

**T.C.**  
**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**  
**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GSM İLETİŞİMİNDE**  
**RF RADYASYON ETKİLERİ**

**Erkan CEVİZLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**Doç. Dr. Engin BAŞARAN**

**GEBZE**  
**2009**

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JÜRİ ONAY FORMU

JÜRİ

ÜYE ( BAŞKAN) :

ÜYE :

ÜYE :

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı ile yukarıdaki öğretim elemanlarından oluşmuş jüri tarafından düzenlenen ...../...../..... tarihli Tez Savunma Tutanağı neticesinde Yüksek Lisans öğrencisi ...ERKAN CEVİZLİ 'nin çalışması GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Yönetim Kurulu ...../...../..... tarih ve ..../..../..... sayılı kararıyla FİZİK Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak onaylanmıştır.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

**TEZ KONUSU:** GSM İletişiminde RF Radyasyon Etkileri

**TEZ YAZARI:** Erkan CEVİZLİ

Bu çalışmada GSM Sisteminin tanımı yapılmış ve GSM sisteminin genel özellikleri anlatılarak sistemde bulunan cihazlarla ilgili bilgiler verilmiştir. Daha sonra RF radyasyonun etkilerine yönelik olarak RF dalgalarının özellikleri ve GSM de kullanılan farklı frekanslar incelenerek bunların özellikleri verilmeye çalışılmıştır. Radyasyon hakkında bilgi verilerek RF radyasyonun etkileri açıklanarak canlı tarafından soğurulan RF enerji hakkında bilgi verilmiştir. Soğurulan enerji için kullanılan ölçüm yöntemleri belirtilerek SAR açıklanmıştır. SAR değerinin ölçüm zorluğundan dolayı daha kolay ölçülebilen parametreler olan Elektrik Alan Şiddeti ve Güç Yoğunluğu hakkında bilgi verilerek bunların hesaplanma yöntemleri belirtilmiştir. Baz istasyonlarının ve cep telefonlarının etkilerinin bu değerler bakımından incelemesi yapılarak, örnek bir çalışma mahiyetinde 900 MHz üzerinden yayın yapan bir baz aktarım istasyonunun belli bir mesafede bulunan yaşam alanına etkisinin güç yoğunluğu ve elektrik alan cinsinden hesaplanması yapılmış Telekomünikasyon Kurumu'nun belirlemiş olduğu sınır değerleri göz önünde bulundurularak bulunan değerler ile sınır değerlerin karşılaştırması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ortaya çıkan değerlerin INCRP ve ANSI tarafından belirlenen sınır değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir.

Son bölümde RF radyasyonun biyolojik yapı üzerindeki etkileri incelenerek vücudun değişik bölgeleri için soğurulan RF enerji dolayısı ile ortaya çıkan zararlar ve etkileri belirtilmiştir. Şu ana kadar yapılan araştırma ve çalışmalar arasında kesin olarak RF radyasyondan kaynaklanan bir biyolojik rahatsızlık tespit edilemediği ilgili kaynaklar referans gösterilerek belirtilmiştir.

## SUMMARY

**THESIS TITLE:** Effects of RF Radiation in GSM Communication

**THESIS AUTHOR:** Erkan CEVİZLİ

In this thesis, Global System for Mobile Communications (GSM) was defined. General properties and components of the system were explained. Properties of the Radio Frequency (RF) waves, used for GSM which are 900 MHz, 1800 MHz and 1900 MHz, were given to understand the RF radiation effects. These effects were stated with the knowledge of radiation and the RF energy absorbed by live tissues. Specific absorption rate (SAR) was declared along with the measurement methods. Due to the difficulties of the measurement methods for SAR values, some measurable parameters such as maximum absorption power and electrical field intensity were explained and, measurement methods of these parameters were identified. In order to interpret the effects of the base stations, an example calculation was performed for a base station propagating at 900 MHz with different output powers. Then a comparison was carried out between the calculations and the standard limits defined by Information and Communication Technologies Authority of Turkey. It was observed that comparison was provided lower values from standard limits defined by the INCRP and ANSI.

Finally, effects the RF radiation on biological body were investigated for different parts of biological bodies for any damage. These investigations performed so far showed that no certain hazardous effects were clearly identified based on the referenced documents.

## TEŞEKKÜR

GSM haberleşme sisteminden kaynaklanan RF radyasyonun etkilerinin araştırılması konusunda başlamış olduğum çalışmalarında ve araştırma sürecinde beni yönlendiren sayın hocam Doç. Dr. Engin BAŞARAN 'a, konu seçimimde düşüncelerini benimle paylaşan sayın hocam Doç. Dr. A. Arif ERGİN 'e sonsuz teşekkür ederim.

GSM haberleşme sistemi ve etkileri konusunda fikir danıştığım iş arkadaşlarıma ve yöneticilerime de ayrıca teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Ebru Cevizli 'ye, abim Erdal Cevizli 'ye ve diğer tüm aile fertlerine de teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
GİRİŞ	1
1. GSM Sistemi	2
1.1 GSM Sisteminin Tanımı	2
1.2 GSM Sisteminin Mobil Haberleşme Sistemleri Arasındaki Yeri	3
1.3 GSM Sisteminin Yapısı	4
1.3.1 Mobil İstasyon ve SIM	4
1.3.2 Baz İstasyonu Sistemleri (BSC)	6
1.3.2.1 Baz Aktarım İstasyonu (BTS)	6
1.3.2.2 Baz İstasyonları Merkezi (BSC)	8
1.3.2.3 Kodlama Ünitesi (TCU)	8
1.3.3 Şebeke Anahtarlama Sistemleri (NSS)	8
1.3.3.1 Mobil Anahtarlama Merkezi (MSC)	8
1.3.3.2 Kalıcı Konum Kaydı (HLR)	9
1.3.3.3 Ziyaretçi Konum Kaydı (VLR)	9
1.3.3.4 Cihaz Kimlik Kaydı (EIR)	9
1.3.3.5 Kimlik Denetim Merkezi (AuC)	9
1.4 GSM Sisteminde Hücresel Yapı	10
1.4.1 Makro Hücre	12
1.4.2 Mikro Hücre	12
1.4.3 Piko Hücre	13
1.5 GSM Sisteminde Frekans Ayırma Tipleri	13
1.5.1 FDMA	13
1.5.2 TDMA	14

1.5.3 CDMA	14
2. GSM Sisteminde RF	16
2.1 GSM Sisteminde Radyo Frekans Aralıkları	16
2.2 GSM de Frekans Tekrar Kullanımı	19
2.3 GSM de Cep Telefonları ve Baz İstasyonları Gücü	21
2.4 Güç Kontrol Mekanizması	21
2.5 Güç Yoğunluğu	26
2.6 Güvenlik Mesafe Hesabı	28
3. GSM Sisteminde RF Radyasyon ve SAR Değeri	30
3.1 Radyasyon ve Türleri	30
3.1.1 İyonlaştırıcı Radyasyon	30
3.1.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	32
3.2 GSM Sisteminde RF Radyasyonun Etkisi	33
3.2.1 Termal Etkiler	33
3.2.2 Termal Olmayan Etkiler	33
3.3 GSM Sisteminde RF Alanlarında Güç Soğurma	34
3.4 Özgül Soğrulma Oranı (SAR)	35
3.5 GSM Sisteminde Uluslararası Standartlar ve Sınır Değerler	40
3.6 Baz İstasyonları ve Cep Telefonlarının Etkileri Üzerine İncelemeler	44
3.7 Baz İstasyonlarından Kaynaklanan Etkilerin İncelenebilmesi için Elektrik Alan, Güç Yoğunluğu ve Güvenlik Mesafesi Değerleri'nin 10,20 ve 40 Watt Anten Çıkış Güçleri İçin Hesaplanması	50
4. RF Radyasyonun Biyolojik Yapı Üzerindeki Etkileri	53
4.1 Kardiyovasküler Sistem Üzerindeki Etkiler	53
4.2 Beyin Dalgalarının Faaliyetlerine Etkiler	54
4.3 Hormonal ve Sinirsel Faaliyetler Üzerindeki Etkiler	55
4.3.1 Hormonal Faaliyetler Üzerindeki Etkiler	55
4.3.2 Sinir Sistemi Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler	55
4.4 Görme Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler	56
4.5 Kan Hücreleri ve Bağışıklık Sistemi Üzerindeki Etkiler	57
4.6 Üreme Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler	58
4.7 Kalıtım Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler	58
4.8 Diğer Biyolojik Faaliyetler Üzerindeki Etkiler	59

4.8.1 Davranış ve Bilinç Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler	59
4.8.2 Yüksek Elektromanyetik Duyarlılık	59
4.8.3 Baş Ağrısı Etkisi	60
4.9 İnsanlar Üzerindeki Etkiler ile İlgili Yapılan Araştırmalar	61
SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ANSI	: Amerika Ulusal Standartlar Enstitüsü
AUC	: Doğrulama Merkezi
BEM	: Biyo-Elektromanyetik
BSC	: Baz İstasyonu Kontrolörü
BSS	: Baz İstasyon Alt Sistemi
BTS	: Baz Aktarım İstasyonu
CDMA	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim
EIR	: Cihaz Kimlik Kaydı
GSM	: Küresel Mobil Telefon Sistemi
HLR	: Kalıcı Konum Kaydı
IMEI	: Uluslararası Mobil İstasyon Kimlik Numarası
IMSI	: Uluslararası Mobil Abone Kimliği
ISDN	: Tümlleşik Servisler Sayısal Şebekesi
LAI	: Yerel Alan Kimliği
MHz	: Frekans birimi
MS	: Mobil İstasyon
MSC	: Mobil Anahtarlama Merkezi
NSS	: Şebeke Anahtarlama Sistemleri
PLMN	: Kamu Alanı Mobil Şebekesi
RF	: Radyo Frekans
SAR	: Özgül Soğrulma Oranı
SIM	: Abone Kimlik Modülü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TCU	: Kodlama Ünitesi
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
VLR	: Ziyaretçi Konum Kaydı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
1.1	Dünya çapında hücresel abone dağılımı	2
1.2	Mobil telefon sistemlerinin nesilleri	3
1.3	GSM sisteminin genel yapısı	4
1.4	Sektörel anten görüntüsü	6
1.5	GSM baz aktarım istasyonlarında kullanılan tipik antenlerin ışıma örüntüsü	7
1.6	PLMN alanı	10
1.7	Hücresel yapı	11
1.8	Hücresel yapıda frekans tekrar kullanımı	11
1.9	Makro, mikro ve piko hücreler	12
1.10	FDMA Frekans&Zaman	13
1.11	TDMA Frekans&Zaman	14
1.12	CDMA Frekans&Zaman	15
2.1	GSM 900 Sistemi için frekans analizi	16
2.2	DCS 1800 Sistemi için frekans analizi	17
2.3	PCS 1900 Sistemi için frekans analizi	18
2.4	GSM Sisteminde Yukarı link ve Aşağı link	18
2.5	GSM Sisteminde Frekans Tekrarlama	20
2.6	GSM Sisteminde Güç Kontrol Mekanizması	22
2.7	GSM Sisteminde Güç Mesafe İlişkisi	23
2.8	Sinyal Seviyesi ve Yol Kaybı	24
2.9	Saha Testi Güç Durumu	24
2.10	Cep telefonu için konuşma başlangıcında ve süresince güç seviye değişikliği	25
2.11	Otoban üzerinde hareket halinde iken hücreler arası geçiş sırasındaki gücün değişimi	26
3.1	Elektromanyetik spektrum	31
3.2	Dokularda yutulan radyasyon modellenmesi: Robotlar üzerinde SAR değerinin ölçülmesi ve Bilgisayar yardımıyla SAR simülasyonu	38
3.3	SAR simülasyon sonuçları	38
3.4	SAR için elektrik alan şiddeti olarak türetilmiş değerler	39

<b>3.5</b>	Tipik baz aktarım istasyonu tesisleri ve EM enerji yayılımı	45
<b>3.6</b>	Sektörel antenlerde güç yoğunluğu değerinin mesafeye göre değişimi	46
<b>3.7</b>	Baz aktarım istasyonu ve etki noktası	50
<b>4.1</b>	İnsanlar üzerinde yapılan çalışmaların özeti	61

## TABLolar DİZİNİ

<b><u>Tablo</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
<b>2.1</b>	GSM Sisteminde Mobil Cihazların Güç Sınıfları	20
<b>3.1</b>	Kontrolsüz etkilenme için sınır değerler	42
<b>3.2</b>	Türkiye de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler	43
<b>3.3</b>	Kontrollü etkilenme için sınır değerler	44
<b>3.4</b>	GSM Şebekeleri için önerilen limit değerler	44
<b>3.5</b>	Bazı marka ve model cep telefonlarının SAR değerleri	48
<b>3.6</b>	Anten Çıkış Gücü ile Elektrik Alan, Güç Yoğunluğu ve Güvenlik Mesafesi İlişkisi	53

# GİRİŞ

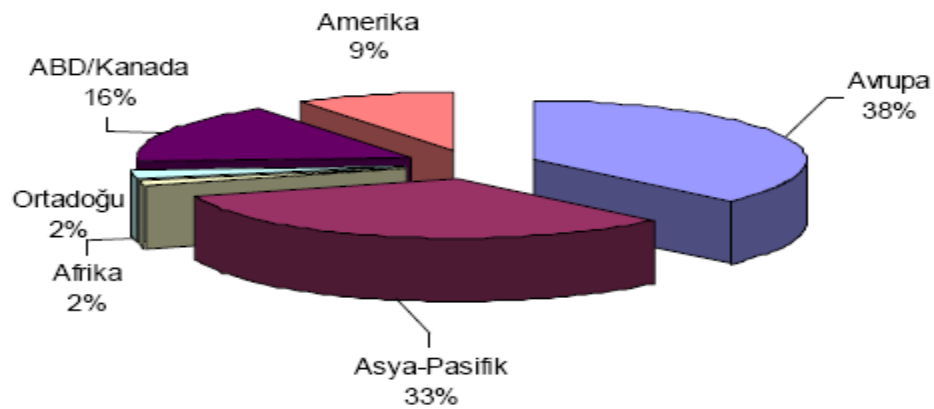
Teknolojideki gelişmenin bir sonucu olarak günlük yaşantımızda devamlı olarak kullandığımız kablosuz haberleşme cihazlarından kaynaklanan Radyo Frekans (RF) bölgesindeki belirli düzeylerdeki elektromanyetik radyasyona maruz kalmaktayız. GSM Teknolojisinin tarihçesini inceleyecek olursak 1980'lerde GSM'in ilk olarak bir araştırma olarak ortaya çıkışı ve 1986'da temel çalışma prensiplerinin belirlenmesinin ardından, 1989'da GSM, uluslararası bir kuruluş olan ETSI tarafından standart olarak belirlenip kabul edildi. 1990 ve 1991'de GSM 900'le ilgili testler yapılırken bununla beraber DCS 1800'le ilgili çalışmalar başladı. Ocak 1992'de ilk olarak Oy Radiolinja Ab operatörü Finlandiya'da GSM üzerinden haberleşmeyi gerçekleştiren operatör ünvanını aldı. Teknolojinin kablosuz ortamda haberleşme kapsamındaki hızlı gelişimi bir yandan kullanıcılara günlük hayatlarında oldukça kolaylık sağlarken diğer yandan GSM sistemi içerisinde kullanılan cihazların radyasyon etkisi merak konusu olarak incelenmeye başlanmış ve cep telefonları ve baz aktarım istasyonlarının etkisi ile ilgili araştırmaların yapılmasını gerekli kılmıştır. Konuyla ilgili olan bu tezimde, GSM sisteminin temel yapısı ve sistemde bulunan cihazlar hakkında bilgi verilerek, GSM 'in kablosuz iletişim için kullanmış olduğu Radyo Frekansları ile bu frekansların radyasyon etkisini incelenmiştir. İncelemede RF radyasyonun etkisinin ortaya konulabilmesi için Güç Yoğunluğu, Elektrik Alan ve Özgül Soğurma Oranı(SAR) değerleri ve hesaplanış yöntemleri üzerinde durularak bu değerlerin Telekomünikasyon Kurumu tarafından belirlenmiş sınır değerleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca teorik bir çalışma yapılarak örnek bir baz aktarım istasyonunun belirli çıkış güçleri için belli bir noktada oluşturduğu elektrik alan ve güç yoğunluğu değerleri hesaplanmış, Telekomünikasyon Kurumu tarafından belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Son bölümde ise RF radyasyonun biyolojik yapı üzerindeki olası etkileri hakkında ilgili kaynaklar referans gösterilerek bilgi verilmiştir.

# 1. GSM Sistemi

## 1.1 GSM Sisteminin Tanımı

Global System for Mobile Communications veya kısaca GSM bir mobil iletişim sistemidir. GSM, dünya genelinde ilk olarak Finlandiya’da kullanılmaya başlanmıştır. Finlandiya, gerek coğrafi yapısı, gerekse hava şartları ve yerleşiminin oldukça dağınık olması sebebiyle, insanları kablolu iletişime alternatif bir sistem olan mobil sistem üzerinde çalışmalar yapmaya teşvik etmiş ve ilk olarak 1982 yılında sistem üzerinde deneyler yapılmaya başlanmıştır[1].

Önceleri Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi'nin Groupe Spéciale Mobile (Türkçe: Mobil İletişim Özel Grubu) isimli alt kuruluşunun ismini taşıyan GSM, daha sonraları sistemin küresel bir çapa ulaşmasıyla yeni adıyla anılmaya başlanmıştır. En yaygın mobil iletişim standardı olarak 212 ülkede 2 milyardan fazla insan tarafından kullanılmaktadır. 2000 yılı başında dünyada 750 milyon olan cep telefonu abonesi sayısı 2004 yılında 1,5 milyara yükselmiştir. 2006 yılında ise 2 milyar barajına dayanmıştır. Türkiye’de de benzer şekilde; 2000 yılında 14 milyon 970 bin olan cep telefonu abone sayısı 2004 yılında 30 milyon 843 bine ulaşmıştır. [2]. 2009 yılı için ise Türkiye deki mobil abone sayısının Telekomünikasyon Kurumu verilerine göre 65 milyon civarında olduğu belirtilmektedir[8].

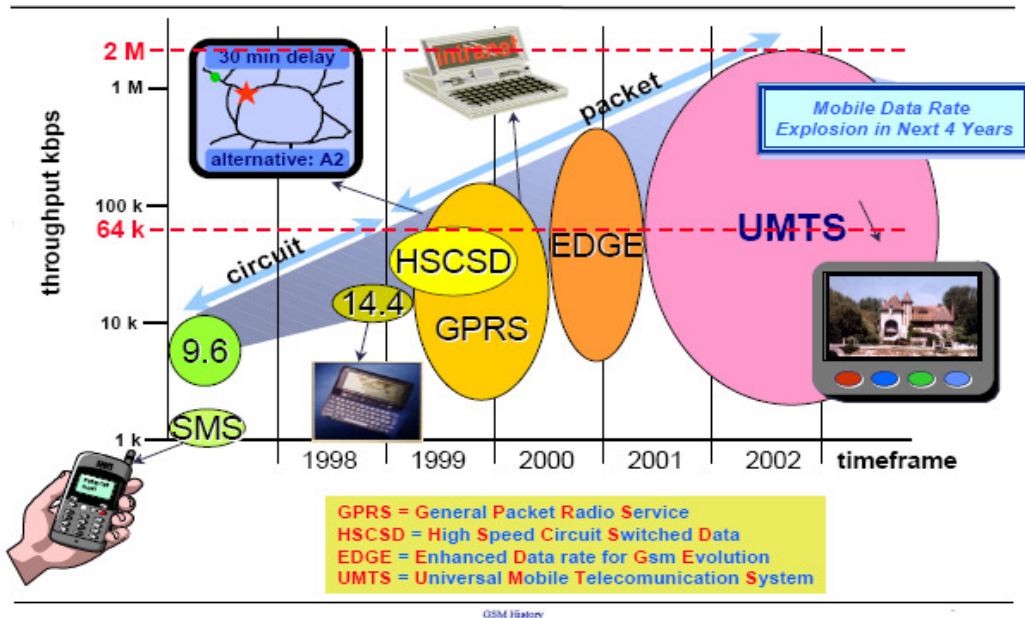


Şekil 1.1 Dünya çapında Hücresel Abone Dağılımı [1]

## 1.2 GSM Sisteminin Mobil Haberleşme Sistemleri Arasındaki Yeri

Mobil telefon sisteminin ilk olarak ortaya çıktığı zamandan bu yana kullanıcılara daha kaliteli ses hizmeti verebilmek için süreç içerisinde Şekil 1.1 'de görebileceğimiz bir geliştirme döneminden geçmiştir. Bu dönem içerisinde detaylı olarak incelemek istersek aşağıdaki nesilleri belirtebiliriz(Şekil 1.2).

