

ELEKTROMANYETİK DALGALAR VE İNSAN SAĞLIĞI

Prof. Dr. Gülbin Dural

ODTÜ

Elektrik Elektronik Müh. Böl.

gulbin@metu.edu.tr

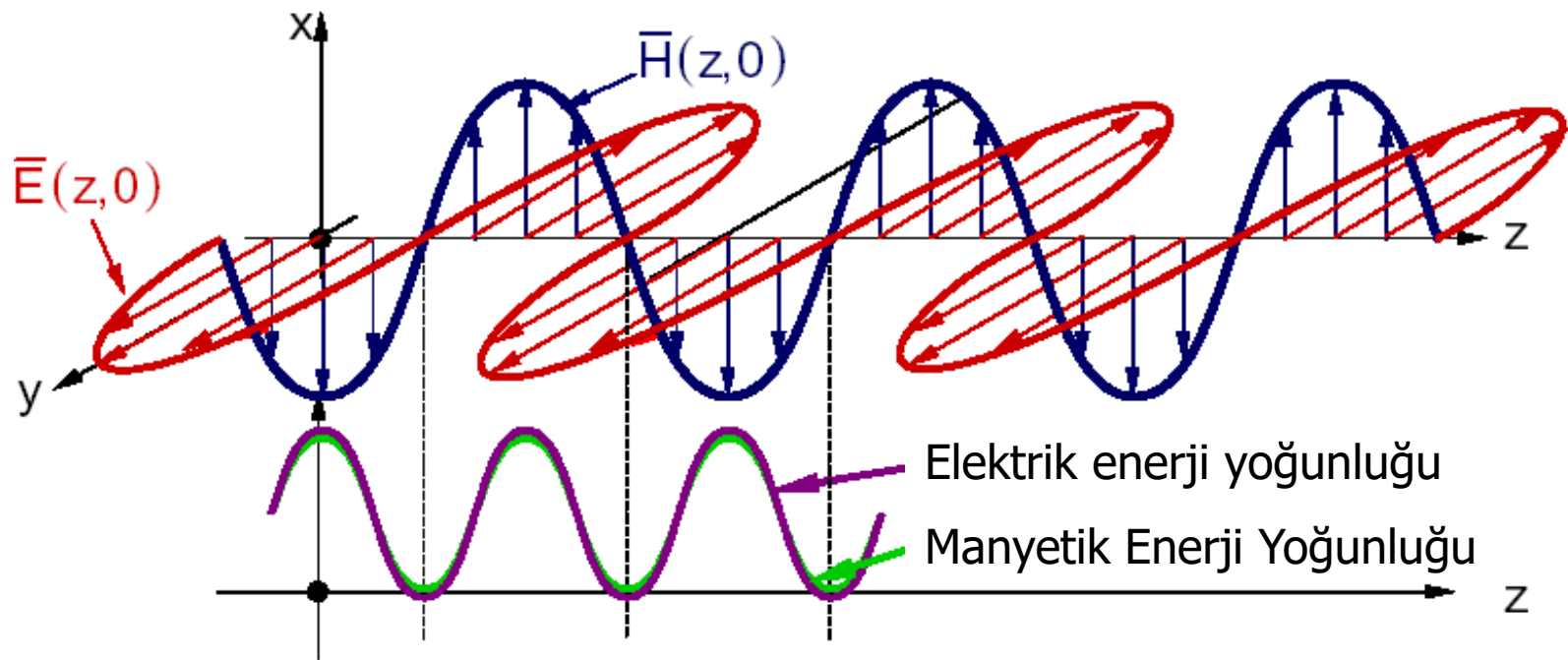


İçerik

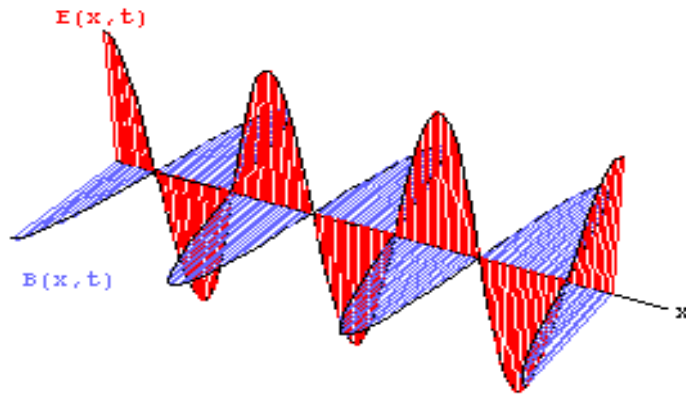
- Giriş
- Standart Çalışmaları
- Elektromanyetik Dalgaların İnsan Sağlığına Etkisi
 - Düşük Frekanslı Elektrik Alanlarla Etkileşim
 - Düşük Frekanslı Manyetik Alanlarla Etkileşim
 - ElektroManyetik Alanlardan Enerji Soğurulması
- 100 KHz ve daha düşük frekanslarda biyolojik etkiler
- 100 KHz -300 GHz Frekans Bölgesinde Biyolojik Etkiler
- Eşik Değerleri
- Mobil İletişim Sistemleri
- Sonuç
- Kaynakça

