

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

728617

GSM ALTYAPISI VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE
YAPILAN ÇALIŞMALAR

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Elektrik Müh. Rıfat Koray TÜZÜN

F.B.E Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

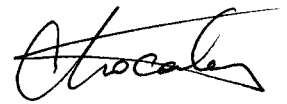
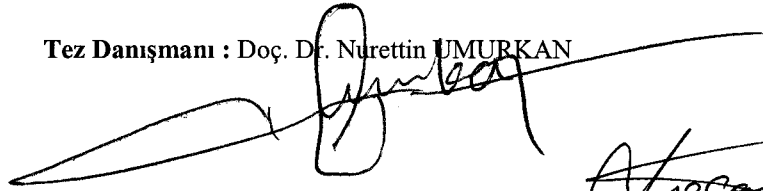
YÜKSEK LİSANS TEZİ

128617

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nurettin UMURKAN



Doç. Dr. Herman SEDEF



Doç. Dr. Celal KOCA7 SPE

İSTANBUL, 2002

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvi
ÖNSÖZ	xviii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xx
1. GSM'E GİRİŞ	1
1.1 GSM'in Tarihçesi	1
1.2 Türkiye'de GSM.....	2
1.3 GSM Sistem Standartları	3
1.4 Erişim Metodu	4
1.5 Geniş Banda Karşı Dar Band	4
1.6 GSM'in Avantajları	5
2. ABONE HİZMETLERİ	6
2.1 Tele Hizmetler	6
2.1.1 Normal telefon.....	6
2.1.2 Acil aramalar	6
2.1.3 Kısa mesaj hizmetleri	6
2.1.4 Hücre yayını	6
2.2 Taşıyıcı Hizmetler	7
2.3 Bütünleyici Hizmetler	7
2.3.1 Yönlendirme	7
2.3.2 Mobilden yapılan aramaları kapama	7
2.3.3 Mobile gelen aramaları kapama	7
2.3.4 Fatura bilgisi	8
2.3.5 Aramayı askıya alma	8
2.3.6 Konferans	8
2.3.7 Tek numara ile farklı şebekeleri kullanma	8
2.3.8 Çift numara özelliği	8
2.4 GSM Hizmetlerinin Gelişim Evreleri	8
2.4.1 GSM birinci evre hizmetler	8
2.4.2 GSM ikinci evre hizmetler	9
3 SİSTEMLER GENEL BAKIŞ	10
3.1 Hücresel Ağ	10
3.1.1 Hücresel yapı	10
3.1.2 Ağ planlaması	11
3.1.2.1 Hücreleri ayırma ve mikro hücre uygulaması	11
3.1.2.2 Seçimli hücreler	12
3.1.2.3 Şemsiye hücreler	12
3.2 GSM Şebeke	13
3.2.1 Hücreler	14

3.2.2	Mobil istasyon terminal cihazı (MS-mobil station).....	14
3.2.3	Abone kimlik modülü (SIM-subscriber identity module)	15
3.2.4	Baz alıcı – verici istasyonu (BTS-base transceiver system)	15
3.2.5	Baz istasyon denetleyicisi (BSC-base station controller).....	17
3.2.6	Mobil servisler anahtarlama merkezi (MSC-mobile switching center)	18
3.2.7	Geçit mobil servisler anahtarlama merkezi GMSC-gateway mobile switching center)	19
3.2.8	İşletme ve bakım merkezi (OMC-operations and maintenance control).....	20
3.2.9	Tek noktadan kontrol merkezi (NCC-network control center)	21
3.2.10	Dahili yer kaydedicisi (HLR-home location register)	22
3.2.11	Ziyaretçi yer kaydedicisi (VLR-visitor location register)	23
3.2.12	Cihaz kimlik kaydedicisi (EIR-equipment identity register).....	24
3.2.13	Doğrulama merkezi (AUC-authentication center)	24
3.3	Coğrafi Ağ Yapısı.....	24
3.3.1	Ağ bölgesi GMSC	25
3.3.2	MSC/VLR servis bölgesi.....	25
3.3.3	Yerleşim bölgesi (LAC-location area center).....	26
3.3.4	Hücre.....	26
3.4	CME 20 Sisteminin mimarisi	27
3.4.1	Fonksiyonelliği	27
3.4.2	Kapasite	28
3.4.3	İşletim ve destek sistemi (OSS – operation and support system).....	28
3.5	Kaydetme.....	29
3.6	Arama Kurulumu.....	31
3.7	Handover / Handoff (Aktarma)	32
3.8	Güvenlik Parametreleri.....	34
3.8.1	Doğrulama (authentication).....	34
3.8.2	Şifreleme.....	35
4	SAYISAL RADYO TRANSMİSYONU – PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLER	37
4.1	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA – time division multiple access).....	37
4.2	Transmisyon Problemleri	38
4.2.1	Yol kaybı	38
4.2.2	Zayıflama.....	39
4.2.2.1	Log – normal zayıflama.....	39
4.2.2.2	Rayleigh zayıflaması	39
4.2.2.3	Toplam zayıflayan işaret	40
4.2.3	Zaman ayrılması	41
4.2.4	Zaman ayarlanması.....	42
4.3	Transmisyon Problemlerine Çözümler	43
4.3.1	Analog işaretler ve sayısal transmisyon ilkeleri	44
4.3.2	Konuşma kodlama	46
4.3.3	Kanal kodlama.....	48
4.3.4	Araya yerleştirme (interleaving).....	50
4.3.5	İkinci seviye araya yerleştirme.....	52
4.3.6	Modülasyon	53
4.3.7	Anten (veya uzay) aralığı	53
4.3.8	Frekans atlama (frequency hopping)	54
4.3.9	Dengeleyici (equalizer).....	54
4.4	Sayısal Transmisyon Problemlerinin Özet Çözümü.....	55

5	SAYISAL RADYO (HAVA) ARAYÜZÜ	56
5.1	Kanal Problemi	56
5.1.1	Kontrol kanalları	57
5.1.1.1	Yayın kanalları, BCH	57
5.1.1.2	Tahsis edilmiş kontrol kanalları	59
5.1.2	Trafik kanalları, TSC	59
6	KİMLİK NUMARALARI	60
6.1	Mobil İstasyon ISDN Numaraları (MSISDN Mobile Station ISDN Number)	60
6.2	Uluslararası Mobil Abone Kimliği (IMSI – International Mobile Subscriber Identity)	60
6.3	Mobil İstasyon Dolaşım Numarası (MSRN Mobile Station Roaming Number)	60
6.4	Geçici mobil Abone Numarası (TMSI Temporary Mobile Subscriber Identity)	61
6.5	Uluslararası Mobil İstasyon Cihaz Kimliği (IMEI – International Mobile Station Equipment Identity)	61
6.6	Yerleşim Bölgesi Kimliği (CGI – Cell Global Identity)	61
6.7	Hücre Küresel Kimliği (CGI – CellGlobal Identity)	62
6.8	Temel İstasyon Kimlik kodu (BSIC – Base Station Identity Code)	62
7.	GSM'DE TRAFİK DURUMLARI	63
7.1	MS Açık Beklemede – Trafik Durumları	63
7.1.1	Dolaşım	63
7.1.2	Normal şekilde yer değişimi	64
7.1.3	IMSI'nın ayrılması	64
7.1.4	IMSI'nın kabulü şeklinde yer bildirimi	65
7.1.5	Periyodik kaydetme şeklinde yer bildirimi	65
7.1.6	Mutlak ayrılma	65
7.2	MS Meşgul İken Trafik Durumları	65
7.2.1	MS'den arama	66
7.2.2	MS'i arama	67
7.2.3	Aktarma	68
7.2.3.1	Aynı BSC'de aktarma	69
7.2.3.2	Aynı MSC / VLR servis alanında, farklı BSC'lerde aktarma	70
7.2.3.3	Farklı MSC / VLR servis alanında aktarma	71
7.3	Noktadan Noktaya Kısa Mesaj Servisi	72
7.3.1	Mobil sonlandırmalı SMS	72
7.3.2	Mobil çıkışlı SMS	73
8.	GSM'İN GELİŞİMİ	74
8.1	GSM Faz 1 Hizmetleri	74
8.2	Alternatif Frekans Bantları	75
8.3	Diğer Standartlarda Olan İlişki	75
8.4	GSM'in Dünya Çapında Uygulamaları	76

8.5	Mobil Sistemde Üçüncü Jenerasyon	78
8.5.1	Üçüncü jenerasyonun amaçları	80
8.5.2	Dünya çapında gerçekleştirilim – WB – CDMA (wireband code division multiple access)'in önemi.....	81
8.5.3	GSM'in UMTS'e doğru evrimi.....	82
8.5.4	UMTS hizmetleri.....	83
8.5.5	UMTS Şebeke mimarisi	87
8.5.6	UMTS zaman skalası	88
9.	GSM'İN GELİŞİMİ	89
9.1	Mobil & Hücreli iletişim geleceği.....	89
9.2	Ticari Geleceği	90
9.3	Teknik Geleceği.....	91
9.4	Mobil Veri Ve Mobil İnternet	92
10.	TÜRKİYEDE GSM'İN GELİŞİMİ	94
11.	ELEKTROMAGNETİK ALANLARLA İLGİLİ TEMEL BİLGİLER.....	96
11.1	Radyasyon Alanları	97
11.1.1	Özgül soğurma alanı	98
11.1.2	Penetrasyon ve frekans özelliği	98
11.1.3	Polarizasyon	99
12.	ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR.....	100
12.1	Elektrik Alanları	100
12.2	Magnetik Alanları.....	101
12.2.1	Güç	102
13.	RADYO FREKANSLARINDAKİ ALANLAR	104
13.1	Radyo Frekanslarındaki Alanların Etkileri.....	109
13.1.1	Maruz kalınan RF kaynakları	109
13.1.2	Doğal RF çevre.....	110
13.1.3	Yüksek güç RF kaynakları	110
13.1.4	Düşük güç RF kaynakları	110
13.1.5	RFR'na mesleki olarak maruz kalmalar	111
13.1.5.1	İndüksiyon ile ısıtma	111
13.1.5.1.1	Dielektrik ısıtma	111
13.1.5.1.1.1	Haberleşme sistemleri	112
13.1.5.1.1.2	Medikal maruziyet.....	112
14.	RADYASYONUN SINIFLANDIRILMASI	114
14.1	Radyasyon Kaynakları.....	114
14.2	İyonlaştırıcı Radyasyonu (elektromagnetik radyasyon)	115
14.2.1	Elektromagnetik radyasyonun (EM) dalga özelliği.....	116
14.2.2	Elektromagnetik radyasyonun tanecik özelliği	117
14.3	İyonlaştırıcı Radyasyon (Nükleer Radyasyon).....	119

14.3.1	Spesifik İyonizasyon (SI)	121
14.4	İnsan Vücudunun İyonlaştırmayan Radyasyon Açısından Biyolojik Yapısı ...	122
14.4.1	Biyolojik dokuların elektriksel özellikleri	123
14.4.1.1	Çok düşük frekanslarda dokuların elektriksel özellikleri	124
14.4.1.1.1	Mikroskobik doku modelleri	125
14.4.1.2	RF frekansında dokuların elektriksel özellikleri	127
14.4.1.2.1	Genel gevşeme teorisi.....	127
14.4.1.2.2	Dielektrik Sabiti ve İletkenlik.....	127
15.	GSM EKİPMANLARININ ÜRETTİĞİ ALANLAR	133
15.1	Cep Telefonunun Ürettiği Alanlar	133
15.2	Baz İstasyonlarının Ürettiği Alanlar.....	134
16.	SAĞLIK ÜZERİNE GENEL BİLGİLER	137
16.1	İnsan Vücudunda RF Radyasyonun Oluşturduğu Başlıca Etkiler.....	137
16.1.1	Termal etkiler	137
16.1.2	Göz üzerine etkiler.....	137
16.1.3	Sinir sistemleri	138
16.1.4	Üreme ile ilgili dokular	138
16.1.5	Dolaşım sistemleri	139
16.1.6	RF alanlarının diğer organlara etkileri.....	139
16.2	Sonuçlar ve tavsiyeler.....	140
16.3	Radyo frekanslı Alanların Biyolojik Etkileri	141
16.4	Etki Mekanizması	142
16.5	Karşılıklı Etkileşimin Termal Mekanizması	144
16.6	Karşılıklı Etkileşimin Termal Olmayan Mekanizması	145
16.7	Epidemiksel ve Modelleme Çalışması	146
16.7.1	Epidemiksel çalışmalar	146
16.7.2	Epidemiolojik incelemeler üzerine genel yorumlar.....	146
17.	DOZİMETRE	148
18.	RADYO BAZ İSTASYONLARINDA RADYO FREKANS TEHLİKESİ	154
18.1	Sağlık ve Emniyet Talimatları	154
18.1.1	Genel açıklama	154
18.1.2	Tanımlar	155
18.1.3	Temel kısıtlamalar	156
18.1.3.1	Referans seviyeleri	157
18.1.3.2	Emniyet düzenlemeleri	158
18.2	RF Tehlikesinin Tayin Yöntemi	159
18.2.1	Analitik alan dayanım hesabı	159
18.2.2	Silindirik formülünü kullanışı	160
18.2.3	Nümerik alan dayanım hesabı	161
18.2.4	En kötü durum SAR hesabı	161
18.2.5	Alan dayanım ölçümleri	162
18.2.6	Dozimetrik SAR hesapları.....	162
18.3	Emniyet uzaklığının belirlenmesi	162
18.3.1	Emniyet uzaklık hesabı.....	163

18.4	Genel baz istasyonu montajı RF emniyeti.....	163
18.4.1	Mikrobaz istasyonlar	164
18.4.1.1	Dış anten uygulaması	164
18.4.1.2	Ölçümler ve hesaplar	164
18.4.1.3	Birleşik anten uygulamaları.....	165
18.4.2	Makrobaz istasyonlar.....	166
18.4.3	Çatı antenleri	166
18.4.4	Duvara montajlı antenler	167
18.4.5	Direğe ve kuleye montajlı antenler.....	168
18.5	Baz İstasyonlarında Kullanılan Antenler İçin Tavsiyeler.....	168
18.5.1	Maksimum tehlikeyi tahmin et.....	168
18.5.2	Anteni yükseltin.....	168
18.5.3	Antene kolay ulaşılmasını	168
18.5.4	Geçiş sınırlayın ve uyarı yazısı koyun.....	168
18.5.5	EMI etkisini önleyin	169
18.5.6	Bilgi verin.....	169
18.6	Montaj ve Bakım Personeli İçin Talimatlar	169
19.	CEP TELEFONLARININ ETKİLERİ.....	170
19.1	Mobil İstasyonların Yakınındaki Durum.....	171
19.2	Cep Telefonu Riski Nedir?.....	172
20.	ELEKTROMAGNETİK KİRLİLİK, CEP TELEFONLARI VE BAZ İSTASYONLARI	174
20.1	Kalp Pili.....	177
20.2	İşitme Cihazı.....	177
21.	MODELLEME ÇALIŞMALARI.....	179
21.1	Düzlemsel Tabaka Modeli.....	179
21.1.1	Tek tabaka modeli	179
21.1.2	Çoklu tabaka modeli.....	181
21.2	Üç Boyutlu Modeller.....	182
21.2.1	Küresel modeller.....	183
21.2.2	Yumurtamsı modeller.....	185
21.3	Silindirik Modeller	185
21.4	Karmaşık Modeller	187
22.	RF GÜVENLİK STANDARTLARI	191
22.1	ANSI (Amerikan Ulusal Standart Kanunu) Standartı	191
22.2	IRPA (Milletlerarası Radyasyon Koruma Birliği) Standartı	192
22.3	Sovyet Standartı.....	192
22.4	Güvenlik Standartlarının Geliştirilmesi ve Uygulanması.....	193
22.5	Radyasyona Maruz Kalma Konusundaki Sınır Değerler ve alınması Gereken Tedbirler	195
22.5.1	RF radyasyonu için çeşitli kuruluşlar tarafından tavsiye edilen sınır değerler..	195
22.6	Baz İstasyonlarının Sağlığa Etkileri ve Alınması Gereken Tedbirler	199
22.6.1	Baz istasyonlarının ulusal kaydı.....	200
22.6.2	Boşaltılması gereken bölgeler	200

22.6.3	Baz istasyonlarının denetimi	200
22.6.4	Planlama işlemi	201
23.	KORUNMA YÖNTEMLERİ	202
23.1	Düşük Frekanslardaki Korunma Yöntemi.....	202
23.1.1	Koruma önlemleri.....	204
23.1.2	Sonuçlar	205
23.2	RF Frekanslarından Korunma Yöntemleri	205
23.3	Yüksek Frekans EM alanlarının Direkt Zararlarına Karşı Koruma	207
23.3.1	Koruyucu bazı tedbirler	208
23.3.2	Organ akımları.....	213
23.3.3	RF şok ve yanıklar.....	215
23.3.4	RF cihazlarında sıcaklığın algılanması.....	216
23.3.5	Darbeli radyasyon.....	217
23.4	İşçiler	217
23.4.1	Temel sınırlamalar	217
23.4.1.1	Akım yoğunluğu ,10 kHz-10 MHz.....	217
23.4.1.2	Özgül soğurma oranı (SAR)	218
23.4.2	Tüketilen referans seviyeleri	218
23.4.2.1	Alan şiddeti, güç yoğunluğu ve enerji akı yoğunluğu	218
23.4.2.2	İndüklenen vücut akımı	221
23.5	Genel Halk	221
23.5.1	Temel sınırlamalar	221
23.5.1.1	Akım yoğunluğu, 10kHz-10MHz.....	221
23.5.1.1.1	Sürekli maruziyet.....	221
23.5.1.1.2	Özgül soğurulma oranı açısından	231
23.5.1.2	Tüketilen referans seviyeleri	222
23.5.1.2.1	Alan şiddetleri, güç yoğunluğu, enerji akı yoğunluğu	222
23.5.2	Birbirinden bağımsız pek çok kaynakta aynı anda ısıma	224
23.5.3	Dolaylı zararlara karşı koruma	224
23.5.3.1	Temas akımları için temel sınırlamalar	224
23.5.4	RF güvenlik standartlarının genel değerlendirmeleri	226
24.	CEP TELEFONLARI ÜRETİCİLERİNİN GÜVENLİKÇALIŞMALARI	227
24.1	Telsiz Dalgaları ve Frekanslar	228
24.2	Radyo Sinyalinin Yoğunluğu	229
24.3	Sürekli Aralıklı Sinyaller.....	229
24.4	Sağlık ve Güvenlik	230
24.4.1	Standartlar ve Limitler.....	230
24.5	Cep telefonları	230
24.6	Radyo- baz istasyonları	232
25.	BAZ İSTASYONLARININ KURULMA ŞARTNAMESİ	236
25.1	Gerekli Belgeler.....	239
25.1.2	Sabit telekomünikasyon cihazı kurma talimatı.....	245

26.	TELEKOMÜNİKASYON KURUMU 10 KHZ-60 GHZ FREKANS BANDINDA ÇALIŞAN CİHAZLARIN YÖNETMELİĞİ.....	247
26.1	Birinci Bölüm	247
26.2	İkinci Bölüm	249
26.3	Üçüncü Bölüm	251
26.4	Dördüncü Bölüm	253
26.5	Beşinci Bölüm	254
26.6	Altıncı Bölüm	255
27.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	258
	KAYNAKLAR.....	260
	EKLER	262
	Ek 1 Terimler Listesi	262
	ÖZGEÇMİŞ.....	269



KISALTMA LİSTESİ

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
BCC	Base Station Colour Code
BER	Bit Error Rate
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 Kısım
BSSMAP	BSS Management Messages Part – BSS Yönetimi Mesajları Kısım
BCF	Base Control Functions – Baz Kontrol Fonksiyonları
CEPT	Conference of European Posts and Telegraphs – Avrupa Posta ve Telgraf
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
CI	Cell Identity
DTAP	Direct Transfer Messages – Direk Transfer Mesajları
DLCI	Data Link Connection Identification – Veri Bağlantı Bağlantısı Kimliği
EIR	Equipment Identity Register – Cihaz Kimlik Kaydedicisi
ETSI	European Telecommunications Standard Institute – Avrupa Haberleşme Standardı Enstitüsü
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMI	Electromagnetic Interference
FAC	Final Assembly Code
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
GSM	Global System for Mobile Communications – Küresel Mobil İletişim Sistemi
GMM	Global Multimedia
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying – Gauss Minimum Kaydırmalı Anahtarlama
GMSC	Gateway MSC – Geçit MSC
GPRS	General Packet Radio Service – Genel Amaçlı Radyo Paket Hizmeti
HLR	Home Location Register – Dahili Yer Kaydedicisi
HO	Handover – Aktarma
ICNIRP	International Commission for Non-ionizing Radiation Protection
ISDN	Integrated Services Digital Network – Tümlleşmiş Hizmetler Sayısal Şebekesi
IN	Intelligent Network – Akıllı Şebeke
IMSI	International Mobile Subscriber Identity – Uluslararası Mobil Abone Numarası
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000

IMEI	International Mobile Equipment Identity – Uluslararası Mobil Cihaz Kimliği
ISI	Inter Signal Interference – Ara simge Girişimi
ITU	International Telecommunications Union - Uluslararası Haberleşme Birliği
ISUP	ISDN User Part – ISDN Kullanıcı Kısım
ITS	International Telecommunications Service – Uluslararası Haberleşme Hizmeti
LA	Location Area – Yerleşim Bölgesi
LAC	Location Area Code
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
MoU	Momermundum 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 Kısım
MSU	Message Signal Unit – Mesaj İşaret Birimi
MAP	Mobile Application Part – Mobil Uygulama Kısım
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
MTC	Mobile Terminated Call
NCC	Network Colour Code
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 Kısım
OSS	Operation and Support System
PCH	Paging Channel
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
RACH	Random Access Channel
RAND	Random Generated Number – Rastgele Üretilmiş Numara
RACH	Random Access Channel – Rastgele Erişimli Kanal

RF	Radio Frequency
RMS	Root Mean Square
RR	Receive Ready – Almaya Hazır
RNR	Receive Not Ready – Almaya Hazır Değil
REJ	Reject – Reddetme
SS	Switching System – Bağlaşma Sistemi
SIM	Subscriber Identity Module – Abone Kimlik Modülü
SRES	Signed Response – İşaretli 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
SAR	Specific Absorption Rate
SNR	Serial Number
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
TAC	Type Approval Code
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
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Service – Evrensel Mobil Haberleşme Hizmeti
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access – UMTS Karasal Radyo Erişimi
VLR	Visitor Location Register – Ziyaretçi Yer Kaydedicisi
VHE	Virtual Home Environment – Virtuel Ev Çevresi
VASPs	Value-Added Service Providers
WAP	Wireless Application Protocol
WB-CDMA	Wideband CDMA – Geniş Bant CDMA
WHO	World Health Organization
WLL	Wireless Local Loop
WWW	World Wide Web

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Aynı frekanslara sahip olamayan komşu hücreler	10
Şekil 3.2 Hücreleri ayırma ve mikrohücreler	11
Şekil 3.3 Seçimli Hücreler	12
Şekil 3.4 Şemsiye Hücreler	13
Şekil 3.5 GSM Sistem Modeli	14
Şekil 3.6a Baz Alıcı - Verici istasyonu	16
Şekil 3.6b Baz Alıcı – Verici istasyonu	17
Şekil 3.7 Baz istasyon denetleyicisi	18
Şekil 3.8 Mobil Servisler Anahtarlama Merkezi	19
Şekil 3.9a İşletme ve bakım merkezi	20
Şekil 3.9b İşletme ve bakım merkezi	21
Şekil 3.10a Tek noktadan kontrol merkezi	21
Şekil 3.10b Tek noktadan kontrol merkezi	22
Şekil 3.11 GSM/PLMN ağı ve diğer yerel ağlar arasındaki linkler	25
Şekil 3.12 MSC/VLR Servis Alanları	25
Şekil 3.13 Bir MSC/VLR servis alanının yerleşim bölgelerine bölümü	26
Şekil 3.14 Bir MSC/VLR servis alanının yerleşim bölgelerine ve hücelere bölümü	26
Şekil 3.15 GSM’ deki alanlar arası ilişki	27
Şekil 3.16 CME 20 Sistem Modeli	27
Şekil 3.17 OSS tüm şebeke elemanları için merkezi denetim tedarik eder	29
Şekil 3.18 BTS’ ler arası aktarma	33
Şekil 3.19 MSC’ ler arası aktarma	34
Şekil 3.20 Doğrulama İlkesi	35
Şekil 3.21 Şifreleme anahtarı Kc’ nin hesabı	36
Şekil 3.22 Şifrelemenin başlatılması ve yapılması	36
Şekil 4.1 Girişen işaret	37
Şekil 4.2 TDMA ve FDMA arasındaki fark	38
Şekil 4.3 Log-normal zayıflama	39
Şekil 4.4 Rayleigh zayıflaması	40
Şekil 4.5 Mesafe ile Rx işaret gücü ilişkisi	41
Şekil 4.6 Rx işaret gücü	41
Şekil 4.7 Zaman ayrılması	42
Şekil 4.8 İşaret işleme blokları	43
Şekil 4.9 Analog bir işaretin örneklenmesi	44
Şekil 4.10 Düzgün kuantalama	45
Şekil 4.11 Bir PCM hatta 32 kanalın çoğullanması	46
Şekil 4.12 32 zaman aralıklı bir çerçeve	46
Şekil 4.13 İnsanda konuşma sistemi	47
Şekil 4.14 Konuşma transmisyon modeli	47
Şekil 4.15 Konuşma kalitesi bit oranı ilişkisi	48
Şekil 4.16 Blok kodlama	49
Şekil 4.17 Katlamalı kodlama	49
Şekil 4.18 GSM 'de kanal kodlama	50
Şekil 4.19 Araya yerleştirme	51
Şekil 4.20 Normal burst	52
Şekil 4.21 İkinci seviye araya yerleştirme	52
Şekil 4.22 Anten farklılığı	53
Şekil 4.23 C1 ve C2 frekansları arasında frekans atlama	54

Şekil 4.24	Viterbi dengeleyici	55
Şekil 5.1	Bir radyo kanalı üzerindeki yukarı ve aşağı link.....	56
Şekil 5.2	TDMA kanal kavramı	56
Şekil 5.3	Mantıksal kanallar	57
Şekil 6.1	MSRN' nin kullanımı	61
Şekil 7.1	MS açık beklemede iken trafik durumları.....	63
Şekil 7.2	Normal şekilde yer bildirimi	64
Şekil 7.3	IMSI' nın ayrılması.....	65
Şekil 7.4	MS' nin meşgul olduğu ve meşgul hale getirildiği durumlar	66
Şekil 7.5	MS' nin PSTN' ye arama kurulumu.....	66
Şekil 7.6	PSTN' den MS' yi arama	67
Şekil 7.7	BSC' ye gönderilen ölçümler.....	69
Şekil 7.8	Aynı BSC' de aktarma	69
Şekil 7.9	Aynı MSC/VLR' de fakat farklı BSC' lerde aktarma	70
Şekil 7.10	Farklı MSC' lerde aktarma	71
Şekil 7.11	Mobil sonlandırmalı kısa mesaj	72
Şekil 7.12	Mobil çıkışlı kısa mesaj.....	73
Şekil 8.1	Mobil Multimedya Hizmetleri.....	79
Şekil 8.2	UMTS Rol Modeli	85
Şekil 8.3	GSM radyo spektrumu	86
Şekil 11.1	Elektrik alanının mesafe ile değişimi	100
Şekil 12.1	Bir metrekaarelik bölgeden geçen elektromanyetik dalga	101
Şekil 12.2	Elektromanyetik enerji akışının çoğunun yönünü gösteren çift kutuplu elektrik anteni	102
Şekil 13.1	Sınır yüzeyine paralel E geliş alanı içinde T geçme katsayısının frekansa bağımlılığı.....	104
Şekil 13.2	Geçen gücün gelen güce oranı, Dalga hava –kas ara yüzeyine dik gelmelidir	108
Şekil 13.3	Düzlem dalga için kas dokusundaki deri kalınlığı	106
Şekil 13.4	Farklı iki ortamın sınır yüzeyine herhangi bir açıda gelen elektromanyetik dalga (A) dik polarizasyon ; (B) paralel polarizasyon.....	108
Şekil 13.5	Paralel polarizasyon için geçiş katsayısının geliş açısına göre değişimi.....	109
Şekil 14.1	Elektromanyetik radyasyonun sinüzoidal dalga özelliği	116
Şekil 14.2	Elektromanyetik Spektrum.....	119
Şekil 14.3	Elektriksel bakımdan doku elemanlarının görünüşü	126
Şekil 14.4	Yüksek oranda su bulunduran insan dokusunun bağıl dielektrik sabitinin, ϵ_r frekans ile değişimi.....	128
Şekil 14.5	İnsan dokusunun öz direncinin frekans ile değişimi	128
Şekil 14.6	Yağ dokusunda dielektrik sabitinin su oranıyla değişimi	129
Şekil 14.7	Yağ dokusunda iletkenliğin su oranıyla değişimi (sıcaklık 25 °C ve frekans 900 MHz).....	130
Şekil 16.1	Radyo frekanslı alanların biyolojik etkilerinin ayrıntılı mekanizması.....	143
Şekil 16.2	Mutlak sıcaklığın fonksiyonu olarak zamanla ters orantılı değişen ısı inaktivasyon Arrhenius noktaları.....	145
Şekil 17.1	ÖSO' nun frekans ile değişimi	149
Şekil 17.2	ÖSO' nun frekans ile değişimi(Maymun, fare ve insan için).....	150
Şekil 17.3	Üç ayrı frekanslı düzlem dalgaya maruz kalmış insan vücudunda oluşan SAR' ın yerel değerleri.....	150
Şekil 17.4	Üç ayrı frekanslı dipolün yakın alanına maruz kalmış bir insan modelinde SAR' ın yerel değerleri.....	151
Şekil 18.1	900 MHz anten için çıkan eğridir.....	161
Şekil 18.2	Micro - 2 transceivers.....	164
Şekil 18.3	Entegral antenli mikrobaz istasyonları	165

Şekil 18.4 Makrobaz istasyonları	166
Şekil 18.5 Makrocell baz istasyon	167
Şekil 20.1 SAR labaratuvarından bir örnek	174
Şekil 20.2 Test labaratuvarı	175
Şekil 20.3 Türetilmiş limitlere bir örnek	175
Şekil 20.4 İnsan Beyin Hücre Eşleşmesi	175
Şekil 20.5 Elektrik alan şiddetinin frekans ile değişimi	176
Şekil 20.6 Cep telefonları için geliştirilmiş aksesuarlara bir örnek	178
Şekil 21.1 Yağ ve kas tabakalarına gelen düzlem dalga	181
Şekil 21.2 Yağ ve kas dokularında soğurulan güç yoğunluğu	182
Şekil 21.3 Düzlem tabakalarda Elektrik alan tabakaları	182
Şekil 21.4 6 Tabakalı yetişkin bir insan kafasını temsil eden küresel modelde SAR dağılımı	184
Şekil 21.5 İnsan vücudunu temsil eden küresel modelde soğurulmanın frekans değişimi	184
Şekil 21.6 Frekansa bağlı üç ayrı soğurulma bölgesi	185
Şekil 21.7 Silindir geometrisi	186
Şekil 21.8 Silindirik modelde , değişik geliş açılarında TE ve H polarizasyon için ortalama özgül soğurulma değişimi	187
Şekil 21.9 İnsan vücudunun kübik hücre gösterilimi	188
Şekil 21.10 180 hücreli insan modelinde ortalama SAR (Gelen düşey polarize dalganın güç yoğunluğu 10W/m^2)	188
Şekil 21.11 1mW/cm^2 güç yoğunluklu düzlem dalgaya maruz kalan bir insan için çeşitli modellerden hesaplanmış SAR' ın frekansa bağlı değişimi	189
Şekil 21.12 Yumurtamsı modelde insan ve fare için elde edilmiş SAR' ın frekansa göre değişimi	190
Şekil 22.1 1.8 m boyundaki bir adam için güç yoğunluklarının frekansa göre değişimi (Tüm vücut için 0.4 W/kg 'dır.)	194
Şekil 23.1 İnsan Kafası modellemesi	206
Şekil 23.2 İşçiler için alan şiddeti ve güç yoğunluğuna ilişkin referans seviyeleri (devamlı maruziyet)	212
Şekil 23.3 Genel halk için alan şiddeti ve güç yoğunluğuna ilişkin referans seviyeleri (sürekli maruziyet)	213
Şekil 23.4 Genel halk için pik alan şiddeti ve güç yoğunluğuna ilişkin referans seviyeleri	213
Şekil 24.1 Cep telefonu kullanım ağı örneği	226
Şekil 24.2 Dalganın elektrik ve manyetik alan bileşenleri	227
Şekil 24.3 Elektromanyetik dalga spektrumu	228
Şekil 24.4 Radyo dalgalarının su içindeki yayılımı	229
Şekil 24.5 SAR testleri örneği	231
Şekil 24.6 Termal etkinin gösterilimi	232
Şekil 24.7 Cep telefonu ile baz istasyonu arasındaki ağ	232
Şekil 24.8 900 ve 1800 MHz' de elektromanyetik alana maruz kalma limitleri	242

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Türkiye' deki operatörler.....	3
Çizelge 1.2 900 Mhz GSM Şebekeler için sistemin standartları.....	3
Çizelge 1.3 1800 Mhz GSM Şebekeler için sistemin standartları.....	4
Çizelge 2.1 Birinci evre teknik özellikler.....	9
Çizelge 2.2 İkinci evre teknik özellikler.....	9
Çizelge 3.1 Şebekedeki kaydetme prosedürü.....	29
Çizelge 3.2 Mobil çıkışlı arama kurulumu prosedürü.....	31
Çizelge 4.1 Alınmış, tekrar elde edilmiş mesaj blokları.....	51
Çizelge 4.2 Kodlanmış konuşmanın 20 ms araya yerleştirilmesi.....	51
Çizelge 4.3 Konuşma çerçevesi.....	52
Çizelge 8.1 GSM Fazlarının önemli özellikleri.....	74
Çizelge 8.2 1999 Haziran itibariyle GSM Mou Birliğinde ticari hizmet veren veya başlamak üzere olan üye ülkeler.....	76
Çizelge 9.1 Avrupa ve Asya-Pasifik bölgesindeki hücresel telefonların ülkelere göre yayılımı.....	90
Çizelge 9.2 2010'a kadar, telli ve mobil abone sayısının büyüme tahmini.....	90
Çizelge 9.3 Değişik multimedya işlemleri ve Haberleşme sistemleri için yükleme zamanları.....	91
Çizelge 9.4 Avrupa UMTS sistemi.....	92
Çizelge 13.1 Kas dokusuna ait elektriksel özellikler.....	108
Çizelge 13.2 Yağ veya Kemik Dokuları için elektriksel özellikler.....	108
Çizelge 14.1 İyonlaştırıcı Radyasyon kaynakları ve Yayıdıkları radyasyon Seviyeleri.....	117
Çizelge 14.2 Bir Kuantumluk Elektromanyetik Radyasyonun Enerji Değerleri.....	118
Çizelge 14.3 Radyasyonun Enerji Aralığı ve Dokuda Meydana Getirilen İyonlaştırıcı Parçacık.....	121
Çizelge 14.4 Çok Düşük Frekanslarda (50 Hz) Çeşitli Doku Örneklerinin İletkenlik Değerleri.....	125
Çizelge 14.5 Mikrodalga bölgesinde ki dispersiyon.....	130
Çizelge 14.6 Frekansla birlikte elektriksel büyüklüklerdeki değişim.....	132
Çizelge 17.1 Bir baş modeli için doku özellikleri ve 900 MHz' de tanımlı σ ve ϵ_r değerleri.....	152
Çizelge 18.1 Temel Kısıtlamalar.....	157
Çizelge 18.2 Güç Uygunluğu Cinsinden İfade edilen Referans Seviyesi.....	157
Çizelge 19.1 Test Sonuçları.....	171
Çizelge 19.2 Cep telefonlarından yayılan elektrik alan değerleri(V/m).....	172
Çizelge 19.3 Değişik firmaların Ürettiği Cep telefonlarının Oluşturduğu Enerji Yoğunlukları.....	173
Çizelge 20.1 GSM şebekesi için Kabul edilen değerler.....	176
Çizelge 21.1 37 °C de biyolojik dokular arasında yansıma katsayısının yüzde değerleri ...	180
Çizelge 21.2 Biyolojik dokularda yayılan dalgalar için deri kalınlıkları.....	181
Çizelge 21.3 Altı tabakalı kafa modelinde biyolojik dokuların özellikleri.....	183
Çizelge 22.1 ANSI Radyo frekans Korunma Rehberi.....	191
Çizelge 22.2 Sovyetler Birliğindeki RFR maruziyeti için maksimum seviyeler.....	192
Çizelge 22.3 İnsanda Soğurma Ve Cidar Kalınlığı.....	193
Çizelge 22.4 10 MHz ile 10 GHz frekansları arasında NRPB' nin verdiği temel sınırlar (IEGMP,2000).....	195
Çizelge 22.5 Mobil haberleşmede frekanslarında, maruziyet için araştırma seviyeleri (IEGMP,f: GHz cinsinden frekans).....	196

Çizelge 22.6 10MHz ile 10 GHz arasındaki frekanslardaki sınırlar.....	196
Çizelge 22.7 ICNIRP ‘nin mobil haberleşme frekanslarında halk için verdiği referans seviyeleri(IEGMP,2000).....	197
Çizelge 22.8 ANSI Radyo frekans koruma kılavuzu	198
Çizelge 22.9 Mesleki maruz kalma için izin verilen en büyük FCC sınırları (EKES,1999).....	199
Çizelge 23.1 Salt sahalarındaki elektrik alanlarının ölçme sonuçları.....	203
Çizelge 23.2 400,500,750 kV’ luk işletmelerdeki personel için sağlık kuralları	204
Çizelge 23.3 Uluslararası Radyasyon Koruma Birliği tarafından basılan ve RF alanlarına maruz kalma limitleri	209
Çizelge 23.4 İndüksiyon ve Temas Radyo frekans Akımları	209
Çizelge 23.5 Kontrolsüz Çevrede Müsaade Edilen Maksimum Maruziyet	210
Çizelge 23.6 Özgül Soğurulma Oranı (Sürekli Maruziyet) ve Özgül Soğurulma Sınır Değerleri	218
Çizelge 23.7 Alan Şiddet ve Güç Yoğunluğu Referans Seviyeleri, Devamlı Maruziyet....	219
Çizelge 23.8 Alan Şiddetlerini ve Güç Yoğunluğu İçin Referans seviyeleri	220
Çizelge 23.9 ÖSO ve ÖS değerleri maruziyet durumunda insan vücudunda 10 kHz ile 300 GHz aralığında soğurulacak (yutulacak) bütün elektromanyetik alanların toplam	222
Çizelge 23.10 Maruziyet süresi ≥ 6 dakika durumu için verilen değerler.....	222
Çizelge 23.11 Temas akımları için temel sınırlar (işçiler)	224
Çizelge 23.12 Temas akımları için sınırlar (genel halk)	224
Çizelge 24.1 900 ve 1800 MHz’ de elektromanyetik alana maruz kalma limitleri.....	233
Çizelge 25.1 Radyo vericileri güç seviyeleri.....	237
Çizelge 25.2 Değişik standartların belirlediği güç yoğunluğu limit değerleri	237
Çizelge 25.3 CENELEC/TSE’ nin genel halkın elektromanyetik alana maruz kalması durumları için belirlediği alan şiddeti ve güç yoğunluğu referans seviyeleri	238
Çizelge 25.4 Mesafe ile limit değişimi.....	239
Çizelge 25.5 Müracaat değerlendirme formu	239
Çizelge 26.1 Ortam ve Tek Bir Cihaz için Belirlenen Limit Değerler.....	254

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, bana değerli zamanını ayıran ve yol gösteren kıymetli hocam Sayın Doc.Dr.Nurettin Umurkan'a, yardımlarını esirgemeyen ve kaynaklarını kullandıran Turkcell ailesine (Ersan Şentürk, Baki Aydoğan,Eyüp Dilaverler,Bülent Elönü,Ufuk Deniz, Aysel Akçokoca, Transmisyon bölümü ve emeği geçen tüm Turkcell çalışanlarına), manevi desteklerini her zaman hissettiğim dostlarım Özgür Orcay, Gonca Gundoğdu, Serkan Özgan, Meltem Doğaner'e ve son olarak beni bugünlere gelmemde tüm olanaklarını serzen, çabalıyan Ailem'e (Babam A.Cahit Tüzün, Annem Semra Tüzün, Ablam Zülal Saracoğlu, Abim Erkan Saracoğlu, Amcam Metin Tüzün) teşekkür ederim.



GSM ALTYAPISI VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

R. Koray TÜZÜN
Elektrik Mühendisi, Yüksek Lisans Tezi

Cep telefonu kullanımı, günümüzde hızlı ve yaygın bir biçimde artmaktadır.

İlk bölümde Mobil Haberleşme Sisteminin çalışma prensibi, hücreli telefon teknolojileri incelenmiş, görevleri ve özellikleri teknik olarak ayrıntılı verilmiştir.

İkinci bölümde çeşitli kuruluşlar tarafından yayınlanan en son bilimsel veriler incelenerek cep telefonlarının ve baz istasyonlarının ürettiği magnetik alan değerleri, maruz kalma için verilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Kesin bir kanıt bulunmamasına rağmen, bunların insan sağlığına zarar verebilecek olası etkilerine karşı dikkat edilmesi gereken hususlar ve alınabilecek ön tedbirler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık, GSM, Mobil Telefonlar

JURY:

1. Doc. DR. Nurettin UMURKAN
2. Doc. DR. Celal KOCATEPE
3. Assist. Proff. Herman SEDEF

Kabul Tarihi : 23.08.2002
Sayfa Sayısı : 269

GSM OVERVIEW AND STUDIES ON HUMAN HEALTH

R. Koray TÜZÜN
Electrical Engineering, M. S. Thesis

In today's world, mobile phones are very common and the usage is increasing everyday. The fast spread of this technology raises questions regarding its possible harmful effects on health.

In the first part, the underlying principle of the mobile cellular system –especially GSM- with its network elements will be examined.

In the second part, electromagnetic field values generated by mobile phones and base stations are compared with exposure guidelines by taking the latest published scientific data into consideration. Although there is no certain evidence of harmful effects, precautions that can be taken against any possible adverse effects have been studied in detail.

Keywords: Health, GSM, Mobile Phones.

JURY:

1. Doc. DR. Nurettin UMURKAN
2. Doc. DR. Celal KOCATEPE
3. Assist. Proff. Herman SEDEF

Date : 23.08.2002

Page: 269

1. GSM'E GİRİŞ

GSM sistemi, kullanıcılarına daha güvenli ve kaliteli bir iletişim hizmeti sunmakla birlikte, uluslararası bir seyahat serbestliği ve mekan özgürlüğü sağlamaktadır.

GSM ('Global System For Mobile Communications (Küresel Mobil İletişim Sistemi), son yirmi yılda hızla gelişmiş olan ve çok talep gören bir iletişim teknolojisidir. Küreselleşme sürecine giren dünyamızda bu süreci en çok hızlandıran etken iletişim teknolojileri olmuştur ve bunda GSM' in payı büyüktür. (Ericsson,1999)

1.1 GSM' in Tarihçesi

GSM' in tarihi 1982' de Nordic PTT'sinin Avrupa Posta ve Telgraf Konferansı' na (CEPT - Conferance of European Posts and Telgraphs) 900 Mhz' de Avrupa' yı kapsayan genel bir telekomünikasyon 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 hücresel iletişim sistemi oluşturmak olmuştur.

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

Sayısal radyo transmisyonu kullanımı ve GSM şebekelerdeki ileri algoritmik iletişim, analog hücresel sistemlerden daha mükemmel bir frekans kullanımı sağlar. Dolayısıyla sürekli artan abonelere daha iyi hizmet sunulmuş olur. GSM genel bir standardı sağlamakla birlikte, hücresel 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

Görüşmeler sonrasında 1985' de sayısal sistemde karar kılınmıştır. Bundan sonraki basamak ise dar band çözümü veya geniş band çözümü seçme meselesi olmuştur. 1986' da Paris' te farklı şirketlerin farklı çözümlerle boy ölçüşebilecekleri bir ortam oluşmuştur. 1987' nin Mayıs ayında dar band 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). Dolayısı ile büyük bir potansiyel piyasa ortaya çıkmıştır. Bu ülkeler anlaştıkları şekilde bir GSM sistemi faaliyete geçirmek için 1 Temmuz 1991 tarihini belirlemişlerdir.(Ericsson, 1999)

1.2 Türkiye’de GSM

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 DC's 1800 sistemi ilk defa U.K.’ da 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 etmektedir. Nisan 95 itibariyle MoU, 69 ülkede 188 üyeye sahiptir.

1998’ de 100 ülkede 253 üye ile tahmin edilen tüm görüşleri alt üst etmiş, dünya genelinde 70 milyon aboneye ulaşmıştır.

2002 yılına geldiğimizde tahmin edilen Pazar payının çok üstüne çıkmış genel kullanım oranı avrupa ülkelerinde %35 sınırını aşmıştır. Şu anda kullanıcı sayısı 800 milyon kişinin üzerindedir.

Bu GSM sistemlerinden dört tanesi ülkemizde bulunmaktadır ve bunlar TURKCELL, TELSİM, ARİA, AYCELL’ dir. Bu dört ağın verdiği hizmetler hemen hemen aynıdır. Son zamanda yapılan anlaşma ile bu şebekeler aralarında SMS gönderimini, katma değerli servisler(secretercell,eczaneccell...) abonelerine hizmet olarak sunmaya başlamıştır. Amaç abonelerin ihtiyaçlarını karşılamaktır.

2001 yılına girerken yapılan ihale ile Türkiye’deki bu büyük pazara üçüncü şebeke(ARİA)

dahil olmuştur. Bunlardan birinin Türk Telekom'a verilmesiyle dördüncü operatör(AYCELL)de hizmet vermeye başlamıştır. Bu rekabet ortamının en büyük getirisi, ülkemizdeki abonelere daha kaliteli ve ucuz haberleşmenin sağlanabilecek olmasıdır.

Şu an ki durum itibariyle TURKCELL, TELSİM, ARİA, AYCELL' in anlaşmalı olduğu abone açısından incelersek TURKCELL, TELSİM' in anlaşmalı olduğu abone sayısının diğer iki operatörden den daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.1 Türkiye' deki operatörler

Ağ Adı	TURKCELL	TELSİM
Ağ Tipi	GSM 900	GSM 900
Ağ Adı	ARİA	AYCELL
Ağ Tipi	GSM 1800	GSM 1800

1.3 GSM Sistem Standartları

900 Mhz GSM Şebekeler için sistemin standartları:

Çizelge 1.2 900 Mhz GSM Şebekeler için sistemin standartları:

Frekans Bandı	Yukarı link : 890 Mhz - 915 Mhz Aşağı link : 935 Mhz - 960 Mhz
Duplex Mesafe	45 Mhz
Taşıyıcı Ayrıştırması	200 Khz
Modülasyon	GMSK
Transmisyon Oranı	270 kbit/sn
Erişim Metodu	TDMA
Konuşma Kodlayıcısı	RPE LPC 13 kbit/sn
Çeşitlilik	Kanal kodlama Araya yerleştirme Adaptif dengeleme Frekans atlama

1800 Mhz GSM Şebekeler için sistemin standartları:

Çizelge 1.3 1800 Mhz GSM Şebekeler için sistemin standartları:

<u>Frekans Bandı</u>	Yukarı link :1710 Mhz - 1785 Mhz Aşağı link :1805 Mhz – 1880 Mhz
<u>Duplex Mesafe</u>	75 Mhz
<u>Taşıyıcı Ayırıştırması</u>	200 Khz
<u>Modülasyon</u>	GMSK
<u>Transmisyon Oranı</u>	270 kbit/sn
<u>Erişim Metodu</u>	TDMA
<u>Konuşma Kodlayıcısı</u>	RPE LPC 13 kbit/sn
<u>Çeşitlilik</u>	Kanal kodlama Araya yerleştirme Adaptif dengeleme Frekans atlaması

1.4 Erişim Metodu

Sayısal GSM sistemi, her taşıyıcının sekiz zaman aralığına bölündüğü Zaman Bölmeli Çoklu Erişim Metodu (TDMA) kullanır. Hareketli istasyon aynı zaman aralığında gönderir ve alır. Bu demektir ki, aynı zamandaki sekiz konuşma aynı radyo kanalında yer alabilir.

1.5 Geniş Banda Karşı Dar Band

GSM şartnamesi dar band TDMA' ye karar vermiştir. Geniş band alternatifi neden reddedilmiştir? Özet olarak, geniş bandın dezavantajları, dar band ile karşılaştırılarak şu şekilde verilebilir;

- Esnek olmayan frekans planlaması:

Operatörün basit olarak planlayabileceği şekilde her hücre çok sayıda taşıyıcı ile donatılacak ve her yer aynı radyo kanal ayarını kullanabilecektir. Bu ise her bir yer için başlangıç maliyetini düşürür fakat şebekelerin genişlemesine belli bir limit koyar.

- Vericilerdeki yüksek tepe gücü

- Daha kompleks, hızlı işaret işleme:

Bu komplekslik düşük derecede transmisyon güvenilirliğine ve yüksek güç tüketimine sebep olur.

- Kırsal kesimlerde kapasiteyi kaldıramayan baz istasyonları:

Band genişliği yüzünden, kanal talebi çok fazla olmayan bölgelerde her trafik kanalı için yüksek maliyet oluşur, çünkü her taşıyıcıya bir çok kanal düşmektedir.

1.6 GSM' in 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 dizin numarası altında)

Düşük güçte çalışan portatif veya mobil terminal desteği

Yeni hizmetlere ve şebekelere uyumluluk



2. ABONE HİZMETLERİ

Bir mobil telefon sisteminin ilk amacı, mobil abonelere ve mobil abonelerden olan haberleşmeyi temin etmektir. Bu haberleşmeyi temin ederken sunulan hizmetleri üç başlık altında inceleyebiliriz:

- Tele hizmetler
- Taşıyıcı hizmetler
- Bütünleyici hizmetler

2.1 Tele Hizmetler

Tele hizmetlerden bazıları şunlardır;

2.1.1 Normal telefon

Sabit veya hareketli aboneye veya aboneden başka bir kişiye iki yönlü ses haberleşmesi oluşumunu sağlar. Bu, aboneye sağlanan en önemli hizmettir.

2.1.2 Acil aramalar

Abonenin daha önceden belirlenmiş bir tuşa veya numaraya ulaşması ile acil arama yapabilmesidir. Bu çağrı abonenin en yakınındaki acil durum merkezine iletilir. Geçerli abone dışında bile mobilden arama yapmak mümkündür.

Acil numara GSM 900 & 1800 için 112, GSM 1900 için 911' dir

2.1.3 Kısa mesaj hizmetleri

GSM şebekenin sağladığı en büyük kolaylıklardan biri de kısa mesaj hizmetleridir. Maksimum 160 alfanümerik karakteri mobil istasyona göndermek veya mobil istasyondan almak mümkündür. Mobil cihaz kapalı ise veya kapsama alanı dışında ise gönderilen mesaj servis merkezinde hafızada tutulur. Cihaz açıldığında veya kapsama alanına tekrar girildiğinde mesaj aktarılır.

2.1.4 Hücre yayını

Kısa mesaj hizmetinin bir başka versiyonudur. Maksimum 93 karaktere kadar olan mesajlar belirli bir bölge içindeki bütün mobil cihazlara gönderilebilir. Tipik uygulamaları, trafik tıkanıklığında veya kaza olaylarında görülür.

2.2 Taşıyıcı Hizmetler

Taşıyıcı hizmetlerde 9,6 kbit/sn' ye kadar senkron ve asenkron veri transmisyonu gerçekleştirmek mümkündür.

Taşıyıcı hizmetler ile şu şebekelere ulaşılabilir;

PSTN (Public Switch Telephone Network - Yerel Anahtarlama Telefon Ağı)

ISDN (Integrated Services Digital Network - Tümüleşik Hizmetler Sayısal Ağı)

PSPDN (Packet Switched Public Data Network - Paket Anahtarlama Yerel Veri Ağı)

PAD (Packet Assembly / Disassembly Service - Paket Oluşturma / Çözme Hizmeti)

CSPDN (Circuit Switched Public Data Networks - Devre Anahtarlama Yerel Veri Ağları, buna ISDN ve PSTN vasıtasıyla ulaşılabilir)

2.3 Bütünleyici Hizmetler

Bunlar tüm tele hizmetleri ve taşıyıcı hizmetleri tamamlayan ve değiştiren hizmetlerdir.

Bütünleyici hizmetlerden bazıları şunlardır;

2.3.1 Yönlendirme

Bu hizmet aboneye gelebilecek aramaları bir başka numaraya gönderme imkanı sağlar. Bu durum aşağıdaki koşullarda söz konusudur;

Mobil istasyona ulaşamıyorsa

Mobil istasyon meşgul ise

Mobil istasyon cevap vermiyorsa

2.3.2 Mobilden yapılan aramaları kapama

Abone mobil istasyondan bu hizmeti aktif veya pasif hale getirebilir. Bu durum üç şekilde düşünülebilir;

Bütün aramaları kapama

Bütün uluslararası aramaları kapama

Sadece PLMN (Public Land Mobile Network) dışındaki bütün uluslararası aramaları kapama

2.3.3 Mobile gelen aramaları kapama

Bu fonksiyon aboneye gelen aramaları tıkama imkanı sağlar. Bu neden arzu edilebilir? Bazı durumlarda, aranan mobil abone, cihazın sadece bazı bölgelerden gelen veya bazı numaralardan gelen aramalara açık olmasını isteyebilir. Mesela uluslararası gezilerde vb. Bu iki durumda gerçekleşebilir;

Tüm gelen aramalara kapama

Bulunulan PLMN dışında gezerken gelen aramalara kapama

2.3.4 Fatura bilgisi

Mobil aboneye arama ile ilgili tahmin verir, iki şekilde olur;

Aboneyi fatura hakkında tahmini olarak bilgilendirir

Değişik talimat amaçları için de kullanılır

2.3.5 Aramayı askıya alma (call hald)

Bütünleyici hizmet, aboneye, devam ede gelen aramayı, yeni gelen bir aramayı ya da bekleyen bir aramayı kabul etmek için, askıya alma ve müteakiben öbür aramayla ilgili işlem bitikten sonra tekrar orijinal aramayı devreye sokabilme imkanını sağlar. Bu servis sadece normal tele servis telefona uygulanabilir. Ayrıca bu özelliğin mevcut mobil telefon tarafından da desteklenmesi gerekir. (Ericsson, 1995)

2.3.6 Konferans

Bu servis aboneye, bir anda çoklu görüşme yapabilme imkanı sağlar, bu görüşme altı aboneye kadar olabilmektedir. Bu imkan sadece tele servis telefonlarına uygulanabilir.

2.3.7 Tek numara ile farklı şebekeleri kullanma

Bu tip özellikler değişik firmaların girişimleri ile daha da geliştirilmiştir. Mesela Ericsson' un yenilik getirici özellikleri mevcuttur. Bunlar temel GSM standartlarında hizmet sunarlar.

Bu özellik, birden fazla şebekede aboneliği olanlara büyük bir fayda sağlar. Örneğin GSM şebeke içinde ulaşılamayan abonelere diğer şebekelere yönlendirme yapılarak ulaşılabilir.

2.3.8 Çift numara özelliği

Bu özellik, aynı mobil cihaza ve aynı aboneye bağlanmış iki ayrı dizin numarasına sahip olma özelliğidir. Bu numaralara tabii ki abone sahip olur, ancak gerçekte sadece bir abone numarası vardır. Mesela bu dizinlerden biri iş görüşmeleri için, diğeri de özel görüşmeler için dikkate alınabilir ve ayrı ayrı faturalanabilir.

Ayrıca Ericsson' un Akıllı Şebeke (IN - Intelligent Network) hizmetleri mevcuttur. Kredi kartı ile aramayı buna örnek verebiliriz.

2.4 GSM Hizmetlerinin Gelişim Evreleri

GSM hizmetlerin gelişimi iki evrede olmuştur;

2.4.1 GSM 1. evre hizmetler

1.Evre teknik özellikler 1992' den beri geçerlidir ve Tablo4' te verilmiştir.

Dikkat edilmelidir ki, taşıyıcı hizmetler maksimum 9,600 bit/sn' lik bir orandadır.

Çizelge 2.1 Birinci evre teknik özellikler

HİZMET SINIFI	HİZMET	YORUM
Tele Hizmetler	Telefon Konuşması	13 kbit/sn (tam-hızlı)
	Acil Aramalar	13 kbit/sn (tam-hızlı)
	Kısa Mesaj Servisi	Alfa nümerik bilgi
	Telefaks	
Taşıyıcı Hizmetler	Asenkron Veri	300 - 9.600 bit/sn
	Senkron Veri	300 - 9.600 bit/sn
	Asenkron PAD Erişim	300 - 9.600 bit/sn
Bütünleyici Hizmetler	Arama Yönlendirme	Abone ulaşamaz, meşgul veya cevap vermiyorsa
	Aramayı Tıkama	Uluslararası aramalara tıkama gibi

2.4.2 GSM 2.evre hizmetler

Son kullanıcılar için tanımlanabilecek yeni özellikler 2.Evrede eklenmiştir. Bazıları Tablo5' te verilmiştir. (Walker, J.,1999)

Çizelge 2.2 İkinci evre teknik özellikler

HİZMET SINIFI	HİZMET	YORUM
Tele Hizmetler	Telefon Konuşması	6.5 kbit/sn (yarım-hızlı)
	Kısa Mesaj Servisleri	Genel gelişmeler
Taşıyıcı Hizmetler	Paket Veri Erişimi (senkron)	2.400 – 9.600 bit/sn
Bütünleyici Hizmetler	Aramayı Bekletme	Arama sırasında kullanıcıya gelen ikinci aramayı bildirir
	Aramayı Askıya Alma	Aktif aramayı askıya alır
	Çoklu Haberleşme	Konferans aramaları
	Kapalı Kullanıcı Grubu	Sınırlı erişimi olan grup kurulması

3 SİSTEME GENEL BİR BAKIŞ

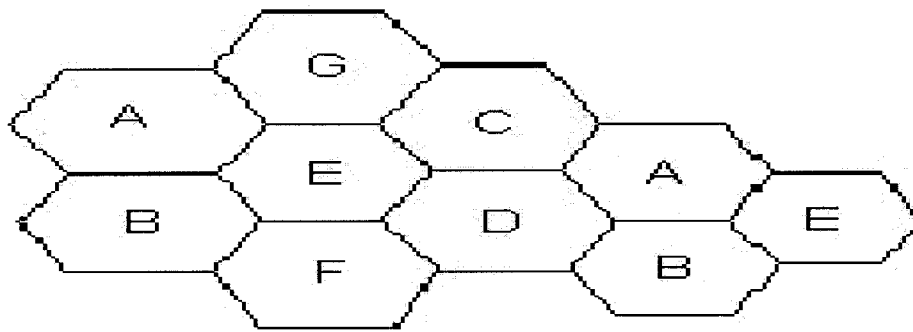
Buraya kadar olan bölümlerde GSM' in ne olduğundan, bu günlere nasıl geldiğinden ve gelişmelerinden, sunduğu hizmetlerden bahsettik. Bundan sonra ki bölümlerde sistemin yapısından bahsedilecektir.

3.1 Hücresel Ağ

GSM' in hücresel yapıya sahip bir iletişim sistemi olduğu belirtilmişti. GSM sistemdeki tüm hücreler, hücresel ağı oluşturmaktadır. Aşağıda hücresel ağı oluşturan hücre yapıları incelenecektir.

3.1.1 Hücresel yapı

Radyo frekans haberleşmesinin ilk zamanlarında mühendisler alıcı ve verici arasında bir hat oluşturdıklarında oldukça sevinmişlerdi. İlk hatlar iki yönlü iletişim için değildi. Bunlar tek-yön gönderme hatları olarak kaldılar ve mobilleri arayan insanlar hemen cevap alamazlardı. Hatta aramalarının mobil adreslere ulaşp ulaşmadığını dahi hemen anlayamazlardı. Bundan sonraki basamak çift-yönlü, hemen cevap alınabilen bir transmisyon hattı kurmak oldu. Bu da mobil vericilerle sağlandı, fakat şebeke yapısı kolay kullanıma uygun değildi ve hizmet belli bir alan ile sınırlı idi. Bu alana, bir verici ile veya tek bir bölgede farklı kanallarda çalışan vericilerin küçük bir koleksiyonu ile ulaşmak mümkündü. Şebekenin tanıdığı bu alanlara "Hücre" denildi. Hücrenin veya şebekenin ebadı verici gücü ile ilgili idi. Hücredeki alıcı ve vericinin frekansını seçmek çok önemliydi. Çünkü diğer sistemlerden girişime çok müsaitti. Günümüz perspektifinden bakılırsa bu dezavantajlar açıkça kendini gösteriyor. Büyük bir bölge için küçük bir frekans grubu kullanılıyordu. Bütün bu problemlere çözüm arandı. Sonraları, frekans bandının ayrılıp birçok hücreler arasında bir hücreye tahsis edilmesi önerildi. Hücreler de birbirine bitişik ve bir arada olacaklardı. Böylece hücre yapısı oluştu.



Şekil 3.1 Aynı frekanslara sahip olamayan komşu hücreler

Bu projenin düzgün çalışması için bazı kısıtlamalar getirildi;

Aynı kanalı kullanan farklı iki istasyon arasındaki girişimi azaltmak için frekanslar belli hücrelere tahsis edildi.

Farklı istasyonlar arası girişimi azaltmak için, bir tek hücre içinde güç seviyeleri uygun bir şekilde ayarlandı. Bitişik hücrelerin birbirlerine yönelik girişime sebep olmaması için, güç sınırlı olmalıdır.

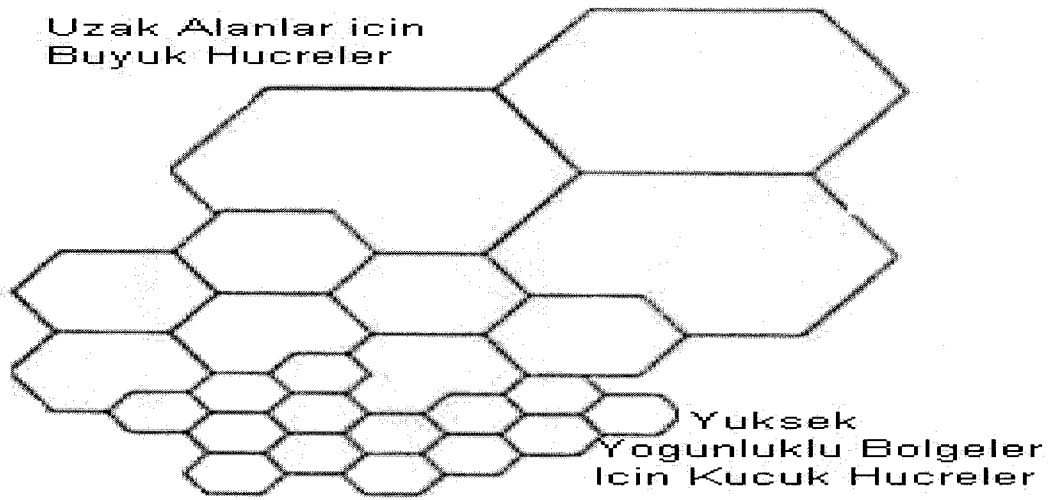
Alıcı filtreleri geliştirildi. Günümüzde, bir mobil abone, mobil cihazı ile hücre kapsama alanı içinde her yerden arama gönderebilir ve arama alabilir.

3.1.2 Ağ planlaması

Eğer Amerika' daki gibi nüfusun farklı bölgelerde farklı yoğunluklarda olduğunu düşünürsek, her bölgede aynı büyüklükte hücre oluşturmanın mantıklı bir şey olmadığını görürüz. Operatör açısından olayı ele alalım: New York gibi büyük ve nüfusun yoğun olduğu bir bölge ile nüfusun seyrek olduğu Hawaii adasına, aynı işlevleri benzer bir ağ ile tedarik etmek mümkün değildir. Bunun için ağ ve hücre planlamada farklı tasarımlar geliştirilmiştir.

3.1.2.1 Hücreleri Ayırma ve mikro hücre uygulaması

Abone sayısı arttıkça şebeke içindeki yoğunluk da artmıştır. Operatörler ve radyo mühendisleri kapasiteyi artırma yoluna gitmişlerdir. Oldukça temel bir fikir ortaya atılmıştır. Var olan alanı daha küçük parçalara ayırmak, böylelikle var olan kanal sayısını katlayarak, büyük hücreli eski duruma kıyasla, kapasiteyi çok daha yukarılara çekerek abone yoğunluğunu karşılamaktır.



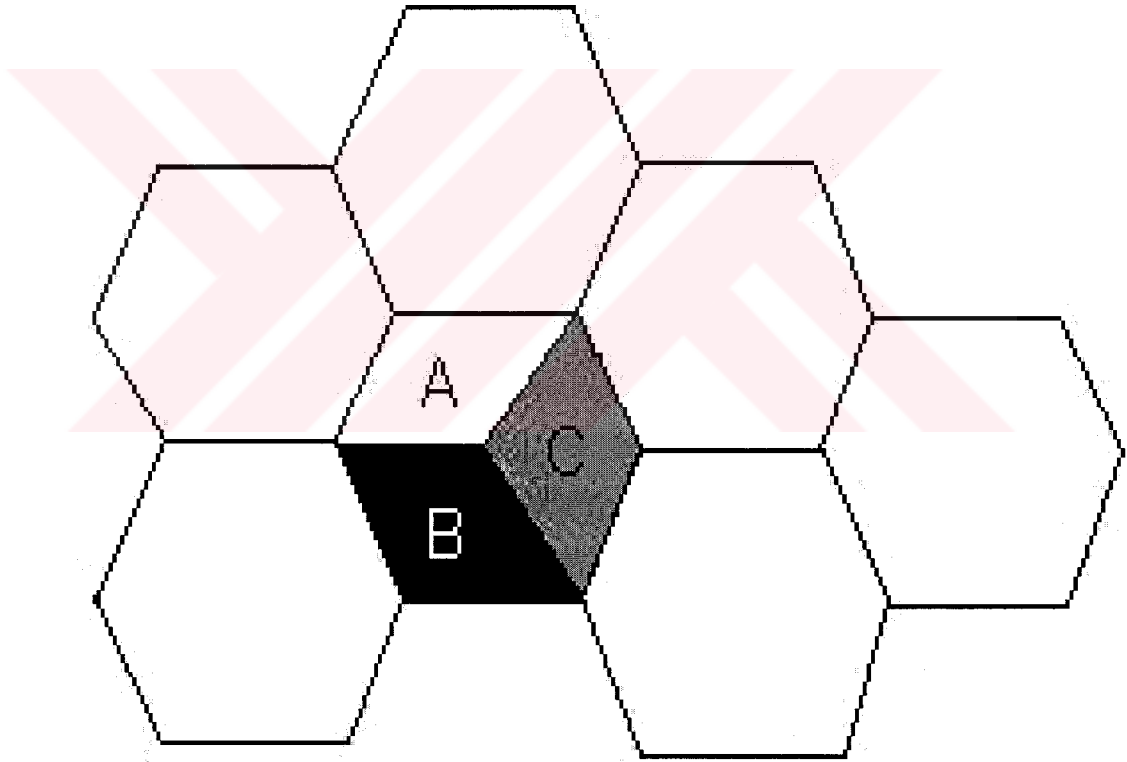
Şekil 3.2 Hücreleri ayırma ve mikrohücreler

Bu basit proje boyunca, hücrelerde kullanılan güç seviyeleri düşük tutulmuştur. Bundaki

amaç ise mobil istasyonlar için gerekli olan pil büyüklüğünü azaltmak olmuştur. Mobiller için gerekli olan güç miktarı azalınca, mobillerin ebatları ve ağırlıkları da düşmüştür. Bu da şebekeleri kullanıcılar açısından daha çekici hale getirmiştir.

3.1.2.2 Seçimli Hücreler

Her zaman dairesel hücre oluşturmanın bir anlamı yoktur. Haberleşme mühendisleri hücreleri çok değişik şekillerde tasarlamışlardır. Bunda dikkate alınan kriterler yayımlanan gücün belirli bir bölge içinde sınırlandırılabilmesi ve komşu bölgelerden gelen gücün bu belirli bölgelere alınmaması olmuştur. Burada anten tasarımının önemi söz konusu olmuştur. Bu seçimli kapsama planının en genel olanı 'bölgelere dilimlenmiş hücre' dir. Burada kapsama alanı tipik 360 dereceden ziyade 120 dereceyle sınırlandırılmıştır. Böyle antenler genellikle tünel girişlerine, vadi kenarlarına ve gökdelenlerin aralarına yerleştirilirler.

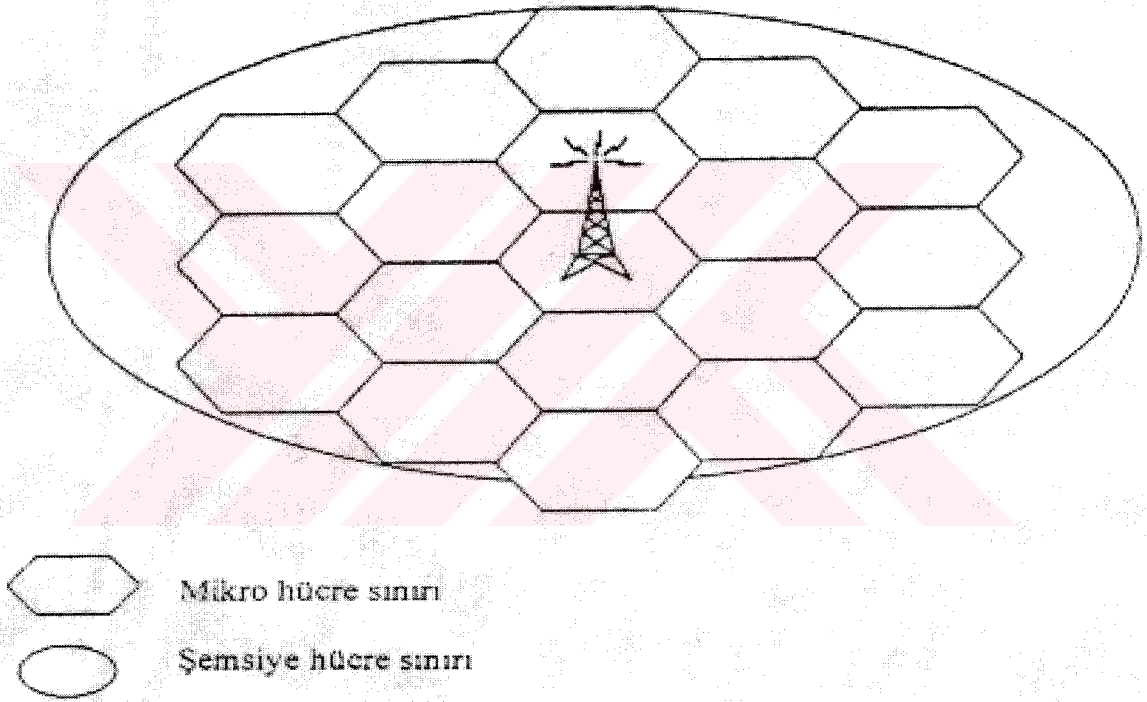


Şekil 3.3 Seçimli Hücreler

3.1.2.3 Seçimli hücreler

Hücre ayırma tekniği ilk uygulandığında, operatörler çok küçük hücreler içinde bir transit geçişin farkına varmışlardır. Bu ise farklı, küçük hücreler arasında çok büyük sayıda hücreden

hücreye işaret geçişine sebep olmuştur. Tabii ki bu istenmeyen bir durumdur. Bu daha çok ortalama hızın çok yüksek olduğu Avrupa'da görülmüştür. Bunu engellemek için şemsiye hücreler oluşturulmuştur. Bir şemsiye hücrede, altında bulunan mikro hücrelerin içinde yayımlanandan daha yüksek seviyede güç yayımlanır. En önemlisi ise şemsiye hücrede yayımlanan gücün farklı frekans da olmasıdır. Böylece mobil, yüksek bir hızla seyahat ederken, sistem tarafından 'hızlı hareket eden' olarak algılanacak ve şebeke içinde birçok kere farklı hücre tarafından ele alınmaktan kurtulacaktır. Bu duruma ise şemsiye hücre el atacaktır. Çünkü şemsiye hücre daha büyüktür ve mobil yüksek hızda olsa bile bu şemsiyenin dışına hemen çıkamaz. Böyle yüksek hızda seyreden bir mobil, propagasyon karakteristiklerinden, çok sayıda farklı hücreler veya sistem tarafından ele alınma talebinden fark edilir. Bu hücrede mobil çok uzun bir zaman dilimi için kalabilir, böylelikle şebekenin iş yükü azaltılmış olur.



Şekil 3.4 Şemsiye Hücreler

3.2 GSM Şebeke

GSM sistem temel olarak, Bağlaşma Sistemi (SS – Switching System) ve Baz İstasyon Sistemi (BSS - Base Station System) olmak üzere iki bölüme ayrılır.

Bunlardan her biri, bütün sistemin fonksiyonlarının gerçekleştirildiği bir takım fonksiyonel üniteler içerir. Bu fonksiyonel üniteler, değişik donanım gereçleri ile gerçekleştirilir.

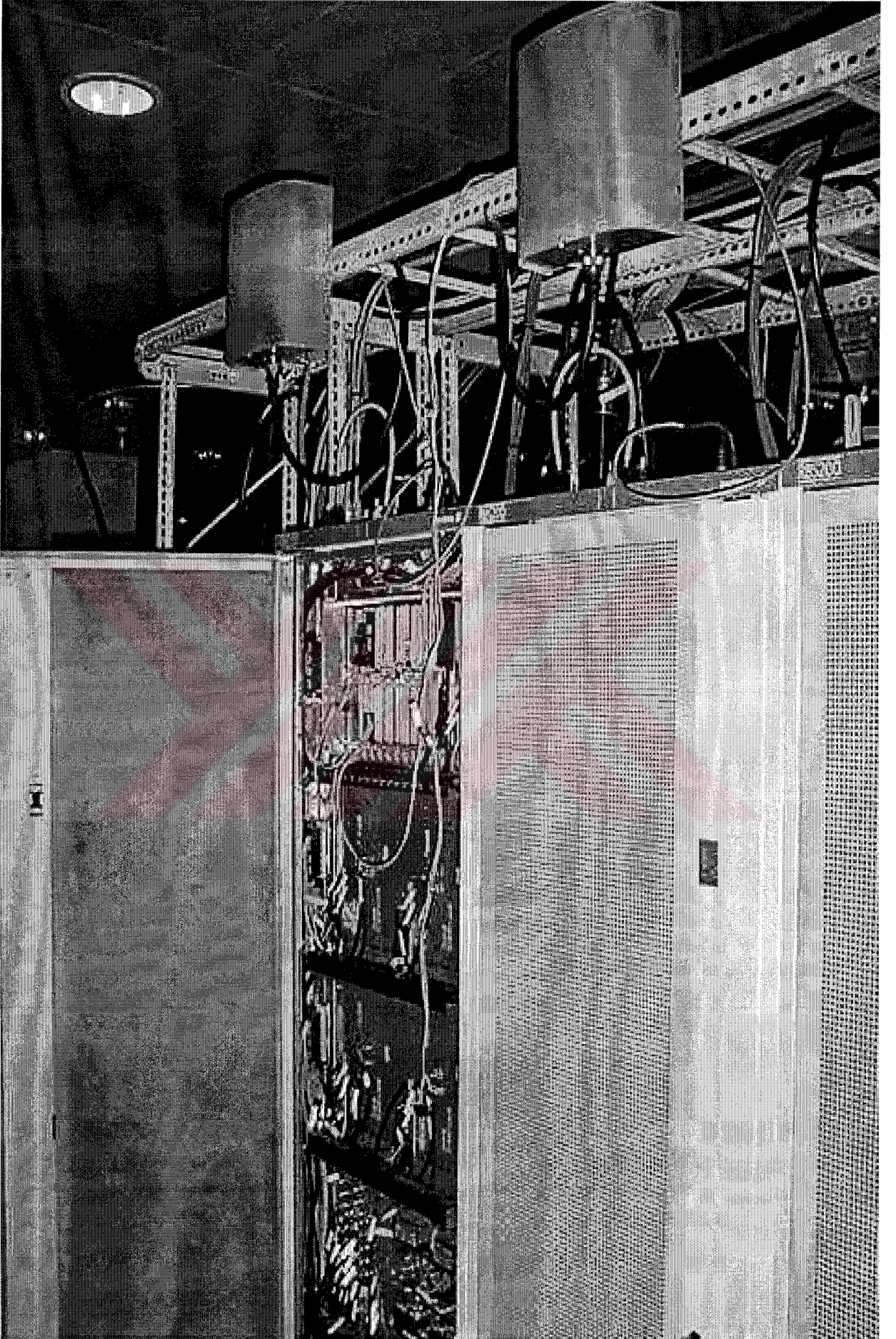
3.2.3 Abone kimlik modülü (SIM-subscriber identity module)

SIM, mobil aboneye bir kimlik tedarik eder. SIM olmadan, acil aramalar hariç, mobil işlevini göremez. SIM, 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 parametreleri SIM kartta yüklüdür. Bunlarla 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 ve kişi kendi SIM kartını takarak, 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. (Nokia, 1999)

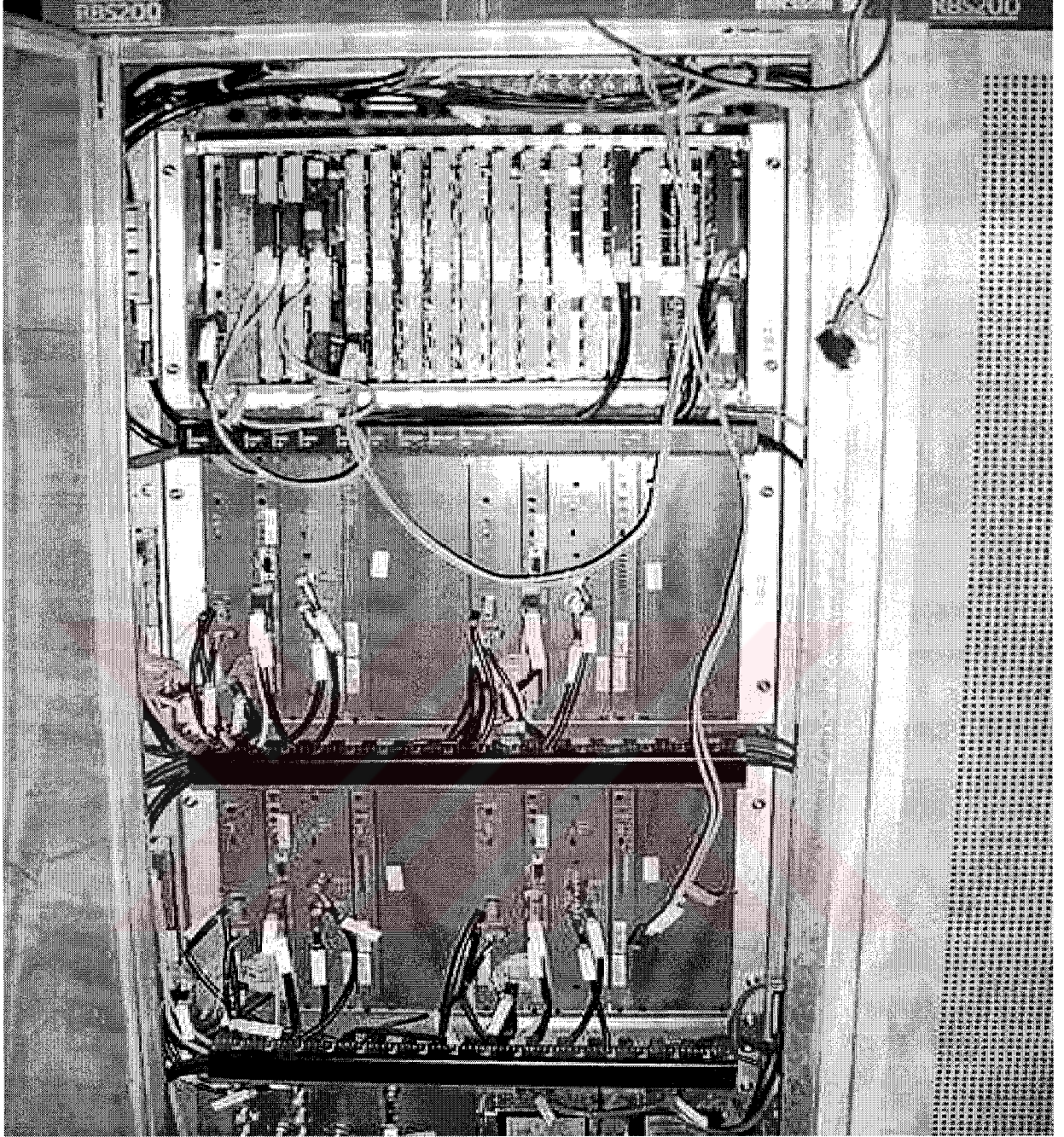
Şebekeden alınan kısa mesajlar da bu kartta saklanır. Kartın güvenliği için dört basamaklı bir şifre konulmuştur. Bu şifre PIN (Personal Identification Number) olarak adlandırılır. PIN kartta yüklüdür ve üç kere yanlış girilirse, kart kendini bloke eder. Bu durumda kart ancak sekiz basamaklı bir şifre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

3.2.4 Baz alıcı - verici istasyonu (BTS)

Her bir hücre bir grup radyo kanalını işleten Baz Alıcı - Verici istasyonuna (BTS) sahiptir. Bu kanallar girişimi önlemek amacıyla komşu hücrelerde kullanılan kanallardan farklı tasarlanmışlardır. BTS, mobilin şebekeye ara yüzüdür. Bir BTS genellikle hücrenin ortasına yerleştirilir. BTS' den çıkan güç hücrenin gerçek boyutunu belirler. Bir baz istasyon, her biri ayrı RF kanalı temsil eden 1-16 alıcı-vericiye sahiptir.



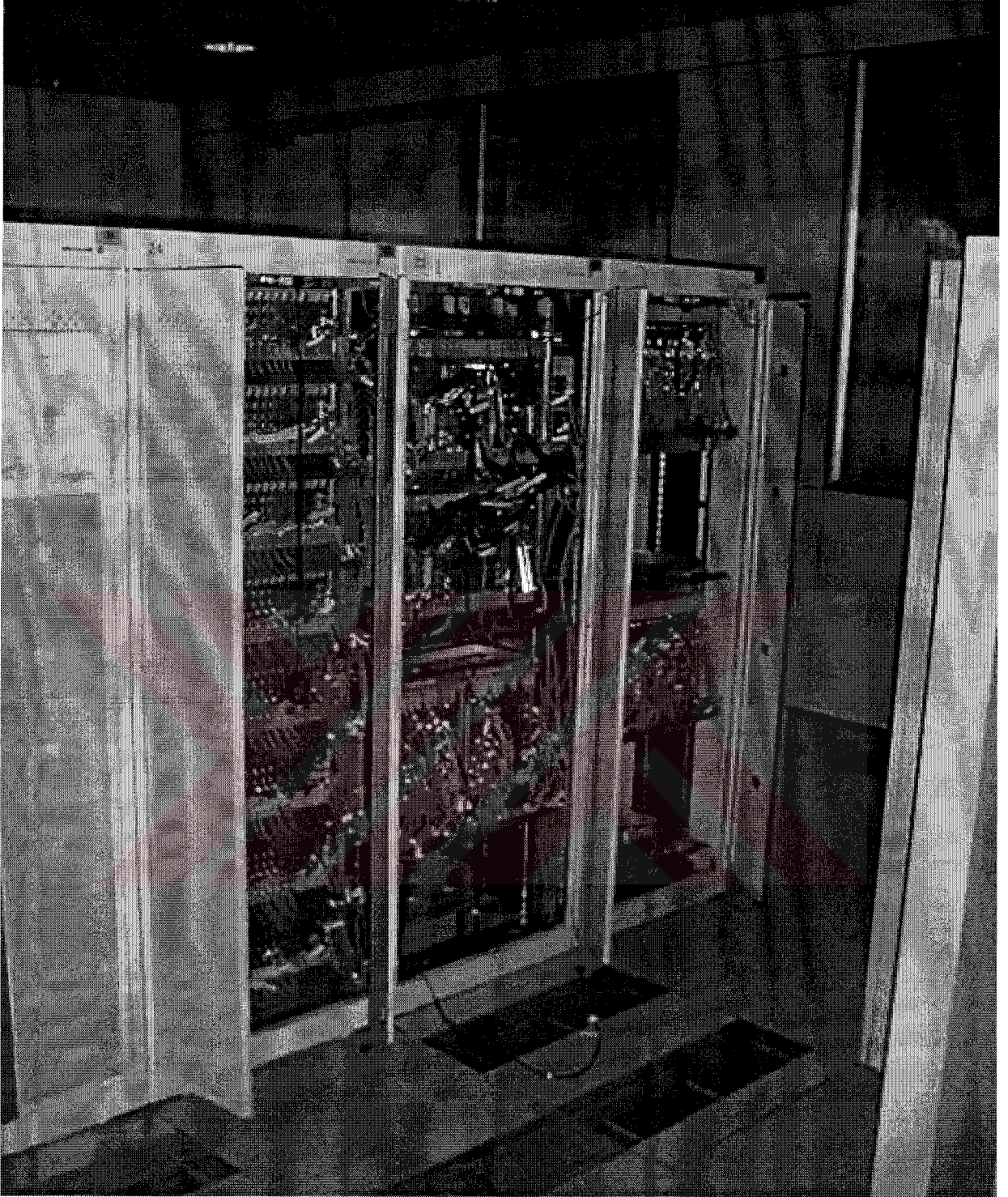
Şekil 3.6a Baz Alıcı - Verici istasyonu



Şekil 3.6b Baz Alıcı - Verici istasyonu

3.2.5 Baz istasyon denetleyicisi (BSC)

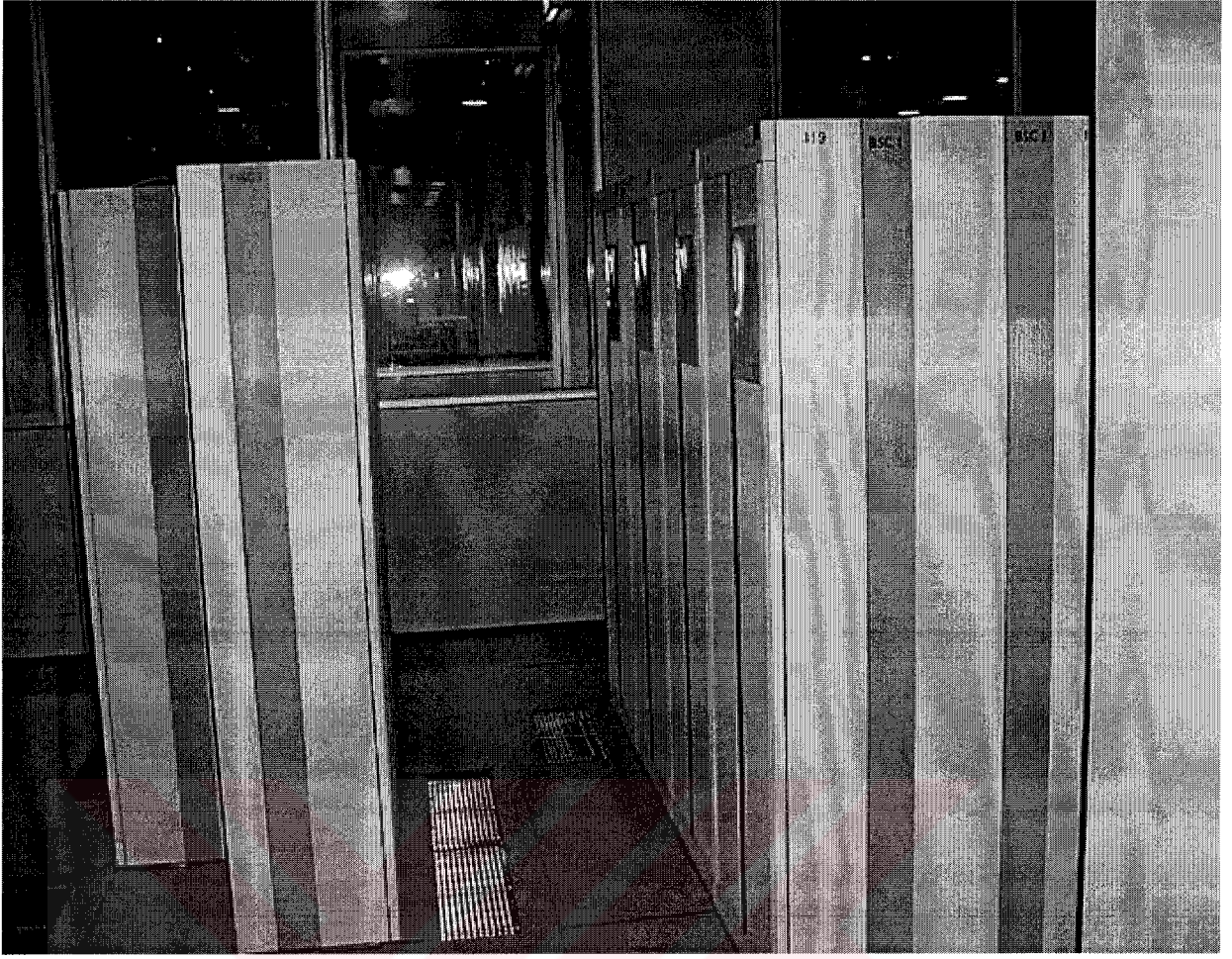
Bir grup BTS, bir BSC ile kontrol edilir. Bu baz istasyonların sayısı üreticiye bağlıdır ve birkaç onlar veya birkaç yüzler mertebelerinde olabilir. Baz istasyon denetleyicisinin (BSC) en önemli görevleri arasında güç kontrolü, frekans idaresi ve BTS' lerin kontrolü sayılabilir. BSC donanımı, BTS gibi aynı bölgeye veya kendi başına bir bölgeye yerleştirilebileceği gibi Mobil Servisler Anahtarlama Merkezinin (MSC) bölgesine de yerleştirilebilir, BSC ve BTS, fonksiyonel olarak bir bütündür, buna da Baz İstasyon Sistemi veya Baz İstasyon Alt Sistemi (BSS - Base Station System) adı verilir.



Şekil 3.7 Baz istasyon denetleyicisi

3.2.6 Mobil servisler anahtarlama merkezi (MSC)

Belli bir sayıda temel istasyon denetleyicisine (BSC) bir Mobil Servisler Anahtarlama Merkezi (MSC) hizmet eder. MSC'ler PSTN, ISDN, PLMN ve birçok özel şebekelerle yapılan karşılıklı görüşmeleri kontrol ederler.



Şekil 3.8 Mobil Servisler Anahtarlama Merkezi

3.2.7 Geçit mobil servisler anahtarlama merkezi (GMSC)

GMSC, hücresel ağın PSTN' e ara yüzüdür. Eğer sabit ağdaki bir abone herhangi bir GSM abonesini aramak isterse, PSTN aramayı 'gateway' diye adlandırılan giriş yerine bağlar. 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 Dahili Yer Kaydedicisine (HLR) sorarak yapar. HLR, GMSC' ye adresi bildirir ve GMSC aramayı, aranan mobil istasyonun bulunduğu MSC' ye yönlendirir. Arama, yönlendirilen MSC' ye ulaştığında, Ziyaretçi Yer Kaydedicisi (VLR) mobil istasyonun nerede olduğunu detayları ile bilecektir, çünkü VLR HLR' den gerekli verileri almıştır. Böylece aramanın gönderildiği MSC, aramayı o tarafa doğru anahtarlacaktır.

Şebekenin boyutuna bağlı olarak, bir operatör, sabit şebekeye bir ara yüz kullanabilir. Bu da birkaç GMSC veya sadece bir GMSC kullanarak olur. Eğer sabit şebekedeki trafik, GMSC'

lerin tedarik edebileceğinden daha fazla mesaj değişimi (exchange) gerektiriyorsa, sabit şebekeye erişimi olmayan ek MSC' ler bir araya konuşturulmalıdır. Eğer daha fazla mesaj değişimi gerektirmezse, GMSC ile MSC aynıdır. Aralarındaki en önemli fark, MSC' nin HLR ile ilgisinin olmaması, yani GMSC' nin HLR ile ilgisinin bulunmasıdır.

3.2.8 İşletme ve bakım merkezi (OMC-operation and maintance 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' yi düzenler ve operatörün sisteme bağlı parçaları kontrol edebilmesini sağlar. Hücreler küçüldükçe ve baz istasyonların sayısı arttıkça, gelecekte bireysel istasyonları kontrol etmek mümkün olmayacaktır. Bu olay alıcı-verici kalitesi dengesini bozabilecektir, çünkü bu kontroller belli bir düzende sürekli yapılmaktadır. Dolayısıyla uzaktan kontrollü, yerinde bakım olayını sağlayan sistemler kurmak maliyeti düşürmek açısından önemlidir, fakat sistem kalitesini de muhafaza etmelidir. Bu BTS'deki 'self-test' fonksiyonları ile desteklenir. Bu özelliklerin sisteme sağlanması üreticiyle alakalıdır.



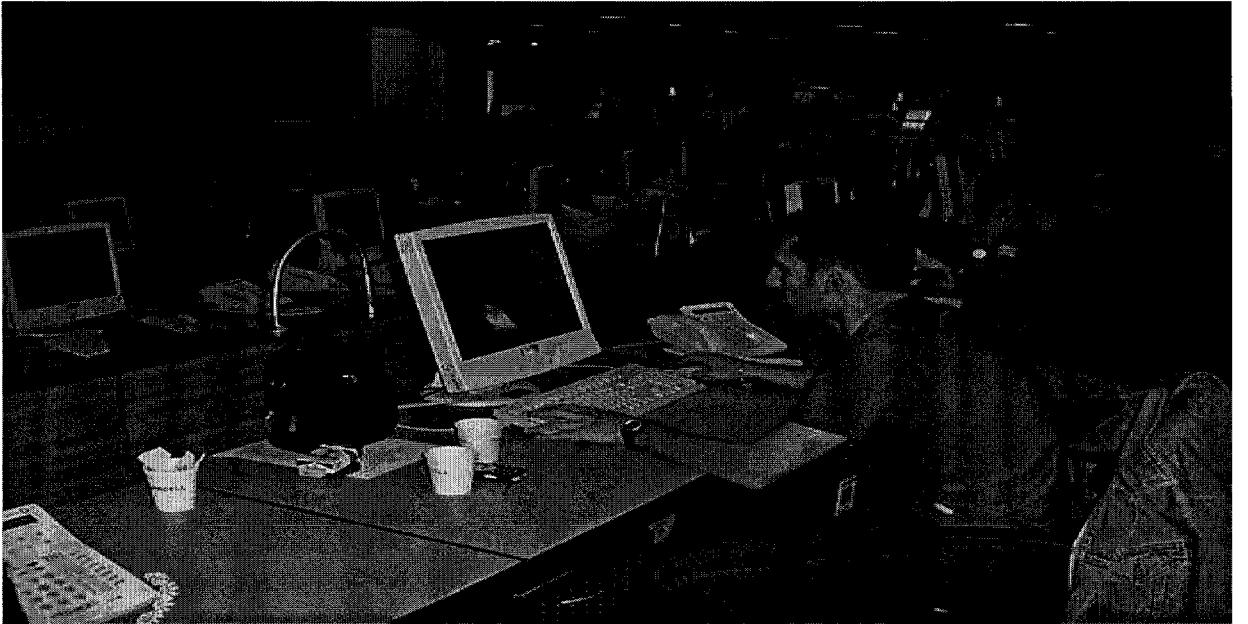
Şekil 3.9a İşletme ve bakım merkezi



Şekil 3.9b İşletme ve bakım merkezi

3.2.9 Tek noktadan kontrol merkezi (NCC-network control center)

Günümüzde yerel operatörlerin, ülkelerinin coğrafi, ticari, ulaşım etkenlerine göre 24 saat tüm ağı tek bir noktadan idare eden sistemin adıdır. Burada ağı oluşturan sistemlerin kontrolü, arıza takibi ve işletimi 24 saat boyunca, mesafe önemi olmadan sağlanır. OMC' lere göre farklı olarak vardiyalı sistemiyle 24 saat kesintisiz hizmet vermeyi amaçlar.



Şekil 3.10a Tek noktadan kontrol merkezi



Şekil 3.10b Tek noktadan kontrol merkezi

3.2.10 Dahili yer kaydedicisi (HLR – home location register)

Yukarıda bahsedilen üniteler, mobil ile test edilen sabit bir ağ aboneliği arasındaki konuşma bağlantılarının geçtiği ünitelerdir. Eğer bir mobil istasyona arama yapılması olayı söz konusu olmasaydı, daha fazla donanım ve teçhizata ihtiyacımız olmayacaktı. Esas problem MS ile sonlandırılan bir görüşme yapılmak istenildiğinde ortaya çıkıyor. Bu durumda mobil istasyonun yeri önemli ve mobil istasyonun izini takip edecek bir takım veri tabanlarına ihtiyaç vardır. Bu veri tabanlarından en önemli olanı Dahili Yer Kaydedicisi' dir (HLR). Herhangi bir kişi bir GSM operatöründen abonelik aldığı anda o operatörün HLR' sinde 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' nın ilk üç basamağı Mobil Ülke Kodunu (MCC - Mobile Country Code), daha sonraki iki basamak Mobil Şebeke Kodunu (MNC - Mobile Network Code) tanımlar. On basamağa kadar olabilen Mobil Abone Kimlik Numarası (MSIC – Mobile Subscriber Identification Number), IMSI' yı tanımlar.

Örneğin IMSI : 262024542751010

Bu numara Almanya' dan bir aboneyi tanımlar (MCC=262), bu abonenin aylık fatura ödemesini 02 Private özel operatörüne ödediği (MNC=02) anlaşılır. Abonenin şebeke kimlik numarası da 4542751010' dır (MSIC). Ancak PSTN' den ulaşılacak numara IMSI' dan tümüyle farklıdır ve 0172 alan kodu ile başlar ve 7 basamaklı abone numarası ile devam eder.(Ericsson,1999)

3.2.11 Ziyaretçi yer kaydedicisi (VLR - visitor location register)

Ziyaretçi Yer Kaydedicisi (VLR), MSC bölgesinde yerleştirilen bütün mobil istasyonlar hakkında bilgi içeren bir veri tabanıdır. Mobil istasyon yeni bir MSC bölgeye girer girmez o MSC' ye bağlı olan VLR, HLR' den 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' ye sormadan aramanın sağlanması için gereken tüm bilgileri elde edecektir. VLR, dağıtılmış HLR gibi görülebilir. VLR, aynı zamanda MSC bölgedeki mobil istasyonun yeri hakkında tam bilgiye sahiptir. VLR, bütün mobillerin ilişkide oldukları (G)MSC' ye yüklenen, konu ile ilgili verileri içerir. Kalıcı veri, HLR' de bulunan veri ile aynı olup, geçici veri biraz farklılık gösterir. Örneğin VLR, TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity - Geçici Mobil Abone Kimliği) bilgisini saklar. Bu bilgi sınırlı zaman aralıkları içindir ve hava ara yüzü yoluyla IMSI' nın transmisyonunu önler.

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' sinden veri alır. Abone verilerini VLR'ye (aynı zamanda HLR' ye) yerleştirme HLR' deki 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' ye 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.

3.2.12 Cihaz kimlik kaydedici(EIR - equipment identity register)

Bilindiği gibi SIM ve mobil cihaz birlikte mobil istasyonu 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 kullanılabileceğinden 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' de çalıntı cihazlardan başka, donanımında bozukluk olan ve şebekede kullanılmayan mobil cihazların seri numaraları vardır.

Uluslararası Mobil Cihaz Kimliği (IMEI - International Mobile Equipment Identity), sadece belirli bir istasyonun seri numarası değildir. Aynı zamanda üreticiyi ve üretilen ülkeyi de gösterir. Burada amaç her kaydetme ve arama kurulumunda (registration and call establishment) mobil istasyon kimliğinin kontrol edilmesi, sonra IMEI' yı 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.

3.2.13 Doğrulama Merkezi (AUC - authentication center)

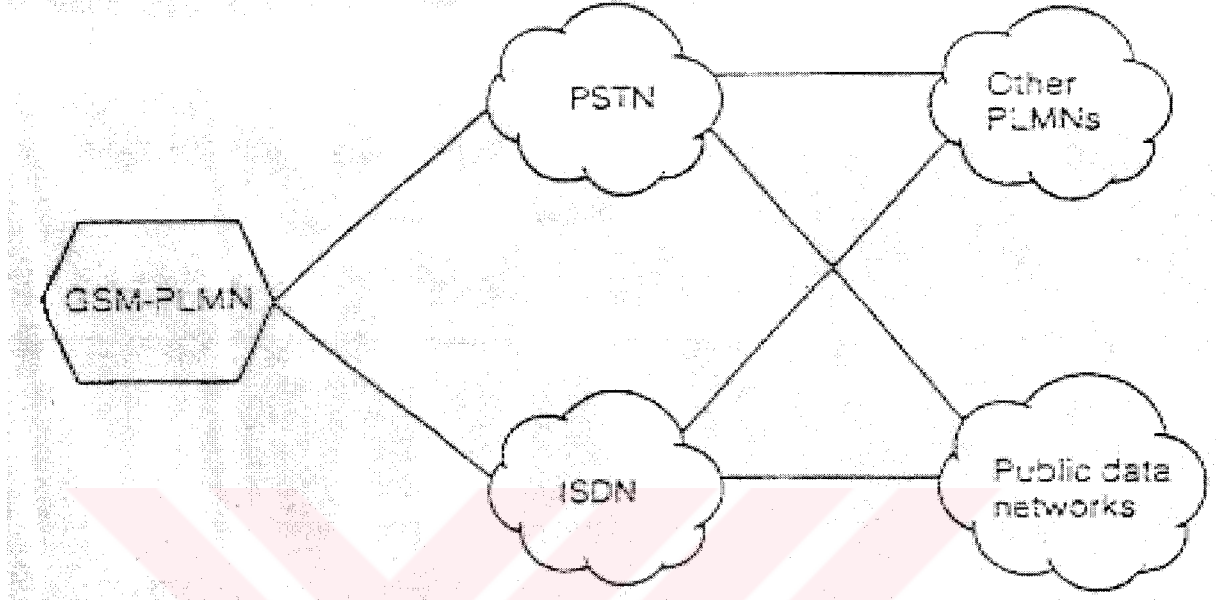
Doğrulama Merkezi (AUC), HLR ile irtibatlandırılmıştır. AUC, mobil istasyonun doğrulama prosedürü esnasında HLR' ye bazı parametreler tedarik eder. AUC, belirli bir abone ile ilgili giriş değerlerini hesaplamak ve istenilen sonuçları HLR' ye aktarmak için hangi algoritmayı kullanacağını önceden bilir.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

3.3 Coğrafi Ağ Yapısı

Her telefon ağı, gelen aramaları uygun bir şekilde doğru santrallere ve sonuçta aranılan aboneye ulaştıracak iyi bir yapıya sahip olmalıdır. Eğer bu bir mobil ağ ise, tüm abonelerin hareketliliğinden dolayı bu yapı çok daha fazla önem taşır.