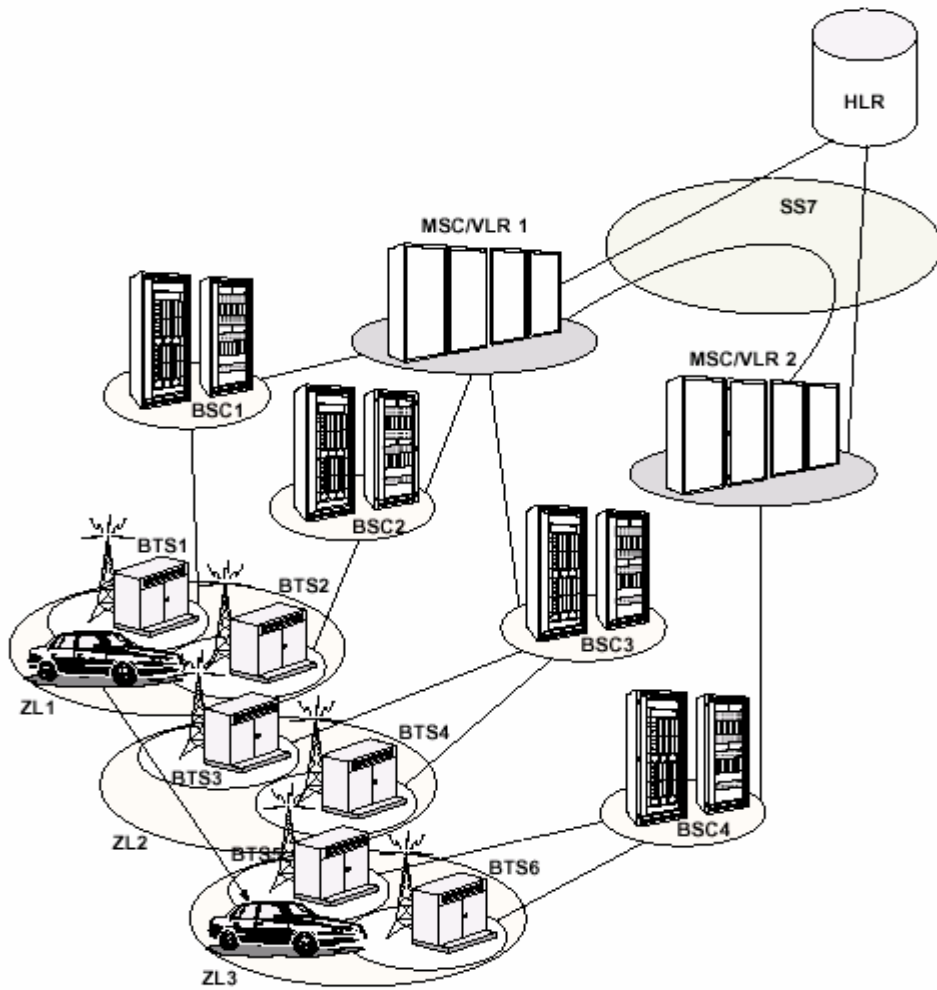
- 0G olarak adlandırılan ilk nesil sistemlerde, analog veri akışı kullanılır.
- 1G olarak adlandırılan ilk nesil sistemlerde, analog veri akışı kullanılır.
- 2G olarak adlandırılan ikinci nesil sistemlerde sayısal veri akışı kullanılır. GSM 2G kategorisine giren ikinci nesil bir sistemdir.
- 3G olarak adlandırılan üçüncü nesil sistem ile daha hızlı veri transferi ve bant genişliğinin daha verimli kullanımı mümkün olmuştur.
- 4G olarak adlandırılan dördüncü nesil sistem ile kapsama alanı başta olmak üzere 3G ile çözülememiş olan sorunların çözülmesi beklenmektedir. [3]



Şekil 1.2 Mobil Telefon Sistemlerinin Nesilleri[1]

## 1.3 GSM Sisteminin Yapısı

GSM sisteminin ana yapısı standartlaştırılmış alt bölümlerin birbirleri ile bağlantıları şeklindedir. Bu alt bölümler ana yapı ve işlevleri itibariyle üç bölümde incelenebilir. Bunlar; Mobil istasyon (MS), Baz istasyonu sistemleri (BSS) ve Şebeke anahtarlama sistemleri (NSS) dir.



Şekil 1.3 GSM Sisteminin Genel Yapısı [5]

### 1.3.1 Mobil İstasyon ve Abone Kimlik Modülü(SIM)

Mobil istasyon, abonenin şebekeye bağlanmasını sağlar. Bu istasyon abone Kimlik Modülü, SIM (Subscriber Identity Module) ve mobil telefon cihazından meydana gelmektedir.



### **SIM Kart veya Abone Kimlik Modülü**

SIM kart abone bilgilerini taşıyan akıllı kart olup, mobil cihaz içine takılmaktadır. SIM kart içerisindeki numara, şebekede aboneyi tanımlayan özel bir numaradır. Abone şebekede tek numarayla birden fazla servisi kullanabilir. Bu numara yalnızca şebekeye ilk girişte kullanılır. Temel olarak şu bilgileri içerir:

### **Uluslararası Mobil Abone Kimliği(IMSI) ve Geçici Mobil Abone Kimliği (TIMSI)**

Aboneler Uluslararası Mobil Abone Kimliği, IMSI (International Mobile Subscriber Identity) aracılığıyla benzersiz olarak tanımlanmaktadır. Geçici mobil abone kimliği, TIMSI (Temporary International Mobile Subscriber Identity) IMSI yerine kullanılan bir numara olup, periyodik olarak değiştirilmektedir. Böylece abone bilgileri ve konuşma güvenliği için dinlemeye karşı ilave bir koruma sağlamaktadır.

### **Yerel Alan Kimliği (LAI)**

Yerel alan kimliği, LAI (Location Area Identity) abonenin herhangi bir şebeke üzerinde bulunduğu yerin tayini için yararlanır. Bu herhangi bir şebekede bulunduğu yeri tanımlar. Bu kod sayesinde aktif durumdaki aboneye ulaşım sağlanır.

### **Ki Kodu**

Abone bilgisi ve konuşma güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılan bir şifreleme ve sorgulama anahtarıdır. Bu kod her abone için ayrı olup, SIM kartında ve Doğrulama Merkezi, AUC (Authentication Center) 'ta kayıtlıdır. Ki kullanılarak MS ile BTS arasında iletilen tüm bilgiler (Sinyalleşme ve konuşma) şifreli olarak gönderilir. Şifreleme ve deşifre işlemini sağlayan anahtar kod Ki 'dir[5].

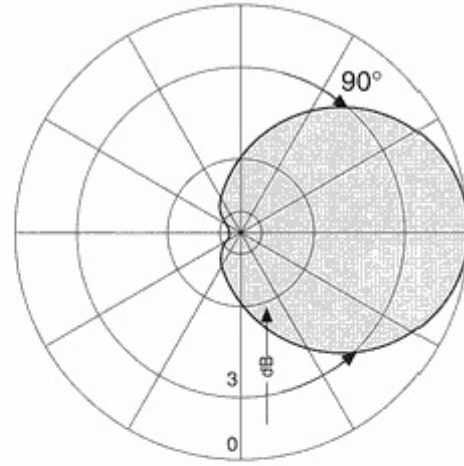
## 1.3.2 Baz İstasyonu Sistemleri (BSS)

### 1.3.2.1 Baz Aktarım İstasyonu (BTS)

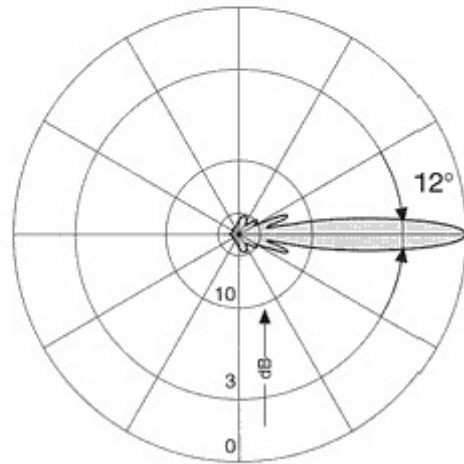
Baz aktarım istasyonları, BTS (Base Transfer Station) GSM iletişimde mobil telefonların hava ara yüzünü kullanarak şebekeye bağlanmasını sağlayan cihazlardır. Şebekenin kapsama alanını genişletmek için bina çatılarına kurulan bu cihazlar genellikle beyaz renkli ve kutu şeklinde, 4 metre boyunda, iki çubuk antenle bir çanak antenden oluşan ve mikrodalga yayma özelliğine sahiptir. Mikrodalga, dalga boyu 0.1-100 cm, frekansı 0.3-300 Gigahertz (GHZ) olan elektromanyetik dalgalardır. Çubuk antenler mikrodalgaları toplayıp çanak antenlere verir ve bu dalgalar çanak anten aracılığıyla 16 farklı frekanstan ve UHF (Ultra-High Frequency) üzerinden yayınlanır. Kurulum alanlarına göre genel olarak bina içi ve bina dışı istasyonlar olarak ikiye ayrılırlar. BTS, radyo ileticiler ve alıcılar, antenler, güç ünitelerinden oluşur. Gerekli çağrı işlem kapasitesini sağlamak için bir veya daha fazla alıcı-vericilerden oluşabilir. Bu cihazların asıl görevleri arasında kanal kodlaması ve kod çözme de bulunmaktadır. Bir BTS çok yönlü anten ile her yöne ya da üç sektörlü (sektörel) anten ile aralarında 120 derece fark olan üç sektöre yayın yapılabilir (Şekil 1.4). Şekil 1.5 'de ise bir BTS anteninin ışınma doğrultularını yatay ve dikey açıdan verilmiştir.



Şekil 1.4 Sektörel Anten.



Yatay Işıma Örüntüsü  
(Kuşbakışı Görünüm)



Dikey Işıma Örüntüsü  
(Yandan Görünüm)



Baz İstasyonu A

Şekil 1.5 GSM baz aktarım istasyonlarında kullanılan tipik antenlerin ışım örüntüsü[6].

### **1.3.2.2 Baz İstasyonları Merkezi (BSC)**

Baz istasyonları merkezi, BSC (Base Station Center) BTS'lerin direk olarak bağılı olduğu ve aynı anda ortalama 80 BTS'i kontrol edebilen merkezlerdir. BSC 'ler radyo kaynaklarını BTS 'ler için yöneterek gerekli durumlarda güç kontrolünü yaparlar. Aynı zamanda BTS 'ler arası geçişleri kontrol ederler.

### **1.3.2.3 Kodlama Ünitesi (TCU)**

Kodlama üniteleri, TCU (Transcoder Unit) GSM 'de kullanılan iletim formatı ile genel iletişim sistemlerindeki iletim formatı arasında dönüşümü sağlar. GSM sisteminde hava ara yüzünde iletimin zorluğu nedeniyle ve daha verimli kullanım için kabul edilmiş iletim değeri 16 Kbit/s'dir. Normal iletişim sistemlerinde ise 64 Kbit/s iletim kullanılmaktadır. Transcoder 16Kbit/s den 64 Kbit/s'e ve tersi yönde dönüşümü gerçekleştirmektedir. Ekipman olarak santrallerin (MSC) yanına yerleştirilmişlerdir.

## **1.3.3 Şebeke Anahtarlama Sistemleri (NSS)**

### **1.3.3.1 Mobil Anahtarlama Merkezi (MSC)**

Şebeke anahtarlama sistemi NSS (Network Switching Center) 'in yönetim noktası olan MSC (Mobile Switching Center) mobil abonelerin kullanmış olduğu fonksiyonların tanımlamalarının yapıldığı ve kayıt, onaylama, yer güncellemesi, ücretlendirme, devir teslimler ve bir dolaşım abonesine çağrı yönlendirmesi gibi servislerin yönetiminin gerçekleştirildiği sistemdir. Ayrıca mobil abonelerin PSTN şebekesine bağlanmasına olanak sağlar. Bu sistem içerisinde SS7 sinyalleşme sistemi Köprü MSC olarak kullanıldığında PLMN ve PSTN şebekelerle görüşmeler MSC üzerinden sağlanır. Şebekenin alt sistemleri arasındaki bağlantı No.7 sinyalleşme sistemine dayanır.

### **1.3.3.2 Kalıcı Konum Kaydı (HLR)**

Mobil abonelerin kayıtlarının tutulduğu bir veritabanıdır. Uluslararası Mobil Abone Kimliğini (IMSI), mobil istasyon ISDN numarasını (MSISDN) ve geçerli ziyaretçi konum kütüğü (VLR) adresleri burada saklanır. Her kullanıcının bir HLR (Home Location Register)'da kaydı bulunmaktadır. Veritabanı olarak birçok MSC üzerinden bağlı olan kullanıcıların bilgilerini tutar.

### **1.3.3.3 Ziyaretçi Konum Kaydı (VLR)**

Mobil aboneler eğer kendi konumları dışında bulunuyor iseler o konumda ziyaretçi konum kaydı, VLR (Visitors Location Register) üzerinde kaydedilirler. VLR abone ile ilgili bütün kayıtlı bilgileri ve abonelik hizmetlerini abonenin kalıcı konum kaydının bulunduğu HLR 'dan alır. Abonenin o anki konum bilgisi VLR da tutulur. Her MSC donanımında bulunmakta olup her MSC için tanımlanmış bir VLR vardır.

### **1.3.3.4 Cihaz Kimlik Kaydı (EIR)**

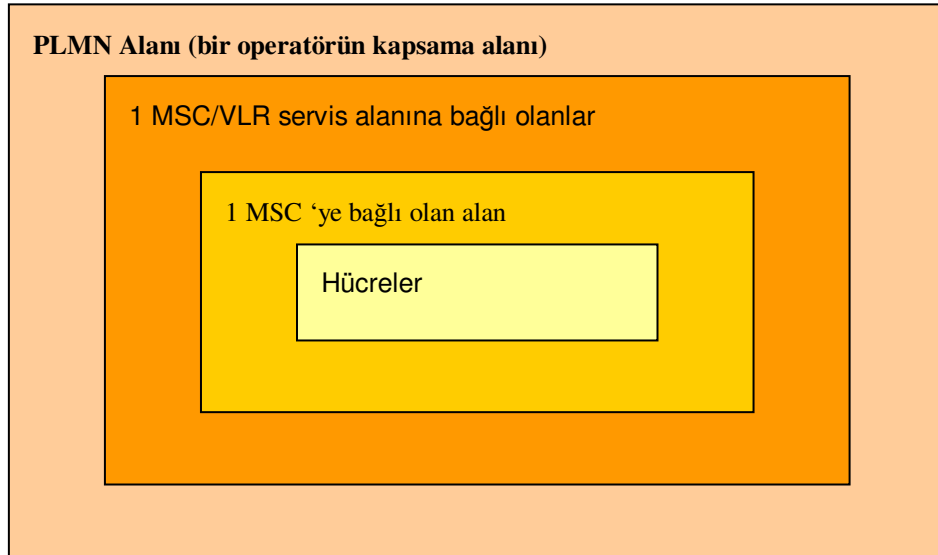
Cihaz kimlik kaydı, EIR (Equipment Identity Register) şebeke içerisinde yer alan geçerli mobil istasyonu cihazlarının listesini içeren bir veri tabanıdır. Burada her bir mobil istasyonu uluslararası mobil cihaz kimliği (IMEI) ile tanımlanır.

### **1.3.3.5 Kimlik Denetim Merkezi (AUC)**

AUC (Authentication Center), Mobil abonelerin SIM kart bilgileri ile HLR da kayıtlı bilgilerinin kontrolünü yapan birimdir. Radyo kanalı üzerinden onaylama ve kodlama amacıyla kullanılarak mobil telefon açıldığında ilk olarak bu birim tarafından kontrol yapılarak sisteme kabul edilir. GSM şebeke sistemleri içerisinde HLR ile yakın alanda bulunur. AUC, sahteciliğe karşı ek güvenlik temin eder.

## 1.4 GSM Sisteminde Hücresel Yapı

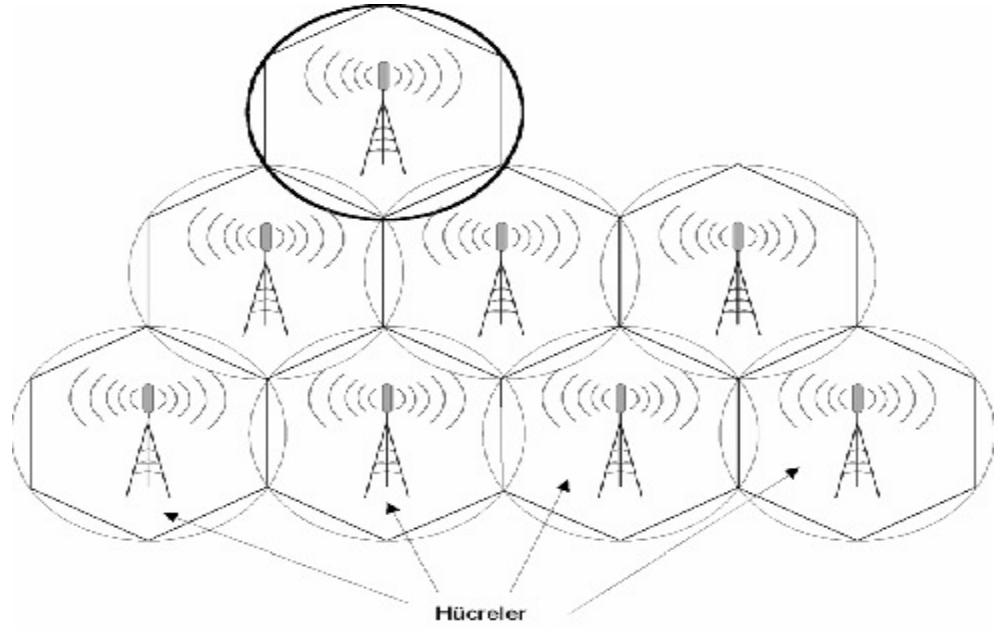
GSM Sisteminin ađ yapısı coğrafi alanlardan oluşmuştur. Bu alanlar sonraki öncekini kapsayacak şekilde hücre, hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşturulan Location Area 'lar, bunlar tarafından oluşturulan MSC/VLR alanları ve en son olarak tamamını kapsayan Kamu Alanı Mobil şebekesi, PLMN (Public Land Mobile Network) 'nden oluşur(şekil 1.6). Bir ülkede bulunan her bir operatöre ait PLMN kapsama alanlarının toplamı PLMN servis kapsama alanını meydana getirir. GSM'e üye bütün ülkelerdeki PLMN servis kapsama alanlarının birleşmesinden GSM servis kapsama alanı meydana gelir.



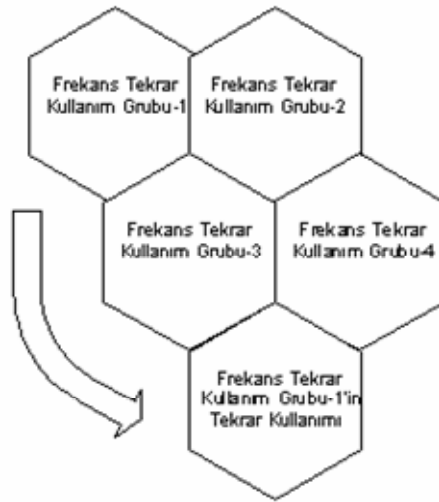
şekil 1.6 PLMN Alanı

GSM sisteminde en alt katman olan hücre katmanı birçok BTS 'in bir araya gelerek bir şebeke oluşturmaları şekindedir. Her bir BTS bir hücreyi temsil eder(şekil 1.7). Hücresel sistemde operatörün kapsama alanı ise hücrelere bölünmüştür. Bir hücre kapsama alanındaki bir verici ya da verici grubuyla ilişkilidir. Hücrenin alanı vericinin gücüne bağlıdır. Hücresel sistemin genel amacı düşük güçte verici kullanıp kullanılan dar frekans aralığında aynı frekansı birçok defa kullanmaktır. Bunun nedeni daha güçlü vericiler kullanılırsa aynı frekans kilometrelerce geniş bir alanda bir daha kullanılamaz. Hücresel mobil radyo sistemine ayrılan frekans band genişliği bir grup hücre arasında dağıtılır ve bu dağıtım operatörün kapsama alanında kendini tekrar eder. Yani bir hücre için kullanılan

frekans, kesişimi de engelleyecek şekilde dağıtılıp, birkaç hücre ötedeki bir başka hücrede de kullanılır. Bir hücrenin doğru çalışması için iki önemli koşul sağlanmalıdır. Bir hücre için kullanılan vericinin gücü bir diğerini ile kesismeyecek derecede sınırlı olmalıdır. (Vericiler arasındaki uzaklık hücre çevresinin ortalama 2.5, 3 katı olduğu zaman bir kesişim olmayacağı hesaplanmıştır.) Komşu hücreler aynı kanalı paylaşamaz. Frekanslar ise belli bir kural dâhilinde kendini tekrar etmektedir(Şekil1.8).

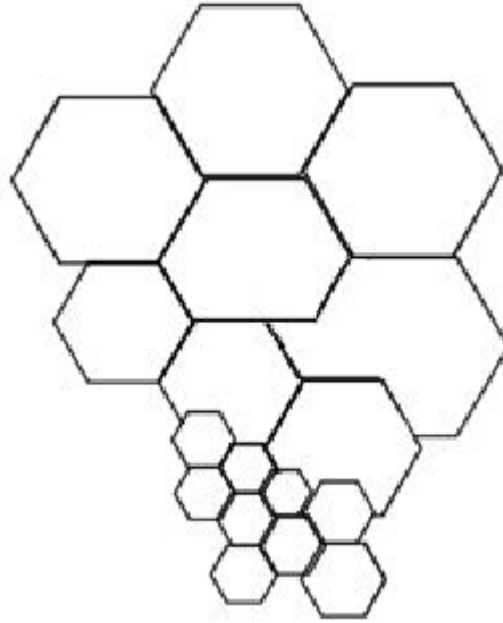


Şekil 1.7 Hücresel yapı [6].



Şekil 1.8 Hücresel yapıda Frekans Tekrar Kullanımı.

Hücrelerin çıkış güçleri ve buldukları yere bağlı olarak Makro, mikro ve piko hücreler olarak 3 farklı tipe ayrılırlar(Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Makro, mikro ve piko hücreler [7]

### 1.4.1 Makro Hücre

Türkiye’de de kullanılan GSM 900 sistemi için makro hücreler, yerleşimin seyrek olduğu bölgelerde 1–30 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 GSM 900 baz istasyonu antenlerinin çıkış güçleri 40–60 Watt olabilir. Makro hücreler büyük alanları kapsayacak şekilde planlanırlar. Genellikle şehir dışında bulunan baz istasyon antenleri bunlara örnektir. Ancak şehir içindeki büyük alanlara da tanımlanabilirler. Örnek olarak okul bahçeleri, şehirlerarası otopanlar gösterilebilir.

