

# **İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON**

## **1.ELEKTROMANYETİK DALGALAR**

1.1 Elektromanyetik spektrum ve etkileşmeler

1.2 Elektromanyetik dalgaların ortamdaki yayılmaları

## **2. İYONLAŞTIRICI OLMAYAN ELEKTROMANYETİK DALGA KAYNAKLARI**

2.1 Doğal kaynaklar

2.2 Farklı frekans bantlarında insan yapımı kaynaklar

2.2.1 Statik ve yarı-statik alanlar

2.2.2 Düşük-frekans alanları

2.2.3. Yüksek Frekans Alanları

## **3. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN MADDE İLE ETKİLEŞMESİ**

3.1 Elektrik alanların maddeye etkisi

3.2 Manyetik alanların maddeye etkisi

## **4. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN BİYOLOJİK DOKU İLE ETKİLEŞMESİ**

4.1 Biyolojik dokuların elektriksel özellikleri

4.2 Elektromanyetik alanların biyolojik dokulara penetrasyonu

4.3 Elektromanyetik alanların biyolojik dokularda soğurulması

## **5. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN İNSAN VÜCUDU İLE ETKİLEŞMESİ**

5.1 Düşük frekanslardaki elektrik alanlar ile etkileşmeler

5.2 Düşük frekanslardaki manyetik alanlar ile etkileşmeler

5.3 Elektromanyetik alanlar ile etkileşmeler

#### **5.4 Dozimetrik Nicelikler**

#### **5.5 Kişilerin ışınlanmasını etkileyen faktörler**

### **6. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN BİYOLOJİK ETKİLERİ**

#### **6.1 EM dalgaların insan sağlığına geçici etkileri**

##### **6.1.1 Statik Alanlar (0 – 1 Hz)**

##### **6.1.2 Zamana bağlı olarak osilasyon hareketi yapan EM dalgalar**

###### **6.1.2.1 Çok Düşük Frekansta EM Alanlar**

###### **6.1.2.2 RF ve mikrodalga frekans aralıları**

#### **6.2 ELEKTROMANYETİK dalgaların insan sağlığına uzun süreçteki etkileri**

##### **6.2.1 Düşük frekanstaki EM dalgaların uzun süreç etkileri**

##### **6.2.2 Orta ve RF frekans aralığında ki (100 kHz – 300 GHz) EM dalgaların uzun süreç etkileri**

### **7. IŞINLAMA STANDARTLARI**

#### **7.1. Statik manyetik alanlar**

#### **7.2 1Hz - 100 kHz frekans aralığı**

#### **7.3 100 kHz – 300 GHz Aralığı:**

### **8. HÜCRESEL ANTENLER VE UYGUNLUK SINIRLARI**

### **9. EKLER**

### **10. REFERANSLAR**

## 1. ELEKTROMANYETİK DALGALAR

Hareket eden nesnelere nasıl kinetik enerjileri varsa, elektronlar ve protonlar gibi elektrik yüklü parçacıklar da bir ivme kazandıkları zaman elektrik ve manyetik alanlardan oluşan elektromanyetik dalga yani radyasyon yayarlar. Ek 1 bu konuda daha detaylı bilgi vermek için ilave edilmiştir. Elektrik alanları (E) voltaj farklılıkları, manyetik alanları (H) ise elektrik akımları oluşturur. Voltaj ve akımın artması ile bu alanların güçleri de artar. Şekil 1 de EM dalgaların yayılmaları gösterilmektedir. Dalga boyu, frekans ve genlik bu dalgaların özelliklerini belirtir. Dalga boyu, bir dalganın iki ardışık maksimum noktaları arasındaki mesafedir, frekans ise belirli bir süre boyunca meydana gelen dalgaların sayısıdır. Frekans ve dalga boyu ters orantılıdır. Bir dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki mesafenin yarısına ise genlik denir.

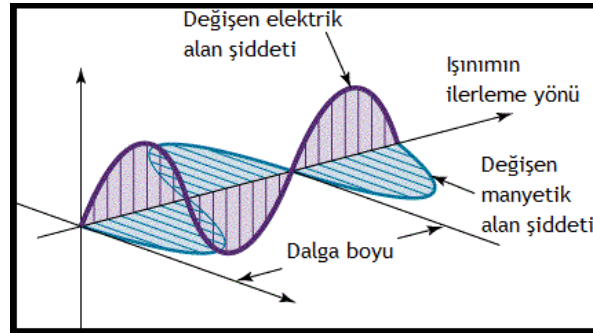
Elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine diktir. Elektrik alanların gücü metre başına Volt (V/m), manyetik alanların ise metre başına Amper olarak (A/m) tanımlanırlar. Manyetik alanlar için manyetik akı yoğunluğu da (B) tanımlanmıştır, birimi Tesla'dır. Eski birim sisteminde (CGS) Gauss kullanılır, 1 T = 10 000 Gauss'dur.

EM dalgalar, elektrik ve manyetik alanları ile enerji içerirler. Enerji, bu alanlar ile kaynaktan ileriye doğru taşınır ve ortamda soğurulması ile gücü azalır. Alanların güçleri arttıkça dalganın taşıdığı enerjide artar. Dalganın genliği elektrik ve manyetik alanların maksimum gücünü belirler, yani dalganın enerjisi dalganın genliği ile orantılıdır.

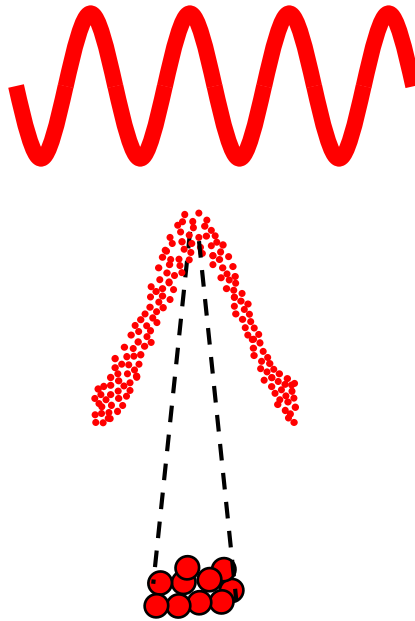
EM dalgaların gücü (S) ise saniyede birim alandan akan enerji olarak tanımlanır ve bu iki alanın çarpımı ile elde edilir ( $S = E.H$ ), birimi metre kare başına watt olarak tanımlanır ( $W/m^2$ ). S değerinin zaman içerisindeki ortalaması ise dalga yoğunluğunu verir (birim alana aktarılan güç), birimi ise  $W/m^2$  dir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon için tarif edilen bu yoğunluk (intensite) kavramının, iyonlaştırıcı radyasyon için kullanılan yoğunluk tanımı ile karıştırılmaması gerekir, İyonlaştırıcı radyasyon için yoğunluk (sıklıkla radyasyon intensitesi olarak ifade edilir), bu radyasyonu meydana getiren radyoaktif kaynağın aktivitesi yani birim zamanda salınan parçacıkların (foton, alfa, beta parçacıkları gibi) sayısını gösterir.

EM dalgaların yayılması radyasyon yayılması olarak da ifade edilir ve enerjileri elektrik yükü taşımayan parçacıklar yani fotonlar tarafından taşınırlar. Fotonlar hem dalga hem de parçacık özelliği gösterirler (Şekil 2). EM dalgalar havada ışık hızı ile ( $3 \times 10^8$  m/s) ile yayılırlar.

EM dalgaların yayılma eksenleri boyunca yönleri polarizasyon (kutuplanma) olarak ifade edilir. Elektrik alanın, yayılma yönüne dik olması dik polarizasyon, yatay olması ise yatay polarizasyon olarak tanımlanır. Bu polarizasyonlar doğrusaldır, elektrik alanın yayılma eksenini etrafındaki dönme durumuna ise dairesel veya eliptik polarizasyonlar denir.



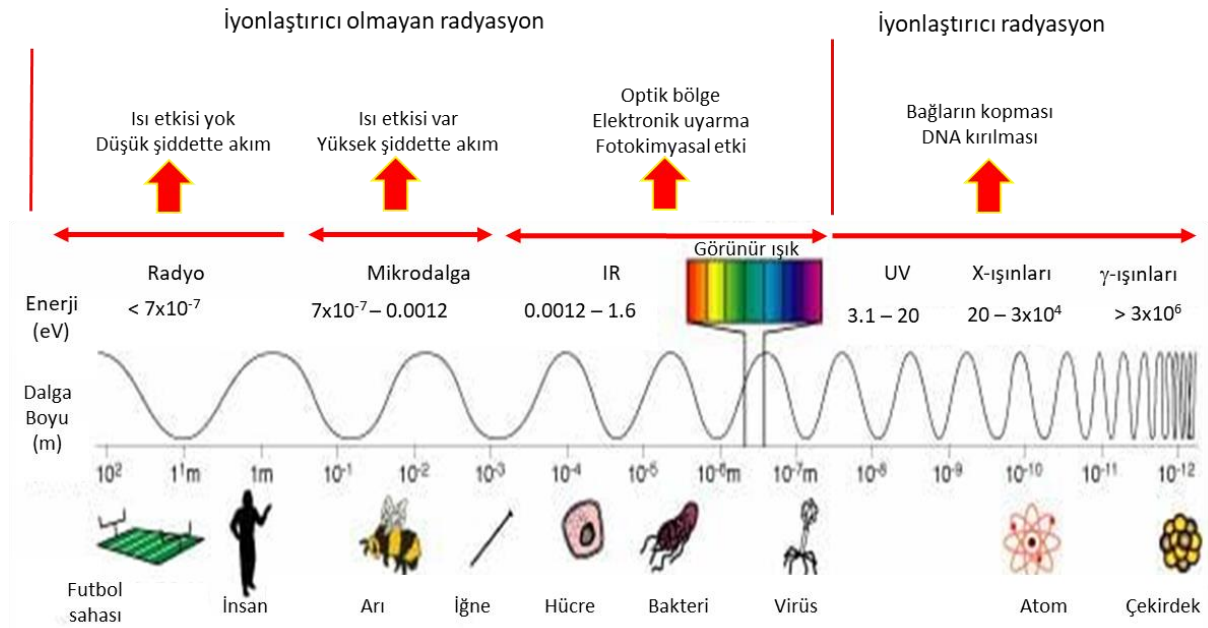
Şekil 1. EM dalgalar birbirine dik elektrik ve manyetik alanlardan oluşur



Şekil 2. Elektromanyetik dalgaların parçacık (foton) – dalga özelliği. Dalganın belirli bir kısmı büyütülerek dalgayı oluşturan fotonlar temsili olarak gösterilmiştir. Denizde dalgalarla birlikte hareket eden kum tanecikleri bu özelliğe benzetilebilir.

## 1.1 Elektromanyetik spektrum ve etkileşimler

Şekil 3’de farklı dalga boyları ve bunlara karşı gelen enerji ile frekansları içeren EM spektrum gösterilmektedir. Spektrum öncelikle, iyonlaştırıcı olan ve olmayan enerji bölgeleri olarak ikiye ayrılır. Ultraviyole ışığın belirli bir dalga boyundan başlayarak ( $3 \times 10^{15}$  Hertz), X-ışınları ve gama ışınları olarak adlandırılan enerji bölgelerindeki ışınlar iyonlaştırıcı, daha düşük enerji bölgelerindeki ışınlar ise iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olarak tanımlanır.



Şekil 3. Elektromanyetik spektrum. En düşük enerjiler en uzun dalga boyuna (veya en kısa frekanslara) karşı gelirler. Şekilde soğurulmanın maksimum olacağı dalga boylarına karşı gelen nesnelerin boyutları da gösterilmektedir. Frekansı 1 Hz'den düşük olan dalgalar statik EM dalgalarıdır. 300Hz'e kadar olan bölge çok düşük frekans bölgesi, 300 Hz ile 300 MHz arası radyo frekans bölgesi, 300 MHz ile 300 GHz arası ise mikrodalga frekans bölgesidir. Daha sonra kızıl ötesi, görünür ışık, X ve gama ışın bölgeleri gösterilmektedir.

EM dalgaların madde ile etkileşmeleri, enerjisine yani frekansına ve dalga boyu ile etkileşme ortamının boyutları arasındaki orana bağlıdır. İyonlaştırıcı olmayan enerjilerdeki etkileşmelerde, EM dalganın dalga özelliği (denizde dalgaların bir kayığı sallaması gibi) dikkate alınır. EM dalgaların enerjisi, dalganın genliğine (elektrik ve manyetik alanlar için voltaj ve akımın büyüklüğüne) bağlıdır (dalga yüksekliği arttıkça kayık daha fazla sallanmaya başlar). İyonlaştırıcı bölgede ise dalganın özelliklerini, dalgayı oluşturan parçacıklar yani fotonlar belirler. Fotonların enerjisi dalganın enerjisini verir ve enerji birimi elektron volt (eV) olup, bir elektronun durgun halden 1 voltluk potansiyel farkını aşabilmesi için kazanması gereken kinetik enerji olarak tanımlanır. EM dalgaların soğurulmasında bir diğer faktör soğurucunun boyutudur. Bu boyut dalga boyu ile kıyaslanabilir olmalıdır ve maksimum soğurulma, ortam boyutunun dalga boyunun yarısı kadar olduğu durumda gerçekleşir.

EM spektrumun en düşük enerji bölgesinde radyo dalgaları söz konusudur. Radyo dalgalarının, 50 Hz'de dalga boyları 6000 km'dir. Bu mesafe, vücut içerisinde söz konusu olacak etkileşme mesafelerine göre çok büyüktür, insan vücudu radyo dalgalarını tamamen geçirir. Dikkat edilecek olursa, EM dalganın ortamda soğurulması için enerjisinin düşük olması tek şart değildir. EM dalgaların dalga boyları azaldıkça (enerjileri arttıkça) daha küçük boyuttaki nesnelere tarafından soğurulmaya başlarlar. Biyolojik yapılarla olan etkileşmeler, artan enerji ve azalan dalga boyu ile orantılı olarak, organ ve dokular, hücreler, moleküller, atom ve atom çekirdeği boyutuna kadar uzanır (Şekil 3).

Biyolojik yapılarda molekülleri bir arada tutan molekülsele veya kovalent bağların (ortak elektronlar tarafından oluşturulan kimyasal bağ) koparılması için gerekli enerji 1 – 10 eV mertebesindedir. Örneğin hidrojen için bu değer 0.1 eV'dur. 50 Hz'deki bir EM radyasyonun parçacık enerjisinin  $10^{-12}$  eV olduğu düşünülürse, bu enerjinin kovalent bağları koparması mümkün değildir. Bağları koparacak EM dalga enerjilerine ancak görünür ışık bölgesinde ulaşılır.

Enerjinin arttığı yüksek frekans bandında, dalga boyları ortamdaki moleküllerin boyutları ile kıyaslanabilir olduğunda, bu dalgalar ortamın moleküllerine enerji aktarırlar ve titreşmelerine neden olurlar. Hava molekülleri ve bilhassa moleküler oksijene bağlı etkileşimler sonucu soğurulmanın başlaması, dalgaların havadaki menzillerinin kışalmasına neden olur. Örneğin,

frekansın 70/80 GHz bandından 60 GHz'e düşürülmesi durumunda, iletişim mesafesi 3 km'den 400 m'ye düşer. Bunun nedeni 60 GHz'deki oksijene bağlı soğurmadır.

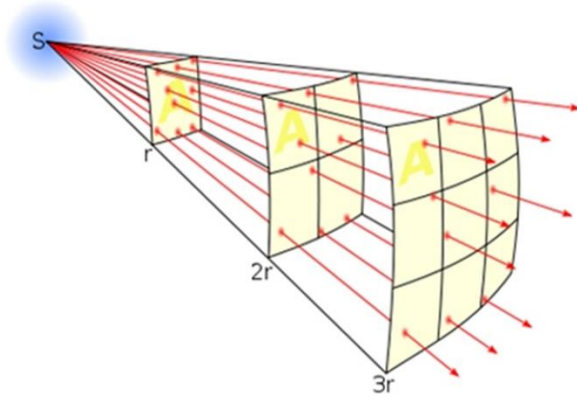
İyonlaştırıcı bölgede radyasyon enerjileri, etkileştiği ortamdaki atomların elektronlarını yörüngelerinden koparacak kadar yüksektir (fotoelektrik olay), sonuçta molekül ve ortamın özelliği değişir. Bu enerjinin en düşük değeri, yaşayan organizmalardaki elementler için ortalama 10 eV civarındadır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon bölgesinde ise enerjiler, örneğin mikrodalga bölgesinde 100 000 kat daha azdır ve herhangi bir iyonizasyona neden olması yani molekül yapısının bozulması mümkün değildir.

Radyo dalgalarının menzillerinin artan frekansları ile azalma özelliği, çok yüksek frekanslarda olan X ve gama ışınları için geçerli değildir, parçacığın enerjisi frekansla doğru orantılıdır.

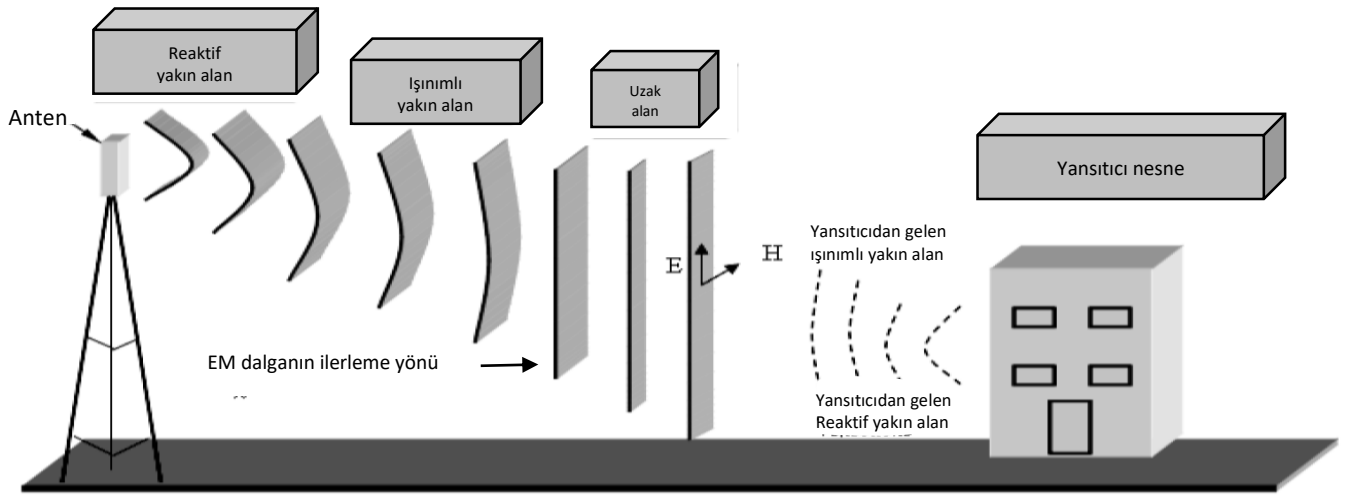
X-ışınları bölgesinde dalga boyları atomik boyutlarla orantılıdır, etkileşmeler atomun elektronları ile gerçekleşir. Gama ışınlarında ise dalga boyları o kadar kısadır ki etkileşme atom çekirdeği ile gerçekleşir.

## **1.2 Elektromanyetik dalgaların ortamdaki yayılmaları**

EM dalgaların gücü yani enerjisi kaynaktan uzaklaştıkça, ses dalgalarına benzer şekilde azalır. Bunun nedeni dalgaların kaynaktan çevreye doğru küresel olarak yayılmalarıdır, kaynaktan uzaklaştıkça kürenin çapı artacak, enerji mesafe ile daha geniş bir küre yüzeyine yayılacak ve mertebesi birim alan başına azalacaktır (Şekil 4). Örneğin, mıknatısın etrafına dağıtılan demir tozlarının dağılımı en yoğun olarak mıknatısın uçlarında görülür, mıknatıstan uzaklaştıkça tozların yoğunluğu azalmaktadır. Elektrik alanın enerjisi de benzer şekilde kaynaktan uzaklaştıkça azalır. Yine günlük hayattan bir örnek verilirse, 60 W gücünde bir lamba ile büyük bir salonu, küçük bir odayı aydınlattığınız gibi aydınlatamazsınız. Hiçbir soğurucunun olmadığı ortamda EM dalgaların enerjisi uzaklığın karesi ile azalır.



Şekil 4. EM dalgalar kaynaktan uzaklaştıkça daha geniş alanlara dağılırlar. Kaynağın içerdiği enerji, EM dalgalar ile her yöne yayılır. Belirli bir katı açı içerisindeki enerji sabittir. Kaynak dışında birim alanda enerji azalırken, kaynağı çevreleyen küreye yayılmış olan toplam enerji, kaynağın başlangıçtaki enerjisiyle aynıdır.



Şekil 5. EM dalga yayan bir antenin etrafındaki yakın ve uzak alan bölgeleri. Yansıtıcı bir nesne, yine kaynak özelliği gösterir.

Verici bir antenden yayınlanan EM alanının özellikleri antenden olan uzaklığa bağlı olarak değişir. Bu alanlar kabaca yakın alan ve uzak alanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar (Şekil 5). Bu iki alanın sınırı antenin geometrik boyutları ve dalga boyuna bağlıdır.

**Uzak alan bölgesi,** yakın alan sınırından uzak mesafelere uzanır, bu bölgede elektrik ve manyetik alanların açısal dağılımları kaynaktan olan uzaklıktan bağımsızdır ve alanlar “düzlem dalga” özelliğindedir. Alanlar, birbirlerine ve ilerleme yönlerine dik olup homojen bir dalga deseni gösterirler ve güçleri antenden artan uzaklıkla ters orantılı olarak azalır.

