan 50/60 Hz'lik manyetik alana bağlayan özgün çalışmadan sonra ortaya çıkan temel hipotezdir. Yakında bulunan güç hatları tarafından evde ortaya çıkan elektro manyetik alanlar maruziyeti ve çocuk kanserini araştıran bugüne kadar birçok çalışma vardır.

Bu çalışmalar, birçok durumda hattın kurulumu ile ev ve güç hatları arasında mesafe temelinde veya kısa süreli ölçümlerde manyetik alan maruziyetini içermektedir. Ayrıca bazı çalışmalar hattın yükünü de dikkate almıştır.

Lösemiyle bağlantı kuran bulgular en tutarlı olanıdır. 13 çalışma vardır. (Bunlar: Wertheimer and Leeper 1979; Fulton, 1980; Myers, 1985; Tomenius, 1986; Savitz, 1988; Coleman, 1989; London, 1991; Feychting and Ahlbom, 1993; Olsen, 1993; Verkasalo, 1993; Michaelis, 1997; Linet, 1997; Tynes and Haldorsen, 1997). Bu çalışmaların 5'i hariç diğerlerinde bağıl risk tahminin 1,5 - 3 arasında olduğu rapor edilmiştir.

Hem doğrudan manyetik alan ölçümleri ve hem de lösemi teşhis edilmeden önce güç hatlarının yakınında birçok defa yapılan kaba maruziyet ölçümleri temelli tahmin yönteminden hiçbirinin daha geçerli tahmin sağladığı açık değildir. Lösemi riski ile bağ kurmada, gerçekten manyetik alanın bir rol oynayabildiğini açıklamalarına rağmen, örnek sayısının az olması ve güç hatlarına yakınlık ve manyetik alan arasında bir ilişkiden dolayı şüphe vardır. (Feychting, 1996)

Çocuk kanserinin birçoğunun sebebi az bilinir. Fakat motorlu taşıt egzoz dumanı, hava kirliliği ve sosyoekonomik durum gibi potansiyel tehlikeleri kontrol etmek için yapılan birkaç çalışma, sonuçta büyük etki yaratmadı. Diğer sağlık problemleri ve kansere ilişkin elektrikli aletler (ilk sırada elektrikli battaniye) kullanılmasını inceleyen çalışmalar, genellikle negatif sonuç gösterdi. (Preston-Martin, 1988; Verreault, 1990; Vena, 1991, 1994; Li, 1995) Biri, Denver'de (Savitz, 1990) elektrikli battaniyenin doğum öncesi kullanımı sırasında bir bağlantıyı gösterdi; diğeri, Los Angeles'de gerçekleştirilen siyah-beyaz televizyon seyreden ve saç kurutucu makine kullanan çocuklar ve lösemi arasında bir bağlantıdır. İşte bu sonuçlar güç hatlarına yakın olan evlerde, lösemi incelemesi temelinde, lösemi riskini arttırdığı gözlemlenen güç hatları yakınında yaşayan çocukların durumu için ABD Bilim Komitesi Ulusal Akademisi (NAS, 1996), inceleme kararı almıştır. Başka çalışmalarda manyetik alanda kısa süreli ölçümlerde; çocuklardaki kanserin diğer bir şekli veya lösemi riski ile 50/60 Hz alanlara maruziyet arasında ortak bir ilişki olmadığı görülmüştür. Riskteki bu artışın bir ilişki kurulmaksızın manyetik alanlara maruziyetle ilişkilendirilmesine, Komite inandırılmadığından, lösemi durumu evlerde manyetik alan ölçümlerinden tahmin edilmiştir. Güç hatları çevresindeki yerleşimle ilişkilendirilmiş çocuk lösemisi için, bazı bilinmeyen risk faktörü ile kafa karıştırıldığı ortaya konulmuş, fakat bu durumların gerçek olduğu varsayılmıştır. Daha sonra NAS komitesi bununla ilgili incelemeyi tamamlamıştır.

Norveç'te yapılan bir çalışmanın sonuçları rapor edilmiştir. (Tynes and Haldorsen 1997) Bu çalışma çocuk kanserin bütün tiplerini (500 durumu) içermiştir. Her bir bireysel maruziyet; iletim hatları yakınında yerleşik olan, üretilen manyetik alanın hesabıyla, tüm bir yılın ortalamasıyla tahmin edilmiştir. Ancak manyetik alanlar ve

lösemi riski arasında bir bağ oluşturulamamıştır. Güç hattındaki mesafe, gebe kalma döneminde annenin maruziyeti ve orta düzeyden daha yüksek maruziyet ve bebeğin ilk yılı sırasındaki maruziyet, beyin kanseri ya da lenfoma ve lösemi ile bağ oluşturmamıştır. Ancak maruz kalınma durumunun sayısı oldukça azdır.

