

Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığına Etkileri ve Alınabilecek Önlemler

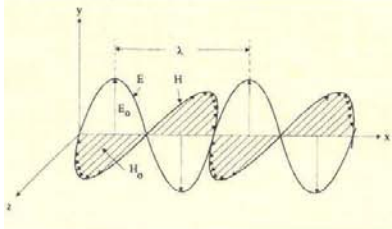
Yard. Doç. Dr. Adnan Cora (cora@ktu.edu.tr), Araş. Gör. Tarkan Demir (tdemir@ktu.edu.tr)
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Giriş

İnsan, kendi ürettiği ve kullanmaya başladığı cihazlar nedeniyle, tabiatta var olan normal ışınım ortamının dengesini bozmuştur. Etkilendiğimiz ışınımın üstünde bir ışınım alanının etkisi içine girmemiz bu konu üzerinde araştırmaların artmasına neden olmuştur.

Radyasyon veya Işınım: Genel anlamda ışınım, enerjinin herhangi bir ortamda yayılmasıdır. Elektromanyetik ışınım ise dalga ve tanecik özellikleri ile iki farklı görüşle açıklanır.

Bilindiği gibi dalga özelliği frekansa göre değişen dalga hareketidir.



Şekil 1. Elektrik ve Manyetik alanın dalga hareketi

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda uluslararası standartlar ve sınır değerler mevcuttur. Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi, bağımsız bir araştırma kuruluşudur ve sınır değerleri dünyanın bir çok ülkesinde kabul görmektedir.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

λ : Dalga Boyu[m]
c: Işık hızı [$3 \cdot 10^8$ m/s]
f: Frekans [Hz]

Yüksek frekanslarda ise dalgalar madde ile karşılaştıklarında dalgadan daha çok tanecik özelliğine sahiptirler. Bu dalgalara foton adı verilir. Her bir foton tarafından taşınan enerji, frekansa bağlıdır. Bu enerji, ışınım etkilerinin sınıflandırılmasında önemli rol oynamaktadır.

$$W = h \cdot f \quad [\text{Joule}] \quad (2)$$

$h=6,62 \cdot 10^{-34}$ [J.s] Planck sabiti

f : Frekans [Hz]
 $W[\text{eV}]=4,14125 \cdot 10^{15} \cdot f = \frac{12,4 \cdot 10^{-7}}{\lambda} \quad (3)$

İnsan sinir sistemi 500.000 km uzunluğu, 25 milyar sinir hücresi ile dev bir elektriksel donanımına sahip muazzam bir elektronik sistemdir. Bedeni fonksiyonların hepsi 1-250 μV arası çok küçük gerilimli elektrik uyarıları ile devam eder. Elektromanyetik alanın dışından bu hassas sisteme tesir etmesi durumunda, tabii sirkülasyon etkilenebilir.

Bu etkileri incelemek üzere araştırmalar iki farklı şekilde yürütülmektedir.

A)Epidemik araştırmalar: Belirli bir hastalık ile muhtemel sebebi arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak araştırır.

B)DeneySEL araştırmalar: Laboratuvarında hayvanlar üzerinde doku hücrelerinin alanlara karşı gösterdikleri etkiler test edilir. Bunlardan başka günümüzde teknolojinin gelişimi ile bilgisayar simülasyonu yöntemi de literatürde yerini almıştır.

1. Radyasyonun Sınıflandırılması

Radyasyon sözcüğü, madde içine nüfuz edebilen ışınlar anlamında kullanılmıştır. Radyasyon iki gruba ayrılır.

• **İyonlaştırılmayan Radyasyon (Non-Ionizing Radiation):** Maddeleri iyonize edecek kadar enerjisi olmayan daha çok ısıl etkilere neden olan ışınımlardır. Elektromanyetik radyasyon bu gruba girer.

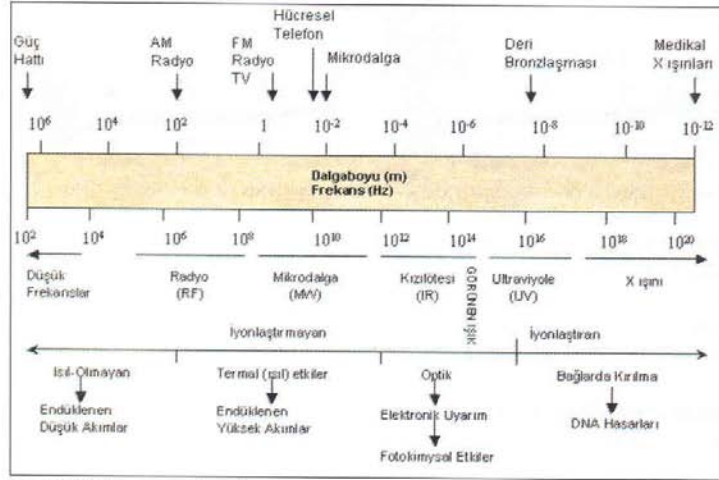
• **İyonlaştırıcı Radyasyon (Ionizing Radiation):** Atom ve moleküllerden elektron koparabilecek seviyede enerjiye sahip olan ışınımlardır. Bu durum molekül yapıda değişmelere neden olur ve biyolojik yapıda ve DNA'nın yapısında bozulmalara neden olabilir. Bu tür ışımaya örnek olarak nötron, proton, alfa, beta ve gama tanecikleri verilebilir.