3.3.1 Ağ bölgesi ve GMSC

Bir GSM/PLMN ağı ile diğer PSTN, ISDN, ve PLMN ağları arasındaki linkler, uluslararası veya ulusal transit santraller sayesinde olacaktır. Bir GSM/PLMN ağına gereken aramalar bir veya daha fazla GMSC' ye gönderilir. Bu GMSC, GSM/PLMN için bir "giren transit santral" gibi çalışır. Bir GSM/PLMN ağında tüm mobil sonlandırılmalı aramalar bir GMSC' ye iletilir.

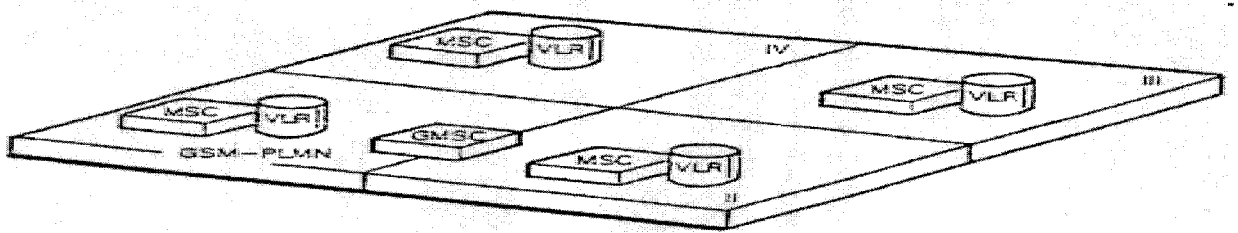


Şekil 3.11 GSM/PLMN ağı ve diğer yerel ağlar arasındaki linkler

3.3.2 - MSC/VLR Servis bölgesi

Bir MSC bölgesi, tüm ağı tek bir MSC tarafından kaplanan parçasını temsil eder. Bir mobil aboneye aramayı göndermek için, abonenin bulunduğu alandaki MSC dikkate alınır.

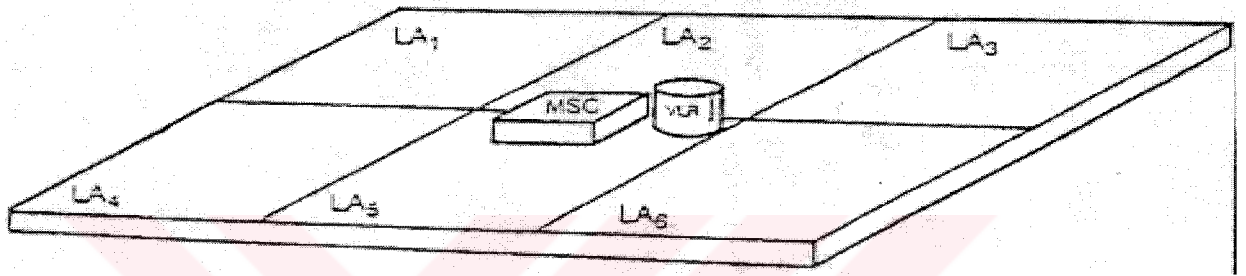
Servis bölgesi, MS' nin bulunduğu ve tabii ki MS' nin kayıtlı olduğu VLR' nin bulunduğu bölgedir. (VLR' nin, HLR' den MS hakkında bilgi aldığı hatırlanmalıdır) ERICSSON' un ürettiği CME 20 sisteminde herhangi bir MSC bölgesi ile o MSC' ye karşılık gelen servis bölgesi aynı bölgeyi temsil eder. Bir başka deyişle her bir MSC bir VLR ile gerçekleşir. Bu gerçekleştirme üretici firmaya göre değişir, verilen örnek ERICSSON içindir.



Şekil 3.12 MSC/VLR Servis Alanları

3.3.3 Yerleşim bölgesi (LA – location area)

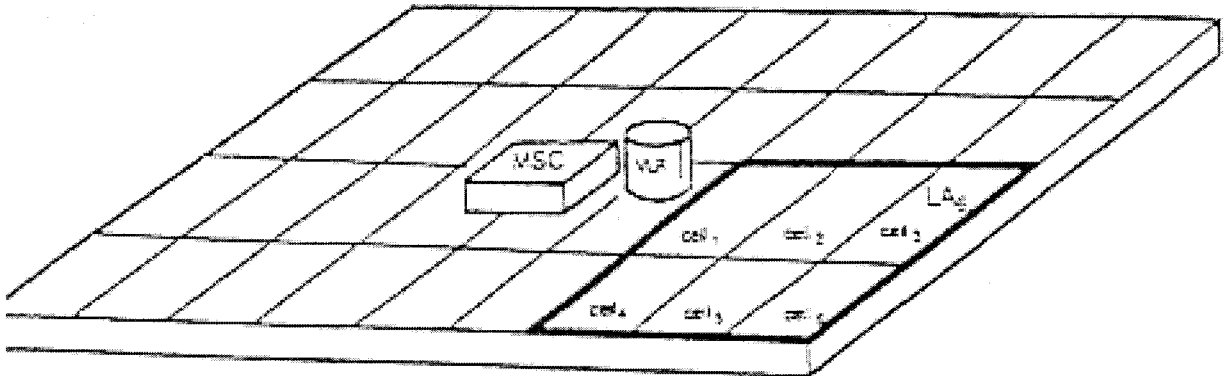
Her MSC/VLR servis bölgesi birkaç yerleşim bölgesine ayrılmıştır. Yerleşim bölgesi (LA), MSC/VLR servis bölgesinin bir parçasıdır ve mobil istasyonun bu alanda serbestçe gezmesi yerleşim bölgesindeki MSC/VLR kontrolündeki yer bilgisini değiştirmez. Bir yerleşim bölgesi, abonenin bulunması için arama mesajının yayımlandığı bölgedir. 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. Sistem aktif durumdaki aboneyi aramak için kullanır.



Şekil 3.13 Bir MSC/VLR servis alanının yerleşim bölgelerine bölümü

3.3.4 Hücre

Bir LA, belli sayıda hücreden oluşur. Hücreler, şebekenin Hücre Küresel Kimliği (CGI - Cell Global Identity) ile tanıdığı bölgelerdir. MS, Baz İstasyon Kimlik Kodu (BSIC - Base Station Identity Code) vasıtasıyla, aynı taşıyıcı frekansları kullanan hücreleri ayırt eder.



Şekil 3.14 Bir MSC/VLR servis alanının yerleşim bölgelerine ve hücelere bölümü

Özet olarak, coğrafi yapıyı şu şekilde düşünebiliriz;

Kesin kopma (zaman denetleme) ; Anlamı, PLMN kapsam alanını terk eden aboneler koparılacak ve çağrılmayacaktır

BSC içindeki alt çoğullama ve kod transferi iletim maliyetlerini minimize eder

Fazla girişim olan alanlarda daha iyi kalitede, konuşma yeteneği

Frekans atlama ; Süreksiz iletim (DTX), hücreler arası aktarma ve BTS çıkış gücünün dinamik kontrolü, sistem içindeki girişim düzeylerini azaltıcı fonksiyonlar

Kısa mesaj servisi, servis merkezinden abonelere kısa metin mesajlarının gönderilmesini sağlar

Farklı MSC alanları arasında hareket edilse bile konuşma bağlantısının sürdürülmesi olanağını sağlayan MSC' ler arası aktarma

3.4.2 Kapasite

Anahtarlama sisteminin (SS) kapasitesi büyük ölçüde şebeke tasarımına ve abone davranışlarına bağlıdır.

Tipik şebeke konfigürasyonlarında geçerli olan bazı rakamlar aşağıda verilmiştir. Bu rakamlar yalnızca oransal örnek olarak düşünülebilir, şu an ki sistem kapasiteleri bunun çok daha üstündedir.

MSC/VLR içindeki abone miktarı : 200000

Yalnız HLR içindeki abone miktarı : 500000

Entegre olmuş MSC/VLR/HLR içindeki abone miktarı :

MSC/VLR içinde : 200000 Yalnız HLR içinde : 250000

Konuşma taleplerinin yoğun olduğu saatlerdeki trafik kapasitesi (BHCA) :

MSC/VLR içinde : 300000 MSC/VLR/HLR içinde : 240000

Bir MSC'de bağlantılı BSC'lerin sayısı : 1-512

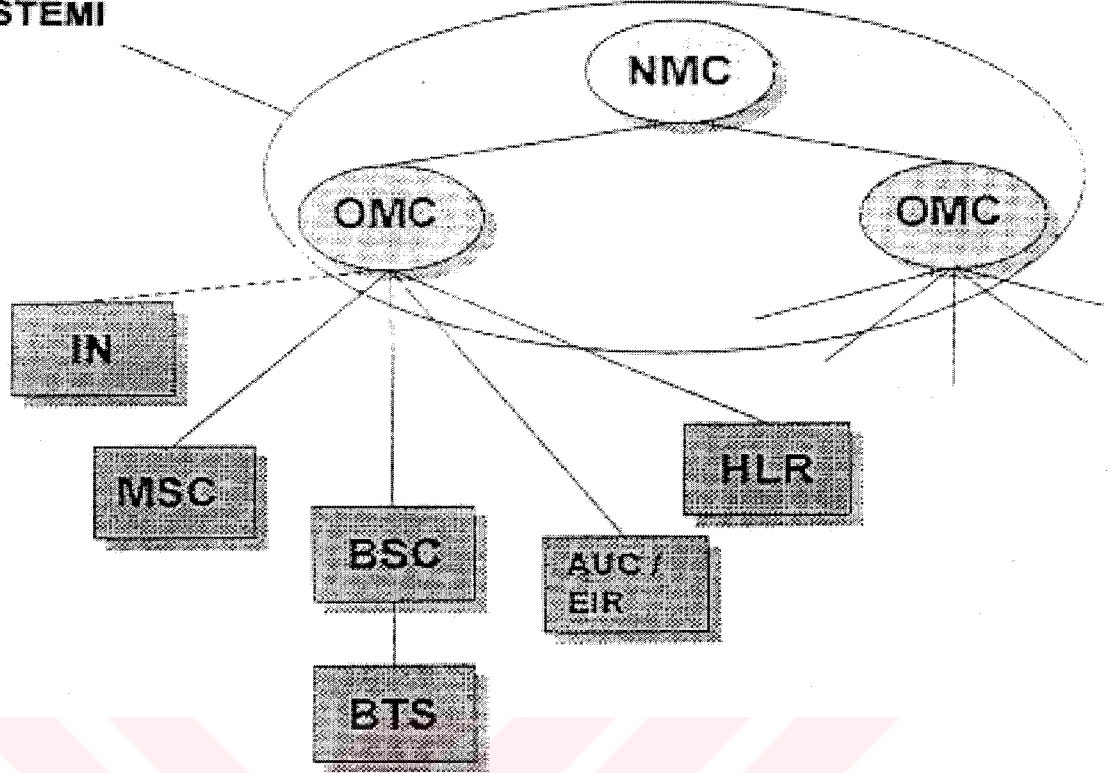
3.4.3 İletişim ve destek sistemi (OSS - operation and support system)

İşletim ve Destek Sistemi (OSS), OMC için kullanılan bir ERICSSON adıdır.

CME 20 OSS' nin amacı, CME 20 hücresel şebekesinde gereken merkezileştirilmiş, bölgesel, yerel, işlevsel ve bakım aktiviteleri için müşteriye satış-etkin desteğinin sunulmasıdır.

OSS' nin başlıca amaçları, şebekeye bakışı sağlamak ve farklı O&M organizasyonlarının bakım aktivitelerini desteklemektir. OSS ve BSS' nin her birinin iç O&M fonksiyonları X.25 linkleri vasıtasıyla OSS' den koparılabilir. (Ericsson,1999)

İŞLETİM VE DESTEK SİSTEMİ



Şekil 3.17 OSS tüm şebeke elemanları için merkezi denetim tedarik eder

3.5 Kaydetme(Aboneyi Doğrulama)

Mobil istasyon açıldıktan sonra, çok kısa bir zamanda, şebekenin varlığını fark etmek için belirli bir tarama algoritması kullanarak bütün GSM frekanslarını tarar. Şebeke fark edildiğinde, mobil istasyon ya ilerideki sistem enformasyonunu okur ya da temel kanalı okur.

Çizelge 3.1 Şebekedeki kaydetme prosedürü

MS	BTS	BSC	(G)MSC	VLR	HLR	AKSİYON
→	→					Kanal talebi
	←					Kanalı aktif hale getirme komutu
	→					Bu komutun tanınması (kabulü)
←	←					Kanal tahsisi
→	→	→				Bölgenin uygun hale getirilmesi talebi
←	←	←				Doğrulama parametrelerinin talebi
→	→	→				Doğrulama paramt. Gönderilmesi

$\leftrightarrow$	Doğrulama paramt. Karşılaştırılması
$\leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow$	Yeni bölgenin ve TMSI'nın belirtilmesi
$\rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow$	Yeni bölgenin ve TMSI'nın tanınması
$\leftrightarrow$	Yeni bölge ve kimliğin VLR'a girilmesi
$\leftarrow \quad \leftrightarrow$	Yeni bölge ve kimliğin HLR'a girilmesi
$\leftarrow \quad \leftarrow$	Mobile kanal tahsisi

Bu enformasyonla, mobil istasyon şebekedeki o an ki pozisyonunu belirtme olanağına sahip olur. Eğer mobil istasyonun yeri en son kapatıldığı yer değilse, bir kaydetme prosedürü (registration procedure) başlar. Çizelge' de kaydetme prosedürü esnasında yapılması gerekenler ve şebekede ki değişik cihazlar ile ilişkilerini tanımlar.

İlk olarak mobil istasyon, şebekeden baz istasyon tarafından belirtilecek bir kanal talep eder. Sonra BSC üzerinden BTS' deki bir kanal aktif hale getirilmeye çalışılır, boş kanal olup olmadığı araştırılır ve varsa bu BSC' ye bildirilir (diyelim ki boş kanal var). Artık mobil istasyon alt yapıya bağlanmıştır ve sistemden yerin (bölgenin) kendisi için uygun hale getirilmesini ister. Bu talep BSC' den (G)MSC' ye aktarılır ve bu arada herhangi bir işlem almadan önce mobil istasyonun doğrulanması istenir. Doğru parametrelerin alınması üzerine (G)MSC, mobili BSC ve BTS üzerinden ve yeni yerinde (bölgede) kabul eder. Daha sonra (G)MSC yeni bölgeyi ve geçici kimliği mobile belirtir (TMSI). Mobil istasyon da bunu tanımak zorundadır. Prosedür bittiğinde kanal BSC' den BTS yoluyla açılır. Eğer sistem hangi mobillerin sistemde mevcut olduğunu bilmek isterse, bu kaydetme işlemi de o kadar başarıyla tamamlanır (Mobil istasyonlar, kapatıldıklarında veya açıldıklarında şebekeyi haberdar ederler). Aslında kaydetme prosedürü şebeke içindeki bilgi akışını limitler ve şebekede sanal bir kontrol sağlar. HLR' ın bildiğini, GMSC zaten bilir ve mobil istasyonun kapalı veya açık olma durumu şebekede genel bilgi halini alır. Eğer bir kişi kapalı bir mobil istasyonu aramak isterse, GMSC hemen aranılan mobilin mevcut olmadığını gösteren bir mesaj sinyali gönderir. Böylelikle mobil istasyonu bölgede tarama olayı boşu boşuna yapılmamış olur. Dolayısıyla sistem daha az meşgul edilmiş ve sistemin dinamik enerjisinden tasarruf edilmiş olur.

3.6 Arama Kurulumu

Aramanın kurulumundan (call establishment) önce, mobil istasyon açık olmalı ve sisteme kaydedilmiş olmalı. İki farklı prosedür vardır. Bunlardan biri "mobil-çıkışlı arama" (MOC - Mobile Originated Call), diğeri ise "mobil sonlandırılmalı arama" dır (MTC - Mobile Terminated Call). Biz sadece mobil çıkışlı aramalardan bahsedeceğiz. Mobil sonlandırılmalı arama işlemleri de bunun zıttı yönde olacak, işlemler ise benzer olacaktır.

Mobil çıkışlı arama, GSM sistemde kullanılan işaretleşme hakkında genel bir izlenim edindirecektir. Burada işaretleşmeden kastedilen mesaj değişimidir. Gerçek bir arama başlamadan önce, şebeke ve mobil istasyon arasında on dört farklı mesaj değişimi olur.

Mevkiinin uygun hale getirilmesi prosedürüne (Location Update Procedure) benzer bir prosedür ile mobil bir kanal talebi ile başlar. Sistem tarafından kanal belirtilmesi yapılır. Mobil istasyon kanal isteme sebebini sisteme haber verir. Prosedürün devam etmesine izin verilmeden önce mobil kendi gerçekliğini tekrar kanıtlamak zorundadır. Şebeke bir mesaj göndererek gizli dinleyicilere karşı koruma amacıyla mobil istasyonun verilerini şifrelemesini ister. Şifreleme işi, mesajın sadece mobil istasyonun ve BTS' nin anlayacağı bir şekilde gönderilmesi demektir. Sonra mobil aramak istediği numarayı gönderir. Arama devam ederken, BSC, BTS yolu ile kullanıcı verilerinin aktarılacağı bir trafik kanalı belirtir. Farklı tipteki mesajlar ve kullanıcı verileri farklı kanallardan giderler. (Çizelge' de mobil çıkışlı arama prosedürü görülmektedir)

Bazı kanallar sadece mesaj değişimi için, bazıları ise kullanıcı verilerinin ele alınması içindirler. Aranılan nokta meşgul değilse mobil işaretini (sinyalini) gönderir ve karşı taraf ahizeyi kaldırdığında bağlantı kurulmuş olur.

Çizelge 3.2 Mobil çıkışlı arama kurulumu prosedürü

MS	BTS	Aksiyon
→		Kanal talebi
←		Kanal belirtilmesi
→		Arama kurulumu talebi
←		Doğrulama parametrelerinin talebi
→		Doğrulama parametrelerinin belirtilmesi

←	Şifreleme komutu
→	Şifreleme tamam
→	Arzulanan numarayı gösteren kurulum mesajı
←	Arama devam ediyor, şebeke aramayı arzu edilen numaraya yönlendirir
←	Kullanıcı verilerinin değişimi için kanal belirtilmesi
→	Kanal belirtilmesi tamam, mesajlar trafik kanalında
←	Aranılan numara meşgul değil ve telefon çalıyor
←	Aranılan numaraya bağlantı
→	Bağlantı tamam, arama iki tarafın konuşabilmesi içinde müsait
↔	Konuşma verilerinin değişimi

3.7 Handover/handoff (Aktarma)

Handover veya Handoff prosedürü, bir mobil istasyonun iki hücre arasında geçiş yaparken konuşmanın devamı için bir araçtır. Bir arama, hücre sınırı geçildiğinde veya mobil istasyon ile belirli bir baz istasyon arasındaki mesafe çok arttığında düşer.

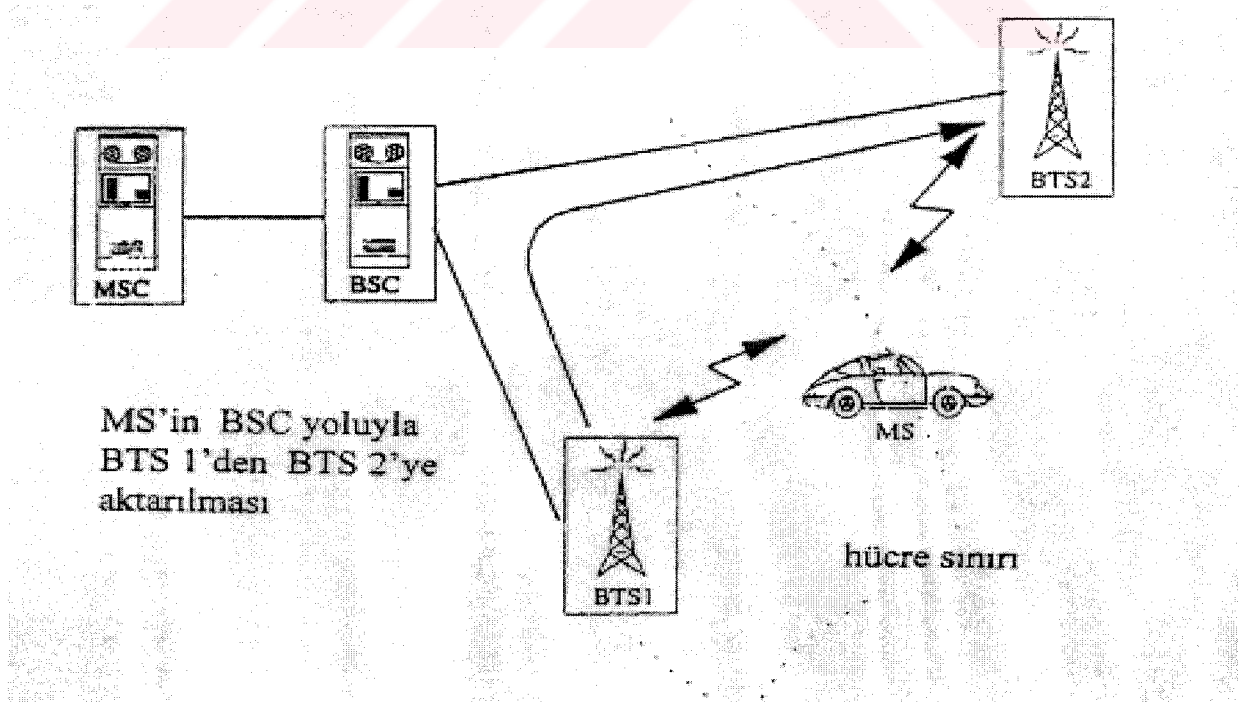
Hücresel bir şebekede, bir hücrenin komşu hücreleri vardır. Böylelikle sistem, mobil istasyonun hangi hücreye geçebileceğini saptayabilmektedir. Bir sonraki hücreyi saptayabilme metodu analog ve sayısal sistemlerde farklılık gösterir. Bu farklılık 'Handoff' ve 'Handover' sözcüklerinden tespit edilebilir. 'Handoff' analog sistemlerde kullanılmakta iken, 'Handover' ise GSM sisteminden bahsedilirken kullanılır.

Analog sistemlerde, baz istasyon, mobil istasyon ile kendi arasındaki bağlantı kalitesini gösterir. Baz istasyon, bağlantı kalitesinin düştüğünü ve mobil istasyon ile kendi arasındaki mesafenin arttığını fark ederse, komşu hücrelerden mobile olan güç seviyelerini rapor etmesini ister. Mantıklı olanı, mobil için rapor edilen en yüksek güç seviyesi, mobil istasyona en yakın hücrede tespit edilir. Daha sonra şebeke, baz istasyonun yeni hücrede hangi frekans kanalını kullanacağına ve mobil istasyonun hangi uygun frekansa akort edileceğine karar verir. Son olarak mobil istasyon kanal değişikliği için şartlandırılır. Handoff prosedüründe mobil istasyon oldukça pasif kalır. Bütün ölçümler ve ölçümlerden sonra gelen işler baz istasyonlarda ve şebekede yapılır. Hücre bölgeleri, kullanımda olan değişik kanallardaki farklı

mobil istasyonların güç seviyelerini ölçmek için 'ölçme alıcısı' ile donatılmışlardır.

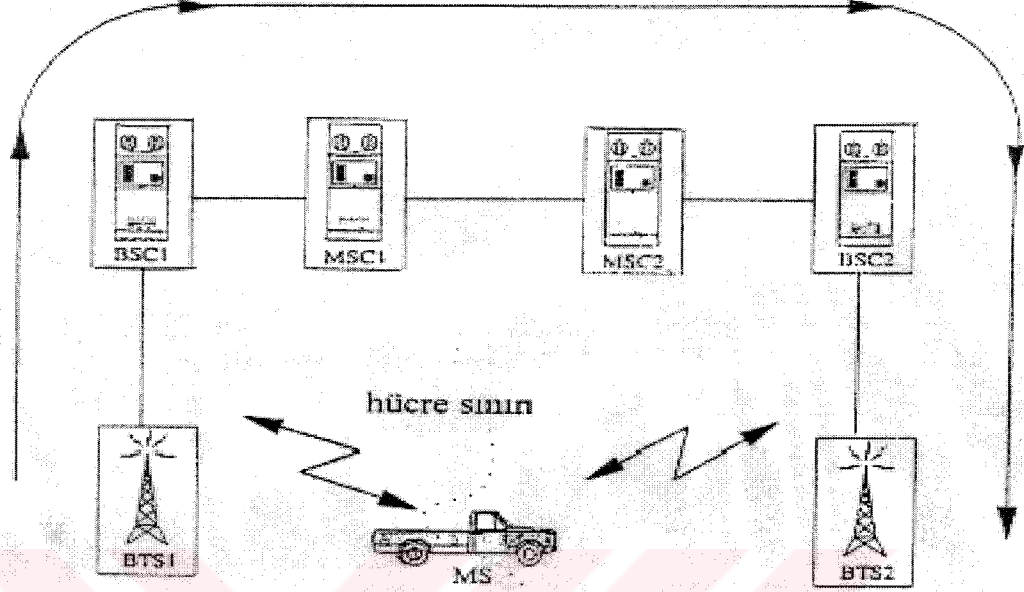
GSM sistemdeki durum farklıdır. Mobil istasyon sürekli komşu hücrelerde algılanan güç seviyelerini göstermelidir. Bunu yapmak için, baz istasyon mobil istasyona güç ölçümünü yapmak için baz istasyonların (kanalların) listesini verir. Bu liste temel kanalda gönderilir. Bu temel kanal, mobil açıldığında frekansın aktarıldığı kanaldır ve birinci kanaldır. Mobil istasyon, kalite için, içinde bulunulan hücrenin güç seviyesi ölçümlerine devam eder. Ayrıca bu ölçümler komşu hücrelerin güç seviyeleri için de aynı şekilde icra edilir. Ölçüm sonuçları periyodik olarak 'ölçüm raporu' na yerleştirilerek baz istasyona geri gönderilir. Baz istasyon, mobil istasyona olan bağlantının gücü ve kalitesi üzerinde ölçüm yapıyor da olabilir. Eğer ölçümler, bir aktarma yapılması gerektiğini gösteriyorsa, aktarma için en uygun baz istasyonu daha önceden tespit edilmiş olduğundan hiç gecikme olmadan bu aktarma gerçekleştirilerek sorun çözülür.

GSM sistem farklı tipte aktarmalar seçer. Mobil istasyonun hangi tipte bir hücre sınırını geçtiğine bağlı olarak, yeni hücrede, mevcut bir kanal sağlamak için bu aktarma işinin kontrol edilmesi lazımdır. Eğer aktarma bir BSC alanı içinde gerçekleştirilecekse, aktarma MSC' ye başvurmadan BSC tarafından ele alınabilir. Bu şekilde bir aktarma BTS' ler arası basit aktarma olarak adlandırılır.



Şekil 3.18 BTS' ler arası aktarma

Eğer mobil istasyon bir BSC sınırından geçiyorsa (daha ziyade BTS), bu durumda konuşmada düzgün geçiş sağlanması için MSC bunu kontrol eder. Bu iki farklı MSC arasındaki aktarma için de devam edebilir. MSC'ler arası geçişteki tek fark, mobil ilerde ikinci MSC tarafından ele alınsa da, ilk MSC hala arama yönetiminin kontrolünü muhafaza eder.



Şekil 3.19 MSC'ler arası aktarma

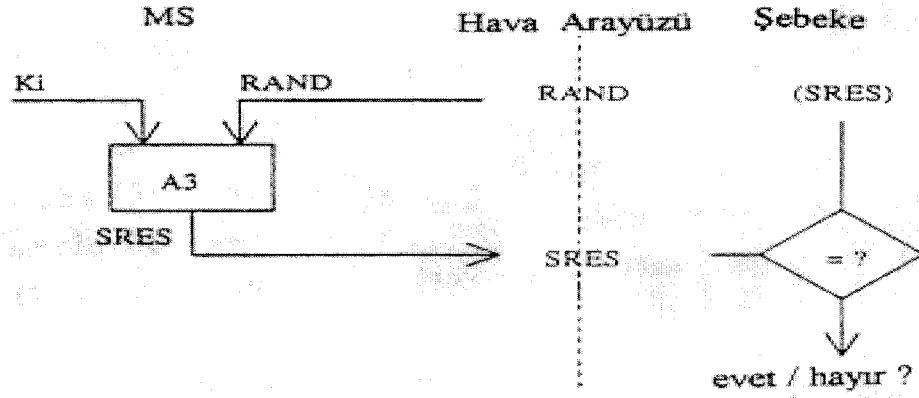
Teorik olarak, iki ülkenin politik sınırları arasında aktarma yapmak mümkündür. Bu özellik için herhangi bir teknik kısıtlama yoktur. Farklı serbest dolaşım anlaşmalarından dolayı, hiç bir şekilde bir telefon aramasını başlatmak mümkün değildir. Mesela Almanya' dan İsviçre' ye geçince aboneler yeni yabancı şebekede kayıtlarını yaptırmak zorundadırlar.

3.8 Güvenlik Parametreleri

Önceki bölümlerde güvenlik parametrelerine değinildi. Şimdi bunları özetleyelim ve işletme özelliklerini tanımlayalım.

3.8.1 Doğrulama (Authentication)

Doğrulama prosedürü abonelerin SIM kartlarının geçerliliğini kontrol eder. Doğrulama, 'A3' diye adlandırılan ve SIM kart ile doğrulama merkezinde (AUC) yüklü olan bir 'doğrulama algoritması' na dayanır.(Ericsson,1999)



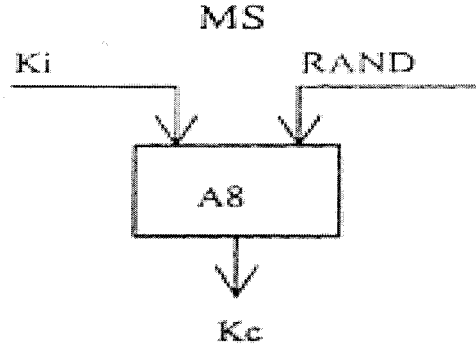
Şekil 3.20 Doğrulama İlkesi

A3 algoritması iki giriş parametresi kullanır; biri sadece şebekede ve SIM kartta yüklü olan 'doğrulama anahtarı (Ki)' dir. İkinci değer ise, hava ara yüzünde mobil istasyona gönderilen 'rasgele üretilmiş numara (RAND - Random Generated Number)' dir. Mobil istasyon, A3 algoritması için bir giriş değeri olan rasgele üretilmiş numarayı SIM' e geçer. Sonuç olan SRES (Signed Response), mobil istasyondan hava ara yüzü yoluyla şebekeye gönderilir. Çünkü, SRES değeri, doğrulama merkezinden hesaplanan değerle şebekede karşılaştırılır. Doğrulama parametreleri (RAND ve SRES), doğrulama merkezinin kullanımı için HLR ve VLR' de saklıdır. Eğer HLR veya VLR' de bu parametreler tüketilirse doğrulama merkezinden yenileri istenir. Tükenme durumu ise, her arama kurulumunda veya kaydetmede bu parametrelerin ıskartaya çıkma ihtimaline bağlıdır. Bu güvenlik özelliğinin bir önemli noktası, konu ile ilgili bu parametrelerin (A3 ve Ki) güvenli yerlerde saklanması ve hava ara yüzü ile asla gönderilmemesidir. (Mohrotra,1997)

3.8.2 Şifreleme

Sayısal transmisyon verinin şifrelenmesi için uygundur. Çünkü bit dizisi, hava ara yüzünün iki tarafından da belirli bir metod ile gönderilmektedir. GSM sistem, işareti ve kullanıcı verisini korumak için böyle bir şifreleme metodu kullanır. Bir tarafta şifrelenen veri sadece diğer tarafta deşifre edilebilir. 'A5' diye adlandırılan şifreleme algoritması veri dizisini şifreler ve orijinal veri dizinin tekrar elde edilmesi için aynı algoritma tekrar kullanılır.

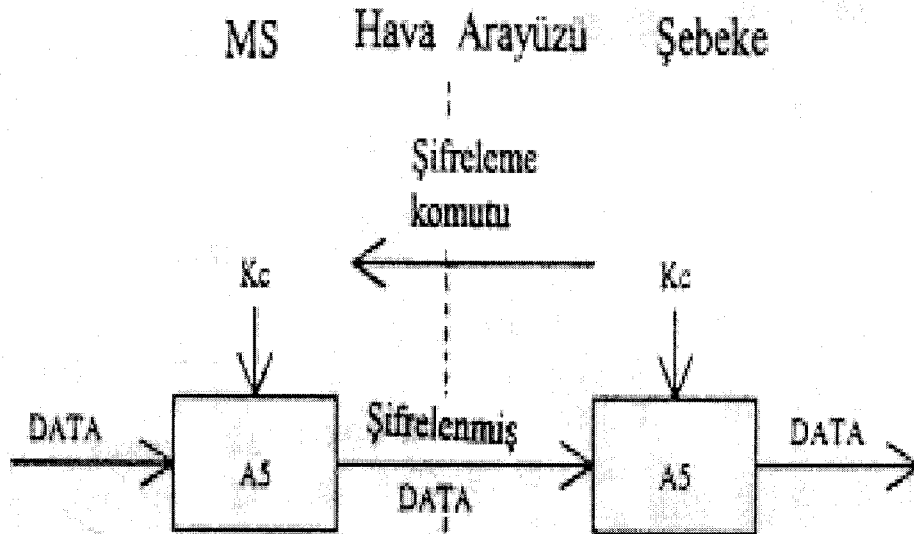
Şifreleme fonksiyonlarını tasarlayan mühendisler, bu algoritmanın gizli dinlemelere karşı çok iyi korunduğunu iddia ediyorlar. Bu algoritma 'Kc' diye adlandırılan özel bir anahtar istiyor. Bu anahtar ise şebeke tarafından verilen rasgele numaradan (RAND) hesaplanıyor (Rasgele numara doğrulama prosedürü için kullanılan numaradır). Bu hesaplama, RAND ile önceden bahsettiğimiz doğrulama anahtarı Ki' nin A8 kodu ile adlandırılan bir algoritmaya tabi tutulmasıyla oluyor.



Şekil 3.21 Şifreleme anahtarı Kc'nin hesabı

A8 algoritması SIM kartta yüklü vaziyette bulunmaktadır. Mobil cihaz A3 ve A8 hakkında hiçbir şey bilmez. A8 algoritması ile hesaplanan Kc, A5 algoritmasında yani veriyi şifreleme veya deşifrelemede kullanılır.

Şifreleme prosedürünün başlaması için, şebeke mobil istasyona şifrelemenin başlatılması komutunu verir. Artık bundan sonra mobilden şifrelenmiş olarak çıkan veri iletim ortamından (hava ara yüzünden) şebekeye iletilir ve şebeke bu verileri deşifre ederek uygun ünitelere yönlendirir.



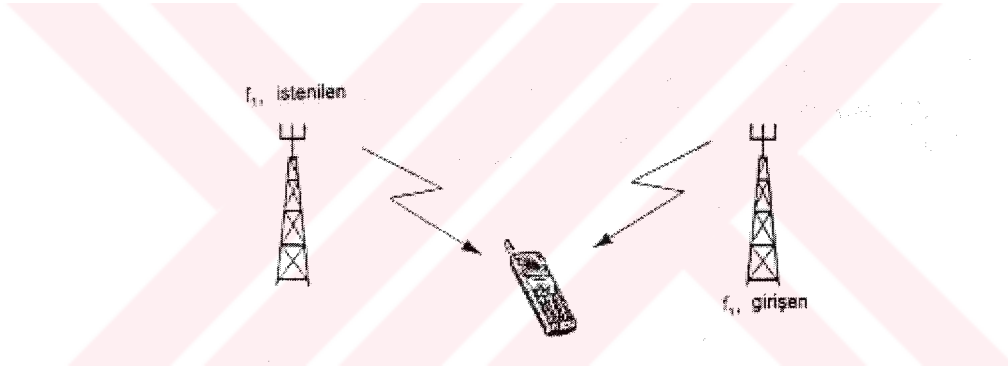
Şekil 3.22 Şifrelemenin başlatılması ve yapılması

4.SAYISAL RADYO TRANSMİSYONU -PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLER

Arabalarında seyahat eden herkes farkına varmıştır ki, seyahat esnasında bir radyo yayını dinlerken alınan sinyal kalitesi zaman zaman değişir. Örneğin bir tünele veya iki tepe arasına girerken olduğu gibi. Bu etkiye 'gölgeleme' adı verilir ve kablosuz dünyada ilgilenilmesi gereken birçok can sıkıcı gerçeklerden biridir.

Bu bölümde hücresel radyo ortamının temel problemleri ve bunlarla ilgili bazı ölçümler ele alınacaktır. Ek olarak, en genel biçimde sayısal haberleşme ilkeleri de anlatılacaktır.

Problemlerin çoğundaki en genel faktör, istenilen sinyalin çok zayıf olmasıdır. Bu zayıflık rasgele (ısı) gürültü ile veya girişim (interference) sinyalleri ile karşılaştırıldığında çok daha fazla önem kazanır. Böyle bir sinyal, istenilen sinyalin alındığı kanal üzerinde gelen, istenmeyen sinyal olarak tanımlanabilir. Örneğin bu sinyal, sizin ilişkide olduğunuz verici ile aynı frekansta çalışan ve ona çok uzak olmayan bir başka vericiden karışan sinyal olabilir.



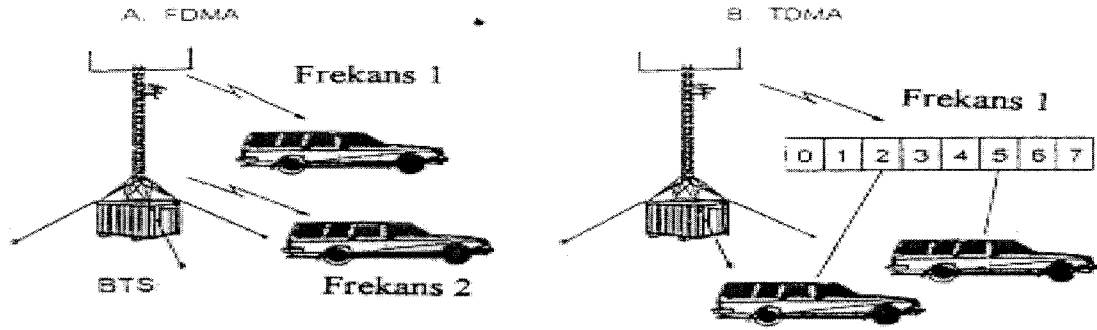
Şekil 4.1 Girişen işaret

Bu gerçeklere dayanarak denilebilir ki, bütün frekansların tekrar tekrar kullanıldığı bir sistem olan hücresel sistem, gürültü değil girişimden dolayı sınırlandırılır.

4.1 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA - Time Division Multiple Access)

Alcelade radyo yayınlarında FDMA (Frequency Division Multiple Access - Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) metodu kullanılır. Böylelikle her kanala belirli bir frekans bandı tahsis edilir. Eğer başka bir kanalı dinlemek istiyorsanız alıcının frekansını başka kanala ayarlamalısınız. Bu teknik analog hücresel sistemlerde kullanılır. Şöyle ki; bir hücredeki her arama bir frekans bandı kullanır (Eğer dubleks, yani iki yönlü arama ise iki band kullanılır). Belirli bir arama için belirli bir band kullanıldığından, bu frekans bandı başka bir arama için müsait olmayacaktır.

GSM' de TDMA tekniği kullanılmaktadır ve her frekans bandı için sekiz zaman aralığı bulunur. TDMA ve FDMA arasındaki fark Şekil24' 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 4.2 TDMA ve FDMA arasındaki fark

a.FDMA b.TDMA

Dikkat edilmelidir ki, şekillerde tek yön gösterilmiştir. Zıt yönde ise buna uygun gelen frekanslar/zaman aralıkları olmalıdır.

4.2 Transmisyon Problemleri

4.2.1 Yol kaybı

Yol kaybı, mobil istasyon ile temel istasyon arasındaki mesafe artışıyla artar ve işaretin zayıflamasıdır. Alıcı (Rx) ve verici (Tx) antenleri arasında engeller yoktur. Serbest uzay durumu için verilen bir anten ile ilgili olarak, alınan güç yoğunluğunun Tx ve Rx antenleri arasındaki “d” mesafesinin karesiyle ters orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Bir de alınan güç, transmisyon frekansı “f” in karesiyle de ters orantılıdır. Uzak zayıflaması güç kaybı için sonuç o olarak;

$$L_s \sim d^2 f^2$$

$$L_s [\text{dB}] = 33.4 (\text{dB}) + 20 \log (f \text{ Mhz}) + 20 \log (d \text{ km})$$

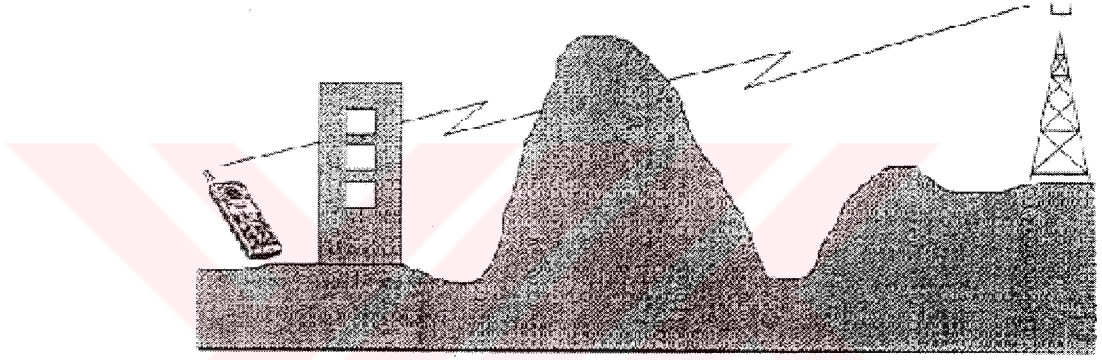
33,4 oranın bir sabiti olarak verilir.

Daha yüksek frekanslar daha fazla zayıflatmaya sebep olurlar. İdeal olmayan şartlarda bu zayıflama d' nin dördüncü kuvveti ile gerçekleşir.

4.2.2 Zayıflatma

4.2.2.1 Log-normal zayıflatma

Aslında biz mobillerimizi nadiren engellerin olmadığı ortamlarda kullanırız. Çoğunlukla tepelerin ve binaların olduğu yerler iletim ortamı durumunda olur. Bu da işaretin gücünü zayıflatan gölgeleme etkisini ortaya çıkarır. Yani işaret yer yer zayıflayacaktır. Bu bir çeşit zayıflama değildir. Zayıflamadan etkilenen işaret, işaret gücünde değişiklik meydana getirir. Minimum noktalara "zayıflama dip noktaları" denir. Gölgeleme etkilerinin meydana getirdiği bu çeşide "log-normal zayıflama" denir ve işaret gücünün logaritmasını alırsak bu zayıflama ortalama değerin etrafında normal dağılım gösterir. İki zayıflama dip noktaları arasındaki mesafe tipik olarak 10-20 metredir.

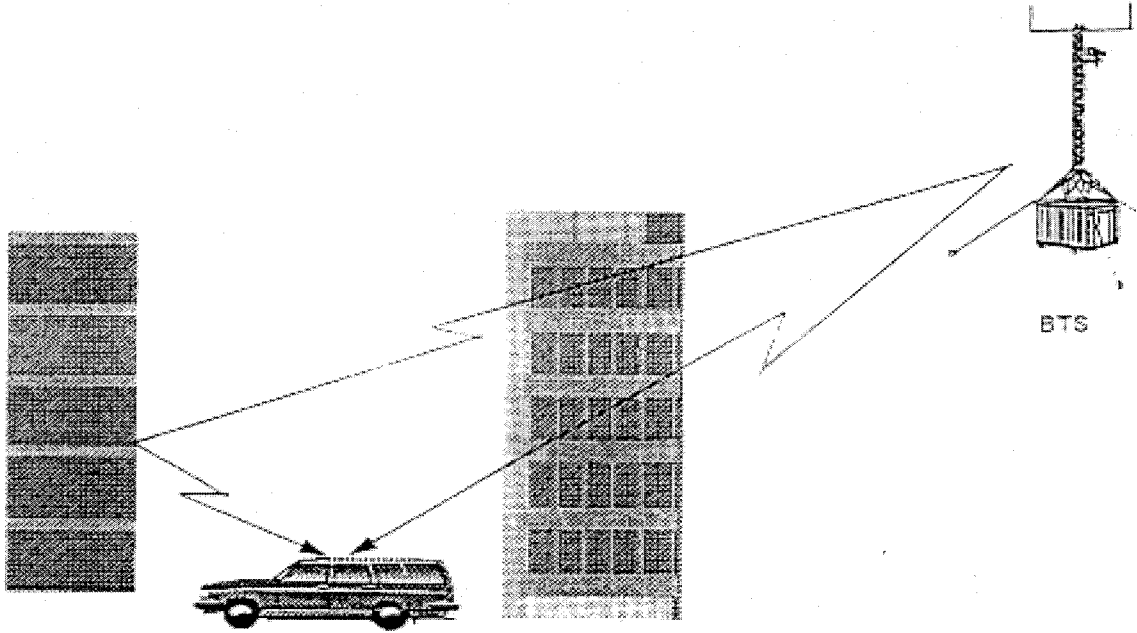


Şekil 4.3 Log-normal zayıflama

4.2.2.2 Rayleigh zayıflaması

Mobil telefonların güncelliğinin her geçen gün artması dolayısıyla nüfusun çok olduğu yerlerde abone sayısının yüksek olduğunu ve sürekli artacağını kestirmek hiç de zor değildir. Mobillerin şehirlerde kullanılması bozucu bir etki olan "çoklu yol" veya "Rayleigh zayıflaması" olarak adlandırılır. Bu durum işaretin Tx anteninden çıktıktan sonra Rx antenine ulaşırken birden fazla yol almasıyla oluşur. İşaret sadece Tx anteninden çıktığı doğrultudan alınmaz, çıktığı noktadan birçok farklı noktalara gider. Antenler arasında görüş hattı yoktur. İşaret birçok engellerden, örneğin binalardan, yansarak mobil istasyona ulaşır.

Bu da demektir ki, alınan işaret, sadece fazı farklı ve biraz da genliği farklı aynı işaretlerin toplamı olacaktır. Eğer işaretler vektör olarak toplanırsa işaret gücü sıfıra düşecektir. İki zayıflama dip noktası arasında geçen zaman, hem transmisyon hızına hem de mobil hızına bağlıdır. (Mohrotra, 1997)



Şekil 4.4 Rayleigh zayıflaması

Bir yaklaşıklık yaparak denilebilir ki, Rayleigh zayıflamasına göre iki dip nokta arasındaki mesafe dalga boyunun yarısı kadardır. 900 MHz için bu mesafe 17 cm civarında hesaplanır. Böylece, eğer 50 km/h hızla hareket eden bir mobil için iki dip nokta arası zaman şöyle olacaktır ;

$$V = 50 \text{ km/h} = 13,89 \text{ m/s} \approx 14 \text{ m/s}$$

$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 900 \times 10^6 = 0,3\text{m}$$

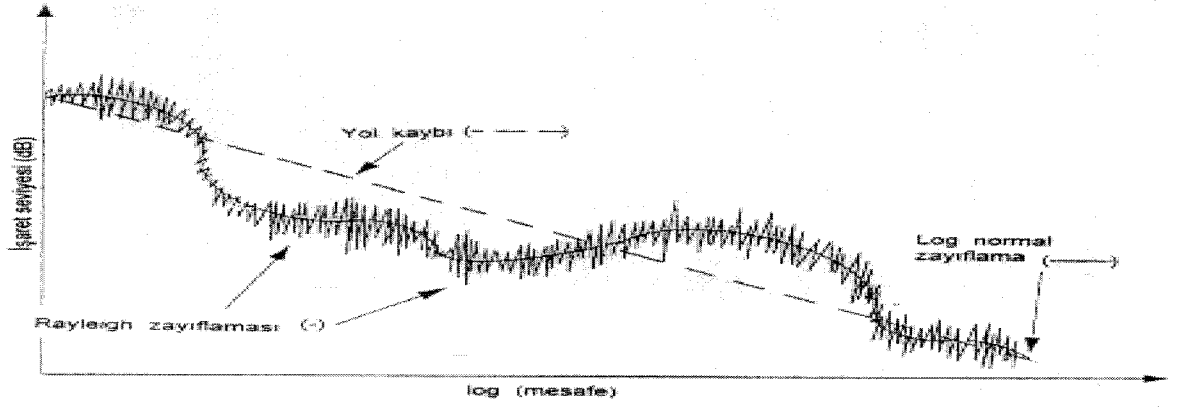
$$(\lambda / V) / 2 = 10,7 \text{ ms}$$

V : hız λ : dalga boyu

1800 MHz için bu hesaplanan zaman yarıya düşer.

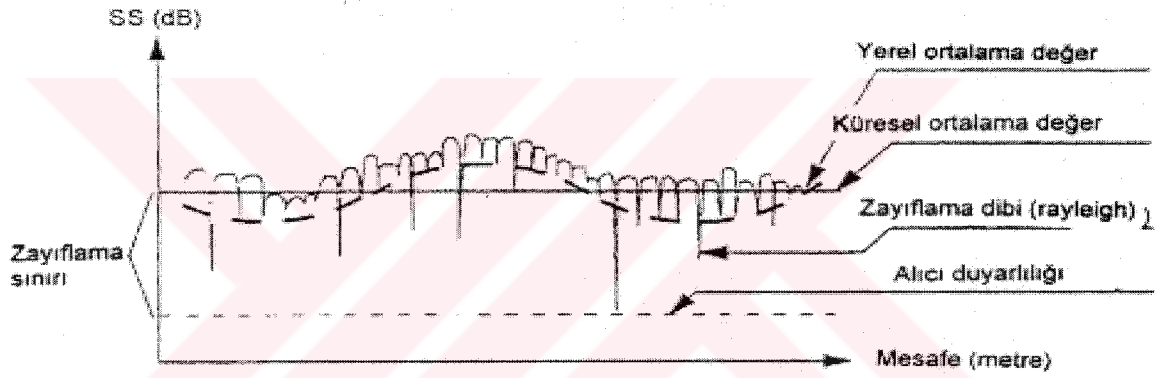
4.2.2.3 Toplam zayıflayan işaret

BTS Tx anteninden uzaklaşıldığında mobil istasyonun Rx anteninde muhtemel işaret gücü gösterimi; Şekil4.5 ile verilmiştir.



Şekil 4.5 Mesafe ile Rx işaret gücü ilişkisi

Tx anteninden belirli bir 'd' kadar mesafe uzaklıkta alınan işaret Şekil28' deki gibi olacaktır.



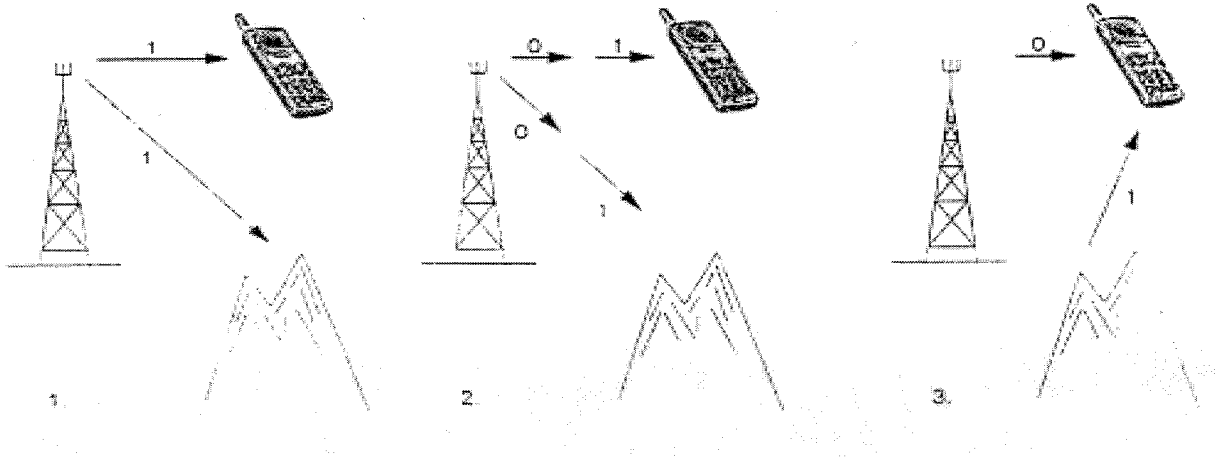
Şekil 4.6 Rx işaret gücü

Belirli bir çıkış için istenilen en küçük işaret gücü değeri alıcının duyarlılığı anlamındadır. Diyelim ki, Tx anteninden gönderilen enformasyonun sezilebilmesi için X watt'lık bir güç almamız gereksin. Bu durumda işaret gücü X watt'ın altına düşerse enformasyon kaybolacaktır. Dolayısıyla sistemin sadece işaret gücünün 'küresel ortalama değerine' göre planlanamayacağı çok açıktır. Zayıflamaya karşı önlemlerin alınması gerekir ve 'zayıflama aralığı' diye bir terim tanımlanır. Eğer kesintisiz bir transmisyon yoluna sahip olmak istiyorsak, küresel ortalama değer alıcı duyarlılığının üzerinde olması gerekir. Şekilden de görülebileceği gibi alıcı duyarlılığının seviyesi, en derin zayıflama dip seviyesinin biraz altındadır. Bu durumda zayıflama aralığını küresel ortalama değer ile alıcı duyarlılığı arasındaki fark olarak tanımlayabiliriz.

4.2.3 Zaman ayrılması

Sayısal transmisyon 'zaman ayrılması' olarak adlandırılan bir başka problemi de beraberinde getirir. Bu problemin merkezinde, çoklu yol zayıflamasına zıt olarak, Rx anteninden çok

uzaktaki (kilometreler mertebelerinde) bir nesneden gelen yansıyan işaretler vardır.



Şekil 4.7 Zaman ayrılması

Zaman ayrılması, Ara Simge Girişimi (ISI - Inter Symbol Interference) olayına sebep olur. ISI, sonuç simgelerin birbirine girişmesi ve alıcı tarafın hangi gerçek simgeyi sezeceğine karar vermesinin zorlaşması anlamına gelir. Buna bir örnek Şekil 4.7 de gösterilmiştir.

Eğer yansıyan işaret direk giden işaretten tam olarak bir bit geç giderse, bu durumda alıcı direk giden dalgadan '0' algıladığı gibi yansıyan dalgadan da '1' algılar. '1' simgesi '0' simgesi ile girişir.

GSM' de hava ara yüzünde net bit oranı 270 kbit/s' dir. Dolayısıyla bit zamanı $3,7\mu s$ ' dir. Bir bit 1,1 km' ye karşılık geldiğinden, eğer mobil istasyonun arkasında 1 km' den bir yansıma varsa yansıyan işaret direk giden işaretten 2 km daha uzun yol alır. Bu da istenilen işaret ile, istenilen işaretten iki bit zamanı geç gelen bir işaretin karışması anlamına gelir.

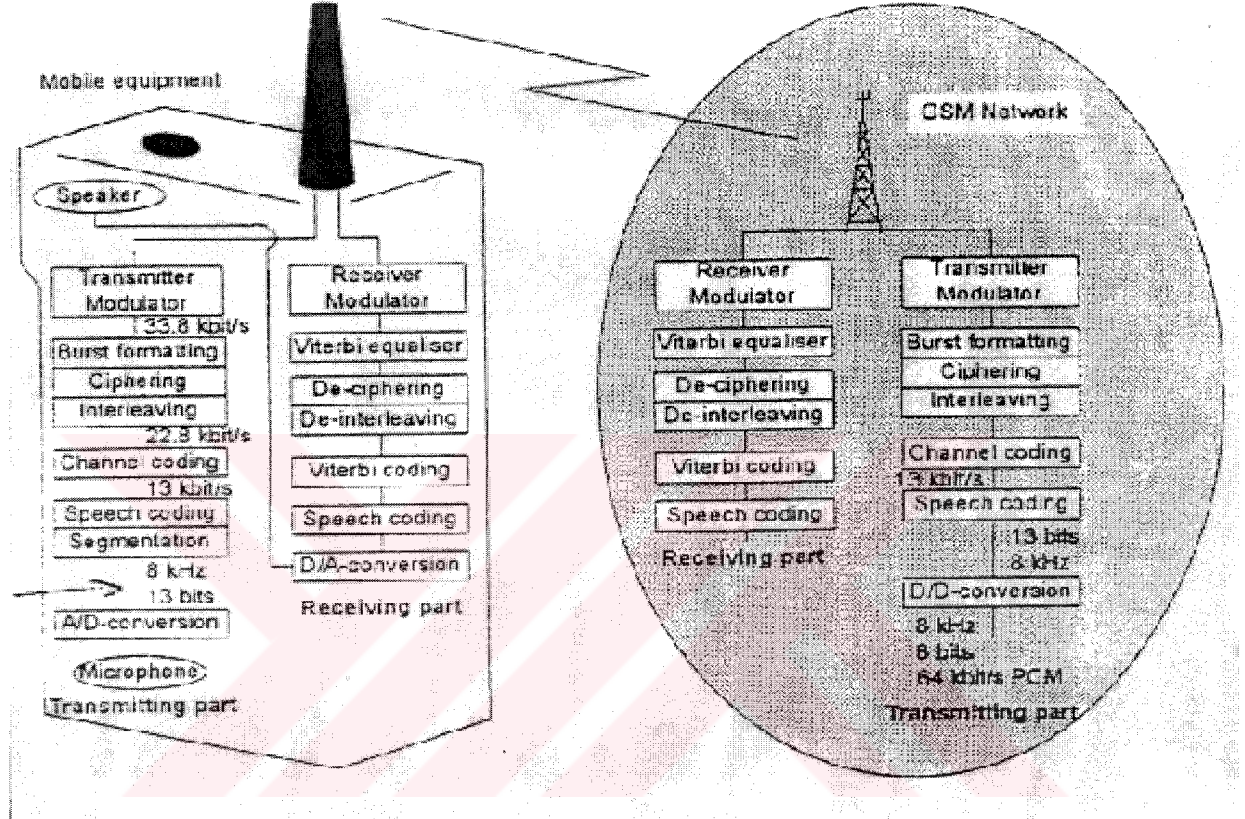
4.2.4 Zaman ayarlaması

TDMA kullanma, mobilin sadece tahsis edilen zaman aralığı süresince işaret göndermesi, diğer zamanlarda göndermemesi anlamına gelir. Aksi takdirde diğer mobillerden yapılan aramalar, aynı taşıyıcı üzerinde farklı zaman aralıklarında olduğundan karışacaktır. Düşünelim ki mobil temel istasyona çok yakın olsun. Zaman dilimi 3 (TS3 - Time Slot 3) tahsis edilir ve arama için sadece bu zaman dilimi kullanılır. Arama süresince mobil, temel istasyondan uzaklaşır, böylelikle temel istasyondan gönderilenler mobile zaman geçtikçe daha geç ulaşmaya başlar, dolayısıyla mobilden çıkan cevap da temel istasyona her zaman geç ulaşır. Eğer bir şey yapılmazsa gecikme ileride daha da artacak ve mobilin TS3' de gönderdiği

mesaj bilgisi ile temel istasyonun TS4' de aldığı mesaj bilgisi üst üste çıkışacaktır. Bu ise kesinlikle istenmeyen bir durumdur.

4.3 Transmisyon Problemlerine Çözümler

Problemleri tanımladıktan sonra şimdi de çözümlerden bahsedelim. Şekil30 şematik olarak işaret işleme bloklarını göstermektedir.



Şekil 4.8 İşaret işleme blokları

İşaret işleme, mobil haberleşme sistemindeki en önemli noktalardan biridir. Bu olay mobil cihazda ve şebeke kısmında gerçekleşir. Şimdi mobil verici kısmına kısa bir göz atalım ;

İlk olarak analog konuşma A/D dönüştürücü (Analog/Sayısal Dönüştürücü) ile sayısal hale getirilir. Daha sonra bit oranının azaltılması için konuşma kodlayıcıya girmek üzere 20 ms' lik parçalara bölünür. Daha sonraki basamak, kanal kodlama ve araya yerleştirme işlemleridir. Konuşmanın şifrenmesi (gizli dinleyicilerden korunmak için) ve sonra burst formatlama (başlangıç ve bitiş bitlerinin, bayrakların eklenmesi vs.) işlemleri de gerçekleştirildikten sonra son basamak olarak bit dizisinin bir taşıyıcı üzerine modüle edilmesi ve işaretin gönderilmesi işlemleri gerçekleştirilir. Alıcı tarafta da buna uygun işlemler gerçekleşir. Mobil cihaz tarafı ile şebeke tarafındaki fark, konuşmanın şebeke tarafında A/D veya D/A dönüşüme uğramamasıdır. Eğer konuşma yerine veri gönderilmek isteniyorsa tabii ki mobil tarafında

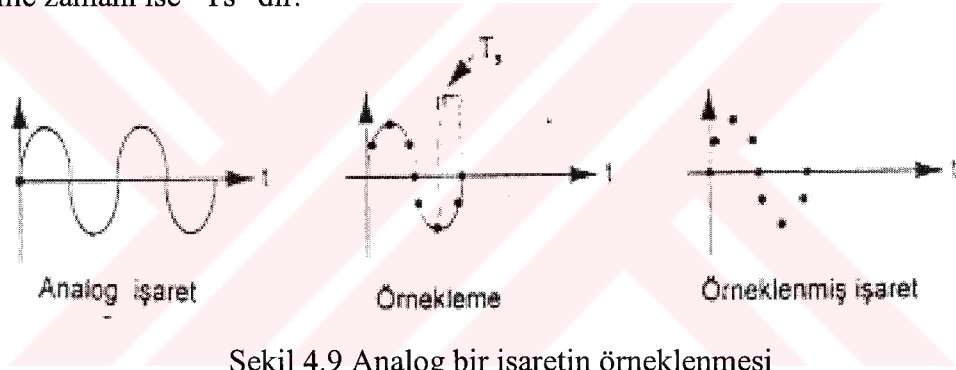
A/D veya D/A dönüşüme gerek kalmayacaktır. Ayrıca verinin konuşma kodlayıcısına da aktarılmasına gerek olmayacaktır. Veri haberleşmesinde transmisyon hataları olma ihtimalleri çok olduğundan kanal kodlama başka bir şekilde yapılacaktır.

4.3.1 Analog işaretler ve sayısal transmisyon ilkeleri

Sayısal transmisyon temel olarak, birler ve sıfırlardan oluşan simge serilerinin bir noktadan diğerine gönderilmesi anlamına gelir. Konuşma analog, yani sürekli dalga olduğundan dolayı analog işaretin mümkün olduğu kadar sayısal terimlerle ifade edilmesi gerekir. Bu PCM adı verilen bir yöntem kullanılarak yapılır. PCM (Pulse Code Modulation), darbe kod modülasyonudur ve telekomünikasyon sistemlerinde kullanılan genel bir ilkedir. PCM üç aşamada gerçekleştirilir.

1-Örnekleme :

Analog işaretin örneklenmesi işaretin belirli zamanlarda ölçülmesi anlamına gelir. Her değer “örnek” olarak adlandırılır ve ölçümler tanımlanan belli zaman aralıklarında tekrarlanır. Örnekleme zamanı ise “ T_s ” dir.



Şekil 4.9 Analog bir işaretin örneklenmesi

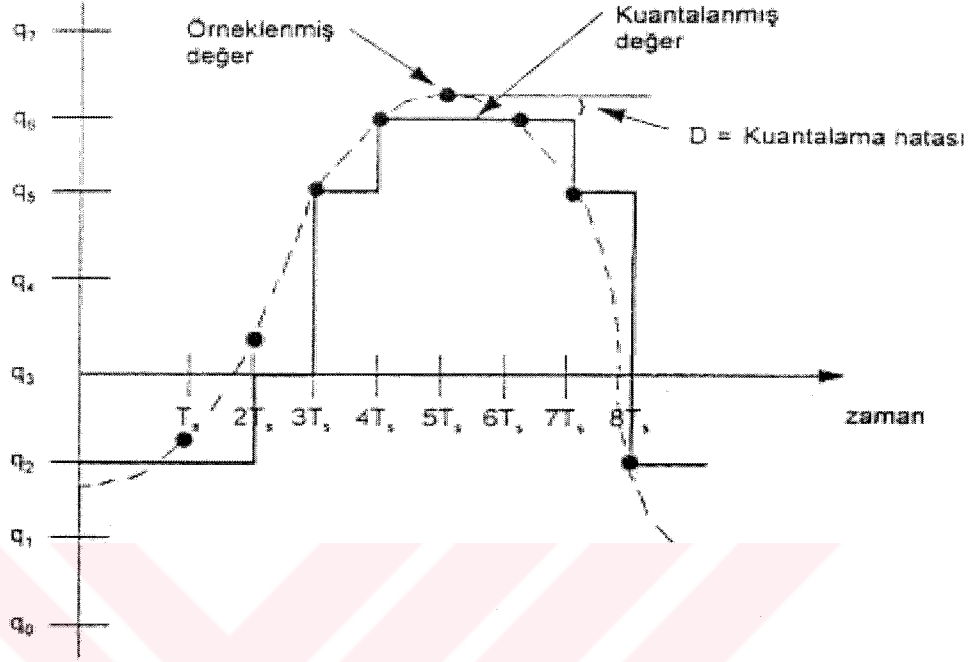
İşaret ne kadar sık aralıklarla örneklenirse, sayısal olarak o kadar iyi modellenir. Bu durumda konuşmayı örneklerken kullanılması gereken frekansı bulalım. Örnekleme teoremi der ki bozunumsuz olarak bir analog işareti tekrar elde edebilmek için, örnekleme frekansının en az olması gereken değer, analog sinyalin en yüksek frekanslı bileşeninin frekansının iki katıdır.

Normal konuşma, 3 KHz' den düşük frekans bileşenlerini içerir. Daha yüksek frekanslı bileşenlerin enerjileri düşük olduğundan konuşma kalitesindeki etkileri ihmal edilebilir. Örnekleme teoremine göre, analog konuşma işaretinin örnekleme frekansı “ f_s ”, en az 2×3 KHz = 6 KHz olmalıdır. Telekomünikasyon sistemlerinde örnekleme frekansı 8 KHz ‘dir.

2-Kuantalama :

Gönderilecek değerlerin sayısını kısıtlamak için genlik seviyesi sonlu değerlerde seviye gruplarına bölünür. Belirli bir aralıktaki her örnek, seviyelerden biri ile temsil edilir. Şekil32’

de analog işaretin GSM sistemde kullanılan “düzgün kuantalama” ilkesi görülmektedir. İki seviye arasındaki mesafeler sabittir. PSTN, seviyeler arası mesafenin değiştiği “A-yöntemi kuantalama” metodunu kullanır. Dolayısıyla farklı genlik seviyelerinin doğruluğu optimize edilir.



Şekil 4.10 Düzgün kuantalama

Doğruluğun derecesi kullanılan seviye sayısına bağlıdır. Normal telefonda 256 seviye kullanılırken, GSM'de analog sinyal 8192 seviyede kuantalanır. Gerçekte, sonlu sayıda seviyelerle sürekli analog işareti tam olarak temsil edemeyiz. Şekilde işaretlendiği gibi bir çok durumda örneklenmiş değerle kuantalanmış değer arasında fark olacaktır. Ayırık seviyelerin sayısını artırarak kuantalama hatalarının boyutlarını azaltabiliriz ama hiçbir zaman tam olarak ortadan kaldıramayız.

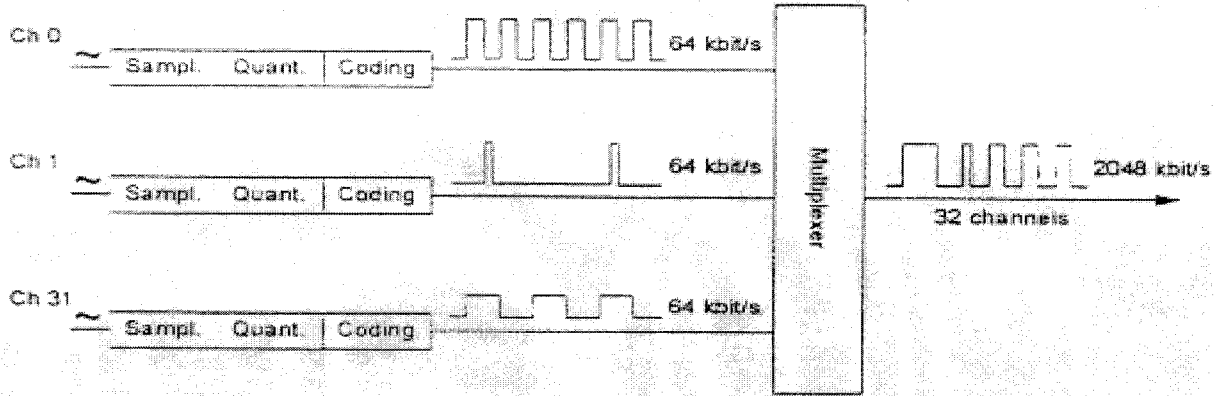
3-Kodlama :

Her kuantalanmış değer bir ikili (binary) kod ile temsil edilir. 256 seviye gerçekleştirmek için 8 bit kullanılır. ($2^8 = 256$). GSM' de ise 13 bit 8192 seviyeye tekabül eder. ($2^{13} = 8192$).

PCM sistemde 8 KHz' de örnekleme yapıp, kuantalama gerçekleştirilip ve 8 bit ile kodlanırsa $8000 \times 8 = 64$ kbit/s' lik bir bit oranı oluşturulmuş olur.

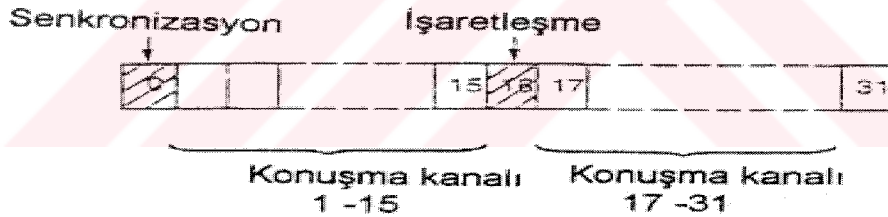
Bu bitlerin gönderilmesi için kullanılan hatta “PCM hat” adı verilir. Hattı daha verimli kullanabilmek için bir çok kanal aynı hatta çoğullanır. Kullanılan tekniğe Zaman Bölmeli

Çoklu Erişim (TDMA) adı verilir ve bir çok kanal aynı hattı paylaşır. Her kanal, hattı belirli bir zaman aralığında kullanır (Time slot). Şekil33' de 32 kanalın bir PCM hatta nasıl çoğullandığını görebiliriz. Bu hatta bit oranı ise $32 \times 8 \times 8000 = 2,048$ Mbit/s olur.



Şekil 4.11 Bir PCM hatta 32 kanalın çoğullanması

32 kanal Şekil' de görülen bir çerçeveyi (Frame) oluşturur. 0 no' lu kanal senkronizasyon için, 16 no' lu kanal işaretleme için ve diğer 30 kanal trafik için kullanılır (Konuşma veya veri).



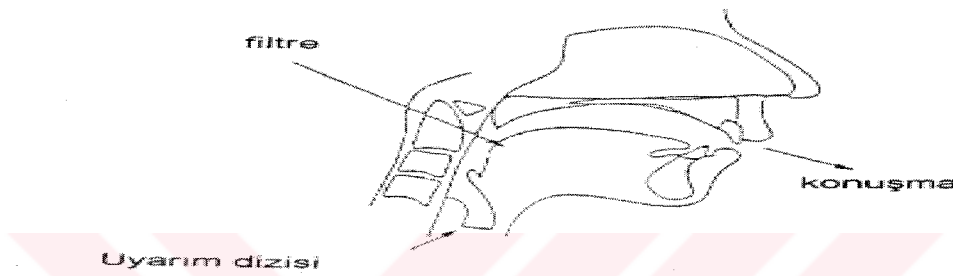
Şekil4.12 32 zaman aralıklı bir çerçeve

4.3.2 Konuşma kodlama

Sayısal transmisyon kullanımının faydalarından biri de daha fazla aboneye hizmet edebilmektir. Şekil' den de görülmüş olduğu gibi bir frekans bandı için bir yerine sekiz kanal mevcuttur. Burada dikkate almamız gereken durum bir frekans bandında aynı zamanda sekiz konuşmanın gerçekleşmesi değil, kullanılan gerçek bandın ne kadar geniş olduğudur. Bazı FDMA hücresel mobil sistemlerde 25 KHz' lik bir kanal ayarlaması kullanılır (NMT, TACS). GSM' de belirtilen ayrılma ise 200 KHz' dir. 200 KHz TDMA başına aynı andaki sekiz kullanıcı, 25 KHz FDMA' in sekiz kullanıcısı ile tam aynıdır. Kazanç, analog sistemle karşılaştırıldığında farklı bir frekans planlamasından kaynaklanıyor.

PCM olarak kodlanmış konuşma bahsine bir göz atarsak görülür ki her konuşma kanalı 64 kbit/s' dir. Bunun gibi sekiz kanal hava ara yüzüne çıktığında 512 kbit/s' lik bit oranı verir. Bu değer, transmisyon doğruluğu eklenmemiş değerdir. İzin verilen frekans bandı içinde kalmak şartı ile her konuşma kanalı için bit oranını azaltmamız gerekir. Bu ise konuşma kodlama ile sağlanır. Yapılan şey konuşma yerine enformasyonun gönderilmesidir. Prosedürlere bir göz atalım;

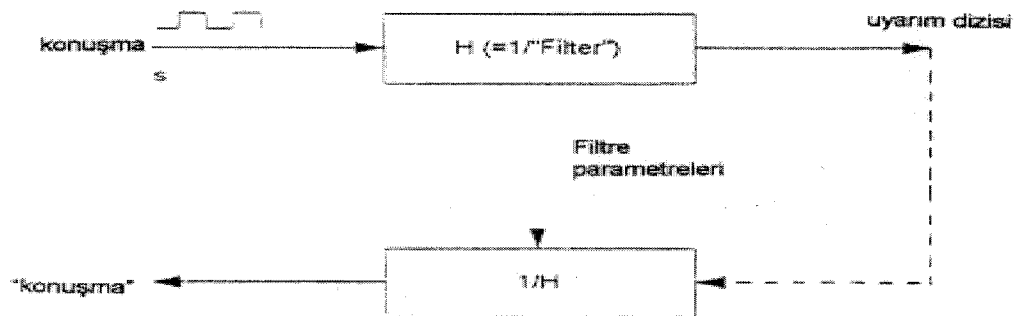
Konuşmanın oluşumunu bildiğimizden (diyaframdan akciğere ve ses tellerinin bulunduğu bölge içine ve dile), konuşmanın tam bir parametrik modelini oluşturabiliriz.



Şekil 4.13 İnsanda konuşma sistemi

Şekle bakıp gerçek yapıdan modele bir geçiş yaparsak şunları görürüz. Uyarıma, tonu olmayan sessiz harflerin üretildiği konuşma organlarına uygun olan darbeleri içerir.

Filtre, hayali şeyleri gerçekleştiren konuşma organlarının parçalarına uyar. Konuşma organlarının adapte oluşu yavaştır ve hatta denilebilir ki yaklaşık 20ms için sabittirler. Çıkış (konuşma) beyaz gürültünün bir dizisi halindedir. Verici tarafta yapmak istediğimiz, konuşmanın ters modelini elde etmektir. Verici tarafta sayısal hale getirilmiş konuşma giriş, uyarıma dizileri ise çıkış durumundadır.



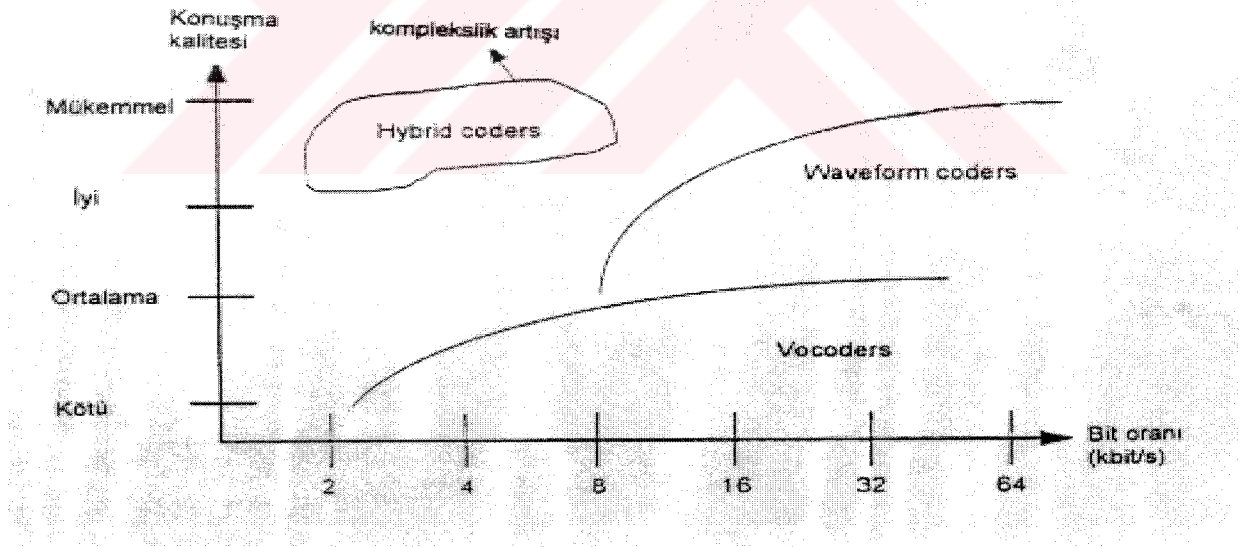
Şekil 4.14 Konuşma transmisyon modeli

Konuşma işareti, konuşmanın oluşturulduğu filtre modeli ile karşılaştırılırsa ters bir karakteristik veren “H” filtresinde filtrelendir. Doğru akordlama ile orijinal uyarıma beyaz gürültü (white noise) olarak tekrar üretilebilir.

Konuşma kodlayıcısı için bir analiz fonksiyonu, “H” için filtre parametrelerini hesaplar, böylece çıkış işareti beyaz gürültüye mümkün olduğunca yakın olacaktır. Konuşma kodlayıcısı aynı zamanda, ses tellerinin frekansının ve tonlu-tonsuz gürültünün takdiri ile uyarımın olasılığının analizini yapar.

Daha sonra filtre parametreleri hava ara yüzü ile gönderilir. Böylece bir “1/H” ters filtre kurulabilir. Aynı zamanda uyarım dizisi hakkındaki enformasyon da gönderilir. Bu uyarım dizisi (excitation sequence) “H” filtresinin çıkışıdır.

Üç tip kodlayıcı mevcuttur. Bunlardan biri dalga şekli kodlayıcısıdır. Buna 64 kbit/s PCM kodlayıcı örnek verilebilir. Diğer vocoder (ses kodlayıcısı) kodlayıcısıdır. Konuşma, üretim yönteminin çok basitleştirilmiş bir modelinin temeli üzerinde çalışır. En sonuncusu ise hibrid kodlayıcısıdır. Bunlar çok yüksek ses kalitesi sağlaması için tasarlanmışlardır.



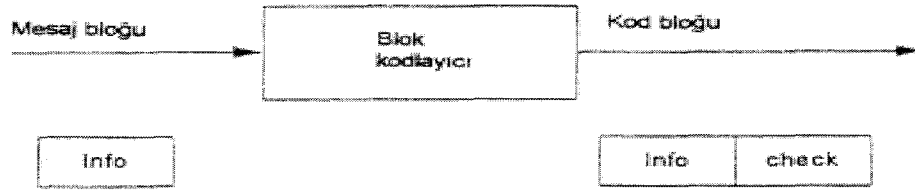
Şekil 4.15 Konuşma kalitesi bit oranı ilişkisi

4.3.3 Kanal kodlama

Sayısal transmisyon ile gönderilen işaretin kalitesi genellikle alınan bitlerin ne kadarının doğru olduğunu ifade eden Bit Hata Oranı (BER - Bit Error Rate) ile kısaca ifade edilir. BER, toplam bitlerin yüzde kaçının yanlış sezildiğini gösterir. Tabii ki biz oranın mümkün olduğunca düşük olmasını isteriz.

Kanal kodlama ile alınan bit dizisi içindeki hataları sezebilir ve düzeltebiliriz. Çünkü bitlerin içinde bazı gereksiz, fazlalık bitler vardır, enformasyon bir kaç bitten daha fazla bitlere yayılır.

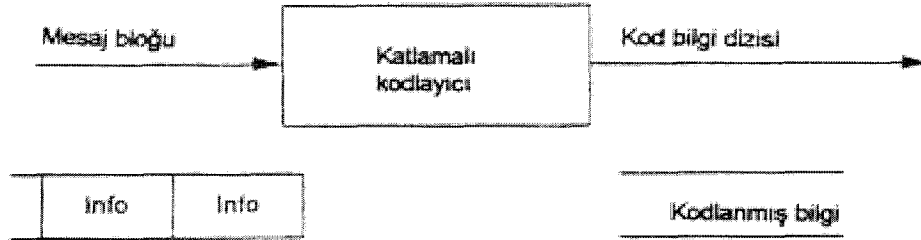
Hata düzelten kodlar (hata kontrol kodları) iki kısımda incelenebilir; blok kodlayıcılar ve katlamalı (konvolüsyonel) kodlayıcılar. Blok kodlayıcılarda bazı kontrol bitleri eklediğimiz belli sayıda enformasyon bitleri vardır. Kontrol bitleri enformasyon bitleri ile ilişkilidir. İlke Şekil38' de gösterilmiştir.



Şekil 4.16 Blok kodlama

Kod bloğundaki (Code block) kontrol bitleri sadece mesaj bloğundaki (Message block) enformasyon bitlerine bağlıdır.

Katlamalı kodlamada, kodlayıcı tarafından üretilen kodlanmış rakam (sayısal) blokları sadece kodlayıcıya taşınmış mesaj bloklarına bağlı değildir, ayrıca daha önceden gelen mesaj bloklarındaki bitlere bağlıdır. Şekil39 prensibi göstermektedir.



Şekil 4.17 Katlamalı kodlama

Katlamalı kodlayıcıya aktarılan her yeni bit için çıkış iki bit olacaktır (1 : 2). Blok kodlar, bloklar olduğunda sıklıkla kullanılır. Genellikle ARQ (Automatic Repeat Request) yerine getirildiğinde hatayı sezmek için kullanılırlar. ARQ, hata sezilince tekrar iletim isteğidir. Katlamalı kodlama hata düzeltmede, ARQ kolaylığı bulunmadığında, daha çok yardımcı olur.

GSM 'de iki metod daha kullanılır. İlk olarak enformasyon bitlerinin bir kısmı + parite

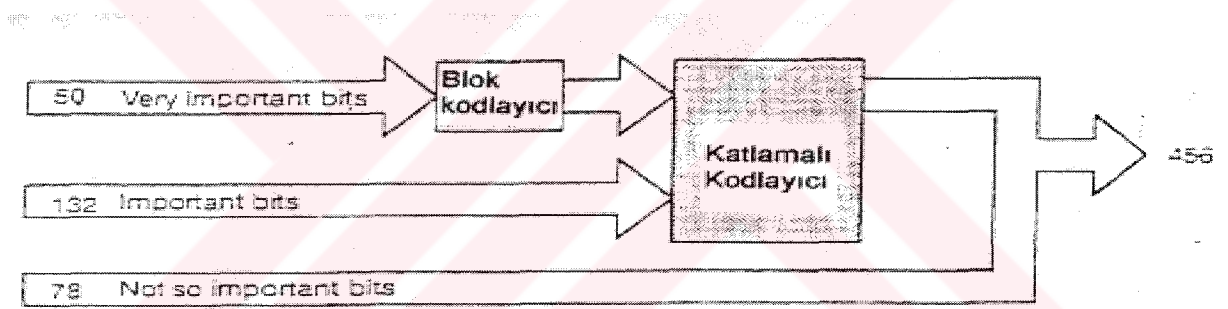
(kontrol) bitlerini oluşturacak şekilde blok kodlanır. Sonra bütün bitler katlamalı kodlanır. Kodlama düzeni biraz farklı olmasına karşın hem konuşmaya hem de veriye bu iki basamak uygulanır. Burada çift yönlü kodlama yapılmasının sebebi, eğer düzeltilebiliyorsa hataların düzeltilmesi (katlamalı kodlama) ve eğer enformasyon kullanılmayacak kadar çok bozulduysa bunun sezilmesidir (Blok kodlama).

Konuşma 20 ms' lik parçalara ayrılır. Bu 20 ms' lik konuşma parçaları sayısal hale getirilir ve konuşma kodlaması yapılır. Her 20 ms' lik konuşma için 260 kbit/s' lik bir oran vardır (Konuşma kodlayıcı tarafından sağlanır). Bunlar şöyle ayrılırlar ;

50 bit → Çok önemli bitler 132 bit → Önemli bitler

78 bit → Çok önemli olmayan bitler

50 bite üç parite biti eklenir (Blok kodlama). Bu 53 bit, 132 önemli bit ve 4 kuyruk biti ile birlikte 378 bite kodlanır (Oran 1:2). Kalan bitler korunmaz. Bu durum, Şekil40' ta gösterilmiştir.

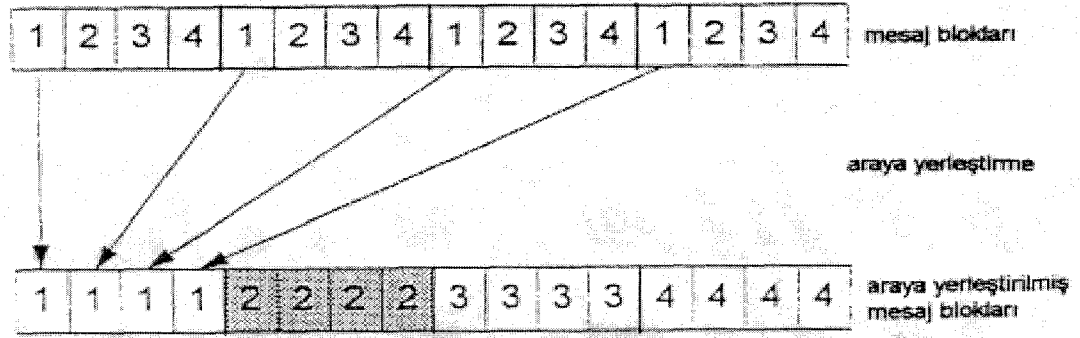


Şekil 4.18 GSM 'de kanal kodlama

4.3.4 Araya yerleştirme (interleaving)

Gerçek hayatta bit hataları burst'lerde (impulse-patlama) ortaya çıkar ve bu da bir çok sonuç bitlerinin uzun zayıflama dip noktalarından (fading dips) etkilenmesi gerçeği ile ilgilidir. Maalesef kanal kodlama çok uzun olmayan burst hatalarının ve basit hataların sezilmesinde ve düzeltilmesinde çok etkilidir. Bu problemle ilgili olarak mesajın sonuç bitlerinin ayrıştırılması yolunu kullanırsak; bunlar, sonuç olmayan bitler olarak gönderilmiş olur. Bu da araya yerleştirme işlemi ile gerçekleştirilir.

Örnek olarak, diyelim ki mesaj bloğu dört bit içeriyor. Biz dört sonuç bloğun ilk bitlerini ve bunları çerçeve (frame) diye adlandırılan dört bitlik yeni bloklara koyalım. 2' den 4' e kadar olan bitlere de aynı işlemi uygulayalım. Daha sonra çerçeveleri, 1 - numaralı bitler, 2 - numaralı bitler v.b. şekilde gönderelim.



Şekil 4.19 Araya yerleştirme

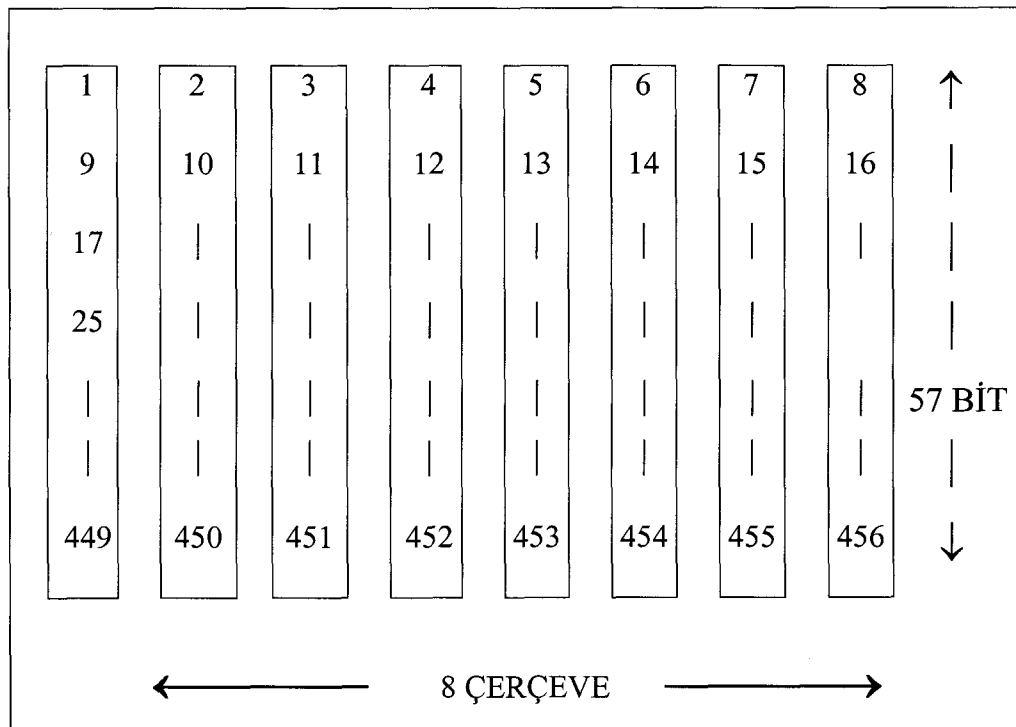
İletim sırasında, 2 no' lu çerçeve, araya yerleştirme (interleaving) işlemi yapılmadan, bütün mesaj bloğu kaybolur. Ancak bu durumda araya yerleştirme işlemi her mesaj bloğun ikinci bitinde hata verir.

Çizelge 4.1 Alınmış, tekrar elde edilmiş mesaj blokları

1	X	3	4	1	X	3	4	1	X	3	4	1	X	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Kanal kodlama ile bütün bloklardaki enformasyon tekrar elde edilebilir. GSM' de kanal kodlayıcı her 20 ms konuşma için 456 bit tedarik eder. Bunlar her biri 57 bitten oluşmuş sekiz blok halinde araya yerleştirme işlemine tabi tutulur.

Çizelge 4.2 Kodlanmış konuşmanın 20 ms araya yerleştirilmesi



4.3.5 İkinci seviye araya yerleştirme

57 bitlik sekiz grup halinde araya yerleştirilmiş 20 ms' lik konuşma (bir konuşma çerçevesi), 456 bit üretir. Çizelge 4.2' a bakınız.

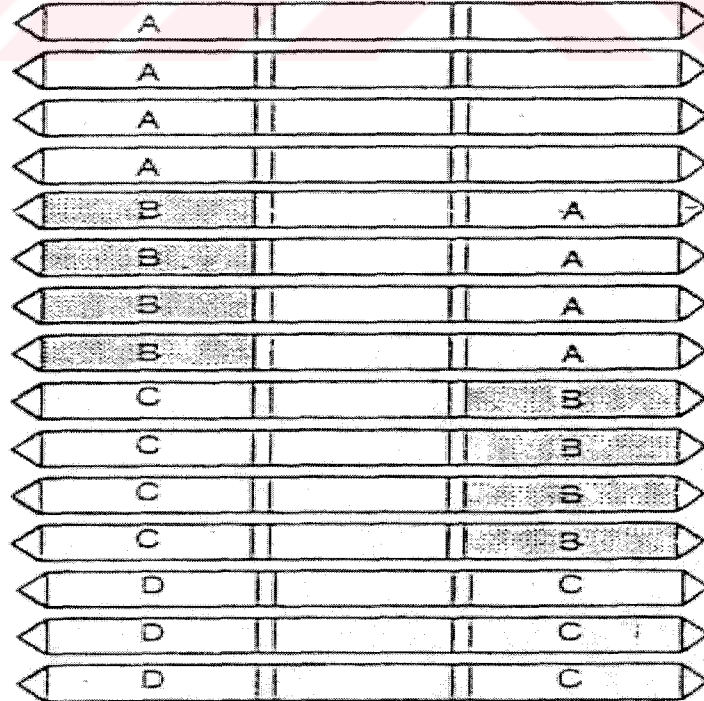
Çizelge 4.3 Konuşma çerçevesi

A	B	C	D
20 ms konuşma 456 bits = 8 x 57	20 ms konuşma 456 bits = 8 x 57	20 ms konuşma 456 bits = 8 x 57	20 ms konuşma 456 bits = 8 x 57



Şekil 4.20 Normal burst

Eğer aynı konuşma çerçevesinden 2x57 bit alırsak ve bunları aynı burst'e sokarsak, bu durumda burst kaybı %25 bit kaybına sebep olur ki bu da kanal kodlama için çok fazladır. Dolayısıyla araya yerleştirmenin başka bir seviyesini iki konuşma çerçevesi arasına eklememiz gerekir.



Şekil 4.21 İkinci seviye araya yerleştirme

Bu durum, sistemde küçük bir geciktirme oluşturur. Kayıp her konuşma çerçevesinin

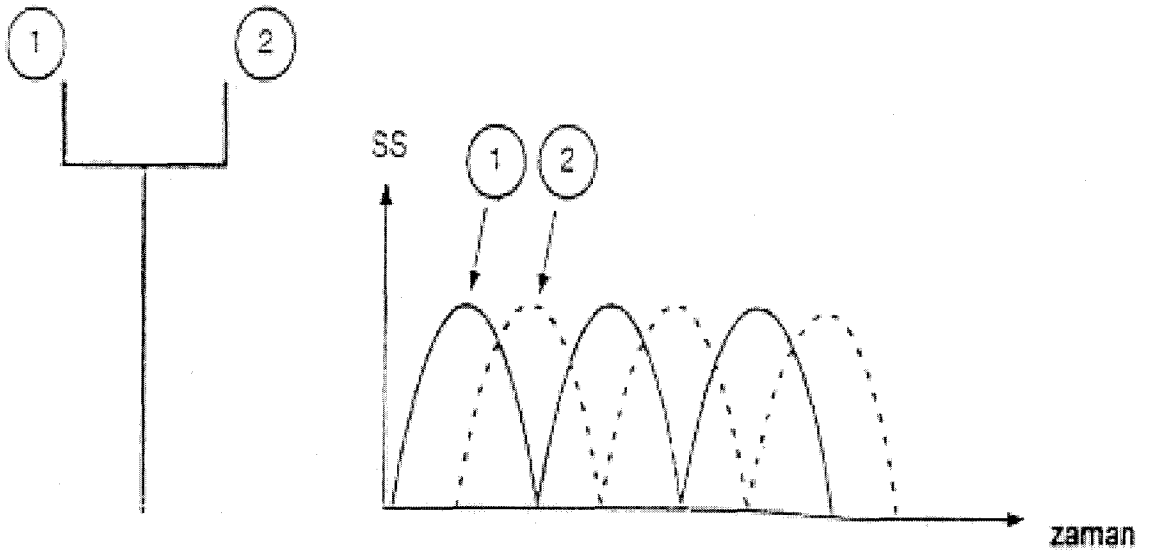
bitlerinin sadece %12,5 kadarını etkilediğine göre, bir bütün burst kaybı göze alınabilir ve kanal kodlama ile düzeltilebilir.

4.3.6 Modülasyon

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

4.3.7 Anten (ya da uzay)farklılığı

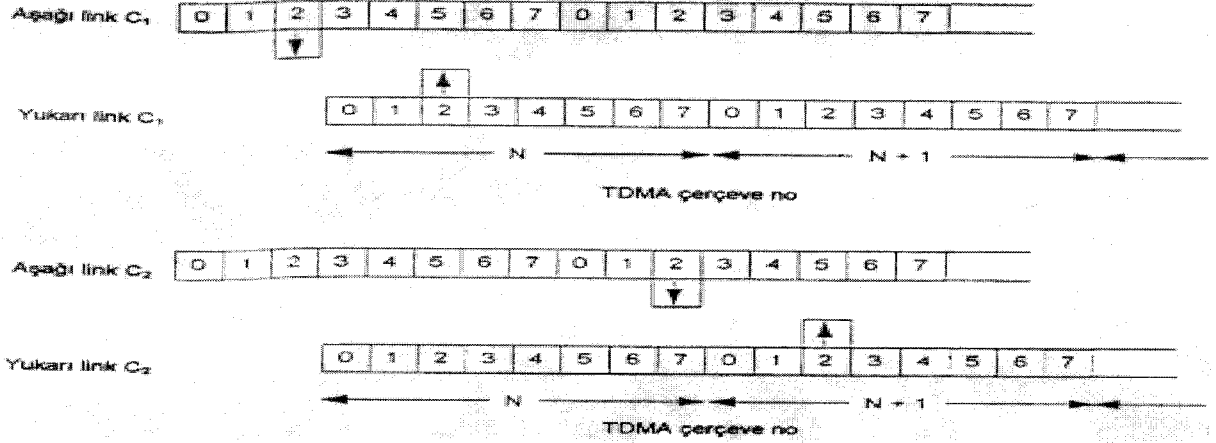
Farklılığı sona erdirmenin bir yolu zayıflamadan bağımsız etkilenen iki kabul kanalı kullanmaktır. İkisinin de aynı anda çok derin bir zayıflama dip noktasından etkilenme riski çok küçüktür. Bu da iki Rx anteninin aynı işareti bağımsız olarak almasının faydalı olacağı demektir, böylece işaret zayıflama zarflarından az etkilenecektir. İki işaretin en iyisini seçmekle zayıflama derecesi azaltılmış olur. Antenler arasındaki mesafe iki antendeki işaret ilişkisi (correlation) ile ilgilidir. İlişki, işaretlerin neye benzediğini gösteren istatistiksel bir terimdir. Pratik olarak bir kaç metredir. 900 MHz' de, antenler arasında 5-6 metre mesafe ile 3 dB kazanç sağlamak mümkündür. 1800 MHz' de ise dalga boyunun düşmesiyle mesafe de kısalacak, böylece daha az mesafe ile aynı kazanç elde edilebilecektir. Şekil45’ te iki ayrı antene ait farklılık görülmektedir.



Şekil 4.22 Anten farklılığı

4.3.8 Frekans atlama(frequency hopping)

Önceden Rayleigh zayıflamasında belirtildiği gibi, zayıflama patern' i frekansa bağımlıdır. Bu da farklı frekanslar için farklı yerlerde zayıflama dip noktalarının oluşması anlamına gelir.



Şekil 4.23 C1 ve C2 frekansları arasında frekans atlama

Basit olarak söyleyebiliriz ki, bu olaydan kazanç sağlamak için, arama süresince belli sayıda frekansın arasında taşıyıcı frekansını değiştiririz ve bunlardan sadece birinde zayıflama dip noktası mevcut ise enformasyonun küçük bir kısmını kaybederiz. Kompleks işaret işleme ile işareti tekrar onarabilir, eski haline getirebiliriz. Aynı arama için, N no' lu TDMA çerçevesi süresince Co, N+1 no' lu TDMA çerçevesi süresince C1 kullanılır ve bu olay çevrim halinde devam eder.

4.3.9 Dengeleyici (equalizer)

Önceden zaman ayarlaması olayında bahsedildiği gibi Rx anteninden çok uzaktaki yansımalar ISI' yı (Ara Simge Girişimi) oluştururlar. İşaretler zamanda yayılırlar ve komşu simgeler birbirleri ile girişirler. Bu ise alıcıda, hangi enformasyonun gönderildiğine karar vermeye çalışmada problemler oluşturur

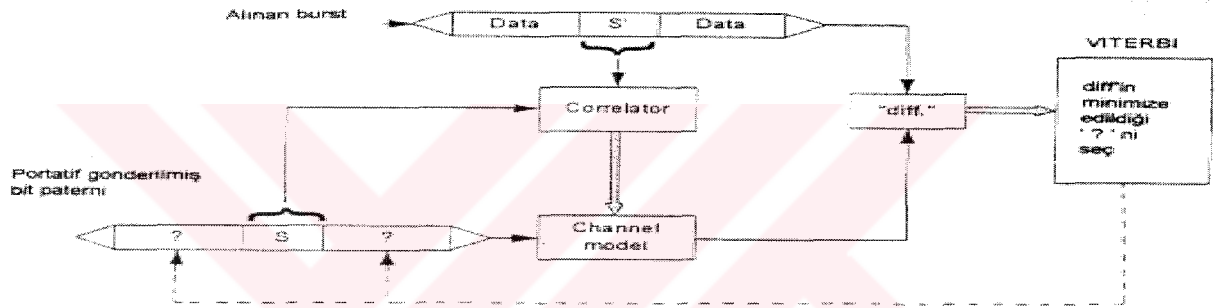
Kanal; kablo, optokablo veya bir mikrodalga hat olabilir. Her çeşit kanal; kendi band genişliği, zayıflaması ve buna benzer özelliklere sahiptir. Optimum bir alıcı, transmisyon için belirli bir kanala uydurulur.

Bu durumda hava ara yüzünün matematiksel bir modelini oluşturmak ve alıcıyı da bu modele ayarlamak istiyoruz. Eğer yansımaların ne kadar uzun ve kuvvetli olduğunu biliyorsak, bunu

alınan burst sezildiğinde hesaba katabiliriz. Bu da transmisyon kanalının (örneğin hava ara yüzü) bir modelini oluşturan dengeleyici ile yapılır ve buna ek olarak en muhtemel gönderilen dizi hesaplanır.

Veri zaman aralıkları içinde yer alan burst'ler de gönderilir. Bilinen bir patern' in burst dizisinin ortasında ve iyi öz ilişki (autocorrelation) ile özellikler yerleştirilir. Bu model bütün zamanları değiştirir fakat bir bit süresince sabit olarak dikkate alınır.

GSM şartnamesi, dört bite kadar (yaklaşık $15\mu s$ ' ye tekabül eder) gecikmiş, yansıyan bir işareti ele alabilen veya direk ve yansımış işaret arasındaki yol farkının yaklaşık 4,5 km olduğu bir işareti ele alabilen bir dengeleyicinin sistemde var olmasını tavsiye eder.



Şekil 4.24 Viterbi dengeleyici

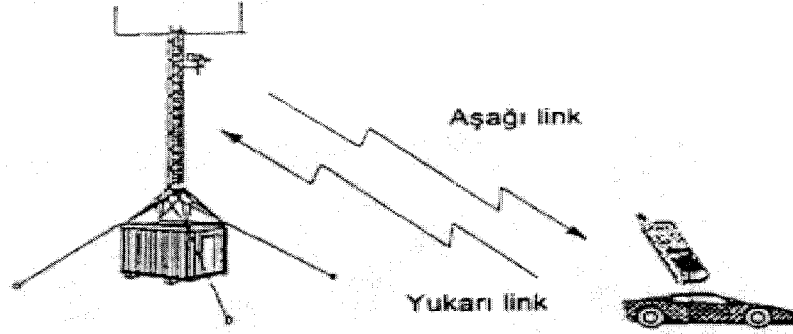
4.4 Sayısal Transmisyon Problemlerinin Örneksele Çözümleri

İletimde ki sorunların çözümünde ilk olarak, konuşma sayısal hale dönüştürülür ve 20 ms' lik parçalara bölünür. Ondan sonra bit oranını azaltmak için konuşma kodlama işlemi ve hata kontrol için kodlama işlemleri yapılır. Araya yerleştirme işlemi küçük bir gecikmeye sebep olur. Şifreleme 1:1 ilişkisi (giriş-çıkış) ile yapılır ve bitler yarım burst'ler halinde şekillenir (Her 20 ms' lik konuşma için). Bunlar daha sonra yaklaşık 270 kbit/s' lik bir orana sahip uygun zaman aralıklarında gönderilir.

Alıcı çalışması ise; burst'ler alınır ve bit dizilerinin takdirinin hesaplandığı dengeleyicide bir kanal modeli oluşturulur. Hepsinden sonra sekiz yarım burst alınır ve deşifre edilir. Bunlar 456 bit mesaj olarak kurulur. Bu dizi üzerinde, iletim süresince hata düzeltme ve sezme işlemi için kod çözme işlemi gerçekleştirir. Kod çözücü, hata düzeltme işleminin daha iyi olması için dengeleyiciden "yumuşak enformasyon (soft information)" kullanır. Yumuşak enformasyon, bitin doğru olduğuna dair bir olasılıktır. Son olarak, bit dizisi konuşma kodlama işlemine tabi tutulur ve analog konuşmaya dönüştürülür.

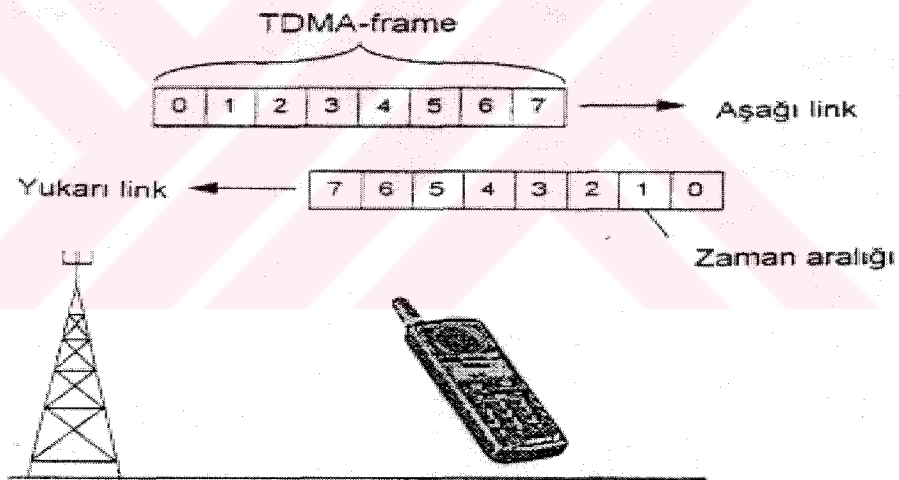
5. SAYISAL RADYO (HAVA) ARAYÜZÜ

Radyo ara yüzü MS ve BTS arasındaki bağlantının genel adıdır. Her taşıyıcı frekans için bir TDMA çerçeve kullanıldığını önceki bölümde belirtmiştik. Her çerçeve sekiz TS (zaman aralığı) içerir. BTS' den MS' ye olan yön aşağı link (down link), MS' den BTS' ye olan yön de yukarı link (up link) olarak tanımlanır.



Şekil 5.1 Bir radyo kanalı üzerindeki yukarı ve aşağı link

5.1 Kanal Kavramı

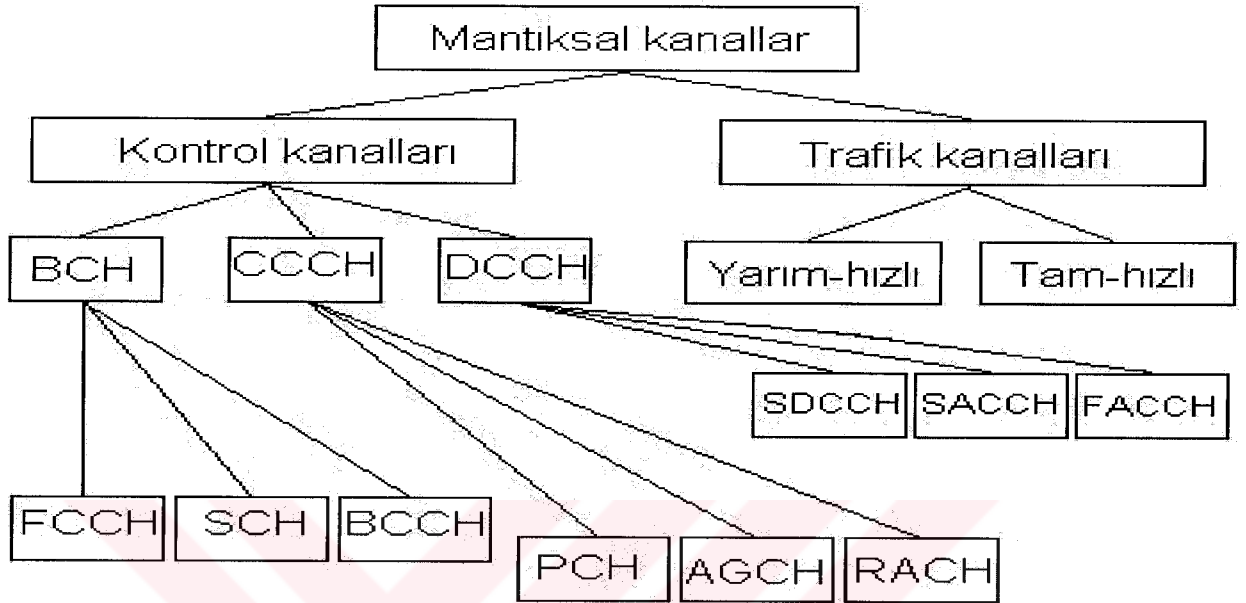


Şekil 5.2 TDMA kanal kavramı

Taşıyıcı üzerindeki TDMA çerçevesindeki bir zaman aralığı, bir fiziksel kanalı ifade eder. Eğer, her kullanıcının belli sayıda frekanstan biri yoluyla bir sisteme bağlandığı FDMA sistemi ile karşılaştırma yaparsak, netice olarak görülür ki, GSM' de her taşıyıcı için sekiz fiziksel kanal mevcuttur (TS 0-7). Bir TS süresince gönderilen bilgiye “burst” adı verilir.

Birçok enformasyon türü (örneğin, kullanıcı veri ve kontrol işaretleri), BTS ve MS arasında gönderilir. Gönderilen enformasyonun türüne bağlı olarak, farklı mantıksal kanallardan bahsetmek mümkündür. Örneğin farklı enformasyon türleri, fiziksel kanallar üzerinde belirli

bir düzen ve dizide gönderilirler. Bu mantıksal kanallar fiziksel kanallar üzerinde planlanır. Mesela; konuşma, “trafik kanalı” olarak adlandırılan (ve belirli belirsiz bir fiziksel kanal olan) mantıksal kanaldan gönderilir. Mantıksal kanallar “kontrol” ve “trafik” kanalları olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil49’ da mantıksal kanalların alt bölümleri görülmektedir.



Şekil 5.3 Mantıksal kanallar

Mobil istasyon ve radyo baz istasyonu arasındaki haberleşmede bu kanalların nasıl kullanıldığına bakalım.

5.1.1 Kontrol kanalları

İlk olarak, MS açıldığında bir radyo baz istasyonunu sezmeye çalışır. Bu, tüm frekans bandını tarayarak veya bu operatör için ayrılmış Yayın Kontrol Kanalı (BCCH - Broadcast Control Channel) taşıyıcısını içeren bir prosedür kullanarak yapılır. MS, en kuvvetli taşıyıcıyı bulduğunda bunun BCCH taşıyıcısı olup olmadığını tespit etmelidir. Bir BCCH taşıyıcısı, kontrol kanallarının taşınmasında kullanılan bir frekanstır.

5.1.1.1 Yayın kanalları, BCH

Frekans Düzeltme Kanalı (FCCH - Frequency Correction Channel):

FCCH' de bir sinüs işareti gönderilir. Amaçlarından biri BCCH taşıyıcısına emin olmak, diğeri de MS' nin frekansa senkron olmasını sağlamaktır. FCCH, aşağı linkten ve tek noktadan çok noktaya gönderilir.

Senkronizasyon Kanalı (SCH - Synchronization Channel):

MS için bundan sonra ki olay, belirli bir hücre içindeki yapıya senkronize olmak ve seçilen

baz istasyonunun. bir GSM baz istasyon olduğuna emin olmaktır. Senkronizasyon kanalını dinleyerek; MS, seçilen baz istasyonun bu hücreindeki TDMA çerçeve yapısındaki bilgiyi alır. Bu bilgi TDMA çerçeve numarasıdır. Ayrıca Temel İstasyon Kimlik Kodu da alınır (BSIC). BSIC, baz istasyon bir GSM şebekeye aitse kod çözme işlemine tabi tutulur. SCH aşağı linkten ve tek noktadan çok noktaya gönderilir.

Yayın Kontrol Kanalı (BCCH - Broadcast Control Channel):

MS' nin, dolaşımı başlatmak için (yani gelen aramalar için beklemek veya arama yapmak) alması gereken son enformasyon, hücre ile ilgili bazı genel enformasyonlardır. Bu, üzerinde MS' nin ölçümleri dikkate alacağı BCCH içinde gönderilir. Bu ölçümler, hücrede izin verilen maksimum çıkış gücü ve komşu hücreler için BCCH taşıyıcısı ölçümleridir. BCCH, aşağı linkten ve tek noktadan çok noktaya gönderilir. Artık MS bir temel istasyona kilitlenmiştir ve hücredeki çerçeve yapısına senkronizedir. Temel istasyonlar birbirine senkron değildir, yani MS hücre değiştirdiğinde, her defasında FCCH, SCH ve BCCH'ın baştan okunması gereklidir.

Ortak Kontrol Kanalları, CCCH

Çağırma Kanalı (PCH - Paging Channel):

Belirli zaman aralıkları içinde; MS, şebekenin kendisi ile bağlantı kurmak isteyip istemediğini görmek için PCH' yi dinleyecektir. Sebep, gelen bir arama veya gelen bir kısa mesaj olabilir. PCH' de gelen enformasyon, MS'in kimlik numarası (IMSI) veya geçici kimlik numarasıdır (TMSI). PCH, aşağı linkten ve tek noktadan tek noktaya gönderilir.

Rasgele Erişimli Kanal (RACH - Random Access Channel):

MS numaraları aldıktan sonra, RACH' den numaraları aldığını bildirir. MS, ayrıca bu kanalı, şebekeye bağlanmak istendiğinde de kullanır. RACH, yukarı linkten ve tek noktadan tek noktaya gönderilir.

Erişim Verme Kanalı (AGCH - Access Grant Channel):

Şebeke bir işaretleşme kanalı belirler (SDCCH). Bu işaretleşme kanalının belirlenmesi olayı AGCH' de gerçekleşir. AGCH, aşağı linkten ve tek noktadan tek noktaya gönderilir.

5.1.1.2 Tahsis edilmiş control kanalları

Tek Başına Tahsis Edilmiş Kontrol Kanalı (SDCCH - Stand Alone Dedicated Control Channel):

MS, belirtilen işaretleşme kanalı olan SDCCH' a anahtarlama yapar. Arama kurulumu prosedürü bu kanal üzerinden yapılır. SDCCH, hem aşağı hem de yukarı linkten ve tek noktadan tek noktaya gönderilir. Arama kurulumu gerçekleştirildiğinde; MS, taşıyıcı ile zaman aralığı tarafından tanımlanan trafik kanalına (TCH) anahtarlanır

Yavaş Birleştirilmiş Kontrol Kanalı (SACCH - Slow Associated Control Channel):

SDCCH'ın belirli zaman aralıklarında ve bir de trafik kanalında, SACCH'daki enformasyon gönderilir. Yukarı linkte MS, kendi temel istasyonu ve komşu temel istasyonlarla ilgili ortalama ölçümleri gönderir. Bu ölçümlerden; kendi temel istasyonu ile ilgili ölçüm işaret gücü ve kalitesi, komşu temel istasyonlarla ilgili ölçüm işaret gücü üzerinedir. SACCH, yukarı ve aşağı iki linkten de ve tek noktadan tek noktaya gönderilir.

Hızlı Birleştirilmiş Kontrol Kanalı (FACCH - Fast Associated Control Channel):

Eğer konuşma anında, aniden bir aktarma (handover) gerektiği takdirde FACCH kullanılır.

5.1.2 Trafik kanalları, TCH

Trafik kanalları “tam-hızlı (full-rate)” ve “yarı-hızlı (half-rate)” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Günümüzde tam-hızlı trafik kanalları kullanılmaktadır. İleride kalitesi tolere edilebilir yarı-hızlı konuşma kodlayıcılar tasarlandığında, yarı-hızlı trafik kanalları da kullanılabilecektir. Bir tam hızlı TCH, bir fiziksel kanalı işgal eder (Bir taşıyıcı üzerindeki bir zaman aralığı).

6. KİMLİK NUMARALARI

GSM şebeke, Anahtarlama Sistemi (SS) ve Temel İstasyon Sisteminden (BSS) oluşan kompleks bir yapıdır. HLR, MSC, VLR, AUC ve EIR'i içeren Anahtarlama Sistemi'nin (SS), hem Temel İstasyon Sistemine (BSS) hem de PSTN/ISDN, veri şebekeleri ve diğer PLMN'ler gibi şebekelere ara yüzleri mevcuttur. Mobil aboneye olan aramayı anahtarlama için doğru adresler gerekir ve bu çok önemlidir. GSM/PLMN şebekede tanımlanan bazı numaralar vardır ki bunlar tanımlama yaparlar.

6.1 Mobil İstasyon Isdn Numaraları (MSISDN - MOBILE STATION ISDN NUMBER)

Farklı şebekeleri tanımak için "numaralandırma planları" kullanılır. PSTN/ISDN'deki bir telefon numarası için E.164 numaralandırma planları kullanılır. MSISDN, PSTN numaralandırma planında bir mobil istasyonu tanımlar. CCITT şartnamesine göre çevrilen mobil telefon numarası;

$$\text{MSISDN} = \text{CC} + \text{NDC} + \text{SN}$$

CC → Ülke Kodu (Country Code), NDC → Ulusal Gidilecek Yer Kodu (National Destination Code), SN → Abone Numarası (Subscriber Number)

6.2 Uluslararası Mobil Abone Kimliği (IMSI - international mobile subscriber identity)

Bir GSM/PLMN şebekedeki aboneyi tanıyan bilgidir. Radyo yolu üzerinde ve GSM/PLMN şebekede doğru bir tanımlama yapmak için her aboneye özel bir kimlik tahsis edilmiştir. Buna IMSI adı verilir ve PLMN'deki bütün işaretleşmelerde kullanılır. SIM'de, HLR'de ve VLR'de yüklü bulunur. Yapısı ise şöyledir:

$\text{IMSI} = \text{MCC} + \text{MNC} + \text{MSIN}$
 MCC → Mobil Ülke Kodu (Mobile Country Code) (3 basamaklı), MNC → Mobil Şebeke Kodu (Mobile Network Code) (2 basamaklı), MSIN → Mobil Abone Tanıma Numarası (Mobile Subscriber Identification Number) (maksimum 10 basamaklı)

6.3 Mobil İstasyon Dolaşım Numarası (MSRN-mobile station roaming number)

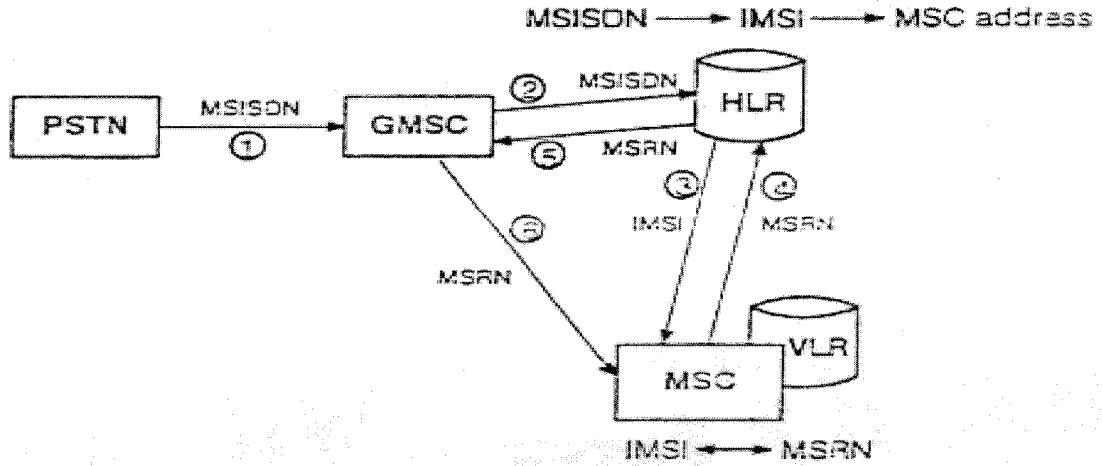
HLR, abonenin hangi MSC/VLR servis bölgesinde olduğunu bilir. Güzergah için kullanılacak geçici numarayı tedarik etmek amacıyla HLR, MSC/VLR'dan aranan aboneye MSRN tedarik etmesini ve bu numarayı geri göndermesini ister. MSRN'nin kabulünde, HLR onu GMSC'ye gönderir. Artık GMSC anahtarlama abonenin olduğu MSC/VLR bölgesine yapacaktır. Yapısı şöyledir:

$$\text{MSRN} = \text{CC} + \text{NDC} + \text{SN}$$

CC → Ülke Kodu (Country Code), NDC → Ulusal Gidilecek Yer Kodu (National Destination

Code), SN → Abone Numarası (Subscriber Number)

Not: Bu durumda SN, servis veren MSC adresidir



Şekil 6.1 MSRN' nin kullanımı

6.4 Geçici mobil abone numarası(TMSI - temporary mobile Subscriber Identity)

IMSI (Uluslararası Mobil Abone Kimliği), GSM kullanıcılarının kalıcı bir numarasıdır. TMSI ise geçici olarak, GSM abone şebekeyi kullanırken ona tahsis edilen ve davetsiz misafirlerin engellenmesi için belirtilen bir kimliktir. Geçici numara mobil abonenin bulunduğu yerin mobil aboneye uygun hale getirilmesi prosedürü esnasında belirtilir ve aboneler şebekede aktif oldukları sürece kullanılır. Mobil istasyon bu geçici numarayı şebekeye rapor verirken veya arama yaparken kullanır. TMSI' nın belirtilmesi, idaresi ve uygun hale getirilmesi VLR tarafından sağlanır.

6.5 Uluslararası Mobil İstasyon Cihaz Kimliği (IMEI - international mobile station equipment identity)

IMEI, cihaz tanımlaması için kullanılır.

$IMEI = TAC + FAC + SNR + sp$

TAC → Tipi Uygun Bulma Kodu (Type Approval Code) (6 basamaklı), FAC → Son Montaj Kodu (Final Assembly Code) (2 basamaklıdır ve üreticiyi belirtir), SNR → Seri Numara (Serial Number) (6 basamaklı), sp → gelecek kullanımlar için yedek (1 basamaklı)

6.6 Yerleşim Bölgesi Kimliği (LAI -location area identity)

LAI, mobil abonelerin yer bildirimi için kullanılır.

$LAI = MCC + MNC + LAC$

MCC → Mobil Ülke Kodu (Mobile Country Code) (3 basamaklıdır ve IMSI'daki 3 basamak

gibi ülkeyi belirtir), MNC → Mobil Şebeke Kodu (Mobile Country Code) (2 basamaklıdır, IMSI' daki MNC ile aynı değeri alır ve o ülkedeki GSM/PLMN şebekeyi belirtir), LAC → Yerleşim Bölgesi Kodu (Location Area Code) (Maksimum uzunluğu 16 bit olan LAC, bir GSM/PLMN şebekedeki yerleşim bölgesini belirtir. Bir GSM/PLMN şebekede 65536 farklı yerleşim bölgesi olabilir)

6.7 Hücre Küresel Kimliği (CGI - cell global identity)

CGI, GSM şebekedeki hücrenin belirtilmesi için kullanılır. Bu LAI' ya CI (Cell Identity) ekleyerek yapılır.

$$CGI = MCC + MNC + LAC + CI$$

CI → Hücre Kimliği (Cell Identity) (Maksimum 16 bit olan bu kimlik yerleşim bölgesindeki hücreyi belirtir)

6.8 Temel İstasyon Kimlik Kodu (BSIC – base station identity code)

BSIC, mobil istasyonun, kendisine komşu olan, farklı temel istasyonları seçmesine imkan tanır.

$$BSIC = NCC + BCC$$

NCC → Şebeke Renk Kodu (Network Colour Code) (3 bittir ve GSM/PLMN' yi belirtir. Dikkat edilmelidir ki, sadece operatörü belirtmez. NCC ilk olarak, sınırın her tarafındaki operatörlerin seçiminde kullanılır)

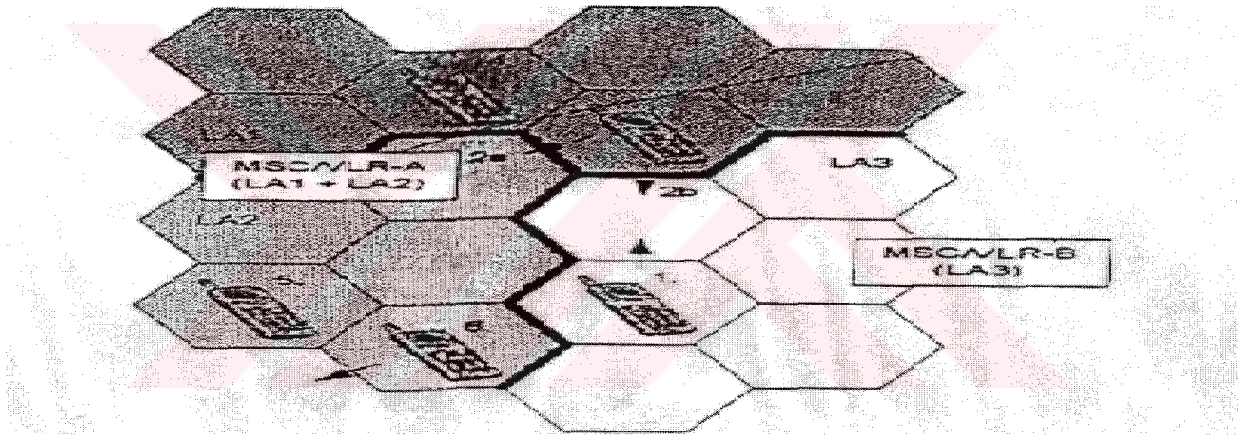
BCC → Temel İstasyon Renk Kodu (Base Station Colour Code) 3 bittir ve aynı yayın kontrol kanalı (BCCH - Broadcast Control Channel) frekansını kullanan BTS' ler arasındaki seçime yardım etmek için temel istasyonu belirtir.

7 . GSM' DE TRAFİK DURUMLARI

Bu bölümde, MS' nin farklı durumlarında trafik konusu ele alınacaktır. Bu durumlar; MS' nin açık bekleme, meşgul olma ve kapalı olma durumlarıdır. Kapalı olma durumunu ele almaya aslında gerek yoktur. Çünkü MS kapalı iken sistem tarafından ulaşılamaz durumdadır. Sistem MS' nin nerede olduğunu saptayamaz. Bu durum MS' nin sistemden ayrılması (MS detached) olarak adlandırılır. MS' nin açık olma hali ise iki durumda incelenir. Bunlar açık bekleme ve meşgul olma durumlarıdır. Şimdi bu durumlarda trafik olaylarını inceleyeceğiz.

7.1 MS Açık Durumda –Trafik Beklemeleri

Dolaşım esnasında mobil en iyi hücrede iletişim kurmak için dinlemededir. Buna da kendi hücresi ve komşu hücreler arasındaki ölçümleri dikkate alarak karar verir. Bu ölçümler BSC tarafından MS' ye bildirilmekte idi. MS, açık bekleme durumunda ulaşılabilecek konumdadır. Yine bu durumda kısa mesajları ve hücre yayını mesajlarını alabilir.



Şekil 7.1 MS açık beklemede iken trafik durumları

Şekildeki rakamlara şu olaylar karşılık gelir ;

- 1a. Aynı LA' da hücre değişimi
- 2a. Normal şekilde yer bildirimi, aynı MSC/VLR (LA1 → LA2)
- 2b. Normal şekilde yer bildirimi, yeni MSC/VLR (LA1 → LA3)
3. IMSI' nın ayrılması
4. IMSI' nın kabulü şeklinde yer bildirimi
5. Periyodik kaydetme şeklinde yer bildirimi
6. Mutlak ayrılma

7.1.1 Dolaşım

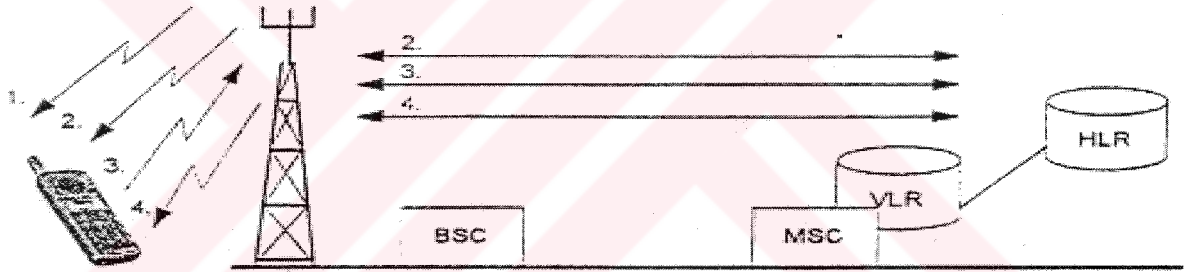
Hücreleri değiştirme ve kaliteli arama nedenlerine bağlı olarak hava ara yüzündeki bağlantılar

için yapılan harekete dolaşım (roaming) adı verilir. Mobilin aynı LA' ya ait hücreler arasındaki yer değiştirmesi (Şekil 51.1. durumdaki gibi) olayından şebeke haberdar edilmez. VLR' de yüklü olan en doğru yerleşim LA' dır. Eğer MS farklı LA' lara ait hücreler arasında konum değişimi yapıyor ise şebeke bundan haberdar edilir. Bu olay “normal şekilde yer bildirimi” prosedürü yoluyla yapılır.

MS farklı LA' lar arasındaki hücre değişimini, dolaşım sırasında BCCH taşıyıcısını (yayın kontrol bilgisinin gönderildiği frekans) dinlerken öğrenir. Diğerlerinin arasında LAI da gönderilir. MS en son aldığı ve kendinde bulunan LAI bilgilerini almakta olduğu LAI ile karşılaştırır. Eğer aynı iseler herhangi bir aksiyon gerçekleşmez, eğer farklı iseler normal şekilde yer bildirimi olayı gerçekleşir.

7.1.2 Normal şekilde yer bildirimi

Mobil sadece LA' ların değişimini dikkate alacaktır. Mobil, yer bildirim mesajını gönderdiğinde, MSC/VLR, MS' nin bilinip bilinmediğini, kayıtlı olup olmadığını veya yeni bir ziyaretçi olup olmadığını fark eder.



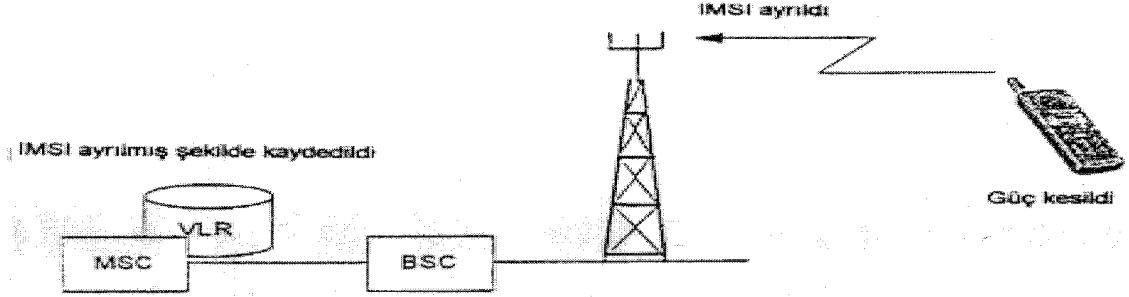
Şekil 7.2 Normal şekilde yer bildirimi

1. MS, LAI' yı tespit etmek için yeni hücrede BCCH' ı dinler. Yeni LAI eskisi ile karşılaştırılır. Farklı iseler yer bildirimi prosedürü uygulanır.
2. MS, SDCCH yoluyla GSM/PLMN ile bağlantı kurar, doğrulama prosedürü gerçekleşir (MS, MSC/VLR' da bilinmiyorsa HLR ile).
3. MS, doğrulama başarıyla gerçekleşince sisteme yer bildirimi talebi yapar. Eğer yeni LA, yeni bir MSC/VLR' ye aitse bu HLR' ye bildirilir.
4. Yer bildirimi sistem tarafından kabul edilir ve BTS ile MS' den işaretleşme kanalının açılması istenir.

7.1.3 IMSI 'ın ayrılması

IMSI'nın ayrılması prosedürü, telefonun abone tarafından kapatılacağına MS yoluyla şebekeye bildirilmesini sağlar. Bundan sonra aramalar MS' ye ulaşamayacağından, MS sistem tarafından algılanmaya çalışılmaz. Güç kesiliminde MS' nin gönderdiği son mesaj budur.

Şekil53' deki gibi HLR bu olaydan bilgilendirilmez, sadece VLR bilgilendirilir.



Şekil 7.3 IMSI' nin ayrılması

7.1.4 IMSI' nin Kabul şeklinde yer bildirimi

IMSI' nin kabulü prosedürü sadece ayrılma mesajının gönderildiği LA' da MS açılırsa gerçekleşir. Aksi takdirde Şekil52' de gösterildiği gibi normal şekilde yer bildirimi prosedürü gerçekleştirilir.

7.1.5 Periyodik kaydetme şeklinde yer bildirimi

Eğer MS sisteme bir IMSI' nin ayrılması mesajını gönderirse ve radyo link kalitesi çok kötü ise sistem bu enformasyonun kodunu çözemeyebilir. Zaten MS' ye herhangi bir kabul gönderilmediğinden (IMSI' nin ayrılması mesajının kabulü) sistem MS' yi ayrılmış kabul etmeyebilir. Dolayısıyla MS, her 30 saniyede bir kaydetme işlemine mecbur bırakılır. Buna “periyodik kaydetme” denir.

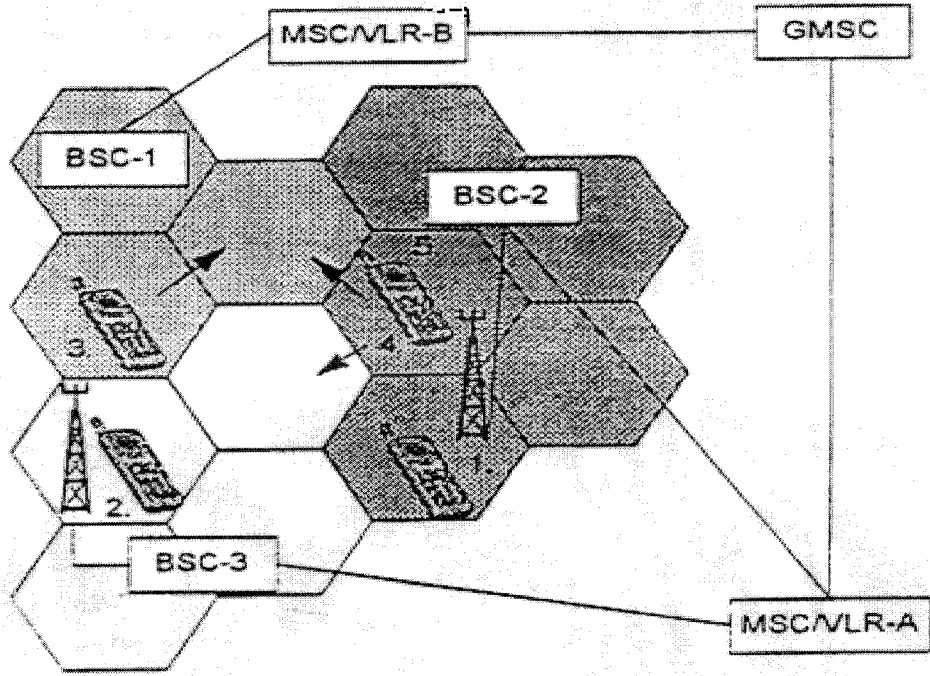
7.1.6 Mutlak ayrılma

Eğer MS kapsam alanı dışında iken kapatılırsa sistem ayrılma mesajını algılayamaz. Bu durum Şekil51' deki 6.durumda gösterilmiştir. Sistem, periyodik kaydetme için beklediğinden ve belirli bir zaman içinde bunu alamadığından MS VLR' de “ayrılmış” sayılır (Ayrılmış VLR' ye bildirildiği hatırlanacaktır). Bu durum “mutlak ayrılma” olarak bilinir.

7.2 MS Meşgul İken Trafik Durumları

MS, bir çağrı olduğunda (konuşma, faks veya veri) veya arama kurulumu prosedürü esnasında meşgul olarak dikkate alınır. Bu durumda eğer hücre değişimi gereği mevcut ise, MS buna kendisi karar vermez. Burada BSC, BTS ve MS' den tedarik edilen ölçümlere dayanarak hücre değişimine karar verir. Bu karar MS' den bağımsız olarak yerine getirilir.

MS meşgul durumda iken, aynı zamanda kısa mesajları alabilir ancak hücre yayınlarını alamaz. Şekil54' de MS' nin meşgul olduğu ve meşgul hale getirildiği durumlar görülmektedir.



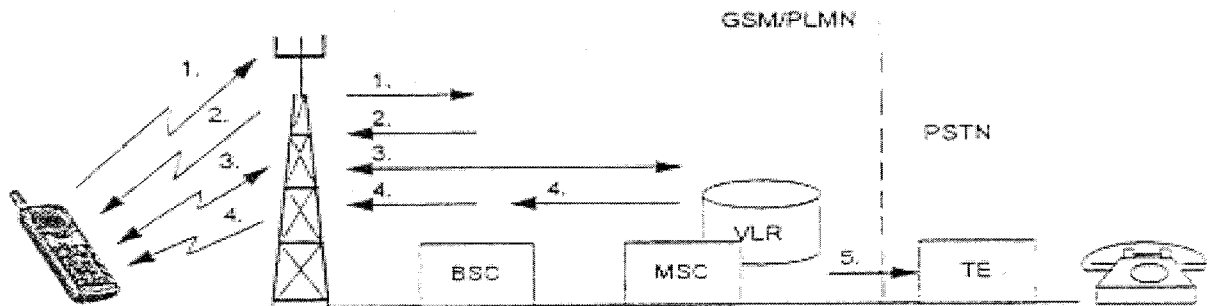
Şekil 7.4 MS' nin meşgul olduğu ve meşgul hale getirildiği durumlar

- 1.MS' den arama (konuşma, faks, veri, kısa mesaj)
- 2.MS' yi arama (konuşma, faks, veri, kısa mesaj, hücre yayını)
- 3.BSC içinde aktarma
- 4.BSC' ler arasında, MSC içinde aktarma
- 5.MSC' ler arası aktarma

7.2.1 MS' den ekranlama

Bu bölümde mobil abonenin ses araması (voice call) yapması durumu incelenecektir. Veri ve kısa mesaj aramaları ayrı olarak incelenecektir. Çünkü şebekede başka elemanlar da devreye girmektedir.

Ses araması kurulumunda kullanılan işaretleşmeden MS' nin PSTN' yi arama durumu Şekil55' te görülmektedir.



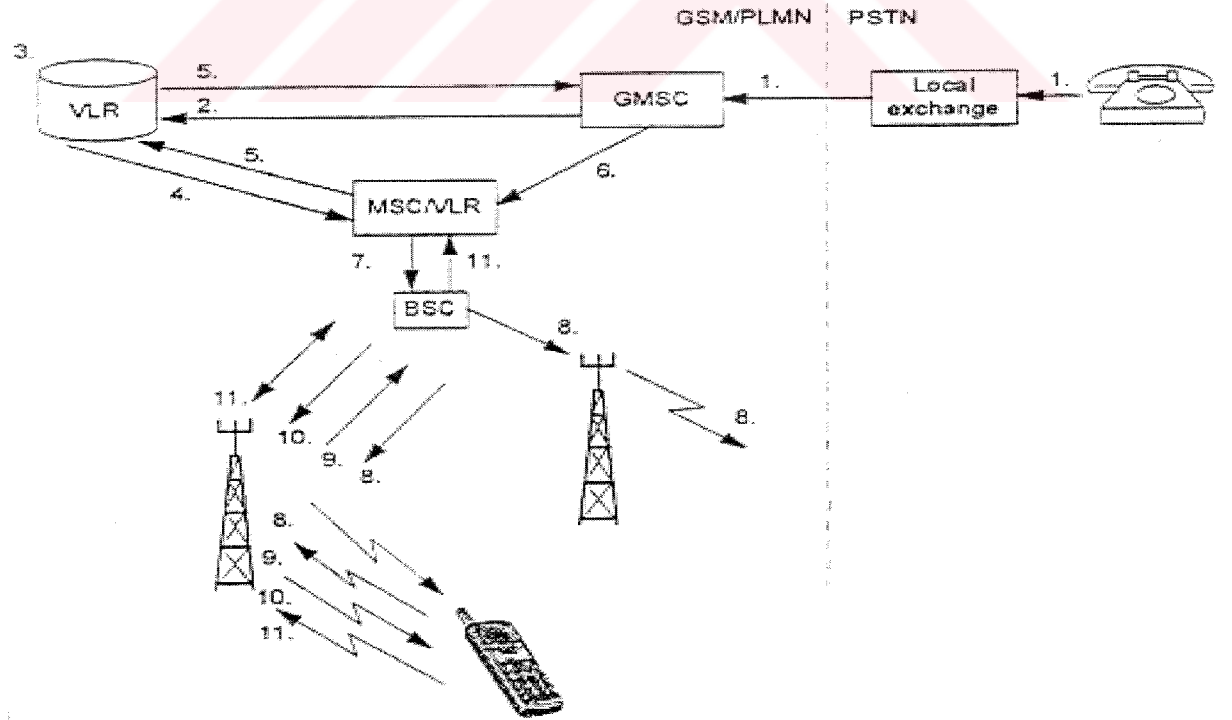
Şekil 7.5 MS' nin PSTN' ye arama kurulumu

1. MS bir işaretleşme kanalı sorar. Bu kanal SDCCH' dir ve bunu sorarken RACH' yi kullanır.
 2. BSC, AGCH' yi kullanarak bir işaretleşme kanalı tahsis eder.
 3. MS, MSC/VLR' ye SDCCH yolu ile arama kurulumu isteğini gönderir. SDCCH üzerinde bazı işaretleşmeler olur, bu işaretleşmeler şöyledir; MS, MSC/VLR' de meşgul konumuna getirilir, doğrulama prosedürü gerçekleşir ve aranılan abonenin numarasını (bu durumda bir PSTN numarası) gönderir.
 4. MSC/VLR, BSC' ye boş bir TCH tahsis edilmesi durumunu sorar. Sonra bu istek TCH' yı aktif etmesi için BTS ve MS' ye yönlendirilir.
 5. MSC/VLR, aranılan abonenin numarasını PSTN' de aboneye bağlantı kurması için anahtarlama merkezine gönderir (exchange).
- Aranılan numara cevap verir (arzu edilen budur) ve arama kurulmuş olur.

7.2.2 - MS' yi arama

Bir mobil abone ile PSTN' deki abonenin aranması arasındaki en büyük fark mobil abone yerinin bilinmemesi, dolayısıyla ulaşılamamasıdır. Bu yüzden arama bağlantısının kurulması için önce MS tespit edilmelidir.

Şimdi de bir PSTN abonesinin mobil aboneye yapacağı arama kurulumunu ele alalım.



Şekil 7.6 PSTN' den MS' yi arama

1.PSTN abonesi MSISDN' yi anahtarlar. MSISDN' nin herhangi bir GSM şebekeye ait bir numara olup olmadığının anlaşılması için MSISDN, PSTN' de analiz edilir. GMSC ile bağlantı kurulur.

2.GMSC, MSISDN' yi MS' nin hangi HLR' de kayıtlı olduğunu anlamak için analiz eder. Yine GMSC, HLR' den aramaya uygun MSC/VLR' ye yönlendirmek için bilgi ister.

3.HLR, MSISDN' yi IMSI' ya dönüştürür ve böylelikle MS' nin hangi MSC/VLR bölgesinde olduğunu tespit edebilir. HLR aynı zamanda abonenin aktif olduğu servisler hakkında bilgiye de sahiptir. (örneğin, herhangi bir numaraya yönlendirilmiş olma gibi)

4.HLR, MSC/VLR' den, adresini içeren bir MSRN talep eder.

5.MSRN, MSC/VLR' den HLR yoluyla GMSC' ye gider.

6.GMSC, aramayı direkt olarak veya PSTN yoluyla MSC/VLR' ye gönderir.

7.MSC/VLR, MS' nin hangi LA' da olduğunu bilir. LA' nın içindeki bütün BSC' lere çağrı mesajı gönderir.

8.BSC' ler çağrı mesajını istenilen LA' daki BTS' lere dağıtır. BTS' ler mesajı hava ara yüzünden PCH' yi kullanarak gönderirler. MS' yi yakalamak için IMSI veya TMSI kullanılır.

9.MS çağrı mesajını algılayınca, SDCCH için talepte bulunur.

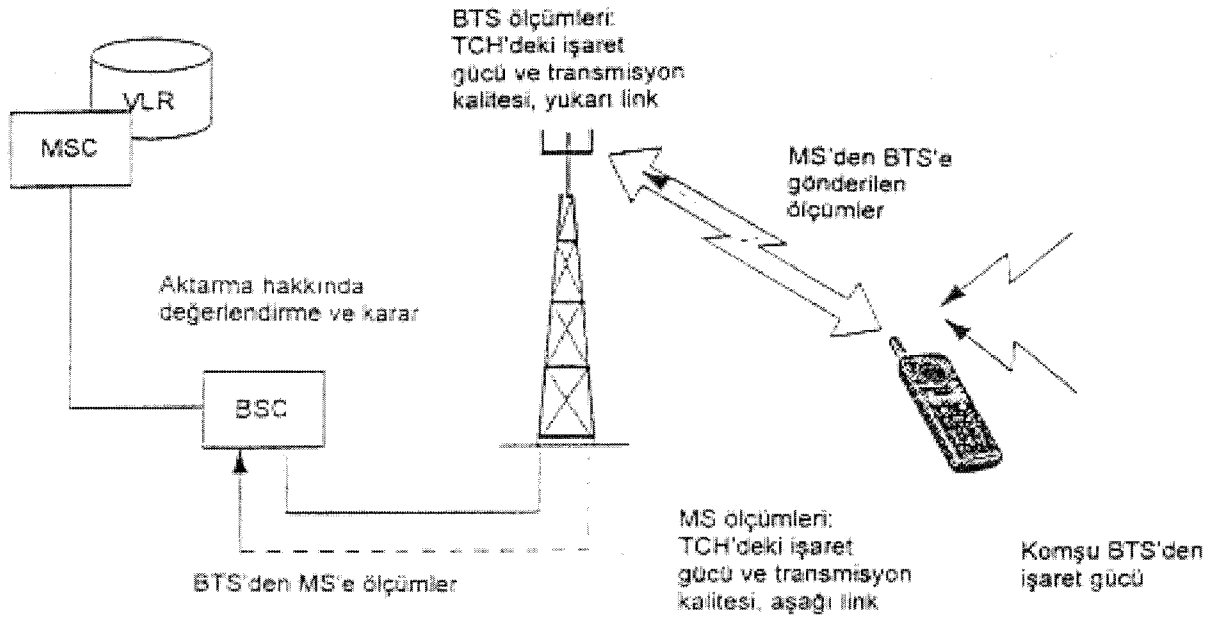
10.BSC, AGCH' yi kullanarak SDCCH tedarik eder.

11.SDCCH, MS' den aramada olduğu gibi arama kurulumu prosedüründe kullanılır ve TCH tahsis edilir. SDCCH serbest bırakılır.

Mobil telefon çalar ve abone cevap verdiği zaman bağlantı tamamlanmış, arama yolu kurulmuş olur.

7.2.3 Aktarma

Aktarma olayından kısaca 3.7 numaralı başlık altında bahsetmiştik. MS ve BTS' den yapılan ölçümler BSC' de işleme tabi tutulur. 4.Bölümde de MS' nin devamlı olarak kendi hücreindeki işaret gücü ve kalitesi (BER - Bit Error Rate, Bit Hata Oranı) ve komşu hücrelerdeki BCCH taşıyıcının işaret gücünün ölçüldüğünü söylemiştik. Ölçüm sonuçları ise SACCH yoluyla her 480 ms' de bir BTS' ye gönderilir.

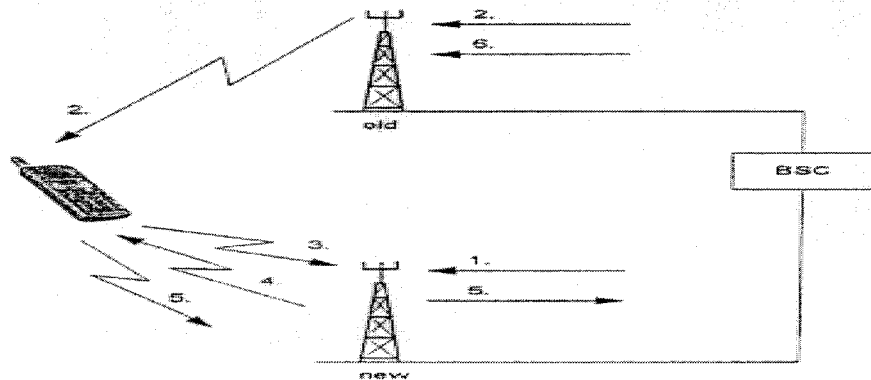


Şekil 7.7 BSC'ye gönderilen ölçümler

Şekil 57' de görüldüğü üzere, BTS yukarı linkteki işaret gücü ve kalitesini ölçer. BTS' den ve MS' den gelen ölçümler ölçüm raporları halinde BSC' ye gönderilir. Buna dayanarak BSC, aktarma gerekip gerekmediğine, eğer gerekiyorsa hangi hücreye aktarılacağına karar verir. Eğer komşu hücrelerden biri o anda ki hücreden daha iyi olarak değerlendirilirse aktarma yapılır. MS hücre değiştirdiğinde BTS; MS' ye, ölçümlerin periyodik olarak yeni hücrede devamı için yeni komşu BCCH taşıyıcılarını bildirir.

7.2.3.1 Aynı BSC' de aktarma

Bu durum Şekil 54' deki 3.durumdur. Aynı BSC tarafından kontrol edilen iki hücre arasında aktarma gerçekleştirilirken MSC/VLR bu olaya karıştırılmaz. Aktarma olayı gerçekleştirildikten sonra MSC/VLR bundan haberdar edilir.



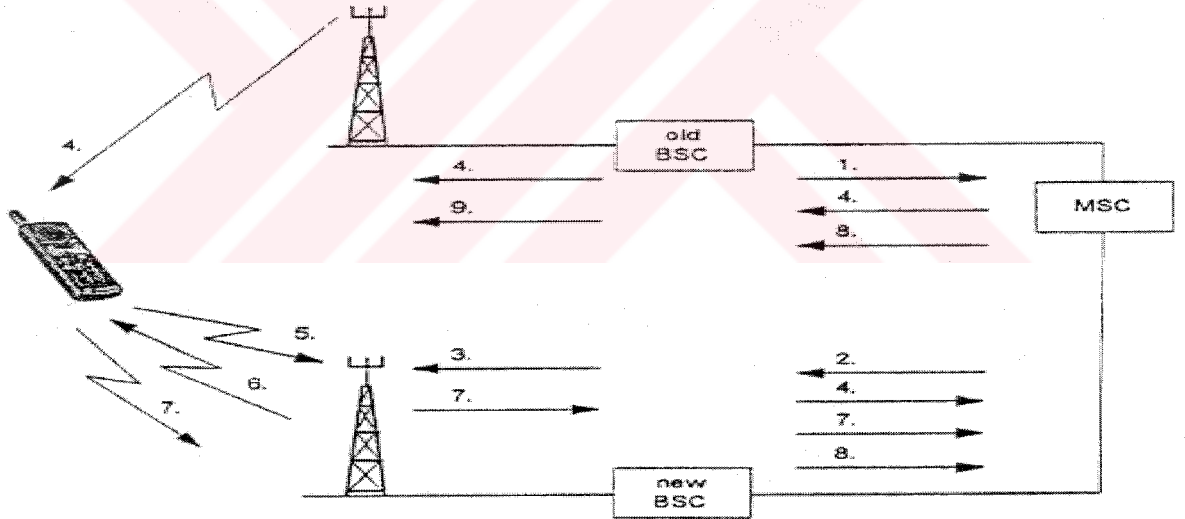
Şekil 7.8 Aynı BSC'de aktarma

BTS ve MS' den alınan ölçümlere dayanarak BSC önce aktarmanın yapılacağını, sonra hangi hücreye yapılacağına karar verir.

- 1.BSC yeni BTS' den bir TCH' yi aktif hale getirmesini ister.
- 2.BSC BTS yoluyla, frekans ve değişecek zaman aralığı hakkında bilgi içeren mesajı MS' ye gönderir. Bu enformasyon FACCH' den gönderilir.
- 3.MS kendini yeni frekansa ayarlar ve aktarma erişim burst'lerini doğru zaman aralığında gönderir. Burst'ler (8 bit-çok kısa) FACCH' den gönderilir.
- 4.Yeni BTS, aktarma burst'lerini algıladığında, kullanılacak çıkış gücü bilgisini de gönderir. Bu da FACCH' den gönderilir.
- 5.MS, BTS yoluyla BSC' ye aktarmanın tamamlandığını bildirir.
- 6.BSC eski BTS' ye, eski TCH' yi bırakması emrini verir.

7.2.3.2 - Aynı MSC/VLR servis alanında, farklı BSC' lerde aktarma

Bu durum Şekil54' deki 4.durumdur. Aktarma olayında başka bir BSC de söz konusu ise bu iki BSC arasında bağlantının yapılması için MSC/VLR da olaya dahil olur.



Şekil 7.9 Aynı MSC/VLR' de fakat farklı BSC' lerde aktarma

- 1.Eski BSC, MSC' ye hedef hücrenin kimliği ile birlikte bir aktarma yapılmak istenildiği mesajını gönderir.
- 2.MSC, hangi BSC' nin bu BTS' yi kontrol ettiğini bilir ve aktarma isteği mesajını bu BSC' ye gönderir.
- 3.Yeni BSC, hedef BTS' den bir TCH aktif etmesini ister.
- 4.Yeni BSC, MSC yoluyla MS' ye frekans ve zaman aralığı bilgisini içeren mesajı gönderir.
- 5.MS, yeni frekansı seçer ve aktarma erişim burst'lerini doğru zaman aralığında gönderir.

6.BTS aktarma burst'lerini algılayınca, gerekli çıkış gücü bilgisini yollar.

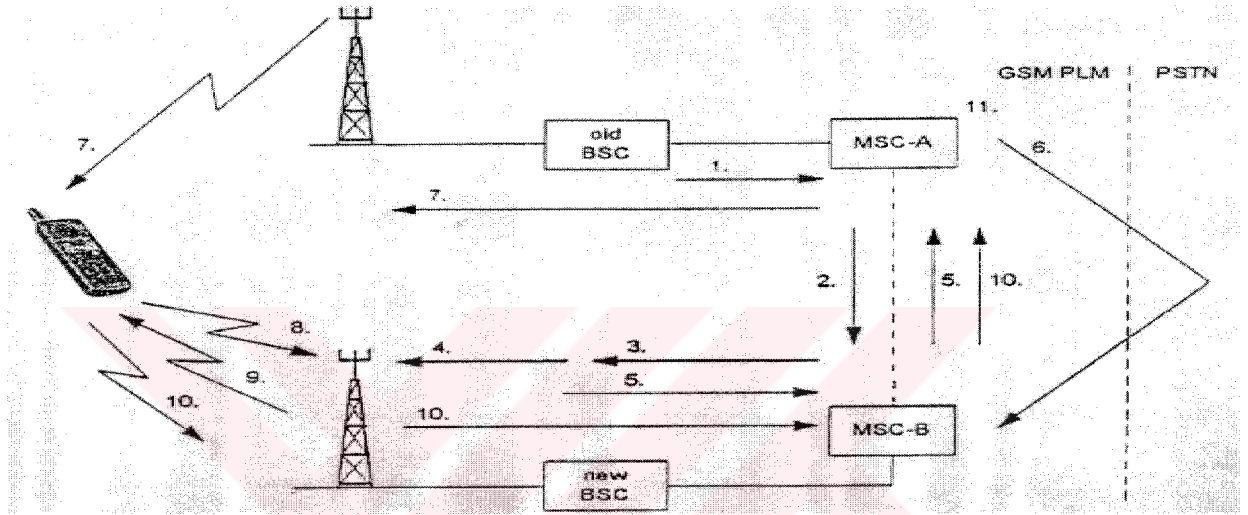
7.MS, yeni BSC ve MSC yoluyla eski BSC' ye aktarmanın tamamlandığı mesajını gönderir.

8.Yeni BSC, MSC yoluyla eski BSC' den eski TCH' yi bırakmasını ister.

9.Eski BSC, eski BTS' ye önceden kullandığı TCH' yi bırakmasını emreder.

7.2.3.3 Farklı MSC/VLR servis alanında aktarma

Bu durum Şekil54'deki 5.durumdur. Farklı MSC/VLR' ler tarafından kontrol edilen hücreler arasında aktarma sadece ülke içinde ve bir PLMN' de gerçekleştirilebilir. Farklı MSC/VLR' ler tarafından kontrol edilen hücreler aynı zamanda farklı BSC' ler tarafından kontrol edilir.



Şekil 7.10 Farklı MSC' lerde aktarma

1.Eski BSC, o an hizmette olan MSC' ye (MSC-A) hedef hücrenin kimliği ile birlikte aktarma isteği mesajı gönderir.

2.MSC-A bu hücrenin başka bir MSC' ye (MSC-B) ait olduğunun farkına varır ve yardım talep eder.

3.MSC-B aramayı tekrar yönlendirmek için bir aktarma numarası tahsis eder. Sonra yine BSC' ye bir aktarma isteği gönderilir.

4.Yeni BCS hedef BTS' den bir TCH aktif etmesini ister.

5.MSC-B bilgiyi alır ve aktarma numarasıyla birlikte MSC-A' ya gönderir.

6.Muhtemelen PSTN yoluyla olmak üzere MSC-B' ye bir link kurulur.

7.MSC-A, MS' ye hangi frekans ve zaman aralığının kullanılacağı enformasyonunu içeren bir aktarma komutu gönderir. Bu enformasyon FACCH üzerinden gönderilir.

8.MS yeni frekans seçer ve aktarma erişim burst'leri doğru zaman aralığında gönderir. Aktarma burst'leri FACCH' de gönderilir.

9.Yeni BTS aktarma burst'lerini algıladığında kullanılacak çıkış gücü bilgisini gönderir. Bu da FACCH' de gönderilir.

10.MS, yeni BSC ve MSC/VLR yoluyla eski BSC' ye aktarmanın tamamlandığı mesajını gönderir.

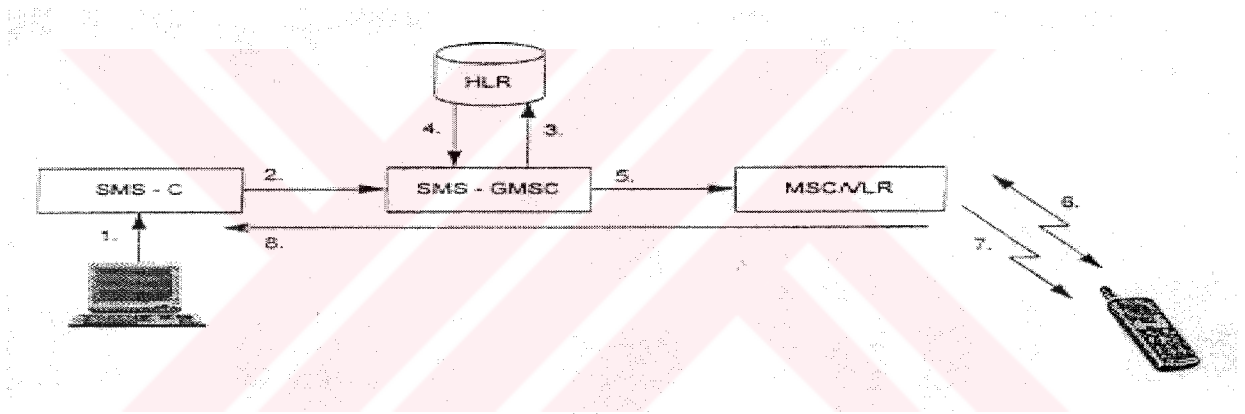
7.3 Noktadan Noktaya Kısa Mesaj Servisi

Kısa mesaj servisi, 160 alfanümerik karaktere kadar metin halinde mesaj gönderme hizmetidir. Kısa Mesaj Servisi (SMS-Short Message Service) iki temel hizmeti ihtiva eder.

- Mobil sonlandırmalı SMS (bir SMS-C' den bir MS' ye)
- Mobil çıkışlı SMS (bir MS' den bir SMS-C' ye)

Bizim inceleyeceğimiz durumlar MS' nin pozisyonunda olduğu durumlardır. Eğer MS meşgul ise kısa mesaj SACCH' den gönderilir.

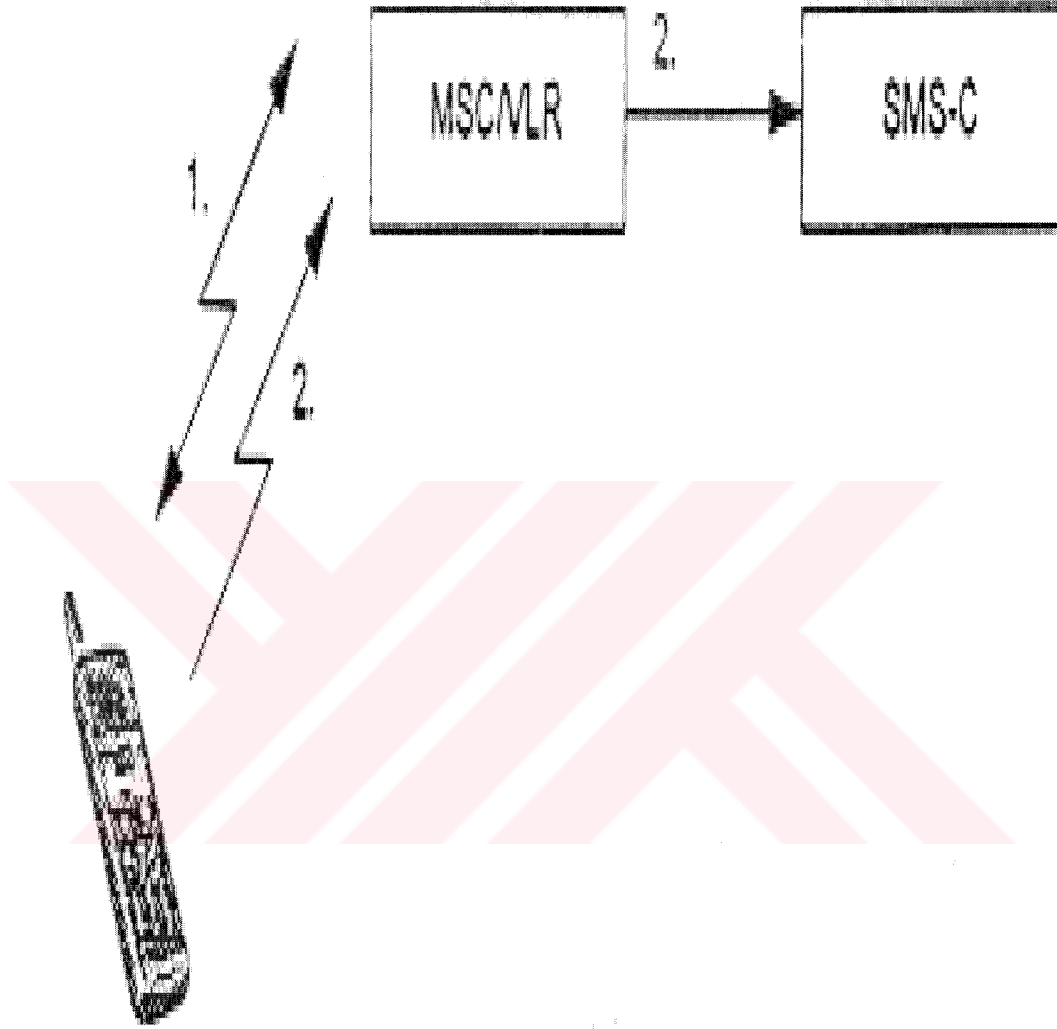
7.3.1 Mobil sonlandırmalı SMS



Şekil 7.11 Mobil sonlandırmalı kısa mesaj

- 1.Bir kullanıcı bir SMS-C' ye mesaj gönderir.
- 2.SMS-C mesajı SMS-GMSC' ye gönderir.
- 3.SMS-GMSC enformasyonun ulaşması gereken MS' ye yönlendirilmesi için HLR' yi sorgular.
- 4.HLR enformasyonun gideceği MSC/VLR' nin adresini verir.
- 5.SMS-GMSC mesajı MSC/VLR' ye yollar.
- 6.MS' ye çağrı yapılır, MS ile şebeke arasında bağlantı kurulur.
- 7.Eğer doğrulama prosedürü başarılı olursa MSC/VLR mesajı MS' ye gönderir. Kısa mesajlar SDCCH' den gönderilir.
- 8.Gönderme başarılı tamamlanırsa MSC/VLR' den SMS-C' ye bir rapor gönderilir. Eğer gönderme başarı ile tamamlanamaz ise HLR, MSC/VLR tarafından haberdar edilir ve SMS-C' ye başarısızlık raporu gönderilir.

7.3.2 Mobil çıkışlı SMS



Şekil 7.12 Mobil çıkışlı kısa mesaj

- 1.MS normal arama kurulumunda olduğu gibi şebeke ile bağlantı kurar.
- 2.Doğrulama prosedürü başarılı gerçekleşirse MS kısa mesajı MSC/VLR yoluyla SMS-C' ye gönderir. SMS-C mesajı gideceği yere yönlendirir.

8. GSM' İN GELİŞİMİ

8.1 GSM Faz 1 Hizmetleri

GSM Faz 1, en önemli hizmetler olan telefonculuk, acil aramalar ve hızı 9,6 kbit/sn kadar olan, açık veya açık olmayan veri taşıma hizmetlerini destekler. Ayrıca SMS' i ve hücre yayını da destekler. Tam güvenlik ve dolaşım imkanlarını sağlar. Bütünleyici hizmetler ise arama yönlendirme ve arama kısıtlama ile sınırlandırılmıştır.

Aşağıdaki çizelgede her GSM Faz' ı için önemli olan özellikler liste şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 8.1 GSM Fazlarının önemli özellikleri

<u>Faz 1</u>	
Telefonculuk	Kopyalamayı da içeren veri hizmetleri
Acil aramalar	Arama kısıtlama
SMS	Arama yönlendirme
<u>Faz 2</u>	
Yarım-hız ve EFR konuşma kodları	Çoklu konferans
Hat-kimliği hizmeti	Kapalı kullanıcı grubu
Arama tutma ve arama bekletme	Ücretlendirme bilgisi
<u>96' Serbestisi</u>	
14,4 kbit/sn veri hızı	Çevrilen numara gösterimi hizmeti
Yüksek hızlı devre bağlaşmalı veri	Açık arama transferi
İşaretleşme kanalında veri paketi	Artırılmış çoklu düzeyde öncelikli olma ve etkisizleştirme (eMLPP)
CAMEL Faz 1	Sesli yayın hizmeti
Optimal yönlendirmenin desteklenmesi	Sesli arama grubu hizmeti
Şebeke kimliği ve zaman bölgesi	Mobil cihazların kişiselleştirilmesi
MMI arama kurulumunun da desteklenmesi	Genişletilmiş SMS alfabesi
Çevrilen numara gösteriminin kısıt	
<u>97' Serbestisi</u>	
Genel Amaçlı Radyo Paket Hizmeti (GPRS)	Dolandırıcılık bilgilerinin toplanması sistemi
CAMEL Faz 2	Meşguliyet durumunda geri arama (CCBS)
Arayanın isminin sunumu	Özel numaralandırma planı desteklenmesi
<u>98' Serbestisi</u>	

Çoklu abone profili	Kullanıcıdan kullanıcıya işaretleşme
Arama sektirme	Yer (konum) hizmeti
Takip etme	Belirli bir yerle sınırlandırılmış bölge hizmeti
Telsiz telefonculuk sistemi	Mobil istasyon uygulamalarının yürütme çevresi
99' Serbestisi	
CAMEL Faz 3	Hizmet sürekliliği için bazı UMTS özelliklerinin birleştirilmesi

8.2 Alternatif Frekans Bandları

GSM esas olarak 900 MHz bandı için geliştirilmiştir. Ancak bu band tamamen kaplanmış ve bir çok ülkede, başta İngiltere olmak üzere, 1800 MHz' de PCN hizmeti lisansları verilmiştir. Standart büyük çoğunlukta 900 MHz' dekiyle aynıdır ancak bandın değişiminden dolayı gerekli olan bazı değişiklikler bulunmaktadır. Bundan sonra 1900 MHz bandında olan PCS 1900 lisansı Kuzey Amerika' da verilmiş ve GSM' e dayanan esas rekabetteki projelerden biri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında birçok bağımsız ikinci jenerasyon kişisel haberleşme mobil uydularının 2000' li yıllarda fırlatılmasıyla ilgili olarak planlar bulunmaktadır. Çeşitli radyo ara yüzleri kullanmalarına rağmen, çoğu plan GSM' deki şebeke altyapı sistemine ve güvenliğine dayanmaktadır. Bütün farklı GSM tabanlı standartlar arasındaki dolaşım planlanmaktadır. Hepsi GSM SIM' ini kullandığından ötürü bunun başarılması zor olmamıştır. Çoklu band mobil istasyonları Faz 2 standardında tanımlanmıştır ve hem dual-band hem de tri-band olanlar 1998 yılından beri piyasadadırlar.

8.3 Diğer Standartlarda Olan İlişki

Amerika Birleşik Devletleri, içlerinden birinin GSM tabanlı olduğu birçok ikinci jenerasyon (sayısal) hücreli standartlara sahiptir. GSM MoU Birliğindeki başka bir üye ile dolaşım nispeten paralellik ihtiva ederken, Amerikan ya da Japon olan standartlarla çok daha zordur. Bununla birlikte protokol dönüştürücüleri şu anda ortaya konmuştur böylece herhangi bir şebekenin abonesi, uygun bir mobil istasyona sahip olduğu takdirde, başka bir şebekeden hizmet alabilir. Telsiz standartlarda aynı zamanda ilerlemiş ve gelişmiştir ve sayısal DECT, artık iş piyasasında olduğu kadar ev içi kullanım içinde hedeflenmektedir. GSM' e benzer şekilde, ISDN tabanlıdır; GSM' den birçok farkı olmasının yanısıra, sonradan anlaşılacağı üzere en iyi olmaktan uzaktır. DECT değişmez özellikte yalnızca bir radyo ara yüzüdür ve sabit normal bir hatta ya da PABX' e bağlanabilir. Bu şekildeyken etkili bir yerel şebeke

oluşturur ve GSM/DECT terminallerinde dual-mode olasılığı ile iki tip şebeke arasında dolaşım imkanı mevcuttur.

8.4 GSM'in Dünya Çapında Uygulamaları

GSM projesi başlangıçta MoU içerisinde ve CEPT' te çoğunlukla Avrupa çapında tasarlanmış ve ilk başta çok istekli olmanın da etkisiyle ve Ortak Pazarın da tamamlanmasıyla birleştirilmiştir. Bununla birlikte bu proje inanılmaz bir biçimde bu vizyonun dışına taşmıştır ve şu anda dünyada bulunan ülkelerin yarısından fazlası, çeşitli şekillerde GSM' e katılmışlardır. MoU oluşmasından sonra 10 yıldan az bir sürede ve ticari hizmete başlangıcından bu yana 5 yıllık süre içerisinde, 120 ülke içerisinde ticari hizmette bulunan 293 operatörden fazlası bulunmaktadır. Temsil ettikleri ülke sayısını 120' ye kadar çıkartan 43 operatörden daha da çoğu MoU' ya katılmıştır ve son birkaç yıldır da hizmet vermektedirler. 14 yeni ülkeden 17 potansiyel operatör de MoU' ya katılmak için başvuruda bulunmuşlardır.

Nisan 98 itibariyle GSM' in dünya çapındaki değişik biçimlerine bağlı olan abone sayısının 82 milyon civarında olduğu hesaplanmıştır ve bu sayı hızla artmaktadır. Tüm ülkelerdeki ortalama rakam çokta yüksek olmamasına rağmen, bazı ülkelerde mobil sisteme geçmiş olan müşteri oranı 30%' u aşmıştır (98 itibariyle Finlandiya' da 45% gibi). Bu, müşteri sayısının ve yaptıkları aramaların, sağlanan hizmetin çok pahalı olmaması durumunda, giderek arttığını ve dolayısıyla büyük bir iş sahasını işaret etmektedir. Ortak rekabetin etkisiyle şu anda çoğu alanda ücretler düşürülmektedir ve yalnızca daha fazla kullanım çekmek amacıyla başlatılan e-mail ve Internet gibi yeni uygulamalar ortaya konmaktadır. Bu artırımların azalacağına dair bir işaretle şimdiye dek görülmemiştir.

GSM' in inanılmaz başarısındaki sebepleri inceleyecek olursak, faktörlerin şanslı bir karışımına direkt olarak bağlı olduğu görülecektir: veri hizmetinin ve telefonun kolay kullanımı, belirli ara yüzler, rekabet ve yüksek güvenilirliktir.

Çizelge 8.2 1999 Haziran itibariyle GSM MoU Birliğinde ticari hizmet veren veya başlamak üzere olan üye ülkeler

Albania	Andorra	Ermenistan	Belçika	Bosna-Hersek
Azerbeycan	Bahreyn	Bangladeş	Kamboçya	Kamerun
Brunei	Bulgaristan	Burkina Faso	Avusturya	Avustralya
Kanada	Şili	Kongo	Hırvatistan	Kıbrıs
Çek Cum.	Danimarka	Mısır	Estonya	Etiyopya
Yugoslavya	Fiji	Finlandiya	Fransa	Polonezya

Batı Hindistan	Gürcistan	Almanya	Gana	Gibraltar
Gurnsey	Gine	Hong Kong	Macaristan	İzlanda
Hindistan	Endonezya	İran	İrlanda	Man Adaları
İtalya	Fildişi Sahilleri	Jersi	Tunus	Kenya
Kuveyt	Laos	Latvia	Lübnan	Lesotho
Libya	Litvanya	Luxemburg	Makau	Makedonya
Madagaskar	Malavi	Malezya	Malta	Mauritius
Monako	Mongolia	Fas	Mozambik	Nambias
Hollanda	Yeni Kaledonya	Yeni Zellanda	Norveç	Umman
Pakistan	Papua Yeni Gine	Filipinler	Polonya	Portekiz
Çin	Katar	Reunion	Romanya	Rusya
Suudi Arabistan	Senegal	Seyşeller	Singapur	Slovakya
Slovenya	Güney Afrika	İspanya	Sri Lanka	Sudan
İsveç	İsviçre	Sierra	Tayvan	Tanzanya
Tayland	Türkiye	Uganda	İngiltere	Ukrayna
Blşk. Arap Emr.	Amerika	Özbekistan	Zimbabve	

2002 yılı içinde, üstteki listedeki ülke sayısının 3 katına çıkmıştır.

Çapta fiyat düşürebilme, sahtekarlığa ve gizli dinlemelere karşı güvenlik, GSM standartında oluşturulmuş olan, SMS gibi, değeri artırılabilir özellikler ve bütünleyici hizmetler. Dolaşımın kolaylıkla kullanılabilir olması ve bir parça hafıza yardımıyla güvenliğin sağlanabilmesi çok tutulmuştur ve havaalanlarında hemen hemen herkesin bir cep telefonuna sahip olduğu gözlemlenmektedir. Diğer hiçbir sistem bu kadar net ve anlaşılır avantajlar sunmamaktadır. Bu konuda bir süre önce kritik bir çoğunluğa ulaşılmış, bu yayılımın hızlanması ve fiyatların düşürülmesi için cesaret vermiş hatta mobil sektöründeki yapımcılar daha fazla yatırıma yönelmiş ve büyük hacimli terminaller yerlerini küçük ve hafif olanlara bırakmaya başlamıştır. (Gardiner,1999)

8.5 Mobil Sistemde Üçüncü Nesil

Şüphesiz mobil telefon ve internet üzerinden veri aktarımı yirminci yüzyıl sonlarında, telekomünikasyonun büyük başarılarıdır ve yeni bin yıl da bu konulardaki gelişmelerle başlamıştır. Yapılan tahminlere göre 2003 yılı sonunda, dünyadaki mobil telefon abonesi sayısı bir milyanın üzerinde olacaktır.

Internet cephesine baktığımızda ise, her ay 18 milyon yeni kullanıcı sisteme dahil olmakta ve veri trafiği her 6 ayda bir iki katına çıkmaktadır. Bu noktada, internet bilginin toplanması ve bunun tüm dünyaya dağıtılmasında en büyük yoldur.

Aslında üçüncü nesil mobil haberleşme ile yapılmak istenen, mobil telefon ve internet' in bir anlamda güçlerinin birleştirilmesidir. Artık günümüz insanı bilgiye nerede olursa olsun erişebilmek istemektedir. Bundan dolayıdır ki mobil haberleşme bu kadar önem kazanmıştır.

Üçüncü nesil sistemler çok-ortamlı haberleşme için tasarlanmıştır. Böylece, görüntülü haberleşme yapılabilir ve çeşitli şebekelerdeki servislere erişim, yüksek veri hızları ve esnek haberleşme imkanları ile gerçekleştirilebilir.

Üçüncü nesil mobil haberleşmeye Avrupa' da UMTS denmektedir. Bu sistemle, hareketliliği az kullanıcılara 2 Mbit/sn' ye ve hareketliliği yüksek kullanıcılara ise 144 kbit/sn' ye ulaşan bit hızlarında hizmetler sunulabilecektir (mobil terminalin 500 km/saat hızına kadar servisten faydalanabileceği öngörülmüştür).

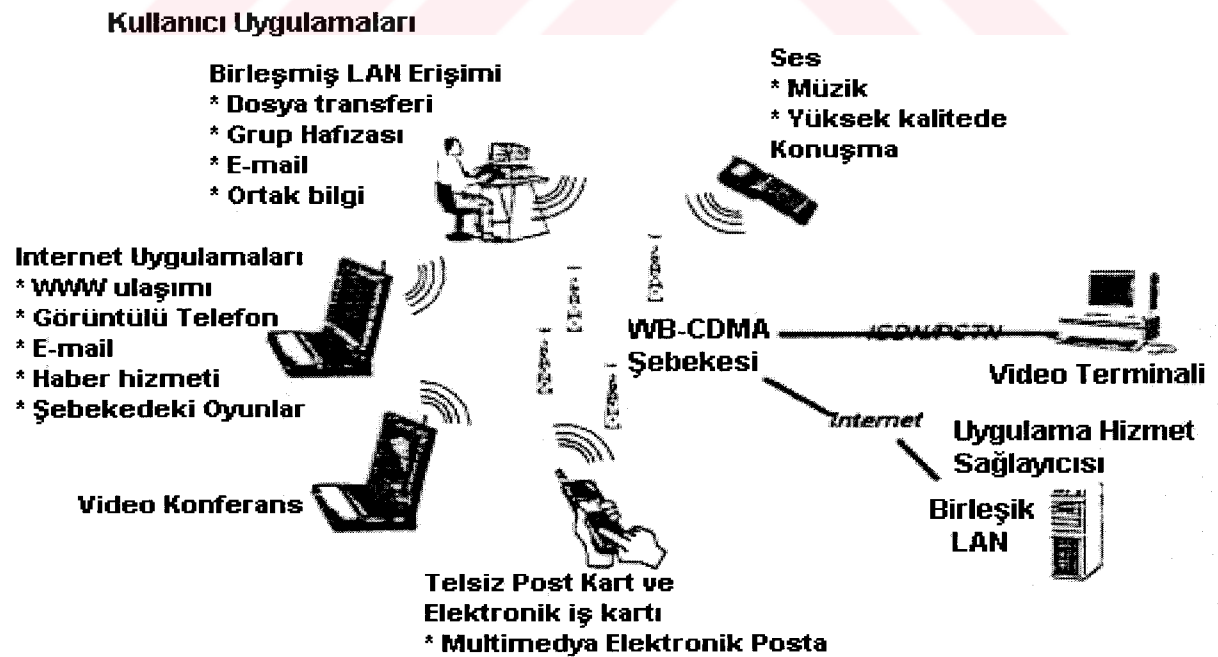
UMTS ile global bir kapsama oluşturulması düşünülmesine rağmen (okyanusların ve çöllerin uydu ile kapsanması gerekmektedir), bugünkü çalışmalar genel olarak yeryüzünde kurulabilecek sistemlerle ilgilidir ve bu kısım UTRA olarak adlandırılmaktadır.

Standardizasyon forumlarında, WCDMA en çok kabul gören üçüncü nesil radyo erişim tekniği olmuştur. Bunun şartnamesi 3. Nesil Ortaklık Projesinde (3GPP) oluşturulmuştur. Bu projede Avrupa, Japonya, Kore, USA ve Çin standardizasyon grupları yer almıştır. 3GPP' de, WCDMA' ye UTRA FDD ve UTRA TDD denmiştir. Dünya Radyo Konferansı'nda (WRC) alınan kararlar doğrultusunda, IMT-2000 sistemi ve dolayısıyla Avrupa'daki UMTS sistemi için frekans bantları; 1885 – 2025 ve 2110 – 2200 MHz olarak belirlenmiştir. Avrupa'da ve Asya'nın büyük bir kısmında IMT-2000 frekans bantları; 2x60 MHz (1920 – 1980 MHz ve 2110 – 2170 MHz) WCDMA FDD için uygun olacaktır. Avrupa' da, lisanslı TDD kullanım için 25 MHz bant genişliği düşünülmüştür (1900 – 1920MHz ve 2020 – 2025 MHz). Bu konferansta, IMT-2000 için verilen bu frekans bantları için çift yönlü iletimin yani alınan işaretin gönderilenden ayırt edilmesinin nasıl sağlanacağı belirtilmemiştir. Ancak daha önceki çözümlerden yola çıkarak FDD ve TDD yöntemleri kabul edilmiştir. FDD yönteminde, GSM' deki yapıya benzer olarak, iki yönlü iletim iki ayrı frekansta yapılır. TDD yönteminde,

DECT' de olduğu gibi iki yönlü iletim aynı taşıyıcı frekans üzerinden zamanda bölme yöntemi ile gerçekleştirilir.

Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) tekniğinin aksine WCDMA sisteminde radyo kaynakları kolaylıkla sayılabilir değildir. Bu özellik yumuşak-kapasite diye de adlandırılmaktadır. Bu şu anlama gelmektedir; kapasite, kalite ve kapsama arasındaki denge, bu özelliklerden herhangi birini diğerlerindeki azalma pahasına arttırarak değiştirilebilir. Bu nedenle, WCDMA' da dolayısıyla bu erişim tekniğini kullanan UMTS sisteminde, yığılma kontrol mekanizmalarının oluşturulması ilgi çekici bir konudur.

Analog mobil şebekeler, mobil sistemlerin ilk nesili, sayısal mobil şebekeler de mobil sistemlerin ikinci nesili olarak tasarlanmıştır. Mobil sistemlerin üçüncü nesili ise dünya çapındaki çeşitli standartlaştırma grupları tarafından tasarlanmaktadır. Gerçek üçüncü nesil hizmet ve uygulamanın 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 %' ı olacağı hesaplanmıştır." şeklinde istatistikler bulundurabileceği gözden uzak bir ihtimal değildir.



Şekil 8.1 Mobil Multimedya Hizmetleri

8.5.1 Üçüncü Neslin Amaçları

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 jenerasyon projesi UMTS’ dir 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’ ninkine 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.(Gardiner,1999)

-UMTS üçüncü jenerasyon bir sistemdir ve GSM’ de dengeli bir değişim yolu sağlayarak kendisini ikinci jenerasyondan 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 ara yüzünde bulunan esnek band genişliğini destekleyebilmek için, uyabilecek teknikler ve haberleşme altyapısı içerisinde paket tabanlı ya da büyük olasılıkla ATM benzeri bağlaşma ve iletim gereklerini bulundurmalıdır. İkinci jenerasyon 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 jenerasyon 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 hücresel hizmet erişimiyle ileride de uydu hizmet erişimi yardımıyla sağlanan telsiz hizmetlere bütünleşmiş bir ulaşım imkanı sağlamalıdır. Haberleşme ve bilgi teknolojisinin (IT) birleşmesi, Bilgi Toplumuna 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 jenerasyona ihtiyaç duyulmamasıdır. Aynı zamanda ikinci jenerasyon 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' nin gelişimi ve bütünleşmesiyle birlikte işaretleşme, güvenlik ve sahtekarlık denetimi, kullanıcının nerede bulunduğu önemli olmaksızın, yeni ve birleştirilmiş bir protokol oluşturma yoluyla kullanıcının şebekesi tarafından kontrol edilmelidir.

8.5.2 Dünya çapında gerçekleştirilme – WB-CDMA (wideband code division multiple access) 'nin önemi

Bir erişim metodu olarak Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA - Code Division Multiple Access), TDMA' ya 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 problemi de ortadan kalkmıştır. 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 band genişliğinin olması arzu edilmektedir. Bu da WB-CDMA' yı ortaya çıkarmıştır.

UMTS' yle birlikte öne sürülen hizmetler, MS' den ve MS' ye 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. Band 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.

85.3 GSM'in UMTS'ye doğru Evrimi

GSM, iki tamamlayıcı gelişime yönelik olan yüksek veri hızları gereksinimini karşılayabilmek için değişimine devam etmek zorundadır.

İlk olarak, mevcut olan MS-şebeke ara yüzü, GPRS (General Packet Radio Services) üzerinden paket bağlaşmalı veriye ve HSCSD üzerinden geniş alan kapsamına yönelik olarak yüksek bit hızı içermesi amacıyla değişmelidir. Bu, 115 kbit/sn veri hızı sağlayacaktır.

İkinci olarak, GSM, tüm mevcut olan GSM frekanslarında 384 kbit/sn' ye kadar veri hızına gereksinim duyan üçüncü jenerasyon sebebiyle değişmek zorundadır. Bunu yapabilmek için, yüksek seviye bir modülasyon metodu, hem paket bağlaşmalı hem de devre bağlaşmalı veriyi desteklemek amacıyla kullanılmalıdır. Baştan sona kadar bu seviyeye ulaşabilmek için iki hava ara yüzü aynı anda varolmalıdır: değişmiş GSM (TDMA) ara yüzü ve yeni UMTS (WB-CDMA) ara yüzü.

Dual-mode GSM/UMTS evrensel cihazların kullanımıyla - GSM' in kapsama sağlaması ve UMTS' nin yeni fonksiyonelliği ortaya koymasıyla birlikte - operatörler kendi GSM şebekeleri içinde, GSM' in dünya çapındaki devasa varlığı içerisinde tam hizmet saydamlığıyla birlikte, ilave geniş band hizmetlerini tam olarak sonuç alacak biçimde kullanabileceklerdir.

Radyo erişim şebekesi, iki tip hava ara yüzü için ayrı bir kaplayıcı şebeke olacaktır.UMTS radyo erişim şebekesi için mevcut olan bazı GSM kavramları tekrar kullanılabilir ama birçok prensip ve yapı yeni olacaktır. UMTS' nin özündeki şebeke, bugünün GSM devre ve paket bağlaşma şebekelerinin bir evrimi olacaktır.

Sonuç olarak GSM MSC, MS' den ya telekomünikasyon tabanlı şebekelere (PSTN, PLMN gibi), ya da veri bağlantı tabanlı şebekelere (internet gibi) doğru devre bağlaşmalı erişimleri destekleyecek şekilde evrim geçirecek böylece bir GSM-UMTS MSC haline gelecektir. Bunun anlamı; gelecekte aynı MSC, hem TDMA hem de WB-CDMA erişimlerini idare

edecektir. Bu aynı zamanda aynı mobil istasyon için, bu iki radyo erişim şebekeleri arasında dolaşım ve aktarma özelliklerini de içerir.

8.5.4 UMTS hizmetleri

UMTS, telefonculuk gibi geleneksel hizmetlerin yanında multimedya uygulamalarını da desteklemek amacıyla tasarlanmıştır. Son günlerdeki e-mail ve internet kullanımının yayılması açıkça patlama düzeyindedir. Şu anki mevcut mobil sistemler bu uygulamaları yalnızca etkisiz bir biçimde desteklemektedirler. Veri hızı çok yavaştır ve uygulama, faaliyet sırasında aralarında uzun boşluklar olan kısa burst'lere gereksim duymaktadır. Bu sebeple, tepe noktadaki veri hızının çok yüksek olabileceği ancak özellikle hava ara yüzü üzerindeki şebeke kaynaklarının sadece gerektiği zaman tüketildiği, paket tabanlı bir sisteme ihtiyaç vardır. Bu, bugün standart olan kati bir ücrete kıyasla miktara bağlı tarifeyle ücretlendirme yapılmasına izin vermektedir.

Bugünün sayısal sistemleri kullanıcılardan, aramanın başında tercihlerini belirtmelerini ve bunları değiştirmeden korumalarını bekler. Ancak multimedya ile birlikte, arama sırasında bağlantı eklenebilmesi, bağlantının modifiye edilebilmesi ve kaldırılabilmesi mümkündür. Örnek olarak telefonunuzu kullanarak bir arama başlatabilir ve daha sonra görüntü eklemeye, bağımsız bir veri tabanından bilgi almaya ya da bir dosyayı transfer etmeye, önceden hiçbir anlaşma yapmaksızın karar verebilirsiniz. UMTS, bunu etkin bir şekilde desteklemek zorundadır.

GSM, ISDN' ye benzer bir şekilde, bazı kesinliklerle birlikte mobil istasyon tarafından, temel ve bütünleyici hizmetlerin tanımlanmasını içerecek biçimde, fonksiyonel işaretleşmenin avantajlarından tümüyle faydalanabilmektedir. Bunun bir önceki duruma göre, içerisinde komutların yalnızca 0-9, * ve # karakterlerinden oluştuğu süren işarete kıyasla başarılması çok daha mümkündür. Fonksiyonel işaretleşme, yalnızca mobil istasyon içerisine önceden programlanmış olan hizmetlerin desteklenebilmesi gibi esnek olmamanın getirdiği çeşitli sınırlamalardan ötürü, gittikçe daha kötü bir pozisyona gelmektedir.

UMTS, hizmet elemanlarının mobil istasyona yüklenebilmesi yeteneğini getirerekten, bu sorunların üstesinden gelmeyi hedeflemektedir. Büyük ihtimalle Java veya benzeri yeni teknolojilere dayanarak, içerisinde hizmetlerin yapılandırılabilirdiği bir cihaz formunu ele alması düşünülmektedir. Bu şekilde ulaşım çok daha esnektir ve operatörler ile hizmet sağlayıcıları arasında daha büyük bir hizmet rekabetinin olmasını sağlayacaktır. Haberleşme ve IT, artık bir araya gelip bir noktada buluşmaktadır ve UMTS, IT teknolojisini belli bir amaç için gerekli yerlerde kullanmayı hedeflemektedir. Yapımcılarla birlikte standartlaştırma komitelerinin şu anki ulaştığı nokta tarafından destekleneceği durumda, bütünleşme olayının

çok hızlı bir biçimde gerçekleşmesi gerekmektedir. Cihaz tabanlı platformlar, kullanıcı ya da hizmet/bilgi sağlayıcısı tarafından yaratılabilecek yeni hizmetlere izin verir. Bunun, evrimleşmiş yapısal yeteneklerin yüksek bir seviyesini sağlayacağı umulmaktadır.

Önemli olan şudur ki, işlemlerin kullanıcıya daha yakın bir şekilde gerçekleşmesi ve ekranda yardımcı bilgilerin/menülerin yer almasıyla birlikte, yeni hizmetler de kolaylıkla oturtulabilecektir. Ayrıca hizmetler, kendi personellerine yönelik olarak haberleşme grubu yöneticileri ya da daha teknik olarak düşünen kişiler tarafından kişiselleştirilebilir (birinin kişisel bilgisayarının kişiselleştirilmesi gibi).

UMTS yalnızca başka bir hücresel sistem değildir. Aynı zamanda hem ev içi hem de ofis içi telsiz işlemleri desteklemelidir. Kullanıcılar için konulan hedef, telsiz, hücresel ve ileride büyük ihtimalle uydu modunda kullanılacak olan kişisel bir telefon/terminal 'e sahip olunmasıdır. Kullanıcılar bu terminale, gerektiği anda şebekenin kullanım durumunu düşünmeden, tek bir telefon numarası vasıtasıyla ulaşabilmelidir. Kullanıcılar aynı zamanda, GSM' de olduğu gibi, başka telsiz ve hücresel şebekelere dolaşımın mümkün olabildiğini bekler. Cihaz tabanlı ulaşım, kullanıcılara bu tip benzer hizmetlerin sunulmasını da mümkün hale getirmektedir.

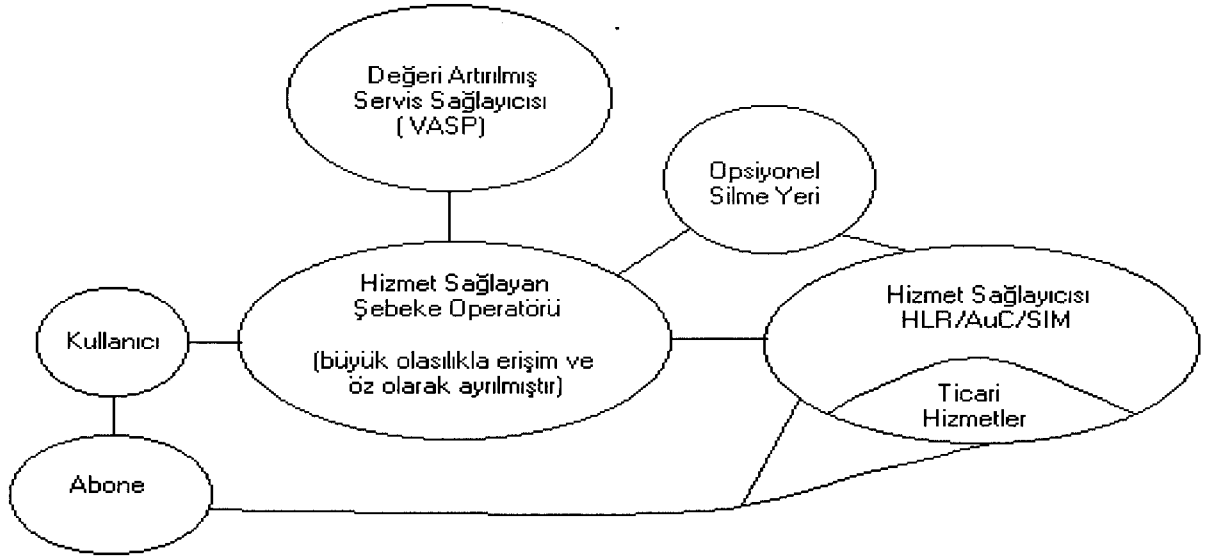
Görsel Ev Çevresi (VHE - Virtual Home Environment)

Görsel Ev Çevresi (VHE) deyimi, kullanıcılarla birlikte hareket edebilen bir hizmeti tanımlamak için oluşturulmuştur. Böylece kullanıcılar terminalden ziyade hizmetle ara yüz oluşturacak, yakın hizmet sunumu ve MMI ile birlikte kendilerini, dolaşım sırasında evdeymiş gibi hissedeceklerdir. VHE' nin, UMTS içerisinde, listelenmiş bulunan birçok şartla birlikte yeni anahtar özelliklerden biri olması beklenmektedir. VHE, esnek, kişiselleştirilmiş bir MMI sağlamayı hedefler ve aynı zamanda, hangi nitelikte bir şebekeyi ziyaret ettikleri önemli olmaksızın, herhangi bir anda istedikleri hizmetin tam olarak alınabilmesine izin verebilmek için kullanıcı gereksinimlerini yerel olarak tanımlar. Bu gereksinimlerin, giren ve çıkan aramalar için gerekli bilgileri verecek şekilde, SIM kart içerisinde ve hizmet sağlayıcısında ikamet etmesi beklenmektedir.

Rol Modeli

UMTS' deki başka bir gelişmede hizmet sağlamanın şebeke operasyonlarından ayrılmasıdır. GSM' le birlikte, bir şebeke abonelerini sahiplenir ve abonelerinin tüm verisini elinde tutar. UMTS' le birlikte ise, HLR mantıksal olarak hizmet sağlayıcısına bağlıdır. Hizmet sağlayıcısı, bugün bazı şebekelerde bulunandan farklı bir ticari varlık olabilir, aynı zamanda o sırada VASPs (Value-added Service Providers) bulunabilir. Böylece prensipte, bir hizmet

sağlayıcısı, hem evdeyken hem de yurtdışında, hem sabit/telsiz hem de mobil bir şebeke dizisi içerisinde hizmet sunabilir. Bu, rekabet için fırsatları arttırmasının yanında, sabit ve mobil şebekeler arasında ortak bir noktada buluşmalarını sağlayacak bir yol ortaya koyar.



Şekil 8.2 UMTS Rol Modeli

Gösterilen düzene göre, hizmet sağlayıcı HLR' ye sahiptir ve SIM' in donatılması ile kullanıcının doğrulanmasından sorumludur. Hizmet sağlayan şebeke, istenen telekomünikasyon hizmetlerinin sağlanmasından sorumludur (hücreli ya da telsiz, bir olasılık olarak uydu ya da sabit şebeke). Bu nedenle teknik olarak, kullanıcı her zaman dolaşım durumundadır ve bir hizmet sağlayıcısının aynı zamanda bir şebeke operatörü olması durumu haricinde, UMTS, "kullanıcının bağlı olduğu tek şebeke" genel kavramını yıkmıştır. Daha da fazla hizmet VASPs tarafından sağlanabilir. Bu hizmetler için ücretlendirme, abonenin normal faturasına ana hizmet sağlayıcıları tarafından eklenebilir.

Özellikle UMTS' nin multimedya ve paket veri hizmetlerini desteklemesi ve hücreli, telsiz ve diğer hizmetleri bütünleştirebilmesi, UMTS' nin GSM' e oranla çok daha gelişmiş olduğunu göstermektedir. Şebeke operatörlerine ve kullanıcı isteklerine bağlı olan hizmetler aslında sağlanacaktır ama pratikte düşünüldüğünde, GSM' in temel ve bütünleyici hizmetlerinin büyük çoğunluğu, optimal yönlendirmeyi de içermek üzere, sağlanabilecektir. Yeni veri ve yer (konum) hizmetleri, yerel haritalar gibi enformasyonlara hızlı erişimi sağladığından ötürü, ITS's için kullanışlı olduklarını ispatlayacaklardır.

UMTS Radyo

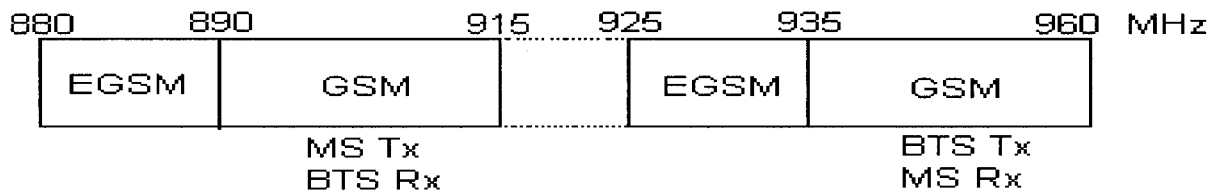
İşin radyo cephesinden sorumlu olan komiteler, hem SMG hem de ITU-R, TDMA ve CDMA' nın varyantlarını ve kombinasyonlarını içeren uygun çoklu erişim proje adaylarını ve diğer

mobil istasyonlar yoluyla aramaların yayınlanmasını destekleyen bir projeyi aktif bir şekilde incelemektedir. Bunlar, spektral verimlilik, maliyet, hizmet gereksinimlerini karşılayabilme açısından uygunluk, 2002 yılı itibariyle olan ticari hizmetler için fizibilitesi ve düşük güç tüketimi açılarından karşılaştırılmaktadır. Şu anda UMTS Dünya Radyo Erişimi (UTRA - UMTS Terrestrial Radio Access) 'in iki moda sahip olması konusunda anlaşmaya varılmıştır: birinci mod için, biri geniş alan hücresel uygulamaları için olan geniş bant CDMA (WB-CDMA), diğeri de küçük çaplı (birkaç yüz metre) alanlar için olan zaman bölmeli CDMA (TD-CDMA) ve ikinci mod içinde artırılmış spektral verimlilik amacıyla zaman bölmeli dubleks (TDD - Time Division Duplex) modudur. TD-CDMA modu, hem telsiz hem de “piko hücre” (çok küçük hücre) uygulamaları için tasarlanmıştır. İlk çalışma 2 GHz bandı taban alınarak yapılmıştır ama UMTS standardı, diğeri bantlar için de uygulanabilir olması gereklidir. Eğer 900 MHz' te olan GSM' den daha verimli olduğu görülürse, daha yüksek veri hızları elde edilebilecek kısa menzilli durumlarda daha yüksek bantlar kullanılabilir.

Daha yüksek radyo frekansı ve veri hızı gerektiğinden, minimum hücre yarıçapının GSM' dekinden (900 MHz'den kesinlikle ve 1800 MHz' dekinden de duruma bağlı olarak) daha az olması beklenmektedir ve mobil istasyonun maksimum gücünün imkan dahilinde azaltılmasıyla gerçekleşebilir. Bu sebeple, eğer UMTS radyo mevkileri, en ucuz çözüm olan GSM ile tanzim edilirse, hücrelerin kapsamaları arasında boşluklar oluşabilir ancak özellikle eğer, şu anda düşünüldüğü şekilde, dual-mod mobil istasyonlar aktarma ile ayarlanabilirse, GSM ile kapsama çok istenen bir görüntü sunmaktadır.

Spektrum Yayılımı

Şu anda kesin bir tecrübe olarak görünmektedir ki, her zaman mümkün olandan daha fazla spektruma ihtiyaç vardır. UMTS, mobil hizmete dayanan genişlemiş bir talebi işletmeyi hedeflemektedir ancak aynı zamanda daha hızlı veri hizmetleri yoluyla büyük önemini ortaya koymuştur. Geleneksel olarak, yukarı ve aşağı linklerde spektrumun eşit miktarda kullanılması, her birinin eşit miktarda banda bölüştürülmesi olayı, eşli spektrum yer alır. Örnek olarak GSM'de, aşağı link ile yukarı link arasında 45 MHz ayrılmıştır. Şekil65 GSM radyo spektrumunu göstermektedir.



Şekil 8.3 GSM radyo spektrumu

Temel GSM 900 Bandı

Temel ya da standart GSM 900 bandında (P-GSM), sistem, aşağıdaki frekans bandlarını işletmek için gereklidir:

890 – 915 MHz : mobil istasyon gönderir, baz istasyon alır

935 – 960 MHz : baz istasyon gönderir, mobil istasyon alır

Genişletilmiş GSM 900 Bandı

Genişletilmiş GSM 900 bandı (E-GSM), P-GSM' i içerir. E-GSM bandında, sistem, aşağıdaki frekans bandlarını işletmek için gereklidir:

880 – 915 MHz : mobil istasyon gönderir, baz istasyon alır

925 – 960 MHz : baz istasyon gönderir, mobil istasyon alır

UMTS

UMTS ile birlikte, spektrum kullanımının, özellikle aşağı linkte yukarı linke kıyasla daha fazla bant genişliği istenen birçok veri hizmeti nedeniyle, asimetrik olması beklenmektedir. UMTS içerisinde olan uygun band, radyo astronomisi için, ortada olmayan, bir boşluk içerir. Ayrılmış parçaların, hücresel, lisanssız telsiz ve daha yerleştirilmemiş olmasına karşın uydu için düzenleyiciler tarafından tahsis edilmesi düşünülmektedir. Hangisinin yukarı link hangisinin aşağı link olacağına dair hala tartışmalar vardır. TDD, sonraki genişlemeler, yüksek veri hızı kullanımı ve kısa menzil (piko hücre) uygulamaları için öne sürülmüş bir banttır.

8.5.5 UMTS şebeke mimarisi

GSM'den çok farklı olmayan bir mimari olarak, bağlaşma, iletim ve hizmet kontrolünün ayrılmasını içeren bir form UMTS için uygun olacaktır. Yine de VHE' yi ve telsiz ile hücresel şebekeler arasındaki aktarmayı desteklemeli ve GSM ile bağdaşabilir olmalıdır. Bu sebeple, ayrılmış yerel yönetime sahip olması arzu edilerek düşünülmektedir. Bunun yanında HLR' nin ille de bir şebeke operatörüyle değil, bir hizmet sağlayıcısıyla da birleşebilmesiyle birlikte, optimal yönlendirme, yalnızca şu anda GSM de olan trombon durumlarıyla sınırlanmamak üzere, arayanın, aranan kişinin evinin ve asıl yerinin üç farklı yer olduğu durumda da çalışmalıdır.

Bugünün MAP tasarılarının, özellikle GSM ve UMTS/GSM karma şebekelerini desteklemesi gerektiğinden ötürü, mobil yönetimin esaslarını oluşturması beklenmektedir. Mimarinin tamamlanması konusunda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir ve 2000 yılı içerisinde bitirileceği umulmaktadır.

8.5.6 UMTS zaman göstergesi

UMTS' nin, IMT-2000' de olduğu gibi aynı (ya da en azından bağdaşabilir) radyo erişim teknolojisini seçmesi için, halen daha onaylanmamış olmasına karşın, güçlü bir istek vardır. Bu sebeple 1997 sonlarında prensip olarak bir karara ihtiyaç duyulmuş ve 1998 ortalarında tüm önemli kararlar hakkında mutabık kalınmıştır. Daha sonra ilk hizmetler için gerekli olan tüm şartnameler bitirilerek, 1999 yılında anlaşmaya varılmıştır. Aynı zamanda GSM, 99 Serbestisi içerisinde hizmet sürekliliğinin sağlanması için VHE' yi içerecek şekilde, UMTS ile arasındaki dolaşımı ve aktarmayı kolaylaştırmak amacıyla güncelleştirilmelidir.

Eğer her şey plana uygun şekilde giderse, denemeler 2001 yılında görülebilecek ve 2002 içerisinde bazı şebekelerin ticari hizmeti başlatmasıyla birlikte esas hizmet sunulmuş olacaktır.



9. GSM' İN GELECEĞİ

Özellikle gelecek ile ilgili olduğu zaman tahmin yapmak zordur. Bununla birlikte gelişmeler hakkında düşünerekten kendimizi onlara hazırlayabiliriz. Genel olarak bu, geçmişteki tecrübeler ve bizim ilgilendiğimiz alana etki edebilecek olan alanlardaki önemli gelişmeleri tanıyaraktan oluşan fikirlere dayanarak ortaya çıkan tahminlerdir.

Şimdiden, kaçınılmaz bir biçimde ortaya çıkan iki başlığı ele alabiliriz.

1-Mobil iletişimdeki gelişmeler, birçoğu mobil istasyon için kaçınılmaz olan, ITS uygulamalarını kolaylaştıracaktır.

2-Mobil ITS uygulamaları ve mobil Internet, mobil veri için bir “sürücü” rolü oynayacaklardır.

Hücresele radyo, şüphesiz hem teknik hem de ticari olarak düşünüldüğünde son zamanlarda elektronik sistem alanındaki en önemli ve çarpıcı gelişmelerden biridir ve yalnızca elektronik endüstrisindeki insanları değil hayatın akışı içinde olan herkesi etkilemiştir. Çağın bir başka önemli olayı ise Internet'tir. Internet erişimi ve Web ulaşımı yeteneği ile yapılandırılmış olan mobil iletişim araçları görülmeye başlamıştır. Bu trend devam edecektir ve mobil ITS uygulamaları üzerinde önemli bir etki oluşturacaktır ancak Dünya Çapında Web (World Wide Web) aynı zamanda trafiğin getirilmesinde bir yöntem ve zaman tabloları ile tatil planlama bilgilerinin kolaylıkla ve güncel bir biçimde yayınına izin vererekten, statik yerlere bilginin taşınmasını sağlar.

Bu gelişmelerin birçoğundan önce, yarı iletken teknolojisinin görünmeyen eli önem taşımaktadır. Arka planda kalan bu gelişim, cep telefonlarının minyatürleştirilebilmesine izin vermiş ve eve, ofise ve gittikçe artan bir biçimde mobil kullanıcılara yönelik olarak devasa bir bilgisayar gücü getirmiştir. Gücün işlenmesi, gittikçe büyüyerek ve ucuzlayarak devam etmektedir ve bir sınıra ulaşılacağına dair hiçbir belirti yoktur. Güvenle yapabileceğimiz tek tahmin, bundan sonraki 10 yıla ait gelişmeler, tabi ki yine yarı iletken teknolojisine dayanaraktan, en az geçmiş 10 yıldaki gelişmeler kadar büyük ve önemli olacaktır.

9.1 Mobil & Hücresele İletişimin Geleceği

Telefonlar, kullanıcı beklentilerine göre yönlendirilen ve silikon teknolojisinin yeteneklerini kullanarak daha ucuza daha fazla fonksiyonellik getiren özellikler ile gittikçe daha kompleks bir hale gelmektedir. İlk başlarda yalnızca işadamlarına yönelik bir cihaz iken, son 10 yıl içerisinde hücresele telefonlar, çok sık görülen bir aksesuar haline geldi. Daha kol saati kadar küçülmemiş olmasına karşın!?! , boyut bakımından önemli miktarda ufalmıştır.

9.2 Ticari geleceği

Piyasanın büyüklüğü açısından, Ticari Gelecek, aslında hücresel radyonun geleceğidir. Dünyadaki hücresel haberleşmenin büyüme hızı inanılmaz boyutlara ulaşmaktadır. Toplamda ele aldığımızda, Kuzey Amerikalılar halen en önemli çapta hücresel hizmet kullanıcılarıdır ancak 2000 yılının sonuna kadar Asya-Pasifik bölgesinin bu noktayı ele geçirmesi beklenmektedir ve yine sayısal abone birimlerinin sayısı analog olanları geçmiş olacaktır. GSM, 2000' in sonuyla birlikte baskın bir standart olacak, Avrupa, Asya-Pasifik bölgesinin ve Orta Doğu' nun büyük kısmı, GSM ya da GSM'in bir çeşidine dönüşmüş olacaktır.

Çizelge 9.1 Avrupa ve Asya-Pasifik bölgesindeki hücresel telefonların ülkelere göre yayılımı

ÜLKE	NÜFUSA YAYILIMI, %
Finlandiya	41.0
Norveç	37.7
İsveç	33.3
Hong Kong	32.7
Danimarka	28.1
Avustralya	27.2

Yayılmanın daha yüksek seviyeleri, özellikle İskandinav ülkelerinde gerçekleşmektedir. Doyma düzeyi, Avrupa' da 2020 yılında bölgelerde %80 olarak beklenmektedir. Bu durumda 300 milyon Avrupalı kullanıcı olacaktır. Ekonomik yönden daha az gelişmiş olan diğer ülkelerinde buna rağmen, bu seviyelere kısa zamanda ulaşacağı düşünülmektedir. Analog telefon tabanlı sistemlerin küçümsenmeyecek kadar var olacağı bilinmesine rağmen, tabi ki gelecek "sayısal" olacaktır. 2010 yılı itibarıyla, 1 milyarının Asya-Pasifik bölgesinde ve 200 milyonunun da Kuzey Amerika'da bulunacağı şekilde, dünya çapında 2 milyar kullanıcının olacağı tahmin edilmektedir. Bu sayı, o sıradaki kablolu telefon sahiplerinin sayısına eşit olacaktır.(Nokia,1999)

Çizelge 9.2 2010'a kadar, telli ve mobil abone sayısının büyüme tahmini

Yıl	1997	2000	2005	2010
Telli abone sayısı (milyon)	800	900	1,100	1,300
Mobil abone sayısı (milyon)	200	400	800	1,200

Aynı zamanda statik ve mobil haberleşmenin birleşimi de oluşacaktır. Telli haberleşmeye ait alt yapının kurulmamış olduğu yerlerde, yeni bir sistem için telsiz haberleşme çok daha ucuz bir seçenektir. Sabit durumlarda, yerel bağlantıları gerçekleştirmek için hücresel radyo sistemlerinin, telsiz yerel çevrim (WLL - Wireless Local Loop) olarak bilinen, türevleri

kullanılmaktadır. Ayrıca bazı insanların, özellikle genç kesimin, ilk telefon olarak sabit olana karşılık mobil telefonları tercih ettiğine dair kesin belirtiler de mevcuttur.

9.3 Teknik Gelecek: UMTS VE IMT-2000

ITU, ilk başta orijinal ismi FPLMTS olan ancak sonradan IMT-2000 olarak yeniden isimlendirilen üçüncü bir hücresel standart jenerasyonu (ya da standart aileleri) ortaya koymaya niyetlenmiştir. ETSI de buna paralel bir proje olarak UMTS' yi düşünmektedir. Üçüncü jenerasyonun içereceği özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz:

*Toptan pazarlama yeteneği, yoğun bölgelerde düşük ücrette çok sayıda kullanıcıya hizmet verebilme

*Seyrek nüfuslu bölgelerde de dünya çapında hizmet

*Düşük maliyetli, küçük boyutlarda kullanıcı terminalleri

*Değişik çevreler ve veri hizmetleri için bit hızı sınıfları

*Araç içinde 144kbit/sn

*Yayalar için 384 kbit/sn

*Ev içinde 2 Mbit/sn

*E-mail, Web erişimi, video

Aşağıda bulunan tablo, şu anda ve gelecekte sistemlerde ki ulaşılabilecek veri hızlarına ait sınıflar ile bu hizmetler için gerekli zaman verilmiştir.

Çizelge 9.3 Değişik multimedya işlemleri ve Haberleşme sistemleri için yükleme zamanları

	GSM Faz1	PSTN	ISDN	GSM 2+	UMTS
Veri hızı	9,6 kbit/sn	28,8 kbit/sn	64 kbit/sn	115 kbit/sn	2 Mbit/sn
E-mail/Web sayfası (10 KB)	8 sn	3 sn	1 sn	0.7 sn	0.04 sn
Photo-JPEG (100 KB)	83 sn	28 sn	12 sn	7 sn	0.4 sn
Rapor (yazı + grafik) veya video clip (4 MB)	48 dk	18 dk	8 dk	4 dk	14 sn

UMTS' nin, IMT-2000 de olduğu gibi aynı (ya da en azından bağdaşabilir) radyo erişim teknolojisini seçmesi için güçlü bir istek vardır. önerilen beş farklı teknolojiden birinin seçilmesi hakkında bir girişim nedeniyle, bu konu hakkında 1997 yılı sonları ve 1998 yılı başlarında önemli tartışmalar gerçekleşmiştir. Çeşitli sebeplerden ötürü, ETSI tek bir standart üzerinde anlaşma sağlayamamış ve sonuç olarak iki tanesini, WB-CDMA ve TD-CDMA, seçerek uzlaşma yoluna gitmişlerdir. Bu her iki sisteminde seçilmek için yeterli oyu alamadığını ancak aynı zamanda IMT-2000 için tasarlanmış olan, Amerika'da ikinci jenerasyon uygulamaları ve çiftli frekans için kullanılan bazı frekans bandlarının uygun

olmadığını da ortaya koymuştur. WB-CDMA, temel konuşma, dolaşım ve veri akışının yukarı ve aşağı linkten benzer şekilde olduğu uygulamalar için çok daha uygundur. TD-CDMA ise, veri akışının asimetrik bir şekilde olduğu Web araştırmaları gibi uygulamalar için kullanılır. Tablo15’ te bu iki sistem karşılaştırılmaktadır.(Nokia,1999)

Çizelge 9.4 Avrupa UMTS sistemi

	Kodlama sistemi	Frekans bandları	Avrupa’da izin verilen spektrum (MHz)	Veri akışı	Uygulamaları
WB-CDMA	FDD	Aşağı ve yukarı link için eşit band genişliğinde kanallar	1920-1980 ile 2110-2170 çiftleştirilmiş	Simetrik	Geniş alan, yüksek mobilite
TD-CDMA	TDD	Hem aşağı hem de yukarı link için aynı kanal	1885-1920 (çiftleştirilmemiş) 2010-2035 (çiftleştirilmemiş)	Asimetrik	Düşük mobilite, yerel ve bina içi

Yeni mobil uydu PCN sistemleri hizmete girmek üzeredir ve uyduyu kullanan mobil geniş band hizmetleri için planlar yapılmaktadır. Yeni jenerasyon uydu sistemleri, hem terminaller hem de hizmetler için yeni pazarlar ortaya koyan ve maliyetleri düşüren daha küçük ve hafif terminaller kullanan ses ve veri hizmetlerine izin vermektedir. Gelecekteki gelişmeler, üçüncü jenerasyon karasal mobil sistemlerin bilgisiyle birlikte uydu ve karasal sistemlerin daha ileri bir bütünleşmesini içerecektir. ITU’s IMT-2000 programı, 1885-2025 MHz ve 2110-2200 MHz bandlarını işletmekte olan karasal ve uydu şebekelerini kullanarak dünyayı çapında baştan başa mobil terminallerin kesintisiz operasyonunu sağlayacaktır. Uydu, dört tip hücreden biri, seyrek nüfuslu alanlarda ve okyanusların üzerinde hizmet veren ve 500-1000 km yarıçapında olan hücre tipini sağlar. IMT-2000’ in amacı, çevrenin neresi olduğundan bağımsız olarak haberleşme için bir tek sistem kullanmak ve hem mobil hem de genişbantlı multimedya hizmetlerini sağlamaktır. Gelecekteki birkaç yıl içerisinde mobil uydu hizmetlerinin, dünya çapındaki haberleşme işinin bütünsel bir parçasına yönelik olarak uygun bir pazar haline geldiği görülecektir.

9.4 Mobil Veri ve Mobil Internet

Hücreli radyodan farklı olarak 1990’ ların bir diğer fenomeni Internet ve World Wide Web (WWW) ‘tir. Internet kullanıcılarının sayısı, mobil abone sayısını artışına kıyasla arkada kalsa da büyüme hızı yüksek sayılabilir. 1997 yılı sonu itibariyle 100 milyonu aşkın Internet abonesi mevcut iken, bu sayının 2001’ le birlikte 400 milyonu bulması beklenmektedir. Mobil

kullanıcılar, ofis içerisinde kullandıkları bütün veri olanaklarına ofis dışında da sahip olmayı ummaktadırlar. ITS uygulamaları, PROMISE projesi gibi, hücresel mobil veriye dayanmaktadır.

Ek olarak internetin başarısı, hücresel cihaz satıcıları Ericsson, Motorola, Nokia ve U.S. tabanlı Unwired Planet organizasyonunu WAP (Wireless Application Protocol) 'nün gelişimi için teşvik etmiştir. Amaç, Internet protokolüne dayanan bir grup telsiz yönlendirmeli protokolü geliştirmektir. Bu, bir Internet terminali gibi hareket edecek, standart ya da güçlendirilmiş telefon ya da dizüstü bilgisayar gibi herhangi telsiz terminal ya da el cihazlarına izin vermektedir. Protokoller, GSM, CDMA ve üçüncü jenerasyonu içerecek, farklı fiziksel telsiz şebekeleri üzerinden çalışacaktır. Bu gelişme, ITS' yi de içerecek şekilde birçok alandaki uygulamaları teşvik edecektir.(Nokia,1999)



10. TÜRKİYE' DE GSM' İN GELİŞİMİ

Türkiye, Global Mobil Haberleşme Standardı olarak adlandırılan GSM teknolojisi ile 1994' ün Şubat ayında Turkcell'in kuruluşu ile tanıştı. Uluslararası ortaklık yapısı ve Ericsson gibi bir dünya teknoloji devinin desteğini arkasına alan Turkcell sayesinde cep telefonları kısa sürede günlük hayatta yerini almaya başladı. Bunu ardından Telsim'in de eklenmesiyle Türkiye' nin günlük hayatındaki şebeke sayısı ikiye çıktı ve bu, tüketici açısından kazançlı bir rekabeti de birlikte getirdi. Çok değil, 1980' li yılların başında şehirlerarası telefon görüşmesi yapabilmek için santrallere isim yazdıran ve saatlerce bekleyen Türk halkı, 90' lı yılların ortasında dünya ile birlikte teknolojinin elverdiği en gelişmiş iletişim sistemine geçti.

Turkcell ve Telsim ile Türkiye' ye gelen GSM teknolojisi, günlük hayatın her aşamasında insanlara daha rahat yaşamanın olanaklarını sundu. İş hayatının statik ofisleri hareketlendi. İş dünyasının önemli bölümü işlerini GSM teknolojisini kullanarak yürütmeye başladı. GSM'in sunduğu imkanlarla hızlanan bilgi trafiği, doğru, zamanında ve hızlı verilen kararların yarattığı başarıların arkasındaki güç oldu. Kurulduğu günden itibaren daha çok kişinin daha rahat haberleşebilmesi için gerekli tüm teknik ve organizasyonel yatırımlarını, yapan Turkcell, abone sayısını 5 yılda yaklaşık 43 kat büyötmeyi başardı ve büyük oranda Telsim' i abone sayısı açısından geçerek pazarın büyük bir kısmını (%70 civarı) ele geçirdi. Şu anda Turkcell' in yaklaşık 6 milyon 300 bin aboneye, diğer kuruluş Telsim'in ise 2 milyon 800 bin civarında aboneye sahip olduğu bilinmektedir.

Ancak pazarın bu kadar büyük olması ve rekabeti artırarak kullanıcılar için kaliteyi yükseltmek ve fiyatları düşürmek amacıyla Ulaştırma Bakanlığı, 1999 yılında, bir lisansın Telekom'un kendisinde kalması şartıyla, piyasaya üç yeni firmanın gireceğini açıkladı. İhale konusunda taban fiyatın 648 milyon dolar olarak belirlenmesi karara bağlandı. Telekom' da dahil olmak üzere 3 adet GSM 1800 sisteminin kurulması için ilk adım atılmış oldu.

Rekabetin getirileri olarak da; ilk etapta konuşma ücretlerinin düşmesi ve yerel tarifelere geçilmesi beklenmekteydi. Lokal tarifeler sayesinde, cep telefonu kullanıcıları, cep telefonlarını ev veya işyerlerinde kullandığında daha ucuz bir tarifieden konuşabilecektir. Böylece, bir süre sonra, cep telefonu ile konuşmanın, evlerdeki sabit telefonlarla konuşmak kadar ucuz olabileceği düşünülmektedir. (Ericsson,1999)

GSM şebekeleri arasındaki bir diğer rekabet alanı da, cep telefonu cihazlarına sağlanan sübvansiyonlar olacaktır. Rekabetin tırmanması sonucu, Türk kullanıcısının da Avrupa' daki gibi çok ucuz fiyatlarla cep telefonu alabileceği varsayılmaktadır. Burada tek şart, belli bir şebekeyi seçmek ve belli bir süre bu şebekeyi kullanılacağına dair bir sözleşme imzalamaktır.

Yapılan ilk ihale sonucunda Türkiye İş Bankası-Telecom İtalia konsorsiyumu, diğerlerinin yaklaşık 2,5 katı gibi yüksek bir teklifle, 2 milyar 525 milyon dolar, GSM 1800 şebekesinin işletme hakkını aldı. Ancak yapılan ikinci ihalede diğer konsorsiyumların hiçbiri, yeterli miktar olan ilk ihale barajını, 2,5 milyar doları aşacak bir teklif vermediğinden GSM 1800 ihalesi, ikinci lisans satılmadan sona erdi ama yine de Telekom' la birlikte şebeke sayısı 4' e yükselmiş oldu. Tabi ki bu da aboneler için, yukarıda belirtildiği gibi er açıdan avantaj oluşturmaktadır.(Nokia,1999)

2002 ilk yarı sonunda abone sayısı 20 milyon kişinin üzerindedir.Bu da toplam nüfusun %30 una denk gelmektedir.Bu sayının 2005 yılında 35-40 milyon kullanıcı sayısına ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Türkiye için görünen gerçek, mobil iletişimin, gösterilen yoğun ilgiden ötürü, çok büyük bir pazar olduğu ve mobil iletişimin, aynı dünyada bu sistemin girdiği her ülkede olduğu gibi, giderek yaygınlaşacağıdır.



11.ELEKTROMANYETİK ALANLARLA İLGİLİ TEMEL BİLGİLER

Radyo frekanslı (RF) elektromanyetik dolanımların giderek artan bir taleple kullanılması gerek bu konuda mesleki çalışanlar açısından ve gerekse de halk sağlığı açısından , RFR' ye maruziyetin muhtemel zararlarının incelenmesi çalışmalarının önem kazanmasına sebep olmuştur. Elektromanyetik alanların biyolojik sistemlerle fiziksel olarak nasıl bir etkileşme yaptığının araştırılması, maruz kalarak oluşan biyolojik etkilere ilişkin çalışmaların önemli bir parçasını oluşturur. Dosimetri yanı RFR ile ışınlanan bir cisimde oluşan iç elektrik alanların ölçülmesi ve hesaplanması bu konuda yapılan çalışmaların temelini oluşturmıştır.

Biyolojik etkiler vücut içinde oluşan iç alanlara bağlı olduğundan dozimetri çok önemli bir kavramdır. İster hesapla ister deneysel yoldan olsun iç alanların bulunması zor bir işlemdir. Genel olarak iç alanlar ; gelen alana, cismin şekil ve büyüklüğüne, elektriksel özelliklerine ve gelen alanın frekansına bağlıdır. Bu nedenle, aynı dış alanla bulunan farklı cisimlerde oluşan iç alanlarda farklı olur.(Çerezci,2000)

İşimaya uğramış vücut içinde oluşan iç RF alanlarının bulunması için teorik ve deneysel çalışmaların ikisine de ihtiyacı vardır.Teorik, iç alanların ;yutucuya ve gelen alanlara nasıl bağlı olduğunu açıklayabilmektedir. Teorik çalışmalar RFR' in ilişkin canlılarda gözlenmiş biyolojik etkilerin , insanlarda oluşması muhtemel etkilere uyarlanmasını sağlar. RF ışımaya ilişkin biyolojik etkilerle ilgili deneysel çalışmalar direk olarak insanlar üzerinde denenemeyeceği için bu husus ayrı bir önem taşır.

Teorik çalışmaların doğrulanması, iç alanların başka özelliklerinin anlaşılması ve teorik çalışmayla elde edilemeyen bazı verilerin elde edilebilmesi için deneysel çalışmalara da ihtiyaç duyulur. Araştırmacılar teorik hesapları ve deneysel teknikleri birlikte kullanarak dosimetri hakkında mümkün olduğu kadar yararlı bilgi elde etmişlerdir.

Teorik metotlar Maxwell Denklemlerinin; yutulan, yansıyan ve gelen dalgayı dikkate alarak çeşitli yollarla çözümden oluşmaktadır. Bu metotlarda kullanılan matematik modeller gelen,yutulan alanları temsil etmekle hayli sınırlı kalıp yapılan hesaplamalar gerçek fiziki değerlere yakınsama olur.

Elektromanyetik alanın E ve H bileşenleri ile bu alanın kaynağı arasındaki ilişkileri tanımlayan Maxwell denklemleri; gelen dalganın frekansı çok düşük ise yani dalga boyu cismin büyüklüğüne göre çok küçük ise, devre teorisi yaklaşımı ile çok küçük frekanslarda dalga boyu cisme göre çok küçük ise, optik teorisi yaklaşımıyla, eğer dalga boyu cisimle eş ise mikrodalga teorisi tekniklerinden faydalanarak çözülür.

Deneysel metotlar iç elektrik alanın ölçülmesi veya vücut içinde çeşitli noktalarda sıcaklık artışının ölçülmesinden meydana gelir.

11.1 Radyasyon Alanları

Radyasyon alanları; frekans, E , H ' ın büyüklüklerine ve uzaysal değişmesine göre tanımlanır. Genellikle yakın alanlar ve uzak alanlar olmak üzere iki çeşit alan vardır. r kaynaktan uzaklığı göstermek üzere EM alanlar $1/r, 1/r^2, 1/r^3 \dots$ gibi terimler ile ifade edilir. Kaynaktan ,uzak bölgede $1/r^2, 1/r^3 \dots$ gibi terimler $1/r$ yanında ihmal edilir. Bu alana uzak alanlar denir. Şayet r ' nin daha yüksek dereceden terimleri ihmal edilmiyorsa bu alanlara yakın alanlar denir. Yakın alanlar, uzak alanlara göre; uzaklıkla daha hızlı değişim gösterir ve matematiksel hesapları daha zordur. Uzak alanlar genellikle ilerleyen dalga şeklinde tanımlanır.

Uzak alanın yaygın bir tipi , dalga cephesi küresel formda olan küresel dalgalardır. Küresel dalga cephesinin yarıçapı yeterince büyükse, küresel dalga düzlem dalga olarak kabul edilir. Düzlem dalga bir matematiksel model olup fiziksel gerçek değildir. Düzlem dalgalarda dalga cephesi düzlem olup, E ve H büyüklükleri verilen düzlemde sabittir. Düzlem dalga uzak alan hesaplarında matematiksel kolaylıklar sağlaması bakımından çok kullanışlıdır.

Düzlem dalgayı tanımlayan özellikler:

- 1.Dalga cephesi düzlemdir.
2. E ve H vektörleri birbirine dik olup birlikte dalganın yayılma yönüne diktirler.

Düzlem dalgada ortalama güç yoğunluğu,

$$P = EH = E^2 / 377 \text{ (Watt / m}^2 \text{)}$$

Şeklinde ifade edilir.

Burada E ve H sırasıyla elektrik ve manyetik alan vektörlerinin büyüklüğünü göstermektedir.

Soğurma Özellikleri: Elektrik alanları vücudu meydana getiren doku malzemeleri üzerine üç temel prensiple enerji transfer ederler.

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

Katıp mekanizması olarak isimlendirilen bu üç tip enerji transfer işlemi , doku malzemelerinin dielektrik ve iletkenlik özelliklerine bağlı olarak açıklanabilir.Zamanla sinüzoidal olarak değişken EM alanlar dielektriğin kompleks değere sahip olması ve kayıp mekanizmasının anlaşılmasını sağlar. Kompleks dielektrik sabiti, $\epsilon = \epsilon_0 (\epsilon^1 - j\epsilon^{11})$ şeklinde ifade edilir.Burada ϵ_0 boşluğun dielektrik sabitini , ϵ^1 bağıl dielektrik sabitinin reel kısmını ϵ^{11} de sanal kısmı ve $j = (-1)^{1/2}$ dir. $\epsilon^{11} / \epsilon^1$ oranına kayıp tanjantı denir.İletkenlik ; $w \epsilon_0 \epsilon^{11}$

şeklinde elde edilir. Açısal frekansı gösterir. Soğurulma probleminin çözümünde verilen ortamın karakteristik empedansının , bilinen elektriksek parametreler cinsinden tanımlanması önemli bir başlangıç oluşturur. Vücut izotropik ve homojen olarak düşünüldüğünde vücut içindeki propagasyon sabiti $(\gamma = \alpha + i\beta)$ ' nin faz sabiti β ve zayıflama sabiti ; α aşağıdaki bağıntıdan bulunur.

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu_0\epsilon^1}\left(1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon^1}\right)$$

Bu değerden faydalanarak tek yönde ilerleyen bir düzlem dalga için ortamın Z empedansı $Z=j\omega\mu_0 / \gamma$ Olarak ifade edilir.

11.1.1 Özgül soğurma alanı (SAR)

Biyolojik bir malzemeye enerji geçiş oranı (SAR)'dan faydalanarak açıklanır. SAR, vücudun birim kütlesine birim zamanda geçen enerji olarak tanımlanır. Ortalama SAR vücudun tüm kütlesine birim zamanda geçen toplan enerjidir. Yerel SAR vücut içinde herhangi bir noktadaki küçük hacme geçiş yapan enerji oranıdır. Sinüzoidal alanlar için herhangi bir noktadaki SAR

$$SAR = \frac{\sigma}{2P} \int E_f E_f du$$

Şeklinde verilir. Burada

σ : iletkenlik (S/m)

p : Kütle yoğunluğu (kg/m^3)

E_f : Biyolojik sistemin herhangi bir noktasındaki iç alanı (v/m)

Özgül yutulma oranı vücuda gelen güç miktarı olarak tanımlanır. Vücutta ısı oluşturacağı için yutulan güç ile direk ilişkisi vardır. Ancak vücut ısısının yükselmesinde çok çeşitli nedenler söz konusu olduğu için sıcaklık artışına SAR' ın başlıca neden olduğu düşünülmez. SAR, bağıntıda görüldüğü gibi E_f ve σ ile doğru orantılıdır., dolayısıyla σ , su oranı yüksek malzemelerde yüksek , su oranı düşük malzemelerde küçük değer alır. Örneğin ϵ^{11} kuru kağıt için çok düşük, ıslak kağıt için nispeten yüksektir. Biyolojik malzemelerden kemik ve yağ, kan kadar kayıplı değildir.

11.1.2 Katediş ve frekans özellikleri

Soğurulmanın frekansa bağlı olması dosimetrede önemli bir özelliktir. Kayıplı bir ortamda RFR' nın katediş kalınlığı , frekans ve dielektrik sabitinin çok önemli bir fonksiyonudur. Düşük frekanslı radyasyon, yüksek frekanslı radyasyona göre daha fazla nüfuz eder. Dolayısıyla yüksek frekans radyasyonu sadece yüzey ısısı oluşturur. Dielektriği düşük bir

malzemede RF dalgası yüksek dielektrik malzemeye göre daha derine nüfus eder. Cidar kalınlığı elektromagnetik alanların yüzeydeki değerinin e^{-1} (0.368) katına düşmesine karşı gelen kalınlık olarak tanımlanır. Bu değer soğurulan gücün yüzeyindeki değerinin e^{-2} (0.135) katına düşmesine karşı gelir. Cidar kalınlığı ϵ^1 ve ϵ^{11} ye bağlı olduğu ve $\epsilon^1, \epsilon^{11}$ de frekans azaldıkça artması nedeniyle, frekans azaldıkça cidar kalınlığı (dielektrik frekansa bağlı değilse) hızlı bir artış göstermez.

11.1.3 Polarizasyon

Dosimetride elektromanyetik alan vektörlerin vücuda göre yönelmelerini gösteren polarizasyon önemli bir faktördür. Düzlem dalga alanlar için polarizasyon E ,H ,k vektörlerinin vücudun uzun eksenine paralel olması ile tanımlanır. Burada k yayılma yönündeki vektörü gösterir. Eğer gelen dalganın E elektrik alanı vücut eksenine paralel ise E polarizasyon durumu oluşur. Benzer şekilde H ve k polarizasyonlar vücut eksenine paralel kalmaları durumunda dikkate alınarak tanımlanabilir.

Doğru akım (DC) ve çok düşük frekans alanlarının (ELF) zamanla değişimleri çok yavaş olması nedeniyle hiç ısıtım vermedikleri kabul edilir. Bu nedenle DC ve ELF alanları ile ilgili incelemeler non-iyonize radyasyon olduklarından farklıdır. Yüklerin ivmelenmesi elektromanyetik ışıma için gerekli şart olduğu için o akımda hiçbir çeşit radyasyon oluşmaz. Diğer bir deyişle, düşük frekans alanlarına maruz kalan herhangi bir cisimde genellikle radyasyon etkileri görülmez. Akımın taşındığı her bir durumda enerji E ve H alanlarında ışıma yapmaksızın depolanır.

Canlı organizma statik (DC) alanlara ya da ısıtılmayan yakın Alana maruz kaldığında alanlardan enerji alır. Ancak bu enerjinin geçiş mekanizması daha yüksek frekanslardan farklıdır. radyasyon vasıtasıyla enerji transferi dört maddede incelenir.

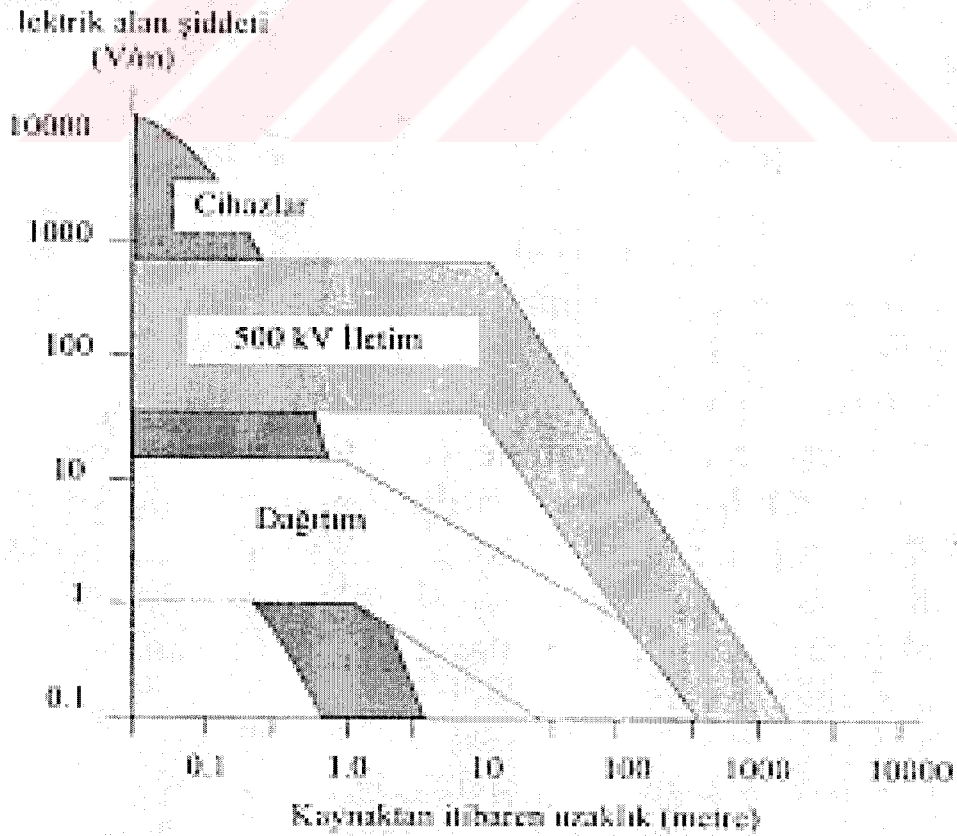
- 1.E ve H yakın alan büyüklükleri; elektrik sistemlerinden uzaklığın, akım veya yük dağılımının bir fonksiyonudur. E alanı , H dan çok daha büyük olabilir.Veya terside olabilir.
- 2.İşıma alanında E/H oranı boşlukta 377 olup sabittir.E(v/m). H(A/m)büyüklüğündedir.
- 3.Statik elektrik yükleri, doğru akım veya düşük frekanslı (küçüktür 1000 Hz) akımlar taşıyan ve sistemlerin civarında E ve H alanları belli istisnalar haricinde canlı organizma için bazı durumlarda ısınmaya neden olacak büyüklük olabilir. Burada canlı organizmaya akımın çeşitli yollarla direk geçmesi söz konusu değildir. Ayrıca dipollerin yönelmesi termal olmayan etkilerden de bahsetmek mümkündür.
- 4.Yayınlanmış güç ile canlı vücudunda ısı oluşturmak; cihaz ve sistemlere göre daha kolaydır. RF frekansta yayınlanmış gücün, tüm biyolojik etkileri özellikle sıcaklık artışından ortaya çıkar.

12. ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLAR

12.1 Elektrik Alanları

Elektron ve proton gibi temel parçacıklar elektrik yüklerine sahip olup, aynı işaretli yükler birbirini iter, zıt işaretli yükler çekerler. Bir giysinin çıkarılması esnasında giyside oluşan pozitif ve negatif yük fazlalığı nedeniyle duyulan çıtırtı, statik elektrik ilişkin elektriksel kuvvete örnek verilebilir. Yüklü bir cismin civarında oluşturduğu elektrik alanı diğer yükleri etkileyebilme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Metre başına volt (V/m) ile ifade edilen elektrik alanı grafik olarak alan çizgileri ile ifade ederler. Alan çizgilerinin yönü herhangi bir noktadaki elektriksel kuvvetin yönünü gösterir. Ve bu çizgilerin sıklığı alan şiddeti ile orantılıdır.

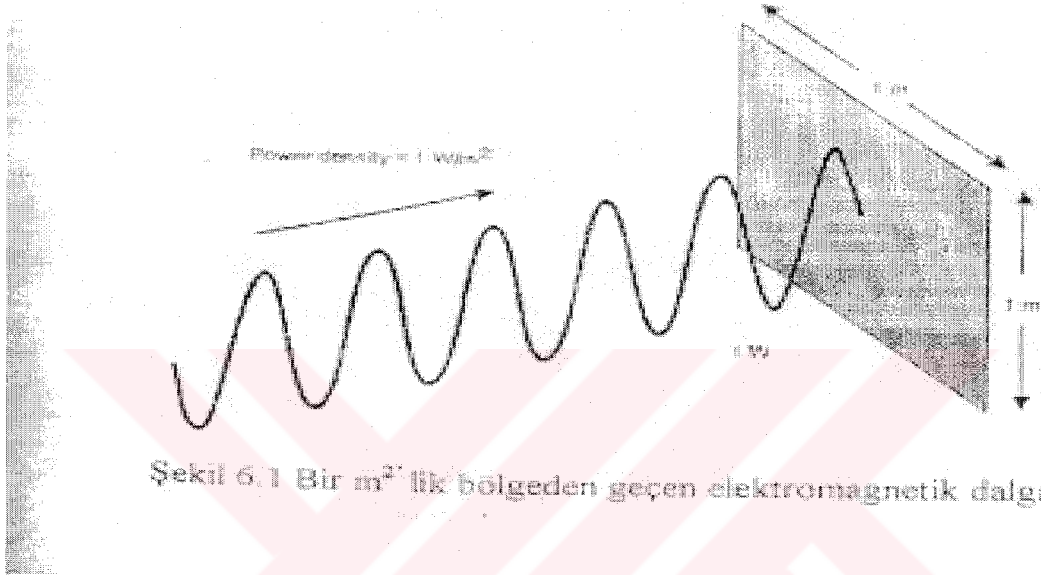
İletim hatları, duvar kabloları, buzdolabı ve çamaşır makinesi gibi çoğu ev içi elektriksel cihazların oluşturduğu elektrik alanları, elektrik jeneratörleri tarafından kablolarla pompalanan elektrik yüklerinden kaynaklanır. Kablolarda yükler, pozitif uçtan negatife doğru güç frekansı ile değiştiği için bu yüklere ilişkin alanlar dinamik alan olup etkin değer olarak isimlendirilen zamana göre ortalama değerleri ile ölçülürler. 115 V ile çalışan bir kahve makinesinden yayılan elektrik alanının etkin değerleri gösterilmiştir. Elektrik alanı şekilde görüldüğü gibi mesafe ile hızlı değişim göstererek azalmaktadır.



Şekil 11.1 Elektrik alanının mesafe ile değişimi

12.2 Manyetik Alanlar

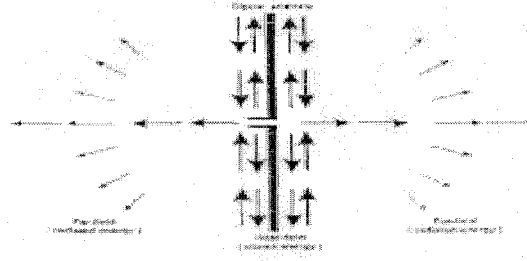
İlk olarak akım taşıyan tellerin civarındaki hareketli yüklere kuvvet uyguladıklarını keşfetmiş olup bu kuvvete magnetik kuvvet denilmiştir. Söz konusu kuvvetin büyüklüğü telden geçen akım ve hareket halindeki yükün miktarı ve hızına bağlıdır. Manyetik alanları tanımlamak için değişik birimler kullanılır. Bunlardan birisi de elektrik alanların (V/m) ile tanımlanmasının bir benzetimi olarak metre başına Amper yani (A/M) ile gösterilmesidir.



Şekil 12.1 Bir metrekairelik bölgeden geçen elektromanyetik dalga

Manyetik alan şiddeti bir başka şekilde ise, birim yüzeyden geçen manyetik alan çizgilerinin sayısı olan manyetik akı yoğunluğu Tesla(T) ile de gösterilir. 1 Tesla 10.000 Gauss olup, biyolojik malzemelerde oluşabilecek manyetik akı değeri mili gauss mertebesini geçmez. Güç frekanslı manyetik alanlar dinamik olup, zamana bağlı ortama değeri ile yani etkin değer ile tanımlanır. 115 Volt' ta çalışan kahve makinesini civarındaki manyetik alanın mesafe ile hızlı düşüş göstermektedir

YGH, trafolar ve bazı elektriksel cihazların civarındaki manyetik alanlar mesafe ile hızlı bir düşme gösterir. Bir kısım cihazların yakınındaki manyetik alan, iletim hatlarından daha da şiddetli seviyede olabilmektedir. Ve bu cihazların oluşturdıkları manyetik alanların mesafe ile değişimi YGH' na göre daha hızlı düşüş göstermektedir. Elektrik ve manyetik alanlar özel aletler ile ölçülmektedir.



Şekil 6.2 Elektromagnetik enerji akışının çoğunun yönünü gösteren çift kutuplu elektrik anteni

Şekil 12.2 Elektromanyetik enerji akışının çoğunun yönünü gösteren çift kutuplu elektrik anteni

Bir elektromanyetik dalga, tepe değerleriyle sıfır arasında salınan elektrik ve manyetik alanlarda meydana gelir. Bir alanın büyüklüğü, tepe değeriyle de ortalama değeriyle de gösterilebilir. Alan zamanın yarısı boyunca pozitif diğer yarısı boyunca negatif ise, değeri sıfırdır. Bu yüzden, tepe gücünün $1.4 (\sqrt{2})$ ile bölünmesinden elde edilen rms değeri kullanılır. Elektrik alan (E) volt başına metre (V/m) olarak, manyetik alan (B), Tesla (T) olarak ölçülür ve genellikle mT (Tesla' nın binde biri) yada μT (Tesla' nın milyonda biri) kullanılır. (manyetik H alanı amper başına metre, A/m olarak ölçülür ve bazen B alanı yerine bu kullanılır. 1A/m' lik H alanı amper başına metre, A/m olarak ölçülür ve bazen B alanı yerine bu kullanılır.

1A/m' lik H alanı , 1.3 μT ' lik B alanına eşittir.) Pil yada iyon (Bir veya daha fazla elektron kaybetmiş yada almış atom yada atom grubu) gibi elektrik yükü bir nesne elektrik alana maruz kalırsa, alanla orantılı olarak bir kuvvet oluşur. Ancak, manyetik alana maruz kalma durumunda bir kuvvetin oluşması için, çimsin bir alana açı yaparak hareket etmesi gerekir. Kuvvet alanla ve cismin hareket ettiği hızla orantılıdır. manyetik alanlar, demir gibi manyetik malzemelerle de güçlü bir etkileşim kurabilirler. Bir elektromagnetik dalganın şiddeti (I) yada güç yoğunluğu , 1m²'lik bir bölgeden geçerken oluşan güçtür.

12.2.1 Güç

Güç genellikle watt (W), miliwatt (Mw) yada mikrowatt (μW) olarak ölçülür. 1W = 1.000 mW = 1.000.000 μW ' tır ve şiddet metrekaire başına watt olarak (W/m^2) yada mW/m² olarak ölçülür. Küresel bir bölge bir kaynak tarafından çevrelendiği zaman yarıçapının karesi kadar artar, ideal durumda ise (Toprak dahil yakınında hiçbir cisim olmadığı zaman) şiddet $1/(uzaklık)^2$ kadar düşer.

Elektromanyetik dalgaların özellikleri kaynaktan uzaklaştıkça değişir. Birkaç dalga boyu uzaklıkta en basit haldedirler.(Burada bahsedilen frekanslarda 1m yada daha fazla) ve bu bölge uzak alan bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgedeki bir elektromagnetik dalga , dalga

gücünün hareket ettiği yön ile (şiddetin yönü) ve birbirleri ile dik açı yapacak şekilde salınan elektrik alan E ve manyetik alan B' den oluşur. E' nin en büyük olduğu nokta B' nin en büyük olduğu noktayla aynı anda oluşur ve alanların değerleri, I (W/m^2) şiddetiyle bağlantılı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$E = 19\sqrt{I} \text{ V/m}$$

$$B = 0.06\sqrt{I} \text{ mT}$$

Yakın alan bölgesinde ise biraz daha ayrıntılıdır. Dışa doğru yayılan gücün miktarı uzak alan bölgesindekiyle aynıdır fakat antenin yanında büyük miktarda bir elektromagnetik enerji depo edilir. Dışarı doğru akan yayılan net enerji kadar, giden ve gelen ilave bir salınan enerji daha vardır. Bu salınan akışlar, antenden dışarı doğru olan yöne dik ve anten boyuncadır. Bu yüzden , net enerji akışının yönü dışa doğru eğiktir. E ve B yine birbirine ve enerjinin taşındığı yöne diktir fakat daha fazla fazda kalmazlar ve değerleri , uzak alan bölgesine uygulanan basit ifadelerden farklıdır.

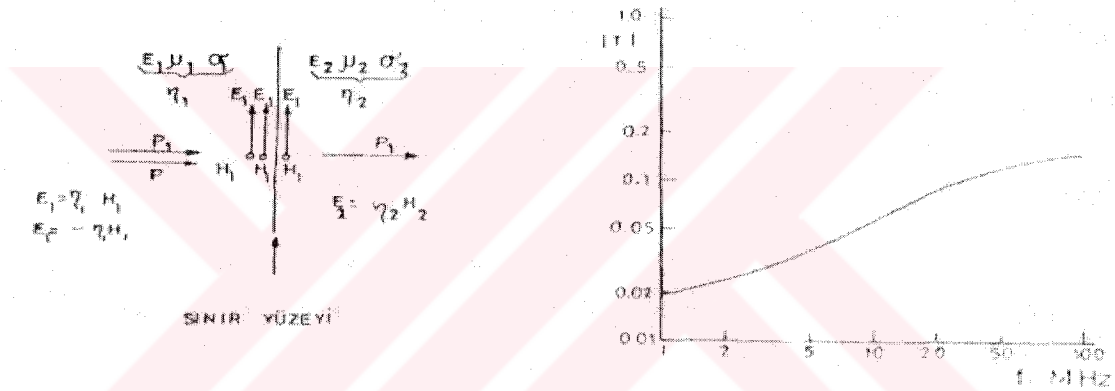
Enerji akışının çoğunun yönünü gösteren çift kutuplu bir antenin yanında ve uzağında , bu özelliklerdeki fark görülmektedir.(Elektrik alan yönleri kağıt düzlemindedir ve enerjinin aktığı yönlere diktir,manyetik alan yönleri ise kağıda diktir.) Antenden uzakta enerji dışa doğru akar. Antenin yakınında ise, enerjinin çoğu antenin çevresinde depo edilir ve anten boyunca gidiş dönüş yönünde akarlar, sadece küçük bir miktar dışarı doğru yayılır.

13. RADYO FREKANLARINDAKİ ALANLAR

$w\varepsilon_0\varepsilon^{11}$ bağıntısı tüm frekanslarda geçerli bir sınır şartını ifade eder. Ancak w radyal frekans arttıkça biyolojik malzemelerdeki ε_2 dielektrik sabitinin frekansla hızlı azalmasından dolayı, dış alanın dik bileşeninin , iç alana sınırdaki oranı frekans arttıkça azalır. Ancak düşük frekanslarda sınır içindeki toplam alan, sınırdaki dik alandan çok daha büyük olup alanının sınırdan uzaklıkta değişimi enerji dağılımı ile esastan bağlı değildir. Fakat homojen bir cisimde şekil nedeniyle bağlıdır. Diğer yönden RF' de gelen elektromagnetik dalgaların E ve H alanları sınırdaki yansdıktan sonra enerji dağılması nedeniyle daha fazla azalır. E ve H alanlarının her ikisi de sınır yüzeyinden uzaklıkla exponansiyel olarak azalır.

Herhangi z uzaklığındaki $g(z)$ alanı A, sınır içindeki alan genliğini göstermek üzere:

$G(z) = Ae^{-z/\delta}$ Şeklinde verilir. Burada δ cidar kalınlığını göstermektedir.



Şekil 13.1 Sınır yüzeyine paralel E geliş alanı içinde T geçme katsayısının frekansa bağımlılığı

Yansıma nedeniyle tam sınır içindeki A alanı gelen dış alandan çok daha küçüktür.

Bir organizma yüzeyinden yansıma kaybı hava ve doku tabakasının elektriksel özellikleri arasındaki farktan kaynaklanır. Bir Elektromanyetik dalga bir ortamdan farklı elektriksel özellikler arasındaki farktan kaynaklanır. Bir elektromanyetik dalga bir ortamdan farklı elektriksel özellikli başka ortama geldiğinde $E_{11} = E_{11}2$ ve $\sigma_1 E_{11} = \sigma_2 E_{11}2$ no' lu sınır şartları ve H alanı içinde benzer bağıntılar yansımış dalgayı oluşturur.

Yansıma katsayısının ifadesi

$$r = E_r / E_i$$

ve geçme katsayısı

$$T = E_t / E_i$$

olur. Yüzeye dik geçiş durumunda

$$r = \eta_2 - \eta_1 / \eta_2 + \eta_1$$

$$T = 2\eta_2 / \eta_2 + \eta_1$$

dir. Burada η_1 ve η_2 sırasıyla 1. ve 2. ortamların dalga empedanslarını göstermektedir. Bir ortamın dalga empedansı o ortamda ilerleyen düzlem dalganın E alanını ve H alanının oranı olarak tanımlanır, ve

$$\eta = (j\omega\mu / \sigma + j\omega\varepsilon)^{1/2}$$

olarak verilir. 1 no' lu ortam hava olarak alınırsa yukarıdaki bağıntı

$$\eta_0 = (\mu_0 + \varepsilon_0)^{1/2}$$

olur. 2. ortam biyolojik bir doku malzemesi olduğu için RF' larda r, T ve η genellikle kompleks çıkar. Gelen, yansıyan ve geçen güçler aşağıda ifade edilmiştir.

$$P_i = \text{Re}|E_i|^2 \frac{1}{\eta_1^*} = \frac{|E_i|^2}{|\eta_1|^2} R_1$$

$$P_r = \text{Re}|E_r|^2 \frac{1}{\eta_1^*} = \frac{|E_r|^2}{|\eta_1|^2} R_1$$

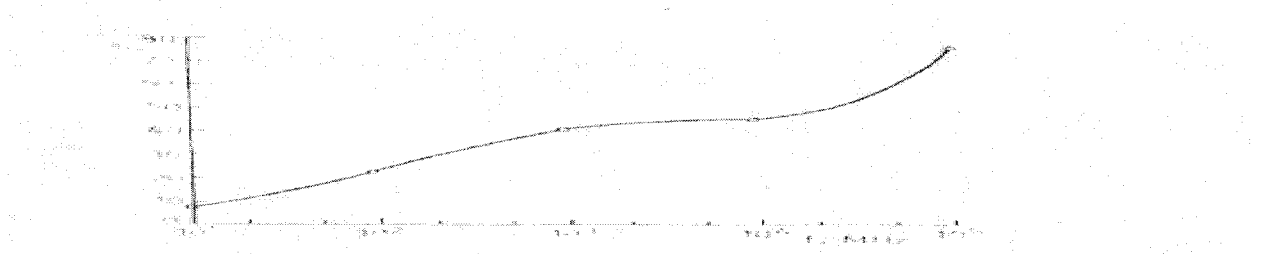
$$P_t = \text{Re}|E_t|^2 \frac{1}{\eta_2^*} = \frac{|E_t|^2}{|\eta_2|^2} R_2$$

Burada E alanları sinüzoidal değerlerin etkin değerlerini ($E_e = E_{\max} / \sqrt{2}$) göstermektedir. Re, reel kısmı, η^* ise η 'nin kompleks eşleniğini, R_1 ve R_2 ' de η_1 ve η_2 'nin reel kısımlarını göstermektedir. Eğer 1' in ortam hava olarak alınırsa $\eta_1 = R_1 = 377 \Omega$ olur. Yukarıdaki denklemlerden, geçen ve gelen güçler oranını gösteren enerji korunumu

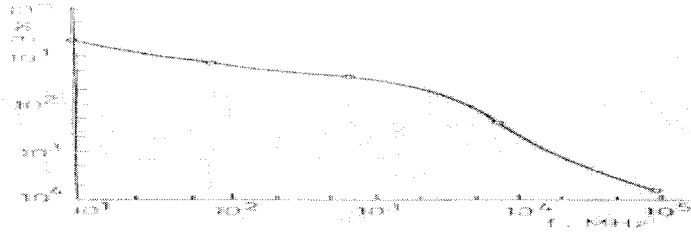
$$\frac{P_t}{P_i} = |T|^2 \frac{\eta_1 \eta_2^* + \eta_1^* \eta_2}{2|\eta_2|^2} = 1 - \frac{P_r}{P_i} = 1 - |r|^2$$

bulunur. 1-100 MHz arasında hava-kas ara yüzeyleri, η , n T geçiş katsayısının büyüklüğü frekansa bağlı olarak Şekilde gösterilmiştir. Şekilden havadaki E alanının kastakine göre hayli küçük olduğu görülmektedir. Toplam geçen gücün, gelen güce oranı da şekilde gözükmemektedir. Ara yüzeylerde yansıma kaybının frekansla azaldığı açıkça görülmektedir.

Dokunun derinliklerinde bu etki δ cidar kalınlığı nedeniyle dallanır ve yüzey içine nüfuz eden toplan gücün hızla azalması dolayısıyla bu etki frekansla azalır.



Şekil 13.2 Geçen gücün gelen güce oranı, Dalganın hava –kas ara yüzüne dik gelmelidir.



Şekil 13.3 Düzlem dalganın için kas dokusundaki deri kalınlığı

Sonsuz uzunlukta tabakalar arasındaki sınır şartlarından δ cidar kalınlığı, aşağıdaki gibi elde edilir. Eğer eğrilik yarıçapının cidar kalınlığına oranı (r_0/δ) beşten büyükse silindirik yüzeyler için uygulanabilir.

İyi bir iletken için

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

dir. İyi bir iletken için $\underline{j} = \sigma \underline{E}$ iletim akımının yoğunluğu $\partial \underline{D} / \partial t = j \omega \epsilon \underline{E}$ yer değiştirme akım oranı olan P değerinin

$$P = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \gg 1$$

bağıntısı gerçekleşmesi gerekir. Birçok biyolojik malzemelerde çok geniş frekans aralığı P , bir mertebesinde (0.1 < P < 10). Cidar kalınlığı için aşağıda sıklıkla kullanılan bir ifade daha vardır.

$$\delta = \frac{1}{w \left[\frac{\mu \epsilon}{2} (\sqrt{1 + P^2} - 1) \right]^{1/2}}$$

Alan şiddetinin sınır yüzeylerinin $G(z) = A e^{-z/\delta}$ bağıntıda işaret edilen uzaklıkla değişimi $r_0/\delta > 5$ bağıntısının sağlanmadığı frekanslarda birçok biyolojik cisimler için önem kazanır.

Cisimler için $G(z) = A e^{-z/\delta}$, $\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$ veya $P = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \gg 1$ bağıntılarının kullanılmasından

kaynaklanan $z < \delta$ olduğundan çok küçüktür. Böylece $z = 0.693 \delta$ 'da $g(z) = 0.5$ olur. S

silindirik koordinat dalga denkleminin çözümünden elde edilen $g(z)$ 'nin doğru değerleri sadece %20 farklı olup 0.6 A' dır. Burada r/δ değeri 2.39'dır. Bu nedenle iki değişik malzemede elektrik alanlarını gösteren şekilde $d= 0.693 \delta$ uzaklıkla alan yüzeyinin içindeki değerlerin yarısına düşer. Frekansın $10^1 - 10^5$ MHz aralığında değişmesine göre

$$\delta = \frac{1}{w \left[\frac{\mu \epsilon}{2} (\sqrt{1 + p^2} - 1) \right]^{1/2}} \text{ bağıntıyı hava ve kas dokusu için } \sigma \text{ ve } \epsilon \text{'nin tipik değerlerini}$$

kullanarak elde edilmiştir. 10 MHz den büyük frekanslarda insan ve daha büyük omurgalıların cidar kalınlığı önem kazanır.

ELF' nin üstünde (>300Hz) ve RF' in altına düşen orta frekans aralığı dalga davranışının ve cidar etkisinin başlaması bakımından önemlidir. Bu ara frekans bölgesine ait çalışmalar çok sınırdı kalmıştır. Son yıllarda ELF ve mikrodalga frekanslarında yapılmış bir çok deneylerle karşılaştırılan bu ara bölge için mevcut çok az deney verileri vardır. Eylem potansiyelleri, EKG, EEG, ERG, v.s gibi biyolojik sistemlerde tabi olarak vukua geldiği bilinen birçok elektriksel işlemler DC ve ELF frekanslarıyla sınırlıdır. 10 kHz' in altında çok büyük şiddetli H alanları hariç çeşitli cihazların oluşturduğu 100 kHz' in altında E alanları, organizmada ısı oluşturacak özelliktedir. Burada alanlarla birlikte akımlar elektrotlar vasıtasıyla organizmaya direk olarak etki ederler. 10-100 kHz arasındaki frekanslar; muhtemelen ısı veya diğer bir biyolojik etki oluşturmayaacağı için nispeten daha az ilgi çekmektedir. Diğer taraftan daha yüksek RF' lerde organizmada yerel yanma veya genel ısıtma oluşturacak nitelikte enerji sıklıkları oluşur. (Çerezci, 2000)

Daha yüksek frekanslarda E dış alanının biyolojik malzemenin yüzeyine dik olması gerekmez.

$$G(z) = Ae^{-z/\delta} \text{ ve } \delta = \frac{1}{w \left[\frac{\mu \epsilon}{2} (\sqrt{1 + p^2} - 1) \right]^{1/2}}$$

bağıntılarda verilen cidar kalınlığı ve yansıma kayıpları, biyolojik herhangi bir cisim içinde dış alanın altında bir değere düşer. Daha öncede belirtildiği gibi biyolojik maddelerin dielektrik sabiti ve iletkenlik katsayısı frekansla değişir. RF' lerde membran dışında, biyolojik malzemelerin çoğu ya iyi bir iletken yada çok iyi bir yalıtkandır. Hücre membranı RF' de iyi bir dielektrik. ELF' de ise iletken veya dielektrik gibi davranır.

Çizelge 13.1 Kas dokusuna ait elektriksel özellikler

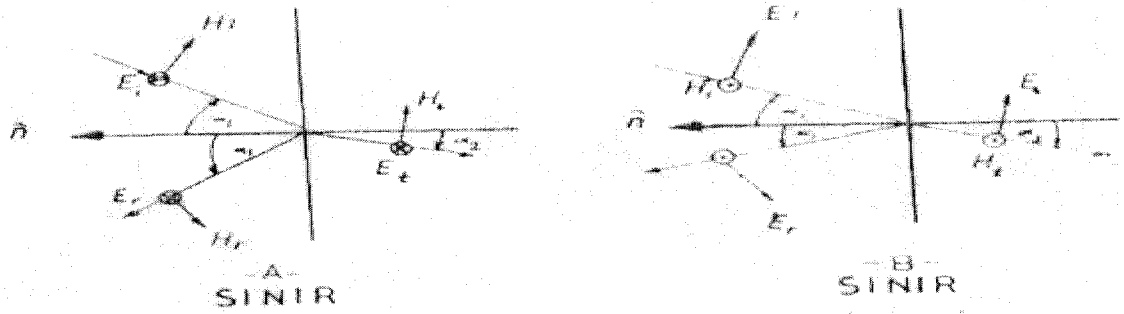
f (MHz)	σ	ϵ_r	$\sigma / w\epsilon_0\epsilon_r = p$
1	0.40	2000	3.6
10	0.63	160	7.1
100	0.89	72	2.2
100000	1.65	50	0.59
1000000	10.3	40	0.46
10000000	80	6	2.4

Hava –doku ara yüzeyindeki yansımaya ilaveten, farklı malzemeler arasındaki her bir sınırdan da birçok yansımalar oluşur. Kas ve düşük su içeren kemik veya gibi organik malzemeler arasındaki sınır yüzeylerine yansıma belli α_1 açısıyla gelen elektromanyetik dalganın katsayısının büyüklüğü gösterilmektedir.

Dalga cephesi hava-doku sınır yüzeyine paralel veya paralele olmayabilir. Gelen dalganın E alanı aşağıdaki şekilde olduğu gibi, geliş düzlemine dik olarak polarize olabilir buna dik polarizasyon, geliş düzlemine paralel ise paralel polarizasyon denir. Geçiş ve yansıma katsayıları geliş açısına bağlı olarak polarizasyon tipine göre değişik değerler alır.

Çizelge 13.2 Yağ veya Kemik Dokuları için elektriksel özellikler

f (MHz)	$\sigma (s/m)$	ϵ_r	Kas-Yağ Γ
100	0.048	7.5	0.65
1000	0.101	5.6	0.52
10000	0.437	4.5	0.52



Şekil 13.4 Farklı iki ortamın sınır yüzeyine herhangi bir açıda gelen elektromanyetik dalga

(A) dik polarizasyon ; (B) paralel polarizasyon

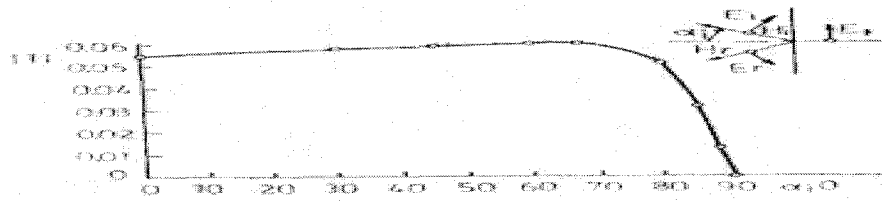
Yukarıdaki şekil farklı iki ortamın sınır yüzeyine herhangi bir açıda gelen elektromagnetik dalga (A) dik polarizasyon (Vektörü geliş düzlemine dik); (B) paralel polarizasyon (E vektörü

geliş düzlemine paralel) (x) işareti sayfa düzleminden içeri (*) işareti sayfa düzleminden dışarıya doğru olan vektörleri göstermektedir.

Geçiş açısı α_2 snell kanunundan

$$\sin \alpha_2 = \frac{\sqrt{\epsilon}}{\sqrt{\epsilon - j \frac{\sigma_2}{w}}}$$

Olarak bulunur. $P = \sigma_2 / w \epsilon_2 \ll 1$ olmadıkça $\cos \alpha_2 = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_2}$ komplekstir. 10 MHP'de hava kas ara yüzeyinde paralel polarizasyon için geçiş katsayısının geliş açısına göre değişimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 13.5 Paralel polarizasyon için geçiş katsayısının geliş açısına göre değişimi
10 MHz için paralel polarizasyonda kompleks geçiş katsayısının α_i ile değişimi (E alanı geliş düzleminde, H sınır yüzeyine paralel, $\sigma_2 = 0.7$ S/m, $\epsilon_{r2} = 150$)

13.1 Radyo Frekanslardaki Alanların Etkileri

300kHz' den 300 GHz' e kadar olan radyo frekans radyasyonunun (RFR) insanlar ve hayvanlar üzerindeki biyolojik etkilerini detaylı bir açıklamasını sunan geniş ve kapsamlı incelemeler mevcuttur.

13.1.1 Maruz Kalınan RF Kaynakları

İşçilerin ve genel nüfusun RF alanlarına maruz kalmasına neden olan ve gün geçtikçe artan oranda RF enerjisinin kullanımının insan sağlığı üzerine olan etkileri değerlendirildiğinde aşağıdaki faktörler göz önüne alınır.

- Normal işletim ve muhtemel hatalı kullanım koşulları altında RF radyasyon seviyelerini üretme potansiyeli.
- Kullanımdaki kaynakların sayısı.
- Işıma sırasında radyasyona maruz kalabilecek insanların sayısı

13.1.2 Doğal RF çevre

Şehirsel RF radyasyon çevresi taşıma hatları, radyo ve televizyon yayınlarının elektromanyetik alanlarıyla oluşur. A.B.D’ de FM radyo ve VHF- UHF telekomünikasyon bantlarının ortamda oluşturduğu ölçülen kümülatif maruziyet güç yoğunluğu $50 \mu W/m^2$ dir. Amerika’nın büyük şehirlerinde yaşayan insanların yaklaşık %6 sı yaşadıkları genel çevrede muhtemelen $10Mw/m^2$ ye eşit ve daha büyük bir güç yoğunluğuna maruz kalmaktadır.

13.1.3 Yüksek güç RF kaynakları

Yüksek değerdeki bir güç kaynağı , kaynaktan 100m.uzaklıkta, $1W/m^2$ ’ lik ana ışın yoğunluğu üreten bir kaynak olarak tanımlanır. Düşük güç kaynakları, kaynağa çok yakın bir mesafede bu değere eşit bir güç yoğunluğu üretebilir.

Ancak yoğunluk seviyesi, kaynaktan uzaklaştıkça hızla düşmektedir.100m’ lik bir mesafede , $1W/m^2$ nin oldukça altındadır.

Yüksek güç kaynağı kategorisine ait sistemler genellikle yüksek aktarıcı güç ve yüksek anten kazancı bakımından sınıflandırılır ve bu $100m$.de, $1W/m^2$ kriterini doğrular. Radyo ve televizyon aktarıcılarına ek olarak bu kategori; uydu haberleşme yer terminalleri, troposcatter sistemleri, hedef belirleme ve izleme radarlarını da içerir.

Bazı yüksek güç radar sistemleri tarafından üretilen alan-ışın ortalama güç yoğunluğu , $1Kw/m^2$ ’ den daha büyük olabilir.Ancak, kaynağa yakın ilk ışına maruz kalma olasılığı oldukça zayıftır.

13.1.4 Düşük güç RF kaynakları

Polis tarafından kullanılan trafik radarları, telefon iletişimde kullanılan mikrodalga röle istasyonları ve kablolu televizyon dağıtım istasyonları gibi yaygın RF kaynakları, düşük güç kaynakları olarak bilinirler. Tipik bir trafik radarından yayılan ana-ışın 10 m .yakınlıktaki mesafede $10Mw/m^2$ lik veya daha az maruziyete sebep olur. Televizyon ve telefon iletişimde kullanılan mikrodalga röle istasyonları tarafından yayılan radyasyona insanların maruz kalması $10mW/m^2$ ’ den daha azdır. Antenler ve aktarıcılar genellikle yüksek binaların ve gökdelenlerin üstünde yerleştirildiklerinden yüksek yoğunluklu dalgalar yaydıklarında, bu dalgaların insanlar üzerinde birtakım etkileri olur ve bu durum tamamıyla istenmeyen bir durumdur.

Mikrodalga fırında, enerji fırın içine yayılmıştır. Ve dışarı radyasyon yayılımı arzu edilmez. Ancak teknolojik imkansızlıklar genellikle bir miktar enerjinin sızmasına neden olur. İnsanların mikrodalga fırınlardan radyasyona maruz kalması, güç yoğunluğunun mesafeye

bağlı olarak hızlı bir şekilde azalması nedeniyle, çok düşük bir seviyededir. Örneğin fırın yüzeyinde 5 cm lik mesafede 50 W/m^2 ' lik bir sızıntı için ,0.3 m deki güç yoğunluğu 15 W/m^2 ' den daha azdır ve 1m.lik bir mesafe için de 0.1 W/m^2 olmaktadır.

13.1.5 RFR' ya mesleki olarak maruz kalmalar

13.1.5.1 İndüksiyon ile ısıtma

İletken malzemeler, malzemeye uygulanan değişken manyetik alanlar tarafından indüklenen girdap akımları ile ısıtılabilir. Bu tipteki ısıtma genellikle kaynak, lehimleme ve buna benzer birçok endüstriyel uygulamada sıkça kullanılır. İşlem frekansı birkaç MHz' e ulaşabilmektedir, ancak bu tüpteki cihazlar genellikle 50-60 kHz' den yaklaşık 10kHz' e kadar frekanslarda çalışır. Manyetik alanları üreten bobinlerin boyutları genellikle küçük olduğundan, yüksek seviyedeki bir tüm-vücut maruziyeti nadiren gerçekleşir. Fakat, bölgesel bir maruziyet (eller) söz konusu olabilir. Operatörün ellerinin maruz kalacağı manyetik akı yoğunluğu 25 mT ya da 20 kA/m düzeyine ulaşabilmektedir. Birçok nedenden dolayı akı yoğunluğu bazen 1mT dan daha küçük veya 800 A/m civarında olabilecektir. Operatörün vücudunun diğer kısımlarının maruz kaldığı alan şiddeti dikkate alınmayacak ölçüde düşüktür. İndüksiyon ısıtıcısının yakınındaki elektrik alan şiddeti de genellikle düşük bir değerdedir.

13.1.5.1.1 Dielektrik ısıtma

RF enerjisi birtakım endüstriyel işlemlerdeki dielektrik malzemeleri ısıtmada kullanılmaktadır. En bilinen uygulama ise plastiklerin mühürlenmesidir. Yapıştırıcı kurutulması, board ve panel parçalarının birleştirilmesi, ve kağıdın ısıtılmasıdır.

Birkaç kW' tan 30-40 kW' a kadar bağımlı olarak değişen yüksek çıkış gücü ve korumasız elektrotların kullanımı, RF ısıtıcıları çevresinde yüksek alanların oluşmasına neden olabilmektedir. A.B.D' de yapılan araştırmalar göstermiştir ki; operatörlerin elektrik alanlara maruz kalmasını ölçen cihazların %60 ı, 200 V/m den daha büyük; manyetik alanlara maruz kalmalarını gösterenlerin ise %29 u 0.5 A/m den daha büyük değerler ölçülmüştür. Benzer ölçüm sonuçları Kanada' lıların yaptığı çalışmalarda da gözlenmiştir. İsveç'teki RFR' un işçileri üzerindeki etkileri için yapılan bir araştırmada alan şiddetleri değişik anatomik pozisyonlar için ölçülmüştür ve işçilerin %55 inin bir veya daha çok konumda hem 300V/m , hem de 0.8A/m nin üstündeki değerlere maruz kaldıkları görülmüştür.

Açıkçası, RF ısıtıcılarla çalışan operatörler için temel bir kabul vardır. Bu tipteki ısıtıcılar, toprakla temasta olan bir kişi için , insan direnç bölgesi içinde veya yakın değerlerdeki

frekanslarda çalışır. Buna bağlı olarak; bu cihazlara yakın çalışan işçiler, (ANSI tarafından) öngörülen değerlerin üzerindeki oranlarda RF enerjisine maruz kalırlar. Bu maruziyeti standart sınırlar dahiline çekebilmek için elektrot sistemlerinin koruyucu kalkan altına almak, RF enerjisini kompanze etmek (saptırmak) veya kontrollü ölçümlerle maruziyeti azaltmak gerekli önlemler arasındadır.

13.1.5.1.1 Haberleşme sistemleri

Haberleşme ve radar konularında çalışanların çoğu , sadece küçük değerde alanlara maruz kalmaktadır ancak işçilerin potansiyel olarak yüksek RF radyasyon alanlarına maruz kalabilecekleri birkaç durum da söz konusudur. Radyo aktarım istasyon odalarında, atlarım kulelerinin yakınında ve buralara bitişik yükler binalar ve cidar bölgelerinde alan şiddetleri genellikle çok düşüktür. ($1 \mu W / cm^2$ nin altında). Yüksek seviyeli maruziyetler, yüksek güç aktarıcılarının cidarındaki semt ve yörelerde oluşur. FM televizyon kulelerine tırmanan işçiler, 1000 V/m ye ulaşan bölgesel bir elektrik alan değerine ve yaklaşık 5 A/m lik bir manyetik alan değerine maruz kalabilmektedir. Potansiyel olarak yüksek maruziyet, kabinin kapısı açıldığında oluşabilir ve güç yoğunluğu değeri $2000 W/m^2$ ye kadar çıkabilir. Diğer aktarıcılardan anten besleyicilere olan kuplaj nedeniyle, aktarıcı kapatılmış olsa bile , yine de kabin içerisinde yüksek güç yoğunluğuna rastlanabilecektir.

13.1.5.1.2 Medikal maruziyet

Elektromanyetik alanların ilk terapi uygulamaları diatermi üzerine idi. Genel olarak iki türlü diatermi kullanılmıştır. Bunlar, kısa dalga (genellikle 27MHz de) ve mikrodalgadır. (genellikle 915 ya da 2450 MHz de). Hastanın vücudunun sadece bir bölümü RF enerjisine maruz bırakılarak maruziyet sürekliliği yaklaşık 15-30 dakika ile sınırlanmıştır. Maruziyetin yoğunluğu doku ısısında bir artışa sebep olacak kadar yüksek ve yeterlidir. Kısa dalga diaterminin operatörler üzerindeki maruziyeti, normal pozisyonunda oturan ve ayakta duran operatörler için 60 V/m ve 0.16 A/m yi geçebilir.

Son zamanlarda, elektromanyetik alanlar kanser terapisi için bölgesel hipertermi şeklinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Aynı diatermidaki gibi hasta, kısa süreler yoğun alanlara maruz bırakılmıştır. Operatör maruziyeti hakkında yeterli bilgi mevcut değildir. Maruziyet alanlarının ölçüldüğü araçlardan biri 13.56 MHz' de çalışır. Bobinin tipine ve gücüne bağlı olarak maruziyet ,operatör bobinden 25 cm-1m uzaklıktayken ANSI kılavuzundaki değeri aşabilir.

Medikal teşhislerde , manyetik rezonans görüntülerinde RF alanları statik ve yavaş şekilde değişen manyetik alanlarda birlikte kullanılır. Günümüzde kullanılan sistemler ; 6 dan 100

MHz' e kadar değişen frekanslarda çalıştırılırlar. Kanada, Almanya, İngiltere ve Amerika'daki cihazlarda hastalara uygulanan maruziyet doku oranları ANSI tarafından tavsiye edilenlere yakın tutulmaktadır.



14.RADYASYONUN SINIFLANDIRILMASI

Radyasyon sözcüğü madde içine nüfus edebilen ışınlar, yani girici ışınlar anlamına kullanılmıştır. Cinsleri ve kaynakları farklı olan ışınların yegane ortak yönü maddeye, bu arada insan vücuduna nüfus edilebilmektedir. Çeşitli radyasyonların giricilikleri farklıdır. Fakat belli bir radyasyon türü için giricilik enerji ile ilgili bir özelliktir. Düşük enerjili ışınlar, örneğin görünür ışık girici değildir. Fakat X-ışını ve gamma ışını, özellikleri görünür ışıyla tamamen aynı olmakla beraber, giricilik yönüyle ondan ayrılırlar; zira enerjileri yüksek dalga boyları kısadır.

Radyasyonlar madde içine nüfuz edip cismi oluşturan atomları iyonlaştırması veya iyonlaştırmaması itibarıyla iki sınıfta incelenir.Bunlar;

a) İyonlaştırmayan Radyasyon (Elektromanyetik Radyasyonlar)

b) İyonlaştırıcı Radyasyon (nötron, proton,alfa,beta,beta tanecikleri,x ve gamma ışınları)

İyonlaştıran radyasyon, daha önce denildiği gibi tarif olarak, atom ve moleküllerden elektron koparabilen radyasyondur. Bu kopmanın mümkün olabilmesi için gerekli bir minimum kuantum enerjisi vardır. İnsan vücudunun çoğu sundan ibaret olduğundan dolayı, minimum enerji seviyesi su moleküllerine göre belirlenmektedir.

Değişik frekanslar bunun için 12 Ev ile 35 eV arasında değişen değerler vermektedir. Bu kıyaslama için gerçek değer önemli değildir. 12 eV, Ultraviyole spektrumundaki 1.03×10^{-7} m' lik dalga boyuna karşılık gelmektedir.

Radyo frekans (RF) seviyelerinde güvenlik için kullanılan en yüksek RF frekansı 300 GHz' dir ki 10^{-3} m dalga boyundadır ve radyo frekans spektrumundaki EHF bandında yer almaktadır. Diğer bir yönden hesaplamalar yapıldığı taktirde, 300 GHz' in 0.00125 eV enerjiye karşılık geldiği ve iyonlaşmaya sebebiyet vermek için çok küçük olduğu görülecektir. Bununla birlikte , radyo vericilerinde kullanılan yüksek besleme gerilimleri X ışınları şeklinde iyonlaştıran radyasyona sebebiyet vermektedir. Kesinlikle bilinmelidir ki, RF enerjisi iyonlaştırılan radyasyonu kapsamaz, fakat daha çok her iki enerji tipide (iyonlaştıran, iyonlaştırmayan) kullanılan aletlerde mevcuttur. Ve RF mühendis ve teknisyenleri tehlikelerin farkında olmalıdırlar. Birçok ülkelerde, tehlikeli yönlerinden dolayı , iyonlaştıran radyasyon , sınırlandırıcı önlemler altına alınmıştır.

14.1 Radyasyon Kaynakları

Radyasyon üreten çeşitli kaynaklar vardır. Elektronik cihazlar bunlardan biridir. Elektronik radyasyon kaynaklarının herkesçe bilinen bir örneği tıbbi ve endüstriyel röntgen cihazlarıdır. Bunlar yalnızca X-ışını üretirler. Hızlandırıcılar çeşitli büyüklük ve modelleriyle , her türlü radyasyon üretebilen elektronik sistemler ailesidir. Bu tür radyasyon kaynağının bir özelliği

sadece çalıştığı zaman yayın yapması, durduğu zaman, radyasyon tehlikesinin kalmamasıdır. Televizyon, içinde hızlandırılan elektronların görüntü oluşturmak için ekrana çarptıkları, bu arada zayıf da olsa X-ışınlarının üretildiği elektronik radyasyon kaynaklarının bir diğer örneğidir.

Radyasyonu hiç kesilmeyen kaynak radyoaktivitedir. Radyoaktiviteden , alfa, beta, gamma olmak üzere yalnızca üç tür radyasyon kaynaklanır. İnsanoğlu radyoaktivite denen temel fiziksel olayı etkileyememektedir. Radyoaktivite durdurulamaz, yavaşlatılamaz, hızlandırılmaz. Radyoaktif kaynakların , yani radyoizotopların yaydığı radyasyonun artık istenmediği zaman kesilememesi onlarla çalışmanın en büyük güçlüğünü oluşturur. Radyasyondan korunmak için yapılabilecek tek şey, onları radyasyon geçirmeyecek tek şey, onları radyasyon geçirmeyecek kadar kalın cidarlı kaplar içine koyup mümkün olduğu kadar insandan uzakta saklamaktır.

Radyasyonun bir diğer kaynağı , hiç şüphesiz, nükleer reaksiyonlardır. Fisyon(parçalanma), füzyon(birleşme) ve dönüşüm reaksiyonları sırasında çeşitli radyasyonlar ortaya çıkar. Reaksiyon durunca, doğrudan oluşan, radyasyonda durur. Fakat nükleer reaksiyonlar geride radyoaktif maddeler bırakırlar. İşte bunların salmakta olduğu radyasyon, nükleer reaksiyon durduktan sonra da devam eder. Nükleer reaktör, içinde bu gibi reaksiyonların cereyan ettiği makine olarak, çalışırken sahip olduğu çok büyük radyasyon tehlikesini, durduktan sonrada devam ettirir.

Bir radyasyon kaynağı da uzaydır., daha doğrusu, gök cisimleridir. Güneşin ve yıldızların korkunç büyüklükteki enerjilerinin nükleer reaksiyonlardan (esas itibarıyla füzyondan) kaynaklandığını biliyoruz.

Dolayısıyla onlardan uzaya ısı ve ışıkla birlikte nükleer reaksiyonlar da yayınlanır. Dünyamıza uzaydan ulaşan bu tür yayına kozmik radyasyon adı verilir. Kalın atmosfer tabakası radyasyonları soğurarak onların pek zayıflamış halde yer yüzüne ulaşmalarını sağlar. Fakat yükseklerde uçanlar veya astronotlar bu tür radyasyondan büyük ölçüde rahatsız olurlar.

14.2 İyonlaştırmayan Radyasyon(Elektromanyetik Radyasyon)

İyonlaştırmayan Radyasyon olarak da tanımlanan Elektromanyetik radyasyon, enerjinin boşlukta elektrik ve manyetik alanlar biçiminde yansımalarıdır. Bu grup içerisinde X-ışınlarından başka radyo dalgaları, ısı, ışık, kızıl ve mor ötesi, ışınları ile gamma ışınları sayılabilir. Elektromanyetik ışınların oldukça karmaşık ve değişken özelliklerini tanımlayabilmek ve Elektromanyetik radyasyon dalga ve tanecik özellikleri şeklinde iki ayrı görüşle açıklanır.

14.2.1 Elektromanyetik radyasyonun (EM) dalga özelliği

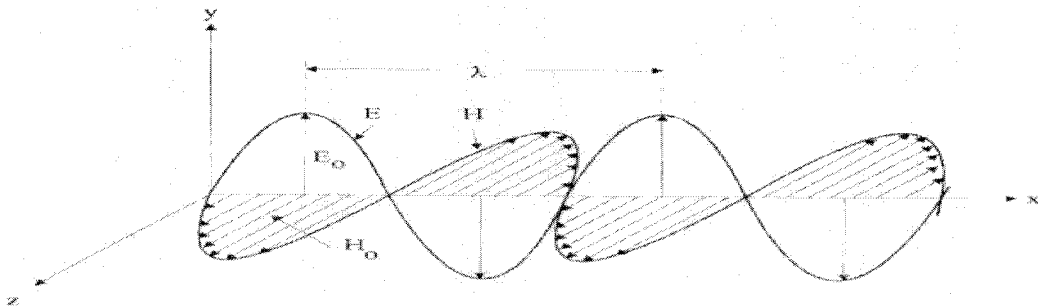
Elektromanyetik radyasyon boşlukta dalgalar biçiminde yayılırlar. Bir parça ipin bir ucunu ritmik biçimde yukarı ve aşağı doğru hareket ettirsek, bu ip boyunca dalgalı bir hareketin yayıldığını görebiliriz. Yakından bildiğimiz pek çok dalgalı yayılım için (ses,hava,su ,vücut dokuları içindeki yayılım) mutlak bir ortama gerek vardır.Oysa elektromagnetik dalgalar, boşlukta yayılabilir ve bir ortama gereksinimleri yoktur. Her tür dalganın bir dalga boyu ve frekansı vardır. Sinüs ritmi şeklinde dalga konvoyunda birbirini izleyen iki tepe noktası ve iki vadi arasındaki uzaklık ‘dalga boyu’ olarak tanımlanır ve Yunanca uzunluk sözcüğünün ilk harfi olan lamda (λ) ile gösterilir. Bir noktadan belli sürede geçen dalga sayısı ise ; ‘Frekans’ı gösterir. Hız ile frekans arasındaki ilişki $Hız = Frekans * Dalga Boyu$ ile ifade edilir.

Eğer bir dalganın frekansı dakikada 200 ve dalga boyu 4 cm ise , bu dalganın hızı 800 cm/dk olacaktır. Tüm elektromagnetik dalgalar boşlukta aynı hızla yayılırlar. Bu hız ışığın hızına eşit olup saniyede 300.000 kilometredir. ($3 \cdot 10^8$ metre/saniye). Bu nedenle hız dalga boyu ve frekans arasındaki ilişki:

$$C = \lambda * f$$

Buradaki ilişkiye dayanarak şunu özetleyebiliriz. Tüm Elektromanyetik radyasyon tiplerinde hız aynı olduğundan, bu ışınların frekansları dalga boyları ile ters orantılıdır. Elektromanyetik spektrumdaki tüm ışınlar temelde birbirinden dalga boyları ile ayırt edilirler. Bir radyo dalgasının boyu 3 km ‘yi bulurken, radyodiyagonastikle kullanılan X-ışınlarının dalga boyları sadece 1/2.500.000 cm kadardır. X-ışınlarının dalga boyları çok küçük olduğu için Angström (A_0) ile gösterilir: Bir Angström bir metrenin on milyonda biri kadardır. (10^{-10} metre).

Radyodiyagonastikle kullanılan X-ışınları dalga boyları 1-0.1 A_0 arasındadır. Bir elektromagnetik ışının dalga boyu , o ışının madde ile nasıl bir tepkimeye gireceğini gösterir. Örneğin X- ışınları çok kısa dalga boyları nedeni ile insan retinası tarafından algılanamaz, buna karşın 7000 A_0 dalga boyundaki elektromagnetik ışın demeti insan retinasında kırmızı, 4000 A_0 dalga boyundaki olan ise mavi renkte algılanır.



Şekil 14.1 Elektromanyetik radyasyonun sinüzoidal dalga özelliği

Elektromanyetik ışınların dalgalar biçimindeki yayılımları pek çok fizik olayı açıklarsa da, bu dalga olmanın özelliklerinin tümünü ortaya koymaz. Bu nedenle tanecik özelliği üzerinde de durmak gerekir. (Moulder, 2001)

14.2.2 Elektromanyetik radyasyonun tanecik özelliği

X-ışınları gibi kısa dalda boylu elektromagnetik dalgalar madde ile karşılaştırıldıklarında, dalga olmaktan çok partükülmüş gibi tepki görür ve gösterirler. Gerçekte bu dalgalar enerji demetleri olup “kuantum” veya “foton” adını alırlar. Fotonlar ışık hızı ile hareket ederler. Her bir foton tarafından taşınan enerji, bu radyasyonun frekansına bağlıdır. Örneğin frekans iki katına yükseltirirse foton enerjisi de iki katı kadar artacaktır. Fotonun taşıdığı gerçek enerji miktarı frekans ile Plank sabitinin çarpımı ile bulunabileceği gösterilmiştir. Plank sabiti deneysel olarak $4.13 \cdot 10^{-18}$ keVsaniye olarak bulunmuştur. Tüm özellikleri ile birlikte ele aldığımızda, elektromanyetik radyasyonun bazen dalga bazen de partikül biçiminde ikili bir nitelik gösterdiği ortaya çıkar. Partikül kavramı radyasyon ile madde arasındaki tepkimeleri tanımlamak için kullanılır.

Çizelge 14.1 İyonlaştırıcı Radyasyon kaynakları ve Yaydıkları radyasyon Seviyeleri

Doğal Kaynaklar	Toplam Seviye(m rem/yıl)
Vücut Dışından Kozmik Radyasyon	28
Vücut Dışından Yeryüzündeki radyoaktif maddeler	26
Vücut Dışından Yapı Malzemeleri	3.0
Yapay Kaynaklar	
Tıbbi İşlemler Nükleer tıp	4
Tıbbi İşlemler Radyoterapi	?
Tıbbi İşlemler Radyoterapi(x-)	20
Nükleer Güç	?
Endüstri Uygulamaları	0.01
Radyoaktif Serpinti	4

Foton enerjisini tanımlamak için kullanılan birim “elektron volt” tur. eV .Bir elektron volt, bir elektrona 1 Voltluk bir gerilim farkı kazandıran enerji miktarıdır. Bu çok küçük bir değer olduğundan 1000 eV a eşit olan kilo-elektron volt (keV) birim olarak kullanılır. X-ışınları dalga boylarından çok enerji açısından ele alacak olmamıza rağmen , dalga boyu ile enerji arasındaki ilişkiyi kısaca tanımlayalım:

$$E = 12.4 / \lambda$$

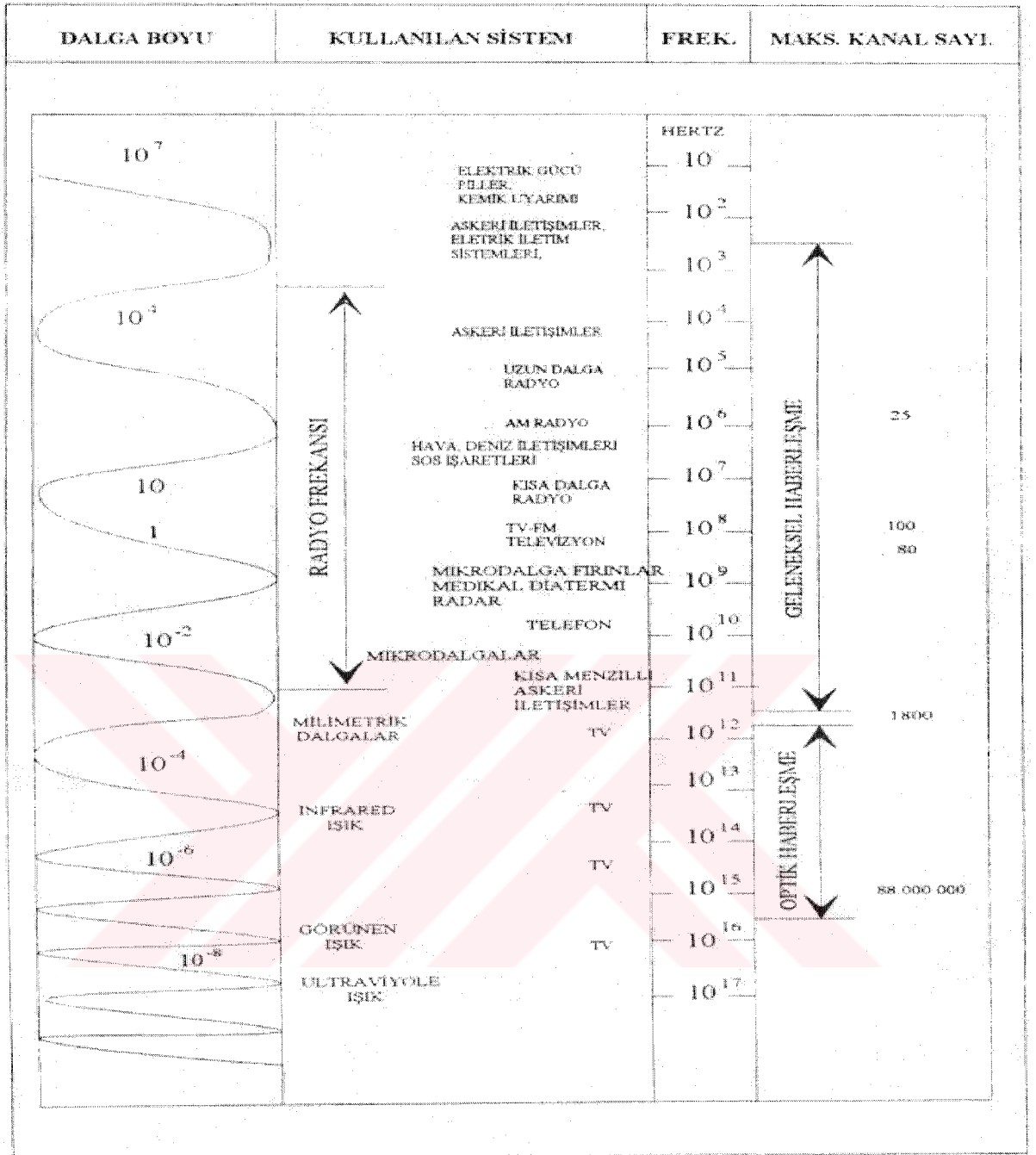
Burada E (keV) biriminde enerjiyi, 1 ise Angström biriminde dalga boyunu göstermektedir.

Buna göre X-ışınının dalga boyu büyüdükçe enerjisi azalacaktır. Eğer bir fotonun enerjisi 15 eV veya daha fazla ise, bu foton atom ve molekülleri iyonlaştırabilir. Bu tür fotonlar iyonlaştırıcı radyasyon adını alırlar. X ve gamma ışınları ile bazı morötesi ışınlar iyonize edici nitelik gösterirler.

Elektromanyetik (E.M) spektrumu oluşturan tüm Radyasyonlar (X ve y ışınları hariç) iyonlaştırmayan radyasyon türüne girer. En yüksek radyo frekans (RF) dalgalarının bile bir kuantumluk enerjileri herhangi bir maddenin iyonlaşma potansiyelinden çok daha aşağıdadır. Ancak bu durum iyonlaştırmayan radyasyonun etki yapmayacağı anlamına gelmez. Uygun dönme ve titreme modlarının uyarılması RF dalgalarının verebileceği çok küçük enerjilerle de oluşabilmektedir. Bu nedenle yoğunlaşma potansiyelinin çok altındaki seviyede doku ısınması, depolarizasyon, mekanik gerilme, dielektrik doyma gibi birçok biyolojik etkileri söz konusu olabilir. UV ışık frekanslarını altındaki E.M dalgalar iyonlaştırmak. UV ve daha yüksek frekanslı dalgalar örneğin X, y ışınları iyonlaştırıcı radyasyonu oluşturur.

Çizelge 14.2 Bir Kuantumluk Elektromanyetik Radyasyonun Enerji Değerleri

Radyasyon İsmi	Frekans(Hz)	Dalga boyu(m)	Radyasyonun 1kuantumunun (Ev)Enerjisi
UHF TV	$7*10^8$	0.43	$2.8*10^{-6}$
Mikrodalga radar	10^{10}	$3*10^{-2}$	$4.12*10^5$
Milimetrik Dalga	$3*10^{11}$	$1*10^{-3}$	$1.24*10^{-3}$
Görünen ışık	$6*10^{14}$	$5*10^{-7}$	247
İyonlaşan UV	10^{16}	$3*10^{-8}$	41.2
Yumuşak X ışını	10^{18}	$3*10^{-10}$	4120
Girici X ışını	10^{23}	$3*10^{12}$	$4.12*10^5$



Şekil 14.2 Elektromanyetik Spektrum

14.3 İyonlaştırıcı Radyasyon(Nükleer Radyasyon)

İyonlaştırıcı ışınlar için nükleer radyasyon sözcüğü de kullanılır. Bu da söz konusu ışınların kaynağını hatırlatan bir isimlendirmedir. Yani atomun çekirdeğinden geldiklerini belirtir. Ancak bu isimlendirme amacımızı ifade de biraz kısa kalır. X-ışını çekirdekte gelmediği için aslında bir nükleer radyasyon değildir.

Adı geçen tüm radyasyonlara ortak bir isim olarak iyonlaştırıcı radyasyonlar da denir. X-ışını ve diğer bütün nükleer radyasyonların tek ortak yönü içinden geçtikleri maddesel ortamda

atomların elektronlarını kopararak onları iyonlaştırmalarıdır. Radyasyonun insan bünyesine Zararlı etkisinin nedeni de hücre içinde oluşturduğu iyonlaşmadır.

Nötron ve proton aynı büyüklükte iki nükleer parçacıktır. Birincisi elektrik yüksüz, fakat ikincisi (+) yüklüdür. Kütleleri alfanın dörtte biri kadardır. Aslında alfa parçacığı iki nötron ve iki protondan oluşur. Bütün atomların çekirdekleri bu iki temel yapı taşının değişik sayılarda bir araya gelmesinden meydana gelmiştir. Çeşitli nükleer reaksiyonlar sırasında çekirdekten kopan nötron ve protonlar insan sağlığı açısından en yetlikli radyasyon türlerinden ikisini oluştururlar. Özellikle nötron, elektrik yükü olmayışı nedeniyle, büyük malzeme derinliklerine nüfus eder. Metal cidarların ve beton duvarların nötronu tam durdurduğuna güvenilemez.

Hızlandırıcılarda yüksek enerjilere çıkarılmış bütün iyonlar iyonlaştırıcı radyasyon sayılırlar. hareketsiz iyonlara radyasyon denmez. Kütlelerine, elektrik yüklerine ve aldıkları hıza göre değişen derecelerde giricilik kazanırlar ve insan bünyesi için zararlı olurlar.

Alfa ve beta ışınları atomun çekirdeğinden kaynaklanırlar. Kelimenin gerçek anlamıyla nükleer radyasyondur ve belirli kütleleri olan maddesel taneciklerdir. Benzetmeyle söylersek, alfa parçacıkları bir top mermisi kadar ağırdır; buna karşın beta parçacıkları bir saçma parçası kadar hafiftir. Aslında alfa parçacığı helyum atomunun çekirdeğine, beta parçacığı elektrona denk kütlelerdir. Bu radyasyonlar aynı zamanda elektriksel yük taşırlar. Alfa parçacığı daima (+), hem (-) olanlar vardır. Kütleleri ve elektriksel yükleri nedeniyle bu tür radyasyonlar malzemeye daha az nüfuz edebilirler. Beta ışını insan vücuduna en çok 10mm kadar girebilir. Alfa ışınının nüfuziyeti ise sadece 45 mikron kadardır; yani deri dokusunun içinde kalır. Alfa ışını normal bir yazı kağıdını da geçemez. B ışını ise kağıdı zorlanarak geçebilir, fakat cam ve plastiğe en çok 5-7 mm kadar nüfuz edebilir. Betaı daha yoğun olan metallere nüfuziyeti ise pratik olarak sıfırdır. (Çerezci, 2000)

X ve gamma ışınları radyasyon denince akla ilk gelenlerdir. Temelde görülür ışıktan farklı değillerdir. Sadece daha yüksek enerjilidirler. Fotonlardan oluşan ve aynı zamanda dalgasal karakterde ışınlardır. Bu niteliklere sahip radyasyonlara elektromanyetik radyasyon isminin verildiği ve görülür-görünmez ışıklara radyo dalgalarını kapsadığını fizikten biliyoruz. X ve gamma ışınları da bu pek geniş radyasyon ailesinin yüksek enerjili (kısa dalga boylu) iki bireyidir. Aralarında mukayese edildiği zaman gamma ışını, genellikle, X-ışınından daha yüksek enerjili bir radyasyondur. Her ikisinin malzemeye giricilikleri fazladır. Bu nedenle tıbbi ve endüstriyel radyografide yaygın şekilde kullanılır. İnsan vücudunu, beton duvarı, kalın çelik cidarları katedip geçebilirler.

Çizelge 14.3 Radyasyonun Enerji Aralığı ve Dokuda Meydana Getirilen İyonlaştırıcı Parçacık

Radyasyon Adı	Enerji Aralığı(MeV)	Dokuda Meydana Getirilen İyonlaştırıcı Parçacık
1.Beta parçacığı	0.015-5	Elektron
2.Elektron demeti	2-20	Elektron
3.Gamma ışını	0.05-2.9	Elektron
4.X - ışını	0.01-0.4	Elektron
5.X - ışını	1-10	Elektron
6.X - ışını	10-30	Elektron
7.Hızlı nötron	0.1-10	Proton
8.Yavaş nötron	0.1 Ev	0.6 MeV Proton
9.Proton demeti	5-400	Proton
10.Alfa parçacığı	5-10	α parçacığı

Nükleer radyasyonların birim uzaklıktaki (cm) relatif iyonizasyon güçleri aşağıdaki gibi karşılaştırılabilir.

<u>Gamma</u>	<u>Beta</u>	<u>Alfa</u>
1	100	10000

Bu tabloya göre beta partikülünün nüfus etme, penetrasyon (giricilik) gücü alfa partikülüne göre yüz kez daha fazladır, ancak gamma radyasyonuna göre yüz kez daha azdır.

Lineer Enerji Transferi (LET): Radyasyonların biyolojik etkilerini açıklamak için kullanılan bu büyüklük, ortamın birim uzaklığında soğurulan, ortalama radyasyon enerjisini ifade eder ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

LET = Spesifik iyonizasyon(SI) * Bir iyon çifti oluşturmak için gerekli enerji

14.3.1 Spesifik iyonizasyon (SI)

Radyasyonun yolu üzerinde ve birim uzaklıkta oluşturduğu iyon çifti sayısıdır.(iyon çifti/cm).Havada bir iyon çifti oluşturmak için gerekli enerji 34 keV dir. Radyasyon enerjisi ortamdaki atomların uyarılması, eksitasyonu içinde sarf edilmelidir.

Radyasyonun sahip olduğu enerjiyi ilerlediği ortama transfer ederek ortamda gidebileceği ortalama yol uzunluğu, başka bir ifade ile erişme uzaklığı arasındaki bağıntıdan hesaplanabilir;

$$\text{Erişme Uzaklığı} = \frac{E(\text{RadyasyonunEnerjisi})}{LET}$$

Örneğin; MeV enerjili alfa partikülünün havadaki erişme uzaklığını hesaplayalım.

Bu yüksek enerjili alfa partikülünün havada oluşturduğu iyon çifti sayısı 60.000 olarak bilinmektedir. Bir iyon çifti oluşturmak için gerekli enerji 34 eV olduğuna göre Lineere enerji transferi;

$LET = 60.000 \text{ iyon çifti/ cm} * 34 \text{ eV/ iyon çifti} = 2.04 \text{ MeV/cm}$ (havada) bulunur. Ve bağıntıdan Erişme uzaklığı = 0.49 cm elde edilir.

10 keV – 10 MeV enerji arasındaki elektronların yumuşak dokularda lineere enerji transferi 0,2 – 2 keV/ mm arasında değişmektedir.

14.4 İnsan vücudunun İyonlaştırmayan Radyasyon Açısından Biyolojik Yapısı

Elektromanyetik dalgaların biyolojik canlılarda oluşturduğu zarar mertebelerini araştırılmasında; vücudun her bölgesinde yer alan ve organlarımızı kat kat çevreleyen dokuların elektriksel davranışlarının bilinmesi önemlidir. Dokuların bu özelliklerinden faydalananarak, elektromanyetik alanda bulunan bir canlının yutabileceği toplam enerji hesaplanabilir.

İnsan vücudu farklı özelliklere sahip çeşitli dokulardan, kemiklerden oluşan bir destekleyici iskelet ve deri denen dış bir zarftan oluşan karmaşık bir organizmadır. Bu dış zarf içinde vücudun direnci en düşük değeri yumuşak dokularda $100 \Omega - \text{cm}$ ve en yüksek değeri yağ dokularında $5000 \Omega - \text{cm}$ olmak üzere değişir. Diğer taraftan kan taşıyan ve tuzlu dahili sıvıları bulunan canlı gövdenin direnci yaklaşık olarak $100 \Omega - \text{cm}$, dielektrik kapasitesi 80 olan düzgün bir kütle varsayılabilir. Canlı dokuları kapsayan deri ise basit bir şekilde temsil edilecek olursa "dermis" adı verilen bir alt deri tabakasından ve "epidermis" adı verilen bir üst deri tabakasından oluşup vücudu çevre etkilerinden korumaya yarar. Alt- deri damar ve sinir ağları yanı sıra ter bezleri ve ter kanalları içermekle ve elektriksel özellikleri açısından diğer canlı damarsal dokulara benzemektedir. Epidermis olarak bilinen ve genelde kalınlığı 1mm'yi aşmayan üst-deri ile özellikle "stratum corneum" adını taşıyan en dış kapsamdaki ölü hücrelerden dolayı gövdenin canlı dokularına kıyasla çok farklı elektriksel davranış göstermektedir. İnsan vücudunun akıma karşı direnci daha ziyade deri üzerinde meydana gelir. Kuru deri direnci 10.000 ile 600.000 Ω , elden ayağa dahil vücut direnci 400 ile 600 Ω civarındadır.

Görüldüğü gibi diğer iletkenlerin aksine, insan vücudunun direnci tam olarak hesaplanamamaktadır ve ancak istatistiksel değerler cinsinden ifade edilebilmektedir. Ancak kesinlikle şu söylenebilir ki insan vücudunun direnci üst-deri direnci ile damarsal iç gövde dokularının direncinin toplamından oluşmaktadır.

Kısacası direnci sonlu olduğuna göre insan ve diğer canlıların vücudu elektrik akımlarını iletir. Elektrik akımı kalp üzerinden geçtiği takdirde 0.02 miliamper şiddetinde bir akım canlının ölümüne neden olabilir.

Elektrik tehlikeleri bakımından 42 Volt' a kadar olan gerilimlere emniyetli alçak gerilim, 42 ile 1000 V' a kadar olan gerilimlere alçak gerilim ve 1000 V' dan yukarı gerilimlere de yüksek gerilim denir.

Günümüzde elektrik güç iletimi genelde çok yüksek gerilimlerde havai hatlarda gerçekleşmektedir. Bu günkü teknoloji ile 345 kV' luk Yüksek gerilim iletim hatları gerçekleşmekte, ve yakın gelecek için 1000 kV' luk iletim hatları düşünülmektedir. Dolayısıyla iletim hatlarının altında toprak seviyesinde 5kV/m ile 12kV/m kadar olan elektrik alan şiddetleri, 15 Kv/m ile 20 kV/m değerlerine kadar artacağı söylenebilir.

Bir insan böyle bir alanın altına girdiği zaman, vücudunun düşük direncinden dolayı bu elektrik alanını biçim bozunumuna uğratar. Eğer kişi özel yalıtkanlığı olmayan ayakkabı giyiyorsa o zaman o kişinin vücudu bu elektrik alanının içinde topraklanmış bir elektrot gibi davranır.

Sağlık kurallarında elektrik alan şiddetinin eşik değeri 5Kv/M olarak belirlenmektedir. Daha düşük yoğunluktaki alanların etkileri (etkinin geçerli olduğu süre ne olursa olsun) önemli sayılmaz. Elektrik alan şiddetinin 5 kV/ m' den büyük olduğu bölgeye etkilenme bölgesi denir.

14.4.1 Biyolojik dokuların Elektriksek Özellikleri

vücut organlarını oluşturan Biyolojik malzemelerin özellikleri yüz yıldır çeşitli nedenlerle incelenmektedir. 1. dünya harbine kadar yapılan çalışmalarda dokuların elektriği ilettiği, direncin frekansla değiştiği, iletkenliğin iyon hareketinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Kas ve sinir dokularının elektriksel özellikleri bugün dokuların kapasitif özelliği olarak bilinen polarizasyon kavramı o yıllarda ortaya çıkmıştır. 1. dünya harbinden sonra dielektrik çalışmaları geniş frekans aralığında ve çeşitli malzemeler üzerinde yoğunlaşmıştır. 266 Hz-2 Mhz arasında kanın kapasite ve direnç özelliği incelenmiş ve ilk defa geniş frekans aralığında kompleks dokular için her iki bileşen ölçülmüştür. 1948 yılında Rajewsky ve Schwan tarafından 1 GHz frekansı civarında kan dokusunun kompleks dielektrik sabiti bulunmuştur.

1950-1960 yılları arasında, veziküller, organeller ve çeşitli dokuların DNA çözücülerini ve protein ihtiva eden birçok malzemelerin dielektrik özellikleri incelenmiştir.

Dokuların dielektrik özellikleri ; Elektromanyetik dalgaya maruziyet durumunda vücut içinde oluşan iç elektrik alanların hesaplanmasında ve EM enerjinin diagnostik ve terapatik gibi tıbbi uygulamalarının geliştirilmesinde , bu EM alanlarının muhtemel zararlarının incelenmesinde önemlidir. Biyolojik dokuların dielektrik özelliklerinin bilinmesi ayrıca, dışa işleme, tarımsal gayeler, çeşitli ürünlerin kurutulması gibi birçok EM enerjisinin uygulama alanlarının geliştirilmesinde önemli rol oynar. Teorik çalışmalar şeklinde başlatılan bu ilk çalışmalar bu gün bilgisayar kontrollü deneysel çalışmalarla desteklenerek, dokuların ve diğer kompleks yapıların dielektrik özelliklerinin anlaşılmasında büyük ilerleme olmuştur. Artık Megahertz altı frekanslardan Gigahertz frekanslara kadar dokuların dielektrik özellikleri bilinmektedir. Bu veriler iyonlaştırmayan ışıının biyolojik etkilerinin analizinde bir başlangıç noktası olmaktadır.

İletkenliği σ olan bir malzeme içinde E şiddetinde bir RMS elektrik alanı tarafından oluşturulan ısı σE^2 'dir. 100 Mhz' in üstünde dielektrik kayıp nedeniyle iletkenlik önemli bir artış gösterirken , düşük frekanslarda , hücre dışı ve hücre içi sıvılar arasından geçip giden iyonik iletim, iletkenliği en önemli katkıyı sağlar. İletkenliğin frekansla değişimi Kremers-Kronig bağıntısıyla, dielektrikteki değişimlere bağlanmasına rağmen , iletkenliği dielektrik karışım teorisindeki gibi ayrı bir şekilde ele almak daha yararlı bilgilerin elde edilmesini sağlar.

14.4.1.1 Çok Düşük Frekanslarda Dokuların Elektriksel Özellikleri

Çok düşük frekanslı elektrik alanlarının dokular üzerindeki etkisi; elektrik alanı – akım yoğunluğu ilişkisi; birbirine komşu farklı ortamların elektrik alanları ilişkisi ve dokuların makroskobik özelliklerinin bilinmesiyle anlaşılır.

Mikroskobik parametreler:

Mikroskobik bakımdan biyolojik yapıların elektriksel özellikleri hakkında en önemli bilgi; iletim ve deplasman akımlarından elde edilir. Harmonik alanlar için iki parametre kompleks iletkenlik ismiyle birleştirilerek

$$\sigma^+ = \sigma + j\omega\epsilon$$

şeklinde ifade edilir.

İletim ve deplasman akım yoğunluğu ile E arasındaki bağıntı

$$J = \sigma^+ E$$

şeklindedir.

Çok düşük frekanslarda, dokularda iletkenlikler hemen hemen frekanstan bağımsızdır. Elektriksel iletkenlik ise mühendislikle kullanılan malzemelere göre çok değişiklik gösterir. Tabloda görüldüğü gibi güç frekanslarında biyolojik dokuların kompleks iletkenliği yalnız gerçek kısmı ile gösterilir. Havanın iletkenliğinin gerçek kısmının 10^{-13} S/m 'dir. Saf kanal iletkenliğine sahip olması nedeniyle hava tam bir yalıtıcı gibi dönüşebilir. Alan-Akım yoğunluğu ilişkisini anlaşılmasında , iletkenliğin sanal, gerçek yada kompleks olması önemlidir.

Kan dokusundaki iletkenlik, süspanse olmuş hücre konsantrasyonundaki değişimle çok az değişir. Bu çeşit iletkenlik değişmesi kas ve salgı bezi dokularında %10, akciğer dokularında %2- %3' lük bir değerdedir. Yağ dokularında iletkenlik çoğunlukla su oranına bağlıdır. Ve %2-%3' lük bir değişme gösterebilmektedir. Gözenekli kemiğin iletkenliği, katı kortikal kemiği göre daha fazladır. Kas ve kemik gibi dokular 100 Hz' in altında anizotropik özellik gösterir. 60 Hz frekansının biraz üstünde ki frekanslarda deri iletkenliğinin yağ dokusuyla karşılaştıracak bir değerde olduğu gözlenmiştir. Derinin en dış yüzeyi akım geçişine karşı yüksek bir direnç gösterir ve bu direncin büyüklüğü deri yüzeyini nem miktarına bağlıdır.

Çizelge 14.4 Çok Düşük Frekanslarda (50 Hz) Çeşitli Doku Örneklerinin İletkenlik Değerleri

Doku İsmi	İletkenlik Gerçel	İletkenlik Sanal
Kan	0.7	<0.001
Kas	0.1	0.004
Karaciğer	0.1	0.004
Akciğer	0.1	0.003
Yağ	0.03	0.0003
Kemik	0.01	0.001

14.4.1.1.1 Mikroskobik Doku Modelleri

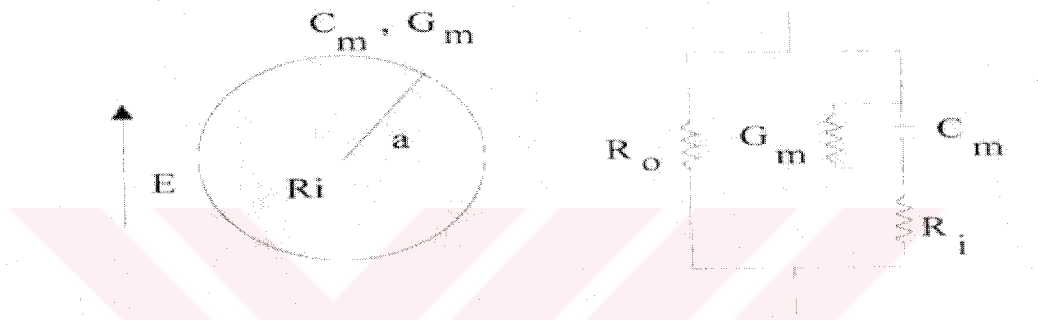
Mikroskobik seviyede tüm dokular hücre ve hücre dışı sıvılardan oluşmuştur. Hücreler elektriksel bakımdan iki farklı elemandan oluşmuştur. Bunlar dışta yalıtkan özellikli membran ve içte sıvı gibi yüksek iletkenlikli sitoplazma ve çekirdektir. Membranın varlığından dolayı hücreler yalıtılmış olup 50 Hz' lik dış alanın doku içine indüklediği tüm akım hücreler arasında akar.

Doku özelliklerini elektriksel bakımdan yansıtan eşdeğer bir devre aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. C_m kapasiteli membran ve R_i dirençli sitoplazma seri bağlı iki eleman oluşur.

Membranın yalıtkan kısmının kalınlığı 10nm'den daha az olması nedeniyle kapasitesi çok küçüktür. Biyolojik dokuların tüm membranlarında kapasite hemen hemen 0.01

F/m^2 civarındadır. Çok düşük frekanslarda , membran empedansı hücre özünden çok büyük olup, R_i sitoplazma direnci ile birlikte oluşturdukları seri bağlı kombinasyon hücreyi çevreleyen sıvının R_o direncinden daha büyüktür.

Hücre dışı sıvının iletkenliği iyon konsantrasyonundan bulunabilir. Bu konsantrasyon memelilerin dokuları için çok sınırlı bir aralıkta ayarlanabilir. Böylece bir dokunun R_o büyüklüğü dokudaki hücre dışı sıvının ayırt edilmesiyle bulunur. Kas, beyin ve bez dokuları gibi yüksek oranda su bulunduran dokularda ise R_o direnci yüksek, doku iletkenlikleri düşüktür. Yağ dokusunun hücre dışı su oranı çok değişken olmasına rağmen iletkenliği kas, beyin ve bez dokularınkinden daha düşük olacağı şekilde bir davranış gösterir.



Şekil 14.3 Elektriksel bakımdan doku elemanlarının görünüşü

Elektriksel bakımdan doku elemanlarının görünüşü. Hücre; Membran C_m kapasitesi ve R_i sitoplazma direnci ile seri bağlı olarak modellenmiş olup hücre içi sıvı R_o ile gösterilmektedir.

Doku dielektrik sabitleri, havadan çok daha büyük olup dikkati çekecek bir değerdedir. Bu hücre seviyesinde homojen olmayan doku yapısının özel bir sonucudur. Yukarıdaki durum kapasitif olarak görünmektedir.

Membran hücre çapına göre çok az yer kapsar. Membranın ince olmasıyla kapasitesi $C_m = \epsilon_m / t$ formülünden dolayı çok büyük olur. Burada ϵ_m , membran malzemesinin dielektriği , t membran kalınlığını göstermektedir. Bu durumda hücrenin kapsamış olduğu hacim, çok büyük kapasiteye sahip olur. Hücre dışından bakıldığında bu kapasitenin kaynağı ayırt edilemez. Eğer homojen malzemeden oluşsaydı dielektriği C_m/d olurdu. Burada d hücre boyutunu göstermektedir. Dolayısıyla hücrenin efektif homojen dielektrik sabiti hücre membranındaki yalıtkan malzemenin gerçek dielektrik sabitinden g/t oranı kadar büyüktür. Bu yolla dokunun gözlenen dielektriği, onların homojen yapılarının dielektrik sabitinden 1000 kat daha büyük olabileceği anlaşılır. Çok düşük frekanslarda biyolojik malzemelerin dielektriklerini etkileyen diğer bazı faktörler bulunmakla beraber, iletkenliğin gerçek kısmı , dokuların elektriksel olması nedeniyle, başka bir ayrıntı verilmeyecektir.

Dokuların homojen olmayan yapıları, hücre membranlarında indüklenmiş Elektromanyetik alanların büyümesine yol açar. Membran empedansı sitoplazma direncinden çok büyük olduğu için hücre boyunca potansiyel düşmelerinin tamamı membran içinde olur. Hücre boyunca V potansiyeli yaklaşık Mikroskobik seviyededir. Membran içerisindeki alan; membran potansiyelinin kalınlığına bölümüyle bulunur. Bu nedenle membranın yalıtkan tabakasında indüklenen alan, Mikroskobik indüklenen alandan yaklaşık d/t oranı kadar büyük olur. Önceden de belirtildiği gibi bu oran vücut hücrelerinde 1000'e eşit olabilmektedir.

Mikroskobik bakımdan dokuların elektriksel özellikler üç noktada bilgi verir. Bunlar;

- Hücre elemanlarına yapılan direk etkiler; hücre içi alanların çok küçük olması nedeniyle çok farklıdır.
- İndüklenmiş akımın hemen hemen tamamı (alana göre yönelmiş uzun hücreler dışında) hücre dışı sıvı içinden geçer.
- Elektrik alanlarının , hücre dışı sıvı üzerine yaptıkları etki hakkında bilinen tek şey ısınmaya neden olacak büyüklükte olduğudur. Taşıma hatlarına maruz kalmanın sonucu olarak biyolojik dokularda oluşan alanlar biyolojik önemde ısı üretmeyecek kadar küçüktür. Eğer söz konusu etki varsa, indüklenen Mikroskobik alanın büyüklüğü hücrenin dış zarı bu etkinin görüldüğü yer olacaktır.

14.4.1.2 RF Frekansında Dokuların Elektriksel Özellikleri

14.4.1.2.1 Genel Gevşeme Teorisi

Dielektrik polarizasyon ,yüklerin yer değiştirmesinden kaynaklanır. Ve belirli bir zaman geçmesini gerektirir. Bu yüzden malzemenin; bir gerilim yükselmesine tepkisi , yüklerin yer değiştirmesinin hızına bağlı bazen fazla karışık bir süreç içinde oluşur. Bir basit polarizasyon, τ gevşeme zamanı ile karakterize edilen bir seri işlem gibi sürekli ileriye doğru gevşemedir. Bu zaman sabiti moleküler dipollerin kısmi yönelmesi için gerekli potansiyel ile

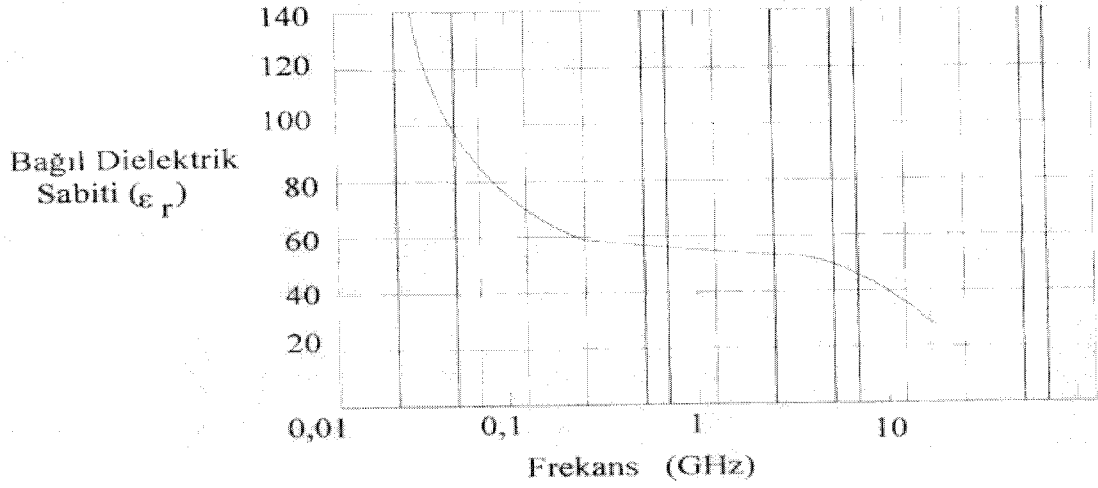
$$\frac{D(t)}{\epsilon_0 E} = \epsilon_\infty + (\epsilon_s - \epsilon_\infty)(1 - e^{-t/\tau})$$

şeklinde yazılır. Burada ϵ_∞ elektronik polarizebiliteden gelir. (∞ alt indisi polarizibilitayı gösterir)

14.4.1.2.2 Dielektrik sabiti ve İletkenlik

Kas dokuları v kalp, akciğer , böbrek gibi %70-%80 yüksek oranında su ihtiva eden dokuların dielektrik davranışı şekilde verilmiştir. Frekans arttıkça ϵ_r bağıl dielektrik sabiti

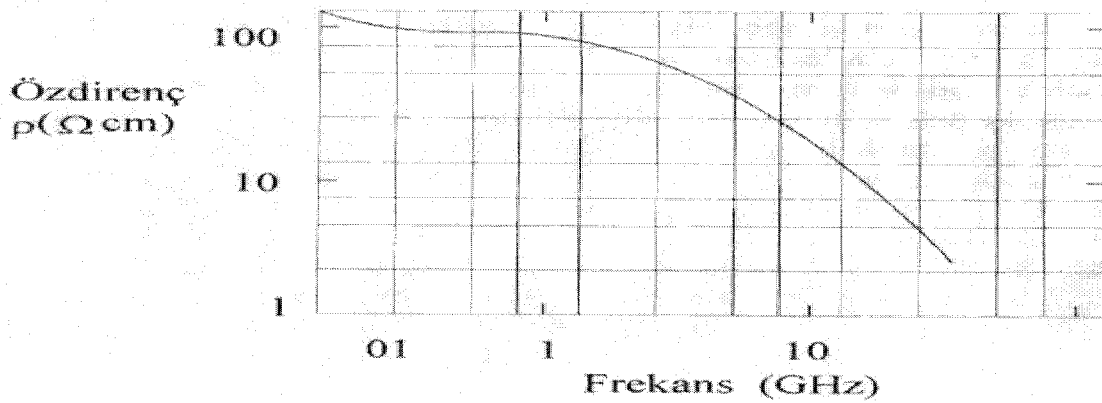
azalmakta, düşük frekanslarda artmaktadır. 0.1 GHz' de ϵ_r dielektrik sabiti çekecek derecede küçülmektedir. Bu yüzden yüksek frekanslarda ikinci eğimi biyolojik sistemlerin su bulundurduklarını ve suyun frekansa bağlı dielektrik özelliklerini yansıtır.



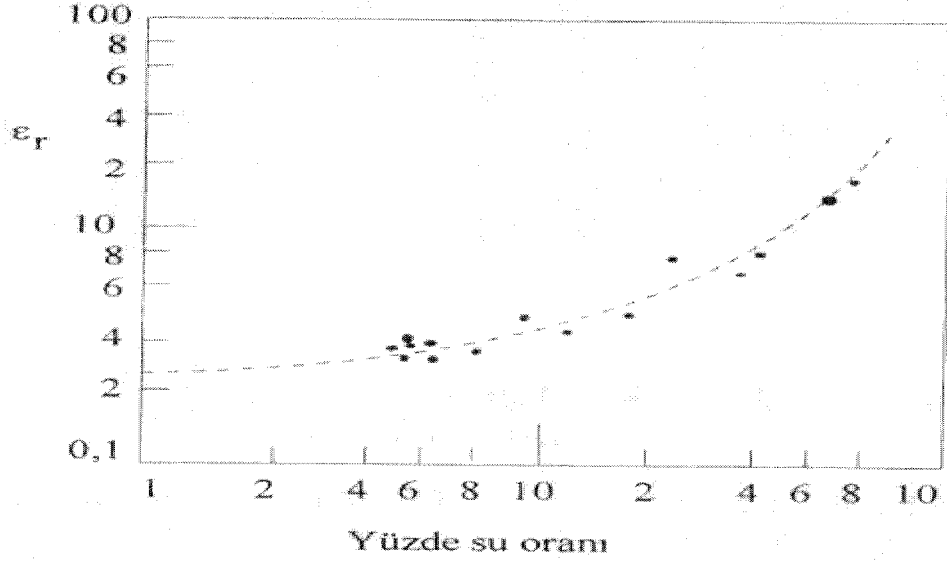
Şekil 14.4 Yüksek oranda su bulunduran insan dokusunun bağıl dielektrik sabitinin , ϵ_r , frekans ile değişimi

Aşağıdaki şekilde insan dokusunun öz direncinin frekansla ilişkisi gösterilmiştir. Yüksek oranda su bulunduran dokuların öz dirençleri düşük frekanslarda çok az değişir. 1 GHz' i aşan frekanslarda ise çok hızlı değişim gösterir. Bu hızlı değişme, suyun iletkenliğinin yüksek frekanslarda çok kuvvetli değişim göstermesinden kaynaklanır.

Çok az oranda su bulunduran yağ dokusunun dielektrik sabitinin su oranına bağlı olarak değişimi; (900 Mhz ve 25 C için) diğer şekilde görülmektedir. Su yüksek ve yağ ise düşük dielektriğe sahiptir. Deri altındaki yağ dokusunun su oranı değiştiği için yağın dielektrik sabitinde de bir değişme görülür.



Şekil 14.5 İnsan dokusunun öz direncinin frekans ile değişimi

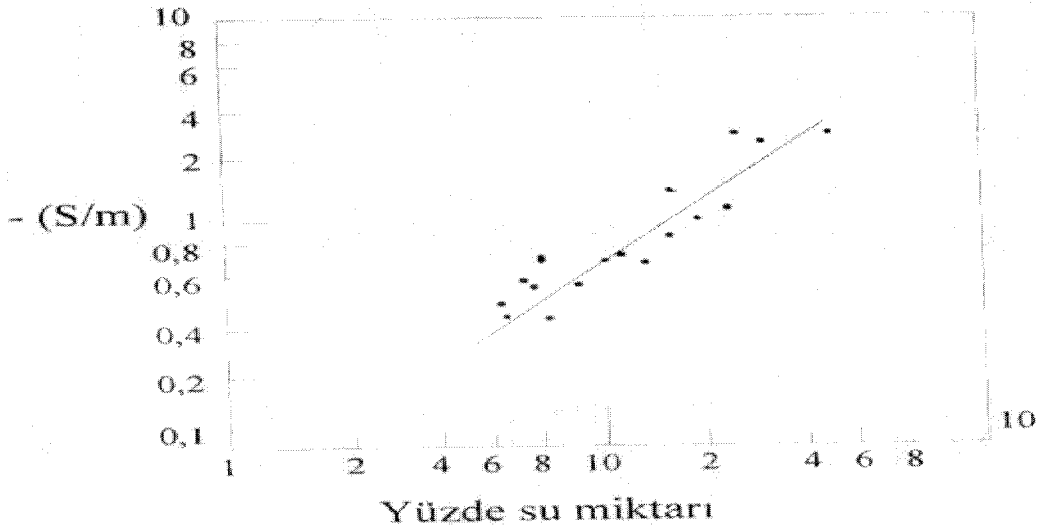


Şekil 14.6 Yağ dokusunda dielektrik sabitinin su oranıyla değişimi

Aynı özellikler iletkenlik içinde söz konusudur. σ iletkenliğinin su oranına göre değişimi mikrodalga frekanslar için aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Su muhtevası yüksek olan dokularda yüksek frekanstaki dielektrik sabitindeki azalma ve iletkenliğindeki artış hücre zarları boyunca görülen ara yüzey polarizasyonu sebebiyledir. Yaklaşık $1 \mu F / cm^2$ kapasiteli yüzey membranları akımın sadece hücre dışı ortamda akmasına sebep olarak bir yalıtım tabakası gibi davranır. Bu durum yüksek frekanslarda iletkenliğin azalmasını açıklar. Yeterince düşük frekanslarda dolma zaman sabiti membranın tek bir çevrim esnasında tamamen dolup boşalacağı kadar küçüktür.

Bu yüksek bir doku kapasitesini ve dolayısıyla yüksek bir dielektrik sabitini netice verir. Frekans arttıkça, hücrenin kapasitif reaktansı azalır ve hücre içi akımlar artarak dokunun toplam iletkenliğinde bir artış olur. Frekansın artması ayrıca dielektrik sabitinin de azalma meydana getirerek hücre zarının tam bir çevrim süresinde tamamen dolmasını engeller. Hücre zarını kapasitif reaktansı; 0.1 GHz ile 10 GHz frekans aralığında hücrenin kısa devre varsayılabilir olduğu kadar düşük olur. 100 MHz ile 1 GHz frekans aralığında ortam sıvısının iyon konsantrasyonu; dielektrik sabitini dispersiyonu üzerinde bir etkiye sahip değildir.



Şekil 14.7 Yağ dokusunda iletkenliğin su oranıyla değişimi (sıcaklık 25 °C ve frekans 900 MHz)

GHz' in yukarıdaki frekanslarda ϵ 'nin azalması σ 22GHz civarında bir gevşeme frekansına sahip su moleküllerinin polar özelliklerine bağlanabilir. Yüksek oranda su bulunduran dokuların özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Düşük su içeren dokuların dielektrik davranışı niceliksel olarak yüksek su muhtevalı dokularinkine benzer. Fakat ϵ dielektrik sabitinin ve σ iletkenliğinin değerleri bir merteye daha düşüktür ve kantitatif olarak da anlaşılmaz. Ayrıca düşük su muhtevalı dokularda da büyük varyasyonlar vardır. Su, yağa göre yüksek bir dielektrik sabite ve iletkenliğe sahip olduğundan dolayı, net doku dielektrik sabiti ve iletkenliği su muhtevastaki küçük değişimlerle birlikte önemli ölçüde değişecektir. Düşük oranda su bulunduran dokuların özellikleri verilmiştir ϵ ve σ değerleri sıcaklıkla da değişir. Mikrodalga bölgesinde ki dispersiyon hayli küçüktür, bu değişim

Çizelge 14.5 Mikrodalga bölgesindeki dispersiyon

Frekans(MHz)	Havadaki Dalga boyu(cm)	Dielektrik Sabiti ϵ	İletkenlik $\sigma(mho / m)$	Doku İçindeki Dalga boyu $\lambda_{H(cm)}$
1	30000	2000	0.400	436
10	3000	160	0.624	118
37617	1106	113	0.612	68.1
40.68	1106	97.3	0.693	51.3
100	300	71.7	0.889	27

200	150	56.5	1.28	16.6
300	100	54	1.37	11.9
433	69.3	53	1.43	8.76
750	40	52	1.54	5.34
915	32.8	51	1.60	4.46
1500	20	49	1.77	2.81
2450	12.2	47	2.21	1.76
3000	10	46	2.26	1.45
5000	6	44	3.92	0.89
5800	3.17	43.3	4.73	0.578
8000	3.75	40	7.65	0.578
10000	3	39.9	10.3	0.464

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 2\%/^{\circ}C$$

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = 0.5\%/^{\circ}C$$

orantıları ile verilir.

Mikrodalga frekanslardaki dielektrik sabiti ve öz direnç için yapılan bu açıklamalar matematiksel olarak aşağıdaki bağıntılarla ifade edilebilir;

$$\varepsilon_r = 5 + \frac{70 - V}{1 + (1.5/\lambda)^2} \quad \rho = \sigma_0 + \frac{70 - V}{60\lambda} \frac{(1.5/\lambda)^2}{1 + (1.5/\lambda)^2} \Omega\text{-cm burada}$$

λ = boşluktaki dalga boyunu (cm)

$V = 5$ makromoleküler bileşenlerin işgal ettiği hacim oranı

$\sigma_0 = 1/70$ mho/cm düşük frekans iletkenliğini gösterir.

Bu bağıntılar, kullanılarak; verilen bir dalga boyu için söz konusu dokunun makromolekül bileşenlerinin ağırlık oranından faydalanarak, dielektrik sabiti ve iletkenlik hesaplanabilir. Yukarıda verilen bağıntılar yüksek oranda su bulunduran dokular içinde geçerli olup ancak düşük oranda su bulunduran dokular için %10 daha iyi sonuç verir.

Çizelge 14.6 Frekansla birlikte elektriksel büyüklüklerdeki değişim

Frekans(MHz)	Havadaki Dalga boyu(cm)	Dielektrik Sabiti ϵ	İletkenlik $\sigma(mho/m)$	Doku İçindeki Dalga boyu $\lambda_L(cm)$
1	30000			
10	3000			
27.12	1106	20	10.9-43.2	241
40.68	738	14.6	12.6-52.8	187
100	300	7.45	19.1-75.9	106
200	150	5.95	25.8-94.2	59.7
300	100	5.7	31.5-107	41
433	69.3	5.6	37.9-118	28.8
750	40	5.6	49.8-138	16.8
915	32.8	5.6	55.5-147	13.7
1500	20	5.6	70.8-171	8.41
2450	12.2	5.5	96.4-213	5.21
3000	10	5.5	110-234	4.25
5000	6	5.5	162-309	2.63
5800	5.17	5.05	186-338	2.29
8000	3.75	4.7	225-431	1.73
10000	3	4.5	324-549	1.41

Mikrodalga frekanslarda su oranları farklı çeşitli dokuların elektriksel özelliklerini yukarıdaki tablolarda toplanmıştır. Yüksek oranda veya düşük oranda su ihtiva eden dokulardaki elektromanyetik dalganın boyunu gösteren $\lambda_{H,L}$ ifadesine dikkat edildiğinde, dalga boyunun dokularda yüksek dielektrik sabitine bağlı olarak önemli derecede azaldığı görülür. Su oranı yüksek dokularda azalma katsayısı 6.5 ile 8.5 arasında oldukça büyük bir değerde ve su oranı düşük dokularda ise ; 2 ile 2.5 arasında değişir. Dalga boyundaki böylesine büyük azalma , dokularda ısıya dönüşen büyük ölçekli bir enerji yutulmasına neden olur.

Görüldüğü gibi çok düşük ve çok yüksek frekanslı elektromagnetik dalgalara maruz kalan biyolojik dokuların elektriksel özelliklerinin frekansa bağlı olarak değişiminin önemli bir nedeninin dokulardaki su oranından ve membranın kapasitif yapısından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

15. GSM EKİPMANLARININ ÜRETTİĞİ ALANLAR

Bu ekipmanlara baktığımızda GSM mobil telefonları, baz istasyonları ve baz istasyon antenlerinin ürettiği alanlardır.

15.1 Cep Telefonlarının Ürettiği Alanlar

Bir telefondan RF gücü , anten ve telefondaki devre elemanlarıyla birlikte verilir. Anten genellikle telefonun üst kısmında bulunan birkaç cm uzunluğundaki metal bir çubuk veya metal bir helezondur. Bazı telefonlarda ise anten kısmı telefon içinde gizlenmiştir. Antenden 2.2 cm uzaklıktaki noktalarda elektrik alanın maksimum değeri 900 MHz ve 2W'lık bir telefon için 400 V/m, 1800 MHz ve 1W'lık bir telefon için 200 V/m ve her iki telefon için maksimum manyetik alan $1 \mu T$ olarak hesaplanmıştır. Yine her iki telefon için antenden 2.2 cm uzaktaki maksimum şiddet kabaca $200 W/m^2$ 'dir. (Bir telefonun yayının frekansı 1 milyon defa yada daha fazla küçük olmasına rağmen , bu değer yaz mevsimindeki güneş ışını şiddetinin $\frac{1}{4}$ 'ü kadardır.). Bunlar, anten baştan ve vücuttan uzak olduğu zaman , radyasyon vücudun içine girer fakat içerideki alanlar dışarıda ölçülen değerlerden çok küçüktür. Örneğin, anten baştan 1.4 cm uzaklıktayken baş içerisindeki en büyük maksimum alanların yukarıda verilen eşdeğerlerden 3 kere daha küçük olduğu hesaplanmıştır. (Ortalama alan değerlerinin hepsi daha önce açıklanan sebeplerden dolayı bu maksimum değerden küçüktür.). 8.34 Hz ve 217 Hz' de darbelendirilen RF alanları gibi, telefonun yanında da aynı frekanslarda salınan ve birkaç μT büyüklüğünde manyetik alanlar vardır. Bunlar pilden akar ve TDMA' nın bir sonucu olarak, bu frekanslarda kesilen ve akan akımlar tarafından üretilirler.

Salınan bu alanlar yaklaşık olarak, yeryüzü statik manyetik alanının ($50 \mu T$) $1/10$ 'u kadar yada daha azdır. Salınan elektrik alanların vücut dışındaki maksimum değerleri, yeryüzünün statik yüküne bağlı olarak oluşan dünya yüzeyindeki elektrik alandan birkaç kere daha büyüktür. Statik yükün yönü toprağa doğrudur ve iyi bir gündeki sabit değeri 100 V/m civarındadır.

Elektrik ve manyetik alanlar bir antenden Radyasyonun dalga boyu λ 'ya göre küçük olan uzaklıklarda (33.3cm 900 MHz' de, 16.7cm 1800 MHz' de) oldukça karmaşık şekillerde değişirler. Bir telefonun yanındaki alanlar ve şiddetler için doğru değerler elde etmede detaylı hesaplamalara ihtiyaç vardır. Burada verilen yaklaşık değerler, bu alanların büyüklüğünü göstermek amacıyla verilmiştir. Yukarıda verilen alan değerleri, anten baştan ve vücuttan çok uzak olduğu zaman belli bir anten için hesaplanan değerlerden alınmıştır. Yüzeyi antenden 1.4 cm uzakta bulunan bir baş içerisindeki elektrik alan E ' nin de en büyük değerleri

hesaplanmış ve 2 W yayan 900 MHz'lik bir anten için yaklaşık 120V/m, 1W yayan 1800 MHz'lik bir anten için yaklaşık 70V/m olarak bulunmuştur. Şiddet değeri

$I = \pi/4$ kabul edilerek elde edilmiştir. Yayılan bütün güç (P) $2\pi r l$ 'lik silindirik bir bölgeden geçmek zorundadır. Bu yüzden antenden r kadar uzaklıkta ortalama değer yaklaşık olarak $P/2\pi r l$ 'ye eşittir. P/I her ikisinde de aynı olduğundan , 900 ve 1800 MHz'lik GSM telefonlar için şiddetler eşittir. (Ericsson, 1997)

15.2 Baz İstasyonlarının Ürettiği Alanlar

Macrocell olarak servis veren baz istasyonu anteni; 10-30 m yüksekliğindeki direklere, binaların üzerindeki kısa direklere ve binaların yanlarına yerleştirilebilir. Her direkte 3 anten bulunur ve aralarındaki açı 120° 'dir. Gücün büyük bir kısmı, yaklaşık olarak yatay olan ve dikey yönde de 6° lik genişliği olan bir ışına odaklanır. Geri kalanı ise ana ışının her iki tarafına, zayıf ışın serilerine (yan loblar olarak adlandırılır) girer. Ana ışın aşağıya doğru hafifçe eğilir. Fakat direktten uzaklık en az 50 m olana kadar (Genellikle 50-200m) toprak seviyesine ulaşmaz.

Baz istasyonu antenlerinin gönderdiği güç, telefonların gönderdiği güçten çok daha büyüktür. Bu gücün sınırı RF parazitinden kaçınma gereğine göre konulmuş Ortak çalışma sonuçları olarak Radyo iletişim kurumunun verdiği izne göre belirlenmiştir. Bu , direk olarak toplam gücü sınırlandırmaz fakat dolaylı olarak bir antenin ana ışına verebileceği maksimum yoğunluğu belirler. Bu ise verilebilecek maksimum EIRP' nin (Equivalent Isotropically Radiated Power) tanımlamasıyla yapılır. EIRP, belirli bir şiddeti üretmek için bütün yönlerde eşit şekilde yayılan güçtür.

Gerçekte, daha öncede belirtildiği gibi, kullanılan antenler izotropik (eş yönlü) olmaktan çok uzaktır. (Ana ışına yayılan gücün büyük bir kısmı ile) ve EIRP' nin toplan çıkış gücüne oranı antenin kazancı olarak adlandırılır. 120° 'lik bir bölgenin anteni için kazanç genellikle 40 ile 60 arasındadır.

Verilen izne göre ,maksimum EIRP her frekans kanalı için 1500W'ta sınırlandırılmıştır. Bu da her kanaldaki 30W'lık yayılan toplam maksimum güce eşittir. (= EIRP/ Kazanç). Her antendeki kanalların sayısı da 1800 MHz için 16, 900 MHz için 10 olarak sınırlandırılmıştır.

Bununla beraber uygulamada kanalların sayısı 1800 MHz için 4'ten az, 900 MHz için ise 2 ile 4 arasındadır. Kanallardaki güç, 120 W' dan az olan maksimum yayılan güce eşittir. Ve sırasıyla 60 W ve 120 'tır. Benzer şekilde bir anten tarafından yayılan toplam güç, cihazın karakteristikleriyle sınırlandırılmıştır. Ve 70 W' ın biraz altındadır. Kullanılan kanalların sayısının ve dolayısıyla yayılan toplam gücün, resmi gerekliliklerinden çok (Gerçekte, çok daha büyük bir gücün yayılmasına izin verir.) teknik nedenlerle sınırlandırıldığının göz önünde

bulundurulması gerekir. Telefonu kullanırken zaman zaman maksimuma çıkmasına rağmen baz istasyonu tarafından verilen ortalama güç, maksimum güçten küçüktür. 120° lik bir bölüme 60W güç veren bir anteni taşıyan 10 m uzunluğunda bir direktan 50 m uzaklıktaki bir noktada, ana ışığın içerisindeki maksimum şiddet yaklaşık 100Mw/m^2 'dir. Bu da , 5 V/m ve $0.02\ \mu\text{T}$ olan elektrik ve manyetik alanlara eşittir. Ve yaklaşık olarak telefon anteninden 2.2 cm uzaklıktaki alanlardan 50-100 kere daha küçüktür.

Yan loblara yayılan güç nedeniyle, ana ışın dışında toprak üstündeki RF şiddeti sıfır değildir. Değeri antenin tasarımına bağlıdır. Fakat ana ışın içerisindeki değerinden çok fazla olamaz. Bu yüzden yukarıda verilen değerlerin , bir baz istasyonu etrafındaki toprakla bulunan alanların ve maksimum şiddetin kabul edilebilir göstergeler olması gerekir. Ancak, örneğin işçiler bakım için antene yaklaştığı zaman şiddet büyük ölçüde artacaktır.

Son yıllarda İngiliz NRPB kuruluşu tarafından baz istasyonları etrafındaki ortalama şiddetlerle ilgili kontroller yapılmaktadır. Bu baz istasyonlarından 8'i okulların çatısında, 4'ü direklerde, 5'i ve diğer binalara monte edilmiştir. Ölçümler, binaların içindeki değişik yerlerde, toprak seviyesinde ve halkın bulunduğu diğer yerleşim yerlerinde yapılmıştır.

Ölçülen şiddetler 0.01 ve 1 Mw/m^2 arasında çıkmış ve maksimum değerinin 10mW/m^2 'yi geçmediği saptanmıştır. Ölçümlerin çoğunun , direklerin yalnızca tek bir operatör tarafından kullanıldığı durumlar için yapıldığı da belirtilmelidir. Bir direğin birden fazla network operatörü tarafından kullanılması durumunda, ortalama şiddetlerin daha büyük olacağı düşünülmektedir.

Baz istasyonundan uzaklaşıldıkça şiddetin nasıl değiştiği konusunda USA' da çeşitli çalışmalar vardır. Bu tip çalışmalar bir çok dünya ülkesinde başlatılmıştır. Daha önce bahsettiğimiz NRPB' nin yaptığı çalışmada, radyo ve TV vericilerine bağlı olarak oluşan şiddetlerin ölçümüne de yer verilmiştir. Ancak tekrar belirtmek gerekir ki mobil telefon vericilerinin ve diğer RF kaynağının insanlar etkileme derecesini sağlıklı bir şekilde karşılaşılabileceğimiz sistematik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tip araştırmalar USA, İsveç' de birkaç yıldan beri yapılmaktadır. Hızla gelişen kablosuz telefon teknolojisine ayak uyduramamaktadır. Aslında bu, şu an halen kullanımda olan RF kaynaklarındaki büyük değişiklikler nedeniyle oluşan karmaşık bir problemdir.

P gücü bütün yönlerde eşit olarak yayılırsa r kadar uzaklıktaki alan şiddeti $P/4\pi r^2$ 'dir. (Güç $4\pi r^2$ 'lik küresel bir bölgeden geçer.) $P=60\text{W}$ yayan 10 m' lik bir direktan 50 m uzaklıktaki toprak üzerinde yaklaşık 2Mw/m^2 'dir. Kazancı 50 olan 120° lik bir bölge anteni için , ışının merkezindeki şiddet 100Mw/m^2 'ye çıkar. Bununla beraber , belirli bir uzaklıktaki şiddetin değeri ışının merkezinden en büyük olsa da , antenden uzaklık az olduğu için toprak üstündeki

şiddetin değeri merkezden birazcık uzaklıktaki açılarda biraz daha büyüktür. Şiddetin en büyük olduğu bölge , ana ışığın merkezinin toprağa değdiği nokta ile ışının en yakın kenarının toprağa değdiği nokta arasındaki bölgedir.

Mobil telefonlar ve baz istasyonları tarafından yayılan elektromagnetik dalgaların diğer iki özelliği de frekans spektrumları ve evre uyumluluk zamanlarıdır. Cep telefonundan yayılım bir frekansta olur, baz istasyonlarında ise birkaç özel frekansta olur. Her iki durumda da, dalgalar $4 \mu s$ civarında nispeten daha uzun evre uyumluluk zamanına sahiptirler.(Coherence time, faz modülasyonun sonucu olarak ortaya çıkan gelişigüzel faz değişiklikleri arasındaki ortalama zamandır. Bu özelliklerin her ikisi de , 100-1000 arası bir faktör kadar daha kısa evre uyumluluk zamanlarına sahip olan elektromagnetik dalgalardan ve geniş bir frekans spektrumundan oluşan Güneş'in yaydığı radyasyondan çok farklıdır.



16. SAĞLIK ÜZERİNE GENEL BİLGİLER

Bir çok ülkede meslek itibarıyla maruz kalan kişiler için Birçok araştırmalar yapılmıştır. Bunların içinde Moskova'da ki A.B.D kayıt bürosuna yöneltilen Sovyet mikrodalga ışıını özellikle ilgi çekmiştir. Işının doğrudan yolu üzerinde bulunan odaların transmisyon kuleleri yakınında yer seviyesinde bulunana göre daha yüksek bir RFR enerjisi göç yoğunluğu sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bir başka geniş araştırmada 20.000 askeri elektronik teknisyeni önemli RFR' a maruz kalmış olabilecekler dahil olmak üzere, diğer mesleklerden eşit sayıda personelle karşılaştırıldı ve maruziyet zamanları civarında uzun- dönem ölümcülük veya hastalanma oranlarında hiçbir farklılıklar görülmedi.

16.1 İnsan vücudunda RF radyasyonun oluşturduğu başlıca etkiler;

Elektromanyetik dalgalara kronik olarak maruz kalan RF ve UHF' li elektromanyetik dalgalarla çalışan personelde bazı şikayetlere rastlanmıştır.UHF Alanlarının insana vücudunda en önemli etkiyi vücudun dış yüzeylerinde olmaları nedeniyle göz ve üreme organları üzerine yapar. Ancak vücut yüzeyine çok yakın olmakla beraber iletken özelliklere sahip olan sinirler ve kardivasküler sistemler üzerine de etkide bulunurlar.

16.1.1 Termal etkiler

Biyolojik malzemede RF enerji soğurulmasının en iyi bilinen etkisi ısınmaya yol açmasıdır. En fazla ısı artışı vücudun dış yüzeyi olan deri üzerinde ortaya çıkar ve yerel yanmalar oluşabilir. vücudun derinliklerine gidildikçe sıcaklık düşer. Ancak uzun dalga radyasyonuna maruz kalmalar sonucunda kaslarda yüksek sıcaklık artışına neden olduğu anlaşılmıştır. İç organlar ve kan üzerinde de sıcaklık artışı görülür. 40-100mW/m² yoğunluklu alanlar uygulandığında kan damarları ciddi zarar görmekte ve bu nedenle iç organlarda kanamalar olmuştur. Bazı organların aşırı ısınmaksızın zarar görmeleri mümkündür. Bu olay özellikle boyut rezonansı olarak isimlendirilen organizmanın bazı bölümlerinde açıkça ortaya çıkar. Eğer elektromagnetik ışımaya maruz kalan cismin bazı parçalarının boyutu dalga boyu ile mukayese edilebilir büyüklükte ise bu bölgede duran dalga oluşabilmektedir. Ayrıca vücudun çeşitli bölgelerinde ameliyatla yerleştirilmiş metaller RF enerjisinin yoğunlaşmasına neden olabilmektedir. (Çerezci, 2000)

16.1.2 Göz Üzerine Etkiler

UHF alanlarında çalışan personel üzerinde önemli oranda göze zararlı etkiler gözlenmesine rağmen RF istasyonlarında çalışanlarda özellikle radar operatörlerinde bir göz zararı tespit

edilememiştir. Sovyet yazarlar, santimetre başına birkaç miliwatt mertebeli yoğunlukta, kronik ışıma, insan gözünde opacitie oluşturmaya yeteceği konusunda uyarıda bulunmaktadırlar. Bu gibi kimselerde ilk belirti, göz yorulması ve göz yaşarması, renkli ışığa karşı (özellikle mavi) duyarlılıkta azalma olarak ortaya çıkar. Santimetrik dalgalara kronik maruziyet dolayısıyla intramoleküler basınçta değişme gözlenmiştir.

Daha çok yoğunluklarda lenslerde ve anterior chamberdeki sıvıda c vitamini miktarında azalma gözlenmiştir. Akut katarat gelişmesi süresince , lenslerde adenosintriphospatase ve pyrophospatase aktivetisinde oldukça düşme görülür. Bu nedenle santimetrik dalgaların , terapatik uygulamasına ilişkin uyarılar , özellikle göz hastalıklarının bulunduğu yerlerde oldukça haklı bulunmaktadır.

16.1.3 Sinir Sistemi

RF alanlarında çalışan personelin şikayetleri özellikle sinir sistemi ile ilgilidir. Bu nedenle merkez sinir sistemindeki değişimle ilişkin oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Büyük ve küçük alan yoğunlarının her ikisi ile birlikte RF ve UHF alanlarının, merkez sinir sistemlerinin aktivitesi üzerinde etkisini araştırmak üzere yapılan klinik ve laboratuvar çalışmalarında , değişimler EEG ile tespit yapılmıştır. Çalışmalar uzun zaman periyotları içinde yapılmıştır. EEG incelemesi elektromanyetik dalgalardan dolayı oluşan CNS etkisinin araştırılmasına kolaylık sağlar. Düşük şiddeti RF ve UHF alanlarının asthenic tipte bir sendrom olarak bilinen değişimlere yol açar.

Şiddetli UHF ve RF alanlarında daha çok cardiovascular vegetative düzenlemede karışıklıklar şeklinde oluşan asthenic sendrom oluşur. On ve yüzlerce metre dalga boylu RF alanları tarafından sistemli olarak ışınlanan bireylerde düzensizde olsa fonksiyonel değişimler tanımlanmalıdır. Yapılan incelemelerde RF alanlarına maruz kalan kişilerin refleks aktivitelerinde değişimler olduğu görülmüştür. Beyin korteksinde ve ponlarda , beyincikteki sinir lifleri civarında kimyasal ve histolojik değişimler gibi sinirlerin dejenerasyonu gözlenmiştir.

16.1.4 Üreme İle İlgili Dokular

Göz ve sinir sistemlerinden başka, genital organlar RF alanlarına karşı çok duyarlıdır. Santimetrik dalga bölgesindeki yüksek alan yoğunluklarında fark edilir değişimler olur. Bu şiddetlerde başlıca etki üreme organlar üzerinde oluşan ısı etkisidir. Bu organlarda sıcaklık artışı (kadın ve erkek) morfolojik değişimlere neden olur ve muhtemel dejeneratif işlemler doğurur. Üreme organlarını besleyen kan damarlarının büzülmesi yada yumurtalık veya

testislerde direk zarar verebilir. Histolojik araştırmalar, çeşitli işlem fazında sperm oluşmasının kesildiğini (durakladığını) ortaya koymuştur. Bu morfolojik değişmeler üreme çevriminde , döl azalma, kısır-laşma ve dişi doğum sayısında artış olarak kendini gösterir. RF ışımasının hamile kadınlarda düşük oranında artmaya neden olduğu bilinmektedir. Literatür hamilelik başlangıcında kısa dalga diathermy tedavisi gören bir annenin fetusunda embryopathy durumu oluştuğunu bildirilmektedir. Çocuk doğduğunda normalden çok daha az kemikleşme eksikliği gibi anormallikler görölür.

16.1.5 Dolaşım Sistemi

Yüksek yoğunlukta RF alanlarına periyodik olarak maruziyet dolaşım sisteminde değişmelere yol açar. Kan dolaşımında bozulma özellikle maruziyet süresi ve şiddetiyle , kan basıncında değişme oluşturur. Başlangıçta kan basıncı hafifçe artar ve sonar düşer. Bu düşüş maruziyetten birkaç hafta geçse bile, devam edilebilir. Radar personeli üzerinde bu konuda negatif sonuçlar rapor edilmektedir. Nabız oranı değişebilir. vücudun maruz kalan bölümüne bağlı olarak nabız hızlanır veya yavaşlar. EKG’de cardiac aktivitede değişmeler gözlenmiştir. RF alanlarının kronik dolaşım sisteminin iletkenliğini azalttığı EKG ile tespit edilmiştir. Daha ileri bir gözlem olarak örneğin vasküler tonların salınımları gibi vasküler reaksiyonlardan sapmalardan bahsedilebilir.

Dolaşım fonksiyonlarındaki bahsedilen bu değişmeler , tekrar eski haline gelebilir özelliktedir, ancak diğer fonksiyonlar normale dönse bile EKG’deki değişme yine sürer.

16.1.6 RF alanlarının Diğer Organlara etkileri

Dolaşım sistemlerindeki etkinin nefes almada hızlanmaya bazen de gecikmeye neden olduğu gözlenmiştir. Böbrek, Böbrek üstü bezler. Karaciğer üzerine etkiler konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Böbrek tüplerinde filtrasyonda azalma, adrenal korteks aktivitesinde artış, hepetic hücrelerde dejenerasyon olduğu anlaşılmıştır. RF alanlarında çalışan personelde (özellikle kadınlarda); tiroid bezi büyümesi gözlenmiştir. Tiroid bezi ile ilgili çalışmalarda radyoaktif iyoda artış tespit edilmiştir.

Organizmada vücudun bazı bölümlerinin boyutları rezonansa yol açabilir. Bu durum organlarda kısmen incilme oluşturabilmektedir. Örneğin bağırsak investin nevrozlarında olduğu gibi.

RF ışıma kemik iliklerinde histolojik bir etki oluşurmaz. Işınlanan kemiklerde fosfor ve kalsiyumda değişme görölmüştür. Kronik ışınlamalarda kaslarda histolojik değişim gözlenmiştir. Daha yüksek şiddetlerde morfolojik değişimlerde oluşmaktadır. Bir defalık maruziyette hiçbir histolojik değişmeye rastlanmamıştır.

Ayrıca kalp bölgesinde ve kaslarda ağrı,sac dökülmesi, nefes alma zorluklarına da rastlanmıştır.Maruziyetten birkaç hafta geçince organizmanın orijinal psikolojik duruma döndüğü ve tüm şikayetlerin sona erdiği görülmüştür. Bu duruma regeneration denilir.

16.2 Sonuçlar ve Tavsiyeler

RFR' a insan maruziyetine dair mevcut data hemen hemen tamamen kontrolsüz gözlemlerden elde edilmiştir.Terapatik amaçlarla kontrollü maruziyetler kullanılmışsa da bu şartlar (genellikle vücudun sınırlı bir kısmının kısa sürelerle ve yoğun olarak maruziyeti) genel nüfusun yada özel meslek maruziyetlerinin açıklayıcısı değildir. Belirli şartlar altında müsaade edilebilir maruziyet seviyelerinin bir göstergesi olabilir.

Hemen bütün yayınlanmış epidemicyolojik çalışmalarda ve vaka raporlarında maruziyet şartları büyük ölçüde belirsiz veya tahminidir.Bu raporların yorumu üzerine en ciddi sınırlamalar RFR maruziyetinin gerçek güç seviyelerinin ve müddetlerinin delilsiz olmasından ileri gelmektedir.Bireylerin biyolojik ve davranışsal özelliklerini yanı sıra aralarında da etkileşebilen katlı çevresel faktörler genellikle yeterince göz önüne alınmamıştır.

Muhtemel RFR etkilerinin daha dikkatli analizlerini RFR' a meslek maruziyetleriyle ilgili çalışmalardan ileri gelmesi çok muhtemeldir, ancak böyle analizler bile birçok zorluklarla karşı karşıyadır. Mesela, kontrol gruplarının "yeterliliği" sıklıkla tartışmalıdır ve meslek maruziyetinin nicelendirilmesi son derece zordur. Bu ikinci husus bireyler maruziyetleri esnasında hareketli oldukları zaman ve stasyoner olmayan yada değişken tipli alanlara maruz kaldıkları zaman özellikle doğrudur.

Vücut sağlığı ve fonksiyonlardaki değişmelerin sadece bir faktörün varlığına yada yokluğuna bağlı olmayacağı akılda tutulmalıdır. Böyle olanlar , birbirlerini de etkileyebilen bireysel (veya bünyesel) ve çevresel karakteristikler tarafından geciktirilir, modifiye edilir veya şiddetlendirilir. Böylece fark edilebilir RFR etkileri, ispatlandığında vücut dengesi için (homeostaz) fizyolojik olarak mümkün olan yada olmayan ayarlamaların gerekip gerekmediğine bağlı olarak farklı sağlık emarelerine sahip olabilir. Şartlara bağlı olarak bir birey için yan etkisi olabilen bir şey bir başkasının faydasına olabilir.Hayvan deneylerinin insan etkilerine uyarlanmasıdaki güçlükler sebebiyle, ve yukarda bahsedilen zorluklara rağmen uygun korelatif veya mekanistik klinikal ve laboratuvar incelemelerde birlikte epidemiolojik çalışmalar, RFR maruziyetiyle ilgili muhtemel sağlık risklerini daha fazla anlayabilmemiz için gereklidir. Maruziyetlerin daha kesin ve tam ölçümleri için cihazların geliştirilmesi ve uygulanması özel öneme haizdir.Alan distorsiyonu olmadan yada tersinmez

doku uyarımına (indüklenen akımlar sebebiyle) sebep olmadan parazitsiz kayıtlar sağlanabilen alan şiddeti , elektrofizik ve termik problemler önemlidir.

16.3 Radyofrekanslı Alanların Biyolojik Etkileri

RF ışımaya maruziyetin araştırılması başta mesleki çalışanları olmak üzere, genel halk sağlığı açısından büyük önem taşır. RF dalgaları çevremizi kuşatmakta olup, kaynaklarının gittikçe artan biçimde kullanılması, maruziyet miktarının potansiyel seviyesinde bir artışa neden olmaktadır.

RF dalgaları , biyolojik sistemler üzerinde, oküler,lens, hücre artışları ve çoğunlukla nörolojik, nöroendoksin, hemotolojik, immunolojik ve kardiovasküler etkiler oluşturduğu bilinmektedir. RF dalgalarının oluşturduğu biyolojik etkilerin canlı organizma üstünde güvenilir bir sınırdan kalması için , insan hücre ve dokularını temsil eden matematiksel modeller ile çalışmalar yapılmaktadır. RF dalgalarının bilinen potansiyel biyolojik etkileri şu başlıklarla toplanabilir.

- a) Tek bir hücre veya hücre sistemlerine etkiler
 - Moleküler Etkiler
 - Hücre içi sistemler üzerine etkiler
 - Tek bir hücreye etkiler
- b) Genetik düzen ve gelişme üzerine etkiler
 - Genetik ve Mutajenik etkiler
 - Teratolojik etkiler
 - Büyüme ve gelişme etkileri
- c) Gelişmiş organ, doku veya hücre sistemleri üzerine etkiler
 - Testisler üzerine etkiler
 - Kardiak fonksiyona etkiler
 - Sinir sistemi ve davranış tepkileri üzerine etkiler
 - Hemotolojik etkiler
 - İmmünolojik etkiler
- d) Metabolizma ve düzenleme sistemleri üzerine etkiler
 - Klinik kimya ve metabolizma üzerine etkiler
 - Nöroendokrinolojik tepkiler

RF dalgalarının moleküler ve hücre altı sistemler seviyesinde etkisini araştırmak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Moleküler sistemler üzerine etkiler ısınmadan dolayı görülen

değişiklikler olup, genellikle elektromagnetik enerji soğurulmasının yüksek olduğu durumda ortaya çıkar. (Moulder, 2001)

Radyo frekans radyasyonun (RFR) biyo etkilerinin araştırılması çalışmalarında yüksek özgül soğurulma oranı ÖSO (SAR)' larda RFR' ye maruziyet testis dokularında hasara yol açabileceği anlaşılmıştır. Genel olarak ısınmaya yol açan RFR maruziyeti normal fizyolojik cevaplar olarak düşünülebilecek artmış solunum ve kalp hızına sebep olur. RFR' nin sinir sistemi ile etkileşmesi önemli bir ilgi alanı oluşturur. Kaydedilen etkilerden bazıları; elektroensefalogramdaki değişimler, nöroaktif protein seviyesindeki değişimler, kan-beyin bariyer gerginliğini, farmakolojik ajanlara cevaplardaki değişimler ve sinir dokularına morfolojik hasarlar şeklinde sayılabilir. Çevre şartları özellikle ortam sıcaklığı ve nemlilik RFR maruziyetini responsunu büyük ölçüde etkileyebilir. Farklı tüpten hücrelerin koloni oluşturmaları ya da sirkülasyondaki (yani periferik kan dolaşımı) hücre sayılarındaki değişimler ölçümlenmiştir. RFR' ın muhtemel biyolojik etkilerine dair en büyük ilgi immunolojik sistemin RFR' a karşı özel hassasiyeti olmuştur. IN vitro olarak maruz bırakılan insan lenfositleri RFR' ye karşı hassas olduğu söylenmektedir. Bunlar artmış spontön çoğalma(lenfoblastiktransformasyon) veya değişmiş mitojen veya antijen ile uyarılan çoğalmalardır.(Immun duyarlılığın yaygın olarak kullanılan bir ölçütüdür.)

RFR' a nöroendoksin cevapları başta fareler olmak üzere küçük hayvanlar kullanılarak genişlemesine incelenmiştir. RFR 'nin hipotalömo, hipofizer fonksiyon üzerine akut etkiler; genellikle artmış adrenokortikotrop hormon sekresyonu, azalmış tirotropik hormon sekresyonu ve azalmış büyüme hormonu sekresyonudur. Böyle hormonal değişimler hayvanlarda karakteristik ve non-spesifik bir stres reaksiyonu oluşturur. Hayvan soyunun seçimi, yaş ve çevre şartları RF ışımanın biyoetkileri hakkında yapılacak çalışmaları etkileyeceği bilinmektedir.

16.4 Etki Mekanizması

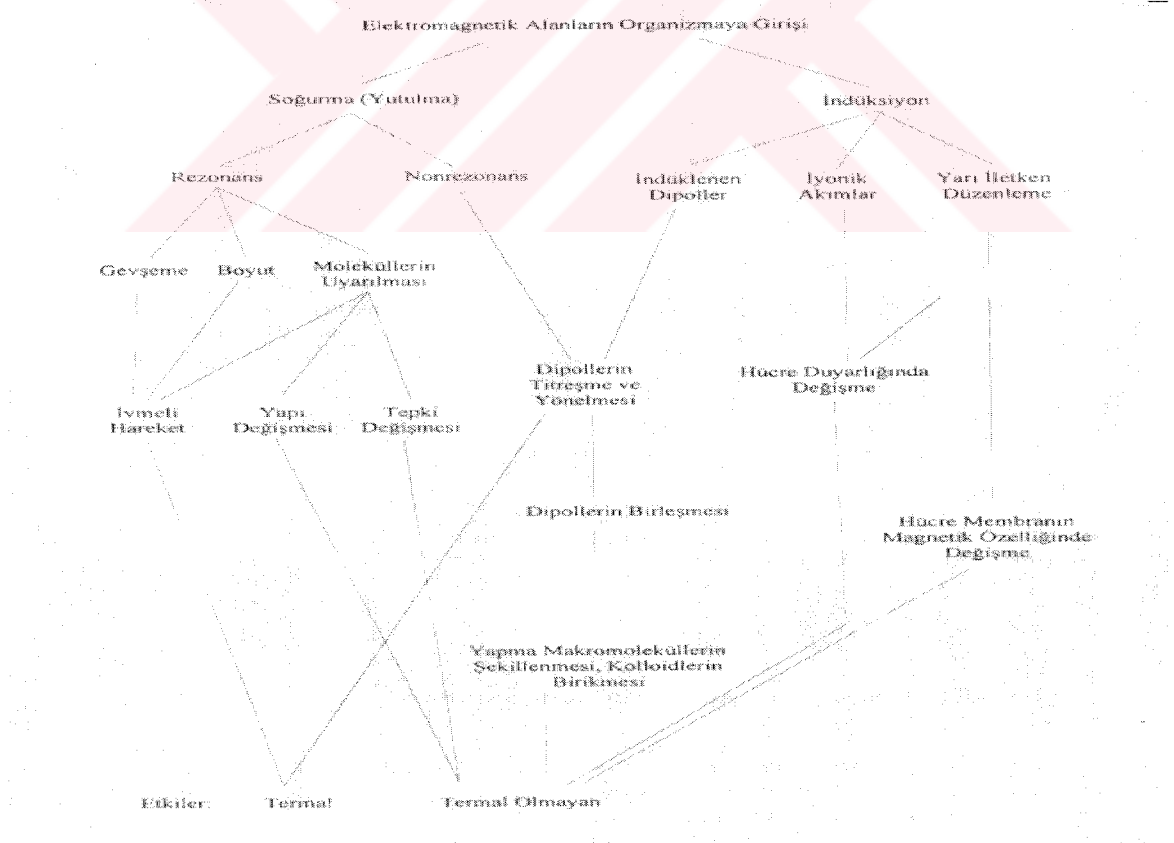
Elektromanyetik dalgaların etkilerinin bileşke mekanizması için düzgün bir açıklama yoktur. Bu durum aşağıdaki tabloda incelenerek anlaşılabilir. RF dalgalarının termal veya termal olmayan tipte iki etkisini ayırt etmek mümkündür. Elektromanyetik dalga ile ısınlanan cisimde, gelen dalganın alan şiddeti yeterince küçükse ısı oluşmaz. Termal etkiler, cismin elektromagnetik dalga ile etkileşmesinde, artan moleküler hareket ve sürtünmeden dolayı sistemde ısı artışından ortaya çıkar. İyon, moleküler dipol veya kolloid parçacıklardan oluşan elektrik yüklü parçacıklar değişen alanlarda daima hareket halindedir.Uygun şartlarda (İletkenlik, dielektrik sabiti, frekans alan şiddeti) ve organizmanın özgül yapısında; termal olmayan etkiler, termal etkilerden daha üstün bir şekilde olabilir.

RF enerjisi bir vücut yüzeyine çarptığında bir kısmı yansır bir kısmı vücut içinde soğurulur. Elektromanyetik dalga dokudan geçtikçe ortamın elektriksel özelliklerine bağlı olarak hızla değişir. Bu da dalga boyunda değişmeye neden olur.

Bir elektrik alanına yerleştirilen dipol alan etkisinde kalır. Eğer alan değişken ise , dipol alan etkisiyle salınmaya başlar. Daha fazla dipol moment salınımı, daha fazla enerjiyi gerektirir. Sonuç olarak bu ısı artışı doğurur. Frekans artışıyla, salınım oranı arttığı ve sürtünmeden dolayı oluşan kayıplar arttığı için aynı sonuçlar frekans artışında da oluşur. Birim hacimde (W/cm^3) tüketilen güç;

$$N_0 = 0.556 * f * E^2 * \epsilon_r * \tan d$$

İle verilir. ϵ_r dokunun ortalama dielektrik sabitini, $\tan d$ kayıp faktörünü, $f(MHz)$ biriminde frekansı, $E (Kv/cm)$ alan şiddetini göstermektedir. Bu nedenle ısınma frekans ve alan şiddeti ile artar. Ancak deneyler, frekansa bağımlılığın yukarıda belirtildiği kadar belirgin olmadığını sadece yüksek alan şiddetlerinde ayırt edici bir özellik olduğunu göstermektedir. Bu nedenle RF ' lı dalgaların organizmaya etkisi için " elektromagnetik indüksiyon" olayını düşünmek gerekir.



Şekil 16.1 Radyo frekanslı alanların biyolojik etkilerinin ayrıntılı mekanizması

Elektromanyetik alan organizma içinde iyonik akımlar üretir. Bu alanların hücre membranı civarında protein moleküllerini sonuç verebilecek iyon konsantrasyonunda artışa sebep olacağını ileri sürmüştür. Ayrıca iyon konsantrasyonunda artışa sebep olacağını ileri sürmüştür. Ayrıca iyon konsantrasyonundaki yeteri kadar büyük değişme hücrenin biyolojik karakteristiklerinde değişme oluşturacağı hususuna dikkatleri çekilmiştir. Yüklü parçacıkların üzerine elektrik alanlar etkidiğinde onları harekete zorlar. Bu da sistemde değişmeye yol açacaktır. Eğer alan kalkarsa belirli zaman sonra , sistemin eski halinde dönmesi gerekir. Bu ara süreye gevşeme süresi denir. Gevşeme süresi, partikül yüküne, ortam özelliklerine ve sıcaklığa bağlıdır. Bu ilişkiler;

$$\tau = \frac{Ra^3}{2kT}$$

ile ifade edilir. Burada R partikülünün sürtünme katsayısını, a iyonize atmosferini yarıçapını, k Boltzman sabitini, T mutlak sıcaklığı göstermektedir.

16.5 Karşılıklı etkileşimin termal mekanizması

EF enerjisinin vücut tarafından soğurulması doku sıcaklığında bir artışa neden olabilir. Moleküler fenomenin , RF enerjisinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle ilgisi vardır. Biyolojik dokular, α, β, γ dağılımından sorumlu üç güçlü dinlenme fenomeni gösterir. δ zayıf bir dağılım olarak bilinir. α dağılımından sorumlu moleküler fenomen , en az anlaşılmış olanıdır. β dağılımı ; membran gibi homojen olmayan yapılarla ilişkilidir. γ dağılımı; suyun gevşemesi ile ilgilidir. γ dağılımı ise bağlı suyun , aminoasitlerinin ve protein gruplarının gevşemesiyle sonuçlanır. Tüm biyolojik dokulardaki dağılım fenomenleri dielektrik özellikle açıklanır.

Termoregülatörler cevaplar nedeniyle insan vücudundaki RF enerjisinin depolanması sıcaklık artışına sebep olmayabilir. Vücuttaki RF enerjisinin termal enerjiye dönüşümünde beden sıcaklık dağıtma yeteneği aşıldığında vücut ısısında artış meydana gelir. Isının hücreleri öldürmesi gibi biyolojik etkilerin, zamanla oluşan sıcaklık profiline bağlı olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık ve biyolojik etki arasındaki ilişkiyi tanımlamak için termal doz kavramından faydalanılır. Termal doz, biyolojik bir son nokta ile ilgili olarak zaman – sıcaklık kavramından oluşturulmuş bir matematiksel bir ifadedir. Değişik zamanlarda ve değişik sıcaklıklarda “in vitro” içinde hayatta kalmış hücrelerden aşağıdaki şekilde gösterilen benzeri noktalar elde edilir. Bu şekil, 43 °C de bir kırılma göstermektedir. Eşdeğer biyolojik etki (hücre ölümü) için T sıcaklığı ve t zamanı arasındaki ilişki:

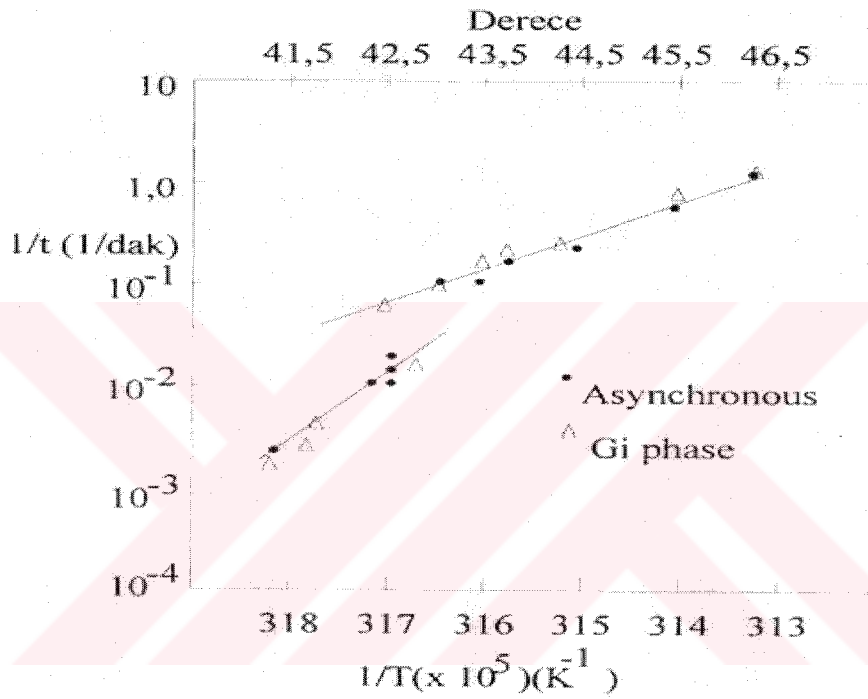
$$t_1 = t_2 R(T_1 - T_2)$$

Burada; 'R' inaktivasyon enerjisi, olup (ΔH (j/mol) ve mutlak sıcaklık 'T'nin fonksiyonu olarak hesaplanabilir.Şekilden

$$R = e^{-\Delta H / R(T^2 + T)} = e^{-\Delta H / 8T(T+1)}$$

lede edilir.Bu denklemdeki 8 sayısı, gaz sabiti için yapılmış bir yaklaşımdır.

Bu ilişki birçok "in vitro" ve "in vitro" verileriyle desteklenmektedir. Hücrelerin öldürülmesi için uygun referans sıcaklık değeri 43°C ' dir. Böylece termal doz 43°C ' deki ısıtmaya eşit dakikalarla ifade edilebilir. Yine bu referans değer özellikle , farklı seçilmiş bitiş noktaları için seçilebilir.



Şekil 16.2 Mutlak sıcaklığın fonksiyonu olarak zamanla ters orantılı değişen ısı inaktivasyon Arrhenius noktaları.

16.6 Karşılıklı Etkileşimin Termal Olmayan Mekanizması

Birkaç onluk MHz altındaki frekanslarda iyi anlaşılmış etkileşimin termal olmayan mekanizmasına göre; kas hücrelerini ve uyarılabilir sinir zarlarının içinden elektrik uyarımları geçer. RF alanları 1 MHz' in altındaki frekanslarda dokuyu uyarmak için yeterli akımları oluşturabilir. Uyarım için eşik akım yoğunlukları ve meydana getirilen RF alanlarının şiddetleri arasındaki tahmini ilişkiler mevcuttur.(100 Kv/m üzerinde elektrik alan şiddetine , 1.5 kA/m üzerinde manyetik alan şiddetine ihtiyaç vardır.)

Bazı deneysel sonuçlar şu şekilde özetlenebilir; Uyarım eşiğinin oldukça altında ve sıcaklıkta önemli değişiklikler yapmadan birtakım etkiler meydana gelebilir ve bu, moleküler seviyedeki termal olmayan mekanizmaya bağlanabilir.

Düşük seviyelerdeki deneysel sonuçlar, sürekli dalgalarda veya modüle edilmiş alanlarda davranış değişikliklerini de içermektedir. Bu değişikliği şöyle sıralayabiliriz.

Çok düşük frekansta modüle edilmiş dalgalara maruz bırakılan ‘in vitro’ daki beyin dokusunda kalsiyum akışında değişme

EEG dalgalarındaki değişmeler

Lymphocytes’ in öldürme yeteneğinin azalması

Fare spermalarında kromozom değişimleri

Hücre içi enzim hareketlerinde değişiklikler

Molluscan pacemaker nöronlarının yanma oranlarında değişiklik

16.7 Epidemiksel ve Modelleme Çalışmaları

16.7.1 Epidemiksel çalışmalar

Radyo frekans radyasyona (RFR)’ye maruziyetin sağlık üzerine etkilerine dair epidemolojik çalışmalarda; maruziyet tipi, ve şiddetini belirlemek için uygun bir kontrol grubu seçilerek ve çeşitli çevresel faktörler göz önüne alınarak objektif bulgular elde edilmeye çalışılır. Epidemolojik metotların bir konunun incelenmesine uygulanması için; etkinin tanımlanması ve nicelenmesi gerekir. Kontrol yani karşılaştırma durumu incelenen maruziyetin kendisi hariç diğer tüm karakteristikler bakımından maruziyet grubuyla karşılaştırılabilir olması gerekir. Ayrıca etki riskini hayli büyük ölçeklerle elde edilebilmek için; geniş bir kitlesel örnekleme yapılmalıdır.

RFR maruziyetine atfedilen objektif ve özellikle sübjektif şikayetlerin varlığını olduğu kadar sıklık ve şiddetini de tespit etmek zordur. Nihayet, eğer uygun maruz bırakılmış ve kontrol grupları belirlenirse, eğer maruziyetler tespit edilebilirse, eğer biyoetkileri bilinir ve ölçülür ve istatistiksel analizi yapılabilirse, ve eğer sağlık göstergeleri bilinebilirse, maruziyet güvenlik limitlerini tespit etmede faydalı olacak epidemolojik bir çalışma geliştirilebilir. Bu şekilde faydalı olabilmesi için, araştırma raporu sadece araştırmanın böyle kriterleri karşılayıp karşılamadığını değerlendirmek için gerekli bilgiyi vermekle kalmamalı, ayrıca RFR etkileri konusunda çıkarılan sonuçları etkileyebilecek olan etki tayini, ölçümler ve diğer faktörler bakımından herhangi muhtemel eğilimler de zikredilmelidir.

16.7.2 RFR epidemiojik incelemeler üzerine genel yorumlar

RFR maruziyetiyle ilgili epidemiojik çalışmalarda önemli bir problem maruziyet değerlendirilmesine ilişkindir. Yayınlanan birçok çalışmalarda frekans, modülasyon, güç yoğunluğu gibi maruziyetin temel unsurları hakkında dokümantasyon verilmektedir.

Sıklıkla, nüfus ‘‘maruz bırakılmamış’’ olarak açıklanmaktadır. Belirgin çalışma tasarımları, analizleri ve tartışmaları sıklıkla yoktur. Ayrıca popülasyon seçimleri kriterleri genellikle açıklanmamakla ve kontrol grupları da sıklıkla dahil edilmemekte veya yeterince belirtilmemektedir. Kontrol grupları zaman zaman açıklanmakta ancak bu uygun bir şekilde olmamaktadır. İklim ve sağlık durumu gibi yaygın karmaşıklıklaştırmacı değişkenlerin kontrolü genellikle düşünülmemektedir. Önemli sonuçları belgelemek veya elimine etmek için sıklıkla binlerce kişi üzerinde araştırma yapmak gerekir. Uygulanan istatistiksel metotlar sıklıkla açıklanmamakta, veya çalışma tasarımı için uygun olmayabilmekte ve nispi risk oranları vasıtasıyla birlikteliğin şiddeti ölçülememektedir.

Yayınlanan çalışmaların birçoğu minimum açıklamalı ve kesitsel örnekleme karakteridir. RFR maruziyeti ile ilgili epidemiojik çalışmaların ana sınırlayıcısı gerçekçi maruziyet seviyelerine anlaşılabilir patofizyolojik belirtilerin genellikle bulunmamasıdır.

Aralarında ve bireylerin şahsi özellikleriyle etkileşebilen çoklu çevresel faktörlerin değerlendirilmesi esastır. Eğer önemli demokratik sosyal ve sağlık özellikleri bakımından karşılaştırılabilir gruplar yeterince uzun zaman periyotları için makul ölçüde kontrollü karşılaştırmalar yapılabilirse, RFR maruziyetiyle ilgili muhtemel sağlık etkileri değerlendirilebilir. Epidemiojik çalışmalarda deneysel veya klinik araştırmalarda olduğu gibi belirleyici olarak kabul edilebilecek, pozitif veya negatif, bir tek çalışma nadiren mevcuttur.

17. DOZİMETRE(SAR)

Organizmaların RF alanlarına maruz kalması ve vücudun içerisindeki 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 etkileşiminin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan dosimetrik nicelik, vücut tarafından elektromanyetik radyasyondan soğurulan enerjidir. Bu enerji özgül soğurulma oranı, ÖSO(SAR),vücudun tümüne transfer edilen enerji oranı şeklinde tanımlanabilir.

$$(SAR)=\frac{d}{dt}\left(\frac{\Delta W}{\Delta m}\right)=\frac{d}{dt}\left(\frac{\Delta W}{\Delta V}\right)$$

$\Delta W = \Delta m$ kütlelerine transfer edilen enerji

$\Delta V = \Delta m$ kütlelerini de içeren hacim

$\rho =$ Yoğunluk

Sinüzoidal olarak değişiklik gösteren alanlar için, SAR elektrik alanının sabit olduğu bölgenin küçük bir miktarının içindedir.SAR' nin dokudaki iç elektrik alanı (E_{in})

$$SAR=\frac{\sigma E_{in}^2}{\rho}$$

$\sigma =$ Doku İletkenliği

$E_{in}^2 =$ Dokudaki elektrik alan büyüklüğünün karesidir.

SAR, kilogram başına düşen watt olarak tanımlanır.(W/kg ya da Mw/g şeklinde biçimlendirilir.)

Isı kayıpları ihmal edildiği takdirde sıcaklık artışının miktarı SAR ile doğru orantılıdır.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{SAR}{c}$$

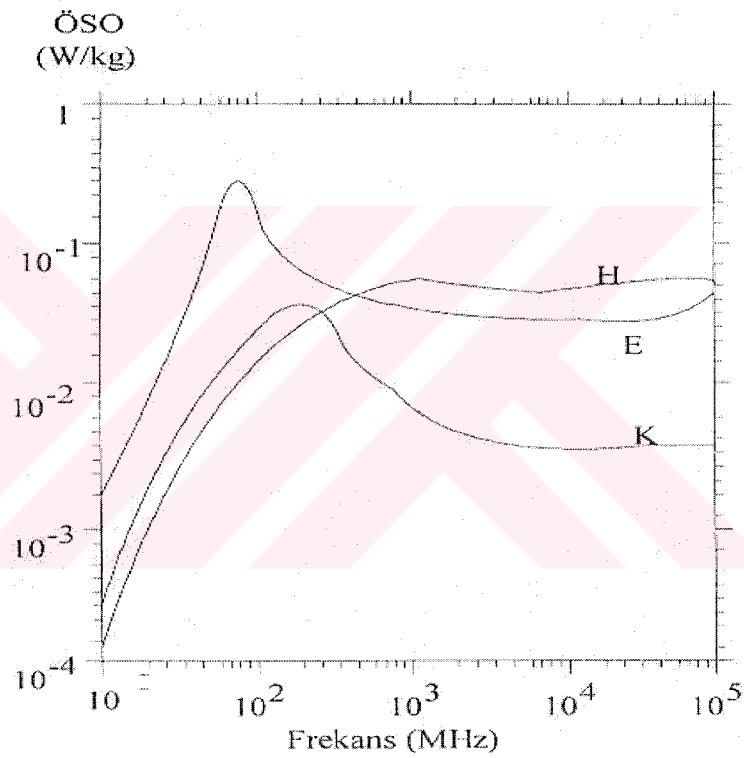
Burada T: sıcaklık derecesini, t: zamanı, c: ısı kapasitesini göstermektedir.

İki çeşit SAR vardır. Birincisi ortalama SAR genelde bütün vücut ortalamasıdır ve vücuda birim zamanda transfer edilen toplam enerjinin kütleyle oranı olarak tanımlanır. İkincisi ise bölgesel SAR, bu da küçük bir hacme karşılık gelir.

Uzak alan maruziyetlerinde SAR frekans ve polarizasyonun bir fonksiyonudur.Aşağıdaki şekilde $10W/m^2$ lik güç yoğunluğuna naiz bir uzak alanda kalmış ortalama bir adamın (1.75m boy- 70 kg ağırlık) küresel modele göre soğurduğu SAR frekans ilişkisi gösterilmektedir. Şekilde gösterilen E polarizasyonu, vücut eksenine paralel olan elektrik alanına, H polarizasyonu, vücut eksenine paralel manyetik alana ve K polarizasyonu da baştan ayak

ucuna kadar yayılan dalgaya karşılık gelir. Maksimum soğurma , E polarizasyonunda yaklaşık 70-80 MHz de gerçekleşir. Bu frekans rezonans frekans olarak tanımlanır.

Ayakta duran bir kişi için rezonans frekansı 30-40 MHz arasındadır. Bu durumda SAR iki kat artar. Ortalama SAR Diğer şekilde gösterildiği gibi , vücudun büyüklüğüne ve şekline bağlıdır. Bu şekil E polarizasyonu ve 10 W/m^2 güç yoğunluklu gelen dalga üç çeşit SAR eğrisini göstermektedir.vücut içinde oluşan SAR dağılımı düzensizdir. E polarizasyonlu uzak alanda bulunan insan modelinin bölgesel SAR değişimi gösterilmektedir. vücuda yakın tutulan dipol anteninden gelen radyasyon için SAR gösterilmiştir. Portatif dipol vericiler kullanımı sonucu yakın alanlarda maruz kalma durumunda bölgesel SAR' ın ortalama SAR' a oranı 200 kat kadar yüksek olabilmektedir.



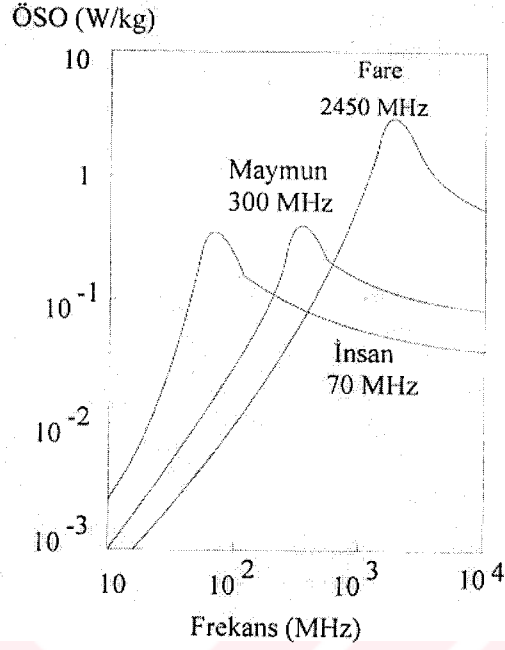
Şekil 17.1 ÖSO' nun frekans ile değişimi

10 W/m^2 lık güç yoğunluğundaki düzlem dalgaya maruz kalan normal bir adamın (1.75m, 70 kg) küresel modelinde ortalama soğurulma oranı.

Ortalama SAR hakkında dozimetrik veriler hayvanlar üzerinde gözlenen ve insanlar üzerinde olması beklenen etkilerin anlaşılması için çok faydalıdır.

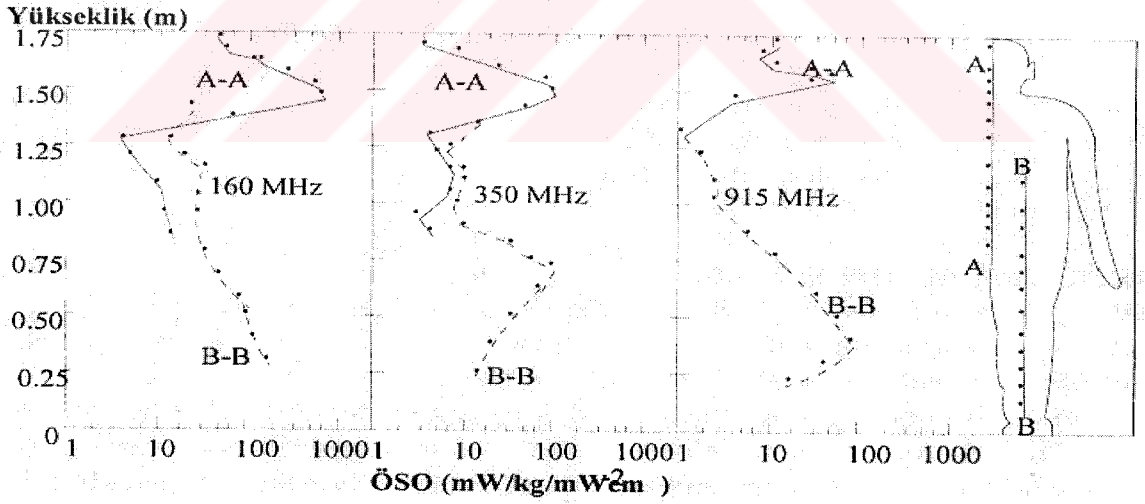
Mesela, bir fare ile bir insan 1GHz'e maruz kalırsa , faredeki ortalama SAR insanınkinden 10 kat daha büyüktür. Bundan dolayı, eğer bir fareye verilen bir güçte oluşan biyolojik bir etki gözlenebiliyorsa insanlarda aynı etkinin oluşabilmesi için daha yüksek bir güç yoğunluğu gerekir. 30 ile 300 MHz arasındaki frekanslarda baş ve gövdede bölgesel SAR oluşur. 50

MHz in altındaki frekanslarda RF zemini ile bağıntılı yerlerdeki bir insanda çok yüksek bölgesel SAR ayak bileklerinde üretebilir.

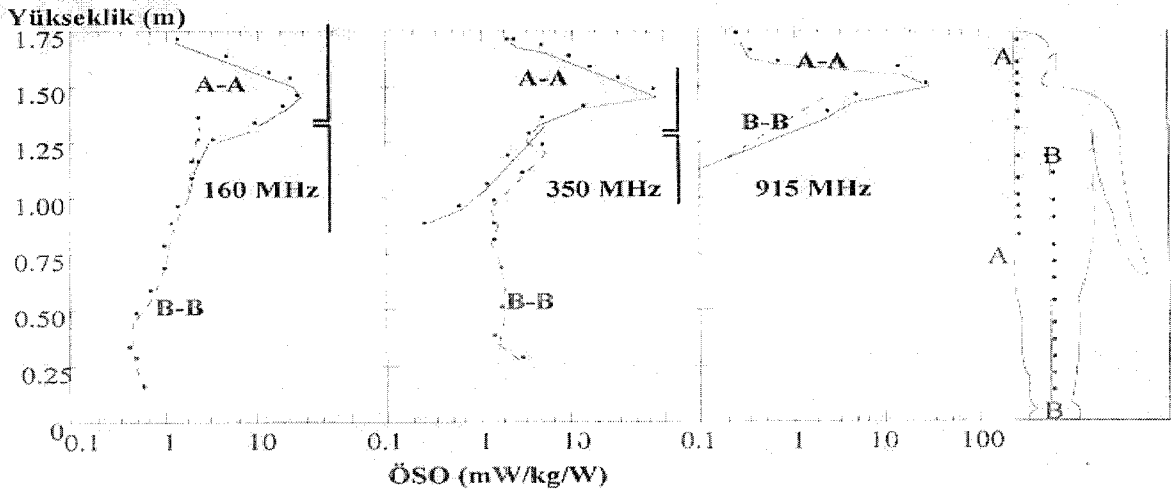


Şekil 17.2 ÖSO' nun frekans ile değişimi(Maymun, fare ve insan için)

Epolarizasyonun da 10W/m^2 lik düzlem dalgaya maruz aklan insan,maymun, farenin küresel modellemelerini ortalama soğurulma alanı



Şekil 17.3 Üç ayrı frekanslı düzlem dalgaya maruz kalmış insan vücudunda oluşan SAR' ın yerel değerleri.



Şekil 17.4 Üç ayrı frekanslı dipolün yakın alanına maruz kalmış bir insan modelinde SAR' ın yerel değerleri.

Radyo frekans alanları, artan frekansla azalarak vücudun içine girerler. Bunun biyolojik dokular üzerinde oluşturabileceği etkiyi anlamak için alanların, vücudun değişik bölümlerindeki büyüklüklerinin belirlenmesi gerekir. Bunun için farklı tipteki dokuların elektriksel özellikleri bilinmelidir. Örneğin, mobil telefonlar gibi bir radyasyon kaynağı tarafından oluşturulan Eve B nin vücudun bütün bölgelerinde ki değerini hesaplamak mümkündür. Radyasyonun dokuda oluşturabileceği zarar, onun enerjisine, doku ile yaptığı etkileşimin türüne enerjinin ne kadarının soğurulduğuna ve uygulama süresine bağlıdır. Bu şekilde dokunun Birim kütlesinde soğurulan enerjiyi doz olarak tanımlıyoruz. Özellikle canlı dokularda soğurulan enerji miktarından çok, enerjinin soğurulma hızı önemli olabilir. Bağlı soğurulma hızı birimi

$$\text{SAR} = \text{enerji} / (\text{Kütle} * \text{Zaman}) = \text{Joule} / (\text{Kg} * \text{s}) = \text{Watt} / \text{Kg}$$

olarak tanımlanır.

Belirli bir doku topluluğu tarafından soğurulan enerjinin değeri $m\sigma E^2 / \rho$ 'dir. Burada ρ dokunun yoğunluğu (kg/m^3), σ dokunun iletkenliği (S/m), E ise elektrik alanın rms değeridir. $\sigma E^2 / \rho$ değeri SAR (Specific Energy Absorption Rate) olarak adlandırılır. Ve kg başına watt olarak ölçülür. (W/kg). Belirli emme hızı olarakta tanımlanan bu ölçüm, hesaplamaların anahtarıdır. Soğurulan güç canlının boyu, hacmi, gelen alanın frekans ve kutuplanması ile doğrudan orantılıdır. Soğurulan güç miktarı ile canlının ısı artmaktadır. Soğurulan elektromagnetik enerjinin insan bedeninin yüzeyi ve derinliklerine nüfuz etmesi şiddeti ve frekansı ile orantılıdır. Bedenin derinliklerine nüfuz etmesi sonucunda ortaya çıkan

ısı artışının ihmal edilmesi problem yaratabilir. Elektrik alan polarizasyon değişikliği için ve farklı ipteki dokularda iletkenlik değişik olduğu için SAR vücutta noktadan noktaya değişir. Soğurulan güç hesabı için insan vücudu küçük kübik hacimlere ayrılır. Ve her hacim için ayrı dielektrik katsayısı hesabı yapılarak toplan SAR hesaplanabilir.

Çizelge 17.1 Bir baş modeli için doku özellikleri ve 900 MHz' de tanımlı σ ve ϵ_r değerleri

No	Doku	$\sigma(S/m)$	ϵ_r	$\rho(g/cm^3)$
1	Cilt	0.82	43.7	1.00
2	Yağ	0.11	6.2	1.00
3	kas	1.38	53.5	1.05
4	Kemik	0.10	7.3	1.20
5	Kiriş	0.10	7.3	1.03
6	Kıkırdak	0.10	7.3	1.00
7	Kan	1.32	63.3	1.00
8	CFS	1.67	62.5	1.02
9	Gri Madde	0.67	47.4	1.05
10	Beyaz Madde	0.48	39.4	1.00
11	Humor	1.90	70.0	1.00
12	Göz Merceği	0.75	45.0	1.05

900 MHz' deki iletkenliğin ve vücut dokusu yoğunluğunun ortalama değerleri sırasıyla ; 1 S/m ve 0.001 kg/m^3 olduğundan , 1W/kg ' lık bir SAR üretmek için gerekli olan elektrik alanın değeri yaklaşık 30V/m dir.(1800 MHz' de ortalama iletkenlik değeri biraz daha yüksektir. Bu yüzden daha düşük elektrik alanlara , 25 V/m civarı , ihtiyaç duyulur.) belli bir değerdeki elektrik alan tarafından üretilen SAR, çocuklarda yetişkinlere oranla biraz daha büyüktür.Çünkü çocukların dokuları çok fazla sayıda iyon içerir ve dolayısıyla yüksek bir iletkenliğe sahiptir.

Bu elektrik alanların vücudun içindeki alanlar olduğunu vurgulamak gerekir. Bu iç alanlara eş olan vücudun dışındaki alanlar yaklaşık 3 kere daha büyüktür.

Bir atomdan veya molekülden bir elektron koparmak için gereken enerji 1 elektron voltur.(Ev)* (Bir Ev, bir e yükünün elektronu , topraklanmış bir levhadan -1 voltluk bir levhaya hareket ettirmek için gereken enerjidir.)Bu yüzden ,enerji kuantumu 1eV 'tan küçük olursa iyonlaşmanın meydana gelmesi mümkün değildir. RF radyasyonunun enerji kuantumu 1eV 'tan binlerce kere daha küçüktür. Bu nedenle atomlara veya moleküllere iyonlaşamaz. Ve iyonlaşma meydana getirmeyen radyasyon (NIR: Non-Ionising Radiation) olarak tarif edilir.

Diğer taraftan X ve Ultraviyole ışınları gibi daha yüksek frekanslı ışınlar 1 Ev'ten büyük enerji kuantasına sahiptirler. Ve kolaylıkla atomlara ve moleküllere iyonlaşabilirler. Böylece çok düşük şiddetlerde bile, biyolojik dokulara zarar verirler. Bu iyonlaşan radyasyondur. Şiddet saniyede vücuda gelen kuantaların sayısını belirler. Bu sayı, düşük şiddetlerde az olmasına rağmen, her kuantumun iyonlaşma ve dolayısıyla DNA gibi biyolojik moleküllere zarar verme ihtimali vardır. İyonlaşmayan elektromanyetik radyasyonlar yüksek şiddetlerde zarar verebilirler. Fakat düşük şiddetlerde zararsız olduklarına inanılmaktadır. Örneğin, uygun şiddetteki ışıktaki aydınlatılan nesneleri görebiliriz. Yani yararlı etkileri vardır. Fakat yüksek şiddetteki ışık gözlere ciddi şekilde zarar verebilir. Yüksek ısı üreten mikrodalga fırında olduğu gibi çok yüksek şiddetteki RF radyasyonu da zarar verebilir. Bu yüzden, radyasyonun hangi şiddette zarar vermeye başladığını bilmemiz gerekir. Ancak bunun biyolojik etkilerin gözlenebildiği yüksek seviyedeki şiddetlerde başladığı düşünülmektedir. (Moulder, 2001)

Biyolojik maddelerdeki iyonlaşan ve iyonlaşmayan radyasyon arasındaki sınır 10 eV civarında olmasına rağmen, iyonlaşma enerjisi birkaç eV alınmaktadır. Bu da, mevcut atomların ortalamadan daha büyük iyonlaşma enerjisine sahip olduklarını göstermektedir.

Aynı anda iki veya daha fazla kuantanın absorbe edilmesi mümkündür. Ancak bu olasılık, kuantaların sayısı ile hızlı bir şekilde azalmakta ve aynı anda binlerce kuantaya absorbe edilirse çok azalmaktadır.

18. RADYO BAZ İSTASYONLARINDA RADYO FREKANS TEHLİKESİ

18.1 Sağlık Ve Emniyet Talimatları

Bu bölümümdeki bilgiler mobil telefon şebekelerinde radyo baz istasyonlarından yayılan radyo frekans tehlikesi hakkında bilgi vermektir. Bu dokümanla Bölümde standartlar, düzenlemeler ve tavsiyelerle birlikte standart emniyet limitlerine uymak için radyasyon seviyesini ölçüsü anlatılmıştır. Ayrıca emniyet uzaklığı ve yayılma seviyelerini baz istasyonlarını istenen farklı konfigürasyonlarda Üretici ve operatör için istenen biçimde nasıl yapıldığı anlatıldı. Baz istasyonlarını montaj ve bakımı için ilgili personelin eğitimi ve bilgilendirilmesi şarttır.

Bu bilgiler proje müdürleri, şebeke plancıları, sie sorumluları, montaj mühendisleri ve yerel şirketlerin bakım personeli için uyulan ve kabul 1 edilen bilgiler ve sorumluluklardır. Bu dokümanlar üretici firma ve operatörlerde montaj kitaplarında ya da ürün emniyet kılavuzlarında kullanılır.

Baz istasyonu anteninden yayılan RF seviyesi tayini ve montajın hangi konumlarda yapılacağı yardım ve rehberliği ihtiyacı olan her müşteriye anlatılır ve uygulanır. Bu dokümandaki bilgiler RBS veya radyasyonla ilgili devlet kurumları, medya veya halktan gelen soruların ve standartların oturtulmasına yardımcı olmuştur.

18.1.1 Genel açıklama

Herkesin bildiği gibi RF elektromanyetik alanı dokunun içine girip sıvıyı artırır ve çok yüksek seviyelerde bu ısının etkisi sağlığı etkiler. Bu ileri etkilerden insanları korumak ve radyasyondan insanların emniyetini sağlamak için çeşitli talimatlar, standartlar ve düzenlemeler getirilip benimsenmiştir.

Bu emniyet düzenlemelerinde radyasyon ve bunun potansiyel sağlık tehlikesi hakkındaki bilimsel araştırmalar ve bunların güncelleştirilmiş hali baz alınır. Standartlarca benimsenen değerler geniş emniyet bölgesi denir.

Bunlar ICNIRP (Uluslararası İyonizesiz Radyasyondan Korunma Komisyonu) ve WHO (Dünya Sağlık Örgütü)'nün kabul ettiği değerlerdir. Kısa veya uzun dönem etkilerinin yada ısınma etkisi olmayan alçak seviye tehlikesinin bu değerlerin altında ortaya çıktığına dair herhangi bir kanıt yoktur. Üreticilerin radyasyon içeren bütün ürünleri bu limit değerlerle örtüşecek şekilde tasarlanmalı, kullanılmalı ve montaj yapılmalıdır. Taşınabilir RBS (Radyo Baz İstasyonu)' ler için bu, antenlerin kurulacağı sitenin düzgün seçimiyle sağlanır. Bazı ülkelerde montaj sırasında uyulması gereken yerel emniyet düzenlemeleri vardır. Yinede

çoğu ülkede herhangi bir standart yada düzenleme görülmez. Bu ülkelerde ICNIRP' ın uluslararası talimatları geçerlidir.

Bu doküman mobil baz istasyonlarından yayılan radyasyonla ilgili bilgi verir. En geçerli uluslararası radyasyon standartlarını özetler ve radyasyon seviyesi nasıl belirlenir, anten nasıl kurulur anlatır. Antenin eski yolla baz istasyonlarına kuruluşu da bu dokümanda anlatılana göre doğrudur. İstasyonda ki RF tehlikesi de izin verilebilir limitin altındadır.

Pek çok ülkede sağlık kuruluşu bu istasyonlarla ilgili yayın hazırladı ve çıkan genel sonuçta bunların insan sağlığı için bir risk oluşturmadığıdır. İsveç, Radyasyondan Koruma Enstitüsü'nün yazısı gibi.

18.1.2 Tanımlar

Temel Kısıtlamalar- Basic Restriction

Elektromanyetik alanla ilgili bu koşullar doğrudan sağlık etkiler ve biyolojik koşullar düşünülerek hazırlanmıştır. 100MHz ve 10GHz frekans aralığı ve tan soğurulma oranı (SAR) temel kısıtlamalarda etkilidir.

Dosimetri- Dosimetry

Elektromanyetik alan sonucu insan vücudunda emilen radyasyon enerjisinin dağılımı, bu miktarın hesaplanması ve ölçümlerin belirlenişi.