### 1.4.2 Mikro hücre

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. 0–1 km arasında yarıçapı



olan alanları kapsar ve çıkış güçleri makro hücelere göre düşük olup GSM 900 için 5–10 Watt civarındadır.

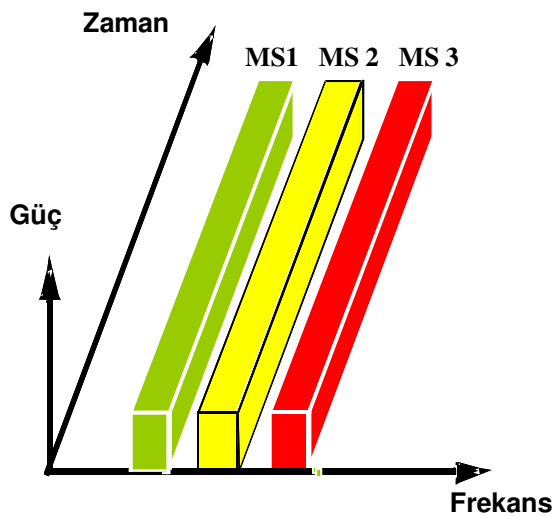
### 1.4.3 Piko Hücre

Çok daha küçük alanları kapsayan istasyonlardır. Bina içindeki antenler ya da 0-0.5 km arası mesafeli alanlar buna örnektir. Pikocell ise daha özel alanları (konferans salonu, lobiler gibi) kapsamak üzere tasarlanmıştır. Piko hücrelerde kullanılan antenlerin çıkış güçleri birkaç Watt civarındadır.

## 1.5 GSM Sisteminde Frekans Ayırma Tipleri

### 1.5.1 FDMA

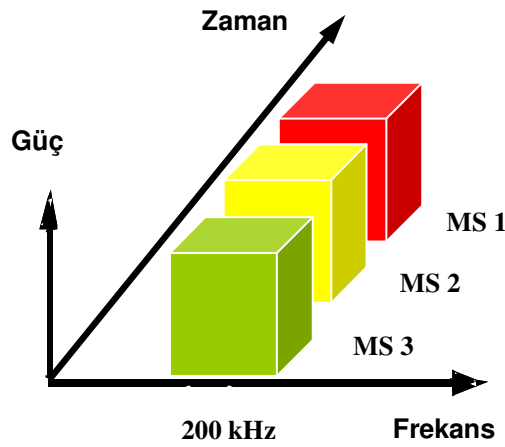
Frekans kodlamalı çoğullama, FDMA (Frequency Division Multiple Access) eski ve en önemli olan radyo vericilerinin aynı spektrumda veri göndermesini sağlayan sistemdir. Mobil telefonlar için kullanılır. Frekans bandını 30'a böler. Her bir bölüm ses, veri gönderme özelliğine sahiptir. FDMA analog sistemlerde kullanılan basit sistemdir. Her kanal sadece 1 kişi için ayrılabilir. Şekil 1.10 'da görüldüğü gibi 3 farklı MS aynı anda farklı frekanslar üzerinden görüşme ve veri akışı sağlayabilir.



Şekil 1.10 FDMA Frekans&Zaman

## 1.5.2 TDMA

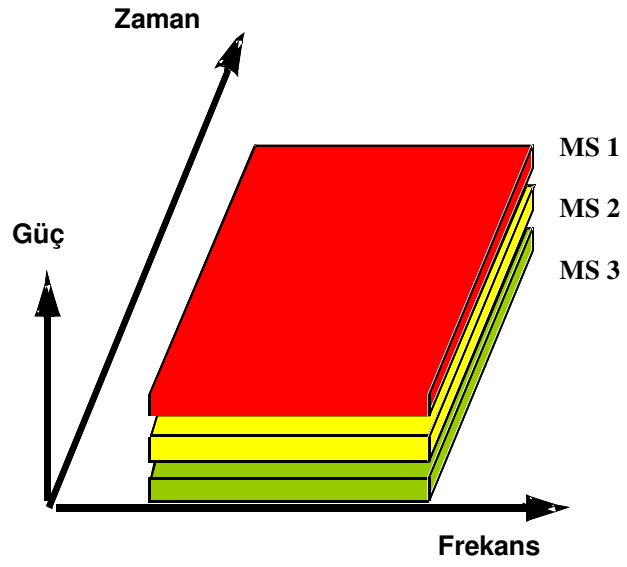
Zaman kodlamalı çoğullama, TDMA (Time Division Multiple Access) her kanalı 8 ayrı zaman dilimine böler bu sistemde aynı frekans üzerinde daha fazla görüşme yapılabilmesini ve bilgi taşınmasını sağlar. Bu FDMA 'ye göre daha verimli bir çözümdür ve zaten pratik olarak FDMA 'i içerebilir. Şekil 1.11 'de 3 MS 'in aynı frekans üzerinde kendilerine belirlenmiş zaman slotu içerisindeki konuşma veya veri alış-verişini görebiliriz.



Şekil 1.11 TDMA Frekans&Zaman

## 1.5.3 CDMA

Kod bölmeli çoğullama, CDMA (Code Division Multiple Access) belirli frekans aralığını aynı anda birçok kullanıcıya karıştırarak gönderir. Birçok sinyali tek bir verici kanalında toplar. Buda bant genişliğini ayarlar. Analog sinyali dijitale çevirir. Binary formatına çevrilmiş kodu bu koda uygun olan alıcıya gönderir. Bu nedenle bu kod verici frekansıyla uyumlu olarak gönderilir. Birçok frekans sırası vardır bu nedenle çözülemez. CDMA de kullanıcıların adeta farklı diller konuşması sağlanır. Yani aynı dili konuşanlar anlaşabilir mantığından hareketle farklı kullanıcılara farklı kullanıcı kodları verilerek farklı kanallar oluşturulması sağlanır. Ayrıca CDMA' da BTS her bir telefonun çıkış gücünü kontrol edebilir. Şekil 1.12 'de 3 MS 'in konuşma veya veri iletiminde CDMA yapısını kullanımı belirtilmiştir.



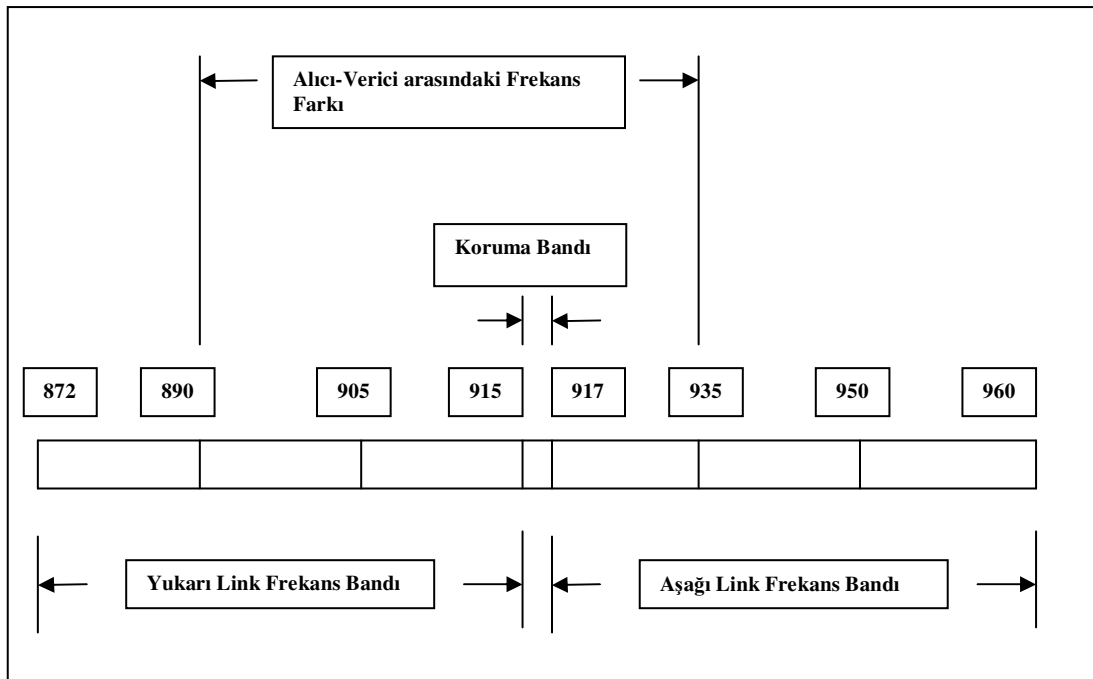
Şekil 1.12 CDMA Frekans&Zaman

## 2. GSM Sisteminde RF

### 2.1 GSM Sisteminde Radyo Frekans Aralıkları

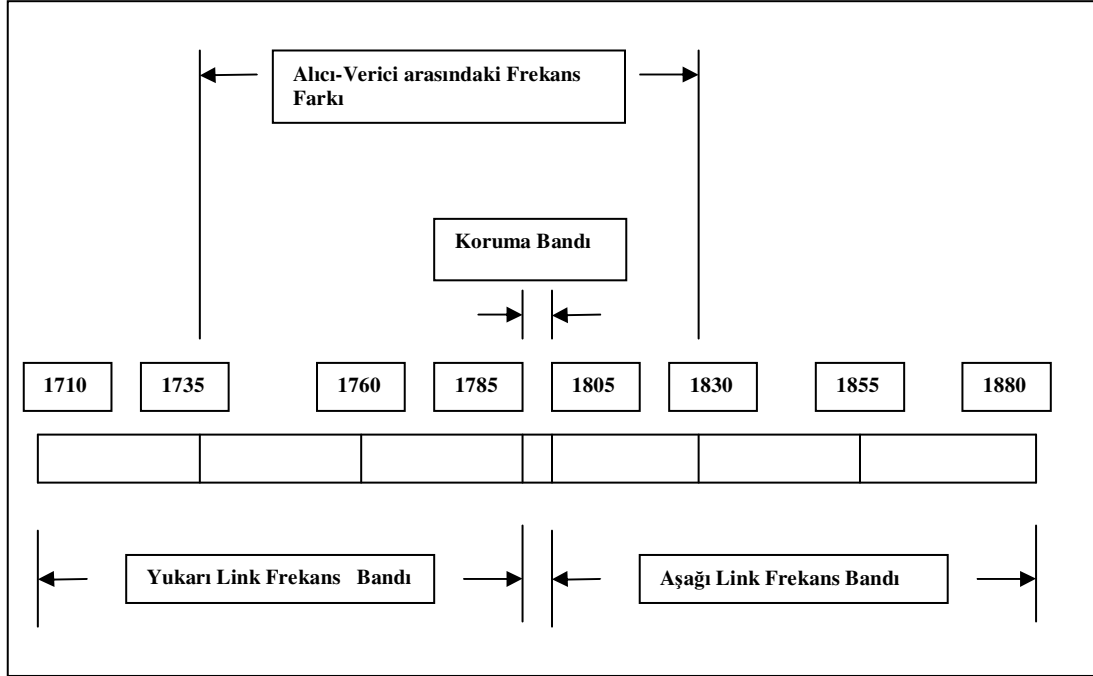
Hücrel Mobil iletişim sisteminde telefonlarla sistem arasındaki haberleşme hücrelerde “radyo frekans”ları ile sağlanmaktadır. Konuşma ve haberleşme bilgisi bu radyo frekansları ile taşınmaktadır. Kullanılan radyo frekanslar mobil sistemler de değişiklik göstermektedir. Yaygın olarak iletişimde kullanılan mobil sistemler GSM 900,DCS 1800 ve PCS 1900 olarak tanımlanır. Buradaki rakamsal değerler kullanılan frekans aralığını belirtir. Sırasıyla Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3 de bu sistemlerde kullanılan frekans aralıkları belirtilmiştir.

GSM 900 sistemindeki taşıyıcılar 200 kHz aralıklarla kullanılmaktadır ve 124 taşıyıcıya imkân vermektedir. 915 MHz ile 917 MHz arası koruma bandı olarak frekanslar arası girişimi önlemek amacıyla tanımlanmıştır. GSM 900 sisteminde ayrıca yukarı link te 872 MHz ile 890 MHz arası, aşağı linkte ise 917 MHz ile 935 MHz arası mobil telefon sistemi dışındaki hücrel sistemlerin kullanımı için tasarlanmıştır(Şekil 2.2).



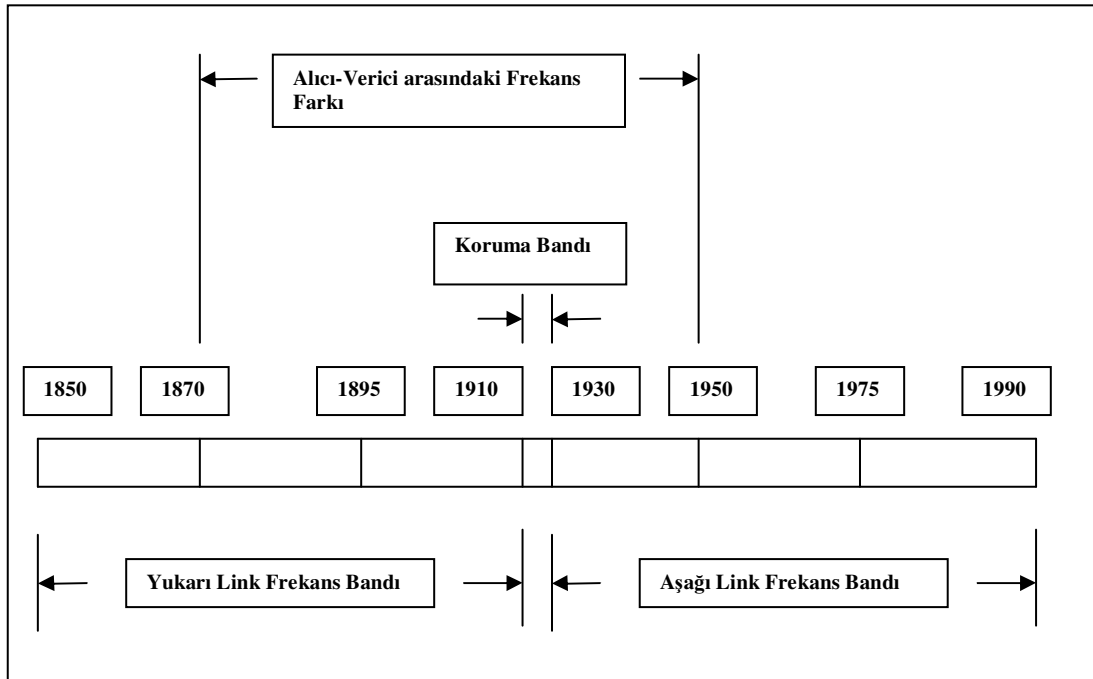
Şekil 2.1 GSM 900 Sistemi için frekans analizi

DCS 1800 sistemindeki taşıyıcılar sistemindeki taşıyıcılar 200 kHz aralıklarla kullanılmaktadır ve 374 taşıyıcıya imkân vermektedir. 1785 MHz ile 1805 MHz arası koruma bandı olarak belirtilerek frekanslar arası girişimi önlemektedir(Şekil 2.2).



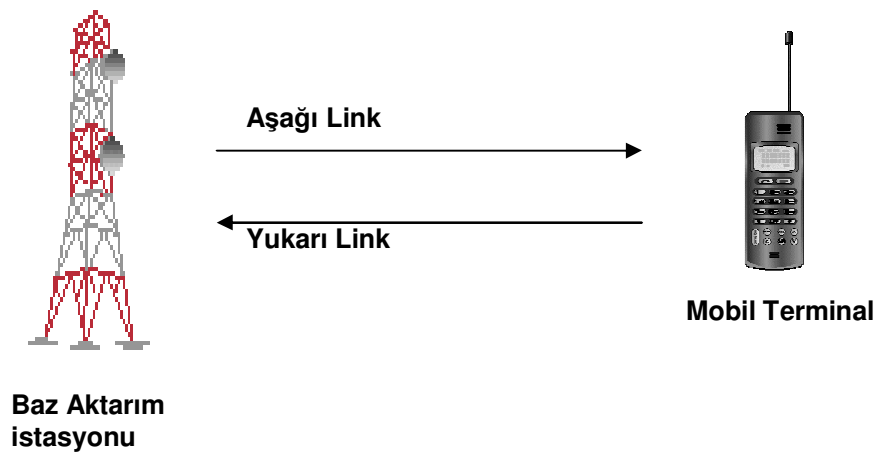
Şekil 2.2 DCS 1800 Sistemi için frekans analizi

PCS 1900 sistemindeki taşıyıcılar 200 kHz aralıklarla kullanılmaktadır ve 299 taşıyıcıya imkân vermektedir. 1910 MHz ile 1930 MHz arası koruma bandı olarak belirtilerek frekanslar arası girişimi önlemektedir(Şekil 2.3).



Şekil 2.3 PCS 1900 Sistemi için frekans analizi

Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3 de gösterildiği üzere frekans bandları iki ayrı kısma ayrılmıştır. Bunlardan Yukarı link bandı, kullanılan mobil telefonlardan baz istasyonuna veri gönderiminde kullanılan frekans bandını, aşağı link bandı ise baz istasyonundan mobil telefona veri gönderiminde kullanılan frekans bandı olarak tanımlanır(Şekil 2.4).



Şekil 2.4 GSM Sisteminde Yukarı link ve Aşağı link

GSM sisteminde alış ve veriş için iki farklı frekans aralığı kullanılmaktadır. Mobil sistem için bir abone ye ait konuşma bilgisini en iyi şekilde taşıyabileceğimiz band genişliği 25 KHz olarak hesaplanmıştır. Analog ve Dijital Mobil sistemlerde farklı iletim sistemleri tasarlanmış olmakla beraber genel olarak bu band genişliği esas alınmıştır[8]. Dijital mobil sistemlerde (GSM, DCS1800, PCS vs.) frekans bandı 200 KHz 'lik dilimlere ayrılmıştır. Her bir frekans diliminde zaman bölümlenmesi yapılarak 8 kişiye ait veri taşınmaktadır.

GSM sisteminde 900 MHz 'e ait frekans bandında; 25MHz yukarı link, 25MHz aşağı link ve 20MHz'de bu iki band arasında koruma bandı olarak ve aynı zamanda ileride gerçekleşecek uygulamalar için rezerve olarak bırakılmıştır. 25MHz'lik dilim içinde 125 adet 200KHz'lik taşıyıcı frekans bulunmaktadır. Bu frekans dilimlerinin her biri "frekans veya frekans kanalı" olarak isimlendirilmektedir. Frekans dilimlerinde kullanılan radyo dalgalarının özelliği gereği oluşan harmoniklerin band dışına taşıyor olması nedeniyle bize ayrılan frekans aralığının başında ve sonunda 100KHz'lik kısımlar diğer frekansların etkilenmemesi için kullanılmamaktadır. Bu nedenle toplam 125 frekans kanalının 124 adedi etkin olarak kullanılmaktadır[8].

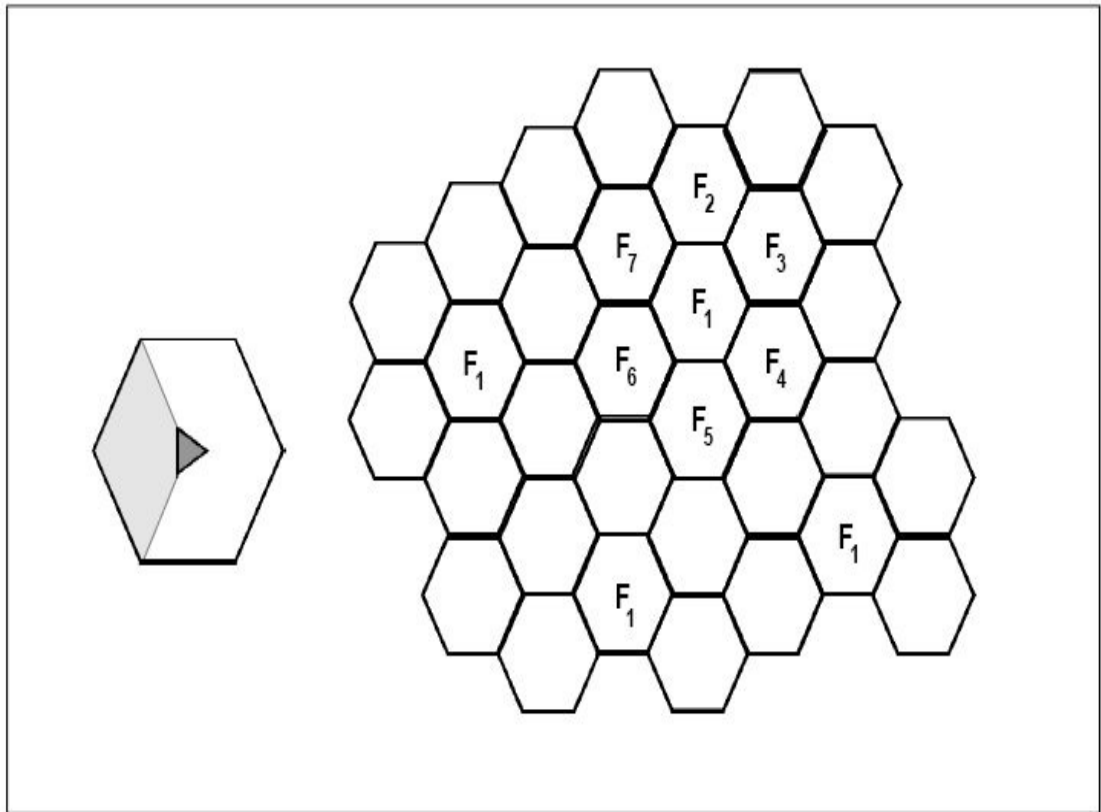
GSM 900 sisteminde bir abonenin konuşmasını çift yönlü taşımak için 1 adet yukarı link ve 1 adet aşağı link frekansı kullanmak gerekmektedir. Abone için alış ve verişte aynı kanal numaralı frekans kanalı kullanılmaktadır. Sistemde frekans tanımlamaları ve kullanımı bir çift frekans kanalından oluşan tek bir frekans şeklinde olmaktadır. Sistemde bir frekanstan bahsedildiğinde bu aralarında 45 MHz aralık bulunan aşağı link ve yukarı link frekans kanalını ifade etmektedir.