Işınım enerjisi $W > 12$ eV olduğu takdirde bu ışınım iyonlaştırıcı radyasyon sınıfına girer. $W > 12$ eV, $\lambda < 100$ nm ye karşılık düşer.

1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

1.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyonun Kaynakları

Tıbbi ve bazı endüstriyel uygulamalarda kullanılan hızlandırıcılar çalıştığı sürece radyasyon üretir. Uranyum gibi radyoaktif malzemeler, alfa, beta ve gama olmak üzere enerjileri ve nüfuz etme özellikleri farklı üç tür radyasyon üretir. Nükleer reaksiyonlar da parçalanma (filyon) ve birleşme (füzyon) reaksiyonlarında



Şekil 2. Elektromanyetik spektrum

radyasyon açığa çıkarır. Ayrıca uzaydan yeryüzüne kozmik radyasyon (daha çok güneşten kaynaklanan, ancak yıldızların ve gezegenlerin hareketinin de etkili olduğu radyasyon) etkimektedir. Bu radyasyonun önemli bir kısmı atmosferdeki ozon tabakası tarafından ekranlanmaktadır.

1.1.2. İyonlaştırıcı Radyasyonun Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyon bir çok biyolojik ve kimyasal etkiye sahiptir. Zarar, tek bir molekülde onarılabilecek değişiklikten hücre ölümüne kadar değişiklik gösterir.

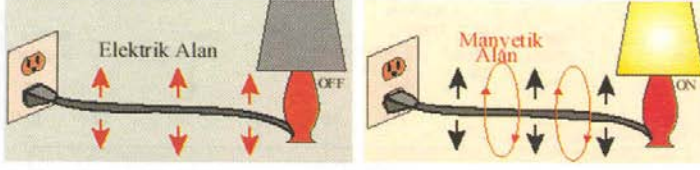
İyonlaştırıcı radyasyonun bedensel (somatik) ve genetik etkileri söz konusudur. Bu etkiler alınan radyasyon dozuna ve süresine bağlıdır. Yüksek radyasyon dozuna maruz kalmış bireylerde görülebilecek bazı rahatsızlıklar: kan ve kan yapan or-

ganlarda tahribat (anemi, lösemi,..), kısırlık, gözde katarakt, ciltte yaralar, kanser gibi kötü tümörler, kalıtsal hastalıklar ve ölümdür.

1.2. İyonlaştırılmayan Radyasyon

12 eV dan düşük enerjili ($\lambda > 100$ nm) elektromanyetik dalgalar bu sınıfa girer. Bu tür radyasyonlar, iyonlaştırıcı radyasyon kadar yüksek ve kalıcı etkiye sahip değildir. Ancak etki süresi ve şiddetine göre vücutta istenmeyen etkilere neden olabilir. İyonlaştırılmayan radyasyonun en genel parametreleri elektrik alan, manyetik alan, güç yoğunluğu ve Özgül Soğurulma Oranı (SAR, Specific Absorption Rate) değerleridir.

Elektrik alan (V/m); Elektrik yüklerinin var olduğu bir ortamda yüklerin birbirine uyguladığı kuvvet şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 3. Cihazın ON-OFF durumu için elektrik ve manyetik alan değişimi

Elektrik alan gerilimle artar ve metre başına gerilimle de tanımlanır. Elektriksel iletken malzemelerle elektrik alan zayıflatılabilir.

Manyetik alan (A/m); Akım taşıyan telin, civarındaki hareketli yüklerle kuvvet uygulaması olayı ile tanımlanır. Akım şiddetindeki artış manyetik alan şiddetini artırır. Bu nedenle şebekelerde manyetik alan değerleri ölçülürken ortalama, maksimum gibi terimler kullanılır. Çünkü yük sürekli değiştiğinden hattan çekilen akım da değişmektedir. Manyetik alanın sınır değerleri için bazen manyetik akı yoğunluğu B (Tesla) kullanılmaktadır. (Manyetik alanla aralarındaki ilişki $B = \mu H$ dir.)

Mesafenin artması ile her iki alan şiddeti de azalmaktadır. Elektrik ve manyetik alan arasındaki önemli bir fark, elektrik alanının kullanılan cihazın fişi şebekeye bağlı olduğu sürece, cihaz kapalı konumda olsa bile hala var olmasıdır. Manyetik alan, cihaz akım çektiği sürece var olacaktır, cihaz kapalı konumda olduğu sürece söz konusu olmaz.

Güç yoğunluğu (W/m²); Dalga yayılım yönüne dik, birim alandan geçen elektromanyetik güçtür.

$$S = ExH, S = \frac{E^2}{\eta} \quad (4)$$

η : Karakteristik dalga empedansı.

Yapılan deneyler, 40-100 mW/cm² yoğunluklu alanların kan damarlarında ciddi hasarlara neden olduğu ve iç organlarda kanamalara sebep olabileceğini göstermiştir [1].

Özgül Soğurulma Oranı (ÖSO, SAR) (W/kg); Vücut dokularının birim kütlesi tarafından soğurulan enerjinin soğurulma hızıdır.

Ağırlığı dm olan bir kütle tarafından soğurulan enerji dW ise, bu kütle tarafından soğurulan enerjinin soğurulma hızı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$SAR = \frac{d \left(\frac{dW}{dm} \right)}{dt} [W / kg] \quad (5)$$

SAR değeri, elektrik alan şiddeti, ortamın efektif iletkenliği ve ortamın lokal kütle yoğunluğu cinsinden (6) eşitliği ile de verilebilir.

$$SAR = \frac{\sigma_{eff} \cdot E_{local}^2}{\rho} \quad (6)$$

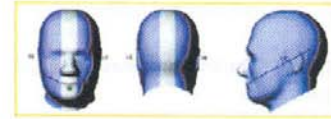
E_{local} : Organizmada ilgilenilen yerdeki elektrik alan değeri (V/m)
 σ_{eff} : Efektif iletkenlik (S/m)

ρ : Lokal kütle yoğunluğu (kg/m³)

Yapılan deneylerde elektromanyetik alanlarda 30 dakikalık bir süre içinde yaklaşık 4 W/kg'lık SAR değerine maruz kalmanın vücut sıcaklığını 1 derece artırdığı gözlemlenmiştir. Bu değer dikkate alınarak mesleki etkilenebilirlik sınırı 4/10=0,4 W/ kg SAR, genel sınır 4/50=0,08 W/ kg SAR olarak belirlenmiştir [2].

Özgül soğurulma oranı vücut büyüklüğüne ve bölgelere göre değişmektedir. Eğer elektromanyetik ışımaya maruz kalan organın boyutu dalga boyu ile mukayese edilebilir büyüklükte ise bu bölgede duran dalga oluşabilmekte ve bazı noktalarda çok yoğun enerji yutulması olabilmektedir. Bu nedenle SAR, dalga boyu ile değişmektedir.

SAR değerlerini doğrudan ölçme imkanı olmadığından dolayı yoldan ölçümler yapılır. İnsan kafasının elektriksel özelliklerine yakın sıvı ile meydana getirilmiş yapma insan kafası üzerinde ölçümler yapılmaktadır [3].



Şekil 4. SAR değerinin ölçülmesinde kullanılan yapma insan kafası modelleri ve ölçmeleri yapan robot.

2. Milletlerarası ve Milli Standartlar

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda uluslararası standartlar ve sınır değerler mevcuttur. Uluslararası



ICNIRP Kontrolsüz Çevre İçin Limit Değerler				
Frekans Aralığı	Elektrik Alan (V/m)	Manyetik alan (A/m)	B (μT)	S (W/m ²)
> 1Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1 - 8 Hz	10 000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8 - 25 Hz	10 000	$4 000 / f$	$5 000 / f$	-
0.025 - 0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0.8 - 3 kHz	250/f	5	6.25	-
3 - 150 kHz	87	5	6.25	-
0.15 - 1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
1 - 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 - 2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

Tablo 1. ICNIRP genel halk için elektromanyetik alan sınır değerleri [2]

iyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), bağımsız bir araştırma kuruluşudur ve sınır değerleri dünyanın bir çok ülkesinde kabul görmektedir.

Amerikan Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI, American National Standards Institute) tarafından oluşturulan

standartlar da sınır değerlerin belirlenmesinde yaygın olarak kabul gören değerlerdir. Türkiye ICNIRP standartlarını esas olarak almış bunun yanında her baz istasyonu için ayrıca sınırlama getirmiştir.

Tek bir cihaz için elektrik ve manyetik alan sınır değerleri, aşağıdaki ortamın toplam sınır değerlerinin 0,25 katıdır. Tek bir cihaz için güç yoğunluğu sınır değeri ise, $(0,25)^2$ katıdır.[4]

(Devam edecek)

IEEE Kontrolsüz Çevre İçin Limit Değerler					
Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan (V/m)	Manyetik alan (A/m)	S (mW/cm ²)	Ortalama Zaman (dk)	
				Elektrik	Manyetik
0.003 - 0.1	614	163	(100,1 000 000)	6	6
0.1 - 1.34	614	$16.3 / f$	(100,10 000/f ²)	6	6
1.34 - 3.0	$823.8 / f$	$16.3 / f$	(180/f ² ,10 000/f ²)	$f^2 / 0.3$	6
3.0 - 30	$823.8 / f$	$16.3 / f$	(180/f ² ,10 000/f ²)	30	6
30 - 100	27.5	$158.3 / f^{1.068}$	(0.2, 940 000/f ^{3.36})	30	$0.0636 f^{3.37}$
100 - 300	27.5	0.0729	0.2	30	30
300 - 3 000	-	-	f/1500	30	-
3 000 - 15 000	-	-	f/1500	90 000/f	-
15000 - 300 000	-	-	10	616 000/f ²	-

Tablo 2. IEEE genel halk için elektromanyetik alan sınır değerleri [5]