Elektrik Alan Dayanımı(E)- Electric Field Strength

Bir elektrik alanında elektrik yüklenişinde kuvvetli tanımlamak için kullanılan vektör büyüklüğüdür. Elektrik alan dayanımı birimi V/m dir.

EMF

Bir elektrik ve bir manyetik bileşen içeren elektromanyetik alan.

Yayma-Emission

RF kaynağından çıkan alan

Radyasyonun tersine kişinin duruşuna bağlı değildir.

Tehlike- Exposure

Kişiyi etkileyen dış elektromanyetik alan. Bunun büyüklüğü süreye ve alanın dayanımına bağlıdır.

Uzak Bölge- Far Field

Elektrik ve manyetik alan dağılımının aslında antenden uzaklığa bağlı olmadığı bölge. Bu elektromanyetik alan doğada yaklaşık düzlem dalgadır. (Plane wave) ve elektrik ile manyetik alan vektörlerine diktir Böylelikle uzak bölge dışarıdan sınırlanmaz.

Manyetik Alan Dayanımı(H)

Manyetik alan dayanımı birimi A/m dir. Ve bu da manyetik akı yoğunluğu B' nin (tesla) ortalama geçirgenlik $\pi (40(\exp(-7)))$ H/m ye (bütün pratik durumlar için) bölümüne eşittir.

B hareketli elektrik yüklenmesinde manyetik alandan gelen kuvvetli tanımlamalar için kullanılır.

Yakın Bölge- Near Field

Anten yada bu türde dalga yayan bir yapıya en yakın bölge. Bu bölgede elektrik alan ve manyetik alan vektörleri ve her noktada değişir ve tam anlamıyla düzlem dalga değildir.(Plane wave). Bu bölgenin en dış sınırıyla anten arası uzaklık, d(nf), ise bir dalga boyu gibidir ve şu formülle hesaplanır.

$$D(nf)=2(d(\exp 2))/\lambda$$

D yapının en büyük boyutunu ve λ dalga boyunu gösterir.

Mesleki tehlike

İşlerini yapan insanların EMF ile birlikte gelen bütün tehlike. Çalışanlar için bu tehlike hakkında bilgiye ve kontrole sahiptir.

Güç Yoğunluğu(S)

Bir elektromanyetik dalganın yayılma yönüne ve bölge normaline bağlı güç(Per unit olarak verilir.). Birimi W/m.m dir.Düzlem dalgalar için güç yoğunluğu $S= e.e/377 =E*H = 377 H*H$ dir.E, elektrik alan dayanımının, (V/m) rms değeri (karekök ortalaması), H manyetik alan dayanımının (A/m) rms değeri ve 377Ω da serbest boşluğun dalga empedansıdır.

Genel Tehlike- Public Exposure

EMF' le birlikte bütün halkın , çalışanların maruz kaldığı tehlike. Tıbbi tedavi sırasındaki tehlikede buna dahildir. İnsanlar bu tehlike konusunda bilgi veya çözüme sahip değildir.

RF-Radyo Frekansı

Radyo iletimi için yararlı olan elektromanyetik frekanslardır.10KHz ve 300GHz arasındadır.

Burada alınmış standartlar Türkiye için kullanılan standartlardır.Pek çok ülkede ICNIRP veya daha eski ama benzer olan IRPA kullanılır.Kendi standardı olmayan ülkelere kullanılan temel kısıtlamalar ICNIRP olarak üreticiler almaktadır.

18.1.3 Temel kısıtlamalar

Aşağıdaki tablo yukarıda listelenilen dört standarttaki temel kısıtlamaları gösteriyor. Bunlar bütün vücut düşünülerek ve tam soğurma oranı (SAR) değerleri ölçü alınarak hesaplanmıştır.SAR vücutta dokuların kilo başına soğurduğu RF enerjisi oranıdır.(W/kg).Bu temel kısıtlamalar emniyet sınırları için verilmiştir.Çalışanlar için emniyet faktör 10 civarı, halk için 50 civarındır.

Temel kısıtlamalar mobil telefonlarda kullanılan bütün frekans aralığı için sabittir. Ortalama zaman IEEE standardında 30 dak. olan halk seviyeleri hariç 6 dakikadır. Tehlike periyotları ortalama zamandan daha kısadır. Yüksek SAR değerleri ortalama ,sınırdan ne kadar düşüğe o kadar yüksek kabul edilir. Bölgesel SAR değerleri baş ve gövde için geçerlidir. Yerel SAR değerinin ortalaması 10 gr dokunun (ICNIRP ve CENELEC' e göre) veya 1 gr dokunun (IEEE ve AN/NZS için) üstündedir. Bölgesel SAR sınırı 10 gr lık ortalama kütleyle göre halka el veya ayak bilekleri (ICNIRP' da kollar) 4W/kg, işçilere 20W/kg dır. Sınırlar uzak bölgede de yakın bölgede de geçilmemelidir.

Çizelge 18.1 Temel Kısıtlamalar

Standart Tavsiyeler	Tüm Vücut İçin SAR(W/kg)		Vücudun Spesifik Bölgesi İçin SAR(W/kg)	
	Uygulamacı İçin sınır	Halk İçin sınır	Uygulamacı İçin sınır	Halk İçin sınır
ICNIRP 1998	0.4	0.08	10	2
CENELEC ENV 50166-2	0.4	0.08	10	2
IEEE C95.1-1991	0.4	0.08	8	1.6
AS / NZS 2772.1	0.4	0.08	8	1.6

18.1.3.1 Referans seviyeleri

SAR' ın pek çok tehlike durumunda ölçülmesi yada hesaplanması zor olduğu için RF emniyet standartları türetilmiş referans seviyelerinden bulunur. Bu seviyeler genelde frekans bağımlıdır ve mobil telefon için kullanılan frekans aralığında dış elektrik kalan dayanımı ($E=V/m$), manyetik alan dayanımı, $H(A/m)$ ve güç yoğunluğu $S(W.W/min)$ olarak tehlikedeki kişinin konumuna bakılmaksızın ifade edilirler.

Bu referans seviyeleri hiçbir tehlike durumunda SAR sınırının aşılması için seçilirler. Buna göre kritik emniyet sınırları da bu değerlerle aynıdır. Yakın bölge tehlikesinde verilen bu referans değerleri kısmi beden için fazla emniyetli iken uzak bölgede bütün beden için ancak kabul edilebilir değerlerdir.

Aslında uzak bölge tehlikesinde temel kısıtlamalara uyulurken referans değerleri yine de aşılabılır. Bazı standartlar kısmi vücut tehlikesi için esnek referans seviyeleri verirler. Yine de temel kısıtlamalar elde tutulup cep telefonu örneğinde olduğu gibi yakın yer bölge

vericilerinde geçerlidir.Eğer referans seviyeleri yakın bölgede kullanılıyorsa genelde E ve H bölgesinin ayrı olarak tayini gerekir.

Aşağıdaki tablo 400MHz den 2GHz ye kadar olan frekans aralığında halk için referans seviyelerini vermektedir.Yalnızca güç yoğunluğu listeleri listelenmiştir.900MHz ve 1800MHz arası zaten açık olarak verilir.İşçiler için referans seviyeler 5 kat daha yüksektir. Ortalama sure IEEE' nin halk için Kabul ettiği 30 dak. Hariç 6 dak.alınır.Zaman ortalamalı değer limitten yüksekse tehlike seviyesi kabul edilir.

Çizelge 18.2 Güç Uygunluğu Cinsinden İfade edilen Referans Seviyesi

Standart Tavsiyeler	Güç Uygunluğu Cinsinden İfade edilen Referans Seviyesi(W/m, rms)(f = frequency in MHz)		
	400-2000MHz	900 MHz	1800 MHz
ICNIRP 1998	f/200	4.5	9
CENELEC ENV 50166-2	f/200	4.5	9
IEEE C95.1-1991	f/150	6	12
AS / NZS 2772.1	2	2	2

18.1.3.2 Emniyet düzenlemeleri

ABD,Almanya,İtalya ,Rusya ve Polonya gibi bazı ülkeler mobil telefon baz istasyonları için RF emniyet düzenlemesi yaparlar. Rusya ,Polonya ve bazı Doğu Avrupa ülkelerinde düzenlemeler uluslar-arası bilimsel önerilerden türetilmişlerdir, zayıf biyolojik etkilere (sağlık etkilerine değil) dayandırılmıştır. Bu düzenlemelerdeki limit değerleri dünyada Kabul edilenden küçüktür.Buna rağmen istasyon montajı bu düzenlemelere uymalı ve dokümandaki tehlike tayin yollarına başvurulmalıdır.

Takın zamanda diğer ülkeler RF emniyet düzenlemeleriyle karşılaşacak.Avrupa Halkları Komisyonu elektromagnetik alan tehlikesiyle (0Hz- 300 GHz) karşılaşabilir halkın korunması için bir konsey bildirisi hazırladı. Dokümanın son halinde (Haziran 1998) ICNIRP standartlarına uyulması gerekliliği ve Avrupa Birliği üyelerinin radyo baz istasyonu gibi elektromanyetik dalga yayan kaynaklarla ilgili düzenleme ve kurallar koyması gerektiği söylendi. Buna göre birkaç yıl içinde pek çok Avrupa ülkesi ICNIRP standardına göre baz istasyonu düzenlemesi getirmiştir.

Japonya'da Pos ve Telekomünikasyon Bakanlığı (MVT) geçerli olan Japonya radyo kanununun yürürlükteki kurallarında bir değişiklik amaçladı(Haziran 1998). Bu değişiklikler Ekim 1998 de yapıldı ve Ekim 1998 den itibaren geçerli oldu.Radyo koruma kuralları bir düzenleme olarak Kabul etti.Sonuçta Ekim 1998 den itibaren Japon Kanunu IEEEC95 ve ABD,FCC' dekilere benzer bilgiler izlemiştir.

ABD'de Federal İletişim Komisyonu (FCC) 1996da yeni RF kurallarını benimsedi.

Bunlar NCRP, IEEE ve yukarıdaki gösterilmiş limitlere göre hazırlanmıştır.(1500 MHz üstündeki 10 W.W./m seviyesi hariç).15 Ekim 1997 den beri bütün baz istasyon antenleri bu kurallara uymakta ve eki sitelerin de 1 Eylül 2000 de bu kurallar uyacak şekilde düzenlenmiştir.FCC izlenen verici kategorileri için Tehlike tayini ister,devamı suretle kontrol edilmesi gereklidir.

* Bina harici anten montajı (örneğin kule)

Yer ve antenin en alt noktası arası 10 m' den fazla ve güç aşımı 880 MHz hücrese için 1640 WEIRP,1900 MHz PCS için 3280 W EIRP dır.

* Binaya montajlı antenler (Örneğin çatı ve duvara)

Toplam güç aşımı 1440 WEIRP(Hücrese için) veya 3280 W EIRP (PCS) dir. Toplam güç asıl sitede aralıksız faaliyet gösteren vericilerde bütün kanalların EIRP toplamıdır.

Sektörlü sitelerde her sektör için kriter ayrı ayrı sağlanmalıdır. FCC kurallarını kapsamalıdır.

18.2 RF Tehlikesini Tayin Yöntemleri

Bir cep telefon baz istasyon anteninden yayılan RF tehlikesini bulmak için başka hesap veya ölçümler kullanılabilir.Bu bölümde en çok kullanılan yöntemler verilmiştir. Baz istasyonu gibi RF yayıcıların tehlike tayin yöntemlerini açıklayan kılavuz ve standartlar vardır.

18.2.1 Analitik alan dayanım hesabı

Bir verici antenin uzak bölgesinde analitik ifadeler güç yoğunluğu ve alan dayanımını bulmak için kullanılabilir.Antenin ana yönünde aşağıdaki serbest boşluklu formül güç yoğunluğu, S(w/m.m) yi hesaplamak için kullanılabilir.

$$S = \frac{PG}{4 * \pi * d^2} \quad (1)$$

P(W) antene gelen toplam gücün

(verici kanalları toplamı eksi fider ve combiner kayıpları) rms değeridir.(karekök ortalaması).G bir izotropik radyatöre göre değişen uzak bölge anten kazancıdır. PG antenin watt olarak verilen EIRP (İzotropik yayılan güç eşdeğeri)dir. Gerekirse, elektrik ve manyetik bölge dayanımları şu eşitlikten hesaplanır.

$$S = E^2 / 377 = 377 \text{ (H(exp2))}$$

Örnek 1

900 MHz lik koliner dipol baz istasyon anteninde

maxgüç= 43 dBm = 20 watt, anten kazancı 17 dBi(numeric kazanç olarak 50'ye karşılık gelir.)dır.EIRP 60 dBm dir.Buna göre PG 1000 w' ye gelir. Anten uzunluğu 1m ve uzak bölge antenden yaklaşık 6 m uzaklıktan başlamaktadır.($2D \cdot D / \lambda$).1 Eşitliğini kullanıp antenden 0 metre uzaktaki uzak bölge güç yoğunluğu $1000 / 4 \pi 100 = 0.8 \text{ W/m}^2$ bulunur.

Eşitlik 1 ana ışın yönünden başka yönlerdeki güç yoğunluğu hesaplamak içinde kullanılabilir. Antenin uzak bölge radyasyonunda farklı yönlerdeki kazanç , eşitlik 2 deki G' ye bu değer yazılarak belirlenir.

Örneğin 1. Örnekteki antenin nümerik kazancı ana ışın yönüne dik yönde 1(0 dBi' ye karşılık).Antenden bu yönde 10m uzaktaki güç yoğunluğu yaklaşık $20 / 4 \pi 100 = 0.04 \text{ W/m}^2$ dir.

Eşitlik 1 tehlike tahmin yolu yansıyan yüzeyler hariç serbest boşluk için güç yoğunluğunu +,- 3 dBi farkla vermektedir.En kötü durumda anlı genlik ve fazda yansımanın bir bileşeni olarak düşünülür. Bu dayanımı iki katına çıkmasına ve güç yoğunluğunun iki katına çıkmasına neden olur. Böylelikle en kötü durumunda , güç yoğunluğu

$$S = \frac{PG}{d^2 \pi} \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve 2 antenin uzak bölgesi için geçerlidir. Yakın Bölgesi için geçerlidir.Yakın bölgede her zaman tehlike üstü tahmin yapılır.(Yakın bölge ve uzak bölge tanımları için).Genelde kullanılan baz istasyonlarında yakın bölge güç yoğunluğu hesaplanan bir eşitlik vardır. Bu silindirik model olarak verilir.

$$S = \frac{P}{2dh\pi} \quad (3)$$

P(w) antene gelen toplam güç, d(m) antenden gelen uzaklık h(m) antenin yüksekliğidir. Eşitlik 3 omni anten için yarı güç ışın derinliği k(derece) ilave eder.

$$S = \frac{P}{dh\pi} * \frac{180}{\Theta} \quad (4)$$

Örnek 2

18.2.2 Silindir formülünü kullanışı

Silindir modeli antenden 1 m uzakta yakın bölge güç yoğunluğunu hesaplamak için kullanılır.

(Örnek1)

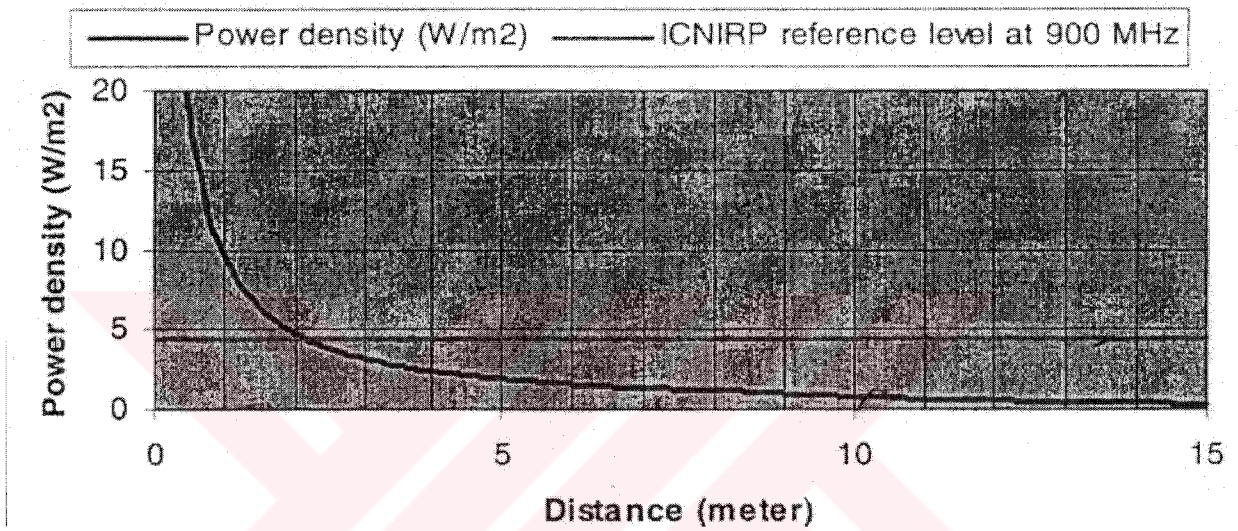
Yarı güç ışın derinliği 120 derece için $S = (2k/\pi) * 180 / 120 = 9.5 \text{ WW/mm}$

Eğer eşitlik 1 düzeltilmeden yakın bölge için kullanılsaydı 8 kat büyük bir değer bulunurdu.

4.formül alan büyüklüğünü azaltırsak yakın bölge güç yoğunluğunun azaldığını gösteriyor.Yüksek kazançlı antenler düşük kazançlılara göre daha geniştir.

Aynı kaynak gücüyle yüksek kazançlı anten alan seviyeleri uzak bölgeden yüksek olsa bile düşük kazançlı antene göre düşük alan seviyelerine sahip olur.

Şekil 1.1 ve2.Örnekteki antenlerin ana ışın yönü için uzaklığa bağlı değişim değerini veriyor.Burada silindir formülü yakın bölgede (8 m ye kadar) kullanılmıştır ve 1.eşitlik serbest boşluklu uzak bölge içindir.



Şekil 18.1 900 MHz anten için çıkan eğridir.

18.2.3 Nümerik alan dayanım ve sar hesapları

Nümerik teknikler antenin uzak ve yakın bölgesinde uzay güç yoğunluğu ve alan dayanımını hesaplamak için kullanılabilir. Moulder, (2001)

Anten cidarı vücutta soğurma oranı(SAR) değerleri de hesaplanabilir.

Serbest boşluk için moment yöntemi (Mom) ve zaman dönemli sonlu fark yöntemi (FDTD) kullanılır.

Mom ve FDTD software dışarıda satılır. SAR hesapları için FDTD yöntemi tercih edilir. Hem Mom hem FDTD yöntemi tercih edilir. Hem Mom hem FDTD üretimi firma araştırma programında tehlike tayini için kullanılabilir.

18.2.4 En kötü durum SAR hesapları

Bazı durumlarda basit hesaplar en kötü durum tehlikesini hesaplamak için kullanılabilir.

Örneğin eğer antenden çıkan 20 W ise en kötü durum SAR değeri 2W/kg dır.

Eğer 10 gramdan küçük bir kütlede bütün gücün soğurulduğu düşünülürse (antene yakın kişinin kütlesi 50 kg alınır.) çıkış gücü için kritik SAR değeri 0.08W/kg dır. Bu tip hesaplar gerçekçi tahmin vermezler. Uzak T min gerekliyse veya RF standartlarındaki genel kısıtlamalar teknik olarak bile anlaşılamıyorsa kullanılır.

18.2.5 Alan dayanım ölçümleri

Serbest boşluk alan dayanımı ve güç yoğunluğu seviyeleri alan dayanımını bulmak için kullanılır. Bu ölçümler laboratuvarda veya baz istasyonu çevresinde yapılabilir. Antenin yüksek güçle çalıştığı düşünülür. Laboratuvarlarda ilkin yakın bölge için ölçümleri, özel izotropik E alanı ve H alanı problemleriyle yapılır. Partner Engineering AG(SPEAD) in dışarıda da sattığı DASY testi kullanılır. Emniyet uzaklığı ve farklı konumlarda tehlike seviyelerini ölçmek için laboratuvar testinde antene farklı uzaklıklarda dayanım ölçümleri yapılır. Bunun için pratik RF radyasyon monitörleri kullanılır. Bunlar uzak bölge tahminleri içindir ama yakın bölgeyi kabaca hesaplarız. Çoğu RF monitörü izotrop E alanını rms olarak ölçer ama eşdeğer güç yoğunluğu da gösterilir. (Düzlem dalga gibi, $S=E^2/377$): Dışarıda satılan pek çok RF monitörü vardır. Hafif, sağlam model Goltermann EMR-20(EMR-30) kullanılabilir. Çoğu RF standardında alan dayanımı kişinin duruşundan bağımsız ama konuma bağlı ölçülür. Alanların belli bir yüzey üzerinde serbest ortalamaları alınır. Bu yüzey büyüklüğü farklı standartlarda değişebilir ama genelde vücudun çapraz bölümü alınır. Kişinin hacmi ve vücudun çapraz kısmını karşılayan bölgede en yüksek değeri ölçmek için genel prensiptir. Bu değer gerçek ortalama limit değerinden daha yüksek bir değerdir. Eğer RF zamanında sapma varsa uygun zaman ortalamasında denenir. (Genelde 6 dakika). Eğer şüpheli durum varsa tepe değerleri maksimum tehlikeye daha yakın sonuçla verir.

18.2.6 Dozimetrik SAR hesapları:

Dozimetrik değerler baz istasyonu antenleri için yakın bölge SAR değerlerini belirler. Bu teknikte bir insan modeli F alanından etkilenir ve iç elektrik alan dayanımı küçük bir proba ölçülür. Bu veriden SAR değeri hesaplanır ve maksimum kısmi SAR değeri üretilir. Üretici firmaların araştırma programlarında dozimetrik ölçümler öncelikle indoor kullanımı küçük antenler için kullanılır. Bu test SPEAG' ın geliştirdiği DASY' dir.

18.3 Emniyet Uzaklığının Belirlenişi:

Düzgün bir baz istasyonu anteni kurmak için emniyet uzaklığını belirlemek önemlidir. Emniyet uzaklığı RF sınırının aşılmadığı kişi ve anten arası minimum uzaklıktır. Tabi işçiler ve halk için emniyet uzaklığı farklı yönlerde dir. Örneğin analitik serbest

boşluk formülü (Eşitlik(1))yansımalarla etrafta emniyet uzaklığını belirlemek için kullanılır. $S=\lim S^*$ Güç yoğunluğu(W/m^2)olarak verilen referans seviye ve emniyet uzaklığı $\lim d(m)$ şöyle hesaplanır.

$$d_{\lim} = \sqrt{\frac{PG}{4S_{\lim}\pi}} \quad (5)$$

$P(w)$ antene gelen toplam gücün rms değeridir.8 verici kanallar toplamı eksi fider ve combiner kayıpları. G numeric uzak bölge kaybıdır.Eğer etrafta yansıtıcı yüzeyler varsa eşitlik (2) kullanılır.Çünkü emniyet aralığı 2 faktörü oranında artar.Bu durumda emniyet uzaklığı;

$$d_{\lim} = \sqrt{\frac{PG}{S_{\lim}\pi}} \quad (6)$$

Eşitlik 5 ve 6 ancak,hesaplanan emniyet aralığı uzak bölgede ise kullanılır.Yakın bölgede eşitlik 5 ve 6 emniyet uzaklığının çok üstünde olur.(Uzak ve yakın bölge tanımları için önceki bilgiler geçerlidir.)

$$d_{\lim} = \frac{P}{hS_{\lim}\pi} * \frac{180}{\Theta} \quad (7)$$

Burada $h(m)$ antenin yüksekliği ve $K(derece)$ yarı güç ışın derinliğidir.

18.3.1 Örnek 3 emniyet uzaklığı hesabı:

Eğer eşitlik 5 1000 W,EIRP ve 900 MHz lik 1.örnek için kullanılırsa ve ICNIRP halk referans seviyesi 4.5 W/m^2 alınır ana ışın yönünde emniyet uzaklığı $(1000/\pi * 44.5)(\exp 0.51) = 4.2$ m olur.Bu yine de antenin uzak bölgesinde değildir ve hesaplanan değer gerçek emniyet uzaklığının üstünde bir tahmindir.Daha doğru bir tahmin eşitlik 7 kullanılarak bulunur. $k= 120$ ve $h= 1$ m (Bölüm5.1,örnek2) alınır emniyet uzaklığı $(20/\pi * 4.5)*(180/120) = 2.1$ olur.

Emniyet uzaklığı laboratuarda, gerçek çevrede numeric hesaplarla alan dayanım hesapları kullanıp bulunabilir. Bu yöntemi üretici firmalar ve operatörler alçak güçlü indoor ve outdoor mikrobaz istasyon antenlerinde kullanılır.Emniyet aralığı standartlardaki RF sınıfının altına gelene kadar anten ve model insan arası açıklık artırılır.Genelde SAR la bulunan sonuç dayanım ölçümleriyle bulunandan daha kısadır. Kritik SAR hesapları küçük güçlü antenler için bazen emniyet uzaklığına gerek görmez.

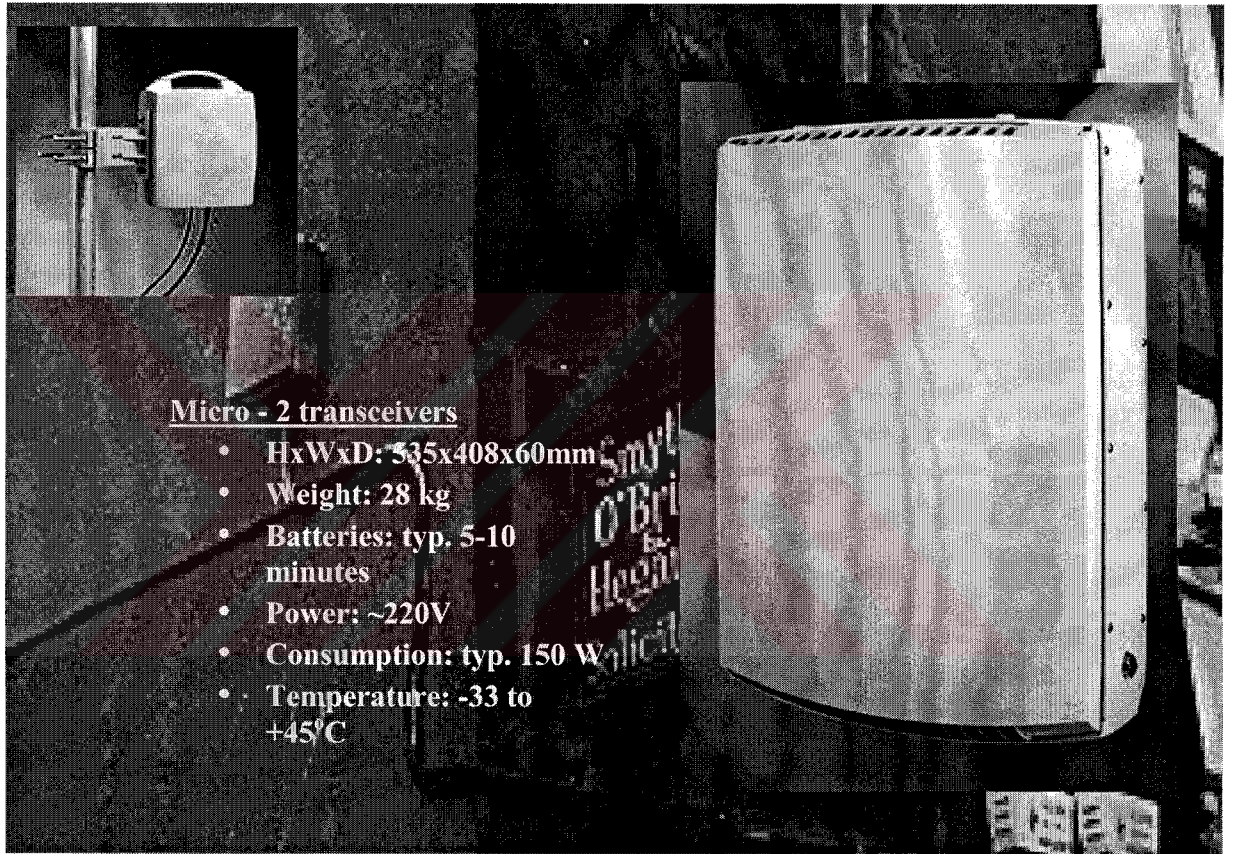
18.4 Genel Baz İstasyonu Montajı RF Emniyeti

Emniyet aralığı çıkış gücüne , frekansa , anten tipine ve çevreye bağlıdır.Üretici ve kullanıcı firmalar değişik konfigrasyonlar içi tehlike hesapları yaptı.

Buna göre istasyon üreticileri , alıcılar ve elektronik devreler Rf tehlike sınırının altındadır.

18.4.1 Mikrobaz istasyonları

Mikrocell baz istasyonları RBS serisi değişik modelleri birleşik veya dış antene sahiptir. Bu küçük boyutlu alçak güçlü baz istasyonları kapasiteyi artırır ve geniş kapsama sağlar.Outdoor da genelde duvara çubuklu veya çatıya veya kuleye montajlanır.Genelde birleşik antendir.Indoor da örneğin ofis içinde gizlenir ve picocell dağınmık anten sistemi kullanılır.



Şekil 18.2 Micro - 2 transceivers

18.4.1.1 Dış anten uygulaması

Omni veya sektörlü anten kullanılabilir, duvar veya tavana göz hizasının üzerinde kurulur. Mx çıkış gücü indoor ve outdoorda 1W nin altındadır.Dağınmık anten siteminde daha da düşüktür.(Ericsson,Base Stations and Radio Waves,2001)

18.4.1.2 Ölçümler ve hesaplar

Üretici firmalar tavsiye ettiği düzenler için ölçüm ve hesaplar yapar.Testler max çıkış gücünde ve anten yüzeyinden 5 cm uzaklıkta yapıldı. Bu kritik durum içindir. Hem halk hem

işçiler için olan standartlar değerlerin tehlikenin altında olduğu gözlemlendi. Bu yüzden bu antenlerde özel RF talimatlarına uygun planlanmıştır.Çalışanlar risk olmadan antene yakın çalışabilir.

18.4.1.3 Bileşik anten uygulamaları

Entegral antenli mikrobaz istasyonları ister omni ister sektörlü olsun göz seviyesini üzerinde yerden 5-6 m yüksekliğe kurulur.Max çıkış gücü birkaç katta düşüktür.

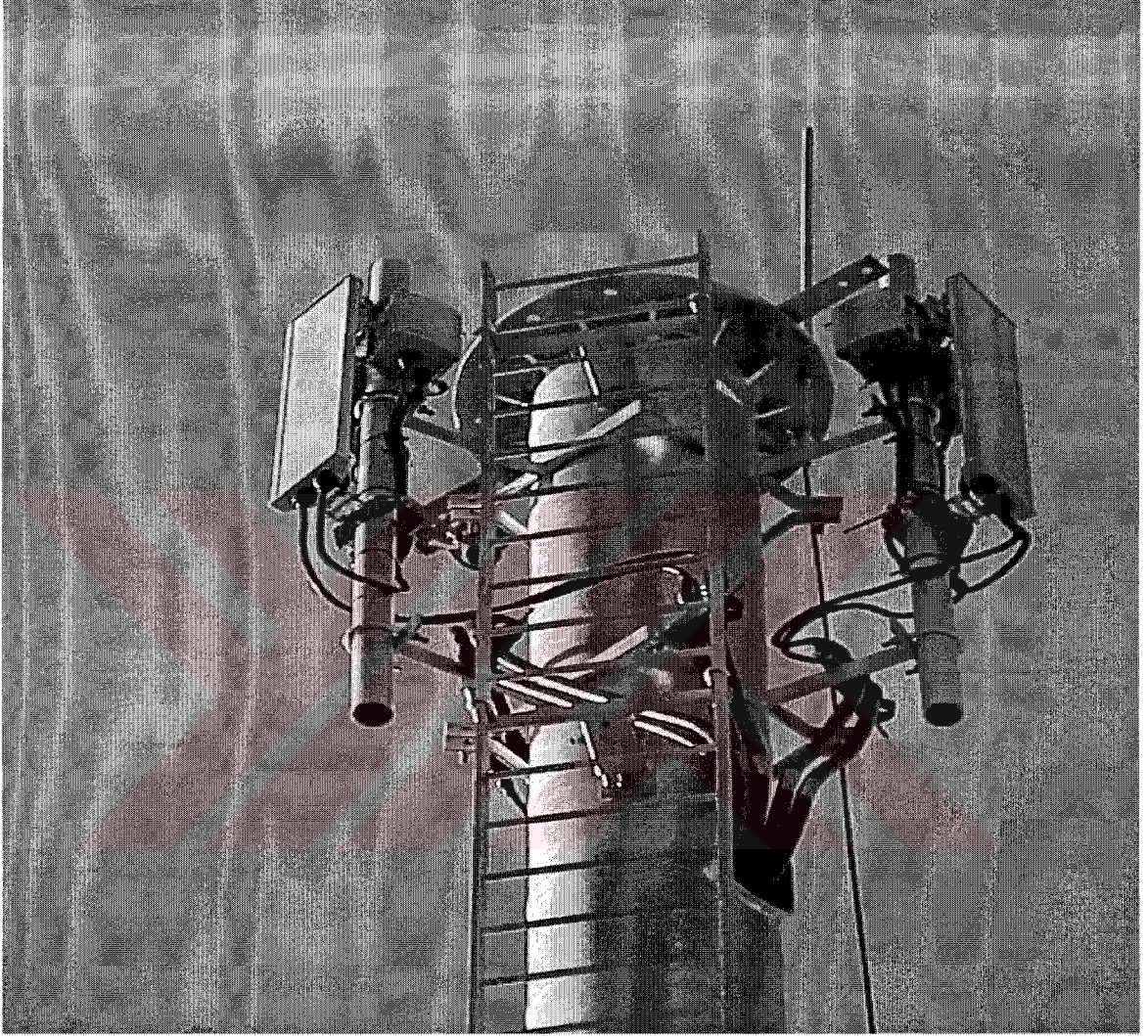
Normalde baz istasyonu ve minimum anten arası uzaklık 1 m den fazladır. Radyo baz istasyonları ölçümlerine göre değerler standart limitlerin ve önceki verilen sınır değerlerin altındadır. Ayrıca SAR ölçümlerine göre 2.5cm den geniş omni seperasyonlar için aşılmıyor, sektörlüler içinse kişi anten arası uzaklık en az 10 cm dir. İşçiler için antene dokunulsa bile limit aşılmamaktadır. Montaj kuralına göre mikrobaz istasyonlarında insanların ekipmana kolayca dokunamayacağı , anten kişi arası uzaklığın omni antenler için 5 cm, sektörlü anten için 15 cm den büyük olduğu yerler seçilir.Personel çalışan antene tehlike sınırı aşılmadan yakın çalışabilir.(O.Çerezci-S.Şeker Çevremizdeki Radyasyondan Korunma,2000)



Şekil 18.3 Entegral antenli mikrobaz istasyonları

18.4.2 Makrobaz istasyonlar

Makrobaz istasyonları çeşitli serilerde çatı ,direk ,kule ve duvarlara kurulurlar. Makrobaz istasyonları daha yüksek çıkış gücüne ve daha yüksek anten kazancına sahiptir.Geniş kapsama için yükseltilerek kurulurlar.Kazançları 14dB ve 20dB ye kadar değişebilen 100w ye kadar olan güç seviyeleri omni veya sektörlü antene gelebilir.



Şekil 18.4 Makrobaz istasyonları

18.4.3 Çatı antenleri:

Makrocell baz istasyon antenleri genelde çatıya kurulur, hem omni hem sektörlü anten içindir. Eğer insanlar çatı üzerinde yürüyorsa çatıdan en az 2m yükseğe kurulurlar.Anten sektörüyle çatının kenarına kurulur.Antene gelen güç genelde 5 ile 40 W arasındır.Anten kazancı omni anten için 11dB sektörlü anten için 18 dB ye çıkar. Dik düzlemde ana lob oldukça dardır, RF enerjisi çatıdan ve binadan uzağa gönderilir.Ölçüler ve hesaplara göre halk için genel referans seviyesi halk için ana ışın yönünde 50 cm den 5 m' ye kadar olan uzaklıklarda aşılabılır.Uzaklık çıkış gücüne, frekansa ,anten tipine bağlıdır ama en genel konfigürasyonlar için 2 metreden azdır.Karşı binaya uzaklık 10 metreden fazladır.Buna göre

tehlike her zaman referansın altında olur.(hatta anten ana ışını normalden farklı olarak binaya doğru olsa bile).Ana ışıktan farklı yönlerde tehlike belli ölçüde azaltılabilir ve işçiler veya halk için olan tehlike anten yükseltildiği ve çatı kenarına konduğu zamanlarda bile aşılmaz.Bu sektörlü antenlerde antenin arkası ve sağ altı içinde doğrudur.Bina içinde RF seviyesi çok düşüktür.Anten yüksekliği ve yönlendirilişi yüzünden caddedeki tehlikenin binde biridir.Sonuçlar gösterir ki işçiler ve halka tehlike yaratan emniyet uzaklığı 0 dan 10' lara kadar ,yani değer olarak sınır değerden çok küçük kalmaktadır.



Şekil 18.5 Makrocell baz istasyon

18.4.4 Duvara montajlı antenler

Yaygın makrocell antenleri bina cephesine sokak seviyesinin üstünde monte edilir.Bu antenler çatıya kurulanlara benzer ve onlar için geçerli olan bilgiler aynıdır.Sektörlü antende ön arka oranının yüksek oluşu bina üzerinde radyasyonun düşük olmasını sağlar.Duvar yansıması ve zayıflatma bina içi alan etkisini azaltacak ve tehlike seviyesi sınırdan düşük olacaktır.

18.4.5 Direğe veya kuleye montajlı anten

Makrocell antenleri yüksek kule veya direklere yerden en az 10 metre yüksekliğe kurulur. Bazen bunlar bina çatısına yerleştirebilir. Anteni besleyen RF gücü 5 ile 40 W arasındadır. Ama daha yüksek güç seviyeleri oluşabilir. (100W veya 3000W EIRP a kadar.)

Genelde maksimum emniyet uzaklığı ana ışın yönünde 5 metreden azdır. Hesaplar veya ölçümle 1-2 metre civarı direk veya kule yakınında maksimum tehlikenin yüzde bir veya yüzde ikisini geçmez. Bina anten arası 20 metreden fazla, kenarlar anten yüksekliğinin altındadır. Bu binaların içinde veya dışında RF alan dayanım değerleri tehlikenin altındadır. Bu tip sitelere yalnız yetkili personel girebilir. Yüksek güçlü kule makrocell antenlerin arka, ön ve altında seviye referansın altındadır. İşçiler risk olmadan antene yakın çalışabilir.

18.5 Baz İstasyonu Anten Montajı İçin Tavsiyeler

Bu bölümde montaj için bir dizi RF emniyet bilgisi ve kuralı verilmektedir. Bunlar daha önceki bölümlerde verilen standartlara dayanır.

18.5.1 Maksimum tehlikeyi tahmin et

Eğer bir konfigürasyon için emniyet uzaklığı verilmediyse bölümde anlatılanlara göre maksimum tehlikeyi tahmin edin. Eğer sonuçlar halk için olan limite ulaşmıyorsa başka anten konumlarını arayın.

18.5.2 Anteni yükseltin

Çatıya veya duvara montajlı antenler göz hizası üzerine yaklaşık 2 metre yüksekliğe yerleştirilir. Anten çevresine geçiş varsa ve teknik olarak mümkünse anten yükseltilir. Alternatif olarak sektörlü antenler çatı kenarına bina dışına doğru yerleştirilir.

18.5.3 Antene kolay ulaşılmasını

Anteni her zaman kolay ulaşılmayacak bir şekilde yerleştirin, örneğin bina kenarına montajlı antenlere pencere veya balkonlardan ulaşılmalıdır ve bina servis personelinin örneğin cam temizleyicisi antenin önüne geçmemelidir.

18.5.4 Geçiş sınırlandırın veya uyarı yazısı koyun

Bazen istasyon çevresine geçiş sınırlandırmak gerekir. Örneğin çatı antenini 2 metre yükseltmek mümkün değilse yetkili haricinin bu bölgeye geçiş sınırlandırılabilir. Alternatif olarak çatı

girişine, antene veya anten desteği üzerine uyarı yazısı konur. RF uyarı işaretleri mutlak konulmalıdır.(Çerezci,2000)

18.5.5 EMI etkisini önleyin

İstasyon antenleri duyarlı elektronik ekipman çevresine konulursa örneğin bir hastane yanına potansiyel elektromanyetik interferans (EMI) etkileri görülebilir. Ekipmanın minimum değerini aşan değerden (3 W/ m) kaçınılmalıdır.

18.5.6 Bilgi verin

RF tehlikesi ile ilgili toprak sahiplerinden, yerel kurumlar ve istasyon civarında yaşayan halktan RF tehlikesi hakkında soru gelebilir. Sorular için bilgi her zaman sağlanabilir. Bu yolla halkın gereksiz kaygılanması önlenir.

18.6 Montaj Ve Bakım Personeli İçin Talimatlar

Montaj ve bakımla uğraşan personelin RF tehlikesi hakkında bilgiye ihtiyacı vardır.Limit değer aşılsa ortaya çıkacak tehlikeyi bilmeli ve etkilerden haberdar edilmelidir.Temel bilgiler bazı kurallar aşağıdadır.

*Ölçüm ve hesaplanan değerler standartlardaki değerlere uygun olmadıkça çalışan bir antenin önünde durmayın.

RF tehlikesi standartlardaki limitin altında iken antenin arkasında veya altında çalışabilir. Antenin ön kısmına kısa bir an dokunmak (birkaç saniye) limitin aşılmasına neden olmaz.

Her zaman için başka RF vericileri istasyon yakınına kurulabilir. Eğer RF seviyesi bilinmiyorsa verici sahibiyle konuşulmalı ve ölçüm yapılmalıdır.

İstasyon üniteleri veya verici elektronik devresindeki RF seviyesi her zaman çok düşüktür. Yine de kırılmış veya bağlantısı kopmuş kablolar limite yaklaştırılabilir. Bunlar tekrar bağlanmalı veya devam etmeden önce onarılmalıdır.

Dışarıdan satılan RF monitörlerinin bazıları montajda kurulabilir. Bunlar önceden belirlenmiş RF seviyesine ulaşıldığında alarm verirler. Anten çalışırken bu aletlerin ölçümlerinde kesinlik yoktur.

19. CEP TELEFONLARININ ETKİLERİ

1995'de Amerikan Bilimsel komitesi tarafından yayınlanan raporda GSM mobil telefonlara ilişkin baş ağrısı, endişe, kısa süreli hatırlamada azalma, giderek artan kronik yoğunluk, deri uyuşukluğu gibi sağlık sorunları olabileceği belirtilmektedir.

Mikrodalgalarda çok daha önce yapılan deneylerden; yoğun ve uzun süreli maruziyetlerin Alzheimer, Parkinson hastalıklarına ve ciddi göz hasarlarına yol açan genetik problemler oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenle dijital telefonların da baş çevresinde mikrodalga darbeleri ürettiğini unutmamalıyız. Motorola şirketi bu konuda kullanıcılarına, telefonu kulağa çok yakın yerleştirmemelerini tavsiye etmektedir. Her hangi bir nedenle her insan vücudunda kansere yol açabilecek özelliği sahip hasarlı hücreler bulunabilir. Böyle bir insanın bu hasarlı hücreleri bir şekilde (bilgisayar, cep telefonu, yada elektrikli bir aletten gelen) EM alana maruz kalması sonucu vücut bağışıklık sistemi bozularak kanserin hızlı bir şekilde gelişmesine yol açacağı ifade edilmektedir.

Vücudumuzun herhangi bir organizmasındaki bir elektromanyetik alanın dış manyetik alan ile senkronize olması sonucu canlı organizmada meydana gelen faydalı yada faydasız etkiye zetgeber etkisi denir. Beynin elektriksel aktivitesinden dolayı 0.5- 120 hz arasında oluşan beyin dalgaları bir elektromanyetik alandır. Bu dalgalar işlevsellik bakımından aşağıdaki gibi altı banda ayrılır.

Delta (0.5-3 Hz)

Tetha (3-7 Hz)

Alfa (7-12 Hz)

Beta (12-30 Hz)

Gama (30-60 Hz)

Lamda (60-120 Hz)

Bu dalgalar; uyku, düşünce, bilinç altı durumlar, korku, gerilim gibi çeşitli faaliyetlerde oluşmaktadır. Ev içinde kullanılan yatak odasındaki elektrikli çalar saatten televizyon yada videoya kadar tüm cihazlar 50 Hz frekanslı olmaları nedeniyle verdikleri radyasyonlar beyin dalgaları ile senkronize olabilmektedir.

Aşağıda verilen tablo beyin üzerinde EMA' ların etkisine ilişkin Japonya' da cep telefonu ve bilgisayarlarla yapılan test sonuçları verilmiştir. Aşağıdaki tabloya göre bilgisayar operatörlerinde bilgisayarla çalışırken ve çalışmadığı zaman beyin dalgalarında oftalmik sınır, retinada sağlık durumlarında açık farklılıklar göze çarpmaktadır. 20 seviyesi normal göstermektedir. (Moulder,2001)

Çizelge 19.1 Test Sonuçları

Bilgisayar Kullanıcılarında Testler	Test Öncesi Durum	Test Sonrası Durum
Alfa Dalgaları	20	18
Beta Dalgaları	20	14
Delta Dalgaları	20	17
Tetha Dalgaları	20	13
Göz Siniri	20	8
Retina	20	10

Cep Telefonu Kullanıcısındaki Testler	Test Öncesi Durum	Test Sonrası Durum
Otonom sinir	14	4
Beyin İşitme Alanı	17	4
Beynin Görüş Alanı	13	6
Göz Siniri	13	5

Elektromanyetik alanlara maruziyet sonucu bazı kronik rahatsızlıklar tıp literatüründe geçmeye başlamış olup elektriksel duyarlılık (ES) de bunlardan biridir. Söz konusu rahatsızlığın semptomu, baş ağrısı ve dönmesi , mide bulantısı, sersemleme, bazı yiyeceklere ve maddelere karşı alerji şeklinde tanımlanmaktadır.

19.1 Mobil İstasyonların Yakınlarında Durum:

Mobil istasyonları oldukça düşük güçlü olup sürekli mikrodalga darbeleri yayarlar. Maksimum alan, istasyonun gücü ve konuşma sayısı yoğunluğuna göre artar. İstasyondan 30 m ve 100 m' ler arasında taarak seviyesinde en fazla alanlar oluşur. Çocukların vücut ölçüleri itibarıyla cep telefonu frekanslarında EM dalga ile, rezonans olayı dolayısıyla şiddetli etkileşim yapılabileceği endişesi nedeniyle 1995'de Amerika'da cep telefonu aktarıcı kulelerinin okul ve evlerin yakınlarına yerleştirilmesi yasaklanmıştır. (USA' da yapılan bir çalışmada 45 dakika süre ile fareler cep telefonu frekansı ve aynı seviyede mikrodalga ile ışınlandığında geçici hafıza kaybı ve öğrenmede karışıklığa yol açtığı, kan basıncında yükselme, hamilelerde rahatsızlıklar oluşturduğu tespit edilmiştir. Benzer etkinin insanlarda oluşabileceği eşik seviye ile ilgili çalışmalar sürmektedir. Bazı bilim adamlarının; 20 dakika süre ile cep telefonu ile görüşme yapan kimsenin kafasını muayene ettirmesi gerekir seklinde önerisi vardır.(Çerezci,2000)

Çizelge 19.2 Cep telefonlarından yayılan elektrik alan değerleri(V/m)

	Cep Telefonu	El Telsizi	Mikro GSM
Çıkış Gücü	600mW	5W	1mW
Anten Kazancı	01.Haz	01.Haz	01.Haz
Efektif Işıma Gücü	0.96w	8.0w	1.6mW
Mesafe(cm)	Volt/metre		
300	1.8	5.2	0.07
200	2.7	7.7	0.11
100	5.4	15	0.22
75	7.2	21	0.29
50	11	31	0.49
30	18	52	0.73
20	27	77	1.1
10	54	155	2.2
5	107	310	4.4

Bazı elektronik cihazlar 1V/m' de zarar görür.

Hemen hemen tüm elektronik cihazlar 100 V/m 'de zarar görür.

19.2 Cep Telefonu Riski Nedir?

II. dünya harbinde radarın ilk keşfedildiği yıllarda mikrodalga ile ilgili bir sınırlama yapılmamıştır. 1960'larda , araştırmalar sonucu mikrodalga radyasyonunun katarakt, beyin tümörü, lösemi gibi etkiler oluşturacağının anlaşılmasıyla bir dizi güvenlik önlemleri geliştirildi. Limitler, radyasyonun insan vücudunda soğurulması sonucu vücut sıcaklığında, artış oluşturabileceği esas alınarak hazırlanmıştır. Bu belirlemede termal olmayan olası etkiler dikkate alınmamıştır. Sonraları bu standartlar her iki üç yılda bir sürekli yenilenerek olası etkileri de dikkate alan daha alt limitlere çekilmiştir.

Dijital cep telefonları, saniyede 217 radyo frekans darbesi üretmeleri nedeniyle bizleri radyasyon sürekli maruz bıraktıklarından biyolojik etki açısından daha aktif özelliktedir.Cep telefonlarından yayılan bu darbeler kulakla işitilebildiği gibi , yakında bulunan kimsenin hücreleri tarafından da algılanabilir.

Cep telefonu kilometrelerce ötede baz istasyonlarına ulaşmak için epeyce yüksek enerjili RF dalgaları yayarlar.Yatılan elektromagnetik enerji telefonu kullanan kişinin kafası çevresinden mikrodalga olarak ışımlandığı için, sağlık açısından güvenli midir sorusu doğmaktadır. Bu konuda hayvanlar üzerinde hücre seviyelerinde yapılan çalışmalarda belirli sonuçlar

alınmaktadır. Bunlar arasında DNA bozulması sonucu kanser tümörlerine yakalanma riskindeki artma, mobil telefon kullananlarda özellikle beyin tümörlerine yakalanmada risk artışı söylenmektedir.

İnsan vücudunda biyolojik etki değerlendirmesi için parametre; dokunun birim kütlesi tarafından EM dalgadan soğurulan (tutulan güç); SAR esas olarak alınmaktadır. İsveç teknoloji Enstitüsü tarafından hazırlanan bazı üretici şirketlere ait modellerde ilişkin kilogram başına düşen yük miktarı olan SAR değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 19.3 Değişik firmaların Ürettiği Cep telefonlarının Oluşturduğu Enerji Yoğunlukları

Firma Adı	Ürün Modeli	SAR (W/kg)
Hagenuk	Global	0.28
Motorola	StarTac	0.33
Sony	CM-DX-1000	0.41
Nokia	8110i	0.73
Motorola	D160	0.81
Nokia	7110	0.71
Ericsson	T-28	0.67

Cep telefonları için 900MHz ve 1.8 Ghz frekans bantlarında geçerli limit seviyeler USA ANSI IEEE C.95 güvenlik limitleri SAR için, 1.6 W/kg seviyelerinde iken, Alman limitleri ise bunu 2 W/kg olarak belirlenmiştir. Ancak askeri ve tıbbi uygulamalarda mecburen bu değerlerin üzerine çıkılabilmektedir.

20. ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK, CEP TELEFONLARI VE BAZ İSTASYONLARI

Tıp çevresinin cep telefonları ve baz istasyonlarının baş ağrısı, uyku düzensizlikleri, unutkanlık yarattığı, kanser riskinin arttığı ve bağışıklık sistemini zayıflattığı gibi bulgu ve deneylere dayalı görüşler konulmaktadır.

INIRC ve IRPA, genel halk için tehlike sınırını 0.08W/kg olarak belirlemiştir. Dokularda ısı yutulmaya neden olan parametre dokunun iletkenliğidir ve σ (S/m) sembolü ile gösterilir. Elektrik alan şiddeti E (V/m) olan bir ortamda , iletkenliği σ , yoğunluğu ρ (kg/m³) olan ve V hacmine sahip dokuda yutulan SAR değeri:

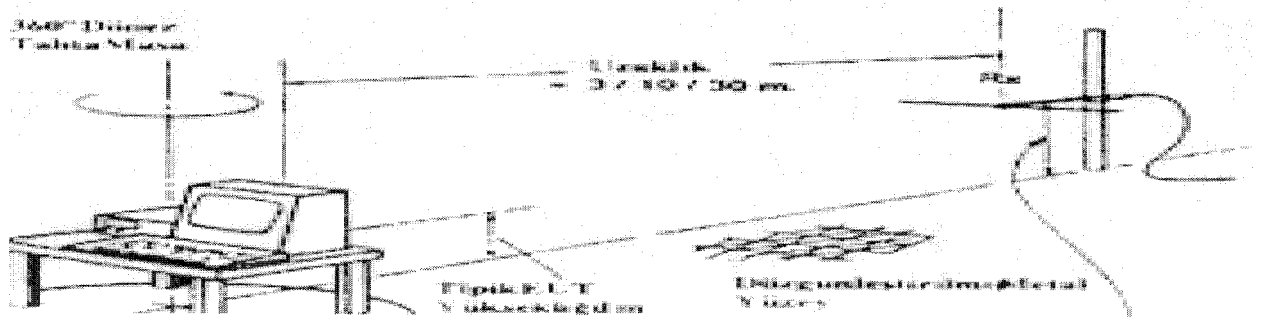
$$SAR = \iiint (\sigma E^2 / \rho) dV (W / kg) \quad (1)$$

Olarak bulunur. Görüldüğü gibi , SAR değerinin bulunması için dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin ölçülmesi gerekir. Oysa canlılarda bu ancak tıbbi deneklerle yapılmalıdır. Bu nedenle SAR ölçülmesi ya insanın EM özelliklerine yakın tuzlu su yada değişik kimyasal jellerden yapılmış robotlar üzerinde yapılır., ya da bu amaçla güçlü sayısal teknikler kullanılarak bilgisayar simülasyonlarından yararlanılır.



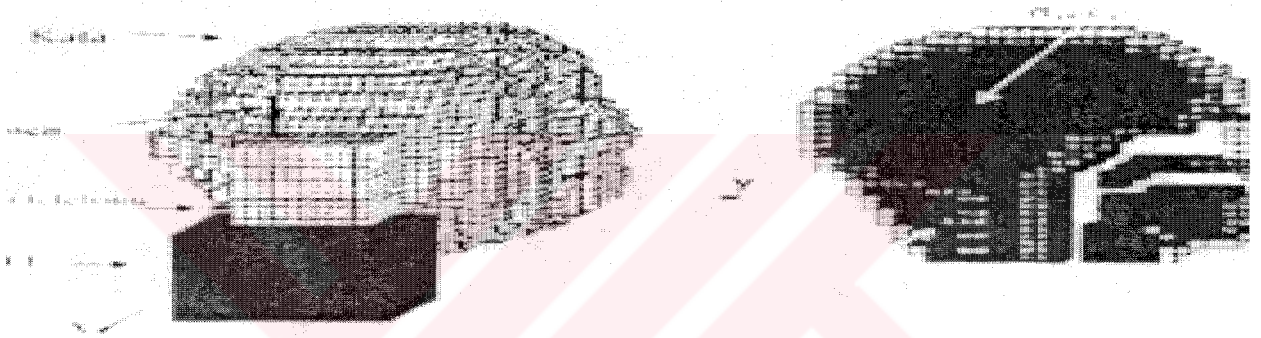
Şekil 20.1 SAR labaratuvarından bir örnek

Gerek robotlar üzerinde yapılan ölçmeler gerekse bilgisayar simülasyonları sonucu SAR dağılımları elde edilir. Burada, yatay ve düşey kafa kesitlerindeki SAR değerleri gösterilmiştir. Koyu renkler yüksek SAR değerine karşı geldiğinden o doku içinde daha fazla zararlı EM enerji yutulması demektir.



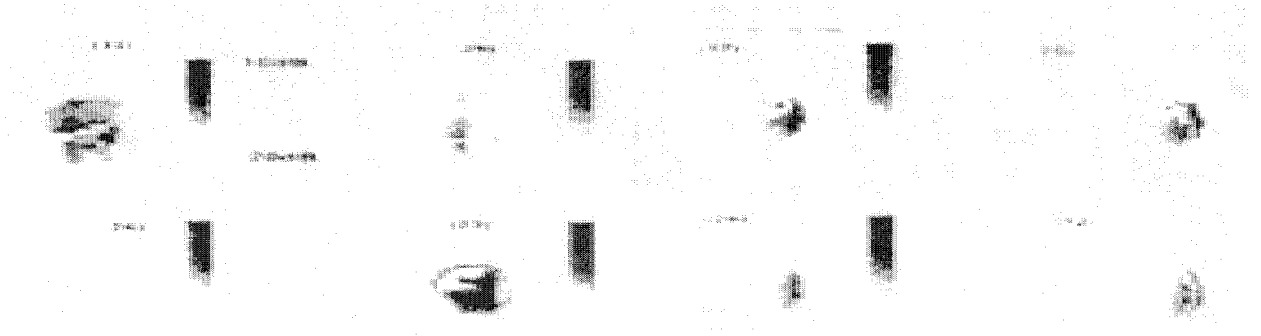
Şekil 20.2 Test laboratuvarı

SAR modellemesi cep telefonu insan kafası etkileşiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsanın göz,kulak,beyin gibi hassas bölgelerini olduğu kafasının birkaç milim ötesinde 1-2 wattlar mertebesinde güç yayan bir cihazı kullanmasının kısa ve uzun dönem etkileri çok önemlidir. Bilim adamları bu konuda aralıksız çalışmalarını sürdürmektedir.



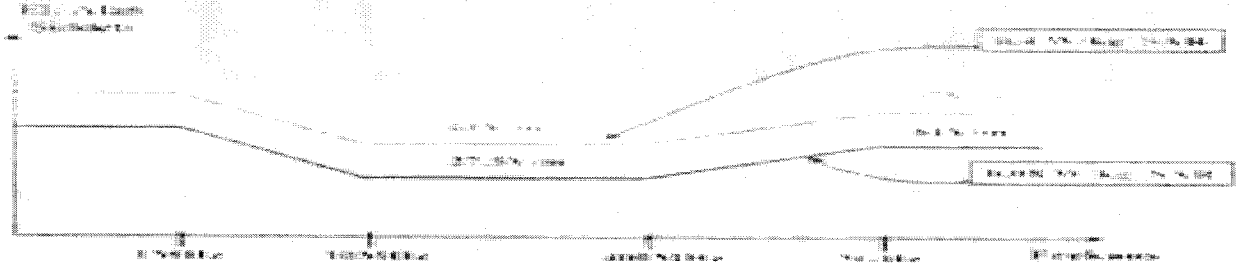
Şekil 20.3 Türetilmiş limitlere bir örnek

Oysa baz istasyonları ve diğer cihazlar açısından limitleri SAR değeriyle belirlenebilir.Bu nedenle SAR değeri olarak verilen temel limitlerden türetilmiş limitlere geçilir.ve elektrik alan şiddeti ya da güç yoğunluğu olarak verilir.Üsteki şekilde türetilmiş limitlere bir örnek gösterilmiştir. Burada frekansa göre temel limitlerden yola çıkarak elde edilen ve izin verilen en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri gösterilmektedir.(kabaca insan vücudunun ortalama iletkenliği $s=1.57m$, yoğunluğu $r=0.001 \text{ kg/m}^3$ alınırsa $1.6W/kg$ lık SAR değeri $40V/m$ şiddetindeki elektrik alana karşı gelmektedir.)



Şeki 20.4 İnsan Beyin Hücre Eşleşmesi

Uluslararası kuruluşların belirlediği temel ve türetilmiş limitler arasında tanım ve değer olarak farklar bulunmaktadır. Bunun sonucu ülkelerin kabul ettikleri limitler arasında da farklılıklar vardır. Aşağıdaki tabloda bazı ülkelerin belirledikleri sınır değerlerle 2010 yılı ve sonrası için, özellikle tıp çevresince önerilen, sınır değerler verilmiştir.



Şekil 20.5 Elektrik alan şiddetinin frekans ile değişimi

Bu değerler insanların bulunabileceği her ortamda izin verilen en yüksek değerlerdir.

Çizelge 20.1 GSM şebekesi için Kabul edilen değerler

Sınır Değerler	E(v/M)900 MHz	E(v/M)1800 MHz	S(Mw/CM)900MHz	S(Mw/CM)1800MHz
TÜRKİYE	42	57	450	900
AB	41	58	450	900
RUSYA	6	6	10	10
İTALYA	6	6	10	10
İSVEÇ	4	6		
2010	0.15	0.06	0.005	0.001

Çevre bakanlığınca 11 Mayıs 2000 tarihinde yayımlana genelge AB ve IRPA referanslarıyla sınır değerleri 900 MHz bölgesinde 42(V/m), 1800MHz bölgesinde ise 59(V/m) olarak belirlemiştir. Bu değerler uzak alan varsayımı ile belirlenmiş olup elektrik alan $E(V/m)$, manyetik alan $H(A/m)$ ve güç yoğunluğu $S(W/m^2)$ arasında

$H = E/377(A/m)$, $S = E^2/377(W/m^2)$ ilişkisi vardır. Dolayısıyla biri verildiğinde diğerleri hemen hesaplanabilir. Sözü edilen sınır değerlerin anlamlı olabilmesi için birkaç tipik değer vermek gerekir. Ayrıca, tipik baz istasyonları hakkında kısa bilgi yararlı olacaktır.

Tipik baz istasyonu kulesi ve apartmanlar arası yerleşimin etkileri resmedilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, baz istasyonu anteninin hangi çatıya kurulduğu değil ana huzmenin ne yöne baktığı önemlidir.

Bu etkileşimi yok etmek yada minimuma indirmek için, EMC standartlarının sağlanması şarttır ve çeşitli elektronik alet üreticileriyle cep telefonu üreticilerinin işbirliği gerekir. Bu soruna genel çözüm getirecek ilk yanıt budur. Hassas aletlerin çalıştığı hastane, havalimanı gibi yerlerde etkileşimden korumak için kapatılmalıdır.

Elektronik alan etkileşimine özellikle konu olan kalp pili ve işitme cihazlarıdır.

20.1 Kalp Pili

Zayıflayan bir kalbin düzenli bir hız kazanması için elektrik uyarılar gönderen bu alet, genellikle kalbin durumuna göre gerekli anlarda takviye yapmak üzere çalışır. Güçlü elektromanyetik alanların bu aleti etkileyebileceği saplanmıştır.

Cep telefonu şebekesindeki radyo baz istasyonları çevresinde oluşan elektromanyetik alanların gücü ,bu tür bir aleti etkilemeyecek kadar hafiftir. Ancak , bir kısmı cep telefonu üreticileri tarafından başlatılmış uluslararası araştırmalar, cep telefonu anteninin hastanın vücudunda pilin bulunduğu bölgenin tam üstüne doğru tutulması halinde etkilenebileceğini göstermiştir. Bu etkileşimin pil üzerinde kalıcı bir zarara yol açmadığı ve cep telefonunun hastadan birkaç santim uzağa konmasıyla hiçbir iz bırakmadan tamamen yok olduğu da görülmüştür. Kalp pilinin dijital sinyallere karşı, analog telefonlardan daha hassas olduğu da, ayrıca saplanmıştır.

Üretici firmalar uyarı olarak kalbinde pil olan bir kişinin kullanım sırasında cep telefonunu pilden en az 15 santim uzakta tutması ve örneğin göğüs cebinde cep telefonu taşımasıdır.

20.2İşitme Cihazları

İşitme cihazı kullanan kişiler çeşitli elektronik aletlerden dolayı elektromanyetik alan etkileşimini hissetmektedir.

Dijital cep telefonunun hızlı radyo sinyalleri, yakındaki bir işitme cihazında bir takım parazit cızırtılarına ya da uğultulara neden olmaktadır.

Bu tür bir etkileşimin boyutları işitme cihazı üreticileri tarafından ve bağımsız araştırma kuruluşları tarafından incelenmiş ve her tür dijital cep telefonunun işitme cihazını etkilediği görülmüştür.

Bu etkileşim öncelikle işitme cihazı kullanıcılarının elektromanyetik alanlara karşı bağışıklığına bağlıdır. Kulağın içine yerleştirilmiş küçük cihazların, kulağın arka kısmına yerleştirilen daha büyük örneklerine kıyasla daha yüksek bir bağışıklığı ortaya olduğu konulmuştur. (Moulder,2001)

Araştırmalar sonucu, işitme cihazı olan bir kişinin yakın çevresinde dijital bir cep telefonu kullanılmasından etkilenme riskinin az olduğunu göstermiştir. Ancak işitme cihazı kullanan kişinin kendisi, tam gücüyle çalışan bir dijital cep telefonunu işitme cihazının takılı bulunduğu kulağına koyarak kullanması halinde, cihazın kesinlikle etkileneceği muhakkaktır. Bugün için üretilmekte olan işitme cihazlarının çoğunda bu etkileşim söz konusudur.



Şekil 20.6 Cep telefonları için geliştirilmiş aksesuarlara bir örnek

Uzun vadede ulaşılabilecek çözüm, bağımsız işitme cihazlarının üretilmesidir. Ancak, cep telefonları için uygun birtakım aksesuarlar geliştirilmesi de önemli bir çözüm getirecektir. İşitme cihazı üreticilerinin ürün geliştirme konusunda başlattığı hızlı çalışmalar sonucunda, on yıl içinde bugünkü işitme cihazlarının yerini elektromanyetik alanlardan etkilenmeyen cihazlar alabilecektir. İşitme cihazları için yeni EMC standartları geliştirilmekte olup, bunlar işitme cihazlarıyla dijital cep telefonları arasındaki uyumum arttıracaktır.

Bu konudaki kısa vadeli çözüm, dijital bir cep telefonunu işitme cihazının takılı olduğu kulağa yaklaştırmamak için ilave bir ekipman ya da analog sistemli telefon kullanmaktır. Üreticiler elle tutulması gerekmeyen ve taşınabilir nitelikte iki ek araç sunmuştur. Her iki araç da, kulaklık ve mikrofon bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesinin, kordonlu işitme cihazıyla kullanılabilecek manyetik donanımı vardır.

21. MODELLEME ÇALIŞMALARI

Biyolojik yapılarda RF dalgalarının yayılımı malzemelerin dielektrik sabiti, iletkenlik, kaynak konfigürasyonu ve doku yapısını tanımlayan geometrik faktörlere bağlıdır. Vücut doku yüzeyinin eğrilik yarıçapı, yüzeye gelen dalgaların dalga boyuna göre büyükse düzlemsel doku modelleri, RF ışımasına uyaran biyolojik sistemde soğurulan enerjiyi (SAR) hesaplamakla kullanılabilir. Soğurulan enerjinin hesaplanması, vücudun RF ışımasına gösterdiği tepkinin anlaşılması ve etkileşme mekanizmasının belirlenmesi açısından önem taşır.

Bu kısımda SAR hesabında kullanılan ve insan vücudunu modelleyen başlıca modeller incelenerek ve modellerden elde edilen sonuçlar tartışılacaktır. İnsan vücudunda ısı artışını sağlayan e.m ışıma dışında çok çeşitli nedenler olduğu için elektromanyetik ışınının vücut içinde oluşturduğu ısı atışının doğru olarak ölçülmesi hemen hemen imkansızdır. Ayrıca insan vücudu üzerinde RF ışıması yapılarak deneylerin tekrarlanması mümkün olamayacağı için teorik modelleme çalışmalarını dosimetritenin de önemli bir yeri vardır.

21.1 Düzlemsel Tabaka Modeli

21.1.1 Tek Tabakla Modeli

Bir düzlem dalganın bir düzlem dokuda yansıma ve geçişi frekansa, polarizasyona, dalganın geliş açısına, dokunun iletkenlik ve dış ortamın elektrik özelliğine bağlıdır. İki yarı sonlu arakesit ortamına dik olarak çarpan bir lineer polarize düzlem dalga için Γ yansıma ve T geçme katsayıları η_1 ve η_2 ortam empedansları cinsinden;

$$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$$

$$T = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1}$$

Olarak verilir. $\eta_2 = 0$ ise tamamen yansıma, $\eta_1 = \eta_2$ ise ; tamamen geçme söz konusu olur. Tabloda çeşitli dokuları ayıran ara yüzeyler için yansıma katsayıları verilmektedir. Süreksizlik nedeniyle yansıyan güç oranı Γ^2 ile ifade edilir. Görüldüğü gibi bu ara yüzeylerde gelen gücün yaklaşık yarısı yansımaktadır. Doku- doku ara yüzeylerinde yansıyan güç oranı; kas-kan dokusu için en düşük olup 5, ve kemik-biyolojik sıvı ara yüzeyi için maksimum 50 aralığında değişir. Dielektrik özellikleri birbirine daha yakın ara yüzeylerde yansıyan güç daha küçük olur.

Geçen güç oranı ($1-\Gamma^2$) ile orantılıdır. Tabloda görüldüğü gibi, hava-doku ara yüzlerinde, geçen güç, mikrodalga ve RF frekanslarında oldukça fazladır. Geçen güç katsayısı frekansa hayli bağlı olup, bu bağımlılık düşük frekanslarda daha da fazladır.

Çizelge 21.1 37°C de biyolojik dokular arasında yansıma katsayısının yüzde değerleri

	Frekans(MHz)	Hava	Yağ	Akciğer	Kas	Kan	Salin
Hava	433	0	46	76	82	81	83
	915	0	43	73	78	79	80
	2450	0	41	71	76	77	79
	5800	0	39	70	75	76	78
	10000	0	37	70	74	76	78
Yağ	433		0	46	56	56	60
	915		0	43	52	54	57
	2.450		0	42	50	53	57
	5.800		0	42	50	53	56
	10.000		0	45	52	54	58
Akciğer	433			0	14	13	19
	915			0	12	14	18
	2.450			0	10	25	19
	5.800				10	14	19
	10.000				10	13	18
Kas	433				0	4	6
	915				0	4	7
	2.450				0	5	10
	5.800				0	4	9
	10.000				0	3	9
Kan	433					0	6
	915					0	4
	2.450					0	5
	5.800					0	5
	10.000					0	6
Salin	433						0
	915						0
	2.450						0
	5.800						0

Dalga dokuda ilerledikçe, soğurulma nedeniyle dalganın enerjisi giderek azalır. Enerjideki bu azalma, δ ile gösterilen deri (cidar) kalınlığı ile tanımlanır. Cidar kalınlığı, gelen gücün e^{-2} çarpımı kadar azalmasına karşı gelen ortam kalınlığıdır. Tabloda bazı dokular için δ deri kalınlığı verilmektedir.

Çizelge 21.2 Biyolojik dokularda yayılan dalgalar için deri kalınlıkları

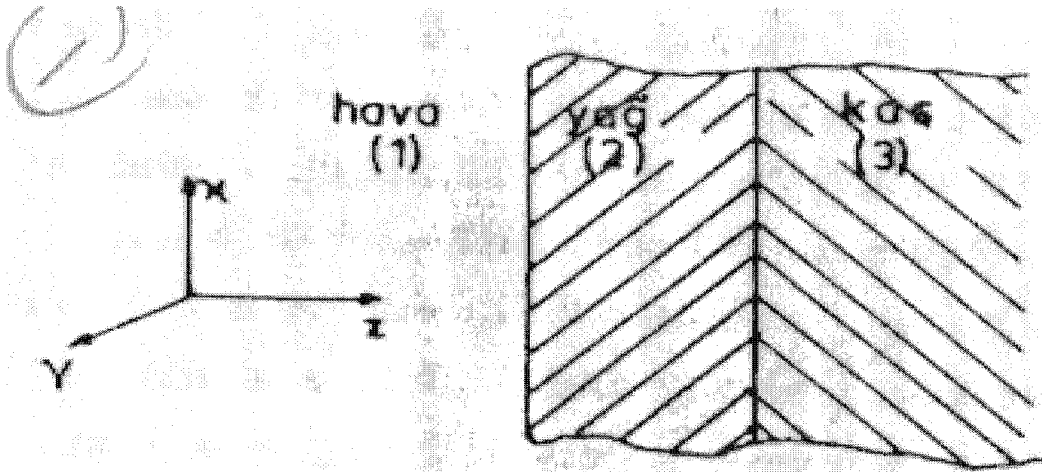
Frekans(MHz)	Salin	Kan	Kas(deri)	Akciğer	Yağ(kemik)
433	2.8	3.7	3.0	4.7	16.3
915	2.5	3.0	2.5	4.5	12.8
2.450	1.3	1.9	1.7	2.3	7.9
5.800	0.7	0.7	0.8	0.7	4.7
10.000	0.2	0.3	0.3	0.3	2.5

21.1.2 Çoklu Tabaka Modeli

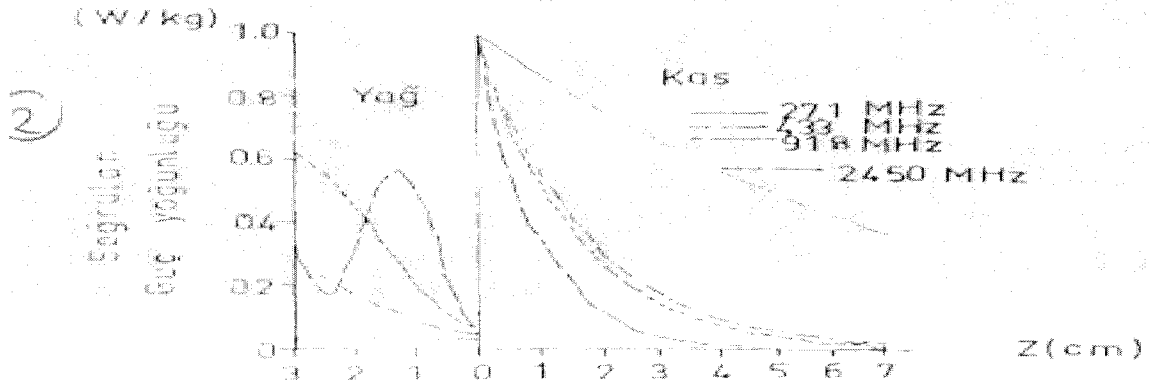
Matematik kolaylığı olan bu modelde vücudu çevreleyen doku tabakaları şekilde gösterildiği gibi düzlem tabakalarla gösterilerek vücut üzerinde soğurulan enerji hesaplanır. Her bir tabakada soğurulan güç

$$P_a = \frac{1}{2} \sigma E_i^2$$

den bulunur. Şekilde yağ ve kas dokularında soğurulan güç yoğunluğunun dağılımı verilmiştir. Yağ dokusunda kas dokusuna göre daha az enerji soğurulması dikkat çekmektedir. Frekans arttıkça deri kalınlığı kas dokusunda azalır. Özgül soğurulma oranı doku kalınlığı ile oldukça değişir.

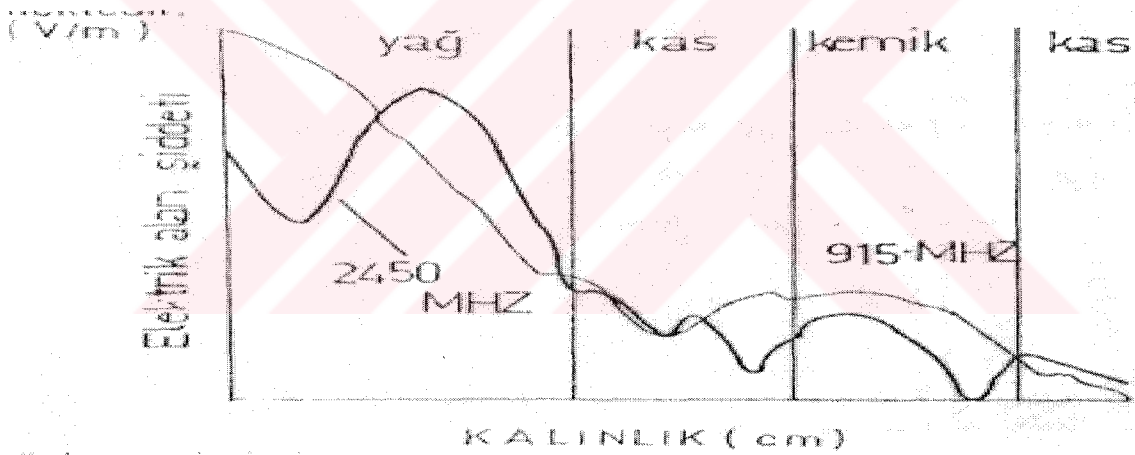


Şekil 21.1 Yağ ve kas tabakalarına gelen düzlem dalga



Şekil 21.2 Yağ ve kas dokularında soğurulan güç yoğunluğu

100 GHz' lik radyasyonda deri dokusunda cidar kalınlığı 0.05 cm den daha azdır. Dolayısıyla gelen enerji hemen hemen deri tabakasında tamamen yutulur. SAR (Özgül soğurulma oranı) deride en yüksek değere ulaşması deride yığılı duran sinir uçları bakımından önemlidir. Aşırı enerji soğurulması durumunda , vücudun ısı ayarlama mekanizması tarafından normal değere ayarlanabilir. Aşağıdaki şekilde yağ tabakasının altındaki indüklenmiş elektrik alanı dağılımı 915 MHz ve 2450 MHz için gösterilmiştir. Bu iki frekansta elektromanyetik dalga, dokunun içine iyice girebilmektedir.



Şekil 21.3 Düzlem tabakalarda Elektrik alan tabakaları

Kontrol yapılmadığı takdirde 300 MHz- 3000 MHz arasında elektromanyetik radyasyon daha derine girebilmesi nedeniyle vücut içindeki organları etkileyebilecek seviyede enerji soğurulmasına neden olabilir. Düzlem tabaka modeli vücudun, elektromanyetik dalga ile eklileşmesinin kaliteli olarak anlaşılması bakımından önemlidir. Ancak vücudu üç boyutta temsil edemezler.

21.2.Üç Boyutlu Modeller

Biyolojik varlıklarda dalga yayılımı; vücudun dalgaya göre duruşunu ve polarizasyona çok yakın bağımlılık gösterir. Bu husus yansıma ve geçme işlemlerine önemli sınırlama getirir. Bu nedenle insan vücudunu üç boyutta temsil eden ve birbirine göre bazı üstünlük ve

kolaylıklara sahip, küresel, yumurtamsı, silindirik modeller ve Kübik hücre Metodu gibi karışık modeller geliştirilmiştir. (Aklemen,2000)

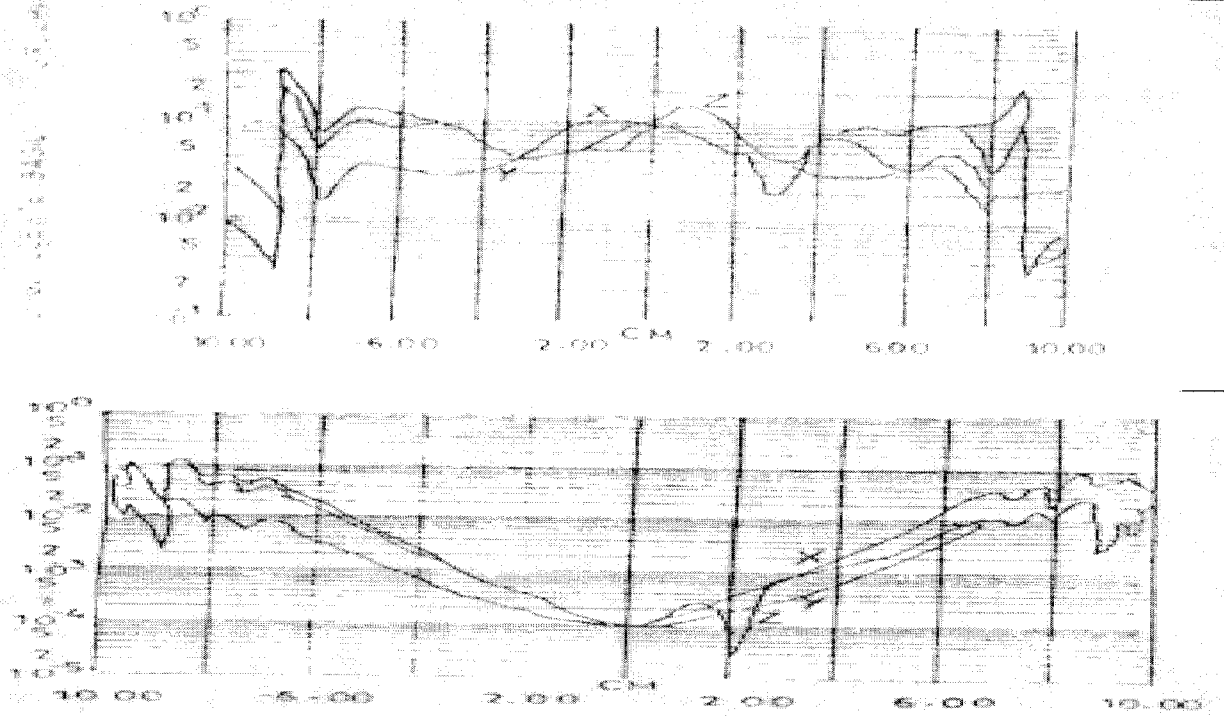
21.2.1 Küresel Modeller

Küre modeli, tabaka modeline göre daha iyi olmasına rağmen insan vücudunu temsil edemez. Ancak küresel ve düzlemsel modeller teorik dosimetrenin anlaşılmasında ilk önemli adımların atılmasını sağlamıştır. Çok tabakalı küresel modeller özellikle insan başında soğurulan enerjiyi hesaplamakta kullanılır. Aşağıdaki tabloda altı tabakalı bir küresel modelde kullanılabilecek biyolojik dokuların dielektrikleri ve kalınlıkları verilmektedir.

Çizelge 21.3 Altı tabakalı kafa modelinde biyolojik dokuların özellikleri

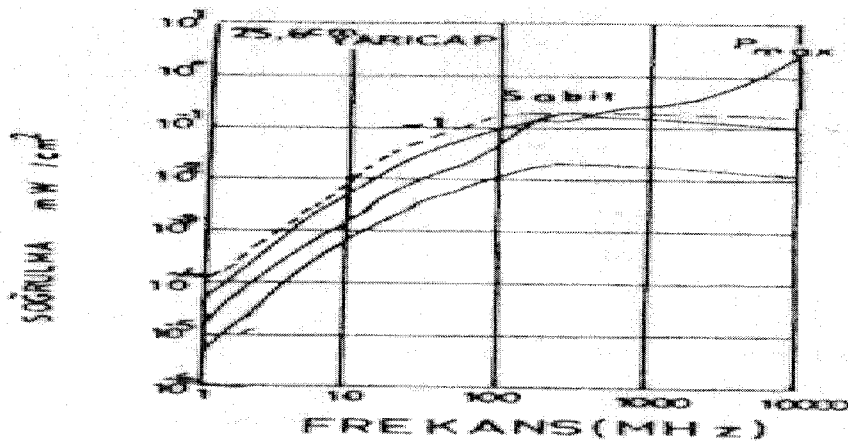
	Dielektrik Sabiti (MHz)		Kalınlık(cm)	
	818	2450	3,5	1.0
Beyin	34.42-j 15.49	32.78-j 15.37	2.88	6.98
CSF	80.85-j 14.05	77.0-j 13.94	0.20	1.10
Beyin Zarı	51.40-j 25.08	47.52-j 11.42	0.05	0.8
Kemik	5.56-j 0.856	5.0-j 0.857	0.20	0.7
Yağ	5.56-j 0.856	5.0-j 0.857	0.07	0.27
Deri	51.40-j 25.08	45.52-j 11.42	0.10	0.15

Böyle bir küresel model ile yapılan çalışmada yağ ve kemik tabakalarında enerji soğurulması en küçük değerde kalırken yüzeysel soğurulmanın oldukça fazla olduğu anlaşılmıştır. Şekilde 10 cm yarıçaplı yetişkin bir insan kafasını temsil eden küresel model için 918 MHz ve 2450 MHz frekanslarında gelen, 1 mW/cm³ geliş güçlü dalgalardan soğurulan enerji dağılımı gösterilmektedir. Şekillerdeki pikler en dış dokulardaki rezonans nedeniyledir. Lineer polarize düzlem dalga durumunda 918 Mhz için Maksimum soğurulma; insan kafası için yüzeylerde olmasına rağmen kendi başı için merkez yakın bölgelerde oluşur. (Moulder,2001)



Şekil 21.4 6 Tabakalı yetişkin bir insan kafasını temsil eden küresel modelde SAR dağılımı

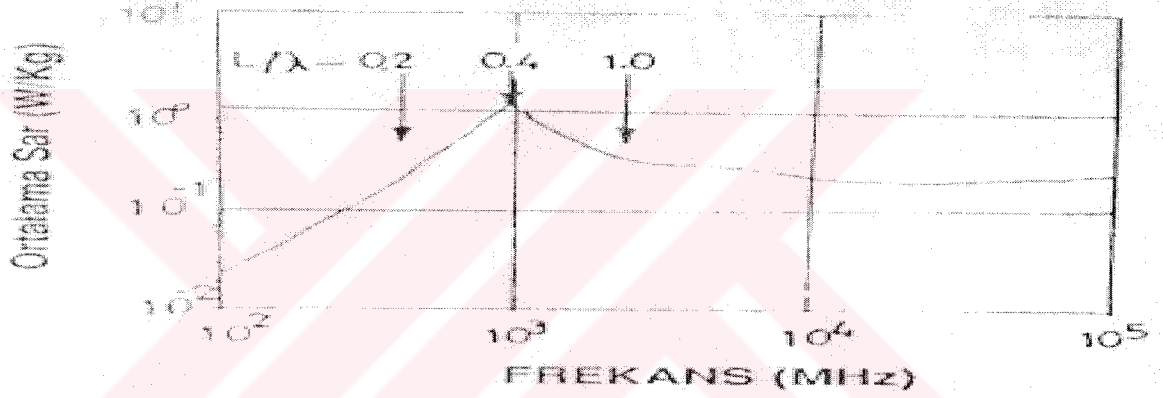
Frekansı 2450 MHz' e çıktığında maksimum soğurulma her iki küre içinde yüzeyseldir. Ortalama ve maksimum enerjinin frekansla değişimi için insan kafasını temsil eden model için aşağıdaki şekilde verilmiştir. 1 ile 20 MHz aralığı için düzlem dalga, kuasistatik elektrik alan ve manyetik alan tarafından indüklenen maksimum soğurulma oranı, frekansın karesiyle orantılı olarak karakterize edilen manyetik indüksiyon nedeniyledir. Ortalama enerji soğurulmasının 1 MHz – 10 GHz aralığı için frekansla değişimi gösterilmiştir. 1- 20 MHz aralığında ortalama soğurulma frekansın karesiyle değişir. 20- 200 MHz aralığında ortalama soğurulma frekansı doğru orantılı olarak artar ve 200 MHz' de maksimum değere ulaşır. Daha yüksek frekanslarda soğurulan güç frekansla ters orantılı olarak değişir.



Şekil 21.5 İnsan vücudunu temsil eden küresel modelde soğurulmanın frekans değişimi

21.2.2 Yumurtamsı modeller (Spheroidal Modeller)

İnsan vücudunun tamamını küresel modelle temsil etmek mümkün olmadığı için geliştirilmiş bir başka modelde yumurtamsı modeldir. Bu model insan ve havyan vücutlarını biraz daha iyi temsil ettiği için küresel modelden daha iyi sonuçlar verir. Yumurtamsı modelde yaklaşım; gelen, saçılan ve iç alanları küresel koordinatlarda vektörel dalga fonksiyonları olarak genişletilir. Bu alanların teğetsel bileşenlerinin, ara kesit yüzeylerinde sürekli kalmasından faydalanarak genişletme katsayıları bulunur. Bu modelde de soğurulma, küresel modelde olduğu gibi uygulanan E alan vektörü yönünde bir elektriksel indüksiyon akımı ile H manyetik alanının indüklediği akımından oluşur. Cismin gelen alana göre yönelmesine bağlı olarak maksimum yutulma oluşabilir. Genellikle daha kısa cisim, yüksek rezonans frekansına sahiptir. Aşağıdaki şekilde serbest uzayda düzlem dalga radyasyonu bırakılmış fareyi temsil eden yumurtamsı bir model için tüm vücudun özgül soğurulma verileri gösterilmiştir.



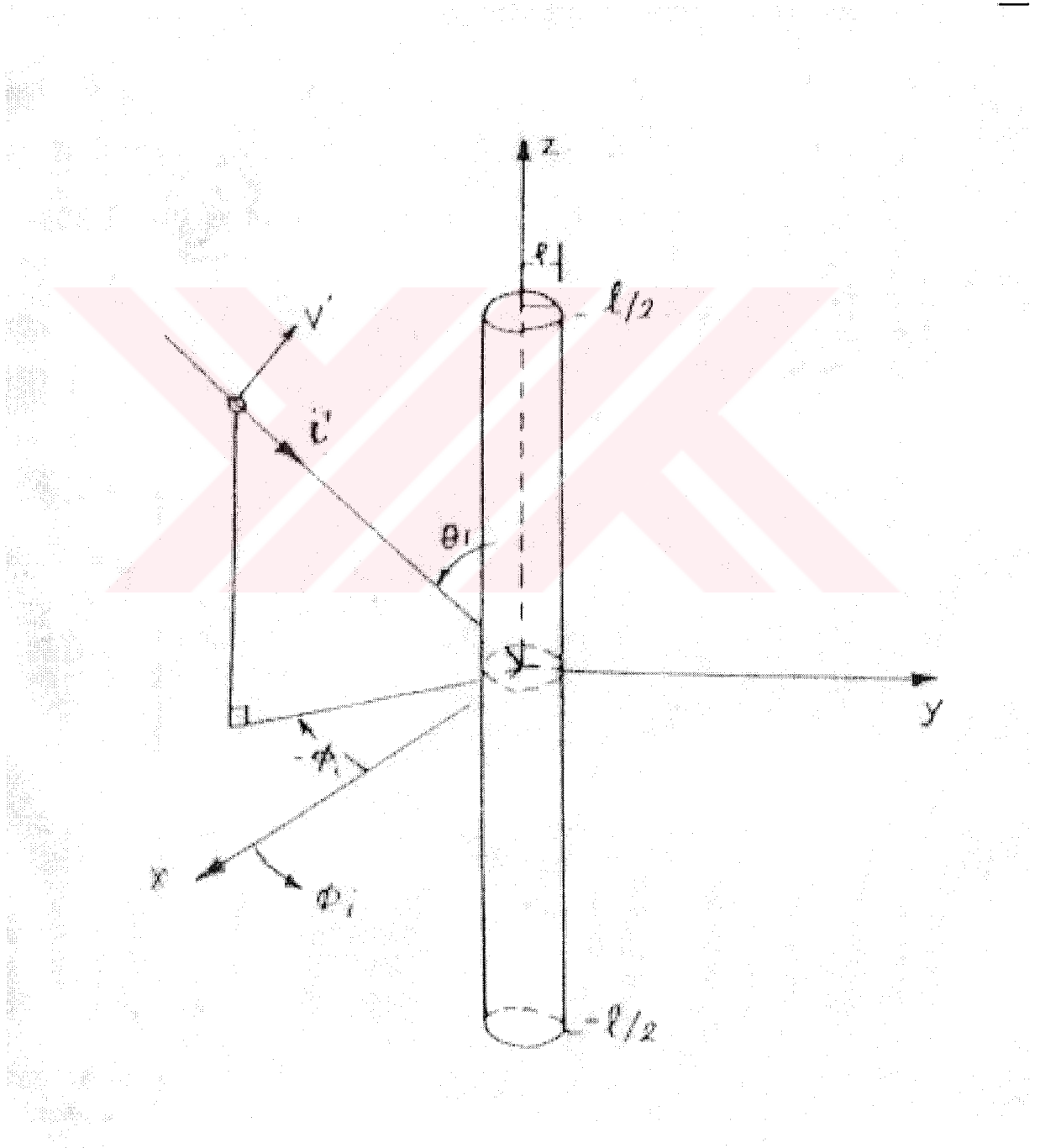
Şekil 21.6 Frekansa bağlı üç ayrı soğurulma bölgesi

Cismin en uzun L boyunun dalga boyuna oranı L/λ 0,2'den daha az olması gibi rezonansın iyice altlarında ortalama SAR, f^2 bağımlılığıyla karakterize edilir. Ortalama soğurulma oranı $0.2 < L/\lambda < 1.0$ aralığında rezonansa gider. Bu durumda ortalama soğurulma oranı $L/\lambda = 0.4$ maksimum değerine hızlıca ulaşır. Sonra $1/f$ orantılı değişim gösterir. $L/\lambda > 1.0$ olduğu frekanslarda, tüm vücut soğurması hafifçe azalır. Yumurtamsı modellerde alan şiddeti, küresel modellerde bulunan sonuçlardan %30 daha yüksektir. Aşağıdaki şekilde 1V/m lik H veya TE polarize olmuş dalgaya maruz buluna fareyi temsil eden yumurtamsı model içinde indüklenen elektrik alan kontur dağılımları verilmektedir.

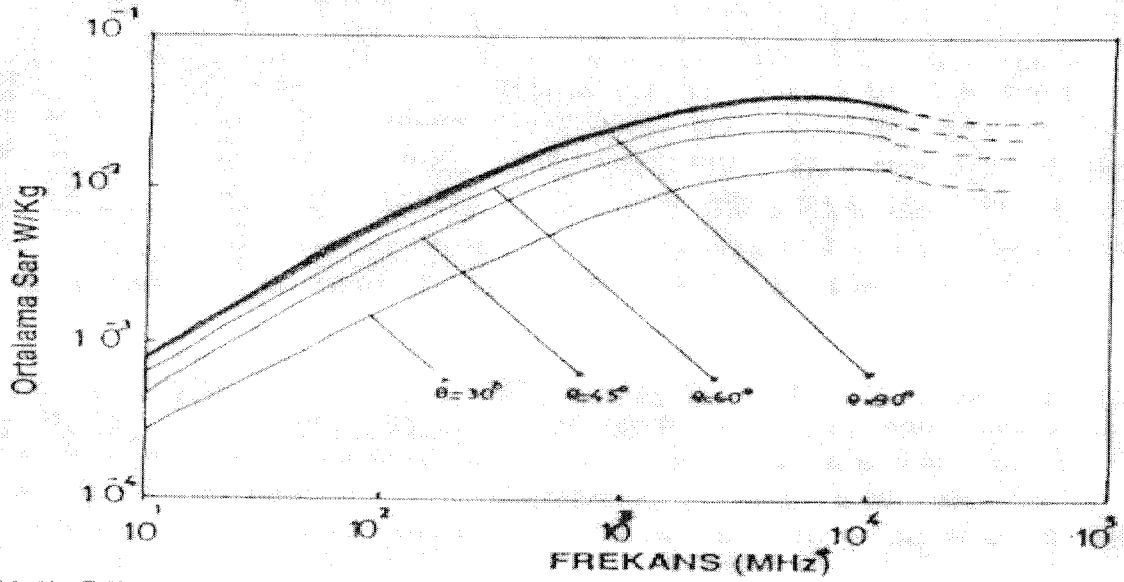
21.3 Silindirik Modeller

Bu modellerde insan vücudu dielektrik özellikli silindirle modellenerek vücudun soğurduğu güç, silindir içinde indüklenen iç alan hesaplanarak bulunur. Soğurulan güç yoğunluğu iç alan

ve dokuların elektriksel özellikleriyle ilişkilidir. İç alan hesabında alanın yakın alan, uzak alan olması, vücudun dielektrik özellikleri, gelen alanın frekansı, vücudun topraktan yalıtılmış olup olmaması gibi faktörler rol oynar. Aşağıdaki şekilde insan vücudu 1.75 m uzunluklu ve $r = 11.13$ cm yarıçaplı, 70 kg'lık bir silindire modellenerek değişik geliş açıları ($\theta_i, \theta_i = \text{sabit}$) için özgül soğurulma oranı – frekans eğrileri verilmiştir. Sonuçlar diğer modellerle çok iyi uyuşmakta ve ayrıca değişik geliş açıları için özgül soğurulma oranının hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. (Aklemen, 2000)



Şekil 21.7 Silindir geometrisi

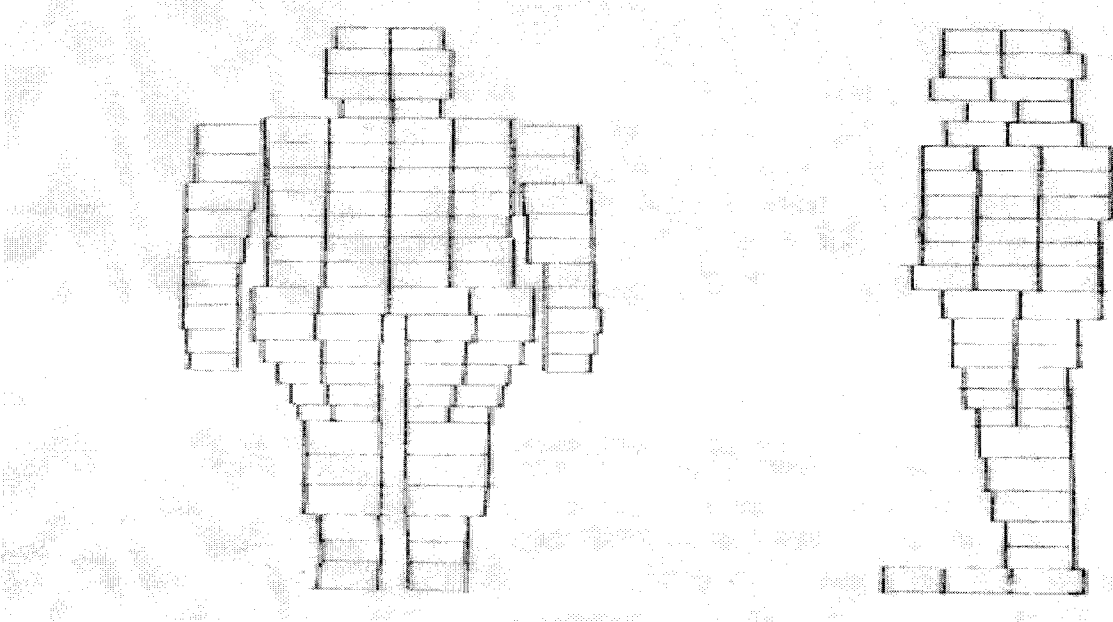


Şekil 21.8 Silindirik modelde, değişik geliş açılarında TE ve H polarizasyon için ortalama özgül soğurulma değişimi

21.4 Karmaşık Modeller

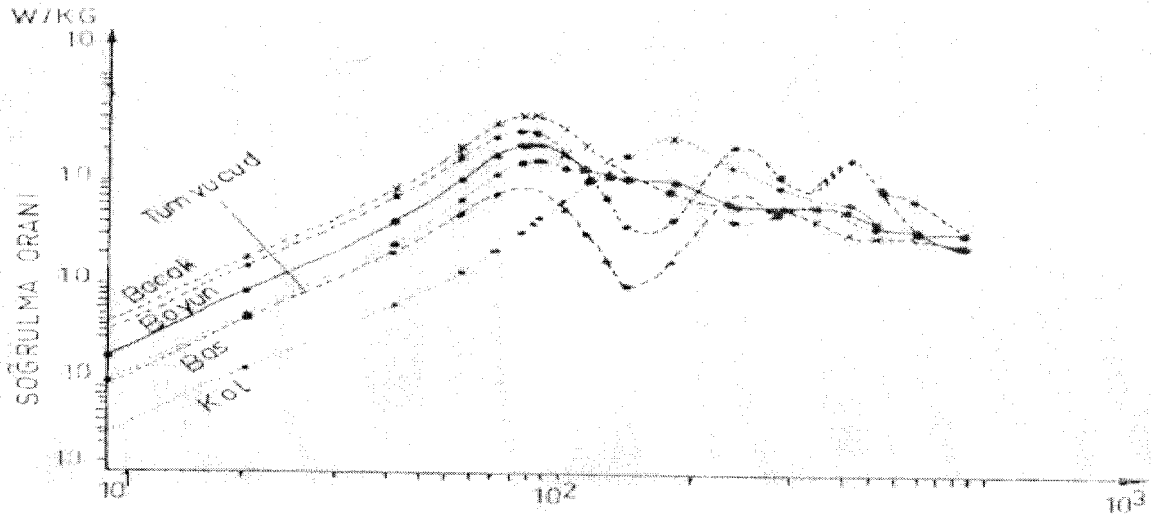
Gerek tabaka , silindir ve gerekse de yumurtamsı modeller vücudun bazı bölümlerini çok iyi temsil edebilmesine rağmen çeşitli maruziyet durumları için tamamen yeterli oldukları söylenemez. Daha realistik bir modelde insan vücudunun küplerle temsil edilerek, vücudun düzensiz bölümleri de incelemeye dahil edilir. Böylelikle radyo ve mikrodalga ışımaya maruz kalan biyolojik cisimlerde enerji soğurulması hesaplanır. bu karmaşık modellerden moment metodunda yüzey integral denklemi metodunun ve hacim integral denklemi metodu kullanarak vücut içinde bilinmeyen alanlar hesaplanır. Yüzey entegral denkleminde vücuda yüzeyinde bilinmeyen akımlar bulunarak iç elektrik alanları hesaplanır. Buna karşılık Hacim entegral metodunda ise vücut boyunca bilinmeyen alanlar hesaplanır.

Moment metodunda, modelin her bir matematik hücresinde alan sabit değerde olup bir darbe fonksiyonu ile temsil edilir. Küp şeklinde hücreler hacim ve şekil itibarıyla ortalama bir adamı temsil edebilecek bir biçimde yan yana getirilir. 600 MHz' e kadar uzanan bir bölgede çok kullanışlı bilgiler elde edilmiştir. Daha üst frekanslarda çok fazla bilgisayar hafızasına ihtiyaç duyulması nedeniyle pratik değildir. Şekilde insanın anatomik biyometrik özelliklerini yansıtan 180 hücreli homojen kübik hücre modeli gösterilmiştir. Modelin boyu 1.75 m olup homojen veya homojen olmayabilir. Elektrik alanı vücut eksenine paraleldir. 10 W/m^2 güç yoğunluklu düzlem dalga vücudun önünden arkasına doğru yayılmaktadır. Üst tarafta soğurulan enerji orta bölgeye göre ve arka tabakalarda soğurulan enerji ön tabakalara göre ve arka tabakalarda soğurulan enerji ön tabakalara göre daha fazladır. Homojen model için vücut yüksekliği boyunca enerji birikimi boyunda, bölgede ve baldırda pik gösterir.