**Yakın alan bölgesinde** alanlar **reaktif ve ışınımlı (radiating) alanlar** olmak üzere iki bileşene ayrılırlar. Bu bölgede elektrik ve manyetik alanların uzaysal dağılımları birbirlerinden bağımsızdır. Alanları bu şekilde tanımlanmasında, anten önündeki mesafelerde bileşenlerin birbirlerine göre güçlerinin farklılığı dikkate alınır. Reaktif alan antenin hemen yakınındadır, gücü antenden artan mesafenin üçüncü kuvveti ile yani çok hızlı bir şekilde düşer. Bunun nedeni, dalgaların anten yakınındaki ortamla (bir diğer anten veya metal nesnelere) etkileşerek soğurulması sonucu antenin gücünü zayıflatmasıdır (antendeki akım ve yüklerden kaynaklanan indükleyici ve kapasitif etkiler). 900 MHz civarındaki frekanslarda reaktif alan kaynaktan 5 cm mesafeye kadar uzanır. Mobil telefonların kişinin kafa bölgesini daha fazla ışınlanması bu nedendir. Benzer şekilde iletişimde kullanılan antenlerin bakım ve onarımlarında çalışanlar yine reaktif alanın etkisindedirler. Işınımlı alanların antenden uzaklaştıkça güçlerinin azalması daha yavaştır, bu azalım uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.

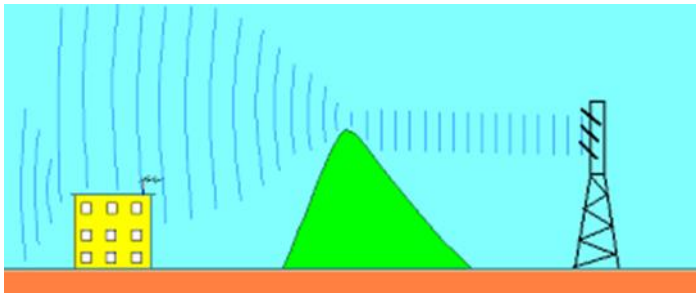
Yayınladıkları EM alanların dalga boylarına göre daha büyük boyutta olan antenlerin ışınımlı alanları, reaktif alanlardan daha ileri uzanırlar ve ancak bu alandan sonra uzak alan bölgesi başlar. Işınımsal alanın boyutu  $2 D^2 / \lambda$  bağıntısından bulunabilir. D, antenin ışınım yapan en büyük boyutunu göstermektedir.  $\lambda$  ise dalga boyudur.

Yüksek kazançlı antenlerin ışınımlı yakın alan bölgeleri uzun mesafelere uzanır. Mobil telefonların bazı istasyonlarında kullanılan telekomünikasyon antenlerinde ışınımlı alanlar birkaç metre, uydu iletişimideki çanak antenlerde ise bu uzaklık bir kilometre veya daha fazladır.

Bir ortamda ilerleyen EM dalgalar, dalga boylarına ve ortamın özelliklerine göre farklı etkileşimler yaparlar;

- Ortamdan geriye doğru yansıtılabilirler (reflection).
- Ortamın boyutları dalga boylarından büyükse farklı yönlere saçılabilirler (scattering).
- Ortamın boyutları dalga boyundan küçük ise doğrudan geçerler (transmission).
- Ortamın kırılma indeksinin farklı olması durumunda kırılma (refraction) yaparak yollarına devam edebilirler.
- Çok uzun dalga boyundaki dalgalar ortamdaki sivri tepelerde bükülmeye, kırınımına (diffraction) uğrarlar (Şekil 6).
- Ortamda ki parçacıklarla etkileşimleri sonucu enerjileri, dolayısıyla güçleri azalır ve soğurulmaya (absorption) uğrarlar. Eğer, ortamın boyutu dalga boyunun yarısı kadar ise soğurulma maksimum olur ve bu durum **rezonans** olarak ifade edilir.

Yıllar önce Boğaziçi köprüsünde yapılan maraton koşusu sırasında, çok sayıda katılımcının attıkları adımların köprüye verdiği kuvvet ile köprünün titreşim frekansının çakışması sonucu köprünün nasıl hareket ettiği rezonansa bir örnek olarak verilebilir.



Şekil 6. Uzun dalga boylarındaki EM dalgalar yeryüzünün yapısına göre ilerlerler, tepelerin üzerinde bükülmeye uğradıklarından uzun mesafelere ulaşabilirler.

Uzun dalga boyundaki radyo dalgaları kısa dalga boylarındaki radyo dalgalarına göre daha uzun mesafelere ulaşırlar. 2 MHz'den düşük frekanslardaki (orta ve uzun dalga boyları) dalgaların dalga boyları, dağ ve tepeler gibi engellerin boyutlarından büyük ise bükülmeye uğrayarak ufuk çizgisi boyunca, yeryüzünün dış hatlarını izleyen yüzeysel dalgalar (ground waves) halinde ilerlerler. Dalga boyu yüzlerce metre uzunluğundaki radyo dalgalarının menzilleri yüzlerce

kilometreyi bulabilir. Odaların duvarlarından kolayca geçebilirler, ancak dalga boyları ile karşılaştırılabilir uzunluktaki engellerde soğurulurlar. Dağlık yollarda araba ile yol alırken, radyo sinyalinin artıp azalmasının nedeni budur.

Orta ve kısa dalga boylarındaki radyo dalgaları atmosferin iyonosfer tabakasındaki yüklü iyonlar tarafından yansıtılarak tekrar yeryüzüne yönlendirilirler (skywaves), bu tür çoklu yansımalar ile kıtalararası mesafelere ulaşırlar. Frekans azaldıkça ulaşılabilecek mesafeler daha da artar.

30 MHz üzerindeki frekanslarda EM dalgalar görüş mesafesi (line-of-sight) boyunca, verici ve alıcı antenler arasındaki doğrusal bir hat boyunca yayılırlar. Her ne kadar doğrusal bir yayılım olsa da, bina ve ağaçlar gibi engellerden geçebilirler. Yeryüzünde görüş mesafesi 64 km ile sınırlıdır. Bu iletişim hücreli telefonlar, FM, televizyon ve radarlarda kullanılır.

EM dalgaların görüş mesafesinin ötesine, yansıma ve bükülmeler ile doğrusal bir yayılım yapmadan geçmeleri de mümkündür. Dalgalar bir bina kenarından, taşıttan veya bir koridordaki dönüşten bükülerek yollarına devam edebilirler. Bunun yanında yapıların duvarlarından, taban ve tavanlarından, taşıtlardan ve toprak gibi yüzeylerden kısmen yansiyabilirler. Bu tür yayılım mobil telefonları ve kablosuz ağlar gibi kısa menzil iletişimlerde söz konusudur. Ancak, verici ve alıcılar arasındaki bu çok yönlü iletişim, dalgaların birbirleri ile karışmasına ve sonuçta sinyalin zayıflamasına neden olur.

Yukarıdaki paragraflardan anlaşılacağı gibi düşük frekanstaki EM dalgaların ortamdaki engelleri bükülerek aşmaları, yüksek frekanslara göre daha uzun menzilleri olmasına neden olur. Artan frekansla dalgaların ortam etkileşimleri daha fazladır, engellerin boyutlarına göre yansıma ve soğurulmalar ortaya çıkar.

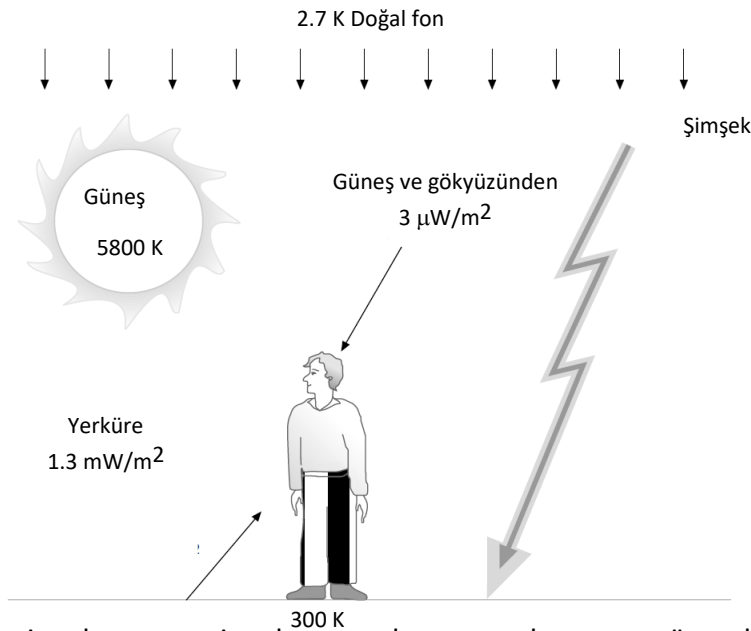
## 2. İYONLAŞTIRICI OLMAYAN EM DALGA KAYNAKLARI

Gerek doğal gerekse insan yapımı kaynakların oluşturduğu EM dalgalar ile iç içe yaşamaktayız. EM dalga kaynaklarının özelliklerini salınımları, ışınlamaları ve dozları belirler.

Salınımlar, EM dalganın ışınlama gücü, uzaysal ve zamansal dağılımı ve polarizasyonu ile karakterize edilir. Işınlama, EM alanın yayıldığı ortamda kişiyi nasıl etkileyeceğini belirten bir kavramdır ve EM dalganın elektrik ve manyetik alanlarının yönü ve kuvveti ile değişir. Işınlama sadece kaynağın özelliklerine değil, ışınlanan alana çevrenin nasıl etkilediğine de (dalgaların yansımaları, kırılması ve zırhlanması gibi) bağlıdır. Doz ise ışınlanan dokularda ortaya çıkan etkinin nümerik olarak belirtilmesidir

### 2.1 Doğal kaynaklar

Pusulanın kuzey-güney yönünü göstermesi dünyanın manyetik alanı nedeniyle ve bölgesel olarak 35 – 70 mT arasında değişiklik gösterir. Atmosferin radyal olarak yönelmiş elektrik alanı vardır, ortalama değer 100 V/m civarında olup dünyanın enlemleri, hava durumu, mevsim ve günün saatlerine göre 50 – 500 V/m arasında değişiklik gösterir.



Şekil 7. Güneş, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun önemli bir kısmını yayar.

Yerküre tarafından toprak seviyesinde güneşten alınan toplam enerji yaklaşık 1000 W/m<sup>2</sup> dir. Bu enerjinin %44'ü kırmızı ötesi, %44 görünür ışık, %3 ultraviyole ve çok düşük bir yüzde (3 W/m<sup>2</sup>) radyo dalgalarıdır (ICNIRP 2009).

## 2.2 Farklı frekans bantlarında insan yapımı kaynaklar

EM dalgaların yapay olarak üretilebilmesi elektrik ve manyetik alanların birlikte oluşturulmasına bağlıdır.

Frekans bantları statik ve yarı-statik (0 -1 Hz), düşük -frekanslarda elektrik ve manyetik alanlar (1 Hz – 10 MHz) ve yüksek – frekans elektromanyetik alanlar (100 kHz – 300 GHz) olarak yapılabilir. Son iki bandın kesin bir ayırım sınırı olmayıp ara frekanslarda etkiler bağlamında üst üste gelirler. 1 – 30 GHz aralığı mikro dalga, 30 – 300 GHz arasındaki frekanslar ise mmDalgalar (mmWaves) olarak adlandırılır.

### 2.2.1 Statik ve yarı-statik alanlar:

Tıpta kullanılan nükleer manyetik görüntüleme sistemi, toplu taşımada kullanılan metro ve elektrikli trenler, yeni üretimine başlanan elektrikli arabalar bu tür alanları kullanılırlar.

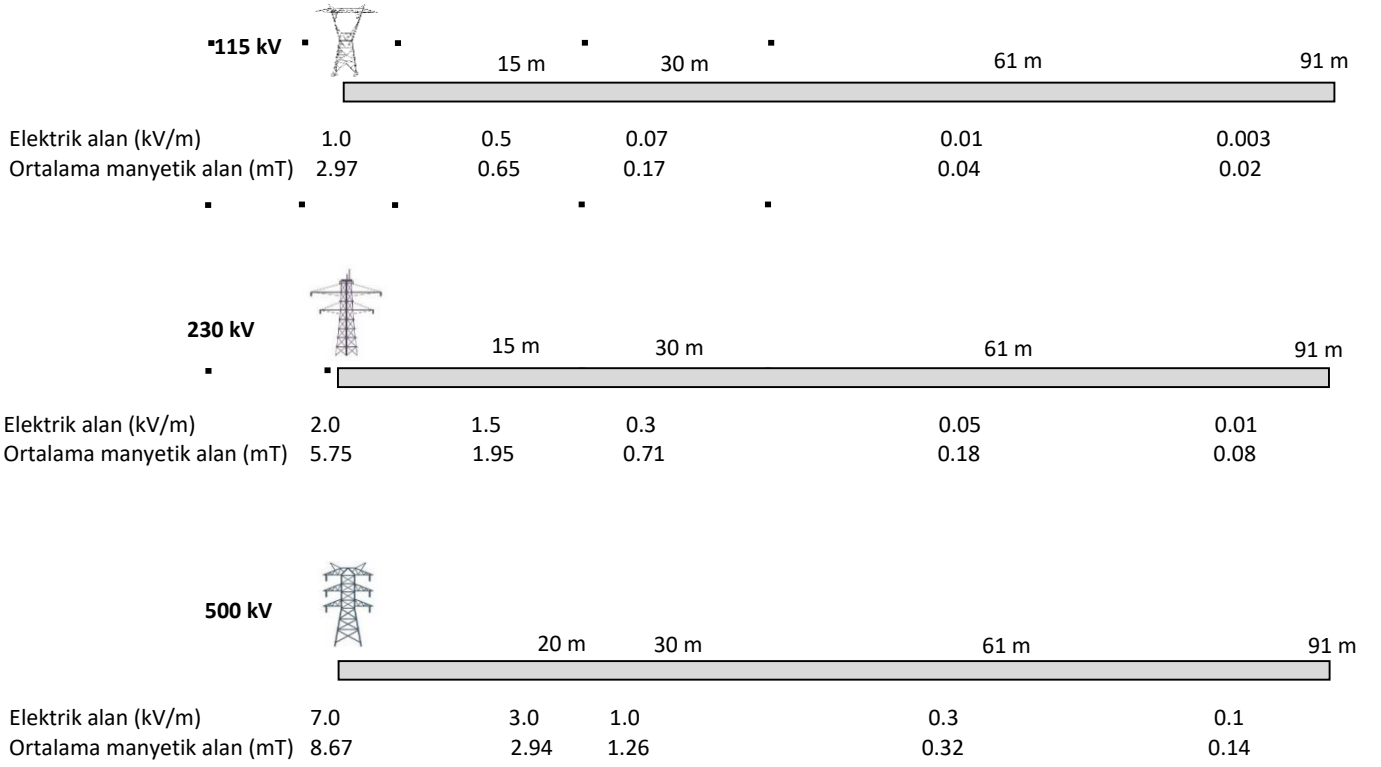
### 2.2.2 Düşük-frekans alanları

Bu bölgede elektrik ve manyetik alanlar birbirinden bağımsız olarak dikkate alınırlar. Bu frekansları kullanan teknolojiler;

Güç hatları: Elektrik, güç istasyonlarında (hidroelektrik, nükleer reaktör gibi) üretildikten sonra (20 000 V üzerinde), ulusal ağ sistemi ile uzun mesafelere en az kayıp ile iletilebilmek için 275 000 – 400 000 volt mertebelerine yükseltilir. Uzak mesafelere olan elektrik iletiminde yüksek voltaj - düşük akım kullanılır, Yüksek akım, hatlarda oluşturduğu ısı nedeniyle tercih edilmez. Yerleşim yerlerine ulaştırılan elektrik, buradaki yerel istasyonlar vasıtasıyla farklı yönlere dağıtılır. Frekansları ise 50 – 60 Hz dir

Elektrik alanın gücü hattaki voltajla orantılıdır ve hattın yerden yüksekliği arttıkça alanın gücü toprak seviyesinde azalır.

Hatlardaki manyetik alanın gücü ise harcanan elektriğe bağlıdır. Dolayısıyla mevsime, gün ve saate bağlı olarak değişiklik gösterir. Manyetik alanların da hattan uzaklaşmayla güçleri azalır. Şekil 8’de 115kV, 230kV ve 500 kV voltajlarında elektrik ve manyetik alan değerlerinin nasıl azaldığı gösterilmektedir (WHO 2007B).



**Şekil 8.** 115, 230 ve 500 kV güç hatlarında elektrik ve manyetik alanların mesafeye bağlı azalmaları. 110, 220-230 ve 500 kV antenler için minimum emniyet mesafeleri 20 m, 25 m ve 30 m'dir. Toprak seviyesinde ortaya çıkabilecek maksimum elektrik alan değeri 10 kV/m civarındadır.

#### Endüstride kullanılan bazı kaynaklar:

Endüstride kullanılan çok çeşitli cihazlar farklı şiddette alanlar meydana getirirler, örneğin endüksiyonla ısıtma donanımları, 25 kHz'e kadar olan frekanslarda çalışırlar. Bu kaynaklara 0.1 - 1m mesafede duran çalışanlar 12-1000 A/m civarında manyetik alanlara maruz kalabilirler.

Elektrik transformatörleri, Bu transformatörlerde manyetik alanın çevresine fazla bir ışınlama yapması söz konusu değildir zira alan bobinler arasındadır.

Evlerde kullanılan elektrikli cihazlardan yayılan ışınlamalar: Evlerde kullanılan elektrikli cihazlar, şehir şebekesine bağlandıkları an elektrik alan üretmeye başlarlar. Manyetik alanların ise ancak cihazlardan bir akım geçtiğinde oluştuğunu hatırlayalım. Işımlar, cihazların türüne göre çok farklılıklar gösterir, örneğin fırın ve bazı mutfak aletlerinin 30 cm mesafede verdikleri ışınlar 10 – 20  $\mu$ T civarındadır ve artan mesafe ile bu değerler çok hızlı bir şekilde düşer.

Örneğin bir elektrik süpürgesinin 1 m mesafede neden olduğu manyetik alanını gücü, 5 cm mesafedeki gücüne kıyasla 200 kat daha düşüktür (40  $\mu$ T).

Elektrik alan ışınlamaları da düşük seviyededirler, buzdolabı, fırın, saç kurutma gibi cihazların 30 cm'deki ışınlamaları 120 V/m 'den daha azdır.

Çevresel kaynaklar yaşam yerlerinde her zaman mevcuttur ve kişilerin tüm vücutları ışınlanır. Cihazlar ise vücudun geçici olarak belirli kısımlarının ışınlanmasına neden olurlar. Bu kaynaklardan belirli mesafelerde kalınmasıyla ışınlamalar ihmal edilecek seviyelere düşürülebilir.

Radyo dalgaları, levha şeklinde homojen bir madde üzerine geldiğinde, geçirilen enerji, plakanın kalınlığı ile üstel olarak azalır, dalganın giriş yaptığı yüzey çıkış yaptığı yüzeye göre daha fazla enerji soğurur

### **2.2.3. Yüksek Frekans Alanları**

EM alan ışınlamalarının söz konusu olduğu, yani elektrik ve manyetik alan ışınlamalarının ayrı ayrı değerlendirilmediği frekanslar 100 kHz (dalga boyu 3 km) ile 300 GHz (1 mm) bandındadır. Aşağıda bu frekansları kullanan örnekler kısaca verilmektedir.

*Radyo ve televizyon yayınları:* Yayınların geniş bir alana ulaşabilmesi için bu alanların güçleri anten yakınlarında son derece yüksek olabilmektedir. AM (amplitude-modulated) vericileri ise çok uzun mesafelere yayın yapmak için kullanılır, bu vericiler anten dizileri içerirler ve kaynak yakınındaki ışınlamaları hayli yüksektir. 300kHz ile 30 MHz arasında yayın yapan vericilerin güçleri 600 kW'a ulaşabilir. Yüksek güçleri nedeniyle, AM antenleri kişilerin erişimini engelleyecek tepe noktalara monte edilirler. Bu antenlerin bakım ve onarımlarında çalışan teknik elemanların bu ışınlamalara maruz kalmaması için işlemler sırasında güç üretimleri kesilir. 415 kHz – 1.6 MHz arasında yayın yapan AM radyonun anten kulesinden 50 m mesafede duran bir kişi 450 V/m'ye kadar ışınlamaya maruz kalabilir.

FM (frequency modulated) radyolarının kapsam alanları yöresel oldukları için güçleri, AM vericilere göre daha düşüktür ve antenleri AM antenlerinden çok daha küçük boyuttadırlar, yüksek binaların üzerlerine monte edilirler. Bu antenlerin ışınlamaları binaların toprak

seviyelerinde çok düşüktür. Örneğin, 88 -100 MHz arasında 300kW gücünde bir anten kulesinden 1500m uzaktaki bir kişinin etkileneceği elektrik alan 4 V/m'dir.

TV vericilerinin güçleri ise 40 kW civarındadır, FM antenlerine benzer olarak binaların çatılarına monte edilirler, 470 - 854 MHz arasında yayın yapan 1 MW gücündeki analog TV vericisi çevresine verdiği ışınlama 3V/m kadardır.

Wi-Fi (Wireless Fidelity - Kablosuz Bağlantı Alanı) olarak adlandırılan ağlar, kişisel bilgisayarlar ve akıllı telefonlar gibi donanımların birbirleri ve internet ile bağlantı yapmasını sağlarlar. Bu ağı kullanan cihazlar 2.4 – 2.5 GHz bandında 10 - 100 mW güç aralığında çalışırlar.

Modemler (Access point), kablolu hattın gelen bilgiyi ortama ulaştırırlar. Yapılan bir çalışmada (Peyman 2011), bir ilk okulun aynı salonunda bulunan 15 diz üstü bilgisayar ve 12 modemin verdikleri toplam ışınlama, bu cihazlara 0.5 m mesafede 22 ve 87 mW/m<sup>2</sup>, 1 m de ise 4 ve 18 mW/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. ICNIRP tarafından önerilen referans değerin 10 W/m<sup>2</sup> olduğunu belirtelim (7 Bölüm). Bir başka çalışmada 2.4 GHz'de 100 mW gücün de ve %100 meşgulliyet faktöründe (nadiren söz konusu olabilecek konuşma süresi), kafadaki SAR değeri 5.7 mW/kg olarak ölçülmüştür (4 Bölüm). Bu değer tipik bir mobil telefon konuşmasındaki ışınlamanın %1'i kadardır.

Baz istasyonları ve mobil (cep) telefonlar genelde 700 Mhz ile 5 GHz arasında çalışmaktadırlar.