Ayrıca, NAS incelemesinin (Michaelis, 1997) tamamlanmasından sonra, Almanya'da bir çalışma yapıldığı rapor edilmiştir. Bu, 129 durum ve 328 kontrole dayanan çocuk lösemisinde bir durum kontrol çalışmasıydı. Maruziyet değerlendirmesi, tanının tarihinden önce en uzun dönem için çocuğun yaşadığı konuttaki yatak odasında 24 saatin üstünde manyetik alanın ölçülerini içermiş ve bağıl risk, $0.2 \mu T$ 'den büyük değerler için 3,2 olarak gözlemlenmiştir.

Akut çocuk lenf hücreli lösemisinin olup olmadığını test etmek için geniş bir U.S durum-kontrol çalışması (638 durum ve 620 kontrol), 1997 yılında Linet tarafından yayınlanmış ve 60 Hz'lik manyetik alana maruziyetle ilişkilendirilmiştir. Manyetik alan maruziyetleri çeşitli şekillerde, yatak odasında 24 saat süreli ortalama ölçümler ve bir başka odadaki 30 saniyelik ölçümle yapılmıştır. Ölçümler, kontroller için uygun dönem ya da tanı konulduğu önceki 5 yılın yüzde 70'inde yaşamış çocuğun evinde alınmıştır. Tanı öncesi yıllar esnasında konutunu değiştirmeyen durum-kontrol çiftleri sabit ikamet ettiği için tel kodları (evin dışındaki hattın özelliklerine ve tellerin evden uzaklıklarına bağlı olarak evlerin sınıflandırılması) da değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede çiftlerin sayısı 416 idi. Orada lösemi ve tel kodu kategorisi arasında bir bağ yoktu. Manyetik alan ölçümlerine gelince, sonuçlar daha fazla merak uyandırmaktadır. $0,2 \mu T$ kesim noktası için uyumlu ve uyumsuz (unmatched and matched) analizler, sırasıyla 1.2 ve 1.5 bağıl riskleri vermiştir. $0.3 \mu T$ kesim noktası için uyumsuz göreceli risk tahmini, 45 ma-

ruzियet durumunda 1,7'dir. Bu nedenle ölçüm sonuçları, manyetik alanlar ve lösemi riski arasında pozitif bir bağ anlamlıdır. Verinin istatistiksel analizi için katılım oranları ve yöntemleri, kontrol yöntemi önemlidir. Çalışmanın büyüklüğü bu yöntemlere bağlıdır.

Yıllar boyunca, çocuklarda kanser bulgusunun ikinci en çok rastlanan tipi olan çocuk beyin kanseri ile manyetik alan maruziyeti arasında bir bağ var olup olmadığı merak uyandırmıştır. NAS Komite'nin incelemesinden sonra tamamlanan, son zamanlarda üç çalışma (Gue'nel, 1996; Preston-Martin, 1996; Tynes ve Haldorsen, 1997), çocukların manyetik alana maruziyeti ve beyin kanseri arasındaki ilişki bulunması çabası başarısız kalmıştır. Ancak kaynak, güç hatları ya da elektirikli battaniyeler mi, yoksa tel kodları veya hesaplamalarla tahmin edilmiş manyetik alanlar olarak mı alındı bilinmemektedir. Yetişkinlerde kanser verisi ve yerleşik manyetik alan maruziyeti nadir görülmüştür. (NAS 1996) Maruz kalma durumlarının sayısı az olmasına rağmen bütün zararları geniş olarak yayınlanmıştır. (Wertheimer ve Leeper 1979; Mc-Dowall, 1985; Seversen, 1988; Coleman, 1989; Schreiber,

1993; Feychting ve Ahlbom, 1994; Li, 1996; Verkasalo, 1996)