Şekil 21.9 İnsan vücudunun kübik hücre gösterilimi

10 W/m²’ lik gelen güç yoğunluğu için SAR’ lar pelvik bölge için 86 W/kg, baldır için 79 W/kg ve boyun için 34 W/kg bulunmuştur. Grafikte bu modele ait tüm vücut için ortalama soğurulma oranı (SAR) ve frekans ilişkisi gösterilmiştir. Tüm vücut özgül soğurulma oranı 77M Hz’ de ((Rezonans Frekansı) yaklaşık 0.23 W/kg’ lık bir maksimuma ulaşınca kadar frekans artmakta ve daha sonra 1/ frekans’ a göre değişir. Gösterilen deneysel veriler insan vücudunun tuzlu madde ile doku kademeli bir modelinde elde edilmiştir. Hesaplanan soğurulmanın deneysel sonuçları iyi bir uyum içinde olduğu bulunmuştur.



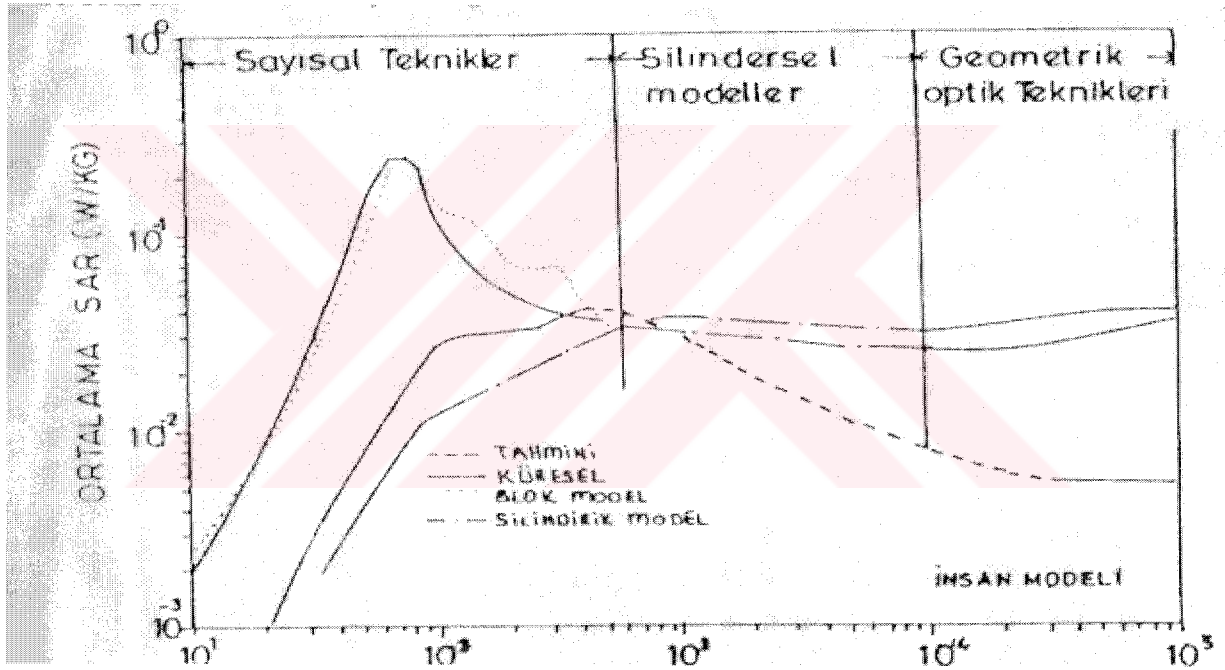
Şekil 21.10 180 hücreli insan modelinde ortalama SAR (Gelen düşey polarize dalganın güç yoğunluğu 10W/m²)

Hacimsel entegral eşitliğine dayanan moment metotları kompleks doku geometrilerindeki SAR dağıtımının hesabı için başarılı bir yöntem olmasına rağmen 3N*3N’lik dolu bir matris

gerektirmesi önemli sınırlandırmalar gerektirir. Vücudun baş bölgesindeki SAR dağılımının hesabı için gereken zaman bile çok fazladır. Zira zaman kübik hücre sayısı ile orantılı olarak artar. (Aklemen,2000)

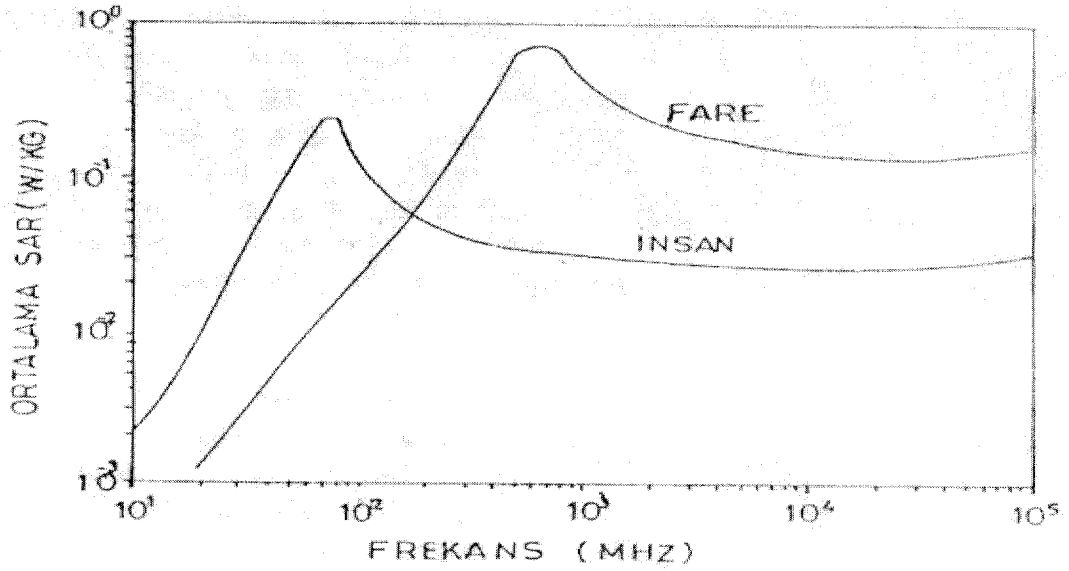
Sonuç

Her bir metodun sınırlı bir frekans bölgesinde başarılı bir çözüm vermesine rağmen çeşitli modellerden elde edilen ayrı ayrı çözümler bir araya getirilerek elektromanyetik dosimetrenin önemli bir görünümünü elde etmek mümkündür. Aşağıdaki şekilde bu modellerden elde edilen birim zamanda birim kütlede yutulan enerjinin frekansla değişim eğrisi verilmiştir. E polarizasyonu için en kuvvetli rezonans etkisi oluşmaktadır. K polarizasyon için çok az belirgin bir rezonans görülür. Blok modelde vücudun baş ve kol gibi diğer kısımlarında daha küçük rezonanslar ve küresel model için elde edilen grafikte bu ikinci dereceden rezonanslar çok az gözükür.



Şekil 21.11 1mW/cm^2 güç yoğunluklu düzlem dalgaya maruz kalan bir insan için çeşitli modellerden hesaplanmış SAR' ın frekansa bağlı değişimi.

Aşağıda gösterilen dozimetrik eğriler araştırmacıların hayvanlarda gözlenen etkilerden insanlarda beklenen etkilere ulaşmalarını sağlar. Eğriden görüldüğü gibi eğer bir fare ve bir insan 650 MHz' lik düzlem dalga ile ışınlanırsa faredeki ortalama SAR insandakinin bir mertebe yukarısında olacaktır. Ayrıca farede yerel SAR insandakine göre oldukça farklıdır.



Şekil 21.12 Yumurtamsı modelde insan ve fare için elde edilmiş SAR' ın frekansa göre değişimi.

Gelen dalganın dalga boyuna göre insanın büyüklüğü fareden çok büyük olması nedeniyle insanda oluşabilecek ısınma fareye göre daha yüzeysel olacaktır. Hayvanlardan elde edilen deneysel sonuçlardan insanda beklenen sonuçlara yaklaşık sayısal bir uyarılama şekilden yapılabilir. Örneğin yaklaşık rezonans frekansı olan 650 MHz' de 5 Mw/cm^2 'lik bir elektromanyetik düzlem dalga ile ışınlanan orta büyüklükteki farelerde davranış değişikliği gibi bir biyolojik etkinin gözlemlendiğini varsayalım. Fare ve insandaki yerel SAR' ların benzer olması için dalga boylarının vücut uzunluğuna oranları her durumda yaklaşık eşit olmalıdır. Yani $\lambda_r / l_r = \lambda_m / l_m$ ' dir. Burada λ_m ve λ_r fare ve insana karşı gelen dalga boylarını, l_r , l_m ' de uzunluklarını göstermekte, $l_r = 0.2 \text{ m}$, $l_m = 1.75 \text{ m}$ ve $\lambda_r = 0.46$ ($f = 650 \text{ MHz}$) için $\lambda_m = 40 \text{ m}$ bulunur. Bu değer 75 MHz' e karşı gelir. Grafiğe dönüldüğünde insana ait eğriden rezonans olduğu görülür. Yerel soğurulma oranı söz konusu olduğunda, fare 650 MHz' lik ve insanda 75 MHz' lik elektromanyetik dalga ile ışınlanınca benzer özellikler gösterir.

22. RF GÜVENLİK STANDARTLARI

Çeşitli radarlar, haberleşme sistemleri , mikrodalga fırınlar RF ısı ocakları, radyo –televizyon vericileri, diagnostik ve therapeutic maksatlarda kullanılan çeşitli medikal cihazlar RFR neşreden cihazları oluşturur.

Radyo frekans radyasyon (RFR) yayınlanan bu cihazların sayısının hızla artması tüm dünyada hayata büyük kolaylık sağlamakla beraber, RF ve mikrodalga teknolojisinin potansiyel zararlı etkilerinin araştırılması, toplum sağlığı açısından gerekli olmuştur. Başlangıçta $100\text{mW}/\text{cm}^2$ enerji yoğunluğu güvenlik sınırı olarak kabul edilmiştir. RF ışıma 10 kHz- 300GHz aralığında olup mikrodalgaları da kapsamaktadır. 1982'den beri A.B.D' de Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü RF ışımaya karşı güvenlik rehberi olarak, tüm vücudun maruziyeti için $0.4\text{W}/\text{kg}$ ' mın aşılması benimsenmiştir. Bu değer frekansa bağlı olarak $1-100\text{ mW}/\text{cm}^2$ arasında geliş gücüne karşı gelir. Benzer uygulama İngiltere'de Ulusal Radyasyondan korunma kurulunca da yapılmaktadır. Yeni güvenlik standartları; biyolojik sistemlerdeki enerji soğurulmasının frekansa bağlılığı ve biyolojik etkilerine dayanılarak hazırlanmaktadır. Aşağıdaki şekil güvenlik standartlarının karşılaştırılmalı eğrilerini vermektedir.

22.1 ANSI (Amerikan Ulusal Standartları Kurumu) Standartı:

30 yılı aşkındır Amerika' da ve hür dünyanın çoğunda; $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 'lik bir güç yoğunluğu 6 dakika için geçerli maruziyet olarak kabul edilmiştir. 1982'de hazırlanan yeni ANSI standartın da 0.3 MHz - 100 GHz frekans aralığı için ortalama güç yoğunluğu 1 ila $100\text{mW}/\text{cm}^2$ olarak tespit edilmiştir. Bu limit değerler, tüm vücuda $0.4\text{ W}/\text{kg}$ veya daha az enerji soğurması, uzaysal SAR piklerinin dokunun herhangi 1 gramı için $8\text{W}/\text{kg}$ 'mı aşmaması dikkate alınarak hazırlanmıştır. Biyolojik etkiler ANSI komitesince gözden geçirilerek sonuçlar $0.4\text{W}/\text{kg}$ daha büyük değerlerde olduğu için $0.4\text{ W}/\text{kg}$; 10 güvenlik çarpanı ihtiva etmektedir. E^2 ve H^2 anlamında güvenlik değerleri tabloda gösterilmektedir.

Çizelge 22.1 ANSI Radyo frekans Korunma Rehberi

Frekans (MHz)	E^2 (V^2/m^2)	H^2 (A^2/m^2)	Power (mW/cm^2)
0.3-3	400000	02.May	100
3-30	$4000(900/f^2)$	$0.025(900/f^2)$	$900/f^2$
30-300	4000	0.025	1.0
300-1500	$4000(f/300)$	$0.025(f/300)$	$f/300$
1500-100000	20000	0.125	5.0

22.2 IRPA (Milletlerarası Radyasyondan Korunma birliği) Standartı:

1983 yılında, Fransa, İngiltere, Almanya, Danimarka, Norveç, Avustralya ve A.B.D' den gelen araştırmacılarla yapılan toplantıda RF alanlar, 100kHz – 300GHz frekans aralığı olarak benimsenmiştir. IRPA yayınlandığı güvenlik tedbirlerini, genel halk sağlığı ve mesleki maruziyet durumlarına göre düzenlenmiştir. Pratiklik açısından maruziyet limitleri ortalama gelen güç yoğunluğuna göre ifade edilmiştir. IRPA mesleki maruziyet limitlerinde genel halk maruziyet limiti, mesleki maruziyete göre 5 kat daha düşük seviyede tutulmuştur. Gerek ANSI ve gerekse IRPA standartları; biyolojik bit etki oluşturabilecek 4W/kg güç yoğunluğu baz alınarak hazırlanmıştır.(Çerezci,2000)

22.3 Sovyet Standartları

Sovyetler ve Varşova Paktı ülkelerinde RFR maruziyet limitleri; batı ülkelerine göre daha düşüktür. U.S.A' da standartlar laboratuvarlarda deney hayvanları üzerine yapılan testlerdeki biyolojik etkiler değerlendirilerek hazırlanmış olmasına karşın Sovyetlerde standartlar psikolojik etkiler dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu limit değerleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Askeri amaçlı durumlarda RFR maruziyetleri 10 kat daha büyük olabilmektedir.

Çizelge 22.2 Sovyetler Birliğindeki RFR maruziyeti için maksimum seviyeler

Frekans (GHz)	Maruziyet Süresi	Maruziyet Limiti
0.01 ile 0.03	Çalışma günü	20 V/m
0.03 ile 0.05	Çalışma günü	10 V/m
		0.3 A/m
0.05 ile 0.3	Çalışma günü	5 V/m
		0.15 A/m
0.03 ile 300	Çalışma günü	a0.01mW/cm ² b
	Çalışma günü	0.1mW/cm ² c
	2 saat	0.1mW/cm ² b
	2 saat	1 mW/cm ² c
	20 dakika	1 Mw/cm ² b

Kullanılan değerlerdeki

- En son Öneri; ortalama güç yoğunluğunun ve maruziyet süresi ile çarpımı 720 Mw/s.cm²'yaşmamalıdır. Bu durumda yeni maruziyet limiti 0.01 mW/cm² yerine 0.025 mW/cm² olur.

- b) Sabit Antenler
- c) Döner Antenler

22.4 Güvenlik Standartlarının Geliştirilmesi ve Uygulaması

1980 yılından beri RFR' ın biyolojik etkileri çeşitli araştırmalar tarafından literatürde yoğun biçimde dile getirilmektedir. Bu araştırmacılara göre tüm vücut için 4 W/kg' lık SAR dikkati çekecek bir ters etki oluşturmaktadır. 10 güvenlik faktörü kullanılarak güvenlik sınırının 0.4 W/kg' den daha da düşük değerler benimsenmiştir. Örneğin 10- 30 MHz 'de gelen güç yoğunluğu 1mW/cm²'dir. Rezonans bölgesinde ANSI eğrisi 0.35 W/kg' a ancak yaklaşır. Biyolojik etkinin araştırılmasına ilişkin 2450 MHz radyasyonlu kaynaklarla fareler üzerine yapılan çalışmalarda, soğurulan gücün, vücudun bazı bölgelerinde ortalama değerin 10- 20 kat daha fazlasıyla oluştuğu anlaşılmıştır. 4 W/kg' lık etki eşik değeri , böyle bir en kötü durum datasında faydalanılarak hazırlanmıştır. RFR enerji genellikle vücudun tamamına depolanmadığı için muhtemelen insan maruziyetleri çok az durumdadır. Tabloda biyolojik dokuların cidar kalınlığı ve insan vücudundaki yüzde kütle oranı verilmektedir. 1 GHz' lik alandaki standart bir adam tek yanlı bir maruziyete uğradığında , 4 cm' lik deri kalınlığı toplam vücudun %21'ini oluşturur. 10 GHz' lik maruziyette RFR enerji 0.5 cm' lik cidara girer ve buna karşı gelen kütle tüm vücudundakinin %32'den daha da azdır. Gerçekte durum; sıcak noktaların uniform dağılması nedeniyle çok daha karışıktır.

Çizelge 22.3 İnsanda Soğurma Ve Cidar Kalınlığı

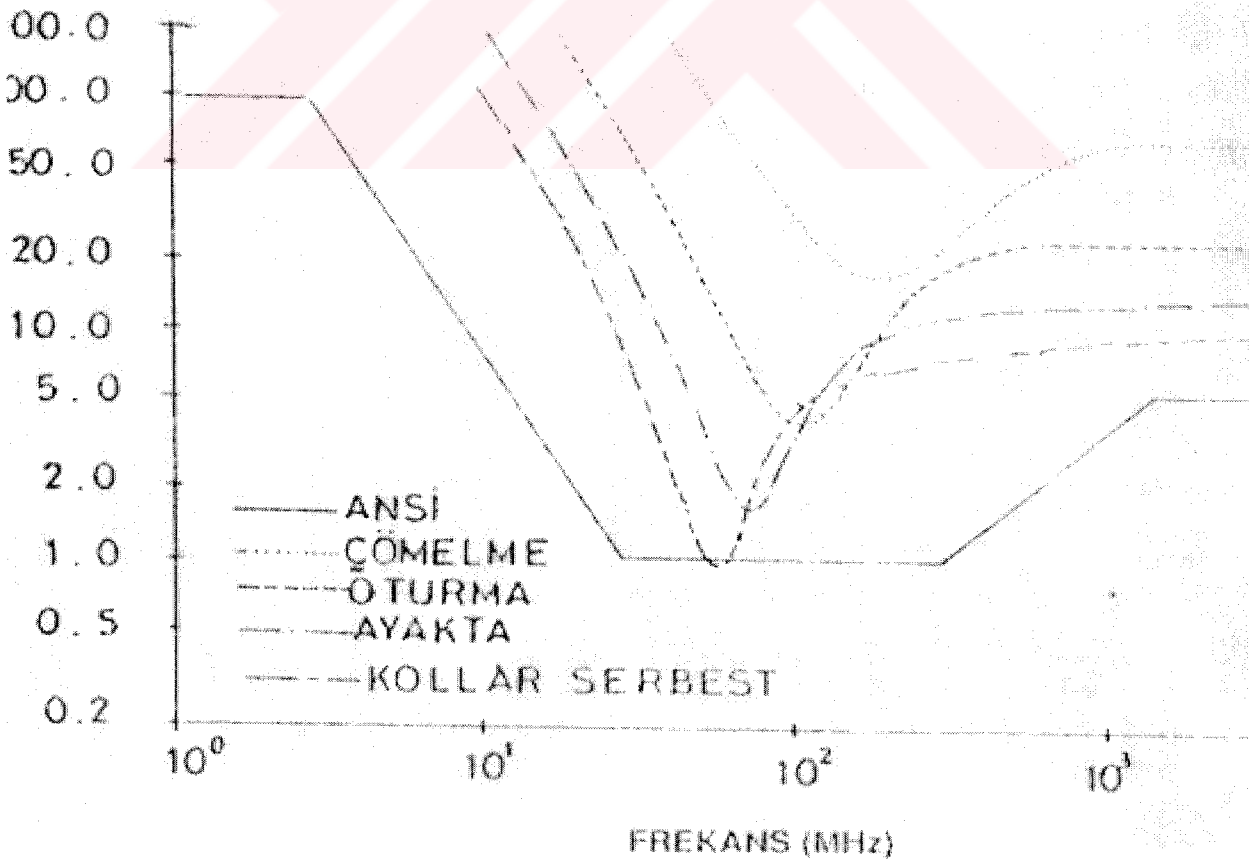
Radyasyon Frekansı(GHz)	Dokuda Cidar Kalınlığı	Maruz Kalan Kütlenin Toplam Kütleyle Oranı
1	4.05	20.8
2	2.46	15.6
3	1.66	9.2
8	0.65	4.0
10	.46	2.9
20	0.16	1.0

Güvenlik sınırlarına yaklaşan birçok maruziyet durumlarında yalnız vücudun bir bölümü etkileşme içinde kalabilir. Örneğin radar sistemlerinde ısıma göz önüne alınan hacim içinde birkaç derecelik açıyla sınırlandırılmalıdır. Maksimum maruziyet (izin verilen dozda) kaynak yakınlarında söz konusudur ki ısıma alanı bu bölgede nispeten büyüktür. Buna benzer durum mikrodalga fırınlardan ve diğer RFR üreten cihazlardan ortaya çıkan kaçaklarda oluşur.

1 GHz' den daha büyük frekanslar için kısmi vücut etkileşmeleri; normal limiti aşan şiddetlerde duyu uyarması hissini verecek değere sık sık ulaşabilmektedir. Burada belirtmek gerekir ki; askeri amaçlı RFR ile olan çalışmalarda (3 MHz – 20 GHz), mevcut güvenlik tedbirleri, tüm vücut için SAR dikkati alınarak hazırlanır.

RF radyasyon maruziyetinden korunma tedbirlerinin alınması için yapılan çalışmalar tüm vücudun rezonans durumuna gelmesi yani en kötü durum dikkate alınarak yapılır. Elektrik alan vektörünün vücut eksenine paralel olması ve kişinin alan içinde oturması, ayakta durması, bükülmesi gibi durumlarda alanlarla etkileşme şiddetinde önemli değişikliklere neden olabilmektedir. Bu hususlar grafikte özetlenmiştir. Eğriler, 1.8 m boyunda, 70 kg kütleli bir adam için oturma, ayakta durma, çömelme, kollarını açma gibi değişik pozisyonlara göre ortalama SAR-frekans ilişkisini göstermektedir.

RFR' ın canlı sistemlerle etkileşmesinin anlaşılması, dosimetri ve biyolojik etki çalışmalarına dayanır. Rf ışıma karşı güvenlik tedbirlerindeki farklılık hükümet çevrelerinin bu konudaki titizlik derecelerinden ve psikolojik yaklaşımlarından kaynaklanır. Laboratuvarlarda, rezonans frekansında çeşitli çalışmalar halen yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, yeniden oluşturulacak güvenlik kuralları geçmiştekilerden daha da emniyetlilik sağlayacaktır.



Şekil 22.1 1.8 m boyundaki bir adam için güç yoğunluklarının frekansa göre değişimi (Tüm vücut için 0.4 W/kg' dir.)

22.5 RF Radyasyonu Maruz kalma Konusundaki Sınır Değerler ve Alınması gereken Tedbirler:

22.5.1 RF radyasyonu için çeşitli kuruluşlar tarafından tavsiye edilen sınır değerler

Radyo dalgalarını su içeren biyolojik maddeler tarafından emilerek ısıya dönüştüğü bilinen bir gerçektir. Radyo dalgalarının bu ısınma etkisinden korunmak için, bu ortalama maruz kalma limitleri belirlenmiştir. İlk olarak vereceğimiz sınır değerler NRPB' nin değerleridir ve İngiltere' de halen uygulanmaktadır.

NRPB, yapılan epidemolojik çalışmalardan herhangi bir sonuç elde edememiş ve bu çalışmalar maruziyetini tavsiye edilecek değerler belirlemede yeterli bir başlangıç noktası sağlayamamıştır. Bu yüzden, tavsiye edilen bu sınır değerler, ısınan vücut dokularında çeşitli hastalık ve yaralanmalara neden olan potansiyel RF radyasyonuna göre ayarlanmıştır.

NRPM, sar için de birtakım temel sınırlamalar getirmiştir. Cep telefonları için 10 MHz ile 10 GHz arasındaki sınırlar aşağıdaki sınırlar tabloda verilmiştir. Bir kişinin RF radyasyonundan zarar görmediğini söylemek için, bu dört temel sınırda aşılmadığını göstermesi gerekir. SAR limiti; maruz kalma zamanına, doku kütlelerine ve doku bölgesine göre verilmiştir.

Tabloda 10 MHz ile 10 GHz frekansları arasında NRPB' nin verdiği temel sınırlar (IEGMP,2000)

Çizelge 22.4 10 MHz ile 10 GHz frekansları arasında NRPB' nin verdiği temel sınırlar (IEGMP,2000)

Doku Bölgesi	SAR Limiti (W/KG)	Kütle(g)	Zaman(Dakika)
Tüm Vücut	0.4		15
Baş,Anne Karnındaki Bebek	10	10	6
Boyun, Gövde	10	100	6
Dış Organlar	20	100	6

Yaşayan insanlar üzerindeki SAR değerleri kolaylıkla ölçülemediği için, tüm vücuttaki SAR'I temel sınırı aşmadığı durumlarda, NRPM, elektromanyetik alan şiddetleri için araştırma seviyelerini de belirlemiştir. Bir araştırma seviyesi , bileşke SAR' ın daha detaylı araştırması gösterilir. Çocuklarda , tüm vücut için araştırma seviyeleri daha aşağıya çekilmiştir. Çünkü, belli RF frekanslarının üstünde, küçük çocuklar dış elektromanyetik alanlardan gelen enerjiyi yetişkinlere göre daha çok soğururlar. Aşağıdaki tablo cep telefonlarında kullanılan frekanslar için araştırma seviyeleri gösterilmiştir.

Çizelge 22.5 Mobil haberleşmede frekanslarında, maruziyet için araştırma seviyeleri (IEGMP,f: GHz cinsinden frekans)

Frekans(MHz)	Elektrik Alan Şiddeti(V/m)	Manyetik Alan Şiddeti(A/m)	Güç Yoğunluğu(W/m ²)
400-800	100	0.26	26
800-1550	125f	0.33f	41f ²
1550-3000	194	0.52	100

Bu tabloda gösterilen üç araştırma seviyesi değeri birbiriyle bağlantılıdır ve sadece birine bakmak yeterlidir. Ancak uygunluğu araştırmak için , genellikle elektrik ve manyetik alan şiddetlerini ikisi de ölçülür.

Günümüzde kullanımda olan cep telefonları ve bunların baz istasyonları için, 800-900 MHz arasındaki frekanslarda araştırma seviyeleri 262dan 33 W/m² ye kadar, 1800- 1900 MHz’ de ise 100 W/m²’dir.

International Commission on NON- Ionising Radiation Protection (ICNIRP)’da RF radyasyonuna maruziyetle ilgili tavsiye değerler yayınlanmıştır. NRPB’ nin verdiği değerde benzer şekilde bunlarda, ısınma etkilerine bağlı olarak ortaya çıkan hastalık ve yaralanmaların önlenmesi gereğine tasarlanmıştır.Komisyonun başlangıç noktası, deneye tabi tutulan hayvanların vücut sıcaklığını 1⁰C’ den fazla artmasına neden olan RF radyasyonu seviyelerinde hayvanlarda görülen davranış değişiklikleri olmuştur.Bu değişikliklerin oluşması için 1- 4 W/kg’ lık yada daha yüksek bir SAR’ a ihtiyaç vardır.(Hayvanlar sıcaklık, nem gibi kötü hava etkilerine maruz kaldıkları zaman 1W/kg, normal çevre şartları altında ise(4W/kg). ICNIRP, RF radyasyonunun düşük seviyelerinin sağlığa zarar verdiğine dair kuvvetli bir kanıtın olmadığını da göz önünde bulundurulmuştur.

NRPB’ nin verdiği değerlerin tersine, ICNIRP’ nın verdiği değerler iki aşamalıdır. Genel halk için konulan maruziyet sınırları, meslek I maruziyet için konulan sınırlardan düşüktür. Mesleki maruziyet için SAR temel sınırları, 6 dakikalık ortalama zaman ve 10g’lık kütle için olan hariç NRPB’ ninkilere aynıdır. Ancak, genel halk için belirlenen değerler, mesleki maruziyet için belirlenen değerlerden 5 defa daha küçüktür. Bu fark aşağıdaki durumların ortaya çıkmasına izin verir.

Tabloda ICNIRP’ nin, mesleki maruziyet ve genel halk (parantez içindeki değerler) maruziyeti için belirlediği 10MHz ile 10 GHz arasındaki frekanslardaki sınırlar. (IEGMP, 2000)

Çizelge 22.6 10MHz ile 10 GHz arasındaki frekanslardaki sınırlar

Doku bölgesi	SAR Sınırı(W/kg)	Kütle(g)	Zaman(dakika)
--------------	------------------	----------	---------------

Bütün Vücut	0.4(0.08)		6
Baş.Bölge	10(2)	10	6
Dış Organlar	20(4)	10	6

Aşırı çevre şartları altındaki maruziyet: Yüksek sıcaklık, yüksek nem, az hava hareketi ve yüksek aktivite Rf maruziyetinden dolayı oluşan termal yükü artırır.

Yaşlılar, çocuklar, bebekler, hasta ve termal toleransın tehlikeye düştüğü tedavi gören kişiler gibi insan gruplarındaki yüksek termal duyarlılık.

Daha öncede, halkın Rf radyasyonuna maruz kalmasının azaltılmasını destekleyen aşağıdaki açıklamalar yapılmıştır.

Normal olarak işçiler kontrol edilen şartlar altında bu alanlara maruz kalan sağlıklı kişilerdir. Potansiyel riskler konusunda eğitilmişlerdir ve gereksiz bir maruziyetten kaçınmak için önlem alabilirler. Fakat halkın aynı önlemleri alabilmesi beklenemez.

İşçiler sadece çalışma süresi boyunca RF' e maruz kalırlar.(Genelde günde 8 saat).

Fakat halk günde 24 saat maruz kalabilir.(Haftalık toplam maruziyet süresi halk için işçilere göre yaklaşık 5 kat daha fazladır. Halk için önerilen sınır değerler 5 kat daha düşük olması bundan kaynaklanmaktadır.)

Genelde çocuklar ve bebekler fiziksel, kimyasal, ve biyolojik etmenlere karşı daha hassastırlar. Yüksek frekanslarda, çocuklar dış elektromanyetik alanlardan gelen enerjiyi yetişkinlere göre daha çok emerler.

ICNIRP' nin verdiği tavsiye değerler, NRPB' nin verdiği araştırma seviyelerine benzer olan referans seviyeleriyle birlikte verilmiştir. Bunlar, halk ve mesleki maruz kalma için konulan temel sınırlar arasındaki 5 katlık farkı da yansıtmaktadır. Genelde, mobil telefonlarda kullanılan frekans aralığının üzerinde, ICNIRP' nin halk için verdiği referans seviyesi, NRPB' nin araştırma seviyesinden 6.5 ile 11 arası bir faktör kadar daha azdır.(Güç yoğunluğu bakımından). Aşağıdaki I tabloda ICNIRP' nin mobil telefonlar tarafından kullanılan frekanslardaki halk için belirlenen referans seviyeleri gösterilmiştir. 800 – 1000MHZ arasında, mobil haberleşme için referans seviyeleri $4W/m^2$ 'den $5W/m^2$ ye, 1800 – 1900 MHz arasında $9W/m^2$ den $9.5W/m^2$ 'ye kadardır.

Çizelge 22.7 ICNIRP 'nin mobil haberleşme frekanslarında halk için verdiği referans seviyeleri(IEGMP,2000)

Frekans(MHz)	Elektrik Alan Şiddeti(V/m)	Manyetik Alan Şiddeti(A/m)	Güç Yoğunluğu(W/m)
400 – 3000	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$

2000- 3000	61	0.16	10
------------	----	------	----

f: MHz cinsinden frekans

NRPB ve ICNIRP' nin verdiği tavsiye değerler karşılaştırıldıktan ve risk değerlendirilmesi yapıldıktan sonra, the National Radiological Protection Board şu açıklamaları yapmıştır.

“Board, ICNIRP' nin mesleki maruziyet için verdiği sınır değerlerin NRPB' nin belirlediği sınırlardan çok farklı olmadığını düşünmektedir. ICNIRP, halk için belirlediği sınır değerlerde 300GHz'e kadar olan frekanslarda azaltım faktörü 5'i kullanmıştır. Bununla beraber, bu ek azaltım faktörlerini destekleyecek bilimsel bir kanıt yoktur. Board, halk maruziyeti için NRPB tarafından konulmuş varolan limitlerin direk ve dolaylı etkilerden yeterli derecede korunmayı sağladığına inanmaktadır. NRPB' nin halk için verdiği limitleri değiştirmeyi gerektirecek bilimsel bir kanıtın olmadığı görülmektedir. Ancak, halkın maruziyetiyle ilgili genel olarak Kabul edilen limitlerin konulmasında devletin diğer faktörleri göz önünde bulundurulabileceği kabul edilmektedir.”

Çizelge 22.8 ANSI Radyo frekans koruma kılavuzu

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti(V/m)	Manyetik Alan Şiddeti(A/m)	Güç Yoğunluğu(Mw/CM)
300-500	4000	0.025(f/300)	f/300
1500-100000	20000	0.125	5.0

Board bilimsel verileri yeniden incelemiş ve daha sonar şu açıklamaları yapmıştır. “Bilimsel verilerin yeniden incelenmesiyle, ısı iletkenlerinden korunmanın maruz kalma değerlerinin belirlenmesinde temel teşkil ettiği anlaşılmış ve ICNIRP tarafından benimsenen yaklaşım NRPB' ye göre daha tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Halk içerisinde RF radyasyonunun ısınma etkilerine karşı insanları çok hassaslaştıran hastalıklara sahip kişiler olabilir. Bu da, mesleki maruziyete göre halk için yüksek bir azaltım faktörünü kullanılması gerektiğini göstermektedir.”

ICNIRP' yi halk için verdiği tavsiye değerler, İngiltere'nin de içinde bulunduğu Avrupa Birliği ülkeleriyle prensipte anlaşma içinde olan, European Council Recommendation tarafından benimsenmiştir. Türkiye, ABD'nin de Kabul ettiği bu ICNIRP değerlerini hem çevre Bakanlığı Genelgesi hem de Ulaştırma Bakanlığı Yönetmeliği ile Kabul edilmiştir.

Bu verilerin sınırların altında ki değerlerde de biyolojik etkiler oluşabilir. Ancak bu bir rahatsızlığa yol açacak demek değildir.

Olası sağlık etkilerini değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken ek faktörler vardır. Toplumlar bütün olarak homojen bir yapıya sahip değildirler. İnsanların çevresel

tehlikelere karşı duyarlılığı değişebilir. Genetik yakınlığın bazı hastalıklara karşı hassasiyeti etkilediği iyi örnekler vardır. Bu yaşa da bağlı değildir.

Tek başına ICNIRP' nin tavsiye değerlerini benimsenmesi , şu anki bilimsel bilgideki boşluğun ve özellikle düşük seviyelerdeki maruziyette oluşacak termal ve non termal etkilerin hesaba katılmaması gerekir. Maruziyet değerlerinin elde edilmesinde yüksek bir değerlendirme uygulamak ta bu belirsizliği hesaba katmak gerekir.Ancak herhangi bir artış ölçüsü koymak için güvenilir bir bilimsel temel yoktur.

Bu tip standartların en çok bilinmelerinden birisi de Amerikan Ulusal Standartları Enstitüsü (ANSI) tarafından hazırlanan, 3KHz – 300GHz'de RF elektromanyetik Alana Maruz Kalan insanlarda Güvenlik Sınırları'' isimli ANSI / IEEE C95.1 –1992 standardıdır. ANSI ve FCC (Federal Commission) değerleri aşağıda ki tablolarda verilmiştir.

Çizelgede ANSI 1982 radyo frekans koruma kılavuzu.(EKES,1999)

Çizelge 22.9 Mesleki maruz kalma için izin verilen en büyük FCC sınırları (EKES,1999)

Frekans Aralığı(MHz)	Elektrik Alan Şiddeti(V^2 / m^2)	Manyetik Alan Şiddeti(A^2 / m^2)	Güç Yoğunluğu(mW/cm^2)
300 - 1500	4000	$0.025(f/300)$	$f/ 300$
1500 - 100.000	20.000	0.125	5.0

22.6 Baz İstasyonlarının Sağlık Etkileri Ve Alınması gereken Tedbirler

Baz istasyonlarının yeri ve bunlara izin verilmesi aşaması, bir halk meselesi haline gelen mobil telefon teknolojisinin bir parçası gibi görünmektedir. Türkiye'de baz istasyonu kurabilmek için sadece bildirim şartı vardır. Eksik bilgi ve belge bulunması halinde istasyonun faaliyeti durdurulmaktadır. (EMO,2000)

Baz istasyonlarında yayılan düşük seviyelerdeki Rf radyasyonu sağlık üzerine önemli bir ters etki yaratmıyormuş gibi görünse de, maruziyetten kaynaklanan zarar verme ihtimalini dokularda büyük bir ısınmaya sebep olmak için yeterli olduğu henüz güvenilir bir şekilde ortaya çıkarılmamıştır. Dahası, bu belirsizlik göz ardı edildiği zaman insanlar bundan kaygı duyabilir ve ruhsal olarak etkilenebilir.

Baz istasyonlarının planlanması aşamasında diğer bir kısımda memnuniyetsizliktir.Çünkü baz istasyonları ve özellikle direklerle yakın yerlerde oturan bazı insanlar, bunların kendilerine ve mülklerinin değer kaybettiğini düşünmektedir. Şu an devrede olan sistemlerin planlanmasıyla, insanların isteklerinin göz ardı edildiği açıktır.Sonuç olarak bu durum insanların fiziksel ve ruhsal sağlığını etkileyecektir.

Buradan, baz istasyonlarının düzenlenmesi konusunda değişiklikler yapılması gerektiğini söyleyebiliriz.

22.6.1 Baz istasyonlarının ulusal kaydı

Burada gerekli olan ilk şey, tüm baz istasyonlarının yeri ve karakteristikleri hakkında güvenilir ve açık bir şekilde elde edilebilir bilgilerin olmasıdır. Bu tip bilgilere kolaylıkla ulaşılabilmesi, insanların kafasındaki güvensizliğin azalmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca bu veriler, kurulması düşünülen yeni baz istasyonları ve epidemolojik araştırmalar için de yararlı olacaktır.

Bütün baz istasyonları ve yayınımları hakkında detaylı bilgilerin verildiği ulusal bir veri tabanının devlet tarafından kurulması gerekir. Bu bilgiler, şirketin adı, antenin toprak seviyesinden yüksekliğe, iletimin başladığı tarih, frekans aralığı, iletim sinyalinin karakteristikleri ve maksimum çıkış gücünü içermektedir. Ayrıca bu bilgilere halk tarafından kolayca ulaşılabilmesi ve herkesin anlayabileceği formda olmalıdır. Örneğin bir coğrafi bölgedeki tüm baz istasyonları ve her birinin ait olduğu network operatörleri.

22.6.2 Boşaltılması gereken bölgeler

Baz istasyonlarından yayılan RF radyasyonunun, sınır değerlerden az olduğu bilinse de, işçilerin ve halkın bu sınır değerlerinin aşılabileceği bölgelerden uzak tutulması gerekir. Bu yüzden, baz istasyonlarının etrafındaki bazı bölgelerin boşaltılması gerekir.

Maruziyet sınırlarının aşılabileceği baz istasyonu antenlerinin etrafındaki boşaltılması gereken bölgeler (Hariç tutulması gereken) belirlenmeli ve her bölge fiziki bir bariyer çevrilerek, ulusal olarak belirlenmiş bir logoyla işaretlenmelidir. Böylece işçiler ve halk, bu bölge içerisinde RF yayınının sınır değerleri aşılabileceğini anlayabilmektedir.

22.6.3 Baz İstasyonlarının denetimi:

Baz istasyonlarının, onay verildiği zaman belirlenen parametreler içerisinde çalıştığından emin olunmalıdır. (Moulder, 2001)

Hariç bırakılan bölgelerin dışında sınır değerlerin aşılmadığından emin olmak için, tüm baz istasyonlarının, bağımsız ve sürekli olarak denetiminin yapılması gerekir. Baz istasyonlarının kendileri için belirlenen şartlara uygun olmalıdır. Baz istasyonlarının yayılımının sınır değerleri aştığı ya da konulan parametrelerden büyük bir sapma olduğu belirlenirse, o baz istasyonunun uygunluğu gösterilene kadar çalışması durdurulmalıdır. Okulların yakınındaki veya diğer hassas bölgelerdeki istasyonlarının denetimine özel bir önlem verilmelidir. Bu denetim, baz istasyonlarının çalışma parametrelerine uyup uymadığının ve hariç tutulan bölgelerin belirlenip kontrolünü içermelidir.

22.6.4 Planlama işlemi:

Baz istasyonlarının inşasında, inşaat projeleri için uygulanan prosedürler uygulanmaktadır. Halka danışılmaması, baz istasyonlarından rahatsızlık duyan insanlarda şikayetlere yol açmaktadır ve bu durum Kabul edilemez.

Baz istasyonlarının kurulması konusunda network operatörlerine verilen bu geniş imtiyazlar iptal edilmeli ve yeni baz istasyonlarına normal planlama işlemi uygulanmalıdır. Varolan bir baz istasyonunun çıkış gücünde artışa neden olan bir değişiklik olduğu zamanda bu planlama işlemi uygulanmalıdır.

Devlet, planlama işleminin bildirilmesinde kullanılabilecek bir protokol hazırlanmalı ve bu protokol, baz istasyonlarının kurulması için izin verilmeden önce dikkatli bir şekilde takip edilmelidir.

Protokol aşağıdaki konuları kapsamaktadır.;

Bütün telekomünikasyon network operatörleri kuracakları baz istasyonlarını yerel yönetimlere bildirmek zorundadır. Bu; macrocell, microcell ve picocellerin kurulmasını kapsar.

Yerel yönetim, halk içinde uygun olan, bugüne kadar yapılmış olan bu tür başvuruların listesi tutulmalıdır.

Operatörler, yerel otoritelere şebeke frekansı, antenin toprak seviyesinden yüksekliği, sinyal ve frekans karakteristiklerini ve maksimum çıkış gücünün detaylarını vermelidir.

Baz istasyonunun boyutunun yada yayılan toplam gücün artmasına neden olan her değişim yeni bir gelişmeymiş gibi normal planlama işlemine tabi tutulmalıdır.

23. KORUNMA YÖNTEMLERİ

23.1 Düşük Frekanslarda Korunma Yöntemleri

İnsan vücudu farklı özelliklere sahip çeşitli dokulardan, kemiklerden oluşan destekleyici iskelet ve deri denen dış bir zarftan oluşan karmaşık bir organizmadır. Bu içinde vücudun direnci en düşük değeri yumuşak dokularda $100 \Omega\text{-cm}$, kemiklerde $90 \Omega\text{-cm}$ ve en yüksek değeri yağ dokularında $5000 \Omega\text{-cm}$ almak üzere değişir. Kan taşımayan diğer önemli bir kapasitif faz açısı meydana gelmekteki bu birkaç yüz binler mertebesinde dielektrik sabitini oluşturmaktadır. Diğer taraftan kan taşıyan ve tuzlu dahili sıvılar canlı gövde direnci $100 \Omega\text{-cm}$, dielektrik sabitesi 80 olan yaklaşık olarak tekbiçimli ve bir kütle olarak varsayılabilir. Canlı dokuları kapsayan deri ise basit bir şekilde ifade edilecek olursa “dermiş” adı verilen bir alt deri tabakasından ve “epidermiş” adı ve üst-deri tabakasından oluşup vücudu çevre etkilerinden korumaya yarar. Alt- deri sinir ağları yanı sıra ter bezleri ve ter kanallarını içermekte ve elektrik özellikleri açısından diğer canlı damarsal dokulara benzemektedir.

Epidermis olarak bilinen ve genelde kalınlığı 1mm’yi aşmayan üst-deri ise “stratum corneum” adını taşıyan en dış katmanındaki ölü hücrelerden dolayı gövde dokularına kıyasla çok farklı elektriksel davranış göstermektedir. İnsan vücudunun akım direnci daha ziyade deri üzerinde meydana gelir. Kuru deri direnci 10.000 ile 600.000 , ıslak deri 100Ω , elden ayağa dahil vücut 400 ile 600Ω civarındadır.

Görüldüğü gibi diğer iletkenlerin aksine, insan vücudunun direnci tam hesaplanamamakta ve ancak istatistiksel değerler cinsinden ifade edilebilmektedir. İnsan vücudunun direnci üst-deri direnci ile damarsal dokuların direncinin toplamından oluşmaktadır.

Kısacası direnci sonlu olduğuna göre insan ve diğer canlıların vücudu elektriksel akımı iletir. Elektrik akımı kalp üzerinden geçtiği takdirde 0.02 miliamper şiddetli akım canlının ölümüne neden olabilir.

Elektrik tehlikeleri bakımından 42 Volt’a kadar olan gerilimlere emniyetli alçak gerilim, 42 ila 1000 V’ a kadar olan gerilimlere alçak gerilim ve 1000 V’ dan yukarı gerilimlere de yüksek gerilim denir.

İnsanlar ve diğer canlılar bilmeden yada dikkatsizlik nedeniyle aşağıda belirtilen durumlarda elektrik akımının çarpmasına yada başka bir deyişle elektrik şokuna maruz kalabilirler.

Elektrik akımlarının insan vücudunda akmasına neden olabilecek durumlar insanın,

- Elektrik akımı geçiren iki iletken tele değmesi
- Elektrik akımı geçiren bir tel ile toprak hattına değmesi
- Bir kondansatörün iki ucuna değmesi
- Bir endüktans bobininin iki ucuna değmesi

- e) Topraklanmamış yada toprak hatlı arızalı olan herhangi bir elektrik makinesine yada elektrikli bir cihazın şasisine dokunması
- f) Kuvvetli bir elektrik alının etkisinde kalması olarak özetlenebilir.

Günümüzde elektrik güç iletimi genelde çok yüksek gerilimlerde havai hatlarda gerçekleşmektedir. Bu günkü teknoloji ile 345 kv' luk Yüksek Gerilim iletim hatları gerçekleşmekte, ve yakın gelecek için 500 kV ve hatta 700 kV' luk iletim hatları düşünülmektedir. Dolayısıyla iletim hatlarının altında toprak seviyesinde 5 kV/m ile 12 kV/m kadar alan elektrik alan şiddetleri, 15 kV/m ile 20 kV/m değerine kadar artacağı söylenebilir.

Bir insan böyle bir alanın altına girdiği zaman, vücudun düşük direncinden dolayı bu elektrik alanın biçim bozulmasına uğratır. Gerçekten eğer o kişi özel yalıtkanlığı olmayan ayakkabı giyiyorsa vücudu bu elektrik alanının içinde topraklanmış bir elektrot gibi davranır.

Sağlık kurallarında elektrik alan şiddetini eşik değeri 5 kV/m olarak belirlenmektedir. Daha düşük yoğunluktaki alanların etkileri (etkinin geçerli olduğu süre ne olursa olsun) önemli sayılmaz. Elektrik alan şiddetinin 5 kV/m' den büyük olduğu bölgeye etkileme bölgesi denir. Alanın ve boşalmaların istenmeyen etkileri yalnızca bu bölge içerisinde olur. 500 ve 750 kV' luk salt sahalarındaki elektrik alanının yoğunluğu için ölçme sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Çalışma gerilimindeki artış alan yoğunluğunun değerinde artmaya neden olur.

Çizelge 23.1 Salt sahalarındaki elektrik alanlarının ölçme sonuçları

Ölçme Noktası	Salt Sahasında Elektrik Alan Şiddetinin En Büyük Değeri kV/m(500)	Salt Sahasında Elektrik Alan Şiddetinin En Büyük Değeri kV/m(750)	Açıklayıcı Bilgiler
Hava Basmalı bir devre kesicisinde	19	23	Dıştaki bayın en dıştaki fazında
Bir akım trafosunda	15	23	Dıştaki bayların en dış fazında
Bir Devre Ayırıcısında	15	19	Dıştaki bayların en dış fazında
Bir Gerilim trafosunda	17	21	Dıştaki bayların en dış fazında
Bir tutucuda	21	21	Dıştaki bayların en dış fazında

Herhangi bir koruma önlemi olmadan içerisinde kalınabilecek en büyük zararsız alan şiddeti 25kV/m' den büyükse yada emniyet şartları tablodaki şartlara uymuyorsa, çalışmalı koruma önlemleri alınarak sürdürülür.

İşler durumdaki indirici merkezlerdeki çalışma şartlarının belirlenmesi çoğu defa alan şiddetini ölçülüp, elde edilen değerlerin sağlık kurallarına ilişkin olarak verilen değerlerle karşılaştırılması yoluyla yapılır. Ölçmelerin yapılamadığı durumlarda , enerjili kısımların etkileme bölgesinin sınırına olan havadan uzaklığı , belirleyici unsurdur. Bu uzaklık 500 kV' luk istasyonlarda 20 metre, 750 kV' luk istasyonlarda 30 metredir. Bu uzaklığın nasıl bulunacağı yukarıdaki şekilde gösterilmektedir. Aynı şekilde elektrik alan şiddetinin akım taşıyan iletkenlerden olan uzaklığı ile değişimi de yer almaktadır. Ölçmeler dıştaki bayların en dıştaki fazlarından uzaklaşılan doğrultudaki noktalarda yapılmıştır. Şekildeki eğrilerin $E=5$ kV/m ile tanımlanan yatay doğru ile kesiştiği noktalar, etkileme bölgesinin sınırını belirler.

Çizelge 23.2 400,500,750 kV' luk işletmelerdeki personel için sağlık kuralları

Noktalar	Elektrik Alan Şiddeti(kV/m)	Personelin Elektrik Alanı İçerisinde müsaade edilebilir kalma süresi (dakika olarak)
1	5	Sınırsız
2	10	180
3	15	90
4	20	10
5	25	5

Kurallar aşağıdaki durumlar için geçerlidir.

- 1) Elektrik alanı içerisinde kalındığı tüm zaman süresince alan şiddeti 5 kV/m olacak.
- 2) Elektrik boşalmalarından etkilenme ihtimalinin giderilmesi.

23.1.1 Koruma önlemleri:

Elektrik alanının etkilerine karşı ana koruma önlemi ekranlamadır. Elektrik personeli elektrik boşalmalarının etkilerinden de korunur. Genellikle çalışma ekranlaması ve çalışan kişinin ekranlaması olmak üzere iki farklı ekranlama yapılır.

23.1.2 Sonuçlar

- 1- 500 ve 750 kV' luk şalt sahalarındaki elektrik alanlarının insan vücudu üzerinde istenmeyen etkileri vardır. Bunlar,alan içerisinde uzun süre kalıp ; çalışmaktan gelen doğrudan etkilerin yanında, elektrik boşalmalarıyla oluşan etkilerdir.
- 2- Elektrik alanlarının insan üzerindeki etki derecesinde ölçüt, alan şiddeti baz olarak alınmalıdır.5 kV/m' den az şiddetli alanın etkisi yoktur.
- 3- 500 ve 750 Kv' luk şalt sahalarının birçok yerinden alan şiddeti yukarıda verilen eşik değerini önemli ölçüde geçer. Bu sebeple ekranlama gereklidir.
- 4- Çalışma yerleri ekranlandığı gibi kişisel ekranlama için özel elbiseler de kullanılabilir.Moulder,(2001)

23.2 RF Frekanslarından Korunma Yöntemleri

Gittikçe daha kompleks yapı içeren elektronik cihazların üretimindeki artış önümüzdeki yıllarda özellikle; haberleşme, bilgisayar ve enerji iletimi alanlarında elektromanyetik girişim için ekranlamaya olan talebin önemli derecede artmasına neden olacağı beklenmektedir.Elektronik cihazların elektromanyetik uygunluklarının sağlanması için optimum ekranlamanın başarılması, söz konusu cihazların güvenli ve istenilen biçimde çalışmasını mümkün kılar.

Günümüzde çok sayıda ve elektronik cihazın kritik işlerde yoğun bir şekilde kullanıldığı hastane ve askeri kesimde ekranlamaya özellikle ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle elektromanyetik girişim (EMI) kontrol etmek için önemli bir araç olan ekranlama, elektromanyetik uygunluğun (EMC) sağlanmasında önemli rol oynar.

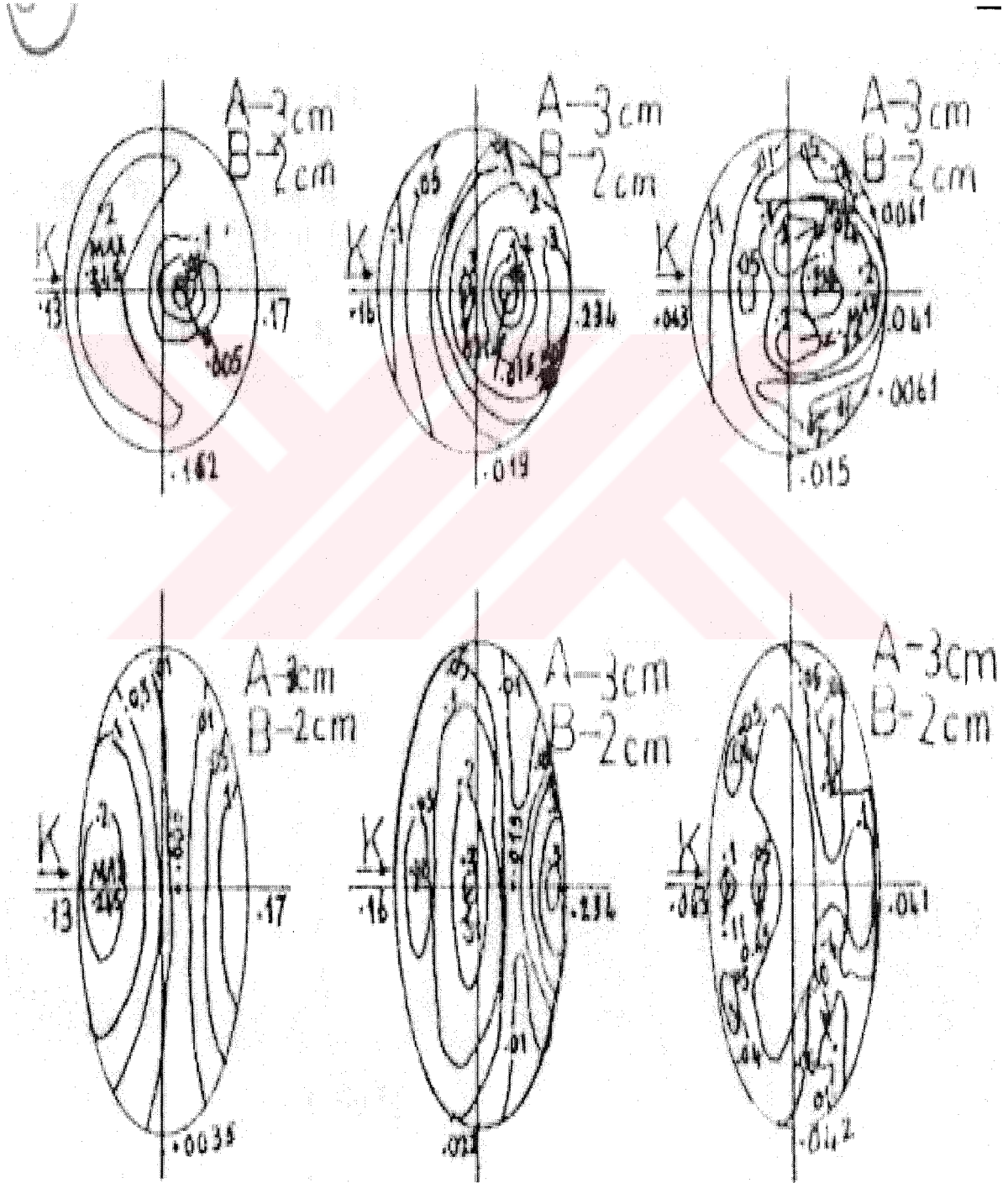
Haberleşme alanında, imalat esnasında devre ve elemanlarının yakındaki elektrik ve manyetik alanların etkilerine karşı korumak için önlemler almak gerekir. Bu elektromanyetik alanlarının kaynağı, cidardaki daimi mıknatıs, transformatörler olduğu gibi telefon hatları, filtre bobini de olabilir. Böyle bir durumda; imal edilen cihazın interferans etkisinden izole edilerek ekranlanması önemli bir problemdir. Aksi taktirde kuvvetli elektromanyetik alanların etkisi sonucu manyetik şerit üzerindeki bilgiler zarar görebilir hatta tamamen yok olabilir için manyetik şeritler ekranlanlanmış kablolarda depolanmalıdır.

Bobin ve transformatör güçlü mıknatısların yanına monte edilirse performansı bozulabilir. Örneğin; rezonans devresinin frekansı kayabilir.

Benzer problemler mikrodalga cihazlarında ve devrelerinde de vardır.Herhangi bir ölçme yapıldığında, elde ettiği ölçünün kesin olarak doğru olduğundan emin olunamaz.Teorik bir verici, verilen enerjiyi nakletmeli ve alıcıda almalıdır.Elektronik cihazların her bir parçası her an elektriksel enerji alabilir veya yayabilir. (Moulder,2001)

Bu nedenle laboratuarlardaki elektronik cihazlar, arzu edilmeyen kaynaklardan enerjiye sürekli olarak maruz kalırlar. Bir cihazın dizaynında, ideal olarak istenilen enerjiyi yayınlaması ve arzu edilmeyen herhangi bir enerjiye karşıda, duyarlı olunması istenir. Bunun başarılması için dış ortam cihaza kapatılarak, ister dışardan içeri ister dışarıya yönelmiş istenilmeyen enerjinin efektif olarak zayıflatılması sağlanır.

Diğer interferans kaynakları arasında dünyanın manyetik alanı da sayılabilir.



Şekil 23.1 İnsan Kafası modellemesi

23.3Yüksek Frekanslı EM alanlarının Direkt zararlarına Karşı Koruma

Korunmanın amacı, insanların mümkün olduğu kadar R alanlarına maruz kalmalarını azaltmak ve toplum için bu tür maruziyetleri zararsız sınırlarda tutmalıdır. Genel kural olarak, kontrolsüz alan ve sızıntıların; bu alanlarda çalışan kişilere uygulanabilecek seviyelerin oldukça altına indirilmesidir. Birçok ülkede bu problem, özel tip aletler için müsaade edilebilir emisyon seviyelerini belirten gönüllü veya resmi kuruluşlar tarafından halledilmiştir. ANSI C95. 1-11982 gibi bazı RF koruma tavsiyeleri vardır ki; bunlar güvenlik kurallarının gayet açık olarak tanımlanmıştır.(Hall,1996)

Korunmanın diğer bir temel kuralı ise, RF teçhizatını istenilen amaca ve çalışma talimatına uygun kullanmaktır. Bu da gösteriyor ki; kullanım kılavuzları güvenli kullanım için gerekenleri içermelidir ve kullanıcılar, teçhizatı güvenli bir biçimde kullanabilmeleri için eğitilmelidir. Potansiyel tehlikelerin farkında olmanın, bununla beraber operatörlerin güvenli ve profesyonel eğitimlerini yaptırılmasının, RF radyasyonuna karşı temel korunma gerekliliklerinden olduğu vurgulanmalıdır. RF radyasyonuna karşı işçilerin korunma kaideleri Uluslar arası Radyasyon Korunma Birliği ve Uluslar arası İşçi Ofisi tarafından gündeme getirilmiştir ve korunma ölçüleri hakkında detaylı bir bilgi sağlanmıştır. Bu bilgiler, çalışanların, sorumlu kullanıcıların, güvenlik müfettişlerinin ve radyasyon işçilerinin sorumluluklarını belirtir.

Yüksek radyasyona maruz kalabilecek insanların çalıştıkları yerlerde bu ihtimalden uzak kalmaları için çeşitli giysiler ve gözlükler üretilmiştir.İkincil kaynaklardan dolayı oluşan etkileri azaltmada, yansımama özelliğine sahip malzemeler kullanılmalıdır.

RF kaynaklarının çevresindeki radyasyon araştırmaları basit bir kontrol ölçüsüdür. Bu gibi araştırmaların amacı , insan bulundurulmasının sınırlandırıldığı yada yasaklandığı alanları belirlemektir. Bu gibi ölçme teçhizatları için izlenen yollar, güvenilir ve mukayese edilebilir sonuçlar elde edilmesi için standartlaştırılmalıdır. Birçok uluslar arası standart bu konuda tavsiye edilebilecek prosedürler sunmaktadır.

RF kaynaklarının çevresindeki radyasyon araştırmaları basit bir kontrol ölçüsüdür. Bu gibi araştırmaların amacı, insan bulunmasının sınırlandırıldığı yada yasaklandığı alanları belirlemektedir. Bu araştırmalarda şu noktalara dikkat edilmelidir.

- 1.Kontrol edilmeyen bölgelerde, radyasyon maruziyeti tavsiye edilen limitleri aşmamalıdır.
- 2.Kontrollü bölgelerde radyasyon seviyeleri bilinmelidir.Ayrıca maksimum maruziyet süreleri belirlenmelidir.
- 3.Radyo –televizyon vericileri gibi yüksek güçlü RF radyasyon kaynakları muhtemel olumsuz etkiler için çevrelenmeli ve ikaz levhaları yerleştirilmeli

- 4.RF cihazları yerleştirilirken yandaki radyasyon kaynaklarından sızıntı olması ihtimali hesaba katılmalıdır.
- 5.Radyasyon yayan RF cihazlarının gereksiz metalik nesneler bulunmamalıdır. Bu nesnelerin bulunması radyasyon yayılımına neden olabilir.
- 6.Ekranlama, koruyucu kılıf yansıtıcı malzemeler yerine emici malzemeler kullanarak yapılabilir.
- 7.Tüm RF cihazlarının dizaynlarının standartlara uyum göstermesi gerekmektedir.
- 8.Bazı yüksek gerilimli RF cihazları X- ışınları yayabilirler. Bu yüzden uygun korunma sağlanmalıdır.
- 9.Bunlara ek önlemler düşünülmelidir. RF yansıması ya da şokları RF kaynaklarına yakın yerlere yerleştirilmiş metalik nesneler vasıtasıyla oluşabilir. Bu gibi RF yansıması ve şoklarına dikkat edilmeli, bunları oluşturacak ortamlardan kaçınılmalıdır.
- 10.Metalik nesnelerin kıvılcımları, dumanları ve yanabilir gazları tutuşturabilir, hatta infilak ettirebilir.Patlamaya neden olabilecek yüksek seviyedeki RF alanlarına elektro-patlayıcı araçlar yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Elektrikli dinamit tapaları, belirli koşullar altında RF alanlarından yeterli enerjiyi toplayıp tapaların patlamasına neden olabilir. Dinamit tapalarının bu alanlara olan hassasiyetleri; frekansa , polarizasyona, alan şiddetine ve 11.RF interferans ile ilgili patlayıcının dizaynındaki faktörlere bağlıdır.
- 12.RF enerjisine doğrudan maruz kalmanın, birincil biyolojik tehlikelerinden başka, vücudun koruma sistemine ilave olarak takılmış medikal cihazlar kullanan kişiler için de önemli etkileri vardır. Elektromanyetik interferanslar, ayırım, ekranlama, süzme ve yoğun tertibat ile azaltılabilir. (Seyhan,1999)

23.3.1 Koruyucu Bazı Tedbirler:

Endüstriyel ve medikal kaynaklardan gelen RF emisyon kontrolü;uygun teçhizat dizaynı, ekranlama ve teçhizat yerleştirilmesi ile sağlanmalıdır.

- 1.Tüm personel, çalışma tekniği üzerine bilgilendirilmelidir. Bu, maruziyetten korunmak için gereklidir.
- 2.Uyarı işaretleri gerekli bölgelere yerleştirilmelidir.
- 3.Maruziyet seviyeleri düzenli aralıklarla açıklanmalıdır.

Uygun koruyucu tedbirler; iyi formülize edilmiş standartları kendine baz alan, iyi organize edilmiş bir RF radyasyon korunma programını gerektirmektedir. Birçok batı ülkelerinde Ulusal seviyede standartlar hazırlanmış,uygulanmakta ve zaman zaman yenilenmektedir. Başlangıçta ulusal standartlar bir ülkeden diğerine farklılık göstermiş olmasına karşın son zamanlarda standardizasyonu doğru bazı adımlar atılmıştır. Böylece ortaya çıkan uluslararası

konsensüs; Uluslararası Radyasyon Koruma Birliği tarafından basılan ve RF alanlarına maruz kalma limitlerini gösteren rehberde yansıtılmıştır.

Çizelge 23.3 Uluslararası Radyasyon Koruma Birliği tarafından basılan ve RF alanlarına maruz kalma limitleri

Elektromanyetik Alanlar *				
Frekans aralığı(MHz)	Elektrik Alan Şiddeti(V/m)	Manyetik Alan Şiddeti(A/m)	Güç Yoğunluğu(mW/cm)	Ortalama Zaman(dakika)
0.003-0.1	614	163	(100,10000000) **	6
0.1	614	163/f	(100,100000/f ²) **	6
Mar.30	1842/f	163/f	(900/f, 10000/f ²) **	6
30-100	61.4	163/f	(1.0 , 10000/f ²) **	6
100-300	61.4	0.163	1.0	6
300-3000			f/300	6
3000-15000			10	6
15000-30000			10	616000/f ^{1/2}

Çizelge 23.4 İndüksiyon ve Temas Radyo frekans Akımları

İndüksiyon ve Temas Radyo frekans Akımları ***			
Frekans aralığı(MHz)	Her iki ayaktan geçen maksimum akım	Her bir ayaktan geçen maksimum akım	Temas
0.003-0.1 MHz	2000f	1000f	1000f
0.1-100 MHz	200f	100	100

* Elektrik ve Manyetik alan şiddetleri cinsinden maruziyet değerleri; vücudun düşey kesitine eşdeğer bölge üzerinden ortalama alınarak elde edilir.

** Uzak alan şartları yaklaşık olmamakla birlikte bu düzlem dalgaların eşdeğer güç yoğunlukları yüksek frekanslarda MEMM ile mukayese olarak kullanılır. Ve bazı cihazların kullanımında önemli rol oynar.

*** Yukarıda verilen akım seviyeleri , enerji yüklü cisme temas sonucu oluşan değerlerden kaynaklanan yanıklar ve ürkütücü tepkilere karşı yeterince koruma sağlamaz.

Çizelge 23.5 Kontrolsüz Çevrede Müsaade Edilen Maksimum Maruziyet

Kontrolsüz Çevrede Müsaade Edilen Maksimum Maruziyet (MEMM)					
Frekans aralığı(MHz)	Elektrik Alan Şiddeti(V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Güç Yoğunluğu(Nw/vm)	Ortalama Zaman Elektrik (dakika)	Ortalama Zaman Manyetik (dakika)
0.003-0.1	614	163	(100,10000000) **	6	6
0.1-11.34	614	16.3/F	(100,100000/f ²) **	6	6
11.34/3.0	823.8/f	16.3/f	(80/f ² ,10000/f ²) **	f ² /0.3	6
3.0-30	823.8/f	16.3/f	(80/f ² ,10000/f ²) **	30	0.06361
30-100	27,5	158.3/f ^{1.66}	(0.2,940000/f*3.336) **	30	0.06361 ^{1.337}
100-300	27,5	0.0729	0.2	30	30
300-3000			f/1500	30	
3000-15000			f/1500	90000/f	
15000-300000			10	616000/f ^{1/2}	

*** Yukarıdaki akım seviyelerinin enerjili cisimlere dokunulduğunda seçici deşarjlardan kaynaklanan ani ürkütücü tepkilere karşı yeterince koruma sağlanamadığına dikkat edilmelidir.

** Yaklaşık olarak yakın alan şartları gerçekleşmemekle birlikte Bu düzlem dalga eşdeğer güç yoğunluğu MEMM' lerin mukayesesinde yüksek frekanslarda kullanılması yaygın bazı cihazlarda önemli rol oynar.

* Elektrik ve manyetik alan değerleri cinsinden maruziyet değerleri vücudun maruz kaldığı düşey tesir kesitine eşdeğeri olan bir yüzey üzerinden alınan ortalama uzaysal değerlerden elde edilir. (Prof.Dr.N.Seyhan, Manyetik Alanların Dokuya Etkisi,1999)

Elde edilen standartlarda, maruz kalma limitlerinin rakamsal değerleri değişik SAR(ÖSO) seviyelerinin neden olduğu etkilerden çıkarılmıştır. Örneğin, Türkiye standardı olarak mesleki maruziyet durumunda temel limit, 0.08 W/kg SAR olarak belirlenmiştir. V/m, A/m, W/m² olarak belirlenen maruz kalma limitleri, maruziyetin ortalama süresi olan 6 dakikaya göre çıkarılmıştır.

300 kHz' den 300 GHz' e kadar olan radyo frekanstaki alanlar, elektrik alan şiddeti (V/m) ve Manyetik alan şiddeti (A/m) açısından ölçülür. 300 MHz' in üzerindeki frekanslarda tehlike

değerlendirilmelerinde genellikle güç yoğunluğu (W/m^2) kullanılır. RF alan ölçüm cihazları piyasada mevcuttur.

Verilen herhangi bir ortamda doğal olarak oluşan radyasyon, insanlar tarafından üretilenden çok daha düşüktür. Şehirde yaşayan nüfus mW/m^2 'nin yüz katına varan şiddette alanlara maruz kalmaktadırlar. (mV/m 'nin yüzü, mA/m 'nin onlu değerleri). Daha yüksek maruziyetler radyasyon kaynaklarına yakın yerlerde meydana gelir. Mesleki maruziyetin seviyeleri frekans ve uygulama ise değişkenlik gösterir. Bazı özel durumlarda $100W/m^2$ 'lik maruziyet seviyeleri kısa zaman aralıklarıyla meydana gelebilir. Fakat genelde maruziyet çok daha düşüktür. Tedaviye yönelik uygulamalarda, maruziyet seviyeleri, dokunun ısısında birkaç derecelik artışa sebep olacak kadar yüksektir. Hall,(1996)

Özgül soğurulma oranı (SAR) (ÖSO-W/kg) dosimetrik bir nicelik olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılır. Maruz kalma limitleri ÖSO' dan çıkarılabilir. Vücuttaki SAR birçok maruziyet parametresine bağlıdır. Bu parametreler; frekans, polarizasyon, radyasyon kaynağı, vücut pozisyonu , yansıtıcı yüzeyler, vücutun büyüklüğü, şekli ve elektriksel özellikleri olarak sıralanabilir. Vücut içerisindeki SAR' ın uzaysal değişimi değişebilir. Vücutun değişebilir enerji depolaması, düzgün olmayan derin vücut ısısına yol açar. 10 GHz' in üzerindeki frekanslarda , enerji vücut yüzeyine yakın bir yerde depolanır.

Maksimum ÖSO, standart bir erkek için 70 MHz' de, RF alanında çalışmakta olan ve ayakta duran bir kişide ise 30 MHz' de oluşur. Isı ve nemin maksimum olduğu koşullarda, 70 MHz' de 1-4 W/kg' lık tüm vücut ÖSO' sının 1 saatte 2 derecelik bir artışa neden olması beklenir.

Yüksek seviyeli RF radyasyonu bilinen tüm biyolojik sistemler için ısı işlemlere yol açan bir termal enerji kaynağıdır. Bu ısı oluşumları; yanıklar, üremede meydana gelen geçici ve sürekli değişimler, katarakt ve benzeri hastalıklara sebebiyet verebilir. Radyo frekans alanında, deri ısısının algılanması ve termal açı, RF radyasyonunun belirlenmesi için güvenilir değildir. Çünkü birçok frekansta enerjinin çoğu, derideki termal alıcıların daha altında bir seviyede yerleşerek depolanmış olabilir. RF alanlara maruziyet, geniş kapsamda araştırılmış, çalışılmış bir etkileşim sistemidir. Bu çalışmalarda termal etkiler 1W/kg dan daha az bir seviyede incelenmiş ve gözlemlenmiştir.

RF radyasyonunun insan üzerindeki etkileri üzerine çok az bilgi vardır. Ayrıca 10 GHz' in üstündeki ve 10 MHz' in altındaki frekanslara maruz bırakılmış hayvanların tepkileri üzerine de çok az veri vardır. Birçok hayvanlarda yapılan araştırmalarda 3GHz'e yakın frekanslarda gerçekleştirilmiştir. (Seyhan,1999)

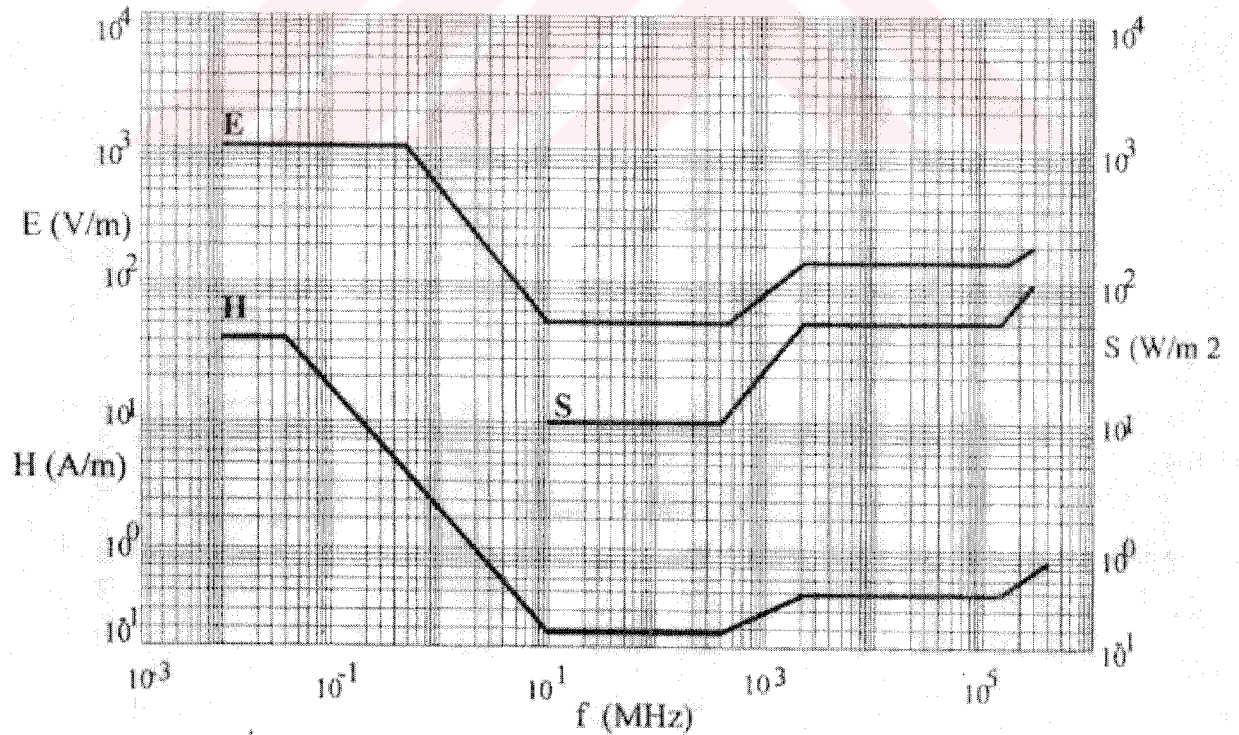
Genel olarak, termal olmayan seviyelerdeki DNA ve kromozomsal değişiklikler üzerine çok az veri olmasına rağmen, RF radyasyonuna maruz bırakılmış kromozomlarda, DNA da ya da hayvanların üreme potansiyellerinde bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir ki; bunlar, ısıdaki

önemli artışların yokluğunda bulunmuş ve değerlendirilmiştir. Sıcaklık artışının önemsiz olduğu durumlarda hücre zarları arasında gerçekleşen iyon transferinde, nöronların elektro fizyolojik özelliklerinde değişiklikler, özellikle beyin dokusunda oluşan kalsiyum iyon hareketliliği şeklinde oluşumlar ortaya çıkar. ÖSO' nun 0.4 W/kg dan daha büyük olduğu durumlarda bağışıklık sistemi ve kan yapımı üzerinde etkisinin olduğu anlaşılmıştır.

Annenin vücut ısısının arttırılmasının, doğum özürlilerine neden olduğu ortaya çıkmıştır. Hayat tehlikesi seviyelere ulaşan RF radyasyonunun hamile hayvanlarda şekil bozukluğuna yol açtığı belirlenmiştir.

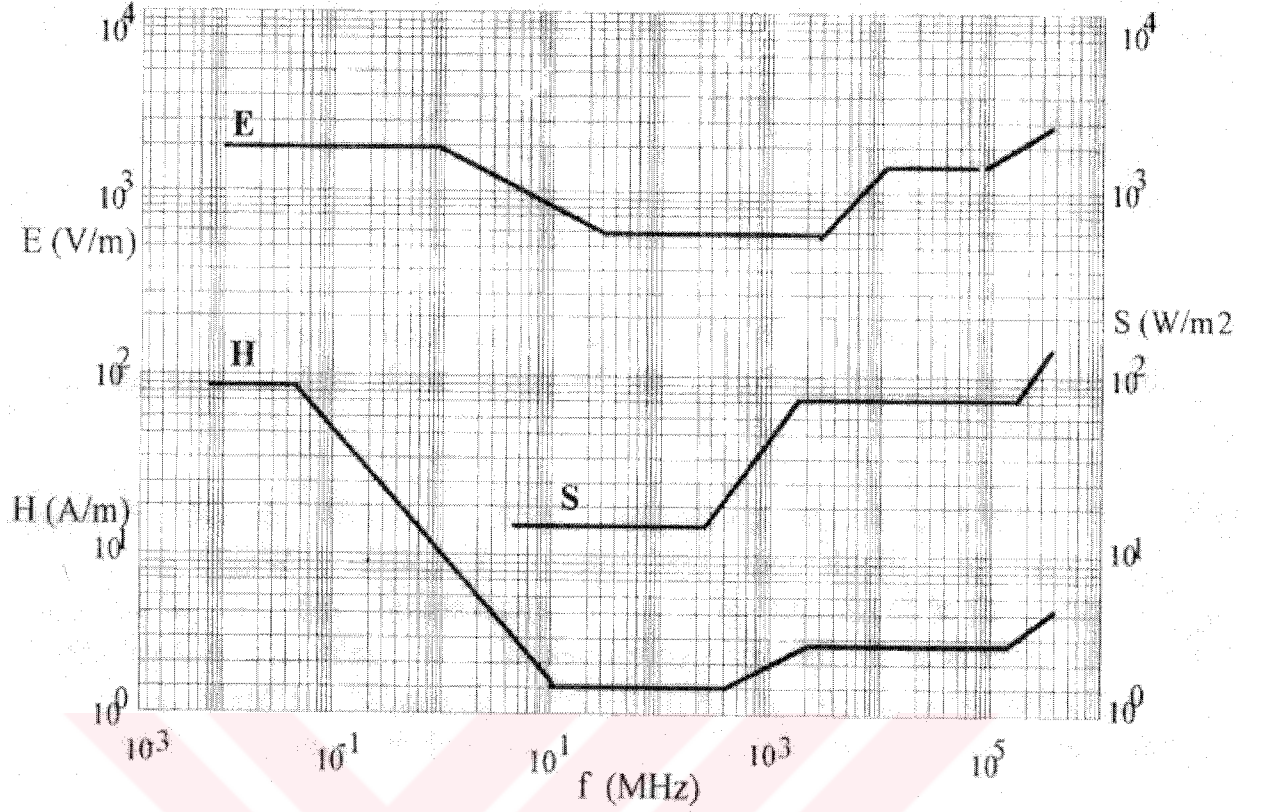
2W/kg dan daha büyük ÖSO(SAR)' larda , kronik düşük seviye uygulamalarıyla ve şiddetli yüksek seviye uygulamalarıyla deney hayvanlarının merkezi sinir sistemlerindeki nöronlar etkilenebilir. Modüle edilmiş RF alanları EEG ritmini değiştirebilir. 1-4 W/kg lık ÖSO 'da bazı hayvanlarda davranış bozuklukları ortaya çıkabilir. Bu davranışsal değişiklikler maruziyet bitimini takiben tekrar eski haline gelir.

Akut yüksek yoğunlukta RF radyasyonuna yeterli bir süre maruz bırakılan deney hayvanlarında katarakt ve retina değişiklikleri olduğu gözlenmiştir. "Düşük seviyeli RF radyasyonuna kronik maruziyet insandaki kataraktı azaltır." fikrini hiçbir epidemiolojik veri desteklememektedir. Ayrıca, bazı araştırmalara göze ait mercekle bozukluklarını RF maruziyetine bağlamıştır.

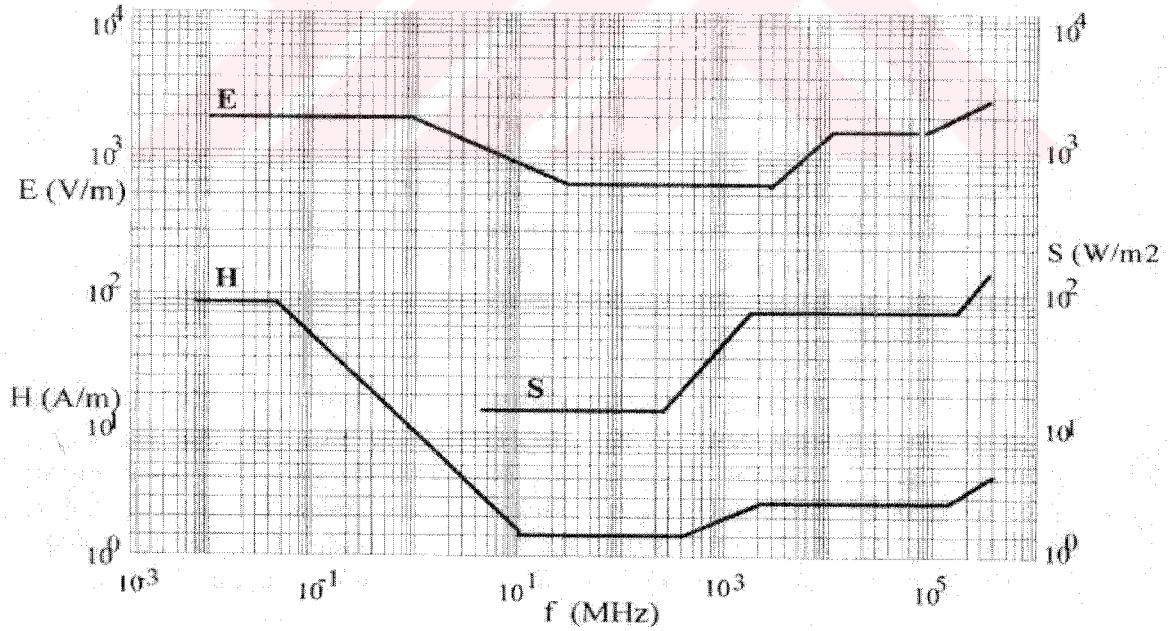


Şekil 23.2 İşçiler için alan şiddeti ve güç yoğunluğuna ilişkin referans seviyeleri (devamlı maruziyet)

İşçiler için Pik alan şiddeti ve güç yoğunluğuna ilişkin referans seviyeleri



Şekil 23.3 Genel halk için alan şiddeti ve güç yoğunluğuna ilişkin referans seviyeleri (sürekli maruziyet)



Şekil 23.4 Genel halk için pik alan şiddeti ve güç yoğunluğuna ilişkin referans seviyeleri

23.3.2 Organ akımları

100MHz' e kadar, insan vücudunda, özellikle organlarda oluşan akımların teoride düşünülmesi bir takım meselelerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. İnsan vücudunda oluşan

RF akımlarının genliklerini belirlemek için araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, bir yetişkinin RF alanına maruz kalmış bacaklarında oluşan akımın, efektif iletken kesidinin düşük olduğu yerlerde yüksek SAR değerine yol açmaktadır. Böylece, bu bölgedeki gerçek kesit alanına göre düşünülen daha fazla akım yoğunluğu olacaktır. Diz ve bilek bu tip bölgelere örnek olarak verilebilir. Bundan dolayı özellikle bileğin SAR değerlerine önem verilmelidir. Gandhi ve Chen' in insanlar üzerinde yaptığı deneyler, oluşan akımların, insan vücudu dik ve yalın ayaklı yani topraklanmış vaziyette iken ve vücut dik polarize olmuş düzlem dalgaya paralel ise, en yüksek olduğunu göstermiştir. Bacaklarda oluşan akımlar ise frekans ve maruz bırakılan kişinin boyunun karesi ile orantılıdır.

Yalınayaklı ve dik duran bir insanın dik elektrik alan içinde bacağına oluşacak akım için yaklaşık formül şu şekilde verilmelidir.(27 MHz' e kadar);

$$I \text{ (mA)} / E \text{ (Vm}^{-1}) = 0.108 * h^2 * f \text{ (MHz)}$$

Burada, h: kişinin boyu(m), f: Frekans(MHz), E: Elektrik Alanı(Vm⁻¹)

Örnek: Eğer E= 60Vm⁻¹ ; f= 1MHz ve h= 1.75 m ise

$$I \text{ (mA)} = (0.108 * (1.75)^2 * 1) * 60 = 19.85 \text{ mA}$$

27 MHz' den yüksek frekanslarda, ölçülen akımlar 40 MHz civarında en yüksek değerlerini almaktadırlar ki bu da kişinin rezonans değerini yansıtmaktadır. 27 MHz' den yüksek frekanslar için, içinde standart insanın rezonans frekansı da bulunan deneysel akım formülü, I / E ile frekans arasında sinüs dalgası şeklinde bir ifade vermektedir.

ANSI C95.1-1982 kapsamındaki standart elektrik alan limitlerinde 3-40 MHz 'de yapılan testlerde, bileklerdeki ÖSO değerleri 180-243 Wkg⁻¹ aralığında bulunmuştur. Eğer ayakkabı giyiyorsa , ayakkabının yapıldığı maddelerin frekans ve elektriksel özelliklerine göre bilek akımları azalmaktadır. Ayakkabılı akımlar, çıplak ayaklı akımların 0.8 ile 0.82 katı civarındadır. 1 MHz' de yapılan ölçümlerde bu oranlar sırası ile 0.62 ile 0.64 olarak bulunmuştur. Frekans ile artmanın sebebi, topraklama empedansının frekans ile düşmesidir.

Chen ve Gabdhi tarafından yazılan diğer bir makalede, 20 ile 100 MHz aralığında oluşan RF akımları için bir bilgisayar modeli gösterilmektedir. Hesaplamaların sonuçları grafiklerle sunulmuştur. Sonuçlar, diğerlerinin yaptığı çalışmaların sonucu ile uyum içindedir. Mevcut RF güvenlik standartları 100 MHz' e kadar akımları için limitleri ve aynı zamanda şok ve yanmaları önlemek için temas akımları limitlerinde kapsamaktadır. (Hall,1996)

23.3.3 RF Şok ve Yanıkları

100 MHz'e kadar olan frekanslarda , RF alanlarındaki pasif bir cisim ile temas, vücudun temas edilen bölgesine, genellikle eller, akım akmasına dolayısıyla şok ve bazen yanıklara sebebiyet verir. (Seyhan,1999)

Bu etkiler, demir parmaklıklar, hurda demirler, açıkta bulunan çanak ve diğer antenler , araçlar, ziraat makineleri ve metal yapılar gibi hemen hemen bütün iletken cisimlerle temasın sonucunda meydana gelir.

Eğer temas alanı nispeten küçük ise , yüksek akım yoğunluğundan dolayı yanıklar meydana gelebilir. El ile tam kavrama pratik bir hareket değildir. Çünkü, temaslar genellikle dikkatsizlik sonucu ve parmak uçları ile olmaktadır.

Chartterjee'nin bir makalesi, birkaç yüz erkek ve kadın yetişkinin, 10 kHz- 3MHz aralığında yapılan vücut empedans ölçümleri sunmaktadır. Deneyler, aynı zamanda ,algılama ve dayanmayı ölçmek için sınır akımlarında yapıldı.Yapılan deneylerde, 100 MHz'e kadar karıncalanma veya iğne batması hissi görünmesine rağmen, 100 MHz'den yüksek frekanslarda ısınma hissi tespit edilmiştir.58 m² efektif alanı ve 0.5 m efektif yüksekliği olan bir kamyonetin kapı mandalıyla 3 MHz ve 632 Vm⁻¹ alan içinde yapılan temas sonucunda 879 meydana geleceği hesaplanmıştır.

Yanıkların, temas noktasındaki akım yoğunluğuna ve efektif temas alanına bağlı olmasından dolayı , geniş temas alını standartların üzerindeki akımlara bazen de yanıklara sebep olabilir. Eğer yanık yoksa tehlikede yoktur varsayımından daha çok, temas akımlarını ölçmek önemlidir.(Çerezci,2000)

Ellerden başka diğer yanığa maruz kalabileceği gözden kaçırılmamalı.Kısa şort giyildiği takdirde, çıplak bacakların metal cisimlerle temasıdır. Şort giyen kimseler bazen metal cisimlerin üzerine de oturmaktadırlar.

Şu anki bulgulara göre 0.1 ile 100 MHz'lik aralıkla iş dolayısı ile maruz kalma temas akımlarının limitleri 100 mA ile 20 m A arasında sınırlandırılmıştır. Temas yanıkları 0.2cm² bir temas alanında 60 mA2lik bir akımla oluşabilmektedir.

Şok ve yanıklara maruz kamanın yanında dolaylı etkiler de vardır ki , daha endişe verici olabilmektedir.Yapıların üzerinde çalışan kişilerin maruz kaldığı küçük şoklar, irade dışı hareketlere sebep olup düşmelere yol açabilir.Şu andaki güvenlik standartları bu tip küçük şokları engellemeyecektir.Çalışma alanlarına kurulmak için anlaşmaları yapılan anten sistemlerini kurulması sırasında fark edilen cihazlar arasındaki kıvılcım atlamaları , radyasyon korkusu ve mümkün olabilecek irade dışı hareketlerle telaşa sebebiyet vermiştir.düşük limitlerde oluşan temas akımlarından dolayı fiziksel ve psikolojik etkileri göz önüne tutarak

temas akımları ile ilgili sadece güvenlik tedbirleriyle yetinmeyip konuya daha çok önem verilmelidir.

RF alanlarındaki iletken cisimlerle temas konusunda, genellikle iki durum düşünülmektedir. Birinci durum açık alanda veya şirketlerde çalışan kimselerin güvenliğidir. Birçok ülkelerde çalışma sırasında alınacak sağlık ve güvenlik önlemleri vardır. Burada problem güvenlik yönetimi olarak kendini göstermekte ve metal cisimlerin RF alanına maruz bırakılmaları hakkında yasaklamalar ihtiva etmektedir. İkinci durum ise RF radyasyonuna maruz bırakılabilecek komşuların hakları ile ilgili kamusal durumdur. RF radyasyonundan sorumlu olanlar komşu kişilerin şok ve yanıklara maruz kalmaları için gerekeni yapmalıdır. Bu tüp bir güvenlik için yayılan gücü düşürmek veya antenin özelliklerini değiştirmek bile gerekli olabilir. Aynı şartlar halkın bisiklet, araba vs. vasıtalarla girmesini mümkün olduğu alanlar için de geçerlidir. Özellikle, RF alanı içindeki alanlar önemli temas akımlarına sebebiyet vermektedirler. Bu ise yaralanmalara sebebiyet vermese bile bir takım sıkıntılara sebep olan önemli bir problem olabilir.

23.3.4 RF alanlarında sıcaklığın algılanması

Daha öncede bahsedildiği gibi, RF spektrumunun üst frekanslarında 3 GHz'den yukarı, derideki enerji sıcaklık sensörleri ile hissedilebilmektedir. Çünkü frekans arttıkça enerji derinin üst katmanlarında yoğunlaşmaktadır. Sonuç, vücudun değişik kısımlarındaki değişik ısı hassasiyeti, maruz kalma müddeti, maruz kalma alan gibi bir takım faktörlere bağlıdır. WHO memeli hayvanlar üzerinde yaptığı testlerde birkaç saniyeden birkaç on saniyeye kadar olan maruz kalmalarda hücresel bozukluklar için sınır sıcaklığını, sızı verici sınır sıcaklığından (45°C) daha düşük tespit edilmiştir. (42°C). Bundan dolayı, derinin ısınmasını hissetmemek, zararlı maruz kalmalara karşı korunmuş olmak manasına gelmez.

Dalga boyunun deri kalınlığı ile kıyaslanabilir veya daha küçük olduğu yüksek frekansların daha iyi gösterge olduğu önerilmektedir. Sağduyu, kapsanan bütün

Değişkenler hakkında daha iyi bilgi sahibi olmadıktan sonra bir yorum yapmayı öngörmektedir.

RF radyasyonu hakkında evrensel olarak kabul edilmiş bir metin vardır. Buna göre, insanlar, güç yoğunluğu standartların izin verilen sınırları içinde dahi olsa ısınma hissi veren alan içinde bulunmamak gerekmektedir. Daha öncesi tartışmalardan açıkça anlaşıldığı gibi, bu herhangi bir zararın oluşturmamasını garanti etmez. Fakat fazladan bir uyardır. Bahsi geçen frekansların çok altındaki frekanslarda, deri hissedicilerinin daha altına nüfus eder ve fiziksel ısınma hissedilemeyebilir. İç yapıdaki herhangi ibre zarara maruz kalmamanın ancak sınırlandırılması ile mümkün olabilir.

23.3.5 Darbeli Radyasyon

Darbeli radyasyon özellikle radar ve bazı bilgi iletim sistemlerinden çok kullanılan sitemdir. Konuyla ilgili olan ortalama güç yoğunluğu ve tepe darbe gücü burada bahsedilecektir. Tipik bir radar da bu iki değer arasındaki faktör yaklaşık olarak 1000'dir. Sözelimi, 50 M^{-2} 'lık tepe darbe gücü demektir. RF radyasyonu güvenlik düzeltmelerinin ilk günlerinde daha çok ortalama güç üzerinde duruluyordu. Fakat tepe gücü yoğunluğunun sınırlanması hakkında soru işareti bırakılmıştır. Bir takım kişilerce ifade edilmesinden sonra , yüksek tepe gücü ile alakalı mümkün olabilecek bir takım etkiler araştırılmıştır.

Hayvanlar üzerinde yapılan deneylerde, yüksek bir gürültüye karşı gösterilen ani tepkinin kısa bir mikrodalga darbesi ile bastırıldığı görülmüştür. Farelerin vücutlarında hareketlerin olduğu görülmüştür. Hesaplamalar bu hayvanlarda yüksek ÖSO değeri göstermektedir.

Darbe radyasyonunun sinir sistemi üzerinde özel etkileri olduğu düşünülmektedir. Mevcut birçok standartlar tepe darbe gücü yoğunluğu ve darbe enerjisi için sınırlamalar getirmektedir. Modern radar ve diğer darbeli aletlerde söz konusu olan çok yüksek darbe tepe güçlerine maruz kalmanın meydana getireceği etkiler eskiden beri merak konusu olmuştur. İnsanlar üzerinde herhangi ibre olumsuz etkisine rastlanmamasına rağmen, kaçınılmaz olan yüksek güç yoğunluğu birçok insanın endişelenmesine neden olmaktadır. Yine, dört standarttan üçü, darbe enerjisi için bir takım sınırlamalar vermektedir. Darbe tepe enerjisi için sınırlandırmalar Genellikle (jm^{-2}) olarak veya darbe tepe güç yoğunluğu olarak verilmektedir.(1)

Daha önce verilen bilgiler doğrultusunda yüksek frekanslı EM radyasyon ortamında çalışan personel ve genel halk için geliştirilmiş dolaylı dolaysız etkilenmeleri kapsayan; matematiksel bağıntılar, türetilmiş referans seviyeleri ve tablolar verilmiştir.

23.4 İşçiler

23.4.1 Temel Sınırlamalar

23.4.1.1 Akım Yoğunluğu, 10 kHz- 10 MHz;

Sürekli Maruziyet: $j = f / 100 \text{ A/m}^2$ burada j akım yoğunluğunu A/m^2 cinsinden ve f Hz Çinsinden frekansı göstermektedir. Akım yoğunlukları 100 ms'lik periyotlar ve 1 cm^2 'lik akım yönüne dik alanlar için ortalaması alınmalıdır. Sinüzoidal tekrarlanan darbeler için tepe değerleri için ilave gereksinim : $j = f / 21.2 \text{ A/m}^2$. Bütün frekanslardaki bileşenler aşağıdaki formüle göre eklenmelidir.

$$\sum_i \frac{J_i}{J_{\text{Ref},i}} < 1 \text{ (büyük eşit)}$$

burada İ i frekansındaki akım yoğunluğu $J_{\text{Ref},i}$ ise i frekansındaki akım yoğunluk sınırıdır.

23.4.1.2 Özgöl soğurulma oranı (SAR) ve özgöl soğurulma 10kHz-300 GHz:

Aşağıdaki ÖSO ve ÖS değerleri maruziyet durumunda insan vücudunda 10 kHz ile 300 GHz frekans aralığında soğurulacak (yutulacak) bütün elektromanyetik alanların toplam ÖSO ve ÖS değerlerini kapsar.

23.4.2 Tüketilen Referans Seviyeleri

23.4.2.1 Alan Şiddetleri, Güç Yoğunluğu ve Enerji Akı Yoğunluğu:

İnsanların olmadığı alanlar için , aşağıdaki alan şiddetleri ve güç yoğunlukları referans seviyeleri geçerlidir. Maruziyet süresi ≥ 6 dakika durumu için aşağıdaki tabloda geçerlidir.

Çizelge 23.6 Özgöl Soğurulma Oranı (Sürekli Maruziyet) ve Özgöl Soğurulma Sınır Değerleri

	ÖSO herhangi bir 6.dak 'lık zaman aralığı ve bütün vücut için alınmış ortalama	ÖSO herhangi bir 6 dek'lik zaman aralığı ve 10 g a) eller ayaklar bilek, topuk harici dokular için alınmış ortalama	ÖSO herhangi bir 6 dek'lik zaman aralığı ve eller,ayaklar,bilek, topuktan alınmış 10g a) için alınmış ortalama	ÖS tepe herhangi bir 10g'lık doku için alınmış ortalama
İşçiler	0.4W/kg	10 W/kg	20W/kg	b) 10 mj/kg

a) 10 g kütle küp şeklinde seçilmelidir. Düz bir tabaka şeklinde değil.

b) 30 MHz'nin üstündeki frekanslarda 30 μs 'den az darbe süreleri için

Kısa süreli maruziyet (6 dakikadan az) için aşağıdaki sınır uygulamalarıdır.

$$\sum (\dot{O}SO_i * t_i) \leq 2.4 (W/kg * dak)$$

burada $\dot{O}SO_i$ w/KG içindeki in'ci maruziyet durumundaki ÖSO değeri ve t_i dek Çinsinden in'ci maruziyet süresidir.

Çizelge 23.7 Alan Şiddet ve Güç Yoğunluğu Referans Seviyeleri, Devamlı Maruziyet

Frekans, f (MHz)	Elektrik alan şiddetinin rms değeri (V/m) f (MHz)	Manyetik Alan Şiddetinin rms değeri, (A/m), f (MHz)	Ortalama Güç Yoğunluğu, (W/m ² , f (MHz)
0.01-0.038	1000 (a)	42 (a)	
0.038-0.61	1000 (a)	1.6/ f (a)	
0.61-10	614/f (a)	1.6/ f (a)	
10-400	61.4	0.16	10
400-2000	$3.07*f^{\frac{1}{2}}$	$8.14*10^{-3}*f^{\frac{1}{2}}$	f/ 40
2000-150000	137	0.364	50
150000-300000	$0.354*f^{\frac{1}{2}}$	$9.4*10^{-4}*f^{\frac{1}{2}}$	$3.334*10^{-4}*f$

a) Sadece E ve H alanlarına maruziyet için referans seviyeleri. Bir kaynaktan yayılan E ve H alanlar için aynı anda etki eden iki ayrı bağımsız kaynaktan ışımaya maruz kalıyor gibi düşünülmelidir.

30 μs 'lik veya daha kısa darbeler için 300 MHz'den 300GHz kadar olan aralıkta enerji akı yoğunluğu 0.1 j/m² olarak belirlenmiştir.

Kısa süreli maruziyet durumunda referans seviyeleri aşağıdaki formüllere göre gevşetilebilir.

a) 610 kHz (E)/38 kHz (H) frekanslarının üstünde ve 6 dakikadan kısa maruziyetler için:

$$\sum_i (E_i^2 * t_i) \leq (6 * L_{E*i^2}) [(V / m)^2 dak]$$

$$\sum_i (H_i^2 * t_i) \leq (6 * L_{H*i^2}) [(A / m)^2 dak]$$

$$\sum_i (S_i * t_i) \leq (6 * L_{S*i}) [(W / m^2) dak.]$$

b) 610 kHz (E)/ 38 kHz (H) frekanslarının üstünde ve 100 mili saniyeden az maruziyetler için:

$$\sum_i (E_i * t_i) \leq L_{E*i} [(V / m) sn]$$

$$\sum_i (H_i * t_i) \leq L_{H*i} [(A / m) sn]$$

yukarıdaki ifadelerdeki resimlerin izahatı şöyledir:

E_i : i 'enci maruziyet süresince elektrik rms alan şiddetinin V/ m cinsinden değeri

H_i : i 'nci maruziyet süresince manyetik alan şiddetinin A/m cinsinden değeri

S_i : i2nci maruziyet süresince güç akı yoğunluğunun W/m^2 cinsinden değeri.

$L_{E,i}$, L_H , $L_{S,i}$ Tabloda verildiği gibi ≥ 6 dek. Maruziyet durumları için elektrik alan, manyetik alan ve ortalama güç yoğunluğunun referans seviyeleri t_i in'ci maruziyet için dakika ve saniye cinsinden süre. Darbeli ışıma durumunda tepe değerleri için aşağıdaki tablo kullanılmıştır. (Çerezci,2000)

Çizelge 23.8 Alan Şiddetlerini ve Güç Yoğunluğu İçin Referans seviyeleri

Frekans (MHZ)	Elektrik alan şiddetinin tepe değeri (V/m), f(MHz)	Manyetik alan şiddetinin tepe değeri (V/m), f(MHz)	Tepe Güç yoğunluğu (W/m2), f(MHz)
0.01-0.23	8300	200	
0.23-2.1	8300	46/f	
02.01.2010	17750/f	46/f	
10-400	1775	04.Haz	8160
400-2000	$88.8 f^{\frac{1}{2}}$	$0.23 * f^{\frac{1}{2}}$	$20.4 * f$
2000-150000	3970	10^{-3}	40890
150000-300000	$10^{-3} * f^{\frac{1}{2}}$	$2.66 * 10^{-2} * f^{\frac{1}{2}}$	$0.274 * f$

300 MHz-300 GHz arasında $\leq 30 \mu s$ 'lik darbeler için enerji akı yoğunluğu $0.1 j / m^2$ olarak belirlenmiştir.

Birbirinden Bağımsız Pek çok Kaynaktan Aynı Anda Işıma;

Aşağıdaki formüller uygulanır:

$$\sum_i \frac{E_i}{L_{E*i}} + \sum_j \frac{E_j}{L_{H*j}} \leq 1 \quad 0 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$$

$$\sum_i \left(\frac{E_i}{L_{E*i}} \right) \leq 1 \text{ ve } \sum_j \left(\frac{E_j}{L_{H*j}} \right) \leq 1 \quad 10 \text{ Hz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$$

Yukarıdaki ifadelerden terimlerin izahatı şöyledir:

E_i : i 'nci kaynaktan gelen elektrik alan bileşeni, V/ m

H_j : j'nci kaynaktan gelen mağnetik alan bileşeni, A/m.

$L_{E,i}$ ve $L_{H,j}$ karşı gelen elektrik ve manyetik alan referans seviyeleri. Elektrik ve manyetik alanların tepe değerleri için:

$$\sum_i \frac{E_i}{L_{E,i}} \leq 1 \quad \text{ve} \quad \sum_j \frac{H_j}{L_{H,j}} \leq 1 \quad 10 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$$

Burada alan parametreleri tepe değerlerine karşılık gelmektedir.

23.4.2.2 İndüklenen Vücut Akımı

Ayak bileklerinden akan akımın 10-100 MHz frekans aralığındaki referans seviyeleri için aşağıdaki formül uygulanır.

$$I = 263 * f^{0.131} \text{ mA}$$

Burada akım I, mA ve frekans f, MHz cinsindendir.

23.5 Genel Halk

23.5.1 Temel sınırlamalar

23.5.1.1 Akım Yoğunluğu, 10 kHz-10 MHz:

23.5.1.1.1 Sürekli Maruziyet:

$$J = f/250 \text{ mA/m}^2$$

Burada j akım yoğunluğu mA/ m² ve frekans olup Hz cinsindendir. Akım yoğunlukları 100 ms' lik bir periyot ve 1 cm² 'lik akım yönüne dik bir alan için ortalamaları alınmalıdır.

Bütün frekanslardaki bileşenler aşağıdaki formüle göre toplanmalıdır;

$$\sum_i \frac{J_i}{J_{Re f*i}} \leq 1$$

J_i : i frekansındaki akım yoğunluğu.

$J_{Re f*i}$: i frekansındaki akım yoğunluğu sınırı.

23.5.1.1.2 Özgül Soğurulma Oranı ve Özgül Soğurulma 10 kHz-300GHz:

Aşağıdaki ÖSO ve ÖS değerleri maruziyet durumunda insan vücudunda 10 kHz ile 300 GHz aralığında soğurulacak (yutulacak) bütün elektromanyetik alanların toplam ÖSO ve ÖS değerlerini kapsar. (Çerezci,2000)

Çizelge 23.9 ÖSO ve ÖS değerleri maruziyet durumu insan vücudunda 10 kHz ile 300 GHz

	ÖSO herhangi 6 dakikalık zaman aralığı ve vücut için alınmış ortalama	ÖSO herhangi bir 6 dak'lık zaman aralığı (10g a) eller,ayaklar,bilek ve topuk harici için alınmış ortalama	ÖSO herhangi bir 6 dak'lık zaman aralığı ve eller, ayaklar,bilek ve topuktan alınmış 10g a) için alınmış ortalama	ÖSO tepe herhangi bir 10g'lık doku için alınmış ortalama
Genel Nüfus	0.08W/kg	2W/kg	4W/kg	b)2mj/kg

aralığında soğurulacak (yutulacak) bütün elektromanyetik alanların toplam

- a) 10g kütle küp şeklinde seçilmemelidir, düz bir tabaka şeklinde değil.
- b) 30 MHz' nin üstündeki frekanslarda 30 μs 'den az darbe süreleri için.

Kısa süreli maruziyet (6 dakikadan az) için aşağıdaki sınır uygulanmalıdır.

$$\sum_i (\dot{S}O_i * t_i) \leq 0.48(W / kg * dak)$$

burada $\dot{S}O_i$ W/kg içindeki i' nci maruziyet durumundaki ÖSO değeri ve t_i dak. cinsinden i' nci maruziyet süresidir.

23.5.1.2 Tüketilen referans seviyeleri

23.5.1.2.1 Alan şiddetleri, güç yoğunluğu ve enerji akı yoğunluğu:

İnsanların olmadığı alanlar için, aşağıdaki alan şiddetleri ve güç yoğunlukları referans seviyeleri geçerlidir. Maruziyet süresi ≥ 6 dakika durumu için tablo geçerlidir.

Çizelge 23.10 Maruziyet süresi ≥ 6 dakika durumu için verilen değerler

Frekans (MHz)	Elektrik alan şiddetini rms değeri, (V/m) f(MHz)	Manyetik alan şiddetinin rms değeri, (V/m) f(MHz)	Ortalama güç yoğunluğu, (W/m) f (MHz)
0.01-0.042	400(a)	16.8(a)	
0.042-0.68	400(a)	0.7/f(a)	
0.68-10	275/f(a)	0.7/f(a)	
10-400	27.May	0.07	2
200-2000	$1.37 * f^{\frac{1}{2}}$	$3.64 * 10^{-3} * f^{\frac{1}{2}}$	f/200

2000-150000	61.4	0.163	10
150000-300000	$0.158*f^{\frac{1}{2}}$	$4.21*10^{-4}*f^{\frac{1}{2}}$	$6.67*10*f$

(a) Sadece E ve H alanlarına maruziyet için referans seviyeleri. Bir kaynaktan yayılan E ve H alanlar için aynı anda etki eden iki ayrı bağımsız kaynaktan ışımaya maruz kalınıyor gibi düşünülmelidir.

$\leq 30 \mu s$ 'lik darbeler için 300 MHz' den 300 GHz kadar aralıkta enerji akı yoğunluğu 0.02 j/m^2 olarak belirlenmiştir. Temel sınırlamalar sağlandığında vücudun bazı bölümleri daha yüksek seviyede alan şiddetlerine maruz kalabilir.

Kısa süreli maruziyet durumunda referans seviyeleri aşağıdaki formüllere göre gevşetilebilir.

a) 680 kHz (E)/42 kHz (H) frekanslarının üstünde ve 6 dakikada kısa maruziyetler için:

$$\sum_i (E_i^2 * t_i) \leq (6 * L_{E*i}^2) [(V/m)^2 \text{ dak}]$$

$$\sum_i (H_i^2 * t_i) \leq (6 * L_{H*i}^2) [(A/m)^2 \text{ dak}]$$

$$\sum_i (S_i * t_i) \leq (6 * L_{S*i}) [(W/m^2) \text{ dak}]$$

b) 680 kHz (E)/42 kHz (H) frekanslarına kadar ve 100 mili saniyeden az maruziyetler için:

$$\sum_i (E_i * t_i) \leq 0.1 * L_{E*i} [(V/m) * sn]$$

$$\sum_i (H_i * t_i) \leq 0.1 * L_{H*i} [(A/m) * sn]$$

Yukarıdaki ifadelerdeki terimlerin izahatı şöyledir:

E_i : i' nci maruziyet süresince elektrik rms alan şiddetinin V/m cinsinden değeri.

H_i : i' nci maruziyet süresince manyetik rms alan şiddetini A/m cinsinden değeri.

S_j : i' nci maruziyet süresince güç akı yoğunluğunun W/m^2 cinsinden değeri

$L_{E,i}, L_H, L_{S,i}$ tabloda verildiği gibi ≥ 6 dak. maruziyet durumları için elektrik alan, manyetik alan ve ortalama güç yoğunluğunu referans seviyeleri t_i i' nci maruziyet için dakika veya saniye cinsinden süre.

23.5.2 Birbirinden bağımsız pek çok kaynaktan aynı anda ışıma

Aşağıdaki formüller uygulanır:

$$\sum_i \frac{E_i}{L_{E*i}} + \sum_j \frac{H_j}{L_{H*j}} \leq 1 \quad 60 \text{ Hz} \leq f \leq 700 \text{ kHz}$$

$$\sum_i \left(\frac{E_i}{L_{E^*i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{ve} \quad \sum_j \left(\frac{H_j}{L_{H^*j}} \right)^2 \leq 1 \quad 700 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$$

yukarıdaki ifadelerdeki terimlerin izahatı şöyledir:

E_i : i' nci kaynaktan gelen elektrik alan bileşimini, V/m

L : j' nci kaynaktan gelen manyetik alan bileşeni, A/m

E_i ve $L_{H,j}$ karşı gelen elektrik ve manyetik alan referans seviyeleri.

23.5.3 Dolaylı zararlara karşı koruma

23.5.3.1 Temas akımları için temel sınırlama:

Temel sınırlamalar 3MHz'e kadar olan frekanslardaki bilimsel araştırmalara dayanmaktadır. Ancak 35 mA'lık sınırın 100 MHz'e teşmil edilmesi tavsiye edilmektedir.

Çizelge 23.11 Temas akımları için temel sınırlar (işçiler)

Frekans(MHz)	Akım(mA)
0.01-0.1	350*f(MHz)
0.1-3	35

Çizelge 23.12 Temas akımları için sınırlar (genel halk)

Frekans(MHz)	Akım(mA)
0.01-0.1	200*f(MHz)
0.1-3	20

23.5.4 RF güvenlik standartlarının genel değerlendirilmesi:

Güvenli standartları, RF frekansında, RF radyasyonu ile insan vücudu arasındaki etkileşimin tabiatını yansıtmaktadır. Mesela, RF spektrumunun düşük frekans sınırında, vücutta ve organlarda oluşan akım yoğunlukları sınırlayıcı faktörlerdir. HF/VHF bölgelerinde uzunluğun fonksiyonu olarak tüm vücut rezonansı meydana gelmektedir. Bundan dolayı standartlarda ÖSO değerinin çok yüksek olmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır.

RF spektrumunun üst sınırında, gigahertz mertebelerinde, ilgi küçük deri kalınlığında depolanan enerjide odaklanmıştır. (yüzeysel deri tabakaları ve derinin fazla ısınma ihtimalinde). Dolayısıyla birçok standartlarda, izin verilen güç yoğunluğu değerlerini aşmamış bile olsa, deride ısınma hissi veren mikrodalga alanların dışına çıkılması istenmektedir. Bu bölümde bahsedilen çeşitli standartlar, yazıldıkları zamanlardaki bilgilerin ışığında bu konuları yansıtmaktadırlar. Açıkça görülebileceği gibi, en son standartlar insanların RF radyasyonuna maruz kalmaları hakkında şu anki bakış açıları ve inanışlara

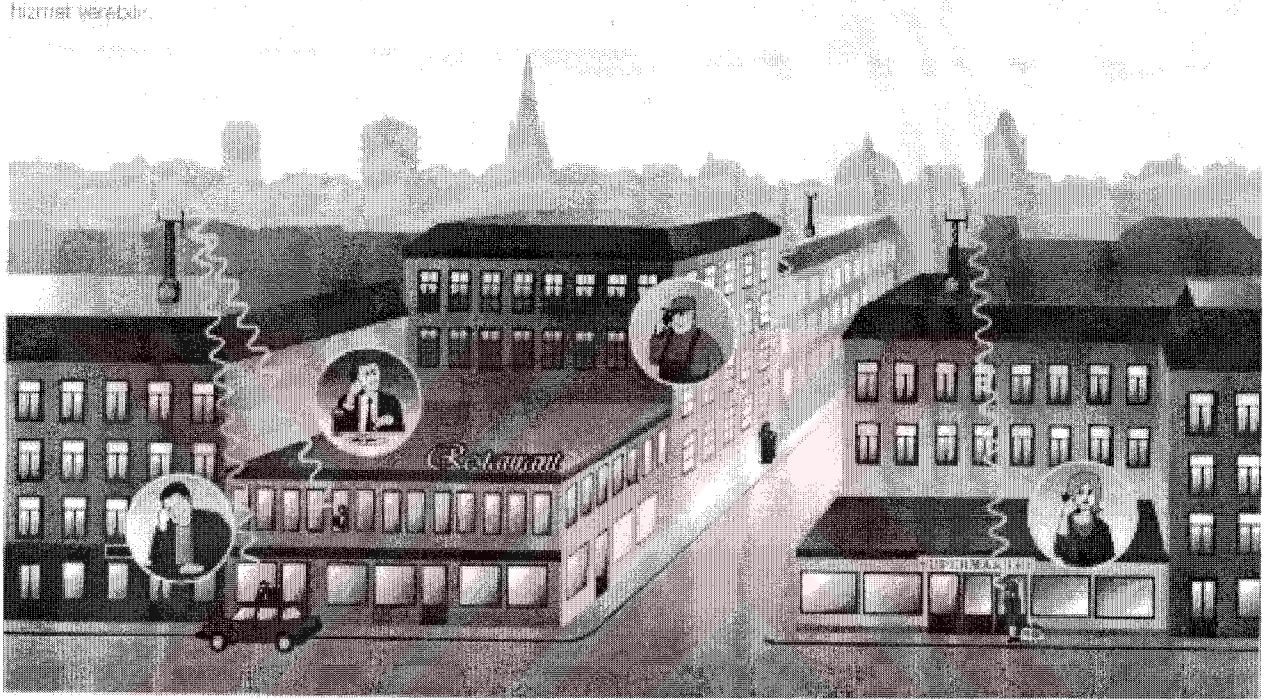
daha detaylı yorumlar getirmektir. Ölçülebilir güvenlik limitlerini belirlemek için, belirlenen ÖSO değerlerini aşmayacak şekilde güç yoğunluğu, elektrik, manyetik alan bileşenleri için çıkarılan limitleri sayısal olarak tanımlamak gerekmektedir. Buna ek olarak, düşük frekanslarda vücut ve organlarda oluşan akımların sınırları belirlenmelidir.



24. CEP TELEFONLARI ÜRETİCİLERİNİN GÜVENLİK ÇALIŞMALARI

Cep telefonu sistemi, radyo baz istasyonları şebekesine bağlı olarak çalışır. Bu istasyonların her biri, hücre denilen belli bir coğrafi alanı kapsar ve birkaç tanesi bir arada daha büyük bir alanı kapsama içine alır.

Sürekli mesaj gönderip alan ana istasyonlar, sabit bir şebekeye kablo yada radyo dalgaları ile bağlıdır. Sabit şebeke içinde trafiği yönlendiren ve kullarımdaki cep telefonunun şebeke içindeki yerini takip eden karşılıklı dalga alışverişleriyle bu bağlantı kurulur.



Şekil 24.1 Cep telefonu kullanım ağı örneği

Abonenin cep telefonunu açmasıyla birlikte, en yakın istasyonla temas kurmak üzere telefon sinyaller vermeye başlar. Bu temas kurulduğunda, cep telefonu bekleme moduna girer. Bu evrede sadece gerekli durumlarda yada belli aralıklarla bilgi gönderilir. Bundan sonra abone, arama yapmayı isterse telefon antenleriyle ana istasyon arasında karşılıklı bir bağlantı kurulur ve arama belli bir frekanstaki boş radyo kanalına yönlendirilir. Sesli yada herhangi başka bir mesaj iletimi, belli bir metot içinde gönderilen radyo dalgasının modüle edilmesiyle mümkün olur.

Ses kalitesi, kısmen aramayı ileten radyo sinyallerinin yeterli derecede gücü olup olmamasına ve çevrede aynı ya da yakın frekanslarda diğer güçlü telsiz dalgalarının bulunmamasına bağlıdır. Yani, cep telefonlarıyla ana istasyonlar uygun güç akışı kullanmalıdır.

Mesafenin antenden uzaklığı arttıkça, radyo dalgalarının yoğunluğunu kaybetme özelliği, hareketli şebeke için yararlı bir özelliktir. Bir hücreden belli bir mesafedeki bir frekans bu hücredeki radyo trafiği etkilenmeden, bir diğer hücrede tekrar kullanılabilir. Bu tekrar kullanma, hareketli şebekenin kısıtlı bir frekans yelpazesıyla sınırlı olması sebebiyle ayrıca gereklidir.

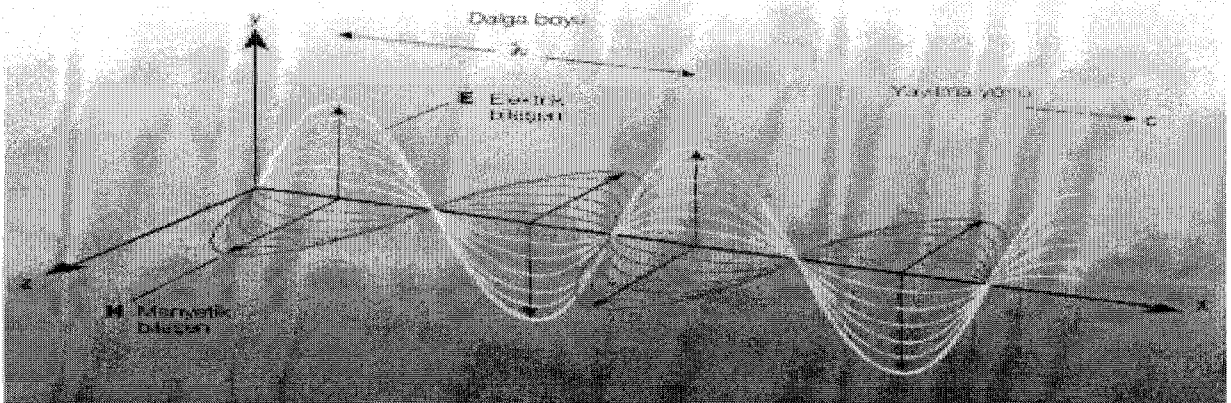
Daha fazla aboneye hizmet verebilmek için, daha yüksek yoğunlukta şebekeler geliştirilmektedir. Yüksek yoğunluk, gönderme gücünün alçak kalmasını da sağlar.

24.1 Telsiz Dalgaları ve Frekanslar

Cep telefonlarında kullanılan telsiz dalgaları, gözle görülen ışık ve X ışınları gibi elektromanyetik alan yayan dalgalardır. Saniyede 300.000 km hızla yayılan bu dalgalar periyodik olarak değişen hem elektrik hem de magnetik bileşenlerden oluşur. Radyo dalgalarının 1 saniyede oluşturduğu titreşime frekans denir. Ve hertz (Hz), Kilohertz (kHz = bin Hz),Megahertz (MHz = milyon Hz), Gigahertz (GHz = milyar Hz) birimiyle ifade edilir.kısaca telsiz dalgası gözle görülebilir ışık gibi, telsiz dalgaları da saniyede 300.000 km hızla yayılan elektromanyetik alanlardır.Antenler aracılığıyla gönderilen radyo dalgaları sesli, görüntülü veya yazılı mesajlar iletilebilmek üzere modüle edilebilir.

Radyo dalgalarından daha yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar çok farklı özelliklere sahiptir. Örneğin, ışık gözle görülebilir niteliktedir ve bir cep telefonunun radyo dalgalarından bir milyon kat daha fazla frekanstaki elektromanyetik radyasyon maddeyi iyonlaştırır ve molekülleri parçalayabilir.

Gama ve X ışınları , farklı bir iyonlaşma meydana getiren radyasyonla biyolojik hasarlara yol açar.Gama ışınları radyoaktif maddelerle oluştuğunda , radyoaktif radyasyon olarak bilinen bu olgu radyo dalgalarıyla karıştırılmamalıdır.Radyo dalgalarının,örneğin, gama ve X ışınlarının iyonlaşma ve molekülleri ayrıştırma özelliği yoktur.



Şekil 24.2 Dalganın elektrik ve manyetik alan bileşenleri

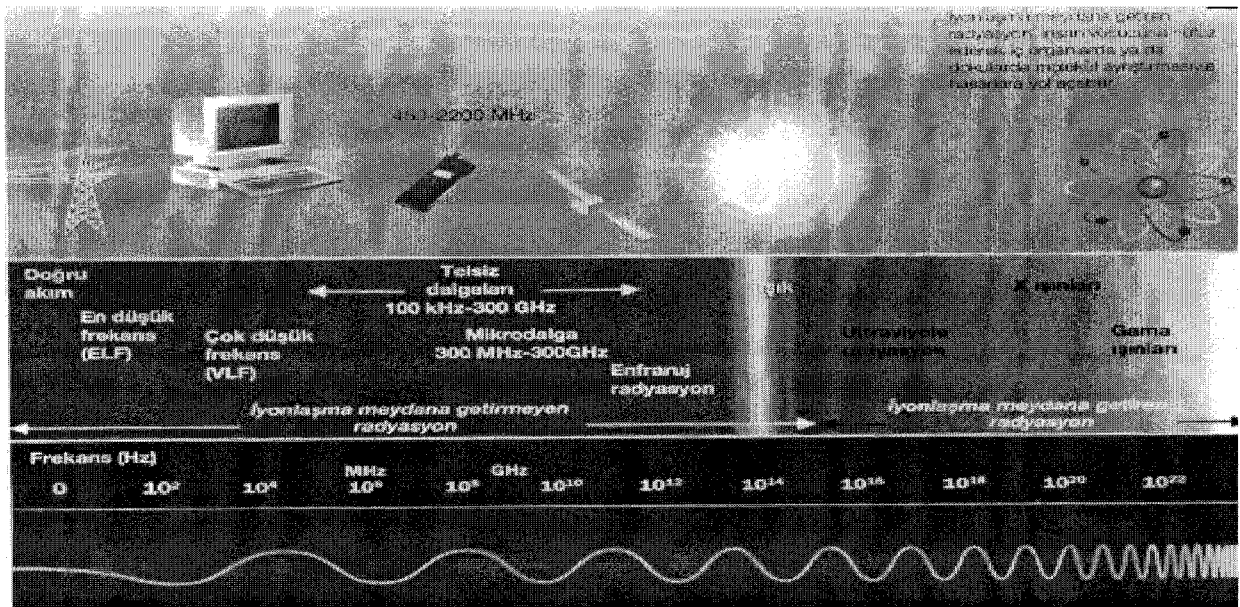
Frekans yükseldikçe, dalga boyu kısalır. Dalga boyu ise, iki dalga tepesi arasındaki mesafedir. Çizimdeki elektromanyetik yelpazede görüldüğü gibi, değişik elektromanyetik dalgaların değişik frekansları vardır. Aynı zamanda da, değişik özellikleri ve değişik kullanımları vardır. Çeşitli iletişim şekillerinde kullanılan radyo dalgaları, yelpazenin alt kısmen de yer almaktadır. Cep telefonlarında, 450-2200 MHz arasındaki frekanslarda radyo dalgaları kullanılır. Bu aynı zamanda mikrodalga frekansların bir parçasıdır.

24.2 Radyo Sinyallerinin Yoğunluğu

Bir cep telefonu yada ana istasyondan çıkan radyo sinyallerinin güç miktarı yada telsiz sinyallerinin yoğunluğu, antene olan uzaklık arttıkça zayıflar. Güç miktarında mesafenin karesi kadar bir düşüş olur; böylece mesafe iki katına çıktığında, radyo sinyallerinin yoğunluğu esas gücünün dörtte birine iner.

Radyo sinyallerinin yoğunluğu, ayrıca, vericilerin güç çıkışlarıyla doğru orantılıdır. Günümüzde kullanılan çok hafif, enerji tasarruflu cep telefonları max bir watt güç çıkışına sahiptir. Bu da aşağı yukarı, küçük bir el fenerinin gücüne eşittir. Cep telefonları, ana istasyonla sağlıklı telsiz kontağı temin etmek için sadece gerektiği kadar güç kullanır. Bu da ortalama güç çıkışının, çoğu kez, maksimum düzeyden düşük olduğu anlamına gelir.

Baz istasyonlarının güç çıkışları değişkendir. Bu istasyonun konum ve türüne bağlıdır. İç mekanlarda ve bina duvarlarında küçük üniteler için bir watt dan az olabileceği gibi, yüksek direklerde birkaç yüz watt' a kadar değişir. Telsiz sinyallerinin yoğunluğu, anten tasarımını da bağlıdır. Mesafe gücünü arttırmak için, çoğu antenlerin yönlendirme etkisi vardır. Buda, bazı yönlerde telsiz sinyallerinin daha güçlü olması demektir.



Şekil 24.3 Elektromanyetik dalga spektrumu

24.3 Sürekli ve Aralıklı Sinyaller

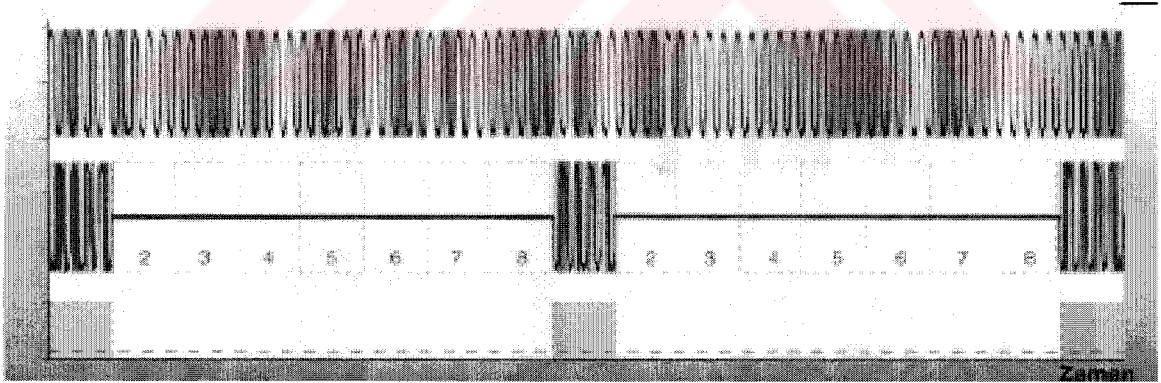
Avrupa’ da NMT ve TACS, ABD’ de AMPS gibi ilk cep telefonu sistemleri analog teknolojileri kullanılır. Bu sistemlerde, yakın mesafelerde bulunan birkaç kişi telefonlarını aynı anda kullanabilir, çünkü her telefon farklı frekanslarda gönderim yapar. Analog telefonlardan gelen radyo sinyalleri sürekli dir. Yani, telefon aramayı iletirken kesintisiz bir sinyal gönderimi yapar.

GSM gibi daha yeni dijital telefon sistemlerinde, birkaç kişi tek ve aynı frekansı paylaşır. Bu sistemde her aboneye tekrarlanan zaman dilimleri ayrılır. GSM’ lerde aynı frekansı sekiz arama kullanılabilir. Dijital bilgi, daha kısa sürede sıkıştırılmış olup, farklı zamanlarda çeşitli telefonlardan birbirine gidip gelen nabız atışları şeklinde gönderilir.

Dijital sistemlerin analog sisteme kıyasla daha çok avantajı vardır. Örneğin, daha çok kullanıcı kapasitesine sahiptir ve etkileşimlere daha fazla bağışıklığı vardır. Daha düşük güç tüketimi yapar, daha yüksek mahremiyet sağlar.

24.4 Sağlık ve Güvenlik

Radyo dalgalarının, su içeren biyolojik maddeler tarafından emilerek ısıya dönüştüğü, bilinen bir gerçektir. Radyo dalgalarının bu ısınma etkisinden korunmak için, bu ortamlara maruz kalma limitleri belirlenmiştir. Üretici açısından bu radyo ekipmanlarının var olan limitler ve tavsiyelerle uyumlu üretilmesi anlamı taşır.



Şekil 24.4 Radyo dalgalarının su içindeki yayılımı

Güvenlik açısından bakıldığında ise, elektrikli aletlerin aynı şekilde elektromanyetik alanlar yarattı gıda bilinen bir gerçektir. Bir elektrikli aletin içindeki fonksiyonlar bir diğer elektrikli aletin yaydığı elektromanyetik alandan etkilenebilir.

Dolayısıyla üreticiler, radyo ekipmanlarının elektromanyetik alanlara uyumlu ürünler olmasını ve hassas elektronik araçların mümkün olduğunca radyo ekipmanları tarafından zarar görmemesini sağlamak durumundadır.

24.4.1 Standartlar ve Limitler

Genelde sorulan iki soru ve cevaplarla girmek bu konu açısından yararlı olacaktır. Elektromanyetik etkiye kalma standartlarındaki emniyet limitleri güvenilir midir? Evet. Bu limitler, zararlı olabilecek tüm etkilerden korunmak amacıyla çok geniş marjlarda tutulmaktadır. İkinci soru ise cep telefonlarının kansere yol açabileceği doğru mu? Hayır diyebiliriz. Cep telefonlarıyla kanser arasında bir bağlantı olduğuna dair hiçbir bilimsel bulgu yoktur.

Telsiz frekans mesafeleri içinde elektromanyetik alanlara maruz kalma konusuyla ilgili olarak ulusal ve uluslar arası tüzük, standart ve tavsiyeler bulunmaktadır. Limitler hemen hemen aynı olup genelde Dünya Sağlık Örgütü ile uluslar arası Radyasyon Koruma Derneği tavsiyeleri esas alınarak düzenlenmiştir.

Bu limitler, elektromanyetik alanların uzun yada kısa sürelerdeki bilinen negatif etkilerinden korunmak amacıyla geniş bir marjda tutulmuştur. Güvenlik marjı bazen 50 kat daha yüksek olabilir. Bu da limitlerin, ısınmayla ilgili etkilerin başladığı düzeyden 50 kat daha aşağıda tutulmuş olması demektir.

Radyo vericisine olan mesafe birkaç dalga boyundan fazlaysa (cep telefonlarında kullanılan radyo dalgaları için bu kabaca bir metredir), normal olarak alan gücü ifade edilen emniyet limitleri (V/m ve A/m) yada güç miktarı (W/m²) kullanılır. Bu telsiz ana istasyonlarının yaydığı elektromanyetik alana maruz kalma durumunda geçerlidir. Alan gücünü yada bulunan konumun yoğunluğunu ölçerek yapılan hesaplamalarda, limitlerin aşılmadığı görülecektir.

Öte yandan, radyo vericisi kişiye yakın bir mesafedeyse- örneğin, kişi cep telefonunu kullanıyorsa ve elektromanyetik alana maruz kalma durumu yerelse, insan vücudunun ufak bir noktasındaki en yüksek güç, bilinen temel limitlerle kıyaslanmalıdır. W/kg olarak ifade edilen ve belirli Emme Hızı (Specific Absorption Rate =SAR) olarak tanımlanan bu ölçüm, hesaplamaların anahtarıdır.

24.5 Cep Telefonları

Cep telefonlarını yaydığı telsiz dalgalarının yaratabileceği muhtemel sağlık tehlikeleriyle ilgili olarak akla gelen soruların birleştiği nokta, telefon aletinin kendisi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Uluslar arası basında beyin hasarlarından göz hasarlarına kadar birçok konuda, cep telefonu kullanmanın zararları üzerine yazılar çıkmıştır.

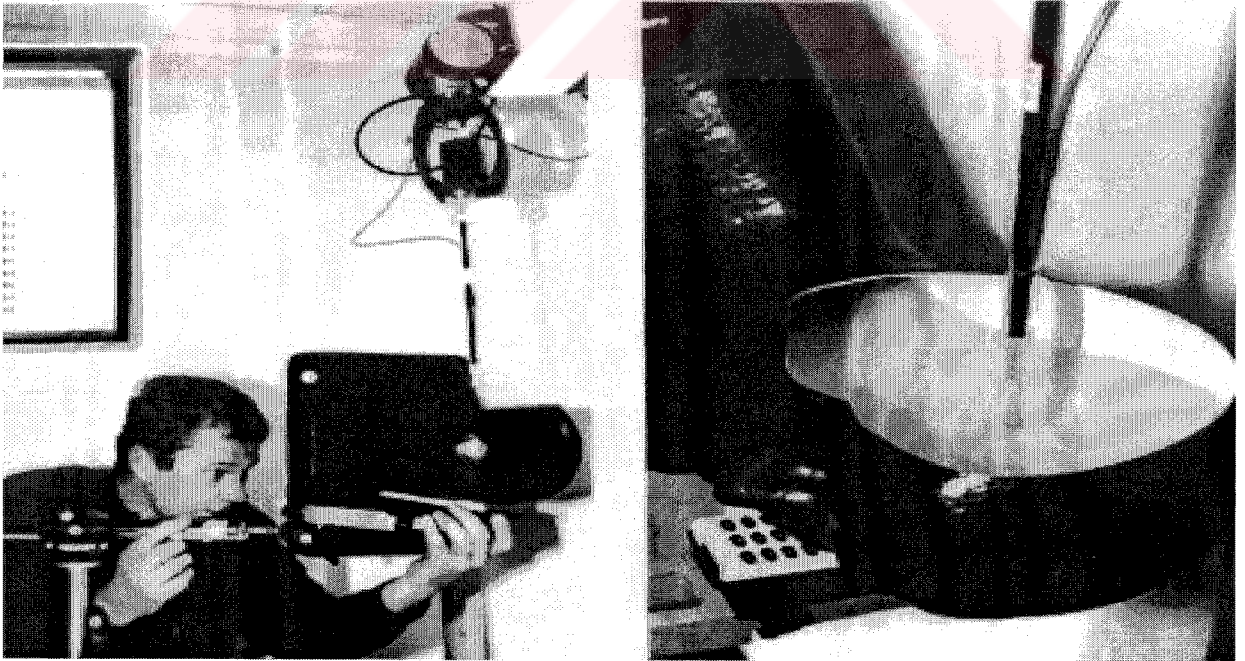
Bu yazıların bir kısmı, kullanıcının konuşma sırasında başının telefon antenine yakın olduğundan kaynaklanır, çünkü bu sıcaklığın sebep olacağı zararlı etkilerden endişe edilmektedir. Ancak tüm araştırma ve kanıtlar bu korkuların esasa dayanmadığını gösteriyor.

Bir cep telefonunun güç düzeyi o kadar düşüktür ki, cep telefonu kullanan bir insanın vücut ısısında bir artış görülmemektedir. Ayrıca, bilimsel analizler uzun bir cep telefonu görüşmesi sonunda bile, kullanıcının baş kısmında 0.1 C den daha fazla bir ısı artışı olmadığını göstermiştir. İnsanın vücut ısısındaki iniş çıkışlarla kıyaslandığında, bu fark normal gözükmemektedir.

Zaman zaman telsiz dalgalarının ya da dijital cep telefonlarının yaydığı aralıklı telsiz dalgalarının, ısı dışında başka etkileri olduğuna dair kuşkular ortaya çıkmıştır. Yapılan bilimsel çalışmalarda ısı dışında bir etki saplanmamıştır.

Bu alanda önde gelen kuruluşlardan biri olan İyon Meydana Getirmeyen Radyasyondan Korunma Komisyonu 1996 yılı Nisan ayında, cep telefonlarının yaydığı telsiz dalgalarına maruz kalma limitlerinin de belirlendiği bir belge yayınlanmıştır. Bu belgede, belirlenen limitler çerçevesinde cep telefonlarının sağlığa zararlı olduğu konusunda hiçbir bilimsel bulgu olmadığı açıklanmıştır. Komisyon cep telefonu kullanımıyla kanser hastalığı ile burğu bulunamadığını raporlamıştır.

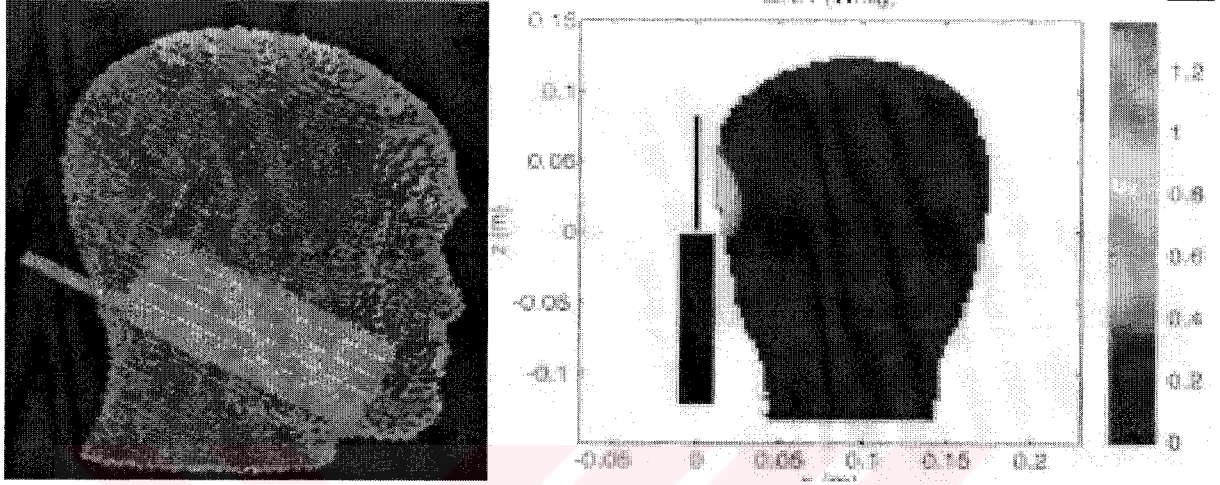
Üretici firmalardan özel düzenekler kurulmuş labarotuvvarların da ürettiği çeşitli telefon modellerinin üzerindeki dosimetrik ölçümlerle ürünlerinin bu limitlere uygunluğunu denetlemektedir. Ölçüm aletleri Federal Teknoloji Enstitüsü' nde geliştirilmiş olup, ölçüm metotları geçerli standartlarla uyumludur. Ülke Üniversiteleri Profesörleri liderliğinde kurulmuş takımlar aralıklarla denetlemektedir.



Şekil 24.5 SAR testleri örneği

Bu ölçümler, insan vücuduyla aynı doku özelliklerini taşıyan bir sıvı ile doldurulmuş yapay insan başının yanına telsiz dalgaları gönderen bir cep telefonu yerleştirerek yapılır. Baş

içindeki elektromanyetik alanlar bir robot tarafından saplanır ve bu bulgulara dayanarak maksimum limitler bilgisayar tarafından hesaplanır. Ölçümler mümkün olan en yüksek gönderici gücünde – yani bir cep telefonunun maksimum gücünde hesaplanır. Koşullara göre çıkış gücünü ayarlayan cep telefonu, sadece sinyallerin zayıf olduğu zaman en yüksek gücüne ulaşır.

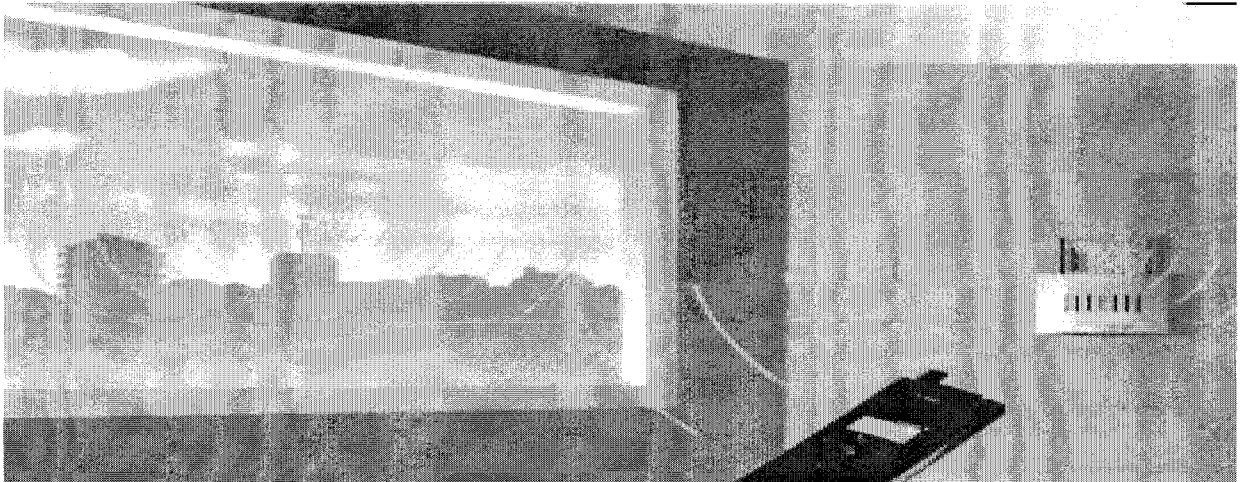


Şekil 24.6 Termal etkinin gösterilmesi

Ölçüm metodu tamamen otomatiktir ve kullanımı son derece kolaydır. Bir cep telefonunun standart deneylerden geçirilmesi 1 saat sürer. Bu sistemden yeni cep telefonu üretiminde de yararlanılır ve bu tür ölçümler telefonun tasarım aşamasında başlatılır.

Üreticiler laboratuvar ölçümleri dışında, aynı zamanda elektromanyetik alan hesaplamaları için gelişmiş metotlar uygulamaktadır. Testlerde cep telefonunun yaydığı elektromanyetik alana maruz kalma limitlerini belirleyen bu hesaplamaların sonuçları gözükmemektedir. Sınır değerlerin altındadır.

24.6 Radyo –Baz İstasyonları

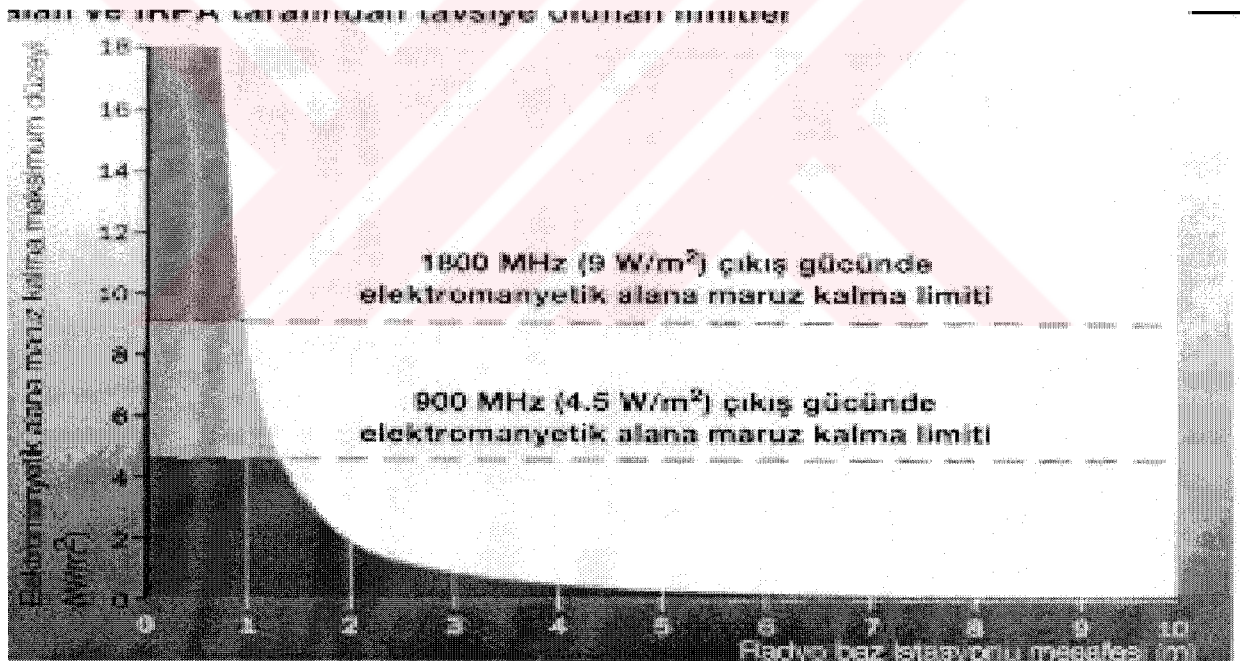


Şekil 24.7 Cep telefonu ile baz istasyonu arasındaki ağ

Cep telefonu şebekesi hücre denilen birimlerden oluşur. Her hücre içinde bir baz istasyonu bulunur ve bunlar kullanıcı kapasitesiyle kapsam alanını belirlemek üzere radyo kanallarını kullanırlar. Genel olarak direğe takılmış bir anten dikine küçük bir alanı, yatay olarak da 60-120 derecelik bir alanı kaplar.

Daha çok aboneye hizmet verebilmek için, baz istasyonları daha küçük hücrelerle genişletilir ve daha yoğun tekrar-kullanım frekansları ile donatılır. Böylece sistem güçlendirilir. Bu da daha fazla ana telsiz istasyonları ve kullanıcıya giderek yaklaşan antenler yerleştirilmesini gerektirir. Yani bina yüzeylerine, alışveriş ve iş merkezlerine, havaalanlarına antenler kurulur. Ancak burada şunu belirtmek gerekir ki; Radyo baz istasyonu kullanıcıya yaklaştıkça güç akışı azalır. Ofis binalarındaki telsiz istasyonlarının güç çıkışı, elinizde tuttuğunuz cep telefonunun gücünden daha fazla değildir.

Tabloda IRPA NIN (İyon Meydana Getirmeyen Radyasyondan Korunma Komisyonu) 900 ve 1800 MHz güçteki uluslararası elektromanyetik alan limitleri görülmektedir. İstasyonun kuruluşunda antenlere yakın koşullarda kontrollü olarak çalışan mühendis yada diğer kişiler için limitler bu tablodakinin beş katı daha yüksektir.



Şekil 24.8 900 ve 1800 MHz' de elektromanyetik alana maruz kalma limitleri

Çizelge 24.1 900 ve 1800 MHz' de elektromanyetik alana maruz kalma limitleri

Frekans	IRPA limitleri(W/m2)
900	4.5
1800	9.0

Burada verilen limitler altı dakikayı aşan süreler için geçerlidir. Daha kısa süreler içinde limitler daha yüksek tutulabilir. Antene daha yakın mesafede, SAR limitleri cep telefonları için geçerli olduğu düzeylerde geçerlidir.

Uygulamada elektromanyetik alana maruz kalma limitleri, bina içinde ve insanlara yakın konumda; alçak güç çıkışı olan ana istasyondan birkaç santimetre mesafede, yüksek güç çıkışlı dik direklere yada çatılara yerleştirilmiş istasyonlardan ise, birkaç metrede çok daha düşüktür.

Radio dalgalarının yoğunluğu yada güç miktarı, antenle mesafesi arttıkça süratle azalır. Grafikteki yatay çizgiler tavsiye olunan emniyet limitlerini göstermektedir.

Montaj talimatları belirlene bu limitlere ve ölçümlerle hesaplamaların sonuçlarına dayanarak, radyo baz istasyonlarının yerleştirilmesi ve kurulmasıyla ilgili olarak üreticilerin uyması gereken ve kullanan müşterilerinde talimatlarla belirtilmiş kurallara uyulması gerekmektedir. Böylece tesisi kuran mühendislerin kendilerinin ve tesis çevresindeki halkın elektromanyetik alana aşırı bir şekilde maruz kalmaması sağlanır.

Baz istasyonu gönderici ünitesinin çevresinde alçak düzeyli elektromanyetik alanlar bulunur. Bu alan sadece yetkili kişilerin girebileceği bir alandır.

Üreticilerin ölçüm çalışmaları ve bağımsız araştırmalar ile ölçüm laboratuvar sonuçları, elektromanyetik alana maruz kalma düzeylerinin çok düşük olduğunu göstermektedir.

Elektronik Aletlerde Etkileşim:

Kalp pili, işitme cihazları gibi elektronik aletler, cep telefonunun radyo dalgalarından etkilenir mi? Eğer etkileniyorsa, bu konudaki riskleri yok etmek için ne yapılmalıdır?

Cep telefonu kullanımında sağlık sorunlarına karşı, emniyet açısından önlemler tamamen teknik olup, bu tür etkileşimlere karşı yeterli korunma sağlanmaktadır.

Genel olarak elektronik aletler için elektromanyetik alanlara maruz kalma (Electromagnetic Interference = EMI) sorunu mevcuttur. Tüm elektrikli aletler, çevresinde belli bir mesafede bir elektromanyetik alan oluştururlar ve bu, cep telefonlarıyla radyo baz istasyonları içinde geçerlidir. Bu aletler belli teknik özelliklerde elektromanyetik dalgalar yayar.

Bilinçli veya bilinçsiz bir şekilde oluşan elektromanyetik alan, yakın çevresindeki elektronik aletleri etkileyebilir. Elektromanyetik etkileşim ve düzeyinin riskleri mesafe kadar göndericinin gücü, dalga frekansları ve radyo kaynağından gelen modülasyon türüne bağlıdır. Bütün bunlar elektronik aletlerin etkileşim bağışıklığı içindedir.

Elektronik aletlerin etkileşim bağışıklığını tanımlayan ve aynı zamanda yaydıkları maksimum elektromanyetik gücünü belirleyen standartlar vardır. Bunlara elektromanyetik alanların uyum standartları (Electromagnetic Compatibility = EMC) denir.

Üreticilerin cep telefonları ve radyo baz istasyonları bu standartları karşılayan ürünler olmak zorundadır. Buna rağmen bir etkileşim söz konusu olabilir. Bazı elektronik aletler EMC standartlarına uyumlu da olsa yakınındaki bir cep telefonunun elektromanyetik alanından etkilenebilir. Bundan da öte, bazı elektronik aletlerin zaten EMC standartlarına uyumlu olmadığı da bir gerçektir.

Bu etkileşimi yok etmek ya da minimuma indirmek için, EMC standartlarının saplanması şarttır ve çeşitli elektronik alet üreticileriyle cep telefonu üreticilerinin işbirliği gerekir. Bu soruna genel çözüm getirecek ilk yanıt budur. Ayrıca cep telefonu kullanan kişilerin hastane, uçak gibi yerlerde özel talimatlara uyması gerekir. Bu tür ortamlarda hassas bazı elektronik aletleri elektromanyetik alan etkileşiminden korumak güçtür.

Elektromanyetik alan etkileşimine konu olan özellikle iki alet, kalp pili ve işitme cihazlarıdır.



25. BAZ İSTASYONLARININ KURULMA ŞARTNAMESİ (İNSAN SAĞLIĞI YÖNÜNDEN)

Bilindiği gibi Radyo Baz İstasyonları adından da anlaşılacağı üzere ‘‘radyo’’ yayını olması sebebiyle doğal olarak RF (radyo frekans) radyasyon üretirler. Telsiz haberleşmenin temelinde RF vardır. Ancak bu radyo frekans, iyon ışıması yapmamaktadır ve ‘‘non-ionizing’’ radyasyon olarak anılır.

Elektromanyetik spektrumdaki belli başlı radyasyon kaynaklarını ve kategorilerini daha önceki bölümde şekil olarak verilmişti. Spektrumdan görülebileceği gibi radyo frekanslarının biyolojik etkileri ,röntgen makineleri gibi temelde iyon ışıması yapan radyasyon (ionizing radiation) türlerinden farklıdır. Biyolojik etki tamamıyla yayın yapan kaynağın frekansına bağlıdır. Değişik frekanslı kaynaklar elektromanyetik spektrumu oluşturur. Röntgen ışınları, radyo dalgaları, enerji nakil hatlarının oluşturduğu elektromanyetik kuvvet vb. Bu spektrumda frekanslara göre yer alırlar. Frekans, elektromanyetik alanın yön değiştirmesi olarak açıklanabilir ve birimi Hertz(Hz)’ dir. GSM-900 cep telefonları da yaklaşık 1 GHz frekansında, yani saniyede yaklaşık 1 milyar titreşimle çalışır.

Bu doğrultuda gerilim hatlarının frekansı Türkiye için şehir şebekesi frekansı olan 50Hz, AM radyo yayın frekansı 1MHz, FM radyo frekansı 100MHz, mikrodalga fırınlar 2450MHz, röntgen (x) ışınları 1 milyon MHz üzerinde frekans kaynaklarına sahiptir. Cep telefonları ise 890-960 MHz frekans aralığında çalışmaktadır.

Röntgen ışıması gibi yüksek frekanslarda elektromanyetik partiküller, kimyasal zincirleri bozmaya (ionizing) yetebilecek enerjiye sahiptir. Bu yüzden röntgen ışınları, genetik hücre yapısını bozarak kanser ve sakat doğum gibi etkiler doğrudur. Radyo frekansı gibi çok daha alçak sayılabilecek frekanslarda ise partikül enerjileri, hücrenin kimyasal zincir yapısını bozabilecek kuvvette değildir. Bu yüzden radyo dalgaları ‘‘non-ionizing’’ olarak tanımlanır.

Cep telefonlarını kullandıkları frekanslar bölgesinde dokuya enerji aktarımı büyük ölçüde ısı şeklinde olacağından, antene yakın bölgede vücut sıcaklığını yükselmesi beklenebilir. İnsanlar üzerinde yapılan testlerde, tüm vücuda Özgül Soğurulma oranı (ÖSO(SAR))değeri 4 W/kg olan bir ışınım 20 dakika süre ile uygulandığında vücut sıcaklığını 1 °C dolayında arttığı gözlenmiştir.

Bir çalışmaya göre, piyasadaki 16 farklı cep telefonu ile yapılan SAR ölçümlerinin, 0.28 ile 1.33 W/kg arasında değişen değerler verdiği rapor edilmiştir. Bu değerler de Avrupa’da uygulanan 2W/kg sınırının içerisinde.

Frekansın yanı sıra baz istasyonlarının gücü de radyasyon tehlikesi doğuracak değerlerin çok altındadır. Aşağıdaki tablo radyo vericileri güç seviyeleri hakkında bilgi vermektedir.

Çizelge 25.1 Radyo vericileri güç seviyeleri

Verici Türü	Frekans Aralığı	Güç
Televizyon Vericileri(UHF)	300-860MHz	40000W
Televizyon Vericileri(VHF)	30-300MHz	2000W
Kırsal alanlardaki Mobil Baz İstasyonları	900MHz	40W
Şehirdeki Mobil Baz İstasyonları	900MHz	10W
Araç-monte mobil telefon	450MHz	3W
Mobil telefon	900MHz	2W

Baz istasyonları çıkış gücü maksimum 40Wseviyesindedir ve bu değerler kW mertebesinde yayın yapan TV veya radar vericileriyle kıyaslandığında, GSM baz istasyonu vericilerinin ne kadar düşük güçlerde yayın yaptığı görülür.

Işıma açısından iki tür anten kullanılmaktadır :

1-Belirli bir açıda (65° , 90° , 120° gibi)yayın yapan antenler,

2- 360° yayın yapan antenler.

Bu antenlerin düşeydeki açıları ise 0° ile 6° arasında değişmektedir.Bu yüzden antenden birkaç metre uzakta yer seviyesinde, ışıma şiddeti çok düşük değerlerde olacaktır.Bu değer, sınır değerlerin çok altında ve insan sağlığına zarar vermeyecek düzeydedir.

Değişik standartların belirlediği güç yoğunluğu limit değerleri aşağıdaki tablodan görülebilir.

Çizelge 25.2 Değişik standartların belirlediği güç yoğunluğu limit değerleri

Standartlar	Güç Yoğunluğu (W/m^2 ,rms)		
	400-2000MHz	900MHz	1800MHz
ICNIRP 1998	f/200	4.5	9
CENELEC ENV 50166-2	f/200	4.5	9
IEEE C95.1-1991	f/150	6	12
AS/NZS 2772.1	2	2	2

CENELEC/TSE' nin genel halkın elektromanyetik alana maruz kalması durumları için belirlediği alan şiddeti ve güç yoğunluğu referans seviyeleri:

Çizelge 25.3 CENELEC/TSE' nin genel halkın elektromanyetik alana maruz kalması durumları için belirlediği alan şiddeti ve güç yoğunluğu referans seviyeleri

Frekans, f(MHz)	Elektrik Alan Şiddetinin rms değeri, (V/m)	Manyetik alan şiddetini rms değeri (A/m)	Ortalama 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	$1.37*f^{\frac{1}{2}}$	$3.64*10^{-3}*f^{\frac{1}{2}}$	f/200
2000-150000	61.4	0.163	10
150000-300000	$0.158*f^{\frac{1}{2}}$	$4.21*10^{-4}*f^{\frac{1}{2}}$	$6.67*10^{-5}*f$

Tablodan GSM 900 sistemi için,

RF güç yoğunluğu sınır değerini;

$$f/200 = 900/200 = 4.5 \text{ W/m}^2$$

Elektrik alan şiddeti değerinin ise;

$$1.37*f^{\frac{1}{2}} = 1.37*900^{\frac{1}{2}} = 41.1 \text{ V/m}^2$$

olduğu görülmektedir. Kurulacak baz istasyonlarının güç yoğunluğu ve elektrik alan şiddeti değerlerinin uluslararası standartlarca kabul edilen bu değerlerin altında olması sağlanmalıdır. Bunun için istasyon çıkış gücü, anten tipi, açısı ve yüksekliği gibi parametreler her istasyon için yerinde yapılacak çalışmalarla belirlenmelidir.

EIRP-Efektif Yayın Gücü 100W olan bir antenden yayılan gücün antenden olan uzaklığa göre değişimini gösteren aşağıdaki grafiğe göre yaklaşık 1.5 m den yakın durmamak gerekmektedir.

Efektif Yayın Gücü aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$EIRP = P_{out}^{BTS} - Lf^{BTS} + Ga^{BTS}$$

P_{out}^{BTS} : Baz istasyonu kabinet üstü çıkış gücü (dBm)

Lf^{BTS} : Feeder kaybı (dB)

Ga^{BTS} : Anten Kazancı (dBi)

$\hat{I}$: G_a^{BTS} anten kazancının isotropik antene göre olduğunu göstermektedir.

250W ve 25W ERP olan antenlerden yayılan gücün uzaklığa göre değişimini gösterir grafik yukarıdadır.

Örnek Mesafe Hesaplamaları

Aşağıda bahsi geçen güvenli uzaklık , antenin ana ışın demeti üzerindeki maruziyet için geçerlidir. Ayrıca antenin her yöne eşit güçte yayın yaptığı (isotropik) varsayılmıştır.

Çizelge 25.4 Mesafe ile limit değişimi

Anten Çıkış Gücü(EIRP)(W)	ICNIRP Limit Güç Yoğunluğu(W/m)	Antenden Uzaklık (m)
10	4.5	0.42
40	4.5	0.84
100	4.5	1.32
300	4.5	2.30

Tehlike seviyesi sınırların altında

Radyo dalgalarının şiddeti baz istasyon anteninden ne kadar uzaktaysanız o kadar azalır. Tipik bir outdoor anteninden 1m(3 ft) uzaklıktaysanız önerilen tehlike limitinin altındadır. Indoor antenlerde bu yalnızca birkaç santimetredir.(2 inch)

Çok fazla anten bina cephelerine ve çatılara yerleştirilir. bu antenler radyo sinyallerini bina dışına yönlendirdiği sürece en fazla spot ışığa kadar zayıf ışınlardır ve bina içinde, çatıda veya yer seviyesinde tehlike limitinin çok altındadır.

Radyo dalgasının şiddeti antenden uzaklaştıkça hızlı olarak azalmaya başlar. Tipik bir çatı antenine 1m(3 ft) uzaktayken tehlike seviyesi belirlenen limitin altındadır. 5m(15 ft) uzakta ise sadece 12 de biridir.

25.1. Gerekli Belgeler

Çizelge 25.5 Müracaat değerlendirme formu

MÜRACAAT DEĞERLENDİRME FORMU	
İŞLETMECİ/İŞLETİCİNİN ADI/ÜNVANI	Sabit telekomünikasyon cihazını işleten hukuken sorumlu İşletmeci/İşletici Kişi veya Kuruluşun adı/unvanı.
ŞİRKET ADI VE YAYIN LOGOSU	Radyo-Televizyonun bağlı olduğu şirket adı ve yayın logosu.
CİHAZIN KURULU BULUNDUĞU AÇIK ADRES	İl,ilçe,semt,cadde,sokak,numara olarak açık adres.

KOORDİNAT	Sistemin kurulu bulunduğu yerin derece-dakika-saniye olarak koordinatı.
SİTE ID	Baz istasyonu numaralandırılması
MARKA	Kullanılan cihazın markası
MODEL	Kullanılan cihazın modeli.
KULLANILAN FREKANS	Kullanılan frekans her anten için ayrı ayrı belirtilecektir. Telsiz sistemleri için: HF:15MHz, VHF:150MHz, UHF:450MHz Hücresele sistemler için: 425MHz, 900MHz, 1800MHz Radyo/TV sistemleri için: tahsisli frekanslar.
MAKSİMUM ÇIKIŞ GÜCÜ	Katalog çıkış gücünden farklı, anten kayıpları hariç, İşletici/işletmeci tarafından Güvenlik mesafesi hesabı için cihazın teknik olarak maksimum kullanılacak çıkış gücü.
KATALOG ÇIKIŞ GÜCÜ	Cihazın kataloğunda belirtilen maksimum çıkış gücü.
ANTEN KAZANCI	Güvenlik mesafesi hesabında kullanılmak üzere anten kazancı dBi olarak bildirilecektir.
ANTEN SAYISI	Aynı sisteme ait olsa bile kullanılan her anten ayrı ayrı değerlendirilecektir.
ANTEN TİPİ	Kullanılan her antenin tipi: yagi, omni, parabolik, dipol v.s.
ANTEN YAYIN PATERNİ (Kroki Üzerinde)	Anten patern' i (yatay ve dikey olarak) ölçekli kroki üzerine işlenmiş olacaktır.
ANTENLERİN YERDEN YÜKSEKLİĞİ	Bina ve direk/kule dahil her antenin aktif elemanının yerden yüksekliği.
YETKİSİZ ERİŞİM (Balkon-Teras)	Yetkisiz kişilerin erişiminin engellenip engellenmediği.
BİNA YÜZEYİNDE YANSITICI LEVHA	Boyutları anten boyutlarından küçük olmamak şartıyla metal yansıtıcı levha kullanılıp kullanılmadığı.
GÜVENLİK MESAFESİ	Hesap edilmiş ve ölçekli yerleşim krokisi üzerinde gösterilmiş Güvenlik Mesafesinin uygunluğu kontrol edilecektir.
SAĞLIK KURULUŞU BİNASINA GÖRE	Sağlık kuruluşu binası içinde oluşan toplam elektrik alan şiddeti 3 V/m' yi geçmeyecektir.
OKUL BAHÇE DUVARI SINIRINA GÖRE	Güvenlik Mesafesi hesabında, okul bahçe sınırları dikkate alınacaktır.
GEREKÇE RAPORU	Sistemin ne amaçla kurulacağına dair gerekçe.(2 adet)
TELSİZ KULLANIM ŞEMASI	Harita ve ölçekli bir kroki üzerinde işaretlenmiş telsiz sistemi şeması.

İLGİLİ TK FORMLARI	Ön yüzündeki imzaları tamamlanmış ilgili TK Formu (2 adet).
KAPASİTE RAPORU	Şirketin çalışmalarını ve iş kapasitesini gösteren resmi belgeler. Resmi Kurum/Kuruluşlar hariç.
İMZA SİRKÜLERİ	İşletici/İşletmecilerin imzaya yetkili kişilerin noter tasdikli imza sirküleri bir defa göndermesi yeterlidir. Resmi Kurum/Kuruluşlar hariç.
VERGİ LEVHASI	İşletici/İşletmecinin Vergi Levhası. Resmi Kurum/Kuruluşlar hariç.
ÇALIŞANLARIN SSK BİLDİRİMİ	Çalışanlara ait SSK bildirimleri. Resmi Kurum/Kuruluşlar hariç.
TİCARET SİCİL GAZETESİ	Ticaret Odasından alınmış ticaret sicili. Resmi Kurum/Kuruluşlar hariç.
SÖZLEŞME FOTOKOPİSİ	Yapılan işlerin süresini gösteren sözleşmenin noter tasdikli bir örneği. Resmi Kurum/Kuruluşlar hariç.
ARAÇ RUHSAT FOTOKOPİSİ	Bir mahalde telekomünikasyon hizmetini geçici bir süre sunmak için kullanılan mobil verici, verici/alıcı cihazlarının bulunduğu aracın ruhsat fotokopisi.
ÖLÇEKLİ YERLEŞİM KROKİSİ	Anten paterni, güvenlik mesafesi, hastane ve okula olan mesafesi ve paratoner tesisi, üzerine işlenmiş ölçekli kroki.(2 adet)
ANTEN MONTAJ YERİ KROKİSİ	Antenin eğimini, duvara, çatıya vs uzaklıkları, yansıtıcı levha boyutlarının yer aldığı montaj yeri krokisi.
TOPRAKLAMA SİSTEMİ	Cihazın topraklaması mutlaka olmalıdır. Cihaz topraklaması paratoner topraklamasından ayrı olmalıdır.
PARATONER	Sisteme ait bir paratoner veya yakın çevredeki bir paratoner tesisinin kapsama alanı içinde olmalıdır.
SİVİL HAVACILIK TEDBİRLERİ	Antenlerin monte edileceği yüksek kulelerde Sivil Havacılık kurallarına göre gerekli ışıklandırma yapılmalıdır.

İLGİ : a) 12.7.2001 tarih ve 24460 sayılı Resmi Gazetede Yayımlanan 10 kHz-60 GHz Frekans bandında çalışan sabit telekomünikasyon cihazlarından kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve

Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik.

- b) 9.9.2001 tarih ve 24518 sayılı Resmi Gazetede Yayımlanan Tebliğ.
 - c) 26.09.2001 tarih ve B.61.TK.0.12.00.00/13466-7910 sayılı yazımız.
 - d) 15.10.2001 tarih ve B.61.TK.0.12.00.00/14413-8347 sayılı yazımız.
 - e) 01.11.2001 tarih ve B.61.TK.0.12.00.00/15240-8728 sayılı yazımız.
 - f) 02.11.2001 tarih ve B.61.TK.0.12.00.00/15216-8755 sayılı yazımız.
 - g) 08.02.2002 tarih ve 24665 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Tebliğ Değişikliği.
 - h) 15.02.2002 tarih ve 24672 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Yönetmelik Değişikliği
- Bilindiği üzere, Sabit Telekomünikasyon Cihazlarına Güvenlik Sertifikası verilmesi uygulamaları ile ilgili ilgi (a) Yönetmelik ve bu Yönetmeliğin uygulanmasına ilişkin hususları düzenleyen ilgi (b) Tebliğ kapsamında Kurumumuz görev ve sorumlulukları çerçevesinde faaliyetler sürdürülmektedir. Ancak, uygulamalarda meydana gelen aksaklıkları gidermek amacıyla, görülen lüzum üzerine; ilgi (a) Yönetmeliğin bazı maddeleri değiştirilerek ilgi (h) Yönetmelik Değişikliği; ilgi (b) Tebliğin bazı maddeleri değiştirilerek, ilgi (g) Tebliğ değişikliği yayımlanmıştır. Bu çerçevede yürütülecek faaliyetlerle ilgili usul ve esaslarda ortak standardın sağlanabilmesi amacıyla, daha önce gönderilen ilgi (c), (d), (e) ve (f) yazılar ile belirtilen hususlarda, aşağıda belirtilen yeni düzenlemeler yapılmış olup, konu yazılarda belirtilen hükümler geçersizdir. Buna göre;

1. Güvenlik Sertifikası onaylanana kadar yapılacak faaliyetler işlem sırasına göre aşağıdaki şekilde uygulanacaktır:

A- Mevcut Sistemler:

Müracaat sahipleri Ek-2' deki (Yönetmelik Değişikliği Ek-B) tabloda belirtilen bilgileri konu tablo üzerinde doldurarak, gerekli belgeleri (Yönetmelik Değişikliği Ek-B' de * işaretli olanlar) 01.07.2002 tarihine kadar ilgili Bölge Müdürlüklerine gönderecektir.

Eksik evraklar Ek-1' deki tablo ile istenecektir.

Gönderilen bilgi ve belgeler eksiksiz ve teknik olarak uygun ise Güvenlik Sertifikası geçici olarak onaylanacaktır.

Sistemin kontrolünün ilgili Bölge Müdürlüklerince yapılmasını müteakip Güvenlik Sertifikası kati olarak onaylanacaktır.

B-Yeni Kurulacak Sistemler:

Hücreli Sistemler ile ilgili toplu Sistem Kurma İzni için Spektrum Yönetimi Dairesi Başkanlığınca, İthal İzni için ise Teknik Düzenleme ve Standardizasyon Dairesi Başkanlığınca gerekli işlemler yapılacaktır.

Radyo –TV sistemleri için sistem kurma izni RTÜK’ den alınır. (Ancak RTÜK bu izni vermeden önce Kurumumuzdan bu cihaz için Güvenlik Sertifikasının alınmış olduğunu kontrol eder.)

Müracaat evrakları yeni düzenlenen ve İşletici/İşletmeciler tarafından doldurulup onaylanarak gönderilen Ek-2’ deki form (Yönetmelik değişikliği Ek-B) ve eklerine göre ilgili Bölge Müdürlüklerince değerlendirilecektir.

Eksik evraklar Ek-1’ deki tablo ile İşletici/İşletmecilerden istenecektir.

Gönderilen bilgi ve belgeler eksiksiz ve teknik olarak uygun ise bu durumu belirten bir üst yazı ile İl Mahalli Çevre Kurulundan görüş alınmak üzere Ek-3’ deki belgeler ve kontrol edilip onaylanmış Ek-2 formu (Yönetmelik değişikliği Ek-B) gönderilir.

Bölge Müdürlükleri, İl Mahalli Çevre Kurulu’nun yer seçimi ile ilgili görüşünü aldıktan sonra gerekli değerlendirmeyi yaparak İşletici/İşletmeci için Güvenlik Sertifikasını düzenler ve Geçici Onay verir.

İşletici/İşletmeci tarafından sistemin kurulup işletmeye alınmasını müteakip en geç 30 gün içerisinde sistem bildirim formlarıyla birlikte ilgi (a) Yönetmelik Ek-A ve ilgi (ı) Yönetmelik Değişikliği Ek-B’ deki tablolar doldurularak ilgili Bölge Müdürlüklerine gönderilip Güvenlik Sertifikasının onay başvurusu yapılır.

Sistemin verilen izne uygun kurulup kurulmadığı Bölge Müdürlüklerince kontrol edilerek Güvenlik Sertifikası onaylanır.

2.İşletici/İşletmeciler tarafından talep edilen hususlara ilişkin açıklamalar ise aşağıda belirtilmektedir:

Bir baz istasyonu birden fazla sektörlüyse; her biri için ayrı ayrı güvenlik mesafesi hesaplanır ve değerlerden biri uygun değilse izin verilmez, hepsi uygunsa bir adet Güvenlik Sertifikası düzenlenir ve Güvenlik Sertifikasının üzerine, cihazlara ait tüm değerler (Güvenlik Mesafesi, anten kazancı vb.) yazılır.

Hücresel mobil sistemlerde meydana gelen kayıplardan dolayı çıkış gücünün katalog gücüne ulaşmaması ve Kurumumuz tarafından Hücresel mobil sistemlere güç sınırlaması getirilmemesi nedeniyle, güvenlik mesafesi hesabında kullanılan çıkış gücünün, İşletici/İşletmeci tarafından teknik olarak kullanılan maksimum çıkış gücü olarak kabul edilmesi ve bu çıkış gücünün katalog çıkış gücünden farklı, anten kayıpları hariç cihaz çıkış gücü olması telsiz sistemlerinde ise; sistem kurma ve kullanma izni verilirken güç sınırlaması getirilmesinden dolayı verilen çıkış gücü iznine göre güvenlik mesafesi hesabının yapılması gerekmektedir. (TT, 2001)

Mevcut sistemler için de kroki istenecektir.

Gönderilen krokilerin bir ölçek zorunluluğu yoktur. İstenilen ölçekte bildirim yapılabilir.

Mevcut sistemlerin Yönetmeliğe uygun hale getirilmesi için İşletici/İşletmeci kendisi ölçerek, ölçtürerek veya ölçüm yapmaksızın söz konusu değerleri beyan edebilir.

Boyutları anten boyutlarından küçük olmamak şartıyla metal yansıtıcı levha kullanılacaktır.

İl Mahalli Çevre Kurullarınca istenecek her türlü bilgi ve belgeler Kurum aracılığıyla istenecektir

Sistem için başka bir paratonerden faydalanılıyorsa bu durumun beyan edilmesi yeterli görülecektir veya kendi paratoner sistemi anten montaj krokisi üzerinde belirtilecektir.

Ayrıca ilgi (a) Yönetmeliğin bazı maddeleri değiştirilerek ilgi (h) Yönetmelik Değişikliği ve ilgi (b) Tebliğin bazı maddeleri değiştirilerek, ilgi (g) Tebliğ değişikliğinin yayımlanması ile, aşağıda belirtilen değişiklikler yapılmıştır:

1-Meskun mahal içinde kullanılan hücresel mobil sistemlerinin verici, verici/alıcı cihazları ve bir mahalde telekomünikasyon hizmetini geçici bir süre sunmak için kullanılan mobil verici, verici/alıcı cihazları ile çıkış gücü 5 Watt' ın üzerinde olan sabit telekomünikasyon cihazlarının kapsam dahilinde olması sağlanarak, çıkış gücü düşük olan cihazlar (DECT, CB, R/L, RLAN's vb.) Yönetmelik kapsamı dışında bırakılmıştır.(Meskun mahal dışında kullanılan sabit telekomünikasyon cihazları kapsam dışıdır.)

2-Yönetmeliğin yayımı tarihinden önce kurulmuş olan sabit telekomünikasyon cihazlarının bu Yönetmelikte belirtilen limit değerlere uyması için Tebliğ ile 01.01.2002 tarihine kadar verilen süre 01.07.2002 tarihine kadar uzatılmıştır,

3-Elektronik ortamda anten paterni istenmeyecektir,

4-Özel Radyo-TV kuruluşlarına ait sabit telekomünikasyon cihazlarına Güvenlik Sertifikasının düzenlenmesi için gerekli bilgi ve belgeler RTÜK kanalıyla istenmeksizin doğrudan ilgili Bölge Müdürlüklerimize gönderilecektir. Yönetmelik ve Tebliğin tüm hükümleri aynen Radyo-TV kuruluşları ve bunlara ait sistemler için de geçerlidir,

5-Daha önce hazırlanan "Sabit Telekomünikasyon Cihazları Müracaatlarının Değerlendirilmesi Esnasında Aranacak Hususlar" formu ile Yönetmelik Ek-B' de yer alan Sabit Telekomünikasyon Cihaz Bilgileri Formu birleştirilerek yeni bir düzenleme yapılmıştır. Eski Yönetmelik Ek-B formu ve daha önce hazırlanan "Sabit Telekomünikasyon Cihazları Müracaatlarının Değerlendirilmesi Esnasında Aranacak Hususlar" formu iptal edilerek yerine Ek-2'deki "Sabit Telekomünikasyon Cihazı Müracaat Değerlendirme Formu" (Yönetmelik Değişikliği Ek-B) düzenlenmiştir. Bundan sonra, müracaatlarda ve değerlendirmelerde sadece bu form kullanılacaktır,

6-2813 sayılı Kanunun 28 inci maddesi gereği; Ruhsata tabi olup, ücrete tabi olmayan Kamu Kurum ve Kuruluşları da ilgi Yönetmelik uygulamaları kapsamında olup Güvenlik Sertifikası ücreti ve Kurum tarafından yapılacak denetimlerden ücret alınmayacaktır. Yönetmeliğe uyulmaması halinde Yönetmeliğin ilgili hükümleri gereği para cezası hariç diğer hükümler uygulanacaktır,

7-Temel eğitim kuruluşlarının (okul öncesi, ilköğretim ve ortaöğretim) bahçe sınırları içerisinde kurulu olan sabit telekomünikasyon cihazları 15.05.2002 tarihine kadar sökülecektir. Aksi takdirde Telsiz Ücret Tarifesinde belirtilen ruhsat ücretinin 50 katı oranında para cezası uygulanır ve sistemin faaliyeti durdurulur. Faaliyetin durdurulduğu tarihten başlamak üzere, Kuruluşa sistemin sökülmesi için 5 iş günü süre verilir. Bu sürenin bitiminde yapılacak denetimde sistemin sökülmediğinin tespit edilmesi halinde, söz konusu cihazın ruhsatı iptal edilecektir.

Uygulama birliğinin sağlanabilmesi amacıyla yukarıda belirtilen hususlara hassasiyetle uyulması ve Güvenlik Sertifikası alınabilmesi amacıyla gerekli işlemlerin yapılması hususunda bilgi edinilmesini ve gereğini arz/rica ederim

Dağıtım:

Gereği:

Ekli Liste

Fizikçi :

D.Başkanı :

Kurum Bşk. Yrd. :

25.1.2 Sabit Telekomünikasyon Cihazı Kurma Müracaatı Ve Güvenlik Sertifikası İçin

Gerekli Bilgi Ve Belgeler

1. () Telsiz sistemiyle haberleşme ihtiyacını ayrıntılı olarak belirten gerekçe raporu.
2. () Harita ve ölçekli bir kroki üzerinde işaretlenmiş telsiz sistemi şeması
3. () Ön yüzündeki imzaları tamamlanmış TK-1/TK-24 Formu.(3 nüsha çoğaltılmış olarak)
4. () Şirketin çalışmalarını ve iş kapasitesini gösteren resmi belgeler (Fabrika Kapasite Raporu)
5. () Yürütülmekte olan işlere ait iş bitirme süresini de kapsayan sözleşme fotokopileri
6. () Telsizlerin monte edileceği araçlara ait trafik ruhsatname fotokopileri.
7. () Çalışan personele ait sigorta bildirgeleri.
8. () Ticaret Sicil Gazetesi.

9. () Vergi Levhası.
10. () Sabit Telekomünikasyon cihazının kurulacağı lokal alana ait yerlerin açık adresleri ve coğrafi koordinatları (Derece, Dakika, Saniye olarak).
11. () Sabit Telekomünikasyon cihazının kurulacağı yer ile ilgili ölçekli yerleşim krokisi.
12. () Cihaz Çıkış Gücü.
13. () Anten Paterni (elektronik ortamda ve kroki üzerinde).
14. () Anten Kazancı (dBi cinsinden).
15. () Anten Sayısı.
16. () Anten Tipi.
17. () Antenlerin Yerden Yüksekliği.
18. () Anten Montaj Yeri Krokisi.(2 adet)
19. () Kullanılan Frekans.
20. () Yetkisiz Erişim Gösterimi.
21. () Bina Yüzeyinde Yansıtıcı Levha Durumu.
22. () Topraklama Sistemi.
23. () Paratoner Durumu.
24. () Sivil Havacılık Tedbirleri.
25. () Güvenlik Mesafesi (Metre Cinsinden).
26. () Okul Bahçe Duvarı Sınırına Göre.
27. () Sağlık Kuruluşu Binasına Göre.
28. () Sabit Telekomünikasyon Bilgileri Formu(Kaşe-Tarih-İmzalı)
29. () İmza Sirküleri.
30. () Radyo TV'ler için Şirket adı ve Yayın Logosu

26. TELEKOMÜNİKASYON KURUMU 10KHz-60 GHz FREKANS BANDINDA ÇALIŞAN ÇİHAZLARIN YÖNETMELİĞİ

Telekomünikasyon Kurulunun kabul ettiği standartlar,operatör için gerekli kanuni yükümlülükler belirtilmektedir. (TT, 2001)

Telekomünikasyon Kurumundan;

Yayımlanacak Metin

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

26.1 Birinci 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 elektromanyetik 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- Bu Yönetmelik; 10 kHz-60 GHz frekans bandında çalışan, mevcut ve gelecekte bu banda hizmete konulabilecek 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, elektro kimyasal, elektro mekanik ve diğer iletim sistemleri vasıtasıyla iletilmesi, gönderilmesi ve alınmasını,

Sabit Telekomünikasyon Cihazı: Hücresel mobil sistemlerinin verici, verici/alıcı cihazları ile Radyo-TV vericileri dahil olmak üzere, 10 kHz-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 Pateni:Antenden yayılan elektromanyetik dalganın yayın huzmesini,

Ölçüm Sertifikası:Ölçüm yapmaya yetkili kuruluştaki, 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. (TT, 2001)

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

Elektrik Alan Şiddeti (E): Uzayda herhangi bir noktada; bir birimlik pozitif elektrik yüküne etki eden kuvvetin, vektörel büyüklüğünü (V/m),

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

Güç Akı Yoğunluğu: Elektromanyetik dalganın hareket doğrultusuna dik, birim alana düşen güç miktarını (W/m²)

Güvenlik Mesafesi: Bu Yönetmelik kapsamında yer alan sabit 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/ işletmeciye 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 olan (D anten boyu) uzaklığı,

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

İşletmeci: Kurum ile yapılan bir görev sözleşmesi, imtiyaz sözleşmesi 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.

26.2 İkinci 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 kurullar konu hakkındaki görüşlerini, Kurumun talebi üzerine; gerekçeleri ile birlikte bir hafta içinde bildirir.

Güvenlik Mesafesi Hesabı

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

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

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

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 girmesini 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 sertifika Kurum tarafından 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 5 Ω 'dan büyük ise, bakır

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

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

Cihazların montajını müteakip; kuran kuruluş tarafından Yönetmelikte belirtilen özellikteki ölçüm cihazları ile test ve ölçümler yapılacak ve kurulan cihazın elektromanyetik alan şiddet değerinin Yönetmeliğin 16 inci maddesinde 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 – Bu Yönetmelik kapsamında kurulacak sabit telekomünikasyon cihazlarının Ek-B’de yer alan sabit telekomünikasyon cihaz bilgileri formu ile birlikte istasyon krokisi, anten paterni ve işletmeye alınmasını müteakip, yapılacak ölçüm sonuçlarını gösteren raporlarının en geç 30 gün içinde, Kuruma gönderilmesi zorunludur. Aksi takdirde cihaz ruhsat ücretinin 50 katı ceza uygulanır.

26.3 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 yetenekte olacaktır. (TT, 2001)

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 dokümanlarında önerilen kalibrasyon aralıklarında kalibrasyonu yaptırılacak, şayet konu dökümanlarda kalibrasyon süresi yok ise en az 2 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 bölümlerden mezun olmuş, test ve ölçüm sertifikası olan ,Tekniker ve Teknisyenler tarafından yapılacaktır.

Yetki 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 kuruluş önce uyarılır, tekrarı halinde ise yetkisi iptal edilerek ve Kurumun halinde internet sitesinde yayınlanır ve bir daha aynı kuruluşa yetki verilmez.

26.4 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 banda 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 beklenenecektir.
- 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 yaklaşılarak 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.

Çizelge 25.2 Ortam ve Tek Bir Cihaz için Belirlenen Limit Değerler

Frekans Aralığı (MHz)	E-alan şiddeti (V/m)		H-alan şiddeti (A/m)		B-Manyetik 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

26.5 Beşinci 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 işletilmesiyle ilgili üçüncü şahıslar tarafından yapılan ölçüm talepleri Kuruma veya Yönetmeliğin üçüncü Bölümünde belirtilen esaslar çerçevesinde yetki belgesi verilen 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 kuruluşa elektromanyetik alan şiddeti limit değerinin altına getirmesi için bildirim tarihinden başlamak üzere 5 iş günü süre verilir. Bu sürenin bitiminde yapılacak denetim ve ölçümlerde uygunsuzluğun 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 bantlarına 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.

26.6 Altıncı Bölüm

Çeşitli Hükümler

Hücre Baz İstasyonları Ölçüm Yöntemi

Madde 20- Hücre Baz İstasyonları ölçümleri için 15 üncü 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)Hücresel 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 teşhis 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 alanlardaki 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 cihaz ve ekipmanın 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 tebliğlerle düzenlenir.

Geçici Madde 1- Bu Yönetmeliğin yayımı tarihinden önce kurulmuş olan sabit telekomünikasyon cihazlarının da bu Yönetmelikte belirtilen limit değerlere uyması zorunlu olup, uygun olmayan cihazların Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten itibaren 3 ay içerisinde uygun hale getirilmesi zorunludur. Aksi takdirde Yönetmeliğin 9 uncu ve/veya 19 uncu madde hükümleri uygulanacaktır.

Yürürlük

Madde 25- Bu Yönetmelik yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

Yürütme

Madde 26- Bu Yönetmelik hükümlerini Kurul Başkanı yürütür.



27.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Telekomünikasyon endüstrisi global olarak büyük bir gelişme göstermektedir. Bu gelişmeler beraberinde yeni teknolojilerin uygulanması ve ekonomik etkinliklerin artışı getirmiştir. Bu sektör içinde en hızlı büyüme cep telefonu yani kablosuz iletişimde olmuştur. Bunun sebebi kişiye ait, rahatlıkla taşınabilir olmasıdır.

1980'lerin sonunda bütün Avrupa'da abonelere daha iyi servis sağlamak amacıyla 2.jenerasyon mobil haberleşme için standartlar belirlenmiş ve bu dijital teknolojiyi kullanan Global Sistem for Mobile Telecommunications (GSM) olarak adlandırılan yeni bir standardın geliştirilmesiyle başarılmıştır. Bu sistem 250 yi aşkın ülkede 500 ü aşkın network için çalışma prensibidir. GSM sistemi bütün dünyada kullanılmasına rağmen Avrupa'da diğer bölgelerden daha çok abone vardır.

GSM sistemi son kullanıcı cep telefonundan başlayarak tüm network ağını oluşturan sistem parçalarına kadar bir çok elementin paylaşımıyla çıkmaktadır. Sistem problemlere karşı geri beslemesiyle çözümü bulmaktadır. Önümüzdeki iki yıl içinde 3. jenerasyon cep telefonları piyasaya girecektir. Bu ise Universal Telecommunication System (UMTS) denilen yeni bir çalışma standardının kullanımını gerektirecektir. Böylece operatörler multimedya servislerinin tamamını verebileceklerdir.

Bu yeni teknolojinin yaygın biçimde kullanımı, bunların insan sağlığına etkileri konusunda bir çok soru akla getirmiştir.

Bu konuda yapılan çalışmalar sonrası ,cep telefonunu kullanıldığı RF maruz bırakılan canlı hücrelerde biyolojik etkileri olmaktadır. Bunların etkilenmeleri çok düşük mertebededir ve insan sağlığı üzerine kesin zarar vermez diyemeyiz.

Bu sebeple dünyada ve ülkelerin yerel yönetimlerince standartlar geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Türkiye Telekomikasyon Kurulunun belirlediği sınırlar dahilinde baz istasyonları kurulmakta ve yerel yönetimlerle denetlenmektedir.

Bunun dışında operatörler gerek yerinde ölçümler yaparak gerek tek noktadan networklerini kontrol ederek gerekli standartlara uymaktadırlar. Deneyler sonunda görülmektedir kuruluşların verdiği sınır değerler, tehlike sınırının altında kalmaktadır.

Kalp pilinin elektromanyetik alanlardan etkilendiği gerçektir. Cep telefonu şebekesindeki baz istasyonları çerçevesinde oluşan elektromanyetik alanların gücü, bu tür bir aleti etkilemeyecek kadar küçüktür. Ancak bir kısmı cep telefonu üreticileri tarafından başlatılmış uluslar arası araştırmalar, cep telefonu anteninin hastanın vücudunda pilin bulunduğu bölgenin tam üstüne doğru tutulması halinde pilin etkilenebileceğini göstermiştir. Önlem olarak kalbinde pil olan bir kişinin kullanım sırasında cep telefonunu pilden an az 15 cm uzakta tutması ve göğüs cebinde cep telefonu taşımaması tavsiye edilmektedir.

Baz istasyonlarının kurulması konusunda network operatörleri yerel yönetime bağlı kuruluşlarla sıkı şekilde denetlenmektedir. Baz istasyonları etrafındaki bölgelerde gerekli ölçümler yapılır. Operatörler tarafından da sistem ve programlar yardımıyla gerek lokal gerek uzak bağlantı yapılarak, giriş gücü, çıkış gücü ayarlanır ve kontrol edilir.

Belirlenen sınır değerlere uyulması ve yönetmeliklerin istediği montaj, çalıştırma prosedürleri yerine getirilmelidir. (TT, 2001)



KAYNAKLAR

- Aklemen, F. ve Özyalçın, M. O., (2000), Elektromanyetik Kirlilik ve Nodelleme Teknikleri.
- Blocks, U., (1996), Mobile and Wireless Networks, Prentice Hall.
- Buyan, A. G., Okyar, H. B., İncec, İ., (2002), Türkiye’de Medikal Alanda Kullanılan İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynaklarının Ülke Geneline Dağılımı ve Radyasyonun Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi.
- Canseven, A.G. ve Atalay, N. S., (1999), Manyetik Alanların Dokuya Etkisi
- Çerezci, O. ve Şeker, S., (2000), Çevremizdeki Radyasyondan Korunma Yöntemleri.
- Dayıoğlu, H. ve Nakiboğlu, C., (2001), Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Dalgaların İnsan Vücudundaki Etkisi ve SF-ZA Metoduyla İncelenmesi.
- EMO, (2000), E.M Kirlilik, İstanbul Şubesi Aylık Dergisi, 109:80-96.
- Ericsson, (1995), CCITT SS No.7 in GSM, Ericsson Radio Systems AB., Sweden.
- Ericsson, (1997), Cep Telefonu Kullanımında İnsan Sağlığı ve Güvenlik., Stockholm.
- Ericsson, (1999), GSM System Survey, Ericsson Radio Systems AB., Sweden.
- Ericsson, (2001), Base Stations and Radio Waves.
- Gardiner, J., (1999), Personnel Communication Systems and Technologies, Artech House Publishers, England.
- IEE Colloguium Digest, (1999), Plasma Treatment For Haspital Waste in Elevtrotechnologies for waste Processing and Purification, 229: 1-90.
- Karakaş, H. M. ve Çakır, B. (2001), Manyetik Rezonans Görüntülemenin Biyolojik Etkileri ve Güvenlik Unsurları.
- Karakaş, S., Çakmak, E. D., Irak, M., (2000), Elektromanyetik Kirliliğin Nöroelektrik Tepkilere Etkisini İncelemede kullanılacak Teknoloji ve Uygulamalar.
- Mohrotra, A., (1997) GSM System Engineering, Artech House Publishers, England.
- Moulder, E., (2001), Cellular Phone Antennas and Human Health.
- Mouley, M., Pautet, M. ve B., (1992), The GSM System for Mobile Communication, Cell & Sys. Correspondence, France.
- Nokia, (1999), Eğitim Notları
- Physsics World, (1992), Elektromagnetic Therapies-Real Or İmaginary?
- TT, (2001), Telekomunikasyon Üst Kurulu GSM Şartnamesi, 6:1-78.

TT, (2001), Türk Telekom Montaj Prosedürleri, 11:19-86.

Tuncel, H., (2001), 50 Hz Frekanslı Manyetik Alan Etkisinin Kolon Tümörü Modelinde SOD Aktivitesi ve Histopatolojik Açıdan İncelenmesi basın özeti.

Tübitak, (2002), GSM’ de Sıkça Sorulan Sorular.

Walker, J., (1999), Advances in Mobile Information Systems, Artech House Publishers, England.



EKLER**Ek 1 Terim Listesi**

Ek 1 Terim Listesi

EM Radyasyon Güvenliğine İlişkin Terimlerin Açıklamaları

Ortalama Yutulmuş Güç

t1 zamanında başlayan ve t2 zamanında sona eren maruziyet süresince transfer edilen gücün zamana göre ortalamasıdır. t2-t1 zamanı maruziyet süresidir.

Ortalama Zaman

Sınırlar ile uyumluluğu kontrol için maruziyetin ortalamasının alındığı uygun zaman süresidir.

Temel Sınırlama

Temel sınırlama şartlar ne olursa olsun aşılmaması gereken tavan değeridir. Temel sınırlama gerekli emniyet sınırlarını kapsar.

İletkenlik

Ortamdaki iletken akım yoğunluğunun elektrik alan şiddetine oranıdır.

Sürekli Maruziyet

Ortalama zamandan fazla olan maruziyet durumudur. Ortalama zamandan kısa olan maruziyetlere kısa süreli maruziyet denir.

Temas Akımı

Elektromagnetik alanda iletken bir cisme dokunulduğunda vücutta akan akım.

Akım Yoğunluğu

Elektromanyetik alanın birim alan başına indüklendiği akımdır. Akım yoğunluğu metrekare başına amper ile ifade edilir.

Darbe Boşluk Oranı

Darbe süresinin periyodik darbe treninin darbe periyoduna oranıdır. Bu değer bir olması sürekli maruziyete karşılık gelir.

Elektrik Alan Şiddeti

Elektrik alan vektörünün büyüklüğüdür. Bir noktadaki küçük bir pozitif yük üstündeki kuvvetin yüke oranının değeridir. Elektrik alan şiddeti metre başına volt ile ifade edilir.

Elektrik Akı Yoğunluğu

Elektrik alan şiddetinin elektriksel geçirgenlikle çarpımına eşit vektörün büyüklüğüdür. Elektrik akı yoğunluğu metrekare başına Coulomb ile ifade edilir.

Enerji Akı Yoğunluğu

Elektromanyetik propagasyon yönüne dik birim yüzeyden ileten enerji, metrekare başına joule ile ifade edilir.

Maruziyet

İnsanlarda vücuttaki psikolojik nedenler veya diğer doğal hadiselerin dışında kişinin elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar veya temas akımlarına maruz kaldığında oluşur.

Maruziyet, Direkt Etkileri

Elektromanyetik alanlara maruz kalan kişide oluşan direct etkiler.

Maruziyet, Dolaylı etkiler

Elektromanyetik alandaki metalik cisimler ile temas sonucu insanda oluşan dolaylı etkileşim.

Maruziyet, Kısmi-Vücut

Kısmi vücut maruziyeti depolanmış enerjinin birikiminden oluşur.

Maruziyet, Düzgün Olmayan

Düzgün olmayan maruziyet seviyeleri, insan vücudu ile kıyaslanabilir hacimler seviyelerindeki alanlar düzgün olmadığında ortaya çıkar. Bu durum duran dalgalardan, saçılan radyasyondan veya yakın alandan dolayı oluşur.

Uzak Alan Bölgesi

Bu bölgede alan daha çok düzlem-dalga karakteri taşır. Yani yerel olarak düzlemde elektrik ve manyetik alan şiddetleri düzgün dağılmış olup propagasyon yönüne diktirler. Bazı tip antenlerin değişik özellikleri olabilir.

Genel Halk

Maruziyetten haberleri olmayan değişik yaş ve sağlık durumlarındaki bütün kişiler.

İndüklenen Akım

Elektromanyetik alana direkt maruziyetten dolayı insan vücudunda oluşan indüklenen akım.

Boşluk Karakteristik Empedansı

Propagasyon yapan elektromanyetik dalganın elektrik alan şiddetinin manyetik alan şiddetine orantılıdır. Boşluktaki düzlemsel dalganın karakteristik empedansı yaklaşık olarak 377 ohm'dur.

Manyetik Akı yoğunluğu

Manyetik alan şiddetinin ortamın manyetik geçirgenliği ile çarpımına eşittir. Manyetik akı yoğunluğu Tesla(T) birimiyle ifade edilir.

Manyetik Alan Şiddeti

Manyetik alan vektörünün büyüklüğüdür. Bir noktada v hızı ile hareket eden q yükünde (F) kuvvetini oluşturan alan vektörünün değeridir. Manyetik alan şiddeti metre başına Amper ile ifade edilir. (A/m)

Değişik Frekanslı Alanlar

İki veya daha fazla faz olarak uyumsuz değişik frekanslardaki elektromanyetik alanlar.

Yakın Alan Bölgesi

Anten yada herhangi bir ışıma elemanına yakın bir bölgedir. Bu bölgede elektrik ve manyetik alanlar düzlem dalga karakteri göstermezler ve noktadan noktaya değişirler. Yakın alan bölgesi ışıma elemanına en yakın olan ve hemen hemen tüm enerjinin depolandığı reaktif Alana göre fazla olduğu ışıma yakın alan bölgesi olmak üzere iki alt gruba ayrılır.

Not

Çoğu antenlerde reaktif yakın alan bölgesinin en dışı genellikle anten yüzeyinden yarım dalgaboyu uzaklık olarak kabul edilir.

Manyetik Geçirgenlik

Malzemelerin manyetik geçirgenliği manyetik akı yoğunluğunun manyetik Alana oranı olarak tanımlanır.

Elektriksel Geçirgenlik

Dielektrik malzemelerin(örneğin biyolojik dokular) özelliği olup elektrik akı yoğunluğunun Dielektrik Alana E bölünmesiyle tanımlanır.

Polarizasyon

Uzayın sabit bir noktasında dalga ilerlerken zamana bağlı olarak E alan vektörünün uç noktalarda çizdiği şekil olup elektrik alan vektörünün değerini ve zamanla değişen yönünün özelliklerini tanımlar.

Güç Akı Yoğunluğu

Dalgaın ilerleme yönüne dik birim yüzeyden geçen güçtür.

Güç Yoğunluğu,Ortalama

Kaynak, tekrar periyoduna göre alınmış ani güç yoğunluğunun ortalaması.

Güç Yoğunluğu,Tepe

Güç iletiliğinde, oluşan en fazla ani güç yoğunluğu.

Güç Akı Yoğunluğu, Düzlem Dalga Eşdeğeri

Herhangi bir elektromanyetik dalgaya eşdeğer elektrik veya manyetik alan şiddetine sahip bir düzlem dalgaın güç yoğunluğudur.

Manyetik Akı Yoğunluğunun Değişim Oranı

Manyetik akı yoğunluğunun zamana göre alınmış türevi.

Referans Seviyesi

Etkin (RMS), elektrik ve manyetik alanların şiddetinin tepe değerleri veya alanların düzlem dalga eşdeğer güç yoğunlukları ve indüklenen temas akımları kişinin zararlı bir etkiye neden olmadan maruz kalabileceği belirleyen temel sınırlamalarda bunlara eklenen faktörlerinden elde edilir.Referans seviyeleri temel sınırlar aşılmadığı müddetçe aşılabılır.

Radio Frekansı

Bu standart için 10kHz ile 300 GHz arası frekans aralığıdır.

Tepki (Cevap) Zamanı

Alan ölçü aletlerinin ölçülecek alan içine konulduğunda son değerinin belli bir oranına erişinceye kadar geçen süre.

RF “Sıcak Nokta”

Saçılan ışıma, fokus etkileri veya diğer düzensizliklerden dolayı radio frekanslardaki ışıma ve soğurulmanın bazı yerel bölgelerde yoğunlaşmasıdır.

Etkin Değer(rms)

Periyodik elektromanyetik dalgaın ısıtma etkisiyle ilgilidir.

Saçılan Radyasyon

Elektromanyetik dalgaların özellikle iletken veya dielektrik cisimlere çarpması sonucunda ortaya çıkan, indüklenmiş akımlardan kaynaklanan elektromanyetik alandır.Saçıcı cisim bazen tekrar ışıyan veya ikinci ışıyıcı olarak da isimlendirilir.

Tıbbi Terimlerin Açıklamaları**Aktinic**

Optik radyasyonlarının bazı canlı yada cansız malzemelerde kimyasal değişimlere yol açan özellikleri.

Akut

Aniden başlayan keskin şiddetli ağrı.

Antijen

Vücuda girişi,kendisine karşı reaksiyon oluşturan bakteri,virus veya yabancı protein.

Admittance

Aynı parameter üzerinde etkili olan akım/gerilim oranıdır.Empedansın tersidir.

Adrenokortikotrop hormon

Hipafizden salgılanan ve böbrek üstü bezini kontrol eden hormon.

Analjezik

Ağrı hissini ortadan kaldıran.

Apaki

Göz merceği (lensi) alınmış kişi

Arteriel

Atardamarlarla ilgili

Asteni

Dermansızlık

Atipi

Normalden sapma

Avascular

Damarsız

Blefarit

Gözkapağı iltihabı

Benign Tümör

Kansersiz yada zararsız gelişme,iyi huylu tümör.

Bifazik

Pozitiften negatife doğru değişim

Blefarospazm

Göz kapağının kasılması

Büyüme Hormonu

Hipofizden salgılanan ve büyüme-gelişmeden sorumlu hormone

Capacitance

Farklı potansiyeldeki dielektrik veya iletken sistemlerin elektrik yükü veya elektrik enerjisi depolama özelliği

Chronic Effect

Maruziyetten sonar uzun süre görülemeyen etki.

Circadian

Günlük yaşam çevrelerinden izole edildiklerinde hayvanların dolaşımlarında gözlenen değişimler.

Corium

Epidermin altındaki deri tabakası, iç deri, dermis, koryum.

Dermatoloji

Cilt ve deri hastalıkları bilimi.

DNA

Deoxyribonucleic acid, kormozonların kimyasal yapısını oluşturan bir cins nükleik asit

Doz

Fotokimya,fotobiyoloji,fototerapide etkin ışık maruziyeti için kullanılan terim.

Denaturasyon

Bir maddenin doğal özelliklerini kaybetmesi-yıkımı.

Diatermi

Deri üzerinden yüksek frekanslı elektrik akımı uygulayıp,daha derin dokuda sıcaklık oluşturma.

Eksüdasyon

Damar duvarlarından veya herhangi bir yüzeyden-doku içinde veya boşlukta toplanmak üzere-dışarıya sıvı sızması

Ekzama

Çeşitli etkenler sebebiyle gelişen yer yer kabuklaşma gösteren veziküller oluşması.

Endojenik

İçkaynaklı

Endoskopi

Boşluk gösteren organ içinin veya herhangi bir vücut boşluğunun muayenesi.

Gestasyon

Gebelik

Hiperplazi

Doku veya organın hücre sayısındaki artış nedeniyle büyümesi.

İn-Vitro
Test tüpü içinde.

İn-Vivo
Canlı vücudunda

Katarakt
Göz merceği veya mercek kapsülünün saydamlığını kaybederek donuklaşması.

Retina
Gözün içtabakası

Vasküler
Kan damarları ile ilgili.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	05.04.1974	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1988 – 1992	Tarabya Kemal Atatürk Özel Deneme Lisesi
Lisans	1992 – 1994	İ.Ü. Meslek Yüksek Okulu Elektrik Bölümü
	1994 – 1999	İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999 – 2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programı
Çalıştığı Kurum	2000 – Devam ediyor	Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.