## **2.2 GSM de Frekans Tekrar Kullanımı**

GSM 900 sisteminde kullanılabilir toplam 124 frekans her ülkede bir veya birden fazla şebekenin kapsamasını sağlamak için kullanılacak toplam kapasite olup planlanan bütün şebekeler için bu frekanslar paylaşılacak durumundadır. Türkiye de ise GSM 900 şebekesi olarak Telsim ve Turkcell şebekeleri kurulmuştur. Her iki

şebekede bu 124 adet frekansı paylaşmışlardır. Telsim'e tahsis edilen frekanslar: 21–30 ve 40–79 aralığında bulunan 50 adet, Turkcell'e tahsis edilen frekanslar: 10–19 ve 81–120 aralığında bulunan 50 adet olup geri kalan frekanslar, frekans tahsisinden sorumlu makamın (Telsiz İşleri Genel Md.) kontrolünde yeni şebekeler için veya mevcut şebekelere ilave tahsis şeklinde kullanılabilir[8]. Bu her ülkenin kendi şartları ve Telekomünikasyon kurullarının genel standartları çerçevesinde değerlendirilmektedir.

Bir operatörün sınırlı sayıdaki bu frekanslarla ve bir hücrenin çapının yaklaşık 70 km olduğu durumda bütün ülkeyi kapsamının zor olması operatörler tarafından frekansların tekrardan kullanım gerekliliğini getirmiştir. Bir şebekede frekansların hangi sıklıkla ve ne kadar kullanılacağına hesaplamaları yapılmaktadır ve bu operatörlerin RF planlama bölümlerinin sorumluluğundadır.



Şekil 2.5 GSM Sisteminde Frekans Tekrarlama[9]



## 2.3 GSM Sisteminde Cep telefonları ve Baz İstasyonlarının Gücü

RF aralığı 100 MHz ile 10 GHz arasında olan mobil telefon sistemlerinde cep telefonları 860–900 MHz arasında ve 1800 MHz üzerinde çalışır. Mobil telefonlar için şebekelerde tanımlamalar mobil cihazların güç sınıflarına göre yapılmaktadır. Mobil Cihazlar için kullanılan güç sınıfı tablosu Tablo 2.1 'de belirtilmiştir.

Güç Sınıfı	Güç Çıkışı(Watt)
1	20 (Kullanılmıyor)
2	8 (Portatif Cihazlar)
3	5 (Araç Telefonu)
4	2 (GSM900 Cep Tel)
5	0.8 (GSM1800 Cep Tel)

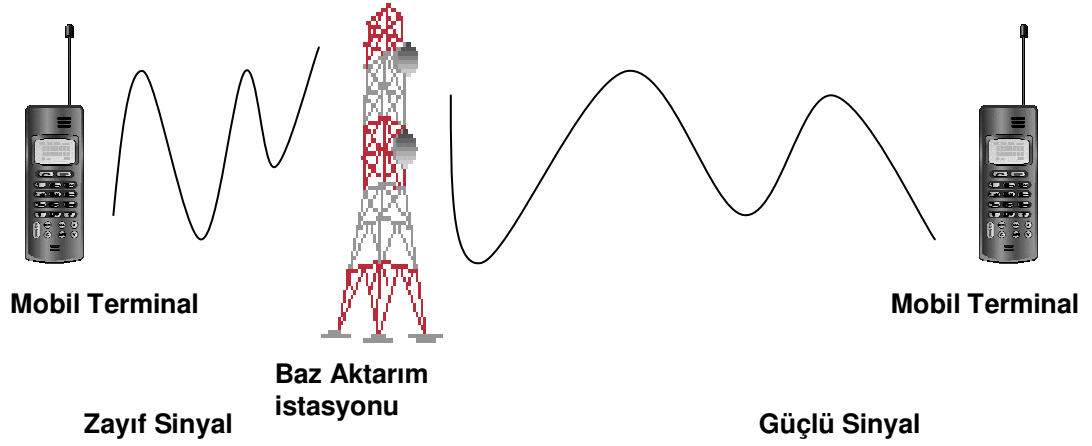
**Tablo 2.1** GSM Sisteminde Mobil Cihazların Güç Sınıfları

Baz aktarım istasyonlarında ise güç, kullanmış oldukları frekans sayısına ve hizmet verdiği abone sayısına bağlı olarak değişmektedir. 1800 MHz üzerinde çalışan bir baz istasyonu birçok frekans kanalı kullanır. Bu frekansların sayısı hizmet verdiği kullanıcı sayısına göre 1 ile 12 arasında değişir. Ve her kanal için dışarı verdiği güç ~10W/ kanal sayısı olur. Bir telefon çağrısı bu frekansları saniyelerle ifade edilen bir zamanın 8 de biri kadar bir süre için kullanılır. Sonuç olarak bir baz aktarım istasyonu en fazla gücü tüm frekanslarda aynı anda 8 kullanıcıya hizmet verdiği zaman kullanır. Günümüzde üretilen baz aktarım istasyonlarının gücü en fazla 40W olup bu istasyonlar kırsal kesimler otoban gibi fazla kullanıcı olmayan geniş kapsama alanına sahip yerlerde kullanılırlar. Şehir içinde kullanılan baz aktarım istasyonların gücü ise 10-20W olup maksimum 8 kanallıdırlar.

## 2.4 Güç Kontrol Mekanizması

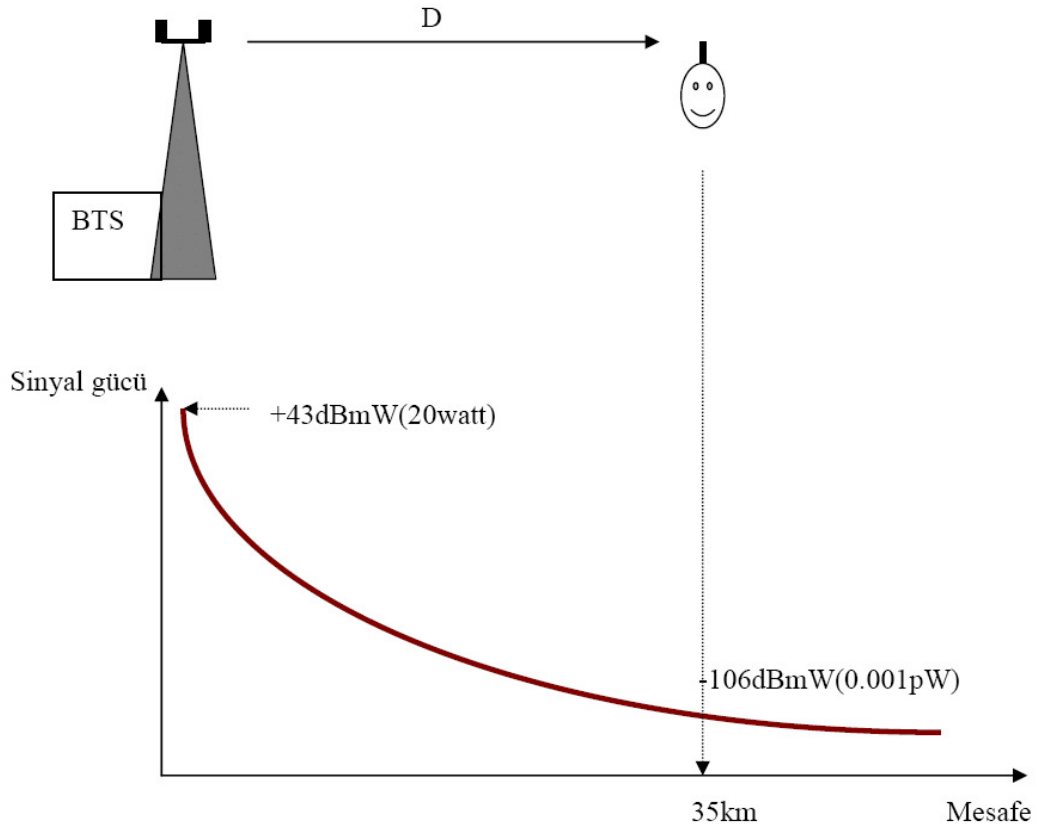
Planlamaya göre değişmekle birlikte standart seviye, mobil terminali için çıkış gücü 2 W ve araç telefonları için 8 W civarında olup baz aktarım istasyonundan uzak

noktalarda bu güç artmaktadır [10]. Baz istasyonları için ise ortalama 30 W dır. Cep telefonlarının kendileri ise baz aktarım istasyonuna olan uzaklıklarına bağı olarak çıkış güçlerini otomatik olarak ayarlarlar. Baz istasyonuna en yakın telefon en düşük çıkış gücü ile baz aktarım istasyonundan uzaklaştıkça çıkış gücünü arttırarak çalışır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 GSM Sisteminde Güç Kontrol Mekanizması

Radyo dalgaları çevre şartları ile orantılı olarak zayıflarlar. İlave bir etki olmaksızın havada zayıflama mesafenin karesi ile ters orantılıdır[10].

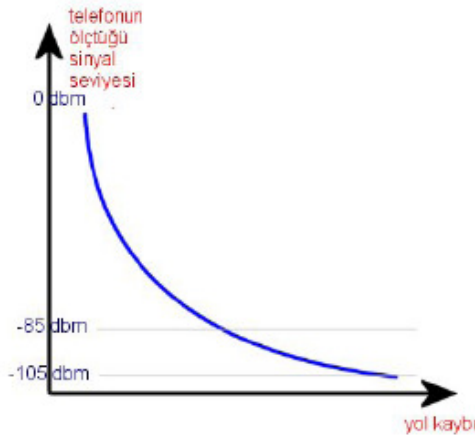


Şekil 2.7 GSM Sisteminde Güç Mesafe İlişkisi [15]

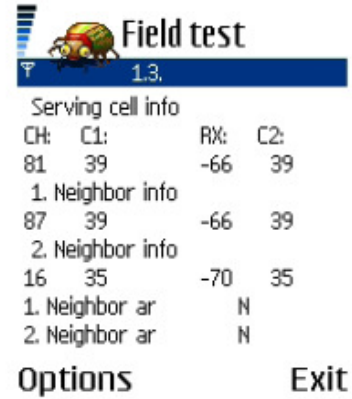
Mobil telefon ve BTS 'lerin sinyalleri minimum alışı seviyesi -106 dBm 'dir. Bu seviyeden daha düşük güçte gelen sinyaller işlenememektedir. Radyo dalgalarının eriştiği bu minimum seviye hücre kapsama alanını belirlemekte yaklaşık sınırları oluşturmaktadır. Fakat bu sınırların dışında sinyal zayıflayarak da olsa yayılımını devam ettirmekte ve sonsuzda sıfır seviyesine yaklaşmaktadır. Bu zayıf sinyaller aynı frekansta bir sinyalle karşılaşıncaya bu sinyali zayıflatıcı ya da başka bir tabirle bozucu bir etki göstermektedir. Bu olay girişim "interference" olarak isimlendirilir. İnterference seviyesi konuşma kalitesini doğrudan etkilemektedir. Hücreler planlanırken coğrafi konum ve sinyal güçlerinin ne seviyede olacağı ve frekans seçimi interference etkisi göz önünde bulundurularak yapılır.

Güç kontrolünün baz aktarım istasyonu için avantajı sinyal gücünü zayıflatarak olası bazı frekansların birbirleriyle karışmasını önlemek. Baz aktarım istasyonu eğer akü ile çalışıyorsa daha az akım çekmesini sağlamak içindir.

Cep telefonu için avantajı ise, aynı şekilde sinyal karışması ve telefonun minimum batarya kullanımı içindir. Telefon sürekli sinyal ölçümü yapar ve bunu baz istasyonuna bildirir (saniyede 2 kez). Konuşma sırasında ani değişimler (ör: binaya girme, çukur alanlara girme) olabilir bunu önlemek içinse filtreleme kullanılır. En son sinyalin kayıpsız olarak aktarılması için sinyal gücü artırılır, fazla ise azaltılır Konuşmaya başladığınızdan itibaren telefon sinyal durumunu bildirir bu sırada eğer İstasyon dan gelen sinyal seviyesi iyi ise çıkış gücünü azaltmasını ister bu sırada telefon kendi çıkış gücünü azaltır. Telefon 2 W dan başlayarak 0,025 watt'a kadar çıkış gücünü azaltabilir.(şehir içinde sinyalin iyi olduğu yerlerde) ancak istasyonun yakınına gelindiğinde bu değer 0,012'ye kadar düşebilir[12]. Telefonunuzun sinyal seviyesi -85 dBm'e inerse konuşma kalitesi alt sınırındadır.-85 dBm ile -105 dBm arasında ise konuşma kalitesinde düşmeler ve paket kayıpları olur[12].



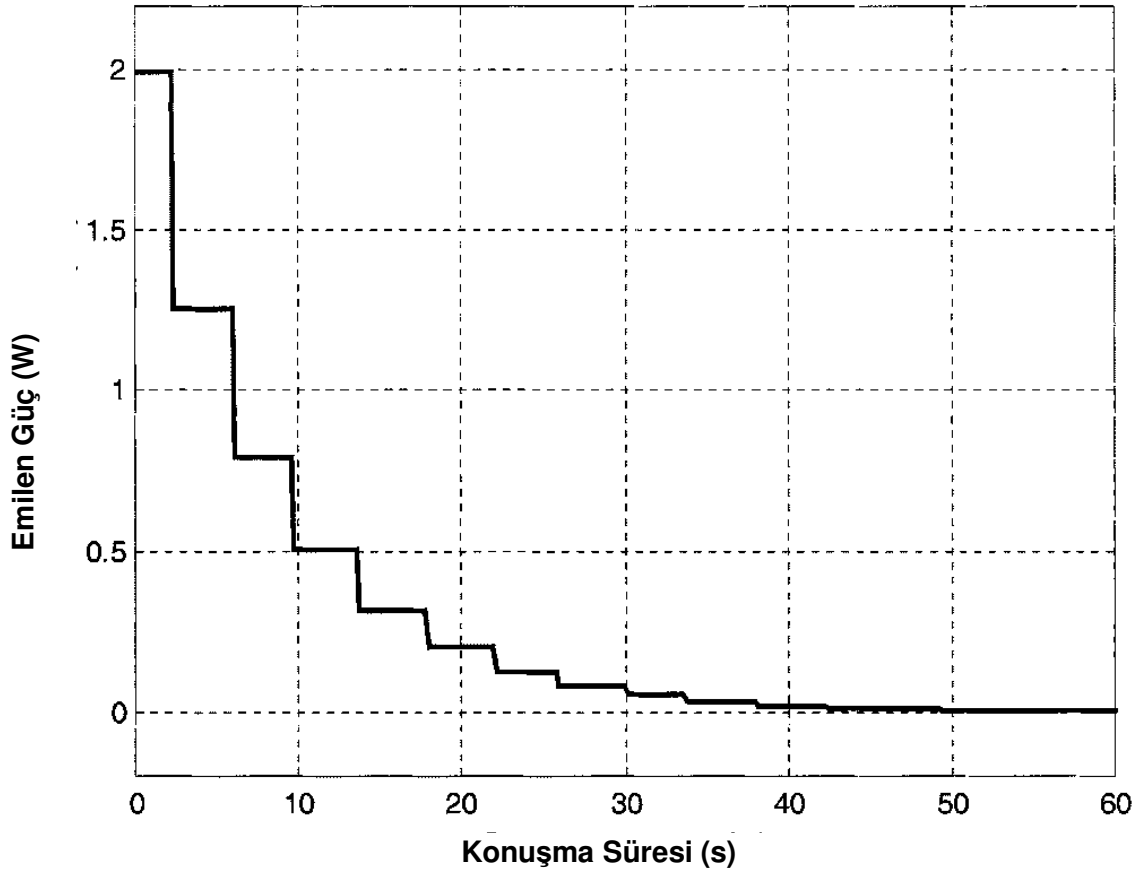
Şekil 2.8 Sinyal Seviyesi ve Yol Kaybı[12]



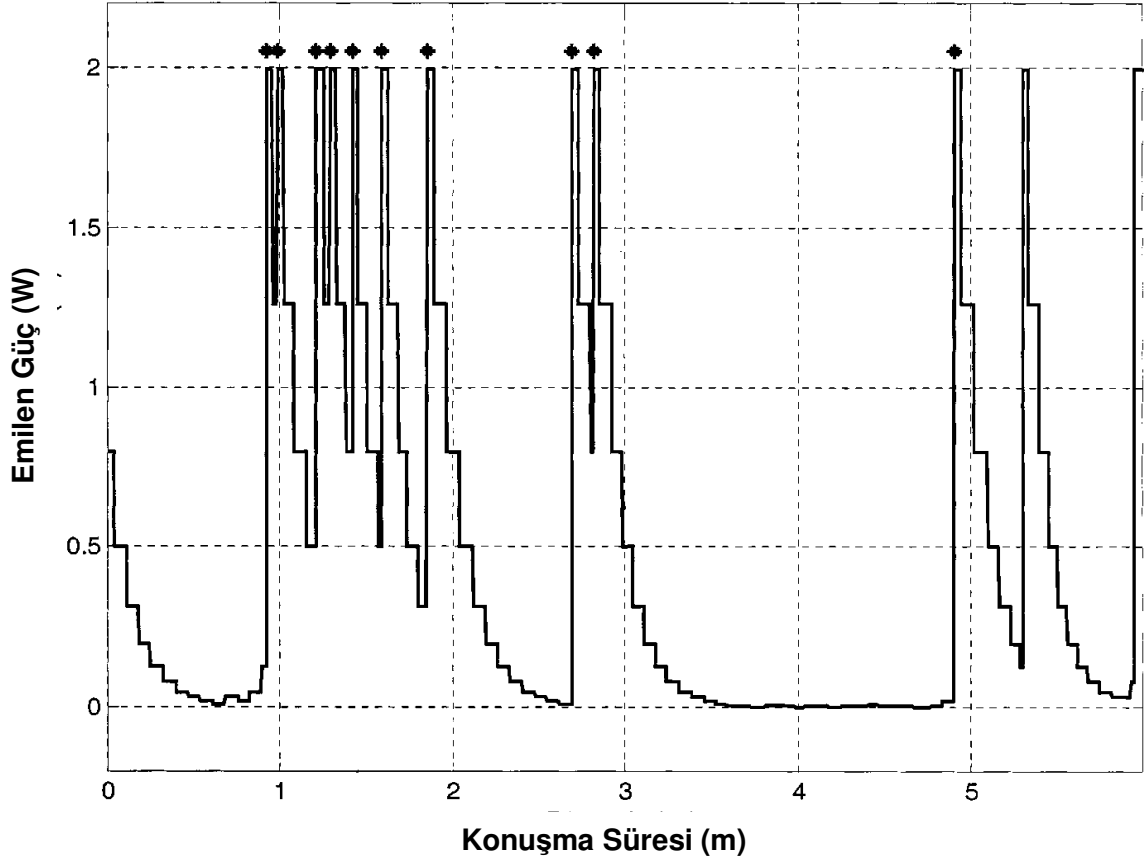
Şekil 2.9 Saha Testi Güç Durumu[12]

Güç Kontrolü ile cep telefonlarının gücü 2 dB 'lık periyotlar halinde azalır. ETSI standartlarına[47] göre 900MHz için 33 dBm 'den 5 dBm 'e kadar 15 periyot tanımlanmıştır. 1800 MHz için ise için 30 dBm 'den 2 dBm 'e kadar 15 periyot tanımlanmıştır. Cep telefonu baz istasyonuna çok yakın olduğu durumdaki gücü 13 dBm, 0.02 W, baz aktarım istasyonundan uzak olduğu durumda ise 2W olarak belirtilmiştir. Baz aktarım istasyonu yakınında yapılan bir cep telefonu konuşması süresince cep telefonunun güç seviye değişikliklerini Şekil 2.10 'da görebiliriz.

Hücreler arasında geçiş gibi durumlarda ise cep telefonları güç seviyelerinin değişikliği Şekil 2.11 ' de gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Cep telefonu için konuşma başlangıcında ve süresince güç seviye değişikliği[13].



Şekil 2.11 Otoban üzerinde hareket halinde iken hücreler arası geçiş sırasında gücün değişimi[13].

## 2.5 Güç Yoğunluğu

Tanım olarak birim alana düşen ve elektromanyetik dalganın hareket doğrultusuna dik olan, yüzeydeki gücün yoğunluğu olarak belirtilir. Baz istasyonlarından kaynaklanan güç yoğunluğunun önceden belirlenmiş olan sınır değerlere uygun olup olmadığı TÜBİTAK ve üniversiteler tarafından yapılan ölçümler sonucunda belirlenir[11]. Bu ölçüm esnasında kullanılan cihazlar bazı parametrelerin de bilinmesi yardımıyla güç yoğunluğu değerini ölçer. Ölçüm yapılmayan durumlarda ise basit bir hesaplama ile ulaşılabilecek güç yoğunluğu değeri hesaplanabilir. Bu hesaplama için bilinmesi gereken parametreler ise;

$$P_v = \text{Verici gücü (Watt)}$$

$$P_a = \text{Alıcı gücü (Watt)}$$

$S = \text{Güç Yoğunluğu } (W / m^2)$

$G_v, G_a = \text{Verici ve Alıcı anten kazançları}$

$R = \text{Verici – alıcı uzaklığı (m)}$

$\lambda = \text{Dalga boyu (m)}$

$f = \text{frekans (Hz) ,}$

olarak belirtilir.