Baz istasyonlarının yayın gücü mobil telefonlardan 10 – 100 kat daha fazladır, ancak telefon, kullanıcının eli ve kafası ile temas halinde olduğundan ışınlanması 10 000 kat daha fazla olabilmektedir. Kişinin ışınlanmasında bir diğer faktör konuşma süresidir. Ayrıca, bir mobil telefon, hücresele ağı sürekli olarak bağlı kalmak durumunda olduğu için baz istasyonları ile kısa mesajlaşmalarda bulunur. Mesaj aralıkları belirli bir ağı içinde kalındığı süreçte, örneğin saatte bir, sürekli yer değiştirmede ise, örneğin araba ile giderken, dakika içerisinde değişir. Baz istasyonlarının yayın güçleri mesafeye bağlı olarak azaldığından, ses kalitesinin hep istenilen düzeyde olması için, mobil telefonlar istasyona olan yakınlığına göre iletişim gücünü ayarlarlar. Bu otomatik kontrol kişilerin daha az ışınlamaya maruz kalmasını sağlar.

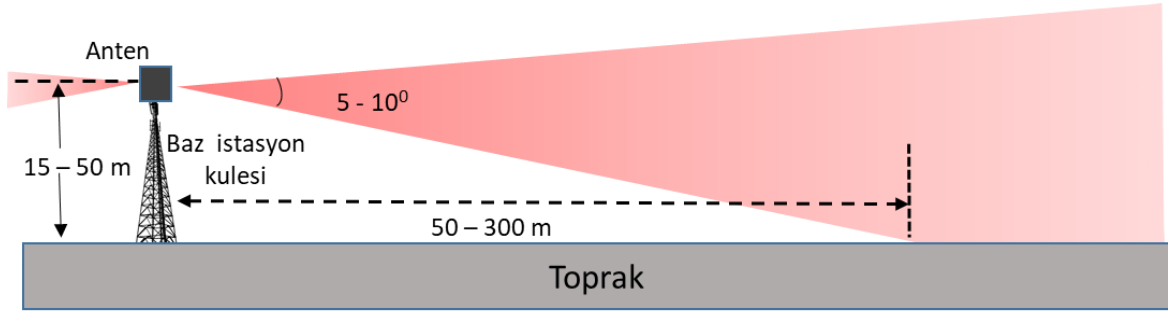
Mobil telefonların maksimum güçleri, model ve frekansa göre değişmekle beraber genelde konuşma esnasında minimum 1 µW ile maksimum 2 W arasındadır, ortalama değer ise 0.12 W ile 0.4 W arasında değişmektedir (HPA 2012). Bir mobil telefon her yöne doğru RF

radasyonu yayar ve bir kısmı vücuda yönelir. 900 ve 1800 MHz’de çalışan GSM telefonlarının maksimum çıkış güçleri 2 W ve 1 W olup konuşma esnasında 1000 kat kadar azaltılması mümkündür. Bu telefonların 2.2 cm mesafede neden oldukları ışınlamalar, 900 MHz için 400 V/m, 0.8 A/m, 1800 MHz için ise 200 V/m, 0.8 A/m’dir.

Kullanıcılara geniş bir kapsama alanı sağlanabilmesi için mobil telefon iletişim ağları “hücre (cell)” olarak adlandırılan alanlara bölünmüştür. Bu alanların her birinde, çıkış güçleri onlarca watt olan makrohücre baz istasyonları bulunur. Gücün yüksek olması nedeniyle (100 W – 450 W) toplu yerleşim merkezlerinden uzağa monte edilirler ve 5 – 30 km lik mesafeler kapsar. Baz istasyon antenleri RF dalgalarını dik yönde (yükseklik boyunca) çok dar, yatay yönde ise oldukça geniş bir desen halinde yayınlarlar (Şekil 9). Demedin dik yöndeki dar dağılımı, RF alan şiddetinin antenin tam altındaki toprak seviyesinde çok düşük olmasını sağlar. Anten merkezinin birkaç metre önünde bu şiddet, izin verilen ışınlama seviyelerinin üzerine çıkabilir. ICNIRP tarafından toplum için verilen uygunluk sınırları GSM900 ve GSM1800 sistemleri için sırasıyla 8.4 ve 6.7 metredir. Kişilerin bu ışınlama sahalarında bulunmalarına izin verilmemeli ve gerektiğinde antenler daha yükseklere monte edilmelidir (ICNIRP 2010).

Toprak seviyesinde ölçülen maksimum RF şiddeti, antenden 50 m – 300 m mesafelerde ışınlama limitlerinin oldukça altındadır. Bu mesafeler, antenin özellikleri, yüksekliği ve çevresinde bulunan yapı ve arazi şartlarına bağlıdır. Örneğin, 50 W kanal gücünde anten kulesinden 50 m mesafedeki kişinin maruz kalacağı ışınlama  $1\text{mW}/\text{m}^2$  civarındadır. Birçok ülkede yapılan ölçümlerde baz istasyonlarından yayılan RF ışınlamaları ICNIRP tarafından önerilen değerlerin %0.002’si ile %2’si arasında değişmektedir. Bu değerler radyo ve TV vericilerinin EM ışınlamalarından daha düşüktürler.

İletişim kalitesinin iyileştirilebilmesi için güçleri 50 W – 150 W arasında değişen ve 1 – 2 km mesafelere erişimi olan mikrohücre denilen baz istasyonları caddelere, duvarlara, binaların çatılarına yerleştirilir. Hava terminalleri, alışveriş merkezi gibi yoğun insan topluluklarının bulunduğu yerlerde sıklıkla kullanılırlar. Çok yönlü anten kullanan picocell (250 mW – 2 W) ve femtocell(100 mWcivarı) donanımlar çok yönlü anten kullanılırlar, sırasıyla 200m ve 30m kapsama alanları vardır.



Şeki 9. Baz istasyon antenlerinin kapsama alanları

Uydu yer antenlerinin (VSAT) güçleri çok daha yüksektir (kilowatt mertebelerinde). Bu antenler doğrudan uyduya yönlendirildiklerinden çevreye olan etkiler düşüktür. 1.5 – 1.6 GHz aralığında çalışan antenlerde, esas demet önündeki maksimum ışınlama değeri  $8 \text{ W/m}^2$  ulaşabilmektedir (Kim 2010).

Bluetooth cihazları 2.45 GHz'de, mobil cihazların kısa mesafelerde kablosuz bağlantıları için kullanılır. Mobil telefonlarda bulunan bluetooth cihazların gücü 1 m'de 1 mW civarındadır. Gücü 100 mW olanlar mobil telefonlarla aynı ışınlamaya neden olurlar (Martinez Burtalo 2009).

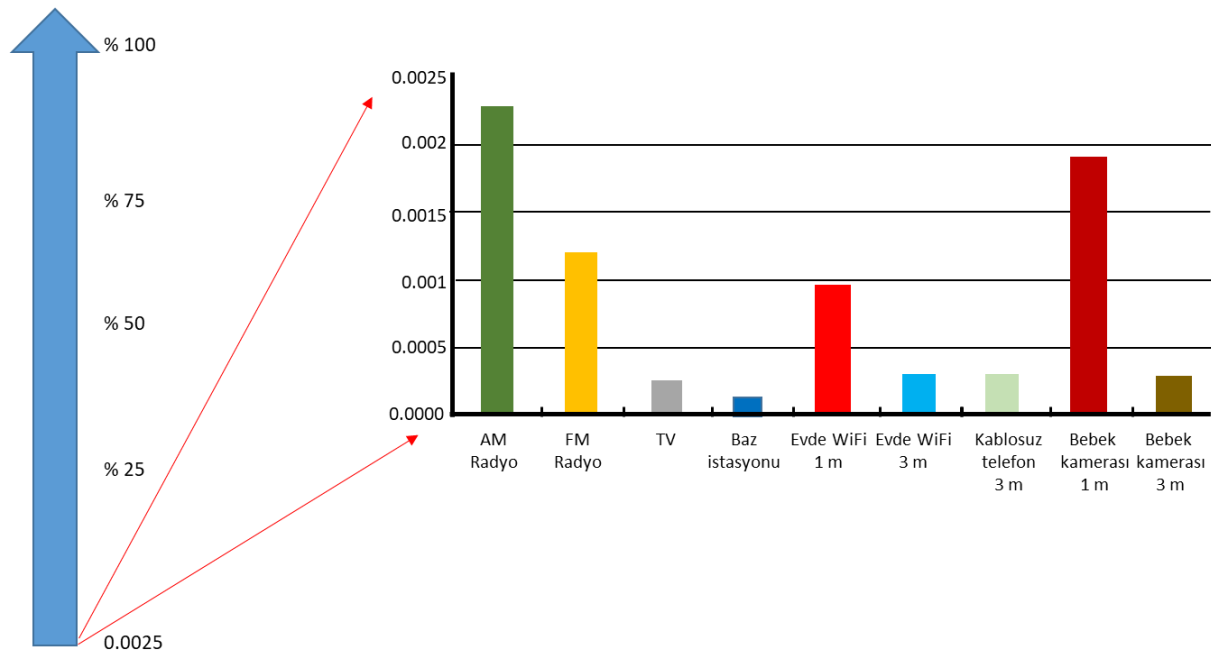
Bebek monitörleri, genelde 40 mHz – 2.45 GHz arasında çalışır, maksimum güçleri 500 mW'a kadar çıkmaktadır. Yapılan ölçümlerde elektrik alan şiddetlerinin, ICNIRP referans değerlerinin %11'inden az olduğunu göstermiştir (Kramer 2005)

Mikro dalga fırınlarının (evlerde kullanılan) çalışma frekansı 2.45 GHz dir ( $10^{-5}$  ev) ve güçleri 500 W – 2 kW arasında olup yiyeceklerdeki su moleküllerinin titreşimleri (ileride açıklanacak olan rezonansı) için yeterlidir. Bu enerjideki EM dalgalar birçok gıda maddesinde 2.5 – 3.8 cm derinliğe ulaşırlar. Bu fırınların mikrodalga kaçağı dış yüzeyinden 5 cm mesafede  $50 \text{ W/m}^2$  ( $140 \text{ V/m}$ )'den fazla olmamalıdır. Maksimum SAR değerleri ise  $0.256 \text{ W/kg}$  aşmamalıdır. Bir çok araştırmacı tarafından ölçülen sızıntı değerleri ise 50 cm uzaklıkta  $0.5 \text{ W/m}^2$ , manyetik alan değerleri  $1.7 \mu\text{T}$  civarındadır.

Radarlarda kullanılan EM dalgaların güçleri yüksektir ve sinyaller darbeler (pulsar halinde) halinde üretilir. Çalışma frekansları 300 MHz ile 15 GHz arasındadır.

Sadece birkaç derecelik kapsama alanları olduğundan dönerek çalışırlar ve çevreyi verdikleri ışınlamalar bu nedenle daha düşüktür. Örneğin, hava trafik kontrollerinde ki radarların (ATC) 100 m mesafede, 1 – 10 GHz frekans bantlarında neden oldukları ışınlamalar  $0.5 - 10 \text{ W/m}^2$  aralığındadır. 9 – 35 GHz Bandındaki trafik radarları ise, gücün 100 mW olması durumunda 3m mesafede  $2.5 \text{ W/m}^2$  dir.

Milimetre mertebesinde dalga boyundaki frekans aralığı (30 – 300 GHz), bina içi iletişimlerin güvenli yapılması, yakında bulunan ağlar ve kablosuz cihazlardan kaynaklanacak engelleme sorunlarının asgari düzeyde tutacağı için yakın gelecekte geniş bir kullanım alanı bulacaktır. Diğer taraftan, havadaki oksijenin soğurma bandı (57 - 64 GHz) nedeniyle insan vücudunun ışınlanmaması, mm dalga boyunda çalışan cihazların bir diğer üstünlüğü olacaktır.



*Şekil 10. WiFi sinyallerinin bazı radyo sinyalleri ile karşılaştırması. %100 ile 24 saat sürekli ışınlama durumunda toplum sağlığı için saptanan sınır ifade edilmektedir. Günlük yaşantıda kullanılan kaynakların ışınlamaları sınır değerlerin %0.0025'inden (40 000 kat) daha azdır.*

Yüksek frekans EM dalgalarından korunmada, kaynaktan uzakta durmak yanında bir diğer yöntem, kaynağın metal bir plaka ya da perde ile zırhlanmasıdır, kaynağın bu şekilde kaplanmasına “Faraday kafesi” denir (asansörlerde mobil telefonlarınızın iyi sinyal almamasının nedenidir). Metal veya gözenek boyutlarının, EM dalga boyunun  $1/20$ 'sinden büyük olmadığı katı bir levha yeterli korunmayı sağlar.

### 3. EM DALGALARIN MADDE İLE ETKİLEŞMESİ

**3.1 Elektrik alanların maddeye etkisi:** Maddede bulunan negatif yüklü elektronlar ve pozitif yüklü atom çekirdeği doğal şartlarda denge (nötral) durumundadırlar. Çok sayıda serbest yük içeren maddeler iletken olarak adlandırılır ve elektriği iletirler. İletmeyen maddelerde ise yeterli miktarda serbest yük yoktur ve **yalıtkan** veya **dielektrik** maddeler olarak tanımlanırlar. Bu maddelerde elektrik yükleri makroskopik düzeyde hareketsizdirler. Mikroskopik düzeyde ise yükler, termal titreşmeler nedeniyle her yöne doğru rastgele hareket ederler, bu hareket nedeniyle birim kesit alanından geçen net yük miktarı sıfırdır.

Bir ortama elektrik alan uygulanması durumunda yüklü parçacıklara bir kuvvet aktarılır. Sürekli olarak termal titreşmeler altında olan serbest parçacıklar bu etki altında, alan yönünde sürüklenerek makroskopik düzeyde bir akım oluştururlar. İletkenlik akımı olarak adlandırılan bu akım, iletkenlerde elektronlar, sıvı elektrolitlerde (zıt yüklü iyonlara ayrılmış molekül sıvıları) ise iyonlar tarafından taşınır.

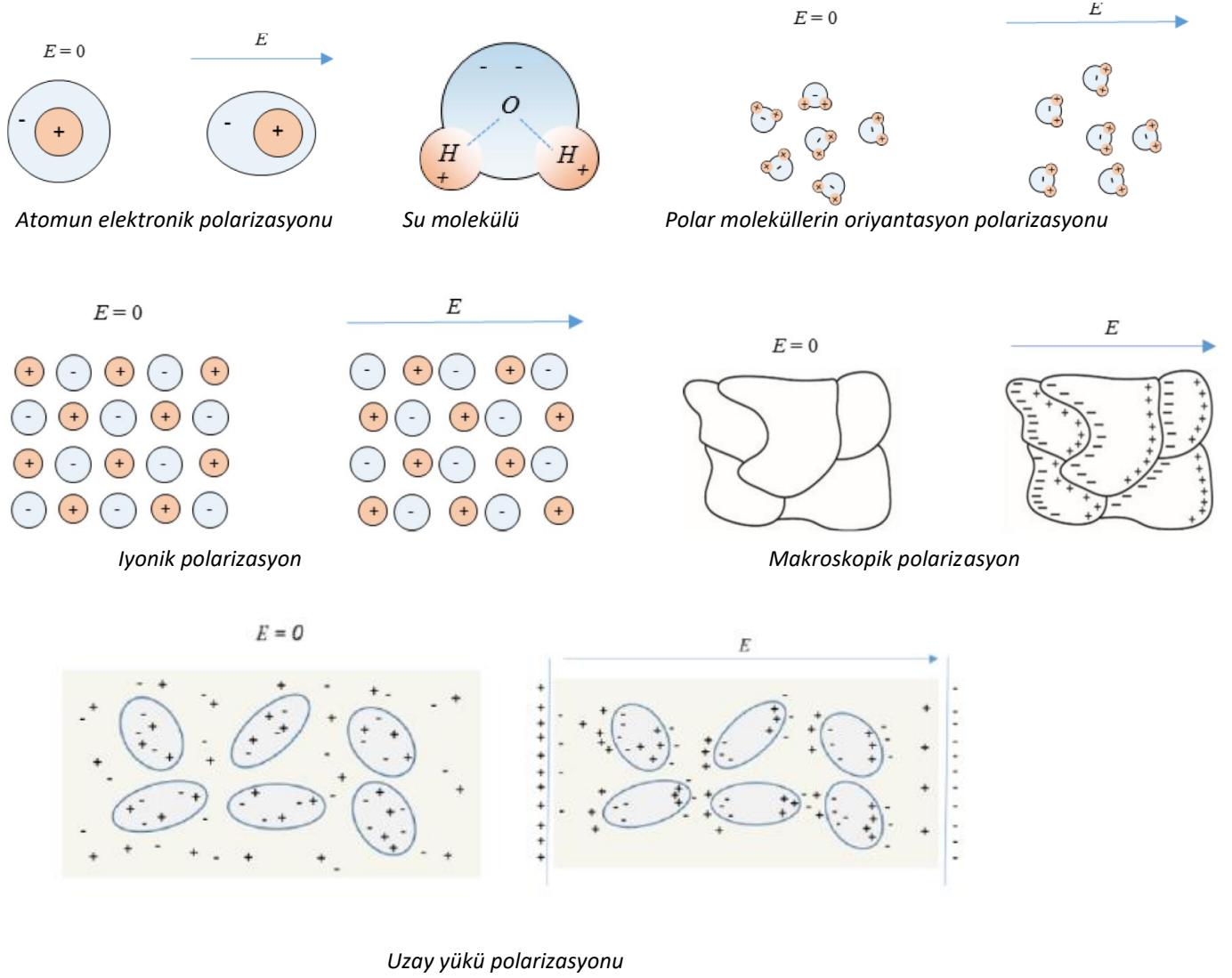
Ortamın dielektrik olması durumunda herhangi bir akım ortaya çıkmaz. Ancak, osilasyon yapan bir elektrik alanın uygulanması ortamda molekül hareketlerinin başlamasına neden olur. Bu etkileşmeler ortama elektriksel özellikler kazandırır. Uygulanan elektrik alan ile bu yükler, denge halinde oldukları pozisyondan çok az hareket ederler. Bu hareket sınırlı elektrik dipollerinin ortaya çıkmasına neden olur (*yükleri zıt, büyüklükleri eşit ve aralarında çok kısa bir mesafe olan bir çift elektrik yükleri*). Bu hareketin yönü pozitif yükler için alan yönünde, negatif yükler için ters yöndedir ve sonuçta ortam polarize (kutuplanma) olur. Yani Polarizasyona, elektrik dipolleri neden olurlar. Bu dipoller ise bir elektrik alanını ve dolayısıyla herhangi bir yük hareketinin olmadığı yer değiştirme akımını oluştururlar. Elektrik (ya da elektromanyetik) alanın meydana getirdiği polarizasyon, fiziksel olarak ortamda enerji depolanması ile

sonuçlanır. Daha sonra dipollerin ortamla etkileşmeleri sonucu bu enerji azalarak ısıya dönüşür. Madde, üzerindeki harici elektrik alanının kaldırılmasıyla durum eski haline dönüşür.

Dielektrik bir maddenin polarizasyon özelliklerini belirleyen fiziksel parametre permitivite olarak (maddenin yük toplama yeteneği) adlandırılır ve farad / metre olarak ölçülür. Bu parametre, elektrik yüklerinin ne kadar etkin bir şekilde farklı polarizasyonlara katkıda bulunacağını belirtir. Elektriksel yer değiştirme akımı ile ortama uygulanan elektrik alan arasındaki ilişkiyi gösterir.

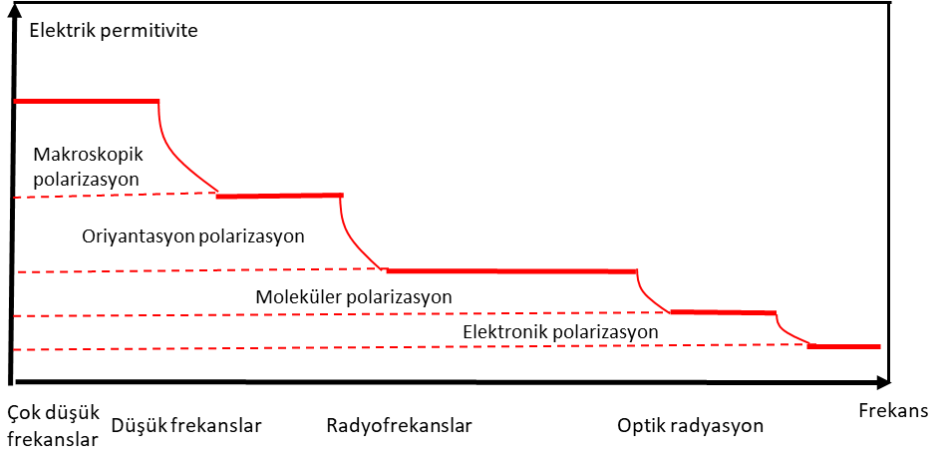
Polarizasyon frekansa bağlı olarak doku, hücre, molekül ve atomik boyutta ortaya çıkar. Şekil 11'de dört tür polarizasyon mekanizması verilmektedir. **Elektronik polarizasyonda** elektron bulutu çekirdek etrafında merkezlenmez. **İyonik veya molekül polarizasyonda**, moleküllerde bulunan ters yönlü yükler alanın etkisiyle hareket ederler (moleküller birbirlerine bağlı olup hareketleri söz konusu değildir). **Oryantasyon polarizasyonu**, polar moleküllerin olması durumunda ortaya çıkar. Polar moleküller iyonik ve simetrik olmayan yapıdaki moleküllerde ortaya çıkarlar; merkezdeki pozitif yük, negatif yüklerinden ayrılmıştır, su molekülü örnek olarak verilebilir. Elektrik alan etkisiyle polar moleküller belirli bir yönde oryantasyon kazanırlar. **Makroskopik polarizasyon (uzay yükü polarizasyonu)** ise biyolojik hücre veya dokuların bir dış elektrik alanının etkisinde kalması sonucunda, iyonların izole zarın (mebranın) her iki tarafına dağılmasıyla meydana gelir. Bu şekilde polarize olan yapıda dahili bir mikro elektrik alan oluşur. Hücre hareket etmez zira yükü global olarak nötraldir. Hücrenin dışındaki yükler, hücrenin diğer tarafındaki yükler tarafından çekilirler. Sonuçta mikro elektrik alanlar zincirleme olarak tüm membranda ortaya çıkarlar.

En düşük frekanslarda makroskopik polarizasyon ortaya çıkar, artan frekans ile oryantasyon, moleküler ve en yüksek frekanslarda (optik radyasyon bölgesi) elektronik polarizasyon söz konusudur (Greenebaum 2019, Staedbler 2017).



Şekil 11. Farklı polarizasyon mekanizmaları

Polarizasyon mekanizması ortamın kompozisyonuna bağlıdır ve her parçacığa özgün olan rezonans frekansında en fazladır (Şekil 12). Ortamın viskozitesine bağlı olarak, yüklü parçacıkların gerek çevrelerindeki parçacıkların sürtünme etkisinde kalması ve gerekse de parçacıkların ataletlerine bağlı olarak polarizasyon (yani ortamda depolanan enerji) azalır (dielektrik kayıp) ve sonuçta ortadan kalkar. Dielektrik kaybın nümerik olarak belirtilmesini sağlayan faktör, permitivite olarak adlandırılır. Harici elektrik alan tarafından parçacıklara aktararak polarizasyona neden olan bu enerji, sürtünme kuvvetlerinin etkisi ile ısıya çevrilir ve **termal etki** olarak adlandırılır. Sürtünme ile parçacıkların hareketlerine bağlı olarak kazandıkları kinetik enerjilerinin ortamdaki diğer parçacıklara aktarması kastedilmektedir. Bu etki teker teker moleküller için değil, tüm molekül topluluğu için geçerlidir.



Şekil 12. Polarizasyonun frekans ile değişimi.

### 3.2 Manyetik alanların maddeye etkisi:

Bir maddenin manyetik alan oluşturmasına karşı gösterdiği dirence (permabilite) manyetik geçirgenlik denir. Manyetik geçirgenliği yüksek olan maddelere ferromanyetik (manyetik özelliklerini manyetik alan ortadan kaldırıldığı zaman da sürdüren), geçirgenliği daha az olan maddelere paramanyetik (manyetik özelliklerini manyetik alan ortadan kaldırıldığı zaman kaybeden) maddeler denir. Manyetik maddeler, manyetik alanlara hassas manyetik dipoller (yörüngede dönen elektron gibi dairesel hareket yapan yüklü parçacık) içerirler. Dışarıdan uygulanan bir manyetik alan, manyetik bir maddedeki dipoller üzerine bir kuvvet uygulayarak dönmelerine yani salınım yapmalarına ve alan boyunca dizilmelerine neden olur. Alanın statik olması durumunda salınım hareketi tüm dipoller düzenleninceye kadar devam eder. Alanın alternatif olması durumunda ise salınım hareketinin büyüklüğü çevre ortamın viskozitesine bağlıdır.

Manyetik olmayan maddeler, eğer iletkenlerse manyetik alanla etkileşirler. Harici manyetik alanlar, iletkenlerin içerisinde indükleme ile dairesel devinim yapan elektrik akımlarını (Eddy akımları) meydana getirirler. Bu akımlar, harici alana maruz kalan maddenin yüzeyinde en fazla, merkezde ise sıfır olup, sonuçta ısı artışına neden olurlar (Joule etkisi). Harici manyetik alanın indükleme ile oluşturduğu dahili yani Eddy akımı ise yine bir manyetik alan oluşturur, bu alan harici manyetik alana göre çok daha düşük şiddettedir.

## 4. EM DALGALARIN BİYOLOJİK DOKU İLE ETKİLEŞMESİ

### 4.1 Biyolojik dokuların elektriksel özellikleri

Biyolojik dokular hem iletkenlik hem de dielektriksel özellikler gösterirler. İçerdikleri serbest elektron ve iyonlar uygulanan elektrik alanın etkisi ile hareket ederler, dielektrik dokularda ise yukarıda açıklandığı gibi polarizasyon mekanizması söz konusudur. İyonlar, doku veya organ membranlarının her iki tarafında tutularak, hareket edebilecek yük miktarını azaltırlar ve sonuçta makroskopik polarizasyon ortaya çıkar (Staebler 2017).

Polarizasyon, yumuşak dokularda frekansla dispersiyona (dağılmaya) uğrayarak kaybolur. Polarizasyonun azalması demek başlangıçtaki dielektrik ortamın tekrar iletkenlik kazanması demektir. Çok düşük frekanslarda (<100 kHz) hücre membranının reaktansı (ortamın alternatif akım akışına gösterdiği direnç) yüksektir, dolayısıyla iyon akımları sadece hücre dışı ortamda vardır (alfa dispersiyonu). Frekansın artmasıyla reaktans, hücre içi ve dışında aynı mertebede olur ve akım hücre içinde de akmaya başlar, sonuçta iletkenlik artarak polarizasyon azalmaya başlar (Beta dispersiyonu)

0.1 GHz üzerinde hücre ve dokuların dielektrik özellikleri su moleküllerinin oryantasyon polarizasyonuna bağlıdır. Frekansın mikro dalga bölgesinde olması durumunda (25 GHz) bu polarizasyon da ortadan kalkar, buna Gamma dispersiyonu denir.

20 GHz üzerinde oryantasyon polarizasyonu azalır ve yerini iyonik ve elektronik polarizasyona bırakır, iletkenlik önemli ölçüde artar.

### Sonuç olarak ;

- Her dokunun kendine özgün elektriksel özellikleri vardır
- Dokuların iletkenlik ve permitiviteleleri belirli frekanslarda önemli farklılıklar gösterir.
- Düşük frekanslarda dokular iletkenlidir.
- Yüksek frekanslarda dokular dielektriktir ( kayıplar artar ve polarizasyon azalır)
- Mikroskopik açıdan hücrelerin benzer elektriksel özellikleri vardır ve genelde hücreler arası ortam ayırıcı faktördür. Makroskopik yönden ise dokular homojen olarak kabul edilir.
- Belirli ölçüde iletken olan ortam, dalga enerjisini bir kısmını soğurur ve dalga gücünün azalmasına neden olur.

## 4.2 Elektromanyetik alanların biyolojik dokulara penetrasyonu

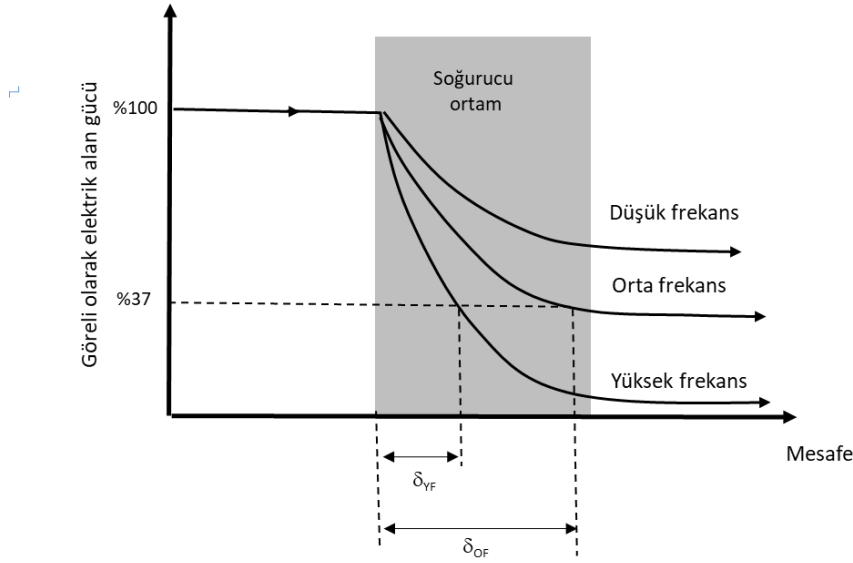
Bir ortama gelen elektromanyetik dalga, bu ortamın arakesitinde yansıtılan ve kırınımına uğrayan (ortama yönü değiştirilerek geçirilen) dalgaları oluşturur. Belirli ölçüde iletkenliği olan ortama giren dalganın bir kısım enerjisi ortam tarafından soğurulur. Güç yoğunluğu homojen bir ortamda üstel olarak azalır;

$$S(z) = S_0 \exp(-2 z / d)$$

$S(z)$ ,  $z$  derinliğinde (metre olarak) güç yoğunluğunu,  $S_0$ , ortama giren güç yoğunluğunu,  $d$  ise metre olarak giricilik (penetrasyon) derinliğini, dalganın ne kadar azaldığını ifade eden parametredir. Güç yoğunluğunun ortama girdiği kesitteki değerinden %14'üne düşüren derinliği gösterir (elektrik alan ise başlangıçtaki değerinin %37'sine azalır). Bu etkiye "**cilt derinliği**" denir (Şekil 16).

Penetrasyon derinliği ortamın permitivite ve iletkenliği ile dalganın frekansına bağlıdır. İdeal iletkenlerde değeri sıfırdır. Diğer maddelerde artan frekans ile azalır. Bu derinlik 10 MHz altındaki frekanslarda ihmal edilecek düzeydedir, güç yoğunluğu tüm dokulara ulaşır.

Yapısında daha düşük su içeren dokularda kemik ve yağ dokusu gibi bu derinlik daha fazladır. Kan, akciğerler ve diğer vücut sıvıları yüksek miktarda (%90) su içerirler, hücreler ve hücreler arası ortamlarda iyonlar bulunur, Kas, karaciğer, böbrek ve beyinde yine (>%80) su vardır. Kemik ve yağ dokularındaki su miktarı ise daha azdır (<%50) (WHO 2007).



Şekil 16. Radyofrekans bölgesinde EM dalgaların biyolojik ortamlarda nasıl soğuruldukları ve cilt derinliğinin artan frekans ile nasıl azaldığı gösterilmektedir. Cilt derinliği ( $d_{YF}$ ) yüksek frekanslarda, orta frekanslardaki cilt derinliklerine ( $d_{OF}$ ) göre daha azdır.

### 4.3 Elektromanyetik alanların biyolojik dokularda soğurulması

Elektromanyetik dalgaların bir ortamda soğurulmasını karakterize eden fiziksel parametre SAR – Specific Absorption Rate- birim doku kütlesinde soğurulan enerji (Watt / kg ) değeridir.

$$SAR = 1 / 2 ( s / r ) E^2$$

Burada  $s$ , siemens / metre (S / m) biriminde iletkenliği,  $r$  ise yoğunluğu (kg / m<sup>3</sup>) göstermektedir.

SAR, EM alanın, insan vücuduna olan penetrasyon gücü ve biyolojik dokuların dielektrik özelliklerine bağlıdır.

## 5. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN İNSAN VÜCUDU İLE ETKİLEŞMESİ

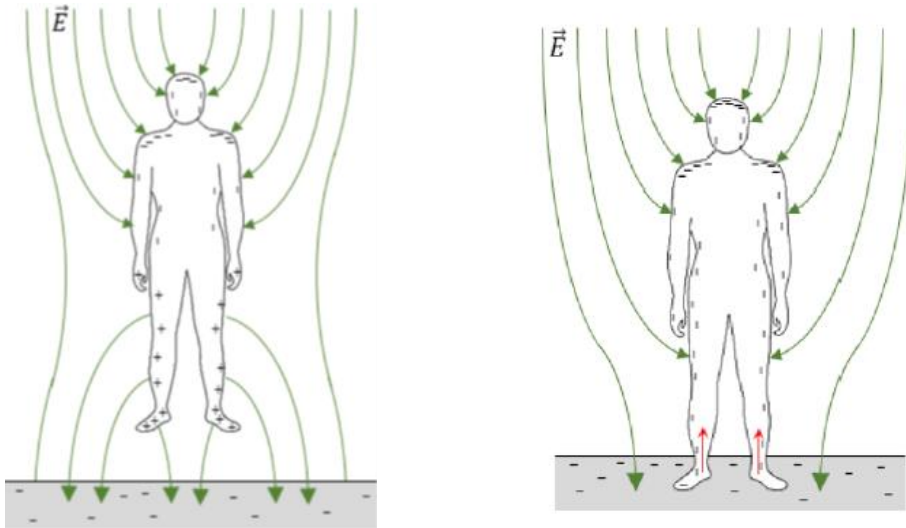
EM alanlar ile bu alanların ışınladığı kişilerin vücutları arasında üç temel etkileşme mekanizması vardır:

- Düşük-frekanslardaki elektrik alanlar ile etkileşmeler
- Düşük frekanslardaki manyetik alanlar ile etkileşmeler
- Yüksek frekanslardaki elektromanyetik alanlarla etkileşmeler

Bu mekanizmalar bir taraftan alanın özelliklerine (frekansı, uzaysal homojenliği, polarizasyon yönü gibi), diğer taraftan kişinin vücut özelliklerine (bedenin pozisyonu, boyut ve morfolojisi gibi) bağlıdır.

### 5.1 Düşük frekanslardaki elektrik alanlar ile etkileşmeler

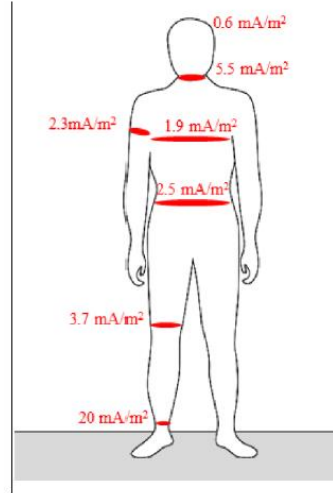
Düşük frekanslarda insan vücudu, havaya göre elektriksel iletkenliği olması nedeniyle. **Harici elektrik alanın** uzaysal dağılımını bozar (Şekil 13). Organizma içerisinde elektrik yükleri, harici alanın osilasyonuna bağlı olarak vücut yüzeyine itilirler. Bu olay vücut içerisinde, elektrik alan çizgilerine paralel yönde dahili bir akım oluşturur ve vücut yüzeyindeki yük dağılımının harici alanı dengelemesi durumunda sona erer (elektrostatik eşitlik). Sonuçta dahili elektrik alan da sıfır olur. Vücudun toprak veya iletken bir yüzeyle temas etmesi durumunda elektriksel olarak yüklenir. Vücut yalıtıldığı zaman polarize olur (Şekil 13).



Şekil 13. Düşük frekansta elektrik alana maruz kalan insan vücudu. Toprakta yalıtılması (solda), toprakla teması (sağda).

Oluşan elektrik alan ve akımlar, kişinin boyutlarına ve alandaki pozisyonuna bağlıdır, bu akımlar harici alandan 10 000 ile 10 000 000 kat daha düşük güçtedir.

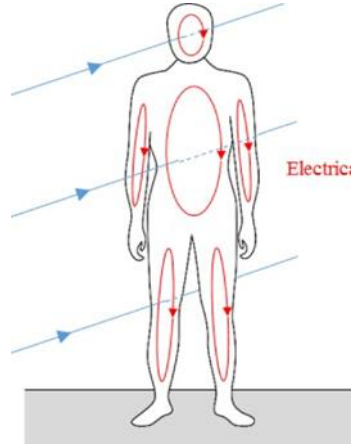
Elektrik yükleri daha çok, küçük çaptaki vücut kısımlarında yoğundur (parmaklar gibi), akım yoğunluğu iletkenliği yüksek olan vücut kesitlerinde (ayak bileği, boyun diz gibi) daha fazladır (Şekil 14).



Şekil 14. 60 Hz'de 10 kV/m gücünde homojen elektrik alana maruz bırakılan bir kişide en yüksek dahili akımlar vücut kesitlerinin en az olduğu bölgelerdedir.

## 5.2 Düşük frekanslardaki manyetik alanlar ile etkileşmeler

Vücudun manyetik geçirgenliğinin havaya yakın olması nedeniyle, **harici manyetik alan** çizgileri vücut tarafından etkilenmez. Bu alanlar manyetik dipoller ile elektrik alanları meydana getirirler ve elektrik alanlar da Şekil 15'de görüldüğü gibi vücut içerisinde, manyetik alana dik yönde, döngüsel akımların geçmesine neden olurlar. Kişilerin boyutları arttıkça oluşan elektrik alanlar daha güçlüdür zira akımlar daha büyüktür. İnsan vücudu düşük frekanslarda iletken olduğu için, bu akımlar daha önce de ifade edildiği gibi Eddy akımlarıdır. Elektrik alanların değeri doku ve organların iletkenliğine göre değişir. 10 MHz üzerindeki alanlarda, dalgalar soğurulmaya uğrayacağından bu etkiler görülmezler



Şekil 15 Dışarıdan uygulanan düşük frekanstaki manyetik alanın oluşturduğu vücut içi akımlar (Eddy akımları).

### 5.3 Elektromanyetik alanlar ile etkileşmeler

Yüksek frekansda bir elektromanyetik alan biyolojik dokularda yansıtılır, soğurulur ve hatta organizmaya nüfuz eder. Sonuçta alanın taşıdığı enerji soğurulur.

Bu soğurulma alanın frekansına güç ve polarizasyonuna bağlı olduğu gibi vücut morfolojisine ve aynı anten gibi, boyut ve pozisyonuna bağlıdır. Enerjinin soğurulması ile uyarılan polarizasyona uğramış yükler, bu enerjilerini dokuya termal enerji olarak verirler.

### 5.4 Dozimetrik Nicelikler

Yukarıda ifade edildiği gibi, EM dalgaları oluşturan elektrik ve manyetik alanların vücut içerisindeki davranışları vücut dışına göre farklıdır. EM dalgalar enerji taşırlar. Bu dalgalara maruz kalan insan vücudu bu enerjinin bir kısmını soğurur. Bu dalgaların vücuttaki en önemli etkileri bölgesel ısı artışına neden olmalarıdır. 100 kHz'in altındaki frekanslarda, akım yoğunluğu ile ilişkili olan elektrik alan gücü biyolojik etkinin saptanmasında kullanılan fiziksel parametredir. 10 GHz'e kadar frekanslarda EM enerji vücut dokusuna girerek ısı artışına neden olur. Dozimetrik nicelik olarak, birim kütleyle aktarılan enerjiyi ifade eden SAR kullanılır.

SAR değeri, vücuttaki artan ısı veya sıcaklığı temsil eder. Yüksek frekanstaki EM dalga kaynaklarına çok yakın konumda olan kişilerin ışınlama seviyelerinin kontrol edilmesinde kullanılan bir tekniktir. SAR'ın insan vücudunda doğrudan ölçülmesi mümkün değildir, deneysel yöntem veya vücudun modellendiği benzeşim çalışmaları ile saptanır. SAR değeri

tüm vücut veya göz ya da beyin gibi belirli bir doku için de saptanabilir. GHz üzerinde ki frekanslarda lokal ısı artışı olduğundan birim kütle, 1 veya 10 gr doku olarak alınır.

10 GHz'in üzerindeki frekanslarda ise, EM enerjisinin vücuda giriciliği çok düşük olduğundan güç yoğunluğunun (S) dozimetrik nicelik olarak kullanılması daha uygundur. Bu dozimetrik nicelik, EM dalgaların neden olduğu ışınma alanlarında yapılan ölçümlerle saptanır.

## 5.5 Kişilerin ışınlanmasını etkileyen faktörler

### Frekans

İnsan vücudu ile olan etkileşimler EM alanların frekanslarına göre değişiklik gösterirler (HPA 2012, IARC 2013, WHO 2007).

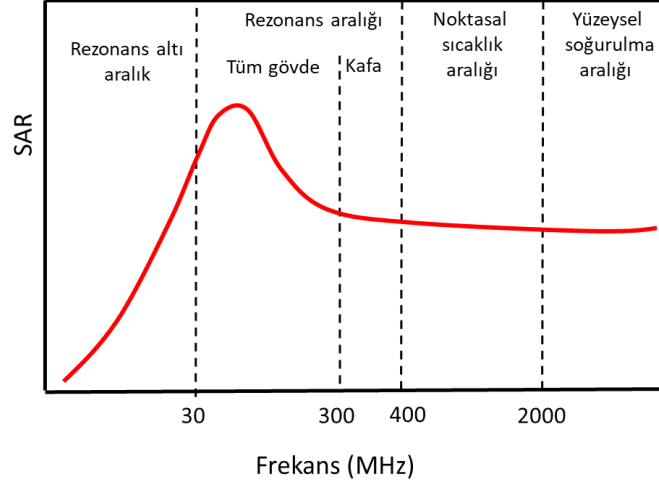
100 kHz'den düşük frekanslarda: Soğurulma ihmal edilecek düzeyde olup, ısı artışı ölçülecek büyüklükte değildir. Alanların etkisi ile yüzey akımları söz konusudur.

100 kHz ile birkaç MHz arası: Vücut iletkenliği dielektrik özelliğine göre artış gösterir. Kaynağın özelliğine göre elektrik veya manyetik alan baskın olur ve alanların neden olduğu akımlar artar. 20 MHz civarında soğurulma gittikçe artar. Vücutta doku homojenliğinin az olduğu ve akımlar ile kesişen küçük boyuttaki bölgelerde (boyun ve ayak bilekleri gibi) soğurulma artarken, iletkenliğin azaldığı kemik ve kıkırdaklarda akımlar daha yoğun olur. Frekansın artmasıyla alanların tüm vücutta soğurulması daha homojen hale gelir

20 MHz ve 300 mHz arası: Bu frekanslar arasında EM dalga boyları, vücut boyutlarına yakın olduğundan, rezonans gerçekleşir ve soğurulma maksimum olur. Frekanslara bağlı olarak rezonans, vücudun tamamı veya değişik boyutlarındaki organlarda (kafa, kol ve bacaklar gibi) oluşur. Toprak ile temasta olmayan ve ayakta duran bir yetişkin için maksimum soğurulma 60 – 100 MHz aralığında ortaya çıkar.

300 MHz – 2 GHz arası: Vücuttaki soğurulma homojen değildir ve dokuların dielektrik özelliği ve boyutlarına bağlı olarak ortaya çıkan çoklu yansımalar nedeniyle bölgeseldir.

2 GHz üzeri: Soğurulma maksimumdur, ancak frekansın artmasıyla EM dalgaların vücuttaki giriciliği (derinliklere ulaşabilmesi) önemli ölçüde azalır. Bunun nedeni, kısalan dalga boylarının hücre boyutları ile kıyaslanabilir olmasına bağlı olarak artan soğurmalarıdır. Yüksek GHz'lerde soğurulma sadece cilt ve cilt altındaki dokularda olup termal etkiler söz konusudur.



Şekil 17. SAR değerinin farklı frekanslarda değişimi

**Doku türü:** Herhangi bir madde üzerine gelen EM dalgalar, maddenin türü, kalınlığı ve dalganın frekansına bağlı olarak yansımaya veya soğurulmaya uğrar ya da geçirilirler. Ortamın metal olması durumunda yansıma esas olaydır, kısmen soğurulma olurken geçirgenlik sıfırdır. Biyolojik dokularda ise bir kısım dalga yansıtılır ve doku kalınlığına bağlı olarak soğurma ve geçirme gerçekleşir. Frekans arttıkça EM dalgaların vücut içerisindeki giricilikleri de azalır ve soğurulmaları sonucunda taşıdıkları enerjiyi vücuda aktarırlar ve bu enerji ısı olarak vücut metabolizmasına eklenir.

**Kaynaktan olan mesafe:** Kişilerin kaynağa olan mesafeleri azaldıkça daha fazla ışınlanmaya maruz kalırlar. Bu etki bilhassa radar ve uydu iletişimde kullanılan yönsel antenlerde söz konusudur.

**Vücut rezonansı:** Gelen EM dalganın dalga boyu, vücut boyutları ile karşılaştırılabilir olduğunda soğurmanın maksimum olduğu rezonans olayı yine kişinin ışınlanmasında önemli bir faktördür.

**Etkileşme hacmi ve ışınlama süresi:** Benzer şiddetteki EM alanlar için, vücudun kol ya da bacaklar gibi belirli bir kısmının ışınlanmasında soğurulan enerji, tüm gövdenin ışınlanmasına göre daha azdır.

Işınlanma süresinin artması kuşkusuz kişinin daha fazla ışınlanarak enerji soğurmasına neden olacaktır.

## 6. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN BİYOLOJİK ETKİLERİ

Elektromanyetik alanlar ışınladıkları vücut ile doğrudan etkileşirler. Bu etkiler, düşük frekanslarda vücut içerisinde meydana getirdikleri elektrik alan ve akımların neden oldukları **termal olmayan** etkiler ve yüksek frekanslarda, alanların soğurulmasına bağlı olarak ortaya çıkan **termal etkilerdir**.

Biyolojik etkiler, fiziksel ve biyokimyasal uyarıcıların etkisinde kalan bir organizmada, yanıt olarak ortaya çıkan davranış değişikliklerdir. Bu değişiklikler eğer organizmanın kendi dengesini kuracağı sınırlar içerisinde oluyorsa, geri dönüşümlüdür. Biyolojik etkilerin sağlığı etkilemesi ise ortaya çıkan değişikliklerin, insan vücudu tarafından kompanse edilememesi nedeniyledir. Dolayısıyla bu etkiler, algısal yani kısa süreli veya uzun süreli olabilir.

### 6.1 EM dalgaların insan sağlığına geçici etkileri

EM dalgalar frekanslarına göre vücut ile doğrudan etkileşirler. Düşük frekanslarda elektrik ve manyetik alanların oluşturduğu akımların etkisi söz konusudur. Yüksek frekanslarda ise EM dalgaların vücutta soğurulmasıyla termal etkiler ortaya çıkar.

Biyolojik dokularda düzensiz olarak bulunan elektronların ve iyonların, uygulanan EM dalganın etkisiyle yer değiştirerek hücrenin veya organın karşılıklı yüzeylerinde toplanarak polarizasyona neden oldukları yukarıda açıklanmıştı. Sonuçta, alanın enerjisi moleküllere kinetik enerji olarak aktarılmış olur. Alanın salınımı ile titreşen moleküller, çevre moleküller ile etkileşmeye başlayarak enerjilerini aktarırlar, böylelikle başlangıç enerjileri azalır ve ortamda ısı artışı ortaya çıkar. Termal etki olarak tanımlanan bu etkileşmeler teker teker moleküller için değil tüm moleküllerin kapsandığı topluluk için geçerlidir.

Biyolojik etkiler organizmada fiziksel, kimyasal ya da davranışlarda değişikliklere neden olabilirler. Bu etkiler uyarıcı neden sona erdikten sonra, vücudun kendi dengesi çerçevesinde ortadan kalkabilirler ve sağlığa zararlı bir durum yaratmazlar. Örneğin, fiziksel efora bağlı olarak terleme, vücudun doğal bir yanıtıdır. Ancak etkilerin sürekliliği ve şiddeti ile vücudun tolerans sınırlarının aşılması durumunda sağlık sorunları ile karşılaşılabilir. Kişilerin bu sorunlarla karşılaşmamaları için EM dalga ışınlanmalarına karşı sınır değerler (Bölüm 7)

Uluslararası bilim kuruluşları tarafından saptanmıştır. Bu değerler sağlık etkilerinin görülebileceği eşik değerlerin çok altındadır (ICNIRP 2009, 2010).

### **6.1 Statik Alanlar (0 – 1 Hz):**

Statik (durağan) alanlarda EM dalgaların zaman ve konuma göre hareketleri yoktur, yani frekansları 0 Hz'dir. Etkileri yüklü ya da yüklenmiş parçacıklar üzerindedir.

Statik elektrik alanlara karşı zırhlama kolayca yapılabilir ancak manyetik alanların insan vücudundan ve binalardan soğurulmadan geçmesi, zırhlanmasının kolayca yapılmasına olanak sağlamaz.

**Statik elektrik alanlar**, dokuların havaya göre çok daha fazla iletken olması nedeniyle vücut içerisinde elektrik alan oluşturmazlar. Ancak başlangıçta yük içermeyen nesnelere elektrik yüklerinin tekrar dağılımına neden olurlar. Bilhassa vücut yüzeyinde oluşan bu yükler **elektromekanik kuvvetleri** oluşturur, kişileri rahatsız eden tüy ya da saçların elektriklenmesi bir örnek olarak verilebilir. Bu elektrostatik yükler toprağa bağlı nesnelere temas sonucunda vücut dışına boşalırlar, çok küçük elektroşoklar olarak tanımlanan bu etkilere yine günlük hayatımızda sıkça karşılarız.

**Statik manyetik alanlar**, yaşayan hücreler üzerinde fiziksel ve kimyasal etkiler doğururlar. Büyük yapılar ve makro moleküller seviyesinde **elektrodinamik ve manyetomekanik etkileşmeler** ve atomik boyutta **radikal çiftlerin oluşmasına** neden olan etkiler söz konusudur. Statik manyetik alanlar yüklü iletken akışkanlara uygulandığı zaman, bu akışkanda hareket eden iyonlara bir kuvvet uygular, bu kuvvete **manyetohidrodinamik** kuvvet denir. Sıvı kan birçok iyon içerir, dolayısıyla elektriksel iletkenliğe sahiptir. Damarda akan kan, belirli bir kesit alanından geçen elektrik akımı olarak düşünülebilir. Akan kanda harici manyetik alanın meydana getirdiği manyetohidrodinamik kuvvet damar boyunca bir elektrik alanı doğuracaktır. Sonuçta bu alan ve akımlar damar içerisindeki kan akımını yavaşlatabilir.

Etki, en fazla büyük damarlarda görülür zira damar çapı arttıkça daha fazla yük akımı ve sonuçta daha büyük elektrik alan ve akımı olacaktır. Aort damarında 10 T ve 15 T manyetik alanlarda kan akımının %5 ve %10 azaldığı hesaplanmıştır (WHO 2006). Bu manyetik alan değerlerinin NMR görüntüleme tekniği ile karşılaştırıldığında (2 – 5 T) son derece yüksek olduğu anlaşılabilir.

Manyetohidrodinamik kuvvetler, 8 T üzerinde manyetik alanlarda kalp atımlarında ufak değişikliklere ve aritmilere de neden olabilirler, ancak bu değişikliklerin insan sağlığını etkileyecek düzeyde olmadığı saptanmıştır (Rongen 2007).

**Manyetomekanik etkileşmelerde** ise iki tür etki vardır. Statik alanlar, izotropi özelliği göstermeyen (manyetik özellikleri yöne bağlı farklılık gösteren maddeler) makromolekül toplulukları üzerine mekanik kuvvetler uygulayarak oryantasyon, yani yönlendirmeye neden olabilirler (pusula ibresinin dünyanın manyetik alanına bağlı olan hareketi gibi). Bu etki, tüm moleküller yönlenme bağlamında bir dengeye ulaşıncaya kadar devam eder. İnsan vücudunda manyetik olarak izotropik olmayan maddelerin çok az olması nedeniyle bu etki fazla önem taşımaz.

Statik manyetik alanların ikinci etkisi ise nesnelere ötelemeye, yer değiştirmeye neden olacak mekanik kuvvetler uygulamasıdır. Bu kuvvet manyetik dipolleri etkiler, yüksek alan değerlerinde paramanyetik ve ferromanyetik nesnelere statik alan altında hareket ederler. Metal implantlar ve kalp pilleri gibi vücutta taşınan metal nesnelere mekanik kuvvetlere maruz kalması ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu nesnelere taşıyan kişiler yüksek statik manyetik alanlardan belirli mesafelerde olmaları gerekir.

Manyetik rezonans görüntüleme sisteminin birçok metal nesneyi çekmesi bir örnek olarak verilebilir.

Statik manyetik alanlar, alan boyunca hareket eden kişilerde vertigo, bulantı ve ağızda metal tadı hissetmelerine neden olabilir, ancak 2 T üzerinde ortaya çıkan bu etkiler, alanın kesilmesiyle ortadan kalkarlar.

Bir diğer etki ise serbest radikallerin ortaya çıkmasıdır, bu mekanizma daha sonra açıklanacaktır.

Statik manyetik alanlar, atom ve atom altı boyutlarda biyolojik sistemlerle başka etkileşmelere de girerler. Nükleer manyetik rezonans ve canlı dokulardaki elektron transfer reaksiyonları bu bağlamda sayılabilir. Ancak bu etkileşmelerin detayına girilmeyecektir.

Hayvan ve insanlarda yapılan laboratuvar çalışmalarında statik alanların, insan sağlığı üzerinde süreklilik gösterecek olumsuz etkilerinin olmadığı anlaşılmıştır (WHO 2007B).

### 6.1.2 Zamana bağlı olarak salınım hareketi yapan EM dalgalar

Bu dalgalar farklı frekanslarda periyodik olarak (sinüs eğrisi şeklinde) veya pulslar halinde ilerlerler.

#### 6.1.2.1 Çok Düşük Frekansta EM Alanlar

10 MHz'e kadar frekanslarda ki EM dalgalar biyolojik nesnelere elektrik alan ve akım oluştururlar.

Bu alanlar, statik alanlara benzer olarak vücut yüzeyinde yük dağılımları meydana getirirler ancak bu kez de yükler zamana bağlı olarak titreşim (salınım) hareketi yaparlar. Yukarıda açıklanan elektromekanik kuvvetler ile çok küçük elektroşoklara neden olurlar. Yüklerin periyodik boşalması ile oluşan vücut içi elektrik akımları ve elektrik alanları sinirlerde ve kas hücrelerinde uyarılmaya neden olur. Periferik sinirlerin uyarılması için minimum elektrik alan şiddeti 4 – 6 V/m olarak saptanmıştır (ICNRP 2010). Ortaya çıkan etkiler; Algılama, karıncalanma, nedene bağlı olmayan gıdıklanma, huzursuzluk, mutsuzluk hissiyatı, tedirginlik, kas kasılmaları, kas kontrolünün kaybı, ağrı ve kardiyak fonksiyonlarında değişiklik olarak, **belirli eşik değerlerin** üzerinde ortaya çıkarlar.

Eşik değerlerin altında olduğu halde manyetik alanların sık rastlanan bir etkisi **magnetophosphene** olarak adlandırılan ve retinadaki akım yoğunluklarının neden olduğu gözdeki ışık parıldamalarıdır. Alanların ve akımların kesilmesiyle bu etkiler ortadan kalkarlar. Çok düşük frekans da ki alanlar aktif medikal cihazlarla girişim yaparak cihazın normal fonksiyonunu bozarak çok ciddi sorunlara yol açabilirler. Pasif metalik implantlar ise elektrik alanlarının bölgesel olarak artmasına, implantın ısınarak cilt yanığı oluşturmasına neden olabilirler.

#### Termal olmayan etkiler

Statik veya çok düşük enerjideki manyetik alanların hücre seviyesinde ortaya çıkardığı bazı biyolojik etkileri üzerine odaklanan çalışmalar vardır. Bunlardan bazıları aşağıda kısaca verilmektedir (WHO 2007A, 2007B).

### **Serbest radikallerin oluşumu:**

Statik ve çok düşük manyetik alanlar serbest radikallerin ortaya çıkmasına neden olabilirler. Bir molekül (örneğin AB), bir çözücü içerisinde termal hareketleri sonucunda iki radikale ayrılabilir. Ayrılan moleküllerin önemli bir kısmı tekrar birleşirken, bazıları birbirlerinden uzaklaşıp ortama yayılarak, ayrılan bir diğer molekülün (örneğin CD) radikalleri ile birleşebilirler (AC ve BD gibi). Fakat ayrı moleküllerin, uygulanan manyetik alanın frekansına bağlı olarak ortaya çıkan salınım hareketinin frekansı, tekrar birleşme olasılığını azaltır ve serbest kalan radikallerin kimyasal reaksiyonlara neden olma olasılığı artar. Ancak bu olasılığın biyokimyasal sistemlerde gerçekleşmesinin 10 mHz'den yüksek frekanlarda, bilhassa 100 mHz üzerinde mümkün olamayacağı teorik ve hayvan çalışmaları ile saptanmıştır. Söz konusu olasılık memelilerden ziyade bitkilerde bulunan bir proteinde görüldüğü belirtilmiştir.

Kanser hastalığını başlatan faktörlerden birisinin bu serbest radikaller olduğu bilinmektedir. Ancak yukarıda açıklanan ve radikallere bağlanan kimyasal reaksiyonların kanseri tetikleyici bir etkisi bugüne kadar bulunmamıştır. Hücre bazında böyle bir etki ortaya çıksa bile vücudun bağışıklık sisteminden kurtulup, doku ve organ hasarına yol açarak kansere neden olma olasılığı fevkalade düşüktür.

Unutulmamalıdır ki her gün insan vücudunda binlerce DNA mutasyonu ortaya çıkmakta ve bağışıklık sisteminin etkisiyle herhangi bir sağlık sorunu yaşanmamaktadır.

### **Manyetitler ( $Fe_3O_4$ )**

Biyolojik bir mineral olan manyetit ( $Fe_3O_4$ ), manyetik momente sahip olduğu için manyetik alanlar ile diğer biyolojik materyallere göre çok daha şiddetli etkileşir. Bu mineraller insanların beyin hücrelerinde bulunur ve rezonansın sağlanacağı manyetik alanlarda döngü ve salınım yaparlar. Bu moleküllerin hücre membranında bulunan iyon kanallarını etkileyerek, bu kanalların açılıp kapamasına neden olarak iyon akımını değiştirebileceği ve sonuçta bazı hücre fonksiyonlarını etkileyebileceği ileri sürülmüştür. Ancak bu parçacıkların insan dokusundaki konsantrasyonlarının (5 – 100 ppm) son derece düşük olması nedeniyle bu etkileşmelerin hücre fonksiyonlarını bozması mümkün görünmemektedir. Sonuç olarak, manyetitlerin insanlarda sağlık sorunlarına neden olduklarına dair bilimsel hiçbir kanıt bulunmamıştır.

### **Ca<sup>2+</sup> İyon hareketi**

Bir diğerk hipotez, statik veya çok düşük frekanslardaki EM alanların etkisi ile hücrelerde Ca<sup>2+</sup> konsantrasyonunun değişmesine bağlı olarak hücre fonksiyonlarının etkilenmesidir. Bu etkiler uzun zamandır bilinmekte olup sağlıkla ilgili bir olumsuzluğa neden olmadıkları anlaşılmıştır (O'Connor et al. 2010).

#### **6.1.2.2 RF ve mikrodalga frekans aralıları**

Bu frekans aralıklarında enerji, hücresel uyarımlara değil ısı dönüşümüne aktarılır.

EM dalga ışınlanmasına maruz kalan insan vücudunda, bu alan tarafından taşınan enerjinin bir kısmı soğurulur ve ısıya dönüşür. Bu etki 10 mHz ile 300 GHz arasında olup, bilimsel olarak ispatlanmış tek biyolojik etkidir. 100 KHz ile 10 MHz arasındaki frekanslarda hem ısı hemde doku uyarımları birbirinden bağımsız olarak ortaya çıkar. Soğurulan enerji EM dalğanın gücüne, vücuda nasıl ulaştığına ve ışınlama süresine bağlıdır. Daha önce açıklandığı gibi bu ısı etkisi SAR ile nümerik olarak saptanır. 100 kHz ile 6 GHz arasında EM dalğanın soğurulması doku ve organlarda gerçekleşir. Tüm gövdede sıcaklığın 1°C'dan az artması durumunda (kişi tarafından hissedilmez), SAR değeri 4 W/kg kadardır ve 30 dakika içerisinde ısı, kan dolaşımı, kas ve yağ dokularının iletkenliği ile azalarak normale döner. Vücut içerisinde ki bu ısı artışı termal stres olarak ifade edilir, iç organlarda soğurulur ve yüzeye ulaşamadığından organizmanın metabolizmasına eklenerek kişide geçici rahatsızlık yaratabilir. Fazla ısı, kan dolaşımı ile deriye taşınıp hava sirkülasyonu ve terleme ile vücuttan atılır. Işınlamaların izin verilen sınırların çok üzerinde ve sürekli olması durumunda (olasılığın son derece düşük olduğu bir senaryo) ciddi doku hasarları ortaya çıkabilir.

Dinlenme halinde olan bir kişinin yaydığı enerji 1 W/kg civarındadır, fiziksel egzersiz durumunda bu değer 3 – 5 W/kg arasında olup, vücut içi sıcaklığı 2°C üzerine çıkabilir (Tablo 1). Işınlamaların izin verilen sınırların çok üzerinde ve sürekli olması durumunda (olasılığın son derece düşük olduğu bir senaryo) ciddi doku hasarları ortaya çıkabilir.

6 GHz ile 300 GHz arasında EM dalgaların vücut içerisindeki giricilikleri azaldığı için soğurulma deride gerçekleşir, örneğin 6 ve 300 GHz'de gücün %86'sı yüzeyin 8 mm ve 0.2 mm'de soğurulur. Tipik bir mobil telefonu ışınlamasında beyindeki ısı artışı 0.05 ile 0.12 °C civarında olduğunun hatırlatılmasında yarar vardır, herhangi bir biyolojik etkinin ortaya çıkması son derece küçük bir ihtimaldir.

Puls şeklinde yayılan mikrodalgalara bağlı kulak çınlaması (microwave auditory effect) , 300 MHz ile 10 GHz arası frekanslarda, kafa dokusunun ani sıcaklık artışına (1 – 10 °C/sn) maruz kalmasıyla ortaya çıkar. Sıcaklığa bağlı olarak dokudaki suyun genişleyerek oluşturduğu akustik dalgalar bu etkiye neden olur.

*Tablo 1. Sıcaklık artışına bağlı olarak ortaya çıkabilecek etkiler ve tüm gövde SAR değerleri*

Etki	Tüm gövde SAR (W·kg <sup>-1</sup> )
Hisselidir sıcaklık artışı yok	0.1
Hafif sıcaklık artışı (< 0.5 °C)	0.4
Işınlama olmadan dinlenme halinde vücut sıcaklığı	1
Zararı olmayan sıcaklık artışı (<1 °C)	1–4
Sağlık riski (> 1 ° )	>4
Bazı organlarda ısıya bağlı zarar	100 <sup>d</sup>
<sup>a</sup> Lokalize sıcaklık	

Milimetre dalgalar derinin epidermis ve dermis dokularında tamamen soğurulur. Derideki ısı artışını inceleyen teorik çalışmalar, 10 mW/cm<sup>2</sup> mertebesinde ışınlamalara maruz kalan deri sıcaklığının 1.2 C<sup>0</sup> kadar artabileceğini göstermiştir. Yüzeysel dokulardan daha derin dokulara etkin ısı transferi nedeniyle, milimetre dalgalar kas ve yağ dokularında da ısı artışına neden olurlar. Yağ dokuları yalıtkanlık bağlamında önemli rol oynarlar.

#### **Diğer etkiler:**

Vücut içi implantlar ve vücut dışındaki iletken nesnelere termal etkiler doğurabilirler. 1000 W/m<sup>2</sup> üzerindeki güç yoğunluklarında ki yüksek frekans alanlarına maruz kalınması durumunda gözde katarakt veya deri yanıkları gibi sağlık sorunları ortaya çıkabilir.

İnsan vücudunda hücresel seviyede birçok biyolojik aktivitenin gerçekleştirilmesinde farklı frekanslarda osilasyon yapan elektrik akımları rol oynar. Dışarıdan uygulanan EM alanların frekanslarının artması ile hücre boyutunda ki etkileşme olasılıkları da artacaktır. Bu alanların

osilasyon yapan elektrik alanlar ile rezonansa girerek hücre fonksiyonlarını etkileyip etkilemedikleri yoğun bir araştırma konusu olmuştur. Ancak bu etkileşmelerde aktarılan enerjilere bağlı olarak ortaya çıkan termal etkiler, vücudun doğal termal seviyesinin çok altında olduğundan biyolojik bir etkiye neden olmayacağı gösterilmiştir. Ayrıca molekülse seviyedeki rezonansların çevre moleküllerinin etkisi altında kalarak sönüme geçecekleri yine yapılan araştırmalarda belirtilmektedir (WHO 2007, Sheppard 2008).

## **6.2 EM dalgaların insan sağlığına uzun süreçteki etkileri**

Eğer, elektrik ve manyetik alanlar insanların sağlıklarının bozulmasına neden olacaksa, bunun birbirini takip eden bir dizi olaylar sonucu ortaya çıkması gerekir. İlki, EM alanların insanı oluşturan maddelerin temel yapı taşları olan atom veya molekülleri ile yapacakları fiziksel etkileşmeler sonucu enerjilerinin aktarılması ve aktarılan bu enerjinin bir sinyal olarak ortaya çıkmasıdır. Akabinde, bu sinyalin, o atom veya molekülün ait olduğu hücre tarafından algılanması gerekir. Ancak, yaşayan hücreler, iyon ve moleküllerin rastgele hareketlerinin neden olduğu, elektriksel olarak gürültülü bir ortam içerisindedirler. Etkileşme sonucu oluşan sinyalin algılanabilmesi için büyüklüğünün çevredeki gürültüden fazla olması gerekir. Bir başka ifadeyle, sinyal/gürültü oranı 1'den büyük olmalıdır. Örneğin sinyal bir ısı artışı şeklindeyse, bu artışın, ortamdaki doğal ısı dalgalanmalarının üzerinde olması gerekir.

Hücre seviyesindeki bu etkinin, hücreyi barındıran organ ve sonuçta tüm organizma üzerinde bir olumsuzluk yaratması ile EM alanların sağlık üzerindeki bozucu etkisi ortaya çıkacaktır

Sağlık sorunu, bu etkileşmelerin sistematik bir şekilde devam etmesi ile mümkündür. Ancak insanın biyolojik yapısında, bu mekanizmanın, evrelerinin herhangi birisinde kırılması son derece olasıdır; EM alan elektronla etkileşebilir fakat hücrede bir etki bırakmaz, ya da organizma tüm bu olumsuzluklardan etkilenmez. Sadece radyasyon etkisi değil birçok toksik madde ile yapılan araştırmalar, bu zincirleme etkileşmelerde halkanın herhangi bir aşamada devam etmediğini göstermiştir. Şüphesiz bunda en önemli etken vücudun bağışıklık sistemidir, bu hasarlar tamir edilebilirler veya vücuttan atılabilirler. Vücudumuzda her gün mutasyona uğrayan milyonlarca molekül tamir edilmedikleri zaman vücut dışına atılmaktadırlar.

Bu etkileşmelerin nasıl değerlendirildiği, sonuçların nasıl alındığı yapılan teorik ve in vitro araştırmalar, hayvan deneyleri ve epidemiyolojik çalışmalar ile gerçekleştirilir.

EM alanların maddenin atom, molekül ve iyonlar ile olan fiziksel etkileşmeleri içeren ilk evre, çoğu zaman **biyofiziksel mekanizmalar** olarak ifade edilir. Teorik ve bazı durumlarda deneysel çalışmalar ile etkileşmeler anlaşılmaya çalışılır.

Hücre ve dokularda yapılan **in vitro** biyolojik çalışmalar ile farklı yapıdaki hücre kültürlerinin, bilinen şartlarda ışınlanması ve yapılarında değişiklik olup olmadığının araştırılması üzerinedir. Hayvan biyolojisi için yapılan deneysel çalışmalar **in vivo** çalışmalardır. Hayvanların birçok nesiller boyunca ışınlanması ve gözlenen etkilerin, mümkün olması durumunda insanlar için öngöründe bulunulmasına dayanır.

İnsanların deneysel çalışmalar için ışınlanması söz konusu olamayacağından, ışınlamaların insanlar üzerindeki doğrudan etkileri **epidemiolojik çalışmalar** ile araştırılır. Bu çalışmalar, EM dalgalara maruz kalan ve kalmayan topluluklarda, şüpheli hastalıkların istatistiksel olarak karşılaştırılmasına dayanır. Işınlamaya maruz kalan toplulukta, belirli bir hastalığın istatistiksel bir doğrulukla, daha fazla olması durumunda, hastalığın nedeni ışınlamanın etkisine bağlanır. EM alanların neden olabilecekleri hastalıkların tanısında bazen yukarıda açıklanan tüm mekanizma bilinmeyebilir. Örneğin, biyofiziksel etkileşmelerle yeteri kadar açıklanamadığı halde, yapılan in vitro deneylerde EM dalgalar belirli bir protein veya hormonun üretimini engelleyerek sağlığa zararlı bir durumu gösterebilir. Bazen, in vitro deneyler ile ispatlanamadığı halde epidemiolojik çalışmalar, güvenilir bir istatistikle, sağlığa zararlı ışınlamaları işaret edebilir. Bu durumda ışınlamalara, sağlık risklerini minimum seviyede tutulmasını amaçlayan eşik veya sınır değerler belirli toleranslarla önerilir ve epidemiolojik ve/veya in vitro çalışmaların sonuçları risklerle ifade edilir. Hastalığın kesin nedeni ancak biyofiziksel sonuçların da bu bulguları doğrulaması ile gerçekleşir.

Bir diğer önemli husus söz konusu evreleri kapsayan çalışmaların farklı araştırma grupları tarafından tekrarında birbirini destekleyen sonuçların elde edilmesidir.

Tüm bunlara bir örnek, Japonya'ya atılan atom bombalarının etkisinde kalan Japon toplumunda yapılan radyoepidemiolojik çalışmalardır (Preston 2007). Çok yüksek iyonlaştırıcı radyasyon dozlarına (birkaç Gy üzerinde) maruz kalanlar kişilerde, bu dozlara bağlı olarak ölümcül kanserler saptanmıştır. Gerek biyofiziksel ve in vitro çalışmalar gerekse hayvan deneyleri bu bulguları desteklemektedir. Ancak, radyasyon dozlarının azalmasıyla sonuçlar kesin bir şekilde değil risk faktörleri ile ifade edilmeye başlanır. Bunun nedeni, insanın

bağışıklık sisteminin hücre ve doku seviyesinde oynadığı roldür. Aynı şiddette radyasyona maruz kalan kişilerde hastalık riskleri, kişilerin bağışıklık sistem farklılıklarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Radyasyon dozlarının çok düşük olması durumunda (mesleki ışınlamalar ve radyolojik incelemelerde hastaların aldıkları dozlar) ise durum daha farklıdır. Fiziksel etkileşmeler atomik boyutta DNA mutasyonunun olabileceğini gösterse de, hücre ve dokularda yapılan deneyler bu bulguları tam olarak doğrulamamakta, aynı amaca yönelik olarak farklı laboratuvarlarda yapılan çalışmalar birbirlerini çoğu zaman desteklememektedir. Düşük radyasyon dozlarına maruz kalan kişiler üzerine yapılan çok sayıdaki radyoepidemiolojik çalışmalar, birbirleri ile tutarlı sonuçlar vermemektedir. Bunun en önemli nedeni, düşük dozlara bağlı olarak, kişiler arası doz dağılımlarının çok geniş olması ve istatistiki güvenilirliğin azalmasıdır. Örneğin bilgisayarlı tomografide alınan dozların etkilerini araştırarak bir epidemiyolojik çalışma, benzer yaşam standartları olan bir milyon kişinin incelemesini gerektirir. Sonuçta *“yüksek şiddetteki radyasyonun kanser riski, düşük şiddetteki radyasyon için de söz konusudur, ancak risk çok daha düşüktür”* yaklaşımı kabul görmüştür. Düşük dozlar için belirlenen riskler, yüksek dozlarda saptanan risklerden matematiksel yaklaşımlar ile çıkarılmıştır. Bu riskler kişilere spesifik olmayıp toplum için verilmektedir. Örneğin 1 Sv doz alan 100 kişiden 5 kişinin radyasyona bağlı kanserden ölme riski olacağı kabul edilmiştir (ICRP 1990).

Tekrar iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun etkilerine dönersek, bilimsel olarak saptanmış yegâne bulgu, EM alanların biyolojik dokularda neden olduğu ısı artışlarıdır. Bu artışlar, insan vücudunun temel metabolizma seviyesinin önemli ölçüde aşılması durumunda, sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bir diğer etki ise, daha önce açıklandığı gibi, termal etkiler yaratmayan düşük frekanstaki alanların duyu ve sinir sistemlerini uyarması sonucunda ortaya çıkabilen algısal sorunlardır.

Radyasyona bağlı olarak kanser hastalığının ortaya çıkması için, insan dokusu ile etkileşen radyasyonun insan dokusunu oluşturan atomun ve/veya molekülün yapısını bozması gerekir. Bunun için radyasyon enerjisinin atomun elektronunu koparacak, iyonlaştırmaya neden olacak mertebede olması gerekir. Biyolojik yapının temel taşı olan, DNA molekülünün bu şekilde etkilenmesi, yani mutasyona uğraması kanseri tetikleyen ilk mekanizmadır. Ancak, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonların enerjisi son derece düşük olup atomun elektronunu yörüngesinden

sökmesi mümkün değildir. Örneğin 1.8 GHz frekansında EM dalga yayan mobil telefonlarını ele alalım, bu frekanstaki fotonun enerjisi 0.000007444197969365 eV'a karşı gelir. Biyolojik yapılarda elektronu atomdan koparmak için gerekli iyonizasyon enerjisinden (12.5 eV ) 1.7 milyon kez daha düşüktür. Dolayısıyla fiziksel etkileşmeler bu enerjilerdeki EM dalgaların DNA'yı mutasyona uğratarak kanseri tetiklemeyeceğini göstermektedir. İyonlaştırıcı radyasyonun kullanıldığı tanısal görüntüleme incelemelerinde, kullanılan enerjiler tanısal radyolojide 20 keV – 100 keV, nükleer tıpta ise 70 keV – 511keV arasında olup, iyonizasyon enerjisinden binlerce kat daha fazladır. Bu görüntüleme tekniklerinin uygun şartlarda kullanılması durumunda radyasyona bağlanabilecek kanser risklerinin bile, bazı incelemelerde çocuk hastalar hariç olmak üzere, son derece düşüktür. Örneğin, akciğer filmi çektiren bir milyon kişide risk sadece 2 – 3 kişi, yüksek dozların kullanıldığı bazı incelemelerde ise (bilgisayarlı tomografi, anjiyografi gibi) 1000 – 2000 kişide birdir. Gelişmiş ülkelerde radyasyon dışı nedenlere bağlı olarak, ömür boyu kansere yakalanma riskinin %40, bu kanser nedeniyle ölüm riskinin ise %23 civarında olduğunun belirtilmesinde yarar vardır.

İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlara yönelik epidemiyolojik yöntemlerde farklılıklar vardır. Yukarıda açıklandığı gibi iyonlaştırıcı radyasyon etkilerinin saptanmasında, kanser risklerinin radyasyon dozları ile nasıl değiştiğine bakılır, bu husus, deneklerin maruz kaldıkları radyasyon dozlarının mümkün olduğunca doğrulukla ölçülmesi/hesaplanmasını gerektirir. Bu husus, bilhassa retrospektif olarak yapılan epidemiyolojik çalışmaların en önemli zorluğu ve birçok çalışmanın da hata kaynağı olmuştur. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonla ilgili, örneğin mobil telefonların kanser risklerinin araştırılmasında, kanser riskleri telefon kullanan ve kullanmayanlarda görülen kanser vakalarının karşılaştırmasına dayanır. Kişilerin geçmişe bağlı kullanım süreleri, konuşma sıklıkları, konuşma süreleri telefonlarının teknolojileri gibi faktörler, bu bağlamda sorgulanır. Ancak bu sorgulamalarda kişinin hafızasına dayanarak vereceği yanıt önemlidir ve epidemiyolojik çalışmaların da önemli bir zayıf noktası budur. Dolayısıyla ışınlanma ile kanser arasındaki bir ilişki kurulması son derece zordur. Kanser hastaları genelde, hastalıkları için geçerli bir neden arayışı içerisindedirler ve kanser olmayan deneklere göre geçmişteki telefon konuşmalarını daha farklı, hatta abartarak ifade edebilirler. Epidemiyolojik çalışmalarda sonuçların doğruluğunu etkileyen başka çok sayıda parametre vardır, EM ışınlanma ile ilişkilendirilecek bir hastalığa, başta kişilerin yaşam şartları olmak üzere diğer olası çevresel faktörler de neden olabilir.

### **6.2.1 Düşük frekanstaki EM dalgaların uzun süreç etkileri**

Düşük frekanstaki EM dalgaların kaynakları, enerji güç hatları ve doğrudan 60 Hz şehir şebekesinden beslenen cihazlardır.

Hamile bayanlar üzerine yapılan çalışmalar bu dalgaların fetüs üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmadığını göstermiştir.

Bu dalgaların, nöroendokrin (melatonin ve hipofiz tarafından salınan hormon seviyelerindeki değişiklikler), kardiyovasküler ve nörolojik (Parkinson, Alzheimer, ALS, multiple skleroz hastalıkları gibi) kökenli sağlık sorunlarına yönelik hiç bir bilimsel bağlantısının olmadığı, gerek epidemiyolojik gerekse gönüllüler üzerine yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır.

Araştırmaların önemli bir kısmı bu dalgaların kansere neden olup olmadığı üzerine yoğunlaşmıştır. Yüksek gerilim hatlarının yakınlarında yaşayan çocuklarda, manyetik alanlara bağlı olarak ortaya çıkan ışınlamalarda (0.3 – 0.4 $\mu$ T) lösemi riskinin arttığını ileri süren bazı epidemiyolojik çalışmalar vardır ( Ahlbom A. 2000, Greenland. 2000). Ancak, gerek çalışmayı gerçekleştiren araştırmacılar gerekse diğer bilim insanları, bu sonuçların doğruluğunu etkileyen parametrelere dikkati çekmekte ve verilerinin kesin bir manyetik alan-lösemi ilişkisini desteklemeyeceğini belirtmektedirler. Şimdiye kadar biyofiziksel mekanizma, hayvan deneyleri ve hücrenel laboratuvar çalışmalarının hiçbiri bu ilişkiyi doğrulayan sonuçlar vermemiştir. Ancak söz konusu epidemiyolojik çalışmaların sonuçlarının mantıksal bir açıklaması da yapılamamıştır (WHO 2007 , IARC 2002).

Manyetik alanların lösemiye neden olduğu bir an için kabul edilse bile bu olasılık son derece düşüktür. Örneğin İngiltere’de her yıl ortaya çıkan ortalama 500 çocuk lösemi hastasında, 2 – 5 çocuğun lösemi nedeninin manyetik alanlar olabileceği bir an için varsayıldığında, bu sayının, her yıl bu ülkede, trafik kazalarında hayatını kaybeden ortalama 140 çocuk yanında hayli düşük olduğu ifade edilebilir (HPA 2012).

### **6.2.2 Orta ve RF frekans aralığında bölgesinde (100 kHz – 300 GHz) EM dalgaların uzun süreç etkileri**

RF radyasyon kaynakları olarak, 100 kHz ile 2 GHz arasındaki radyo ve televizyon yayınları ile mobil telefonlar ve onların baz istasyonları sayılabilir.

Bu aralığın düşük frekans bölgesinde termal etkilere neden olan ışınlamalarda hiçbir negatif etki olmadığı gerek laboratuvar gerekse hayvanlarda yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur.

Kadın ve erkeklerin üreme fonksiyonlarının (kısırlık, teratojenite gibi) olumsuz yönde etkilendiğini gösteren hiçbir bilimsel bulgu yoktur. Benzer olarak, uzun bir zamana yayılan bilinç bozukluğu, biyolojik ritim ve nörolojik (Alzheimer, epilepsi gibi) rahatsızlık gibi sorunlara rastlanmamıştır. Uyku esnasında fizyolojik değişiklikler gözlenirse de bunların herhangi bir sağlık sorunu yaratmadığı saptanmıştır.

RF (30 MHz – 300 GHz) bölgesindeki radyasyonun kanser etkisi üzerine çok sayıda epidemiyolojik çalışma yapılmıştır. Bu araştırmalar genelde kötü huylu beyin tümörü glioma ve iyi huylu beyin tümörleri meningioma ile neuroma üzerine yoğunlaşmıştır. Sağlık otoriteleri, elde edilen sonuçları negatif, yetersiz veya kesin kanıta dayalı olmadığına dair fikir birliğindedirler.

Hiç kuşku yok ki üzerinde en fazla epidemiyolojik çalışma yapılan alan, mobil telefonlarının sağlık üzerine etkisi üzerinedir. Aşağıda, epidemiyolojik bağlamda güvenilir olan bazı araştırmaların sonuçları verilmektedir.

Mobil telefonu kullanımı ile beyin kanseri arasında bir ilişki olduğunu iddia eden bir araştırma İsveç'te yapılmış, telefon kullananlarda gliomanın %30 daha fazla olabileceği, bu olasılığın 25 seneden fazla kullananlarda %200'e yükseldiği ileri sürölmüştür (Hardel 2011). Bu çalışma kamuoyunda, medyanın da etkisi ile ciddi bir kaos yaratmıştır. Ancak akabinde, hemen hemen tüm uluslararası bilim kuruluşları, İsveç çalışmasında yapılan oldukça önemli hataları ortaya koymuşlardır. Bu çalışmanın sonuçlarının doğru olması durumunda, Danimarka, Finlandiya ve Norveç'ten elde edilen verilere göre ortaya çıkması beklenen %20 kanser artışı gözlenmemiştir.

Mobil telefon kullanımı ile kanser arasında bir ilişki olup olmadığını araştıran bir diğer epidemiyolojik çalışma, 13 ölkeden katılımcıların (6420 vaka ve 7658 kişilik control grubu), kendilerine gönderilen anketleri yanıtlamalarına dayanan ve 1979 – 2008 arasını kapsayan, INTERPHONE vaka araştırmasıdır (Interphone study 2010).

Bu çalışmanın sonuçları farklı gruplar tarafından analiz edilmiş (Cardis 2007, IARC 2010) ve genelde telefon kullanımına bağlı olarak istatistiksel anlamlı bir kanser artışının olmadığı belirtilmiştir. Bu analizlerden birisinde, zamanının çoğunu telefonda geçiren kişilerde (her gün ve günde 12 saat gibi pek inandırıcı olmayan süreler belirtilmiştir) glioma kanserleri için risk artışı verilirken, bir diğer analizde ise konuşma süreleri normal olan kişilerdeki risklerin, hiç telefonla konuşmayanlara göre daha az olduğu ifade edilmiştir. En son analizlerden birisinde ise, ortaya çıkan beyin kanserlerinde, tümörün beyin içerisindeki yeri ile telefonda yayılan elektromanyetik dalgalara en fazla maruz kalan beyin bölgesi arasında hiçbir ilişki olmadığı saptanmıştır (Larjavaara 2011).

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (The International Agency for Research on Cancer-IARC) bilhassa İsveç ve Interphone araştırmasındaki bazı analizlere bakarak mobil telefonlarının “muhtemelen kanserojen” olabileceğini ileri sürerek toplumda bir korku oluşmasına neden olmuştur. IARC, mobil telefonlarını 2B risk sınıfına koymuştur, ilginç olan husus ise kahve, sebze turşuları, nikel paralar, karbon kağıtlar, talk pudrası ve egzoz dumanı da bu kategoridedir (IARC 2013). 2B maddesi, muhtemelen kanserojenik kategorisini göstermekte ve *“söz konusu faktörün insanlarda kansere neden olacağına yönelik sınırlı kanıt taşıdığını ve deney hayvanlarına yönelik kanserojenite için de yeterli kanıtların az olduğunu belirtmektedir”*

IARC'nin yukarıda verilen kararından hemen sonra Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) mobil telefon kullanımının hiçbir sağlık riski taşımadığını ifade eden bir görüş yayınlamıştır (WHO 2011). ABD'de ki birçok sağlık organizasyonu (National Cancer Institute, National Institute of Environmental Health Science, FDA gibi), Avrupa Topluluğu araştırma gruplarının benzer raporları vardır (SCENIHR 2015).

Diğer taraftan mobil telefon kullanımının hiçbir sağlık riski taşımadığını ileri süren çok sayıda epidemiyolojik çalışma vardır. Tümünün burada verilmesi mümkün değildir, ancak Danimarka'da 358 000 (Johansen 2001, Schuz 2006) ve İngiltere'de 3 milyon kadın kullanıcıyı içeren kohort araştırmalarının (Benson 2013,2014) sonuçları bu bağlamda hayli önemlidir. İskandinav ülkelerinde (İsveç dahil) yapılan araştırmaların hiçbirisi, önceki İsveç çalışmasını doğrulayacak sonuçlar vermemiştir (Deltour 2012). Yetişkinlerin yanı sıra çocuklarda yapılan araştırmalar da (Cefalo çalışması) telefon kullanımına bağlı bir risk olmadığını belirtmektedir (Aydin 2011).

Bir diğerk örnek, ABD’de yapılan bir çalışmadır (Little 2012); telefonların kullanılmasına başlanan 1990’lı yıllardan 2008’e kadar bu ÷lkede glioma vakalarında hiçbir ilave artışın gr÷lmediği belirtilmektedir. İşveç sonuçları doğru olsaydı bu artışın %40 olması gerekecekti. ABD’den ilgi çekici bir diğerk bilgi, Ulusal Kanserk Enstit÷s÷ (National Cancer Institute – NCI) tarafından 2000 – 2006 yılları arasında beyin ve sinir sistemi kanserlerinin 100 000’de 6.9’dan 5.9’a azaldığı bilgisidir. NCI ayrıca 1987 ile 2006 arasında bu kanserlerdeki azalmayı her yıl için %0.2 olarak saptamıştır. Kanserk hızında bu azalma yanında mobil telefon kullanımı, 2002’de %62’den 2019’da %96’ya yükselmiştir. Bu süreç beyin ve diğerk kanserlerin azaldığı döneme tekab÷l ettiğine dikkat edilmelidir

Bu bağlamda, Uluslararası Elektromanyetik Emniyet Komitesinin (International Committee on Electromagnetic Safety <http://www.ices-emfsafety.org/expert-reviews/>) yayımladığı bir makalede, bugüne kadar ulusal ve uluslararası kuruluşlarca yapılan 69 araştırmanın birkaç satırlık özeti verilmekte ve hepsinin sonuçları ortak bir noktada buluşmakta; Telefon kullanımına bağlı olarak kişilerde dedekte edilebilecek bir beyin kanseri riskinin söz konusu olmadığı belirtilmektedir.

Bir diğerk çalışmada 50 dakika telefonla konuşan kişilerde, telefonun yakın olduğu beyin dokusunda daha fazla glukoz biriktiği saptanmıştır. Beynin yakıtı olarak kabul edilen glukoz, kişinin konuşması, düşünmesi ya da hareket etmesi esnasında da, beynin farklı taraflarında toplanmaktadır. RF dalgalarına bağlı olarak glukozun bu şekilde lokalize artış göstermesi bilinmemektedir.

şimdiye kadar yapılan araştırmalarda, mobil telefonlarının kullanılmasına bağlı olarak kişilerde tümör oluşmasına neden olacak bir bulguya rastlanmamıştır, ancak tüm bu çalışmaların iğerdiği bazı sınırlı durumları da göz ardı etmemek gerekir.

Mobil telefonlarının mazisi çok eski değildir ve bazı çalışmalarda denekler yeteri kadar uzun bir süreçte izlenmemiştir. Kansere neden olabilecek bir ışınlanmadan sonra tümör oluşumu on yıllara varan çok uzun süreler sonra gerçekteşir. Mobil telefonlarının kullanılma süresi bazı ÷lkelerde 20 -25 seneden fazla değildir, dolayısıyla gelecekte ortaya çıkabilecek bir sağlık etkisinin olasılığı göz ardı edilemez,

İkinci husus mobil telefonlarının kullanım süreleri sürekli olarak değişmektedir. Günümüzde kişiler, 10 sene öncesine göre telefonlarını çok daha sık kullanmaktadırlar. Bunun yanında, mobil telefon teknolojileri de sürekli bir değişim göstermektedir. Bu hususlar göz önüne alındığında, geçmişte yapılan araştırma sonuçlarının bugün hala geçerli olup olmadığını anlamak zordur.

Üçüncü husus çocuklarda telefon kullanımının gittikçe artmasıdır. Şu ana kadar yapılan araştırmalarda RF dalgalarının neden olduğu herhangi bir sağlık etkisine rastlanmamıştır. Ancak çocukların yetişkinlere göre daha uzun yaşamları, onların daha fazla ışınlanmasına neden olacaktır. Diğer bir husus, çocukların yetişkinlere göre anatomik yapılarının daha farklı olmasıdır;

- Çocuk beyinlerinin içi bölgelerinin (hippocampus ve hypothalamus gibi) ışınlanması, yetişkinlere göre 1.6 – 3 kat daha fazladır.
- Çocukların kafatasındaki kemik iliklerinin ışınlanması, yetişkinlere göre 10 kat daha fazladır, bunun nedeni bo dokunun küçük yaşlardaki yüksek elektriksel iletkenliğidir.
- Çocukların gözlerinin ışınlanması yetişkinlere göre daha fazladır, ancak termal etkiler göz önüne alındığında mobil telefonlarının gözleri ışınlanması çok düşük olduğundan bu husus göz ardı edilebilir.
- Yetişkin ve çocuklarda, kafatasının yüzey bölgesine kulak ve beyin bölgelerinin yakınlıklarının farklı olması, ışınlamalarda da önemli farklılıklar ortaya çıkarır.Çocuklarda cerebellum bölgesinin SAR değeri, yetişkinlerin korteks ışınlamasının 2.5 kat fazlasıdır.

Bu nedenlere bağlı olarak mobil telefonlarına yönelik araştırmalar, bilhassa çocuklar için ve daha uzun ışınlama sürelerini içerecek şekilde devam edecektir.

### **Elektromanyetik hassasiyet**

Bazı kişiler ışınlamaların düşük değerlerinde bile geçici sağlık sorunları yaşadıklarını belirtmektedirler, bunun bir nedeni “hiper hassasiyet” olarak ifade edilmektedir (WHO 2004). Genelde şikayetler yorgunluk, yanma hissi, baş ağrısı, uykusuzluk ve rahatsızlık hissi üzerinedir.

Dünya Sağlık Organizasyonu ve medikal komüniteler bu şikayetleri kabullenmekle beraber, EM radyasyonla olan ilişkisi bilimsel olarak saptanamamıştır. Bu bağlamdaki bir görüş, problemin, plasebo etkisinin tersi olan **nocebo etkisi** olduğudur (aslında zararsız olan bir etkinin, kişi tarafından zararlı olduğu inancına bağlı olarak zararlı etkilerin ortaya çıkmasına neden olan durum). Bu hassasiyetten yakınan bir çok kişi üzerinde yapılan deneylerde, kişilerin yalancı ışınlamalarla da (kişiye EM dalga ışınlanmasına maruz bırakıldığı söylenmekte ama gerçekte hiçbir ışınlama yapılmamaktadır) şikayetlerinin devam ettiği belirlenmiştir.

## 7. IŞINLAMA STANDARTLARI

Kişilerin EM alanlar tarafından ışınlanmalarına karşı sınırlamalar getiren farklı standartlar vardır (ICNIRP 2009, 2010). **Işınlama standartları**, toplum ve çalışanlar için maruz kalınan EM dalga ışınlama limitlerini belirler. İkinci tür standartlar ise **uygunluk saptama standartları** olup, EM dalga yayan spesifik bir cihazın ışınlama standartlarına olan uygunluğunun saptanmasını amaçlar.

Işınlama standartları, toplum ve meslekleri gereği EM dalga ışınlamalarına maruz kalan çalışanların, bu dalgaların bilinen sağlığa zararlı etkilerine karşı koruma amacına yönelik güvenlik sınırlarını belirler. Bu standartlar, genelde vücut içerisinde soğurulacak maksimum EM alan enerjisi için **temel kısıtlamaları** ve harici alan seviyelerinin uygunluk amaçlarına uyup uymadığını test eden **referans seviyelerini** kapsar. Temel kısıtlamalar sahada ki kişilere uygulanırken, referans seviyeler, temel kısıtlamaların ölçülmesinin pratik olmadığı durumlar için temel kısıtlamalardan türetilmişlerdir ve çevresel ölçümlerde güvenliğin sağlanması amacıyla kullanılırlar. Daha önce de ifade edildiği gibi, soğurulan RF enerjinin ölçülmesinde SAR (Specific Absorption Rate), W/Kg biriminde, 6 GHz altındaki ışınlamalarda kullanılır. Daha üst frekanslarda ki ölçüm birimi ise, RF enerji soğurulmasının yüzeysel olması nedeniyle SAR yerine W/m<sup>2</sup> birimindeki Güç Yoğunluğu'dur (Power Density).

Ölçülen bu nicelikler için önerilen değerler eşik değerlerdir. Eşik değerlere maruz bırakan düşük ışınlamaların, halen geçerli olan bilimsel literatürün öngördüğü güvenlik sınırları içerisinde kaldığı kabul edilir. Ancak bu eşik değerler, güvenlik ile zarar arasında, hatları kesin çizilmiş sınır değerleri temsil etmezler, zira olası sağlık riskleri artan ışınlamalar ile artmaktadır. Bilimsel araştırmalarda, bilhassa epidemiyolojik çalışmalarda söz konusu olan belirsizliklerin dikkate alınması için saptanan sınırlara belirli toleranslar getirilir.

Bu yazıda detaylarına girilmeyecek olan bir diğer standart **ölçüm standartlarıdır**. EM dalga yayan cihazların ışınlama ve uygunluk standartlarının test edilmesinde kullanılan ölçüm yöntemleri bu standartlar ile belirlenir.

Standartların saptanması amacıyla birçok kuruluşun yaptığı öneriler genelde, bazı ayrıntılar hariç benzerdir. Son yıllarda, "İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunmada Uluslararası

Komisyon (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP)” tarafından öne sürülen tavsiyeler birçok ülkede olduğu gibi Ülkemizde de kabul görmüştür.

Işınlamalar için kısıtlama değerleri, toplum ve mesleği gereği EM ışınlamalara maruz kalan çalışanlar için ayrı ayrı belirlenir. Toplum için getirilen kısıtlamalar daha katıdır. Kısıtlamaların çalışanlar için daha fazla tolerans içermesi, bu kişilerin topluma göre belirli bir riski alacakları anlamını taşımamaktadır. Çalışanların bilinen şartlarda ışınlandıkları kabul edilir ve aldıkları eğitim ile ışınlanmalarını nasıl kontrol altında tutacakları ve olası kaza durumlarına karşı hangi önlemleri alacaklarını bilmeleri gerektiği beklenir.

Bu tavsiyeler, statik manyetik alanlar, 1 Hz – 100 kHz ve 100 kHz – 300 GHz frekans aralıkları için ayrı ayrı belirlenmiştir.

### 7.1. Statik manyetik alanlar

ICNIRP, statik manyetik alanlar için temel kısıtlama değerlerini Tablo 2’de olduğu gibi belirlemiştir.

Tablo 2. Statik manyetik alan ışınlamalarına karşı temel kısıtlamalar. Bu değerler vücut dışı ışınlamalara yönelik olup işyerlerinde ölçümleri yapılabilir.

	Algısal etkiler
Normal çalışma koşulları	2 T
Kol ve bacakların lokalize ışınlanması	8 T

	Sağlık etkileri
Kontrol altındaki çalışma koşulları	8 T

### 7.2 1Hz - 100 kHz frekans aralığı

#### 7.2.1. Temel kısıtlamalar:

Her ne kadar 100 kHz üst sınır olarak belirtilmişse de, ışınlama şartlarına bağlı olarak yüksek frekanslarda da ortaya çıkabilecek sinir sistemi ile ilgili etkilerinde içerilebilmesi için üst sınır 10 MHz’e kadar uzatılmıştır

Bu frekans aralığı için EM dalga ışınlanmasına getirilen temel kısıtlamalarda, sinir hücreleri ve elektriksel hassasiyeti olan diğer hücreleri de etkilemesi nedeniyle, dahili elektrik alan şiddeti dikkate alınmıştır. Ancak bu alanın ölçülmesindeki zorluk nedeniyle, ışınlamanın pratik olarak saptanmasını amaçlayan referans değerler kullanılmaktadır. Tablo 3, hem toplum hem de meslekleri nedeniyle ışınlananlar için temel kısıtlama değerleri vermektedir.

Tablo 3. Zamana bağlı değişen elektrik ve manyetik alanlarda kişilerin ışınlanmasında temel sınırlamalar.

<b>İşinlama özellikleri</b>	<b>İşinlanan dokular</b>	<b>Frekans aralığı</b>	<b>Dahili elektrik alan (V / m)</b>
<b>Mesleki ışınlamalar</b>			
	Kafadaki merkezi sinir sistem dokusu	1 – 10 Hz	0.5 / f
		10 Hz – 25 Hz	0.05
		25 Hz – 400 Hz	$2 \times 10^{-3} f$
		400 Hz – 3 kHz	0.8
		3 kHz - 10 MHz	$2.7 \times 10^{-4} f$
	Kafa ve gövdenin tüm dokuları	1Hz – 3 kHz	0.8
		3 kHz – 10 MHz	$2.7 \times 10^{-4} f$
<b>Toplum ışınlamaları</b>			
	Kafadaki merkezi sinir sistem dokusu	1 – 10 Hz	0.1 / f
		10 Hz – 25 Hz	0.01
		25 Hz – 1 kHz	$4 \times 10^{-4} f$
		1 kHz – 3 kHz	0.4
		3 kHz – 10 MHz	$1.35 \times 10^{-4} f$
	Kafa ve gövdenin tüm dokuları	1Hz – 3 kHz	0.4
		3 kHz – 10 MHz	$1.35 \times 10^{-4} f$

- 1- F, Hertz biriminde frekanstır  
100 kHz üzerindeki frekans aralığında radyofrekans bölgesine özgün temel sınırlamalar dikkate alınmalıdır.

### 7.2.2 Referans Seviyeler

Referans seviyeler, bilimsel literatürdeki bilgilerin kullanıldığı matematik modellemeler ile temel kısıtlamalardan türetilmiştir. Bu hesaplamalarda EM alanın kişiyi tamamen kapsadığı senaryo dikkate alınmıştır, dolayısıyla elde edilen değerler maksimum korunma sağlanmasına yöneliktir. Tablo 4’ de toplum ve çalışanlar için önerilen referans değerler verilmektedir.

Tablo 4. Zamana bağlı değişen elektrik ve manyetik alanlarda mesleki ışınlamalar için referans değerler.

Frekans aralığı	Elektrik alan gücü E( kV /m)	Manyetik alan gücü H (A / m)	Manyetik akı yoğunluğu B (T)
1 – 8 Hz	20	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$0.2 / f^2$
8 Hz – 25 Hz	20	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^{-2} / f$
25 Hz – 300 Hz	$5 \times 10^2 / f$	$8 \times 10^2$	$1.0 \times 10^{-3}$
300 Hz – 3 kHz	$5 \times 10^2 / f$	$2.4 \times 10^5 / f$	$0.3 / f$
3 kHz - 10 MHz	$1.7 \times 10^{-1}$	80	$1.0 \times 10^{-4}$

- 1- F, Hertz biriminde frekanstır  
100 kHz üzerindeki frekans aralığında radyofrekans bölgesine özgün temel sınırlamalar dikkate alınmalıdır.

Tablo 5. Zamana bağlı değişen elektrik ve manyetik alanlarda toplum ışınlamaları için referans değerler

Frekans aralığı	Elektrik alan gücü E( kV /m)	Manyetik alan gücü H(A / m)	Manyetik akı yoğunluğu B (T)
1 – 8 Hz	5	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz – 25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz – 50 Hz	5	$1.6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
50 Hz – 400 Hz	$5 \times 10^2 / f$	$1.6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
400 Hz – 3 kHz	$5 \times 10^2 / f$	$6.4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 kHz - 10 MHz	$8.3 \times 10^{-2}$	21	$2.7 \times 10^{-5}$

- 1- F, Hertz biriminde frekanstır  
100 kHz üzerindeki frekans aralığında radyofrekans bölgesine özgün temel sınırlamalar dikkate alınmalıdır.

Harici nesnelere kaynaklanarak şok ve yanığa neden olabilecek temas akımları için 10 MHz'e kadar referans değerler Tablo 6'da verilmektedir. Bu değerlerin belirlenmesinde kişilere ağrı verebilecek şoklar dikkate alınmıştır.

Tablo 6. İletken nesnelere kaynaklanan zamana bağlı temas akımları için referans seviyeleri.

<b>İşinleme özellikleri</b>	<b>Frekans aralığı</b>	<b>Maksimum temas akımı (mA)</b>
<b>Mesleki işinlemeler</b>		
	2.5 kHz' kadar	1.0
	2.5 – 100 kHz	0.4 f
	100 kHz – 10 MHz	40
<b>Toplum işinlemeleri</b>		
	2.5 kHz' kadar	0.5
	2.5 – 100 kHz	0.2 f
	100 kHz – 10 MHz	20

1- F, Hertz biriminde frekanstır

### 7.3 100 kHz – 300 GHz Aralığı:

Yüksek frekans aralıklarında toplumdaki kişilerin termal biyolojik etkilerden korunması için temel sınırlamalar da SAR (W/kg) ve S(W/m<sup>2</sup>) nicelikleri kullanılır (Tablo 7). 6 GHz'den düşük frekanslarda soğurulan güç değerinin saptanmasında 6 dakikalık ölçümlerin ortalaması alınmaktadır. Bu süre uyarılan dokunun termal olarak denge haline ulaşması için geçen süredir.

6 GHz'e kadar SAR, daha yüksek frekanslar için ise güç yoğunluğu kullanılır.

Tablo 7. 100 kHz – 300 GHz aralığındaki elektromanyetik alan ışınlamaları için temel sınırlamalar.

Işınlama özellikleri	Frekans aralığı	Tüm gövde ortalama SAR (W / kg)	Kafa/gövde SAR (W / kg)	Lokal Bacak SAR (W / kg)	Lokal S <sub>ab</sub> (W / m <sup>2</sup> )
<b>Mesleki ışınlamalar</b>					
	100 kHz – 6 GHz	0.4	10	20	*
	>6 GHz – 300 GHz	0.4	*	*	100
<b>Toplum ışınlamaları</b>					
	100 kHz – 6GHz	0.08	2	4	*
	>6 GHz – 300GHz	0.08	*	*	20

- 1: \* Uygulanmaz. Uygunluk saptamasında dikkate alınmasına gerek yoktur.
- 2: Tüm gövde ortalama SAR için 30 dakikalık ölçümün ortalaması alınmalıdır.
- 3: S<sub>ab</sub>, birim yüzey tarafından soğurulan gücü gösterir
- 4: Bölgesel SAR ve S<sub>ab</sub> ışınlamalarında 6 dakikalık ölçümün ortalaması alınmalıdır.
- 5: Lokal SAR için 10 gram kübik kütle üzerinden ortalama alınmalıdır.
- 6: Lokal S<sub>ab</sub> için vücudun 4 cm<sup>2</sup> yüzeyi üzerinden ortalama alınmalıdır. 30 GHz üzeri için vücudun 1 cm<sup>2</sup> yüzey ortalamasındaki ışınlama, 4 cm<sup>2</sup> yüzeyindeki ortalama ışınlamanın 2 katı ile sınırlandırılmalıdır.

Tablo 7’de gösterildiği gibi mobil telefonlar için uluslararası SAR limiti 10 gr yumuşak doku başına 2 W / kg’dır. En son teorik modellemeler ve deneysel çalışmalar, yetişkinlerde dinlenme halinde ve 28 °C ortam sıcaklığında, kişinin vücut içi sıcaklığının 1°C arttırılmasına neden olacak 6 W/kg tüm gövde SAR değerine ulaşması için 1 saat boyunca 100 kHz ile 6 GHz aralığındaki frekanslarda ışınlanmasını gerektiğini göstermiştir. Ancak ICNIRP, ölçüm bilgilerinin sınırlı olduğuna dikkat çekerek SAR değerini 4 W/kg olarak (radyofrekans bölgesinde 30 dakika ışınlama) önermiştir (ICNIRP 2020). Toplum ışınlanmasında ki eşik değer 0.08 olup tam 50 kat daha azdır ve kişi tarafından hissedilmesi mümkün değildir. ICNIRP tarafından kafa ve vücut için topluma uygulanan sağlığa etkisi olabilecek ışınlama 20 W/kg olarak kabul edilmiştir, sınır değer ise 10 kat daha az olup 2 W/kg’dır. 6 – 300 GHz arasında sağlığa zararlı etkiler için önerilen seviye 200 W/m<sup>2</sup> olarak verilmekte olup, sınır değerler çalışanlar ve toplum için sırasıyla 2 ve 10 kat daha azdır. ICNIRP ayrıca, 30 – 300 GHz aralığı için

kafa/vücut ve uzuvlara uygulanacak sınır sıcaklık değerini 5 °C olarak vermekte, 1 cm<sup>2</sup> yüzeydeki 6 dakika ölçüm için sağlığa zararlı etki seviyesini 400 W/m<sup>2</sup> önerisini getirmiştir. Çalışanlar ve toplum için sınır değerler 200 ve 40 W/m<sup>2</sup> dir.

ICNIRP, vücut içi sıcaklığı yanında doku sıcaklıkları içinde sınırlamalar getirmiştir. Radyofrekans bölgesinde lokalize olarak sıcaklığın 41 °C üzerine çıkmasının zararlı olabileceğini belirtmektedir. Vücut sıcaklığının vücut bölgelerine göre değilmesi nedeniyle, sınır değerler kafa/gövde ve uzuvlar (kol ve bacaklar) için ayrı ayrı verilmiştir. Sağlığa zararlı olabilecek sıcaklıkların eşik değerleri kafa/gövde için 2 °C, uzuvlar için 5 °C olarak saptanmıştır (ICNIRP 2020).

Yüksek frekanslar için referans değerler pratikte değil, ancak laboratuvarında saptanabilir. Alan ölçümleri için elektrik alan E(V / m), manyetik alan H(A / m) veya manyetik indüklenme B(T), güç yoğunluğu S(W / m<sup>2</sup>) ve indüklenmiş akım J<sub>i</sub> (A) nicelikleri kullanılır (Tablo 8). Pratik uygulamalarda, genelde RF alanlarındaki radyasyon ölçümünde elektrik alan seçilen niceliktir. Bir örnek verilecek olursa, Ülkemizde GSM operatörlerinde kullanılan 900 ve 1800 MHz için topluma uygulanacak referans değerler Tablo 8 verileri kullanılarak, elektrik alan için 41 ve 58 V/m, güç yoğunluğu için 4.5 ve 9 W/m<sup>2</sup> olarak bulunur.

Referans seviyelerin aşılması, ışınlamanın yüksek olduğu anlamına gelmeyebilir, bu durum temel sınırlamaların saptanmasıyla doğrulanmalıdır.

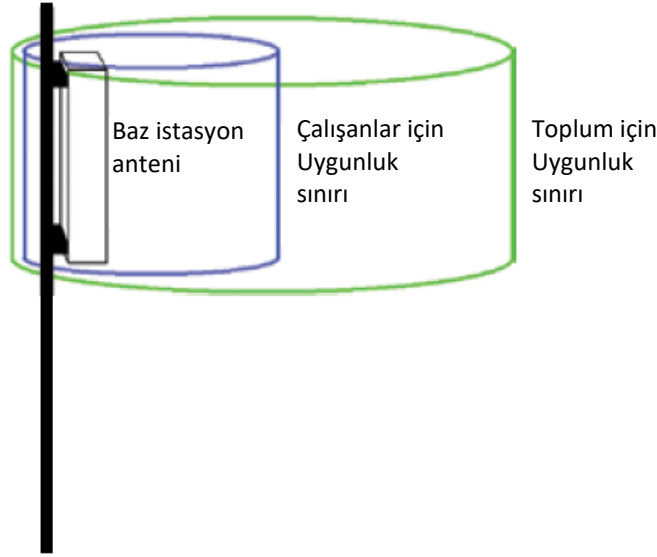
Tablo 8. 100 kHz – 300 GHz aralığında 30 dakikalık ölçüm ortalamasındaki elektromanyetik alan ışınlamaları için referans değerler

Işınlama özellikleri	Frekans aralığı	Gelen elektrik alan gücü	Gelen manyetik alan gücü	Gelen güç yoğunluğu
		E (V / m)	H (A / m)	S (W/m <sup>2</sup> )
<b>Mesleki ışınlamalar</b>				
	0.1 – 30 MHz	660 / f <sup>0.7</sup>	4.9 / f	*
	>30 – 400 MHz	61	0.16	10
	>400 MHz – 2 GHz	3 f <sup>0.5</sup>	0.008 f <sup>0.5</sup>	F / 40
	>2 – 300 GHz	*	*	50
<b>Toplum Işınlamaları</b>				
	0.1 – 30 MHz	300 / f <sup>0.7</sup>	2.2/ f	*
	>30 – 400 MHz	27.7	0.073	2
	>400 MHz – 2 GHz	1.375 f <sup>0.5</sup>	0.0037 f <sup>0.5</sup>	F / 200
	>2 – 300 GHz	*	*	10

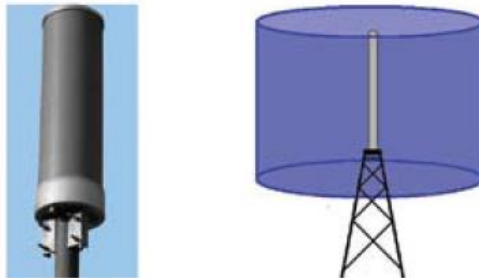
- 1: \* Uygulanmaz. Uygunluk saptamasında dikkate alınmasında gerek yoktur.
- 2: S, E ve H için tüm gövdeye karşı gelen alandaki 30 dakikalık ölçüm ortalaması alınmalıdır.
- 3: 100 kHz – 30 MHz aralığındaki frekanslar için uzak/yakın alan ayırımı yapılmadan, E veya H'nın yukarıda verilen referans değerleri aşması durumunda uygunluğun kanıtlandığı kabul edilmelidir.
- 4: >30 MHz – 2 GHz aralığındaki frekanslarda : (a) yakın alan bölgesi için S, E veya H'nın yukarıdaki referans değerler aşması durumunda (sadece bir tanesi yeterlidir) uygunluğun kanıtlandığı kabul edilmelidir. Bu uygunluğun kanıtlanması, (b) radyatif yakın alan bölgesi için S veya hem E hem de H'nın, (c) reaktif alan için hem E hem de H'nın yukarıdaki referans değerleri aşması durumunda kabul edilir.

## 8. HÜCRESEL ANTENLER VE UYGUNLUK SINIRLARI:

Baz istasyonlarında genelde kullanılmakta olan anten türleri ve her antene ait toplum ve çalışanlara yönelik uygunluk sınırları aşağıda verilmektedir. EM dalgalar antenden ileri doğru yayıldıkları için antenin arkasındaki uygunluk sınırları ön tarafa göre son derece küçüktür.



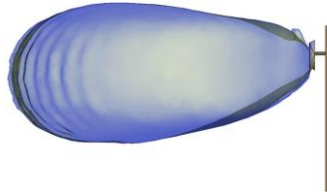
Şekil 18. Çalışanlar ve toplum için uygunluk sınırları



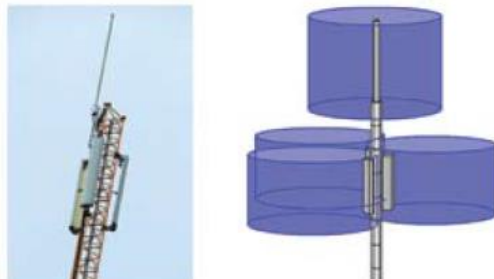
**Çok-yönlü antenler** : Her yöne eşit şekilde ışınlama yapan antenlerdir. Çıkış güçleri 10 W – 100 W olup toplum için uygunluk sınırları antenden 0.5 m – 5 m'dir.



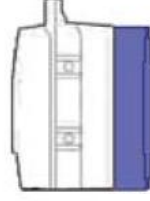
**Sektör antenler:** Işınlama yönü antenin önünde dar bir açısız dilim boyuncadır. Çıkış güçleri 10 W – 200 W arasında olup, toplum için uygunluk sınırı anten yüzeyinden 1 m – 20 m arasındadır.



**Dizi Antenler (MIMO) :** Baz istasyonları ve onlara bağlı cihazlar arasındaki iletişimi optimize etmek için RF enerjisinin dar demet şeklinde yönlendirilmesini sağlarlar. Anten çıkış gücü, tipi ve frekans bandına göre değişir. 2 – 6 GHz bandında 20 – 200 W arasında değişir. Uygunluk sınırı, düşük güç, yüksek frekans bantlarında bir kaç metre, daha düşük bantlarda çalışan baz istasyonlarında ise 5 – 20 metre arasındadır.



**Küme Antenler:** Antenler, anten kulesi üzerine birlikte monte edilirler. Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi çok yönlü bir anten üç sektör antenin üzerine yerleştirilmiştir. Uygunluk sınırı antenlerin ayrı ayrı değerlerine göre daha fazladır.



**Radyo röle antenleri:** RF enerjisi ileri yönde dar bir demede sıkıştırılırlar. Güç seviyeleri 1 W'dan daha düşük olup güvenlik mesafeleri birkaç santimetredir. Parabolik çanak antenler bu kategoriye örnektir.



**Mikro hücre antenleri :** Kısa mesafelerin kapsanması (300 – 1000 metre) amacıyla kullanılır. Genelde bina duvarlarına monte edilir. Uygunluk sınırları sektör anenlere benzer, anten yüzeyinden 0.2 – 2 metreye uzanır.



**Oda içi antenleri:** Pikonücre antenleri olarak adlandırılırlar. Genelde kapsama alanının sınırlı olduğu binalar içerisinde veya havaalanları, alışveriş merkezleri gibi çok sayıda kullanıcının olduğu yerlerde kullanılırlar. Güç seviyeleri mobil telefonlara benzerdir, uygunluk sınırları ise antenden birkaç santimetre mesafededir.

### **EM Alan Işımlarının Belirlenme Yöntemleri**

**Kablo Kodları:** Evlerin dışında bulunan güç hatlarının özellikleri (kabloların kalınlığı, tellerin konfigürasyonu gibi) ve hatların bu evlerden uzaklıklarına göre evlerdeki alan şiddetlerine yönelik tahminlerde bulunulması.

**Noktasal Ölçümler:** Belirli bir yer için çok kısa süreli (30 sn) ölçümler alınması.

**Zaman Ağırlıklı Ortalama:** Ölçümlerdeki istatistiksel doğruluğun arttırılabilmesi için ard arda yapılan ışınlama ölçümlerinin ağırlıklı ortalamalarının alınması.

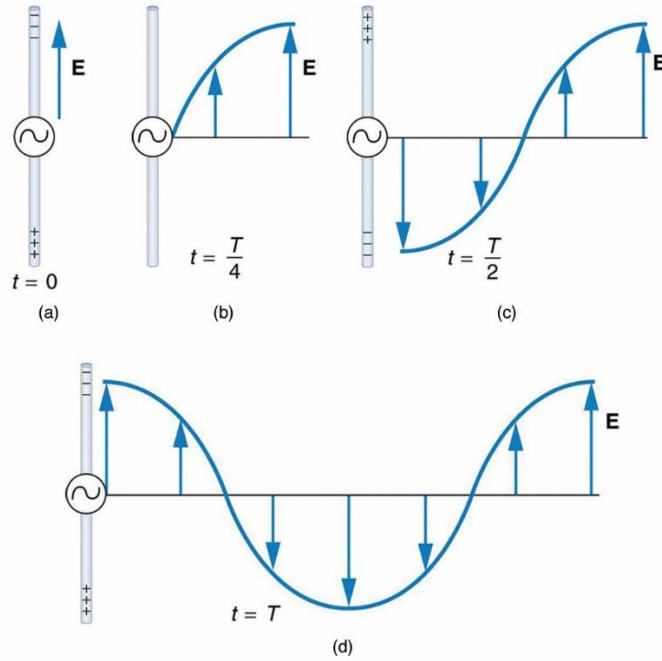
**Kişisel monitor:** Bir süreç boyunca kişinin maruz kaldığı ışınlama vücut üzerine yerleştirilen cihazlarla yapılması

**Teorik Hesaplama:** Güç hatlarından yayılan manyetik alanların verdikleri ışınlamaların, bu hatların önceden saptanmış elektriksel yüklenmelerinin kullanılarak hesaplanması.

## EKLER

### Ek 1. EM dalgaların meydana gelişi

Yüklü bir parçacık, çevresindeki diğer yüklü parçacıklar üzerine kuvvet uygulayacak olan bir elektrik alan yaratır. Bu yüklü parçacık salınım (osilasyon) yapacak şekilde ivme kazandırıldığında, kendi elektrik alanı içerisinde dalgalanmalar yaratır ve aynı zamanda manyetik bir alan ortaya çıkarır. Manyetik alan, elektrik alan içerisinde hareket eden yüklü parçacıkların meydana getirdiği akım nedeniyle oluşur. Bir kez salınım hareketi başlatıldığında parçacığın oluşturduğu elektrik ve manyetik alanlar süreklilik kazanırlar, bir alandaki (elektrik veya manyetik) zamana bağlı bir değişiklik diğerini oluşturur. Birlikte ortaya çıkan bu alanların oluşturduğu elektromanyetik dalgalar da salınım hareketi yaparlar, bu hareketin frekansı, ilk başta olayları tetikleyen yüklü parçacığın salınım frekansı ile aynıdır.



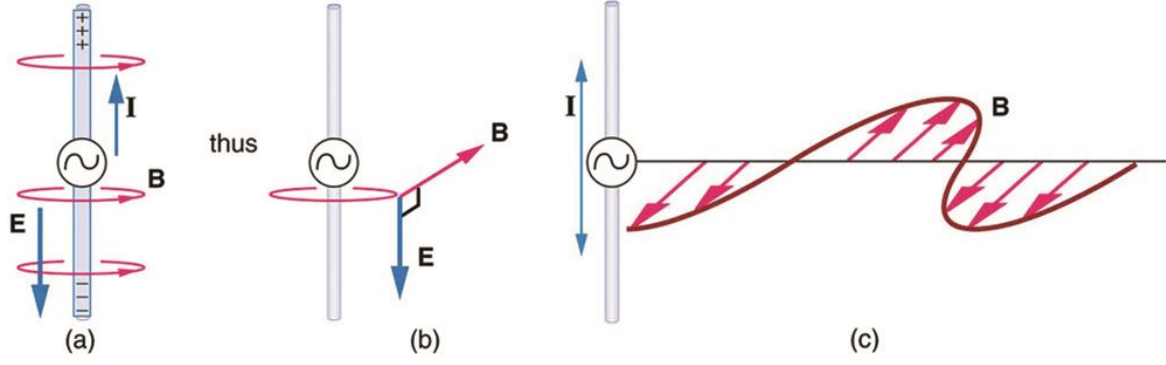
Şekil E1. Alternatif akım jeneratörünün merkezindeki uzun ve düz gri tel EM dalgalar için yayın antenidir. Şekilde dört farklı zaman için yük dağılımları gösterilmektedir. Elektrik alan (E) antenden ileriye doğru ışık hızı ile ilerler ve EM dalgaların bir bileşenini oluşturur (labman.phys.utk.edu › module ›)

Elektromanyetik dalgaların nasıl oluştukları radyo/televizyon yayınlarında kullanılan bir anten örneği ile daha iyi anlaşılabilir. Bir jeneratörde periyodik olarak üretilen yüklü parçacıklar antene yönlendirilirler. Antende yukarı-aşağı yönde hareket eden (salınım yapan) bu elektronlar bir elektrik alan meydana getirirler.  $T = 0$  anında yükler arasında maksimum mesafe vardır; negatif yükler üstte, pozitif yükler antenin alt kısmında olup, elektrik alan yukarı doğru yönelmiştir ve değeri maksimumdur. Döngünün  $\frac{1}{4}$  kadar sonrasında yükler arasındaki mesafe sona erer ve anten yakınındaki elektrik alan sıfıra düşer, bu arada maksimum elektrik alan ışık hızı ile antenden uzaklaşmıştır (Şekil E1).

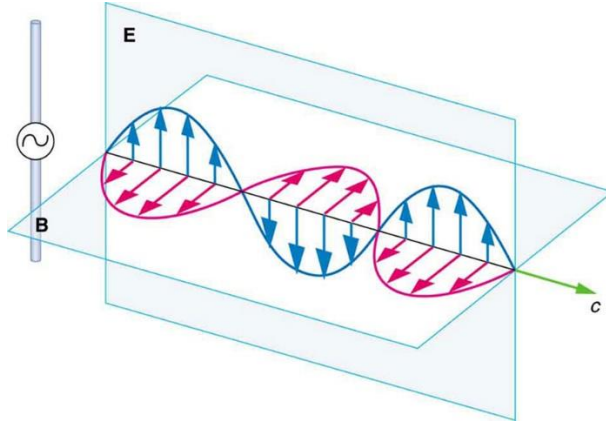
Sürecin devamında, yüklerin ayırımı ters yönde olur ve elektrik alan aşağı yönde maksimum değere ulaştıktan sonra alan tekrar sıfıra düşer ve döngünün sonunda yeniden yukarı yönde maksimum olur. Antenden uzaklaşan EM dalgaların genliği, yükler arasındaki maksimum mesafe (dalga boyu) ile yük hareketinin periyodu yani yüklerin salınım (titreşim frekansı) ile orantılıdır.

Antende yüklü parçacıkların oluşturduğu akım ise manyetik alanı meydana getirir (Amper kanunu), değişen akım manyetik alanın büyüklüğünü ve yönünü değiştirir (Şekil E2). Manyetik alan da antenden ileri doğru ışık hızı ile uzaklaşarak EM dalganın diğer bileşenini oluşturur. Her iki alan da yüklerin anten içerisindeki benzer hareket ve mesafeye bağlı olarak meydana geldikleri için aynı periyod ve dalga boyuna sahiptirler.

Şekil E.3' de zamanın bir anındaki elektrik ve manyetik alanlar birlikte gösterilmektedir Bu şekilde uzun ve düz bir anten telinden yayınlanan alanlar birleri ile aynı fazdadırlar, birbirlerine ve yayılma yönlerine diktirler.



Şekil E.2 (a) Antendeki akım dairesel manyetik alan çizgilerini meydana getirir. Akım ( $I$ ) tel boyunca yüklerin ayrılmasına neden olarak şekilde görülen elektrik alanı yaratır. (b) Tel yakınındaki elektrik ve manyetik alanlar ( $E$  ve  $B$ ) birbirine diktirler. (c) Manyetik alan akım ile değişir ve antenden ışık hızı ile yayılır.



Şekil E.3 Antenden salınan EM dalganın alanları ( $E$  ve  $B$ ) aynı fazda olup birbirlerine ve yayılma yönlerine diktirler. Kolay anlaşılabilmesi için sadece tek bir yöndeki dalga gösterilmektedir.

EM dalgalar genelde kaynaktan tüm yönlere doğru yayılarak karmaşık bir radyasyon deseni ortaya koyarlar. Anten uzunluğu yayınlanan EM dalgaların frekansını belirlediği için kritiktir, uzunluğun istenilen dalga boyu ile orantılı olması yani rezonans olayının gerçekleşmesi için şarttır.

Kaynaktan salınan bu EM dalgaların alıcılarda nasıl algılandığı aşağıdaki gibi kısaca açıklanabilir.

EM dalgalar kaynaktan aldıkları enerjiyi kaynağın uzağına taşırlar. Alıcı antenler, belirli frekanslarda rezonansa girecek şekilde tasarımlanırlar (hatırlatmak gerekirse, rezonans frekansında titreşen moleküller, bu frekanstaki EM dalgaları etkin bir şekilde soğururlar). Alıcı antene ulaşan dalgalar soğurularak antendeki elektronlara ivme kazandırırklar ve antende durağan dalga oluştururlar. Bu dalgalar zaman içerisinde salınım yaparlar ancak uzaysal ortamda yayılmazlar, iki kişinin durdukları yerde bir ipi aşağı yukarı sallamaları örnek olarak verilebilir.

Bu alıcı antene bağılı bir radyo veya TV'deki elektronik aksamlar bu elektronların oluşturduğu sinyali alarak işleyerek ses veya görüntü formatına çevirirler.

**EK 2. Bazı yararlı formüller verilmektedir:**

$$\text{Uygunluk mesafesi (D)} = 0.45 (P \times G / S_{\text{maks.}})^{1/2} \text{ (metre)}$$

P : Watt olarak ortalama güç

G : Anten kazancı

$S_{\text{maks.}}$  : İzin verilen maksimum güç yoğunluğu ( W/m<sup>2</sup>)

$$\text{Güç yoğunluğu (S)} = 2.56 (P \times G / 4 \pi R^2) \text{ ( W/m}^2\text{)}$$

R (m) : Işınlama noktasından antene en yakın noktaya olan mesafe

2.56 : Topraktan olan yansımaya bağlı olarak güç yoğunluğundaki artış için yaklaşık katsayı

$$\text{Alan yoğunluğu ( E )} = (30 \times P \times 10^{G(\text{db})/10})^{1/2} / D \text{ (V/m)}$$

## REFERANSLAR

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T, Verkasalo PK. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 83:692– 698; 2000.

Aydin D, Feychting M, Schüz J, et al. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *Journal of the National Cancer Institute* 2011; 103(16):1264–1276.

Ben Greenebaum and Frank Barnes, Biological and Medical Aspects of Electromagnetic Fields © 2019 by Taylor & Francis Group, LLC

Benson VS, Pirie K, Schüz J, et al. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: Prospective study. *International Journal of Epidemiology* 2013; 42(3): 792-802.

Benson VS, Pirie K, Schüz J, et al. Authors' response to: the case of acoustic neuroma: comment on mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. *International Journal of Epidemiology* 2014; 43(1):275. doi: 10.1093/ije/dyt186 Exit Disclaimer.

Cardis E, Richardson L, Deltour I, et al. The INTERPHONE study: design, epidemiological methods, and description of the study population. *European Journal of Epidemiology* 2007; 22(9):647–664.

Deltour I, Auvinen A, Feychting M, et al. Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979–2008: consistency check. *Epidemiology* 2012; 23(2):301–307.

Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiol* 11:624–634; 2000.

Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *International Journal of Oncology* 2011; 38(5):1465–1474.

HPA, RCE-20 Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields: Report of the independent Advisory Group on Non-ionising Radiation, April 2012

Human Exposure to Electromagnetic Fields: From Extremely Low Frequency (ELF) to Radiofrequency, First Edition. Patrick Staebler. © ISTE Ltd 2017. Published by ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc

IARC, International Agency for research on cancer, “Non-Ionizing radiation, part 2: Radiofrequency electromagnetic field”, IARC Monographs, vol. 102, IARC, Lyon, 2013.

ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21, 1991b.

International Agency for Research on Cancer (2002). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 80. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARCpress, Lyon, France.

IARC Open Article Document on Carcinogens:

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Preamble/CurrentPreamble.pdf> Return to text

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, 74(4), 494-522.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (2009). Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. *Health Physics*, 96(4), 504-4. Health effects of EMF – 2015 01 20 250

ICNIRP (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*, 2010, 99(6), 818-36.

ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection) Guidelines for limiting exposure to electromagnetic Fields (100 khz to 300 GHz) 2020

Johansen C, Boice J Jr, McLaughlin J, Olsen J. Cellular telephones and cancer: a nationwide cohort study in Denmark. *Journal of the National Cancer Institute* 2001; 93(3):203–207. [PubMed Abstract]

Kim BC Evaluation of RF electromagnetic field exposure levels from cellular base stations in Korea *Bioelectromagnetics* 31(6), 142-151, 2009

Larjavaara S, Schüz J, Swerdlow A, et al. Location of gliomas in relation to mobile telephone use: a case-case and case-specular analysis. *American Journal of Epidemiology* 2011; 174(1):2–11.

Little at all Mobile phone use and glioma risk: comparison of epidemiological study results with incidence trends in the United States; Little et al.; *BMJ* 2012.

Martinez-Burdalo M. FDTD assessment of human exposure to electromagnetic fields from WiFi and bluetooth devices in some operating situations *Bioelectromagnetics* 30(2), 495-8, 2010

National Cancer Institute (NCI) Fact Sheet. Cell Phones and Cancer Risk, May 2010. <http://www.cancer.gov/newscenter/pressreleases/2010/Interphone2010Results>. Accessed June 14, 2011.

O'Connor R, Steve D. Madison Exposure to GSM RF Fields Does Not Affect Calcium Homeostasis in Human Endothelial Cells, Rat Pheocromocytoma Cells or Rat Hippocampal

Neuron PLoS One. 2010; 5(7): e11828. Published online 2010  
doi:10.1371/journal.pone.0011828

Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958  
1998. *Radiat Res.*168(1):1-64, 2007

Peyman A, Khalid M, Calderon C et al. (2011). Assessment of exposure to electromagnetic  
fields from wireless computer networks (Wi-Fi) in schools; results of laboratory  
measurements. *Health Phys*, 100: 594–612. doi:10.1097/HP.0b013e318200e203

Rongen E.V, Sienkiewicz Z. A Closer Look at the Thresholds of Thermal Damage: Workshop  
Report by an ICNIRP Task Group. *Health Physics*, 01 Sep 2016, 111(3):300-306

SCENIHR. 2015. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks:  
Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF):  
[http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenih\\_r\\_o\\_041.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf)Exit  
Disclaimer, accessed August 15, 2015

Schüz J, Jacobsen R, Olsen JH, et al. Cellular telephone use and cancer risk: update of a  
nationwide Danish cohort. *Journal of the National Cancer Institute* 2006; 98(23):1707–1713.

Sheppard AR, Swicord ML, Balzano Q (2008). Quantitative evaluations of mechanisms of  
radiofrequency interactions with biological molecules and processes. *Health Phys*, 95: 365–  
396. doi:10.1097/01. HP.0000319903.20660.37 PMID:18784511

*Staeble P. Human Exposure to Electromagnetic Fields: From Extremely Low Frequency (ELF)  
to Radiofrequency*, First Edition. Patrick Staebler. © ISTE Ltd 2017. Published by ISTE Ltd and  
John Wiley & Sons, Inc.

The INTERPHONE Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results  
of the INTERPHONE international case-control study. *International Journal of Epidemiology*  
2010; 39(3):675–694.

The INTERPHONE Study Group *Int. J. Epidemiol.* advance online publication  
doi:10.1093/ije/dyq079 (2010).

WHO, World Health Organization, “Electromagnetic Hypersensitivity”, Proceedings  
International Workshop on EMF Hypersensitivity, Prague, Czech Republic, 25-27 October  
2004.

World Health Organization 2006 Environmental Health Criteria 232 STATIC FIELDS

WHO, World Health Organization, “Environmental Health Criteria 238: Extremely low  
frequency fields”, [www.who.int/peh-emf/publications/Comple\\_t\\_DEC\\_2007.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/Comple_t_DEC_2007.pdf), 2007

World Health Organization. Electromagnetic fields and public health: exposure to extremely low frequency fields. Fact Sheet No 322. Geneva: World Health Organization; 2007b.

WHO, Open article: Fact Sheet: Electromagnetic fields and public health: mobile phones June 2011: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/index.html>

WiFi and bluetooth devices in some operating situations *Bioelectromagnetics* 30(2), 495-8, 2010