Elektromanyetik Dalgalar

$$\vec{E}(z,t) = \hat{y}E_+(\omega t - kz) , \quad \vec{H}(z,t) = -\hat{x}(E_+/\eta_0)\cos(\omega t - kz)$$

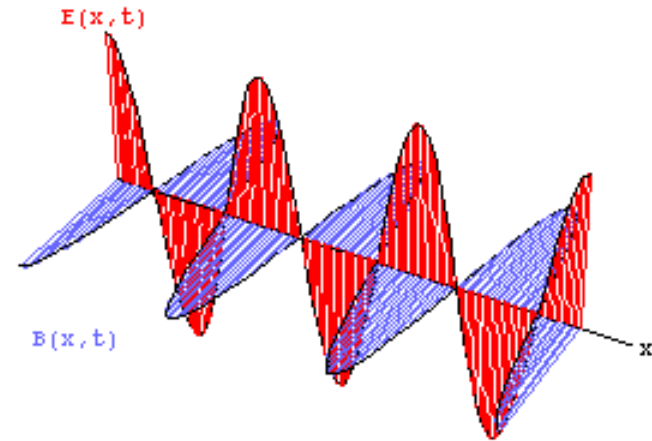


Elektromanyetik Dalgalar/ Polarizasyon

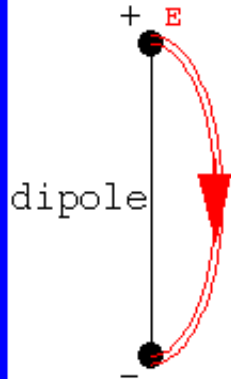


Doğrusal Polarizasyon –
Düzlemsel Dalga

Dairesel polarizasyon-
Düzlemsel Dalga



Radyasyon (Işıma)

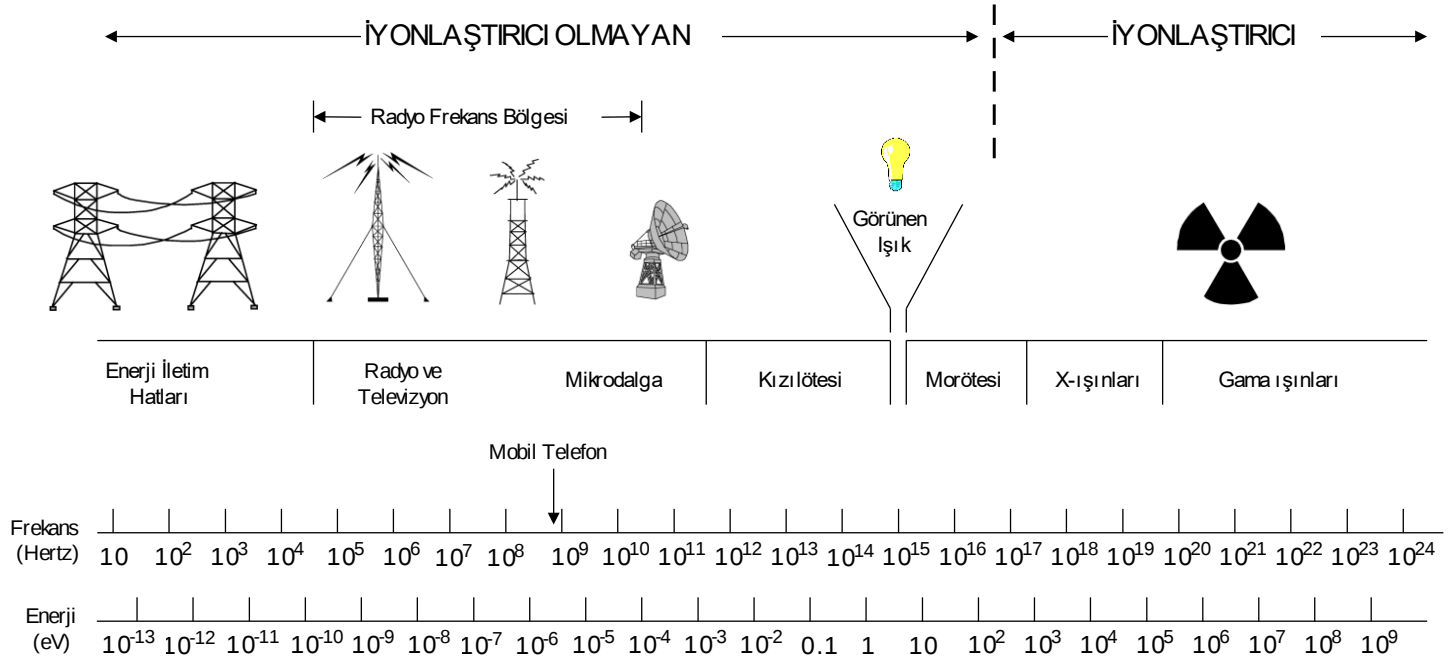




Radyasyon (Işıma)

- İyonlaşma, atomlardan ve moleküllerden elektron koparılmasıdır
- Enerji yüklü fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalar, çarptıkları cisimlerden elektron kopararak iyonlaşmalarına yol açabilirler.
- Yüksek frekanslı ve dolayısıyla yüksek enerjili olan x-ışınları ve gama ışınları **iyonlaştırıcı radyasyonlardır**.
- Daha düşük frekanslı, bir başka deyişle düşük enerjili elektromanyetik dalgalar (RF gibi) ise **iyonlaştırıcı olmayan (nonionizing)** radyasyon olarak adlandırılırlar.