Gücü  $P_v$  olan bir vericiden R kadar uzaklıkta güç yoğunluğunu veren eşitlik;

$$S = \frac{P_v}{4\pi R^2} (W / m^2) \quad (2.1);$$

şeklinde. Verici anten, genelde, kazancı G olan, yani belli doğrultuda istenen ışınmasını yapan yöneltili karaktere sahiptir. Bu durumda ışınmanın en fazla olduğu doğrultuda güç yoğunluğu;

$$S = \frac{P_v G_v}{4\pi R^2} (W / m^2) \quad (2.2);$$

olur. Vericiden R kadar uzaklıkta bu güç yoğunluğundan yönsüz bir anten ile çekilebilecek güç;

$$S = \frac{P_v G_v}{4\pi R^2} A_e (W) \quad (2.3);$$

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_a (m^2) \quad (2.4);$$

olacaktır. Yönsüz bir antenin kazancı  $G=1$  (0 dB) olarak alınırsa alıcıdaki güç;

$$P_a = \frac{P_v G_v G_a}{4\pi R^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} (W) \quad (2.5);$$

eşitliği ile hesaplanır. Alıcının olduğu noktadaki güç yoğunluğu ayrıca;

$$S = \frac{E}{120\pi} (W / m^2) \quad (2.6);$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Ayrıca alıcı noktasındaki elektrik alan ise;

$$E = \frac{\sqrt{30P_v G_v}}{R} (V / m) \quad (2.7);$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

## 2.6 Güvenlik Mesafesi Hesaplanması

İlgili Yönetmeliğin limit değerleri ve Güvenlik Mesafesi hesabı kullanılmak suretiyle sabit telekomünikasyon cihaz ve sistemlerinin civarında insanların emniyet ve güvenle sürekli bulunabilecekleri güvenli alanlar belirlenebilmesi için ölçümler yapılmakta ve Telekomünikasyon Kurumu bir sabit telekomünikasyon cihaz veya sistemi kurma izni ancak insanların yaşadığı mekânlar ve tüm bina ve bahçe müştemilatıyla birlikte okul öncesi ve temel eğitim kurumlarının güvenli alanda bulunabilmesi halinde verilmektedir[11].

Bir sabit telekomünikasyon cihaz ve sistemine kurma izni öncesi Telekomünikasyon Kurumu daha sonra istasyonun kurularak hizmete verilmesi aşamasında yapılacak teknik ölçüm ve kontrollerin, Yönetmelik hükümleri açısından belirtilen güvenli alan içinde uygun bulunması halinde Güvenlik Sertifikası onaylanmaktadır. Güvenlik Sertifikasının istasyonda vatandaşlarımızın kolayca görebileceği bir konuma asılması ve bu suretle istasyon etrafındaki güvenli bölgenin herkes tarafından bilinmesi mümkün olmaktadır[11].



Güvenlik mesafesi şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$D = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot 10^{\frac{G}{10}}}}{E} \quad (2.8);$$

P: Cihaz çıkış gücünü (Watt)

G: Anten kazancını (dBi)

E: Elektrik alan limit değerini (900 MHz frekansında tek bir cihaz için: 10.23 V/m)

D: Güvenlik mesafesini (metre)

Eşitlikten de anlayabileceğimiz gibi Güvenlik Mesafesinin hesaplanması için baz aktarım istasyonunun istenen yöndeki çıkış gücü, anten kazancı ve hesaplanmak istenen alana göre elektrik alan limit değerinin bilinmesi gerekmektedir.

## **3. BÖLÜM GSM Sisteminde RF Radyasyon ve SAR Değeri**

### **3.1 Radyasyon ve Türleri**

Radyasyon, madde içerisinde soğurulan ve transfer edilen enerji olarak ifade edilebilir. Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları; tıpta, endüstride kullanılan x ışınları, güneş ışınları, günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir. Bir elementin özelliklerini taşıyan en küçük ögesi atomdur. Pozitif yüklü atom çekirdekleri negatif yüklü elektronlarla birlikte nötr olan atomları oluşturmaktadır. Bir atom çekirdeğinin kararsız durumdan daha kararlı bir duruma geçerken elektromanyetik dalga veya parçacık şeklinde enerji yayılmasına radyasyon (ışınım) denir. Radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan olmak üzere iki grupta toplanabilir[8,16].

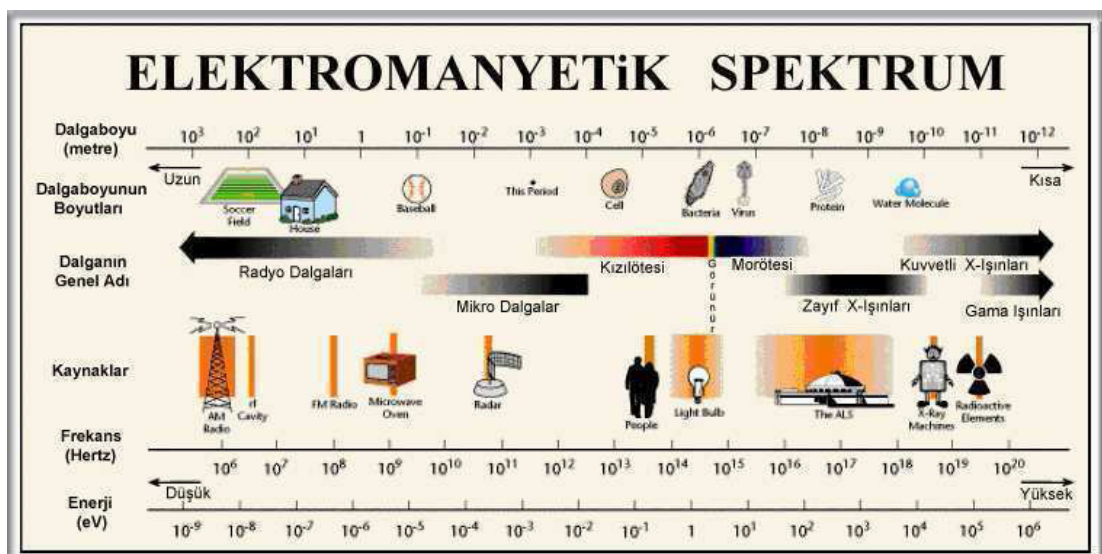
Elektromanyetik dalgaların davranışlarını belirleyen en önemli özellik bu dalgaların frekansıdır. Frekans, manyetik alanın bir saniye içindeki 180 derecelik yön değiştirme sayısıdır. EM dalgaların dalga boyları ve sahip oldukları enerji miktarı frekans ile doğrudan ilintilidir. Dalga boyu frekans arttıkça azalır, taşınan enerji miktarı ise frekans ile doğru orantılıdır. EM dalgalar frekanslarına göre sınıflandırılır buna elektromanyetik spektrum denir. EM spektrum üzerindeki ana dalga grupları Şekil 3.1' de gösterilmiştir[17].

#### **3.1.1 İyonlaştırıcı Radyasyon**

Madde içinden geçerken enerjisini ortama aktarmak yoluyla ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran radyasyon türüdür. Bu radyasyon türü şu şekilde sınıflandırılabilir[16].

- Mor ötesi
- X-ışınları

Mor ötesi ve gama ışınları ile alfa, beta ve nötron parçacıklarının yayılması gibi özellikle yüksek frekanslarda, EM enerji bir dalga gibi değil de bir tanecik (foton) gibi davranır. Her taneciğin nasıl bir biyolojik etki yapacağı fotonun taşıdığı enerjiye bağlıdır[17]. Çok yüksek frekanslarda, UV ve X-ışını, EM foton kimyasal bağları kırarak kadar enerjiye sahiptir. Bağların kırılması olayı iyonlaşma olarak adlandırılır. EM spektrumun bu bölümüne de “iyonize bölüm” adı verilir. İyonize bölümde yer alan X-ışınlarının en iyi bilinen biyolojik etkisi molekülleri iyonlaştırmasıdır. X-ışınlarının frekansları 1 milyon MHZ civarındadır; bu değer, manyetik alanın saniyede 1 trilyon kez yön değiştirmesi demektir. Radyo dalgalarının frekanslarının birkaç yüz MHZ olduğu düşünülürse X-ışınının ne kadar yüksek frekanslı olduğu anlaşılabilir. Çok yüksek frekanslı olduklarından iyonlaştırıcı EM dalgaların taşıdığı enerji miktarı da çok yüksektir. EM parçacıklar genetik malzemenin (DNA) ikili sarmal yapısını bozacak yeterde enerjiye sahiptirler; “iyonlaştırıcı” teriminin kaynağı bu yapı bozma olayıdır. DNA yapısında meydana gelen bozulmalar kanser ve sakat doğumlar gibi ciddi zararlara neden olabilir. X-ışınının dışında mor ötesi ışınların da kanser olasılığını artırıcı etkisi olduğu bilinmektedir (Ozon tabakasını delinmesiyle beraber dünya üzerindeki cilt kanseri oranının artması, mor ötesi ışınların bu etkisi ile ilgilidir).



Şekil 3.1 Elektromanyetik Spektrum [17]

### 3.1.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Yeterince enerjisi olmadığı için ortamdaki atomları iyonlaştırmayan radyasyon türüdür. Bu radyasyon türünü şu şekilde sınıflandırabiliriz[16](Şekil 3.1).

- Çok düşük frekanslar(ELF)
- Radyo Frekansları (RF)
- Kızıl ötesi
- Mikro dalga
- Görünür Işık

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynakları da biyolojik etkiler yapabilir. UV, görünür ışık ve IR frekansların pek çok biyolojik etkisi fotonun enerjisine bağlıdır. Ancak bunlar iyonlaşmadan daha çok elektronik uyarım yaparlar. Bu durum IR'nin ( $3 \times 10^{11}$  Hz) altındaki frekanslarda gerçekleşmez. RF ve mikrodalga kaynakları dokuyu, elektrik akımı indükleyerek etkileyebilirler. Bu da ısıya neden olur. GSM sisteminde kullanılan yüksek frekanslı RF dalgaları buna örnek olarak verilebilir. Radyasyon kaynağının enerjisine göre, elektrik akımının ve oluşan ısının değeri, kaynağın frekansına, ısıtılan maddenin boyutuna ve ısınma özelliğine bağlı olarak değişir. AM radyo (yaklaşık 106 Hz) frekansının altındaki frekanslarda radyasyon insan ve hayvan vücutları üzerinde iki kat daha zayıftır. Bu yüzden de elektrik akımı oluşturma veya ısı etkisi oluşturma konusunda çok etkisizdirler[17].

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun vücut içerisindeki kimyasal bağları koparacak güçte enerjisi olmamasından dolayı iyonlaştırıcı radyasyon ile arasında herhangi bir benzerlik bulunmamaktadır[13]. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon genetik malzemeyi bozacak enerjiye sahip değildir.

## 3.2 GSM Sisteminde RF Radyasyonun Etkisi

Bir önceki bölümde belirtmiş olduğumuz radyasyon sınıfları arasında GSM sisteminde kullanılan RF dalgalarının etkisinden söz etmemiz gerekir. Baz istasyonlarından ve cep telefonlarından kaynaklanan radyo dalgalarının etkilerini genel olarak iki bölümde altında inceleyebiliriz.

### 3.2.1 Termal Etkiler

RF dalgaları belirli bir miktar enerji taşıdıkları için, bu dalgalar beden tarafından emilince taşınan enerji de dokulara geçer ve dokuların ısınmasına yol açar. RF alanlarının ısınma sonucunda çeşitli sağlık sorunları oluşturduğu bilinmektedir. RF alanları, 1MHz'in üzerindeki frekanslardaki birincil etkisi bulunduğu ortamda iyonları ve su moleküllerini ortaya doğru hareket ettirerek ısınmaya neden olur. RF'nin çok küçük değerlerinde bile az miktarda ısı oluşur. Ancak bu ısı kişi fark etmeden vücudun normal ısı düzenleyici mekanizması tarafından uzaklaştırılır. 1 MHz'in altındaki frekanslardaki RF alanların birincil etkisi sinir ve kas dokularındaki hücreleri uyaran elektrik yüklerini ve akımlarını oluşturmaktır. Bunlar yaşam için gerekli kimyasal reaksiyonların bir parçası olarak vücut içinde zaten vardır. Eğer RF alanları, vücudun normal seviyesinden daha yüksek oranda akım oluşturlarsa bunun sonucunda önemli sağlık sorunları oluşabilir[18].

### 3.2.2 Termal Olmayan Etkiler

Termal olmayan etkiler açık şekilde ortaya çıkarılamayan ve ölçüme uygun olmayan etkilerdir. RF dalgalarının uzun sürede oluşabilecek etkileri konusunda şu ana kadar yapılan çalışmalar halen devam etmektedir. Termal olmayan etkiler genellikle, düşük seviyeli, uzun süreli RF radyasyon emilimi sonucu ortaya çıkarlar. Bu etkilerin hayvanlar ve hücre kültürleri üzerinde birtakım biyolojik etkiler olduğu deneylerle belirlenmiştir. Fakat şu ana kadar yapılan araştırmaların hiç biri RF dalgalarının zararlı herhangi bir termal olmayan etkisi olduğu yolunda bir sonuca ulaşmamıştır[19].

### 3.3 GSM Sisteminde RF Alanlarında Güç Soğurma

RF dalgalarına maruz kalan insan vücudu, soğurulan enerjinin ısıya dönüşmesinden dolayı yüksek frekans alan tüm vücut veya bazı bölgeler bu soğurulan enerjiden etkilenir. Bu ısıl etkilenme ısının içeride oluşmasından dolayı deri tarafından algılanamayarak sadece vücut kontrol sisteminin etkilenmesi şeklinde olur. RF dalgasının frekansı ise bu etkinin direk olarak bağlı olduğu bir etkidir[14]. RF dalgasının vücudun ısısının değişimindeki etkisini önlemek amacıyla Elektrik Alan Şiddeti, Manyetik Alan Şiddeti ve Güç Yoğunluğu için standart değerler geliştirilmiştir. Genel olarak belirlenen RF dalgalarının standartları önceki bölümde bahsetmiş olduğum Güç yoğunluğu cinsinden ifade edilir.

Temel sınır değer olarak insan vücudundaki bir derecelik sıcaklık artışına neden olan elektromanyetik güç soğurulması belirtilir. Ne kadar insan vücudu kontrol sistemi bu sıcaklık artışlarını belli bir oranda düzenlemeye çalışsa da uzun dönem içerisindeki soğurulma vücudu olumsuz etkiler. Soğurulan gücün teorik dozimetresinin hesabı için geliştirilmiş modeller arasında, insan vücudunu çevreleyen deri, kan ve kas gibi dokuların temsil edildiği tabaka modeli, küresel modeller, yumurtamsı modeller, silindirseller ve insan vücudunu simüle eden küçük hücrelerden oluşmuş blok modeller sayılabilir. Bu modellerin hiçbirisi tek başına insan vücudunu temsil etmek için uygun değildir. Bu yüzden son zamanlarda pek çok laboratuvarında insan vücudunun anatomik yapısının ve birçok dokusunun belirtildiği heterojen modeller geliştirilmeye başlandı. Bu modeller manyetik rezonans resimlerinin (MRI-magnetic resonance imaging) bilgisayarda simülasyonu ile gerçekleştirilmiş ve uygun doku tipine göre yerleştirilmiştir. Tüm bu modellerde kullanılan genel yol, soğurulan enerjiyi bulmaktır[7].

Düşük frekanslı RF radyasyondan kaynaklanan, dokulardaki güç soğurulması, genelde ihmal edilebilir derecededir. Bu nedenle vücut sıcaklığında kayda değer bir artış yapmaz. Ancak 100 kHz 'in üzerindeki frekanslarda durum değişir ve güç

soğurulması anlamlı oranlara ulaşır. Bu anlamda dört farklı frekans bölgesi ve etkileşimden söz edilebilir[14]:

- 100 kHz ile 20 MHz arasında güç soğurulması daha çok boyun ve ayaklarda görülür.
- 20 MHz ile 300 MHz arasında hem vücudun tümünde hem de kısmi bölgelerde, rezonans etkisi nedeniyle, anlamlı güç soğurulmaları olabilir.
- 300 MHz ile birkaç GHz arasında yerel ve farklı güç soğurulmaları ile karşılaşılabilir.
- 10 GHz'in üzerinde ise vücudun yüzeye yakın olan kısımlarında güç soğurulması söz konusudur.

### 3.4 Özgül Soğrulma Oranı (SAR)

Cep telefonu tarafından yayılan radyasyonun yaklaşık olarak %50'si kullanıcının başı ve telefonu tutan eli tarafından soğurulur. Spesifik Absorbstion Rate (SAR) dokulardaki RF kaynaklı sıcaklık artışı ile ilişkilendirilen biyolojik etkilerin ölçüm birimi olup, dokunun iletkenliği ile ilgilidir ve iletkenlik dokunun su içeriği ile artar. Birimi dokunun kilogramı başına absorbe edilen enerji anlamında W/ kg olarak ifade edilir[4]. Temel olarak ortalama insanda vücut sıcaklığını 1° arttıracak EM güç soğrulmasının zararlı olduğu belirtilmiş ve bir dokunun ya da vücudun maruz kaldığı elektromanyetik alandan dolayı meydana gelen soğrulma “Özgül Soğrulma Oranı” (Specific Absorption Ratio ) ya da “Özgül Emilim Oranı” ile tanımlanmıştır. SAR vücuda verilmiş olan enerjinin değerlendirmesini bir birim zamana karşı bir birim kütle olarak verir.

Biyolojik dokunun birim kütlesi tarafından soğrulan enerji miktarı;

$$SA = \frac{d(SA)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dW}{dm}\right)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dW}{\rho dV}\right)}{dt} \left[ \frac{W}{kg} \right] \quad (3.1);$$

Birim kütlesi tarafından soğrulan enerji  $dW$  ise özgül soğrulma;

$$SA = \frac{dm}{dW} \quad (3.2);$$

Birim kütle ifadesi ise (  $\rho \frac{kg}{m^3}$  ) vücut yoğunluğu cinsinden yazıldığında özgül soğrulma;

$$SA = \frac{dW}{\rho dV} [Joule / kg] \quad (3.3);$$

şeklinde ifade edilir. Soğrulan elektromanyetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğrulma oranı;

$$SA = \frac{d(SA)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dW}{dm}\right)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dW}{\rho dV}\right)}{dt} \left[ \frac{W}{kg} \right] \quad (3.4);$$

verilen kütle yoğunluğundaki (  $\rho$  ) hacim elemanı (dV) içerisinde, emilen enerji artışının zamana göre türevi (dW) veya kütle artışına dağılımı (dm) olarak ifade edilir. Bu denklem harmonik değişim gösteren EM alanlarda şöyle ifade edilir.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E_i|^2 = \frac{\omega \epsilon_0 \epsilon''}{2\rho} |E_i|^2 \quad (3.5);$$

Burada;

$\sigma$  Doku iletkenliği (S/m)

$\epsilon_0$  Serbest uzayın dielektrik sabiti (  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m)

$\epsilon''$  Kayıp Faktörü

$\omega = 2\pi f$  Radyasyon Frekansı

$f$  Frekans (Hz)

$E_i$  İç Elektrik alanın en üst değeri (V/m)

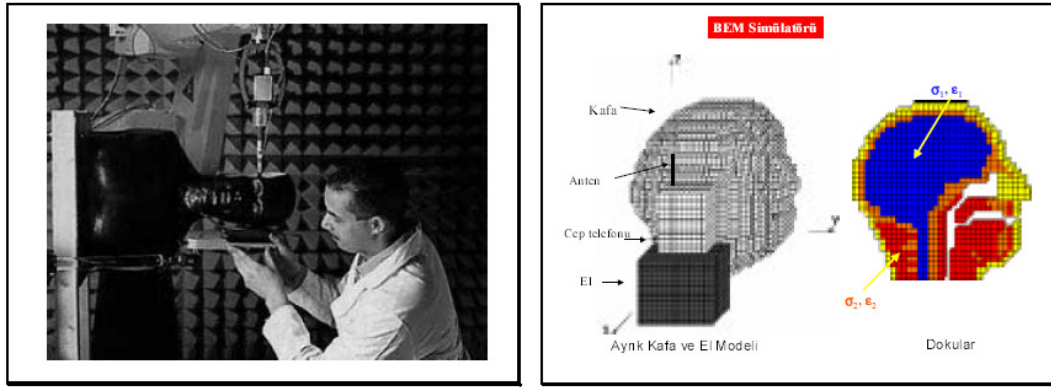
SAR Özgül soğrulma oranı (W/kg) , olarak tanımlanır.



Ortalama SAR, alana maruz kalan vücutta emilen toplam gücün, kütlesine oranı olarak tanımlanır ve bağıntıdan göreceğimiz gibi SAR  $\epsilon''$  ve  $\sigma$  ile doğru orantılıdır.  $\epsilon''$  ve  $\sigma$  su oranı yüksek malzemelerde yüksek, düşük malzemelerde düşük bir orana sahiptir. Örnek olarak  $\epsilon''$ , kuru kâğıt için çok düşük, ıslak kâğıt için biraz daha yüksektir. Vücudumuzda bulunan kemik ve yağ dokusu, vücut sıvılarına göre çok daha az soğurmaya maruz kalırlar[3].

