

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

156962

**GSM HABERLEŞME SİSTEMİNDE
ELEKTROMANYETİK YAYILIM ve İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE
ETKİLERİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. N. Erol ÖZGÜNER

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme

Danışman : Prof. Dr. Doğan DİBEKÇİ


ŞUBAT 2004


KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**GSM HABERLEŞME SİSTEMİNDE ELEKTROMANYETİK YAYILIM
VE
İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ**


**DOKTORA TEZİ
Y.Müh. Naim Erol ÖZGÜNER**


Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27 Ocak 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Şubat 2004


Prof. Dr. Doğan DİBEKÇİ
Tez Danışmanı


Yrd. Doç. Dr. İ. Hakkı ÇAVDAR
Üye


Yrd. Doç. Dr. Sıtkı ÖZTÜRK
Üye


Yrd. Doç. Dr. Aktül KAVAS
Üye


Doç. Dr. Sarp ERTÜRK
Üye

OCAK 2004

GSM HABERLEŞME SİSTEMİNDE ELEKTROMANYETİK YAYILIM ve İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

N. Erol ÖZGÜNER

Anahtar Kelimeler: Cep Telefonları, Baz İstasyonları, Elektromanyetik Alan, Işıma, Yayılım, GSM Haberleşme Sistemi

Özet: Bu çalışmada, GSM Haberleşme sisteminin, son dönemde gittikçe gelişmesi sonucu kullanım oranı gittikçe artan cep telefonları ve baz istasyonlarının insan sağlığı üzerine etkileri incelenmiştir. GSM haberleşme sisteminin, radyo dalgalarının yayılımı yoluyla gerçekleşen bir haberleşme sistemidir. En önemli iki elemanı, cep telefonları ve baz istasyonlarıdır. Özellikle son yıllarda kullanımın artmasıyla birlikte bu sistemlerin insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri olduğu konusu sık sık gündeme gelmiştir. Çalışma kapsamında bu sorun ele alınarak, GSM haberleşme sisteminin çalışma prensipleri incelenmiş, radyo dalgalarının yayılım ilkeleri ele alınmış ve elektromanyetik alanlar incelenerek cep telefonu ve baz istasyonlarına ait elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Baz istasyonu ölçümleri 13 farklı şehirde 50 istasyonda, cep telefonu ölçümleri ise 20 farklı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut standart ve limitlerle karşılaştırıldığında sistemin yaydığı ışımanın limitlerin altında kaldığını göstermiştir.

**ELECTROMAGNETIC PROPAGATION IN GSM
and
EFFECTS ON HUMAN BODIES**

N. Erol ÖZGÜNER

Key words: MS (Mobile Stations, Mobile Phones), BTS (Base Station, Base Transceiver Station), Electromagnetic Fields, Radiation, Propagation, GSM

Abstract: In this study, Effects of mobile phones and base stations on human health was observed. GSM is a communication system and it works with the propagation of radio waves. GSM has two important element. These are mobile phones and base stations. Nowadays, using mobile phones has been increasing rapidly day by day so effects of mobile phones on the human health is an important subject for everybody. In this study, this problem was observed detaily. First of all, GSM's principles, propagation of the radio waves and electromagnetic fields were observed and then electromagnetic fields' measurements were done belong to mobile phones and base stations. Base stations' measurements were realized 13 different cities, 50 different base stations in Turkey and 20 diffrent kinds of mobile phones' measurements were done. Results of the measurements was compared international standarts and limits as a result of this, measurement values is smaller than international limits.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

İnternet ve uygulamalarının hayatımıza girmesinden ve bu teknolojinin hızla gelişmesinden sonra, insanlar, üzerinde yaşadığımız dünyanın ne denli küçüldüğünü, mesafelerin, zaman farklarının bir çırpıda nasıl kapandığını fark ettiler. İnternet teknolojisine paralel olarak gelişen kablosuz haberleşme sistemleri de bir anda popülaritesini arttırarak, önceleri internetten kalan boşlukları doldurmaya daha sonra ise hem haberleşme istemini gerçekleştirmenin yanısıra hem de internet teknolojilerini gelişmiş halleriyle sistem içine katmaya başladılar. Artık bulunduğunuz mekandan cep telefonunuz ile mailbox(posta kutusu)'a bağlanıp ofisinizdeki e-mail'lerinizi kontrol edebiliyor, bunlara cevap verebiliyor, hatta excel, word, pdf gibi birçok dosya türünü açıp okuyabilir ve geri gönderebilir hale geliyorsunuz. Dahası bulunduğunuz mekandan video veya resim görüntüsü kaydedip bunları iş veya aile arkadaşlarınıza gönderip onlarla paylaşabiliyorsunuz.

Son 25 yılda hayatımıza girerek önemli değişikliklere yol açan cep telefonları ve onun çalışma sistemi olan GSM Haberleşme Sistemi üzerinde insanların sağlığını etkilediği yönündeki haber ve araştırmaların yoğunlaşması üzerine, bu sektörden biri olarak, bu konuya ilgi göstermiş ve bunu bilimsel ortama taşıyarak, konuyu gerçek boyutlarıyla göstermek amacıyla bu doktora tezini hazırladım. Yaklaşık 4yıllık bir çalışmanın eseri olan bu tez içindeki ölçümler için, ülkemizin ¾'ünü dolaşım. Birçok insan ile yüzyüze görüşüp onların endişelerini paylaştım ve onları bilgilendirmeye, aydınlatmaya çalıştım. Bilgi eksikliğinin insanları nasıl yanlışlara sürükleyerek hayatlarını zorlaştırdığını gördüm. Umarım bu doktora tezi bilim dünyamıza ve sosyal hayatımıza bir tutam da olsa katkısı olur.

Doktora tezleri uzun soluklu, zahmeti bol çalışmalardır. Bu süreçte öğrencinin gerçek bir yol gösterene ve kendi fikirlerini araştırıp derlemede özgürce çalışabileceği bir ortama ihtiyacı vardır. Her zaman bu serbestiyi sağlayıp bu tezin ortaya çıkmasında büyük emeği olan danışman hocam Prof. Dr. Doğan DİBEKÇİ'ye

sonsuz teŖekkür ederim. Doktora ders ve tez yazım süresince her türlü bilgi ve birkimini paylaşarak birlikte başarılı yayınlara imza attığımız Yrd. Doç.Dr. İ.Hakkı ÇAVDAR'a, tez süresince desteğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Sıtkı ÖZTÜRK'e, GSM konusunda gerçekten yoğun bir bilgi edinmemi sağlayan ve araŖtırmalarım da her zaman büyük destek gördüğüm Turkcell'e, her konuda bana yardımcı olan asistan arkadaşım O. Mete ŞAŞMAZ'a, GSM tecrübelerinden yararlandığım ve bilgilenmemde çok emekleri olan Yavuz S. GÖMLEKSİZ ve Ali ÖZGEDİK'e ve ismini buraya yazamadığım tüm arkadaşlarıma çok teŖekkür ederim.

Doktora süreci içinde hayatımıza girerek bize büyük mutluluk veren kızımız Ece Melisa ÖZGÜNER'e, bu zahmetli sürecin her aşamasında bana büyük destek veren eşim Canan ÖZGÜNER'e, ve bu tezi ve doktor ünvanı almamı çok isteyen ve hasretle bekleyen, tüm öğrenim hayatımın her zahmetini çeken iki insan, annem ve babama sonsuz teŖekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.ELEKTROMANYETİK İŞİMA ve GSM HABERLEŞME SİSTEMİNİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİNE YÖNELİK ARAŞTIRMALAR	6
2.1.Elektromanyetik Kirlilik	6
2.2.Elektromanyetik Alanlar	7
2.3. Elektromanyetik Işınım	8
2.4. Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı	9
BÖLÜM 3. GSM HABERLEŞME SİSTEMİ	
3.1.GSM Haberleşme Sisteminin Gelişimi.....	13
3.2.GSM Haberleşme Sisteminin Türkiye'deki Gelişimi.....	14
3.3.GSM Haberleşme Sistemine Ait Teknik Özellikler	16
3.4. GSM Haberleşme Sisteminin Avantajları.....	18
3.5. GSM Haberleşme Sisteminin Yapısı	18
3.5.1.Cep telefonu	19
3.5.1.1.Abone kimlik modülü.....	20
3.5.2.Baz istasyonu	20
3.5.3.Baz istasyonu kontrol merkezi.....	21

3.5.4.GSM santrali	21
3.5.5.Şebeke geçit santrali	22
3.5.6.İşletme ve bakım merkezi	22
3.5.7.Abone konum kaydedicisi	22
3.5.8.Ziyaretçi konum kaydedicisi.....	24
3.5.9.Cep telefonu kayıt kütüğü.....	25
3.5.10.Abone kimlik onay merkezi.....	26
3.6. GSM Haberleşme Sisteminde Coğrafi Ağ Yapısı	26
3.6.1.Hücre.....	26
3.6.1.1.Hücre tipleri	27
3.6.2.Yerleşim alanı	28
3.6.3.MSC servis alanı	29
3.6.4.PLMN servis alanı	29
3.6.5.GSM servis alanı.....	30
3.6.6.Kapasite ve frekans tekrar kullanımı	30
3.7.Kanal Kavramı	31
3.7.1.Mantıksal kanallar.....	32
3.7.2.Trafik kanalları	33
3.8.Burst tipleri	33
3.8.1. Burstler ile çerçeveler arasındaki ilişki.....	34
3.8.2.Örnek trafik durumu:MS'e çağrı gelmesi	35
3.9. GSM Hücre Planlama İlkeleri	36
3.9.1.Hücre Planlama Süreci.....	36
3.9.1.1.Trafik ve kapsama analizleri.....	37
3.9.1.2.Nominal hücre planı.....	38
3.9.1.3.Survey	39
3.9.1.4.Sistem tasarımı.....	39
3.9.1.5.Uygulama.....	39
3.9.1.6.Sistem ayarlaması	40
3.9.2.Anten sistemi ve sistem dengesi	40
3.9.2.1.Başlıca anten tipleri	41
3.9.3.Trafik	45
3.9.4.Survey	47

3.9.5.Baz istasyonunun donanımsal özellikleri	50
3.9.5.1.RBS 200	50
3.9.5.2.RBS 2000	51
3.10.Radyo Dalgalarının Yayılımı	53
3.10.1.VHF ve UHF yayılım esasları	55
3.10.2.Atmosferin yayılıma etkileri	58
3.10.3. Yayılım Modelleri.....	61
3.11.Sistem Dengesi	68
3.11.1.ERP	72
3.12. MS'in Çalışma Modları	73
3.12.1.Idle Mod Davranışı	73
3.12.2.Locating	74
3.13.Radyo Şebeke Özellikleri	76
3.13.1.Dinamik MS&BTS Güç Kontrolü	76
3.13.1.1.Baz istasyonlarının dinamik güç kontrolü özelliği	77
3.13.1.2.Cep telefonlarının dinamik güç kontrolü özelliği	79
3.13.2.DTX	82
3.13.3.Frekans atlama özelliği	82
3.13.4.Başka bir hücreye atanma	83
3.13.5.Hiyerarşik hücre yapıları	84
3.13.6.Hücre trafik paylaşımı özelliği	86
3.14.GSM Haberleşme Sistemindeki Gelişmeler ve Gelecekteki Beklentiler.....	87

BÖLÜM 4. GSM ve SAĞLIK

4.1.Radyasyonun(ışımının) Sınıflandırılması	95
4.2.Elektromanyetik Alanların Canlılarla Etkileşimi	97
4.3.SAR ve Dozimetre	97
4.4.Standartlar ve Limitler	102
4.5.Güvenlik Mesafesi Kavramı ve Hesaplanması	105
4.5.1.BTS ve anten tiplerine göre oluşturulabilecek konfigürasyonlara ait güvenlik mesafeleri.....	108
4.6.Değişik Anten Tipleri, Yükseklikleri ve Kabinet Türlerine	

Göre Güvenlik Mesafeleri	111
4.7. Baz İstasyonları ve Cep Telefonların Ait Elektromanyetik	
Alan Ölçümleri ve Yorumlar	117
4.7.1. Ölçüm metotları	119
4.7.1.1. Geniş bant ölçümleri	120
4.7.1.2. Dar bant ölçümleri	121
4.7.2. Ölçüm cihazları	121
4.7.2.1. Ölçüm cihazlarının çeşitleri	121
4.7.2.2. Genel şartlar	123
4.7.2.3. Elektriksel çalışma şartları	124
4.7.2.4. Fiziksel karakteristikler	125
4.7.3. İşlemler	125
4.7.3.1. Kaynak ve yayılma karakteristikleri	125
4.7.3.3. Ölçüm cihazlarının seçimi	126
4.7.3.4. Yerinde yapılan ölçümleri	127
4.7.4. Baz istasyonları ve cep telefonlarına ait ölçümler	127
BÖLÜM 5. ANTEN MONTAJLARINDA DKKAT EDİLMESİ GEREKEN NOKTALAR	
5.1. Güvenlik Mesafesi ve Sağlık Kriterlerine Göre Anten Montajları	146
5.1.1. Antenlerin duvar arkası ışıması	146
5.1.2. Etki bölgesi	147
5.1.3. Antenlerin duvara yerleştirilmesi	148
5.1.4. Anten yönleri ve offset kullanımı	149
5.1.5. Çatıya yapılan anten montajları	150
5.1.6. Anten sayısı	150
5.1.7. Dar açılı anten kullanımı	151
5.1.8. Tilt	151
5.2. Örnek Uygulamalar	151
BÖLÜM 6. SONUÇLAR	156
BÖLÜM 7. KAYNAKLAR	165

BÖLÜM 8. EKLER	171
BÖLÜM 9. KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER	189
BÖLÜM 13. ÖZGEÇMİŞ	190



SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

SMS	: Kısa mesaj servisi
EMA	: Elektromanyetik alan
λ	: Dalga boyu
f	: Frekans
SAR	: Özgül soğurulma oranı
TDMA	: Zaman bölmeli çoklu erişim
ISDN	: Tümleşik hizmetler sayısal ağı
PSTN	: Kamusal anahtarlama telefon ağı
MS	: Cep telefonu
BTS	: Baz istasyonu
BSC	: Baz istasyonu kontrol merkezi
SIM	: Abone Kimlik Modülü
MSC	: Mobil servisler anahtarlama merkezi, santral
HLR	: Kalıcı abone kütüğü
VLR	: Geçici abone kütüğü
LA	: Yerleşim alanı
TX	: Gönderici
RX	: Alıcı
BCH	: Yayın kanalı
FCCH	: Frekans düzeltme kanalı
SCH	: Senkronizasyon kanalı
BCCH	: Yayın kontrol kanalı
CCCH	: Ortak kontrol kanalı
PCH	: Arama kanalı
RACH	: Rastgele erişim kanalı
AGCH	: erişim onaylama kanalı
SDCCH	: Tek başına tahsis edilmiş kontrol kanalı
SACCH	: Yavaş ilişkilendirilmiş kontrol kanalı
FACCH	: Hızlı ilişkilendirilmiş kontrol kanalı
TCH	: Trafik kanalı
TS	: Zaman dilimi

BSIC : Baz istasyonu kimlik kodu
W : Güç yoğunluğu
 η : Boşluğun empedansı
LOS : Direk görüş
ERP : Efektif yayınım gücü
SS : Sinyal seviyesi
LAU : Yerleşim alanı güncellemesi
TRU :Alıcı/verici birim
CDU : Birleştirici/dağıtıcı birim
DTX : Sürekli olmayan iletim
HCS : Hiyerarşik hücre yapıları
CLS : Hücre trafik paylaşımı
EMC : Elektromanyetik uyumluluk
 σ : Doku iletkenliği
 ρ : Vücut yoğunluğu
ICNIRP: Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Derneği
WHO :Dünya Sağlık Örgütü
ILO :Dünya Çalışma Örgütü
FCC : Federal Haberleşme Komisyonu
ANSI :Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
IRPA :Uluslararası Radyasyondan Korunma Derneği
TSE :Türk Standartları Enstitüsü
TK :Telekomünikasyon Kurumu
E :Elektrik alan
H :Manyetik alan

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik ışımanın sinüsoidal dalga özelliği	8
Şekil 2.2. Elektromanyetik alan spektrumu	8
Şekil 3.1. a.FDMA, b.TDMA	17
Şekil 3.2. GSM haberleşme sisteminin teknik yapısı	18
Şekil 3.3. Bir GSM hücresinin kapsama alanı	27
Şekil 3.4. Bir MSC servis alanının yerleşim alanları ile birlikte gösterimi	29
Şekil 3.5. Bir MSC servis alanının yerleşim alanları ve hücrelere bölümü.....	29
Şekil 3.6 GSM’de servis alanları arasındaki ilişki.....	30
Şekil 3.7. GSM haberleşme sisteminde komşu hücrelerde aynı frekans kullanılmaz.....	31
Şekil 3.8. TDMA kanal kavramı.....	32
Şekil 3.9. Mantıksal kanallar	33
Şekil 3.10. Burstler ve çerçeveler	34
Şekil 3.11. MS’e bir çağrı gelmesi durumundaki sinyalleşmeler	35
Şekil 3.12.Hücre planlama süreci	36
Şekil 3.13. Kazanç Karşılaştırması	41
Şekil 3.14. Omni antenlerin yayılım görünümü.....	42
Şekil 3.15. Yönlü antenlerin yayılım görünümü.....	43
Şekil 3.16. Yönlü antenlere yönelik bir örnek	44
Şekil 3.17. Bir RBS200 kabinetin görünüşü.....	51
Şekil 3.18. RBS 2000 kabinetin dış görünüşü ve ekipmanların kabinet içindeki yerleşimi.....	53
Şekil 3.19. Radyo dalgalarının yayılım modelleri	55
Şekil 3.20. Aynı kanal enterferansı.....	58
Şekil 3.21. Bitişik kanal enterferansı	59
Şekil 3.22. Radyo dalgalarının yayılımı	61
Şekil 3.23. Boşlukta radyo dalgalarının yayılımı	63
Şekil 3.24. İletken yerküre üzerinde radyo dalgalarının yayılımı.....	63
Şekil 3.25. Bıçak Sırtı Kırınımı	64

Şekil 3.26. Yerden 1.5m yükseklikte mobil ile BTS arasındaki mesafeye bağlı sinyal şiddeti. h_1 'ler değişik yükseklikteki baz istasyonu antenlerini gösterir eğrilerdir.	66
Şekil 3.27. Sistem dengesinin şematik gösterimi	70
Şekil 3.28. Locating algoritmasının şematik gösterimi	75
Şekil 3.29. Hareket halinde iletişim ve aktarma mantığı.....	76
Şekil 3.30. Dinamik Güç Kontrolü Özelliğinin baz istasyonlarında kullanımı	78
Şekil 3.31. BTS çıkış gücü ve MS tarafından alınan sinyal seviyesi.....	78
Şekil 3.32. Dinamik Güç Kontrolü Özelliğinin cep telefonlarında Kullanımı	80
Şekil 3.33. Cep telefonu dinamik güç kontrolü özelliğinin uplink kaliteye etkisi.....	81
Şekil 3.34. HCS Yapısı.....	85
Şekil 3.35. CLS Yapısı	87
Şekil 3.36. Mobil Multimedya Hizmetleri.....	89
Şekil 4.1. 10 W/m^2 'lik güç yoğunluğundaki düzlem dalgaya maruz kalan bir kişinin küresel modelinde ortalama SAR değişimi.....	99
Şekil 4.2. Dalga boyuna göre yakın-uzak alan değişimi.....	108
Şekil 4.3. Belirli bir h yüksekliğindeki antenin cadde seviyesindeki insana etkisi.....	117
Şekil 4.4. Antenlere yakın bir noktada bulunan binada ki insanlar için maruziyet sınırı	118
Şekil 4.5. Wandel-Goltermann EMR-300 elektromanyetik alan ölçüm cihazı.....	122
Şekil 4.6. Ölçüm sonuçlarının ölçüm cihazından bilgisayara aktarılması	123
Şekil 4.7. MS (Cep telefonu) ile bir çağrı kurulması ve MS'in 3 farklı çalışma modu	143
Şekil 5.1. Antenin güvenlik mesafesini (R_{sar}) gösteren resim.	146
Şekil 5.2. Duvar montajı yapılan antenlerin ışınma yönlerine göre doğru veya yanlış montaj şekilleri.....	147
Şekil 5.3. Bir binanın ön görünüşünden yanlış ve doğru anten yerleri.....	149
Şekil 5.4. Anten montajlarında doğru ve yanlış offset kullanımı	149

Şekil 5.5. Çatıya yapılan doğru ve yanlış anten montaj örnekleri	150
Şekil 5.6. Anten montajı uygulama örneği-1	151
Şekil 5.7. Uygulama örneği-1'in anten montajlarının optimize edilmiş hali.....	152
Şekil 5.8. Anten montajı uygulama örneği-2.....	153
Şekil 5.9. Uygulama örneği-2'nin anten montajlarının optimize edilmiş hali.....	153
Şekil 5.10. Anten montajı uygulama örneği-3	154
Şekil 5.11. Uygulama örneği-3'ün anten montajlarının optimize edilmiş hali.....	154
Şekil 5.12. Anten montajı uygulama örneği-4.....	155
Şekil 5.13. Anten montajı uygulama örneği-5.....	155
Şekil 5.14. Uygulama örneği-5'in anten montajlarının optimize edilmiş hali.....	156
Şekil 5.15. Anten montajı uygulama örneği-6.....	156
Şekil 6.1. Sessizlik modunda yapılan elektrik alan ölçümleri	161
Şekil 6.2. MS'in 3 çalışma modunun elektrik alan değerinin değişimi.....	162
Şekil 6.3. Çağrı kurulma modunda yapılan elektrik alan ölçümleri	162
Şekil 6.4. Konuşma modunda yapılan elektrik alan ölçümleri	163

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Türkiye’de GSM operatörleri ve lisans alışı tarihleri.....	15
Tablo 3.2. Türkiye ‘de GSM haberleşme sisteminin yıllara göre abone sayısının değişimi	15
Tablo 3.3. GSM Markalarının dünya pazar payları	16
Tablo 3.4. GSM Haberleşme Sisteminin Teknik Özellikleri.....	16
Tablo 3.5. MS Güç Sınıfları.....	19
Tablo 3.6. Erlang-B Tablosu.....	46
Tablo 3.7. Frekans bantlarının spektrumu	54
Tablo 3.8. Mikro ve normal hücreler için mesafeye bağlı kayıplar.....	65
Tablo 3.9. Antenlerin bakış doğrultusuna dik 20m lik bir sokakta mesafeyle orantılı yansıma kayıpları	65
Tablo 3.10. Dinamik güç kontrolü özelliği uygulanan bir hücre ile uygulanmayan bir hücrenin istatistiksel karşılaştırması.	79
Tablo 4.1. 10 GHz’e kadar değişik frekans aralıkları için genel ve mesleki maruziyet SAR sınırları	100
Tablo 4.2. Bazı cep telefonu marka ve değişik modellerinin SAR değerleri	101
Tablo 4.3. Kontrolsüz etkilenme için sınır değerler	103
Tablo 4.4. IRPA tarafından belirlenen mesleki etkilenme sınırları	103
Tablo 4.5. IRPA tarafından belirlenen genel halk sağlığı etkilenme sınırları.....	103
Tablo 4.6. Dünyada şu anki standartlar	104
Tablo 4.7. Türkiye’de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler	105
Tablo 4.8. Kontrollü etkilenme için sınır değerler.....	105
Tablo 4.9. Çıkış gücü düşürülme katsayısının güvenlik mesafesine etkisi.....	108
Tablo 4.10. BTS ve anten tiplerine göre güvenlik mesafesi hesaplanması	109
Tablo 4.11. Besleme kablosu kaybı katsayısının kablo uzunluğuna göre değişimi..	110
Tablo 4.12. Değişik türdeki baz istasyonlarına ait güvenlik mesafesi hesaplamaları	113

Tablo 4.13. Değişik türdeki baz istasyonlarına ait elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu ölçümleri.....	131
Tablo 4.14. Değişik marka ve model cep telefonlarına ait E-alan ölçümleri	145
Tablo 6.1. Türkiye'deki kontrolsüz etkilenme için sınır değeri.....	157
Tablo 6.2. Limit değerlere eşit ölçüm yapılan örnek.....	158
Tablo 6.3. Anten yükseklikleri değiştirildikten sonra yapılan ölçümler.....	159



1.GİRİŞ

Özellikle 1980'li yıllardan sonra başta TV ve radyo yayıncılığı daha sonra internet kullanımının akıl almaya ve öngörülemez bir hızla ilerlemesiyle birlikte, dünyada ülkeler arası sınırlar neredeyse ortadan kalkmış, dünya olduğundan çok daha küçülmüş ve insanlık çok büyük bir teknolojik gelişmeye şahit olmuştur. Son 20 yıldaki teknolojik ilerlemelerin tüm insanlık tarihi boyunca gerçekleştirilenlerden daha fazla olduğu tezini bile savunanlar bulunmaktadır. İnternet teknolojilerinin insanları birbirlerine tahminlerin de ötesinde yaklaştırması sonucu insanların birbirleriyle olan iletişim gereksinimleri, zaman, mekan ve uzaklık tanımaksızın karşılanmaya çalışılmıştır. Bu noktada çok önemli bir teknolojik yenilik olan cep telefonları ortaya çıkmış ve inanılmaz bir şekilde insanlar tarafından sahiplenilerek üretici firmaların ve bu hizmeti sunan GSM (Global System for Mobile Communications) operatörlerinin tahminlerinin çok ötesinde ilgi görerek ayrı bir sektör olmasına ve her geçen gün daha da ilerlemesine yol açmıştır. Hatta öyle ki, ülkemizde bile ilk kurulduğu yıllarda 2000 yılı için yapılan abone tahminleri 200-250.000 abone civarındayken bu sayı yaklaşık 15 milyon abone olmuş ve cep telefonu kullanımı konusunda insanların ne kadar istekli olduğunu bir kez daha göstermiştir.

Başlangıçta sadece insanları birbirleriyle konuşturmak amacı düşünülen GSM teknolojisinde, daha sonra özellikle SMS (Short Message Service) adı verilen kısa mesaj servislerine gösterilen yoğun ilgi sonucunda, bu teknolojinin içine yavaş yavaş veri (data) iletişimini de sokarak, ses+veri (voice+data) iletişimi haline dönüşmüştür. Daha sonra insanlar ellerindeki cep telefonları ile tüm işlerini halletmek istediklerini dile getirerek ev ofisi (home office) sektörünün önünü açacak tüm yenilikleri üretici firmalardan istemişlerdir. Bu da, başta WAP(Wireless Access Protocol) ve GPRS (General Packet Radio Services) olmak üzere HSCSD (High Speed Circuit Switch Data), WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access), UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) adı verilen daha ileri boyuttaki teknolojilerin cep telefonları ile GSM haberleşme sistemi içine entegre edilmesine yol açmış ve bu

sistemin her geçen gün daha da ilerleyerek tüm elektronik sistemleri içine alacak bir noktaya gitmesine neden olmuştur.

Bugün insanlar cep telefonları sayesinde birbirleriyle her ortamda, her noktadan (okyanusun ortasından, çöllerden, dağlardan, denizlerden, otobüslerden, trenlerden vb. birçok noktadan) birbirleriyle sesli olarak haberleşebilmenin yanı sıra kısa mesaj servisleri ile yazışmakta, kısa veya uzun metrajlı video görüntülerini birbirlerine aktarabilmekte, internete bağlanarak posta kutularını (mailbox) kontrol edip mailleşebilmekte, resim,müzik, word, excel,pdf dosyalarını birbirlerine gönderebilmektedirler. Omiri ve arkadaşlarının yaptıkları bir araştırmaya göre Japonya'da şu anda yaklaşık 60 milyon cep telefonu kullanıcısı bulunmaktadır ve bunların 10 milyonu aynı zamanda veri iletişim özelliğini de kullanmakta ve bu yöndeki aboneliğe de sahiptirler. 2015 yılında ise beklenen abone sayısı 80 milyon ve veri iletişimi abone sayısının da yaklaşık 70 milyon olması beklenmektedir. Bu da GSM teknolojisinde trendin veri iletişimi yönünde olduğu ve olması gerektiği gerçeğini gözler önüne sermektedir. (Ohmori,2000)

Tüm bu teknolojik gelişmeler, sadece ileri dünya ülkelerinde değil, gelişmekte olan veya geri kalmış 3. dünya ülkelerinde de ciddi talep görmüş ve benimsenmiştir. Ancak özellikle gelişmekte olan ülkeler ile 3. dünya ülkelerinde beraberinde de pek çok sorunu getirmiştir. GSM teknolojisinin çok önemli 2 ayağı bulunmaktadır. Bunlar;

- Cep telefonları (MS-Mobile Station)
- Baz istasyonları (BTS-Base Transceiver Station)

3. bölümde ayrıntılı olarak anlatılacak olan GSM Haberleşme sisteminin bu iki önemli unsuru, her aşamada birbiri ile haberleşmek ve birbirlerine ulaşmak zorundadırlar. Dolayısıyla bu sistemin olmazsa olmazlarından bu iki unsur. Sorunda bu noktada başlamaktadır. Ülkemizde özellikle 2000'li yılların başlarından itibaren, dünyada ise bu teknoloji kullanılmaya başladığından bu yana yoğun bir şekilde cep telefonu ve baz istasyonlarının insan sağlığı üzerine etkileri tartışılmaya başlanmıştır ve bu tartışma her geçen gün daha da artan bir ilgiyle kamuoyu tarafından izlenmektedir.

Sorun her ne kadar baz istasyonları etrafında yoğunlaşsa da aslında, tez kapsamında yapılan ölçüm sonuçları ve şu anda dünyada bu konuyla ilgili standart ve limitleri kabul edilmiş kuruluşların kriterleri açısından değerlendirme yaptığımızda, daha çok cep telefonları ve kullanım biçimleri üzerine eğilmenin daha mantıklı olduğu düşünülecektir.

Bu konuda yapılan araştırma ve tartışmalar ayrıntılı olarak 2. bölümde ele alınacaktır. Genel olarak 2 grup tarafından araştırma ve incelemeler yapılmaktadır. Birinci grup, tıp camiası, ikinci grup ise elektronik mühendisleri. Ayrıca bu grubun dışında medya kuruluşları, sivil toplum örgütleri, bazı dernekler, yerel yönetimler ve devletin konuyla ilgili organları da zaman zaman bu tartışmanın içinde kendilerini bulmuş ve doğru veya yanlış, iyice araştırma yapmadan halkı bilgilendirmek durumunda kalmış ve genellikle de yanlış bilgilendirme yapılarak konuyu bir çıkmaza sokmuşlardır.

Bu tezin amacı, GSM haberleşme sisteminin tüm yönleriyle çalışma mantığını anlatarak, öncelikle konunun anlaşılmasını sağlamak, daha sonrada ülkemizde halen çalışmakta olan yaklaşık 100 kadar baz istasyonu ve 20 değişik cep telefonu (ülkemizde en yaygın olarak kullanılan) üstünde elektromanyetik alan ölçümleri yaparak bunları dünyada ve ülkemizde halen kabul edilmiş olan standart ve limitlerle kıyaslayarak bir yargıya varmaktır. Tabii ki bu noktada, daha önce yapılmış ve yayınlanmış pek çok makale ve bildiri de faydalanarak destekleyen ve karşı olunan görüşlere de yer verilecektir. Ayrıca halen ülkemizde kurulu bulunan değişik tür ve yerdeki baz istasyonlarına ait montaj örnekleri verilerek hatalı montaj örnekleri ve doğru montaj örnekleri resmedilecek ve anten montajları konusunda geliştirilen standart ile ilgili bilgi verilecektir.

Konuyla ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalar ve tartışma noktaları incelendiğinde özellikle ülkemizde sorunun baz istasyonları etrafında odaklandığını görüyoruz. Aslında insan sağlığına etkisi adına bir inceleme yapıldığında ölçülmesi gereken değer, temel olarak SAR (Özgül soğurulma oranı) değeri olmalıdır. Bu değerle etrafımızdaki elektromanyetik alan kaynaklarından yayılan alanların insan

vücudu tarafından ne kadar soğurulduğunu görebiliriz. Fakat SAR değeri direkt olarak ölçülebilen bir değer olmadığı için SAR değerinin hesaplanmasına yardımcı olan elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu değerleri ölçülerek belirlenen limit değerlere göre değerlendirme yapılmaktadır. Tez kapsamında ele alınan konu için yapılan baz istasyonu ve cep telefonu ölçümlerinde de, yine elektrik ve manyetik alan ölçümleri yapılmış ve ölçüm sonuçlarına göre bir yargıya varılmaya çalışılmıştır.

Yapılan baz istasyonu ve cep telefonu ölçümleri, kaynak araştırmaları sonucuna göre irdelendiğinde, literatürde yayınlanmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çünkü çalışma kapsamında farklı anten türleri, farklı anten yükseklikleri, farklı kabinet tipleri, farklı CDU tipleri ve farklı montaj tiplerine göre pek çok değişik baz istasyonunda elektromanyetik alan ölçümleri yapılmış ve sonuçlar tüm açıklıklarıyla verilmiştir. Cep telefonu ölçümlerinde idle mod, aktif mod ve çağrı kurulma anlarına ait 3 farklı ölçüm yapılarak ölçümler oldukça detaylandırılmıştır. Böylece ölçüm sonuçlarında daha net bir yargıya varabilmek kolaylaşmıştır.

Ülkemizde 4 farklı operatörün yaklaşık 16000 baz istasyonu olduğu düşünülürse, bu istasyonların anten montajlarında, güvenlik mesafesi kriteri de göz önünde bulundurularak mutlaka optimize edilmesi gereken montaj tipleri saha çalışmalarında tespit edilmiştir. Bu konu ayrıca, 3G olarak isimlendirilen 3. jenerasyon iletişim sistemlerinin de bugün-yarın ülkemizde aktif olacağını düşünürsek ve bu sistemler için yeni anten ve kabinet montajları gereksinimlerinin de kaçınılmaz olduğu bilindiğine göre son derece önem arz etmektedir. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak, olası tüm değişik anten montaj tiplerine yönelik montaj standartları geliştirilmiş ve yine saha çalışmalarından elde edilen görüntülerle yanlış ve doğru montaj örnekleri ile desteklenerek bir standart oluşturulmuştur Bu da yine özellikle ülkemizde ilk kez önerilen bir konudur.

Buna göre tez içeriğinde;

İkinci bölümde, konu ile ilgili daha önce yayınlanan bildiri ve makalelerle genel olarak konu hakkında tartışma hangi boyutta ve nerededir, bu konu göz önüne

serilecek, üçüncü bölümde GSM haberleşme sistemi ayrıntılarıyla anlatılarak bilinmeyen noktalar aydınlatılacaktır. Yine aynı bölümde GSM hücre planlama ilkeleri, GSM'de kullanılan radyo şebeke özellikleri ve radyo dalgalarının yayılımı anlatılarak haberleşme sisteminin çalışması tamamlanacaktır. Bu bölümün sonunda GSM haberleşme sisteminin geleceği ve mobil haberleşmenin yarınına değinilerek gelişmeler ve beklentiler anlatılacaktır. Dördüncü bölümde, mevcut standart ve limit değerler ile baz istasyonu ve cep telefonları ölçüm sonuçları verilecek ve karşılaştırmalı olarak değerlendirmeler yapılacaktır. Beşinci bölümde ise, GSM haberleşme sisteminde kullanılan antenler ve tipleri ile anten montajlarına ait doğru ve yanlış montaj örnekleri verilecek ve bu konuda önerilecek standart tanıtılacaktır. ve son bölümde ise tez kapsamında ele alınan konularla ilgili olarak genel değerlendirmeler yapılarak, önerilere yer verilecektir.



BÖLÜM-2. ELEKTROMANYETİK İŞİMA ve GSM HABERLEŞME SİSTEMİNİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİNE YÖNELİK ARAŞTIRMALAR

Cep telefonları ve baz istasyonlarının insan sağlığı üzerine etkilerine yönelik araştırmalar yaklaşık 10 yıldır sürmektedir. Şu anda varılan nokta göz önünde bulundurulduğunda, bu araştırmalar ve tartışmalar daha uzun süreler devam edecektir. Araştırmaları sıklıkla yapan 2 grup bulunmaktadır. Bunlar tıp doktorları ve mühendisler. Ancak her iki grubunda birbirini anlama konusunda zaman zaman ciddi yanlışları olmaktadır. Doktorlar sistemin tam olarak nasıl çalıştığını anlayamadıkları, mühendisler ise tıbbi açıdan mevcut durumdan insan vücudunun nasıl etkileneceğini bilemedikleri için olaya sadece teknolojik boyutta yaklaştıkları için bir noktada buluşmamaktadırlar. Bu durumda öncelikle elektromanyetik ışıma nedir bunun tanımına bir göz atmakta fayda vardır.

2.1. Elektromanyetik Kirlilik

Elektromanyetik (EM) çevre 20.yüzyılın ilk çeyreğinden itibaren bulunduğumuz dünyanın bir parçası haline gelmiştir. Bu yüzyılın dünyadaki teknolojik gelişme açısından çok büyük önemi bulunmaktadır. Bu yüzyılda, çok önemli teknolojik gelişmeler ve ilerlemeler olmuş ve üretilen elektromanyetik enerji çok değişik uygulama alanlarında kullanılmıştır. Yüzyılın sonlarına doğru özellikle haberleşme ağları, radyo, televizyon yayıncılığı, radarlar, uydular, askeri sistemler, endüstriyel kullanımı, tıbbi kullanımı ile elektromanyetik enerji geniş bir kullanım alanına kavuşmuştur. Yaşamımızın her alanına giren bu teknoloji harikası cihazlar, günümüzde insan hayatını umulanın ötesinde kolaylaştırırken diğer yandan da her geçen gün önemini daha da arttıran bir tartışmayı elektromanyetik kirlilik tartışmasını da günlük hayatımıza yerleştirmiştir. Elektromanyetik kirlilik gözle görülmeyip duyu organları ile algılanamamaktadır. Elektromanyetik kirliliğin varlığı, insan vücudundaki ısı artışlarından ve elektrik-elektronik cihazların çalışma

performanslarının olumsuz yönde etkilenmesinden kesin olarak tespit edilmiştir (Şeker ve Çerezci,2000) .

2.2. Elektromanyetik Alanlar

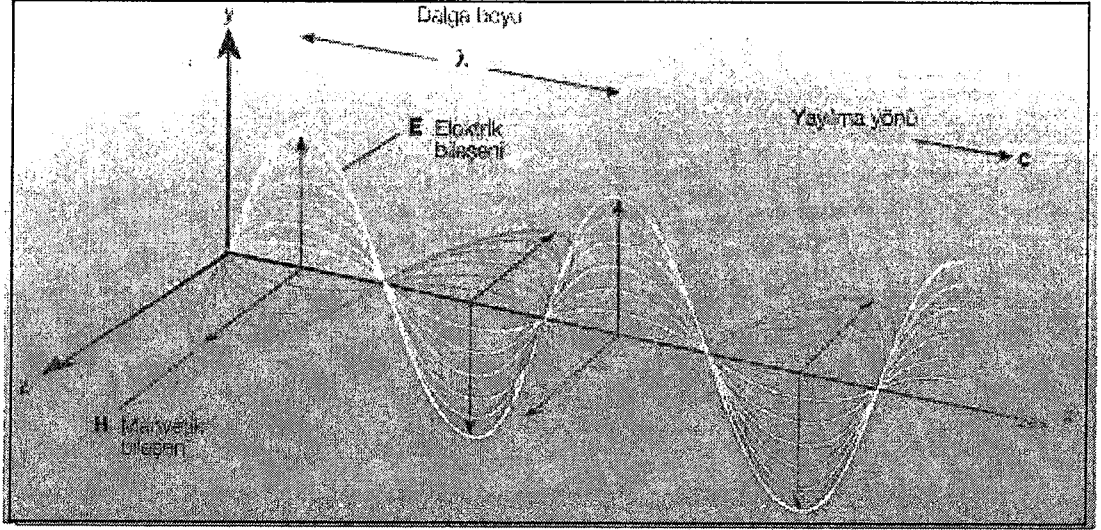
Alan, bir fiziksel büyüklüğün zamana bağlı olarak uzaysal dağılımıdır. Alanlar, vektörel ve skaler olmak üzere ikiye ayrılır. Bir vektör alanının büyüklük ve yönü uzay ve zaman bağılı olarak tanımlanır. Buna karşılık skaler alan, uzayın herhangi bir noktasında ve herhangi bir andaki büyüklüğü ile tanımlanabilir. Fiziksel alanlar genellikle üç boyutlu alanlardır. Atmosferdeki basınç dağılımında olduğu gibi, üç uzay değişkenine bağlı olduğundan üç boyutlu alanlardır.

Elektrik yükü, uzunluk ve zaman gibi temel bir büyüklüktür. Yani diğer büyüklükler cinsinden tanımlanamaz. Yükler durağan veya hareketli olsun, diğer yükler üzerine kuvvet uygularlar. Bu kuvvetlerin oluşturduğu alanlara elektromanyetik alanlar denir. (Şeker ve Çerezci,2000)

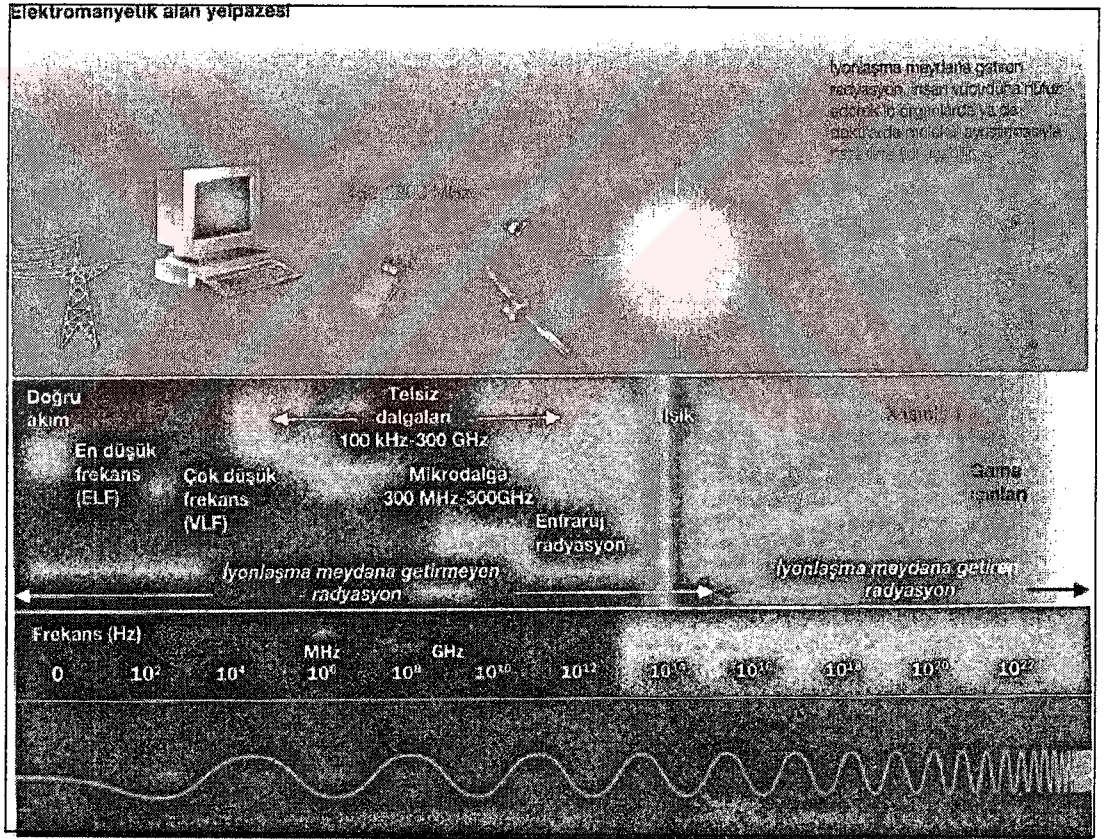
Dalgalar, dalga türüne ve yayılım ortamının özelliklerine bağlı olarak farklı hızlarda ilerlerler. Ses dalgaları atmosferde yaklaşık 360 m/s hızla ilerlerler. Elektromanyetik dalgaların hızları çok daha fazladır. Boş alanda ışık hızında ($3 \cdot 10^8$ m/s) Ancak havada (örneğin yeryüzü atmosferinde) hız biraz daha düşüktür. Bir elektromanyetik dalganın salınımı periyodik ve tekrarlamalıdır. Periyodik dalgaların tekraralama hızı, onun frekansıdır. Bir çevrimin uzayda kat ettiği uzaklığa “dalga boyu“ denir λ ile gösterilir.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

ile formülize edilir. Tüm elektromanyetik alanlar için hız aynı olduğundan, elektromanyetik spektrumdaki tüm ışınlar temelde birbirlerinde dalga boyları ile ayırt edilirler.



Şekil 2.1. Elektromanyetik ışımının sinüsoidal dalga özelliği



Şekil 2.2. Elektromanyetik alan spektrumu

2.3. Elektromanyetik Işınım

Işınım (radyasyon), genel anlamda enerjinin uzayda dalgalar ya da tanecikler (fotonlar) halinde yayılmasıdır. Isı, ışık ve radyo dalgaları günlük yaşamdan

bildiğimiz ışına yoluyla yayılma örnekleridir (Bilten,2001). Işıma madde içine nüfuz edip cismi oluşturan atomları iyonlaştırması ya da iyonlaştırmaması itibariyle iki sınıfta incelenir. Bunlar :

- a) İyonlaştırmayan Radyasyon (Elektromanyetik Işıma)
- b) İyonlaştırıcı Işıma (Nükleer Işıma, nötron, proton, alfa, beta tanecikleri, x ve gamma ışınları)

İyonlaştıran ışına, atom ve moleküllerden elektron koparabilen ışınalardır. Bu kopmanın mümkün olabilmesi için gerekli bir minimum kuantum enerjisi vardır. İnsan vücudunun çoğunun sudan oluşması sebebiyle, minimum enerji seviyesi, su moleküllerine göre belirlenmektedir. Değişik frekanslar bunun için 12 eV ile 35 eV arasında değişen değerler vermektedirler. 12 eV ultraviyole spektrumdaki $1.03 \cdot 10^{-7}$ m'lik dalga boyuna karşılık gelmektedir.

Radyo frekans (RF) seviyelerinde güvenlik için kullanılan en yüksek RF frekansı 300 GHz'dir ki bu 10^{-3} m dalga boyundadır ve RF spektrumundaki EHF bandında yer almaktadır. Diğer bir yönden 300 GHz 0.00125 eV enerjiye karşılık gelmektedir ve bu enerji seviyesi iyonlaşmaya sebebiyet vermek için çok küçük bir değerdir.

2.4 Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı

Cep telefonlarının insan sağlığına etkileriyle ilgili kuşkular ilk olarak 1992'de Florida'da açılan bir davaya konu oldu Davacı David Reynard cep telefonu kullanımının, eşinin bir tür beyin ölümüne yol açtığını iddia ediyordu. Ancak, 1995'te Reynard'ın iddiası delil yetersizliği nedeniyle mahkeme tarafından reddedildi. Reynard aslında bu dava ile uzun yıllar sürecektir tartışma ve araştırmalarında önünü açıyordu (Bilim ve Teknik,2001). Bu davaları başka davalar izledi ve hepsinde sonuç aynı oldu. Ancak mahkeme kararları bu şekilde sonuçlandı diye konuyu kestirip atmak doğru bir davranış olmaz. Çünkü bugün dünya üstündeki milyara yakın cep telefonu kullanıcısı ve bu insanların dışında kalan belki de cep telefonu kullanmayan ancak bir baz istasyonunun yakınlarında oturduğu için bundan rahatsızlık duyan ve psikolojik olarak etkilenmiş bir o kadar insanda konunun bir an önce çözümlenmesini ve net bir açıklama yapılmasını beklemektedir. Bu konu çözümleninceye kadar GSM operatörleriyle cep telefonu kullanıcıları ve diğer

şikayetçi insanlar arasındaki zaman zaman yaşanan tartışmalar sürekli olarak devam edecektir. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar ise şöyledir:

Merkezi İngiltere'de bulunan IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones,2000) bir rehber yayınlarak genel olarak GSM sistemini tanıtmışlar ve dünya çapında bu konu hakkındaki soruları cevaplamışlardır. Grup özellikle ICNIRP (International Commission of non-ionizing radiation protection) ve NRPB (National Radiological Protection Board)'nin belirlediği limitlerin altında herhangi bir sağlık riskinin bulunmadığını, ayrıca halk sağlığı açısından baz istasyonlarının insanların yaşadığı yerlere yakın yerlerde bulunmasının bir risk teşkil etmediğini ancak yerel ve devlet yönetimlerinin, yine de baz istasyonu montajlarının denetimi altında tutmasının faydalı olacağı yönünde tavsiyelerde bulunmaktadır. King (1998) ise özellikle enerji hatlarının ve düşük frekanslı elektromanyetik alanların, insan vücudundaki etkileşimini matematiksel modellemeye dayatarak ilişkilendirmeye çalışmış ve bu konuda biyomedikal araştırmaların sürmesi gerektiğini savunmuştur. Borbely ve diğ. (1999) 900 MHz'de 1W/kg'lik SAR (Specific Absorption Rate) oranı için EM alanın uyku anındaki etkilerini incelemiş ve uyku düzenini değiştirdiğini uyku halinde artmaya sebep olduğunu ileri sürmüşlerdir. Aldrich ve diğ. (1992) EM alanların epidemiyolojik yönden insan sağlığına etkilerini araştırmış ve eğer EM alanlardan kaynaklanan bir risk varsa, insan sağlığı açısından, bunun çok küçük olduğunu belirtmişlerdir. Braune ve diğ. (1998) ise 35 dakika EM alana maruz kalan insanlarda kan basıncının 5-10 mm Hg arttığını gözlemlemişlerdir. Burch ve diğ. (1997) günde birkaç kez cep telefonu kullanan kişilerde melatonin salgılamasının azaldığını ve cep telefonunun az kullanılması hatta hiç kullanılmamasını önermişlerdir. Eulitz ve diğ.(1998) cep telefonu kullananlarda beynin akustik uyarılara verdiği elektriksel tepkinin değiştiğini ve yüksek frekanslarda nörel aktivitenin değişimini incelemiştir. Dasdağ ve diğ. (1999) 18 adet Waster Albino erkek fareyi üç gruba ayırarak her gün iki saat boyunca bir aylık bir periyotta, bir gruba cep telefonunu standby konumda (idle mode), diğer gruba konuşma modunda (active mode) 0.5 cm mesafede bulundurarak deneylerde bulunmuşlardır. Konuşma grubu farelerin rektal ısılarının arttığını gözlemlemişlerdir. Freude ve diğ. (1998) sağlıklı erkek denekler üzerinde cep telefonlarından yayılan EM dalgaların insan beyninde yarattığı etkiyi incelemişler ve insan beyninin cep

telefonundan yayılan EM dalgalarından hareket yeteneği olarak değil öğrenme yeteneği olarak yani daha kompleks görevleri yerine getirme anlamında etkilendiğini iddia etmişlerdir. Fritze ve diğ. (1997) cep telefonlarından yayılan EM dalgaların farelerin merkezi sinir sistemlerinde yarattığı etkiyi araştırmış ve farelerde çok küçük bir stres yaratığını ancak beyinde adaptif veya reaktif değişiklikler yapmadığını savunmuşlardır. Balode, Z. ve diğ. (1996) EM kan hücreleri üzerine etkilerini inekler üstünde yaptığı deneylerle anlatmıştır. İnekleri seçilme nedenini EM alana insanlarla birlikte aynı alanlarda maruz kaldıkları için seçtiklerini belirten yazarlar, hayvanlardan alınan kan örneklerinde, ikincil kırmızı kan hücrelerinde, EM alana maruz kalan hayvanlarda 0.01%o 'lik bir fark olduğunu belirtmişlerdir. Bohr and Bohr (2000) ise mikrodalğanın proteinler üzerine etkilerini incelemişlerdir ve mikrodalğanın proteinlerde yapısal değişiklikleri hızlandırıcı etkisi olduğunu, ısınma sebebiyle oluşan soğurma ile doğallığın bozulduğunu belirtmişlerdir. Bortkiewicz ve diğ.(1997) ise, bir radyolink istasyonunda görevli, yaşları 20 ile 68 arasında değişen 71 kişi üzerinde EM dalgaların etkilerini araştırmış ve burada insanların 115V/m 'lik elektrik alana korunmasız olarak maruz kaldıklarını açıklamışlardır.

Dünya çapında bu araştırmalar yapılırken, aslında belki de biraz da, bizim ülkemizde durum nedir! buna göz atmakta faydalı olacaktır. GSM operatörleri 1994 yılında ülkemizde 2 farklı operatörle hizmete başlamışlardır. O zamandan 2000'li yıllara gelene kadar Ulaştırma Bakanlığı'nın yetkilendirmesi altında çalışılmış daha sonra ülkede yaşanan siyasi durumlar, farklı bakanlıkların (Çevre, Sağlık, bazı devlet bakanlıkları vb) müdahaleleriyle bu konuyu çözümsüzlüğe itmiş nihayet Telekomünikasyon Kurumunun (TK) hayata geçmesiyle tüm yetkilerin bu üst kurumda toplanmasıyla bir düzene oturmuştur. Ekler bölümünde şu anda Telekomünikasyon Kurumunun (TK) yürürlükte olan yönetmeliği ayrıca verilmiştir. şu anda ülkemizde faaliyette bulunan 2 adet 900 MHz, 2 adet 1800 MHz bandında hizmet veren 4 GSM operatörü de TK'nın yönetmeliğine uygun olarak hareket etmektedirler. Bu kurum operatörlerin uyması gereken standart ve limit değerleri belirlemiş ve operatörlerden bunlara uymaları konusunda son derece titiz davranmalarını istemiştir.

Buna rağmen ülkemizde gerek yazılı gerekse görsel basında çıkan yanlış ve yanlış haberlerle halkımız yanlış yönlendirilmekte veya gereksiz yere panik havası estirilmektedir. Bu noktada en önemli açıklama ülkenin bilimsel araştırma kurumu olan TÜBİTAK'tan gelmiştir. Kurum yayınladığı bir el kitapçığı ile kendilerine en çok yöneltilen soruları ve cevapları ve bu konuda bilinmesi gerekenleri yayınlamıştır. Halkımız en çok mobil iletişimin insan sağlığı özellikle kanser riski taşıyıp taşımadığı konularında bilgi sahibi olmayı istemekte ve merak etmektedir. Kurum tarafından yapılan resmi açıklamada konunun tüm dünyada araştırılmakta olduğunu ve şu ana kadar GSM haberleşme sisteminin özellikle iki önemli parçası olan BTS (Base Transceiver Station – Baz istasyonu) ve MS(Mobile Station-cep telefonu)'in kanser yaptığına ilişkin herhangi bir kanıtın bulunamadığını ancak araştırmaların yoğun şekilde sürdüğünü yine de şu ana kadar elde edilen bazı kesin verilerde ise örneğin cep telefonu kullanımının beyin tümörü riskini arttırmadığının ABD ve Danimarka'da yapılan ayrıntılı çalışmalar ile açıkça ortaya koyduğunu belirtmiştir (Bilten, 2001).

BÖLÜM-3. GSM HABERLEŞME SİSTEMİ

3.1. GSM Haberleşme Sisteminin Dünyadaki Gelişimi

GSM, Global System for Mobile Communication kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuş Küresel mobil haberleşme sistemi adı verilen bir haberleşme sistemidir. GSM'in tarihi, 1982'de Nordic PTT'sinin Avrupa Posta ve Telgraf konferansına (CEPT - Conferance of European Posts and Telgraphs) 900 Mhz'de Avrupa'yı kapsayan genel bir haberleşme servisi kurulması teklifi ile başlamıştır. Daha sonra Mobil Uzmanlık Grubu (Group Special Mobile) adı altında bir çalışma grubu oluşturulmuştur. Konferans sırasında oluşturulan bu çalışma grubunun amacı, Avrupa çapında, 900 Mhz aralığında işleyecek olan, kamuya açık bir hücreli iletişim sistemi oluşturmak olmuştur.

Hücreli haberleşme, haberleşme uygulamalarının en hızlı gelişeni ve en çok talep görenidir. Tüm dünyada yeni telefon aboneliklerindeki en büyük yüzde payı hücreli haberleşme uygulamalarında ve sürekli artmaktadır. Bir çok hususta hücreli çözümler, ticari kablo ağları ve kablosuz telefonlarla boy ölçüşebilmektedir. Önümüzdeki uzun vade perspektifte hücreli sistemler, sayısal teknolojiyi kullanarak, haberleşmenin evrensel bir metodu olacaktır.

Sayısal radyo iletimi kullanımı ve GSM şebekelerdeki ileri algoritmik iletişim, analog hücreli sistemlerden daha mükemmel bir frekans kullanımı sağlar. Dolayısıyla sürekli artan abonelere daha iyi hizmet sunulmuş olur. GSM genel bir standardı sağlamakla birlikte, hücreli aboneler, telefonlarını (en genel olarak terminal veri iletişim cihazlarını) bütün GSM servis alanı üzerinde kullanabileceklerdir. Bu haberleşme dolaşımı, GSM sistemleri içeren ülkelerde ve bu ülkeler arasında otomatik olarak gerçekleşir.

Uluslararası dolaşıma ek olarak, yüksek hızda veri haberleşmesi, kopyalama ve kısa mesaj hizmetleri gibi yeni kullanıcı servisleri sağlar. GSM'in teknik standartları ISDN vb. diğer standartlarla uyum içinde çalışabilecek şekilde hazırlanmıştır.

1982-1985 yıllarında sayısal veya analog sistem kurulması konusunda tartışmalar vardı. Görüşmeler sonrasında 1985'de sayısal sistemde karar kılınmıştır. Bundan sonraki basamak ise dar bant çözümü veya geniş bant çözümü seçme meselesi olmuştur. 1986'da Paris'te farklı şirketlerin farklı çözümlerle boy ölçüşebilecekleri bir ortam oluşmuştur. 1987'nin Mayıs ayında dar bant TDMA (Time Division Multiple Access) çözümünde ortak karara varılmıştır. Aynı zamanda 13 ülke sistemin belli kaidelerine ve özelliklerine uyacakları bir protokol imzalamışlardır. (MoU - Memorandum of Understanding). Dolayısıyla büyük bir potansiyel piyasa ortaya çıkmıştır. Bu ülkeler anlaştıkları şekilde bir GSM sistemi faaliyete geçirmek için 1 Temmuz 1991 tarihini belirlemişlerdir.

3.2. GSM Haberleşme Sisteminin Türkiye'deki Gelişimi

Tüm dünyada ticari hizmetler 1991 'in ortalarında başlamıştır. Bu sırada GSM 1800 standartları da ortaya çıkmıştır. 1992 yılında ilk uluslararası dolaşım anlaşması Finland Telecom ile Vodafone UK arasında imzalanmıştır. 1993'te Avrupa dışından ilk Avustralya, MoU'a katılmıştır. Yine aynı yıl DCS 1800 sistemi ilk defa İngiltere'de kurulmuştur.

1994'te MoU, 60 ülkede 100den fazla GSM iletişim ağına ulaşmış; GSM abonelerinin sayısı 3.000.000'u bulmuştur.

1995 yılında U.S.A.'de GSM 1900 sistemi hayata geçirilmiş ve GSM'in abone sayısı günde 10.000 artışla büyümeye devam etmiştir. Nisan 95 itibariyle MoU, 69 ülkede 188 üyeye sahiptir ve 1998'de 100 ülkede 253 üye ile tahmin edilen tüm görüşleri alt üst etmiş, dünya genelinde 70 milyon aboneye ulaşmıştır.

Bu GSM operatörlerinden dördü de ülkemizde bulunmaktadır. Bunlar Turkcell, Telsim, Aria ve Aycell'dir. 2003 yılı sonu itibariyle Aria ve Aycell birleşerek tek bir

operatör olarak faaliyetlerini sürdüreceklerdir. Bu birleşme İtalya ve Türkiye devletleri arasında imzalanan bir protokol ile gerçekleşmiş ve TK'da bu birleşmeyi onaylamıştır.