Radyasyon (Işıma)





Günlük Yaşamda EM dalgalar

- Günlük yaşantımızda kullanılan birçok elektrikli, elektronik cihaz elektromanyetik ışıma yapmaktadır.
(cep telefonu, radyo, TV, bilgisayar, saç kurutma makinası, elektrikli süpürge, elektrikli traş makinası, elektrikli battaniye, tıbbi ve endüstriyel cihazlar,....)



Günlük Yaşamda EM dalgalar

Bazı ev aletlerinin neden oldukları elektrik alan şiddetleri.
Çalışma gerilimi = 110 V , çalışma frekansı = 60 Hz, uzaklık = 30 cm
(V. Prasad Kodali, Engineering Electromagnetic Compatibility, IEEE Press, 1996)

Cihaz	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)
Elektrikli battaniye	250
Su ısıtıcısı	130
Müzik seti	90
Buzdolabı	60
Ütü	60
Mikser	50
Ekmek kızartıcısı	40
Saç kurutma makinası	40
Televizyon	30
Kahve makinası	30
Elektrikli süpürge	16



Standart Çalışmaları

- ICNIRP (International Commission on Nonionzing Radiation Protection) - Avrupa Ülkeleri
- FCC (Federal Communication Commission), Amerika Birleşik Devletleri
- IEEE/ANSI , Amerika Birleşik Devletleri
- ETSI (European Telecommunication Standardization Institute), Avrupa Ülkeleri



Standart Çalışmaları

- TÜRKİYE’de:

- TS ENV 501666-2 “İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması – Yüksek Frekanslar (10 kHz- 300 GHz)”- Nisan 1996.
- 11 Mayıs 2000 tarihli Çevre Bakanlığı Genelgesi
- 4 Ağustos 2000 tarihli resmi gazetede yayınlanan “*Mobil Telekomünikasyon Şebekelerine ait Baz İstasyonlarının Kuruluş Yeri, Ölçümleri, İşletilmesi ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik*”-Ulaştırma Bakanlığı.
- 12.7.2001 tarihli resmi gazetede yayınlanan “*10 KHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik*”-Telekomünikasyon Kurumu



Standart Çalışmaları -ICNIRP

Tarihçe:

- 1974 yılında IRPA (International Radiation Protection Association) iyonlaştırıcı olmayan konusunda (NIR) bir çalışma grubu oluşturdu.
- 1977 yılında Paris’de, IRPA kongresinde çalışma grubu uluslararası iyonlaştırıcı olmayan radyasyon komitesine (INIRC) dönüştü.
- INIRC Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile işbirliği yaparak NIR konusunda kriterler oluşturmak üzere bir dizi döküman yayınladı. Bu çalışma Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından da desteklendi.



Standart Çalışmaları -ICNIRP

- 1992 de Montreal de düzenlenen uluslararası IRPA Kongresinde yeni bir bağımsız organizasyon –**ICNIRP** (International **C**omission on **N**on-**I**onizing **R**adiation **P**rotection), kuruldu.
- Komisyonun amacı:
 - Değişik formlardaki iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun etki ve olası zararlarını incelemek ve bu konuda limit değerleri belirlemek,
 - korunmaya yönelik çalışmalar yapmak,
 - dökümanlar oluşturmak.



Elektromanyetik Dalgaların İnsan Sağlığına Etkisi

- Doğrudan etkiler: Vücudun ya da bölgelerinin elektromanyetik alanlara direk maruz kalması sonucunda oluşur.
- Dolaylı etkiler: Vücutla farklı elektrik potansiyel seviyesindeki nesnelerle etkileşim.



Elektromanyetik Dalgaların İnsan Sağlığına Etkisi

SAR: **S**pecific (energy) **A**bsorbtion **R**ate

- Elektromanyetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğurulma hızıdır.
- Birimi W/kg'dır. SAR değerinin doğrudan ölçülmesi hemen hemen olanaksızdır. Bundan dolayı, sınır değerlerin belirlenmesinde kolay ölçülebilen ve/veya gözlemlenebilen parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler, elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur.



Elektromanyetik Dalgaların İnsan Sağlığına Etkisi

- Elektromanyetik alanların canlılarla etkileşimi üç temel mekanizma ile açıklanır (UNEP/WHO/IRPA 1993).
 - Düşük frekanslı elektrik alanların etkileşimi.
 - Düşük frekanslı manyetik alanların etkileşimi.
 - Elektromanyetik alanlardan enerji soğurulması.



Düşük Frekanslı Elektrik Alanları ile Etkileşim

- Elektrik alanları ile etkileşim sonucunda
 - Elektrik akımları oluşur,
 - Sabit yükler polarize olur (elektrik dipoller oluşur),
 - Mevcut elektrik dipollerin yönelimi değişir.
- Bu etkilerin şiddeti etkilenen bölgenin elektriksel özelliklerine (iletkenlik, σ , ve dielektrik katsayısı, ε) bağlıdır.

Düşük Frekanslı Elektrik Alanları ile Etkileşim



- İletkenlik ve dielektrik katsayısı doku tipine ve uygulanan frekansa göre değişir.
- Dışarıdan uygulanan elektrik alanlar yüzey akımları oluşmasına neden olur. Bunların dağılım ve şiddeti uygulanan bölgeye ve elektrik alanın yön ve şiddetine bağlıdır.



Düşük Frekanslı Manyetik Alanlar ile Etkileşim

- Manyetik alanlarla etkileşim sonucunda
 - Elektrik alanlar indüklenir,
 - Akım döngüleri (circulating currents) oluşur.
- İndüklenen alanlar ve akımların şiddeti, dokunun iletkenliği, frekans ve manyetik alan şiddetine bağlıdır.



Elektromanyetik Alanlardan Enerji Soğurulması.

- Düşük frekanslı elektromanyetik alanlarla etkileşim sonucunda soğurulan enerji miktarı ve bunun sonucunda vücut ısısındaki artış genellikle ihmal edilebilir düzeylerde dir.
- 100 KHz ve üzerindeki düzeylerde soğurulan enerji ve vücut ısısındaki artış önem kazanır.
- Uygulanan alan eşit dağılımlı olsa bile vücuttaki enerji dağılımı eşit olmayabilir.



Elektromanyetik Alanlardan Enerji Soğurulması.

- $100 \text{ KHz} < f < 20 \text{ MHz}$: frekans azaldıkça gövdenin enerji soğurması azalır. Boyun ve bacaklarda önemli miktarda enerji soğurulur.
- $20 \text{ MHz} < f < 300 \text{ MHz}$: Tüm vücutta daha fazla enerji soğurulur, özellikle baş bölgesinde daha fazla enerji soğurulur.
- $300 \text{ MHz} < f < 10 \text{ GHz}$ lokal ve eşit dağılımlı olmayan enerji soğurulur.
- $f > 10 \text{ GHz}$, enerji daha çok yüzeyde soğurulur.



Elektromanyetik Alanlardan Enerji Soğurulması.

- Dokulardaki **SAR** değeri uygulanan elektrik alan şiddetinin karesi ile orantılıdır.
- SAR değerleri,
 - Uygulanan alan parametrelerinden (şiddeti, frekansı, polarizasyonu, kaynağa göre konumlanma (uzak alan-yakın alan)),
 - Etki altındaki dokuların biçim ve yapısından,
 - Ortamın topraklanma durumu ve yansıtıcılığından etkilenir.



100 KHz ve Daha Düşük Frekanslarda Biyolojik Etkiler

- Hayvanlar üzerinde yapılan laboratuvar çalışmalarında 10mA/m^2 ve daha düşük (indüklenmiş) akım yoğunluklarının belirgin bir olumsuz etkisi olmadığını göstermiştir.
- Akım yoğunluğu $10\text{-}100\text{mA/m}^2$ arasındayken dokularda, özellikle sinir sisteminde bazı etkilenmeler gözlenmiştir.
- ELF frekanslarında, birkaç istisna dışında, tümör oluşumu konusunda kanıtlanmış etki gözlenmemiştir.



100 KHz ve Daha Düşük Frekanslarda Biyolojik Etkiler

- Yüksek gerilim hatları civarında oluşan ELF alanların çocuklarda lösemi oluşumu riskini arttırdığı konusunda gözlemler olmakla birlikte, son yıllarda yapılan çalışmalarda bu konu da sorgulanmaktadır.



100 KHz -300 GHz Frekans Bölgesinde Biyolojik Etkiler

- Deneysel sonuçlar yaklaşık 30 dakika tüm vücutta **4 W/kg** dan daha az SAR değeri oluşturacak elektromanyetik alana maruz kalındığı zaman vücut ısısındaki artışın **1 °C den az** olduğunu göstermiştir.
- Daha yoğun elektromanyetik alanlar dokulara zarar verecek ısınmalara neden olabilirler.
- Isı etkisi dokulara göre farklılık göstermekle birlikte **4 W/kg** değeri en hassas dokular için bile bir eşik değeri olarak kabul edilebilir.
- Bu değer güvenli eşik değerlerinin belirlenmesinde baz olarak alınmıştır.



100 KHz -300 GHz Frekans Bölgesinde Biyolojik Etkiler

- Çevre koşulları, stres, uyuşturucu ya da alkol kullanımı gibi faktörler vücudun ısı kontrol (thermoregularization) mekanizmalarını etkileyebilir.
- Eşik değerleri belirlenirken tüm koşulları kasayabilmek için güvenlik faktörleri eklenmelidir.



Eşik Değerleri

- İşi gereği EM ışıma maruz kalanlar:
 - Genellikle maruz kalınan EM ışımadan haberdar yetişkinler olup gerekli önlemleri almış oldukları varsayılır.
- Genel yaşam alanlarında EM ışıma maruz kalanlar:
 - Değişik yaş ve konumda sağlıklı ya da sağlık problemi olan kişiler olabilir. Genellikle EM ışıma maruz kaldıklarından haberdar değildirler ve/veya ya da özel önlemleri yoktur. Bu durumda en hassas kişileri de kapsayabilmek için daha fazla güvenlik önlemi (**daha hassas limit değerleri**) gereklidir.