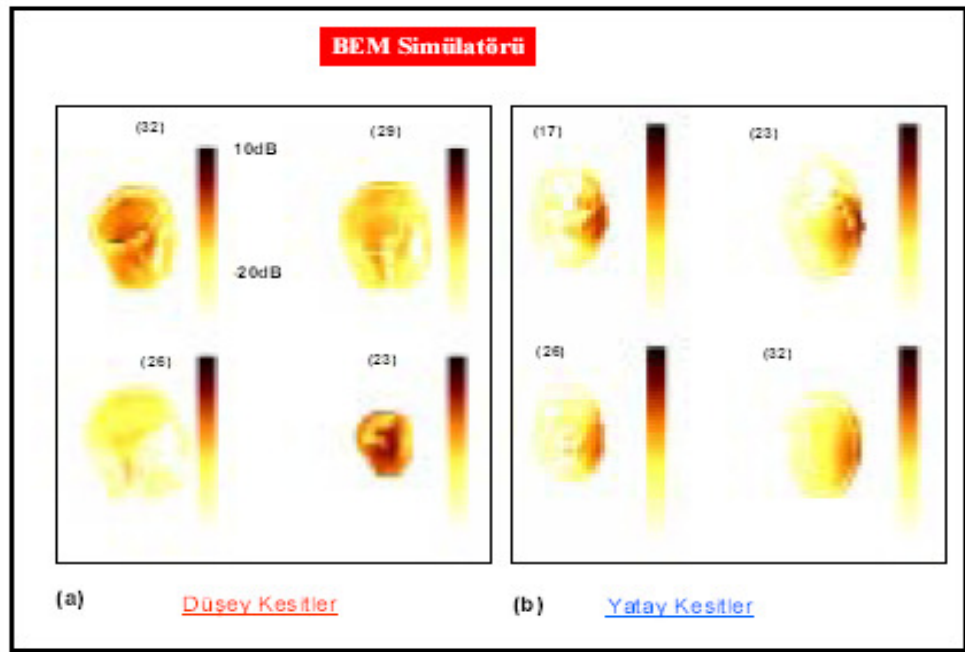
Bu güne kadar yapılan araştırmalar, insan vücudunun 1°C'lik sıcaklık artışını düzenleyemediğini ve vücutta sorunlar oluşturduğunu göstermektedir. Temel olarak normal bir insanın kan dolaşımında 4 W/kg değeri bulunmuştur[40]. Yani kilogram başına dokuların soğrulabileceği maksimum güç 4 W olarak belirlenmiştir. Temel etkileme sınırı, mesleki etkilenme SAR sınırı değerinin 1/10'u olarak alınır. Yani mesleki ortalama etkilenme SAR sınırı, 4/10 = 0,4 [W/kg]'dır. Burada güvenlik katsayısı olarak 1/10 alınmıştır. Genel halk sağlığı için güvenlik katsayısı 5 kat daha artırılarak 1/50 seçilmiştir. Yani genel halk sağlığı ortalama etkilenme SAR sınırı, 4/50 = 0,08 [W/kg] olarak belirlenmiştir. İnsanların genel yaşam alanlarında, bu değer ellide biri (50 kat güvenlik payı ile) olan 0.08W/kg SAR sınır değeri olarak bulunur. Bu sınır değeri bir veya birden fazla RF ışın kaynağı tarafından vücudun bir çalışma günü boyunca herhangi bir 6 dakikalık periyotta ki ortalama etkilenme değeridir. Mesleki etkilenme sınırı, sistemin gerçekleştirilmesinde ve bakımında çalışanların ışımaya karşı korunur olmaları nedeniyle genel halk sağlığı sınırından daha yüksek tutulmuştur[3,7].

SAR değerinin bulunması için dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle SAR ölçümleri Şekil 3.2 'de verildiği gibi ya insanın EM özelliklerine yakın tuzlu su ya da değişik kimyasal jellerden yapılmış robotlar üzerinde yapılır, ya da bu amaçla güçlü sayısal teknikler kullanılarak bilgisayar simülasyonlarından yararlanılır [22,23].



**Şekil 3.2** Dokularda yutulan Radyasyon modellenmesi, Robotlar üzerinde SAR ölçümü ve Bilgisayar yardımıyla SAR simülasyonu[22,23].

Robotlar üzerinde yapılan ölçümler ve bilgisayar simülasyonları sonucu Şekil 3.3 de verilen SAR dağılımları elde edilir. Burada, yatay ve dikey kafa kesitlerindeki SAR değerleri gösterilmiştir. Koyu renkler yüksek SAR değerine karşı geldiğinden o doku içinde daha fazla zararlı EM enerji yutulması demektir.

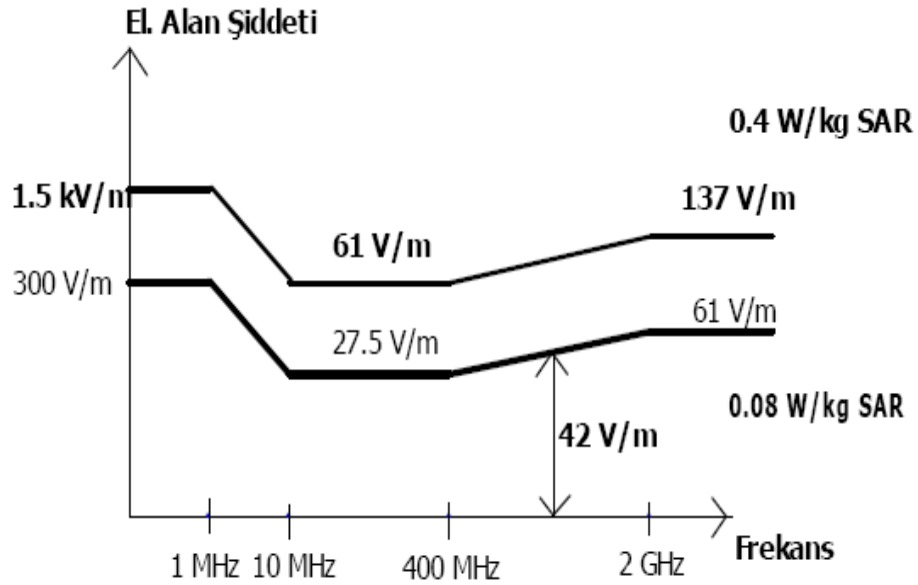


**Şekil 3.3** SAR simülasyon sonuçları

SAR modellemesi cep telefonu ile insan kafası etkileşiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsanın göz, kulak, beyin gibi hassas uzuvlarının olduğu kafasının birkaç milim ötesinde 1,2 Watt mertebesinde güç yayan bir cihazı kullanmasının kısa

ve uzun dönem etkileri çok önemli olabilir. Baz istasyonların ve cep telefonlarından kaynaklanan RF radyasyonun soğrulması sonucu kafa bölgesi için oluşan SAR değerinin hesaplanmasında kullanılan simülasyon programlarının çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür[39].

Baz istasyonları ve diğer cihazlar açısından limitleri SAR değeriyle belirlemek pratik olmaktan uzaktır. Bu nedenle SAR değeri olarak verilen temel limitlerden türetilmiş limitlere geçilir ve (kolay ölçülebilir olması nedeniyle) elektrik alan şiddeti ya da güç yoğunluğu olarak verilir. Şekil 3.4 de türetilmiş limitlere bir örnek gösterilmiştir. Burada frekansa göre temel limitlerden yola çıkarak elde edilen ve izin verilen en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri gösterilmektedir.(Kabaca insan vücudunun ortalama iletkenliği  $\sigma=1\text{S/m}$ , yoğunluğu  $\rho=0.001\text{kg/m}^3$  alındığında  $1.6\text{W/kg}$ ’lık SAR değeri  $40\text{V/m}$  şiddetindeki elektrik alana karşı gelmektedir.)



Şekil 3.4 SAR için elektrik alan şiddeti olarak türetilmiş değerler

Çevre Bakanlığınca 11 Mayıs 2000 tarihinde yayımlanan genelge [42] AB ve IRPA referanslarıyla sınır değerleri 900MHz bölgesinde  $42\text{ [V/m]}$  , 1800MHz bölgesinde ise  $59\text{ [V/m]}$  olarak belirlenmiştir. Bu değerler uzak alan [21] varsayımı

ile belirlenmiş olup elektrik alan “E” manyetik alan “H” ve güç yoğunluğu “S” arasındaki ilişki;

$$H = \frac{E}{377} (A / m) \quad (3.6);$$

$$S = \frac{E^2}{377} (W / m^2) \quad (3.7);$$

eşitliklerin den bulunabilir.

### **3.5 GSM Sisteminde Uluslararası Standartlar ve Sınır Değerler**

Elektromanyetik alanlarla etkileşme sonucu elektromanyetik alan etkisi altında kalma süresi maruziyet şartları olarak tanımlanmakta ve mevcut alan hareketli cisimler ve insan olmadığında bir başka deyişle “değişikliğe uğramamış alan” değeri ile karakterize edilmektedir. İnsan sağlığına zarar vermemek için tanımlanan temel sınırlamalar kontrol edilmesi gereken biyolojik etkiler ile yakından ilgili olan şartlar belirli değer ve miktarlardır. Söz konusu sınırlamalar göz önüne alınan frekans aralığı için indüklenen akım yoğunluğu, temas akımı, elektrik ve manyetik alan terimleri cinsinden belirlenmektedir. Referans seviyeleri, temel sınırlamalardan çıkarılan alan seviyeleri gibi ölçülebilir değerler olup temel sınırlamalarla uyumluluğu kontrol edilmektedir. Referans seviyeleri geniş kapsamlı maruziyet durumları da göz önünde bulundurularak alanın değerinin tanımlanmış olan referans seviyelerinin altında olması durumunda dahi en kötü durumda temel sınırlamaların aşamayacağı şekilde üretilmiştir.

RF enerji ile canlı doku arasındaki etkileşimi inceleyen alana BEM (Biyo-Elektromanyetik) adı verilmiştir. BEM mühendisliği EM enerji ile insan arasındaki etkileşimi inceler. İncelemelerde iki farklı limit ele alınmıştır. Bunlar “Temel limit” ve “Türetilmiş limitler” olarak belirtilmiştir[40,41].

Temel limit değer olarak insan vücutunda bir derecelik sıcaklık artışına neden olan elektromanyetik güç soğrulmasından yola çıkılmaktadır. Eğer vücut sıcaklığı bir derece artar ve bu durum birkaç gün sürerse, insan vücutu bunu düzenlemekte zorlanır ve kısa dönemli olumsuz etkiler ortaya çıkabilir[11]. Türetilmiş limitler için ise Elektrik Alan Şiddeti, Manyetik Alan Şiddeti ve Güç Yoğunluğu için standart değerler belirlenmiştir[21].

GSM sisteminde halkın ve işi gereği RF dalgasına maruz kalan insanların zarar görmemesi amacıyla geliştirilen bu standart değerler başlıca 2 kurum tarafından belirlenmekte olup, bu kurumlar şu şekildedir;

1. ANSI (IEEE): Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
2. ICNIRP: Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu

Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection- Uluslar arası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur.

Amerika Birleşik Devletleri'nde bu sınır değerler Federal Komünikasyon Komisyonu, FCC(Federal Communications Commission) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü, IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü, ANSI (American National Standarts Institute) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır.

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda oluşturulan sınır değerler frekansa göre değişiklik gösterir. Örneğin 400–2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için ICNIRP Kılavuzunda yer alan sınır değerler;

- Elektrik Alan Şiddeti  $1,375 f^{\frac{1}{2}}$  V/m (f=frekans(MHz));
- Manyetik Alan Şiddeti için  $0,0037 f^{\frac{1}{2}}$  A/m;
- Elektromanyetik Güç Yoğunluğu için  $f / 200 W / m^2$  ;

ifadeleri ile verilmiştir. Bu ifadelerle verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir.

Bunun yanında IEEE standartlarında ise Güç Yoğunluğu üst sınırı

- 300–1500 MHz frekans aralığında  $f / 150 W / m^2$  ;
- 1500–100000 MHz frekans aralığında  $10.0 W / m^2$  ;

olarak verilmiş olup, bu ifadelerle verilen sınır değerler otuz dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir.

Standartlar 2 farklı grup için belirlenmiştir. Bunlar;

- Mesleği nedeni ile elektromanyetik enerjiye maruz kalanlar (kontrollü etkilenme) ;
- İstemleri ya da kontrolleri dışında etkilenenler için (kontROLSÜZ etkilenme-genel yaşam alanları) ; olup, farklı sınır değerleri vardır.

GSM900 ve DCS1800 sistemleri için kontROLSÜZ etkilenme için sınır değerleri Tablo 3.1 'de verilmiştir.

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	ICNIRP	IEEE/FCC	ICNIRP	IEEE/FCC
<b>Elektrik Alan Şiddeti</b>	41,25 V/m	-	58,33 V/m	-
<b>Manyetik Alan Şiddeti</b>	0,111 A/m	-	0,157 A/m	-
<b>Güç Yoğunluğu</b>	$4,5 W / m^2$	$6,0 W / m^2$	$9,0 W / m^2$	$10,0 W / m^2$

**Tablo 3.1** KontROLSÜZ etkilenme için sınır değerler [21].

Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.07.2001 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” ile Türkiye’de geçerli olan sınır değerleri belirlenmiştir. Bu yönetmelikte yer alan sınır değerlerinin belirlenmesinde ICNIRP Kılavuzu’nda yer alan sınır değerler esas alınmış olup, buna ek olarak her baz istasyonu için ayrıca sınırlama getirilmiştir.

Türkiye’de 900 MHz ve 1800 MHz ’de kontrolsüz etkilenme için uyulması gereken sınır değerler Tablo 3.2 ’de verilmiştir.

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamın toplam sınır değeri
<b>Elektrik Alan Şiddeti</b>	10,23 V/m	41,25 V/m	14,47 V/m	58,34 V/m
<b>Manyetik Alan Şiddeti</b>	0,027 A/m	0,111 A/m	0,038 A/m	0,157 A/m
<b>Güç Yoğunluğu</b>	0,28 W/m <sup>2</sup>	4,5 W/m <sup>2</sup>	0,56 W/m <sup>2</sup>	9,0 W/m <sup>2</sup>

**Tablo 3.2** Türkiye de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler [11].

Bilimsel çalışmalar sonucunda insan vücut sıcaklığını 1°C arttırabilecek alt değerler belirlenmiş ve mesleği gereği bu tür alanlara maruz kalanlar için bu değerlerin güç yoğunluğu cinsinden 1/10’unun, genel insan yaşam alanları için ise 5 kat daha ek koruma faktörü eklenerek 1/50’sinin sınır değerler olarak alınması kabul edilmiştir[27]. Kontrollü ve kontrolsüz etkilenme için sınır değerler belirlenirken mesleği gereği elektromanyetik alanlara maruz kalanların konu hakkında bilgilendirilmiş ve gerekli önlemleri almış olabilecekleri varsayımı yapılmış ve genel yaşam alanlarında insanların kendi bilgi ve kontrolleri dışındaki etkilenmeleri düşünülerek kontrolsüz alanlar için sınır değerlere ek olarak 5 kat koruma faktörü eklenmiştir.

GSM 900 ve DCS 1800 sistemleri için kontrollü etkilenme sınır değerleri Tablo 3.3 'de verilmiştir.

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	ICNIRP	IEEE/FCC	ICNIRP	IEEE/FCC
<b>Elektrik Alan Şiddeti</b>	90,0 V/m	-	127,28 V/m	-
<b>Manyetik Alan Şiddeti</b>	0,24 A/m	-	0,34 A/m	-
<b>Güç Yoğunluğu</b>	22,5 W/m <sup>2</sup>	30,0 W/m <sup>2</sup>	45,0 W/m <sup>2</sup>	50,0 W/m <sup>2</sup>

**Tablo 3.3** Kontrollü etkilenme için sınır değerler

GSM şebekeleri için verilen sınır değerler incelendiğinde, Türkiye'de uygulanan standartların Avrupa Birliği ile uyum sağladığı Tablo 3.4 'de görülmektedir.

Ülkeler	Elektrik Alan (V/m)		Güç yoğunluğu (mW / cm <sup>2</sup> )	
	900MHz	1800MHz	900MHz	1800MHz
<b>Türkiye</b>	42	57	450	900
<b>Avrupa Birliği</b>	41	58	450	900
<b>Rusya</b>	6	6	10	10
<b>İtalya</b>	6	6	10	10
<b>2010yılı önerilen</b>	0,15	0,06	0,005	0,001

**Tablo 3.4** GSM Şebekeleri için önerilen limit değerler[11].

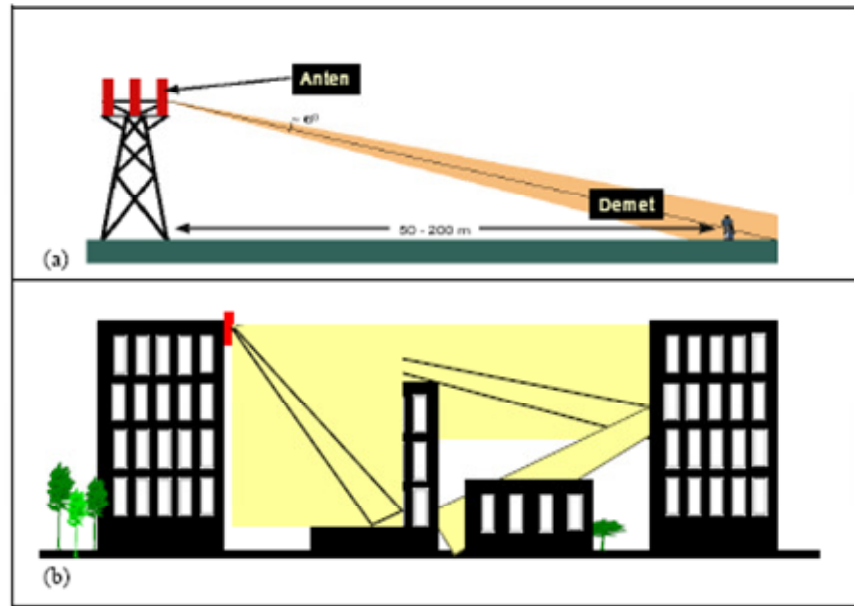
### 3.6 Baz İstasyonları ve Cep Telefonları İçin Yapılan İncelemeler

Cep telefonları ve baz istasyonları tarafından kullanılan radyo frekans dalgalarına insanlar iki farklı şekilde maruz kalabilmektedir. Cep telefonlarından yayılan radyo frekans dalgaları vücudun çoğunlukla baş olmak üzere sadece bir kısmını etkilerken, baz istasyonlarından yayılan dalgalar tüm vücudu etkilemektedir. Bu iki radyasyon şiddet ve yoğunluk açısından farklılık göstermektedir [21].



Her baz aktarım istasyonu 16 farklı frekans üzerinden RF dalgaları yayabilir, bu frekansların her birine “kanal” denir. Baz istasyonundaki anten sayısı arttıkça, üzerinden yayın yapılan frekans sayısı da artmaktadır. Bir baz istasyonunun en fazla 6 antene sahip olabildiği için en fazla 96 farklı frekanstan yayın yapabilir. ABD Federal Haberleşme Komisyonu, her kanaldan maksimum 50 watt gücünde yayın yapılabileceğini standartlarında belirtmiştir, ama GSM operatörleri en fazla kanal başına 40 Watt çıkış gücüyle yayın yapmaktadırlar. Hatta şehirlerde bu değer 1 Watt civarına düşmektedir, çünkü yan yana kurulan hücrelerden yayılan yüksek çıkış güçlü RF dalgalar girişime neden olabilir ki bu da ses iletim kalitesini düşürmektedir..

Baz aktarım istasyonları tipik olarak 10-30m yüksekliğindeki kulelere yerleştirilir ve genelde her kulede  $120^\circ$  derecelik yatay açıyı kapsayan üç anten bulunur. Her anten düşeyde tipik olarak  $5-6^\circ$  derecelik huzmeye sahiptir. Bu huzme yataydan biraz aşağı yöneltilerek kuleye en yakın 50 m’ de yere değer. Her anten birkaç konuşma kanalına (tipik olarak 2-4, en fazla 16) sahiptir. Bir kule ile 30-40km’lik yarıçaplı bir alanın kapsanabilmesi için her kanal ortalama 40-60 W çıkış gücüne ve antenler 15-18 dB kazançla sahiptir. 60W güç ile 10m yüksekliğindeki bir kuleden 50m ileride ölçülecek alan şiddeti 4-6 V/m civarında olacaktır. Bu değer çevredeki yakın binalardan ya da balkonlardan yansıma durumunda artabilir.



**Sekil 3.5** Tipik Baz istasyonu tesisleri ve EM enerji yayılımı[21].



radio yayınlarından dolayı belirli bir miktar EM dalga art alanı bulunmaktadır. Cep telefonu antenlerinden yayılan RF dalgaların bu EM dalga ortamına yaptığı katkı çok büyük olmayıp, genellikle bu art alan değerinden altında kalmaktadır. Bu yüzden, tipik baz istasyon antenleri çevresinde yapılan ölçümler göstermiştir ki, halkın maruz kaldığı RF şiddeti standartlarca tavsiye edilen değerlerin çok altındadır[46].

Şu ana kadar belirtmiş olduğum çalışmalardan anlaşılacağı üzere baz istasyonlarından yayılan RF dalgaların gücü izin verilen değerlerin onlarca kat altındadır. Fakat bazı ender durumlarda antenlerden emilen radyasyon, sınır değerleri aşabilmektedir. Örneğin, çatılara yerleştirilen antenlere eğer 1 metreden daha yakına gelinebiliyorsa, bina sakinleri bundan zarar görebilmektedir. Böyle bir durumda emilen radyasyonun gücü  $1\text{mW}/\text{cm}^2$ 'e kadar çıkabilmektedir. Böyle durumları engellemek için antenler çatılarda bir platform üzerine yerleştirilmelidir.

Cep telefonlarında durum daha farklı olarak ortalama 2W çıkış gücüne sahip 900MHz'de çalışan bir cep telefonundan 2.2cm ötede 400V/m şiddetinde elektrik alan değeri ölçülmüştür. Bu değer 1800MHz ve 1W çıkış gücü ile 200V/m'dir[21].

