

ELEKTROMAGNETİK IŞINIMLAR ve İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Prof.Dr.Hasan DİNÇER

Kocaeli Üniversitesi , Elektronik ve Haberleşme Sistemleri Araştırma ve Uygulama
Merkezi EHSAM , İzmit – Türkiye
hdinçer@kon.edu.tr

Özet

Yaşamın her alanında kullanılan elektronik ve elektriksel sistemlerin ve aletlerin yaydığı elektromagnetik ışınımın insan sağlığı ve çevre üzerine zararlı etkileri vardır. Bu zararlı etkiler kısaca belirtilmiştir. Elektromagnetik ışınımın insan sağlığı üzerine zararlı etkilerini azaltmak için, elektromagnetik ışınımın belirli bir değerde olmasını belirten standartlar IRPA / ICNIRP tarafından geliştirilmiştir. Elektromagnetik ışınımın soğurulması ile ilgili sınır değerleri verilmiştir. Elektromagnetik kirliliğine neden olan diğer bir kaynakta GSM haberleşme sistemidir. GSM temel istasyonun antenin ve cep telefon antenin ışınımın insan sağlığı ve çevre üzerine zararlı etkileri vardır. EM alan ışınımının zararlı etkisini azaltmak için EM ışınımı, IRPA / ICNIRP 'nın belirlediği sınırlarının altında tutulmalıdır. Ayrıca GSM Temel istasyonlarının ve diğer EM ışınım yayan istasyonların kamu binaları, okul, hastane, kışla, ve park gibi yapı ve alanların dışında kurulmalı. Halk, EM ışınımın zararları konusunda bilinçlendirilmelidir. GSM sisteminin diğer sistemlerin yaydığı ışınımın verilen sınır değerlerini aşıp aşmadığı ölçüm ve hesaplama sonucu belirlenebilir.

1. Giriş

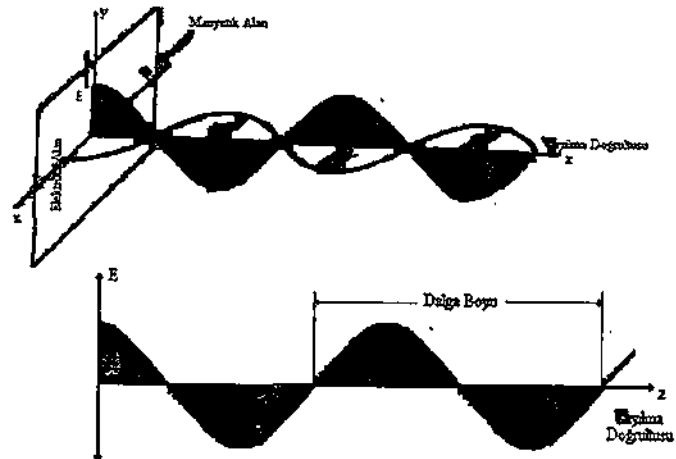
Elektromanyetik Alan (EM) ışınımının insanlara ve diğer canlılara zararlı etkisi olduğu anlaşılmıştır. EM ışınımı etkisinde kalan canlılar, EM enerjisini soğurmaktadır. Soğurulan EM enerjisi vücutta ısınmaya yol açmakta ve bazı organlardaki elektrik akımlarının değişmesine neden olmaktadır. EM ışınım ayrıca doku hücrelerinin kimyasal yapısını da bozmaktadır. EM ışınım kimyasal etkileri hücrelerdeki büyük moleküllerin bozulmasına, hücre zarlarının birbirine yapışmasına , hücre iyon dengesinin bozulmasına , sinir sisteminin etkilenmesine , beyinin elektriksel işareti (EEG)'nin değişmesine , uykusuzluğa, baş ağrısına , baş dönmesine neden olabilir. EM ışınımının soğurulmasının , baş ağrısı , hafıza kaybı , sinir sistemi bozuklukları , dolaşım sistemi bozuklukları , bağışıklık sisteminin zayıflaması , karmaşık rüyaların görülmesi gibi hasarlara yol açtığı iddia edilmektedir. EM enerji soğurulmasının göze ,

ireme organlarına , sinir sistemine , dolaşım sistemine de kötü etkileri vardır. Yapılan çalışmalar EM ışınımının belirli bir değerin altında olduğunda insan üzerinde zararlı etkilerinin az olduğunu göstermektedir.

2. Elektromanyetik Işınım

Işınım. enerjinin bir ortamda dalga veya tanecik halinde yayılması olarak tanımlanır. Elektromanyetik (EM) ışınım ise elektromanyetik dalganın herhangi bir ortamda yayılmasıdır. Haberleşmede, sınırsız bir ortamda kullanılan dalgalar genelde enine dalga (TEM dalgası) şeklindedir. TEM dalgasında E, H alan bileşenleri yayılma doğrultusunda dik bir düzlemde bulunurlar. Bu enine düzlemde E ve H bileşenleri birbirlerine dik olarak değişirler.

Bir TEM dalgasının (enine EM dalganın) yayılması şekil 1 'de verilmiştir.