Ülkemizde şu anda GSM haberleşme sistemine ait istatistiksel değerler ise şöyledir (www.telepati.com.tr) ;

Tablo 3.1. Türkiye’de GSM operatörleri ve lisans alışı tarihleri

GSM Türkiye Operatörleri	25 Senelik 2G (İkinci Kuşak)
	Lisans tarihi
Turkcell (900 MHz)	27.04.1998
Telsim (900 MHz)	27.04.1998
Aria (1800 MHz)	Kasım 2000

Tablo 3.2. Türkiye ‘de GSM haberleşme sisteminin yıllara göre abone sayısının değişimi

Abone Sayısı	Turkcell	Telsim	Aria	Aycell
1994	64000	16000		
1995	225000	97000		
1996	550000	136000		
1997	1137000	345000		
1998	2337000	1050000		
1999	5500000	2500000		
2000	10100000	5700000		
2001	12200000	6750000	200000	50000

Dünyanın her yerinde olduğu gibi, ülkemizde de 2 farklı abone türü vardır;

- Sabit abone
- Ön ödemeli abone

1999 yılından itibaren ülkemizdeki operatörlerde ön ödemeli abone sistemini kurmuş ve hayata geçirmişlerdir. Başlangıçta ön demeli aboneler tüm aboneler oranı 1999 yılında %10 iken şu anda yaklaşık %70'lere yaklaşmıştır.

GSM cep telefonu şirketlerinin, dünya ve Türkiye'deki pazar payları ise şu şekildedir;

Tablo 3.3. GSM Markalarının dünya pazar payları

GSM Markaları Dünya Pazar Payı			
Markalar	1995	2000	2002(Avrupa)
Nokia	13	24	48
Ericsson	19	13	6
Motorola	21	10	10
Siemens	1	6	16
Samsung	0	2	8
Panasonic	2	1	1

Türkiye’de ise Nokia %34 ve Ericsson %32 ile Pazar payının yaklaşık 2/3’ünü paylaşmışlardır. Ayrıca Panasonic, Alcatel, Siemens, Motorola, Sagem ve Samsung pazarın kalan bölümünü paylaşmaktadırlar.

3.3. GSM Haberleşme Sistemine Ait Teknik Özellikler

Tablo 3.4. GSM Haberleşme Sisteminin Teknik Özellikleri

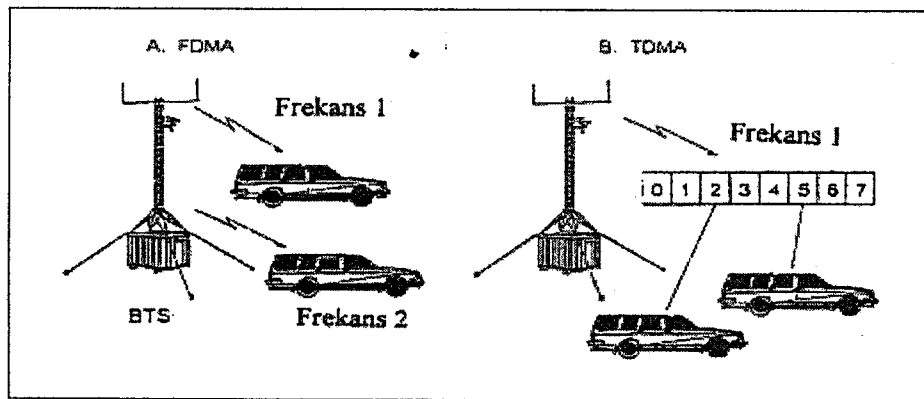
Sistem	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Frekanslar:			
• Uplink	890-915 MHz	1710-1785	1850-1910
• Downlink	935-960 MHz	1805-1880	1930-1990
Dalgaboyu	≈ 33cm	≈ 17cm	≈ 16cm
Bant genişliği	25 MHz	75 MHz	60 MHz
Dupleks mesafe	45 MHz	95 MHz	80 MHz
Kanal aralığı	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Radyokanalsayısı	125	375	300
İletim oranı	270 kbit/s	270 kbit/s	270 kbit/s

GSM’de kullanılan modülasyon metodu GMSK’dır. GMSK bir sayısal modülasyon şeklidir, örneğin gönderilecek bilgi sayısaldir. Bu bir veri veya sayısal hale getirilmiş konuşma olabilir. Modülatör, bir faz modülatörü olarak düşünülebilir. Taşıyıcı, modülatöre gönderilen bilgi bitlerine bağlı olarak fazı değiştirir. GMSK, bir burst içinde arzu edilen sabit zarf modülasyonunu içerir. Fazı değiştirirken düzgün eğri şekilleri elde etmek için, temel bant işareti bir Gauss geçiş bandı ile filtrelenir. GMSK, alışılmış MSK ile karşılaştırıldığında daha dar bir bant genişliği elde ederiz.

Modülasyon tekniğinde, normalde, 1 bitlik bir bilgi 1Hz'lik bir frekansla gönderilir. GSM'de taşıyıcı bant genişliği 200 kHz olduğuna göre 200kbit/s'lik bir bilgi gönderebiliriz. GMSK, ileri bir modülasyon tekniği olduğu için havadaki iletim oranını 270kbit/s'ye çıkarmaktadır. Bu da 200kHz'lik taşıyıcı bant genişliğinde 270kbit/s'lik bilginin taşınması anlamına gelmektedir.

Birçok hücrel haberleşme sisteminde zaman bölmeli çoklu erişim adı verilen (Time Division Multiple Access) TDMA tekniği kullanılır. Analog sistemlerde ise FDMA (Frequency Division Multiple Access - Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) metodu kullanılır. TDMA sisteminde aynı frekans bandı, farklı zaman dilimlerinde GSM için, 8 farklı abone için kullanılmaktadır. Bu da GSM'in sınırlamalarından birini bize göstermektedir. O da GSM'de 1 frekans bandı 8 aboneye hizmet verebilir. FDMA'de ise, her kanala belirli bir frekans bandı tahsis edilir. Eğer başka bir kanala geçmek istenirse, alıcının frekansı başka kanala ayarlanmalıdır. Şöyle ki; bir hücredeki her arama için bir frekans bandı kullanır (Eğer dupleks, yani iki yönlü arama ise iki frekans bandı kullanılır). Belirli bir arama için belirli bir bant kullanıldığından, bu frekans bandı başka bir arama için müsait olmayacaktır.

TDMA ve FDMA arasındaki fark şekil 3.1'de gösterilmiştir. (A)'da her konuşan mobile tahsis edilmiş bir frekans bandı (taşıyıcı frekansı) ilkesi ile uygulanan FDMA, (B)'de ise aynı frekans bandını kullanan sekiz zaman aralığında, sekiz farklı mobilin konuşabileceği TDMA sistemi görülmektedir.



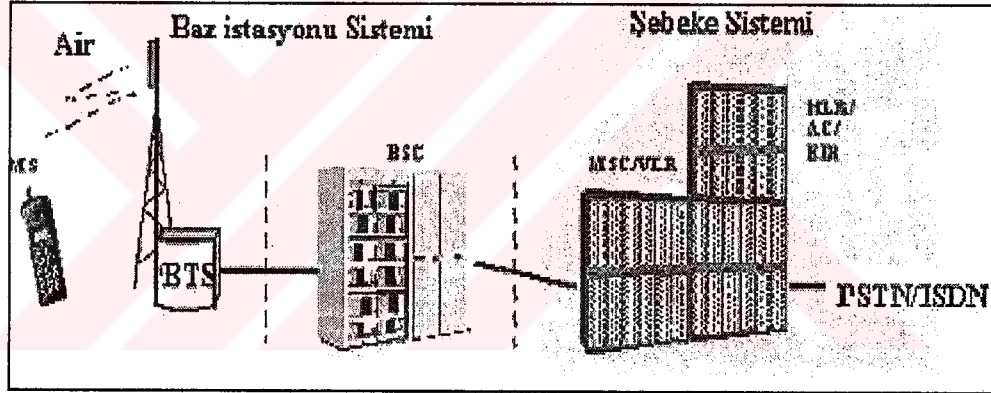
Şekil 3.1. a.FDMA, b.TDMA

3.4. GSM Haberleşme Sisteminin Avantajları

GSM ile oluşturulmak istenen özellikler şu maddeler ile verilebilir;

- Çok daha iyi konuşma kalitesi (eşit veya mevcut olan analog hücresel teknolojiden daha iyi)
- Düşük terminal, işletim ve hizmet ücretleri
- Yüksek seviyede güvenlik
- Uluslararası dolaşım (bir abone izin numarası altında)
- Düşük güçte çalışan portatif veya mobil terminal desteği
- Yeni hizmetlere ve şebekelere uyumluluk

3.5. GSM Haberleşme Sisteminin Yapısı



Şekil 3.2. GSM haberleşme sisteminin teknik yapısı

Şekil 3.2’den de görüleceği üzere, GSM haberleşme sistemi, MS (Mobile station-cep telefonu), BTS (Base Transceiver Station-Baz istasyonu), BSC (Base Station Controller-Baz istasyonu kontrol merkezi), MSC/VLR (Mobile Services Switching Center /Visitor Location Register – Santral/Ziyaretçi Konum Kaydedicisi), HLR (Home Location Register-Abone Konum Kaydedicisi), EIR(Equipment Identity Register-Ekipman Kayıt Kütüğü), ve AUC(Authentication Center-Abone kimlik onay merkezi) adı verilen sistem elemanlarından oluşmaktadır. Bunlardan, BSC ve BTS’ler Baz İstasyon Sistemi (Base Station System-BSS)’ni, diğerleri ise Anahtarlama Sistemini (SS-Switching System) oluştururlar. Ayrıca tüm bu iki

sistemi de işletim yönünden destekleyen OSS (Operation Support System) birimi de bulunmaktadır.

Bu bölümde öncelikle bu sistem elemanlarının teknik tanımları ve işleyişleri anlatıldıktan sonra, GSM'de ağ yapısı, hücre tür, biçim ve kapsama alanları ve son olarak da hücre planlama prensipleri ve GSM hücre planlamada önemli teknik özellikler ve kullanım şekilleri anlatılacaktır.

3.5.1. Cep telefonu (MS - Mobile Station)

Hücresel şebekenin en çok bilinen ünitesi şüphesiz cep telefonlarıdır. Güç ve uygulama açısından dikkate alınırsa farklı tipte cep telefonları mevcuttur. SIM (Subscriber identity module-Abone kimlik modülü) kart ve mobil cihaz birlikte cep telefonunu oluştururlar. GSM 900 Mhz için 4 adet, 1800 Mhz için 2 adet ve 1900 MHz için 1 adet MS güç sınıfı bulunmaktadır.

Tablo 3.5. MS Güç Sınıfları

Sistem	MS güç sınıfı	Çıkış gücü
GSM 900	2	39dBm (8 W)
GSM 900	3	37 dBm (5 W)
GSM 900	4	33 dBm (2 W)
GSM 900	5	29 dBm (0.8 W)
GSM 1800/1900	1	30 dBm (1 W)
GSM 1800	2	24 dBm (0.25 W)

Sabit mobil istasyonlar, arabanın içine kalıcı olarak yerleştirilir ve maksimum izin verilen RF çıkış gücü 20W'dır. Portatif üniteler (çanta telefonları) 8W ve elle taşınabilir üniteler 2W'a kadar güç çıkarırlar. 1993'den bu yana üretilen mobiller ile GSM sistem daha cazip hale gelmiştir. Elle taşınabilen telefonlar, hacimce oldukça küçüktürler.

3.5.1.1. Abone kimlik modülü (SIM-Subscriber Identity Module)

SIM kart, mobil aboneye bir kimlik sağlar. SIM kart olmadan, acil aramalar hariç, mobil telefon işlevini göremez. SIM kart, kredi kartı büyüklüğünde, içinde kurulmuş çipi olan plastik bir karttır. 'Smart Card' olarak da adlandırılır. SIM kart, eğer mobil kullanılmak isteniyorsa mobil içine yerleştirilmelidir. Çok küçük elle taşınabilir cep telefonları için, kredi kartı büyüklüğündeki SIM kartın yerine daha küçük olan "plug-in SIM" geliştirilmiştir. Belirli abone bilgileri SIM kartta yüklüdür. Bununla beraber, abone tarafından kullanılan kişisel veriler de kişisel telefon numaraları gibi bu kart içindeki çipte mevcuttur. SIM kart aboneyi tanıtır ve bir telefonu kişiselleştirdiğine göre, sadece SIM kartı alarak yurt dışına çıkmak mümkündür. Bu durumda gidilen yerde bir mobil telefon kiralayarak o cihazı kendi numarasından telefon ediyormuş gibi kullanabilir. Mali yükümlülük, kişinin bağlı olduğu numaraya ait olur. Aynı zamanda bu kişiye, kişinin abone numarası çevrilerek de ulaşılabilir.

Şebekeden alınan kısa mesajlar da bu kartta saklanır. Kartın güvenliği için dört basamaklı bir şifre konulmuştur. Bu şifre PIN (Personal Identification Number) olarak adlandırılır. PIN kartta yüklüdür ve üç kere yanlış girilirse, kart kendini bloke eder. Bu durumda kart ancak sekiz basamaklı bir şifre ile çözülebilir. Buna da PUK (Personal Unblocking Key) denir ve PUK da kartta yüklüdür.

Sistemin her geçen gün geliştiğini biliyoruz. Bu da SIM kartların daha fazla işlevsel hale getirerek sistem içinde daha da önemli işlemler yapmalarını da sağlayacaktır. Örneğin, premium veya corporate tabir edilen, telefonu sık kullanan veya şirket abonelerine belirli bölgelerde konuşma önceliği tanımlanması veya belirli bölgelerde konuşmalara sınırlamalar getirmek SIM kartlarla mümkün olabilecektir.

3.5.2. Baz istasyonu (BTS)

Baz istasyonları veya tez kapsamında ele alacağımız ismiyle BTS'ler sistemin en önemli parçalarından biridir. GSM haberleşme sisteminde belli bir alanın kapsanması aşamasında baz istasyonlarına ihtiyaç duyarız. Baz istasyonları bir GSM vericisi olmakla birlikte TV veya radyo vericileri gibi değerlendiremeyiz. Bunun 2 önemli

nedeni vardır. Birincisi, TV veya radyo vericileri kw'lar mertebesinde çıkış gücüne sahip , yüksek güçlü ve sadece transmitter (gönderici) özelliğe sahiptirler. BTS'ler ise transmit ve receive (gönderme ve alma) özelliğine sahiptirler ve güçleri maksimum 40 Watt mertebesinde. Dolayısıyla düşük güçlü ekipmanlardır. Kapsama alanları TV ve/veya radyo vericilerine oranla çok daha küçüktür. GSM'de her bir hücre bir grup radyo kanalını işleten baz istasyonuna (BTS) sahiptir. BTS, mobil GSM şebekesine bağlayan bir arayüzdür.

3.5.3. Baz istasyonu kontrol merkezi (BSC)

GSM haberleşme sisteminde, bir grup BTS, bir BSC ile kontrol edilir. Bu baz istasyonlarının sayısı üreticiye bağlıdır ve birkaç onlar veya birkaç yüzler mertebelerinde olabilir. Baz istasyonu kontrol merkezi (BSC), sistemin, tüm radyo şebekesini yöneten en önemli ve en akıllı ögesidir. BSC;

- MS bağlantılarının işletimi ve handover (aktarma) kararlarının verilmesi
- Radyo şebekesinin yönetimi
- Kod çevrimi (transcoding) ve hız ayarlaması (rate adaptation)
- Trafik toplama
- BTS'lerin iletimlerinin yönetimi
- BTS'lerin uzaktan kontrolü

gibi önemli görevleri yerine getirmektedir (Ericsson,1996). BSC donanımı, BTS'ler gibi aynı bölgeye veya kendi başına bir bölgeye yerleştirilebileceği gibi GSM santrallerinin (MSC) buldukları yerlere de yerleştirilebilir. Bu tarz, işletim açısından da daha uygun ve fizibildir.

3.5.4. GSM santrali - Mobil servisler anahtarlama merkezi (MSC)

Belli sayıda baz istasyonu kontrol merkezine (BSC) bir GSM santrali (MSC) hizmet eder. Aslında kısaca özetleyecek olursak BSC'ler BTS'leri MSC'ler de BSC'leri kontrol ve idare etmektedirler, diyebiliriz. MSC'ler, temel olarak, bir aboneye ve ya bir aboneden yapılan aramaların kurulması (setup), yol ataması(routing) ve

denetlenmesi, gözetimi işlemlerinden sorumludur. PSTN, ISDN, PLMN ve birçok özel şebekelerle yapılan karşılıklı görüşmeleri kontrol ederler.

3.5.5 – Şebeke geçit santrali (GMSC)

GMSC, MSC'ye gelen tüm çağrılarının yol atama fonksiyonlarını destekler yani hücresel ağın PSTN'e arayüzüdür. Eğer sabit ağdaki bir abone herhangi bir GSM abonesini aramak isterse veya bir mobil abone bir PSTN abonesini aramak isterse PSTN aramayı 'gateway' diye adlandırılan giriş yerine bağlar ve bağlantı bu şekilde kurulur. Gateway, genellikle bir MSC'de gerçekleşir ve bu MSC, GMSC - Gateway MSC olarak adlandırılır.

GMSC, herhangi bir MSC olabilir. GMSC, araştırılan mobil istasyonun yerini bulacaktır. Sahip olduğu kayıtlarla sabit ağdan gelen aramayı BSC ve BTS yoluyla mobil istasyona gönderir. GMSC bu göndermeyi Abone Konum Kaydedicisine (HLR) sorarak yapar. HLR, GMSC'ye adresi bildirir ve GMSC aramayı, aranılan mobil istasyonun bulunduğu MSC'ye yönlendirir. Arama, yönlendirilen MSC'ye ulaştığında, Ziyaretçi Konum Kaydedicisi (VLR) mobil istasyonun nerede olduğunu detayları ile bilecektir, çünkü VLR, HLR'dan gerekli verileri almıştır. Böylece aramanın gönderildiği MSC, aramayı o yöne doğru anahtarlayacaktır.

3.5.6. İşletme ve bakım merkezi (OMC - Operation and Maintenance Center)

OMC'nin hem (G)MSC'ye, hem de BSC'ye erişimi vardır. Şebekeden gelen hata mesajlarını ele alır. BTS ve BSC'nin trafik yükünü kontrol eder. OMC, BSC yoluyla BTS'i düzenler ve operatörün sisteme bağlı parçaları kontrol edebilmesini sağlar.

3.5.7. Abone Konum Kaydedicisi (HLR - Home Location Register)

GSM haberleşme sisteminde, her operatör abone bilgilerini içeren bir veri tabanına sahiptir. Bu veri tabanına abone konum kaydedicisi veya HLR adını veriyoruz. Bir benzetme yaparsak HLR'ı GSM operatörünün nüfus genel müdürlüğüne benzetebiliriz. Normalde her PLMN şebekesinin bir veri tabanı bulunur. Ancak

abone sayısı arttıkça bir HLR ile sistemi yürütmek zorlaşacağı için HLR sayısı abone sayısına bağlı olarak arttırılmaktadır. HLR'da abonelerin MSC/VLR alanları ve hangi servisleri kullanabilecekleri ile bilgiler bulunmaktadır. Normalde bir HLR'ı bağımsız bir bilgisayar gibi düşünebiliriz anahtarlama kabiliyeti olmayan ama yüzbinlerce abonenin bilgisini yönetebilen ve depolayan bir bilgisayar (Mauley and Pautet, 1992). Herhangi bir arama yapılmak istendiğinde mobil istasyonun yeri önemli ve mobil istasyonun izini takip edecek bir takım veri tabanlarına ihtiyaç vardır. Bu veri tabanlarından en önemli olanı HLR'dır. Herhangi bir kişi bir GSM operatöründen abonelik aldığı anda o operatörün HLR'ında kaydedilir. HLR, ilgili (G)MSC bölgesine ait bütün abonelerin kullanıcı veri ve kimlik bilgilerini saklar. Bunlar, bir kullanıcıyı Uluslararası Mobil Abone Numarası (IMSI – International Mobile Subscriber Number), doğrulama parametreleri ve abonenin kabul edilen bütünleyici servisleri gibi kalıcı veriler ve bazı geçici verilerdir. SIM'deki geçici veriler şunları içerirler;

- Abonenin o anda bulunduğu VLR
- Eğer abone yönlendirme seçerse gelen aramaların hangi numaraya aktarılacağı
- Güvenlik ve şifreleme için gerekli bazı parametreler

IMSI, SIM kartta kalıcıdır ve GSM sistemde aboneyi tanımlayan önemli enformasyonlardan biridir. IMSI'nin ilk üç basamağı Mobil Ülke Kodunu (MCC - Mobile Country Code), daha sonraki iki basamak Mobil Şebeke Kodunu (MNC - Mobile Network Code), on basamağa kadar olabilen son kısım ise Mobil Abone Kimlik Numarası (MSIN – Mobile Subscriber Identification Number), IMSI'yi tanımlar.

Örneğin IMSI : 286015322101789

Bu numara Türkiye'de Turkcell kullanıcısı bir aboneyi tanımlamaktadır (MCC=286), abonenin şebeke kimlik numarası da 5322101789'dur (MSIN).

3.5.8. Ziyaretçi Konum Kaydedicisi (VLR - Visitor Location Register)

Ziyaretçi Konum Kaydedicisi (VLR), MSC bölgesinde bulunan bütün mobil istasyonlar hakkında bilgi içeren bir veri tabanıdır. Her MSC'de bir de VLR bulunmaktadır ki her seferinde MSC'ler HLR ile diyaloga geçmesin ve abone bilgilerini sürekli HLR'dan çekmek zorunda kalmasın diye. Böyle bir durum söz konusu olsaydı MSC ile HLR arasında çok ciddi sinyalleşmeler olacak ve bu da sisteme ciddi bir sinyalleşme yükü getirecekti. Genel olarak bir VLR'da;

- Abone kimlik numarası
- Tamamlayıcı servis bilgileri
- MS'in durumu (idle, call setup veya aktif mode)
- MS'in bulunduğu LA(Location Area)

bilgileri bulunur. Mobil istasyon yeni bir MSC bölgeye girer girmez o MSC'ye bağlı olan VLR, HLR'dan mobil istasyon hakkında bilgi ister. Aynı zamanda HLR, mobil istasyonun bulunduğu bölgenin hangi MSC olduğu hakkında bilgilendirilecektir. Eğer mobil istasyon bir arama yapmak isterse, VLR, her seferinde HLR'a sormadan aramanın sağlanması için gereken tüm bilgileri elde edecektir. HLR, anlatılırken Nüfus Genel Müdürlüğüne benzetmiştik. VLR'ları da il nüfus müdürlükleri gibi düşünebiliriz. VLR, bütün mobillerin ilişkide oldukları (G)MSC'ye yüklenen, konu ile ilgili verileri içerir. Kalıcı veri, HLR'da bulunan veri ile aynı olup, geçici veri biraz farklılık gösterir. Örneğin VLR, TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity - Geçici Mobil Abone Kimliği) bilgisini saklar. TMSI'nin kullanım amacı, air interface dediğimiz hava arayüzünde IMSI'nin deşifre edilmesini önlemektir. Maksimum 8 digitli bir numaradır.

VLR, arama olayının kurulumu esnasında doğrulama prosedürü süresince aboneye özel veriler tedarik ederek (G)MSC'yi destekler. Biliyoruz ki VLR, belli bir abone için o abonenin HLR'ından veri alır. Abone verilerini VLR'a (aynı zamanda HLR'a) yerleştirme HLR'daki veri trafiğini azaltır. Çünkü her seferinde lazım olduğunda bu verilerin tekrar tekrar istenmesine gerek yoktur. Aşağı yukarı birbirinin aynı olan bu verilerin hem HLR, hem de VLR'a yüklenmesinin diğer sebebi her birinin farklı amaçlara hizmet etmesidir. HLR, PSTN'den bir arama geliyor iken gerekli abone

bilgilerini GMSC' ye tedarik etmelidir. VLR, tam zıt bir işlevi yerine getirir, yani bir mobil istasyondan arama geliyor iken gerekli abone bilgilerini ev sahibi GMSC'ye tedarik eder. Sonuçta hem HLR hem de VLR, GSM sisteminde ki haberleşme akışı açısından çok önemli yerlere sahiptirler.

3.5.9. Cep telefonu kayıt kütüğü (EIR - Equipment Identity Register)

Bilindiği gibi SIM kart ve mobil cihaz birlikte cep telefonunu oluştururlar. SIM'in bulunmadığı durumda mobil istasyon GSM şebekeye acil haller dışında giriş alamaz. SIM kart, mobil cihazı şebekeye tanıttığından ve başka mobil cihazlarda da kullanılabilirdiğinden dolayı çalıntı mobil cihazların durumu ne olacak diye akla soru gelebilir. Bunun için cihazın kendine özel donanım kimliği içeren bir veri tabanına ihtiyaç duyulmuştur. Bu da cihaz kimlik kaydedicisidir (EIR).

EIR'ın varlığı GSM sisteme güvenlik sağlar. EIR'da çalıntı cihazlardan başka, donanımında bozukluk olan ve şebekede kullanılmayan mobil cihazların seri numaraları vardır.

GSM spesifikasyonlarına göre IMEI (International Mobile Equipment Identity - Uluslararası Mobil Cihaz Kimliği), 15 digitlik bir numaradır. 6 digit TAC(Type Approval Code-merkez GSM operatörü tarafından belirlenir), 2 digit FAC (Final Assembly Code-üretici firmayı tanımlar), 6 digit SNR (Serial Number) ve 1 digit te spare bitidir (boşluk biti). Bu spare bit, gelecekte herhangi bir amaç için kullanılabilme ihtimaline karşı ayrılmıştır. IMEI, sadece belirli bir telefonun seri numarası değildir. Aynı zamanda üreticiyi ve üretilen ülkeyi de gösterir. Burada amaç her kaydetme ve arama kurulumun da (registration and call establishment) mobil istasyon kimliğinin kontrol edilmesi, sonra IMEI'e dayanarak mobil istasyonun sisteme erişimini engellemek veya kabul etmektir. Örnek olarak şunu verebiliriz ; herhangi bir firmanın ürettiği cihaz, RF kalitesi gibi tavsiye edilen özelliklere yeteri kadar uymuyorsa, bu mobil uyumsuz dalgalar üreteceğinden ve girişime sebep olacağından yasaklanmış demektir ve bu cihaz şebekeden reddedilir.

3.5.10. Abone kimlik onay merkezi (AUC - Authentication Center)

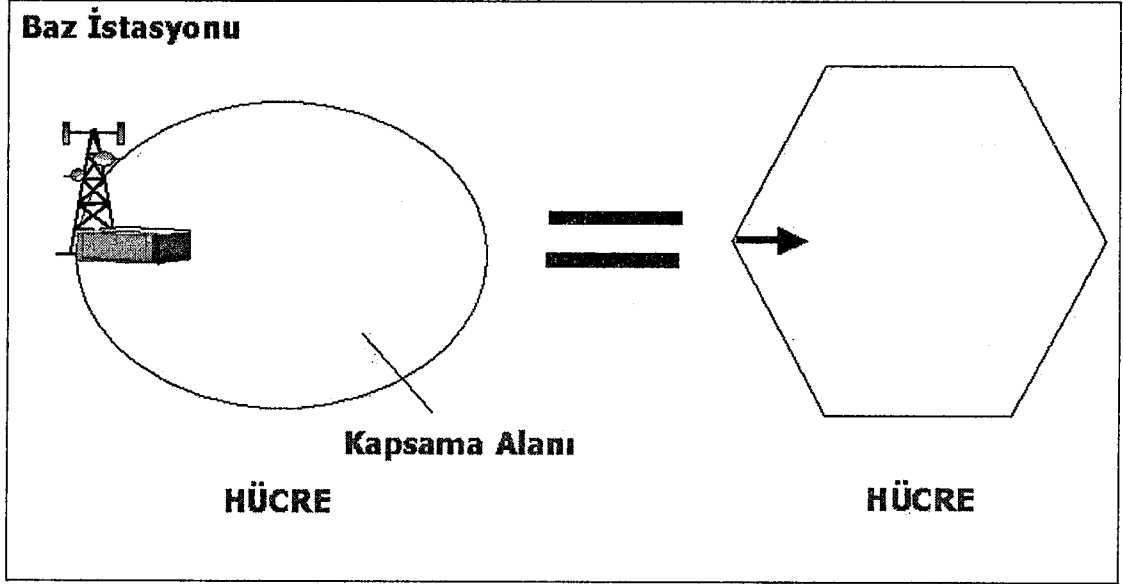
Doğrulama Merkezi (AUC), HLR ile irtibatlandırılmıştır. AUC, mobil istasyonun doğrulama prosedürü esnasında HLR 'a bazı parametreler sağlar. AUC, belirli bir abone ile ilgili giriş değerlerini hesaplamak ve istenilen sonuçları HLR 'a aktarmak için hangi algoritmayı kullanacağını önceden bilir. Doğrulama prosedürleri ile ilgili algoritmalar AUC 'de yüklüdür ve herhangi bir anda ki kötü kullanıma karşı korunurlar.

3.6. GSM Haberleşme Sisteminde Coğrafi Ağ Yapısı

Her telefon ağı gelen çağrıları doğru aboneye yönlendirmek için, kendine özgü yapıya ihtiyaç duyar. Mobil haberleşme sistemlerinde bu yapı çok önemlidir. Çünkü aboneler de mobildir ve sürekli olarak konum değiştirmektedirler. Dolayısıyla sistem sürekli olarak her bir abonenin sistem içinde nerede bulunduğunu izlemek zorundadır (Ericsson,1999). Bu açıdan ağ yapısının kurulumu ve işleyişi doğru olmalıdır.

3.6.1. Hücre

Hücre, hücresel sistemin en temel birimidir. Bir BTS'de bulunan, aynı yöne yönlendirilmiş bir anten sistemin kapsadığı alana hücre denir. GSM haberleşme sisteminde her hücre CGI (Cell Global Identity-Global Hücre Kimliği) adı verilen tek bir numara ile tanımlanır.



Şekil 3.3. Bir GSM hücresinin kapsama alanı

3.6.1.1. Hücre tipleri

Hücre planlamada, hücre tipleri servis verdikleri alanın büyüklükleri, toplanan trafik miktarı vb. kriterlere göre değerlendirilerek sınıflandırılırlar. Buna göre hücreler öncelikle;

- **Rural Hücreler;** Kırsal alan ve yol kapsamı amacıyla planlanan hücrelerdir. Kapsama alanları çok geniştir ve kullanılan antenler genellikle yüksek kazançlı antenlerdir.
- **Suburban Hücreler;** ilçe merkezleri ve şehir merkezlerine yakın yerleşim yerlerini kapsamak amacıyla planlanan hücrelerdir. Bu hücrelerin de kapsama alanları geniştir ve kullanılan antenler yüksek kazançlı antenlerdir.
- **Urban Hücreler;** Şehir merkezlerinin kapsanması amacıyla planlanan hücrelerdir. Bu hücrelerin kapsama alanları çok geniş değildir. Ancak elde edilen trafik değerleri yüksektir.
- **Dense Urban Hücreler;** Alışveriş merkezleri, fuar ve kongre merkezleri, konser salonları gibi insan yoğunluğunun ve sirkülasyonunun fazla olduğu hücrelerdir. Kapsama alanları çok küçük ancak trafik değerleri çok yüksek hücrelerdir.

Ayrıca hücreler kapsama alanlarının büyüklüklerine göre;

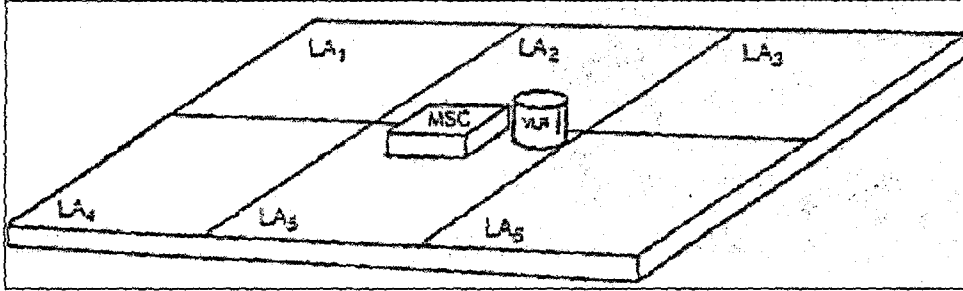
- **Dragon hücreler;** Faz-0 olarak isimlendirilen GSM'in ilk fazında tamamen kapsama sağlamak amacıyla planlanmış, çok geniş alana servis veren hücrelerdir.
- **Makro hücreler;** Suburban ve urban alanların kapsanması amacıyla planlanan hücre tipleridir. Bu hücre tipleri hem kapsama hem de kapasite amacıyla planlanırlar.
- **Mikro hücreler;** Daha çok yoğun kentsel alanların kapsanması amacıyla planlanan hücrelerdir. Dense urban hücre tipine karşılık gelmektedir. Sıklıkla kapasite amacıyla planlanan, dar kapsamaya sahip hücrelerdir.
- **Piko hücreler ;** Bu hücre tipi bina içi kapsama amacıyla planlanan hücrelerdir. Örneğin Akmerkez, Yapı Kredi Plaza vb. gibi büyük alışveriş veya iş merkezlerinin bina içi trafiğini bina dışından bir hücre yerine bina içine kurulmuş bir hücre ile toplamaya yönelik planlanmış hücre tipleridir.

3.6.2. Yerleşim alanı

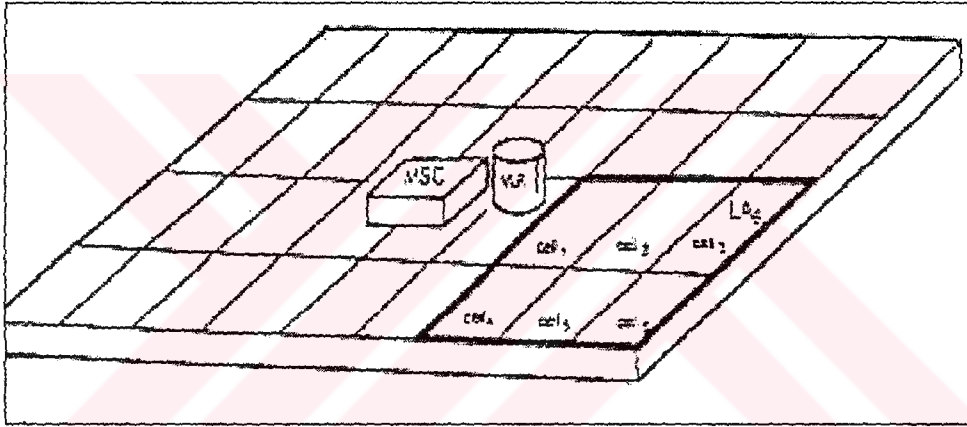
Yerleşim alanı (Location Area – LA), sistemde bir grup hücrenin bir arada bulunarak oluşturduğu alana verilen isimdir. Genellikle LA belirlenirken, bir grup oluşturacak şekilde bir arada bulunan hücrelere aynı LA tanımlaması yapılır. Örneğin Ankara iline ait hücreler bir LA, Bolu iline ait hücrelere başka bir LA tanımlaması yapılır. Sistem bir abonenin nerede bulunduğu bilgisini LA ile tespit etmekte ve aboneye bir çağrı geldiğinde sadece bulunduğu yerleşim bölgesinde sorgulama yapmaktadır. Yerleşim bölgesi, birkaç hücreye sahip olabilir ve bir veya daha fazla BSC'ye bağlıdır. Fakat sadece bir MSC/VLR'a sahiptir. Yerleşim bölgesi, sistem tarafından Yerleşim Bölgesi Kimliği (LAI - Location Area Identity) kullanarak tanınır. Abonenin hangi LA'de bulunduğu bilgisi ise sistemde VLR'da tutulmaktadır. Eğer bir abone, bir LA'den başka bir LA'e geçerse bu hemen sisteme raporlanmaktadır.

3.6.3. MSC servis alanı

Bir MSC'nin servis alanı bir veya birden fazla LA'nın birleşmesiyle oluşan coğrafi alandır. Tıpkı LA'da olduğu gibi bir MS'in hangi MSC servis alanında olduğu bilgisi kaydedilmekte ve izlenmektedir. Bu bilgi HLR'da bulunmaktadır.



Şekil 3.4. Bir MSC servis alanının yerleşim alanları ile birlikte gösterimi



Şekil 3.5. Bir MSC servis alanının yerleşim alanları ve hücelere bölümü

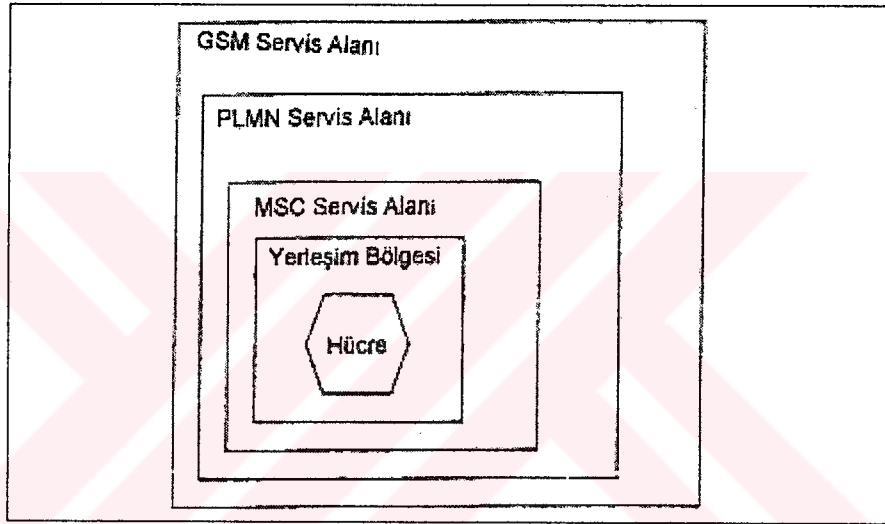
3.6.4. PLMN servis alanı

PLMN servis alanı, bir operatör tarafından hizmete sunulan tüm hücrelerin kapsadığı servis alanıdır. Bir ülkede birden fazla PLMN servis alanı olabilir. Örneğin ülkemizde 4 farklı GSM operatörü olduğu için 4 farklı PLMN servis alanı bulunmaktadır.

3.6.5. GSM servis alanı

GSM servis alanı ise bir ülkedeki tüm operatörlerin kapsadığı coğrafi alan olarak düşünülebilir. Burada, örneğin yurtdışından gelen bir abone düşünelim ve bu abonenin bağlı bulunduğu GSM operatörünün Türkiye'deki 4 operatörle de roaming anlaşması olsun. Bu durumda bu abone, Türkiye'deki tüm GSM servis alanından faydalanacaktır.

Özet olarak, coğrafi yapıyı şu şekilde düşünebiliriz;



Şekil 3.6. GSM'de servis alanları arasındaki ilişki

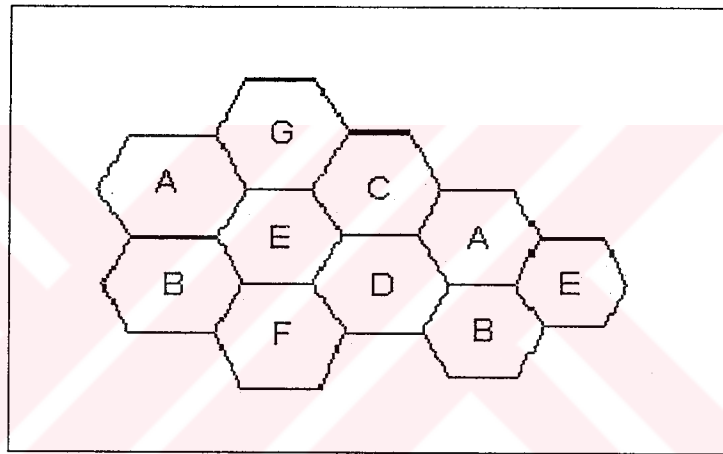
3.6.6. Kapasite ve frekansın tekrar kullanımı

Bir hücrede kullanılan frekans sayısı o hücrenin kapasitesini belirler. GSM haberleşme sisteminde her operatör sınırlı sayıda frekansa sahiptir. Bu frekansların tamamı tüm şebeke içinde tekrarlanarak kullanılır. Örneğin, ülkemizde 900 MHz frekansında 124 frekans bulunmaktadır. Bunun 50 adeti Turkcell, 50 adeti Telsim'e tahsis edilmiştir. 9 adet frekansta Aria'a tahsis edilmiştir. Kalan 15 adet frekans Türk Telekom'un mülkiyetindedir.

Sahip olunan frekanslar tüm şebeke içinde tekrar edilerek şebekenin frekans planlaması yapılır. Bu da GSM hücre planlama mühendislerinin sorumluluk

alanındadır ve bir GSM şebekesinin şebeke kalitesi direkt olarak frekans planlaması ve sahip olunan frekans sayısı ile ilgilidir (Ozguner ve Cavdar, 2001). Örneğin 1800 MHz için tahsis edilen frekans adedi operatör başına 75'dir. Bu durumda çok basit bir mantıkla aynı sayıda hücreye ve aynı sayıda kapasiteye sahip biri GSM 900 diğeri 1800 iki farklı operatörden GSM 1800'ün şebeke kalitesinin çok daha iyi olması beklenir.

Frekansların tekrar kullanımı sırasında en önemli kural, birbirine komşu olan ve komşunun komşusu konumunda bulunan hücrelerde aynı frekansları kullanmamak esasına dayanmaktadır.

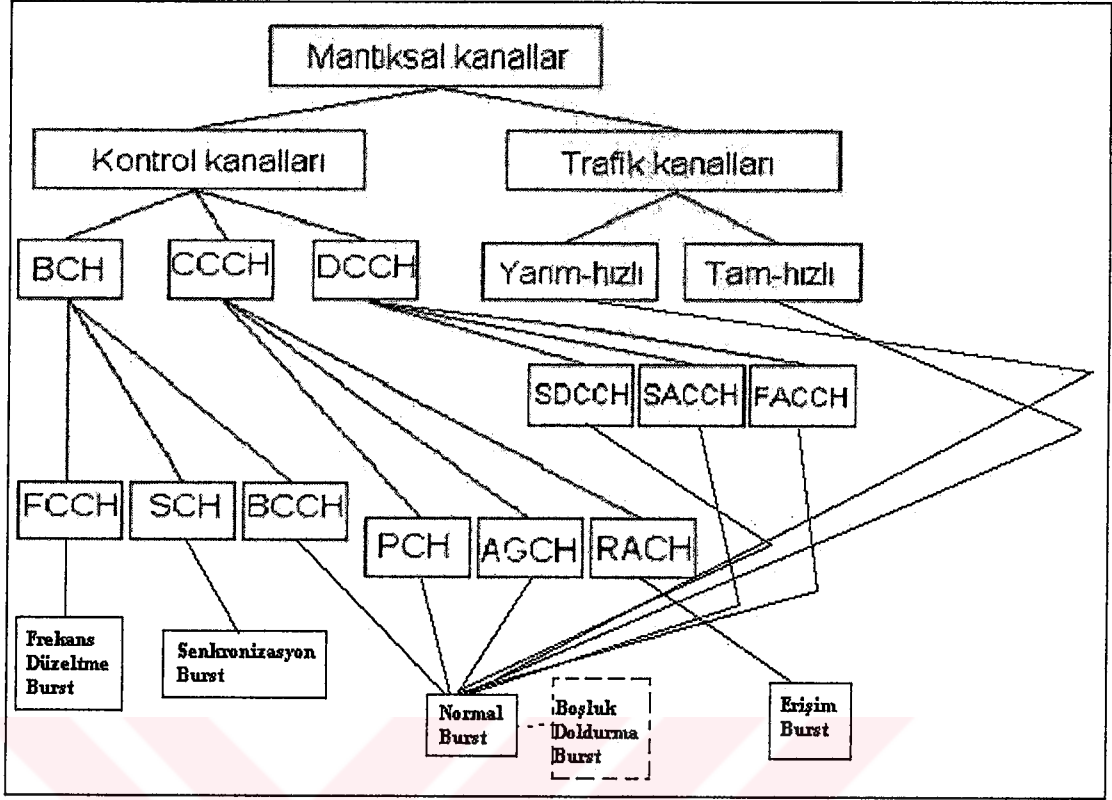


Şekil 3.7. GSM haberleşme sisteminde komşu hücrelerde aynı frekans kullanılmaz.

3.7. Kanal Kavramı

Bir TDMA çerçevesindeki her timeslot'a fiziksel bir kanal denir. Bu yüzden, GSM'de her taşıyıcı frekansı 8 adet fiziksel kanal sahiptir.

Fiziksel kanallar konuşma, data veya sinyalleşme bilgilerinin gönderilmesinde kullanılır.



Şekil 3.9. Mantıksal kanallar

3.7.2. Trafik kanalları (TCH)

Trafik kanalları “tam-hızlı (full-rate)” ve “yarı-hızlı (half-rate)” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Günümüzde tam-hızlı trafik kanalları kullanılmaktadır. Bir tam hızlı TCH, bir fiziksel kanalı işgal eder (Bir taşıyıcı üzerindeki bir zaman aralığı). Kapasite açısından sıkıntı yaşanan yerlerde BSC bazında uygulanmak üzere half rate uygulamasına geçilebilir. Burada, örneğin hücredeki trafik yükü tüm kanalların %80’ini doldurduğunda half rate etkin olur ve 1 TS 2 farklı abone tarafından kullanılmaya başlar. Bu durum genel şebeke kalitesini olumsuz etkilemekle birlikte, trafik sıkışıklığı problemini gidermekte ciddi katkı sağlamaktadır.

3.8. Burst tipleri

5 çeşit burst tipi bulunmaktadır. Bunlar;

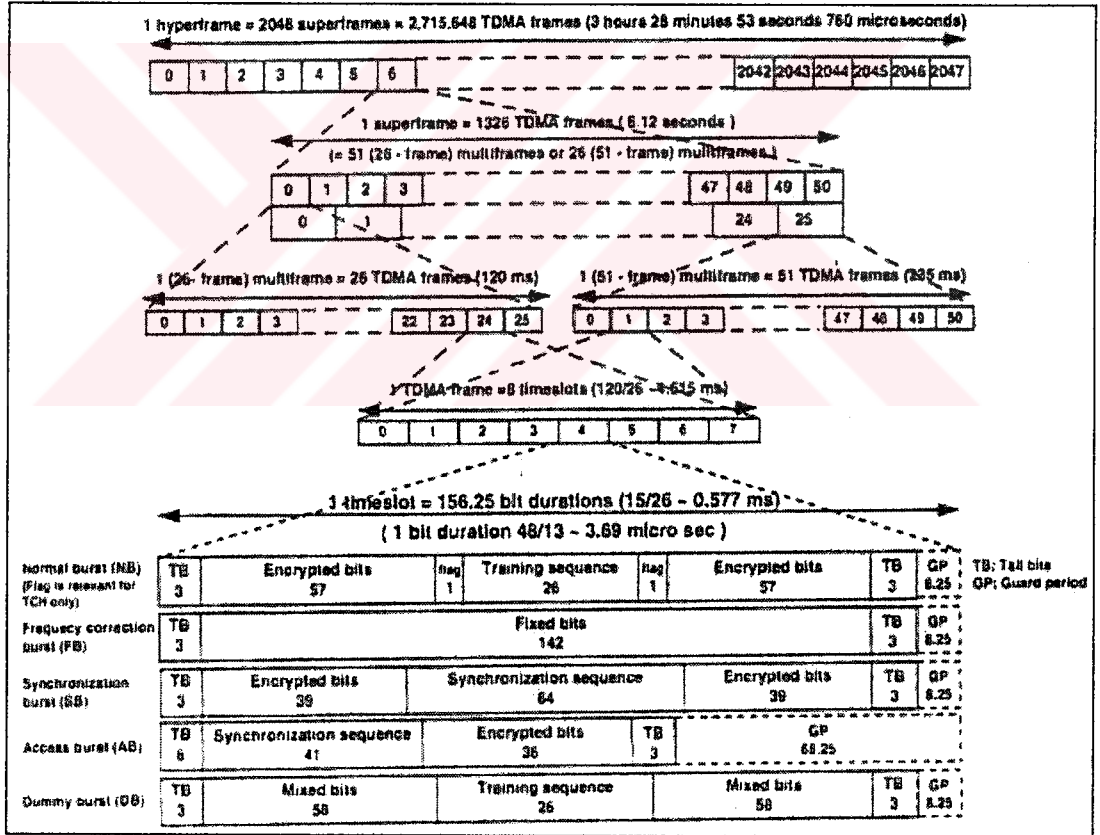
- Normal burst
- Frekans düzeltme
- Senkronizasyon

- Erişim
- Boşluk burstleri.

3.8.1. Burstler ile çerçeveler arasındaki ilişkiler

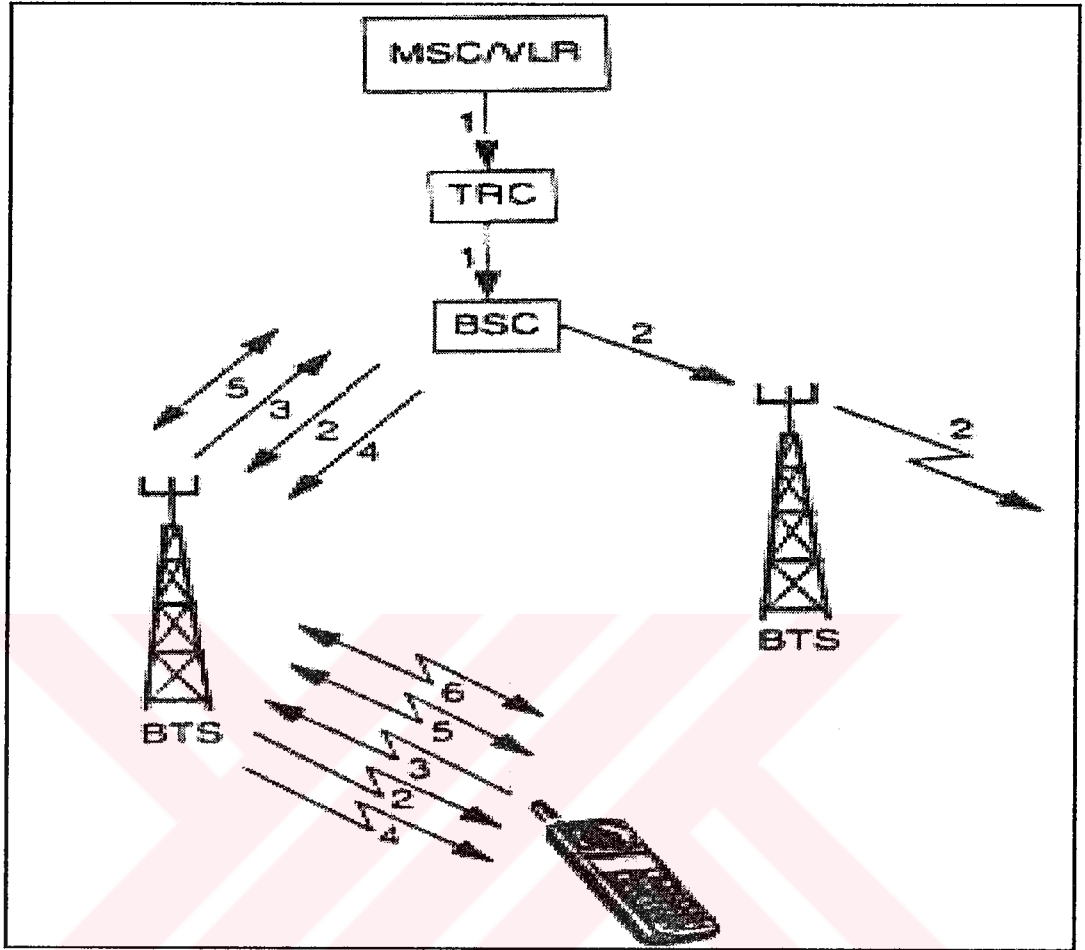
Burstler ile çerçeveler arasındaki ilişki Şekil 3.10 'da gösterilmiştir. 2 tür çoklu çerçeve yapısı bulunmaktadır.

- 26 TDMA çerçeveli çoklu çerçeve yapısı ; TCH, SACCH ve FACCH kanallarını taşır.
- 51 TDMA çerçeveli çoklu çerçeve yapısı; BCCH, CCCH, SDCCH ve SACCH kanallarını taşır.



Şekil 3.10. Burstler ve çerçeveler

3.8.2. Örnek trafik durumu : MS'e çağrı gelmesi



Şekil 3.11. MS'e bir çağrı gelmesi durumundaki sinyalleşmeler

1. MSC/VLR, MS'in hangi LA'da olduğunu bilir. MS'i arama mesajı, o LA'deki tüm BSC'lere gönderilir.
2. BSC, arama mesajlarını BTS'lere dağıtarak MS'in nerede olduğunu sorgular. BTS'ler de bu arama mesajını kendi kapsama alanı içindeki tüm MS'lere gönderir.(PCH)
3. MS bu arama mesajının (PCH) kendisine ait olduğunu görünce RACH kanalı aracılığıyla bir sinyalleşme kanalı isteğinde bulunur.
4. BSC, AGCH aracılığıyla MS'e bir sinyalleşme kanalı (SDCCH ve SACCH) atadığını bildirir.
5. SDCCH ve SACCH çağrı kurulması için kullanılır. MS'e bir TCH atandığı anda SDCCH serbest bırakılır.

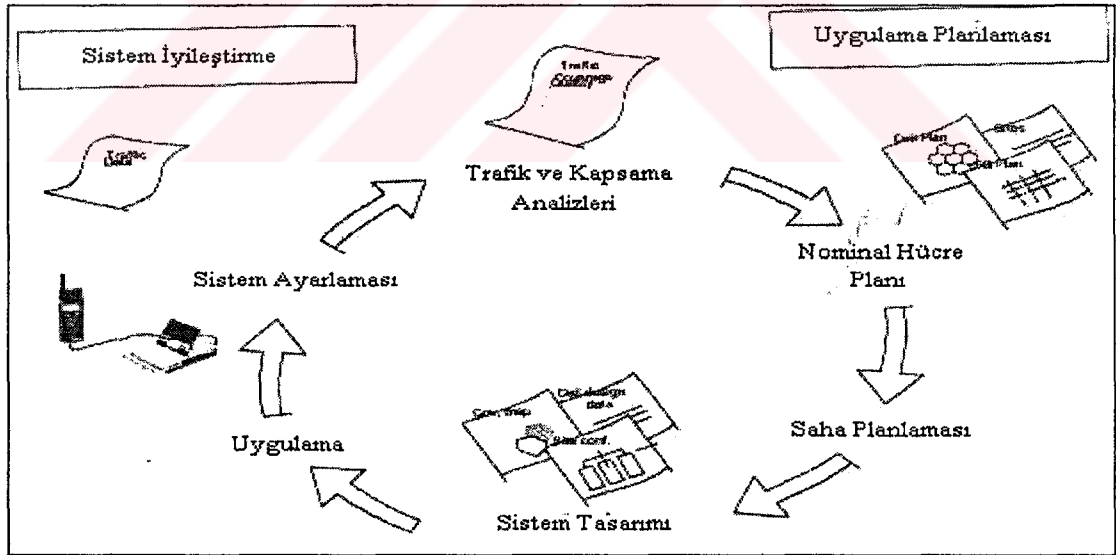
6. MS ve BTS, o taşıyıcı frekansı ve o TS'a kilitlenir ve MS'in zili çalar. Eğer abone cevap verirse bağlantı kurulur. Bağlantı sırasında, tüm bilgiler (sinyal seviyesi, kalitesi vb. ölçümler) SACCH ile gönderilir ve alınır.

3.9. GSM Hücre Planlama İlkeleri

3.9.1. Hücre planlama süreci

Hücre planlama, GSM'de bir hücrede hangi ekipmanların, hangi konfigürasyon düzeniyle kullanılacağını, hücrenin nereye, ne şekilde konumlanacağını belirleyen sürecin tamamıdır.

Bir hücresel haberleşme sisteminin genişlemesi ve bu süreçte frekans enterferanslarının minimize edilmesi açısından hücre planlama çok önemlidir. Ayrıca tez kapsamında ele alınan sağlık konusu açısından da hücre planlama çok önemlidir. Şekil 3.12.'de hücre planlama işleminin genel süreci verilmiştir (Ericsson,2000).



Şekil 3.12. Hücre planlama süreci

3.9.1.1. Trafik ve kapsama analizleri

Hücre planlama işlemi, trafik ve kapsama analizleri ile başlar. Bu analizler mevcut sistemin kurulacağı coğrafi yapı ve beklenen tahmini trafik ihtiyacına göre yapılır.

Bu analizler sırasında;

- Fiyat
- Kapasite
- Kapsama Alanı
- Servis Kalitesi (GoS)
- Konuşma Kalitesi
- Sistemin Genişleme Kabiliyeti (Gelecekte ki talebe göre)

gibi kriterler göz önünde bulundurulur.

Ne kadar abonenin sisteme dahil olacağı ve bu abonelerin ne kadar telefon trafiğine yol açacağı trafik talebi şeklinde tanımlanabilir. Trafik talebi hücrenel şebeke kurulurken ilk hareket noktasıdır. Trafik talebinin coğrafi dağılımı grafiksel verinin kullanımı ile hesaplanabilir. Bu veriler şunlardır;

- Nüfus dağılımı
- Araba kullanım alışkanlıkları
- Gelir düzeyi dağılımı
- Bölge kullanım verisi
- Telefon Kullanım istatistikleri
- Abonelik/Konuşma masrafı ve mobil ünitelerinin fiyatı gibi diğer faktörler

Bu çeşit hesaplamalar sonucunda, henüz hiç bir hücrenel sistem kullanılmayan alanda başlangıç hücre planı çıkarılır. Bu arada bir diğer önemli noktada planın ve/veya kullanılan sistemin, değişen şartlara ne kadar çabuk uyum sağlayabildiği yani ani değişimler karşısında ne kadar esnek olduğudur.

3.9.1.2 Nominal hücre planı

Nominal hücre planı; baz istasyonlarının (hücrelerin) yapısı, hücre şebekesinin modeli ve kanal tahsisinin bir planıdır. Bu plan başlangıç ve gelecekteki trafik miktarının dağılımı baz alınarak şekillendirilir.

Bir çok durumda nominal yapı için diğer geometrik yapılar daha uygun olabileceği halde, hücre planı genellikle değişik boydaki hücrelerden oluşan bir yapıda sunulur.

Radyo frekansları sayısı ile sınırlı olan, hücresel sistemin kapasitesi, varolan baz istasyonuna yeni kanal üniteleri eklemek suretiyle artırılabilir. Burada bahsedilen kapasite limitini artırmak için, varolan hücrelerin kapsama alanlarını daraltılır ve eski iki hücre arasına yeni bir hücre eklenir. Bu sayede mevcut kapasite de artırılmış olur.

Nominal hücre planı, başlangıç trafik miktarları ile birlikte gelecekteki hücre bölünmeleri ihtimallerini de çözmelidir. Böylece başlangıçtaki istasyonlar, gelecekteki şebekede de faydalı olarak kullanılabilir.

Sonuç olarak nominal hücre planının oluşturulmasını etkileyen faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz.

- Hücrelerin yerleri
- Anten parametreleri
- Baz istasyonu çıkış gücü
- Hücresel şebeke yapısı
- Kanal dağılımı, kanal grup tahsisi
- Radyo Baz İstasyonu ve iletim donanımının modülerliği

3.9.1.3. Survey (Saha planlaması)

Nominal hücre planlaması yapıldıktan sonra, istasyonun kurulması düşünülen coğrafya üzerinde en uygun olan alanların belirlenmesi için survey adı verilen saha çalışması gerçekleştirilir. Bu çalışma sırasında daha önce sorunlu bölge olarak isimlendirilen noktada sorunu çözebilecek en uygun yer yeni istasyonun kurulacağı yer olarak araştırılır. Yer tespiti yapıldıktan sonra bulunan yerden sorunun çözümüne yönelik anten tipi ve yönü ile anten yüksekliği, sistemi servise verecek baz istasyonunun konfigürasyonu üzerinde durulur. Bu noktada, hangi tip baz istasyonu kullanılacağı, kaç adet kapasite ünitesi (TRX/U-Transceiver Unit) kullanılacağı vb. bilgiler survey çalışmasına not edilir. Yine, yeni istasyonun hangi iletim yöntemiyle çalışacağı (HDSL,PCM ve radyo link hatları ile) belirlenir. Kısaca;

- Koordinat ve adres
- Antenler ve radyo donanımları için yer
- Elektrik enerjisi
- BSC'ye bağlantı için iletim hattı (iletim)
- Radyo yayılımına uygunluk (herhangi bir engel olup olmadığı)
- Varolan veya planlanan diğer radyo donanımları
- Planlanan servis sahasının kontrolü

3.9.1.4. Sistem tasarımı

Survey çalışmasının ardından, mevcut yeni istasyon, 1,2,3 veya 4 hücreli olabilir, baz istasyonu ekipman tipi, hangi BSC ve hangi MSC'den çalışacağı, hangi hücrelerle komşuluk yapacağı, BCCH, BSIC,HSN ve SDCCH sayısı gibi bilgileri içeren CDD (Cell design data – Hücre tasarım bilgisi) adı verilen bir formatla sisteme tanıtılır.

3.9.1.5. Uygulama (Implementation)

Hücre sisteme tanıtıldıktan sonra, sahada belirtilen noktaya istasyonun kurulumu yapılır ve hücre servise verilir (on-air). Trafik toplamaya başlar.

3.9.1.6. Sistem ayarlaması (System Tuning)

Sistem kurulduktan ve hizmete verildikten sonra, sürekli olarak toplanan bilgilerle, ihtiyacı ne kadar karşıladığı ve genel istatistiki özellikleri bakımından (Dr/E, %Dr, Acc fail vb) soru olup olmadığı incelenerek gerekli ayarlamalar yapılır. Bu incelemeler sonunda;

- Sistem tasarımının doğru yapılıp yapılmadığını
- Müşteri şikayetlerinin değerlendirmesini
- Genel şebeke kriterlerinin bu hücre için sağlanıp sağlanmadığını

Aslında sistem sürekli olarak bir tuning (ayarlama) ihtiyacını duyar. Çünkü her zaman şebekeye yeni istasyonlar ve yeni hücreler katılır ve bunlar birbirlerini etkileyecek çalışma performansı gösterirler. Dolayısıyla her gün sistemde bir takım parametrik değişikliklere ihtiyaç duyulabileceği gibi belli periyotlarla sistemin genelinde de bazı tuning çalışmaları yapmak, genel sistem performansı açısından önemlidir.

3.9.2. Anten sistemi ve sistem dengesi

UHF haberleşme bandında radyo dalgaları, genel olarak, gönderici anten denilen transmitter anteni ile vericiden gönderilir. Basit olarak bir baz istasyonunda ise anten genellikle, basit olarak, alternatif gerilimle çalışan uzun bir dipol şeklindedir. Her antenin bir yayılım pattern (örüntü)'i vardır. Bu pattern'in hem yatay (horizontal), hem de dikey (vertical) bileşenleri mevcuttur ve bunlar o açılarda bu antenin yayılımını göstermektedir. Ayrıca her baz istasyonu alıcı ve verici antenlerden oluşan ve kendine has montaj konfigürasyonlarıyla anten sistemine sahiptir. Genel olarak literatürde, verici antenlere TX (transmitter); alıcı antenlere de RX (receiver) kısaltmaları notasyon olarak kullanılmaktadır. RX1 ve RX2 de anten çeşitlemesi olması durumunda birinci ve ikinci alıcı antene verilen isimdir.

Anten pasif bir eleman olduğu için herhangi bir yönde kazanç elde etmenin tek yolu diğer yöndeki kazancın düşürülmesidir. Antenden yatay ve dikey olarak esas yayılım yönünde daha fazla yoğunlaştırılmış yayılım ile daha fazla kazanç sağlanır.

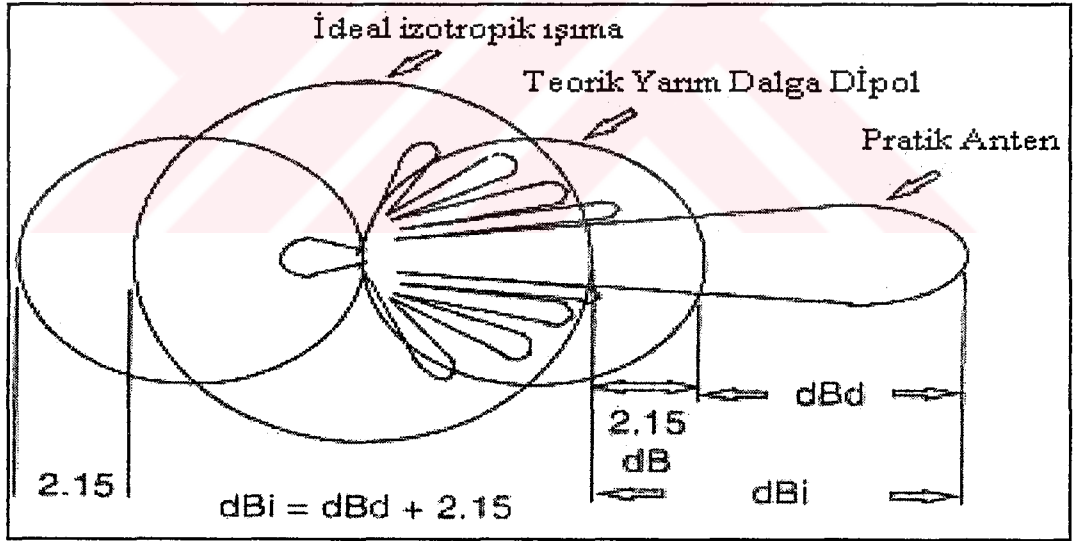
Işımanın yoğunlaştırılma şekli de antenin karakteristiklerini ortaya çıkarır. Yani yatay ve düşey hüzmeye genişlikleri farklı olan ve farklı kazançlara sahip antenler elde edilebilir. Bu da bize anteni kullanacağımız yerde yapabileceğimiz anten konfigürasyonlarında çeşitlilik sağlar.

Teorik referans olan izotropik anten havada bir nokta olarak düşünülür; bütün yönlerdeki yayını eşittir ve bunun sonucunda hiçbir kazançla sahip değildir. Anten kazancı, izotropik anten ile kıyaslandığında dBi olarak ifade edilir.

Hücre sistemlerinde, referans anten olarak dipol anten yaygın olarak kullanılır. Dipol anten, varolan antenlerin en basit tipidir ve izotropik antenle karşılaştırıldığında 2.15 dB yoğunlaştırılmış ışımaya sahip olarak 2.15 dBi kazançla sahiptir. Referans olarak dipole anten kullanıldığında, kazanç dBd olarak ifade edilir.

$$dBi = dBd + 2.15$$

(3.1)



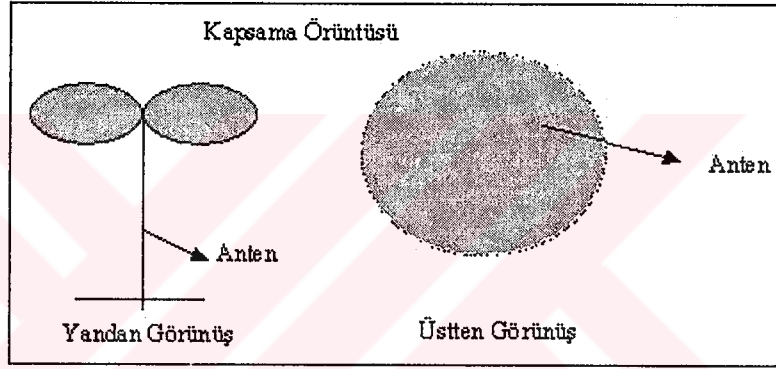
Şekil 3.13. Kazanç Karşılaştırması

3.9.2.1. Başlıca anten tipleri

Hücre planlamada, kapsanmak istenen bölgeye bağlı olarak (yoğun kentsel alan, kentsel alan, ilçe, kırsal alan, yol kapsamı vb.) değişik tipte antenler seçilebilir. Aşağıda mobil telefon baz istasyonları için kullanılan başlıca anten tipleri verilmiştir.

- Omni antenler
- Yönlü antenler
- Özel antenler
- Çok antenli sistemler

Omni Antenler; Omni antenler, yatay doğrultuda tekdüze (uniform) yayılım şablonuna sahiptir. Başka bir deyişle bu antenlerin yayılım şablonu yatay doğrultuda bütün yönler için aynıdır. Düşey şablonları ise kazancın izin verdiği ölçüde ve üretici firmanın ürün yelpazesine bağlı olarak belli açılarda yoğunlaştırılmış şekildedir.



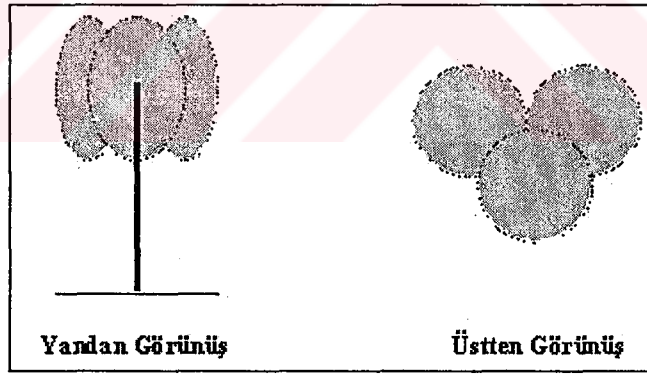
Şekil 3.14. Omni antenlerin yayılım görünümü

Yayılım (ışınım) gücü, dipollerin aynı dikey hatta üst üste konulmasıyla istenen güç değeri ve her bir dipol elementin uygun bazda beslenmesi yoluyla artırılabilir. Dipol elementlerin sayısını iki katına çıkarma işleminin her tekrarı ile kazanç 3dB artmaktadır. Bu aynı zamanda, antenin boynunu da iki katına çıkarmak anlamına gelir.

Tipik kazanç değerleri 6 ve 9dB'dir. Bu antenlerin kazançları için kıyaslayıcı faktör fiziksel boyuttur. Örnek olarak 9dB kazançlı bir omni antenin boyu 3 metredir. Şekil 3.15'ten de görüleceği gibi kapsama alanı yaklaşık 360 derecedir. Yani bu anten ile her yöne kapsama sağlamak mümkündür. Omni antenler özellikle trafik kapasitesi düşük olan ve trafik kaynağının dağınık bir yapı gösterdiği yerleşim merkezlerinde, daha az sayıda hücre ile daha fazla alana servis verilmesine imkan sağladığı için kullanım alanı bulur. Kısaca kırsal alanlarda sıklıkla tercih edilen düşük güçlü daha

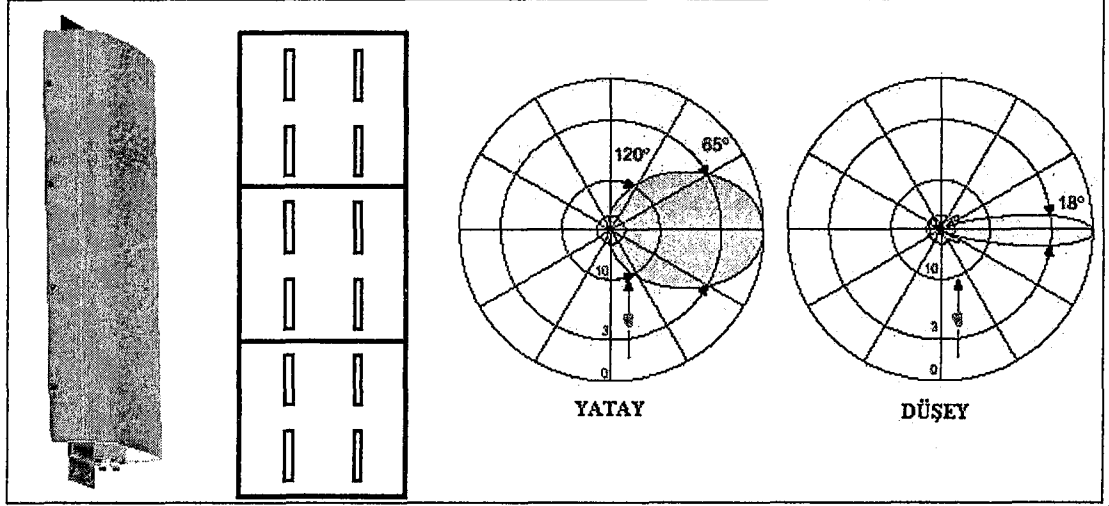
çok outdoor (bina dışı) kapsama sağlamak amacıyla kullanılır. Bu antenlerin en büyük dezavantajı dağınık yerleşim yerlerine kapsama sağlarken, mum dibine ışık vermez misali sisteme çok yakın ve vadi veya alçak noktalarda kapsama sıkıntısı doğar çünkü sinyal yayını antenden sağa, sola, öne, arkaya doğrudur. Aynı zamanda hücre bölünmesi dediğimiz ve antenlerin değiştirilmesi ve yeni kabinet eklenmesi ile aynı baz istasyonunda daha fazla kapasiteye ulaşma imkanı da verdiği için genellikle şebekenin ilk kuruluş aşamasında (Faz 0) kullanılır.

Yönlü Antenler; Bu tip antenlerin yayını şablonu ne yatay ne de düşeyde uniform değildir ve özel durumlar haricinde sektörel hücrelerde kullanılır. Bu kullanım şekli sebebiyle genellikle sektör antenleri olarak bilinir. Yayını güçleri antenin tipine bağlı olarak az veya çok bir doğrultuda yoğunlaştırılmıştır. Yönlü antenlerin hücresel sistemlerde kullanılmasının iki esas nedeni kapsamanın genişletilmesi ve frekansın tekrar kullanılmasıdır. Omni antenlerde anlatıldığı gibi sektörel antenlerde de sonuçtaki kazanç ulaşmak için anten elementleri üst üste dizilir. Yönlü antenlerde kullanılan tipik kazanç değerleri, 9dB'den 18.5 dB'ye kadar değişen bir yelpazededir.



Şekil 3.15. Yönlü antenlerin yayını görünümü

Yönlü antenler bize yatay ve düşeyde farklı açılarda yayınımlarıyla değişik yerlerde kullanabileceğimiz seçenekleri sunmaktadır. Bunun yanında hücre bölünmesi yoluyla kapasite arttırmak istediğimizde de kullanmak zorunda olduğumuz elemanlardır.



Şekil 3.16. Yönlü antenlere yönelik bir örnek

Özel Antenler; Üçüncü tip antenler olan, özel antenler bina içi tünel v.b. özel uygulamalar için kullanılırlar. Bunun sonucunda da bu antenlerin yayılım şablonları esnekler. Uygulama yeri ve şekline bağlı olarak antenler seçilir ve monte edilir.

Özel antenlere örnek olarak delikli koaksiyel kablo verilebilir. Bu kablo ile sürekli bir anten kullanıyormuş gibi kaplama problemi çözülebilir. Metro istasyonlarını ve tünellerini kaplamak için bu yöntem kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Delikli koaksiyel kabloda olduğu gibi özel antenlerin en büyük dezavantajları maliyetleridir. Bunun yanında anten kazancı da uygulamalara göre değişir. Örneğin delikli koaksiyel kablonun kazancı '0' dir.

Çok antenli sistemler; Çok antenli sistemler diye adlandırılan uygulamalarda yayılım şablonları antenlerin bireysel yayılım formlarının bir kombinasyonudur. Çoklu anten sisteminin en basit uygulaması birbirlerine ters istikamette monte edilen ve gücün bölünmesi suretiyle aynı yerden beslenen iki sektörel anten takımıdır. Bu uygulama, genel adını da beslenme şekline göre güç bölünmesi (power splitter) diye adlandırılır. Bunun amacı bir hücreyle daha fazla alanı kapsayabilmektir. Örnek olarak kırsal yol kapsamalarında daha fazla alan kapsanmakta ve iki hücre yerine tek hücre kullanılmaktadır. Ayrıca her iki yöne bakan antende de aynı frekans kullanılacağı için, örneğin yol kapsamalarında , güzergahta seyreden araçta bir

hücreden diğer hücreye geçerken frekans değişimi olmayacaktır. Bu da drop yüzdesini düşüren bir özellik olacaktır.

Çok antenli sistemlerin kullanılmasıyla birlikte gelen en büyük sorun anten (uzay) çeşitlemesinin sağlanmasıdır. Bir diğer nokta da gücün bölünmesiyle çıkış gücünün yarıya düşmesi anlamına gelen 3dB'lik kayıptır.

3.9.3. Trafik

Hücrel haberleşme sistemlerinde kapasite kullanımı ve planlaması birçok farklı faktöre bağlıdır. Bunlar;

- Data ve/veya konuşma (voice) için kullanılacak kullanılabilir kanal sayısı
- Sistemdeki abonelere servis sağlama derecesi (GoS-Grade of Service)

Trafik teorisi, sistemdeki tüm abonelere kanal sağlamak için bir hücrenin ne kadar kanala ihtiyacı olduğuyla ilgili öngörüye dayalı veya abonelerin gerçek davranışlarına dayalı planlamalar yapar. Bu noktada öncelikle trafik kavramını açıklamak gerekir. Trafik genel olarak, bir kanalın konuşma veya data haberleşmesi sebebiyle tutulması işlemidir. Birimi Erlang (E) olarak ifade edilir. Bir abonenin, 1 saat süreyle bir konuşma kanalını kullanmasıyla 1E'lık trafik elde edilmiştir, denilebilir. Bu tanımlamadan sonra akla ilk gelen soru ise "Bir GSM hücresi ne kadar trafik taşıyabilir" dir. Bu ise tanımlı trafik kanalı sayısı ve kabul edilebilir abone sıklığı (congestion) ile ilişkilidir. Abone davranışlarındaki farklılıklar, bu soruya farklı cevaplar verilmesine yol açar. Bir hücredeki trafik kanalı sayısı ve buna karşılık gelen GoS değerleriyle toplanabilecek maksimum trafik değerlerini gösteren tabloya Erlang B Tablosu ismi verilmiştir. Burada;

- Hiçbir abonenin konuşmak için sırada beklemeyeceği
- Abone sayısının, trafik kanalı sayısından çok daha fazla olacağı,
- Rezerve edilmiş hiçbir trafik kanalının olmaması,
- Trafiğin rastgele dağıldığı,

varsayımları yapılmıştır.

Erlang B Tablosu incelendiğinde, farklı GoS için farklı trafik değerleri karşımıza çıkmaktadır. Dünyada GSM operatörlerinin sıklıkla kabul ettikleri GoS değeri %2'dir. Yani her 100 aboneden 2 'sinin arama yapmak istemesi durumunda block denilen trafik kanalı doluluğu olayını yaşaması kabul edilerek trafik hesaplamaları yapılmaktadır. Örneğin 3 adet TRX/U (transceiver unit-alıcı/verici birim) 'su bulunan bir sistemimiz olsun. Her birim 8 TS taşıyacağını 3. bölümden biliyoruz. Bu durumda toplam kanal sayısı $3*8=24$ 'tür. Bunun 1 adeti BCCH frekansı, 1,2 veya 3 adeti SDCCH (sinyalleşme kanalı) olarak ayrılırsa (örneğimiz için 2 olsun), maksimum sinyalleşme kanalı sayısı TRX/U sayısı kadar olabilir, $24-1-2=21$ adet trafik kanalı kullanım için tanımlanmış demektir. GoS %2 kabul edersek 14.036 E'lık bir trafik değerini bu hücre toplayabilir anlamına gelir.

Tablo 3.6. Erlang-B Tablosu

m	.001	.002	.005	.01	.02	.03	.05	.1	.2	.4	m
1	.00015	.00006	.00008	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.12608	.13532	.14426	.15299	.16147	.16975	.17782	.18567	.19330	.20070	2
3	.39664	.41757	.43712	.45549	.47271	.48879	.50374	.51756	.53024	.54178	3
4	.77728	.81029	.84085	.86842	.89323	.91559	.93566	.95346	.96894	.98210	4
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3606	1.3961	1.4289	1.4592	1.4871	1.5126	1.5358	5
6	1.7535	1.8093	1.8610	1.9090	1.9534	1.9944	2.0320	2.0671	2.1000	2.1306	6
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.5537	2.6024	2.6471	2.6880	2.7251	2.7584	7
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.1893	3.2467	3.2999	3.3489	3.3938	3.4346	8
9	3.5395	3.6274	3.7090	3.7852	3.8570	3.9244	3.9875	4.0464	4.1011	4.1517	9
10	4.1911	4.2899	4.3785	4.4572	4.5260	4.5850	4.6342	4.6736	4.7132	4.7529	10
11	4.8637	4.9729	5.0691	5.1559	5.2334	5.3016	5.3605	5.4101	5.4504	5.4914	11
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8750	5.9637	6.0434	6.1142	6.1761	6.2291	6.2831	12
13	6.2637	6.3863	6.5011	6.6082	6.7067	6.7966	6.8779	6.9504	7.0141	7.0789	13
14	6.9811	7.1154	7.2382	7.3517	7.4559	7.5508	7.6364	7.7127	7.7806	7.8491	14
15	7.7139	7.8568	7.9874	8.1080	8.2196	8.3222	8.4159	8.5006	8.5763	8.6529	15
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	8.9934	9.1026	9.2026	9.2934	9.3751	9.4477	16
17	9.3119	9.4714	9.6171	9.7516	9.8756	9.9899	10.0946	10.1896	10.2749	10.3504	17
18	9.9751	10.143	10.296	10.437	10.568	10.689	10.800	10.902	10.995	11.079	18
19	10.747	10.922	11.082	11.230	11.368	11.497	11.617	11.728	11.830	11.923	19
20	11.526	11.709	11.876	12.031	12.177	12.314	12.442	12.561	12.671	12.772	20
21	12.312	12.503	12.677	12.838	12.986	13.124	13.252	13.371	13.481	13.582	21
22	13.105	13.303	13.484	13.651	13.806	13.951	14.087	14.214	14.332	14.441	22
23	13.904	14.110	14.297	14.470	14.631	14.781	14.920	15.048	15.166	15.275	23
24	14.709	14.922	15.116	15.293	15.458	15.612	15.756	15.889	16.012	16.126	24
25	15.519	15.739	15.939	16.125	16.293	16.448	16.592	16.725	16.848	16.962	25
26	16.334	16.561	16.768	16.959	17.135	17.292	17.436	17.569	17.692	17.806	26
27	17.153	17.387	17.601	17.797	17.977	18.144	18.298	18.441	18.574	18.697	27
28	17.977	18.218	18.428	18.618	18.790	18.946	19.090	19.223	19.346	19.459	28
29	18.805	19.053	19.270	19.467	19.646	19.808	19.954	20.087	20.209	20.322	29
30	19.637	19.891	20.113	20.317	20.500	20.664	20.810	20.943	21.065	21.178	30
31	20.473	20.734	20.972	21.181	21.367	21.532	21.678	21.805	21.922	22.029	31
32	21.312	21.580	21.825	22.043	22.235	22.402	22.548	22.675	22.792	22.899	32

Hücre planlamanın temelinde, trafik isteği, kaç abonenin operatörü kullandığı ve ne kadar trafik toplandığı parametreleri önemlidir. Trafik yoğunluğu Erlang (E);

$$A = (n \times T) / 3600 \text{ Erlang} \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada A, sistemden toplanacak trafiği, n, saatteki çağrı sayısını, T ise ortalama konuşma süresini (saniye cinsinden) ifade etmektedir. Formülden de anlaşılacağı üzere, bir abonenin 1 saat süreyle konuşmasının trafik cinsinden karşılığı 1Erlang'tır. Örneğin, bir şebekede;

- Abone sayısı 10000
- Kullanılabilir frekans sayısı 24
- Hücre pattern'i 4/12
- GoS, %2
- Abone başına trafik 25mE

olsun. Bu durumda;

- Hücre başına frekans sayısı $24/12=2$ 'dir.
- Her hücre için trafik kanalı sayısı $2 \times 8 - 2$ (kontrol kanalları) = 14.
- 14 TS'un trafik karşılığı GoS %2'den en fazla 8.2 E (Erlang-B tablosundan)
- $8.2E / 25mE = 328$ abone (hücre başına)
- $10000 / 328 = 30$ hücre ile 10.000 aboneye hizmet verecek bir kapasite amaçlı kapsama sağlanabilir.
- $30 \times 7 \times 3 = 10$ (her istasyonun 3 sektörlü olduğu düşünülürse 10 adet istasyona ihtiyaç vardır).

3.9.4. Survey (İstasyonun kurulum yeri ve teknik özelliklerini belirleme çalışması)

Survey çalışması, hücre planlama sürecinin en önemli aşamalarından birisidir. Zira bu aşamada, istasyon kurulacak yerin sahada gerçek yeri ve konfigürasyonu belirlenir. Survey, ofiste gerçekleştirilen, gerek müşteri istekleri gerekse şebekenin

istekleri doğrultusunda belirlenen yeni istasyon ihtiyacının sahadaki yerinin belirlenmesi için yapılan çalışmanın tamamıdır. Bir yere bir baz istasyonunun kurulabilmesi için gerekli çeşitli kıstaslar vardır. Bunların bir kısmı genel geçer kurallar olduğu gibi, bazıları da ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir.

- Örneğin ülkemizde, tüm baz istasyonlarının kurulum, montaj ve işletilmesi süreci Telekomünikasyon Kurumu'nun (TK) gözetiminde yapılır. Hatta, operatörler herhangi bir ilde bir noktaya bir istasyon kurmak istedikleri zaman TK İl Mahalli Çevre Kurullarından olumlu görüş istemektedir. İl Mahalli Çevre Kurullarında, İl Sağlık Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü, Türk Telekom, İl Çere Müdürlüğü, Orman İşletme Şefliği vb. bürokratik kurumlardan kişiler bulunmaktadır. Bu kurulun vereceği uygundur görüşü neticesinde TK operatörlere belirtilen noktaya istasyon kurulabilme iznini verir ve geçici güvenlik sertifikası vererek istasyonun montajı ve servise verilmesini onaylar.
- Bu aşamadan önce ise, operatörlerin hücre planlama mühendislerinin, bu noktada survey çalışmasını yaparak isteklerini bu noktanın karşıladığını belirten bir RSD (Radio Survey Data) hazırlarlar. Bunun sonrasında yine operatörlerin kiralama bölümü sorumlularınca istenilen noktanın sahipleri ile, bu gerçek kişiler olabileceği gibi, Hazine, Milli Emlak, Orman arazisi gibi devlet alanı da olabilir, bu yerin operatörlere baz istasyonu kurulmak üzere kiralanması amacıyla kiralama süreci başlatılır. Kiralama aşaması sonucunda operatörler TK'ya başvurarak bu noktaya istasyon kurmak istediklerini belirtir ve onay isterler.

Bunlar ülkemizde bir survey çalışmasının teknik olmayan boyutlarıdır. Bu süreç ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir ancak temel yaklaşım genel olarak aynıdır. Survey çalışmasının teknik bölümünde ise şu kriterlere dikkat edilir;

- İstasyonun kurulacağı yere erişimin mümkün olması. Yani herhangi bir arıza, bakım vb. çalışma için istasyona ulaşılmak istendiğinde erişim yolunun kolay olması, bu aynı zamanda istasyonda montajı yapılacak malzemenin de istasyon yerine kolayca götürülebilmesini sağlayacaktır.
- Baz istasyonunun kabinet ve antenleri için müsait alanların olması. Örneğin montaj bir binaya yapılacaksa binanın çatı katı, teras, bahçe veya

bodrumunda kabinetin koyulabileceği bir alanın olması ayrıca antenler binanın çatısına veya kat arasına monte edilebilir. Bunlar için uygun yerin olması.

- Enerji, özellikle ve çoğunlukla 220VAC gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. Şehir içlerinde enerji sorun olmamakla birlikte, özellikle kırsal alanlarda enerjinin her noktada bulunmaması zaman zaman operatörlerin bir istasyon için kilometrelerce enerji hattı çekmelerine neden olmaktadır. Bu da istasyon maliyetini bir hayli yükseltmektedir. Eğer istasyon Telekom binalarında ise ve kabinet türü uygun ise -48VDC ile de çalışabilmektedir. Bu durumda Telekom müdürlüklerinde -48VDC enerji talebi yapılmaktadır.
- Transmilyon, Bir istasyonun konuşma bilgilerinin taşınabilmesi için PCM (Pulse Coded Modulation) hatlarına ihtiyaç vardır. Bu hatlara erişim kurulacak istasyonun iletim tipini de belirlemektedir. Bu da 3 şekilde mümkündür;
 1. Eğer istasyon telekom binalarında ise direkt olarak telekom santrallerinin PCM hatlarına bağlanabilir
 2. Herhangi bir telekom santrale 2km'den daha yakın bir mesafede HDSL olarak isimlendirilen telefon hatları ile telekoma taşınarak buradan operatörün kendi santrale ulaşabilir,
 3. Kurulan yeni istasyon operatörün çalışan herhangi bir başka istasyonunu görüyorsa (LOS varsa), radyo linklerle istasyonlar birbirleriyle haberleştirilerek iletim erişimi sağlanmış olur.

Yukarıda anlatılanların ışığında, bir planlama mühendisi, sahada survey çalışması yaparken öncelikle sorun olan bölgede sorunu en iyi hangi noktadan çözebilecekse o noktaya giderek uygun bina veya araziye ulaşır. Burada , öncelikle istasyonda kullanılacak anten tipleri, açıları, yükseklikleri ve tiltleri belirlenir. Daha sonra, kullanılacak kabinet tipi ve TRX/U sayısı tespit edilerek, iletim yolu için öneriler değerlendirilir. İstasyon yerinin ulaşım ve enerji durumu da gözden geçirildikten sonra GPS ile koordinat alınarak, site yerinin resimleri çekilir ki montaj ekiplerine doğru yer bilgileri ulaştırılabilsin. Sonrasında bu bilgiler derlenerek bir RSD formu şeklinde hazırlanır. Bu formda antenlerin nereye monte edileceği resmedilerek feeder yolları ve kabinet yeri de çizilerek bir nevi istasyon yeri projesi hazırlanır.

3.9.5. Baz istasyonunun donanımsal özellikleri

Bu bölümde bir baz istasyonunu oluşturan donanım özellikleri anlatılacaktır. Sistemin en önemli parçası aslında sistemin birçok unsurunu içinde barındıran kabinetlerdir. Kabinetler, üretici firmaların belirlediği konfigürasyonlara göre dizayn edilirler ve değişiklikler gösterirler. Ericsson, bu konuda dünyada önde gelen üreticilerden biridir. Ayrıca Nokia ve Motorola'da bu konuda önemli faaliyetler göstermektedirler.

Bazı önemli kabinet modelleri ve teknik özellikleri ise aşağıda verilmiştir.

3.9.5.1. RBS 200 (Radio Base Station)

RBS200 serisi kabinetler Ericsson'un GSM'in ilk fazları için ürettiği kabinetlerdendir. Çoğunlukla kırsal veya yol kapsamı amacıyla kullanılmaktadır. Bunun sebebi ise en fazla 4 TRX takılabildiği için toplam trafiği düşük olan yerlerde kullanılır.

Teknik Özellikler :

TRX sayısı : 4

Boyutlar : 405 x 602 x 1972 mm (DxWxH)

Ağırlık : 250 kg

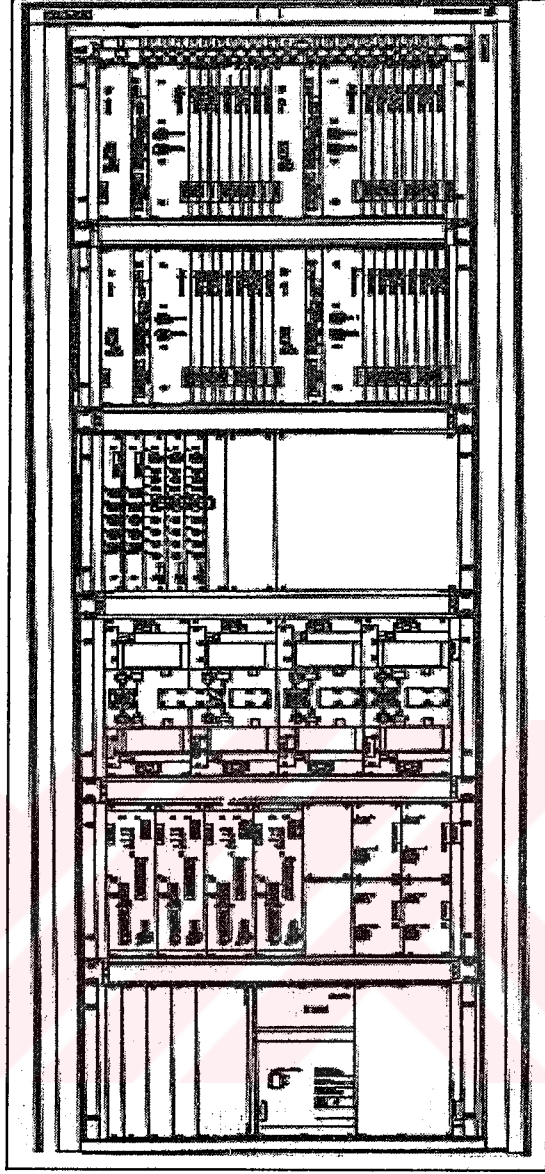
Frekans Bandı : RX 890-915 MHz

TX 935-960 MHz

TX çıkış gücü : 42.5 dBm (filter combiner ile)

RX hassasiyeti : -107dBm

RBS 200 ler ile tek bir kabinet ile 1,2 veya 3 sektörlü bir istasyon kurulabilir. Ancak toplam TRX sayısı 4'ü geçemez.



Şekil 3.17. Bir RBS200 kabinin görünüşü

3.9.5.2. RBS 2000

RBS 2000 serisi istasyonlar kullanılan CDU (Combiner and Distribution Units- Birleştirici ve dağıtıcı birim) tiplerine göre değişik amaçlar için kullanılır. CDU-A kullanılırsa çıkış gücü yüksek olacağı için ve maksimum 2 TRU takılabileceği için fazla trafik almayacak ama sinyalin güçlü olması gereken noktalarda, örneğin kırsal alanlar, ilçe veya yol kapsamalarında kullanılır. C+ türü CDU kullanıldığında ise 6 TRU'ya kadar kapasite kullanımına izin verdiği için makro veya mikro hücrelerde ve daha çok nüfusun yoğun olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

Teknik Özellikler :

TRX sayısı : 1-6

Boyutlar : 1628 x 600 x 400 mm (DxWxH)

Ağırlık : 190 kg

Frekans Bandı : RX 890-915 MHz

TX 935-960 MHz

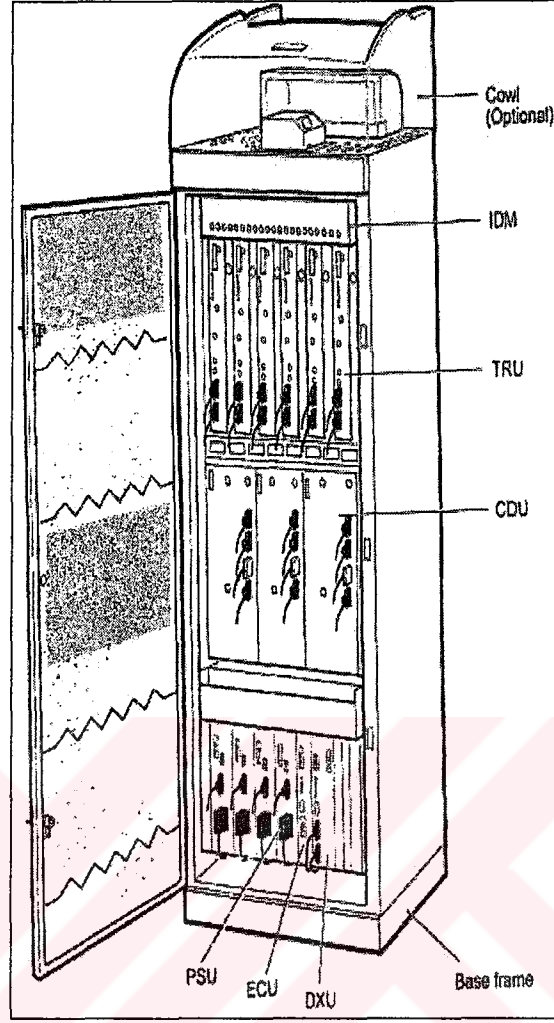
TX çıkış gücü : 44.5 dBm

RX hassasiyeti : -110 dBm

CDU tipleri : A, C, C+ ve D

2200 tipi kabinetlerin en ileri modeli 2206 olarak adlandırılan kabinetlerdir. Bu kabinetlerde TRU sayısı en fazla 12'ye kadar çıkmaktadır. Bu da, bu kabinetlerin daha çok yoğun kentsel alanlarda kullanılması anlamına gelir ki tek bir kabinetle çok ciddi bir trafik toplanabilmektedir.

Şekil 3.18'de bir RBS 2202'nin iç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.18. RBS 2000 kabininin dış görünüşü ve ekipmanların kabinin içindeki yerleşimi

3.10. Radyo Dalgalarının Yayılımı

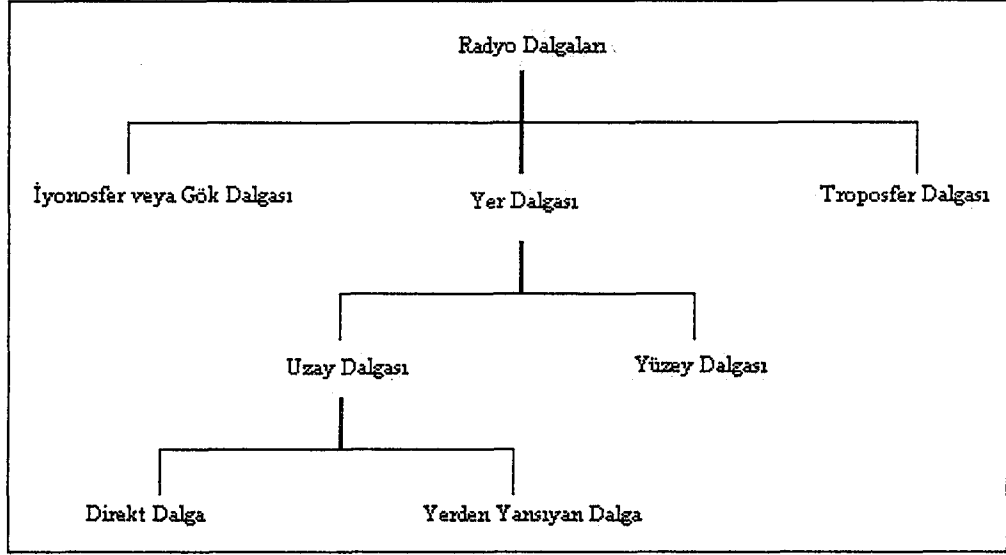
Birçok farklı türde elektromanyetik dalga vardır. Bunlar, radyo dalgaları, kızılötesi ışınlar, görünür ışıklar, x ışınları, gamma ışınları vb. Radyo dalgaları, elektromanyetik ışımının bir çeşididir.

Radyo frekansının içinde yer alan elektromagnetik spektrum 30kHz'den 300GHz'e kadar değişmektedir. RF frekanslı dalgaların içinde yayıldığı atmosferin düzgün bir ortam olduğunu kabul etsek bile, dalgalar, az çok düzgün bir küre yüzeyi gibi düşünülebilen dünya yakınında yayılmakta ve bu geometriden etkilenmektedirler. Zaten atmosferde tam düzgün bir ortam değildir ve basın., yoğunluk rutubet, sıcaklık

değişimleri dolayısıyla elektriksel özelliklerinin değişken olması, dalgalar üzerinde, yansıtma , kırılma, dağılma, zayıflama etkileri meydana getirmektedir. Ayrıca, bazı yerleri (deniz) oldukça iyi iletken, bazı yerleri daha kötü iletken olan dünya yüzeyi de aynı etkilerde bulunur. Belli özelliklere sahip bir antenden ışınlanan dalgaların yayılmaları sırasında bu etkenlerden nasıl etkilendikleri ve şiddetinin uzaklıkla nasıl değişeceği bulunur ve böylece belirli bir uzaklıkta meydana getirilecek alan şiddeti hesaplanır. Bu problemdeki etkenlerin çokluğu ve kararsızlığı dolayısıyla, problemin tam bir çözümünü elde etmek mümkün olmamıştır (Şeker ve Çerezci,2000). İşte bu noktada GSM’de hücre planlamanın önemi artmaktadır. Radyo dalgaları dünya yüzeyinden yansiyarak gelebildiği gibi direkt görüşü engelleyecek engellere çarparak da yansımaktadır. Burada yol kaybını azaltmak için anten gücünü arttırmak basit bir çözüm gibi gözükse de bu noktada, çalışmada örneğini vereceğimiz enterferans problemleri ortaya çıkmakta ve sistemin çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir (Özgüner, 2002).

Tablo 3.7. Frekans bantlarının spektrumu

Frekans Bandı	Frekans Aralığı
Son derece düşük frekans (ELF)	<3kHz
Çok düşük frekans (VLF)	3-30kHz
Düşük frekans (LF)	30-300kHz
Orta frekans (MF)	300kHz-3MHz
Yüksek frekans (HF)	3-30 MHz
Çok yüksek frekans (VHF)	30-300 MHz
Ultra yüksek frekans (UHF)	300-3 GHz
Süper yüksek frekans (SHF)	3-30 GHz
Ekstra yüksek frekans (EHF)	30-300 GHz



Şekil 3.19. Radyo dalgalarının yayılım modelleri

3.10.1. VHF ve UHF yayılım esasları

Bir verici anten, boşluğa yani yerden veya her türlü engelden uzak bir yere konulduğu zaman, bu antenin alıcı anten kazancı G_T ise, onun seçilen yönde ve d mesafesindeki güç yoğunluğu (yani birim alana düşen gücü);

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (3.3)$$

ile verilir. Bu durumda etkin bölgesi;

$$A = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \quad (3.4)$$

olan bir alıcı antende elde edilen güç ise;

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} A \quad (3.5)$$

veya

$$= \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad (3.6)$$

olur. Burada G_R , alıcı anten kazancıdır. Böylece, alınan ve verilen güçler oranı için;

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3.7)$$

formülü elde edilir. Bu formül, boşluk denklemi veya Friis denklemi olarak bilinen temel bir bağıntıdır. Bu denklem başka bir şekilde ;

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{c}{4\pi f d} \right]^2 \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilebilir (Salema,2003). Yayılım kaybının (yol kaybının) yaygın bir gösterimi, dB'dir. Bu amaçla (3.8) nolu denklemden

$$L_F = 10 \log \frac{P_R}{P_T} \quad (3.9)$$

$$= 10 \log G_T + 10 \log G_R - 20 \log f - 20 \log d + k \quad (3.10)$$

yazılabilir. Burada k;

$$k = 20 \log \frac{3 \times 10^8}{4\pi} = 147.6 \quad (3.11)$$

bulunur. Yol kaybı, izotropik antenlerin arasındaki L_B temel yol kaybı ile karşılaştırılabilir. Burada ;

$$L_B = -32.44 - 20 \log f(\text{MHz}) - 20 \log d(\text{km}) \quad (3.12)$$

ile ifade edilir.

Denklem (3.7) gösteriyor ki boşluktaki dalga yayılımında mesafeye bağımlılık, ters kare kanununa uymaktadır. Böylelikle, uzaklık 2 kat arttığında, alınan güç 6 dB azalır. Yol kaybı da buna benzer bir şekilde iletim frekansının karesi ile artar. Frekans yükseldiğinde kayıplar 6 dB artar. Bu kaybı gidermek için yüksek kazançlı antenler kullanılır. Verici antenden belli bir uzaklıktaki elektrik alan şiddetini hesaplamak bazı durumlarda, güç yoğunluğunun belirtilmesinden daha uygundur. Bu durum, elektrik alan şiddeti (E) ile güç yoğunluğu (W) arasındaki bağıntı ile yapılabilir ;

$$W = \frac{E^2}{\eta} \quad (3.13)$$

Burada η boşluğun karakteristik empedansıdır ve değeri 120π ($\approx 377\Omega$)'dur. Böylece;

$$\frac{E^2}{120\pi} = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (3.14)$$

şeklinde yazılabilir. Bu da;

$$E = \frac{\sqrt{(30P_T G_T)}}{d} \quad (3.15)$$

ifadesini verir. Bu konu daha sonraki bölümde GSM haberleşme sistemlerinde güvenlik mesafesinin hesaplanması konusunda tekrar gündeme getirilecektir. Son olarak, eşlenmiş bir alıcının uçlarına verilebilecek maksimum faydalı güç için ;

$$P = \frac{E^2 A}{\eta} = \frac{E^2}{120\pi} \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} = \left(\frac{E\lambda}{2\pi}\right)^2 \frac{G_R}{120} \quad (3.16)$$

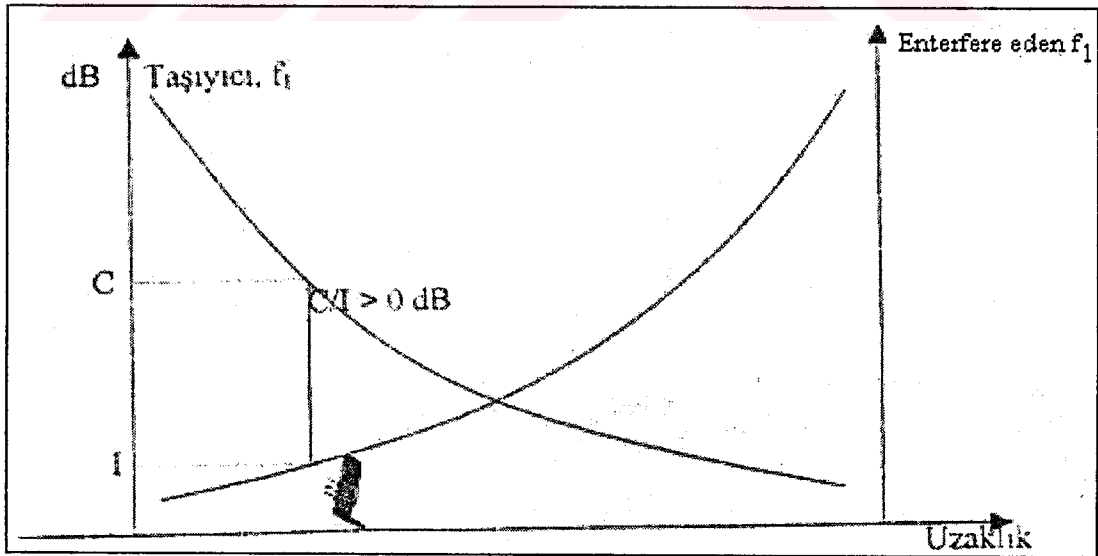
ifadesi elde edilir (Şeker ve Çerezci,2000).

Hücre planlama açısından, kapsanılan her noktadaki sinyal seviyesinin ne olduğunun bilinmesi çok önemlidir. Bu, yol kaybının tahmin edilebilmesine imkan verir. Yukarıda bahsedilen tüm hesaplamalar aslında bir model oluşturmaktadır ve bu modelin geliştirilebilmesi için;

- Radyo dalgaları dünya yüzeyinde yansımaktadır ve dünyanın iletkenliği önemli bir parametredir.
- Görüşü engelleyen engellerin neden olduğu iletim kayıplarının değerlendirilmesi,
- Dünyanın küreselliği ve eğriliği,
- Gerçekte topoğrafik değişikliklerin neden olduğu farklı zayıflamalar (orman, kentsel alanlar, bitki örtüsü, binalar vb)

3.10.2. Enterferans (Girişim)

Hücrel haberleşme sistemlerinde, işaret şiddetinden daha çok frekansların tekrar kullanımının ve arazi şartlarının yarattığı enterferansın meydana getirdiği sınırlama engel teşkil etmektedir. Taşıyıcı frekansların yeniden kullanılma zorunluluğu olduğu düşünüldüğünde frekans tekrarı dediğimiz frekansların yeniden kullanılma şeklini belirleyen desenlerin oluşturulmasında da esas kısıtlama enterferansın etkisidir.



Şekil 3.20. Aynı kanal enterferansı

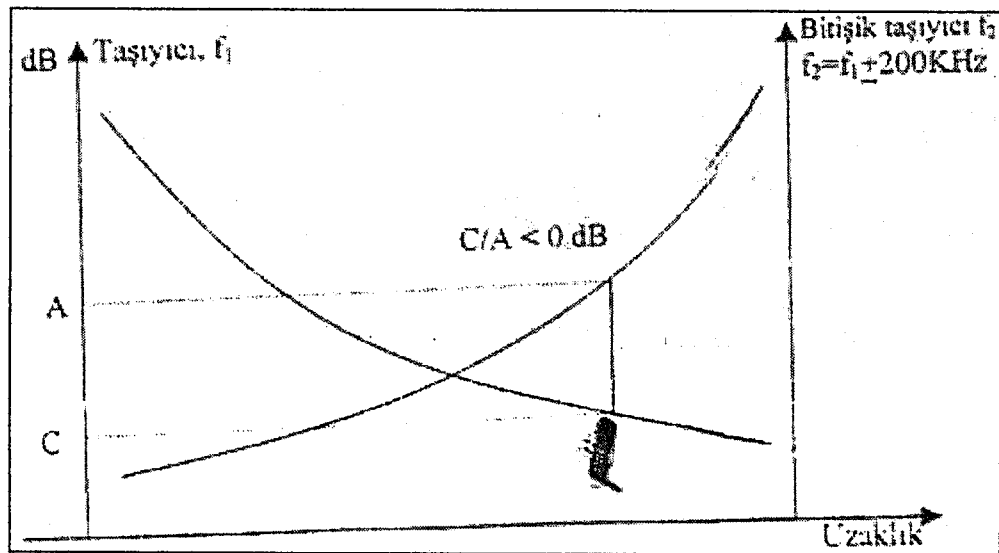
Aynı-kanal enterferansı, aynı anda aktif olarak aynı taşıyıcı frekansa sahip hücrelerin birbirleri üzerinde meydana getirdiği enterferansa verilen isimdir. Bu durum şekil 4.6'da gösterilmiştir. Birbirlerine komşu olan yada başka bir tabirle kaplama alanları örtüşen (overlap) hücrelerde aynı taşıyıcı frekansı kullanıldığında meydana gelebilecek bu durum kalitenin düşmesine sebep olur. Eğer servis alınan hücrenin taşıyıcı frekansını kullanan bir başka hücre frekansı bulunulan yerde güçlü ise her iki işaretin güç farkına bağlı olarak enterferans oluşabilir.

GSM sisteminde, servis alınan taşıyıcı, C, ile enterferansa neden olan frekans I, arasındaki, C/I, işaret şiddetleri oranı 9dB'den büyük olmalıdır. Frekans planlaması yapılırken kaliteden fedakarlık edilemeyeceğine göre bu oranda bir tampon bölge bırakmak bir zorunluluktur. Planlama kriterlerine göre, uygulamada taşıyıcının, enterferansa neden olan işaret arasındaki bu oranın 12dBden büyük olması tavsiye edilir. Ancak eğer şebekede frekans atlama kullanılıyorsa frekans atlamasının getireceği 3dB'lik ekstra marj ile;

$C/I > 12$ dB (frekans atlama kullanılmazsa)

$C/I > 9$ dB (frekans atlama kullanımı ile)

sonucuna ulaşılır.



Şekil 3.21. Bitişik kanal enterferansı

Diğer taraftan bitişik taşıyıcı frekans dediğimiz 200 KHz kaydırılmış yani bir önceki veya bir sonraki taşıyıcı frekansı da işaret şiddetinin güçlü olması istenmeyen bir durumdur. Her ne kadar bitişik frekanslar kullanılan taşıyıcıdan ayrı frekanslar olsalar da +200 KHz yani bir kanal yakındaki bu taşıyıcıların, kullanılan taşıyıcı üzerinde enterferans etkisi vardır. Bitişik kanal enterferansı olarak adlandırılan bu enterferansın sebebi, filtreleme ile bastırılmayan yan bantların oluşturabileceği bozucu etkidir. Bu durum şekil 3.21’de gösterilmiştir. GSM sisteminde servis alınan taşıyıcı, C ile enterferansa neden olabilecek bitişik taşıyıcı frekans A arasındaki C/A işaret şiddetleri oranı -9dB’den büyük olmalıdır.

Bitişik kanal enterferansı duyarlılığı C/I performansında olduğu gibi düşürse de, hücre planlamada amaç 3dB’den büyük C/A oranına ulaşmak olmalıdır. Sonuçta;

$$C/A > 3dB$$

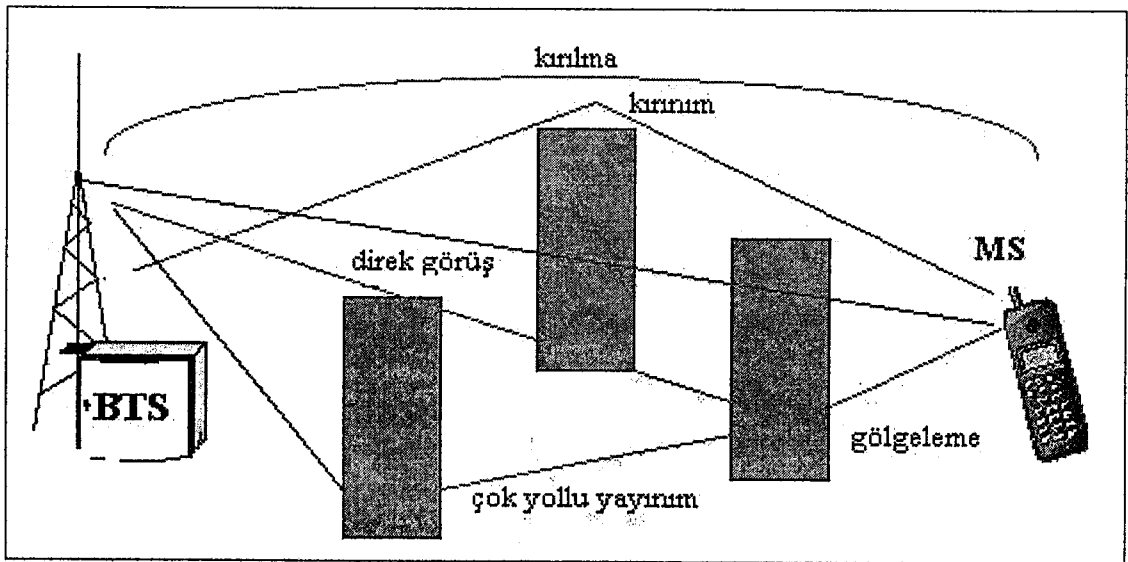
olacak şekilde uygulamalar yapılabilir. Bunu sağlarken frekans atlama v.b. gibi diğer şebeke özellikleri de kullanılmalıdır. Aynı hücrede bitişik frekanslar kesinlikle kullanılmamalıdır. Ancak komşu hücrelerde eğer frekans atlama gibi şebeke özelliklerini kullanılıyorsa başarılı bir şekilde bitişik frekansı taşıyıcı olarak kullanılabilir.

Hücre yapısı ve büyüklüğü bölgedeki trafik miktarına bağlıdır ve gerçek radyo yapısını etkileyen gerek coğrafi sebepler gerekse bina yapısı ve trafik miktarı olarak desenleri uygulamayı imkansız hale getirebilir. Çünkü, örneğin yoğun kentsel alanlarda, binalar ne kadar yüksekse yansıma ve kırılmalar o kadar çok olacaktır (Yanmış ve diğ., 2002). Ancak genel yapı olarak desen korunmaya çalışılırsa enterferans problem olmayacaktır. Burada kastedilen hücre büyüklüğü ne olursa olsun anten yönlerini korumaya çalışmaktır. Böylelikle aynı ve bitişik frekanslar arasındaki mesafede daima korunacak ve enterferansın eşik değerlerini aşması önlenecektir.

Enterferans hücrel radyo sistemlerinin performansında en önemli limit faktörüdür. Enterferans kaynakları aynı hücredeki farklı bir mobil, komşu hücrede gerçekleşen bir aramayı, aynı frekans bandında çalışan başka bir baz istasyonunu veya hücrel frekans bandına dikkatsizce enerji sızdıran hücrel olmayan sistemi içerir. Ses kanallarındaki enterferans, beklenmeyen bir iletme bağı olarak abonelerin arka planında enterferansı duydukları çapraz konuşmaya sebep olur. Kontrol kanallarında ise enterferans sayısal işaretleşmedeki hatalara bağı olarak çağırmaı kaybolma ve bloke olma ile sonuçlandırır. Kentsel bölgelerde çok daha fazla olan baz istasyonu ve mobil sayısına bağı olarak daha büyük radyo frekansı gürültü seviyesi ile enterferans çok daha fazladır. Enterferans kapasite artırımının önündeki en büyük engellerden biri olarak tanınır ve drop ile sonuçlanan konuşmaların en önemli sebebidir. Enterferansa neden olan işaretler sıklıkla hücrel sistemler tarafından üretilmesine rağmen pratikte raslantısal yayılım etkisi sebebiyle kontrol etmek zordur.

3.10.3. Yayılım modelleri

Radyo dalgalarının yayılımı konusunda birçok metot geliştirilmiştir. Bu bölümde, çok yaygın olarak kullanılan metotlar tanıtılacak ve yol kaybı konusu ve çözümleri anlatılacaktır. Radyo dalgalarının yayılımı, 5 farklı yöntemle olmaktadır. Bunlar Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Radyo dalgalarının yayılımı

Alan tahmini veya yol kaybı yayılım modelleri gönderici ile alıcı arasındaki güç transferinin belirlenmesinde kullanılır. Hücresel haberleşme sistemlerinde yayılım modelleri geniş ölçekli etkileri ve küçük ölçekli etkileri olarak araştırılmıştır. Geniş ölçekli etkileri, ortalama alınan sinyal gücünün değişimini uzun mesafeler veya uzun zaman aralıkları açısından değerlendirir. Küçük ölçekli etkilerinde ise alınan sinyal seviyesinin değişimi kısa mesafeler ve kısa zamana aralıkları açısından değerlendirilir (Kavas, 2003).

Okumura'nın yayılım modeli, 3000MHz'e kadar olan frekanslar için sinyal seviyelerine ait bir deneysel tahmin metodudur. Bu metodun formülasyonu;

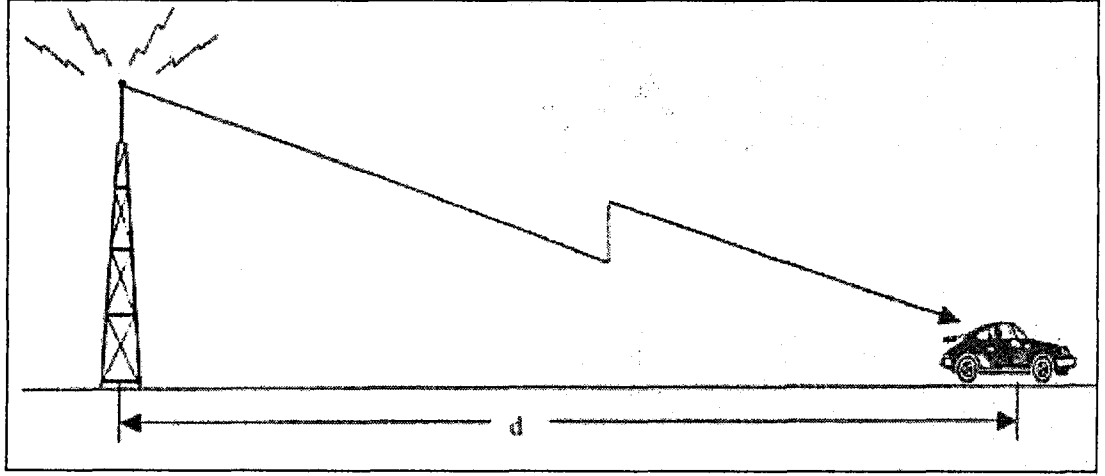
$$L = L_{FS} + A_m - ((H_B - H_M) + K_U + K) \quad (3.17)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada L_{FS} ; serbest uzay kaybı, $A_m(f,d)$; kentsel alanlarda serbest uzaya bağlı ortalama zayıflama, $H_B(h_B,d)$; BTS anten yüksekliği kazanç faktörü, $H_M(h_M,f)$ anten yüksekliği kazanç faktörü, $K_U(f)$; istasyon tipi düzeltme faktörü (kentsel, ilçe, açık alanlar için), K ek düzeltme faktörü (dağlık, eğimli, kara-deniz, cadde, çalılık, ve görünen-görünmeyen alanlar için) (Okumura ve diğ.,1968).

Aşağıdaki formüller, radyo dalgalarının yayılım kayıplarının hesaplanması için iki analitik metot sunar.

Boşluktaki basit iletim kayıpları ilk modeldir. Şekil 3.23'de gösterilen bu basit modelde hiçbir yansımanın olmadığı ve radyo yayılım yolunun doğrudan gözle görülen şekliyle olduğu varsayılmıştır. (3.18) bağıntısı yalnız izotropik antenler için geçerlidir.

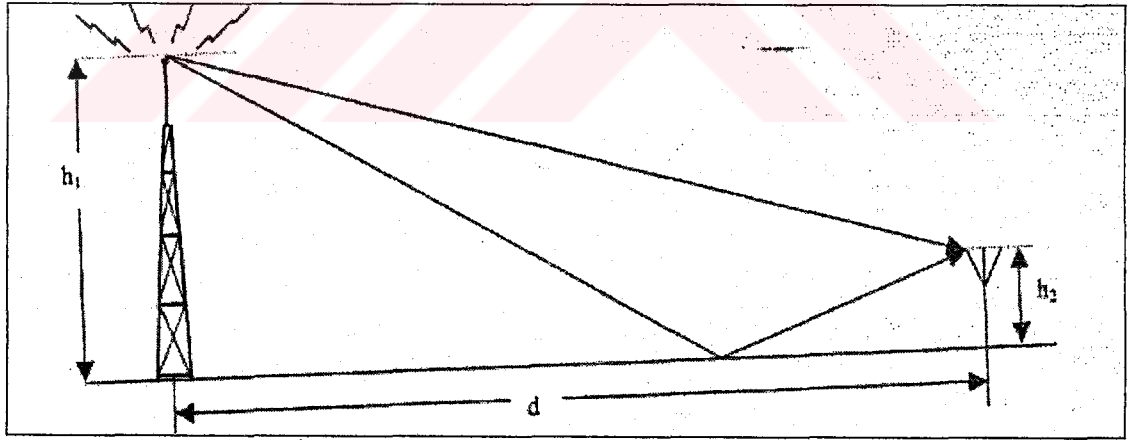
$$L_{bf} = 20 \log (4\pi d/\lambda) \quad (3.18)$$



Şekil 3.23. Boşlukta radyo dalgalarının yayılımı

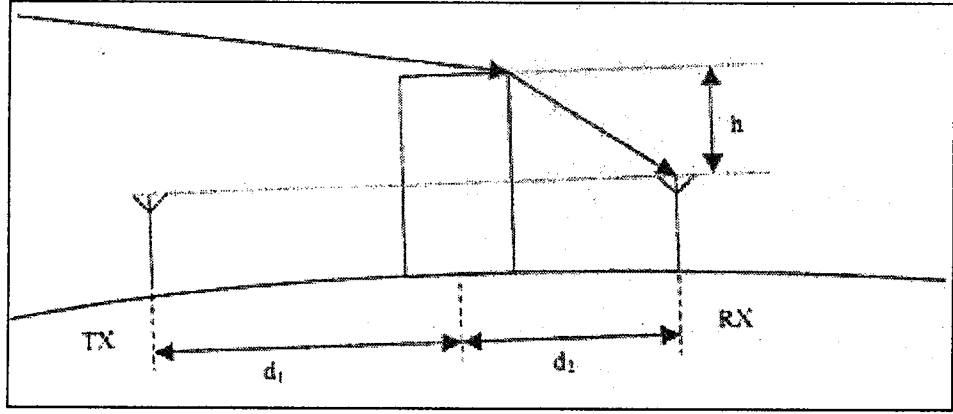
Şekil 3.24'de gösterilen ikinci yaklaşım ise yansımaların da işin içine katıldığı ve iletken yerküre üzerindeki yayılım için formülize edilerek kullanılan iletim kayıpları hesaplarıdır. Bu yaklaşım da izotropik antenler için geçerlidir.

$$L = 20 \log (d^2 / h_1 h_2) \quad (3.19)$$



Şekil 3.24. İletken yerküre üzerinde radyo dalgalarının yayılımı

Bir diğer tabiat olayı/etkeni de şekil 3.25'de gösterilen bıçak sırtı engelinin etkisidir. Radyo dalgaları yayılımı teorisine göre bir engel, işareti uzunluğa bağlı olarak değişik bir şekilde zayıflatır.



Şekil 3.25. Bıçak Sırtı Kırınımı

Radyo dalgalarının birkaç engele maruz kalarak gölgelenmesi durumunda, yukarıda bir durum için gösterilen formül yeniden kullanılarak ve her bir durumun kaybı toplam kayba eklenerek, radyo dalgasının toplam zayıflaması bulunabilir. Buraya kadar tanımlanan formüller radyo yolunun basit modelleri üzerine kurulmuş ve formüllerden hiçbiri radyo yolu ile arazi tipinin ilişkisini dikkate almamıştır. Daha gerçekçi metot ise, değişik arazi ve coğrafyalarda deneysel radyo dalga yayılımı verisinin kullanılmasıdır. Bu şekilde deneysel veriler 1968' de Japon bir mühendis olan Okumura tarafından, kendisinin karşılaştırmalı radyo dalga yayılımı ölçümleri baz alınarak bir araya toplandı ve yayımlandı (Okumura, 1968).

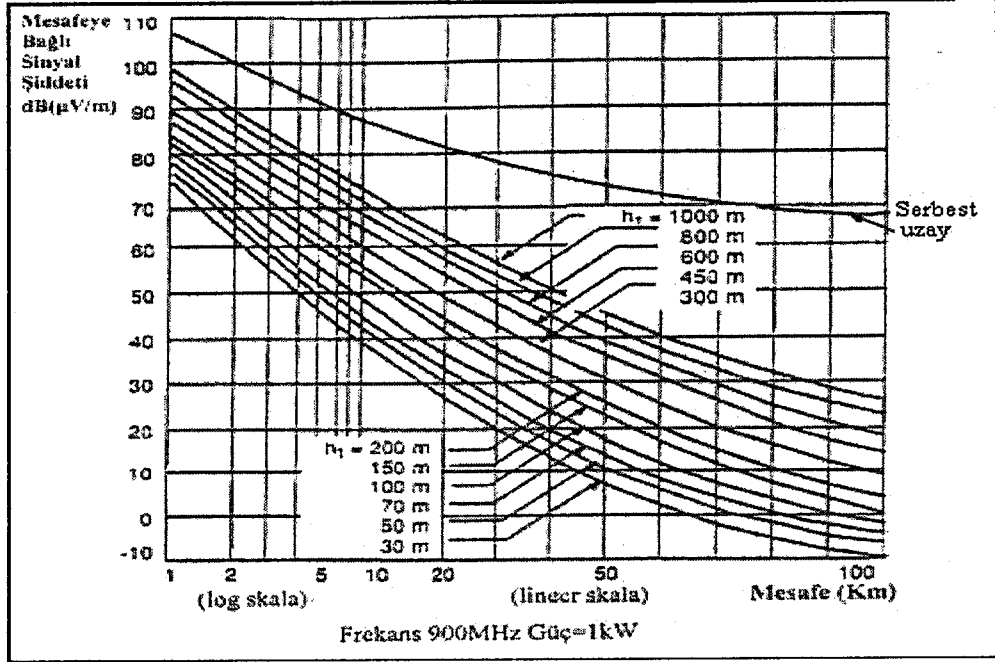
Tablo 3.8. Mikro ve normal hücreler için mesafeye bağlı kayıplar

MİKRO HÜCRE		NORMAL HÜCRE	
BTS-Mobil Mesafesi (Km)	Kayıp (dB)	BTS-Mobil Mesafesi (Km)	Kayıp (dB)
0,001	24	0,1	107
0,01	50	1	145
0,1	76	2	157
0,2	84	3	163
0,3	88	4	168
0,4	91	6	175
0,5	94	8	180
0,6	96	10	183
0,7	98	15	190
0,8	99	20	195
0,9	101	25	198
1	102	30	201

Tablo 3.9. Antenlerin bakış doğrultusuna dik 20m lik bir sokakta mesafeye orantılı yansıma kayıpları

KAYIP (dB)	Sokağın Köşesinden Uzaklık (m)
40	100
34	50
28	25
22	12,5
16	6,25

Okumura'nın ölçümlerini sonuçları, diyagramlar serisi olarak yayımlandı. Şekil 3.26' da gösterilen Okumura'nın ilk ve en önemli diyagramında sahadaki sinyal şiddetinin mesafe ve anten yüksekliği ile ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 3.26. Yerden 1.5m yükseklikte mobil ile BTS arasındaki mesafeye bağlı sinyal şiddeti. h_1 'ler değişik yükseklikteki baz istasyonu antenlerini gösterir eğrilerdir.

Bu diyagram, arazi veya topografya içermemektedir ve dolayısıyla bir düzeltmeye ihtiyacı vardır. Okumura bu sebeple değişik arazi sınıfları tanımlamıştır. Bu sınıflardan her biri de kendi diyagramı ile birlikte doğrulama faktörü olarak ilave incelemeleri gösterir. Bu bölümde ayrı ayrı arazi sınıfları ve bunlar arasındaki farklar işlenmeyecektir. Radyo dalgası yayılımı ve zayıflamalarını inceleyen çeşitli bilgisayar programları mevcuttur ve bilgisayarsız bir ortamda manuel olarak radyo dalgasının yayılım tahmini de sağlıklı sonuçlar vermeyecektir.

İstatistiklerin efektif olarak kullanılabilmesi için, bu istatistiklerin bilgisayarlar aracılığı ile işlenmesi şarttır. Bu noktadan hareketle, Okumura'nın raporunu analiz eden Hata, 1980 yılında Okumura'nın araştırmalarına dayanarak deneysel formüller yayınlanmıştır. Bu formüller bilgisayar kullanımı için tasarlanmış olup, Okumura'nın diyagramının kabaca benzeridir.

Eğer arazi profili düzensizse, topografya ve saha kullanım bilgisi bir veri tabanında depolanmalıdır. Böylece Hata algoritmasının kullanımı da kolaylaşır.

Hata'nın metodunda ise (Hata,1980);

$$L = 69.55 + 26.16 \cdot \log(f) - 3.82 \cdot \log(h) - H_M + (44.9 - 6.55 \cdot \log(h_B)) \cdot \log(d) - K_U(f) \quad (3.20)$$

H_M , mobil anten yüksekliği için düzeltme faktörü, K_U , ilçe ve açık alanlarda küçük şehir formülünü düzeltmede kullanılır ve aşağıdaki gibi hesaplanır;

- Küçük veya orta büyüklükteki şehirlerde;

$$H_M(h_M, f) = (1.1 \log(f) - 0.7) \cdot h_M - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad (3.21)$$

- Büyük şehirler için (bina yüksekliklerinin 15m.' den büyük olduğu şehirler)

$f \leq 200$ MHz için,

$$H_M(h_M, f) = 8.29 (\log(1.54 \cdot h_M))^2 - 1.1 \quad (3.22)$$

$f > 400$ MHz için,

$$H_M(h_M, f) = 3.2 (\log(11.75 \cdot h_M))^2 - 4.97 \quad (3.23)$$

$K_U(f)$ ise şehirleşme düzeltme faktörüdür ve

- İlçe merkezleri veya küçük şehirler için;

$$K_U(f) = 2 (\log(f/28))^2 + 5.4 \quad (3.24)$$

- Açık alanlar için;

$$K_U(f) = 4.78 (\log(f))^2 - 18.33 \cdot \log(f) + 40.94 \quad (3.25)$$

Genişletilmiş Hata modeli ise COST 231 HATA ismiyle isimlendirilmiş olup ilk hata modelinde yol kaybı hesabındaki küçük bir farkı düzeltmek amacıyla geliştirilmiştir.

Burada temel formüldeki medyan yol kaybı;

$$L = 46.3 + 33.9 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(h_b) - H_M + (44.9 - 6.55 \cdot \log(h_b)) \log(d) + C_m \quad (3.26)$$

şeklindedir.

Burada, H_M , mobil anten yüksekliği için düzeltme faktörü C_m ilçeler ve orta büyüklükteki şehirler için 0, metropoller için 3 e eşit bir sabittir (Cost 231).

Walfisch-Ikegami modelinde 800-2000 MHz frekans bandında ve 0.02 ile 5km arasında yayılım datalarının ölçümüne dayanmaktadır. LOS (direkt görüş) ve NLOS(görüş yok) olmak üzere 2 değişik durum için bu model değerlendirilmektedir (Walfisch and Bertoni). Buna göre LOS modeli için;

$$L_{LOS} = 42.64 + 26.\log(d_{km}) + 20\log(f_{MHz}) \quad (3.27)$$

serbest uzayda yayılım kaybı;

$$L_{FS} = 32.45 + 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{MHz}) \quad (3.28)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu durumda LOS yayılım kaybı

$$L_{LOS} = L_{FS} + 10.19 + 6\log(d_{km}) \quad (3.29)$$

şeklinde hesaplanabilir. NLOS modelinde ise alıcı ile verici arasında direkt görüş yoktur. Bu durumda yol kaybı hesabı;

$$\begin{aligned} L_{NLOS} &= L_{FS} + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} &\geq 0 \\ L_{NLOS} &= L_{FS}, & L_{rts} + L_{msd} &\leq 0 \end{aligned} \quad (3.30)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modeller dışında Bertoni-Walfisch, Carey, Egli, Longley-Rice ve Bullington modelleri de bulunmaktadır (Carey,1964, Egli, Longley and Rice, 1982, Bullington). Ayrıca LOS yol kaybı için yeni modeller de geliştirilmiştir. Buna en son örnek Oda ve Hata (2000) tarafından geliştirilen modeldir.

3.11. Sistem Dengesi

GSM haberleşme sisteminde bir bölgenin kapsandığını söylemek için bölgenin %95'inde MS tarafından alınan sinyal seviyesinin -90dBm (1pW)'den iyi olması gerekir. İki yönlü radyo iletişim sistemlerinde kapsama, zayıf iletim yönü dikkate alınarak kararlaştırılır. Bu iki iletişim yönü gönderme ve alma olarak adlandırılır.

Gönderme: Mobil aboneden, baz istasyonu vasıtasıyla şebekeye ulaşım

Alma: Baz istasyonu vasıtasıyla şebekeden, mobil aboneye ulaşım

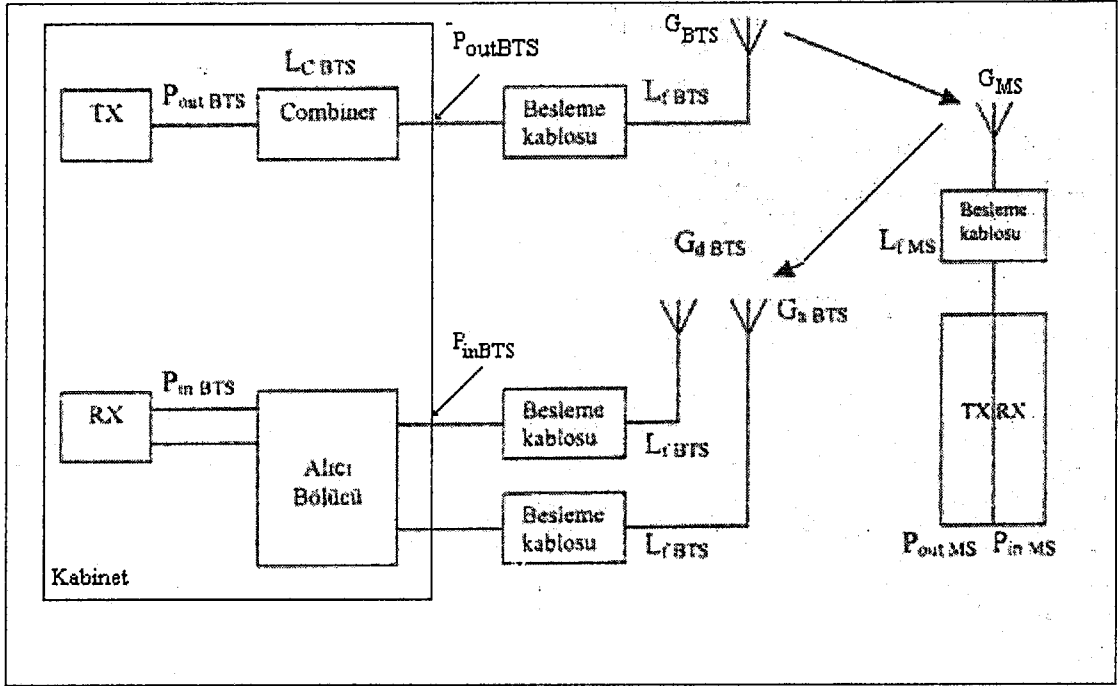
Her iki iletim yönü de, bir diğeriyle girişimden kaçınmak, sisteme erişebilirlik sağlamak veya ilave maliyetlere engel olmak amacıyla dengede olmalıdır. Bu sebeple öncelikle sistem dengesi hesapları başlamadan yapılmalıdır.

Denge hesaplarından önce bazı kabuller ve basitleştirmeler yapmaya gerek vardır. Bunlar;

- İnsandan oluşan gürültüyle, duyarlılığın azalmasının dengeye etkisi yoktur.
- Baz istasyonunda yöneltme kullanılmıştır.
- Baz istasyonunda RX ve TX (alıcı ve verici) antenler aynı kazanca sahiptir.

Çeşitleme, çok yönlü radyo yayılımı sebebiyle oluşan hızlı sinyal seviyesi değişiklikleriyle mücadele için kullanılır. Çeşitleme iyileştirmesi, değişik radyo çevre şartları ile birlikte değişir. Düz ve açık arazide çeşitleme iyileştirmesi göreceli olarak daha düşüktür. Diğer taraftan yoğun şehir bölgelerinde, yüksek binaların doğrudan gelen işareti engellemesi ve birçok yansıyan dalga bileşeni üretmesi ile oluşan çevre şartlarında çeşitleme iyileştirmesi de yüksek olacaktır. Sonuç olarak aşağıdaki değerler çeşitleme kazancı olarak kullanılabilirler

- Analog sistem açık alan : 4 dB
- Analog sistem şehir bölgesi : 6 dB
- Sayısal sistem genel olarak : 4-6 dB



Şekil 3.27. Sistem dengesinin şematik gösterimi; G(Gain): Kazanç, L (Loss):Kayıp, a(antenna): Anten, f(feeder ve jumper): Besleme kabloları ve atlama kabloları, c (Combiner): Birleştirici, d (diversity): Çeşitleme

İki iletim yönü arasında, baz istasyonundan mobile ve tersi istikamette, dengeyi sağlamak amacıyla, bazı radyo parametrelerinin açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

P_{inMS} = MS'in giriş gücü (dBm)

P_{inBTS} = BTS'in giriş gücü (dBm)

P_{outMS} = MS'in çıkış gücü (dBm)

P_{outBTS} = BTS'in çıkış gücü (dBm)

L_{fMS} = MS'de besleme kablosu kaybı (dB)

L_{fBTS} = BTS'de besleme kablosu kaybı (dB)

L_{cBTS} = BTS'de birleştirici kaybı (dB)

L_p = MS ile BTS arası yol kaybı (dB)

G_{aMS} = MS'in anten kazancı (dBi)

G_{aBTS} = BTS'in anten kazancı (dBi)

G_{dBTS} = BTS'de çeşitleme (diversity) kazancı (dBi)

Bu açıklamalardan sonra mobildeki sinyal seviyesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$P_{inMS} = P_{outBTS} - L_{CBTS} - L_{fBTS} + G_{ABTS} - L_p + G_{AMS} - L_{fMS} \quad (3.31)$$

Benzer şekilde baz istasyonunda da;

$$P_{inBTS} = P_{outMS} - L_{fMS} + G_{AMS} - L_p + G_{dBTS} + G_{ABTS} - L_{fBTS} \quad (3.32)$$

Her iki denklemi çözerek yol kaybı L_p yi bulabiliriz.

$$L_p = P_{outBTS} - L_{CBTS} - L_{fBTS} + G_{ABTS} + G_{AMS} - L_{fMS} - P_{inMS} \quad (3.33)$$

$$L_p = P_{outMS} - L_{fMS} + G_{AMS} + G_{dBTS} + G_{ABTS} + L_{fBTS} - P_{inBTS} \quad (3.34)$$

Buradan,

$$P_{outBTS} - L_{CBTS} - L_{fBTS} + G_{ABTS} + G_{AMS} - L_{fMS} - P_{inMS} = P_{outMS} - L_{fMS} + G_{AMS} + G_{dBTS} + G_{ABTS} - L_{fBTS} - P_{inBTS} \quad (3.35)$$

eşitlik sadeleştirilirse;

$$P_{outBTS} - L_{CBTS} - P_{inMS} = P_{outMS} + G_{dBTS} - P_{inBTS} \quad (3.36)$$

Sonuçta sistem denge formülü şu şekilde bulunabilir;

$$P_{outBTS} = P_{outMS} + G_{dBTS} + L_{CBTS} + P_{inMS} - P_{inBTS} \quad (3.37)$$

Baz istasyonu çıkış gücü (P_{outBTS}) mobil çıkış gücünden (P_{outMS}) daha büyük olmalıdır. Çeşitleme kazancı (G_{dBTS}), birleştirici kaybı (L_{CBTS}) ve duyarlılık farkının ($P_{inMS} - P_{inBTS}$) toplamları dikkate alındığında bu sonuç, yukarıdaki formülde açıklandığı şekildedir.

Örneğin, Class4 bir MS için GSM900 bandında sistem dengesi;

$P_{out_{MS}} = 2W$ (33dBm), $G_{dB_{BTS}} = 3.5dB$ ve $MS_{sens} = -104dBm$ (MS'in genel şebekede algılayabildiği en düşük sinyal seviyesi), $BTS_{sens} = -110dBm$ alınırsa

$$P_{out_{BTS}} = 33 + 3.5 + (-104 + 110) = 42.5dBm$$

elde edilir. Bu da BTS'in en az 18W'lık bir çıkış gücüne ihtiyacı olduğu anlamına gelir. BTS'in çıkış gücü her zaman MS'in çıkış gücünden çok daha büyük olmalıdır. Çünkü, her zaman BTS'den yayılan sinyal birçok zayıflamaya maruzdur ve bu zayıflamalar sinyalinde zayıflamasına neden olmaktadır.

3.11.1. ERP (Effective Radiated Power)

Efektif yayınım gücü ERP antenden yapılan yayınımı tanımlamak için kullanılır. Bu yayınım normalde bir doğrultuya doğru konsantre edilmiştir. Sonuç olarak ERP verilen doğrultuda tüm kayıp faktörleri dikkate alınarak beklenen yayınım yani antenin gücü olarak görülebilir.

$$ERP = P_{out_{BTS}} - L_{CB_{BTS}} - L_{f_{BTS}} + G_{a_{BTS}} \quad (3.38)$$

$P_{out_{BTS}}$: Baz istasyonu çıkış gücü.

$L_{CB_{BTS}}$: Birleştirici (combiner) kaybı.

$L_{f_{BTS}}$: Besleme kablosu kaybı.

$G_{a_{BTS}}$: Anten kazancı.

Efektif yayınım gücü EIRP olarak da ifade edilebilir. Bunun anlamı anten kazancının izotropik antene göre verildiğidir. Dipol antene göre hesaplar yapıldığında bu ifade ERP olarak kullanılmaktadır.

ERP ve EIRP arasındaki ilişkide;

$$EIRP = ERP + 2.15 \quad (3.39)$$

3.12. MS'in Çalışma Modları

3.12.1. Idle Mode (Etkin Olmayan Mod) Davranışı

Cep telefonu power tuşuna basılarak açıldıktan sonra, konuşma veya mesajlaşmanın olmadığı her zaman sistemde bir hücreyle haberleşmekte ve ölçümler almaktadır. MS'in bu çalışma moduna idle mod (sessizlik veya etkin olmayan mod) ismi verilir. Idle moddaki bu işlemler cell selection – reselection denilen hücre seçme ve yeniden seçme algoritmaları ile gerçekleşmektedir. Bu algoritmalar MS'e en uygun hücreyi seçmesini sağlar (Çoğunlukla SS'e göre). Bu algoritmalar ile yapılan seçimde MS'e en iyi şekilde haberleşmeyi sağlama imkanı verir.

Idle modun bir diğer özelliği ise MS'in en düşük güç tüketiminde bulunduğu mod olmasıdır. Çünkü bu modda sadece SS ölçümleri ve LA işlemleri yapılacağı için aktif mod veya çağrı modu kadar sinyalleşme yükü yoktur ve bu yüzden de fazla güç harcanmaz.

MS idle modda iken sürekli olarak servis aldığı hücrenin ve komşularının sinyal seviyelerini ölçer. Bu sayede hangi hücreden servis alacağına karar verilir. Bir hücre seçmenin 3 önemli görevi vardır. Bunlar;

1. Seçilen hücre yoluyla sistemden gerekli bilgilerin MS'e akışı sağlanır
2. MS servis aldığı hücre ile sisteme erişerek çağrı yapabilir.
3. Sistem MS'in hangi LA'da olduğunu servis aldığı hücre sayesinde bilir.

Idle modun işlevlerini ise 4 grupta sıralayabiliriz. Bunlar;

1. PLMN seçme (Örneğin ülkemizde 4 operatör var. SIM kartımız dördünü de destekliyorsa bunlardan istediğimizi manuel veya otomatik olarak seçme işlemini idle modda yaparız)
2. Hücre seçme
3. Hücre yeniden seçimi

4. Location update (konum güncelleme)

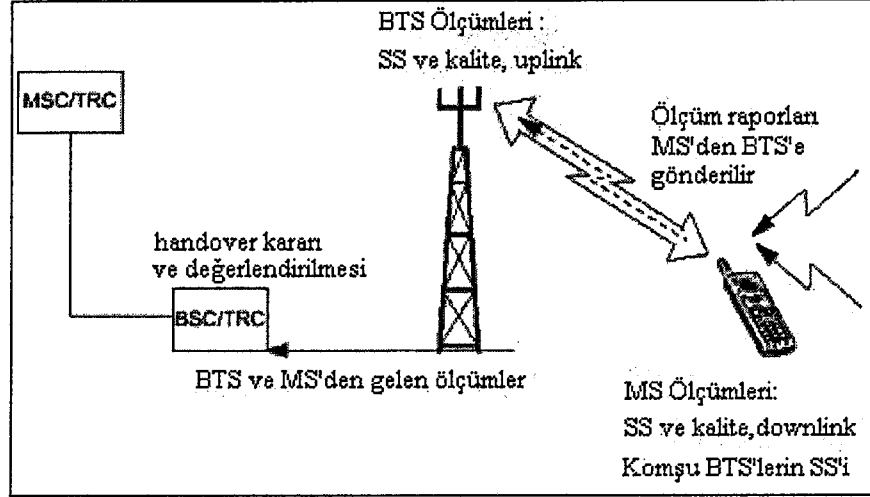
3.12.2. Locating (Yer belirleme)

Locating algoritması, handover (aktarma) işlemine karar verilen bir algoritmadır. Yani aktif modda bir hücreden diğer hücreye haberleşmenin kesintiye ve bozulmaya uğramadan geğmesini sağlamak amacıyla yapılan işlemin yazılımsal algoritmasıdır. Bu işlem BSC'de yazılımlar yoluyla geręekleřtirilir. Parametreler yoluyla kontrol edilir ve aktif moddaki MS'in hücre seğmesi mantığıyla çalışır. Bu bölümde bu konunun özelliklerinin anlatılma sebebi ise aktif modda sinyalleşmelerin fazla g tüketime neden olması ve bunun sonucu da daha fazla g harcanarak daha fazla işıma yapılmasıdır.

Locating işlemi operatörlere ve abonelere;

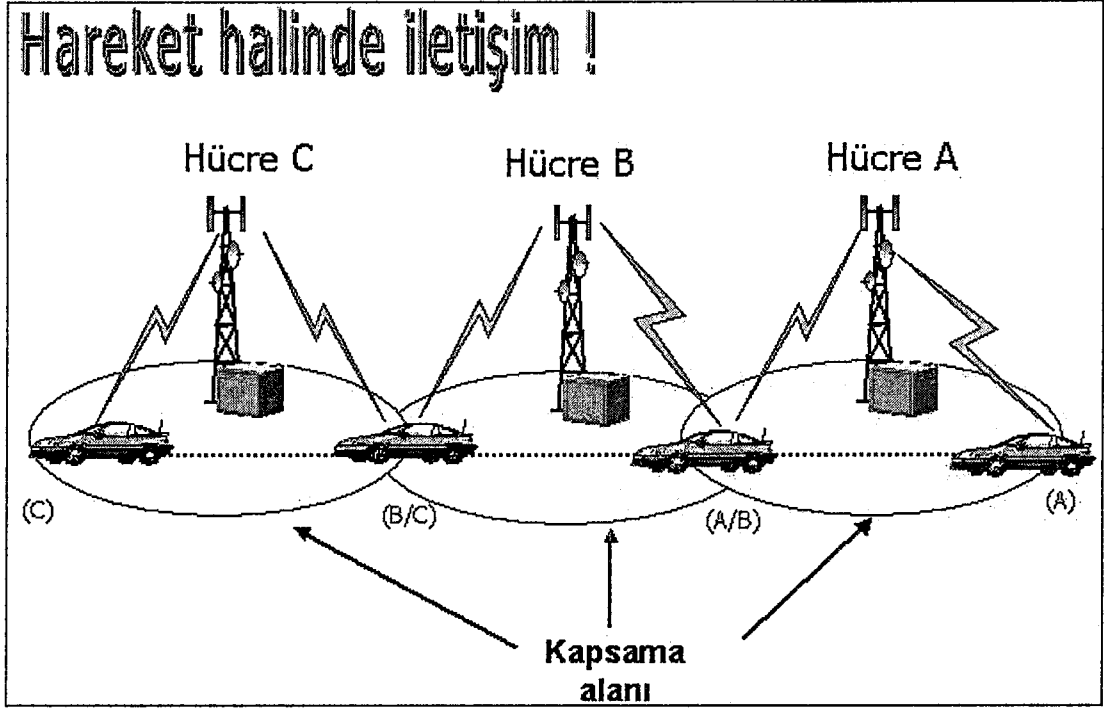
- Kesintisiz ve kaliteli bir iletişim imkanı verir
- Şebeke genelindeki enterferansı minimize etmek için hücre kapsamasını kontrol etmeyi sağlar.

Bu algoritma her 480 ms'de bir tekrarlanır. Algoritmanın girdileri sinyal seviyesi ölçümleri, kalite ölçümleri ve TA(Timing Advance) bilgileridir. Algoritma sonucu elde edilen çıktı da ise aktarma yapılabilcek hücrelerin listesi bulunur.



Şekil 3.28. Locating algoritmasının şematik gösterimi

Bu noktada, öncelikle MS'in aktif modda olması ve niye aktarma (handover) yapılması gerektiği öncelikle açıklanacaktır. Aktif mod, mobilin bir bağlantı kurduğu ve mobile bir mantıksal kanal atandığı çalışma modudur. Bu modda, abone genellikle mobildir ve konuşma süresine bağlı olarak genellikle birkaç hücreden konuşmak durumunda kalmaktadır. Bunun sebebi ise, örneğin, araba ile seyahat eden bir abone düşünülürse, bu abonenin seyahat halinde telefonu ile konuşması durumunda bir hücrenin servis verdiği alanın artık SS açısından zayıfladığı bir noktada başka bir hücrenin daha güçlü bir sinyal seviyesine sahip olması abonenin daha sağlıklı bir görüşme yapabilmesi için bu hücreye aktarma yaparak o hücreden servis alması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Bu durum Şekil 3.29'da gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Hareket halinde iletişim ve aktarma mantığı

Aktarma kararı sadece SS 'den dolayı değil hücrenin kalitesinin bozulması veya TA değerinden dolayı da olabilir.

MS her SACCH periyodunda (480 ms) en iyi 6 komşunun SS'ini BSC'ye raporlar. Ancak bu raporlamanın anlamı her SACCH periyodunda bir aktarma yapılacağı anlamını taşımaz. Sadece MS'in komşularının servis aldığı hücreden daha iyi olup olmadığını sürekli kontrol ederek, hem daha sağlıklı ve kaliteli hem de kesintisiz bir haberleşme sağlamak amaçlanmıştır.

3.13. Radyo Şebeke Özellikleri

3.13.1. Dinamik MS&BTS Güç Kontrolü

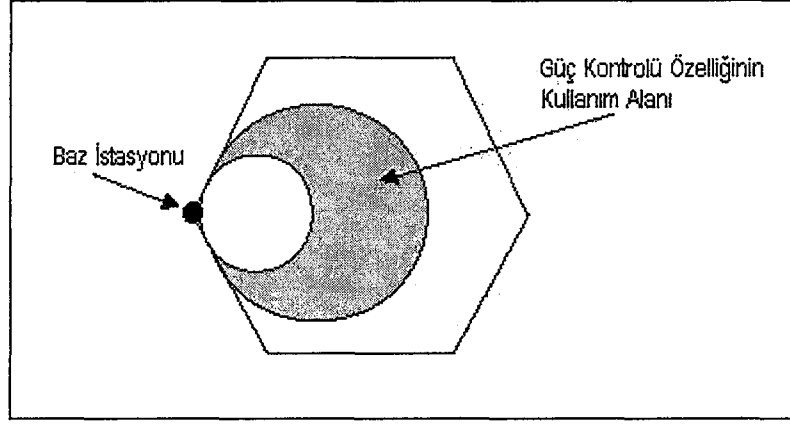
Temel olarak GSM'in en önemli iki ayağı olan baz istasyonları ve cep telefonlarındaki, dinamik güç kontrolü özelliği az bilinmekte ve bu yüzden özellikle

cep telefonu ve baz istasyonlarının insan sağlığına etkileri konusunda göz ardı edilerek yanlış bilgilenmeye yol açmaktadır.

Genel olarak bakıldığında dinamik güç kontrolü özelliği, cep telefonu (MS-Mobile Station) ve baz istasyonlarının (BTS-Base Transceiver Station) bataryalarının güç tüketimini azaltmakta yani cep telefonları için daha uzun süre şarjlı durmalarını, baz istasyonları için ise bir enerji kesintisi durumunda akülerin daha uzun süreli istasyonu çalıştırması anlamına gelmektedir. Ayrıca bir abone istasyona en yakın bulunduğu anda zaten o istasyonun sinyalini en güçlü şekilde almaktadır. MS ve BTS birbirlerine bu kadar yakınken birbirleriyle maksimum güçle haberleşmeleri her iki cihazında doyuma girmesine neden olabilir. Eğer MS ve BTS'lerin çıkış güçleri birbirleriyle olan mesafelerine göre ayarlanabilirse bu istenmeyen durumun önleneceği düşünülerek dinamik güç kontrolü özelliği geliştirilmiştir. Bu özelliğin tüm şebekeye uygulanmasıyla bir abone BTS'e ne kadar yakınsa hem MS hem de BTS birbiriyle minimum güçle haberleşecek, bu da tüm şebekenin güç tüketiminin düşürülmesi adına önemli bir iyileşme sağlayacaktır. Ayrıca bir BTS kendisine türlü mesafelerde bulunan tüm abonelere aynı güçte sinyal ulaşımaya çalışırsa bu özellikle yoğun kentsel nüfusun ve baz istasyonu sayısının çok olduğu yerlerde enterferansa yol açacak sonuç olarak şebekenin kalitesi frekans yönünden de olumsuz etkilenmiş olacaktır (Özgüner,2002).

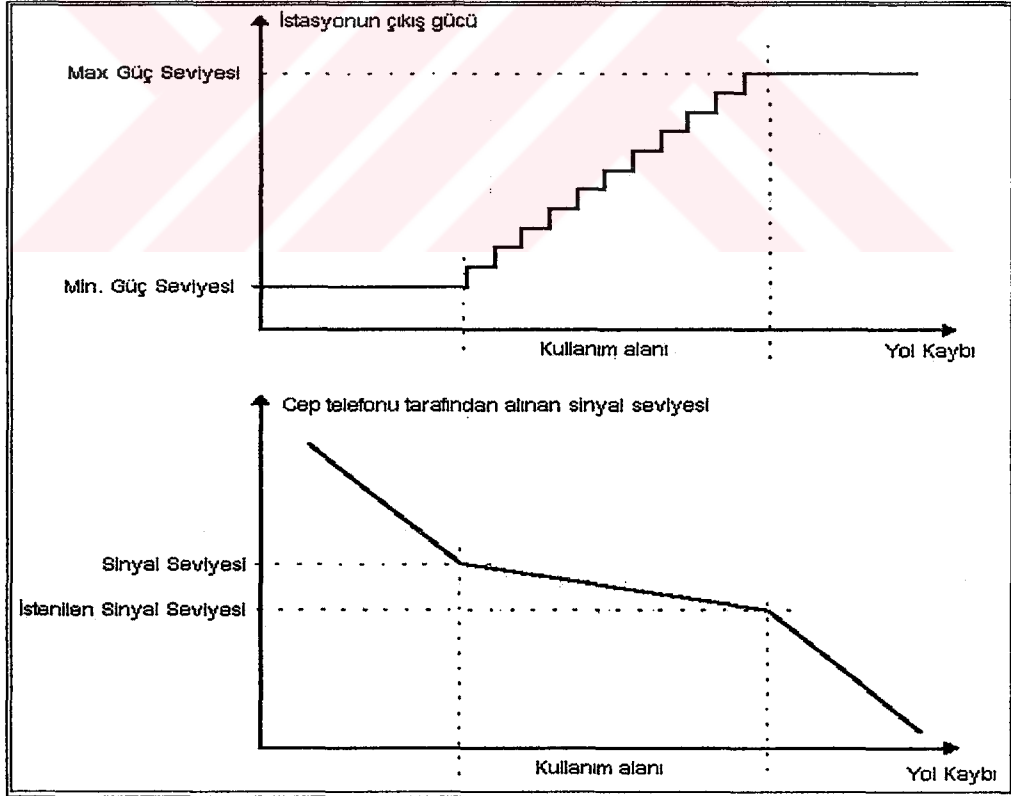
3.13.1.1. Baz istasyonlarının dinamik güç kontrolü özelliği

Genel olarak dinamik güç kontrolü özelliğinin baz istasyonlarında kullanılmasının ilk nedeni, BTS'lerin çıkış güçlerinin kontrolünü sağlar. BTS'lerin her zaman maksimum güçle çalışması enterferansın artmasına neden olmalarıdır. Bu özellik sayesinde enterferans minimuma indirilmektedir. Ayrıca enerji kesintisi gibi durumlarda her zaman maksimum güçle çalışmak akülerin daha kısa sürede bitmesine yol açacağı için abonenin kendisine olan yakınlık veya uzaklığına göre TA (Timing Advance) denilen uzaklık ölçme parametresiyle harcayacağı gücü arttırıp azaltarak efektif güç kullanımını sağlanmaktadır.



Şekil 3.30. Dinamik Güç Kontrolü Özelliğinin baz istasyonlarında kullanımı

Şekilde altıgen sembol bir GSM hücresinin kapsama alanını, gri büyük yuvarlak alan ise bu özelliğin aktif olarak kullanıldığı alanı göstermektedir. Altıgen alanla gri büyük daire arasında kalan alanda ise baz istasyonu maksimum güçle hizmet vermek zorundadır çünkü bu noktalar hücrenin diğer hücrelerle sınır noktalarıdır ve istasyona en uzak noktalardır.



Şekil 3.31. BTS çıkış gücü ve MS tarafından alınan sinyal seviyesi (Ericsson,1996b)

Tablo 3.10. Dinamik güç kontrolü özelliği uygulanan bir hücre ile uygulanmayan bir hücrenin istatistiksel karşılaştırması.

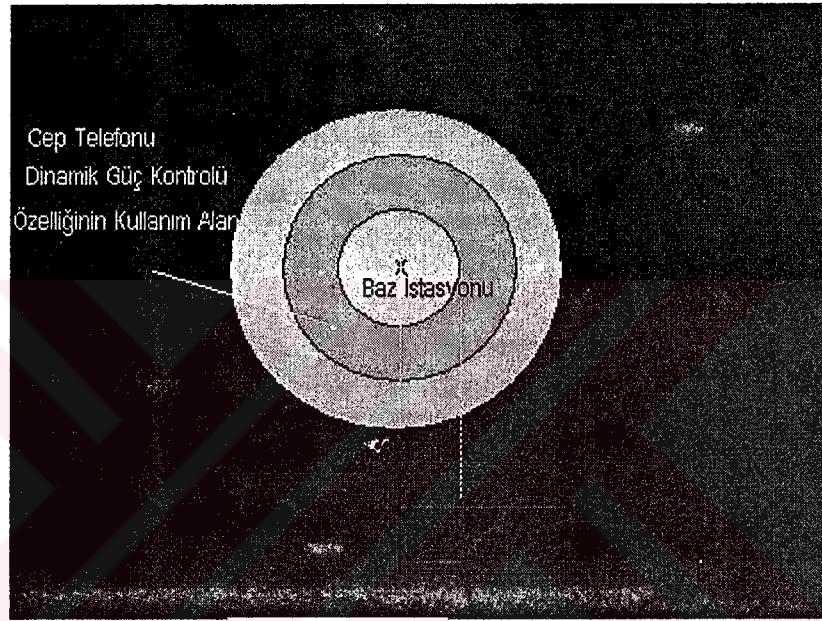
	1.durum	2.durum
Dinamik Güç Kontrolü Özelliği	Aktif değil	Aktif
Toplam Drop	8897	8632
Toplam Trafik	6219	6375
Ortalama D/E	1.43	1.35
HO Deneme sayısı	453553	358544
% HO Başarısızlığı	4.03	3.86
% DL Kalite HO	7.83	6.9

Tablo 3.10.da 2 değişik durum söz konusudur. Bunlardan birincisinde, GSM hücresine dinamik güç kontrolü özelliği uygulanmamış, diğerinde ise uygulanmış farklı iki hücre söz konusudur. Toplam drop (istenmeden görüşmenin kesilmesi) sayıları birbirine yakın olmakla birlikte özelliğin uygulandığı hücrede daha azdır buda bu hücrenin daha fazla trafik toplaması anlamına gelmektedir ki ikinci satırdaki toplam trafik değerleri karşılaştırıldığında bu gözükmemektedir. D/E, yani istenmeden kesilen görüşme sayısının toplam trafiğe oranı bakımından özelliğin uygulandığı hücre yine avantajlıdır. Bir hücreden diğerine geçme isteği (HO-handover) bakımından da 2.durum daha iyidir. Burada sayının fazla olduğu iyi anlamına gelmez çünkü GSM’de tek bir hücreden ne kadar çok trafik toplanabilirse o kadar iyidir. Çünkü her zaman bir hücreden diğerine geçme isteği MS, BTS ve BSC (BSC-Base Station Controller) arasında sürekli sinyalleşme gerektirecek bu da sisteme ekstra sinyalleşme yükü getirerek kanalları meşgul edecektir. Handover denemelerindeki başarısızlığa bakıldığında özelliğin kullanıldığı durumun daha iyi olduğunu, yine hücrenin daha kaliteli hizmet verdiğini son sütunda kalite sebebiyle yapılan handover yüzdesini de görebiliriz.

3.13.1.2. Cep telefonlarının dinamik güç kontrolü özelliği

Genel olarak, cep telefonlarında dinamik güç kontrolü özelliği, cep telefonunun şarj süresinin uzaması yani güç tüketiminin azalması, uplink enterferansını düşürmek ve BTS’in doyuma girme olasılığını azaltmak (bu durumda kötü konuşma kalitesi ile

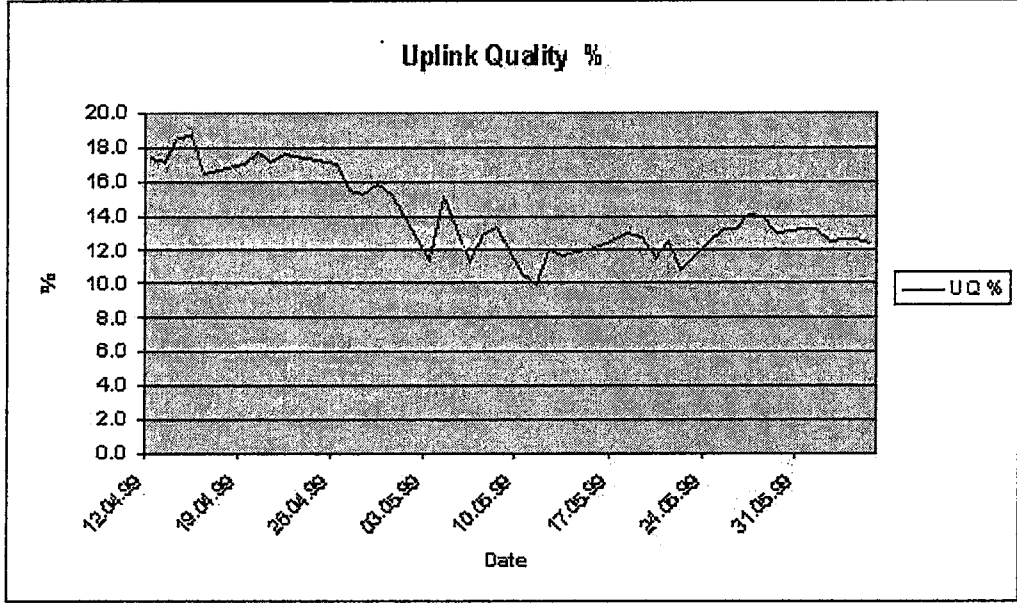
karşı karşıya kalınır) gibi avantajları sağlar. Tıpkı şekil 3.30’da olduğu gibi, MS’in dinamik güç kontrolü özelliğinin uygulanmasında BTS’e olan uzaklık çok önemlidir. Eğer istasyona en uzak noktada bir telefon ile görüşme yapılacaksa bu noktada artık güç kontrolü özelliğinden söz edemeyiz. Çünkü hem istasyon hem de telefon birbirleriyle olan sinyalleşmeyi maksimum güç harcayarak yapmak durumundadırlar. Dolayısıyla bu özelliğin etkin olarak kullanıldığı bir kullanım alanı mevcuttur. Bu da şekil 3.32’de gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Dinamik Güç Kontrolü Özelliğinin cep telefonlarında kullanımı

MS, dinamik güç kontrolü özelliği kullanılırken güç ayarlamaları yapılırken bazı kısıtlamalar vardır. Cep telefonu çıkış gücünü 13. TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) çerçevesinde değiştirir. Bu da yaklaşık olarak 8 SACCH periyotudur. Her değişiklik 2dB’lik adımlar halinde olduğundan toplam değişiklik $8*2=16\text{dB}$ maksimum değişim miktarıdır.

Yapılan deneyler cep telefonlarında dinamik güç kontrol özelliğinin kullanılmasıyla birlikte, servis verilen sahada uplink kalite probleminin yaklaşık %100 oranında azaldığını göstermiştir.



Şekil 3.33. Cep telefonu dinamik güç kontrolü özelliğinin uplink kaliteye etkisi

Şekil 3.33'ten de görüleceği gibi 11 Mayıs tarihinde cep telefonu dinamik güç kontrolü özelliği aktif hale getirilen bir hücrede uplink kalite değişimi azalan bir eğri çizmektedir. Bu da şebeke kalitesinin yükselmesi anlamına gelmektedir.

Sonuç olarak, baz istasyonu ve cep telefonlarının dinamik güç kontrolü özelliğinin kullanılmasıyla abone yönünden daha uzun süre şarjlı kalan bir telefona sahip olmak, GSM şebekesi yönünden ise enterferansın önlendiği ve şebeke kalitesinin yükseldiğinin görülmesi sebebiyle bu özelliklerin kullanımı tavsiye edilmektedir. Ayrıca istasyona yakın olduğunda istasyonun ve cep telefonunun kişileri minimum güçle konuşturması maruz kalınan elektromanyetik alan bakımından da minimum etkilenme anlamına gelmekte ve genel halk sağlığı açısından daha olumlu bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktadan hareketle insanlara çok uzak noktalardan servis veren istasyonların sinyali ile görüşme yapmak hem cep telefonunun maksimum güç harcaması hem de aboneleri maksimum güçle konuşturması anlamına gelmektedir. Buda maksimum elektromanyetik alanla maruz kalmak şeklinde açıklanabilir. Ayrıca bu iki özelliğin aktif olduğu sistemlerde konuşma kanalı ve sinyalleşme kanalı erişim problemlerinde gözle görülür bir azalma tespit edilmiştir.

3.13.2.DTX (Discontinuous Transmission - Sürekli olmayan iletim)

DTX, konuşma olmadığı anlarda güç tüketimini minimuma indiren bir özelliktir. Normalde bir telefon konuşmasında zamanın yarısında konuşmanın bir tarafı diğer yarısında diğer abone konuşmaktadır. Yani 3 dakikalık bir konuşmada 1.5 dakika aktif olarak konuşulmakta ve 1.5 dakika ise karşı taraf dinlenmektedir. İşte DTX özelliği, dinleme anlarında MS'in güç tüketimini minimuma indirerek uplink yönündeki enterferansı minimize ettiği gibi, batarya ömrünü de uzatmaktadır. Downlink yönünde de BTS'in güç tüketimini ve sistemin enterferans oranını düşürür. Sistem ayrıca bir abonenin sürekli konuşup diğer abonenin uzunca süreler dinlemede kaldığı anlarda CNG (Comfort Noise Generator) ile gürültü üreterek karşı taraftaki abonenin hatta olduğunun anlaşılmasını sağlar. Dinleme anında yapılan ölçümler de enterferans oranı azalacağı için yapılacak ölçümlerde normal anlara göre nisbi hatalar olacaktır. Bu da aktarma kararlarında bazen başarısızlıkla sonuçlanan kararlar verilmesine neden olacaktır. Bu da bu özelliğin önemli bir dezavantajıdır. Ayrıca VAD (Voice Activity Detector)'nin yavaşlığından dolayı p,t ve k gibi bazı ünsüz harflerin anlaşılmasında bazı zorluklar yaşanmasına neden olmaktadır. VAD dedektörü aynı zamanda trafik kanalı üzerinden gelen bilginin konuşma içerip içermediğini belirler. Eğer kanaldan sadece gürültü gelirse , gönderici sadece bir SID (Silence Descriptor) çerçevesi gönderir ve iletim kesilir. Bir konuşma veya data algılanana kadar her SACCH periyodunda 1 SID çerçevesi gönderilmeye devam eder. İşte bu SID çerçeveleri, iletim çevresindeki arka plan gürültüsü ile ilgili bilgiyi içermektedir.

3.13.3.Frekans Atlama Özelliği (Frequency Hopping)

Frekans atlama özelliği, Rayleigh bayılması sebebiyle sinyal seviyesindeki değişimlerin etkisini azaltmak amacıyla kullanılır. Ayrıca çok yollu bayılma sebebi ile oluşan sinyal seviyesi diplerinin etkisinin azaltılmasını sağlar.

Genelde, frekans atlama özelliği kısaca şu şekilde açıklanabilir. Buna göre, mevcut bir istasyonun C+ 3(6,6,5)3 şeklinde konfigüre edildiğini varsayalım. Burada CDU C+ kullanılmakta, 3 sektörden oluşmakta(3 ayrı hücre) ve 1. ve 2. sektör 6 TRU, 3. sektör ise 5 TRU'dan oluşsun. Bu sistemi ancak 3 kabinet kullanarak kurabiliriz. Burada söylenecek şudur. Her TRU bir frekansla yayın yapar. Bu da sadece bir istasyon için 17 TRU kullanılacağını yani bir başka deyişle 17 frekans kullanılıyor demektir. Bunun dense urba olarak tanımlanacak yoğun kentsel alanda olduğunu varsayarsak böyle bir büyük şehirde yaklaşık 1000 tane istasyon ve ortalama 2000 hücre bulunmaktadır. Her bir hücre 3 TRU'dan oluşsa 6000 TRU kullanılacak ve bu da 6000 frekans kullanılacak demektir. Örneğin, Türkiye'de GSM 900 operatörleri 50 adet frekans sahip olduğuna göre ortalama $6000 / 50 = 120$, her frekansın en az 120 kez tekrar edilmesi anlamına gelmektedir. Bu da nasıl bir enterferans ortamı olacağını göstermektedir. Bu kısa anlatımdan sonra tekrar başa dönecek olursak, örneğimizdeki istasyon da 17 TRU yani 17 frekans kullanılacak demektir. Örneğin, 1. sektördeki 3. frekansın ciddi şekilde enterfere olduğunu varsayalım. Normalde Bu sektördeki 6 frekans saniyede 217 kez değişerek aboneyi değişik frekanslardan konuşturarak sadece bir frekansta olabilecek enterferanstan dolayı meydana gelebilecek kalite bozulmasından abonenin maksimum şekilde etkilenmesini önlemeye yöneliktir. Eğer, frekans atlama özelliği olmasaydı, o kirli frekanstan konuşana abone ya kötü kaliteden ötürü drop olacak veya çok kötü bir kalite ile iletişim kuracak.

3.13.4.Başka bir hücreye atanma

Bu özellik, çağrı kurulması esnasında TCH kanalının atanması sırasında aktif olur. Bu özellik sayesinde idle modda seçilen hücreden değil de, daha iyi veya daha kötü sinyal seviyesine sahip bir hücreden TCH kanalı alınması sağlanır.

Yukarıda da anlatıldığı başka bir kanala atanma iki şekilde gerçekleşir. Bunlar ;

- Daha iyi hücreye
- Daha kötü hücreye

Daha iyi hücreye atama yapılırken işleyiş şu şekildedir. SDCCH kanalı atandıktan sonra locating algoritması çalışmaya başlar. Bu sırada TCH kanalı atanana kadar daha iyi bir hücre varsa TCH kanalı bu hücreden atanır. Böylece en azından 1 aktarma önlenmiş olur ve enterferans oranı da düşürülmüş olur.

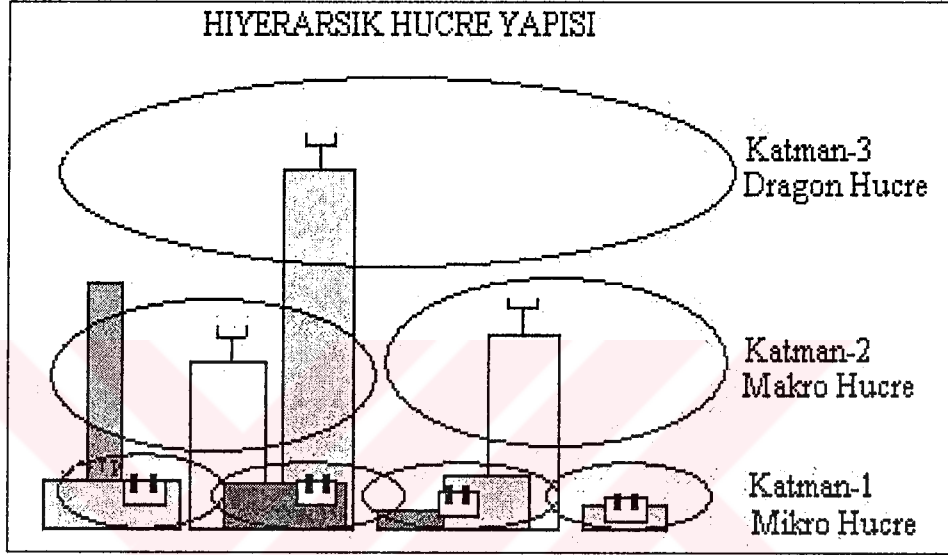
Daha kötü hücreye atanma yapılırken ise, seçilen hücre doluluk sebebiyle bir TCH kanalı atanmasına imkan vermiyorsa veya locating algoritması kötü kalite durumunun oluştuğunu görüyorsa bu durumda sinyal seviyesi daha kötü bir hücreye TCH kanalı atanması yapılabilir.

3.13.5.Hiyerarşik hücre yapıları (HCS – Hiererchical Cell Structures)

Hiyerarşik Hücre Yapıları özelliği, GSM şebekesinde, şebeke içinde yer alan her bir hücrenin trafik alma eğilimini değiştirmek, sınırlamak veya arttırmak amacıyla hücre trafik alma eşik seviyesinin ayarlanarak şebekenin optimizasyonunu sağlamaktadır.

Bu özellik daha çok yoğun kentsel yaşamın olduğu il/ilçe merkezlerinde yani GSM abonelerinin yoğun olarak bulunduğu yerlerde uygulanmaktadır. Bu tarz bir yerleşim yerinde, özellikle dağ, tepe vb. yüksek noktalarda kurulan baz istasyonları veya şehir merkezindeki yüksek binalarda kurulu bulunan baz istasyonlarının sinyalleri genellikle bir cadde veya sokağa değil de kentin hemen hemen bütün noktalarına gitmektedir. Bu da hem o hücrenin yoğun trafik almasına hem de kendisiyle aynı frekansa sahip diğer hücreleri enterfere etmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple hücreler hiyerarşik hücre yapıları özelliği kullanılarak çeşitli katmanlara (genel olarak 3 katman) ayrılmaktadır. Katman-1, mikro hücrelerden, Katman-2, makro hücrelerden, Katman-3 ise dragon veya şemsiye hücre olarak isimlendirilen hücrelerden oluşmaktadır. Mikro hücreler, sadece bir sokağa veya caddeye hizmet veren ve anten yüksekliği fazla olmayan hücrelerdir. Makro hücreler mikro

hücrelere göre hem anten yüksekliği hem de aldığı trafik bakımından daha büyüktür. Dragon veya şemsiye hücreler ise yerleşim yerinin yüksek bir noktasında bulunmaktadır. Genellikle TV vericileri veya R/L istasyonlarının bulunduğu yerlerdedir. İstasyonun sinyali yerleşim yerinin hemen hemen her noktasından alınmaktadır. Bu da bu hücrenin sürekli bloğa girmesine neden olmaktadır. Hem teknik olarak hem de aboneler açısından istenmeyen bir durumdur.



Şekil 3.34. HCS Yapısı

Bu sistemde amaç yoğun trafik alan Katman-3'teki bir hücrenin eşik değerini artırarak, yani trafik alma eğilimi sinyal seviyesini daha yüksek değerlere çıkararak hücrenin trafiğini azaltmak ve olası blokları önlemektir. Örneğin bir abone Katman-1 olarak tarif ettiğimiz bir noktada bulunsun ve telefonu ile görüşme yapmak istesin. Şekil 3.34'ten de görüleceği gibi o anda abonenin bulunduğu yere katman-1,2 ve 3'te bulunan hücrelerin sinyalleri gelmektedir. Abone eğer katman tanımlaması yapılmazsa sürekli olarak hücreler arası geçiş yaparak hem şebekenin sinyalleşme yükünü arttıracak hem de konuşmasının kesilebilme riskini arttıracaktır. Bu noktada tanımlanan katman bilgileri devreye girmektedir. Buna göre aboneye, örneğin Katman-1'deki hücre -70dBm, Katman-2'deki hücre -65 dBm ve Katman-3'teki hücre -60dBm seviyesinde gelsin. Eğer HCS uygulanmazsa abone Katman-3'teki hücreden servis alacak veya Katman-3'teki hücre kapasitesi doluyorsa şebeke meşgul mesajı ile karşılaşacaktır. Ancak HCS tanımlamaları yapılırsa abone Katman-1'deki hücreden servis olarak görüşmesini gerçekleştirecektir. Eğer eşik seviyesi -75 dBm

olarak tanımlandıysa, abone Katman-1'den sinyal alırken Katman-1'deki hücrenin sinyal seviyesi -75dBm 'yi geçerse Katman-2'deki hücreden servis alacak ve yine örneğin eşik seviyesi -85 dBm olarak tanımlandıysa abone Katman-2'deki hücreden servis alırken sinyal seviyesi -85dBm 'yi geçerse bu kez Katman-3'teki hücreden servis alacaktır.

Görüldüğü gibi bu sistemde Katman-3'teki hücreden servis olma olasılığı yerleşim yeri merkezi için bir hayli düşürülmüş ve Katman-3'teki hücrenin trafiği Katman-1 ve Katman-2'teki hücreler tarafından paylaşılmıştır (Özgüner, 2001).

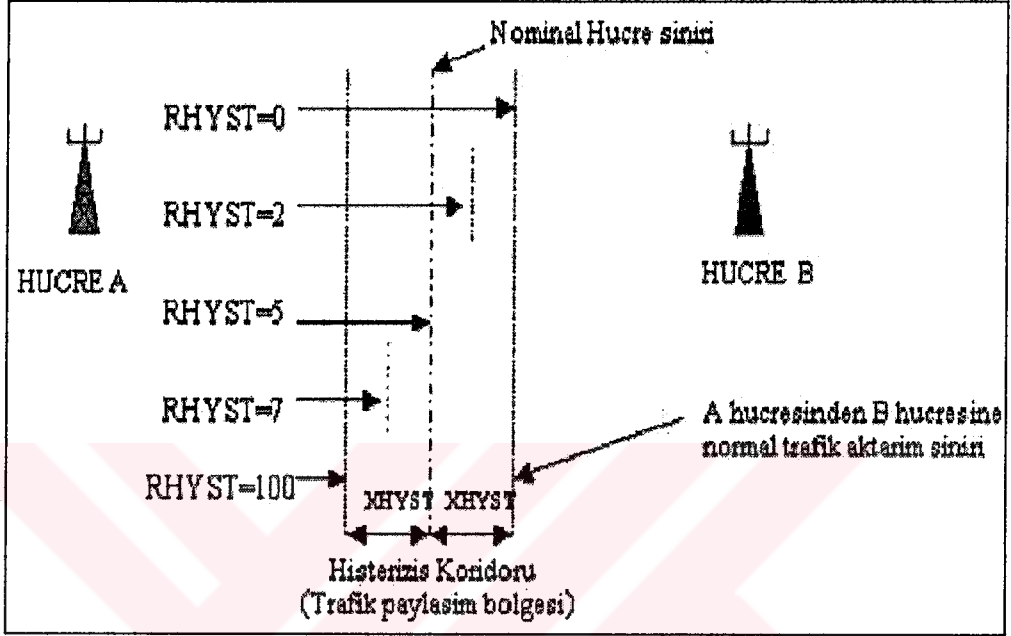
3.13.6. Hücre trafik paylaşımı özelliği (CLS – Cell load Sharing)

Hücre Trafik Paylaşımı özelliği, genel olarak yoğun trafik alan bir hücrenin trafiğinin komşu hücrelerce paylaşılması olarak tanımlanabilir. Böylece kanal kullanım oranı verimliliği de (channel utilization) artırılmış olur

Hücrelerdeki trafik yoğunlukları zamanla değişiklik göstermektedir. Bazen bir hücre gerçekten yoğun bir trafik alırken, ona komşu başka bir hücre alabileceği trafik kapasitesinin sadece bir bölümünü almaktadır. Bu durumda bir hücre blok yaşarken diğeri kapasitesinin altında çalışmaktadır. Dolayısıyla komşu hücre kapasitesini boşa kullanmaktadır diyebiliriz (o an için). İşte böyle hücrelere CLS özelliği uygulanarak, hem yoğun trafik alan ve hatta doluluk yasayan hücrenin trafiği azaltılarak doluluk yaşaması önlenmiş olur, hem de kapasitesinin altında çalışan hücrenin trafiği artırılarak kapasitenin daha verimli kullanılması sağlanmış olur.

CLS özelliği, BSC (Base Station Controller)'de her bir hücre için uygulanabilir. Ancak BSC 'leri farklı ama birbirine komşu hücreler için uygulanamamaktadır. Bu özelliğin uygulanmasını hücrelerin sahip olduğu trafik kanalı kapasitesi sınırlamaktadır. Bir hücre yoğun trafik aldığı anda eğer komşu hücrede yoğun trafik alıyorsa CLS özelliği uygulanamamaktadır. Bu noktadan hareketle, hücrelerin trafik kapasitelerinin sürekli olarak izlendiği sonucuna varabiliriz.

CLS'in uygulanabilmesi için, hücrelerin aynı katmanda bulunmaları gerekmektedir. Yani, yukarıda anlattığımız Hiyerarşik Hücre Yapıları sistematiğine uygun olarak, örneğin Katman-1 olarak tanımlanmış bir hücre ancak Katman-1'den bir komşu hücre ile CLS özelliğini kullanabilmektedir.



Şekil 3.35. CLS Yapısı

Şekil 3.35'ten de görüleceği gibi, iki komşu hücrenin birbirlerine trafiklerini aktardıkları bir nokta vardır. Bu noktaya histerizis koridoru adı verilmektedir. CLS uygulanmayan bir hücrenin normal trafik aktarım sınırında RHYST parametresi 0 iken, A hücresinden B hücresine geçişin mesafe olarak ne kadar daha uzak noktada gerçekleştiğini görüyoruz. RHYST=100 olduğunda ise A hücresinden B hücresine geçişin daha kısa mesafede gerçekleştiğini görüyoruz. Bu ise A hücresinin trafiğinin bu noktadan itibaren B hücresine geçtiğini ve dolayısıyla A hücresinin trafiği azalırken, B hücresinin trafiğinin arttığı gözlenmektedir (Özgüner,2001).

3.14.GSM Haberleşme Sistemindeki Gelişmeler ve Gelecekteki Beklentiler

Mobil haberleşme sistemlerinde her onyılıda bir tüm dünyayı etkileyen gelişmeler olmaktadır. First generation (1G) olarak isimlendirilen ilk nesil 1970'li yıllar, ve second generation (ikinci nesil) 1980'lerde özellikle sese yönelik uygulamalar ve

devre anahtarlama (circuit switched) denilen özelliklerle gelişme kaydetti. 1G sistemler analog teknolojilerle gerçekleştirilmişti. 2G sistemler dijital sistemler olup GSM, IS-54 dijital hücreli sistem, IS-95 ve kişisel dijital hücreli sistem (PDC-Personal Digital Cellular System) adını verdiğimiz teknoloji isimleriyle de tanımlanmıştır. Bu sistemlerin bir kısmı ulusal uygulamalarla kabul görürken büyük bir kısmı uluslararası uygulamalarla hayat bulmuşlardır (Zeng ve diğ., 1999). Bu sistemlerde veri hızı, saniyede birkaç onlar Kbit mertebesindedir. 3G olarak isimlendirilen üçüncü nesil sistemlerde (IMT-2000) ise veri hızı 2Mb/s ve 144 kb/s olarak gerçekleştirilmektedir (IMT-2000,1997).

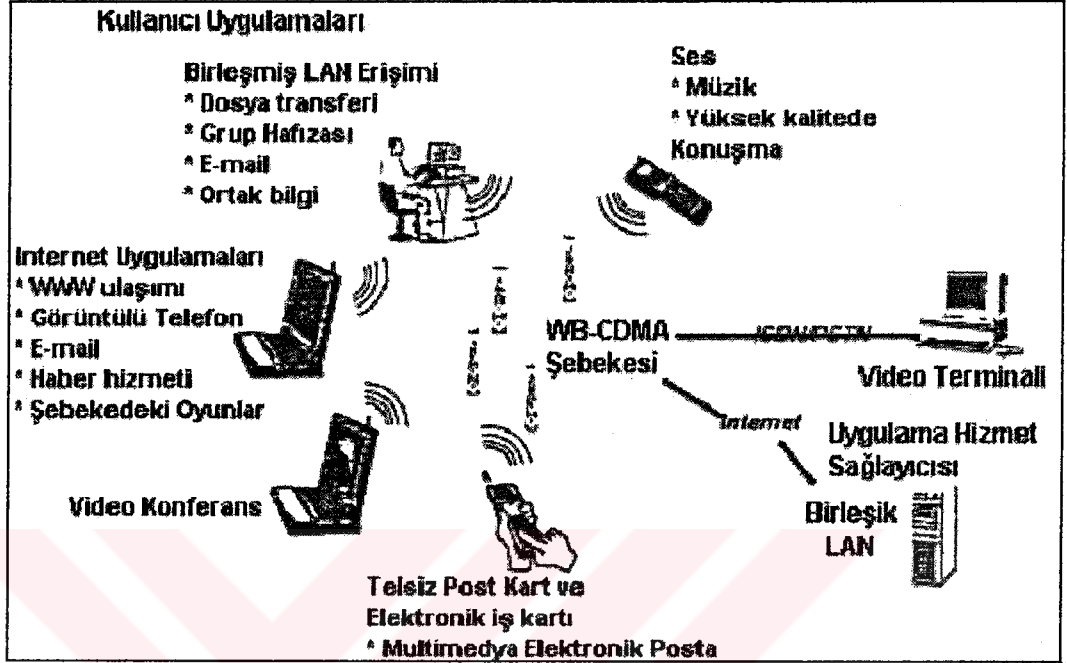
Bu yüzyılda toplumsal ve ekonomik gelişmeler dijital ortamda bilgisayar haberleşmesine bağlı olarak gelişme gösterecektir. Gerçek zamanlı ses bilgisi yerine dijital ortamda tüm bilgiler iletilecektir.

Sistemin bundan sonraki gelişmeleri 4G ve 5G adını alacaklardır. 4G haberleşme sistemi sadece hücreli haberleşme sistemini değil geniş bantlı kablosuz erişim sistemleri, milimetre dalga LAN, akıllı taşıma sistemleri (ITSs) ve yüksek stratosferik platform istasyonları (HAPS) 'nı içermektedir.

Çok açıkça görülen bir konu ise gelecek haberleşme sistemlerinde yüksek veri hızı, yüksek hareketlilik olanağı ve düzgün bir kapsama açısından mükemmellik aranacaktır.

Gerçek üçüncü nesil hizmet ve uygulamalarının bir karakteristiği, farklı hizmetleri kullanıcı/terminal özel ucuna paralel bir şekilde sunabilecek altyapı yetenekleridir. Bu aboneye hizmet şekilleri içerisinde, önemli bir bilgi elde etmek için intranet veya extranete erişildiği sırada sesli bir konuşmanın yürütülebileceği ya da multimedya veya e-maillerin değişimi esnasında aynı zamanda bir video konferansına katılabileceği imkanını sunar. Geleceğe dair tahminler yapıldığında bir sistemin, "Mobil multimedya 2005 yılı itibariyle mobil abonelerin 16 %'sı, operatör

gelirlerinin 25 %'i ve şebeke trafiğinin 60 %'i olacağı hesaplanmıştır.” şeklinde istatistikler bulundurabileceği gözden uzak bir ihtimal değildir.



Şekil 3.36. Mobil Multimedya Hizmetleri

GSM standardı geliştirildiği zaman, GSM'in amaçları konusunda yaygın bir mutabakat vardı: telefonculuğu ama aynı zamanda veri yetenekleriyle de bütünleşmiş olmasını hedefleyen sayısal bir sistem. Ancak üçüncü nesil hakkındaki ortak karar daha zayıf olarak görünmektedir. Bazılarına göre yalnızca yeni ve uygun bir frekans bandının işletilmesidir. Büyük çoğunluğa göre ise “Bilgi Toplumu” açık bir şekilde gerçeğe ulaşmıştır ve mobil haberleşme bu yeni isteğe cevap vermek zorundadır.

Avrupa'da üçüncü nesil projesi UMTS'tir. Ancak daha önce FPLMTS olan şimdi ITU (International Telecommunications Union) tarafından Uluslararası Mobil Haberleşmesi 2000 (IMT-2000 - International Mobile Telecommunications 2000) adıyla bilinen önemli bir girişim bulunmaktadır. IMT-2000 dünya düzeyinde standartlaştırılmıştır ve hedefleri UMTS'inkine benzemektedir (ancak UMTS, GSM'in gelişiminden alınan tecrübeyle daha iyi ayarlanabilir). Avrupa'da hazır

birleşik bir topluluk olduğundan böyle bir standardı ortaya koymak daha kolaydır. UMTS, IMT-2000 ailesinin yeterince gelişmiş bir parçası olarak ITU'nun kontrolü altına geçecektir. Aşağıda UMTS için düşünülen amaçlar bütünüyle belirtilmiştir.

- UMTS üçüncü nesil bir sistemdir ve GSM'de dengeli bir değişim yolu sağlayarak kendisini ikinci nesildan ayıracak yeterli bir teknoloji adımı gerçekleştirmelidir.

- UMTS bir mobil sistemdir ve bu sebeple kullanıcının kendi seçtiği hizmetleri yanında taşıyabilmesini sağlayabilmek ve dolaşıma izin verebilmek için kişisel, terminal ve hizmet taşınabilirliğini içermelidir. Göz önünde bulundurulmuş tüm hizmetleri destekleyebilmek için telsiz erişim mutlaka geniş çapta etkin olmalıdır.

- UMTS kesinlikle Evrensel Multimedya (GMM - Global Multimedia) Bilgi Toplumu hizmetlerini desteklemelidir. Radyo arayüzünde bulunan esnek bant genişliğini destekleyebilmek için, uyabilecek teknikler ve haberleşme altyapısı içerisinde paket tabanlı ya da büyük olasılıkla ATM benzeri bağlaşma ve iletim gereklerini bulundurmalıdır. İkinci nesil sistemde olan hızın çok üstünde, en yüksek noktadaki veri hızına ihtiyaç vardır. Kişisel hizmetler, bir arama sırasında eklenebilme, değişiklik yapılabilme ve kaldırılabilme yeteneklerine sahip olmalıdır. Ücretlendirme kullanımı yansıtılmalıdır ve kullanıcı açısından anlaşılabilir olmalıdır.

- Kesin bir şekilde hizmetleri tanımlayarak bundan dolayı farklılaşmayı ve rekabeti engellemiş olan pre-CAMEL ikinci nesil sistemlerinden farklı olarak, UMTS hizmet yaratmaya izin vermektedir. Son IT teknolojilerinden yararlanan hizmet yaratma olayı, yeni hizmetlerin ve kişiselleştirilmiş hizmet profillerinin ortaya konmasına ve bunların abonenin mobil istasyonuna yerleştirilebilmesine izin vermektedir.

- Birleşme ve bütünleşme önemli noktalardır. Standart, şu anda telsiz ve hücreli hizmet erişimiyle ileride de uydu hizmet erişimi yardımıyla sağlanan telsiz hizmetlere bütünleşmiş bir ulaşım imkanı sağlamalıdır. Haberleşme ve bilgi teknolojisinin (IT) birleşmesi, Bilgi Toplumu mobil erişimi getirecektir. Aynı zamanda bankacılık gibi diğer çevre ortamlarla birleşme yeni uygulamaların arzu edilmesine sebep olabilecektir. Örnek olarak, bir mobil istasyon yoluyla bir banka

hesabına erişebilmek veya yalnızca mobil hizmetler için olmayacak biçimde elektronik para transferiyle ödeme yapabilen elektronik cüzdanların kullanımı, düşünülebilir.

- Bilgi tabanlı hizmetlerin etkin bir şekilde desteklenebilmesi için şebeke üzerinde akıllı sistemler yayılmalıdır. Bir ihtimal olarak MexE tabanlı olan Java tipi teknikler, esnek ve modüler hizmet yaratma olanağını sağlamalıdır.

- Standart içindeki değişim temel olarak hizmet ve teknolojilere izin vermelidir. İdeal olarak hedef, hiçbir zaman dördüncü bir nesile ihtiyaç duyulmamasıdır. Aynı zamanda ikinci nesil sistemlerin de değişimi ve yeni olanla bir arada olabilmesi arzu edilen bir görüntüdür.

- Evrensel olarak birbirine uyumlu ve güvenli olacak bir dolaşımın desteklenmesi için gerekli yetenek sağlanmalıdır. MAP, IS-41 ve INAP'ın gelişimi ve bütünleşmesiyle birlikte işletme, güvenlik ve sahtekarlık denetimi, kullanıcının nerede bulunduğu önemli olmaksızın, yeni ve birleştirilmiş bir protokol oluşturma yoluyla kullanıcının şebekesi tarafından kontrol edilmelidir.

Bir erişim metodu olarak Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA - Code Division Multiple Access), TDMA'a alternatif olmaktadır. Bununla birlikte TDMA ile CDMA arasında uygulama düzeyinde birçok anahtar farklılık bulunmaktadır. CDMA temel kavram olarak, birçok kullanıcının mobil istasyonunu, radyo taşıyıcısını zaman dilimlerine bölmeden eşzamanlı olarak kontrol altında tutmaktır. Bunun yerine her mobil istasyona bir şifre çözme anahtarı verilmektedir. Birçok mobil istasyon için olan bilginin tümü aşağı linkte aynı zamanda iletilir. Her mobil istasyondaki fonksiyonlar bilgiyi analiz etmek için kullanılır ve sadece eğer bilgi kendisiyle ilgili ise şifreyi çözer. Bir mobil istasyon başka bir mobil istasyonun şifre çözme anahtarına sahip olmadığı için diğer bir mobil istasyona ait bilgiyi çözemez bu şekilde güvenlik olayı da garanti altına alınmıştır. Akıllı fonksiyonların kullanımı ile girişim problemlerinden de kurtulunmuştur. Ancak aynı taşıyıcı üzerindeki kullanıcıların sayısı arttıkça, bir mobil istasyonunun kendisine ait bir bilgiyi çözmesi de giderek daha zorlaşmaktadır. Bu yüzden CDMA çözümlerinin kullanımı sırasında geniş bir bant genişliğinin olması arzu edilmektedir. Bu da WB-CDMA'ı ortaya çıkarmıştır.

UMTS'le birlikte öne sürülen hizmetler, MS'ten ve MS'e doğru büyük miktarda verinin transfer edilmesini kapsamaktadır. Geliştirilen yeni WB-CDMA düşüncesinde, kod bölmeli çoklu erişim teknolojisinin doğasında olan tüm avantajlar tam olarak kullanılmak üzere, 5 MHz'lik bir taşıyıcı ayrılarak işleme konulacaktır. Bant genişliğinin büyük olmasının getirdiği avantaj ile her WB-CDMA terminal bağlantısı birçok hizmete eşzamanlı olarak erişebilecektir. Her hizmet gerekli veri hızı ve kalitesine bağlı olarak optimize edilebilir.



BÖLÜM - 4. GSM ve SAĞLIK

Bu bölümde, teze konu olan GSM haberleşme sisteminin, tartışma yaratan konusu olan, baz istasyonu ve/veya cep telefonlarından yayılan elektromanyetik alanların insan sağlığına olan etkileri ile ilgili olarak önemli bilgiler verilecektir. Aslında konu hakkında yapılan araştırmalar, ikinci bölümde önceki çalışmalar adı altında verilmişti. Sorun aslında maruz kaldıkları elektromanyetik alanlardan etkilenerek bu alanların beyin tümörü, kanser vb. insan sağlığını tehdit edici hatta öldürücü etkileri olduğunu iddia ederek insanların bunu görsel ve yazılı basın yoluyla dile getirmeleri ile olmuştur. Bu tartışma özellikle az gelişmiş ve/veya gelişmekte olan ülkelerde bazı ticari kaygılarla da büyütülerek halkın ciddi tepki göstermelerine neden olmuştur. Maalesef ülkemizde de bu sınıftaki değerlendirmeler sıklıkla gündeme getirilerek yanlış yönlendirmeler yapılmış ve bunu kullanan insanların ve evlerinde veya bahçelerinde baz istasyonu kurduran insanların daha büyük tepkiler göstermeleriyle bazı yerlerde içinden çıkılmaz hallere getirmiştir.

Ülkemizde daha çok “halk tepkisi” olarak adlandırılan tepkilerin gerçekte iki nedeni vardır;

- Gerçekten sağlığa zararlı olduğunu düşünüp tepki göstermek
- Maddi çıkarları ön planda tutarak tepki göstermek

Gerçekten sağlığa zararlı olduğunu düşünerek tepki gösterenlere çok fazla söylenecek bir şey olamaz. Çünkü insan sağlığı her şeyin üstünde ve her şeyden önemlidir. Maddi çıkarları ön planda tutarak tepki göstermek ise şu şekilde olmaktadır. Tüm GSM operatörleri istasyonları kurdukları yerlerdeki mülk sahibi veya sahiplerine yıllık kiralar ödemektedirler ve çok ciddi rekabetin yaşandığı bu ortamda bazı noktalarda yer sahiplerine ülkemiz şartlarına göre çok ciddi rakamlar ödenmektedir. Bu noktada istasyonun kurulduğu yerin yanındaki bina sahipleri bu ciddi parasal desteği alamamakta ve buna karşılık bunun insan sağlığına zararlı olduğu düşüncesiyle o istasyonun o noktadan kaldırılmasını talep ederek, sökülecek istasyonun yeni yerinin kendi binaları olabileceği düşüncesini taşıyarak tepki

göstermekte ve bir yandan GSM operatörlerine bizim binamıza kurabilirsiniz diyerek göz kırpmaktadırlar. Belirtilen ikinci tepki türü sosyolojik yönden araştırmayı gerektirdiği için bu tez kapsamında bu konuyla ilgilenilmeyerek daha çok birinci türden, yani bu sistemlerin insan sağlığına zararlı olduğunu düşünen insanların sorularına cevaplar aramaya çalışılacaktır.

Gündelik yaşantımızda sık karşılaştığımız düşen bir yıldırımın elektronik cihazları çalışamaz duruma getirebilmesi, evdeki ya da ofisteki bilgisayarların FM radyo yayınlarını bozması, elektrik süpürgesinin TV'lerde karlanmaya neden olması, floresan lambalar yandığında bilgisayar ekranının kırışması, havaalanı radarlarının diz üstü bilgisayarlardan etkilenmesi, cep telefonu veya bilgisayarların araçların ABS fren sistemini kilitlemesi vb. birçok olay elektromanyetik etkileşim olaylarından sadece birkaçıdır. Bu konu ve benzeri konular EMC (Electromagnetic compatibility –elektromanyetik uyumluluk) ile ilgili konulardır. Bir EMC probleminde üç unsur bulunur. Bunlar ;

- Girişim kaynağı,
- Girişimden etkilenen,
- Kaynak ile etkilenen arasındaki girişim yolu

Bu üç unsur bir arada EMC problemini oluştururlar. EMC probleminin özel bir hali kurbanın bir canlı olması halidir. Bu durumda elektromanyetik etkileşim, elektromanyetik enerji ile canlı dokular arasındadır. Bu etkileşimle ilgilenen dala da Biyo-elektromanyetik (BEM) adı verilmiştir. EMC mühendisliğinin ana amacı, bu üç unsurdan en az birini ortadan kaldırmak ya da etkilerini en aza indirmek iken BEM mühendisliğinin amacı EM enerjinin canlı dokularda yaratacağı kısa, orta ve uzun süreli etkilerini incelemek ve an aza indirmek yönündedir (Sevgi,2001).

Canlı vücutları RF'i ve mikrodalga enerjii absorbe ederek ısıya çevirirler. Örneğin mikrodalga fırınların çalışma mantığı gibi. Bilindiği mikrodalga fırınlarda, fırın içine konan pişirilecek gıda (Tavuk, balık vb) mikrodalga enerji ile bünyesinde barındırdığı su moleküllerinin hareket etmesi ve birbirleriyle temas etmesiyle ısıya dönüşür ve bu sayede mikrodalga enerjisi ısıya dönüşerek fırın içindeki gıdanın

pişirilmesini sağlamaktadır. Çok düşük enerji seviyelerinde bu ısı fark edilmemektedir. Ancak çok fazla ısınma, örnekteki canlı vücudunu insan vücudu kabul edersek, gözler, üreme organları ve bazı sindirim organlarına zarar verebilir (Pozar,2001). Aşırı radyasyon katarakt, kanser veya kısırlığa neden olabilir. Bu sebeple maruz kalınabilecek radyasyon seviyelerini iyice tanımlamak ve bu konudaki standartları iyi belirlemek gerekmektedir. Bu yüzden öncelikle radyasyon tanımını iyice açıklayarak insanların kafasındaki bazı şüpheleri daha tanımlama bazında ortadan kaldırmak daha sonra yüksek dozda radyasyona maruziyet ve GSM haberleşme sisteminin de içinde bulunduğu iyonlaştırmayan radyasyon türünün neden olabileceği etkileri tanımlayarak bu konuda uzun araştırmalar sonucu belirtilmiş ve dünyada kabul edilmiş standartlar ile ülkemizdeki uygulamalar hakkında bilgi verilmesi uygun olacaktır.

4.1. Radyasyonun (Işıma) Sınıflandırılması

Radyasyon sözcüğü madde içine nüfuz edebilen ışınlar, yani girici ışınlar anlamında kullanılmaktadır. Çeşitli radyasyonların canlı organizmaya nüfuz etme şekli farklıdır. Düşük enerjili ışınlar, örneğin görünür ışık nüfuz etmez fakat X-ışını ve gamma ışını, özellikleri görünür ışıkla aynı olmasına rağmen giricilik yönüyle ondan ayrılırlar. Çünkü enerjileri yüksel ve dalga boyları kısadır.

Radyasyonlar, madde içine nüfuz edip cismi oluşturan atomları iyonlaştırması ya da iyonlaştırmaması itibariyle iki sınıfta incelenir. Bunlar:

1. İyonlaştırmayan Radyasyon (Elektromanyetik radyasyon)
2. İyonlaştırıcı Radyasyon (Nükleer radyasyon; nötron, proton, alfa, beta tanecikleri, x ve gamma ışınları)

İyonlaştırıcı radyasyon, atom ve moleküllerden elektron koparabilen radyasyon türüdür. Bu kopmanın mümkün olabilmesi için gerekli bir minimum kuantum enerjisi vardır. İnsan vücudunun çoğunun sudan oluşması nedeniyle, minimum enerji seviyesi su moleküllerine göre belirlenmektedir. Değişik frekanslar bunun için 12 eV

ile 35 eV arasında değişen değerler vermektedir. 12 eV 1.03×10^{-7} m'lik dalga boyuna karşılık gelmektedir.

Radyo frekans (RF) seviyelerinde güvenlik için kullanılan standartlarda en yüksek frekans 300 GHz'dir. Bu da 10^{-3} m dalga boyundadır. Bu frekansın 0.00125 eV'luk enerjiye karşılık geldiği ve iyonlaşmaya sebebiyet vermek için gerekli minimum 12 eV'luk enerjiden çok küçük olduğu için bir iyonlaşmaya sebebiyet vermesi m¼mk¼n değildir. Dolayısıyla daha başlangıçta, RF seviyelerinin iyonlaştırıcı radyasyon bandındaki sağlık tehlikelerini içermediğini s¼ylemek m¼mk¼nd¼r.

İyonlaştırmayan radyasyon, aslında elektromanyetik radyasyon olarak da adlandırılabilen radyasyon t¼r¼d¼r ve enerjinin boşlukta elektrik ve manyetik alanlar biçiminde yayılmasıyla oluşur. Elektromanyetik spektrumu oluşuran t¼m radyasyonlar (x ve gamma ışınları hariç) iyonlaştırmayan radyasyon t¼r¼ne girerler. Bilinen en bariz etkileri canlı dokularda ısınmaya yol açmalarıdır. Dolayısıyla incelenmesi gereken, elektromanyetik radyasyon sebebiyle meydana gelecek ısınmaların canlı v¼coda zarar verip vermeyeceği veya güvenli limitlerin neler olduğudur (şeker ve erezci,2000).

Bilindiği yakın geçmişimizde ¼lkemizin özellikle Doğu Karadeniz y¼resine çok yakın bir noktada, Ukrayna'da Çernobil N¼kleer Santralinde meydana gelen kaza sonucu yoğun miktarda radyoaktif madde atmosfere sızdış ve r¼zgar yoluyla Rusya ve ¼lkemizde etkili olmuştur. Bu kaza sonucu birçok insan hayatını kaybetmiş, bir çok insan da maalesef sakat kalmıştır. ¼lkemizde de son zamanlarda, özellikle Doğu Karadeniz B¼lgesinde ciddi bir kanser vakası artışı yaşanmakta ve bu hastalığa yakalanan ve bu hastalıktan ¼lenlerin sayısında ciddi artışlar g¼zlenmektedir. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi bu radyasyon t¼r¼ iyonlaştırıcı radyasyon t¼r¼d¼r ve etkileri maalesef maruz kalındığında insanı ¼l¼me g¼t¼rebilecek kadar tehlikelidir. Elektromanyetik radyasyonun ise bilene bu tarz bir etkisi yoktur ve olması m¼mk¼n değildir. ¼lkemizde radyasyon denildiğinde hep bu elim hadisenin akla gelmesi ve radyasyon denildiğinde sadece iyonlaştırıcı radyasyonun anlaşılması bazı sorunları daha tartışmadan öz¼ms¼zl¼ęe itmektir. Bu sebeple tez çalışması içinde bundan sonraki kısımlarda radyasyon kelimesi ışın olarak kullanılacaktır.

4.2. Elektromanyetik Alanların Canlılarla Etkileşimi

Elektromanyetik ışıma (iyonlaştırmayan radyasyon) dokular üzerinde yüzey başına Watt birimiyle ifade edilen güç yoğunluğunun canlı vücudunda soğurulmasına ve oradan soku ısınması yoluyla hasar oluşmasına neden olurlar. Soğurulan bu güç SAR (Specific Absorption Rate_Özgül Soğurulma Oranı) gelen dalganın frekansına, geliş açısına, canlı dokunun içerdiği su miktarına ve biyolojik malzemenin elektriksel özelliklerine (iletkenlik, dielektrik sabitleri) bağlıdır. Söz konusu etkileşme canlı vücudunda elektromanyetik dalganın indüklediği iç alanların doku malzemeleri içinde ki enerji transferinden kaynaklanır. Bu enerji transferleri;

1. Elektrik alanları herhangi bir atomun serbest elektronlarına kinetik enerji verir.
2. Elektrik alanları atom ve moleküllerdeki elektrik dipollerine etki ederler. Polarizasyon olarak isimlendirilen bu olaya ilişkin sürtünme nedeniyle doku malzemelerinde ısı oluşur.
3. Elektrik alanları, malzemede daha önce mevcut dipolleri bir araya getirir. Bununla birlikte oluşan sürtünme malzemeye enerji transfer eder.

4.3. SAR ve Dozimetre

Organizmaların RF alanlarına maruz kalması vücudun içerisinde RF alanları ve akım indüklenmesine yol açar. Vücut içindeki alanlar, biyolojik sistemlerle olan etkilenmelerden sorumludur. Bu etkilenmeler ya termal ya da termal olmayan etkileşmelerde bulunur. RF alanlarının biyolojik sistemlerle etkileşmesinin ölçülmesinde yaygın olarak dozimetrik nicelik, vücut tarafından elektromanyetik ışımadan soğurulan enerjidir. Bu enerji SAR ile gösterilir. Yani, elektromanyetik ışıma (iyonlaştırmayan radyasyon) dokular üzerinde birim kütle tarafından soğurulan enerji miktarı (SA – Specific Absorption) kadar canlı vücudunda soğurulur ve oradan doku ısınması yoluyla hasar oluşmasına yol açar. Soğurulan enerji miktarının soğurulma hızı ise (SAR – Specific Absorption Rate) elektrikli ev aletleri ve elektronik cihazların yaydıkları EM alanlar için önemli bir parametredir.

$$SAR = \frac{d(SA)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dw}{\rho dV}\right)}{dt} \quad (\text{W/kg}) \quad (4.1)$$

Burada ρ , kg/m^3 cinsinden vücut yoğunluğunu göstermektedir. SAR değerini vücudun tümü tarafından emilen radyasyon miktarı olarak da düşünebiliriz. SAR'ın dokulardaki elektrik alan cinsinden tanımı ise,

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (4.2)$$

olarak da gösterebiliriz. Burada σ , doku iletkenliğini (S/m), E ise vücutta dokuya ait elektrik alan şiddetini (V/m) göstermektedir. SAR değerini, kg başına Watt veya g başına mW olarak tanımlayabiliriz. EM alanın insan vücudundaki en önemli belirtisinin ısınma olduğundan hareket edecek olursak, bu ısınmaya yol açan SAR ile sıcaklığın doğru orantılı olduğu sonucuna kolayca varabiliriz. Bu da bizi ;

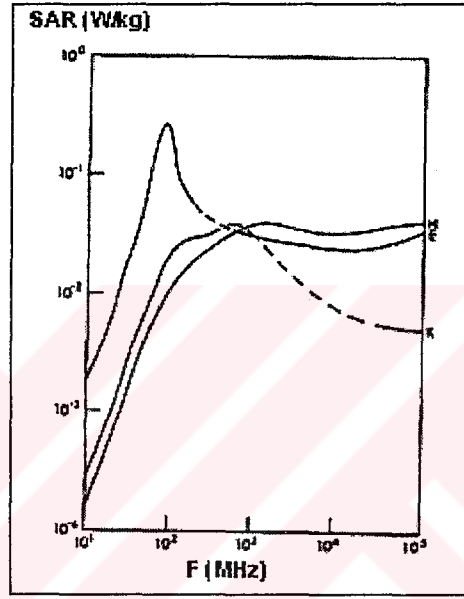
$$\frac{dT}{dt} = \frac{SAR}{c} \quad (4.3)$$

ifadesine götürür. Burada, T sıcaklığı, c ise öz ısıyı göstermektedir.

İnsan vücudu, yakınında bulunan enerji hatları ya da elektrikli aletler üzerinden geçen akımların ortaya koyduğu kuvvetlere tepki olarak hareket eden serbest elektrik yükleri içermektedir. Maruz kalınan bu elektromanyetik alan etkisi insan vücudu içindeki bu serbest elektronları iterek yada çekerek vücut yüzeyine doğru hareket ettirir. Bu sayede oluşan elektrik yükleri ve vücut içi akımların büyüklüğü, kaynağa uzaklık, diğer nesnelere varlığı, duruş biçimi, yönü vb. gibi birçok etmene bağlı olarak değişmektedir. (Şeker ve Çerezci,1997) Tüm bunların sonucunda vücudun maruz kaldığı EM alana verdiği etki alanının yoğun olarak uygulandığı organlar başta olmak üzere bir çok mekanizmayı etkilemekte ve bugün yoğun olarak tartıştığımız sağlık sorunlarını gündeme getirmektedir. Cep telefonları gibi RF kaynaklarının sebep olabileceği sıcaklık artışı gerçekte çok düşüktür ve büyük olasılıkla vücudun

normal mekanizmaları ile kolayca etkisizleştirilebilir. Cep telefonu ile beyinde oluşabilecek sıcaklık artışı ortalama 0.1°C dolayındadır (Leuwev ve diğ.,1999).

Uzak alan maruziyetlerinde SAR frekans ve polarizasyonun bir fonksiyonudur. Şekil 4.1'de 10 W/m^2 'lik bir güç yoğunluğuna sahip bir uzak alanda kalmış bir kişinin (1.75m boy ve 70 kg ağırlık) küresel modele göre oluşturduğu SAR frekans ilişkisi gösterilmiştir (Michael,1999).



Şekil 4.1. 10 W/m^2 'lik güç yoğunluğundaki düzlem dalgaya maruz kalan bir kişinin küresel modelinde ortalama SAR değişimi

Şekilde E polarizasyonu, vücut eksenine paralel olan elektrik alanına, H polarizasyonu, vücut eksenine paralel manyetik alana, K polarizasyonu da baştan ayak ucuna kadar yayılan dalgaya karşılık gelir. Maksimum soğurma, E polarizasyonunda yaklaşık $70\text{-}80 \text{ MHz}$ 'de gerçekleşir. Bu frekansa rezonans frekansı da diyebiliriz.

SAR hesaplamalarında kullanılan en önemli teknik FDTD (Finite Difference Time Domain) tekniğidir. Bu teknikte ala teorisinden yola çıkılarak Maxwell denklemlerindeki kısmi türev operatörlerinin merkezi farklara dayalı sonlu farklar karşılıkları ile değiştirilip doğrudan zaman ve konum domenlerinde sayısallaştırmasına dayanan bir yöntemdir. Ele alınan hesap uzayının dikdörtgen

prizmalardan oluştuğu varsayılır (Matthes,1996, Akleman ve diğ.,1999). SAR değerinin doğrudan ölçülmesinin çok zor olmasından dolayı, sınır değerlerin belirlenmesinde kolay ölçülebilen ve/veya gözlemlenebilen parametreler kullanılmaktadır. Bunlar elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur.

Bugüne kadar yapılan araştırmalar insan vücudunun 1 derecelik sıcaklık artışını düzenleyemediğini ve sorunlar yarattığını göstermektedir. İnsan vücudunda 1 derecelik sıcaklık artışı için 1kg doku başına 4W'lık bir gücün soğurulması gerekir. İnsanların genel yaşam yerlerinde bu değerın 1/50'si olan 0.08 W/kg SAR sınır değeri olarak kabul edilmiştir. Bu değerler WHO/ICNIRP'nin 1998 yılında yapıla bilimsel araştırmaların neticesinde vardıkları konsensus üzerine yayınladıkları uluslararası tavsiye niteliğindeki yayınlarından sonra genel kabul görmüş ve 1999 yılında EC(European Council) tarafından da birçok ülkeye düzenlenerek kabul edilmiştir. ICNIRP ve CENELEC tarafından belirlenen standartlar ve limit değerler birbiriyle aynıdır (CENELEC,1998).

Tablo 4.1. 10 GHz'e kadar değişik frekans aralıkları için genel ve mesleki maruziyet SAR sınırları (ICNIRP,1998).

Sınırlar	Frekans Aralığı	Manyetik Akım yoğunluğu (baş ve gövde)	Tüm vücut için ortalama SAR (W/kg)	Baş ve gövde için SAR	Kol ve bacaklar için SAR
Mesleki Sınırlar	1Hz'e kadar	40			
	1-4 Hz	40/f			
	4Hz - 1kHz	10			
	1 - 100 kHz	f/100			
	100 kHz - 10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 Mhz - 10 GHz		0.4	10	20
Genel Halk sınırları	1Hz'e kadar	8			
	1-4 Hz	8/f			
	4Hz - 1kHz	2			
	1 - 100 kHz	f/500			
	100 kHz - 10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 Mhz - 10 GHz		0.08	2	4

Bu tablodan sonra aşağıda bazı telefon markalarına ait SAR değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Bazı cep telefonu marka ve değişik modellerinin SAR değerleri (European Parliament,2001, www.tassie.net.au , www.globalchange.com).

Üretici Firma / Model	SAR seviyesi (W/kg)
Nokia 2110	0.44
Nokia 5110	0.37
Nokia 6110	0.29
Bosch world 718	0.28
Ericsson GA 628	0.26
Hagenuk Global Handy	0.03
Motorola Star V3688	0.02
Motorola Star TAC 70	0.02
Ericsson T28 World	1.49
Nokia 5160	1.45
Nokia 5170	1.45
Denso TP 2200	1.44
Qualcomm QCP-1960	1.41
Sanyo SCP-4500	1.4
Sony CMB-1200,2200,3200	1.39
Nokia 8860	1.39
Motorola StarTAC 7867	1.38
Motorola ST7767D	1.38
Motorola Talkabout T8167	1.38
Motorola Timeport P8167	1.38
Neopoint NP-1000	1.38
Benefon Twin Dual	1.01
Bosch GSM 909	0.81
Ericsson A2618s	0.79
Ericsson R310s	0.94
Ericsson R320s	0.94
Ericsson T18s	0.61
Ericsson T28s	1.27
Motorola T2288	0.54
Motorola P7389	0.83
Motorola V3690	1.13
NEC db4000	1.23
Nokia 3210	0.81
Nokia 3310	0.75
Nokia 6150	0.71
Nokia 6210	1.19
Nokia 7110	0.76
Nokia 8210	0.72
Nokia 8850	0.22
Nokia 8890	0.53
Panasonic EB GD92	1.07
Philips Ozeo	0.61
Samsung GSH 2400	1.17
Siemens S35I	0.99
Siemens M35I	1.14
Siemens C35I	1.19

Sony CMD-Z5	1.06
Swisscom Trend G366	1.05
Trium Aria	0.48

4.4. Standartlar ve Limitler

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler de vardır.

Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler bir çok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul görenler arasındadır (ICNIRP,1998). ICNIRP, Dünya Sağlık rgt (WHO-World Health Organization) ve Dünya alışma rgt (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kurumudur. ICNIRP kılavuzunda yer alan çalışmalar niversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili başka bilim adamlarından oluşan disiplinlerarası bir ekip tarafından yürütülmüştür.

Amerika Birleşik Devletlerinde bu sınır değerler FCC (Federal Communications Commission - Federal Haberleşme Komisyonu) tarafından belirlenmekte (FCC,1999) ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE ve ANSI (American National Standards Institute – Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. IEEE/ANSI standartları da sınır değerlerin belirlenmesinde yaygın olarak kabul gören ve temel alınan değerlerdir (IEEE,ANSI,1992).

Buna göre genel yaşam alanlarında GSM 900 / 1800 MHz sistemleri için kontrolsüz etkilenme için sınır değerler Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

SINIR DEĞERLER	ICNIRP		IEEE / FCC	
	900 MHz	1800 MHz	900 MHz	1800 MHz
Elektrik alan şiddeti (V/m)	41.25	58.33		
Manyetik alan şiddeti (A/m)	0.111	0.157		
Güç yoğunluğu (W/m ²)	4.5	9	6	10

Yine bu konuda çalışan gruplardan biri de IRPA (The International Radiation Protection Association – Uluslararası Radyasyondan Korunma Derneği) isimli kuruluştur. Aşağıda IRPA tarafından belirlenen mesleki etkilenme sınırları ve genel halk sağlığı etkilenme sınırları tablolar halinde verilmiştir (IRPA/INIRC,1988).

Tablo 4.4. IRPA tarafından belirlenen mesleki etkilenme sınırları

Frekans (MHz)	Elektrik Alan (V/m)	Magnetik Alan (A/m)	Güç yoğunluğu (W/m ²)
0.01 – 0.038	1000	42	
0.038 – 0.61	1000	1.6 / f	
0.61 – 10	614 / f	1.6 / f	
10 – 400	61.4	0.16	10
400 – 2000	3.07.√f	8.14.10 ⁻³ .√f	f / 40
2000 – 150000	137	0.364	50
150000 - 300000	0.354.√f	9.4.10 ⁻⁴ .√f	3.334.10 ⁻⁴ .f

Tablo 4.5. IRPA tarafından belirlenen genel halk sağlığı etkilenme sınırları

Frekans (MHz)	Elektrik Alan (V/m)	Magnetik Alan (A/m)	Güç yoğunluğu (W/m ²)
0.01 – 0.042	400	16.8	
0.042 – 0.68	400	0.7 / f	
0.68 – 10	275 / f	0.7 / f	
10 – 400	27.5	0.07	2
400 – 2000	1.37.√f	3.64.10 ⁻³ .√f	f / 200
2000 – 150000	61.4	0.163	10
150000 - 300000	0.158.√f	4.21.10 ⁻⁴ .√f	6.67.10 ⁻⁵ .f

Tüm dünyada kabul edilen bu standartlar ve limit değerler bazı ülkelerde aynen kabul edilip uygulanmakla birlikte bazı ülkelerde kısmen değiştirilerek uygulanmaktadır. Aşağıdaki tabloda bazı ülkelerde uygulanan limit değerler verilmiştir.

Tablo 4.6. Dünyada şu anki standartlar (www.powerwatch.org.uk)

KURULUŞLAR	FREKANS (MHz)	E ALAN (V/m)	GÜÇ YOĞUNLUĞU (W/m ²)
NRPB,1993	900	112	33
	1800	194	100
ANSI/IEEE,1992	900	47	6
	1800	61	10
CANADIAN SAFETY, 1993	900	47	6
	1800	61	10
ICNIRP,1998,CENELEC,1995	900	41	4.5
	1800	58	9
AUSTRALIA,1988	900	27	2
	1800	27	2
POLAND	900	19	1
	1800	6	0.1
RUSSIA,1988	900	6	0.1
	1800	6	0.1
ITALY,1999	900	6	0.1
	1800	6	0.1
TORONTO HEALTH BOARD,2000	900	5	0.06
	1800	6	0.1
SWISS ORDINANCE,2000	900	4	----
	1800	6	----
SALZBURG-AUSTRIA,1998	900	0.62	0.001
	1800	0.62	0.001

Ülkemizde ise bu konudaki uygulama başlangıçta Ulaştırma Bakanlığı'nın kontrolüne bırakılmıştı. Daha sonra Çevre Bakanlığı, Bayındırlık ve İskan bakanlığı, Sağlık Bakanlığı ve bazı Devlet bakanlıkları sorumluluk sahaları için ayrı ayrı genelgeler yayınlayınca tam bir karmaşa olmuş ve nihayet Telekomünikasyon Kurumunun kurulmasıyla ülkemizde de GSM konusunda bir konsensüs sağlanmış ve çok başlılık önlenmiştir. Ülkemizde ilk olarak TSE, Nisan 1996'da TS ENV 50166-2 no'lu sayı ve "İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması – Yüksek Frekanslar (10kHz – 300 GHz" isimli bir standart yayımlanmıştır (T.S.E.,1996). Ülkemizde halen yürürlükte olan TK (Telekomünikasyon Kurumu) yönetmeliği ile sınır değerler belirlenmiş ve uygulamaya konulmuştur. TK yönetmeliğinin tüm metni tez kapsamında son bölümde Eklerde verilecektir (T.K.,2001). TK yönetmeliğine göre ülkemizdeki sınır değerler;

Tablo 4.7. Türkiye’de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

SINIR DEĞERLER	900 MHz		1800 MHz	
	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamın toplam sınır değeri
Elektrik alan şiddeti (V/m)	10.23	41.25	14.47	58.34
Manyetik alan şiddeti (A/m)	0.027	0.111	0.038	0.157
Güç yoğunluğu (W/m ²)	0.28	4.5	0.56	9

Bilimsel çalışmalar sonucunda insan vücut sıcaklığını 0.1°C arttırabilecek alt değerler belirlenmiş, mesleği gereği bu tür ışımaların etkisinde 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. İnsanlar elektromanyetik alanların yarattığı ışımalara iki şekilde maruz kalmaktadır. Bunların ilki mesleği icabı ışımaya maruz kalmak, ikincisi ise farkında olmadan ışımaya maruz kalmak. Meslek icabı ışımaya maruz kalanlar için kontrollü etkilenme sınır değerleri belirlenmiştir. Buna göre;

Tablo 4.8. Kontrollü etkilenme için sınır değerler

SINIR DEĞERLER	ICNIRP		IEEE / FCC	
	900 MHz	1800 MHz	900 MHz	1800 MHz
Elektrik alan şiddeti (V/m)	90	127.28		
Manyetik alan şiddeti (A/m)	0.24	0.34		
Güç yoğunluğu (W/m ²)	22.5	45	30	50

4.5.Güvenlik Mesafesi Kavramı ve Hesaplanması

Güvenlik Mesafesi, sabit telekomünikasyon cihazlarından yayılan elektromanyetik dalganın ; çevre ve insan sağlığı üzerinde meydana getirebileceği etkileri minimuma indirmek amacıyla belirlenen elektromanyetik alan şiddeti limit değerinin aşılmadığı mesafedir (metre).

3.bölümde VHF ve UHF yayılım esasları anlatılırken verici antenden d mesafesindeki uzaklıktaki güç yoğunluğu;

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (4.4)$$

formülü ile verilmişti.

Verici antenden belli bir uzaklıktaki elektrik alan şiddetini hesaplamak bazı durumlarda, güç yoğunluğunun belirtilmesinden daha uygundur. Bu durum, elektrik alan şiddeti (E) ile güç yoğunluğu (W) arasındaki bağıntı ile yapılabilir ;

$$S = \frac{E^2}{\eta} \quad (4.5)$$

Burada η boşluğun karakteristik empedansıdır ve değeri 120π ($\approx 377 \Omega$)'dur. Böylece;

$$S = \frac{E^2}{377} = H^2 \times 377 \quad (4.6)$$

formülü ile ifade edilebilir. Bu formüller ölçüm yapılan ve standartlarda limit değerler olarak verilen elektrik alan (E), manyetik alan (H) ve güç yoğunluğunun (S) da birbirleriyle olan ilişkisini göstermektedir. Bu formül ayrıca;

$$\frac{E^2}{377} = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (4.7)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan da;

$$E = \frac{\sqrt{(30P_T G_T)}}{d} \quad (4.8)$$

ifadesini verir. Buradan d mesafesini yalnız bırakırsak;

$$d = \frac{\sqrt{(30P_T G_T)}}{E} \quad (4.9)$$

formülü elde edilir ki burada d GSM haberleşme sistemi için güvenlik mesafesini verir. Bu formül uzak alan hesaplamaları için geçerlidir. O halde birde yakın alan için hesaplamaları formülize etmek gerekir. Buna göre;

$$S = \frac{n.P.10^{(G-L)/10}}{4\pi r^2} \quad (4.10)$$

şeklinde bulunur. Burada S, güç yoğunluğu, n, TRX/U sayısı, P, combiner çıkışındaki güç, G, anten kazancı dBi, L, sistemdeki toplam kayıp (feeder, jumper vb.), r, güvenlik mesafesidir.

Buradan r, yalnız bırakılırsa yakın alan için güvenlik mesafesi;

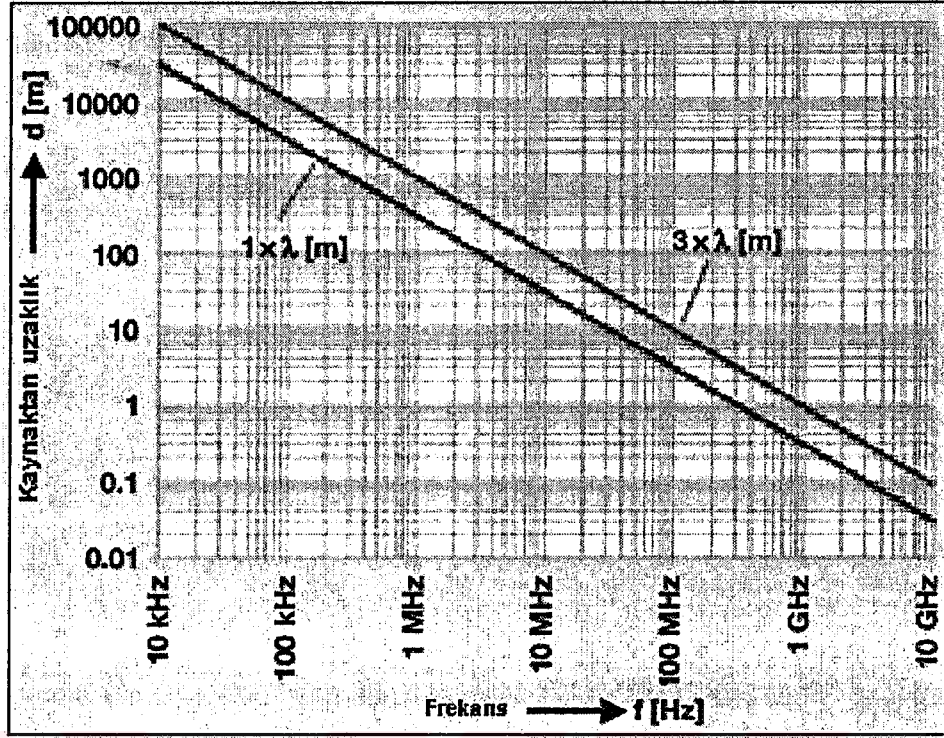
$$r = \sqrt{\frac{n.P.10^{(G-L)/10}}{4\pi S}} \quad (4.11)$$

formülü elde edilir. Elektromanyetik problemlerde yakın alan-uzak alan tanımları anten boyutları ile de tanımlanır. Dalga boyu cinsinde olan uzaklık $\lambda/2\pi$ 'yi aştığında hem elektrik dipol hem de manyetik dipol için aynı dalga empedansına ulaşılmaktadır. Bu değer boşluktaki düzlem dalga empedansı olan 377Ω 'dur. Bu $\lambda/2\pi$ değeri yakın alan uzak alan sınırı olarak kabul edilir.

Elektromanyetik problemlerde yakın alan – uzak alan tanımları anten boyutları ile de tanımlanır. Parabolik yansıtıcı tipten antenlerde ve dizilerde kullanılan diğer tanım ise d uzaklık ve D antenin en büyük boyutu (eni, boyu vb) olmak üzere ;

$$d \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.12)$$

şeklinde verilir. Bu tanım antenin yarattığı elektromanyetik dalgaların eş faz yüzeylerinin belli bir hata ile düzlem kabul edilebildiği uzaklık olarak verilir (Sevgi,2000)



Şekil 4.2. Dalga boyuna göre yakın-uzak alan değişimi

4.5.1. BTS ve Anten Tiplerine Göre Oluşturulabilecek Konfigürasyonlara Ait Güvenlik Mesafeleri

Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.07.2001 tarihinde yayımlanan, "10kHz-60GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkındaki Yönetmelik" in 6.maddesindeki formüle göre hesaplanmıştır.

$K_s = 0.71$ (Bölücü kayıp katsayısı (Splitter Loss Coefficient))

Tablo 4.9. Çıkış gücü düşürülme katsayısının (Kpd) güvenlik mesafesine etkisi

Kpd	Çıkış gücü düşürülme miktarı BSPWRB&BSPWRT									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0.89	0.79	0.71	0.63	0.56	0.5	0.45	0.4	0.35	0.32

Tablo 4.10. BTS ve anten tiplerine göre güvenlik mesafesi hesaplanması

ANTEN TIPLERİ	Anten Kazancı (dBi)	BTS TIPLERİ								
		RBS 2000-CDU A (dBm)	RBS 2000-CDU C+ (dBm)	RBS 2000-CDU D (dBm)	RBS 200-FILTER (1-8 TRX)	RBS 200-HYBRID (2 TRX)	RBS 200-3 HYBRID (3-4 TRX)	2302	2301	
		44.5	41	42	42.5	41.5	38	33	19	
K 728 684	17.5	21.3	14.2	16.0	16.9	15.1	10.1	5.7	1.1	
K 728 685	14.5	15.1	10.1	11.3	12.0	10.7	7.1	4.0	0.8	
K 729 931	5	5.1	3.4	3.8	4.0	3.6	2.4	1.3	0.3	
K 730 360	12.5	12.0	8.0	9.0	9.5	8.5	5.7	3.2	0.6	
K 730 368	15.5	16.9	11.3	12.7	13.4	12.0	8.0	4.5	0.9	
K 730 374	13	12.7	8.5	9.5	10.1	9.0	6.0	3.4	0.7	
K 730 376	18.5	23.9	16.0	17.9	19.0	16.9	11.3	6.4	1.3	
K 730 376	18.5	23.9	16.0	17.9	19.0	16.9	11.3	6.4	1.3	
K 730 378	17	20.1	13.4	15.1	16.0	14.2	9.5	5.4	1.1	
K 730 382	16	17.9	12.0	13.4	14.2	12.7	8.5	4.8	1.0	
K 730 676	9	8.0	5.4	6.0	6.4	5.7	3.8	2.1	0.4	
K 730 682	6.5	6.0	4.0	4.5	4.8	4.3	2.8	1.6	0.3	
K 730 690	11.5	10.7	7.1	8.0	8.5	7.6	5.1	2.8	0.6	
K 732 433	18.5	23.9	16.0	17.9	19.0	16.9	11.3	6.4	1.3	
K 732 448	15.5	16.9	11.3	12.7	13.4	12.0	8.0	4.5	0.9	
K 735 727	16.5	19.0	12.7	14.2	15.1	13.4	9.0	5.1	1.0	
K 736 347	11	10.1	6.7	7.6	8.0	7.1	4.8	2.7	0.5	
K 736 349	10.5	9.5	6.4	7.1	7.6	6.7	4.5	2.5	0.5	
K 736 622	7.5	6.7	4.5	5.1	5.4	4.8	3.2	1.8	0.4	
K 736 624	7	6.4	4.3	4.8	5.1	4.5	3.0	1.7	0.3	
K 736 767	14	14.2	9.5	10.7	11.3	10.1	6.7	3.8	0.8	
K 736 855	10	9.0	6.0	6.7	7.1	6.4	4.3	2.4	0.5	
K 737 031	2	3.6	2.4	2.7	2.8	2.5	1.7	1.0	0.2	
K 737 115	9	8.0	5.4	6.0	6.4	5.7	3.8	2.1	0.4	
K 737 602	2	3.6	2.4	2.7	2.8	2.5	1.7	1.0	0.2	
K 739 619	9	8.0	5.4	6.0	6.4	5.7	3.8	2.1	0.4	
K 739 620	12.5	12.0	8.0	9.0	9.5	8.5	5.7	3.2	0.6	
K 739 622	15.5	16.9	11.3	12.7	13.4	12.0	8.0	4.5	0.9	
K 739 624	18	22.6	15.1	16.9	17.9	16.0	10.7	6.0	1.2	
K 739 633	15	16.0	10.7	12.0	12.7	11.3	7.6	4.3	0.8	

[D]-(m)

Tablo 4.11 Besleme kablosu kaybı katsayısının (Kf) kablo uzunluğuna göre değişimi

Kf	Kayıp (dB/100m)	Besleme kablosu (feeder) uzunluğu			
		25	50	75	100
1/2 "	7,2	0,81	0,66	0,54	0,43
7/8 "	4	0,89	0,79	0,71	0,63
1-1/4 "	3	0,92	0,84	0,77	0,71
1-5/8 "	2,5	0,93	0,87	0,81	0,75

$$\text{Güvenlik mesafesi} = K \cdot D \quad (4.13)$$

Güvenlik mesafesinin değeri yukarıdaki formülden hesaplanabilir. Buradaki ;

D: Tablo 4 ten bulunacak olan RBS ve Anten tipine göre belirlenen uzaklık (m),

K: K_s, K_{pd} ve K_f'in çarpımıyla oluşan, sistemdeki (BTS kabinet ile anten arasındaki) tüm cihaz kayıplarına karşılık gelen katsayı.

Bu katsayı; BTS güç kısılması, feeder (besleyici), splitter(bölücü) vb kaynaklanan zayıflamalara karşılık gelen katsayısı değerlerinin çarpımına eşittir.

$$K = K_{pd} * K_f * K_s \quad (4.14)$$

Not: Kabinet çıkışı ile anten arasındaki kayıplar ve güç kısılması için hesaplanan (feeder loss+power splitter+power down), güvenlik mesafesi için gerekli katsayı aşağıdaki formülden de hesaplayabilir. Formül dB cinsinden kaybı, güvenlik mesafesi katsayısına (K) çevirecektir. Bu katsayı ile Tablo 4.10'daki "D" değerlerinin çarpılması yeterli olacaktır.

X_{dB}: dB cinsinden toplam kayıp (feeder kaybı+ power splitter kaybı+ güç kısılması +vb...)

K: Güvenlik mesafesi için katsayı

$$K = 1 / 10^{(X_{dB} / 20)} \quad (4.15)$$

Hesaplanan K değeri Formül 4.13' de yerine konursa, güvenlik mesafesi bulunur.

4.6.Değişik Anten Tipleri, Yükseklikleri ve Kabinet Türlerine Göre Güvenlik Mesafeleri

Bu bölümde, ülkemizde ki GSM operatörlerinin yoğun olarak kullandıkları ve bir sonraki bölümde elektromanyetik alan ölçümleri de verilecek olan değişik anten türleri ve değişik kabinet yapıları için hesaplanan güvenlik mesafeleri tablo halinde verilecektir. Tablodaki bilgilerin hepsi şu anda GSM operatörlerinin sahada çalışan ekipmanlarına ait bilgiler olup, konfigürasyon bilgileri de bu çalışan sistemlere aittir.

Tablo 4.12’de mevcut çalışan sistemler öncelikle GSM’de kullanılan antenlerin bazı özelliklerine göre 3 grupta toplanmıştır. Buna göre normal outdoor olarak isimlendirilen kapsama antenleri, elektrik tiltli antenler ve indoor(bina içi) kapsama antenleri. Bunlardan kapsama antenleri, daha çok sistemin genelinde kullanılan ve kapsama ve kapasite amacıyla kurulan dragon, makro ve mikro hücrelerde kullanılan anten tipleri olup çıkış güçleri 75. dBi ile 18.5 dBi arasında değişen antenlerdir. Çok değişik boyutlarda oldukları için kullanım yerleri de anten kazançları ve boyutlarına göre değişiklik göstermektedir. Elektrik tiltli antenler ise, mekanik olarak bir antene tilt vermenin mümkün olmadığı noktalarda kendinden tiltli olduğu için yine mikro veya makro hücrelerde kullanılmaktadır. Bina içi (indoor) antenler ise alışveriş merkezleri, fuar ve sergi alanları, konser, seminer organizasyonları gibi insan sirkülasyonlarının çok olduğu noktalarda kullanılmakta ve çok daha düşük güçlü oldukları için doğal olarak çok daha az güvenlik mesafesine sahiptirler.

Güvenlik mesafeleri hesaplanırken, kabinetlerin çıkış gücü, antenlerin kazancı, güç bölücü kullanılma durumu, CDU tipi, güç katsayısı ve besleme kablosu uzunlukları direkt olarak etki etmektedir. Burada verilen örnekler daha çok , şehir içi ve yoğun kentsel alanlarda bulunan istasyonlara ait örnekler ve hesaplamalardır.

Tablodaki güvenlik mesafeleri ve sistemin genel özellikleri incelendiğinde, güvenlik mesafesi kavramının tanımından da gelen ve bu mesafeler içinde canlı bulunmamasına özen gösterilmesi hususu, tez kapsamında ele alınan konular ve bir sonraki bölümde görülecek ölçüm sonuçlarına göre de desteklenmektedir. Buna göre

GSM sistemleri kurulduğunda, bu sistemin güvenlik mesafesi şartlarını sağlamasına özen gösterilmesi gerekmektedir. Bu hem, özellikle, ülkemizde insanların bir hayli hassas oldukları sağlık konusunda daha rahat olmalarına, hem de özellikle montaj aşamasında taşeron şirketlerin kullanılmasından doğan düzensiz montaj yapılmasına engel olacaktır. Ayrıca kurulacak sisteme göre hesaplanan güvenlik mesafesi, o sınır içinde yetkisiz kişilerin erişmesine imkan vermeyecek alanları göstermesi bakımından da anten montajlarının nerelere ve nasıl monte edilmesi gerektiği konusunda fikir vermektedir.



Tablo 4.12. Değişik türdeki baz istasyonlarına ait güvenlik mesafesi hesaplamaları

İstasyon adı	Çıkış gücü	Anten sayısı	Anten ismi (yatay/dikey)	Anten kazancı	Anten yüksekliği	Bina yüksekliği	Güvenlik mesafesi	Montaj Türü	Güç bölüncü kullanımı	CDU tipi	Çıkış gücü (BSPWRB&T) dBm
1 A	6.31 Watt (38 dBm)	3 adet	K 735 727 (20°/33°)	16.5 dBi	12 m	13 m	8.929	Duvar	Yok	C+	45
1 B	6.31 Watt (38 dBm)	2 adet	K 739 620 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	13 m	13 m	5.625	Teras	Yok	C+	45
2 A	6.31 Watt (38 dBm)	1 adet	K 735 727 (20°/33°)	16.5 dBi	12 m	12 m	8.929	Çatı	Yok	C+	47
3 A	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 728 685 (36°/26°)	14.5 dBi	19 m	15 m	10.1	Duvar	Yok	C+	47
3 B	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 732 448 (65° Panel/13°)	15.5 dBi	19 m	15 m	11.3	Duvar	Yok	C+	47
4 A	7.943 Watt (39 dBm)	3 adet	K 728 685 (36°/26°)	14.5 dBi	20 m	23 m	7.979	Duvar	Yok	C+	47
4 B	7.943 Watt (39 dBm)	3 adet	K 735 727 (20°/33°)	16.5 dBi	20 m	23 m	10.033	Duvar	Yok	C+	47
5 A	10 Watt (40 dBm)	3 adet	K 732 448 (65° Panel/13°)	15.5 dBi	24 m	25 m	10.057	Çatı	Yok	C+	47
5 B	7.943 Watt (39 dBm)	3 adet	K 728 684 (36°/13°)	17.5 dBi	24 m	25 m	11.218	Çatı	Yok	C+	47
6 A	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 732 448 (65° Panel/13°)	15.5 dBi	15 m	50 m	11.3	Kule	Yok	C+	45
6 B	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 728 684 (36°/13°)	17.5 dBi	15 m	50 m	14.2	Kule	Yok	C+	45
7 A	7.943 Watt (39 dBm)	2 adet	K 739 619 (65° X-Pole/70°)	9 dBi	4 m	15 m	4.266	Duvar	Yok	C+	47
7 B	6.31 Watt (38 dBm)	1 adet	K 735 727 (20°/33°)	16.5 dBi	15 m	15 m	8.929	Duvar	Yok	C+	45
7 C	5.012 Watt (37 dBm)	1 adet	K 735 727 (20°/33°)	16.5 dBi	15 m	15 m	7.926	Duvar	Yok	C+	45
8 A	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 732 448 (65° Panel/13°)	15.5 dBi	15 m	15 m	11.3	Duvar	Yok	C	47
8 B	12.589 Watt (41 dBm)	2 adet	K 730 676 (65° X-Pole/70°)	9 dBi	7 m	15 m	5.4	Duvar	Yok	C+	47
9 A	7.943 Watt (39 dBm)	1 adet	K 739 676 (65° X-Pole/70°)	9 dBi	6 m	12 m	4.266	Duvar	Yok	C+	47
9 B	10 Watt (40 dBm)	2 adet	K 739 620 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	10 m	12 m	7.12	Teras	Yok	C+	47
10 A	12.589 Watt (41 dBm)	2 adet	K 730 360 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	8 m	14 m	8	Duvar	Yok	C+	47
10 B	12.589 Watt (41 dBm)	2 adet	K 730 360 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	8 m	14 m	8	Duvar	Yok	C+	47
11 A	2.818 Watt (34.5 dBm)	3 adet	K 730 376 (65° Panel/6.5°)	18.5 dBi	50 m	50 m	7.567	Kule	2-yollu	200	45
11 B	2.818 Watt (34.5 dBm)	3 adet	K 730 374 (120° Panel/13°)	13 dBi	50 m	50 m	4.022	Kule	2-yollu	200	45
12 A	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 730 376 (65° Panel/6.5°)	18.5 dBi	20 m	20 m	16	Teras	Yok	C+	47
12 B	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 730 376 (65° Panel/6.5°)	18.5 dBi	20 m	20 m	16	Teras	Yok	C+	47
13 A	5.012 Watt (37 dBm)	1 adet	K 739 620 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	23 m	20 m	5.055	Kule	2-yollu	C+	47
13 B	5.012 Watt (37 dBm)	1 adet	K 736 622 (90° Flat Panel/70°)	7.5 dBi	23 m	20 m	2.844	Kule	2-yollu	C+	47

13 C	10 Watt (40 dBm)	1 adet	K 736 622 (90° Flat Panel/70°)	7.5 dBi	23 m	20 m	4.005	Kule	Yok	C+	47
14 A	3.981 Watt (36 dBm)	2 adet	K 736 622 (90° Flat Panel/70°)	7.5 dBi	5 m	12 m	2.524	Duvar	Yok	C+	45
15 A	3.981 Watt (36 dBm)	1 adet	K 736 855 (90° Flat Panel/36°)	10 dBi	9 m	12 m	3.335	Duvar	Yok	D	43
16 A	3.981 Watt (36 dBm)	2 adet	K 736 855 (90° Flat Panel/36°)	10 dBi	6 m	13 m	3.354	Bina İçi	Yok	G	45
16 B	3.981 Watt (36 dBm)	2 adet	K 736 855 (90° Flat Panel/36°)	10 dBi	12 m	13 m	3.354	Bina İçi	Yok	G	45
16 C	3.981 Watt (36 dBm)	2 adet	K 736 855 (90° Flat Panel/36°)	10 dBi	12 m	13 m	3.354	Bina İçi	Yok	G	45
17 A	5.623 Watt (37.5 dBm)	2 adet	K 736 668 (90° Flat Panel/18°)	12.5 dBi	40 m	40 m	5.329	Kule	2-yollu	200	47
17 B	5.623 Watt (37.5 dBm)	1 adet	K 736 668 (90° Flat Panel/18°)	12.5 dBi	40 m	40 m	5.329	Kule	2-yollu	200	47
18 A	8.318 Watt (39.2 dBm)	3 adet	K 736 668 (90° Flat Panel/18°)	12.5 dBi	27 m	24 m	6.48	Teras	Yok	C+	47
19 A	28.184 Watt (44.5 dBm)	1 adet	K 741 718 (30° X-Pole/15°)	18.5 dBi	28 m	25 m	23.9	Duvar	Yok	A	47
19 B	28.184 Watt (44.5 dBm)	1 adet	K 741 718 (30° X-Pole/15°)	18.5 dBi	28 m	25 m	23.9	Duvar	Yok	A	47
19 C	28.184 Watt (44.5 dBm)	1 adet	K 736 668 (90° Flat Panel/18°)	12.5 dBi	18 m	15 m	12	Duvar	Yok	A	47
20 A	8.913 Watt (39.5 dBm)	2 adet	K 736 863 (90° Flat Panel/8.5°)	15.5 dBi	50 m	50 m	9.479	Kule	Yok	A	47
20 B	8.913 Watt (39.5 dBm)	2 adet	K 732 448 (65° Panel/13°)	15.5 dBi	50 m	50 m	9.479	Kule	Yok	A	47
20 C	8.913 Watt (39.5 dBm)	2 adet	K 732 448 (65° Panel/13°)	15.5 dBi	50 m	50 m	9.479	Kule	Yok	A	47
21 A	10 Watt (40 dBm)	3 adet	K 736 863 (90° Flat Panel/8.5°)	15.5 dBi	40 m	40 m	10.033	Kule	Yok	G	47
21 B	7.943 Watt (39 dBm)	3 adet	K 730 382 (120° Panel/6.5°)	16 dBi	40 m	40 m	9.48	Kule	Yok	C+	47
22 A	7.079 Watt (38.5 dBm)	3 adet	K 730 690 (120° Panel/18°)	11.5 dBi	20 m	20 m	5.305	Kule	Yok	200	45
23 A	10.471 Watt (40.2 dBm)	1 adet	K 730 690 (120° Panel/18°)	11.5 dBi	6 m	6m	6.48	Mobil	Yok	D	47
24 A	11.22 Watt (40.5 dBm)	2 adet	K 730 374 (120° Panel/13°)	13 dBi	25 m	25 m	7.926	Kule	Yok	A	45
24 B	17.783 Watt (42.5 dBm)	2 adet	K 730 374 (120° Panel/13°)	13 dBi	25 m	25 m	10.033	Kule	Yok	A	45
24 C	17.783 Watt (42.5 dBm)	2 adet	K 730 374 (120° Panel/13°)	13 dBi	25 m	25 m	10.033	Kule	Yok	A	45
25 A	11.22 Watt (40.5 dBm)	2 adet	K 730 376 (65° Panel/6.5°)	18.5 dBi	40 m	40 m	14.916	Kule	Yok	A	47
25 B	7.943 Watt (39 dBm)	2 adet	K 730 374 (120° Panel/13°)	13 dBi	40 m	40 m	6.715	Kule	Yok	C+	47
26 A	17.783 Watt (42.5 dBm)	2 adet	K 730 382 (120° Panel/6.5°)	16 dBi	20 m	25 m	14.141	Kule	Yok	A	45
26 B	7.943 Watt (39 dBm)	2 adet	K 730 382 (120° Panel/6.5°)	16 dBi	20 m	25 m	9.48	Kule	Yok	C+	45
27 A	2.818 Watt (34.5 dBm)	3 adet	K 730 382 (120° Panel/6.5°)	16 dBi	70 m	70m	5.655	Kule	2-yollu	200	45
28 A	2.818 Watt (34.5 dBm)	3 adet	K 730 374 (120° Panel/13°)	13 dBi	70 m	70m	4.022	Kule	2-yollu	200	45
29 A	3.548 Watt (35.5 dBm)	3 adet	K 736 347 (Outdoor Ormni)	11 dBi	35 m	35 m	3.545	Kule	2-yollu	200	47
30 A	28.184 Watt (44.5 dBm)	1 adet	K 736 347 (Outdoor Ormni)	11 dBi	40 m	40 m	10.1	Kule	Yok	A	45
31 A	3.981 Watt (36 dBm)	1 adet	K 736 349 (Outdoor Ormni)	10.5 dBi	30 m	30 m	3.534	Kule	Yok	D	43

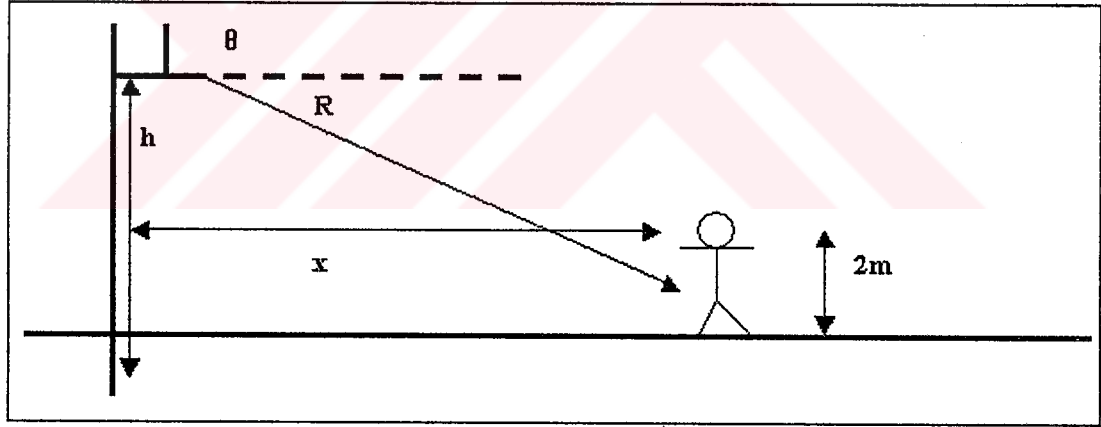
32_A	7.079 Watt (38.5 dBm)	2 adet	K 736 349 (Outdoor Ormni)	10.5 dBi	70 m	70 m	4.728	Kule	Yok	A	45
33_A	7.943 Watt (39 dBm)	2 adet	K 739 620 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	28 m	28 m	6.32	Duvar	Yok	C+	47
34_A	2.512 Watt (34 dBm)	1 adet	K 739 620 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	25 m	27 m	3.578	Duvar	Yok	C+	43
35_A	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 739 622 (65° X-Pole/14°)	15.5 dBi	40 m	36 m	11.303	Çatı	Yok	G	47
35_B	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 739 622 (65° X-Pole/14°)	15.5 dBi	40 m	36 m	11.303	Çatı	Yok	G	47
36_A	7.943 Watt (39 dBm)	1 adet	K 741 718 (30° X-Pole/15°)	18.5 dBi	12 m	21 m	12.709	Duvar	Yok	D	47
36_B	3.162 Watt (35 dBm)	2 adet	K 739 622 (65° X-Pole/14°)	15.5 dBi	14 m	21 m	5.696	Duvar	2-yollu	C+	47
36_C	3.981 Watt (36 dBm)	1 adet	K 741 717 (30° X-Pole/27°)	15.5 dBi	10 m	21 m	6.338	Duvar	2-yollu	C+	47
36_D	7.943 Watt (39 dBm)	2 adet	K 732 448 (65° Panel/13°)	15.5 dBi	14 m	21 m	8.927	Duvar	Yok	C+	47
37_A	13.183 Watt (41.2 dBm)	1 adet	K 739 622 (65° X-Pole/14°)	15.5 dBi	21 m	18 m	11.543	Çatı	Yok	F	47
37_B	13.183 Watt (41.2 dBm)	1 adet	K 739 622 (65° X-Pole/14°)	15.5 dBi	21 m	18 m	11.543	Çatı	Yok	F	47
37_C	13.183 Watt (41.2 dBm)	1 adet	K 739 622 (65° X-Pole/14°)	15.5 dBi	21 m	18 m	11.543	Çatı	Yok	F	47
37_D	13.183 Watt (41.2 dBm)	1 adet	K 739 622 (65° X-Pole/14°)	15.5 dBi	21 m	18 m	11.543	Çatı	Yok	F	47
38_A	5.012 Watt (37 dBm)	1 adet	K 739 620 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	16 m	15 m	5.04	Duvar	Yok	C+	47
38_B	7.943 Watt (39 dBm)	1 adet	K 739 620 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	16 m	15 m	6.32	Duvar	Yok	C+	47
38_C	5.012 Watt (37 dBm)	2 adet	K 739 620 (65° X-Pole/27°)	12.5 dBi	5 m	5 m	5.04	Kule	Yok	C+	47
39_A	10 Watt (40 dBm)	1 adet	K 739 619 (65° X-Pole/70°)	9 dBi	4 m	30 m	4.806	Kule	Yok	C+	47
39_B	3.981 Watt (36 dBm)	1 adet	K 739 619 (65° X-Pole/70°)	9 dBi	7 m	30 m	3.029	Kule	2-yollu	C+	47
39_C	3.981 Watt (36 dBm)	1 adet	K 739 619 (65° X-Pole/70°)	9 dBi	7 m	30 m	3.029	Kule	2-yollu	C+	47
ELEKTRİK TİLTİ ANTENLERİN KULLANILDIĞI İSTASYONLAR											
40_A	10 Watt (40 dBm)	3 adet	K 737 735 (12° Elec.Tilt./17°)	15 dBi	40 m	40 m	9.472	Kule	Yok	G	47
41_A	3.981 Watt (36 dBm)	1 adet	K 737 735 (12° Elec.Tilt./17°)	15 dBi	11 m	28 m	5.972	Duvar	Yok	D	45
42_A	10 Watt (40 dBm)	3 adet	K 737 735 (12° Elec.Tilt./17°)	15 dBi	40 m	40 m	9.472	Kule	Yok	G	47
43_A	6.31 Watt (38 dBm)	1 adet	K 739 633 (X-Pole,12° Elec.Tilt./16°)	15 dBi	25 m	27 m	7.597	Duvar	Yok	C+	47
44_A	12.589 Watt (41 dBm)	1 adet	K 739 633 (X-Pole,12° Elec.Tilt./16°)	15 dBi	40 m	36 m	10.671	Çatı	Yok	G	47
INDOOR(BİNA İÇİ) ANTENLERİN KULLANILDIĞI İSTASYONLAR											
45_A	1.995 Watt (33 dBm)	1 adet	K 736 624 (90° Flat Panel/65°)	7 dBi	2 m	14 m	1.696	Bina İçi	2-yollu	D	43
45_B	1.995 Watt (33 dBm)	1 adet	K 736 624 (90° Flat Panel/65°)	7 dBi	2 m	14 m	1.696	Bina İçi	2-yollu	D	43
46_A	1.259 Watt (31 dBm)	1 adet	K 736 624 (90° Flat Panel/65°)	7 dBi	12 m	15 m	1.353	Duvar	2-yollu	D	43
47_A	1.259 Watt (31 dBm)	1 adet	K 736 624 (90° Flat Panel/65°)	7 dBi	2 m	15 m	1.353	Duvar	2-yollu	D	43
48_A	5.012 Watt (37 dBm)	1 adet	K 737 031 (Çubuk/360°)	2 dBi	4 m	7 m	1.498	Bina İçi	Yok	F	43

48 B	19.953 Watt (43 dBm)	1 adet	K 737 031 (Çubuk/360°)	2 dBi	4 m	7m	3.01	Bina İçi	Yok	F	43
50 A	4.169 Watt (36.2 dBm)	1 adet	K 737 031 (Çubuk/360°)	2 dBi	4m	6 m	1.392	Bina İçi	3-yollu	C+	43
50 B	4.169 Watt (36.2 dBm)	1 adet	K 737 031 (Çubuk/360°)	2 dBi	4m	6 m	1.392	Bina İçi	3-yollu	C+	43
51 A	6.31 Watt (38 dBm)	1 adet	K 737 602 (Mexican Hat/360°)	2 dBi	4 m	30 m	1.701	Bina İçi	Yok	D	43
52 A	15.849 Watt (42 dBm)	1 adet	K 741 571 (Chinese Hat/360°)	2 dBi	4 m	20m	2.7	Bina İçi	Yok	D	39

4.7. Baz İstasyonları ve Cep Telefonlarına Ait Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve Yorumlar

Bu bölümde, bir önceki bölümde anlatılan değişik türdeki konfigürasyonlara ait baz istasyonu montajlarına ait elektromanyetik alan ölçümleri verilecek ve ayrıca değişik tür ve modeldeki cep telefonlarına ait sessizlik (idle), çağrı kurma (call setup) ve konuşma (aktif) modundaki ölçümler verilerek her üç moda ait ölçüm sonuçları yorumlanacaktır.

Bunun için öncelikle canlılar GSM haberleşme sistemlerinden kaynaklanan elektromanyetik alanlara hangi durumlarda maruz kalırlar ve bu durumda güç yoğunlukları nasıl hesaplanır konusu anlatılacaktır. Daha sonra ise ölçüm metotları ve tez kapsamında kullanılan ölçüm cihazına ait bilgiler verilecektir. Son olarak ise ülkemizin değişik illerinde değişik konfigürasyondaki baz istasyonlarına ait ölçüm sonuçları verilecektir.



Şekil 4.3. Belirli bir h yüksekliğindeki antenin cadde seviyesindeki insana etkisi

Antenin yayınım merkezi yerden h yüksekliğindedir. Amaç kuleden x mesafedeki (örneğin 2 m) yükseklikteki güç yoğunluğunu hesaplamaktır. Buradaki 2m cadde üstünde yürüyen bir insanı temsil etmektedir (Karabulut, 2001). Ana ışının yere paralel gittiği ve antenin aksenal olarak simetrik olduğu varsayılmıştır.

$$h' = h - 2, R^2 = h'^2 + x^2, \quad (4.16)$$

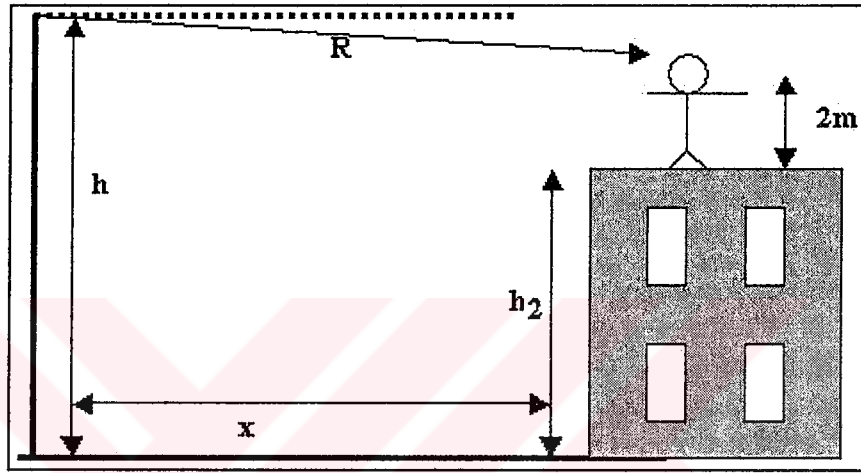
ve

$$\theta = \tan^{-1} (h' / x) \quad (4.17)$$

yerden kaynaklanan yansımaları dikkate alarak, güç yoğunluğu,

$$S = 2.56 / 4 \pi * F(\theta) \text{ EIRP} / (h'^2 + x^2) \quad (4.18)$$

ile ifade edilebilir.



Şekil 4.4. Antenlere yakın bir noktada bulunan binada ki insanlar için maruziyet sınırı

$$h' = h - h_2 - 2, R^2 = h'^2 + x^2 \quad (4.19)$$

ve

$$\theta = \tan^{-1} (h' / x) \quad (4.20)$$

yerden kaynaklanan yansımalar ihmal edilebilir çünkü dalga bina tarafından soğurulmaktadır. Bu durumda güç yoğunluğu aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$S = F(\theta) \text{ EIRP} / 4 \pi (h'^2 + x^2) \quad (4.21)$$

4.7.1.Ölçüm Metotları

Pratik olarak elektromanyetik alanların belirlenmesi için ölçüm metotları bu bölümde anlatılmaktadır. 10 kHz – 300 GHz frekans aralığındaki maruz kalma ölçümleri için pek çok teknik ve ölçüm cihazı gereklidir. Metot ve aletlerin seçimi frekansa, alan özelliğine (yakın veya uzak alan), modülasyon tipine ve ışına yapan kaynak sayısına bağlıdır.

Maruz kalma ölçümleri temel olarak alan şiddeti veya güç yoğunluğu ölçümlerinden ibarettir. Ayak ve temas akım ölçümleri gibi indüklenen vücut akımları ölçümleri de maruz kalma ölçümleri sınıflarına girerler. Ölçüm cihazlarının; ölçüm sensörü, gösterge ve ölçüm prensipleri cinsinden özellikleri gayet iyi bilinmelidir. Modülasyonun, harmoniklerin veya diğer frekanslardaki enerjinin ölçüme etkisi ve diğer etkiler dikkate alınmalıdır. Ölçümlerde ortalama değer istenildiğinde, zaman yeterince uzun tutulmalı ve ortalama zaman bu standartta verilen değere uygun olarak alınmalıdır. Ülkemizde ölçüm örneği alma süresi 6 dakika olarak TK tarafından belirlenmiştir. Elektrik alan şiddeti ölçümlerinde, pratik öneriler şunlardır;

a) Alan kaynaklarında bulunan bilgiler ;

- Frekans
- Üretilen güç ve alanlar
- Modülasyon
- Radyasyon karakteristikleri
- İletken akım ve gerilimleri

b) Maruz kalma şartları (mesafe ölçme noktası, maruz kalma zamanı)

c) Ölçme metodu ve ilgili cihazların seçimi

d) Değişen çalışma parametreleri ile ışına kaynağının çalışma durumunun tayini

e) Daha önce yapılmış ölçüm ve deneyleri göz önünde tutarak ölçüm yapan personel ve cihaz için muhtemel tehlikeyi dikkate almak. Gerekliğinde; güvenlik gözlükleri ve elbiseleri gibi koruyucu teçhizatı kullanmak, güç azaltmak, maruz kalma süresini sınırlamak gibi güvenlik artırıcı tedbirlere başvurulmalıdır.

f) Ölçme, kayıt ve analiz; her ölçümden evvel ve sonra cihazın doğru ölçüm yapıp yapmadığı ikinci bir cihaz ile, hesaplanmış sonuçlarla veya önceden bilinen değerlerle kontrol edilmelidir.

Alan şiddetleri ölçme sistemi genellikle aşağıdaki bileşenlerden meydana gelir.

- a) Ölçme sensörü: Ölçme sensörü belirli frekans kademeleri dışındaki frekanslara duyarlılık gösterir.
- b) Dedektör: Düşük seviyeli alan şiddetlerinde, diyod dedektörler, alanın karesi ile orantılı seçilmiş bir sinyal oluşturur. Yüksek alan şiddeti için ölçme sinyali alanın kendisi ile orantılıdır. Eğer farklı frekanslı birkaç alan aynı zamanda varsa veya alan darbeleri ise ölçümler yanlış olur. Yarı iletkenler, ışığa, infrared radyasyona ve sıcaklık değişimlerine duyarlı olmaları sebebiyle hataya sebep olabilirler.
- c) Ölçülen değerlerin iletimi: Koaksiyel kabloların ekranlama zayıflatmasının yeterli olması gerekir. Ölçülen işaretlerin iletiminde kullanılan metalik iletim hatları önemli ölçüde alan bozulmalarına yol açar. Yalıtılmış karbon fiber gibi kablolar, alanların bozulmalarını önlemede kullanılır.
- d) Gösterge birimi: Elektromanyetik alan içinde yerleştirilen gösterge, ölçüm sınırları dışında olan frekans bileşenlerinden kaynaklanan parazite karşı yeterince toleranslı olmalıdır.

Yukarıda belirtilen öneriler ışığında hareket ederek ölçümler dar band(seçici olarak) veya geniş bantlı olarak tayin edilir.

4.7.1.1. Geniş bant ölçümleri

Şayet ışıyan kaynakların frekansları biliniyor ve referans seviyeleri, ölçüm yapılacak frekans aralığında eşit ise tepe/rms değerleri geniş bantlı ölçüm cihazları ile ölçülmelidir. Band genişliği ilgili bütün frekansları ölçebilecek kadar geniş olmalıdır ve ölçülen rms değerleri dalga şeklinden bağımsız olmalıdır. Ölçüm zamanı, ortaya çıkan en yüksek tepe değerini ölçebilecek kadar geniş seçilmelidir.

4.7.1.2. Dar bant ölçümleri

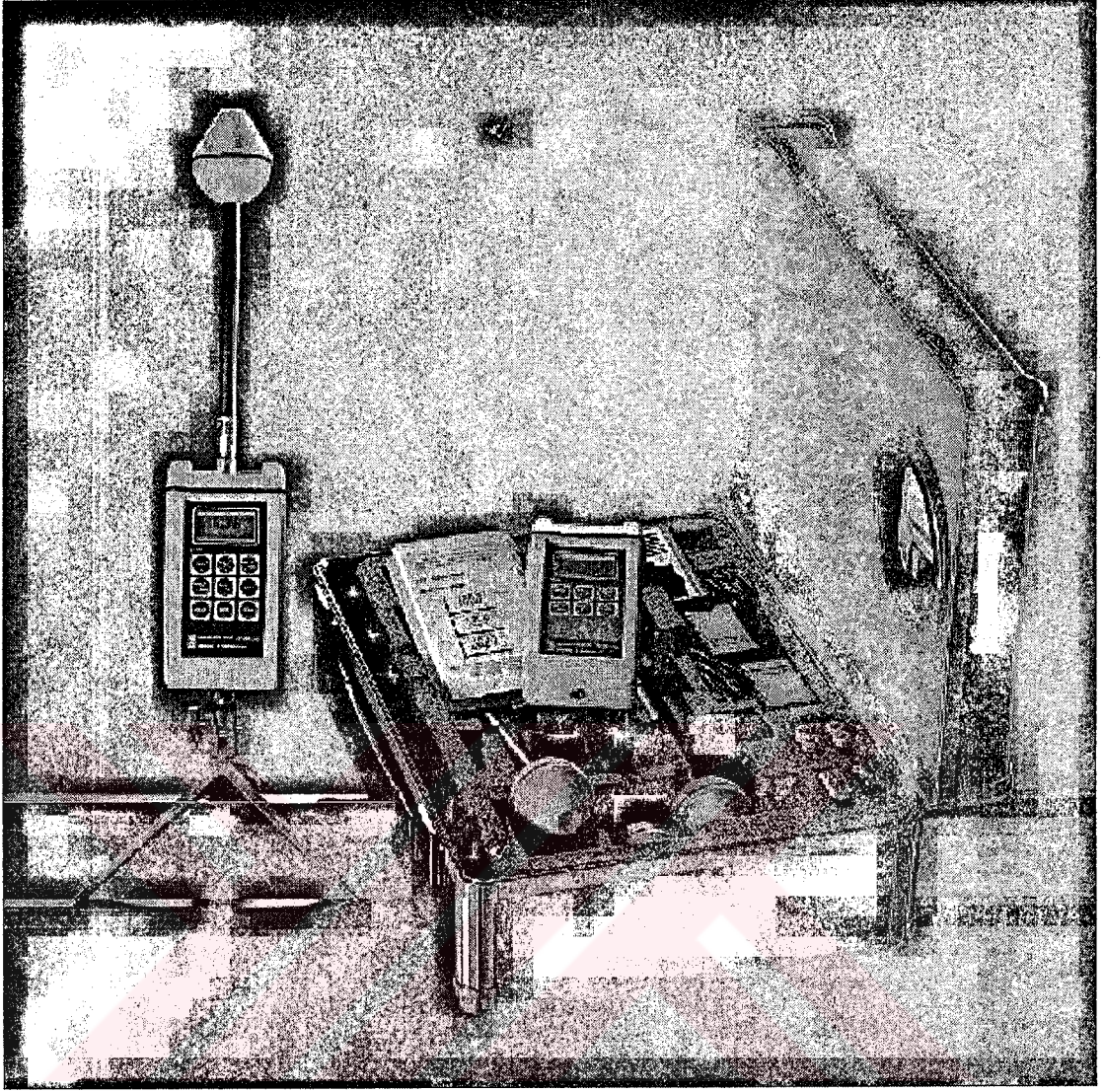
Şayet ışıyan kaynakların frekansları biliniyor ve referans seviyeleri. Gözlenen frekans aralığında farklı ise tepe/rms değerleri frekans seçici ölçüm cihazlarıyla ölçülmelidir. Band genişliği her frekans bileşenini yeterli doğrulukta ölçebilecek kadar dar seçilmelidir. Modüle edilmiş taşıyıcının ölçümü belli zaman aralığı için yapılmış (geçici kayıt edici) ve frekans spektrumu Fourier dönüşümü ile hesaplanmışsa, sonuçların doğru değerlendirilmesini temin için yeterli frekans ayrımı kullanılmalıdır.

4.7.2. Ölçüm cihazları

4.7.2.1. Ölçüm cihazlarının çeşitleri

Alan şiddeti veya güç yoğunluğunu ölçen aletler üç temel parçadan oluşur. Bunlar; prob, bağlantı kabloları ve cihaz. Probda alana hassas elemanlar yerleştirilmiştir. Dipoller elektrik alan sensöründe, döngüler(loops) manyetik alan sensöründe kullanılır. RF geriliminin tespiti probta veya cihazda yapılır. Diyot veya termokupullar genellikle dedektör olarak kullanılır. Probtaki sinyal kablolar aracılığı ile cihaza iletilir ve cihazda görüntü haline dönüştürülür. 1 MHz in altındaki aletler genel olarak elektrik alan şiddeti E'yi manyetik akı yoğunluğu veya akı değişimini ölçer. 1 MHz ile 300 MHz arasındaki frekanslardaki ölçülen tipik değerler ortalama alan şiddetinin karesi veya manyetik alan şiddetinin karesi veya eşdeğer düzlem dalga güç akı yoğunluğunun ortalamasıdır. 300 MHz nin üstünde güç akı yoğunluğu elektrik alan sensörleri ile ölçülür. İndüklenen vücut akımları, paralel tabaka elektrotları, elde tutulan temas ampermetreleri veya akım transformatörleri ile ölçülür. Tabaka elektrotları, akım transformatörleri ve temas ampermetreleri için istenilen frekans aralığı 10 KHz - 50 MHz arasındadır (Karabulut,2001).

Tez kapsamında yapılan tüm ölçümler Wandel-Goltermann'ın EMR-300 modelindeki ışıma metre (radyasyon metre) cihazıyla yapılmıştır. Şekil 4.5.'te bu cihazın görünümü bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Wandel-Goltermann EMR-300 elektromanyetik alan ölçüm cihazı

Cihazın, hem E-alan ölçümleri için kullanılacak bir probu hem de manyetik alan ölçümleri için kullanılacak bir probu bulunmaktadır. Cihaz sürekli ölçüm kaydı yapabilmekte ve ölçüm sonuçlarını USB port ile bilgisayara aktarılabilir.



Şekil 4.6. Ölçüm sonuçlarının ölçüm cihazından bilgisayara aktarılması

Ölçüm cihazı ile E-alan, H-alan, güç yoğunluğu değerleri ölçülebilmekte ve yapılan ölçümlerin ortalama değerlerini gösterebildiği gibi ölçüm süresinin tepe değeri de ölçülebilmekte ve görüntülenebilmektedir (Wandel-Goltermann, 2001). Her 2 yılda bir cihazın kalibrasyonunun yenilenmesi üretici firma tarafından tavsiye edilmektedir.

4.7.2.2. Genel şartlar

Ölçü aletleri bir standartta belirtilen referans seviyeleri ve temel sınırlamaları ile ilgili ölçülen değerleri kayıt edilebilme özelliklerine haiz olmalıdırlar. Ölçü aletleri belirli bir uygulama için gerekli yapı ve frekans sınırlarına sahip olmalıdır. Sonuçların incelenmesi sırasında ölçümlerdeki belirsizlikler dikkate alınmalıdır.

Ölçüm sonuçları aşağıdaki şartlardan önemli ölçüde etkilenmemelidir:

- Sıcaklık nem gibi çevre şartlarından

- Ölçüm düzeninden,
- Deneyi yapan kişinin alana yakınlığından dolayı alanla karşılıklı etkileşimden,
- Radyo parazitlerine karşı alınan tedbirlerin yetersizliğinden,
- Bağlantı kablolarının elektro manyetik alanlardan yetersiz korunmalarından.,

Prob boyutlarının, dalga boyunun dörtte birinden veya 10 cm. den az olması tercih edilmelidir. Boşluk şartlarından 1 MHz'in altındaki frekanslarda probun boyu en fazla 20 cm. olmalıdır. Standart prob bütün durumlar için ihtiyaçları karşılamayabilir ve özel prob kullanarak temel sınırlamalar ile uyumluluk bazı durumlarda gerekebilir. İdeal olarak probun gayet kararlı düz frekans tepki eğrisi olması ve frekans sınırının dışındaki frekanslara karşı tepkisinin zayıf olması gereklidir. Bütün durumlar için tepki eğrisi bilinmeli ve gayet iyi ayarlanmalıdır. Elektrik alan probu manyetik alan probuna, manyetik alan probu elektrik alan probuna karşı önemli ölçüde tepki vermemelidir. Yakın alan ölçümlerinde probun izotropik olmamasından kaynaklanan fark=2 dB'den az olmalıdır. Sonuç olarak: alan, yön ve polarizasyondan bağımsız olmalıdır. Prob ve kablolar alanı olabildiğince az etkilemelidirler. Alan kablolar veya aletten mümkün olduğunca az etkilenmeli ve her ikisi de ölçülen alan ve statik yüklere karşı yeterli derecede ekranlanmalıdırlar.

4.7.2.3. Elektriksel çalışma karakteristikleri

Cihazın kendi güç kaynağı olmalı ve gayet iyi muhafaza edilmelidir. Bataryaların (Kaynakların) durumunu gösteren bir işaret cihaz üzerinde olmalıdır. Bataryayı değiştirmeden ve tekrar şarj etmeden alette en az 3 saat devamlı çalışabilmelidir. Hemen hemen bütün maruz kalma ölçümleri yakın alanda yapıldığından alet elektrik ve manyetik alan bileşenlerin rms ve /veya tepe değerlerini ölçebilmelidir. Şayet alet rss değerlerini ölçüyorsa düzeltme faktörü gerekebilir. Frekans aralığı ve kullanılan ölçüm cihazlarına bağlı olarak aşağıdaki değerlerin ölçülmesi mümkündür.

- Elektrik alan şiddetinin rms ve tepe değerlerinin (V/m)
- Manyetik alan şiddetinin rms ve tepe değerlerini (A/m)

- Manyetik akı yoğunluğunun rms ve tepe değerleri (T)
- Güç akı yoğunluğunun ortalama ve tepe değerini (W/m^2)
- Elektrik alanının düzlem dalga eşdeğer Güç akı yoğunluğunu (W/m^2)
- Manyetik alanın düzlem dalga eşdeğer Güç akı yoğunluğunu Güç (W/m^2)
- Temas akımını rms ve tepe değerlerini (mA)
- Vücut akımını rms ve tepe değerlerini (mA)

Bu standart da değişik zaman ortalama metotları kullanılmaktadır. Bu metotlar bütün frekans spektrumlarında, insan dokularında değişik biyolojik etkilere ve etkileşme mekanizmalarına dayanmaktadır. 1 kHz'in altındaki frekanslarda ortalama müsaade edilmez. Mümkün ise güç yoğunluğunun veya alan şiddetinin tepe değerleri ölçümleri, tepe değerlerini takip eden cihazlarla yapılmalıdır. Tarayan ve dönen antenlerin yaydıkları alanların ölçümleri taramayan antenler ile yapılabilir. Tarayan antenden yayılan alanın darbeleme salınımı antenin ışın diyagramına ve tarama frekansına bağlıdır. İdeal olarak aletin tepki zamanı, antenin taramasını durdurmaksızın göstergenin tepe güç yoğunluğu değerini gösterebilmesi için cihazın tepki zamanı darbe genişliğinden kısa olmalıdır.

4.7.2.4. Fiziksel karakteristikler

Doğrudan etkileşimleri en aza indirmek için ışın yapan elemandan yeteri kadar uzakta ölçme yapılmalıdır. Ölçümdeki sapmaları azaltmak için isteğe bağlı olarak cihazla birlikte imalatçı firma tarafından problemlerin ayarları için standart ölçme probu (referans prob) sağlanmalıdır.

4.7.3. İşlemler

4.7.3.1. Kaynak ve yayılma karakteristikleri

Ölçme yapmadan önce ışın yapan kaynakların teknik özelliklerini anlatan bilgiler kullanılarak bilinen kaynaklar ve yayılma özelliklerini, ölçme yapacak kişinin bilmesi tavsiye edilir. Bu alan seviyelerinin daha iyi tespitine ve ayrıca alet ve ölçüm metodunun seçiminde de yardımcı olur. Bu işlemler, alet ve insanlar için muhtemel

tehlikelerin hesaplanmasında yeterli bilgi sağlanmasında yeterli bilgi sağlanmasına yarar. Aşağıda, kaynak ve yayılma karakteristiklerinin listesi verilmiştir.

- Generatörün gücü ve çeşidi
- Taşıyıcı frekansı parazit frekanslar ve modülasyon karakteristikleri
- Darbeleme oranı, darbe genişliği ve darbe tekrarlanma frekansları
- Polarizasyonları ile beraber kaynak sayısı
- Anten ve ışıma kaynağının çeşidi ölçüleri ve kazançları
- İletkenden geçen akım ve gerilimler
- Kaynaktan ölçü sahasına olan mesafe
- Maruz kalma süresi
- Ölçüm alanının yakınlarında soğurucu veya saçıcı cisimlerin mevcudiyeti

4.7.3.2. Tahmin edilen alan şiddeti veya güç akı yoğunluğu seviyelerinin hesabı

Bu bölüm ölçüm yapan kişiler ve cihazlar ile ilgili tehlikelere dikkat çekmektedir. Tahmin edilen alan şiddeti veya güç akı yoğunluğu seviyeleri, bilinen kaynak ve yayılma karakteristiklerinden hesaplanabilir. Eğer mümkünse, güç azaltılması, maruz kalma zaman sınırları gibi ölçme önlemleri ile koruyucu gözlük ve elbise gibi ölçme yapanları koruma teçhizatı kullanılmalıdır.

4.7.3.3. Ölçüm cihazlarının seçimi

Ölçüm cihazlarının seçimi, frekansa, tepki zamanına, tepe değeri kısıtlaması ve alanın polarizasyonuna bağlıdır. Aletin çalışma sınırları, ışıma yapan kaynağın frekanslarını kapsmalıdır. Şayet alan pek çok frekanstan oluşmuş ise rms tepkili geniş bant probu kullanılmalıdır. Her bir bileşen ayrı ayrı frekans seçici özelliği olan alet ile ölçülmelidir. Bu durum bilhassa sınırlar, seviyeler frekansa bağımlı ise daha da önemlidir. Genellikle bu standarda göre, ortalama veya rms değeri cevap zamanı ile ölçülür. Şayet alan yavaş ve periyodik olarak değişiyorsa, uzun periyotlar süresince (saniyeler veya dakikalar) ortalama değer hesaplanabilir veya elektronik olarak tahmin edilebilir. Alanın çok çabuk değişmesi durumunda, örneğin tarayıcı radar anteninde olduğu gibi, dedektörün tepki süresi tepe alan değerinin güvenilebilir

ölçümü için 1 μ s'den az olmalıdır. Tarayıcı radar anteni etrafında alanların ölçümü yapılırken probu düşük darbe oranlı alanlardan korumak için probun tepe değeri sınırları bilinmelidir. Kaynak ve antenin polarizasyonu tam olarak bilinmiyorsa izotropik problemlerin kullanılması tavsiye edilir. Toprağa galvanik veya kapasitif temas veya metalik yapılar ile değme durumlarında temas ve indüklenen vücut akımları, akımın rms değerini gösteren aletler ile ölçülmelidir. 30 MHz'in altındaki frekanslarda temas akımlarının ölçümü, insan vücudunun eşdeğeri olan direnç(R)'nin kullanılması ile yapılır. $R = (-45 \log_{10} f_{\text{MHz}} + 370 \Omega)$ bu standartta verilen değerlere göre ölçülen akımın ortalaması alınmalıdır.

4.7.3.4. Yerinde yapılan ölçümler

Her bir ölçümden önce ve sonra aletin fonksiyonları ikinci bir alet yardımıyla hesaplanan değerler veya bilinen diğer ölçümler ile kontrol edilmelidir. Alanlar ve akımlar gerçek maruz kalma şartlarında ölçülmelidir. Şayet pek çok durum var ise şartları en kötü olan seçilmelidir. Ölçme yapan personelin ölçü aletlerinin zarar görmemesi için ölçümlere kaynaktan emniyetli bir mesafeden başlanmalıdır. Bu mesafe, alan şiddetinin hesabı için yapılan ön çalışmadan çıkarılmalıdır. Işıma seviyesi, ölçmeler ile tespit edildikten sonra ölçümlere yavaş yavaş kaynağa doğru devam edilir. Güç akı yoğunluğu veya alan şiddetine maruz olan kişilerin çalıştığı ve insanın kullanım hacminin değişik noktaları gibi, farklı yerlerde ölçülmelidir ki, alan dağılımı doğru olarak tanımlanabilsin. Şayet insan vücudunun tamamı alanlara maruz kalmış ise ölçüm sonuçlarının insan hacmine göre ortalaması alınmalıdır. Bu ölçüler frekansa bağlı olan ve değiştirilebilen prob kullanılarak elde edilebilir (Karabulut, 2001).

4.7.4. Baz istasyonları ve cep telefonlarına ait ölçümler

Bu bölümde, ülkemizde 13 değişik ilde, ki bunlar Trabzon, Giresun, Ordu, Rize, Artvin, Gümüşhane, Erzurum, Erzincan, Sivas, Ağrı, Iğdır, Kars ve Ardahan'dır, yaklaşık 50 baz istasyonunda 106 değişik hücrede, 3 değişik uzaklıktan yapılan elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu ölçümleri verilecektir. Burada çoğunlukla yoğun kentsel alanlarda kurulu olan baz istasyonları örnek olarak

alınmıştır. Ancak kırsal ve yol kapsama amacıyla kurulmuş olan bazı istasyonlara ait ölçümlere de yer verilmiştir. Ölçümler tek bir operatörün istasyonunun olduğu yerlerde yapıldığı gibi, birden fazla operatörün olduğu noktalarda da gerçekleştirilmiştir. Bu kadar çok baz istasyonu örneği vermenin bir sebebi de özellikle ülkemizde baz istasyonlarına ait tepkinin cep telefonlarına olan tepkiden çok daha fazla olması ve insanların evlerine, işyerlerine veya yakınlarına bir istasyon kurulacağı zaman daha çok tepki göstermelerinden kaynaklanmaktadır.

Ölçümler yapılırken, yukarıda bazı teknik özellikleri anlatılan Wandel&Goltermann EMR-300 isimli cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazının ölçüm için frekans aralığı 3kHz – 60 GHz'dir. Sonuçta kullanılan frekanslar 900 MHz ve 1800 MHz olduğu için bu cihaz tercih edilmiştir. Genel olarak yurtiçi ve yurtdışında yapılan benzer ölçümlerde de sıklıkla bu cihazın kullanıldığı tespit edilmiştir. Burada belirtilmesi gereken bir başak konuda cihazın ölçüm doğruluğudur. Bu da cihazın kalibrasyonu ile ilgilidir. Ölçüm cihazının kalibrasyonu ülkemizde TÜBİTAK UME tarafından yapılmış olup, her 2 yılda bir bu kalibrasyon tekrarlanmaktadır. Kalibrasyon etiketi ve yeniden kalibre edilecek tarihler cihazın üstünde resmi bir etiketle gösterilmiştir. Tez kapsamında yapılan ölçümler de ölçüm yapılan cihaz ve problemlerine ilişkin kalibrasyon özellikleri ise aşağıdaki gibidir;

Ölçüm cihazı için;

Cihaz Kodu : CELLO-FER-003

Seri No: Z-0024

Sertifika No: 2003.FER.007

Kalibrasyon Tarihi: 21.01.2003

E-Alan Probu için;

Prob Tipi:8.3

RS = 1.042

Cihaz Kodu : CELLO-FER-003

Seri No: AA-0019

Sertifika No: 2003.FER.007

Kalibrasyon Tarihi: 21.01.2003

H-Alan Probu için;

Prob Tipi:10.2

RS = 1.081

Cihaz Kodu : CELLO-FER-003

Seri No: X-0022

Sertifika No: 2003.FER.007

Kalibrasyon Tarihi: 21.01.2003

Ölçümlerin daha çok kentsel/yoğun kentsel alanlar veya başka bir ifadeyle urban/dense urban hücreler üstünde yapılmasına çalışılmıştır. Bunun sebebi şudur; kırsal alan veya yol kapsamı amacıyla yapılmış olan istasyonlar her zaman daha geniş bir kapsama sağlamak amacıyla kuleli olarak monte edilmektedirler. Kule yükseklikleri de genellikle 60m ve daha üstü olmaktadır. Ülkemizde maksimum kule yüksekliği 100m'dir. Tablo 4.12'deki güvenlik mesafeleri incelendiğinde maksimum güvenlik mesafesinin belirtilen kule boylarından çok daha küçük olduğu görülecektir. Bu da, bu tarz hücrelerde hem ölçüm yapılırken antenin ana ışın örüntüsüne (main lobe pattern) odaklanmanın imkansızlığını hem de ana ışın bölgesine girildiğinde istasyondan yaklaşık 500m uzaklaşılacağı için herhangi bir riskin oluşmasına izin vermemektedir.

Ölçüm yapılırken 3 farklı uzaklık alınmasını ise şu şekilde açıklayabiliriz. İlk ölçüm uzaklığı, sisteme bir insanın en fazla yaklaşabileceği uzaklık olarak düşünülmüştür. Bu da genellikle güvenlik mesafesi sınırı veya ona yakın bir değer olmaktadır. Burada, eğer antenler bir binanın çatı, teras veya duvarında ise antenin ışın yönünde karşısında yer alan bina veya iş merkezinin ışın yönü doğrultusundaki daire veya dükkanlardan ölçüm alınmıştır. İkinci ölçüm uzaklığı ise antene en yakın ve insanların en yoğun bulunma ihtimalinin olduğu noktalardan yapılmıştır. Bu alanda daha çok antenin ışın yönü doğrultusundaki sokak veya caddelerdir. Üçüncü uzaklık ise antenin ana ışın alanı içinde kalan başka bir uzaklıktan yapılmıştır. Ölçüm yapılan yerlerin büyük bir çoğunluğunda sadece tek bir operatör bulunduğu için sadece ölçüm cihazı ölçüm sırasında kullanılmıştır. Normalde birkaç elektromanyetik ışın kaynağının bulunduğu ortamlarda spektrum analizör ile ölçüm yapmak daha doğru olacaktır.

Ölçüm yapılırken, mevcut çalışan sistem dışında, ölçüm cihazını etkileyebilecek hiçbir elektronik cihaz üzerimizde bulunmamıştır. Bu konu da ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından son derece önemlidir. Birkaç noktada ise, ölçüm yapılan operatörün santrali ile kontak kurularak çalışan sistem kısa süreli halt edilmiş (devre dışı bırakılmış) ve ortamın o andaki elektrik ve manyetik alan değerleri kayda alınmıştır. Burada sistem devre dışı bırakıldığında yapılan ölçüm değerleri bir cep telefonunun idle mod olarak isimlendirdiğimiz sessizlik modundaki kadar değerler görülmüştür. Bunlar ortalama 0.2 V/m olarak söylenebilir.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde, tabloda yer alan değerlerden biri de istasyonda ölçüm yapılan saattir. Burada görüleceği gibi her istasyon için farklı saatlerde ölçümler yapılmıştır. Bunun nedeni ise, her istasyonun kurulduğu yerdeki abone profiline göre farklı yoğun saatler (busy hour) yaşamasıdır. Bu bir istasyondaki 2 hücre için aynı olmayacağı gibi bir hücrenin kendisi için de her gün aynı saatler değildir. Ancak bir hücrenin trafik değerleri istatistiki olarak incelendiğinde her gün o hücreye ait yoğun saatlerin bir değişim gösterdiği ancak belli saatler için bazı yığılmalar olduğu görülecektir. Örneğin bir A hücresi iş merkezlerinin olduğu bir noktaya servis veriyorsa burada beklenen ve gözlenen yoğun saat daha çok öğlen saatleridir. Dolayısıyla ölçümler yapılırken istasyonların yoğun saatlerinin ölçüm anlarına denk getirilmesine çalışılmıştır. Yine tablo incelerken dikkat edilemesi gereken bir noktada istasyon isimlerine ait gösterimdir. Örneğin C+ 3(6,4,2)2 şeklindeki gösterimde C+ kullanılan CDU tipini, ki bu doğrudan çıkış gücünü etkilemektedir, 3, istasyonun kaç sektörden (hücre) oluştuğunu, (6,4,2) her bir hücrede kullanılan TRU sayısını, bu örnek için 1. sektörde 6 TRU, 2.sektörde 4 TRU ve 3.sektörde 2 TRU kullanılmıştır. Sondaki iki ise bu istasyonun tamamında kaç kabinet kullanıldığını göstermektedir.

Ölçümler yapılırken ölçüm cihazının kayıt özelliği de kullanılarak yaklaşık 6 dakikalık ölçümler kaydedilmiş ve bunların ortalaması alınarak ölçüm sonucu olarak kaydedilmiştir.

Tablo 4.13.'de farklı il ve farklı konfigürasyonlardaki BTS'lere yönelik elektromanyetik alan ölçümleri verilmiştir.

Tablo 4.13. Değişik türdeki baz istasyonlarına ait elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu ölçümleri

İstasyon ismi	Hücreler	ÇIKIŞ GÜCÜ (dBm)	Anten Yüksekliği (m)	Antene olan uzaklık (Metre)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m)		Ölçülen Güç Yoğunluğu (W/m ²)	Ölçüm Yapılan Saat	Anten Tipi	Anten Kazancı
						Tek Bir Cihaz için	Ortamın Toplamı				
1 C+ 3(6,6,5)3	1 SEKTÖR	47	25	20	0.0016		0.7	0.0001	13:52	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			40	0.0012		0.48	0.0001	13:58	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			60	0.0012		0.47	0.0001	14:05	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	47	25	20	0.0018		0.76	0.0001	14:10	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			40	0.0016		0.56	0.0001	14:15	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			60	0.0014		0.54	0.0001	14:21	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR	47	25	20	0.0028		0.97	0.0001	14:24	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			40	0.0018		0.75	0.0001	14:30	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			60	0.0018		0.52	0.0001	14:36	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
2 C+ 3(3,2,4)2	1 SEKTÖR	47	25	20	0.002		0.76	0.0001	14:41	K 730 374	13 dBi
	1 SEKTÖR			35	0.0016		0.57	0.0001	14:46	K 730 374	13 dBi
	1 SEKTÖR			55	0.0014		0.54	0.0001	14:52	K 730 374	13 dBi
	2 SEKTÖR	47	25	20	0.0012		0.48	0.0001	14:55	K 730 374	13 dBi
	2 SEKTÖR			40	0.0016		0.57	0.0001	15:01	K 730 374	13 dBi
	2 SEKTÖR			60	0.0009		0.37	0	15:06	K 730 374	13 dBi
	3 SEKTÖR	47	25	20	0.0011		0.42	0	15:09	K 730 374	13 dBi
	3 SEKTÖR			40	0.0008		0.36	0	15:15	K 730 374	13 dBi
	3 SEKTÖR			60	0.0006		0.32	0	15:21	K 730 374	13 dBi
3 C+ 3(3,4,3)2	1 SEKTÖR	47	25	20	0.0051		2.1	0.0012	15:24	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			40	0.004		1.5	0.0006	15:30	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			60	0.0049		1.83	0.0009	15:36	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi

4 C+ 3(3,6,4)3	2 SEKTÖR	47	25	20	0.0038	1.42	0.0005	15:40	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			40	0.003	1.02	0.0002	15:46	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			60	0.0029	0.98	0.0002	15:52	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			20	0.0034	1.2	0.0003	15:56	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR	47	25	40	0.0028	0.97	0.0002	16:01	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			60	0.002	0.78	0.0001	16:07	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			20	0.0012	0.48	0.0001	09:43	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	1 SEKTÖR	47	27	40	0.0022	0.79	0.0002	09:50	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			60	0.002	0.76	0.0002	09:56	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
5 C+ 3(3,3,4)2	2 SEKTÖR			20	0.0013	0.5	0.0001	09:59	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	47	27	40	0.0014	0.57	0.0001	10:05	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			60	0.0017	0.65	0.0001	10:12	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			20	0.0012	0.47	0.0001	10:15	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR	47	27	40	0.002	0.75	0.0001	10:20	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			60	0.0014	0.52	0.0001	10:25	K 739 622; K 732 448	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			20	0.0055	2.07	0.001	10:05	K 736 347	11 dBi
	1 SEKTÖR	45	21	40	0.0049	1.84	0.0009	10:11	K 736 347	11 dBi
	1 SEKTÖR			60	0.004	1.51	0.0006	10:17	K 736 347	11 dBi
6 200 1(4)1	2 SEKTÖR			20	0.0046	1.76	0.0008	10:20	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	47	21	40	0.003	1.03	0.0002	10:26	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			60	0.0034	1.11	0.0003	10:32	K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			20	0.0034	1.21	0.0004	10:34	K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR	47	21	40	0.0028	0.97	0.0002	10:40	K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			60	0.0018	0.76	0.0001	10:46	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			15	0.0020	0.75	0.0001	10:45	K 736 347	11 dBi
	1 SEKTÖR	45	21	30	0.0013	0.51	0.0001	10:53	K 736 347	11 dBi
	1 SEKTÖR			40	0.0017	0.65	0.0001	10:59	K 736 347	11 dBi
7 C+ 2(4,2)2	1 SEKTÖR	45	20	15	0.0014	0.55	0.0001	16:10	K 730 382	16 dBi
	1 SEKTÖR			30	0.0008	0.30	0.0001	16:16	K 730 382	16 dBi

	1 SEKTÖR						1.07	0.0001	16:22	K 730 382	16 dB
	2 SEKTÖR						0.36	0.0001	16:23	K 730 376	18,5 dB
	2 SEKTÖR	45	20				1.02	0.0003	16:26	K 730 376	18,5 dB
	2 SEKTÖR						0.43	0.0001	16:29	K 730 376	18,5 dB
8 C+ 2(3,4)2	1 SEKTÖR						7,25	0.0140	16:44	K 739 620; K 730 360	12,5 dB
	1 SEKTÖR	47	21				1,00	0.0003	16:50	K 739 620; K 730 360	12,5 dB
	1 SEKTÖR						0.57	0.0001	16:56	K 739 620; K 730 360	12,5 dB
	2 SEKTÖR						0.65	0.0001	16:08	K 739 620	12,5 dB
	2 SEKTÖR	47	21				0.77	0.0001	16:11	K 739 620	12,5 dB
	2 SEKTÖR						0.40	0.0001	16:14	K 739 620	12,5 dB
9 C+ 2(6,3)2	1 SEKTÖR						1,48	0.0009	15:12	K 732 448	15,5 dB
	1 SEKTÖR	47	30				1,10	0.0005	15:19	K 732 448	15,5 dB
	1 SEKTÖR						0.54	0.0001	15:26	K 732 448	15,5 dB
	2 SEKTÖR						1,01	0.0003	15:29	K 732 448	15,5 dB
	2 SEKTÖR	47	30				0.90	0.0002	15:34	K 732 448	15,5 dB
	2 SEKTÖR						0.41	0.0001	15:40	K 732 448	15,5 dB
10 C+ 3(4,2,4)3	1 SEKTÖR						2,490	0.016434	18:20	K730 376	18,5 dB
	1 SEKTÖR	45	15				1,470	0.005733	18:26	K730 376	18,5 dB
	1 SEKTÖR						1,210	0.003872	18:33	K730 376	18,5 dB
	2 SEKTÖR						1,670	0.007348	18:40	K730 376	18,5 dB
	2 SEKTÖR	45	15				1,280	0.004352	18:46	K730 376	18,5 dB
	2 SEKTÖR						1,160	0.003596	18:53	K730 376	18,5 dB
11 C+ 1(2)1	3 SEKTÖR						1,240	0.004092	19:00	K730 376	18,5 dB
	3 SEKTÖR	45	15				1,050	0.002940	19:07	K730 376	18,5 dB
	3 SEKTÖR						0,950	0.002375	19:13	K730 376	18,5 dB
	1 SEKTÖR						1,020	0.002754	17:15	k732 448	15,5 dB
	1 SEKTÖR	47	5				0,930	0.002325	17:21	k732 448	15,5 dB
	1 SEKTÖR						0,810	0.001782	17:28	k732 448	15,5 dB
12 C+	1 SEKTÖR	47	5			2,190	0.012702	09:51	K739 622	15,5 dB	

1(4)1	1 SEKTÖR			11	0.0043		1.630	0.007009	09:57	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			16	0.0030		1.140	0.003420	10:03	K 739 622	15,5 dBi
13 C+ 2(3,2)1	1 SEKTÖR		14	5	0.0074		2.780	0.020572	20:18	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR	47		10	0.0029		1.080	0.003132	20:24	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			15	0.0023		0.850	0.001955	20:30	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR		14	5	0.0036		1.360	0.004896	20:39	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	47		10	0.0023		0.860	0.001978	20:45	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			15	0.0018		0.690	0.001242	20:51	K 739 622	15,5 dBi
14 C+ 2(6,6)2	1 SEKTÖR		34	35	0.0028		1.070	0.002996	09:15	K 730 376	18,5 dBi
	1 SEKTÖR	45		40	0.0022		0.820	0.001804	09:21	K 730 376	18,5 dBi
	1 SEKTÖR			45	0.0016		0.610	0.000982	09:27	K 730 376	18,5 dBi
	2 SEKTÖR		34	35	0.0030		1.120	0.003326	09:34	K 730 376	18,5 dBi
	2 SEKTÖR	47		40	0.0023		0.870	0.002001	09:40	K 730 376	18,5 dBi
	2 SEKTÖR			45	0.0018		0.660	0.001188	09:46	K 730 376	18,5 dBi
15 C+ 3(4,4)3	1 SEKTÖR		19	10	0.0029		1.120	0.003248	08:00	K 739 620	12,5 dBi
	1 SEKTÖR	47		20	0.0022		0.840	0.001848	08:06	K 739 620	12,5 dBi
	1 SEKTÖR			25	0.0011		0.410	0.000451	08:12	K 739 620	12,5 dBi
	2 SEKTÖR		19	10	0.0023		0.850	0.001955	08:19	K 739 620	12,5 dBi
	2 SEKTÖR	47		20	0.0019		0.720	0.001368	08:25	K 739 620	12,5 dBi
	2 SEKTÖR			25	0.0095		0.360	0.003420	08:31	K 739 620	12,5 dBi
16 C+ 2(3,3)2	3 SEKTÖR		50	10	0.0033		1.230	0.004059	08:38	K 739 620	12,5 dBi
	3 SEKTÖR	47		20	0.0026		0.980	0.002548	08:44	K 739 620	12,5 dBi
	3 SEKTÖR			25	0.0015		0.550	0.000825	08:50	K 739 620	12,5 dBi
	1 SEKTÖR		45	55	0.0017		1.060	0.001802	17:39	K 730 382	16 dBi
	1 SEKTÖR	45	50	60	0.0013		0.710	0.000923	17:45	K 730 382	16 dBi
	1 SEKTÖR			65	0.0007		0.530	0.000371	17:52	K 730 382	16 dBi
16 C+ 2(3,3)2	2 SEKTÖR		50	55	0.0015		0.560	0.000840	18:00	K 730 382	16 dBi
	2 SEKTÖR	45		60	0.0009		0.370	0.000333	18:07	K 730 382	16 dBi
	2 SEKTÖR			65	0.0006		0.240	0.000154	18:14	K 730 382	16 dBi
	2 SEKTÖR	45	50	65	0.0006		0.240	0.000154	18:14	K 730 382	16 dBi

17 C+AC+ 3(4,2,4)2	1 SEKTÖR	47	50	55	0.0021		0.780	0.001614	20:13	K 730 360	12,5 dBi
	1 SEKTÖR			60	0.0014		0.530	0.000745	20:20	K 730 360	12,5 dBi
	1 SEKTÖR			65	0.0011		0.410	0.000446	20:26	K 730 360	12,5 dBi
	2 SEKTÖR			55	0.0018		0.660	0.001155	20:32	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	47	50	60	0.0013		0.490	0.000637	20:38	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			65	0.0007		0.280	0.000208	20:44	K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			55	0.0020		0.740	0.001453	20:50	K730 376	18,5 dBi
	3 SEKTÖR	47	50	60	0.0018		0.680	0.001227	20:56	K730 376	18,5 dBi
	3 SEKTÖR			65	0.0010		0.370	0.000363	21:02	K730 376	18,5 dBi
	1 SEKTÖR			4	0.0068		2.570	0.017476	09:41	K 739 622	15,5 dBi
18 C+ 2(4,2)1	1 SEKTÖR	47	8	13	0.0031		1.180	0.003658	09:35	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			18	0.0026		0.970	0.002522	09:29	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	47	8	4	0.0054		2.050	0.011070	10:01	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			13	0.0040		1.490	0.005960	09:54	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			18	0.0032		1.200	0.003840	09:48	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR			40	0.0021		0.77	0.0002	11:40	K 739 620; K 730360	12.5
19 C+ 3(2,3,3)2	1 SEKTÖR	47	17	30	0.0017		0.63	0.0001	11:45	K 739 620; K 730360	12.5
	1 SEKTÖR			20	0.0030		1.13	0.0003	11:50	K 739 620; K 730360	12.5
	2 SEKTÖR			12	0.0051		1.93	0.0010	11:51	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	47	17	7	0.0141		5.3	0.0075	11:54	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR			5	0.0276	BALKONDAN	10,38	0.0287	12:00	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			20	0.0016		0.59	0.0001	12:03	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR	47	17	10	0.0273	BALKONDAN	10,22	0.0282	12:08	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR			15	0.0095		3.58	0.0034	12:14	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR(1.YÖN)	47 (2'li güç bölücü kullanılmış)	40	40	0.0046		1,75	0.0008	14:44	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
20 C+ 3(3,6,4)3	1 SEKTÖR(1.YÖN)			30	0.0050		1,88	0.0009	14:47	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR(1.YÖN)			50	0.0037		1,40	0.0005	14:50	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR(2.YÖN)		40	50	0.0050		1,89	0.0009	14:53	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR(2.YÖN)			40	0.0038		1,44	0.0006	14:56	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi

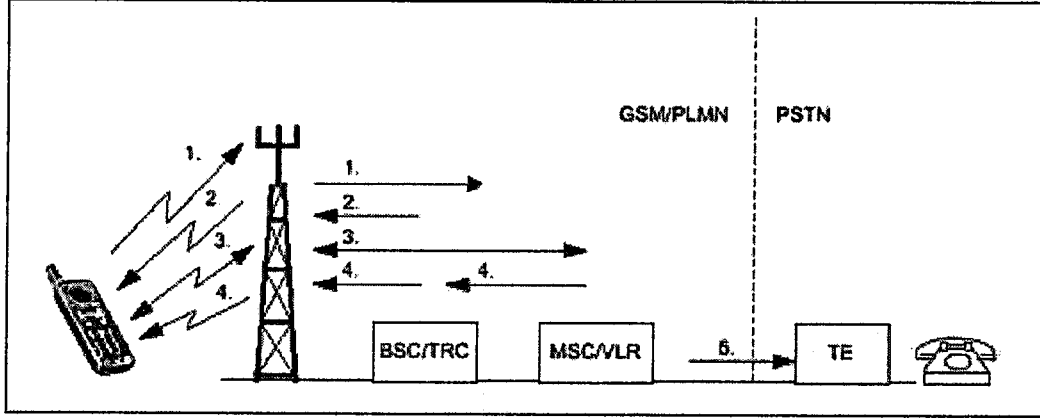
33 AC+ 2(2,2,2)1	3 SEKTÖR				35	0.0019		0.710	0.001349	15:11	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR				40	0.0074		2,73	0.0021	07:52	K 735 727	16,5 dBi
	1 SEKTÖR	45	7		30	0.0064		2,35	0.0015	07:58	K 735 727	16,5 dBi
	1 SEKTÖR				20	0.0108		4,06	0.0044	08:04	K 735 727	16,5 dBi
	2 SEKTÖR				10	0.0200		7,55	0.0151	08:10	K 735 727	16,5 dBi
	2 SEKTÖR	47	7		30	0.0124		4,68	0.0058	08:15	K 735 727	16,5 dBi
	2 SEKTÖR				20	0.0127		4,78	0.0061	08:20	K 735 727	16,5 dBi
	3 SEKTÖR				10	0.0037		1,38	0.0005	08:23	k 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR	47	7		20	0.0030		1,12	0.0003	08:28	k 732 448	15,5 dBi
	3 SEKTÖR				30	0.0012		0,46	0.0001	08:33	k 732 448	15,5 dBi
34 C+ 2(5,5)2	1 SEKTÖR				35	0.0010		4,030	0.004030	13:35	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR	47	30		40	0.0120		4,520	0.054240	13:41	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR				45	0.0125		4,650	0.058125	13:47	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR				35	0.0100		3,780	0.037800	13:56	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	43	30		40	0.0097		3,640	0.035308	14:02	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR				45	0.0126		4,760	0.059976	14:08	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR				35	0.0036		1,370	0.004932	12:40	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR	47	30		40	0.0018		0,670	0.001206	12:47	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR				45	0.0028		1,040	0.002912	12:54	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR				35	0.0016		0,610	0.000976	13:03	K 739 622	15,5 dBi
35 C+ 3(6,4,5)3	2 SEKTÖR	47	30		40	0.0033		1,230	0.004059	13:10	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR				45	0.0036		1,360	0.004896	13:16	K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR				35	0.0033		1,230	0.004059	13:24	K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR	45	30		40	0.0026		0,990	0.002574	13:30	K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR				45	0.0022		0,830	0.001826	13:36	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR				18	0.0034		1,270	0.004277	07:25	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR	47	17		23	0.0028		1,060	0.002980	07:32	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR				28	0.0026		0,970	0.002493	07:39	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR	47	17		18	0.0048		1,830	0.008784	07:48	K 739 620	12,5 dBi

	2 SEKTÖR					1.190	0.003689	07:55	K 739 620	12,5 dBi
	2 SEKTÖR				23	0.0031				
	2 SEKTÖR				28	0.0016				
	3 SEKTÖR				18	0.0051				
	3 SEKTÖR	45	17		23	0.0045				
	3 SEKTÖR				28	0.0032				
37 C+ 1(4)1	1 SEKTÖR				20	0.0026				
	1 SEKTÖR	47	18		25	0.0047				
	1 SEKTÖR				30	0.0031				
38 C+ 2(3,3)2	1 SEKTÖR				10	0.0041				
	1 SEKTÖR	47	8		15	0.0035				
	1 SEKTÖR				20	0.0025				
39 C+ 1(5)1	2 SEKTÖR				10	0.0037				
	2 SEKTÖR	47	8		15	0.0033				
	2 SEKTÖR				20	0.0023				
40 C+ 2(5,4)2	1 SEKTÖR				20	0.0058				
	1 SEKTÖR	47	25		30	0.0032				
	1 SEKTÖR				35	0.0016				
41 C+ 2(4,6)2	1 SEKTÖR				10	0.0027				
	1 SEKTÖR	47	28		30	0.0019				
	1 SEKTÖR				35	0.0015				
	2 SEKTÖR				5	0.0067				
	2 SEKTÖR	47	24		25	0.0014				
	2 SEKTÖR				30	0.0010				
	1 SEKTÖR				30	0.0013				
	1 SEKTÖR	47	27		35	0.0016				
	1 SEKTÖR				40	0.0011				
	2 SEKTÖR				30	0.0014				
	2 SEKTÖR	47	27		35	0.0011				
	2 SEKTÖR				40	0.0015				

42 C+ 1(6)1	1 SEKTÖR	47	21	31	0.0010		0.360	0.000360	10:35	K 739 622	15,5 dBi							
	1 SEKTÖR											36	0.0021	0.780	0.001638	10:42	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR											41	0.0038	1.440	0.005472	10:49	K 739 622	15,5 dBi
43 C+ 1(4)1	1 SEKTÖR	47	13	6.5	0.0191		7.200	0.137500	14:04	K 739 620	12,5 dBi							
	1 SEKTÖR											15	0.0170	6.380	0.108400	14:10	K 739 620	12,5 dBi
	1 SEKTÖR											20	0.0160	6.100	0.097600	14:17	K 739 620	12,5 dBi
44 C+ 2(3,5)2	1 SEKTÖR	45	12	12	0.0050		1.880	0.009375	08:00	k741 717	15,5 dBi							
	1 SEKTÖR											17	0.0037	1.380	0.005106	08:07	k741 717	15,5 dBi
	1 SEKTÖR											22	0.0027	1.020	0.002759	08:14	k741 717	15,5 dBi
45 C+ 1(4)1	2 SEKTÖR	47	15	15	0.0035		1.310	0.004551	08:23	K 739 620	12,5 dBi							
	2 SEKTÖR											20	0.0032	1.210	0.003883	08:30	K 739 620	12,5 dBi
	2 SEKTÖR											25	0.0029	1.090	0.003151	08:37	K 739 620	12,5 dBi
46 C+ 3(3,3,2)2	1 SEKTÖR	47	13	10	0.0049		1.860	0.009170	15:00	K 736 347	11 dBi							
	1 SEKTÖR											15	0.0038	1.450	0.005570	15:07	K 736 347	11 dBi
	1 SEKTÖR											20	0.0030	1.130	0.003380	15:14	K 736 347	11 dBi
47 C+ 1(4)1	1 SEKTÖR	47	16	15	0.0091		3.460	0.031486	17:20	K 739 622	15,5 dBi							
	1 SEKTÖR											20	0.0072	2.680	0.019296	17:27	K 739 622	15,5 dBi
	1 SEKTÖR											25	0.0065	2.340	0.015210	17:34	K 739 622	15,5 dBi
48 C+ 3(3,3,2)2	2 SEKTÖR	47	16	16	0.0064		2.450	0.015680	17:41	K 739 622	15,5 dBi							
	2 SEKTÖR											21	0.0038	1.460	0.005548	17:48	K 739 622	15,5 dBi
	2 SEKTÖR											26	0.0033	1.280	0.004224	17:57	K 739 622	15,5 dBi
47 C+ 1(4)1	3 SEKTÖR	47	16	16	0.0040		1.510	0.006040	18:05	K 739 622	15,5 dBi							
	3 SEKTÖR											21	0.0035	1.330	0.004655	18:12	K 739 622	15,5 dBi
	3 SEKTÖR											26	0.0024	0.890	0.002136	18:19	K 739 622	15,5 dBi
47 C+ 1(4)1	1 SEKTÖR	45	5	5	0.0176		6.650	0.117040	14:35	k 739 619	9dBi							
	1 SEKTÖR											10	0.0080	3.030	0.024240	14:42	k 739 619	9dBi
	1 SEKTÖR											15	0.0056	2.120	0.011872	14:49	k 739 619	9dBi
48 C+ 3(3,3,2)2	1 SEKTÖR(1.YÖN)	47 (3'lü güç bölücü)	16	35	0.0019		0.710	0.001349	16:18	K 732 448	15,5 dBi							
	1. SEKTÖR(1.YÖN)											40	0.0020	0.740	0.001480	16:24	K 732 448	15,5 dBi

49 C+ 3(3,4,3)3	1. SEKTÖR(1.YÖN)		45	0.0012		0.450	0.000540	16:30	K 732 448	15,5 dBi	
	1 SEKTÖR(2.YÖN)	16	65	0.0018		0.680	0.001224	16:38	K 730 382	16 dBi	
	1. SEKTÖR(2.YÖN)		70	0.0014		0.520	0.000728	16:44	K 730 382	16 dBi	
	1. SEKTÖR(2.YÖN)		75	0.0008		0.310	0.000248	16:50	K 730 382	16 dBi	
	1. SEKTÖR(3.YÖN)	16	65	0.0012		0.460	0.000552	16:59	K 732 448	15,5 dBi	
	1. SEKTÖR(3.YÖN)		70	0.0021		0.780	0.001638	17:05	K 732 448	15,5 dBi	
	1. SEKTÖR(3.YÖN)		75	0.0012		0.460	0.000552	17:11	K 732 448	15,5 dBi	
	50 D 1(2)1	1 SEKTÖR		10	0.0068		2,56	0.0017	12:09	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
		1 SEKTÖR	17	15	0.0037		1,39	0.0005	12:12	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
		1 SEKTÖR		20	0.0024		0.90	0.0002	12:15	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
2 SEKTÖR		25		0.0023		0.88,	0.0002	12:18	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi	
2 SEKTÖR		15	15	0.0016		0.61	0.0001	12:21	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi	
2 SEKTÖR			10	0.0025		0.94	0.0002	12:24	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi	
3 SEKTÖR			5	0.003		1.18	0.0005	12:27	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi	
3 SEKTÖR		16	10	0.0031		1.2	0.0004	12:30	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi	
3 SEKTÖR			20	0.0018		0.67	0.0001	12:33	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi	
1 SEKTÖR	2		0.0004		0.2	0	14:30	K 737 602	2 dBi		
		35 (INDOOR ANTEN)	4								

Tablo 4.14.'de değişik marka ve modellerdeki cep telefonları için yapılan üç farklı moddaki elektromanyetik alan ölçümleri verilmiştir. Öncelikle cep telefonu ile bir çağrının kurulması sürecinde hangi sinyalleşmeler gerçekleşiyor ve cep telefonu bu 3 çalışma modunu hangi dönemlerde gerçekleştirmektedir, bunu inceleyelim.



Şekil 4.7. MS (Cep telefonu) ile bir çağrı kurulması ve MS'in 3 farklı çalışma modu

1. MS, sinyalleşme kanalı istemek için bir RACH gönderir
2. BSC, MS'e bir sinyalleşme kanalı atar ve bunu MS'e AGCH ile bildirir.
3. SDCCH kanalı üzerinden konuşma kurmak için gerekli her türlü sinyalleşme yapılır
4. MSC, BSC'ye bir TCH kanalı atmasını bildirir, BSC2de bunu BTS vasıtasıyla MS'e gönderir
5. MSC aranan numarayı diğer santrale gönderir
6. Eğer aranan numara cevap verirse konuşma başlar.

Cep telefonlarının 3 farklı çalışma modu bulunmaktadır. Bunlar; sessizlik modu (idle mode), çağrı kurulma modu (call setup) ve konuşma modu (active mode). Şekil 4.7 ayrıntılı olarak incelendiğinde 1 no'lu işlemden önceki her an, yani cep telefonundan herhangi bir arama, mesaj gönderme vb. herhangi bir işlem yapılmadığı ana sessizlik modu denir. 1-6 nolu işlem basamakları arasındaki sürece çağrı kurulma modu, 6 nolu işlemden sonra karşılıklı konuşmanın başladığı andan itibaren konuşmabittinceye kadar geçen sürece konuşma modu denir. Cep telefonlarında anlatılan bu 3 farklı modda ölçüm yapılmasının nedeni ise her çalışma modunun

kendine has bir yapısı olması ve burada ölçülen elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin birbirlerinden kesin çizgilerle ayrılabilir olmasıdır.

Cep telefonlarına ait ölçümler yapılırken, CDU C+, K 739 622 X-pol antenden (anten kazancı 15.5 dBi, 65° yatay 14° düşey polarizasyona sahip anten) servis alan bir hücrede, antene 7m. mesafeden, ana ışın alanı içinden ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılan hücrede herhangi bir güç kısmı söz konusu olmadığı gibi maksimum güçle çalıştırılmıştır. Bu sınır güvenlik mesafesinin 1.5 m. fazlasıdır. Tüm telefonlar bayilerden yeni alınarak ölçüm yapılmıştır. Bunun sebebi de, telefon bataryalarının zaman içinde batarya ömürlerini doldurarak daha kısa sürede daha fazla güç harcamalarından kaynaklanabilecek ölçüm yanlışlığına düşmemektir. Yine ölçümler yapılırken aranan abone de benzer bir hücrede aynı mesafede durarak senkronizasyon sağlanmıştır.

Ölçümlerde, telefon isimleri hukuki durumlar gözönünde bulundurulduğu için verilmeyecektir. Ancak bu telefon modelleri, ülkemizde şu anda abonelerin yoğun olarak kullandığı telefon modelleridir. Ölçüm sonuçlarına ait yorumlar ve öneriler de sonuçlar bölümünde verilecektir.

Tablo 4.14. Değişik marka ve model cep telefonlarına ait E-alan ölçümleri

TELEFON MODELİ	ELEKTRİK ALAN (V/m)		
	Sessizlik Modu	Çağrı Kurma Modu	Konuşma Modu
1	0.1206	18.45	3.7082
2	0.1	9.8725	12.3602
3	0.377	74.3112	9.3126
4	0.14064	10.47	6.7905
5	0.4659	16.572	6.5902
6	0.2579	33.7514	14.2387
7	0.16	37.3	11.83
8	0.39	42.83	20.05
9	0.45	26.57	15.46
10	0.3	14.1	4.5
11	0.2	6.2	1.6
12	0.2	8.5	2.1
13	0.2	5.5	2.1
14	0.1	15.1	10.5
15	0.2	17.2	3.5
16	0.2	6.7	3.5
17	0.04	55.08	11.86
18	0.15	18.29	3.2
19	0.18	25.07	3.5
20	0.2	12.5	4.5

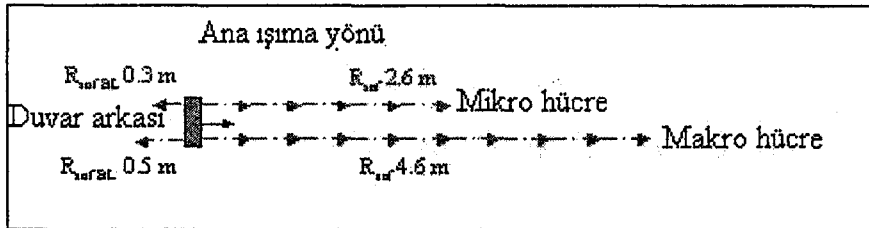
5. ANTEN MONTAJLARINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN NOKTALAR

Bu bölümde, özellikle binalara yapılan anten montajlarında antenlerin yeri konusunda nelere dikkat edilmesi gerektiği ve bu konuda nasıl anten montajı yapılması, antenlerin nerelere montaj edilmesi gerektiği gibi konular işlenerek, bazı örneklerle konu daha ayrıntılı olarak işlenmeye çalışılacaktır.

5.1. Güvenlik Mesafesi ve Sağlık Kriterlerine Göre Anten Montajları

5.1.1. Antenlerin duvar arkası ışması

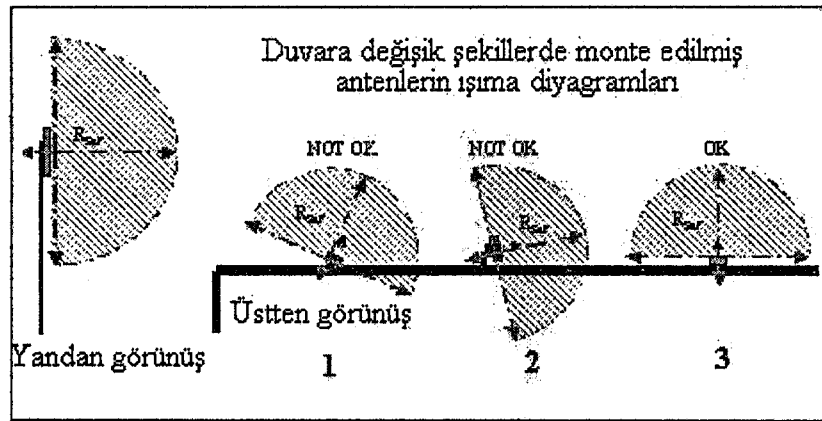
Genelde bina montajlarında antenler, duvar yüzeyine monte edilerek cadde ve sokak kapsanması amaçlanır. Burada antenin duvar arkası ışması hiç dikkate alınmaz. Çünkü duvarların et kalınlığı ve antenlerin ana ışmasının ön yüzeyde olması arkadan hiç ışma yapmayacağı gibi bir kabulü gerektirir. Arka lob'da duvar zayıflatma etkisi mutlaka göz önüne alınmalıdır (Jokela ve diğ.,1999).



Şekil 5.1. Antenin güvenlik mesafesini (R_{saf}) gösteren resim.

5.1.2.Etki bölgesi

1. Halkın kolayca erişebileceği yere **Etki Bölgesi** denir.
2. Antenin önü, antenin ana yönünden ± 90 derece genişliktedir.
3. Güvenlik mesafesi R_{saf} antenin önünde “küresel yüzey” oluşturur.
4. Arka lob etki noktası sadece antene çok yaklaşma ve dokunma ihtimali varsa geçerlidir.
 - Arka lob için güvenlik mesafesi çok küçüktür çünkü antenlerin ön arka oranı (front to back ratio) daima >20 dB, genelde 30 dB dir.
 - Antenlerin arka lobunun bina içinde problem yaratmaması için antenler katlar arası minimum offset ya da offsetsiz yerleştirilmelidir.
5. Etki noktası, hesaplanan güvenlik mesafesi, R_{saf} den daha uzakta olmalıdır.
 - Etki kestirimleri (hesaplamaları) için duvar zayıflaması da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.
6. Anten halkın (şekilde gösterilen) taralı bölgeye ulaşamayacağı şekilde yerleştirilmelidir. Taralı bölgeler güç yoğunluğu limitini aşabilir, aşağıdaki resme bakınız.



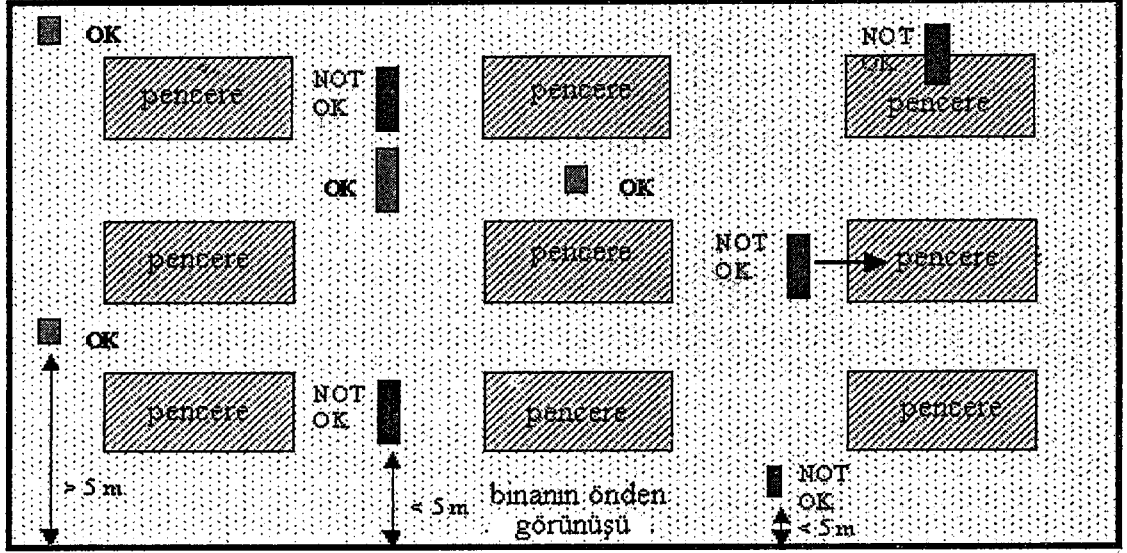
Şekil 5.2. Duvar montajı yapılan antenlerin ışıma yönlerine göre doğru veya yanlış montaj şekilleri

Şekil 5.2.'den de görüleceği gibi (1) ve (2) no'lu örneklerde antenler duvara belli açılarla monte edilmişlerdir. Bu da 1. örnekte antenin side lobe'unun (yan ışınma alanı) pencereden bina içine girmesine, 2. örnekte ise hem main lobe (ana ışınma alanı) hem de side lobe'unun pencereden bina içine girmesine ve güvenlik mesafesi sınırlarının evin odası içine girmesine neden olmaktadır. Aslında böyle bir anten montajı hücre planlama açısından da yanlıştır. Çünkü bu tarz bir anten montajında anteninizden alacağınız kapsama veriminin bir kısmını kaybetmiş olursunuz. Bu da istenmeyen bir durumdur. Çünkü böyle bir anten montajı ile amaç sokak veya cadde kapsamasıdır. Bir evin veya bir odanın kapsanması değildir. Dolayısıyla bu montaj, planlama mühendisinin, bu istasyondan istediği verimi alamamasına neden olmaktadır.

5.1.3. Antenlerin duvara yerleştirilmesi

Antenin duvara yerleştirilmesinde kullanılacak yöntem aşağıda açıklanmış ve resim üzerinde gösterilmiştir.

- Antenler pencerelerle aynı seviyede değil, kat aralarında olmalıdır.
- Antenler pencerenin önüne gelecek şekilde montaj yapılmamalıdır.
- Antenin alt ucunun yerden yüksekliği 5m den fazla olmalıdır.
- Mikro hücrelerde de, anten duvar normaline dik olmalıdır, çevrilmesine izin verilmemelidir.
- Çok özel durumlar dışında mekanik tilt kullanılmamalıdır.
- Normal şartlarda halk antene erişememeli yada dokunamamalıdır.
- Duvar başına en fazla bir sektör olmalıdır.

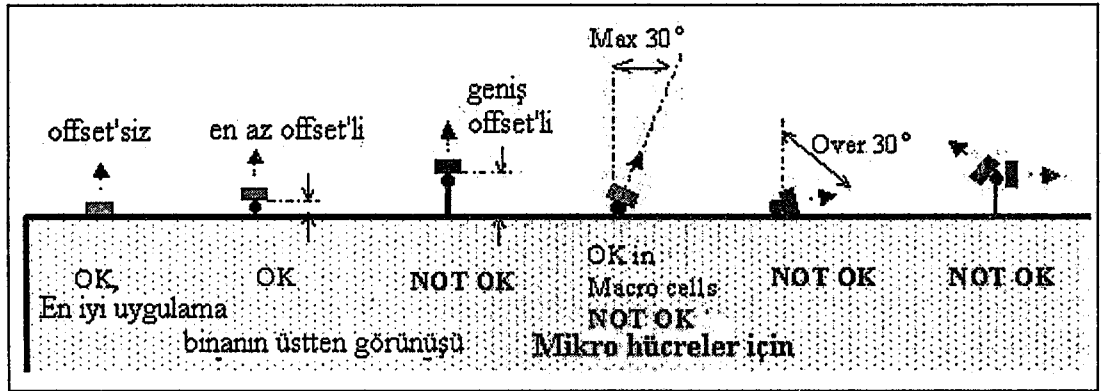


Şekil 5.3. Bir binanın ön görünüşünden yanlış ve doğru anten yerleri

5.1.4. Anten yönleri ve offset kullanımı

Duvarlara offsetli (kaydırmalı) yani duvardan belli bir mesafeden sonra özel bir aparatla antenlerin monte edilmesi konusunda Şekil 5.4. referans olarak alınabilir.

- Mikro hücrelerde antenin çevrilmesine izin verilmemelidir.
- Makro hücrelerde duvar normaline göre maximum çevirme açısı 30 derece olmalıdır.
- Offset kaldırılmalı yada minimuma indirilmelidir.
- En iyi yol, anteni direk duvara ; duvarın normali yönünde yerleştirmektir.
- Sadece panel antenler kullanılabilir ve düz (flat) paneller tercih edilir.
- Özel durumlar dışında mekanik tilt kullanılmamalıdır.



Şekil 5.4. Anten montajlarında doğru ve yanlış offset kullanımı

5.1.7. Dar açılı anten kullanımı

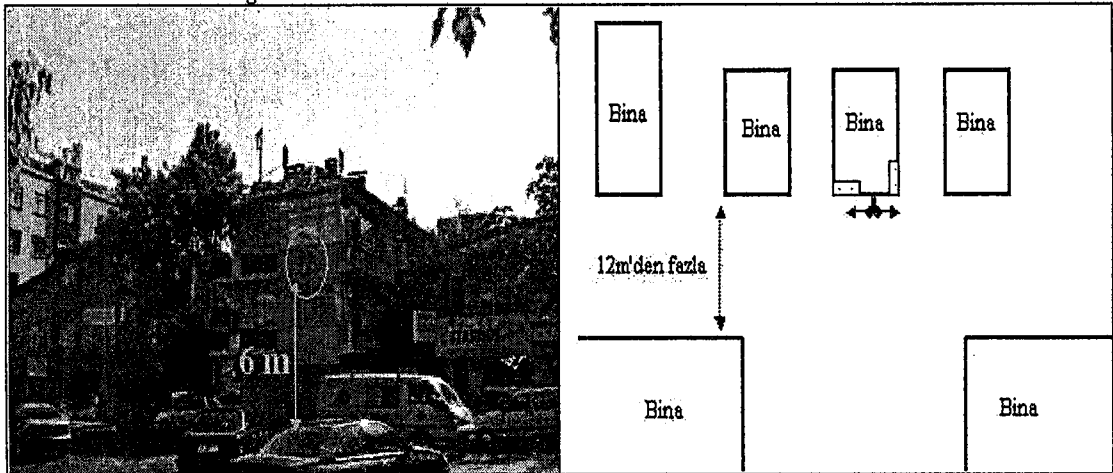
- Işın genişliği 50 dereceden az olan antenlere (50 dereceden daha dar açılı antenler) dar (ışınlı) açılı antenler denir
- Dar açılı antenler kentlerde sadece özel çözümler için kullanılabilir.
- Kırsal kesimlerde dar açılı antenlerin kullanılmamalıdır.
- Duvar montajlarında panel tip antenler kullanılmalıdır.
- Sektör başına, duvar montajında kullanılacak anten sayısı maksimum 1; çatıya yapılacak montaj sonrasında maksimum anten sayısı 2 olmalıdır.

5.1.8. Tilt

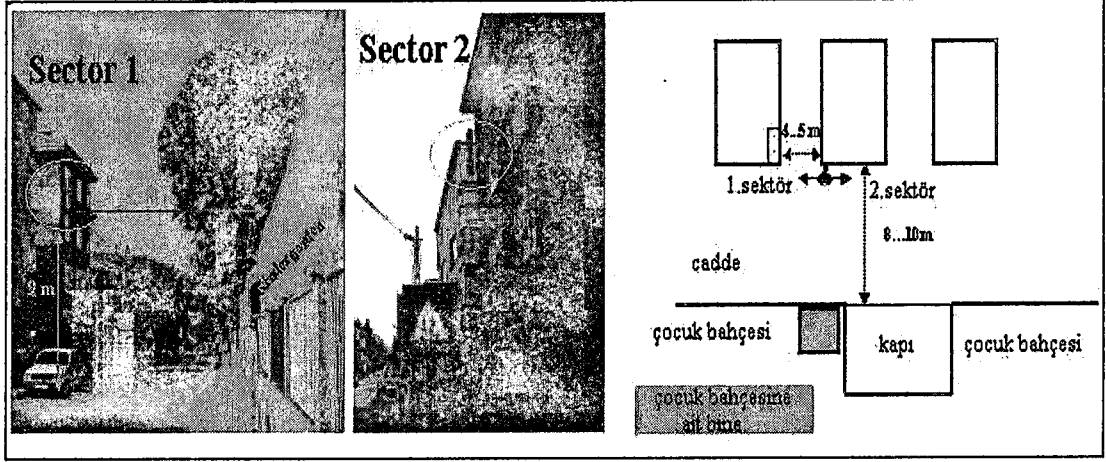
- Elektriksel tilt her zaman tercih edilmelidir.
- Duvar montajlarında mekanik tilt kullanılmamalıdır.
- Micro hücrelerde tilt kullanılmamalıdır.

5.2.Örnek Uygulamalar

Bu bölümde şu anda ülkemizde kurulu bulunan GSM baz istasyonlarına ait montaj örnekleri iyi kötü bulgularla sunulacaktır. Örnekler çoğunlukla İstanbul, Ankara ve İzmir'den alınmıştır.



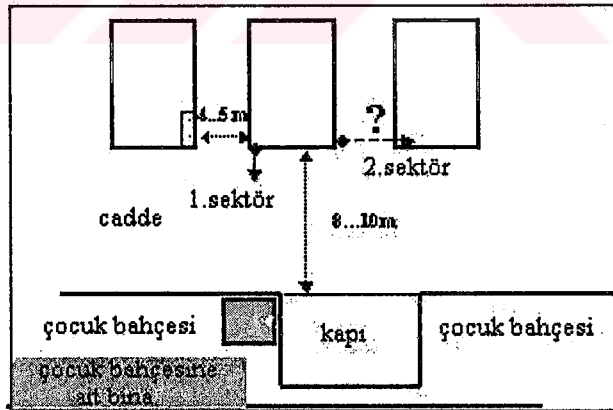
Şekil 5.6. Anten montajı uygulama örneği-1



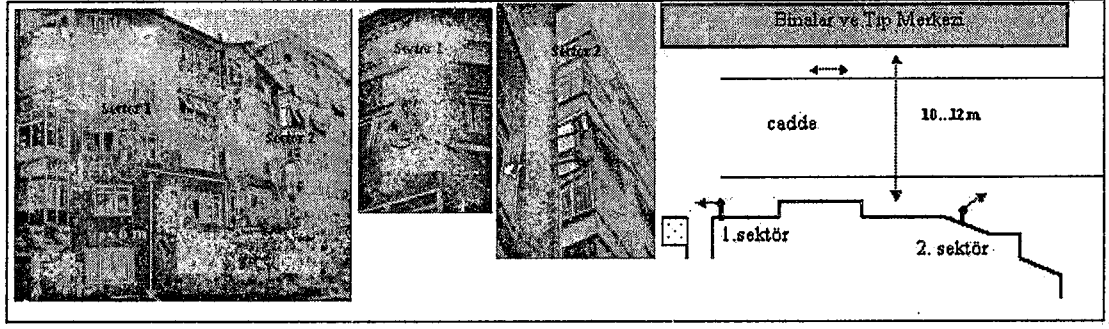
Şekil 5.8. Anten montajı uygulama örneği-2

Bu örnekte anten yüksekliği yukarıda verilen kriterleri sağlamaktadır. Kötü olan etmenler ise ;

- Antenlerin tamamen kat aralarında olmaması,
- Üstteki antenin bir kısmı cam seviyesinde olduğu için elle erişim imkanı dolayısıyla güvenlik mesafesi sınırları içinde olması
- 2.sektör antenlerinin yarı ışımalarının bina duvarlarına çarpması
- Yan binanın 4.katının tam main lobe (antenin ana ışımaya alanı) içinde kalması



Şekil 5.9. Uygulama örneği-2'nin anten montajlarının optimize edilmiş hali



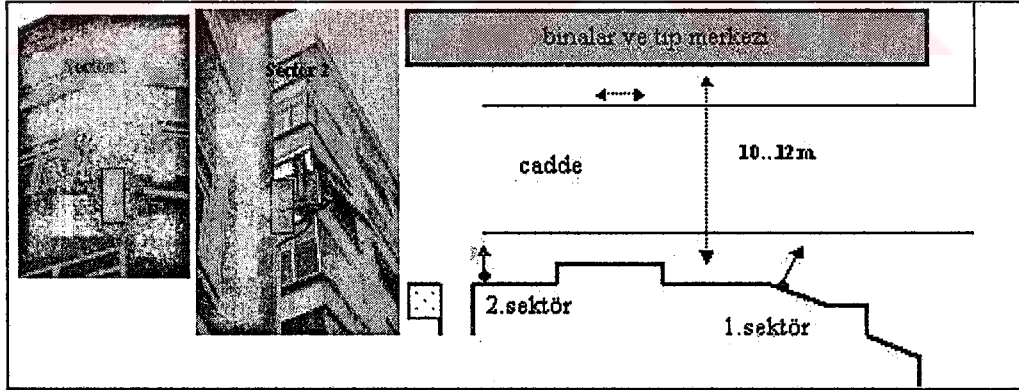
Şekil 5.10. Anten montajı uygulama örneği-3

Bu örnekte de yine iyi ve kötü kriterler irdelenecektir. Bu örnek için iyi etmenler;

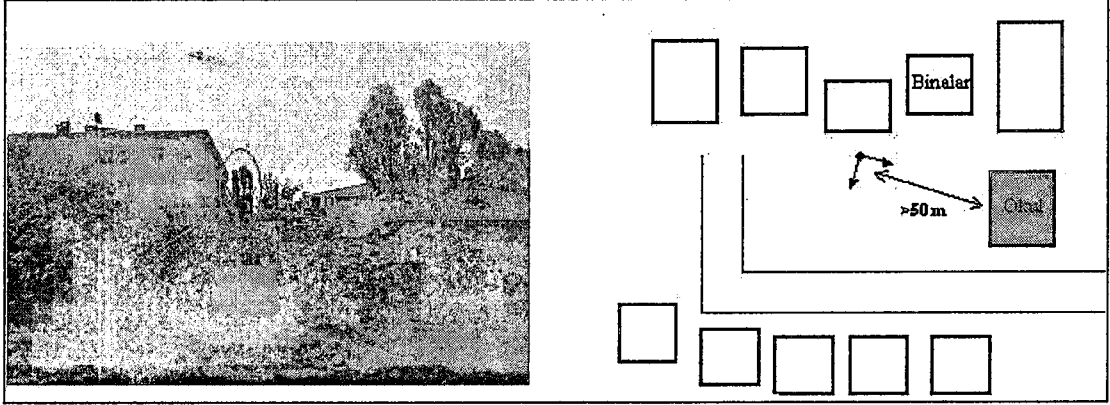
- Anten yükseklikleri
- Anten yerleri

Kötü etmenler;

- Antenlerin tam olarak kat arasında olmaması
- Anten montajlarının offsetli yapılmış olması elle erişimi mümkün kılmıştır. Offset uygulaması bu örnek için yanlış uygulanmıştır.
- 2.sektör anteninin ışması yandaki komşu binaya çarpmaktadır.



Şekil 5.11. Uygulama örneği-3'ün anten montajlarının optimize edilmiş hali

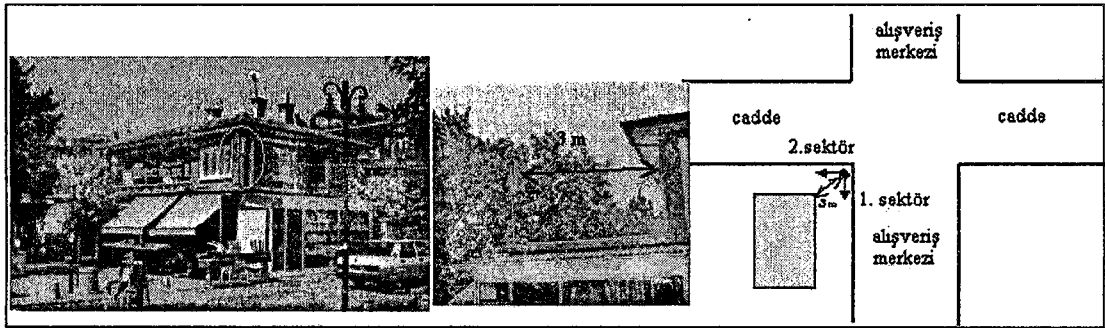


Şekil 5.12. Anten montajı uygulama örneği-4

Bu örnekte konteynır üstüne pole'lerle yapılmış bir baz istasyonu örneği görülmektedir. Bu örnekteki iyi etmenler ;

- Anten yükseklikleri yeterlidir
- Binalardan uzaklık yeterlidir
- Anten ışınları herhangi bir binaya yönlendirilmemiştir.

Bu örnek için kötü bir etmen bulunmamaktadır dolayısıyla iyi bir montaj örneği diyebiliriz. Söylenbilecek tek kötü etmen görüntü kirliliği açısından olabilir. Bu sistemin tamamı bir saat kulesi, çeşme vb. gibi bir yapı şeklinde tasarlansaydı bu durum da önlenebilirdi.



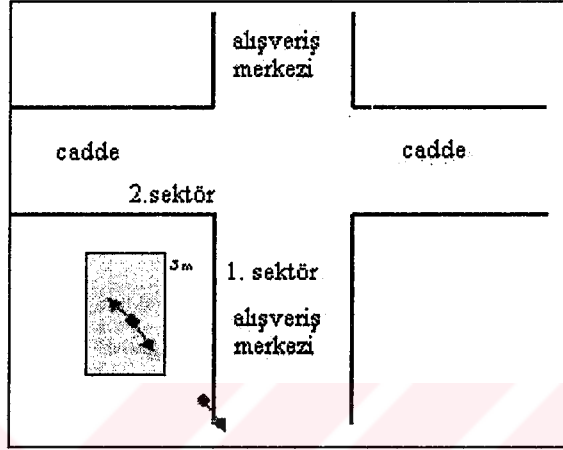
Şekil 5.13. Anten montajı uygulama örneği-5

Bu örnek uygulamada da iyi ve kötü etmenler biraradadır. Hatta, kötü denilebilecek montaj örneklerinden diyebiliriz. İyi etmenler ;

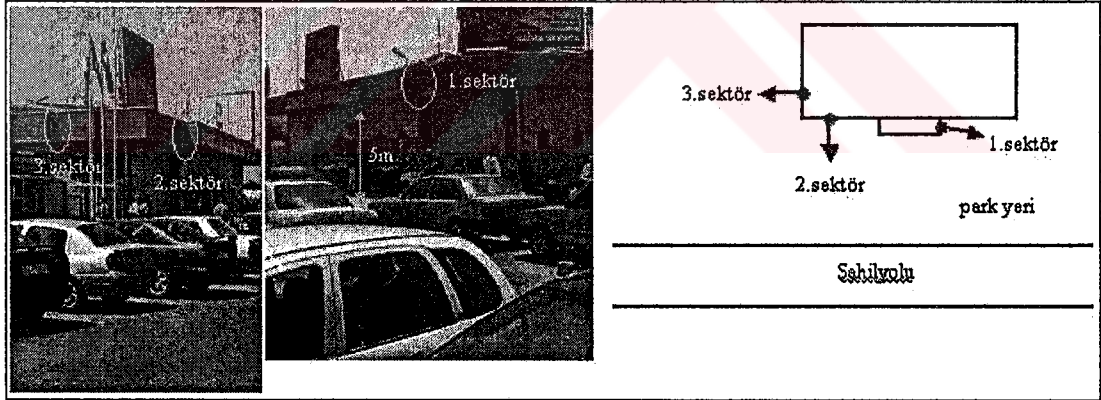
- Anten yükseklikleri hemen hemen uygun

Kötü etmenler;

- Antenler pencere seviyesinde
- Balkon seviyesinden antenlere erişim çok kolaydır
- Her iki sektör de bina içine ışıma yapmaktadır.
- Binanın 2. katı bu yüzden güvenlik mesafesi sınırları içinde kalmaktadır.



Şekil 5.14. Uygulama örneği-5'in anten montajlarının optimize edilmiş hali



Şekil 5.15. Anten montajı uygulama örneği-6

Bu örnekte iyi denebilecek örneklerden biridir. Bu örnekte ;

- Anten yükseklikleri yeterlidir
- Binalardan uzaklık yeterlidir
- Antenlerin ışımaları herhangi bir binaya çarpmamaktadır
- Elle erişim imkanı yoktur

6. SONUÇLAR

Son yılların haberleşmede ki en büyük buluşlarından birisi olan cep telefonları, hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Öyle ki, cep telefonları, gelişen teknoloji ile birlikte, bir bilgisayardan beklentilerimizin çok büyük bir bölümünü ile sağlamasının yanı sıra, önümüzdeki günlerde ve yıllarda çok daha fazla fonksiyonel yapısıyla belki bilgisayarların bile tahtına oturacak bir haberleşme ve ofis cihazı haline gelecektir.

Bu kadar lüzumlu bir cihaz ve onun hizmetlerini sunmasını sağlayan haberleşme teknolojisi, kullanım alanı ve kullanıcı sayısı arttıkça bazı sorunları da beraberinde getirmiş ve ciddi tartışmalar ve bilimsel araştırmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu tezde de, bu tartışmaların en önemlisi ve insanların zihnini bu konuda en çok meşgul eden konulardan birisi olan insan sağlığına etkisi olup olmadığı incelenmeye çalışılmış ve mevcut durum göz önünde bulundurularak bir sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

Tez kapsamında, öncelikle GSM haberleşme sisteminin en önemli iki ögesi olan baz istasyonları ve cep telefonlarına ait elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu ölçümleri yapılmıştır. Burada önemli olan konu, benzer konuda daha önce yapılan çalışmaların genellikle tıp dalındaki akademisyenler tarafından denek hayvanlar üstünde yapılan deneyler sonucuna göre bazı sonuçları yayınlamaları şeklinde olmuştur. Bu sebeple tez kapsamında detaylı bir şekilde verilen alan ölçümleri, konunun irdelenmesine yardımcı olacağı gibi, konu hakkında net fikir verilmesi açısından da çok önemlidir. Burada ölçümlerin baz istasyonları ve cep telefonları olmak üzere iki farklı grupta yapılması ile, bu iki ögenin birbirinden ayrı incelenmesi gerektiği vurgulanmak istenmiştir. Çünkü, bu iki öge, her ne kadar aynı sistemin iki elemanı olsalar bile çalışma ilkeleri, çıkış güçleri ve teknik özellikleri bakımından birbirlerinden ciddi farklılıklar göstermektedirler.

Tablo 4.13'te baz istasyonlarına ait alan ölçümleri verilmiştir. Bu ölçüm sonuçları incelendiğinde ilk göze çarpan özellik, istasyonların her birinin birbirlerinden farklı şekillerde konfigürasyonlara sahip olduğu ve bu değişikliğin de ölçüm sonuçlarına

yansımasıdır. Her bir baz istasyonu, 1,2,3 veya 4 farklı hücreden oluşabilir. Dolayısıyla ölçümler yapılırken ve ölçüm sonuçları verilirken aynı istasyona ait hücre sayısı kadar ayrı ölçüm verilmiştir.

Ölçümler yapılırken ölçülen hücrenin çıkış gücü, ölçüm yapılan saat, güç bölücü kullanım bilgileri, anten kazancı, kullanılan anten tipleri gibi ölçüm sonuçlarını direkt olarak etkileyecek bilgilere yer verilmiştir.

Bir kez daha yinelenecek olursa ülkemizde kabul edilen standartlar (TK tarafından yayınlanan) Tablo 6.1’de gösterilmiştir. Bu standartlar dünyada kabul edilen standartların ülkemize özel bir uygulamasıdır. Buna göre limit değerler;

Tablo 6.1. Türkiye’de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

SINIR DEĞERLER	900 MHz		1800 MHz	
	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamin toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamin toplam sınır değeri
Elektrik alan şiddeti (V/m)	10.23	41.25	14.47	58.34
Manyetik alan şiddeti (A/m)	0.027	0.111	0.038	0.157
Güç yoğunluğu (W/m ²)	0.28	4.5	0.56	9

şeklindedir. Tablo 4.13’deki ölçüm sonuçları incelendiğinde iki ölçüm sonucu hariç hiçbir ölçümün belirlenen limit değerleri aşmadığı görülmüştür. Buradan şu sonuca varabiliriz; Dünyada ve ülkemizde kabul edilen limit değerler ile kıyaslandığında ülkemizde çalışmakta olan baz istasyonları, insan sağlığını tehdit etmeyecek çalışma şartlarını sağlamaktadır.

Limit değerlerin aşılması ile örnek ve bu örneğe has uygulama ise şu şekildedir; 50 istasyon, 106 hücrede yapılan ölçümlerde sadece 2 hücrede, bunlar aynı istasyona ait 2 ayrı hücredir, limit değerlerin aşıldığı görülmüştür. 19 no’lu örnek. Bu örnekte ve 2. ve 3. sektörlerde yapılan ölçümlerde ülkemiz için belirlenen sınır değerlere eşit (Tablo 6.1.) ölçümler alındığı görülmüştür.

Tablo 6.2. Limit değerlere eşit ölçüm yapılan örnek

Anten (Sektor)	Antene olan uzaklık (Metre)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Ölçülen Güç Yoğunluğu	Anten Tipi	Anten Kazancı		
19 C+3(2+3+3)2	1	40	0.0021	0.77	0.77	0.0002	K 739 620; K 730360	12.5dBi
	1	30	0.0017	0.63	0.63	0.0001	K 739 620; K 730360	12.5dBi
	1	20	0.0030	1.13	1.13	0.0003	K 739 620; K 730360	12.5dBi
	2	12	0.9051	1.93	1.93	0.0010	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	2	7	0.0141	5.3	5.3	0.0075	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	2	5	0.0276	10,38	10,38	0.287	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3	20	0.0016	0.59	0.59	0.0001	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3	10	0.0273	10.22	10.22	0.282	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3	15	0.0095	3.58	3.58	0.0034	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi

Tablo 6.2'den de görüleceği gibi 2.sektörün 5m. ve 3. sektörün 10m'den yapılan ölçümlerinde manyetik alan ölçüm sonucunun 0.0276A/m ve 0.0273 A/m (Türkiye'de limit 0.027 A/m), elektrik alan ölçüm sonucunun 10.38 V/m ve 10.22 V/m (Türkiye'de limit 10.23 V/m) ve güç yoğunluğu ölçüm sonuçlarının 0.287 ve 0.282 W/m² (Türkiye'de limit 0.28 W/m²) çıktığı tespit edilmiştir. Bu ölçüm, antenleri 5 katlı bir evin çatısında 2m pole ile monte edilmiş bir istasyona aittir ve bu binanın hemen yanına balkon mesafeleri 5m'den az olacak şekilde yeni bir bina yapılmış ve bu binanın balkon mesafesinden ve oda camından ölçüm yapılmıştır. Ölçüme Ordu İl Sağlık Müdürlüğü ekipleri de katılmıştır ve bu ölçüm sonucunda operatöre antenlerin yüksekliğini arttırması veya yerini değiştirmesi önerisinde bulunulmuştur. Operatör burada bulunan antenlerini 2m pole' den 6m pole'e çıkararak güvenlik mesafesi sınırlarını sağlamış ve tekrar yapılan ölçümde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bu örnekteki uygulama ölçüm sonuçlarının yüksek çıkması durumunda yapılacaklardan biridir. Ancak her zaman anten yüksekliğini değiştirmek sorunu çözmeyebilir. Örneğin, antenler 5 katlı bir binanın üstünde olsun ve bu binanın yanına güvenlik mesafesi sınırları içinde kalacak şekilde 10 katlı başka bir binanın yapıldığını düşünelim. Bu durumda anten yüksekliğini arttırmak sorunu çözmeyecektir. Böyle bir durumda en kesin çözüm o antenin yani o istasyona ait o hücrenin yönünün değiştirilmesi veya tamamen sökülmesidir.

Tablo 6.3. Anten yükseklikleri değiştirildikten sonra yapılan ölçümler

Anten (Sektor)	Antene olan uzaklık (Metre)	Ölçülen Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Ölçülen Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Ölçülen Güç Yoğunluğu	Anten Tipi	Anten Kazancı		
19 C+3(2+3+3)2	1	40	0.0021	0.77	0.77	0.0002	K 739 620; K 730360	12.5dBi
	1	30	0.0017	0.63	0.63	0.0001	K 739 620; K 730360	12.5dBi
	1	20	0.0030	1.13	1.13	0.0003	K 739 620; K 730360	12.5dBi
	2	12	0.0031	1.18	1.18	0.0036	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	2	7	0.0070	2.52	2.52	0.018	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	2	5	0.0095	3.57	3.57	0.033	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3	20	0.0042	1.59	1.59	0.0067	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3	10	0.0087	3.51	3.51	0.03	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi
	3	15	0.0057	2.16	2.16	0.012	K 732 448; K 739 622	15,5 dBi

Eğer güvenlik mesafesi sınırları içinde kalmıyor ve ölçüm değerleri yine de yüksek çıkıyorsa bu durumda da yapılabilecek birkaç uygulama önerebiliriz. Bunlar;

- İstasyon çıkış gücünün düşürülmesi. Bu uygulama ile çalışan istasyonun çıkış gücü kısılarak istasyonun çıkışında ölçülecek alan şiddetleri direkt olarak düşürülmüş olacaktır. Ancak bu uygulamanın en önemli dezavantajı ise hücrenin kapsamasının daralmasıdır. Tabii burada önemli olan öncelikle alan ölçümlerinin limit değerlerin altına düşürülmesidir. Dolayısıyla öncelikli olarak yapılması gereken uygulama budur.
- Bu uygulamanın yanı sıra yapılabilecek bir başka uygulama ise anten tipinin değiştirilmesidir. Tablo 4.12. ve 4.13. incelendiğinde antenlerin kazançlarının birbirinden farklı oldukları görülecektir. Örneğimizdeki gibi alan ölçümlerinin yüksek çıkması durumunda, mevcut anten değiştirilerek daha düşük kazançta sahip bir başka anten tipi ile değiştirilebilir. Ancak bu durumda da yine kapsama kaybı olması kaçınılmazdır.
- Yapılabilecek bir başka uygulama ise anten yönünün değiştirilerek ölçüm yapılabilecek alanlarda alan büyüklüklerinin düşürülmesidir.
- Son olarak denenebilecek bir başka uygulama ise antenin sökülmesidir.

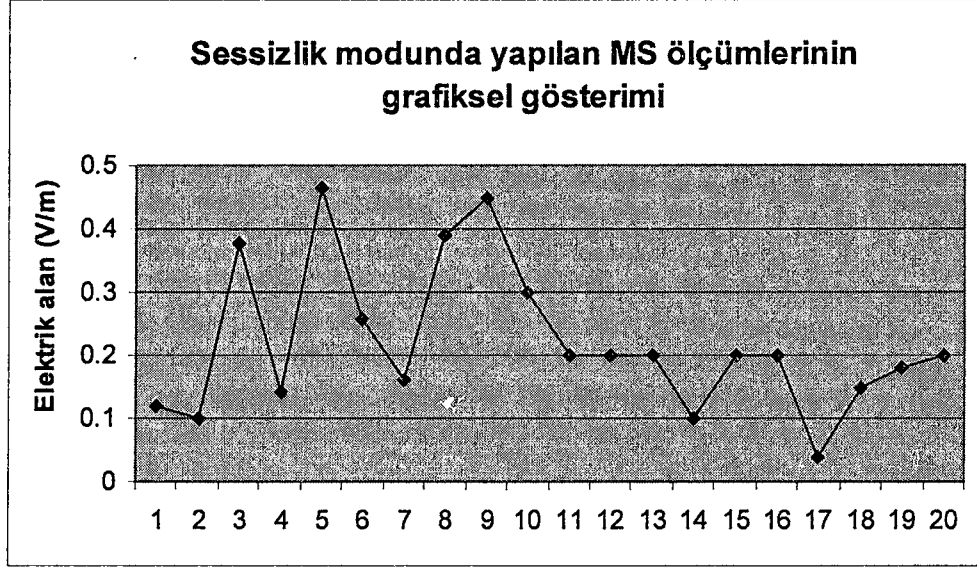
Ayrıca tüm anten montajları, tez kapsamında 5. bölümde incelenen güvenlik mesafesi ve sağlık kriterlerine göre anten montajları standartlarına uygun olmalıdır.

Buna göre duvar normaline dik olarak monte edilen antenlerin arkasına anten arkası levha montajı yapılmalıdır. Böylece, antenlerin arka yöndeki ışımalarının (back lobe) ev veya işyeri içine girmesi engellenmiş olacaktır. Mümkünse offset olmadan anten montajı yapılmalı offset uygulaması yapılacaksa antenlerin yine duvar normaline dik olarak monte edilmesi gerekmektedir.

Duvar montajları, teras veya çatı montajları ve offset uygulamalarında 5.bölümde verilen öneriler istisnasız olarak uygulanmalıdır. Bu uygulamalarla hem antenlerin direkt olarak insanların yaşadıkları yerlere ışımalarını yaymaları engellenecek hem de anten montajı yönünden standart montaj sağlanacaktır.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde en çok dikkati çeken bir başka ölçüm de, bina içi (indoor) montajlarına ait ölçümlerdir. Bu uygulamalara ait bir örnek ölçümlerde verilmiştir. Bu uygulamalarda kullanılan antenlerin çıkış gücünün çok düşük olması sebebiyle ölçüm sonuçları da son derece düşük çıkmıştır. Bu tarz uygulamalarda herhangi bir sakınca yoktur.

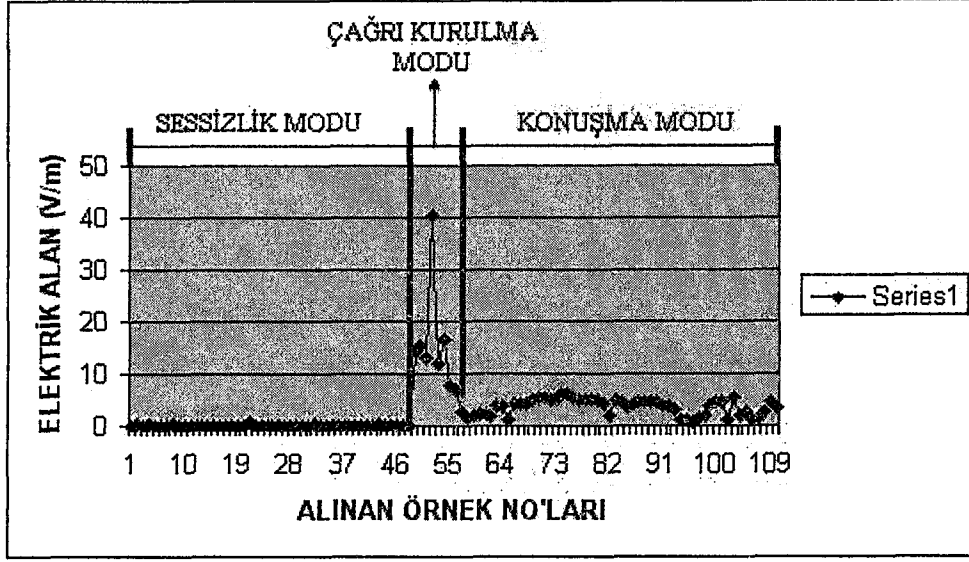
Cep telefonlarına ait alan ölçümleri incelendiğinde ise sessizlik modunda (idle mod) ölçümlerin beklendiği gibi limit değerlerin çok altında kaldığını görüyoruz. Dolayısıyla bu modda sağlık açısından bir risk bulunmamaktadır. 20 değişik telefon modeli için yapılan sessizlik modu ölçümlerinin alan büyüklükleri Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Sessizlik modunda yapılan elektrik alan ölçümleri

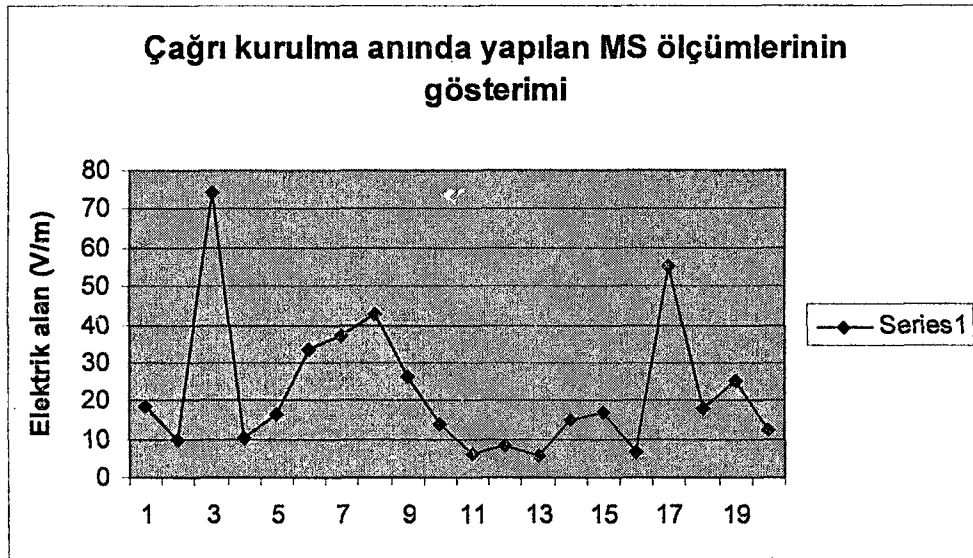
Şekil 6.1.'den de görülebileceği gibi, elektrik alan ölçüm değışimi 0.05 ile 0.45 V/m arasında değişmektedir. Bu değerler limit değerlerin çok altında olduğu için sessizlik modu için herhangi bir sorundan bahsedilemez.

Call setup (Çağrı kurma) modunda ölkemiz için belirlenen limitlerin birçok modelde aşıldığını görüyoruz. Ancak bu mod cep telefonunun en çok sinyalleşme yaptığı ve en çok güç harcadığı moddur. Arama işlemi başladıktan sonra yoğun sinyalleşmeler olduğu Şekil 4.7. ve açıklamalarında anlatılmıştı. Bu noktada cep telefonu sürekli olarak BTS ile haberleştiği için çalışma modları içinde ki en fazla güç harcamasını kısa süreli olarak yapmaktadır. Ancak bu yüksek değerlere sadece 1-2 sn süresince ulaşılmakta daha sonrasında ise MS'e TCH kanalı ataması yapıldığı için Şekil 6.2.'de görülebileceği gibi, kısa süreli bir tepe değerine (peak) ulaşıp sonra normal değerlere düşmektedir. Üstelik bu anlar genellikle arama yapan abonenin elinde ve vücuttan nispeten uzak bir noktada olmaktadır. Dolayısıyla uzaklığın etkisiyle MS'den yayılacak yüksek elektrik alan insan vücutuna gelen kadar ciddi zayıflamaya maruz kalacak ve etkilemeyecektir.



Şekil 6.2. MS'in 3 çalışma modunun elektrik alan değerinin değişimi

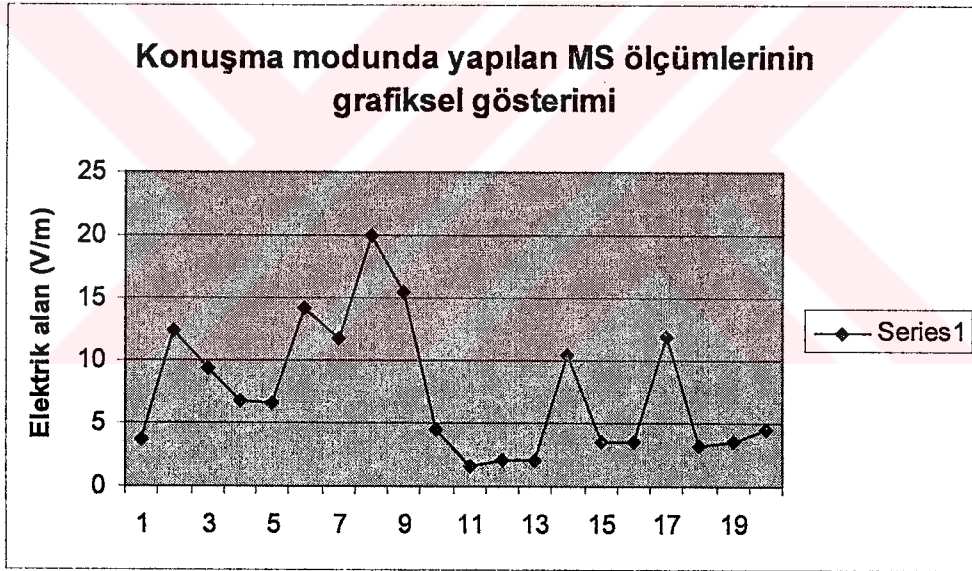
Tüm bunları söylemek bu mod için üretici firmaların çalışmaması gibi algılanmamalıdır. Mevcut 3 farklı çalışma modu içinde en yüksek alan değerleri çağrı kurulma modunda ölçülmektedir. Son 1-2 yılda üretilen telefon modellerinde bu modda yapılan ölçümlerde ciddi azalmalar tespit edilmiştir. Şekil 6.3'de tez kapsamında ölçümü yapılan 20 cep telefonunun çağrı kurulma modundaki elektrik alan değerleri görülmektedir.



Şekil 6.3. Çağrı kurulma modunda yapılan elektrik alan ölçümleri

Şekil 6.3.'deki grafik incelendiğinde limit değerlerin altında sadece bir kaç modelin kaldığını görüyoruz. Bu da bu mod için üretici firmaların ciddi çalışmalar yapmaları gerektiğini göstermektedir.

3.çalışma modu ise aktif mod veya konuşma modudur. Cep telefonları ölçümleri için en çok dikkat edilmesi ve tartışılması gereken mod bu moddur. Çünkü bu modda, kullanıcı artık telefonu kulağına götürmüş, beynine yakın bir noktaya dayamış ve belki de uzun süreli bir konuşmaya başlamıştır. Bu da konuşma süresince beynimize yakın bir alanın elektromanyetik alana maruz kalması anlamına gelmektedir. Bu durumda, bu mod için yapılan ölçümlerin önemi daha da artmaktadır. Şekil 6.4.'de 20 değişik model için konuşma modundaki elektrik alan ölçümleri gösterilmiştir.



Şekil 6.4.Konuşma modunda yapılan elektrik alan ölçümleri

Şekil 6.4. ve ölçüm sonuçları incelendiğinde çok sayıda MS için konuşma modunda ülkemiz için belirlenen limitlerin aşılmadığı görülmüştür. Bunlar genellikle, son 2 yılda üretimi yapılan telefonlardır. Ancak ülkemizde yaklaşık 25 milyon cep telefonu kullanıcısı olduğu ve bunların büyük bir kısmının telefonlarının nispeten eski telefonlar olduğu düşünülürse, bu telefonların birçoğunda konuşma modunda limit değerlerin aşıldığı görülmüştür.

Tüm ölçüm sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, yine ülkemizde ve dünyada kabul edilmiş standartlar ve limit değerler açısından önemli sıkıntılar bulunmamakla birlikte özellikle eski model cep telefonlarının bazılarında çağrı kurma ve konuşma modunda limit değerler aşılmaktadır. Bu sebeple, bu telefon sahiplerinin mümkünse telefonlarının alan ölçümlerini yaptırmaları veya yenilemeleri tavsiye edilmektedir. Ayrıca, özellikle araba kullanırken, mümkünse telefonla hiç konuşulmaması, eğer bu konuda bir mecburiyet varsa, o takdirde kulaklık kullanımı, özellikle sürüş anında kaybolacak dikkati yeniden kazandırmak ve meydana gelebilecek bir kazanın oluşmasını önlemek için tavsiye edilmektedir.

Burada bir eleştiride ülkemizde belirlenen standartlara yapılacaktır. Dünyanın çok büyük bir yerinde uygulanan standart değerlerin ülkemizde uygulanırken birden limit değerlerin $\frac{1}{4}$ 'ü kadar değerlere düşürülmesinin mantıklı bir açıklaması yapılamamıştır. Bu da özellikle binalarında istasyon bulunan insanların akıllarında ciddi endişeler doğmasına neden olmuştur.

Tez kapsamında özellikle GSM haberleşme sisteminin genel özellikleri yanında pek de bilinmeyen ve göz ardı edilen ancak bu konunun anlaşılması için son derece önemli olduğuna inanılan Dinamik BTS&MS Güç Kontrolü (Dynamic BTS&MS Power Control), Hiyerarşik Hücre Yapıları (Hierarchical Cell Structures), Hücre Yük Paylaşımları (CLS- Cell Load Sharing), Sürekli Olmayan İletim (DTX- Discontinuous Transmission), Frekans Atlama (Frequency Hopping) ve Daha iyi veya daha kötü bir hücreye atama yapma (Assignment to Another Cell) gibi GSM Haberleşme Sistemi özellikleri anlatılmıştır. Burada özellikle bilinmesi ve birkez daha vurgulanması gereken konu şudur. Bir cep telefonu kullanıcısı servis aldığı istasyona ne kadar yakın ise kendi telefonundan o kadar minimum güçle konuşur. Tabii, bunun tersi de doğrudur. Bu da bir abone, servis aldığı istasyona ne kadar uzaksa görüşme yapmak için veya görüşme süresince o kadar fazla güç harcayarak konuşmasını gerçekleştirir. Bu da çok önemli ve kesinlikle dikkat edilmesi gereken bir noktadır.

KAYNAKLAR

1. OHMORI, S., 2000. The Future Generations of Mobile Communications Based on Broadband Access Technologies, IEEE Communications.
2. ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O., 2000. Radyasyon Kuşatması, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 3-13, İstanbul.
3. ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O., 2000. Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 1-2, İstanbul.
4. BİLTEN, 2001. Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı, TÜBİTAK Yayınları,17, Ankara.
5. BİLİM ve TEKNİK, 2001. Yeni Toplumsal Bağımlılık, TÜBİTAK Yayınları, 28-34, Ankara.
6. IEGMP, 2000. Mobile Phones and Health, IEGMP Press, 2-5, London.
7. KING, R.W.P., 1998. The Interaction of Power-Line Electromagnetic Fields with the Human Body, IEEE Engineering in Medicine and Biology, 67-72.
8. BORBELY, AA., HUBER, R., GRAF, T., FUCHS, B., GALLMANN, E., ACHERMANN, P., 1999. Pulsed high-refquency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram, Neuroscience Letters, Vol.275(3), p.207-210.
9. ALDRICH, T.E., LABORDE, D., GRIFFITH, J., EASTERLY, C., 1992. A Meta-Analysis of the Epidemiological Evidence Regarding Human Health Risk Associated with the Exposure to Electromagnetic Fields, Electro&Magnetobiology, 127-143.
10. BRAUNE, S., WROCKLAGE, C., RACZEK, J., GAILUS, T., LUCKING, CH,1998. Resting blood pressure increase during exposure to a RF EM Field, Lancet Vol. 351, P.1857-1858.
11. BURCH, JB., REIF, JS., PITRAT, CA., KEELE, TJ., YOST, MG.,1997. Cellular telephone use and Research on Biological Effects Electric and Magnetic Fields from the Generation, delivery&Use of Electricity, San Diego, CA, p.110.
12. EULITZ, C., ULLSPERGER, P., FREUDE, G., ELBERT, T.,1998. Mobile phones modulate response patterns of human brains activitiy, Neuroreport vol. Vol.9(14), p.3229 – 3232.
13. DASDAG, S., KETANI, M. A., AKDAG, Z., ERSAY, A. R., SAR, I., DEMIRTAS, O. C., CELIK, M. S., 1999. Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats, Urol Res. Vol.27(3), p.219-223.

14. FREUDE, G., ULLSPERGER, P., EGGERT, S., RUPPE, I., 1998. Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials, Bioelectromagnetics Vol.19 (6),p. 384-387.
15. FRITZE, K., WIESSNER, C., KUSTER, N., SOMMER, C., GASS, P., HERMANN, D. M., KIESSLING, M., HOSSMANN, K. A., 1997. Effect of global system for mobile communication microwave exposure on the genomic response of the rat brain, Neuroscience, Vol.81(3), p.627-639.
16. BALEODE, Z.,1996. Assesment or radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in bovine peripheral erythrocytes, Science Total Environment Vol.180 (1), p.81-85
17. BOHR, H., BOHR, J., 2000. Microwave enhanced kinetics observed in ORD studies of a protein, Bioelectromagnetics Vol.21(1), p.68-72.
18. BORTKIEWICZ, A., ZMYSLONY, M.,GADZICKA, E., PÁLCZYNSKI, C., SZMIGIELSKI, S., 1997. Ambulatory ECG monitoring in workers exposed to electromagnetic fields, Journal of Med. Eng. Technology, Vol.21(2), p.41-46.
19. BİLTEN, 2001. Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı, TÜBİTAK Yayınları,2-4, Ankara.
20. www.telepati.com.tr/gsmraporu2003.htm
21. SIEGMUND, M. R., MATTHIAS, K. W., MALCOLM, W. O., 1995. An INTRODUCTION to GSM, Artech House , p.23,24,USA.
22. ERICSSON, 1996. AXE/GSM Overview, Ericsson Press, p.13
23. MOULY, M., PAUTET, M. B., 1992. The GSM Sysytem for Mobile Communications, Cell&SYS Press, p.102, France.
24. ERICSSON, 1999. GSM System Survey – Student Text Book, Ericsson Press, p.18-81.
25. OZGUNER, N. E., CAVDAR, I. H., 2001. Effects of Electromagnetic Fields on Human Bodies and Comparision of International Standarts and Measurements of Some Base Stations, 2nd Int. Conference on Electrical and Electronics Engineering, s. 238-241, BURSA.
26. ERICSSON, 2000. GSM Cell Planning Principles, Ericsson Press, p.2-5.
27. ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O., 2000. Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, s.219-220, 224-225,230, 238-243, İSTANBUL.

28. OZGUNER, N. E., 2002. GSM Haberleşme Sisteminde Denizin Yansıtıcı Etkisi ve Bu Nedenle Oluşan Enterferansın Önlenmesi, 10. Sinyal İşleme Uygulamaları Sempozyumu, s. 354-359, DENİZLİ.
29. SALEMA, C., 2003. Microwave Radio Links – From theory to design, Wiley Interscience Press, p.19-20, CANADA.
30. CANBAY, C., 2000. Anten ve Propagasyon, Yeditepe Üniversitesi Yayınları, s176-177, İSTANBUL.
31. YANMIŞ, Y., PEHLİVAN, M., CAVDAR, I. H., ASLAN, T.A., OZGUNER, N.E., 2002. Bertoni-Walfisch GSM Propagasyon Model Parametrelerinin Kestirimi ve GSM Propagasyon Ölçümleri, 10. sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu, s. 611-616, DENİZLİ.
32. KAVAS, A., 2003. Cellular Mobile Radio System Design Using Path Loss Calculations”, ELECO-2003, Int. Conf. On Electrical and Electronics Eng., BURSA.
33. OKUMURA, Y., OHMORI, E., KAWANO, T., FUKUDA, K., 1968. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-mobile Services, Review of the Electrical Communication Laboratory, vol.16, No.9-10, s.825-873.
34. HATA, M., 1980. Empirical Formula for Propagation Loss in land Mobile radio Services, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.29, pp.317-325.
35. COST 231, Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands(Revision 2), COST 231 TD(90), p.119.
36. WALFISCH, J., BERTONI, H. L., A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments, IEEE Trans. On Antennas and Propagation, vol88(36), pp.1788-1796.
37. CAREY, R., 1964. Technical Factors Affecting the Assignment of Facilities in the Domestic Public Land Mobile Radio Service, FCC, Washington DC, Rep R-6406.
38. EGLI, J., Radio Propagation Above 40Mc Over Irregular Terrain, Proc. IRE, vol 57(45), pp.1383-1391.
39. LONGLEY, A. G., RICE, P. L., 1982. Prediction of Tropospheric Radio Transmission Over Irregular Terrain, ESSA Tech. Rep. ERL 79-ITS67, U.S. Gov. Prnt. Office, Washington DC.
40. BULLINGTON, K., Radio Propagation for Vehicular Communications, IEEE trans. On Vehicular Tech. Vol77(26), pp.295-308.

41. ODA, Y., KOICHI, T., HATA, M., 2000. Advanced LOS Path-Loss Model in Microcellular Mobile Communications, IEEE Trans. On Vehicular Tech., Vol. 49, No.6, p.2121-2125.
42. ŞEKER, S., 1993. İletişim Sistemlerinin Planlaması, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, s.130-131, İSTANBUL.
43. KATHREIN, Basic Antenna Principles for Mobile Communications, Kathrein Antennen Electronic Catalogue, p.35.
44. ERICSSON, 1996. Dynamic BTS Power Control, Ericsson User Description and Engineering Guidelines, p.5.
45. SEVGİ, L., 2001. Elektromanyetik Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları, Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi, Sayı 406.
46. POZAR, D., M., 2001. Microwave and RF Design of Wireless Systems, John Wiley Press., p.15, USA.
47. ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O., 1997. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, p.6,44.
48. LEUWEV, G. M., LAGENDIJK, J. J., VAN LEERSUM, B. J., ZWAMBORN, A. P., HORNSLETH, S. N., KOTTE, A. N., 1999. Calculation of Chance in Braintemperatures Due to Exposure to a Mobile Phone, Phys. Med. Biol., vol.44, pp.2367-2379.
49. MICHAEL, I., 1989. Nonionizing Radiation Protection”, WHO Press., Vol.25.
50. MATTHES, R., 1996. RF and Microwave Measurement, 9th International Congress of the Radiation Protection Association (IRPA), p. 7-8.
51. AKLEMAN, F., ÖZYALÇIN, M. O., SEVGİ, L., 1999. Elektromanyetik Kirlilik ve Modelleme Teknikleri, Bilişim Der. Kitapçığı, Gazi Üni., ANKARA.
52. ICNIRP Guidelines, 1998. Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), ICNIRP Press, Vol.74, No.4, p.509.
53. EUROPEAN PARLIAMENT, 2001. Electromagnetic Fields and Health, EP Press, Briefing Note, No.5, p.5., BELGIUM.
54. www.tassie.net.au/emfacts/mobiles/sars.html
55. www.globalchange.com/radiation.htm

56. FCC Office of Engineering Technology, 1999. Questions and Answers About Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields, OET Bulletin 56, Fourth Edition.
57. IEEE, IEEE Standarts for Safety Levels with Respect to Human Exposure to radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz
58. ANSI, 1992. American National Standart - Safety Levels with Respect to Human Exposure to radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE Press, ANSI/IEEE C95.1, NEW YORK.
59. IRPA/INIRC, 1988. Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range 100 kHz to 300 GHz, Health Physcs. Press., vol.54, pp.975-984 .
60. www.powerwatch.org.uk/tech/1stands.htm
61. TSE, 1996. İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması – Yüksek Frekanslar (10kHz – 300 GHz, TS ENV 50166-2.
62. TELEKOMÜNİKASYON KURUMU, 2001. 10 kHz – 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, 12 Temmuz 2001 tarih ve 24460 sayılı gazete.
63. KATHREIN, 2000, 790 – 2200 MHz Base Station Antennas for Mobile Communications, Kathrein Press., pp.15-151,GERMANY.
64. KARABULUT, T., 2001. Baz İstasyonları ve Elektromanyetik Yayınım, TK Ankara Bölge Müdürlüğü,s.9-10, 13-19, ANKARA.
65. WANDEL-GOLTERMANN, 2001. EMR200/300 Radiation Meter User Guide, pp.1-4, GERMANY.
66. CENELEC, 1998. Electromagnetic Compatibility (EMC) Standarsization for Product Commitees, Guide No.24, BELGIUM.
67. JOKELA, K., LESZCZYNSKI; D., PAILE, W., SALOMAA, S., PURANEN, L., HYYSALO, P., 1999. Radiation Safety of Handheld Mobile Phones and Base Stations, STUK-A161, pp.76, FINLAND.
68. ÖZGÜNER, E., 2002. GSM Hücre Planlamasında Baz İstasyonu ve Cep Telefonlarının Dinamik Güç Kontrolü Özelliğinin Kullanılması, 4. GAP Mühendislik Kongresi, Cilt-1, Vol.1, s.564-568., URFA.

69. OZGUNER, E., 2001. Hiyerarşik Hücre Yapıları (HCS) ve Hücre Trafik Paylaşımı (CLS) Özelliklerini Kullanarak GSM'de Bir Hücresinin Optimizasyonu, İletişim Teknolojileri Sempozyumu, s.238-242, ANKARA.
70. SEVGİ, L. 2000. Elektromanyetik Uyumluluk-Elektromanyetik Kirlilik, EMO Yayınları, s.81, İSTANBUL.
71. ZENG, M., ANNAMALASI, A., BHARGAVA, V., 1999. Recent Advances in Cellular Wireless Communications, IEEE Commun Mag., Vol.37, No.9, pp.128-138.
72. IMT-2000, 1997. Standarts Efforts of the ITU", IEEE Pers. Comm., Vol.4., No.4, pp.8-40.
73. ÖZGÜNER, N. E., ÇAVDAR, İ. H., 2001. Baz İstasyonlarının Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, İletişim Teknolojileri Ulusal Semp., s.143-150
74. OZGUNER, N. E., CAVDAR, I. H., 2002. Microwave and Electromagnetic Fields Effects on Human Bodies and Comparison of International Standarts and Measurements of Base Stations and Mobile Phones. Recent Advances in Computers, Computing and Communications, pp.447-451, GREECE.
75. CAVDAR, I. H., OZGUNER, N. E., 2003. Electromagnetic Field Measurements at 900 MHz to Obtain the Effects of Mobile Communication on Risc Probabilities for the Human Health. Iranian Journal, Summer Fall, Vol.2, No.2., pp.119-123

Telekomünikasyon Kurumundan;

10 kHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik

BİRİNCİ BÖLÜM

Amaç, Kapsam, Yasal Dayanak ve Tanımlar

Amaç

Madde 1- Bu Yönetmeliğin amacı;

- a) Elektromanyetik alan oluşturan sabit telekomünikasyon cihazlarının kuruluş yeri, montajı ve denetlenmesine ait hususları,
 - b) Elektromanyetik alanda istem dışı ve sürekli maruz kalma durumunda; çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşabilecek muhtemel olumsuz etkileri giderebilmek amacıyla kabul edilen elektrik alan şiddeti limit değerlerini,
 - c) Ölçüm yöntemlerini ve ölçüm yapacak kuruluşları,
 - d) Ölçüm sonuçları elektromanyetik alan şiddeti limit değerlerine uygun olmayan, sabit telekomünikasyon cihazlarının limit değerlere uygun hale getirilmesine ilişkin, usul ve esasları ve bunlara uyulmaması halinde işleticiler/işletmecilere uygulanacak müeyyideleri,
- belirlemektir.

Kapsam

Madde 2- (Değişik) Bu Yönetmelik; 10 KHz-60 GHz frekans bandında çalışan, mevcut ve gelecekte bu bandda hizmete konulabilecek meskun mahal içinde kullanılan sabit telekomünikasyon cihazlarından hücresel mobil sistemlerin verici, verici/alıcı

cihazları ve bir mahalde telekomünikasyon hizmetini geçici bir süre sunmak için kullanılan mobil verici, verici/alıcı cihazları ile çıkış gücü Kurum tarafından verilen sistem kurma izninde 5 Watt'ın üzerinde olan sabit telekomünikasyon cihazlarının kurulması ve işletilmesi esnasında, ortamda oluşan elektromanyetik alan şiddetinin limit değerlere uygunluğunun belirlenmesi, ölçüm yöntemleri ve denetlenmesi ile ilgili esasları kapsar.

Yasal Dayanak

Madde 3- Bu Yönetmelik ; 4502 sayılı Kanunla değişik 2813 sayılı Telsiz Kanunu ve 406 sayılı Telgraf ve Telefon Kanunu'nun ilgili maddelerine dayanılarak hazırlanmıştır.

Tanımlar

Madde 4- Bu Yönetmelikte geçen;

Kurum: Telekomünikasyon Kurumu'nu,

Kurul : Telekomünikasyon Kurulu'nu,

Kanun: 4502 sayılı Kanun ile değişik 2813 sayılı Telsiz Kanununu,

Telekomünikasyon: Her türlü işaret, sembol, ses ve görüntünün ve elektrik sinyallerine dönüştürülebilen her türlü verinin kablo, telsiz, optik, elektrik, manyetik, elektromanyetik, elektrokimyasal, elektromekanik ve diğer iletim sistemleri vasıtasıyla iletilmesi, gönderilmesi ve alınmasını,

Sabit Telekomünikasyon Cihazları: Hücreli mobil sistemlerinin verici, verici/alıcı cihazları ile Radyo-TV Vericileri dahil olmak üzere, 10 kHz ile 60 GHz frekans bandında sabit olarak kurulup çalıştırılan verici, verici/alıcı cihazları ile bir mahalde telekomünikasyon hizmetini geçici bir süre sunmak için kullanılan mobil verici, verici/alıcı cihazlarını,

Anten: Bir sistemden aldığı sinyali, ortama elektromanyetik dalga şeklinde yayan ve ortamdaki elektromanyetik dalgaları alıp; sisteme aktarmaya yarayan elemanı

Anten Yayın Paterni: Antenden yayılan elektromanyetik dalganın yayın hüzmesini,

Ölçüm Sertifikası: Ölçüm yapmaya yetkili kuruluştta, ölçüm yapacak elemanın, Kurumun yetki verdiği kuruluşlardan birinden eğitim neticesi alacağı sertifikayı,

Ölçüm Yetki Belgesi: Kurumun Yönetmelik kapsamındaki ölçümleri yapmaya; yeterli bulduğu kuruluşlara vereceği belgeyi,

Onaylı Yatırım Planı: Görev veya imtiyaz sözleşmeleri veya Telekomünikasyon ruhsatları ve genel izin hükümleri çerçevesinde gelecek yıllara ilişkin yatırımları ile ilgili olarak işletmeciler tarafından Kuruma sunulan ve Kurum tarafından onaylanmış olan yatırım planları

Elektromanyetik Alan (EMF): Elektrik ve manyetik alan bileşenleri olan dalgaların oluşturduğu alanı,

Elektrik Alan Şiddeti (E): Uzayda Herhangi bir noktada bir birimlik pozitif yüke etki eden kuvvetin vektörel büyüklüğünü (birimi V/m),

Manyetik Alan Şiddeti (H): Manyetik akı yoğunluğunun, ortamın geçirgenliğine oranını (birimi A/m),

Güvenlik Mesafesi: Bu Yönetmelik kapsamında yer alan telekomünikasyon cihazlarından yayılan elektromanyetik dalganın çevre ve insan sağlığı üzerinde meydana getirebileceği etkileri minimuma indirmek amacıyla belirlenen elektromanyetik alan şiddeti limit değerlerinin aşılmadığı mesafeyi,

Güvenlik Sertifikası: Güvenlik mesafesine göre kurulan, her bir sabit telekomünikasyon cihazı için, işletici/işletmeci'ye verilen belgeyi,

Ortalama Zaman : Ortamdaki elektrik alan şiddetinin, ortalama değerinin hesaplanması için geçen her bir ölçüm süresini (6 dk),

Sürekli Maruz Kalma: Ortalama zamandan daha uzun süreli maruz kalmayı,

Yakın Alan: Yayın yapan kaynağa $2D^2/\lambda$ kadar (D anten boyu) uzaklığı,

Uzak Alan: Elektromanyetik dalganın düzlem dalga özelliği gösterdiği ve antenden $2D^2/\lambda$ 'dan daha uzak olduğu mesafeyi,

İşletmeci: Kurum ile yapılan bir görev sözleşmesi, imtiyaz sözleşmesi ve/veya Kurumdan alınan bir telekomünikasyon ruhsatı veya genel izin uyarınca telekomünikasyon hizmetleri yürüten ve/veya telekomünikasyon altyapısı işleten bir sermaye şirketini,

İşletici: İşletmeci tanımı kapsamı dışında kalan ve telekomünikasyon hizmetlerini yürüten kuruluşları ile gerçek ve tüzel kişileri,
ifade eder.

İKİNCİ BÖLÜM

Sabit Telekomünikasyon Cihazlarının Kuruluş Yeri, Montaj Esasları ve Sistem Bildirimi

Kuruluş Yeri

Madde 5- Bu Yönetmelik kapsamındaki sabit telekomünikasyon cihazlarından; Radyo-TV verici cihazları için Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, diğer cihazlar için Kurum tarafından verilen sistem kurma izinlerinde ve/veya onaylı yatırım planında belirtilen bölgelerde ve sayıda kurulacaktır.

Kuruluş yeri madde 6'da hesaplanan güvenlik mesafesinde ve işletmecilerin kontrolü dışında yetkisiz kişilerin kolayca erişebileceği balkon ve teras gibi yerlerin dışında seçilecektir.

Ancak yer seçimi yapılırken, Kurum, İl Mahalli Çevre Kurullarının görüşünü alır. Bu kurullarda konu hakkındaki görüşlerini, Kurumun talebi üzerine; gerekçeleri ile birlikte bir hafta içinde bildirir.

Güvenlik Mesafesi Hesabı

Madde 6- Antenleri yayın yönü dikkate alınarak; güvenlik mesafesi aşağıdaki formülle hesaplanacaktır.

Okul öncesi ve temel eğitim kuruluşlarının bulunduğu mahallerde güvenlik mesafesi hesabında, bahçe sınırları dikkate alınacaktır.

$$d = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot 10^{G/10}}}{E} \text{ (metre)}$$

Bu formülde;

P: Cihaz çıkış gücünü (Watt),

G: Anten kazancını (dBi),

E: Elektrik alan limit değerini (Tablo-1'deki tek bir cihaz için limit değeri olacaktır) (Volt/metre)

d: Güvenlik mesafesini, (metre)

ifade etmektedir.

Güvenlik Sertifikası

Madde 7- İşletici/İşletmeci bu Yönetmeliğin yürürlüğe giirmesini müteakip kuracağı sisteme ait tüm ekipmanları kapsayan projeyi Kuruma onaylatır. Kurum tarafından onaylanan projeye ön izin anlamına gelen güvenlik sertifikası, güvenlik mesafesi hesabına göre düzenlenir. Yapılacak denetim sonucuna göre bu Kurum tarafından sertifika onaylanır.

Montaj Esasları

Madde 8- Bu yönetmelik kapsamındaki sabit telekomünikasyon cihazlarının meskun mahal içinde montajının yapılmasında, asgari olarak Madde 6'ya göre hesaplanan güvenlik mesafesi dikkate alınacaktır. Ancak yönlü antenlerin arka yüzeyi için güvenlik mesafesi hesabı yapılmaz.

Bina yüzeylerine kurulacak olan antenlerin, arka yüzlerine gelen duvara, en az anten boyutlarında yansıtıcı levhalar monte edilecektir.

Montaj sırasında, söz konusu cihaz; kurulacağı yerin topraklama sistemine irtibatlandırılır. Böyle bir sistem yok ise, ya da mevcut sistemin topraklama direnci 5Ω

dan büyük ise, bakır çubuklarla ayrıca topraklanır. Bu topraklama, paratoner topraklamasından ayrı yere yapılmalıdır. Ölçülen toprak direnci 5 Ω 'yi geçmemelidir.

Montaj, yüksek bir yere veya bir bina üzerine yapıldığında; yakın çevredeki bir paratoner tesisinin kapsama alanı içinde olma şartı aranacaktır.

Cihazların montajına müteakip; kuran kuruluş tarafından Yönetmelikte belirtilen özellikteki ölçüm cihazları ile test ve ölçümler yapılacak ve kurulan cihazın elektromanyetik alan şiddet değerinin Yönetmeliğin 16inci Madde'sinde belirtilen limit değerlerini aşmaması sağlanacaktır.

Antenlerin monte edileceği yüksek kulelerde Sivil Havacılık kurallarına göre gerekli ışıklandırma ve benzeri tedbirlerin alınması zorunludur.

Sistem Bildirimi

Madde 9 – (Değişik) Bu Yönetmelik kapsamında kurulacak sabit telekomünikasyon cihazları için EK-B'de yer alan sabit telekomünikasyon cihazı müracaat değerlendirme formu ile müracaat edilir. Cihazın işletmeye alınmasını müteakip, yapılacak ölçüm sonuçlarını gösteren Ek-A'da yer alan ölçüm değerleri formunun doldurularak en geç 30 gün içinde, Kuruma gönderilmesi zorunludur. Aksi takdirde cihaz ruhsat ücretinin 50 katı ceza uygulanır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Ölçüm Yetki Belgesi Esasları

Ölçüm yapmaya yetkili kuruluşlar

Madde 10- Bu Yönetmelikte belirtilen ölçümler, Kurum veya, Kurum tarafından bu Yönetmelik çerçevesinde yetki verilen Kuruluş ve Üniversiteler tarafından yapılacaktır.

Ölçümde Kullanılacak Cihazlar ve Teknik Özellikleri

Madde 11- Ölçümlerde spektrum analizör ve geniş bantlı ölçüm cihazları kullanılacaktır. Bu cihazlara ait minimum teknik özellikler aşağıda sıralanmıştır.

a) Bu Yönetmelikte belirtilen frekans bandı bir veya birden fazla ölçüm cihazı ile kapsanmalıdır.

b) Kullanılan Ölçü Cihazı; Ortalama güç yoğunluğunu (W/m^2 , mW/cm^2), ortalama E alanını (V/m) veya E alanının karesel ortalamasını, ortalama H alanını (A/m) veya H alanının karesel ortalamasını ölçebilecek yada bu parametrelerden bir veya birkaçını gösterebilecek yeteneğe sahip olacaktır.

c) Prob boyutları, ideal olarak kararlı frekans tepki eğrisi gösterecek ve frekans sınırı dışındaki frekanslara karşı tepkisi zayıf olacaktır.

d) Cihazlar zamana göre ortalama alabilme yeteneğine sahip olacaktır.

Ayrıca ölçümlerde kullanılacak ölçüm cihazlarının teknik dökümanlarında önerilen kalibrasyon aralıklarında kalibrasyonu yaptırılacak, şayet bahse konu dökümanlarda kalibrasyon süresi yok ise en az iki yılda bir kalibrasyonu yapılacak ve kalibrasyon belgesi Kuruma iletilecektir. Bu süre içinde kalibrasyon yaptırmayan kuruluşların Yetki Belgesi iptal edilir.

Ölçüm Yapacak Personelin Nitelikleri

Madde 12- Ölçümler; üniversitelerin elektrik-elektronik, haberleşme ve fizik mühendisliği veya fizik lisans bölümlerinden birinden mezun, personel veya meslek liselerinin elektrik, elektronik ve haberleşme bölümlerinden mezun olmuş, test ve ölçüm sertifikası olan, Tekniker ve Teknisyenler tarafından yapılacaktır.

Yetkili Belgesi Müracaatı

Madde 13- Bu Yönetmelikte belirtilen ölçümleri yapmak üzere; yetki belgesi almak isteyen kuruluşlar aşağıdaki belgelerle:

a) Uluslararası akreditasyon belgesi olan, gerçek veya tüzel kişiliğe sahip bağımsız elektromanyetik alan ölçüm laboratuvarları akreditasyon belgesi ile veya,

b) Yetki belgesi talep edecek diğer kuruluş ve laboratuvarlar 11inci maddesinde belirtilen cihazlara ve 12nci maddesinde belirtilen personele sahip olduklarını gösterir belgeler ile,

Kurum'a müracaat edeceklerdir. Kurum yetki belgesi verdiği kuruluşların listesini ve listedeki iptal ve değişiklik bilgilerini kendi internet sitesinde yayınlar.

Yetki İptali

Madde 14- Kurum'dan yetki belgesi alan kuruluşların aynı mahaldeki ölçümlerinin tutarsızlığı durumunda, Kurum yetkili kuruluş elemanları ile ortaklaşa aynı şartlarda ölçümü yeniler. Yetkili kuruluşun ölçümlerinde Yönetmeliğe aykırı durum tespit edilmesi halinde kuruluş önce uyarılır, tekrarı halinde ise yetkisi iptal edilerek ve Kurum'un internet sitesinde yayınlanır ve bir daha aynı kuruluşa yetki verilmez.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Ölçüm Yöntemleri ve Limit Değerler

Ölçüm Yöntemleri

Madde 15- Yapılacak olan ölçümler; temel olarak elektromanyetik alan şiddeti veya güç akı yoğunluğu ölçümlerinden ibaret olup;

Ölçümler geniş bantlı cihaz ile yapıldığında, yakın alanda elektrik alan ve manyetik alan karmaşık bir yapı gösterdiğinden, elektrik alan ve manyetik alan problemleri ayrı ayrı kullanılarak ölçüm yapılacaktır. Uzak alanda ise ölçümler sadece elektrik alan probu kullanılarak yapılacaktır.

Bir noktada birden fazla verici bulunması halinde, geniş bantta ölçüm yapan bir cihaz ile ortamda bulunan bütün elektrik alan şiddetinin etkin değeri ölçülecektir.

Elektromanyetik alan şiddetinin tek bir cihaz için belirlenen limitten fazla çıkması durumunda ortamdaki bütün vericilerin ayrı ayrı elektrik alan şiddetinin tespiti için, spektrum analizör ve yönlü anten kullanılacaktır. Elektrik alan şiddet değerinin düşey ve yatay polarizasyon değerlerinin x,y,z bileşenleri ayrı ayrı ölçülecek, bunların karelerinin toplamının karekökleri alınarak hesaplanan rms bileşke elektrik alan değeri,

$$(E=\sqrt{E_x^2+E_y^2+E_z^2})$$

formülü ile hesap edilecektir.

Bu ölçümde aşağıdaki hususlar dikkate alınacaktır.

- a) Ölçüm Personeli üzerinde bulundurduğu her türlü elektronik cihazı ölçüm sonuçlarını etkilememesi bakımından kapalı tutacaktır.
- b) Cihazın ilk çalıştırılmasından sonra teknik dökümanında belirtilen süre kadar stand-by konumunda beklenecektir.
- c) Her ölçüme başlamadan evvel ölçüm cihazlarının varsa “reset” tuşuna basılacaktır.
- d) Ölçümler verici antenin yayın paterni dikkate alınarak, uzaktan yakına doğru güvenlik mesafesine kadar yaklaşarak yapılacaktır.

Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerleri

Madde 16- Meskun mahal ortamında; elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti, manyetik akı yoğunluğu ve eş düzlem dalga yoğunluğu, toplam limit değerleri ve tek bir cihaz için limit değeri Tablo-1’de belirtilen değerleri aşmayacaktır.

Okul öncesi ve temel eğitim kuruluşlarının bahçe sınırları dahilinde bu maddede belirtilen limit değerler aşılmayacaktır.

* f =frekans (MHz)

Frekans Aralığı (MHz)	E-alan şiddeti (V/m)		H-alan şiddeti (A/m)		B-akı yoğunluğu (μT)		Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (W/m ²)	
	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri
0.010 - 0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15 - 1	22	87	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
1 - 10	22/f ^{1/2}	87/f ^{1/2}	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10 - 400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400 - 2000	0,341.f ^{1/2}	1.375f ^{1/2}	0.0009f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.001f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/3200	f/200
2000- 60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

Tablo-1 Ortam ve Tek Bir Cihaz İçin Belirlenen Limit Değerler

BEŞİNCİ BÖLÜM

Denetim ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Denetim ve Ölçüm Talebi

Madde 17- Bu Yönetmelik kapsamındaki sabit telekomünikasyon cihazlarının kurulması, işletilmesi ve kullanılması esnasında Yönetmelikte belirtilen hususlara uygunluk Kurum tarafından denetlenir.

Sistemin işletmesiyle ilgili üçüncü şahıslar tarafından yapılan ölçüm talepleri Kuruma veya Yönetmeliğin üçüncü Bölümünde belirtilen esaslar çerçevesinde yetki

belgesi verilern kuruluşlara dilekçe ile yapılır. Kurum dışındaki kuruluşlarca ölçümün yapılması halinde, Ek-A'daki tablo doldurulacak ve ölçüm raporlarının bir sureti Kuruma, bir sureti müracaat sahibine ve bir sureti de işletici/işletmeciye en geç beş iş günü içerisinde iletilecektir. Kurum'a ölçüm raporları aynı zamanda elektronik ortamda da gönderilecektir.

Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Madde 18- Kurum ve yetkili kuruluşlar tarafından yapılan ölçüm sonuçlarının Kurum tarafından değerlendirilmesinde; limitlerin aşılmaması halinde müracaat sahibi bilgilendirilir, limitlerin aşılması halinde ise madde 19'a göre işlem yapılır.

Limitlerin Aşılması Halinde Uygulanacak İşlem

Madde 19- Kurum veya yetkili kuruluşlarca ölçümü yapılan sabit telekomünikasyon cihazının elektromanyetik alan şiddetinin Yönetmelikte belirtilen tek bir cihaz limit değerinin uygun bulunmaması halinde; telsiz ücret tarifesinde belirtilen ruhsat ücretinin 50 katı oranında para cezası uygulanır ve söz konusu sabit telekomünikasyon cihazını işleten kuruluşaelektromanyetik alan şiddeti limit değerinin altına getirmesi için bildirim tarihinden başlamak üzere 5 iş günü süre verilir. Bu sürenin bitiminde yapılacak denetim ve ölçümlerde uygunsuzluğunun devam ettiğinin tespit edilmesi halinde sabit telekomünikasyon cihazlarının faaliyeti uygun değerler sağlanıncaya kadar Kurum tarafından veya Kurumca yapılan bildirim üzerine mülki amirler eliyle durdurulur. Ölçümlerde 16ncı maddede belirtilen frekans bandlarına göre ortamın limit değerinin aşılması halinde, düzeltme için herhangi bir süre verilmeksizin limit aşımına neden olan sabit telekomünikasyon cihazının faaliyeti durdurulur.

Söz konusu sabit telekomünikasyon cihazın hizmetinden faydalananların mağdur edilmemesi için talep edilmesi halinde işletmeciye aynı mahalde Yönetmelikte belirtilen değerleri aşmayan yeni bir sistem kurmasına izin verilebilir.

ALTINCI BÖLÜM

Çeşitli Hükümler

Hücresele Baz İstasyonları Ölçüm Yöntemi

Madde 20- Hücresele Baz İstasyonları ölçümleri için 15inci maddede açıklanan ölçüm yöntemlerine ek olarak aşağıdaki hususlara da dikkat edilecektir.

a) Ölçümler, ölçüm yapılacak baz istasyonunun çalışır durumunda ve konuşma trafiğinin yoğun olduğu saatler dikkate alınarak yapılacaktır.

b) Ölçümler antenin yayın yaptığı yönden başlamak üzere yatayda sağa ve sola doğru 20°lik açılarla en az üç değişik noktadan yapılacaktır.

c) Hücresele baz istasyonları için her ölçüm 6 dakikalık ortalama alınarak yapılacaktır.

d) Sokak aralarında yapılacak ölçümlerde antenin yayın paterni dikkate alınarak, gerek antenin karşısındaki açık alandan, gerekse yayına direkt olarak maruz kalan binadan başlamak üzere ölçümler yapılacaktır.

Sabit Telekomünikasyon Cihazlarının Sağlık Kuruluşları Civarında Çalıştırılması

Madde 21- Bu Yönetmelik kapsamındaki sabit telekomünikasyon cihazlarının teşhüs ve tedavi hizmetleri yürütülen sağlık kuruluşları civarında kurulması halinde sağlık kuruluşlarındaki tıbbi cihazları etkilememesi bakımından, bina içinde oluşturacağı ortamın toplam elektrik alan şiddet değeri 3 V/m 'yi geçmeyecektir. Bu alandaki ölçümler; ölçümü etkileyecek diğer elektronik cihazlar kapalı tutularak yapılacaktır.

Ölçüm Ücreti Tahsili Usul ve Esasları

Madde 22- Bu Yönetmelik kapsamında yapılan ölçümler için tahsil edilecek ücretler ile ücretlerin tahsili için gerekli usul ve esaslar Kurum tarafından belirlenir.

Kullanılacak Cihaz Standartları

Madde 23- Bu Yönetmelik kapsamında kullanılacak her türlü sabit telekomünikasyon cihazının imalat ve ithalatı, Kanun ve ilgili Yönetmelikler gereğince genel mevzuat çerçevesinde üretimine ve ithaline izin verilen cihaz ve ekipmanlardan oluşacaktır.

Madde 24- İş bu yönetmelikte açıklık bulunmayan diğer hususlar Kurum tarafından çıkarılacak tebliğde düzenlenir.

Geçici Madde 1- (Değişik) Bu Yönetmeliğin yayım tarihinden önce kurulmuş olan sabit telekomünikasyon cihazlarının da bu Yönetmelikte belirtilen limit değerlere uyması zorunlu olup, uygun olmayan cihazların 30/6/2002 tarihine kadar uygun hale getirilmesi ve Ek-B ile sistem bildiriminde bulunulması zorunludur. Bu tarihe kadar Ek-B ile sistem bildiriminde bulunmayanlara Yönetmeliğin 9 uncu madde hükümleri, limit değerini aşanlara Yönetmeliğin 19 uncu madde hükümleri uygulanacaktır.

Yürürlük

Madde 25- Bu Yönetmelik yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

Yürütme

Madde 26- Bu Yönetmelik hükümlerini Kurul Başkanı yürütür.

SÖZLÜK

A

AUC – Authentication Center – Doğrulama Merkezi

ARQ – Automatic Repeat Request – Otomatik Tekrarlama İsteği

AGCH – Access Grant Channel – Erişim Verme Kanalı

ANSI – American National Standards Institute – Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü

AE – Application Entity – Uygulama Varlığı

ASE – Application Service Equipment – Uygulama Hizmet Elemanları

B

BSS – Base Station System – Baz İstasyon Sistemi

BTS – Base Transceiver Station – Baz Alıcı/Verici İstasyonu

BSC – Base Station Controller – Baz İstasyon Denetleyicisi

BSIC – Base Station Identity Code – Baz İstasyon Kimlik Kodu

BCCH – Broadcast Control Channel – Yayın Kontrol Kanalı

BSSAP – BSS Application Part – BSS Uygulama Kısmı

BSSMAP – BSS Management Messages Part – BSS Yönetimi Mesajları Kısmı

BCF – Base Control Functions – Baz Kontrol Fonksiyonları

C

CEPT – Conference of European Posts and Telegraphs – Avrupa Posta ve Telgraf Konferansı

CSPDN – Circuit Switched Public Data Network – Devre Bağlaşmalı Yerel Veri şebekesi

CGI – Cell Global Identity – Hücre Küresel Kimliği

CCH – Common Control Channel – Ortak Kontrol Kanalı

CRC – Cyclic Redundancy Check – Çevrimsel Redondans Kontrolü

CR – Connection Request – Bağlantı İsteği

CC – Connection Confirm – Bağlantı Onayı

CDMA – Code Division Multiple Access – Kod Bölmeli Çoklu Erişim

D

DTAP – Direct Transfer Messages – Direk Transfer Mesajları

DLCI – Data Link Connection Identification – Veri Bağlantı Bağlantısı Kimliği

E

EIR – Equipment Identity Register – Cihaz Kimlik Kaydedicisi

ETSI – European Telecommunications Standart Institute – Avrupa Haberleşme Standardı Enstitüsü

F

FDMA – Frequency Division Multiple Access – Frekans Bölmeli Çoklu Erişim

FCCH – Frequency Correction Channel – Frekans Düzeltme Kanalı

FACCH – Fast Associated Control Channel – Hızlı Birleştirilmiş Kontrol Kanalı

FISU – Fill-in Signal Unit – Doldurma İşaret Birimi

G

GSM – Global System for Mobile Communications – Küresel Mobil İletişim Sistemi

GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying – Gauss Minimum Kaydırmalı Anahtarlama

GMSC – Gateway MSC – Geçit MSC

GPRS – General Packet Radio Service – Genel Amaçlı Radyo Paket Hizmeti

H

HLR – Home Location Register – Abone Konum Kaydedicisi

HO – Handover – Aktarma

I

ISDN – Integrated Services Digital Network – Tümüleşmiş Hizmetler Sayısal Şebekesi

IN – Intelligent Network – Akıllı Şebeke

IMSI – International Mobile Subscriber Identity – Uluslararası Mobil Abone Numarası

IMEI – International Mobile Equipment Identity – Uluslararası Mobil Cihaz Kimliği

ISI – Inter Signal Interference – Ara simge Girişimi

ITU – Internatioal Telecommunications Union - Uluslararası Haberleşme Birliği

ISUP – ISDN User Part – ISDN Kullanıcı Kısmı

ITS – International Telecommunications Service – Uluslararası Haberleşme Hizmeti

L

LA – Location Area – Yerleşim Bölgesi

LAI – Location Area Identity – Yerleşim Bölgesi Kimliği

LSSU – Link Status Signal Unit – Bağlantı Durumu İşaret Birimi

LI – Length Indicator – Uzunluk Göstergesi

LAPD – Link Access Procedure on D Channel – D Kanalı Üzerindeki Bağlantı Erişimi Prosedürü

LPD – Link Protocol Discriminator – Bağlantı Protokolü Ayırıcı

M

MoU – Memorandum of Understanding

MSC – Mobile Services Switching Center – Mobil Hizmetler Bağlaşma Merkezi

MS – Mobile Station – Mobil İstasyon

MCC – Mobile Country Code – Mobil Ülke Kodu

MNC – Mobile Network Code – Mobil Şebeke Kodu

MSIC – Mobile Subscriber Identification Number – Mobil Abone Kimlik Numarası

MOC – Mobile Originated Call – Mobil Çıkışlı Arama

MTC – Mobile Terminated Call – Mobil Sonlandırılmalı Arama

MTP – Message Transfer Part – Mesaj Transfer Kısmı

MSU – Message Signal Unit – Mesaj İşaret Birimi

MAP – Mobile Application Part – Mobil Uygulama Kısmı

MSISDN – Mobile Station ISDN Number – Mobil İstasyon ISDN Numarası

MSRN – Mobile Station Roaming Number – Mobil İstasyon Dolaşım Numarası

MSP – Multiple Subscriber Profile – Çoklu Abone Profili

O

OMC – Operation and Maintenance Center – İşletme ve Bakım Merkezi

OSI – Open System Interconnect – Birbirine Bağlı Açık Sistem

OMAP – Operation, Maintenance and Administration Part – İşletme, Bakım ve Yönetim Kısmı

P

PSTN – Public Switch Telephone Network – Yerel Bağlaşmalı Telefon Şebekesi

PSPDN – Packet Switched Public Data Network – Paket Bağlaşmalı Yerel Veri Şebekesi
PAD – Packet Assembly/Disassembly Service – Paket Oluşturma/Çözme Hizmeti
PLMN – Public Land Mobile Network – Yerel Alan Mobil Şebekesi
PIN – Personal Identification Number – Kişisel Kimliklendirme Numarası
PUK – Personal Unblocking Key – Kişisel Blok Çözme Anahtarı
PCM – Pulse Code Modulation – Darbe Kod Modülasyonu
PCH – Paging Channel – Çağırma Kanalı
PCS – Personal Communication Services – Kişisel Haberleşme Hizmetleri
PD – Protokol Discriminator – Protokol Ayırıcı
PABXs – Private Automatic Branch Exchanges – Özel Otomatik Bölüm Değişimleri
PMRs – Private Mobile Radios – Özel Mobil Radyolar
PDS – Packet Data Over a Signalling Channel – İşaretleşme Kanalında Veri Paketi Hizmeti

R

RAND – Random Generated Number – Rastgele Üretilmiş Numara
RACH – Random Access Channel – Rastgele Erişimli Kanal
RR – Receive Ready – Almaya Hazır
RNR – Receive Not Ready – Almaya Hazır Değil
REJ – Reject – Reddetme

S

SS – Switching System – Bağlaşma Sistemi
SIM – Subscriber Identity Module – Abone Kimlik Modülü
SRES – Signed Response – İşaretili Yanıt
SCH – Synchronisation Channel – Senkronizasyon Kanalı
SDCCH – Stand Alone Dedicated Control Channel – Tek Başına Tahsis Edilmiş Kontrol Kanalı
SACCH – Slow Associated Control Channel – Yavaş Birleştirilmiş Kontrol Kanalı
SS7 – Signalling System 7 – İşaretleşme Sistemi 7
SSP – Service Switching Point – Hizmet Bağlaşma Noktası
STP – Signal Transfer Point – İşaret Transfer Noktası
SCP – Service Control Point – Hizmet Kontrol Noktası

SCCP – Signalling Connection Control Part – İşaretleşme Bağlantı Kontrolü Kısmı

SU – Signal Unit – İşaret Birimi

SIF – Signalling Information Field – İşaretleşme Bilgi Alanı

SLS – Signaling Link Selection – İşaretleşme Bağlantı Seçimi

SAPI – Service Access Point Identifier – Hizmet Erişim Noktası Kimliği

SMS – Short Message Service – Kısa Mesaj Hizmeti

T

TDMA – Time Division Multiple Access – Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

TMSI – Temporary Mobile Subscriber Identity – Geçici Mobil Abone Kimliği

TS – Time Slot – Zaman Dilimi

TCH – Traffic Channel – Trafik Kanalı

TUP – Telephone User Part – Telefon Kullanıcı Kısmı

TCAP – Transaction Capabilities Application Part – İşlem Yeteneği Uygulamaları Kısmı

TI – Transaction Identifier – İşlem Tanıyıcı

TRX – Transceiver – Alıcı/Verici

TRI – Transceiver Remote Interface – Alıcı/Verici Uzak Arayüzü

TDD – Time Division Duplex – Zaman Bölmeli Dupleks

U

UMTS – Universal Mobile Telecommunication Service – Evrensel Mobil Haberleşme Hizmeti

UTRA – UMTS Terrestrial Radio Access – UMTS Karasal Radyo Erişimi

V

VLR – Visitor Location Register – Ziyaretçi Konum Kaydedicisi

VHE – Virtual Home Environment – Virtuel Ev Çevres

W

WB-CDMA – Wideband CDMA – Geniş Bant CDMA

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

1. OZGUNER, N. E., CAVDAR, I. H., 2001, "Effects of Electromagnetic Fields on Human Bodies and Comparison of International Standarts and Measurements of Some Base Stations", 2nd Int. Conference on Electrical and Electronics Engineering, s. 238-241, BURSA
2. OZGUNER, N. E., 2002, "GSM Haberleşme Sisteminde Denizin Yansıtıcı Etkisi ve Bu Nedenle Oluşan Enterferansın Önlenmesi", 10. Sinyal İşleme Uygulamaları Sempozyumu, s. 354-359, DENİZLİ.
3. YANMIŞ, Y., PEHLİVAN, M., CAVDAR, I. H., ASLAN, T.A., OZGUNER, N.E., 2002, "Bertoni-Walfisch GSM Propagasyon Model Parametrelerinin Kestirimi ve GSM Propagasyon Ölçümleri", 10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu, s. 611-616, DENİZLİ.
4. ÖZGÜNER, E., 2002, "GSM Hücre Planlamasında Baz İstasyonu ve Cep Telefonlarının Dinamik Güç Kontrolü Özelliğinin Kullanılması", 4. GAP Mühendislik Kongresi, Cilt-1, Vol.1, s.564-568., URFA
5. OZGUNER, E., 2001, "Hiyerarşik Hücre Yapıları (HCS) ve Hücre Trafik Paylaşımı (CLS) Özelliklerini Kullanarak GSM'de Bir Hücresinin Optimizasyonu", İletişim Teknolojileri Sempozyumu, s.238-242, ANKARA.
6. ÖZGÜNER, N. E., ÇAVDAR, İ. H., 2001, "Baz İstasyonlarının Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri", İletişim Teknolojileri Ulusal Semp., s.143-150, ANKARA.
7. OZGUNER, N. E., CAVDAR, I. H., 2002, "Microwave and Electromagnetic Fields Effects on Human Bodies and Comparison of International Standarts and Measurements of Base Stations and Mobile Phones", Recent Advances in Computers, Computing and Communications, pp.447-451, GREECE.
8. CAVDAR, I. H., OZGUNER, N. E., 2003, "Electromagnetic Field Measurements at 900 MHz to Obtain the Effects of Mobile Communication on Risc Probabilities for the Human Health" Iranian Journal, Summer-Fall, Vol.2, No.2, pp.119-123, IRANIAN.
9. OZGUNER, N. E., DİBEKCI, D., 2003, "Reflection Effects of The Sea in GSM Networks; Measurements, Tests and Suggestions", IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility, İSTANBUL.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Üsküdar – İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Derince-İzmit’te, lise öğrenimini İzmit Teknik Lisesi Elektronik Bölümünde tamamladı. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 1999 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme A.B.D.’dan Yüksek Mühendis ünvanını aldı ve aynı yıl yine aynı bölümde doktora çalışmasına başladı. 1996 yılının sonuna kadar Yavuz Radyo&TV A.Ş.’de TV Müdür Yardımcısı ve Program Koordinatörlüğü görevini yaptı. 1996/Aralık –2000/Mayıs döneminde Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı.

2000 yılı Mayıs ayından bu yana Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.’de hücre planlama mühendisi olarak çalışmaktadır.