Dünya Sağlık Örgütü tarafından 1996 yılından beri yürütülen Elektromanyetik Alan Projesinde (WHO-EMF Project) cep telefonu SAR değerleri için üst sınıra (0.08 W/kg) yakın olan 0.1 W/kg SAR değeri önerilmektedir. Bu değer üzerindeki cep telefonlarının kullanılmaması tercih edilmelidir. Kullanılan bazı marka ve model cep telefonlarının SAR değerleri Tablo 3.1 'de belirtilmiştir. Farklı telefon marka ve modelleri için değerler ilgili sitelerden edinilebilir[48].

<b>Marka Model</b>	<b>SAR (W/kg)</b>
Motorola Star Tac 130 .....	0.10
Nokia Nokia 8810 .....	0.22
Hagenuk Global .....	0.28
Motorola StarTac .....	0.33
Motorola i1000plus .....	0.35
Mitsubishi Trium Galaxy G-130 .....	0.37
Motorola Star Tac 130 (fixed antenna).....	0.38
Sony CM-DX 1000 .....	0.41
Ericsson SH888 .....	0.42
Sony CMD-C1 .....	0.55
Ericsson I8888 World .....	0.60
Nokia 6150 .....	0.69
Motorola CD 930 .....	0.70
Siemens C25.....	0.72
Nokia 8110i .....	0.73
Audiovox HGP2000E .....	0.75
Ericsson S828 .....	0.77
Motorola d160 .....	0.81
Nokia 6110 .....	0.87
Ericsson A1018s .....	0.88
Sony CMD-Z1 .....	0.88
Ericsson SH888 .....	0.90
Ericsson GF788 .....	0.91
Trium Galaxy .....	0.93
Motorola cd 930 .....	0.94
Panasonic EB-G520.....	0.95
Ericsson GH688 .....	0.95
Audiovox PCX-1000XL .....	0.98
Panasonic EB G500 .....	0.98
Audiovox CDM 4000 .....	1.00
Motorola GSM 1900 .....	1.00
Sharp TQ G700 .....	1.01
Philips Genie .....	1.05
Nokia 1611 .....	1.06
Philips Diga .....	1.06
Philips Savy .....	1.11
Bosch GSM 909 .....	1.13
Nokia 3210 .....	1.14
Sanyo SCP-400 .....	1.16
Trium Galaxy (fixed antenna) .....	1.16
Motorola cd 920 .....	1.17
Nokia 3110 .....	1.24
Ascom Axento.....	1.25
Motorola Startac (TDMA) .....	1.25
Motorola I500 .....	1.25
Philips Genie 1800 .....	1.26

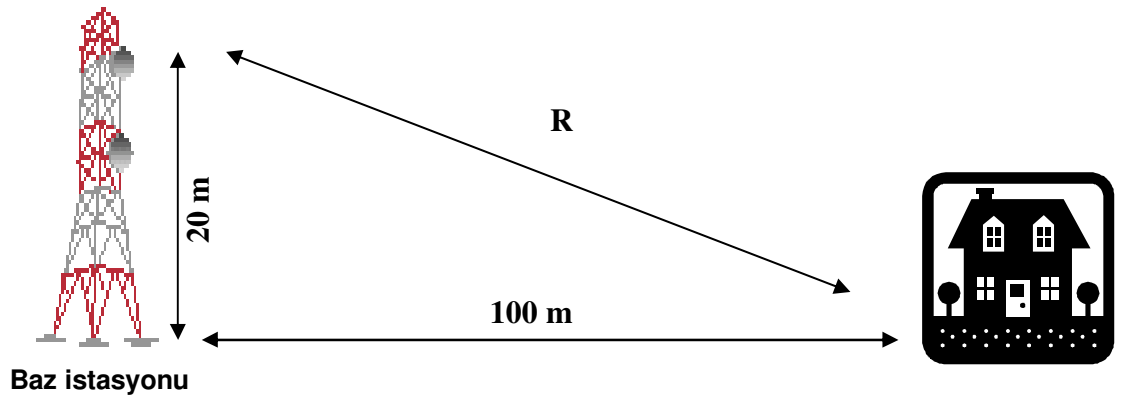
Tablo devamı.

<b>Marka Model</b>	<b>SAR (W/kg)</b>
Nokia 6161 .....	1.27
Samsung SCH6100 .....	1.27
LG Info & Com .....	1.29
Mitsubishi T250 .....	1.29
Audiovox 9000 .....	1.30
Bosch M-Com 906 .....	1.32
Ericsson DH-668 .....	1.32
Ascom Elisto .....	1.33
Denso TP 2200 .....	1.33
Siemens C25 .....	1.33
Nokia 7160 .....	1.33
Qualcomm QCP-2760 .....	1.33
Ericsson A1228D .....	1.35
Motorola Startac dualmode .....	1.36
Denso Touchpoint .....	1.37
Sanyo SCP-310 .....	1.37
Neopoint NP-1000 .....	1.38
Samsung SCH3500 .....	1.38
Sanyo SCP-4500 .....	1.38
Nokia 8860 .....	1.39
Sony CMB-1200,2200,3200 .....	1.39
Ericsson T18 .....	1.40
Ericsson R280 .....	1.41
Philips Genie 1800 (fixed antenna) .....	1.41
Qualcomm 1960.....	1.41
Nokia 6162 .....	1.42
Nokia 6185 .....	1.42
Sanyo SCP4000 .....	1.44
Audivox 3300 .....	1.45
Nokia 5160 .....	1.45
Mitsubishi T200 .....	1.47
Samsung SCH8500 .....	1.49
Ericsson LX-588 .....	1.51
Motorola SC-3160 .....	1.52
Philips Genie 900 .....	1.52
Ericsson KF788 .....	1.56
Motorola v3688 .....	1.58
Bosch GSM908 .....	1.59
Philips Genie 900 (fixed antenna) .....	2.67

**Tablo 3.6** Bazı marka ve model cep telefonlarının SAR değerleri[26]

### 3.7 Baz İstasyonlarından Kaynaklanan Etkilerin İncelenebilmesi için Elektrik Alan, Güç Yoğunluğu ve Güvenlik Mesafesi Değerleri'nin 10,20 ve 40 Watt Anten Çıkış Güçleri İçin Hesaplanması

Genel olarak merak edilen konu çevremizdeki binaların çatılarına yerleştirilen baz istasyonlarının elektromanyetik alan etkisinin belirlenen limit değerlerini aşmadığıdır. Bu doğrultuda yapmış olduğum bu hesaplamalarda 2. bölümde belirtmiş olduğum güç yoğunluğu, elektrik alan değeri ve güvenlik mesafesinin hesaplanması ile ilgili olarak 2.6,2.7 ve 2.8 eşitliklerini kullanarak incelemede bulunuldu.



Şekil 3.7 Baz aktarım istasyonu ve etki noktası

Şekil 3.7 'de görmüş olduğumuz bir baz istasyonu ve etki alanı incelemesinde 900 MHz üzerinden yayın yapan baz istasyonunun çıkış gücünü ilk olarak 10 watt ve anten kazancını 18dB olarak aldığımızda 20 metrelik yüksekliğe yerleştirilmiş bir baz istasyonundan 100 metre uzaklıktaki bir noktada oluşturacağı güç yoğunluğu ve elektrik alanını hesaplamak için ,

Verici anten ile ölçü noktası arasındaki direk uzaklık;

$$R = \sqrt{h^2 + d^2} \quad ;$$

eşitliğinden  $R=102$  m olarak bulunur. 2.8 ve 2.9 eşitliklerinden;

$$\text{Güç Yoğunluğu} = 4.8 \text{ mW} / \text{m}^2$$

Elektrik Alan Değeri  $=1.3$  V/m, olarak bulundu.

Elde ettiğimiz güç yoğunluğu ve elektrik alan değerlerini Tablo 3.3 'e göre incelediğimizde değerlerin ortamdaki tek bir cihaz için belirlenen maksimum limitlerin altında kaldığını görmekteyiz.

Aynı veriler ışığında Telekomünikasyon Kurulu tarafından ortamda tek bir cihaz için belirlenen güvenlik mesafesi için baz aktarım istasyonunun çıkış gücünü, anten kazancını ve tek bir cihaz olan Telekomünikasyon Kurulu tarafından belirlenmiş ortam tek cihaz elektrik alan limit değerini ( $E = 10.23$  V/m) eşitlik 2.8 'de yerine koyduğumuzda;

$$D = 13,44 \text{ metre olarak bulunur.}$$

Bu hesaplama sonucunda baz istasyonunun ışıma yaptığı doğrultudaki 13,44 metrelik mesafenin içi ICNIRP ve Türkiye de ise Telekomünikasyon Kurumu tarafından onaylanan sınır değerlere göre güvensiz bölge olarak tanımlanabilir. Yapmış olduğum işlemde baz aldığım 102 metre uzaklıktaki nokta ise güvenli bölge içerisinde olarak tanımlanabilir.

Aynı işlemleri 20W için yine anten kazancını 18dB alarak ve ortamda tek cihaz bulunması durumundaki limitlere göre incelediğimizde 102 metre uzaklıktaki bir noktadaki;

$$\text{Güç Yoğunluğu } S = 9,7 \text{ mW} / \text{m}^2 ,$$

$$\text{Elektrik Alan değeri } E = 1,9 \text{ V/m,}$$

Güvenlik Mesafesi  $D = 19$  m, olarak bulundu.

İşlemler 40W için tekrarlandığında;

$$\text{Güç Yoğunluğu } S = 0,019 \text{ W} / \text{m}^2 ,$$

$$\text{Elektrik Alan değeri } E = 2,6 \text{ V/m,}$$

Güvenlik Mesafesi  $D = 26,87$  m, olarak bulundu.

10,20 ve 40W için 3 farklı anten çıkış gücü için yapmış olduğum hesaplamalar sonucunda 18dB anten kazancı olan bir baz istasyonu anteninin ışıma yaptığı doğrultuda 102 metre uzaklığındaki Elektrik Alan Şiddeti, Güç Yoğunluğu ve tek bir cihaz için olan sınır değerleri göz önüne alınarak hesaplanmış Güvenlik Mesafe değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

	<b>10W</b>	<b>20W</b>	<b>40W</b>
<b>Elektrik Alan Şiddeti</b>	1.3 V/m	1,9 V/m	2,6 V/m
<b>Güç Yoğunluğu</b>	4,8mW / m <sup>2</sup>	9,7mW / m <sup>2</sup>	0,019W / m <sup>2</sup>
<b>Güvenlik Mesafesi (Tek bir cihaz için)</b>	13,44 m	19 m	26,87 m

**Tablo 3.6** Anten Çıkış Gücü ile Elektrik Alan ,Güç Yoğunluğu ve Güvenlik Mesafesi İlişkisi

Asıl merak ettiğimiz konu olan bu değerlerin belirlenen sınırlar içerisinde olup olmadığını ise elde etmiş olduğumuz bu değerleri ICNIRP(Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu) kurumunun belirlemiş olduğu sınır değerler(Tablo 3.3) ile karşılaştırdığımızda görebiliriz. 10,20 ve 30 Watt anten çıkış değerleri için hesaplanan Elektrik Alan ve Güç Yoğunluğu değerlerinin belirlenen maksimum sınır değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Güvenlik mesafelerini incelediğimizde ise 102 metrelik uzaklıktaki noktanın güvenli alan içerisinde olduğu görülmüştür.



## 4. BÖLÜM RF Radyasyonun Biyolojik Yapı Üzerindeki Etkileri

### 4.1 Kardiyovasküler Sistem Üzerindeki Etkiler

Çok şiddetli RF enerji soğurumunda, kalpte ısıl etkiye dayalı, birtakım deformasyonların meydana geldiği fakat düşük şiddetli RF radyasyon maruziyetinde, elektrokardiyogram (EKG) verileri, kalpte herhangi bir olumsuz etkinin oluşmadığını göstermektedir. Kesin olmamakla beraber, RF enerjinin, kalpte ritim bozukluğuna yol açabileceği de ileri sürülmektedir. Öne sürülen ritim bozukluğu, kardiyovasküler sistemden kaynaklı olabileceği gibi, bütün vücudun soğurduğu enerjiye tepki de olabilir. Çünkü RF enerjiden soğurulan enerji vücut sıcaklığını artırabilir ve bu artışı dağıtmak için dolaşım sistemi daha hızlı çalışabilir. Güç yoğunluğu yüksek bir radyasyondan soğurulan enerji, bireyde yüksek ateş meydana getirebileceği için, buna bağlı olarak kalp atışı hızında bir azalma da meydana gelebilir. Sıçanlar üzerinde yapılan bir deneyde 915 MHz frekanslı bir radyasyondan 16 hafta boyunca, 2,5 W/kg SAR tesirinde kalpte herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Yine, 435 MHz frekanslı ve  $10 \text{ W/m}^2$  güç yoğunluğunda bir radyasyona 6 ay boyunca maruz bırakılan kobayların kan basınçlarında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bunun yanı sıra son zamanlarda yapılan araştırmalar, özellikle deri altında yüksek ateşe neden olan GHz civarındaki şiddetli radyasyonlara uzun süre maruz kalmanın, kalpte akut ritim bozukluğuna neden olabileceği ihtimalini ortaya koymaktadır [29].

Çok şiddetli mikrodalga radyasyon kaynaklarının yakınlarında, en bilinen etki, yüksek çarpıntı ve tansiyondur [30]. Bunun haricinde, elektromanyetik radyasyonun kalp üzerinde ciddi bir etkisi gözlenmemiştir. Özellikle, standartlara uygun elektromanyetik radyasyonun, kardiyovasküler sistem üzerinde olumsuz bir etkisi yoktur. Ancak, kalp pili olarak bilinen “pacemaker” kullanan kişilerin cep telefonu kullanmaları veya başka nedenlerle RF radyasyona maruz kalmaları oldukça sakıncalıdır.

## 4.2 Beyin Dalgalarının Faaliyetlerine Etkiler

Beyin ve sinir sistemi elektriksel aktivitelerin en yoğun olduğu vücut bölümleridir. Bu nedenle, elektromanyetik radyasyonun beyin ve sinir sistemi üzerindeki ısı etkilerinden daha çok, elektriksel etkileri araştırma konusu olmaktadır. Yapılan araştırmaların çoğu, elektromanyetik radyasyonun, özellikle de mobil telefon kullanımının beyinde elektriksel aktiviteleri değiştirmede olduğunu göstermektedir. Fakat son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, mobil telefon kullanımının, beyin elektriksel aktivitelerini değiştirebileceğini ortaya koymaktadır[31]. RF enerjinin beyin üzerindeki etkileri elektroensefalografi (EEG) ölçümleri ile tespit edilmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda, RF enerjinin, ısı etkilerinden dolayı “kan-beyin bariyeri”ni değiştirdiği gözlenmiştir. Ancak, bu değişimin küçük seviyeli etkileşimlerde de gözlenmesi RF enerjinin ısı etkisi ile açıklanamamaktadır [32]. Şiddetli RF enerji, sinir sisteminin yapısını ve fonksiyonunu bozabilmektedir. Birçok araştırma ise, RF enerjinin beyin üzerindeki nörokimyasal etkilerine dikkat çekmektedir. Elektromanyetik radyasyondan kaynaklanan zararlı etkilerin bireysel olarak değişebilmesi de yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen ilginç bir sonuçtur [32].

Kan-beyin bariyeri kandaki ağır moleküllerin beyine geçişini engeller. Bu bariyer, beyni yabancı toksik maddelerden korur ve beyin için gerekli metabolizmaların geçişine izin verir. Anoksi, yani yeterli oksijenin alınamaması, ödem, yüksek tansiyon ve iyonize radyasyon gibi birçok sebepten dolayı kan-beyin bariyeri değişir. Genellikle, geçirgenliği yükselir. RF enerji ise, kandaki sıcaklığı yükselttiğinden dolayı, kan-beyin bariyerinin geçirgenliğinde artışa sebep olabilir. Sıçanlar üzerinde yapılan bir deneyde,  $15 \text{ mW/cm}^2$  şiddetindeki, 2800 MHz frekanslı bir radyasyona 60 dakikalık bir maruziyetin beyine kan akışını artırdığı gözlenmiştir. 915 MHz frekanslı radyasyonla yapılan bir deney ise SAR değeri 3,3 W/kg değerine ulaştığı zaman, kan-beyin bariyerinin albümin geçişine açıldığını göstermiştir. Fare ile yapılan bir deneyde ise, 2 yıl boyunca, günde 60 dakika mobil telefon kullanımının beyin damarlarını olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Bu örneklerin yanı

sıra, birçok deney sonucunda ve insanlarda kayda değer herhangi bir olumsuz etki gözlenmemiştir [32].

## **4.3 Hormonal ve Sinirsel Faaliyetler Üzerindeki Etkiler**

### **4.3.1 Hormonal Faaliyetler Üzerindeki Etkiler**

Hormon adı verilen nörokimyasal hücreler, vücutta bilgi ve yetenek taşır. Hormonların, gerektiğinde salgılanmak üzere depolandığı bezler ve hormonlar çok çeşitlidir. Bazı hormonlar vücudun genel fonksiyonlarını düzenlerken, bazı hormonların görevi ise bu hormonların salgılanmasını kontrol etmektir. “Büyüme hormonu” vücutta yağ, protein ve karbonhidrat metabolizmasını kontrol eder ve dolaylı olarak büyümeyi, gelişmeyi sağlar. Yapılan bir deneyde, 7,5 W/kg SAR seviyesinde, 2,45 GHz frekanslı radyasyona 60 dakika maruz bırakılan genç bir sıçanın büyüme hormonu serumunda azalma gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, aynı frekansta ve daha şiddetli bir radyasyona maruz bırakılan bir başka hayvanda herhangi bir değişim gözlenmemiştir [29].

Cinsiyet hormonları ve bu hormonları kontrol eden hormonlar üzerinde yapılan araştırmalar, elektromanyetik radyasyonun olumsuz bir etkisini göstermemiştir. Bu hormonlar kan basıncı üzerinde etkili olsalar da, kan basıncındaki RF enerji kaynaklı değişim, bu hormonlar üzerinde herhangi bir etki yapmamaktadır [29].

### **4.3.2 Sinir Sistemi Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler**

Yapılan araştırmalar, SAR değerinin 2 W/kg'dan yüksek olduğu soğurmalarda sinir sisteminde yapısal bozulmaların meydana gelebileceğini göstermektedir. Bu etki, pals dalgalı radyasyonlarda, sürekli dalgalı radyasyonlara kıyasla daha çok görülmektedir. Fareler üzerinde yapılan bir deneyde, 2700 MHz frekanslı ve şiddetli bir pals radyasyonuna maruziyet, hücre zarlarında, ısı bozulmadan farklı bir bozulmaya neden olmuştur[33]. Bunun yanı sıra, özellikle standart değerlere yakın şiddetlerdeki radyasyonun, insan sinir sisteminde, ciddi bir morfolojik değişime yol

açmadığı düşünülmektedir. Ancak, şiddetli radyasyonun, diğer doku ve organlarda olduğu gibi, sinir sisteminde de yapısal bozukluklara neden olma olasılığı yüksektir. SAR değerinin 6,8 ila 100 W/kg kadar yüksek olduğu durumlarda, nöronların aktivitelerinde azalma ve zar iletkenliklerinde yükselme meydana gelir. Bu da hücrenin ömrünü kısaltır [33].

#### 4.4 Görme Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler

RF enerjinin gözde birtakım hasarlara yol açabileceği tespit edilmiştir. Bunların başında katarakt gelmektedir. Bunun yanı sıra, RF enerjinin, retina, kornea ve diğer oküler sistemleri de etkilediği görülmektedir. Göz, ısı bakımından vücuttan yalıtılmış bir organ olduğu için dış ısı etkilere karşı daha duyarlıdır. Çünkü göz, sıcaklık değişimini tolere edecek bir dolaşım sistemine sahip değildir. Bu nedenle, şiddetli bir RF enerji, göz sıcaklığını yükselterek katarakta yol açabilmektedir.

Tavşanlar üzerinde yapılan bir deneyde, 150 W/kg güç yoğunluğunda, 2450 MHz frekanslı bir radyasyon 30 dakikadan uzun bir sürede, gözde, lens içindeki sıcaklığı 41 dereceye çıkarmakta ve katarakta yol açmaktadır. Aynı koşullarda, maymunlar üzerinde yapılan deneyde ise katarakt gözlenmemiştir. Dolayısıyla, bu deney sonuçlarına göre insanlardaki riski tespit etmek doğru değildir. Ancak, SAR değerinin insan gözü lensindeki sıcaklığı 41 °'nin üzerine çıkaracak değere ulaşması, aynı mekanizma ile katarakt oluşturabilir [34].

RF enerjinin göz üzerindeki olumsuz etkilerinde, radyasyonun şiddeti ve frekansı, kaynağa olan uzaklık ve maruziyet süresi önemli faktörlerdir. RF enerjinin insan gözü üzerindeki olumsuz etkilerini tespit üzere yapılan epidemiyolojik çalışmalar neticesinde açık bir kanıt elde edilememiştir. Doğruluğu kanıtlanmamış olmakla beraber, 4 yıldan uzun süre RF enerji maruziyeti altında çalışanlarda katarakt riskinin arttığı, mobil telefon kullanan kişilerde iris melanin hücre urunun oluşma riskinin yükseldiği ve yine uzun süre RF enerjiye maruz kalanların iris saydamlığının bozulabileceği öngörülmektedir [34]. UHF radyasyonuna uzun süre maruz kalan kişilerde göz yorulması, göz yaşarması, renkli ışığa, özellikle mavi ışığa karşı duyarlılığın azalması gözlenmiştir. Gözün ön odacık kısmında bulunan C vitamini

miktarının azalması da yine, RF enerjinin göz üzerindeki olumsuz etkileri arasındaki gözlemlerden biridir[7]. Sonuç olarak, radyasyon kaynağından uzaklarda ve radyasyon şiddetinin standart değerlerin altında olması durumunda RF enerjinin insan gözüne ciddi bir olumsuz etkisi yoktur.