Kanser ve EMF alan maruziyetinde epidemiyolojik araştırma sonuçları, çocuk lösemi içermesi ICNIRP'nin görüşüdür. Maruziyet kılavuzu için bir bilimsel temel oluşturmak, deneysel araştırma desteği olmazsa yeterince güçlü değildir. Bu değerlendirme ayrıca son günlerdeki incelemelerle uyumaktadır. (NRPB, 1992, 1994b; NAS, 1996; CRP, 1997)

ELF Alanların Maruziyetinin Biyolojik Etkilerin ve Epidemiyolojik Çalışmaların Özeti

Meme tümörleri istisnasıyla, tümör ilerlemesine etki eden, güç-frekans manyetik alanlarda yapılan laboratuvar çalışmalarında az sayıda delil vardır. Sayısı daha fazla olan hayvansal deney çalışmalarına rağmen, salgıya (endocrine) ait düzenleme ve hücrelerdeki işaret üretiminde (her ikisi de hızla çoğalan hücrelerin katkısıyla tümörün gelişmesini etkileyebilir) ELF alanların olası etkilerine açıklık getirme ihtiyacı vardır. Gelişen maruziyet kılavuzları te-



melinde kullanılmayan bu bilgi ile bu alanların kanser etkisi hakkında halen geçerli bir kanıt olmadığı sonucuna varılabilir.

Hücreler ve hayvansal sistemler üzerindeki laboratuvar çalışmalarında, 10 mA/m²'in altında bir akım yoğunluğu olduğu zaman, ters sağlık etkilerinin belirtisi olan düşük frekans alan etkilerinde görüldüğü gibi bir kanıt olmadığı bulunmuştur. Yüksek seviyelerdeki (10-100 mA/m²) akım yoğunluğunda daha önemli doku etkileri, diğer doku etkileri ve sinir sisteminde fonksiyonel değişimler gibi oluşumlar sürekli olarak gözlemlenmiştir. (Tenforde 1996)

ELF alanlara maruziyetle ilişkilendirilen kanser riskindeki bilginin, güç hatlarına yakın yaşayan bireyler arasında, özellikle çocuklar arasındaki löseminin biraz yüksek risk göstermesine dayandığı açıktır. Bu sorunla ilgili son zamanlardaki çalışmalar daha fazla olmasına rağmen, zayıf bir ilişkilendirme önceki çalışmalarda gözlemlenmiştir. Çalışmalar, yine de yetişkin kişideki bir kanser şekli ya da başka tip çocuk kanserine benzer bir risk artışını göstermemiştir. Güç hatlarına yakın yerde oturmak ve çocuk lösemisi arasında varsayıma dayanan bir bağ kurulması halinde; eğer bağlantıda, bilinmeyen risk faktörleri varsa, löseminin, güç hatlarıncı üretilen ELF elektrik ve manyetik alanlarla ilişkisi olduğu bilinemez. Laboratuvar çalışmalarındaki epidemiyolojik veri, maruziyet kılavuzları tahsis edilmesi için yetersizdir. Elektrik işçileri arasında lösemi için sınırlı bir şekilde yayılan göğüs kanseri ve sinir doku tümörleri gibi kesin kanser tipinde bir risk artışı rapor edilmiştir. Birçok çalışmada konu başlıkları, manyetik alan maruziyet varsayım seviyelerine göre konular sınıflandırılmıştır. Son günlerdeki bir kaç çalışma, şüphesiz maruziyet değerinin daha fazla karmaşık yöntemlerini kullanmış; sonuçta bu çalışmalar, beyin tümörleri ya da lösemide bir risk artışı olduğunu ortaya koymuştur. Fakat büyük ölçüde artan riskte kanser tipine göre bir tutarsız-



lık vardır. Veri, ELF alan maruziyet kılavuzları için bir temel sağlanması konusunda yetersizdir. Çok sayıda epidemiyolojik çalışmalar, olumsuz reproduktif etkilerin kanıtları olmadan sağlanmıştır.

Gönüllü kişiler üzerinde ve laboratuvar çalışmalarında biyolojik tepkinin ölçüsü, düşük frekans alanlarında aynı maruziyet seviyelerinde ters etkili küçük belirtiler olarak görülmüştür. 1 kHz'a kadar frekanslarda 10 mA/m² akım yoğunluğu, sinir sistemi fonksiyonlarında minör etkiler için bir eşik olduğu değerlendirilmiştir.

Gönüllüler arasında maruziyetle oluşan birçok etki, ELF alanlara maruziyetten hemen sonra kalp atım orandaki bir minör azalış olarak veya fosfor ışınımı olması gibi izlenim verir. Fakat uzun vadeli sağlık riskiyle bu geçici etkilerin ilişkilendirilmesi konusunda bir kanıt yoktur. Zayıf ELF elektrik ve manyetik alanlara maruz kalan farelerin takip edilmesi sonucunda vücutta gece oluşan pineal bezdeki melatoninde bir azalma gözlemlenmiştir. Fakat kontrollü durumlar altında ELF alanlara maruz kalan insanlarda rapor edilmiş bir etki mevcut değildir. 20 µT'nın altında

60 Hz'lik manyetik alanlara maruziyetleri içeren çalışmalarda; kanda, melatonin seviyelerinde bir etki rapor edilmemiştir.

EMF Maruziyet için Temel Sınırlamalar ve Referans Seviyeleri

Maruziyet (maruz bırakma, elektriksel alanların etkisinde kalma) sınırlamaları, doğrulanmış sağlık etkileri temelinde ve uzun süreli temel sınırlamalardır. EMF'ye maruziyette temel sınırlamaları belirleyen fiziksel değerler, frekansa bağlı olarak akım yoğunluğu, SAR ve güç yoğunluğudur. Kötü sağlık etkilerine karşı korunmak için bu temel sınırlamaların aşılmaması gerekir.

Maruziyetin referans seviyeleri fiziksel değerin ölçülen değeriyle karşılaştırma için verilmiş olup; bu kılavuzlarda verilen tüm referans seviyelere uyma, temel sınırlamalara uyum sağlayacaktır. Eğer ölçüm değerleri referans değerlerden daha yüksekse, aşılacak temel sınırlamaların takip edilmesi gerekli değildir. Fakat daha detaylı incelemeler temel sınırlamayla uyumluluğu değerlendirmek için gereklidir.

Farklı bilimsel temellerde çeşitli frekans bölgelerinde temel maruziyet sınırlamaları geliştirilmesinde:

- 1 Hz - 10 MHz arasında temel sınırlamalarda, sinir sistemi fonksiyonlarındaki etkilerini önlemek için akım yoğunluğu belirlenmiştir.
- 100 kHz - 10 MHz arasında temel sınırlamalarda, tüm vücut ısınması ve aşırı yerel doku ısınmasını önlemek için; her iki akım yoğunluğu belirlenmiştir.
- 10 MHz - 300 GHz arasındaki sınırlamalarda, vücut yüzeyine yakın dokuda fazla ısınmayı önlemek için güç yoğunluğu belirlenmiştir.

Birkaç Hz'den 1 kHz'e kadar, 100 mA/m²'nin üstünde akım yoğunluğuna neden olan seviyelerde eşik değerde, kolay uyarılmaya neden olan merkezi sinir sistemindeki akut değişimler ve diğer akut etkiler olabilir, hayal görme gibi bir ters etkiye yol açmaz. Güvenlik önlemleri dikkate alınarak, 4 Hz - 1 kHz arasındaki frekanslarda mesleki maruziyet için, 10 mA/m²'den daha az akım yoğunluğuna neden olan alanlar-

la sınırlanmış olacağından, 10 kat güvenlik katsayısı olması ve halk için ilave katsayı 5 kat uygulanması ile 2 mA/m² temel maruziyet sınırlandırmasına karar verilmiştir. Bu temel sınırlama, bu frekans aralığında sinir uyarılması için eşik değerindeki artışa uymaktadır.

10 MHz'den birkaç GHz'e kadar frekans bandında biyolojik ve sağlık etkilerin ortaya konulması, 1°C'den daha fazla bir vücut sıcaklığı yükselişine verilen cevapla uyusur. Uygun çevresel şartlar altında bireylerin maruziyetinde 1°C'lik ısı artışında tüm-vücut SAR değeri, 30 dakikada yaklaşık olarak 4 W/kg'dır. Mesleki maruziyet için uygun korumayı sağlayan tüm-vücut SAR ortalaması 0.4 W/kg'dır. İlave olarak, halk maruziyeti için 5 misli bir güvenlik faktörü alınarak, tüm-vücut ortalama SAR limiti 0.08 W/kg değeri ortaya çıkarılmıştır.