Eşik Değerleri

- Frekansa bağlı olarak eşik değerleri akım yoğunluğu, SAR ve güç yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmiştir.
- Sağlık açısından **bu değerler aşılmamalıdır.**



Eşik Değerleri

- 1Hz-10 MHz : eşik değerleri akım yoğunluğu cinsinden belirlenmiştir. Bu aralıkta siniri sistemi üzerindeki olası etkilerden korunma hedeflenmiştir.
- 100 KHz-10 GHz: eşik değerleri akım yoğunluğu ve SAR cinsinden belirlenmiştir. Dokularda aşırı ısınmayı engellemeyi amaçlamaktadır.
- 10 GHz-300 GHz: Eşik değerleri güç yoğunluğu cinsinden verilmiştir. Dokularda ve vücut yüzeyinde aşırı ısınmayı engellemeyi amaçlamaktadır.



Eşik Değerleri

- 4 Hz < f < 1 kHz:
 - Akım yoğunluğu **100 mA/m²** den yüksek olduğu zaman merkezi sinir sistemi üzerinde olumsuz etkiler yapabilir.
 - Mesleği gereği EM alanlara maruz kalanlar için **güvenlik faktörü 10** olarak seçilmiş ve **limit değeri 10 mA/m²** olarak belirlenmiştir.
 - Genel yaşam alanları için 5 kat ek güvenlik faktörü ile (**güvenlik faktörü: 50**) **limit değeri 2 mA/m²** olarak belirlenmiştir.
 - 4Hz in altında ve 1 KHz in üzerinde frekansa bağlı değişiklik gösterir.



Eşik Değerleri

- $10 \text{ MHz} < f < 10 \text{ GHz}$
 - $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vücut ısı artışı temel alınmıştır. 30 dakika boyunca 4 W/kg SAR değeri bu artışa neden olur.
 - Mesleği gereği EM alanlara maruz kalanlar için **güvenlik faktörü 10** olarak seçilmiş ve **limit değeri 0.4 W/kg** olarak belirlenmiştir.
 - Genel yaşam alanları için 5 kat ek güvenlik faktörü ile (**güvenlik faktörü: 50**) **limit değeri 0.08 W/kg** olarak belirlenmiştir



Eşik Değerleri

- Eşik değerlerinin ölçülebilirlik açısından Elektrik/Manyetik alan cinsinden eşdeğerleri daha yaygın olarak kullanılır.
- 10 MHz ve üzerinde Elektrik Alan/Manyetik alan hesaplarında uzak alan ilişkisi ($E/H=377\Omega$, hava/boşluk ortamı) kullanılır.
- Benzer şekilde $S=E^2/377$ ya da $377H^2$ ilişkisi güç hesaplarında kullanılır.
- Uzak alan varsayımının geçerli olmadığı zamanlarda güç ya da SAR hesaplarında E ve H değerleri ayrı ayrı hesaba katılmalıdır.

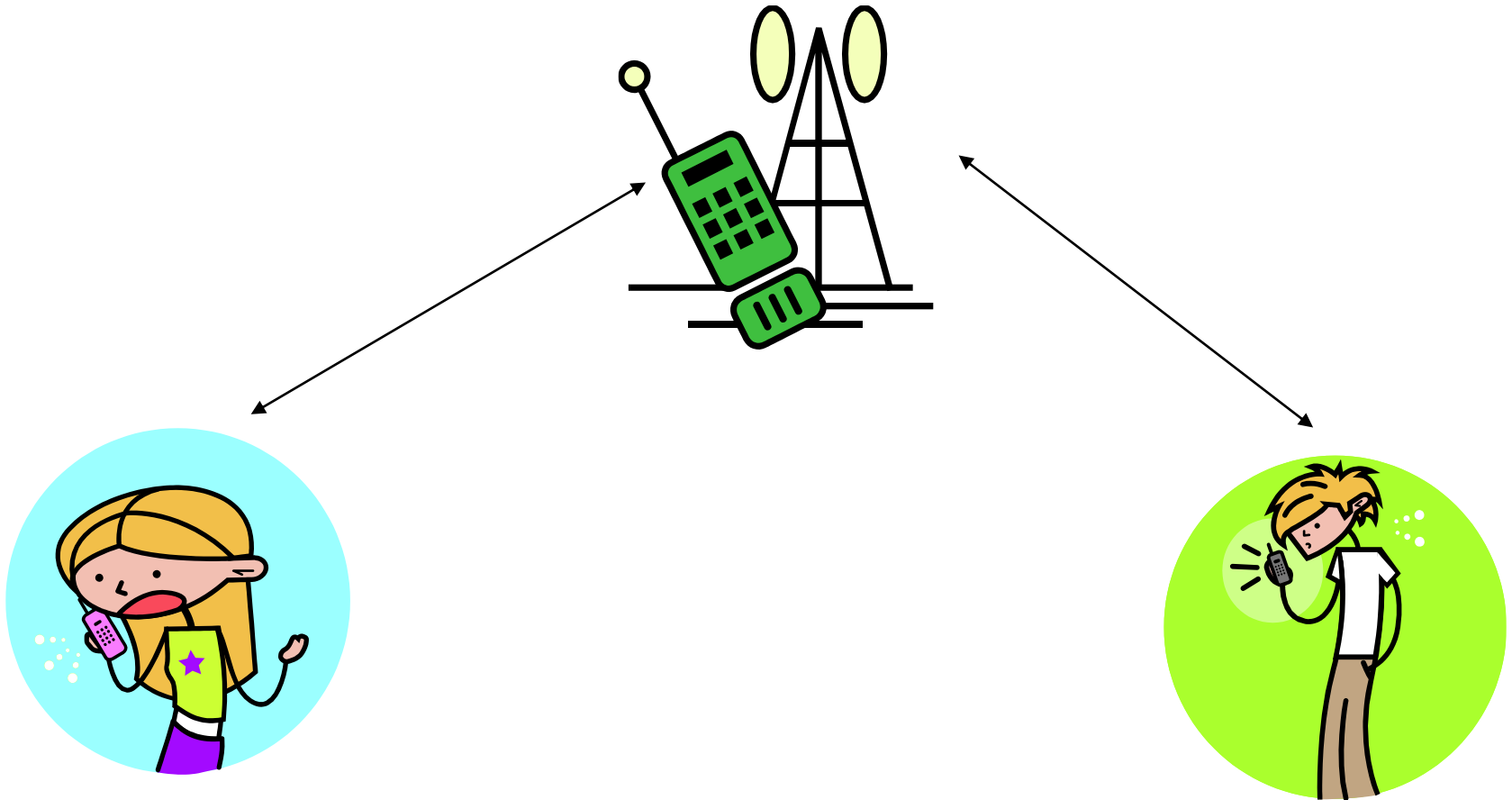
Eşik Değerleri (ICNIRP)– Mesleği gereği maruz kalanlar

Frekans (f)	Elektrik Alan (E) (V/m)	Manyetik Alan (H) (A/m)	Güç Yoğunluğu (S) (mW/cm ²)
<1 Hz	—	163×10^3	—
1 - 8 Hz	20	$163 \times 10^3/f^2$	—
8 - 25 Hz	20	$2.0 \times 10^4/f$	—
0.025 - 0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	—
0.82 - 65 kHz	610	24.Nis	100; 22,445
0.065 - 1 MHz	610	$1.6/f$	100; $100/f^2$
1-10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$100/f^2$
10 - 400 MHz	61	0.16	1.0
400 - 2,000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/400$
2 - 300 GHz	137	0.36	5.0

Eşik Değerleri (ICNIRP) – Genel Yaşam Alanları

Frekans (f)	Elektrik Alan (E) (V/m)	Manyetik Alan (H) (A/m)	Güç Yoğunluğu (S) (mW/cm ²)
<1 Hz	—	3.2×10^4	—
1 - 8 Hz	10	$3.2 \times 10^4 / f^2$	—
8 - 25 Hz	10	$4000 / f$	—
0.025 - 0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	—
0.8 - 3 kHz	$250 / f$	5	—
3 -150 kHz	87	5	2.0; 995
0.15 - 1 MHz	87	$0.73 / f$	$2.0; 20 / f^2$
01.Eki	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$2.0 / f; 20 / f^2$
10 - 400 MHz	28	0.073	0.2
400 - 2,000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$f / 2000$
2 - 300 GHz	61	0.16	1.0

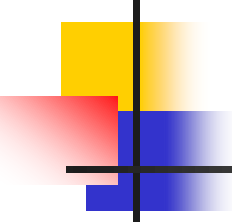
Mobil İletişim Sistemleri





Mobil İletişim Sistemleri

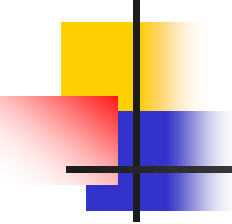
- Türkiye’de kullanılan mobil haberleşme sistemleri:
 - GSM 900 (900 MHz)
 - DCS 1800 (1800 MHz)



Mobil İletişim Sistemleri

- 900 MHz için Sınır Değerleri (genel yaşam alanları)

	ICNIRP (6 dk ortalama)	IEEE/FCC (30 dk ortalama)
Elektrik Alan Şiddeti	41,25 V/m	-
Manyetik Alan Şiddeti	0,111 A/m	-
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m ²	6 W/m ²



Mobil İletişim Sistemleri

- 1800 MHz için Sınır Değerleri (genel yaşam alanları)

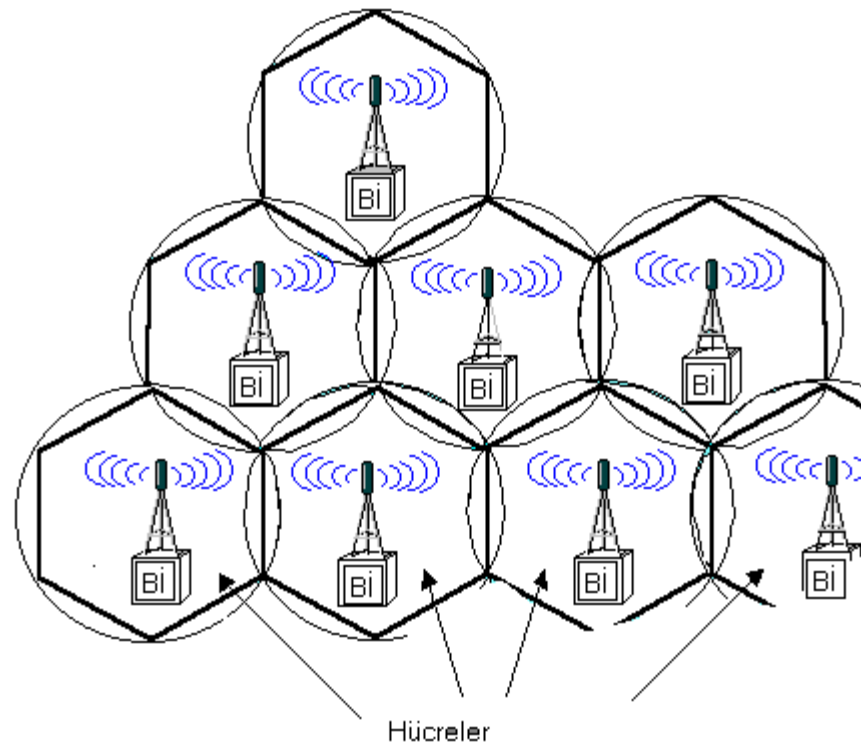
	ICNIRP (6 dk ortalama)	IEEE/FCC (30 dk ortalama)
Elektrik Alan Şiddeti	58,33	-
Manyetik Alan Şiddeti	0,157A/m	-
Güç Yoğunluğu	9 W/m ²	10 W/m ²

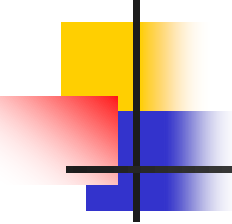
Mobil İletişim Sistemleri

■ Türkiye'deki sınır değerleri

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	Tek bir cihaz için sınır Değer	Ortamin toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değeri	Ortamin toplam sınır değeri
Elektrik Alan Şiddeti	10,23 V/m	41,25 V/m	14,47 V/m	58,34 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0,027 A/m	0,111 A/m	0,038 A/m	0,157 A/m
Güç Yoğunluğu	0.28 W/m ²	4,5 W/m ²	0.56 W/m ²	9,0 W/m ²

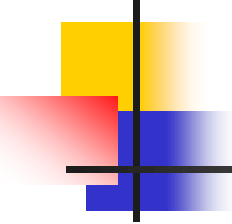
Mobil İletişim Sistemleri





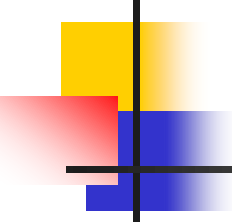
Mobil İletişim Sistemleri

- Hücresel Haberleşme Sistemi:
 - Her hücrenin merkezinde bir baz istasyonu bulunur.
 - Hücresel yapı sayesinde aynı anda daha çok kullanıcının haberleşmesi mümkün olabilmektedir.
 - GSM hücrelerinin planlanması yerleşim bölgelerinin özelliklerine göre yapılır. Hücre planlamasını hücrenin şehir içinde ya da şehir dışında olması ve kapsanacak bölgedeki GSM abone sayısı belirler.



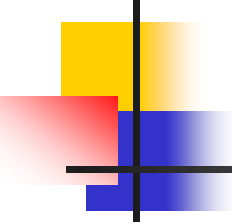
Mobil İletişim Sistemleri

- GSM hücresel sisteminde kapsama alanına göre üç tip hücre vardır: makro hücre, mikro hücre, piko hücre.
- Türkiye’de de kullanılan GSM900 sistemi için makro hücreler, yerleşimin seyrek olduğu bölgelerde 25-35 km yarıçapında bir alana hizmet verebilirler. Ancak bina, ağaç ve tepe gibi engellerin çok olduğu yerleşim yerlerinde oluşturulan makro hücrelerin yarıçapları daha küçük olur.
- Makro hücrelerde GSM900 baz istasyonu antenlerinin çıkış güçleri 40-60 Watt olabilir.



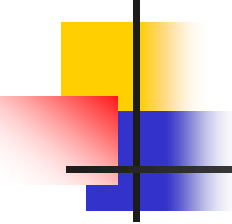
Mobil İletişim Sistemleri

- Mikro hücreler, genellikle yerleşimin yoğun olduğu ve makro hücresel kapsamayı geliştirici ve tamamlayıcı olarak kurulan sistemlerdir.
- Mikro hücreler havaalanı, büyük alışveriş merkezleri gibi yerlerde kurulur. Birkaç yüz metrelik yarıçapı olan alanları kapsar ve çıkış güçleri makro hücrelere göre düşüktür (GSM900 için 5-10 Watt civarında).
- Piko hücreler ise daha çok bina içi haberleşmelerde kullanılır ve birkaç watt çıkış gücündedir



Mobil İletişim Sistemleri

- Baz istasyonları, hücreli haberleşme sistemlerinde merkezi istasyon olarak görev yaparlar.
- Baz istasyonları olmadan mobil telefonlar **iletişim sağlayamazlar.**
- Mobil telefonlar, diğer mobil telefonlarla ve sabit ağ telefonlarıyla baz istasyonlar üzerinden görüşme yapabilirler.
- Bir baz istasyonunun aynı anda hizmet verebileceği görüşme sayısı sınırlıdır.
- Bu sayı, baz istasyonuna tahsis edilen taşıyıcı frekans sayısı ile doğru orantılıdır.

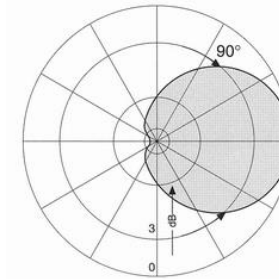


Mobil İletişim Sistemleri

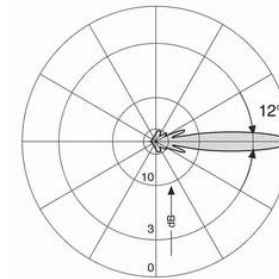
- Kullanıcı sayısının yüksek olduğu yerlerde daha küçük hücreler oluşturularak şebekenin kapasitesi arttırılır.
- Bu amaçla kapsama alanı daha dar olan fakat daha sık aralıklarla baz istasyonları kurulur.
- Şehir dışına tek bir kule kurarak hücresel yapı oluşturulamaz. GSM sistemlerinde mobil telefonlar ve baz istasyonu arasında karşılıklı iletişim olması gerekir.

Mobil İletişim Sistemleri

- Baz istasyonlarında yönlü antenler kullanılmaktadır.
- Bunlar genellikle enerjiyi karşılarında bulunan dar bir alana gönderecek biçimde tasarlanmışlardır



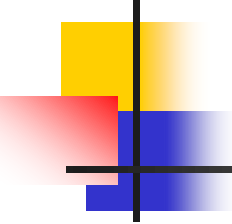
Yatay Işıma Örüntüsü
(Kuşbakışı Görünüm)



Dikey Işıma Örüntüsü
(Yandan Görünüm)

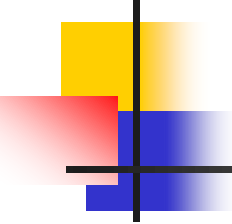


Baz İstasyonu Anteni



Mobil İletişim Sistemleri

- Uzayda antenler tarafından uzaya yayılan elektromanyetik dalgaların güç yoğunlukları antenden uzaklaştıkça uzaklığın karesiyle, elektrik alan şiddeti ise uzaklık ile ters orantılı olarak azalır.
- Tepe, ağaç ve bina gibi oluşumlar sinyal seviyelerinin daha hızlı düşmesine yol açarlar. Ayrıca, binalardan yansiyarak gelen sinyallerin yarattığı farklı etkiler de bulunur.



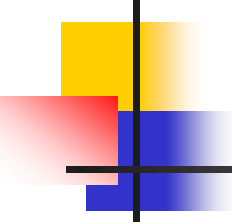
Mobil İletişim Sistemleri

- Mobil telefon, arama sırasında en yüksek çıkış gücü ile baz istasyonuna ulaşmaya çalışır. Baz istasyonu ile bağlantı kurulduktan sonra çıkış gücü haberleşme sağlanabilecek en ekonomik seviyeye düşer.
- Mobil telefon ile baz istasyonu arasındaki uzaklık arttıkça daha yüksek çıkış güçlerinde haberleşme yapılması gerekir. Mobil telefonlar için 900 MHz'de en yüksek çıkış gücü 2 W, 1800 MHz'de 1 W'dır.
- Cep telefonu baz istasyonuna yakın olduğu zaman **daha düşük** güçle çalışır.

Mobil İletişim Sistemleri

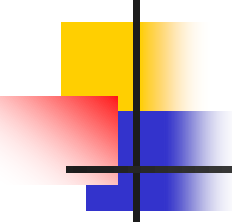
- Mobil telefon yakın mesafeden, fazla zayıflamaya uğramadan baş bölgesi ile etkileşimde.
- Numerik modelleme yöntemleri ile baş bölgesinde ışıma yapan EM alanlar ve olası etkileri üzerinde araştırma sürmekte.





Sonuçlar

- Teknolojideki gelişmelerin sonucunda EM dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve doğada bulunanın çok üstünde EM dalgalara maruz kalınmaktadır.
- EM ısımanın canlıların üzerindeki olası olumsuz etkileri üzerinde birçok araştırma yapılmış ve halen de yapılmaktadır.
- Uluslararası saygın sağlık kuruluşları güvenlik amaçlı sınır değerleri belirlemişlerdir.
- İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun, sınır değerlerinin altında kalmak koşuluyla, insan sağlığı üzerinde belirgin olumsuz etkilerinin olduğu bilimsel olarak gösterilememiştir.



Kaynakça

- ICNIRP Guidelines, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), April 1998.
- IEEE Standart for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.
- Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields, FCC Office of Engineering & Technology, OET Bulletin 56, Fourth Edition, August 1999
- İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması-Yüksek Frekanslar (10 KHz-300 GHz), Türk Standartları Enstitüsü, TS ENV 50166-2, Nisan 1996
- John E. Moulder, Cellular Phone Antennas (Base Stations) and Human Health, Version 2.6.2, <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>, September 2000
- Mobile Phones and Health, Independent Expert Group on Mobile Phones, Chairman Sir William Stewart, İngiltere.
- Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı, TÜBİTAK yayınları