Şekil 1 TEM dalgasının yayılımı

Enerji akışı, dalga yayılması veya parçacık akışı şeklinde karşımıza çıkar. Bu da elektromanyetik

dalganın "dalga - parçacık" ikili davranışı olarak bilinir. Işınım enerjisini Joule cinsinden

$$W = h f \quad (1)$$

bağıntısı ile verebiliriz. Burada h ; planck sabitidir. ($h = 6,626.10^{-34}$ J.s) ve f hertz cinsinden frekanstr.

Elektron-Volt (eV) cinsinden ışınım enerjisi ise

$$W = 4,14125 .10^{-15} f \quad [eV] \quad (2)$$

şeklinde verilebilir. ($1 eV = 1,6 .10^{-19} J$)

İyonlaşma, elektromun çekirdekten kopararak serbest hale gelmesidir. En basit atom olan hidrojen atomunda iyonlaşma enerjisi 13,6 eV 'dur. İyonlaştırma moleküler yapıda değişime neden olur. Bu değişime biyolojik dokuda, DNA 'nın yapısında genetik yapıda bozulmalara neden olur. Yüksek enerjili parçacık biyolojik moleküllü iyonlaştırıp biyolojik yapıya zarar verebilir.

EM alan ışıması aynı zamanda "iyonize yapmayan" ışıma olarak da bilinir. Çünkü EM dalga, maddeleri iyonize yapacak kadar enerjiye sahip değildir. Maddeleri iyonize edecek kadar enerjisi olmayan bütün elektromanyetik alan ve ışıma iyonize yapmayan ışıma denir. İyonize yapmayan ışımda (IRPA / ICNIRP 'nın tanımında), her foton 12 eV 'dan daha az enerjiye, 100nm 'den daha uzun dalga boyuna ve frekansı 300 THz 'den daha düşük frekansa sahiptir. Denk. (2) 'den iyonize yapmayan EM dalganın frekansı

$$f \leq 2,8968.10^{15} \text{ Hz olarak elde edilir.}$$

İyonize yapan ışıma frekansı ise $2,89.10^{15}$ Hz 'den başlamaktadır. Bu da X ve Gama ışınları tayfını içermektedir.

3. Elektromanyetik Işınım Kaynakları

Elektrik enerjisi ile çalışan birçok alet ve sistemler elektromanyetik enerji yayarlar. EM ışınım yayan sistem ve aletlerin bir kısmı aşağıda sıralanmıştır :

- Çeşitli elektrikli ev aletleri
- Enerji Nakil Hatları ve trafo istasyonları
- Elektrikli trenler
- TV, Bilgisayar ekranları
- İndüksiyon fırınları ve indüksiyon kaynak makineleri
- Florasen ve Halojen lambalar
- Radyo, TV ve Telsiz verici istasyonlarının Antenleri
- Radar Sistemleri (sürekli ve darbeli)
- Uydu iletim sistemleri
- Tedavide kullanılan elektrikli tıbbi cihazlar
- Mikrodalga fırınları

- Sanayide RF frekansında çalışan çeşitli sistemler
- GSM Haberleşme sistemi (Temel baz istasyonu anteni ve cep telefonu anteni)

Evlerde kullanılan çeşitli ev aletleri ve kişisel aletler oldukça büyük manyetik alan ve elektriksel alan yayarlar. Enerji nakil hatları, trafo istasyonları, elektrikli tren, endüstride kullanılan indüksiyon fırınları ve indüksiyon kaynak makineleri, ağaç kurutma, plastik kaynağı, mikrodalga fırını elektromanyetik ışıma yayarlar. Tıpta kullanılan çeşitli tedavi ve tanı cihazları da elektromanyetik ışıma yayar. MR cihazı güçlü doğru akım manyetik alanıyla çalışır. Çevresine oldukça büyük manyetik alan yayar. Çeşitli haberleşme sistemlerinin ve radar sistemlerinin antenleri elektromanyetik ışıma yararlar. Elektromanyetik ışımanın değeri büyük olduğunda RF şok ve RF yanmaya bile neden olabilirler. Büyük güçlü orta dalga verici antenleri büyük vinçlerde RF şok ve yanmalar meydana getirebilir.

EM ışınım kirliliğine bir örnek olarak Trabzon Bostancı 'da orta dalga vericisini verebiliriz. Trabzon Bostancı 'da bulunan vericinin gücü 300 KW ve frekansı $f = 954$ KHz 'dir. Bu verici yakınındaki insanları ve sistemleri etkilemektedir.

Vericinin yakınındaki Tıp fakültesi hastanesindeki bir çok alet EKG, EEG ve diğer aletler bu alandan etkilenmektedirler. Telefon hatlarına 954 KHz radyo işareti karışmaktadır ve telefon haberleşmesi zorlaşmaktadır. Trabzon orta dalga radyosu çevresindeki çelik yapılarda da büyük gerilim meydana getirmektedir. Vericiden yaklaşık 5 km uzaktaki limanda bulunan 25 metrelik vinçte vincin konumuna bağlı olarak 200 V ile 400 V'luk gerilim oluşmaktadır. Bu oluşan gerilim vinç işçilerini rahatsız etmektedir.

Hücrelerimizde ve vücudun çeşitli organlarında elektriksel işaretler üretilmekte. Çeşitli işlevleri ve organların kontrolünü sağlayan beyin de çeşitli elektriksel işaretler üretmekte, organlara gönderilen komutlar elektriksel olarak ulaştırmakta. Bu işaretlerin büyüklüğü μV 'lar mertebesindedir. Organlarımıza kanı pompalayan kalbin çalışmasını sağlayan işaretin genliği mV 'lar mertebesindedir.

4. Antenlerden EM dalganın ışıması

Anten, temel olarak EM dalgaları iletim ortamına gönderebilen ve iletim ortamından EM dalgaları alabilen iletken bir elemandır. **İşma Örüntüsü** ; antenin işma özelliklerinin uzay koordinatlarında grafik gösterilmesidir. Birçok durumda işma örüntüsü uzak-alan bölgesinde belirlenir. Sabit bir uzaklıkta gönderilen (ışın) gücün veya alınan gücün açı ile belirlenmesine **Güç İşma Örüntüsü** denir. Sabit bir uzaklıkta elektriksel veya manyetik alanın açı ile değişimine **Alan İşma Örüntüsü** denir.

Yönsemeziz Anten

Her doğrultuda eşit ışınım yapan kurumsal antene *Yönsemeziz Anten (isotropic anten)* denir. Noktasal kaynak bu antene örnektir. Düşüncel bir antendir ve fiziksel olarak gerçekleştirilmediği halde pratik antenin yönlü özelliğini göstermek için referans olarak kullanılır.

Yönlü Anten

EM dalga alma veya ışınım özelliği bazı doğrultularda diğer doğrultulardan daha fazla olan antenlere *Yönlü Anten* denir.

Kısmi Yönlü Anten

Bu örüntüde antene dik düzlemlerde ışınım yönsüzdür. Dairesel bir örüntü şeklindedir. Anteni içine alan düzlemlerde ise ışınım yönlüdür. Işımanın değişimi sekiz rakamı biçimindedir. Bu tür örüntüye *kısmi yönlü örüntü (omnidirectional) örüntü* denir.

Antenin Alan Bölgeleri ;

Alanın etrafındaki uzay genel olarak üç bölgeye ayrılır.

- Reaktif yakın - alan bölgesi
- Işınım yakın - alan bölgesi
- Uzak alan bölgesi

Bölgeler arasında sınır çeşitli şekilde verilmektedir.

Reaktif yakın - alan bölgesi

Reaktif alan bileşenlerin baskın olduğu antenin çok yakınındaki bölgedir.

$$R < R_a$$

$$\text{Burada } R_a = 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (3)$$

Işınım yakın - Alan Bölgesi

Bu bölgede ışınım alanı bileşenleri baskın ve açısal alan dağılımı antene olan uzaklığına bağlıdır. Işınım örüntüsü antene olan uzaklıkla değişir.

Yakın alan bölgelerinde E ve H alanları birbirine bağlıdır. Yakın alanda E ve H alanları ayrı ayrı ölçülmelidir.

Uzak - Alan Bölgesi

Açısal alan dağılımının esas olarak antenden bağımsız olduğu bölgedir.

$$\text{Uzak alan bölgesinde } D > \lambda \text{ ise } R_b = \frac{2D^2}{\lambda}$$

$$D < \lambda \text{ ise } R_b = \frac{\lambda}{2\pi}$$

Burada R_b uzak alanın başlangıç sınırı, D antenin en büyük boyutunu göstermektedir.

İnce antenlerde $D < \lambda$ olduğundan uzak alan sınırı

$$R \gg R_b = \frac{\lambda}{2\pi} \text{ 'dir ve yaklaşık olarak } R \approx 3\lambda$$

alınabilir. GSM sisteminde $f = 900 \text{ MHz}$ için $\lambda = 0,33 \text{ m}$ 'dir. Uzak alan sınırı $R \approx 1 \text{ m}$ 'den başlar. Yakın alanlar uzaklıkla çok fazla değişir ve alan bağıntıları ;

$$\frac{1}{r}, \frac{1}{r^2}, \dots, \frac{1}{r^n} \text{ terimlerini içerir. Antenden uzak bölgelerde } \frac{1}{r^2}, \frac{1}{r^3} \text{ ve daha uzak mertebeli terimler}$$

hemen zayıflar. Sadece $\frac{1}{r}$ ile değişen terimler daha baskın olur. Bunlara ışınım alanı bileşenleri denir.

Uzak alan bölgesinde E ve H bileşenleri birbirine bağımlıdır.

$$E = \eta_0 \cdot H$$

$$H = \frac{E}{\eta_0} \quad (4)$$

Burada η_0 boşluğun karakteristik empedansıdır ve

$$\eta_0 = 120\pi = 377\Omega \text{ 'dur.}$$

Güç yoğunluğu S denk. (10) 'da ki gibi verilebilir.

$$S = E \cdot H = \frac{|E|^2}{\eta_0} = |H|^2 \eta_0 \quad (5)$$

Uzak alan ölçümlerinde yalnızca E veya H ölçülür. denk.(4) ve denk.(5) 'den diğer büyüklüklere geçilebilir. Yüksek frekanslarda genelde E ölçülüp ;

$$H = \frac{E}{\eta_0} \text{ ve } S = \frac{|E|^2}{\eta_0} \text{ 'den H ve S bulunabilir.}$$

Kullanılan ölçü aleti yönsüz (isotropic) ölçme yapabilmelidir. Bu probda X, Y, Z doğrultularında ayrı ayrı alan şiddeti ölçen üç algılayıcı proba uygunlaştırmakla sağlanır. Aletin "işaret işlemcisi" ayrı alan şiddeti ölçen üç algılayıcıyı proba uygunlaştırmakla sağlanır. Aletin "işaret işlemcisi" ölçülen değerlerin karelerini toplayarak alan şiddeti elde eder.

5. Düşük frekanslı ışınımın etkileri, etkileme sınırları ve standartları

Düşük frekanslı (0 Hz - 10 KHz) Işınımın İnsan Sağlığına Etkisi

EM ışınımının zararlı etkisinden korunmak için daha az ışınım almakla ilgili kısıtlamalar verilmektedir. Bu

kısıtlamalar vücutta ısıtım sonucu oluşan akım yoğunluğu ve özgül soğurulma oranı gibi biyolojik açıdan anlamı olan büyüklük cinsinden verilmektedir.

Bu büyüklükler doğrudan ölçülmediklerinden bunlar yerine dış elektrik ve manyetik alan güç yoğunluğu cinsinden ölçülür. Sürekli EM ısıtım ısıtımın bilincinde olmamaları nedeniyle sınır daha küçük tutulmuştur. İşçilerin korunmak için yeterli bilgi ve eğitime sahip oldukları düşünülerek mesleki etkilene sınır daha büyük tutulmuştur.

Çizelge 1 Oluşan akım yoğunluğuna göre biyolojik etkiler

Akım Yoğunluğu	İndüklenmiş akım yoğunluğunun etkileri
≥ 1000	Kalbin ilave kasılması, Kalpte çarpıntı. Sağlık zararları
1000 - 100	Merkezi sinir sistemini uyarmada değişiklik, sağlık zararı olasılığı
100 - 10	Genel olarak kabul edilen etkiler, protein, DNA sentezinde, enzim hareketliliğindeki değişimler, görme ve sinir sisteminde oluşabilecek olası etkiler
10 - 1	Önemsiz biyolojik etkiler ; Örneğin kalsiyum metabolizmasında veya melatonin (gün-gece ritmini kontrol eder) üretimindeki değişim
< 1	Etkiler yok

Değişken alanın etkisi altındaki baş veya kalp bölgesinde indüklenen akım yoğunlukları ile ilgili sınırlamalar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2 : İndüklenen akım yoğunluğunun sınırları

İndüklenen akım yoğunluğu (rms)	$\left[\frac{mA}{m^2} \right]$	
0,1 - 1	40	16
1 - 4	40 / f	16 / f
4 - 1000	10	4
1000 - 10000	f / 100	f / 250

Değişken alandaki cisimden dokunmadan dolayı oluşan temas (dokunma) akımları ile ilgili sınırlamalar çizelge 3 'de verilmiştir.

Çizelge 3 : Temas akımı ile ilgili sınırlamalar

Temas akımı (rms) $[mA]$		
Frekans bölgesi (Hz)	Mesleki sınır	Genel halk sağlığı için sınır
0,1 - 7500	3,5	1,5
7500 - 10000	3,5	$2 \cdot 10^{-4} f$

Değişken elektrik alan veya manyetik alanın vücutta oluşturduğu akım yüksek değerlerde ise

gibi darbeli EM ısıtımında insan sağlığı üzerinde etkili olur. Standartlar mesleki ve genel halk sağlığı olmak üzere iki seviyede verilmişlerdir. Halkın **İndüklenen akım yoğunluğu için temel sınırlar** İndüklenen akımların biyolojik etkileri aşağıda gösterilmiştir.

sinirleri ve kas dokusunu uyarabilir. Büyük değerlikli statik manyetik alanda yürüten insanda, bu alan baş dönmesine veya bulantıya sebep olabilir. İnsanların elektrik ve manyetik alan içerisinde bulunan metallere dokunmasıyla oluşan kıvılcım boşalmaları ve temas akımları sinir ve kas hücrelerinin uyarılmasına rahatsızlığa, elektrik şokuna neden olabilir.

Manyetik alan şiddeti H ile verilir. Birimi A/m'dir. Manyetik akı yoğunluğu (manyetik indüksiyon) B ile

$$gösterilir. Birimi tesla'dır. \left[T = \frac{Vs}{m^2} = \frac{Wb}{m^2} \right]$$

Pratikte $mT = 10^{-3} T$ ve $\mu T = 10^{-6} T$ alt birimlerde kullanılır.

Manyetik akı yoğunluğu, alan içinde hareket eden yüke etkileyen kuvvet olarak tanımlanır. Manyetik akı yoğunluğu ile H arasındaki orana manyetik geçirgenlik (μ) denir.

$$\frac{B}{H} = \mu \quad (6)$$

Manyetik malzemelerde μ farklılıklar gösterir. Bazen tansör büyüklüğündedir. Biyolojik dokularda μ sabittir. Boşluğun manyetik geçirgenliği

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} [H / m] \text{ 'dir.}$$

6. Yüksek Frekans' EM ısıtımının Etkileme Sınırları ve Standartları

İnsan vücudu yüksek frekans alanlarına duyarlıdır. Vücut ısıtım enerjisi yutar. Yutulan enerji ısıya dönüşür. Yüksek frekanslı alan tüm vücutta veya belli bir bölgede ısı oluşturur. Isı içeride olduğu için ısı algılayıcı olan derimiz tarafından algılanmaz. Bu yüzden vücut sıcaklığı kontrol sistemi etkilenir. Bu etki frekansa bağlıdır. Darbeli ısıtım (örneğin radar, GSM sistemi) sürekli ısıtımından daha fazla biyolojik sisteme etki yapar. Hücre zarında etkilenir.

Teknolojik gelişmeler sonucu EM enerjisini yayınlayan cihazların sayısı hızla artmıştır. EM ısıtımının artması ile birlikte insan sağlığı üzerine zararlı etkileri de artmıştır. EM ısıtımının insan sağlığı üzerine zararlı etkilerini azaltmak için EM ısıtımının belirli bir değerde olmasını belirten standartlar geliştirilmiştir. EM ısıtımına canlıya ulaştığında, bu canlı tarafından soğurulmaktadır. Enerji soğurulması ile ilgili tanımlar aşağıdaki gibidir. İnsan vücudu bir anten gibi davrandığından belirli bir dalga boyunda vücut daha fazla enerji yutar. Vücudun boyutu yarım dalga boyu

(rezonans frekansı) olduğunda vücut daha fazla enerji yutar. Vücut 30-300 MHz rezonans frekansında aynı alandan büyük miktar enerji yutar. Çocuklar yetişkinlerden daha yüksek rezonans frekansına sahiptirler.

Özgül Soğurulma , SA (Specific Absorption)

Biyolojik dokunun birim kütlesi tarafından soğurulan enerji miktarıdır. Ağırlığı dm olan bir kütle tarafından soğurulan enerji dW ise özgül soğurma

$$SA = \frac{dW}{dm} \quad (7)$$

'dir. Kütlelerin $dm = \rho dV$ olduğu göz önüne alınırsa , özgül soğurulma

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{dW}{\rho dV} \quad (8)$$

şeklinde verilebilir.

SA'nın birimi J/Kg dır. ρ ise $[kg/m^3]$ cinsinden vücut yoğunluğunu göstermektedir.

Özgül Soğurulma hızı , SAR (Specific Absorption Rate)

Vücut dokuları tarafından soğurulan enerjinin soğurulma hızıdır.

$$SAR = \frac{d(SA)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dW}{dm}\right)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dW}{\rho dV}\right)}{dt} \quad (9)$$

Özgül Soğurulma hızının birimi $[W/Kg]$ 'dir.

Ayrıca özgül soğurulma, SAR'ın zamana göre integraline eşittir.

$$SA = \int_0^t (SAR) dt \quad (10)$$

SAR aşağıdaki bağıntılardan da bulunabilir.

$$SAR = \sigma \frac{|E|^2}{\rho} \quad (11)$$

$$SAR = c_1 \frac{dT}{dt} \quad (12)$$

$$SAR = \frac{|J|^2}{\rho \cdot \sigma} \quad (18)$$

Burada:

E : Vücuttaki elektrik alan şiddetini $[V/m]$

σ : Vücut iletkenliği $[S/m]$

c_1 : Vücudun özgül ısı kapasitesi $[J/kg.K]$

$\frac{dT}{dt}$: Vücut sıcaklığının zamana göre değişim hızını $[K/s]$

J : Vücutta ısıtım sonucu oluşan akım yoğunluğunu $[A/m^2]$ temsil eder.

IRPA(The International Radiation Protection Association) , *Uluslararası Işınmada Korunma Birliği* ve ANSI (American National Standards Institute) , *Amerikan Standartlar Enstitüsü* , RF ışımasının insan sağlığı üzerine zararlı etkilerinin SAR= 4 W/Kg dan daha büyük değerlerde olduğu göz önüne alarak bu değerin onda biri (1/10) yani 0,4 W/Kg) sınır değer olarak almıştır. Bu değer , RF ışımasının mesleki etkilene sınıırı (*Occupational Exposure Limits*) olarak benimsenmiştir. Bu değer tüm gövde için verilen ortalama SAR değeridir. Bazı koşullarda kol ve bacaklarda yerel SAR 0,4W/kg aşabilir. Bu nedenle IRPA yerel SAR sınırı için kol bacaklarda 2W/100g ve vücudun diğer kısımlarda 1W/100g değerlerini önermiştir. Genel halk sağlığı ışınma sınırı (*Exposure limits for the general population*) 5 kat daha küçük seçilmiştir. Yani genel halk sağlığı için ortalama etkilene SAR sınırı 0,08 (W/Kg)'dir.

İnsan vücudunda soğurulan enerji dağılımı homojen olmadığından ve EM ışınının etkilene koşullarına bağlı olduğu için, ortalama SAR kesin sınır değildir. Tüm vücudun ortalama SAR'ı 0,4 [W/kg] dan az olmasına rağmen soğurulan enerji sınırlı sayıda dokuda yığılabılır. Bundan dolayı yerel sıcaklık yükselmesini önlemek için vücudun herhangi bir kısmı için ek temel sınır 2W/100g önerilmektedir. Gözler, EM ışımasında kritik organlardan biridir. Bu nedenle gözlerle dikkat edilmesi gerekir.

Bu değer, 10 MHz –300 GHz için SAR =0,4 [W/Kg] değerinden türetilmiştir. Bu sınır değeri bir veya birden fazla RF ışınma kaynağı tarafından vücudun , bir çalışma günü boyunca herhangi bir 6 dakikalık periyottaki ortalama etkilene değeridir. Mesleki etkilene sınıırı , sistemin gerçekleştirilmesinde ve bakımında çalışanların ışınmaya karşı korunur olmaları nedeniyle genel halk sağlığı sınırından daha yüksek tutulmuştur.

Genel halk sağlığı için RF ışıması 10 MHz'den büyük frekanslarda tüm vücut için herhangi bir 6 dakikalık sürede ortalama SAR=0,08 W/Kg değerini aşmamalıdır. RF ışımasının genel halk sağlığı için etkilene sınıırı Çizelge 4ss' de verilmiştir. Bu değerler 10 MHz –300 GHz için SAR=0,08 W/Kg değerinden türetilmiştir. Bu sınırlar sürekli veya modülasyonlu bir veya birden fazla elektromagnetik ışımasının etkisinde kalan tüm vücudun 24 saatlik bir gün sırasında herhangi bir 6 dakikalık süresindeki ortalama etkilene değeridir.

Çizelge 4 GSM bandları genel halk sağlığı için etkileme sınırı

Frekans (MHz)	Rms Elektrik alan şiddeti (V/m)	Rms Magnetik alan şiddeti (A/m)	Eşdeğer düzlemsel dalga güç yoğunluğu (W/m) (mW/cm)	
900	41,25	0,111	4,5	0,45
1800	58,34	0,157	9	0,9
1900	59,93	0,161	9,5	0,95

7. Ölçüm Yöntemleri

EM ışımına maruz kalma ölçümleri , temel olarak alan şiddeti veya güç akı yoğunluğu ölçerek elde edilir. Pek çok etkilenme (maruz kalma) durumlarında elektrik ve magnetik alan şiddetleri arasındaki basit ilişkiler yoktur. Bu iki değer için uzak alan şartlarına göre birbirlerine dönüşüm mevcut olmadığından her bir değer ayrı ayrı ölçülmelidir.

Alan şiddeti veya güç yoğunluğu ölçen aletler üç birimden oluşur. Bunlar Algılayıcı (kafa , prob), bağlantı kabloları , ölçme ve değerlendirme birimi.

Dipoller elektrik alan algılayıcı , çerçeveler ise magnetik alan algılayıcı olarak kullanılır. Algılayıcılar tarafından alınan işaretler bağlantı kabloları ile ölçme ve değerlendirme birimine iletilir. Burada , ölçülecek büyüklük değerlendirilerek ölçü aletinin ekranında verilir.

1 MHz'in altındaki aletler genel olarak elektrik alan şiddeti, magnetik akı yoğunluğunu veya akı değişimini ölçerler. 1 MHz'den büyük frekanslarda ölçülen değerler, ortalama alan şiddetinin karesi $|E|^2$, $|H|^2$ veya eşdeğer düzlem dalga güç akı yoğunluğudur ortalamasıdır.

Kullanılan Ölçü aleti aşağıda verilen parametrelerin bir veya birkaçını gösterebilecek şekilde olmalıdır.

- Ortalama güç yoğunluğunu (W/m^2 , mW/cm^2)
- Ortalama E alanını (V/m) veya E alanın karesel ortalamasını
- Ortalama H alanını (A/m) veya H alanın karesel ortalamasını

Güç yoğunluğunun yakın alanda ölçülmesi zordur. Güç yoğunluğu uzak alanda E alan algılayıcısı veya H alan algılayıcı ile ölçülür. Ölçme tekniği $|S|$, $|G|$ da verilmiştir.

EM dalga ışınımı bir ortamda yayılırken gölgelenme , engellenme , saçılma , yansıma ve kırılma gibi çeşitli olaylardan ve uzaklıktan dolayı gücünde azalma olur. EM dalganın hiçbir etkiye maruz kalmadığı ideal bir ortamdaki zayıflamasına

EM dalganın serbest uzay kaybı denir. Serbest uzay zayıflaması uzaklık ve frekansa bağlıdır. Serbest uzay kaybı L_f (dB) denk.(13) ile verilir.

$$L_f = 32,4 + 20 \text{Log} f + 20 \text{Log} d \text{ [dB]} \quad (13)$$

burada f , MHz ve d , km cinsindedir.

Örneğin : $f=900$ MHz'de ve $d=20$ cm için, $L_f = 17,5$ dB'dir. Yani zayıflama $10^{-1,75} = 0,01778$ 'dir.

İşaret 0,01778 defa (veya 1/ 56,23 defa) zayıflamaktadır. Aynı şekilde $f=900$ MHz'de ve $d=2$ m için işaret $1,778 \cdot 10^{-4}$ (veya 1/ 5623,4 defa) zayıflamaktadır.

GSM sisteminde Temel istasyonun yaydığı ışınım dışında cep telefonun (gezin biriminin) yaydığı ışınımında insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir. Cep telefonlarının RF gücü 2 W'dır. Cep telefonları konuşulmak üzere başa yaklaştırıldığında , veya vücut üzerinde taşındığında dokulara çok yakın duruma gelmekte ve RF enerjisinin büyük kısmını dokulara aktarmaktadır. Yapılan bir incelemede [7] başa 2 cm uzaklıktaki cep telefonunun yaydığı gücün yaklaşık % 48-%68'i baş ve el tarafından yutulduğunu ve bu enerjide başta 0,12-0,2 mW/g ortalama SAR oluşturduğu (tepe değer SAR 0,18-7,6 mW/g) 'nu göstermektedir.

GSM sisteminin ışınımın canlılara zararlı etkileri olduğu gibi çevreye de zararlı etkileri vardır. Örneğin GSM sisteminin uçak elektronik sistemine , otomobillerin ABS sistemine , airbag sistemine ve denetim sistemine , tıbbi cihazlara ve diğer elektronik sistemlere bozucu etkisi vardır. (EM ışınımı elektronik sistemleri etkileyerek , çalışmasını engellemektedir.)

8. EM ışınımın İnsan Sağlığına ve Çevreye olan zararlarını azaltılması

EM alanların ışınımın canlıya ve çevreye olan zararlı etkilerini azaltmak için çeşitli önlemler alınabilir. Bu önlemlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

1- Yasal Önlemler

- EM alan ışınımın zararlı etkisini azaltmak ve halkın bu zararlı etkilere karşı bilinçlendirilmesi için Çevre Bakanlığı, Yerel Yönetimler ve İlgili Kuruluşlarla birlikte "EM Işınımından Korunma Kurulu veya Birimi" kurulmalıdır.

Yeni kurulacak sistemin ışınımı, kurulacak yer ve güç açısından incelenmeli, EM ışınım (IRPA / ICNIRP) 'nın belirlediği sınırların altında olanlara izin verilmelidir.

Kurulmuş sistemlerin EM ışınımı sık sık ölçülmeli, ışınımını sınır değerini aşan sistemlerin EM ışınımını

bu sınır değerlerinin altına çekilmeli, aksi takdirde bu sistemlerin çalışmasına izin verilmemeli.

b) GSM temel istasyonlarının ve diğer EM ışıını yayan istasyonların kamu binaları, okul, hastane, kışla ve park gibi yapı ve alanların dışına kurulması sağlanmalı.

c) EM ışıını yayan sistem ve aletlerin ışıınının (IRPA/ ICNIRP)'nın sınırları altında olduğunu belirten bir belgenin ilgili firma tarafından verilmesinin sağlanmalıdır.

d) Halkın EM ışıınının zararları konusunda bilinçlendirilmelidir.

Kurulması düşünülen GSM Temel İstasyonlarla İlgili Müracaatların Değerlendirilmesi Önerisi

GSM sistemi Temel İstasyonunu (Base Station) kurmak için müracaat eden kuruluşlar Teknik Komisyonunu (veya İl Çevre Kuruluna) aşağıdaki bilgi ve belgeleri sunmalıdır.

- GSM Temel istasyonun kurulacağı bölgede istasyon kurulmadan önce bölgede ölçülen ortamın EM ışıınıını (Elektrik alan şiddeti E, Manyetik Alan Şiddeti H, Güç yoğunluğu)
- Kurulacak Temel İstasyonun teknik özellikleri, vericinin çıkış gücü, çalışma frekansları Antenin ışıına örtüsü (Radiation Pattern) ve kazancı
- Temel istasyonun ve antenin yerleşim planı Temel istasyonun elektrik enerjisinin nerden alınacağı
- Seçilen yerin coğrafi konumu
- Kurulacak temel istasyonun meydana getireceği EM ışıını (Elektrik alan şiddeti E, Magnetik Alan Şiddeti H, Güç yoğunluğu S) hesabı. Kurulacak Temel istasyonun ve bölgede daha önce var olan EM ışıınılarının meydana getireceği toplam EM ışıınıının hesabı

(e)'de belirtilen hesap sonucu bulunan EM ışıını Dünya Sağlık teşkilatının (IRPA / ICNIRP) belirlediği değerlerin altında olduğunda istasyonun kurulmasına izin verilmeli

Temel İstasyon kurulduktan sonra EM ışıını tekrar ölçülmelidir. EM ışıını Dünya Sağlık Teşkilatının belirlediği sınırların altında olduğu belirlendiğinde temel istasyonun çalışmasına izin verilmelidir.

Temel istasyonun çalıştığı sürece EM ışıınının sınır değerleri aşp aşmadığı belirlenmesi için belirli aralıklarla ölçüm yapılmalıdır.

EM ışıını kirliliğini ve insan sağlığına etkisini azaltmak için önerilen diğer önlemlerden bazıları

a) Tüm bölgede GSM Temel istasyonlarının belirlendiği İl GSM temel istasyonunun planı çıkarılmalı ve zaman zaman güncelleştirilmelidir. Bu planda temel istasyonların kısaca özellikleri ve EM ışıını değerleri belirtilmelidir.

b) Tüm bölgede diğer EM ışıınıları ölçülerek EM ışıını haritası çıkartılmalıdır.

c) Piyasadaki Cep telefonlarının (GSM'de gezgin haberleşmeyi sağlayan Mobile Station) insanlar üzerinde yarattığı SAR belirlenmeli, SAR'ı düşük olan cep telefonlarının kullanılması önerilmelidir.

d) EM kirlilik konusunda halk bilinçlendirilmelidir. EM ışıınının insan sağlığına ve çevreye zararları anlatılarak korunmak için gerekli önlemler açıkça anlatılmalıdır.

e) Ulusal iyonlaştırma yapmayan ışıınından korunma kurulu (ULYIKK) kurulmalıdır.

II- Bireysel Önlemler

a) Cep telefonlarınızı mümkünse az kullanınız. Cep telefonunuzla konuşurken mümkün olduğu kadar vücudunuzdan uzak tutunuz. Cep telefonlarınızı kullanmadığınız zamanlar kapalı tutunuz. Cep telefonunuz açıkken kendinizden ve çocuklardan uzakta olmasını sağlayınız.

b) Cep telefonlarını çocuklarınızın kullanmasına izin vermeyiniz.

c) Cep telefonlarınızı uçaklarda, elektronik fren ve kontrol sistemi olan taşıtlarda, petrol istasyonunda kesinlikle kullanmayınız.

d) EM ışıını kaynaklarının "İnsan Sağlığına ve Çevreye Zararlı Etkileri Yoktur" belgesini ilgili firmadan almadan ve Çevre Kurulundan izin almadan binanıza bu sistemlerin kurulmasına izin vermeyiniz.

e) Düşük ışıınılı (Radyasyonlu) bilgisayar ekranı kullanınız ve mümkün olduğu kadar ekrandan uzak durunuz.

f) Televizyonunuzu en az iki metre uzaktan izleyiniz, televizyonunuzu hazırlık (standby) konumunda tutmayınız.

g) Floresan lambalarını mümkün olduğu kadar az kullanınız. Fotokopi makinalarından en az 50 cm uzakta durunuz. Mikrodalga fırını çalışırken en 1 m uzakta durunuz.

h) Saç Kurutma makinasını mümkünse kullanmayınız veya başınızdan uzakta kısa aralıkla kullanınız. Saç kurutma makinasını az kullanmaya çalışınız.

i) Elektrikli traş makinası yerine jiletle tıraş olunuz.

i) Elektrikli ev aletleri çalışırken mümkün olduğu kadar uzak bulununuz.

Elektrikli ev aletlerinin oluşturduğu elektrik alan ve manyetik alan şiddetleri Ek 4'deki çizelgede verilmiştir. Bu aletlerden mümkün olduğu kadar uzakta durulduğunda alan şiddetleri azalmaktadır.

9. Sonuç

EM dalga ışımasının insanlara , diğer canlılara ve çevreye zararlı etkisi olduğu anlaşılmıştır. EM ışıması etkisinde kalan canlılar EM enerjisini soğurmaktadır. Soğurulan EM enerjisi vücutta ısınmaya yol açmakta ve bazı organlardaki elektrik akımlarının değişmesine neden olmaktadır. EM enerji soğurulmasının göze, üreme organlarına , sinir sistemine, dolaşım sistemine kötü etkileri vardır.

GSM haberleşme birimi BST antenlerinin yaydığı RF elektromagnetik enerjinin bugünkü bilimsel veriler ışığı altında insan sağlığına zararlı etkisinin az olması için elektromagnetik ışıının Çizelge 4 de verilen sınır değerlerinden daha az olmalıdır. GSM , haberleşme birimi BST antenin yaydığı ışıının bu sınır değerlerini aşmıdığı ölçüm ve hesaplama sonucu belirlenebilir

EM alan ışıınının zararlı etkisini azaltmak için EM ışıını, (IRPA / ICNIRP) belirlediği sınırlarının altında tutulmalıdır.

Ayrıca GSM Temel İstasyonlarının ve diğer EM ışıını yayan İstasyonların kamu binaları, okul, hastane, kışla, ve park gibi yapı ve alanların dışında kurulmalı.

Halk , EM ışıınının zararları konusunda bilinçlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Environmental Health Criteria 137 . World Health Organization , Geneva 1993
2. IRPA Recommendations 1988a
3. TS ENV 50166-1 , 50166-2 Türk standartlar Enstitüsü Standartı Nisan 1996
4. H.Dinçer "GSM Haberleşme birimi BST antenlerinin yaydığı RF elektromagnetik dalgaların İnsan Sağlığına Etkisinin

belirlenmesi" Bilirkişi Raporu , KOÜ EHSAM 1999 , İzmit

5. ANSI (1990) American National Standart Safety level with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 KHz to 300 GHz New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers (ANSI c95.1-1990)
6. R.A Tell (1983) Instrumentation and measurement of electromagnetic fields: Advanced Study Institute, series A.Life Sci., 49: PP 95-162
7. M.A. Jensen , Y.R. Samii "EM Interaction of Handset Antennas and a Human in Personal Communications", Proc. IEEE vol.83.No:1, PP.7 – 17 January 1995.
8. S.Szmigielski et al. " Immunologic and cancer - related aspects of exposure to low-level microwave and radiofrequency fields., In :Marino A.A.,ed.Modern Bioelectricity, NY,Marcel Dekker, Inc., PP. 861 – 925 , 1988
9. S.selçuk "Cep telefonunun sağlığı zararları" Bilten Tübitak başbakanlık tıp danışmanı baş uzmanı
10. Wandel & Goltermann "Safety Test Solutions ", Walter & Goltermann GmbH & Co. Germany
11. Ericsson " CME 20 System Survey " Ericsson Radio System AB. , 1997
12. E.Rehfuess " What are Electromagnetic Fields" EMF Internet Version With Pictures