Halk ve işçi maruziyeti için farklılık gösterebilen sağlık durumu ve yaşları gerçekte hesaba katılarak daha düşük temel kısıtlamalar konulabilir. Düşük

frekans ve kısa süreli akımlarda sağlık etkilerini içeren birkaç veri vardır. ICNIRP bundan dolayı zaman ortalamalı olmayan, anlık değerlerle uyuşan çok kısa dönem pik alanlar ya da geçici akım yoğunluklarına neden olan alan-da sınırlamaları tavsiye eder.

Ülkelerde Kullanılan ELF Elektrik ve Manyetik Alanların Sınır Değerleri

ICNIRP Kılavuzu'nda elektrik ve manyetik alanların mesleki ve halk için referans değerleri verilmiştir. Çizelge 1'de 50 Hz ve 60 Hz için elektrik ve manyetik alanların mesleki ve halk için referans değerleri verilmiştir.

Avrupa Birliği ve İngiltere EMF maruziyeti konusunda ICNIRP Kılavuzu'nu benimsemiştir. Ülkeler maruziyet sınırlarını zaman zaman değiştirmektedirler. Farklı ülkelerde kullanılan şu andaki EMF maruziyet sınırları verilmiştir. Çizelge 2'de bu sınır değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 1. Elektrik ve manyetik alanların 50 Hz ve 60 Hz için mesleki ve halk için referans değerleri

Frekans Bölgesi	Elektrik Alan Şiddeti, E (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti, H(A/m)	Manyetik akı yoğunluğu, B (µT)
1. Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanların halk için referans değerleri (rms)			
0,025-0,8 (kHz)	250/f	4/f	5/f
50 Hz	5000	80	100
60 Hz	4166,66	66,66	83,33
2. Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanların mesleki referans değerleri (rms)			
0.025-0.82 (kHz)	500/f	20/f	25/f
50 Hz	10000	400	500
60 Hz	8333,33	333,33	416,66

Çizelge 2. Farklı ülkelerde kullanılan şu andaki EMF maruziyet sınırları

ICNIRP sınır değerlerini kendi sınır değerleri olarak kullanan ülkeler	Avrupa Birliği, Avusturya, Hırvatistan, Estonya, Çekoslovakya, Finlandiya, Fransa, İrlanda, Malta, Portekiz, Singapur, Güney Afrika, Güney Kore, Tayvan, İngiltere
ICNIRP kılavuzlarının önceliklerden birini esas alan ve dolayısıyla ICNIRP değerleri ile kendi sınır değerleri benzer olan ülkeler	Bulgaristan, Almanya, Macaristan
İhtiyati tedbir sınırlarını kullanan ülkeler. (Genelde özellikle güç hatlarına uygulanır.)	
10-100 µT	Çin, Polonya
1-10 µT	İtalya, Slovenya
<1 µT	İsviçre, Hollanda
Sınır değerleri tedbir politikaları (yaklaşımları) ile verilen ülkeler	Avustralya, Danimarka, Lüksemburg, İsveç, ABD

ELF Elektrik ve Manyetik Alanların Maruziyetinin Sağlık Riskleri

Ekim 2005'de WHO (DSÖ, Dünya Sağlık Örgütü) bilimsel görev gurubunu; 0-100 kHz frekans aralığındaki ELF elektrik ve manyetik alanların maruziyetinin sağlığa olacak herhangi bir riskini değerlendirmek üzere topladı. IARC (International Agency for Research on Cancer; Uluslararası Kanser Araştırma Kuruluşu) 2002'deki kanser delillerini incelerken, bu görev gurubu da birçok sağlık etkisi için delilleri gözden geçirdi ve kanser delillerini güncelledi. Bu görev grubunun görüşleri ve tavsiyeleri WHO EHC, Vol. 238'de sunulmuştur.

Önleyici Önlemler

Bu WHO EHC, Vol. 238 Çevresel Sağlık Ölçütü; muhtemelen Çok Düşük Frekans (ELF; Extremely Low Frequency (>0 Hz – 100 kHz)) (>0 Hz – 100 kHz) elektrik ve manyetik alanların maruziyetinin muhtemelen sağlık etkileri ile ilgilidir.

Önleyici önlemler konusunda, WHO EHC, Vol. 238'de sunulan görüşlerden bazıları aşağıda özetlenmiştir:

1. ELF elektrik ve manyetik alan maruziyetinin (maruz kalma) kötü etkisini önlemek için temel maruziyet sınırları gerçekleştirilmiştir. Maruziyet sınırları uygun bilimsel incelemelere dayanmalıdır. Yalnız ani ve şiddetli kısa süren (akut; acute) etki için yeterli bilimsel çalışmalar gerçekleştirildiğinden, bu etkilere karşı önlem için iki tane uluslararası kılavuz gerçekleştirilmiştir. Bunlar; ICNIRP, 1998a ve IEEE Std C95.6-2002.

2. Ani ve şiddetli, kısa süren etki için yeterli bilimsel çalışmalar gerçekleştirildiği halde; ELF manyetik alan maruziyeti ve çocuk kanseri (lösemi) arasındaki delillerin sınırlı olmasından dolayı uzun süreli etkinin (uzun süreli ve aşırı rahatsız

etmeyen etki=chronic) varlığında belirsizlik vardır. Bundan dolayı tedbirli yaklaşımların kullanımı daha uygundur. Bununla birlikte, tedbir adına kılavuzlardaki maruziyet sınır değerlerini rastgele bir seviyeye azaltılması önerilmemektedir. Bu uygulama, sınırlamalara dayalı bilimsel görüşleri zayıflatır ve olası pahalıdır ve önlemeyi sağlayan muhakkak etkili yol değildir.

3. Maruziyeti azaltmak için diğer uygun tedbir (önlem) işlemlerinin gerçekleştirilmesi, kabul edilebilir ve faydalıdır. Bununla birlikte elektrik gücü açıkça; sağlıksal, sosyal ve ekonomik faydalar getirmektedir ve tedbirli yaklaşımlar bu faydaları azaltmamalıdır.

Ayrıca hem ELF manyetik alan maruziyeti ve çocuk kanseri arasındaki bağlantı (ilişki) ve hem de bu bağlantı var ise bunun halk sağlığı üzerindeki sınırlı etkisi için verilen delillerin zayıflığından dolayı; sağlıktaki maruziyetin azaltılmasının faydası açık değildir. Tedbir önlemlerinin maliyeti az olmalıdır. Maruziyet azaltılmasının gerçekleştirilmesinin maliyeti ülkeden ülkeye değişmektedir. ELF alanından ge-

len risk potansiyeline karşı maliyeti dengelemek için genel bir tavsiye sağlamak zordur.

4. Yöneticiler; halk ve çalışanların her ikisi için de ELF alanlar maruziyeti ile ilgili kılavuz gerçekleştirilmelidir. Maruziyet seviyeleri ve bilimsel ilkelerin incelenmelerinin her ikisi içinde en iyi kılavuz, uluslararası kılavuzlardır.

5. Var olan ELF kaynakları değiştiğinde ELF alanlarının azaltılması ile birlikte güvenlik, güvenebilirlik (görevini yeterli bir şekilde yerine getirebilme yeteneği) ve ekonomik çözümler düşünülmelidir.

6. Devlet ve endüstri; ELF alan maruziyetinin sağlık üzerine etkisinin bilimsel delillerindeki belirsizliği azaltmak için araştırma programlarını teşvik etmelidir.

7. ELF manyetik alan maruziyetinin genel halk için değeri; uluslararası maruziyet kılavuzlarındaki değerden genelde oldukça küçüktür. Bununla birlikte halkın ilgisi, düşük seviye çevresel maruziyetin neden olduğu muhtemel uzun süreli etkiye odaklanmıştır. ELF manyetik alanlar muhtemelen kan-



serojen olarak sınıflandırıldığından (kahve, benzinli makine egzoz gazı da muhtemelen kanserojen olarak sınıflandırılan bu gurubun içindedir.); bazı ülkeler ELF maruziyet sınırlarının yeterli koruma sağlayıp sağlamadığını yeniden incelemeye başladılar. Bu yeniden inceleme birçok ülkede ve yerel yönetimlerde tedbir önlemlerinin gelişmesine neden oldu.

Tedbir Temelli Politika Yaklaşımları

ELF alan maruziyetinin sağlık üzerine etkisinin, bilimsel delillerindeki belirsizliğinden kaynaklanan endişeleri azaltmak üzere önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerin bazılarını yasal olarak uyulması zorunludur, diğerleri ise gönüllülük temeline dayalı kılavuzlardır. Bu önlemlerin bazıları Çizelge 3'de ve-

rılmıştır. (WHO - ELF F Environmental Health Criteria, Vol. 238. Geneva, WHO, 2007, Table 85 pp. 364.)

Enerji frekanslı alanların maruziyetine uygulanan tedbir politikalarının (yaklaşımlarının) çeşitli tiplerinden örnekleri Çizelge 4'de verilmiştir. (WHO - ELF F Environmental Health Criteria, Vol. 238. Geneva, WHO, 2007, Table 86 pp. 364-365)

Çizelge 3. Tedbirli Yaklaşım Örnekleri

Tedbirli Yaklaşım	Ülke	Önlemler
1.Tedbirli Önleme	Yeni Zelanda, Avusturya, İsveç	ICNIRP Kılavuzlarını benimsemek ve maruziyeti azaltmak için düşük maliyetli gönüllülük esaslı önlemleri kullanmak
2.Pasif mevzuat eylemi	ABD	Maruziyeti azaltma önlemleri konusunda halkı eğitmek
3. Salınının denetimi tedbiri	İsviçre	ICNIRP Kılavuzlarını benimsemek ve salınının sınırlarını düzenlemek
4.Maruziyeti sınırlama tedbiri	İtalya	Rastgele azaltma etkenlerini kullanarak maruziyet sınırlarını azaltmak

Çizelge 4. Halk için EMF maruziyet sınırına çeşitli yaklaşımlar

Kuruluş/Ülke	Limitler	Yorumlar
1. Maruziyet Sınırları Temelli Tedbir Politikaları (Yaklaşımları)		
İsrail, 2001	1 μT	Yeni yapılmış tesis ve tesisatlarda
İtalya, 2003	100 μT	Günde 4 saatten fazla oluşan maruziyete uygulanan uyarı değeri
	10 μT	Yalnız yeni hatlara ve evlere uygulanan hedef değer
	3 μT	Maksimum yük koşullarında. Bazı Federal hükümetlerde yönetmelik (Örneğin, Florida) ve diğerlerinde (Örneğin, Minnesota) resmi olmayan kılavuzlar tarafından gerçekleştirilen değerler.
ABD	15-25 μT	Bazı yerel yasalarda (hükümleri) benimsendi. (Örneğin, Irvine, California)
	0,2-0,4 μT	
2. Maruziyet Kaynaklarından Halkın Uzaklaştırılması (ayrılması) Esasına Dayalı Tedbir Politikaları (Yaklaşımları)		
İrlanda, 1998	Yeni Enerji İletim Hatları ve Trafo Merkezleri; var olan okul ve yapılara 22 metreden daha fazla yakın olmamalı.	Yerel hükümetler; okul ve çocuk yuvası yakınında yapılacak elektriksel güç tesislerinin yapım izinlerini desteklemeyeceklerdir.
Hollanda, 2005	Çocukların çok fazla zaman harcadığı yerlerle enerji hattı arasındaki uzaklık; ortalama maruziyet $0,4 \mu T$ 'ı aşmayacak şekilde artırıldı.	Bu yaklaşımlar mevcut enerji hatlarının yakınındaki yeni yapılar veya mevcut yapılarının yakınındaki yeni enerji hatları içindir.
ABD	Mevcut enerji iletim hatlarının yakınındaki, yeni okul yerleşimine (yapımına) sınırlama getirilmiştir.	California eğitim bölümünce benimsenmiştir.
	Tekniksel olarak gerçekleşemez olmadıkça, yeni hatlar yeraltında olmalıdır. Yerleşim alanının, okulun, Çocuk Yuvalarının ve Gençlik kamplarının yanında tampon bölge olmalıdır.	Connecticut yerel yönetimince benimsenmiştir.
3. Maliyet Esasına Dayalı Tedbir Politikaları (Yaklaşımları)		
ABD	Yeterli alan azaltılmasına (%15'den fazla) ulaşıldığında; tasarım veya yönlendirme değişimi düşük maliyetli (Proje maliyetinin % 4 karşılaştırma için kullanılır.) veya maliyetsiz olması.	California yerel devleti halk hizmetleri kurulu tarafından benimsenmiştir.
4. Nicel Olmayan Amaçlar Temelli Tedbir Politikaları (Yaklaşımları)		
Avusturya, 2003	Kolayca gerçekleştirilebilen maruziyet azaltımı	
İsveç, 1996	Seyiyelerle ilgili tavsiyeler olmaksızın maruziyet azaltılması	Yeni iletim ve dağıtım tesisleri tasarlanırken EMF'nin göz önüne alınmasını ve bu tesislerin duyarlı bölgelerden uzakta tutulmasını içerir.