## 4.5 Kan Hücreleri ve Bağışıklık Sistemi Üzerindeki Etkiler

Son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, RF radyasyonunun, kan hücreleri ve bağışıklık sistemi üzerinde belirli etkilerinin olabileceğini göstermektedir. Bu etkiler, bazı araştırmalara göre  $10 \text{ mW/cm}^2$  üzerinde güç yoğunluğuna sahip radyasyonlarda görülmekte, bazı araştırmalara göre ise  $0,5 \text{ mW/cm}^2$  civarındaki güç yoğunluklarında bile ortaya çıkabilmektedir. Bu konudaki çalışmaların çoğunda, etkileşme mekanizmalarının biri diğerini tutmamaktadır[35]. Kırmızı kan hücresi olarak bilinen eritrositler üzerinde yapılan incelemeler, RF radyasyonunun, hücre zarında değişiklik yaptığını ve bu değişimin hücredeki potasyum ve sodyum iyonlarının hareketini etkilediğini göstermektedir. İnsan ve tavşan kanı üzerinde yapılan bir deneyde,  $1 \text{ mW/cm}^2$  gibi düşük bir güç yoğunluğuna sahip, 1–3 GHz frekanslı bir radyasyonun, “hemoliz” adı verilen, eritrositlerin eriyerek yapılarındaki hemoglobinin açığa çıkması olayının gerçekleşmesine neden olduğu ortaya çıkmıştır [29]. Beyaz kan hücresi olarak bilinen lökositler üzerinde yapılan incelemeler, RF radyasyonunun, bazı tip lökositlerde, bölünerek lenfosit halini alacak hücrelerde mitoz bölünme aksaklığını ortaya çıkardığı görülmektedir. Hatta radyasyon maruziyetinden sonra da, hücre üzerindeki toksik etkinin azalan bir oranla devam ettiği gözlenmiştir. Bununla beraber, standart değerlere yakın radyasyon soğurumunda kayda değer bir etki gözlenmemiştir [29].

Elektromanyetik radyasyonun bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla birçok deney yapılmıştır. Bu deneylerde, değişik şiddetlerde ve frekanslarda radyasyon ve kobay olarak değişik hayvanlar kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen patolojik veriler, standart değerlere yakın radyasyonlarda hiçbir etkinin görülmediği yönündedir. Hayvanlar üzerinde şiddetli

radyasyonlar ile yapılan deneylerde bazen olumsuz etkiler ortaya çıkarsa da, bu etkilerin 6 haftalık zaman zarfında ortadan kalktığı gözlenmiştir [29].

## 4.6 Üreme Sistemi Üzerindeki Etkiler

Genital organlar RF alanlarına karşı çok duyarlıdır. Şiddetli radyasyon maruziyetinde başlıca etki, üreme organları üzerinde oluşan ısı etkisidir. Bu organlarda sıcaklık artışı kan damarlarının büzülmesine neden olabilir ya da yumurtalık veya testislere direkt zarar verebilir. Histolojik araştırmalar, çeşitli işlem fazında sperm oluşmasının durakladığını ortaya koymuştur. Bu morfolojik değişmeler üreme çevriminde kısırlaşma ve dişi doğum sayısında artış olarak kendini gösterir. RF radyasyonunun hamile kadınlarda, düşük oranında artmaya neden olduğu bilinmektedir. Hamilelik başlangıcında diatermi tedavisi gören bir annenin fetusunda bir nevi hastalık görüldüğü de yine gözlenmiş bir vakadır. Hamilelikte RF maruziyetine bağlı olarak, çocuk doğduğunda kemikleşme eksikliği de görülebilmektedir [7]

## 4.7 Kalıtım Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler

Mikrodalga radyasyonunun DNA'ya hasar verecek kadar enerjisinin olmadığı konusunda genel bir görüş hâkim olsa da, aksini iddia eden birkaç rapor bulunmaktadır. Bu raporlar, mikrodalga radyasyonunun DNA için genotoksik olabileceğini ileri sürmektedir. Ancak, bu konuda herhangi bir delil yoktur. Buna karşılık, birçok deneysel araştırma, mikrodalga radyasyonunun, DNA'ya hasar verme, kanser oluşturma veya mevcut kanseri ilerletme gibi etkilerinin olmadığını ortaya koymaktadır [36].

## 4.8 Diğer Biyolojik Faaliyetler Üzerindeki Etkiler

### 4.8.1 Davranış ve Bilinç Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler

Mobil telefon kullanımının hızla artması, antenin beyine çok yakın olmasından dolayı, RF enerjinin davranış, hafıza, öğrenme ve refleks üzerine etkilerinin incelenmesini zorunlu hale getirmiştir. Mikrodalga ısıtmanın, öğrenme ve hafızayı etkilediği bilinmektedir. 225 MHz ila 5,8 GHz frekanslı radyasyonlara 1 saat kadar maruz kalmanın operant işlevlerin performansında kayda değer bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Sıcaklığı 1 ° C artıracak olan SAR eşik değeri, 225 MHz için 2,5 W/kg ve daha yüksek frekanslar için 4–5 W/kg kadardır. Öğrenme etkisi için en düşük SAR eşiği, daha derine nüfuz eden 225 MHz frekanstadır. Buna rağmen, 915 MHz frekansla insanlar üzerinde yapılan deneylerde, şekil bulma, kelime hatırlama gibi hafıza aktivitelerinde kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir [38]. Uyku halinde, “gözlerin hareket ettiği” ve “gözlerin hareket etme etmediği” olmak üzere iki durum mevcuttur. İnsanlarda, bu iki durumun periyodu 90 dakika civarındadır. Yapılan araştırmalar, mobil telefon yakınında uyurken, gözlerin hareketli olduğu durumun süresinin uzadığını göstermektedir. Özellikle şiddetli RF enerji soğurumu, insanlarda halsizlik ve uyku hali meydana getirmesine rağmen, uyku esnasında RF enerji soğurumu “derin uyku” halini kısıtlamaktadır[38].

### 4.8.2 Yüksek Elektromanyetik Duyarlılık

“Yüksek elektromanyetik duyarlılık” terimi, mobil telefon, monitör, ışık kaynağı, yüksek gerilim hattı, elektrikli ev aletleri gibi elektrik ve manyetik alan kaynaklarından etkilendiğine inanan insanlar için kullanılmaktadır. Güvenlik standartlarına uygun, zayıf RF radyasyon maruziyetinde, bazı durumlarda bireysel etkiler gözlenmektedir. Bu etkiler, genellikle, bitkinlik, stres ve uyku düzeni bozukluğu gibi sinir sistemine bağlı semptomlardır. Bazen de, yanma hissi, iğnelenme, kızartı gibi deri semptomlarıdır. Hatta göz, kulak, burun, boğaz ve sindirim sisteminde ağrı ve yanma gibi semptomlar da görülmektedir [7].

Yüksek elektromanyetik duyarlılık, coğrafi bölgelere göre değişim göstermektedir. İsveç, Almanya ve Danimarka gibi ülkelerde çok çeşitli semptomlar görülmektedir. Yüksek elektromanyetik duyarlılıklı 20 kişi üzerinde yapılan bir deneyde, kişilere 900 MHz analog ve 1800 MHz dijital mobil telefon radyasyonuna maruz kalacakları önceden açıklanmış ve deney süresince kalp atışları, kan basınçları ve solunum durumları kontrol edilmiştir. İlk 30 dakika boyunca, hiçbir radyasyon bulunmadığı halde yukarıda sayılan semptomların çoğu, özellikle baş bölgesinde gözlenmiştir. Daha sonra, radyasyon uygulandığında, semptomlarda herhangi bir artış gözlenememiş, aksine azalma meydana gelmiştir. Bu deneyle de anlaşılacağı gibi, yüksek elektromanyetik duyarlılık, radyasyonun gerçek bir etkisi değil, bireysel ve psikolojik bir etkidir [32].

### **4.8.3 Baş Ağrısı Etkisi**

Elektromanyetik radyasyon üç yolla baş ağrısına sebep olabilir. Birincisi, RF ışıltme sonucu bireyde baş ağrısı meydana gelebilir. İkincisi, kan-beyin bariyeri geçirgenliğinin değişmesi ve üçüncü olarak, merkezi sinir sisteminde, bazal ganglion hücrelerinde bulunan dopamin kimyasal maddesinin uyuşturma etkisi ile baş ağrısı oluşabilir. Mobil telefon kullanıcılarında bazen, başın arka kısmında veya kulak etrafında baş ağrısı görülmektedir. 2500 kişi üzerinde yapılan deney, dijital telefonların analog telefonlara oranla daha fazla baş ağrısı yaptığını ortaya koymaktadır. Baş ağrısı, cep telefonu görüşmesi sırasında 30 dakikadan itibaren başlamakta ve bazen görüşme sonrasında da devam etmektedir. Uzun süreli telefon görüşmelerinde, baş ağrısı etkisi %45 görülmektedir. Buna rağmen, birçok uzmana göre bu semptom, kayda değer bir etki olarak görülmemektedir [32].



## 4.9 İnsanlar Üzerindeki Etkiler ile İlgili Yapılan Araştırmalar

RF radyasyonunun insanın biyolojik yapısı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ile ilgili olarak şu ana kadar bir takım çalışmalar yapılmıştır.(Şekil 4.1)

Çalışma	Kapsanan süre	Popülasyon	Sonuçlar
Johansen ve ark., 2001 <sup>10</sup>	1982-1996	Danimarka, 420095 kişi (3391 olgu)	Beyin tümörü riskinde artış yok
Auvinen ve ark., 2002 <sup>11</sup>	1996	Finlandiya, 2588 kişi (432 olgu)	Beyin tümörü riskinde artış, tükürük bezi kanseri riskinde artış yok
Hardell ve ark., 2001-1999 <sup>12-14</sup>	1994-1996	Upsala-Örebro, Stokholm, 634 kişi (209 olgu)	Beyin tümörü riskinde artış yok
Hardell ve ark., 2002 <sup>15,16</sup>	1997-2000	Upsala-Örebro, Stokholm, Linköping, Göteborg, 2899 kişi (1429 olgu)	Analog kullanıcılarında akustik nöroma riskinde artış
Stang ve ark., 2001 <sup>17</sup>	1995-1997	Hamburg, Bremen, Essen, Saarlan, 593 kişi (118 olgu)	Uveal melanoma riskinde artış
Muscat ve ark., 2002 <sup>18</sup>	1997-1999	New York, 176 kişi (90 olgu)	Akustik nöroma riskinde artış
Muscat ve ark., 2000 <sup>19</sup>	1994-1988	New York, 891 kişi (469 olgu)	Beyin kanseri riskinde artış yok
Inskip ve ark., 2001 <sup>20</sup>	1994-1988	Phoeniks, Boston, Pittsburg, 1581 kişi (782 olgu)	Beyin tümörü riskinde artış yok
Hardell ve ark., 2007 <sup>21</sup>	1997-2004	Amerika, İsveç, Danimarka, Finlandiya, İngiltere, Almanya, Japonya, 4830 olgu	En az 10 yıllık kullanım ile akustik nöroma ve glioma riskinde artış
Lönn ve ark., 2004 <sup>22</sup>	1999-2002	İsveç, 752 kişi (148 olgu)	En az 10 yıllık kullanım ile akustik nöroma riskinde artış
Kheifets ve ark., 2005 <sup>23</sup>	2004	Türkiye, Çalıştay	Çocuklarda lösemi üzerine olan etkileri konusunda çalışmaların sürdürülmesi önerilmiş

Şekil 4.1 İnsanlar üzerinde yapılan çalışmaların özeti[49].

## SONUÇLAR

Cep telefonlarının ve baz istasyonlarının yaymış olduğu elektromanyetik radyasyonun etkileri konusunda henüz tam olarak netleşmemiş birçok nokta bulunmaktadır. Şu ana kadar yapılan laboratuvar deneyleri, özellikle farelerle yapılan deney hayvanları ile yapılan çalışmalar ve araştırmalar RF radyasyonun kanser ile ilişkisini kesin ve net olarak kanıtlayamamaktadır ancak incelenmesi ve araştırılması süreç alacak olan kayda değer bazı bulguları ortaya çıkarmıştır. Bunun yanında günlük hayatımızda maruz kaldığımız RF radyasyonun etkileri konusunda şu ana kadar kesin bulgular elde edilememiş olup çok çeşitli açılardan araştırmalar devam etmektedir. Ancak, şiddetli radyasyonlara uzun süre maruz kalmanın bariz olumsuz etkileri mevcuttur. Bugün İngiltere’de ve Yeni Zelanda’da baz istasyonlarına yakın binaların daha ucuza alıcı bulunması, kamuoyunun bu konudaki duyarlılığına örnek gösterilebilir[17]. Bu nedenle, RF radyasyon kaynaklarına ulusal ve uluslararası bazı standart ve kısıtlamalar getirilmiştir. Bu standartlarla belirlenen şiddet limitleri insan sağlığı için zararlı şiddetlerin çok altındadır. Günlük hayatta maruz kalınan RF radyasyonlarını çok tehlikeli veya hiç tehlikesiz olarak belirtmek elde olan veriler doğrultusunda mümkün olmamakla birlikte yaklaşık 10 yıldır giderek yoğun bir biçimde kullanımı artan ve günlük hayatımızda önemli bir yer tutan cep telefonları ve bunların geniş alanlarda kullanımına olanak veren baz istasyonlarının yaymış olduğu RF dalgaların insan biyolojik yapısı üzerindeki etkisi halen bir çok araştırmanın ortak konusu olmaktadır.

Sonuç olarak, her ne kadar ciddi problemler doğurduğu kanıtlanamamış olsa da uzun süreli telefon görüşmelerinden kaçınmak, mobil telefonları çocuklara kullandırmamak, baz istasyonlarından ilgili kurumlar tarafından belirlenen sınır mesafelerinden uzak durmaya çalışmak, cep telefonunun ilk arama yapıldığı esnada en fazla gücü kullandığını göz önünde bulundurarak bu sırada cep telefonunu baş bölgemize yaklaştırmamak karşı taraf açıktan yani bağlantı kurulduktan sonra telefonu kulağımıza götürmek, geceleri uyurken cep telefonlarını uzak mesafede bulundurmamak, cep telefonlarını çok fazla kullanmamız gerekiyorsa hands-free veya kulaklık ile kullanmak alınması gereken tedbirlerdendir. Özellikle, bebeklerin ve hamile bayanların RF radyasyonuna karşı daha titizlikle korunması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

1. www.ieee.org Mart, 2009
2. Şeker, S.,Korkut,A.,”Tehlikeli Oyuncak”, Hayy Yayınevi, İstanbul, S:12, Nisan 2005
3. Şeker S.,Çerezci O., Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi, 1991.
4. Lai H. Neurological Effects of radiofrequency Electromagnetic radiation. Paper presented to the workshop on possible biological and health effects of RF electromagnetic fields. Project Team: Mobil Phone and Health, Symposium, October 25–28, 1998, University of Vienna, Austria
5. Ali Hakan Işık, GSM Sisteminde Hücre Planlamasının Bulanık Mantık İle Denetimi, Kasım 2005
6. Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Sıkça Sorulan Sorular, Yanıtları, Tübitak, 2001
7. Şeker S.,Çerezci O., Radyasyon Kuşatması, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2000.
8. www.tk.gov.tr Nisan, 2009
9. Health Council of the Netherlands: GSM Base Stations. The Hague: Health Council of the Netherlands, pub.no.2000/16E, 2000
10. Bayrakçı, E., Uydu ve Hücresele Mobil Haberleşme Sistemleri, s. 3–11, 185–191, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
11. “10 kHz–60 GHz Frekans Bandında Çalışan ve Ortamda İstem Dışı Elektromanyetik Alan Maruziyetine Neden Olan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarının Kuruluş Yeri, Montajı, Elektrik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik”, Telekomünikasyon Kurumu, 2001
12. Kenan Atasoy, GSM Sistemi ve Sağlık, Ankara 2006
13. Joe Wiart, Christian Dale, Ada Victoria Bosisio, and Alain Le Cornec, Analysis of the Influence of the Power Control and Discontinuous Transmission on RF Exposure with GSM Mobile Phones, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.42, No. 4, November 2000
14. Demet ELHASOĞLU, Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri, Adana 2006
15. Erdem Can, Mobil Cihazların Çalışma Sistemleri ve Çevre Üzerindeki Etkileri

16. Knaw B. Radiation, non-ionizing. Encyclopedia of occupational health and safety, vol:2, fourth edition, ILO, Geneva 1998
17. Moulder, John, Cellular Phone Antennas and Human Health, 1998
18. WHO, 1998.
19. Possible Health Effects to the Use of Radiotelephones,  
<http://europa.eu.int/en/record/other/radiosun.htm>
20. Dinçer H. ,Elektromagnetik Işınımlar Ve İnsan Sağlığına Etkileri, Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu 8–12 Kasım 2000,Bursa.
21. IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones) Raporu, “Mobile Phones and Health”,(bkz. <http://www.iegmp.org.uk>)
22. F. Akleman - L. Sevgi, "FDTD Analysis of Human Head – Mobile Phone Interaction in Terms of Specific Absorption Rate (SAR) Calculations and Antenna Design", Proc. of IEEE-APS, Conference on Antennas & Propagation for Wireless Comm., pp.85–88, Waltham, MA, USA 1998
23. S. Paker - L. Sevgi "FDTD Evaluation of the SAR Distribution in a Human Head Near a Mobile Cellular Phone", ELEKTRİK, Turkish J. of Electronics and Comm. V.6 No.1, pp. 227–243, 1998
24. Tübitak Bülten 2001
25. Van Leeuwev,G.M. Lagendijk J.J, Van Leersum B.J, “Calculation of chance in brain temperatures due to exposure to a mobile phone”, Phys. Med.Biol.,1999
26. [www.bemi.se/founder/clips/cellularSAR.html](http://www.bemi.se/founder/clips/cellularSAR.html) April, 2009
27. “ICNIRP Guidelines,” *Health Phys.*, vol. 74, no. 4, pp. 494–522, Apr.1998
28. Ercan Önal, Elektromanyetik Alanların Canlı Organizmalara Etkilerinin İncelenmesi,2005
29. Black, D., Heynick, L., RF Effects on Blood Cells, Cardiac, Endocrine, and Immunological Functions, Bioelectromagnetics Supplement, v.6, p.187–195, 2003.
30. Lin, J., Studies on Microwaves in Medicine and Biology, Bioelectromagnetics, v.25, p.146–159, 2004
31. Marino, A., Nilsen, E., Frilot, C., Nonlinear Changes in Brain Electrical Activity Due to Cell Phone Radiation, Bioelectromagnetics, v.24, p.339–346, 2003.
32. D’Andrea, J., Chou, C., Johnston, S., et al., Microwave Effects on the Nervous System, Bioelectromagnetics Supplement, v.6, p.107–147, 2003.
33. Hossmann, K., Hermann, D., Effects of Electromagnetic Radiation of Mobile Phones on the Central Nervous System, Bioelectromagnetics, v.24, p.49–62, 2002.

34. Elder, J., Ocular Effects of Radiofrequency Energy, Bioelectromagnetics Supplement, v.6, p.148–161, 2003.
35. Elder, J., Chou, C., Auditory Response to Pulsed Radiofrequency Energy, Bioelectromagnetics Supplement, v.6, p.162–173, 2003.
36. Maes, A., Collier, M., Verschaeve, L., Cytogenetic Effects of 900 MHz (GSM) Microwaves on Human Lymphocytes, Bioelectromagnetics, v.22, p.91–96, 2001.
37. Heynick, L., Johnston, S., Mason, P., Radio Frequency Electromagnetic Fields: Cancer, Mutagenesis, and Genotoxicity, Bioelectromagnetics Supplement, v.6, p.74–100, 2003.
38. D’Andrea, J., Adair, E., Lorge, J., Behavioral and Cognitive Effects of Microwave Exposure, Bioelectromagnetics Supplement, v.6, p.39–62, 2003.
39. Comparisons of Computed Mobile Phone Induced SAR in the SAM Phantom to That in Anatomically Correct Models of the Human Head, IEEE Transactions on Electromagnetik Compatibility, Vol. 48, No. 2, MAY 2006
40. “American National Standard-Safety Levels with Respect to Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz. to 300GHz.”, ANSI/IEEE C95.1–1992., New York, IEEE.
41. INIRC of the IRPA “Guidelines on limits of Exposure to Radio Frequency EM Fields in the Frequency Range from 100kHz to 300GHz.” Health Physics, V. 54–1, pp. 115–123, 1988
42. TC. Çevre Bakanlığı, Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü Genelgesi,(Sayı:B.19.0.ÇKÖ.0.02.00.03), 11 Mayıs 2000
43. Ahmet Hamdi ATALAY, TELSİZ İLETİŞİM / GSM Çevre, Sağlık, Güvenlik Mayıs 2000
44. Doç.Dr. Levent Sevgi, Elektromanyetik Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları
45. Tommi Toivonen, TimToivo, Lauri Puranen, and Kari Jokela , Specific Absorption Rate and Electric Field Measurements in the Near Field of Six Mobile Phone Base Station Antennas, Bioelectromagnetics 30:307 – 312 (2009)
46. IEEE US Activities Board. Human Exposure RF Emission from Cellular BTS Antennas,<http://www.ieeeusa.org/DOCUMENTS/FORUM/LIBRARY/POSITIONS/humanxrf.html>
47. “ETSI Documenta, GSM 5.05 version 5.10”, ETS 300 910, 1996
48. <http://www.sarvalues.com/eu-complete.html>, May, 2009

49. Türkiye Klinikleri J Med Sci 2008;28(6)

## ÖZGEÇMİŞ

Erkan Cevizli 1979 yılında İstanbul'da doğmuş, ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 2001 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamıştır. 2006 yılında lisans eğitimini tamamlayarak aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü'ne kabul edilmiş ve yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Yüksek lisans eğitimi süresince haberleşme altyapıları alanında faaliyet gösteren uluslar arası bir firmada global ürün destek mühendisi olarak çalışmış ve 2009 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır.