



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖRDÜNCÜ NESİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN (WİMAX) DİĞER HABERLEŞME SİSTEMLERİ İLE KIYASLANMASI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

ALİ ÖZDEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2012

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖRDÜNCÜ NESİL HABERLEŞME
SİSTEMLERİNİN (WİMAX) DİĞER HABERLEŞME
SİSTEMLERİ İLE KİYASLANMASI VE ÇEVRESEL
ETKİLERİ

ALİ ÖZDEK

Bu tez,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2012

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Ali ÖZDEK tarafından hazırlanan “**Dördüncü Nesil Haberleşme Sistemlerinin (Wimax) diğer haberleşme sistemleri ile Kıyaslanması ve çevresel etkileri**” adlı bu tez, jürimiz tarafından 26 / 09 / 2012 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. M.Kemal KIYMIK (DANIŞMAN)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği / KSÜ

.....

Doç. Dr. A. Serdar YILMAZ (ÜYE)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği / KSÜ

.....

Yrd. Doç. Dr. İbrahim Taner OKUMUŞ (ÜYE)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği / KSÜ

.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. M.Hakkı ALMA

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ali ÖZDEK

Bu çalışma herhangi bir kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki

DÖRDÜNCÜ NESİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN (WİMAX) DİĞER HABERLEŞME SİSTEMLERİ İLE KIYASLANMASI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

ÖZET

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak iletişim alanında gelişmeye de beraberinde getirmiştir. İletişimde meydana gelen bu gelişmeler kronolojik olarak şu anki iletişimde temellerini oluşturan GSM'den başlayarak gelişim sırası ile ele alınmıştır. İletişim alanında müşterilerin talep ettikleri hizmet ve ürünleri verebilmek için mevcut kullanabilecekleri bant genişlikleri, günümüz şartlarında sınırlı olduğundan mevcut durumda ki bant genişliğini en verimli şekilde kullanmak gerekmektedir. İlk olarak GSM, HSCSD, GPRS ve EDGE ele alınarak teknik olarak incelenmiştir. Bu gelişmelerden sonra 3G'nin temelleri UMTS ile atılmış ve üzerine 3G entegre edilmiştir. Wimax ve 3G kullandıkları kodlamalar ve standartlardan bahsedilmiştir. Detaylı olarak modülasyonları üzerinde durulmuş ve modülasyon teknikleri anlatılarak farklılıkları ortaya konulacaktır. Sağlık açısından, radyasyon çeşitleri anlatılarak, çevre ve canlılarda biyolojik etkilerinden bahsedilecek. İlerleyen kısımlarda kullanılan kodlama teknikleri ve iletim kanallarından bahsedilerek iki haberleşme sisteminin erişim teknikleri anlatılmıştır. Karşılaştırılan sistemler kullandıkları modülasyon teknikleri ve anten yapıları olarak detaylı şekilde incelenmiştir. Bu incelemelerde 3G'de ve Wimax'i birbirinden ayıran en önemli özelliklerinden biri MIMO (çoklu anten) ve uyarlamalı modülasyondur. Bu detaylı şekilde ele alınmıştır.

**FOURTH GENERATION COMMUNICATION SYSTEMS (WiMAX) TO BE
COMPARED WITH THE OTHER COMMUNICATION SYSTEMS AND
ENVIRONMENTAL EFFECTS
(M.Sc. THESIS)**

SUMMARY

In Parallel with the development of technology has brought about development in the field of communication. Developments which occurred in communication, in chronological order starting with GSM which form the basis of the present communication has been addressed through the development sequence. In order to provide products and services that customers demand, in our current use is limited bandwidth, the bandwidth of the communication sector in the current situation is required to use the most efficient manner. The first GSM, HSCSD, GPRS and EDGE techniques were investigated by considering. After these developments, the basics of 3G was established with UMTS, and was integrated on the 3G. Codes and standards used in WiMAX and 3G are discussed. Focused on modulations in detail, modulation techniques are explained, differences between modulation techniques will be shown. In terms of health, types of radiation were explained, effects of radiation on environment and in living things will be explained. The following sections, the used coding techniques and transmission channels were explained, the two communication systems Access techniques are described. Compared systems used modulation techniques and antenna structures, were investigated in detail. In these analyzes, one of the most important features which separates 3G and WiMAX, MIMO (multi-antenna) and adaptive modulation. These important features will be examined in detail.

TEŞEKKÜR

Çalışmam sırasında her konuda destek ve önerileri ile teze yön veren danışman hocam Prof. Dr. M. Kemal KIYMIK'a, Türk Telekom da çalışan Uzman Çetin KURT'a sürekli yanımda olan ve desteklerini sürekli hissettiğim aileme, tezin oluşumuna fikirleri ile emeği geçen Türk Telekom da Uzman Yardımcısı olarak çalışan Erdal Corcuya, isimlerini burada yazamadığım her alanda desteklerini esirgemeyen dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	I
SUMMARY	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XV
ÇİZELGELER DİZİNİ	XVIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
2.1. Küresel Mobil İletişim Sistemi (GSM)	6
2.2. Yüksek Hızlı Devre Anahtarlama Veri (HSCSD)	12
2.3. Genel Paket Radyo Hizmetleri (GPRS)	13
2.4. Küresel Evrim İçin Geliştirilmiş Veri Oranı (EDGE)	17
3. MATERYAL ve METOD	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi (UMTS, 3G)	18
3.1.2. Wimax (Worldwide Interoperability For Microwave Access) ..	21
3.1.3. Wimax Standartları	21
3.1.4. Wimaxde Kodlama	22
3.2. Metod	23
3.2.1. 3G Erişim Teknikleri	23
3.2.1.1. GMSK Modülasyon	23
3.2.1.2. İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK) Modülasyonu.....	27
3.2.1.3. Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) Modülasyon	29
3.2.2. Çoklu Erişim Teknikleri	32
3.2.2.1. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)	33
3.2.2.2. WCDMA	36
3.2.2.3. 3G Standartları	38
3.2.2.4. Slotlar, Çerçeveler Ve Güç Kontrolü	41
3.2.2.5. WCDMA Protokolü	43
3.2.2.6. Fiziksel Kanallar ve İletim Kanalları	44
3.2.2.7. Utran	48
3.2.3. WİMAX IEEE 802.16 Standardı	50
3.2.3.1. IEEE 802.16a	55
3.2.3.2. IEEE 802.16d	57
3.2.3.3. IEEE 802.16e	58

3.2.3.4.	OFDM Kodlama Tekniği	59
3.2.3.5.	OFDMA Tekniği	64
3.2.3.6.	MIMO Kodlama Tekniğ	66
3.2.3.7.	Fiziksel Katman	71
3.2.3.8.	Los Ve Nlos	81
3.2.3.9.	Uyarlamalı Modülasyon	82
3.2.3.10.	Handof (Aktarım)	85
3.2.3.11.	Hareketli (Mobil) IP	85
3.2.4.	Teknolojilerin Üstünlükleri	86
3.2.4.1.	Ekonomi	89
3.2.4.2.	Wimaxde Servis Kalitesi (QOS)	89
3.2.4.3.	Taşımlılık Yönetimi	92
3.2.4.4.	Güç Yönetimi	92
3.2.5.	Sağlık Açısından İncelenmesi	92
3.2.5.1	Radyo Frekans Ve Radyasyon Çeşitleri	93
3.2.5.2.	İyonlaştırıcı Radyasyon	93
3.2.5.3.	İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	95
3.2.5.4.	Radyo Frekans Radyasyon Etkisi	95
3.2.5.5.	Termal Etkiler	95
3.2.5.6.	Termal Olmayan Etkiler	96
3.2.5.7.	Radyo Frekansının Canlılara Ve Çevreye Etkileri ...	96
3.2.5.8.	SAR (Specific Absorption Rate)	97
3.2.5.9.	Radyo Frekansında Uluslararası Standartlar	98
3.2.5.10.	Radyo Frekansının Biyolojik Etkileri	100
3.2.5.11.	Beyin Dalgalarının Faaliyetlerine Etkiler	102
3.2.5.12.	Hormonal Faaliyetler Üzerindeki Etkiler	103
3.2.5.13.	Sinir Sistemi Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler	103
3.2.5.14.	Görme Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler	104
3.2.5.15.	Kan Hücreleri ve Bağışıklık Sistemi Üzerindeki Etkiler	105
3.2.5.16.	Üreme Sistemi Üzerindeki Etkiler	105
3.2.5.17.	Kalıtım Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler	106
3.2.5.18.	Diğer Biyolojik Faaliyetler Üzerindeki Etkiler	106
3.2.5.19.	Yüksek Elektromanyetik Duyarlılık	107
3.2.5.20.	Sağlık Açısından Etkileri	107
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	114
	KAYNAKLAR	122
	EKLER	
	ÖZGEÇMİŞ	127

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1G	: First Generation
2G	: Second Generation
3G	: Third Generation
3GGP	: Generation Partnership Project
3rd	: Generation Partnership Project
AAS	: Adaptive Antenna System
AC	: Authentication Center
ADS	: Advanced Design System
ADSL	: Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	: Advanced Encryption Standard
AM	: Amplitude Modulation
AMR	: Adaptive Multi-Rate
ARQ	: Automatic Repeat Request
ASK	: Amplitude Shift Keying
ATIS	: Automatic Terminal Information Service
ATM	: Asynchronous Transfer Mode
AUC	: Authentication Centre
BCCH	: Broadcast Control Channel
BCH	: Broadcast Channel
BE	: Best-Effort Service
BER	: Bit Error Rate
BF	: Beamforming
BHO	: Bit Hata Oranı
BMC	: Broadcast/Multicast Control
BPSK	: Binary Phase Shift Keying

BRAS	: Broadband Remote Access Server
BS	: Base Station
BSC	: Base Station Controller
BSS	: Base station subsystem
BTS	: Base transceiver station
CCCH	: Common Control Channel
CCSA	: Certification in Control Self-Assessment®
CDD	: Code Division Duplexing
CDMA	: Code Division Multiple Access
CDPD	: Cellular Digital Packet Data
CEPT	: European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CID	: Connection Identifier
CP	: cyclic prefix
CPICH	: Common Pilot Channel
CPS	: Common Part Sublayer
CRC	: Cyclic Redundancy Check
CS	: Convergence Sublayer
CSF	: Channel Selective Fibre
CSI	: Channel State Information
DAMA	: Demand Assigned Multiple Access
DCCH	: Dedicated Control Channel
DCH	: Dedicated Channel
DECT	: Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DES	: Data Encryption Standard
DFS	: Dynamic Frequency Selection

DFT	: Discrete fourier transform
DHCP	: Dynamic Host Configuration Protocol
DL	: Downlink
DL-MAP	: Downling Mobile Application Part
DOCSIS	: Data Over Cable Service Interface Specification
DPDCH	: Dedicated Physical Data and Control Channel
DPDCCH	: Dedicated Physical Data and Control Channel
DS	: Direct Sequence
DS-CDMA	: Direct Sequence Code Division Multiple Access
DTCH	: Dedicated Traffic Channel
DTX	: Discontinuous transmission
EAP	: Extensible Authentication Protocol
EDGE	: Enhanced data rates for global evolution
EFR	: Enhanced Full Rate
EIR	: Equipment Identity Register
ERTVR	: Extended Real-Time Variable Rate
ETSI	: European Telecommunications Standard Institute
FACH	: Forward Access Channel
FBSS	: Fast BS Switching
FDD	: Frequency Division Duplex
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
FEC	: Forward Error Control
FFT	: Fast Fourier transform
FH-CDMA	: Frequency Hopping Code Division Multiple Access
FM	: Frequency Modulation
FSK	: Frequency-Shift Keying

FWA	: Fixed Wireless Access
GFR	: Guaranteed Frame Rate
GGSN	: GPRS Gateway Support Node
GMSC	: Gateway Mobile Switching Centre
GMSK	: Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	: General Packet radio services
GSM	: Global Systems for Mobile
HANDOFF	: Aktarım
HCS	: Hierarchical Cell Structure
HHO	: Hard Handover
HLR	: Home Location Register
HSCSD	: High Speed Circuit Switched Data
ICI	: Inter-Carrier Interference
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	: Internet Engineering Task Force
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform
IMC FT	: Irregular Multi-Channel Fourier Transform
IMSI	: International Mobile Subscriber Identity
IMT FT	: International Mobile Telecommunications Frequency Time
IMT MC	: International Mobile Telecommunications Multi Carrier
IMT SC	: International Mobile Telecommunications Single Carrier
IMT TC	: International Mobile Telecommunications Time Code
IMT2000	: International Mobile Telecommunications 3G Standarts
IN	: Intelligent network
Indoor CPE	: Indoor Customer Premise Equipment
IP	: Intelligent Peripheral

IPTV	: Internet Protocol TV
IPV4	: Internet Protocol Version 4
IPV6	: Internet Protocol Versiyon 6
ISDN	: Integrated Services Digital Network
ISI	: Inter-Symbol Interference
ISP	: Internet service provider
ISUP	: Integrated Services Digital Network User Part
ITU	: International Telecommunication Union
LAI	: Location Area Identity
LAN	: Local Area Network
LOS	: Line-of-sight
LTE	: Long Term Evolution
MAC	: Media Access Control
MAN	: Metropolitan Area Network
MAN-OFDM	: MAN Ortagonoal Ferquency Division Multiplexing
MAN-OFDMA	: MAN Orthogonal Frequency Division Multiple Access
MAN-SC	: MAN Single Carrier
MAP	: Mobile Application Part
MBWA	: Mobile Broadband Wireless Access
MC	: Multi Carrier
MCC	: Mobile Country Code
MDHO	: Macro Diversity Handover
MDS	: Mediation Device server
MIMO	: Multiple InputMultiple-Output
MNC	: Mobile Network Code
MPDU	: MAC Protocol Data Unit

MS	: Mobile Station
MSC	: Mobile Switching Centre
MSDU	: MAC Service Data Unit
MSIN	: Mobile Station Identification Number
MSISDN	: Mobile Station International Services Digital Network
MSK	: Minimum Shift Keying
MSRN	: Mobile Station Roaming Number
NLOS	: Non-line-of-sight
NMC	: Network Management Centre
NMS	: Network Management System
NMT	: Nordic Mobile Telephony
NRTPS	: Non-Real-Time Polling Service
NSS	: Network Switching Subsystem
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	: Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OKK	: On-Off Keying
OMC	: The Operations and Maintenance Center
OSI	: Open Systems Interconnection
OQPSK	: Offset Quadrature Phase Shift Keying
Outdoor CPE	: Outdoor Customer Premise Equipment
OVSF	: Orthogonal Variable Spreading Factor
PAM	: Pulse Amplitude Modulated
PAN	: Personal Area Network
PAPR	: Peak-to- Average Power Ratio
PCCH	: Paging Control Channe
P-CCPCH	: Primary Common Control Physical Channel

PCH	: Paging Channel
PCM	: Pulse Code Modulation
PCPCH	: Physical Common Packet Channel
PCS	: Personal Communication Service
PDA	: Personal Digital Assistant
PDCP	: Packet Data Convergence Protocol
PDM	: Pulse Density Modulation
PDU	: Protocol Data Unit
PHS	: Payload Header Suppression
PHY	: Physical Layer
PLMN	: Public Land Mobile Network
PM	: Phase Modulation
PMP	: Point to Multipoint
PPM	: Pulse Position Modulation
PRACH	: Physical Random Access Channel
PSK	: Phase Shift Keying
PSTN	: Public Switching Telephone Network
PWM	: Pulse With Modulation
QAM	: Quadrature Amplitude Modulation
QOS	: Quality of Service
QPSK	: Quadrature PhaseShift keying
RACH	: Random Access Channel
RLC	: Radio link control
RNC	: Radio Network Controller
RTPS	: Real-Time Polling Services
SAP	: Service Access Point

SC	: Single Carrier
S-CCPCH	: Secondary Common Control Physical Channel
SC-FDMA	: Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SDMA	: Space Division Multiple Access
SDU	: Service Data Unit
SFID	: Service Flow Identifier
SGSN	: Serving Gateway Support Node
SIM	: Subscriber Identity Module
SIMO	: Single Input MultiPLE Output
SISO	: Single Input Single Output
SM	: Spatial Multiplexing
SNMP	: Simple Network Management Protocol
SNR	: Signal to Noise Ratio
SS	: Subscriber Stations
SS7	: Signaling System #7
TCP/IP	: Transmission Control Protocol and The Internet Protocol
TDCDMA	: Time Divison Code Division Multiple Access
TDD	: Time Division Duplex
TDM	: Time Division Multiplexing
TDMA	: Time Division Multiple Access
TDSCDMA	: Time Division Synchronous CDMA
TFTP	: Trivial File Transfer Protocol
TMSI	: Temporary Mobile Subscriber Identity
TTA	: The Telecommunications Technology Association
TTC/ARIB	: Telecommunication Technology Committee
UGS	: Unsolicited Grant Services

UL	: Uplink
UL-MAP	: Uplink Mobile Application Part
UMTS	: European Universal Mobile Telecommunication Systems
UTRA TDD	: UMTS Terrestrial Radio Access TDD
UTRAN	: UMTS Terrestrial Radio Access Network
UWB	: Ultra-wideband
UWC	: Universal Wireless Communications
UWCC	: Universal Wireless Communications Consortium
VCR	: Video Cassette Recording
VDSL	: Very High Speed Digital Subscriber Line
VPP	: Virtual Point-to-Point
VLAN	: Virtual Local Area Network
VLR	: Visitor Location Register
VOIP	: Voice over Internet Protocol
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access
WiFi	: Wireless Fidelity
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	: Wireless Local Area Network
WMAN	: Wireless Metropolitan Area Networks
WPAN	: Wireless Personal Area Network
WRAC2000	: World Radiocommunication Conference 2000
WWAN	: Wireless Wide Area Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Gezgin İletişim Sisteminin Yapısı	8
Şekil 2.2	IMSI Formatı	11
Şekil 2.3	GPRS Kullanan Sistem	17
Şekil 3.1	GSM, UMTS Ortak Platformu	20
Şekil 3.2	IEEE 802.16 Standartları	22
Şekil 3.3	GMSK Modülasyon Blok Yapısı	25
Şekil 3.4	Modüle Edilmiş İşaret	25
Şekil 3.5	BPSK Blok Diagramı	27
Şekil 3.6	BPSK İşareti Üretilmesi	27
Şekil 3.7	BPSK İşareti	28
Şekil 3.8	BPSK Modülasyon Yapısı	28
Şekil 3.9	QPSK Dalga Diagramı	29
Şekil 3.10	QPSK Modülatör Şekli	30
Şekil 3.11	QPSK Modülatör	31
Şekil 3.12	QPSK Alıcı	32
Şekil 3.13	Çoklu Erişim Teknikleri	32
Şekil 3.14	CDMA Yapısı	33
Şekil 3.15	CDMA	34
Şekil 3.16	CDMA Tekniği Zaman-Frekans Karakteristiği	34
Şekil 3.17	CDMA Yayılı Spektrumu	35
Şekil 3.18	CDMA Verici Blok Diagramı	35
Şekil 3.19	CDMA Alıcı Blok Diagramı	36
Şekil 3.20	İşletmecilerin 3G'ye Geçiş Yolları	40
Şekil 3.21	WCDMA Protokol Yapısı	44

Şekil 3.22 DL’de Lojiksel, İletim Ve Fiziksel Kanal Haritalaması	46
Şekil 3.23 UTRAN Şebekesi	48
Şekil 3.24 UTRAN Şebeke Yapısı	49
Şekil 3.25 IEEE Standartları	50
Şekil 3.26 IEEE 802 Grubu Standartları	50
Şekil 3.27 Tek Noktadan Çok Noktaya Ağ Yapısı (PMP)	54
Şekil 3.28 Örgü (Mesh) Ağ Yapısı	54
Şekil 3.29 802.16a Çalışma Şekli	55
Şekil 3.30 Tekli Taşıyıcı Mod Ve OFDM	56
Şekil 3.31 802.16d Standardının Sabit Ağa Entegrasyonu	57
Şekil 3.32 802.16e Sabit Ve Mobil Kullanımda Ortak Çözüm.....	58
Şekil 3.33 FDM Ve OFDM Kanalları	60
Şekil 3.34 OFDM Sistemine Ait Blok Diagram	62
Şekil 3.35 (a) Bir OFDM Alt Kanalının Spektrumu (b) Bir OFDM Sinyalinin Spektrumu	63
Şekil 3.36 (c) Alt Taşıyıcılı Bir OFDM İşaret Tayfı	64
Şekil 3.37 OFDMA’da Alt Kanal Oluşturma.....	65
Şekil 3.38 OFDM Ve OFDMA’da Sinyal Gönderme	65
Şekil 3.39 Alıcı Vericide Farklı Anten Durumları	67
Şekil 3.40 Çoklu Yol Ve Uzaysal Çoğullama	69
Şekil 3.41 MIMO Sistemi	70
Şekil 3.42 IEEE 802.16 Protokol Mimarisi.....	71
Şekil 3.43 Protokol Katmanları	74
Şekil 3.44 Wimax Los Sistemi	82
Şekil 3.45 Adaptif Modülasyon İçin Bağlı Hücre Yarıçapları	84

Şekil 3.46 Elektromanyetik Spektrum	94
Şekil 4.1 Dişi ve erkek grupların kendi içerisinde karşılaştırılması	115
Şekil 4.2 2G,3G Hız Grafiği	116
Şekil 4.3 Sabit Ve Mobil Teknolojilerin Hız Ve Mobilite Yönünden Karşılaştırılması	118
Şekil 4.4 Farklı Geniş Bant Teknolojilerin Hız Mobilite Diagramı.....	119

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1 Mantıksal Trafik Kanalları (Kullanıcı Kanalları)	46
Çizelge 3.2 Ortak İletim Kanalları	47
Çizelge 3.3 UTRAN Özellikleri.....	49
Çizelge 3.4 Wimax Standartları Ve Kullandıkları Teknikler.....	52
Çizelge 3.5 MAC Özellikleri	79
Çizelge 3.6 Alıcı SNR Değeri	80
Çizelge 3.7 Gezgin İletişim Teknik Özellikleri	81
Çizelge 3.8 Modülasyon Aracılığı İle Kanal Kodlama	83
Çizelge 3.9 Ortam Ve Tek Bir Cihaz İçin Belirlenen Sınır Değerler	100
Çizelge 4.1 Tüm Grupların Toplam Beyin EB Konsantrasyonu	115
Çizelge 4.2 Wimax Ve 3N Karşılaştırması	119
Çizelge 4.3 Çoklu Erişim Sistemleri Karşılaştırması	120

1.GİRİŞ

Günümüz dünyasında hızla gelişen ve değişen teknoloji bir çok yeniliği beraberinde getirmiştir. Bu yeniliklerin kuşkusuz en belirgin ve hızlı olanı iletişim teknolojilerinde meydana gelmektedir. İletişim artık yaşamamızın her alanına girmiş ve normal bir kullanımdan çıkarak alışkanlık halini almıştır. Araştırma ve geliştirme faaliyetleri bilgi ve iletişim teknolojilerinde hızla artmakta ve bu gelişmeye paralel olarak dünyamızda beraberinde değişmektedir. Teknolojideki bu gelişmeler insanların taleplerini de artırmakta, buna paralel olarak insanların taleplerini karşılayabilmek için iletişimin hızlı ve kesintisiz yapılması zorunlu hale gelmektedir. Bu hız ve talepleri karşılayacak yeni teknolojiler geliştirilmek bilgi ve iletişim teknolojileri çağının en önemli araştırma geliştirme konularıdır. İletişim sadece insanların birbirleri ile görüşmesi olmaktan çıkarak eğitimden sağlığa bir çok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının genişlemesi ve artan hizmet çeşitliliği ile beraber şirketler yeni katma değerli servisler sunmaya başlamış ve bu servislerin verilebilmesi için mevcut iletişim bant genişliklerinin artırılması veya bu bant genişliklerinin daha verimli kullanılması gündeme gelmiştir.

Haberleşme sistemlerindeki gelişmeler mobil haberleşmenin bulunması ile başlamış (1897, Marconi) bunu sırasıyla GSM (Global Systems for Mobile), 1G (First Generation), GPRS, EDGE, 2G, 3G ve WİMAX sırasıyla takip etmiştir. Mobil haberleşmenin bulunuş amacı, savaşta iletişim için ilk kablosuz haberleşme sistemleri ve tekniklerinin bulunması ile başlamıştır. Bulunan haberleşme sistemi daha sonra insanların iletişim kurması için uyarlanmış ve GSM ortaya çıkmıştır. GSM'in ortaya çıkmasından sonra kullanılan sistemlerin kapasiteleri kullandıkları teknikler itibariyle iletişim için yeterli gelmemiştir ve aynı bant genişliğinde daha çok bilgi iletilebilen sistemler geliştirilmiştir. GPRS, EDGE, 2G, 3G gelişmiştir. Tüm bu gelişmeler ilk başta iletişim için yapılırken sonraları ekonomi, sanayi sektörlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Artık iletişim kamu hizmetinden çıkıp, kar amacı için kurulan şirketler arasına girmiş, sonrasında da şirketler gelir ve hizmet kalitesini artırmak için yeni teknikler aramaya başlamış ve geliştirmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Bu teknikler wimax, LTE ve gelecekte yeni çıkacak sistemler izleyecektir. Gelişmelerde geline son noktada iletişim teknolojileri ülkelerin gelişmişlik seviyesini belirleyen bir kriter haline gelmiş ve gelişen haberleşme teknolojileri sayesinde toplumsal yaşam da değişikliğe uğramış, toplumlar arasındaki mesafe kavramı ortadan

kalkmıştır.Çalışmamızda sırasıyla giriş bölümünde, günümüzde kullandığımız GSM operatörlerinin çalışma şekilleri anlatılarak, teknolojik gelişim süreçleri incelenecektir. Sonra materyal metod bölümünde bu teknolojilerin 3. nesil haberleşme sistemlerine kadar geçirdikleri değişimlere ve 3. nesil sistemlerin, wimax sisteminin kullandıkları modülasyon teknikleri incelenecek olup, geçirdikleri değişimler, yenilikler ele alınacaktır.

Wimax ve 3G'nin kullandığı teknikler, incelenecektir. Ülkemiz ve dünyada mobil yaşamla beraber bu hizmetler için gerekli olan altyapılar, kullanacakları teknik ve teknolojiler ile beraber, ülkemizde hayata geçmemiş olan WIMAX'in 3G ile arasındaki farklar ortaya konacaktır. Sistemler arasındaki farklar bulgular ve tartışma kısmında ve teknolojilerin birbirine rakip mi yoksa tamamlayıcı mı oldukları, farkları ele alınarak ortaya konacaktır. Ortaya konan tekniklerden sonra materyal ve metod kısımlarında wimax ve 3G'nin çevresel etkileri ele alınacaktır. Bu etkilerin canlılarda nasıl oluştuğu ve ne gibi sağlık problemlerine yol açtığı, yapılan bilimsel araştırmalar belirtilecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Büyükü (2006), Üçüncü Nesil (3N) Sistemler için Eko İstatistikleri ve ADS ile Bir Sistem Benzetimi çalışmasında 3N sistemlerin başarımını değerlendirmek için, değişik kanal özellikleri ve farklı bit hızları kullanılarak benzetimler yapmıştır. Benzetim sayısını azaltmak için kanal yayılım verileri kullanılarak, eko genlik istatistikleri yapılmış ve. Sistemin başarımı için yapılan benzetimler göstermiştir ki, 12.2 Kbit/s gibi düşük bit hızlarında abonenin hareket hızı BHO (bit hata oranı) değerlerini etkilemez. Benzetim için Agilent teknolojileri'nin bir yazılımı olan ADS (gelişmiş sistem tasarımı) programı, benzetim aracı olarak kullanılmıştır. Bu yazılım, bir hayli karmaşık olan 3N sistem benzetimini biraz kolaylaştırmıştır. Farklı veri hızları (12.2 Kbit/s, 64 Kbit/s, 384 Kbit/s) ve iki tür kanal profili (4 ekolu ve 10 ekolu) için, farklı kullanıcı hızlarındaki (3 km/saat, 50 km/saat, 100 km/saat, 300 km/saat) Eb/N0 değerlerine göre, BHO (bit-hata oranı)'nın değişim eğrileri, ADS benzetim programı kullanılarak elde edilmiş ve sunulmuştur.

Sonuç olarak radyo kanalı saha ölçümlerinden elde edilen eko profilleri ile, 1-4 Parmaklı Tırmık alıcı için yapılan kayıp eko gücü istatistiklerinden, 5 MHz'lik iletim bandında, tırmık alıcı için en uygun parmak sayısı belirlenmiştir. Bu amaçla üçüncü nesil sistemler için ayrılmış frekans bantlarında yapılan ölçümlerde, 524 ölçüm yerinde elde

edilen eko profillerinden eko istatistikleri yapılarak, tırmık alıcı için en uygun parmak sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Sistemin başarımını incelemek için yapılan eko istatistikleri ve benzetimlerin sonucunda, şunlar gözlemlenmiştir; düşük bit hızlarında ne ekolu kanalın özelliği, ne de abonenin hareket hızı, başarımı kayda değer ölçüde etkilememiştir. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir. Düşük hareket hızlarında hızlı sönmümlenmenin etkisi, tırmık algılama ve güç denetimi ile yok edilirken; yüksek hızlarda, harmanlama tekniği etkisini göstermiştir.

Karabulut (2007), Gezgin telefonlar üzerinde çalışan ağ/internet tabanlı uygulamaların güvenliğinin artırılması için, internet üzerinden kimlik doğrulama işlemlerinin yüz tanımlama ile yapılması önerilmiş. Bu uygulama, maliyet, güvenlik açısından değerlendirilmiş ve böyle bir uygulamada cep telefonu veya gezgin cihaz üzerinde sadece fotoğraf çekme ve bir şekilde programlanabilirlik yetenekleri olması sistemin çalışması için yeterlidir. İşin yorucu kısımları olan depolama, işleme ve doğrulama gibi işlemleri bir sunucu üzerinde yapılması anlatılmıştır.

Çeşitli dezavantajlarına rağmen yüz tanıma ile kimlik doğrulama oldukça çekici bir konudur. İleride internet üzerinden yüz veritabanı hizmeti veren devlet kurumları olabileceği gibi, herkesin birbirini tanıyabileceği, sahteciliğin yüz tanıma gibi uygulamalarla en aza indirgeneceği günler de gelecektir. Eğer tüm internet kullanıcıları devlet veritabanı üzerinden yüz tanıma ile kimlik doğrulama yaparak internete bağlanmak zorunda bırakılırsa, alt yapı bunu desteklerse, gerekli protokoller geliştirilirse, elbette bu konuşulanlar hayal olmaktan çıkacaktır.

Kuran (2007), wimax mesh ağlarında katmanlar arası yönlendirme için, WiMAX standardının Mesh çalışma modu sistem kapasitesini Internet ve intranet trafiği için iki bölgeye ayırmıştır. Standarda göre bu iki trafik türünden biri diğerinin kapasitesini hiçbir şekilde kullanamamaktadır. Bu durum iki bölümden birinde sıkışıklık ve diğerinde boş kapasite olduğu durumlarda düşük sistem kullanımına yol açmaktadır. Bu çalışmada IEEE 802.16'nin Mesh çalışma modu için katmanlar arası çalışan Kuyruk Durumundan Haberdar bir Yönlendirme metodu geliştirilmiş.

Bu metodu iki farklı yaklaşımla incelenmiş, metodun, Internet trafik bölgesinde sıkışıklık olduğu durumlarda Internet trafiğinin, intranet bölümünü de kullanmasına olanak

sağlamaktadır. Çözüm standartta herhangi bir değişiklik gerektirmediğinden mevcut kullanıcı ve baz istasyonu cihazlarında kolaylıkla uygulanabilmektedir. Simülasyon sonuçları metodun iki yaklaşımının da, Internet trafiğinde sıkışıklık meydana geldiği durumlarda uçtan uca gecikmeyi ve düşen paket adedini azalttığını göstermektedir. Bunun yanı sıra Internet trafiğinin, intranet trafiğine ayrılan bölgeyi kullanmış olduğu için metodun intranet trafiğinin uçtan uca gecikme değerlerini fazla olmamakta birlikte artırdığı görülmüştür.

Ögülmüş (2008), Wimax teknolojisi fiziksel katman parametrelerinin performansa etkisinin matlab kullanılarak incelenmiş, IEEE 802.16 WirelessMAN standartları geniş frekans aralıkların da sabit ve kablosuz geniş bant erişimi sunan MAC katmanı ve fiziksel katmanı belirlemektedir.

Bu tezde Wimax ürünleri için standart belirlemede önemli yeri olan fiziksel katmanın uygulaması yapılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Kablosuz ortamlarda Stanford University tarafından belirlenen SUI kanal modelleri kullanılmıştır. Simülasyon Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Bant genişliği ve kanal değeri sabit tutularak koruma aralığı değerlerine göre yapılan çizimlerde yüksek koruma aralığı değerinin düşük değerlikli modülasyonlarda daha az SNR değeri üretirken yüksek değerlikli modülasyonlarda SNR değerinin arttığı, düşük koruma aralığı değerinde bunun tam tersi olduğu görülmüştür. Bu uygulamalara ek olarak programdaki serpiştiricinin SNR üzerindeki etkisi incelenmiş ve serpiştiricinin olmamasının bütün modülasyon türlerinde SNR değerini artırdığı görülmüştür.

Koruma Süresi ve Periyodik İlaveler : OFDM yönteminin kullanılmasının en önemli nedeni çok yollu gecikme yayılımıdır. Giriş dizisini N_s adet alt-taşıyıcıya bölerek sembol süresi N_s defa küçültülmüş olur bu da sembol süresine göre çok-yollu gecikme yayılımını azaltır. Semboller-arası bozulmayı (ISI) tamamen ortadan kaldırmak için OFDM sembolüne koruma aralığı eklenip, koruma aralığı beklenen en uzun gecikme yayılımından daha büyük seçilmelidir. Böylece bir önceki sembolün bir sonraki sembole karışması önlenmektedir.

Saltabaş (2007), Kablosuz haberleşme yöntemleri ve IEEE 802.16 protokolü ele alınmıştır. Ancak, artık küreselleşen dünyada bant genişliğinin yüksek olması yeterli bir

ölçüt olmaktan çıkmıştır. Özellikle, geniş bant internet hizmeti iş dünyasında yoğun bir şekilde kullanılıyor olmasına karşın alınan hizmetin kablolarla bağlı olması ve kablolu yerel ağların genişlemesindeki yüksek maliyet, kablosuz veri transferi teknolojilerinin geliştirilmesine ve uygulama alanlarında kullanılmasına ihtiyaç doğurmuştur. Günümüzde geleneksel noktadan-noktaya veri transferinde ve noktadan-çoklu noktaya veri transferinde bir çok seçenek bulunmakta ve uygulamadaki ihtiyaca göre kullanılabilir. Her bir durumda maliyet ve uygulanabilirlik konusunda uygun olan çözümler tasarlanabilir.

Yapılan çalışmada, günümüzde giderek artan ve hareketi destekleyen geniş bant haberleşme ihtiyacının, standartları belirlenmiş IEEE 802.11, IEEE 802.16 gibi protokollerin gerçekleştirilmesi ile karşılanacağı görülmektedir. WIMAX standardını destekleyen ürün yelpazesinin artması ve çevre şartlarına olan bağımlılığın azalması durumunda kablosuz ağların daha da verimli kullanılacağı açıktır. Ülkemizde şu ana kadar sınırlı sayıda haberleşme firması IEEE 802.16 standardını deneme amaçlı çalışmalar yapmıştır. Teknik ekipmanların artması, yetkilendirme sürecinin tamamlanması ve uygulama alanlarının belirlenmesi sonrasında IEEE 802.16 standardının uygulamaları her geçen gün artacaktır. Gelecekte IEEE 802.20 standardının da uygulama alanlarının artması, mevcut kablosuz geniş bant ihtiyacının giderilmesinde etkili olacaktır.

Özkan (2009), bu tez çalışmasında OFDM sistemlerinde alternatif modülasyon teknikleri incelenmiş olup, Bu tezde alternatif modülasyon teknikleriyle, kanal etkisiz ve kanal etkisi eklenerek OFDM sistemi tasarlanmıştır. Eklenen beyaz gauss gürültüsü ile değişen işaret gürültü oranı değerleri için sistem performansı incelenmiştir. Literatürde yaygın olarak yer alan FFT tabanlı OFDM sistemine ek olarak DCT tabanlı OFDM sistemi tasarlanmıştır. DCT tabanlı OFDM sistemlerinin performansının, FFT tabanlı OFDM sistemine göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. OFDM sistemi için QPSK, QAM, DPSK modülasyon çeşitlerinin performans analizi incelenmiş, sistem performansları karşılaştırılmıştır. Literatürde kullanılmamış simetrik altıgen QAM modülasyon tekniği ile OFDM sistemi tasarlanmış ve sistem performansının arttığı görülmüştür. Taşıyıcılar arası girişime ve sistemin bit hata oranının artmasına neden olan kaydırılmış frekans sisteme eklenerek, sisteme olan etkisi analiz edilmiştir.

Literatürdeki kaydırılmış frekans tahmin yöntemleri incelenmiştir. Sonuç olarak OFDMA sistemi DVB, 3G ve yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinde gibi birçok

uygulamada kullanılmaktadır. Sistem performansının başarılı olması önem teşkil etmektedir. Bu tezde literatürde yaygın olarak kullanılan FFT tabanlı OFDMA sistemleri tasarlanmıştır. Daha sonra DCT-tabanlı OFDMA sistemi de tasarlanarak, sistem performansları karşılaştırılmıştır. DCT-tabanlı OFDMA sistemlerinin performansının, FFT tabanlı OFDMA sistemlerine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

2.1. Küresel Mobil İletişim Sistemi (GSM)

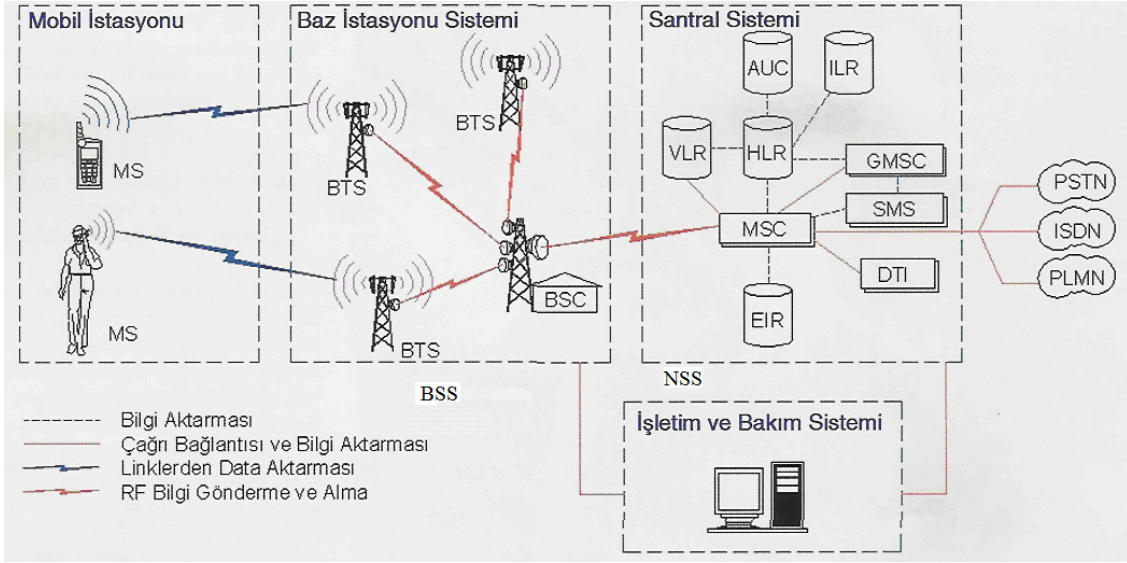
GSM sistemlerinin tarih içindeki gelişimi şu şekilde özetlenebilir. Mobil haberleşmenin temelleri Hücre Kavramı 70’li yılların başlarında Bell laboratuvarlarında ortaya konmuş ve analog 1. nesil mobil haberleşme sistemleri geliştirilmiştir. 80’li yıllarda ise Avrupa’da birbirinden farklı ve uyumsuz birçok mobil sistem kullanılıyordu. Tek bir mobil sisteme ihtiyaç duyulmaktaydı. 1990’da ise tüm bu haberleşme tekniklerinin ortak ürünü olan mobil telefonlar geliştirilmiştir. Sayısal Hücresel Haberleşme denilen bu sistemlerde geçmiş tüm haberleşme teknikleri birleştirilmiştir. Bu sistemde kullanıcı haberleşmek istediği anda ve istediği gizlilikle haberleşme yapmaktadır. NMT 1978’de Avrupa ülkelerinin posta idarecilerinden oluşan Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Konferansı (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, CEPT) 900 Mhz’de bir standartın oluşturulmasını teklif etmiştir. Fikrin kabul edilmesiyle 1982 yılında Avrupa çapında uygulanabilecek bir hücresel haberleşmenin standartlarını oluşturmak için bir grup kurulmuştur.

Bu gruba GSM (Group Speciale Mobile) adı verilmiştir. Grup hedeflerini ortaya koymuş ve hedefi gerçekleştirmek üzere protokoller belirlemiştir. Grubun çalışmaları sonucu 1986’da geliştirilen sayısal bir mobil haberleşme sistemi olan yeni sisteme Global System for Mobile (GSM; mobil haberleşmede evrensel sistem) adı verilmiştir. Daha sonra 1990’ların başında GSM tüm dünyaya yayılmaya başlamıştır. GSM 900’ün standartlaştırılmasının ilk aşaması olan Faz 1, ETSI tarafından 1990 yılında tamamlanmış ve GSM şebeke işletimi için gerekli tüm tanımlamaları içermektedir. Faz 1’de 9,6 Kb/s’ye kadar hızda veri iletimi dahil olmak üzere temel bazı hizmetler verilebilmektedir. 9,6 Kb/s hız sistem olarak maksimum ulaşılabilir hızdır. [37] GSM standartları 1995 yılında Faz 2 ile geliştirilmiş ve sabit şebekelerdeki ISDN hizmetleri ile mukayese edilebilen çeşitli ek hizmetler de verilebilir hale gelmiştir. 1996’da ETSI, GSM’e 3G yeteneklerini eklemeyi

amaçlayan Faz 2+'yı geliştirmiştir. Faz 2+ ile GSM'e akıllı şebeke (Intelligent Network, IN), gelişkin ses sıkıştırma ve açma yöntemleri ile gelişmiş tam oranlı (Enhanced Full Rate, EFR) ve uyarlamalı çoklu oranlı (Adaptive Multi-Rate, AMR) gibi ses kalitesini artıran kodlama yöntemleri eklenmiştir. Bir GSM sisteminde yer alan temel kısımlar ve sistemin çalışma şekli ana hatlarıyla şu şekilde özetlenebilir. Temel olarak GSM, Anahtarlama Sistemi (NSS) ve Baz İstasyonu Alt sistemi (BSS) olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Anahtarlama sistemi (SS) aşağıdaki fonksiyonel üniteleri içermektedir:

- Mobil anahtarlama merkezi (MSC)
- Ziyaretçi abone bilgileri veritabanı (VLR)
- Abone bilgileri kalıcı veritabanı (HLR)
- Doğrulama merkezi (AUC)
- Mobil cihaz kimlik tanımı veritabanı (EIR)
- Mobil anahtarlama merkezi ağ geçidi (GMSC)
- Şebekeler arası yer kaydedicisi (ILR)
- Data transmisyon arayüzü (DTI)
- Kısa mesaj servisi (SMS)
- Baz istasyonu altsistemi (BSS) ise aşağıdaki fonksiyonel üniteleri içermektedir:
- Baz istasyonu kontrol merkezi (BSC)
- Baz istasyonu (BTS)

GSM sistemi, kapsama alanının tamamını oluşturan radyo hücrelerinin bir araya gelmesi şeklinde gerçekteştirilmiştir. Her hücre, bir grup radyo kanalı üzerinde çalışan bir ana baz istasyonuna (BTS) sahiptir. Bu kanallar, girişimi önlemek amacı ile komşu hücrelerde kullanılan kanallardan farklı olurlar. Bir BTS grubu, bir baz istasyonu kontrol merkezi (BSC) tarafından kontrol edilmektedir. BSC bu gibi fonksiyonları verim ve güç kontrolü şeklinde idare etmektedir. Bir kaç adet baz istasyonu denetleyicisine bir mobil anahtarlama merkezi (MSC) hizmet vermektedir. MSC'ler mobil anahtarlama merkezi ağ geçidi (GMSC) üzerinden, kamu telefon şebekesi (PSTN), tümleşik hizmetler sayısal ağ (ISDN), kamu mobil telefon şebekesi (PLMN) ve birçok özel şebekelerle yapılan karşılıklı görüşmeleri kontrol etmektedir.



Şekil 2.1 Gezgin iletişim sisteminin yapısı (GSM)

Genel olarak GSM sisteminin çalışma şekli, şekil 2.1’de görülen şebeke üzerinde bir çağrının taşınması (bağlantı kurulması) şu şekilde gerçekleşmektedir. Mobil Station (kullanıcı cihazı MS), yeterli derecede yüksek bir işaret seviyesine sahip bir baz istasyonu (base transceiver station BTS) bulduğunda çağrıyı başlatır. Eğer bu işaret seviyesine bulamaz ise çağrı başlatma işlemi gerçekleştirilemez. Baz istasyonu kullanıcı cihazı ile operatör şebekesi arasında erişimi sağlayan bir ara birim olarak ifade edilebilir. Baz istasyonu ve içerisindeki verici, alıcı kısım ve ara bağlantıyı sağlayan sistemin tümü baz istasyonu olarak tanımlanmıştır, BSS, MS için iki yönlü bir işaretleşme kanalı tahsis eder ve aynı sırada mobil haberleşmede ara bağlantıları gerçekleştiren mobil anahtarlama merkezi (Mobile Switching centre MSC) ile bağlantı kurar. Mobil anahtarlama merkezi, baz istasyonu alt sistemi BSS vasıtasıyla gelen kullanıcı cihazına ait uluslar arası mobil abone kimliği IMSI bilgisini kullanarak ev konumu merkezi veri tabanı HLR’den bu aboneye ait bilgileri alır ve ziyaretçi konumu kayıt defteri VLR’ye gönderir.

Bu işlemten sonra MS aranan numarayı bildirir, BSS bir çağrı kanalı kurar ve MSC çağrıyı hedef abonenin bulunduğu diğer bir BSS’ye veya MSC’ye ya da ara bağlantı üzerinden başka bir haberleşme şebekesine yönlendirir. Haberleşme sırasında MS’nin bir başka hücreye geçmesi halinde aktarım (handover) frekans atlama işleminin gerçekleştirilmesi gerekir. Yeni hücre aynı BSC tarafından yönetiliyorsa, bu işlem BSC tarafından yapılır. MS’nin başka bir BSC tarafından hizmet verilen bir hücreye geçmesi

durumunda geçiş işlemi MSC tarafından gerçekleştirilir. Bir MS'ye ağrı gelmesi halinde ise BSC tarafından MS'nin bulunduğu hücre içerisinde işaretleşme kanalı üzerinden bir işaret gönderilir. MS'ler bu işaretleşme kanalını sürekli olarak takip etmektedir. MS'nin ağrını kabul etmesi halinde BSC bir ağrı kanalı kurar ve haberleşme sağlanır. Bir MS'ye ağrı gelmesi halinde ise BSC tarafından MS'nin bulunduğu hücre içerisinde işaretleşme kanalı üzerinden bir işaret gönderilir. MS'ler bu işaretleşme kanalını sürekli olarak takip etmektedir. MS'nin ağrını kabul etmesi halinde BSC bir ağrı kanalı kurar ve haberleşme sağlanır.

Bir veya daha fazla BSS, abonenin şebekeye erişimini sağlayan kullanıcı cihazı ile santral arasındaki telsiz bağlantıyı sağlayan erişim şebekesini oluşturur. Erişim şebekesi olan baz istasyonu alt sistemi BSS, bir Baz İstasyonu Denetleyici (Base Station Controller, BSC) ve birden fazla Baz İstasyonu (Base Transceiver Station, BTS)'ndan oluşur. Bu nedenle bir BSS birden fazla hücreye hizmet verebilir. BSS, kanal tahsisi, bağlantı kalitesi, g yönetimi, işaretleşme ve ağrı trafiği denetimi, BTS'ler arası geçişlerin başlatılması, ve frekans atlamaşı (hopping)'ndan sorumludur. GSM, PSTN gibi devre anahtarlamalı bir çekirdek şebekeye sahiptir, yani şebeke NSS elemanları arasındaki bağlantılar Zaman Bölmeli oklama (Time Division Multiplexing, TDM) ile sağlanmaktadır. NSS, arabağlantının gerçekleştiği şebeke parçası olması nedeniyle GSM şebekesinin PSTN, ISDN ve Paket Anahtarlamalı şebeke (PAş)'lere çıkış kapısıdır. Kullanıcı cihazı işaretleşmesi, kullanıcı cihazı konumu güncelleme, BSC'ler arası geçiş denetimi, ağ alt anahtarlamada NSS'de yer alan Mobil Anahtarlama Merkezi (Mobile Switching Center, MSC)'nin işlevleri arasında yer alır. Her MSC'de diğer şebekelerle arabağlantı yapılması iktisadi olarak maliyetli olduğundan tüm mobil anahtarlama merkezleri birkaç Arageit Santrali (Gateway MSC, GMSC)'ne bağlanır ve diğer şebekelerle arabağlantı bunlarda gerçekleştirilir.

Kullanıcı cihazının gezginlik yönetimi HLR'nin yardımıyla gerçekleştirilir. HLR, bağlı bulunduğu ağ geçidi mobil haberleşme merkezi'nin hizmet verdiği bütün abonelerin Uluslararası Mobil Abone Kimliği Numarası (International Mobile Subscriber Identity, IMSI) gibi kimlik ve kullanıcı bilgileri ile kaydoldukları hizmetlere ilişkin bilgileri tutar. Bu bilgiler ile beraber abonenin etkin olarak bulunduğu Misafir Konum Kütüğü (Visitor Location Register, VLR) adresi de HLR'de tutulur ve abone yer deęiřtirdiķe güncellenir. VLR aboneye ait aktif işlemleri gerçekleştirmede kullanılan geçici ktktr. Bir kişi GSM

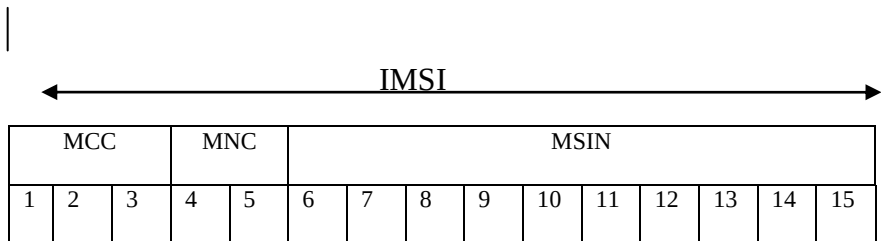
operatörlerinden birine abone olduğunda o operatörün HLR'sine kaydedilmektedir. Yapı olarak HLR'nin kopyasıdır. Genellikle MSC ile tümleşik olarak imal edilmektedir. VLR; bağlı olduğu MSC'nin hizmet verdiği alanda bulunan abonelerin konum, Geçici Mobil Abone Kimliği (Temporary Mobile Subscriber Identity, TMSI) numarası gibi bilgileri tutmaktadır. MSC, hizmet verdiği alandaki MS'ler için bütün işaretleşme ve anahtarlama işlemlerini yürütür. Ayrıca, HLR ve VLR'de tutulan bilgileri kullanarak abonelerin çağrı istemlerine cevap verir. Örneğin bir abonenin bütün gelen çağrıları kısıtlama isteği, MSC'nin bu aboneye ilişkin bilgileri HLR'den temin etmesiyle mümkün olmaktadır. Yukarıda anlatılanların yanı sıra şebekenin güvenliği, bakımı ve yönetilmesi ile ilgili bazı birimler de yer almaktadır. Örneğin, bir aboneye hizmet verilip verilmeyeceğinin belirlenmesi için HLR, Yetki Merkezinden (Authentication Center, AuC) teyit almak durumundadır. Cihaz Kimlik Kütüğü (Equipment Identity Register, EIR) ise kayıp, çalıntı veya kaçak MS'lerin listesini tutar. Şebekenin yönetimi ile görevli Şebeke Yönetim Merkezi (Network Management Center, NMC) ve şebeke bakımı ile görevli İşletme ve Bakım Merkezi (Operational and Maintenance Center, OMC) şebekenin diğer Parçalarıdır. GSM şebekesinde de diğer IP tabanlı olmayan haberleşme şebekelerinde olduğu gibi bir işaretleşme şebeke sistemi kullanılmaktadır. Kullanıcı cihazında ve baz istasyonunda gösterilmeyen sistem çalışmasında önemli unsurlardan biri MAC katmanıdır. MAC katmanı cihazların birbiri ile haberleşmesini sağlamaktadır. MAC katmanı kullanıcı cihazı ile baz istasyonu arasında iletişimde büyük öneme sahiptir. Bu katmanda iletilecek bilgi katmanlar arası geçişlerde iletim ortamına uygun hale getirilerek iletilmektedir.

GSM çalışma mantığı ile 3G ve wimax çalışma mantığı aynı sayılmaktadır. Sistem entegrasyonlarının GSM üzerine yapılmasından dolayı tercih edilmektedirler. İşaretleşme kanalı iletişim şebekelerinde bir kullanıcının diğer bir kullanıcıya bağlanması için gerekli işlemin yapıldığı kanaldır. iletişim şebekelerinde kullanıcıların servis isteği, konuşma yönünün kontrolü, adres bilgisi, ücretlendirilmesi ve konuşmanın çözülmesi bilgilerinin iletilmesi işaretleşme ile sağlanır. Konuşma kanalı ise kullanıcıların görüşmelerinin yapıldığı kanaldır. Sabit telefonlarda her 30 kanal için 1 işaretleşme kanalı kullanılırken GSM şebekelerinde 50, 60 bazen 90 konuşma kanalı için bir işaretleşme kanalı gerekmektedir. Bu seçimler GSM firmasının kullandığı firma ekipmanına bağlı olmaktadır. Çağrı kanalı görüşmenin yapıldığı kanaldır. GSM in en temel özelliği abonelere mekan sınırlaması getirmeyip hareket özgürlüğü tanımasıdır. Bu hareket serbestliğinin konuşma

sırasında da devam etmesi gerekir. Hareket halindeki abonenin , bulunduğu hücre sınırı dışına çıksa bile konuşmasını kesilmeden devam ettirilmesi Handover fonksiyonu ile sağlanır. Hard Handover’da Bir hücre ile bağlantı kopmadan diğer bir hücre ile bağlantının kurulmadığı handover seklidir. Soft Handover’da ise Birbirleri ile kesişen hücre alanlarının olduğu durumlarda ortaya çıkar. Abone 2 baz istasyonu ile bağlantıyı aynı anda kurabilir.

Mobil İstasyon (Mobile Station) Abonenin haberleşme için kullanması gereken mobil telefon cihazı vb. terminal cihazlarıdır. MS aboneleri ve aldığı hizmetlerin bilgilerini ev konum kütüğü (Home Location Register)’ne iletmek üzere tutan abone kimlik modülü (Subscriber Identity Module, SIM) kartını içerir. SIM (Subscriber Identity Module); SIM kart abone bilgilerini taşıyan akıllı kart olup, mobil cihaz içine takılmaktadır. Temel olarak şu bilgileri içerir. IMSI (International Mobile Subscriber Identity) Uluslararası Mobil Kullanıcı Kimliği. Bu numara şebekede aboneyi tanımlayan özel bir numaradır. Abone şebekede tek numarayla birden fazla servisi kullanabilir. (Telefon numarasından farklı bir numara) Bu numara yalnızca şebekeye ilk girişte kullanılır.

- IMSI - International Mobile Subscriber Identity (Uluslararası mobil abone kimliği)
- MCC - Mobile Country Code (Mobil Ülke Kodu)
- MNC - Mobile Network Code (Mobil Ağ/Şebeke Kodu)
- MSIN - Mobile Subscriber Identification Number (Mobil Abone Kimlik Numarası)



Şekil 2.2. IMSI Formatı

TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) Geçici Mobil Kullanıcı Kimliği IMSI yerine kullanılan bir numara olup, periyodik olarak değiştirilmektedir. Böylece abone bilgileri ve konuşma güvenliği için dinlenmeye karşı ilave bir korunma sağlamaktadır. Geçici mobil abone kimliğinin bir parçası olan LAI (Location Area

Identity) Abonenin şebekede (Kendi şebekesi veya tanımlı herhangi bir GSM şebekesi) bulunduğu yeri tanımlar. Bu kod sayesinde aboneye gelen çağrılar için bağlantı kurulmaktadır. Mobil abone kimlik numarası aboneleri tanımlamak için kullanılan benzersiz bir numaradır. Bu numara uluslar arası mobil abone kimliği IMSI içinde yer alır.

MSISDN (Mobile Station International Services Digital Network) Abonenin kullandığı telefon numarasıdır. Ülke kodu, şebeke kodu ve abone telefon numarasının birleşmiş halidir. GSM gelişme sürecinde geliştirilen iletişim teknikleri sırasıyla incelenecektir. (Kaya, 2010)

2.2. Yüksek Hızlı Devre Anahtarlama Veri (HSCSD)

GSM şebekesi normal şartlarda devre anahtarlama olarak tek frekans kanalından (her bir zaman slotundan) 14,4 Kb/s veri hızını desteklemektedir. Veri iletim hızını artırmak amacıyla devre anahtarlama veri kapasitesine sahip GSM şebekelerinde kullanılmaktadır. HSCSD ise bir kullanıcının birden fazla trafik kanalını aynı anda kullanabilmesini sağlamaktadır. MSC ile diğer şebeke santrali arasındaki ara yüz 64 Kb/s hızla sınırlı olduğundan HSCSD'nin de kuramsal hız sınırı 64 Kb/s'dir. 1998 yılında, veri iletim hızını arttırmak amacıyla devre anahtarlama veri kapasitesine sahip mevcut GSM şebekelerinin gelişmiş bir uygulaması HSCSD (Yüksek Hızda Devre Anahtarlama Veri - High Speed Circuit Switched Data) yapısı oluşturuldu. HSCSD kullanımı ile 57.6 kbps hızına kadar veri iletimi gerçekleştirmek mümkündür. Temelde yüksek hızlara ulaşmak çoklu GSM zaman slotu ile mümkündür. GSM, her biri 200 kHz kanal aralığının 8 zaman slotuna bölündüğü TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim - Time Division Multiple Access) tekniğini kullanır. Bir zaman slotu ses için ayrılmıştır. Aynı zamanda bir zaman slotu ile 14.4 kbps hızında veri iletimi gerçekleştirilebilir. HSCSD'de 57.6 kbps hızına ulaşmak için 4 slot kullanılmaktadır. Firmalar HSCSD sistemine sadece baz istasyonlarının yazılımını güncelleyerek geçebilmektedirler, ekstra herhangi bir donanım ilavesi gerekmemektedir. Uygulamada ise, mevcut terminal cihazlarının kapasite ve özellikleri göz önünde bulundurularak bir kullanıcıya 4 kanal tahsis edildiği varsayıldığında $4 \times 14,4 = 57,6$ Kb/s'lik bir veri hızı olmaktadır. Ancak HSCSD'nin sağladığı veri hızına erişebilmek için aynı anda birden fazla kanal kullanabilen terminal cihazları gerekmektedir. HSCSD standardının diğer bir özelliği asimetrik veri hizmetidir. Bu hizmette downlink'e (şebekeden telefona giden veri) uplink'ten (telefondan şebekeye giden

veri) daha fazla veri hızı tahsis edilebiliyor. Özellikle internet hizmetlerinde gönderilen veriden daha fazlası alındığı için, asimetrik hizmetler çok büyük avantajlar sağlamaktadır. Downlink'te böylece daha yüksek veri hızı gerçekleştiriliyor. Kullanıcının talep ettiği veri hızına uygun sayıda kanal şebeke tarafından tahsis edilir. Bu kanal tahsisi veri indirme sırasında asimetrik hizmetleri ile sağlanmaktadır. Bağlantı sırasında kanal sayısı artırılabilen. Mantıksal olarak birleştirilmiş olan kanallar hücrelerarası geçiş gibi şebeke işlemleri sırasında tek bir kanalmış gibi ele alınır. Çift yönlü bağlantı için bakışumlu (simetrik) ve bakışumsuz (asimetrik) veri hızları kullanılabilir. Bu servisten sonra GPRS GSM' de yerini almıştır.

2.3. Genel Paket Radyo Hizmetleri (GPRS)

GPRS, mevcut GSM şebekesi üzerinden bundan önceki teknolojilere göre yüksek hızlı ve uçtan uca paket veri iletişimini sağlayan bir teknolojidir. Noktadan noktaya ve noktadan çok noktaya veri iletimi mümkün kılmaktadır. GPRS, internet gibi paket veri şebekelerine telsiz erişimi (kablosuz) basitleştiren ve geliştiren yeni bir taşıyıcı hizmetidir. Veri şebekeleri ile bağlantıyı sağlayan GPRS Geçit Destek Düzümü (GPRS Gateway Support Node, GGSN) ve kullanıcılara ait veri trafiğini denetleyen GPRS Hizmet Destek Düzümü (Serving Gateway Support Node, SGSN) elemanları ile GSM şebekesi üzerinde fazlaca değişiklik gerektirmeden kurulabilmektedir.

Talep edilen trafiğe göre paralel GGSN cihazları kurularak GPRS şebekesi genişletilebilmektedir. GPRS'in tek trafik kanalını birden fazla abonenin kullanımına olanak veren şekil 1.3'de görüldüğü gibi paket anahtarlama yapısı, şebeke kapasitesinin artmasına imkân vermekte ve her bir kullanıcıya 8 kanal veya her kanala 16 kullanıcı tahsis edilebilmektedir. Veri hızı kuramsal olarak 9 ila 115 Kb/s arasındadır. Uygulamada ise veri hızı 50 Kb/s seviyelerinde gerçekleşmektedir. GPRS'de bakışumlu ve bakışumsuz bağlantı sağlanabilmektedir. GPRS veri hızlarına erişebilmek için GPRS'i destekleyen yeni bir terminal cihazı gerekmektedir. Yüksek hızda bir GPRS bağlantısının kurulma süresi sadece 1-2 saniye almakta ve yalnız bir kez yapılması yeterli olmaktadır. Bu aşamada, son kullanıcı herhangi bir şebeke kaynağını kullanmadan sürekli hatta kalabilmekte ve kapasiteye ihtiyaç duyulduğunda erişim gecikmeleri ise yalnız birkaç yüz milisaniye almaktadır. GPRS üzerinden gerçekleşen veri transferi detaylandırılacaktır. Bilindiği üzere GSM sistemi, her bir taşıyıcı frekans için 8 adet zaman kanalına sahiptir. Konuşma sırasında bu

kanallardan bir tanesi mobil istasyona atanır ve konuşma bitinceye kadar mobil istasyon tarafından kullanılır. GSM şebekesi üzerinden devre anahtarlama veri aktarımı içinde aynı durum söz konusudur. Mobil istasyon veri aktarımı için bir adet zaman kanalına sahiptir. Bu zaman kanalının hızı gerçekte 21.8 kbit/sn'dir. Fakat transfer edilen verinin doğru ve tam biçimde transfer edildiğinden emin olmak için transfer edilen verinin bir kopyası başka zaman kanalları tarafından iletilir. Sonuçta her zaman kanalı kendisine ve diğer zaman kanallarına ait yedek verinin iletimini gerçekleştirir. Bu çalışma biçimi devre anahtarlama veri aktarımı hızını 9.6kbit/sn hızına düşürmektedir. GSM şebekesinden yüksek veri hızlarına ulaşmanın bir yolu gönderilen net veri miktarının birden fazla zaman kanalı kullanılarak arttırılmasıdır. Yüksek veri hızına ulaşmak için bir diğer yol ise yeni bir kodlama tekniği kullanmaktır. Bu tekniğin daha fazla orijinal veri gönderip daha az yedek veri göndermesi, kısacası daha az güvenilirlik ile yüksek veri hızlarına imkan tanıması beklenir. Yukarıda sayılan teknikler GSM şebekesinde uygulanmıştır ve sonuçları HSCSD olarak bilinmektedir. HSCSD ile bir zaman kanalı üzerinden 14.4 kbit/sn veri aktarmak mümkündür.

Sekiz zaman kanalının beraber kullanımı durumunda 8×14.4 kbit/sn (115.2 kbit/sn) hıza ulaşılması beklenir. Fakat veri iletimi sırasında GSM şebekesinin klasik düğümleri üzerinden geçildiğinden (BTS,BSC,MSC,...) ve mobil anahtarlama merkezinin (MSC) her bir bağlantı için 64 kbit/sn'den daha yüksek bir hıza izin vermemesinden dolayı HSCSD pratik olarak 57.6 kbit/sn hızında sınırlanmıştır. Bu hız için HSCSD dört zaman kanalı kullanmaktadır. GPRS sistemi de yüksek veri hızlarına ulaşabilmek için HSCSD'nin kullandığı teknikleri kullanmaktadır. Bunlara ek olarak sekiz zaman kanalının tamamını bir oturum için kullanabilmekte ve her bir zaman kanalı üzerinden gönderebileceği veri miktarını güvenilirlikten ödün vererek 21.4 kbit/sn hızına çıkarmaktadır. GPRS sistemi, tasarımı gereği hava arayüzünü ve hava arayüzünün iletim kalitesine olan etkisini dikkate almaktadır. Hava arayüzünün iyi iletim karakteristiği gösterdiği durumlarda çok düşük yeniden gönderme oranı yeterli olmaktadır. Mobil istasyonun baz istasyona olan uzaklığı, haberleşme ortamının durumu hava arayüzü üzerinden gönderilen verinin düzgün biçimde yerine ulaşp ulaşmadığını etkileyen unsurlardandır. GPRS şebekesinde farklı durumlarda kullanılmak üzere dört farklı kodlama tekniği tasarlanmıştır. Kodlama teknikleri CS-1 (Coding Scheme-1), CS-2, CS-3 ve CS-4 olarak adlandırılmaktadır. Bu tekniklerden CS-1 net olarak 9.05 kbit/sn iletim hızına sahiptir. Bu hız devre anahtarlama veri iletim

hızından (9.6 kbit/sn) bile daha düşüktür. CS-1 kodlama tekniği kodlama teknikleri arasında en sağlam olan tekniktir. Çok kötü hava şartlarında bile kullandığı yüksek yedekli konvolüsyon tekniği ile iletişim sağlayabilmektedir. CS-2, CS-3 ve CS-4 kodlama teknikleri sırası ile 13.4 kbit/sn, 15.6 kbit/sn ve 21.4 kbit/sn hızlarına sahiptir. Çıkılabilecek maksimum veri iletim hızının 21.8 kbit/sn olması nedeni ile CS-4 kodlama tekniğinin hiçbir güvenilirlik sunmadığı anlaşılmalıdır. Bu nedenle CS-4 kodlama tekniği hava arayüzünün mükemmele yakın olduğu durumlarda veya abonenin baz istasyonuna çok yakın ve durağan ya da yavaş hareketli olduğu durumlarda kullanılır. [40].

GPRS Mimarisi ,Devre anahtarlama GSM şebekesi üzerinden paket anahtarlama biçimde haberleşebilmek için GSM şebekesine kanal kodlama birimi (CCU), paket kontrol birimi (PCU), GPRS servis düğümü (SGSN), SGSN konum veritabanı (SLR), ağ geçidi GPRS destek düğümü (GGSN) ve GPRS veritabanı (GR) eklenmektedir. CCU (Kanal kodlama birimi); Kanal kodlama birimi, kanal kodlama tekniklerini (CS 1-4) kullanarak mobil istasyonun şebeke ile haberleşmesini sağlayan birimdir. Kanal kodlama birimi her zaman baz istasyonu üzerinde gerçekleştirilmektedir. PCU (Paket kontrol birimi); Paket kontrol birimi, kanal erişim kontrolü, trafik ve güç kontrolü, paket veri birimlerinin (PDU) parçalanması / yeniden birleştirilmesi ve paket veri kanallarının kontrolü görevlerini yerine getirmektedir. Bu birim BTS, BSC veya SGSN' de gerçekleştirilmektedir. SGSN (GPRS servis düğümü) ve SLR (SGSN konum veritabanı); SGSN bünyesinde SLR isimli bir veritabanı bulunmakta ve abone ile ilgili bilgiler bu veritabanında tutulmaktadır. GSM mimarisinde bulunan MSC/VLR ikilisi GPRS sisteminde SGSN/SLR ikilisine karşılık düşmektedir.

SGSN Fonksiyonları;

- Belirli bir alan içerisindeki bütün mobil istasyonlara hizmet verir.
- Konum yönetimi yapar. Mobil istasyonun yer bilgisini tutar.
- Doğrulama kontrolü yapar. Mobil istasyonun GPRS hizmetine erişme hakkı olup olmadığını kontrol eder.
- Mobil istasyon ile GPRS şebekesi arasında mantıksal bağlantı kurulmasını sağlar.
- Sisteme bağlanma, kopma, yönlendirme alanı güncellemesi gibi serbest hareketlilik yönetimi fonksiyonlarını yerine getirir.

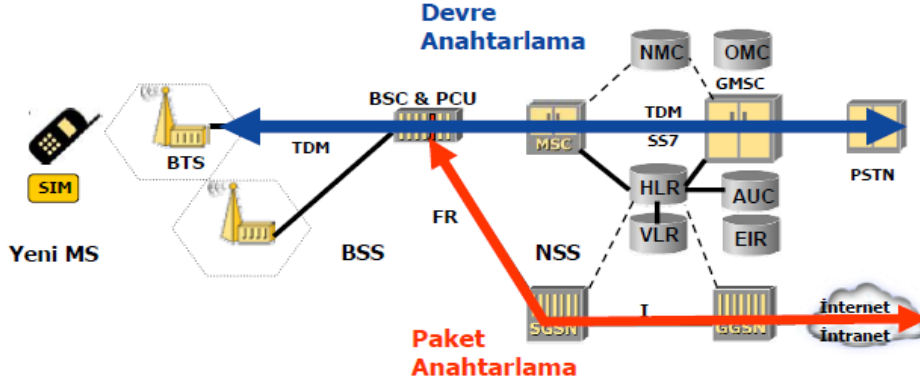
- Oturumun açılması/sonlandırılması, PDP (Paket veri protokolü) oturum etkinleştirilmesi ve iptali gibi oturum yönetimi fonksiyonlarını yerine getirir.
- Paket kontrol ünitesinden gelen veriyi GGSN'e gönderme gibi paket işleme fonksiyonlarını yerine getirir.
- SGSN'ler arası yönlendirme alanı güncellemelerini kontrol eder
- Ücretlendirme verisi toplama görevini yerine getirir.
- Performans ve hata yönetimi gerçekleştirir. Transmisyon anında ortaya çıkan problemlerin tespitini yapar.

GGSN (Ağ geçidi GPRS destek düğümü) ve GR (GPRS veritabanı); Paket veri şebekesi (PDN- En genel anlamda internet) ve GPRS sistemi arasında bulunan ağ geçit cihazıdır. GGSN bir yönlendirici gibi davranmakta ve trafik kontrolü yapmaktadır. GGSN aynı zamanda mobil istasyonun izlenmesini sağlamaktadır. PDN tarafından sadece GGSN görülmekte ve mobil istasyonun hareketliliği iletişimin sürekliliğini etkilememektedir. GPRS veritabanı (GR) GSM şebekesinde bulunan HLR'ın karşılığıdır. GR mobil istasyonların adres bilgilerini ve veri servislerine ait bilgileri tutmaktadır. Mobil istasyon tarafından bakıldığında internet'e erişim için iki önemli adım vardır. [40].

1. GPRS şebekesine bağlanmak. Bu işlem mobil istasyonun CCU ve PCU üzerinden geçerek SGSN'e bağlanmasıdır.
2. SGSN ve GGSN arasında PDP bağlantısının kurulması. GGSN, GSM şebekesinde bulunan ve başka devre anahtarlama sistemlerine bağlantıyı sağlayan GMSC'ye karşılık gelmekte ve paket anahtarlama dış şebekelere bağlantıyı sağlamaktadır.

GGSN Fonksiyonları;

- SGSN'den gelen veriyi dış veri şebekelerine gönderme fonksiyonunu gerçekleştirir.
- PDP oturum etkinleştirilmesi ve iptali, belirli bir SGSN'ye bağlantı kurulması veya bırakılması gibi oturum yönetimi fonksiyonlarını yerine getirir.
- GPRS şebekesine giren yeni mobil istasyonlar için DNS ve IP adresi atamalarını yapar.
- Ücretlendirme verisi toplama görevini yerine getirir.
- GPRS şebekesinin kendi bulunduğu bölüm için trafik ölçümü yapar.
- Veri transferi sırasında oluşan problemleri tespit eder. Hata yönetimi gerçekleştirir.



Şekil 2.3. GPRS kullanan sistem

2.4. Küresel Evrim İçin Geliştirilmiş Veri Oranı (EDGE)

3G sistemlerine doğru giden yolda en son adımı oluşturan EDGE (GSM evrimi için geliştirilmiş veri hızları), 3G lisansı alması zor olan veya alamamış mobil şebeke operatörlerinin yararlanması amacıyla geliştirilmiştir. EDGE, GSM operatörlerine, 3G şebekeleri üzerinde sunulan servislere yakın hızlarda hizmet sunma olanağı vermektedir. Aynı zamanda EDGE, daha sonra 3G kullanımında gerekli olacak modülasyon değişikliklerinin şimdiden yapılarak, GSM'den 3G'ye geçiş dönemi sürecinde de yardımcı olmaktadır. EDGE sistemi şebeke operatörleri tarafından, kurulumu basit olarak gerçekleştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kurulum için EDGE verici birimi her hücreye eklenmekte, baz istasyonu kontrol merkezlerinde ve baz istasyonlarında yazılım yenilemeleri yapılmaktadır.

Yeni EDGE vericileri, standart GSM trafiğini taşıyabilecekleri gibi gerekli durumlarda vericiler otomatik olarak EDGE modunda çalışabilmektedir. Abonelerin bu hizmetten faydalanabilmeleri için mobil cihazlarının EDGE sistemini destekliyor olması gereklidir. EDGE kullanımına başlanması, teknolojisinin büyük oranda GSM temelli olması nedeniyle operatörlere yatırım açısından çok büyük külfet getirmemektedir. EDGE çekirdek şebeke ve hücre kapsama açısından mevcut GSM mimarisi ile uyumludur. EDGE'nin arkasındaki fikir, mevcut devre ve paket anahtarlama tekniklerini kullanarak 200 kHz GSM bant genişliğinde daha hızlı veri iletimini sağlamaktır. EDGE, GSM ile aynı TDMA yapısını ve 200 kHz bant genişliğini kullanması nedeniyle aynı anda 900-1800 MHz frekans bandı bölgesinde mevcut GSM şebekeleri ile birlikte kullanılabilir.

EDGE, 384 kbps veri hızına ulaşmada alternatif bir modülasyon tekniği kullanmaktadır. HSCSD ve GPRS her bir zaman kanalı üzerine düşen bit hızını arttıran GMSK (Gaussian minimum kaymalı anahtarlama) modülasyon tekniğini kullanmaktadır. EDGE ise hava arayüzü içinde daha yüksek hızlara ulaşabilen 8PSK (8 faz kaymalı anahtarlama) adı verilen bir modülasyon tekniği kullanmaktadır. EDGE mevcut GSM sisteminin veri hızını üç kat arttıracak potansiyele sahiptir. GPRS'e benzer şekilde bir kullanıcı sekiz kanalı da kullanabilir. Her bir kanalda 48 Kb/s'lik veri taşınabilen EDGE ile veri hızı 384 Kb/s'ye ulaşmaktadır. GSM ile aynı TDMA çerçeve yapısını ve mevcut hücre ayarlarını kullandığı için sadece her hücreye bir EDGE alıcı verici birimi eklenmesi ile kolaylıkla mevcut GSM şebekesi üzerine kurulabilmektedir. EDGE hizmetlerinden yararlanmak için yeni terminal cihazlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Halen 52 ülkede 84 EDGE şebekesi hizmet sunmaktadır.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde çalışmamızda ele aldığımız 3G ve WİMAX'in gelişim süreçlerinden bahsedilerek sistemlerin kullandığı modülasyonlar açıklanarak Daha sonra 3G ve WİMAX'in kullandıkları erişim tekniklerinden bahsedilerek bunları diğer sistemlerden üstün kılan MAC katmanları incelenecektir. 3G ve WİMAX standartlarından bahsedilip Protokol yapıları anlatılacaktır. GSM ve radyo dalgalarının canlılar üzerinde meydana getirdikleri etkiler belirtilecek ve bu etkiler sonucu meydana getirdikleri değişikliklerin neler olduğu ortaya konacaktır.

3.1 MATERYAL

Materyal bölümünde teknolojilerin gelişim ve ortaya çıkarılış aşamalarından başlayarak ele alınıp, Bu aşamalardan sonra uygulamaların kullandıkları standartlardan bahsedilecek.

3.1.1. Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi (UMTS, 3G)

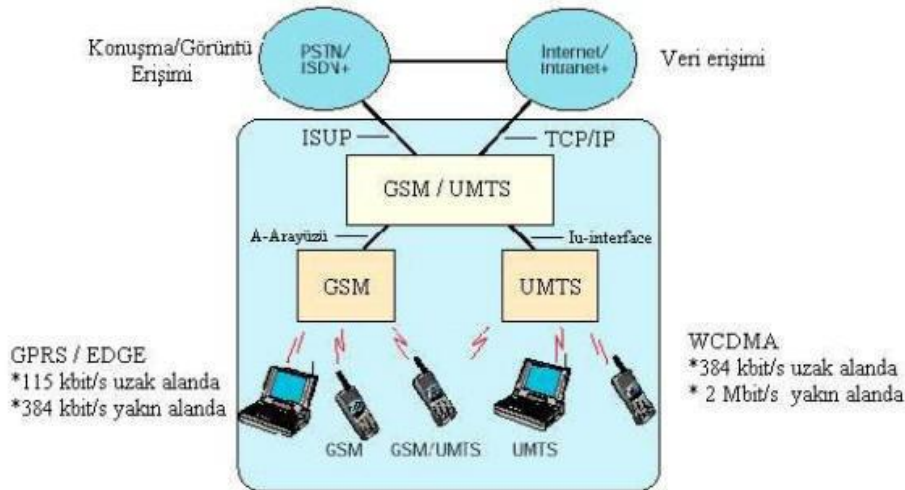
UMTS, IMT-2000'nin standartlarına uygun olarak Avrupa'da kabul edilen üçüncü nesil (3G) haberleşme sistemidir. Geniş bantlı çoklu ortam (ses, resim ve video aktarımı)

servislerinin kullanımına olanak sağlayan yüksek bit hızlarını desteklemektedir. UMTS, hem simetrik hem de asimetrik veri transferine olanak veren ve kaynakların verimli kullanılmasını sağlayan, devre ve paket bağlaşmalı hizmetlerin aynı anda verilebilmesini mümkün kılan ve IP protokolünü destekleyen bir şebekedir. Lisans sahibi operatörler yeni UMTS şebekesini, mevcut GSM şebeke alt yapısı üzerine kurulmasını tercih etmektedir. İkinci (2G) ve üçüncü nesil (3G) sistemleri bir arada çalıştırma düşüncesi ile beraber CDMA, UMTS' nin çoklu erişim yöntemi olarak benimsenmiştir. 2 Mbit/s hızındaki sayısal haberleşmenin kablosuz ortamda gerçekleşeceği ve bu sayede kullanıcıların ceplerinde taşıyacakları mobil cihazlar sayesinde birbirlerine görüntü ve ses aktarımı yapabileceklerdir.

Şekil 2.1'de GSM ve yeni teknolojilerden olan UMTS iletişim hız olarak ve kullandıkları bağlantı şekilleri olarak gösterilmektedir. UMTS'de belirgin bir hız farkı olduğu görülmektedir. Bu hız farkı WCDMA tekniğinden kaynaklanmaktadır. Şekilde UMTS ve GSM kanallarının birbirleri ile bağlantı şekillerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu bağlantı şekilleri standart koyan kuruluşlar tarafından belirlenerek firmaların bu şekilde ara bağlantı yapmaları sağlanmaktadır. Örneğin internet erişimi için ara bağlantı TCP/IP ile yapılabilir. Kısaca bu ara bağlantılardan bahsedecek olursak, Baz İstasyonu ve abone arasındaki sinyalleşme (Air Interface): Mobil terminal ile baz istasyonu arasında LAPDm (Link Access Protocol for the ISDN D-channel) sinyalleşmesi kullanılır. Sinyalleşme baz istasyonu ile baz istasyonu kontrolörü arasındaki LAPD sinyalleşmesi ile aynıdır. Burada "m" kullanılmasının sebebi, kullanıcı ve baz istasyonu arasında havada gönderilen mesajların şifrelenerek gönderilmesinden kaynaklanmaktadır. BTS ve BSC arasındaki sinyalleşme (Abis Interface): BTS ve BSC arasında LAPD sinyalleşmesi kullanılmaktadır. LAPD sinyalleşmesi iki BTS ve BSC arasında PCM 30 ara yüzü ile 2MB/sn iletim hızında bir bağlantı sağlar. GSM'e özel sıkıştırma teknikleriyle Air Interface'deki 8 trafik kanalı Abis Interface'de 64 KB/sn üzerinden iletilir. BSC ve MSC arasındaki sinyalleşme (A Interface): BSC ve MSC arasında numara 7 sinyalleşmesi kullanılmaktadır. Numara 7'nin dördüncü katmanındaki SCCP (The Signalling Connection Control Part) üzerine kurulan BSSAP (The Base Station system Application Part) uygulaması iki GSM ögesi arasındaki sinyalleşmeyi sağlamaktadır. BSSMAP (Base Station Management Application Part) bölümü, MSC ve BSC arasındaki mesajlaşmayı sağlar. Bu mesajlar genelde MSC'den BSC'ye doğrudur ve

MSC'nin BSC'den istediği bilgilerin elde edilmesi için gerekir. DTAP (Direct Transfer Application Part) mesajları ise, GSM switching öğelerinden mobil terminale doğru ve mobil terminalden switching öğelerine doğru gönderilen mesajlardır. Bu mesajlarda BSC sadece transfer işlemini gerçekleştirir. ISUP'ın işlevi; Bir GSM abonesi, bir çağrı yapmak istediğinde abonenin çağrı isteği ve baz istasyonu ve BSC üzerinden direkt olarak MSC'ye iletilir. MSC, abonenin çağrı yapmak istediği numaraya bakarak çağrıyı bir başka bir GSM santrale veya PSTN santrale yönlendirir. Bu yönlendirmeyi yaparken karşı santral ile ISUP mesajları ile sinyalleşmeyi gerçekleştirir. Öncelikle IAM (Initial Address Message) mesajı ile karşı santrale doğru bir çağrı isteği olduğunu bildirir, karşı santral de çağrıyı kabul ettiğini belirten ACM (Address Complete Message) mesajı gönderir.

IAM (Initial Address Message) mesajı ile MSC, karşı santral ile aralarındaki bir trafik kanalını bu çağrıya atar ve kanal bu sayede bu çağrı için bloke edilmiş olur. Eğer karşı santral aranan aboneye ulaşırsa, iki abone görüşmesini bu kanal üzerinden gerçekleştirir. Bu kanaldan sadece ses verisi gönderilir. Çağrı sonunda ise, çağrıyı sonlandıran tarafın santrali REL mesajı gönderir ve karşı santral de RELC mesajı ile çağrının sonlandırıldığını bildirir. Bu mesajın ardından, tutulan trafik kanalı serbest bırakılır ve diğer çağrıları almak üzere hazır hale gelir. Çağrının gerçekleşmesi için gerekli tüm mesajlaşma MTP (The Message Transport Part) üzerine kurulu ISUP mesajları ile gerçekleştirilir. ISUP ile sadece ses değil, veri ve faks haberleşmesi de gerçekleştirilir. Bir ISUP mesajının yapısı aşağıda şekil 3.1'dedir.



Şekil 3.1. GSM, UMTS Ortak Platformu

3.1.2. WİMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

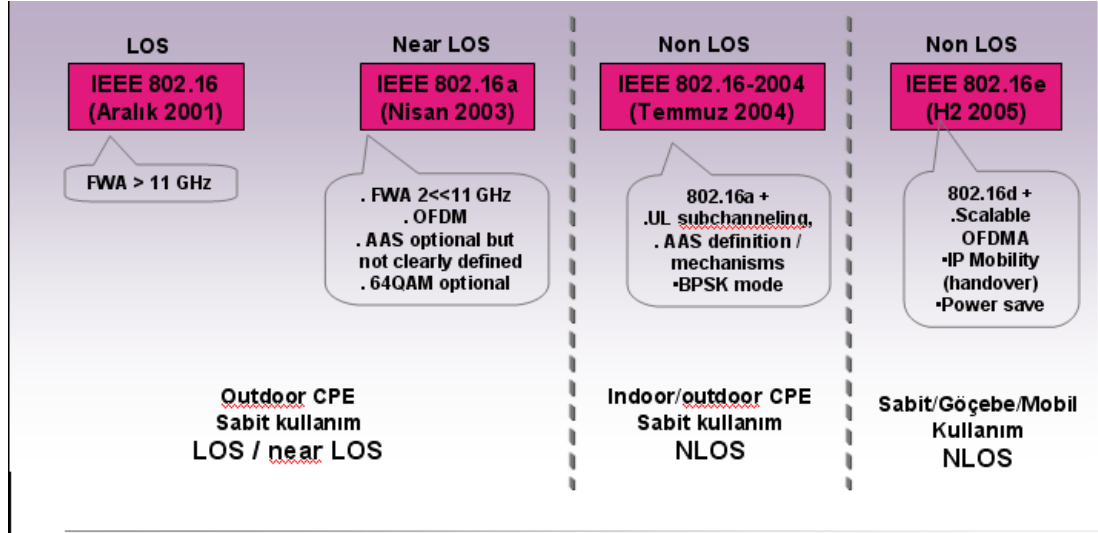
WI-MAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) Mikro dalga erişimi için evrensel uyumluluk, sistemlerin gelişimi IEEE 802.16 standartının 2001 yılında onaylanması ile başlar. Wimax teknolojisi IEEE çalışma grubu tarafından zamanla geliştirilir ve 2003 yılında 802.16a standardı, 2004 yılında ise 802.16d standartları onaylanmıştır. Her biri Wimax teknolojisi olan 802.16 ile 802.16a ve 802.16d standartları arasındaki temel farklar: LOS ve NON-LOS olmaları; kapsama alanları, sabit, göçebe olması ve bant kapasiteleridir. Wimax teknolojisinin günlük yaşama hızla girmesini sağlayacak standart IEEE 802.16e kodu ile tanımlanmıştır. Wimax ana evrimini tamamlayacak olan 802.16e'yi diğer Wimax standartlarından ayıran en temel farkı mobil olmasıdır. Mobil olma kullandıkları yeni modülasyon yapıları ve anten teknikleri ile yapmaktadırlar, bu yapılar metod kısmında anlatılmaktadır.

Wi-Max'ın haberleşme için kendi yapısına uygun modülasyon ve çoğullama yöntemlerini kullanmakta, OFDM ile OFDMA gibi gelecekte ağırlık kazanacak tekniklerle beraber MIMO tekniğini de kullanılmaktadır. Bu teknikler metod kısmında detaylı olarak anlatılmaktadır. 2001 yılında İNTEL öncülüğünü yaptığı ve Alvarion, Fujitsu ve Samsung gibi markaların işbirliği ile kurulan organizasyon olan WİMAX Forum wimax teknolojisinin en büyük savunucusudur. Amacı oluşturacağı standartlarla, cihazlar geliştirmek, geniş bant erişim sektörünün gelişmesini ve kablosuz geniş bant erişim kullanımının hızla yaygınlaştırmaktır. Bu kuruluş Firmalarca üretilen ürünlerin birbirleriyle uyumlu çalışmalarını sağlayıp ürünleri sertifikalandırır. Fujitsu, Samsung, Alvarion, Airspan, Frange Telecom, Türk Telekom gibi 430 civarı telekomünikasyon firması bu forumda yer almaktadır.

3.1.3. WİMAX Standartları

Kullanım alanları ve amaçlarına göre IEEE tarafından farklı standartlar geliştirilmiştir. 802.16 standardında ilk haliyle 10 ila 66 GHz frekans aralığında hizmet vermek için tasarlanmıştı. Fakat 2004 yılında (IEEE 802.16.-2004 ile) bu aralığa 2 den 11GHz ya kadar olan aralık da eklendi. Bu ikinci aralığın bir çok kısmı şu anda kullanımda değil ve bir çok ülkede lisanslanmamış durumda. Çok az bir kısmı da yerel lisanslar isteyen frekanslar. Üreticilerin alakasının henüz lisanslanmamış olan, 802.16-2004 ile

belirlenen frekans aralığında olacağı öngörülmektedir. Bu aralık içinde şimdilik 2,5, 3,5 ve 5,8 GHz'in kullanılması planlanmıştır. WİMAX bir MAN (metropolitan area network) teknolojisidir. Şekil 2.2'de standartların tarihleri ve neleri içerdikleri görülmektedir. Bu şekildeki standartlara bir önceki sayfada değinilmiştir.



Şekil 3.2. IEEE 802.16 standartları (IEEE)

3.1.4. WİMAX'de Kodlama

Her sistemde olduğu gibi WİMAX de haberleşme için kendi yapısına uygun modülasyon ve çoğullama yöntemlerini kullanmaktadır. Wi-Max, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), Dik Frekans Bölümlemeli Çoğullama ve OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) teknikleri kullanmaktadır. OFDMA ise OFDM temelli olmakla birlikte farklı olarak değişken bant genişliği ve aynı anda kullanım gibi özelliklerine sahip bir çoğullama sistemidir. Bu çoğullama sisteminden metod bölümünde ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca bu çoğullama teknikleri dışında, MIMO (Multiple Input/Multiple-Output – Çoklu Giriş Çoklu Çıkış) tekniğini de kullanmaktadır. OFDMA ve MIMO teknolojileri sayesinde servis sağlayıcılar tek bir baz istasyonundan daha fazla müşteriye hizmet sunma olanağına kavuşurken bunu daha az spektrum kullanarak gerçekleştirebilmek için geliştirilmesine yönelik araştırma geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Üçüncü nesil ve üstü iletişim teknolojileri büyük çapta OFDMA ve MIMO teknolojilerine dayalı olarak üretilecektir. MIMO teknolojisi gelişmiş

anten teknolojisinin adıdır. Bu teknolojide birden çok anten alışı ve verışı yaparak ortak çalışmaktadır. Metod bölümünde MIMO tekniği ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

3.2. METOD

Metod bölümünde 3G ve WİMAX sistemlerinin kullandıkları modülasyonlar GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ve çoklu erişim teknikleri incelenecek. 3G ve WİMAX tekniklerinde önemli yeri olan MAC katmanı detaylı olarak anlatılacaktır. Çevresel etkilerden, bu etkilerin sağlık ve çevreye zarar vermemesi için belirlenen sınır değerlerden bahsedilecektir.

3.2.1. 3G Erişim Teknikleri

İki yönlü haberleşme sistemlerinde veriyi her bir yönde iletmek için kanalları ayırmak gerekir. Buna duplexing denir. İletişim için kullanılan kanal tek yönlü yada çift yönlü olabilir. Tek yönlü sadece bir yönde kullanılabilir. Çift yönlü kanal yarı çift yönlü (half-duplex) ve tam yönlü (full-duplex) olmak üzere iki şekildedir. Yarı çift yönlü kanal, farklı zamanlarda her iki yönde bilgi gönderebilir ve alabilir. Tam çift yönlü kanal ise eş zamanlı olarak her iki yönde bilgi gönderebilir. Bu bölümde 3G de kullanılan tekniklerden bahsedilecektir. En belirgin olanı CDMA' dır. Bu teknikten önce modülasyonlar anlatılacaktır.

3.2.1.1. GMSK Modülasyon

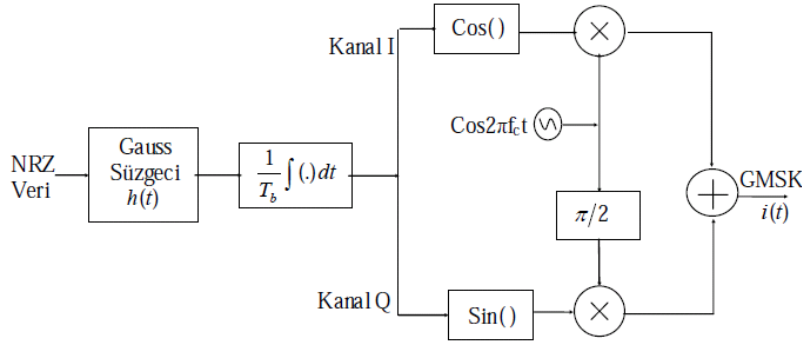
GMSK (Gaussian Minimum Shifting Keying), sayısal iletişimde bant genişliğini optimize eden bir ikili iletişim metodudur. MSK (Minimum Shift Keying) modülasyonunda sinüsel darbe biçimlendirme kullanılarak işaret daha düzgün hale getirilmekte, fakat sembol geçişlerinde faz sürekli olmasına karşın frekanstaki süreksizlik devam etmektedir. Gauss darbe biçimlendirmesi kullanılarak zaman uzayında daha düzgün bir işaret elde edilmektedir. Aynı zamanda, işaretin frekans spektrumunda ana bant genişliği daraltılabilmekte ve frekans spektrumunda daha düşük genlikte yan bantlar elde edilmektedir. Gauss darbe biçimlendirilmesinin kullanıldığı MSK modülasyonuna GMSK modülasyonu olarak adlandırılır. GMSK modülasyonunda bilgi işareti Gauss süzgecinden

geçirilir. Filtrenin transfer fonksiyonunu gauss dağılımı biçiminde tasarlanır. Gauss filtresinden geçirilmesi sayesinde işaret sembolleri arasındaki geçişin düzgünleştirilmesi sağlanır ve bu işlemin sonucunda işaretin bant genişliğinin azaltılması sağlanır. Gauss filtrenin birim darbe cevabı oldukça düzgün olduğundan, modüleli işaretin fazı, sembol periyodu üzerinde sürekli değişir. Bant dışı gücü, Gauss ön modülasyon filtresinin keskin kesim frekansı ile oldukça bastırılır. GMSK, kablosuz ve mobil haberleşmede genel olarak kullanılan sayısal modülasyon tipidir. GMSK'da, taşıyıcının fazı Gauss filtre ile filtrelenmiş işarete göre sürekli değiştirilir. GMSK'nın geniş anlamda avantajları; oldukça dar bant genişliği, sabit zarf modülasyonu ve faz uyumlu ve faz uyumsuz demodülasyon içinde uygun olmasıdır. Sabit zarf, GMSK'yı çevresel bozulmalardan daha az etkilenir olmasını sağlar ve bu bozulma genlik modülasyonundakinden daha azdır. Kullanılan GSM sistemlerinde standart olarak $B.T_b=0,3$ oranlı GMSK, kablosuz sayısal iletimi sağlayan DECT sistemlerde ise standart olarak $B.T_b=0,5$ oranlı GMSK modülasyonu uygulanmaktadır. [39]

GMSK işaretinin üretilmesi ise Şekil 3.3'da verilen blok yapı ile elde edilir. GMSK modülasyonu için bir bit dizisi sıfıra dönüşsüz (NRZ) dizi olarak tasarlanmıştır ve ondan sonra Gaussian birim yanıtlı alçak geçiren filtreden geçirilir. ISI'nın miktarı, Gaussian iletim filtresinin bant genişliği, B ile bit süresi T_b 'nin çarpımı bT_bTB 'ye bağlıdır. Filtrenin çıkışında işaret taşıyıcı ile modüle edilir. GMSK işaretleşmesi için, demodülasyon MSK gibi diferansiyel deteksiyon işleminden geçirilir. $B.T_b$ çarpımının yüksek değeri için veri hızı düşük ancak ISI daha azdır. Düşük $B.T_b$, S/N oranı yüksek ve hata olasılığı düşük kanallarda tercih edilir. GMSK için Gauss darbe biçimlendirme süzgeci kullanılmaktadır. ISI; Sınırlı bir bant genişliğine sahip bir haberleşme kanalı üzerinden iletim yapıldığında, haberleşme kanalı iletilen işaretin frekans spektrumunu sınırlandırmaktadır. İşaretin frekans spektrumunun sınırlandırılması sonucunda, zaman uzayında darbe şeklinde yayılma meydana gelmektedir. Darbe şeklinin zaman uzayında yayılması sonucunda darbe, kendisine ayrılan bit zaman diliminin dışına ve dolayısıyla komşu darbelerin zaman dilimlerinin içersine taşmaktadır.

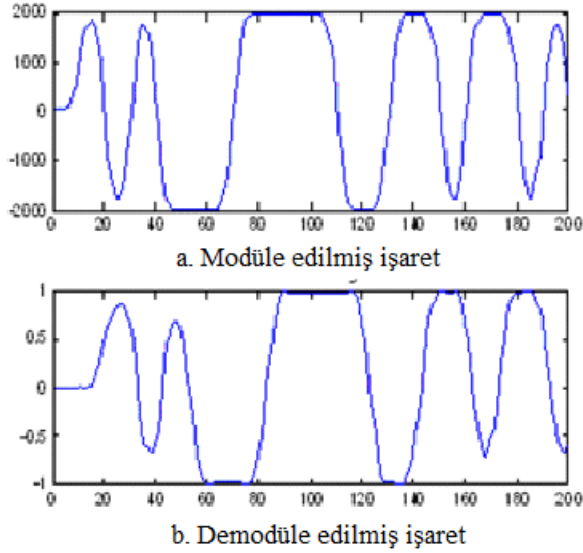
Bu durum simgelerarası karışma (Inter Symbol Interference – ISI) olarak isimlendirilir. İletilen darbe işaretleri kendi zaman dilimlerinden komşu zaman dilimlerine taşıdığı durumda, komşu zaman dilimindeki sembollerin doğru olarak algılanma olasılığı

azalmakta ve bunun sonucunda iletim performansı düşmektedir. Optimal performans için, alıcıya gelen işaretlerin yeniden elde edilmesi için, ISI'nın düşük olduğu anda örneklenmelidir. Bu, işaretin bant genişliği azaltılması açısından istenerek yapılan ISI değeri GMSK için kritik bir değerdir. Burada MSK'dan bahsetmek gerekirse: Minimum Kaydırmalı anahtarlama (MSK), sürekli fazlı frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK)'nın özel bir halidir. FSK'nın analog modülasyondaki karşılığı Frekans Modülasyonu (FM)'dur.



Şekil 3.3. GMSK Modülasyon Blok Yapısı

GMSK modülasyon işaretleri Şekil 3.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. modüle edilmiş işaret

Gönderilen işaretin bozulma olmadan alındığı görülmektedir. Zaman uzayında işaretin yüksek frekans bileşeni kaybolmaktadır. GMSK tekniği ile sıradan dar bantlı telsiz kanallarında onlarca kata varan kapasite artışı sağlayabiliriz. Gauss filtresi, sayısal elektriksel sinyali şekillendirirken ISI oluşturur. Sistemin geri kalanında meydana gelecek

hatalar, ISI hatasını arttırarak GMSK verimini düşürür. GMSK modülasyonun da , zaman uzayında daha düzgün bir işaret elde edilerek işaretin frekans spektrumunda bant genişliğinin azaldığı ve daha düşük genlikli yan bantlar elde edildiği görülmektedir. MSK, T_b kadarlık bit zaman aralığında dik işaretleşmeyi sağlayabilecek ve kullanılacak dik taşıyıcılar arasındaki aralığın en düşük olduğu FSK modülasyon türüdür. Modülasyon indeksi bu özelliği sağlayabilmek için 0.5'e eşittir. [39]

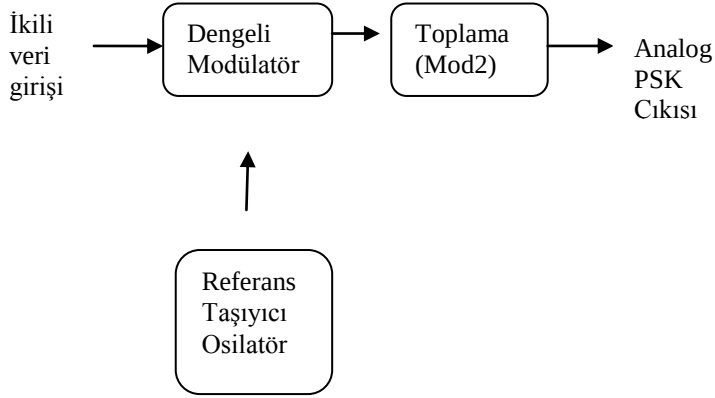
MSK bir FSK modülasyon gibi gerçekleştirilebileceği gibi sinüzoidal darbe şekillendirilmesine maruz kalmış OQPSK (Öteli dördün faz kaydırmalı anahtarlama) yapısında da gerçekleştirilebilir. MSK karakteristiği nedeniyle özellikle kablosuz haberleşme sistemlerinde çok tercih edilen bir modülasyon tekniğidir. Kablosuz haberleşme sistemlerinde tercih edilmesini sağlayan en temel özellikleri:

- Çıkış işareti yoğun güç spektrumuna sahiptir.
- Doğrusal olmayan C sınıfı yükselteçlerle gerçekleştirilebilir.
- Gürültü ve karışmaya karşı yüksek dayanıklılığa sahiptir.
- Gerçeklenmesi kolaydır.

Gauss alçak geçiren filtresinden geçmiş işaretleri kullanan MSK modülasyon yöntemine, Gauss minimum kaydırmalı anahtarlama (Gaussian MSK) adı verilir. Gauss filtresi, bant genişliği (B) ve bit zamanı (T_b) çarpımından oluşan BT_b değeri ile ifade edilir. Daha yoğun bir güç spektrumu zamanda yayılmalara ve dolayısıyla bitlerin kendi zaman dilimlerinden diğer bitlerin zaman dilimine taşmasına neden olur. Buna semboller arası karışma (Inter Symbol Interference, ISI) adı verilir. Burada kontrollü olarak ISI oluşturulmaktadır. ISI'ya izin verilerek daha düşük bant genişliğinde yani daha yoğun güç spektrumuyla bir modülasyon gerçekleştirilmiş olur. GMSK önemli bir modülasyon yöntemidir, çünkü dünya genelinde birçok uygulamada kullanılmaktadır. Kullanıldığı sistemlerden bazıları şunlardır: GSM (Global System for Mobile Communication), DECT(Digital European CordlessTelephone), CDPD(Cellular Digital Packet Data), GMSK, kablosuz haberleşme sistemlerinde oldukça çok tercih edilen bir standart haline gelmiştir.[39]

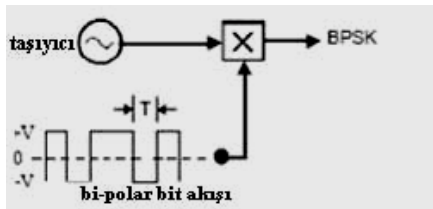
3.2.1.2. İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK) Modülasyonu

Bu modülasyon metodunda bir sinüs dalgası gönderilir ve sinüs dalgasının fazı sayısal bilgiyi taşır. İkili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK), tek bir taşıyıcı frekansı için iki çıkış fazı mümkündür. ((0 ve π) veya ($\pi/2$ ve $3\pi/2$)). Girişteki sayısal işaret değiştikçe taşıyıcının fazı iki açı değeri arasında kayar. Eğer sinüzoidal taşıyıcı iki durumlu bit dizisi tarafından modüle edilecekse çıkış işaretinin polaritesi bit dizisinin polaritesinin değiştiği noktada değişecektir. Bunu ifade eden blok diyagramı Şekil 3.6'da verilmiştir. Bir çıkış fazı 1 mantık düzeyini; diğeri ise 0 mantık düzeyini gösterir. Sayısal girişe bağlı olarak çıkış taşıyıcısının fazı da 180° farklı iki açı arasında değişir.



Şekil 3.5. BPSK blok Diagramı

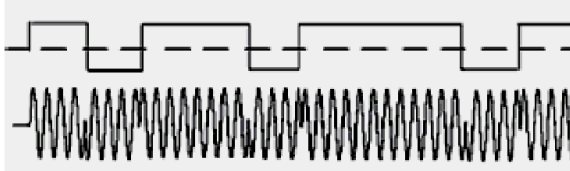
BPSK modülatörü Şekil 3.5.'de basitleştirilmiş bir şekilde blok diyagramını görmekteyiz. Faz kaydırmalı anahtarlama, sabit genlikli taşıyıcı işaretinin fazının, bilgi işaretine göre farklı fazlar arasında anahtarlanması ile yapılır.



Şekil 3.6. BPSK işareti üretilmesi

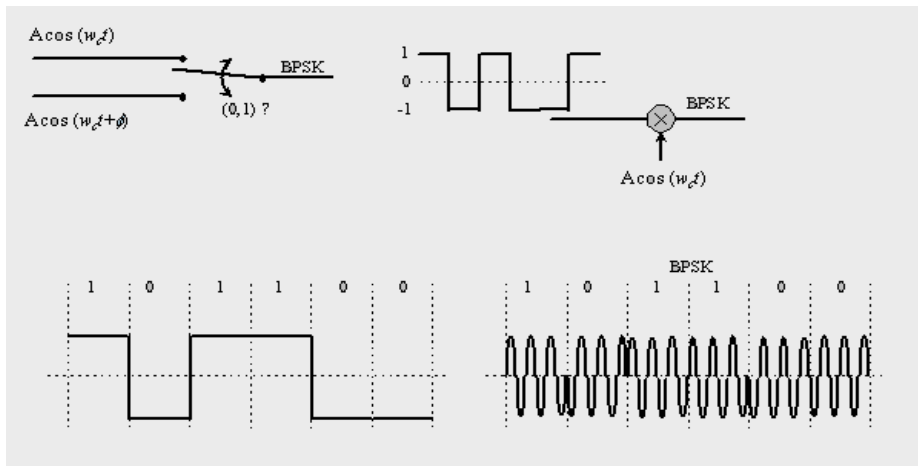
İkili Faz kaydırmalı anahtarlama (Binary Phase Shift Keying, BPSK) örnek olarak incelersek; 0 ve 180 derecelik faz farkıyla yollanacak iki seviye arasında anahtarlama

yapılır. AC genliği her iki taşıyıcı içinde aynıdır, yani her iki taşıyıcıda sabit ve eşit genliğe sahiptir. BPSK'nın spektruma yayılışı analog taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu ile aynıdır. En basit haliyle BPSK yapısı aşağıdaki Şekil 2.8.'deki gibidir. Bit dizisi hakkındaki bilgi gönderilecek BPSK işaretinin fazının değişimlerini içermektedir. Bir senkron demodülatör bu faz değişimlerine duyarlı olması gerekmektedir. BPSK işaretinin zaman ifadesi Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. BPSK İşareti

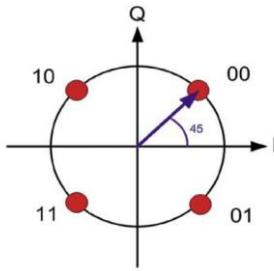
Şekil 3.8.'deki dalga şekli hakkında önemli bir bilgi vardır. Dalga şekli her faz değişikliğinde simetrik bir yapı oluşturmaktadır. Bunun sebebi bit hızının taşıyıcı frekansının alt katları olmasıdır. Bu normalde özel bir durum olarak bakılabilir ve her zaman pratikte gözlemlenemeyebilir. Bu durum bize alınan işaretten kolay bir şekilde bit dizisinin elde edilmesini sağlamaktadır. Verimli haberleşme sağlamak için bir band sorunu olabilir, bu sorun (band sınırlanması) ise ya temel-band'da ya da taşıyıcı frekansında halledilmektedir. [35]



Şekil 3.8. BPSK Modülasyon Yapısı

3.2.1.3. Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) Modülasyon

QPSK, gelen sinyalin sinüs dalgasının gelen bit çiftlerine uygun bir şekilde kaydırılan bir modülasyon şeklidir. Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi 00, 01, 10 ve 11 değerleri dalğanın üzerinde değişik etkilere sebep olur. Bir çifti 00'a denk ise, QPSK modülatörü çıkış sinyalinin fazını referans sinyale göre 45 derecelik bir kayma ile değiştiriyor. Gelen bitler 10'a denk ise, faz kayması 135 derece, genlik ise her bir çifti için aynı kalıyor. (vektörün uzunluğu diagramda sabittir).

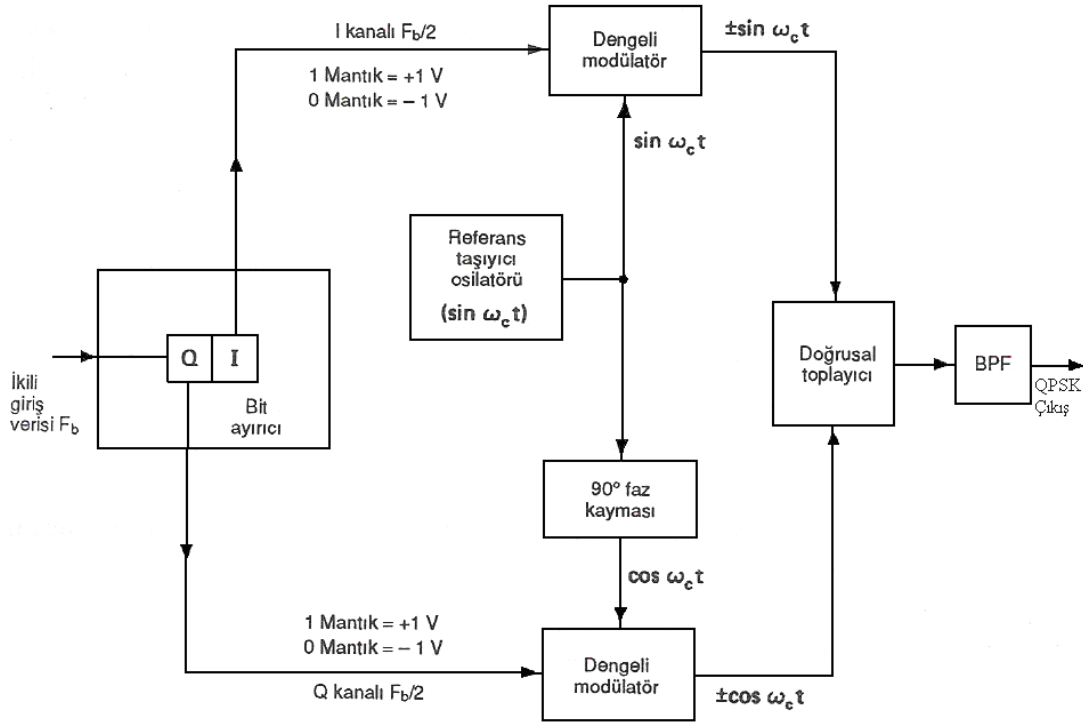


Şekil 3.9. QPSK Dalga Diagramı

Dörtlü faz kaydırmalı anahtarlama (QPSK) yada bazen dendiği gibi dik-açı (kuadratör) PSK, başka bir açı modülasyonlu, sabit- zarflı sayısal modülasyon biçimidir. Doğrusal olmayan modülasyon türlerinden biridir. Modüle edilmiş işaretin, modüle eden bilgi işaretinden etkilenmeyen sabit bir zarfı (genlik) vardır. İkili sayısal modülasyon sistemlerinde, her bir işaret aralığında iki olası işaretten biri iletilmektedir. Bu türden sayısal modülasyon sistemlerinde teorik band genişlik verimi 1 bps/Hz olmaktadır. Yani, Hz. başına saniyede gönderilebilen bit sayısı birdir. Oysa, birçok uygulamada, verilen bir band genişliğindeki haberleşme sisteminde, bir saniyede daha fazla sayıda bit iletimi mümkün olabilmektedir. QPSK'da tek bir taşıyıcı frekansı için dört adet çıkış fazı mümkündür. Dört farklı çıkış fazı bulunduğu için, dört farklı giriş durumu olmalıdır. [43].

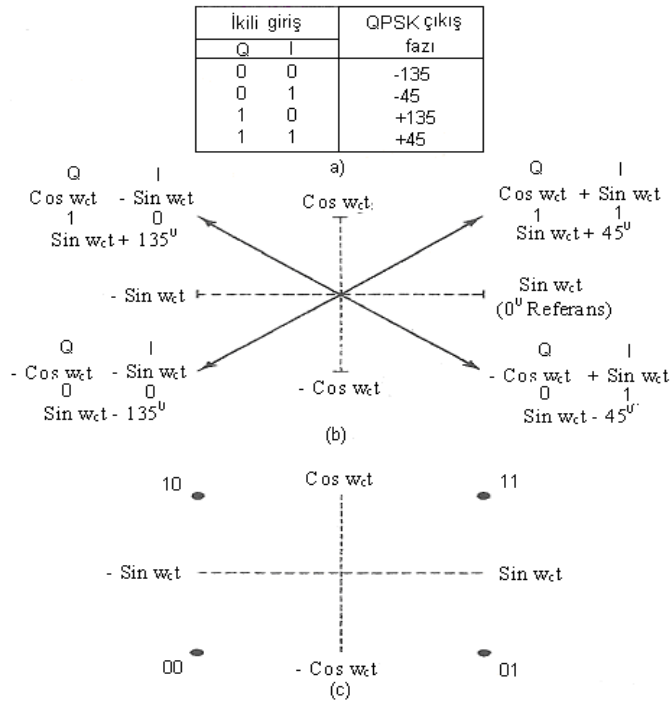
QPSK modülatörün sayısal girişi ikili (2 tabanında) bir sinyal olduğu için, dört farklı giriş durumunu üretmek için tek bir giriş bitinden fazlası gerekir. 2 bit ile dört olası durum mevcuttur. Bunlar 00, 01, 10, 11'dir. QPSK'de, ikili giriş verileri, iki bitlik gruplar halinde birleştirilir. Her iki bitlik grup kodu, dört olası çıkış fazından birini üretir. Dolayısıyla, modülatöre giren her iki bitlik grup için, tek bir çıkış değişikliği meydana gelmektedir. Bu nedenle, çıkıştaki değişim hızı (baud hızı), giriş bit iletim hızının yarısıdır.

QPSK modölatörün blok diyagramını Şekil 3.10.'de gösterilmiştir. İki bit, bit ayırıcıya gönderilir. İki bitin ayırıcıya seri girişinden sonra, bu bitler çıkışa aynı zamanda paralel olarak gelmektedirler. Bitlerden birisi I(imphase) kanalına, diğeri ise Q(quadrature) kanalına yönlendirilir. I biti burada referans modölatörü ile aynı fazda olan taşıyıcıyı modüle eder. Q biti ise referans taşıyıcıdan 90° farklı fazda olan yada onunla dik açı yapan (kuadrator) bir taşıyıcıyı modüle eder. Bir iki bitlik grup I ve Q kanallarına ayrıldıktan sonra, QPSK modölatörünün çalışmasının BPSK modölatör ile aynı olduğu görölmektedir. Temel olarak, bir QPSK modölatör paralel olarak birleştirilmiş iki BPSK modölatördür.



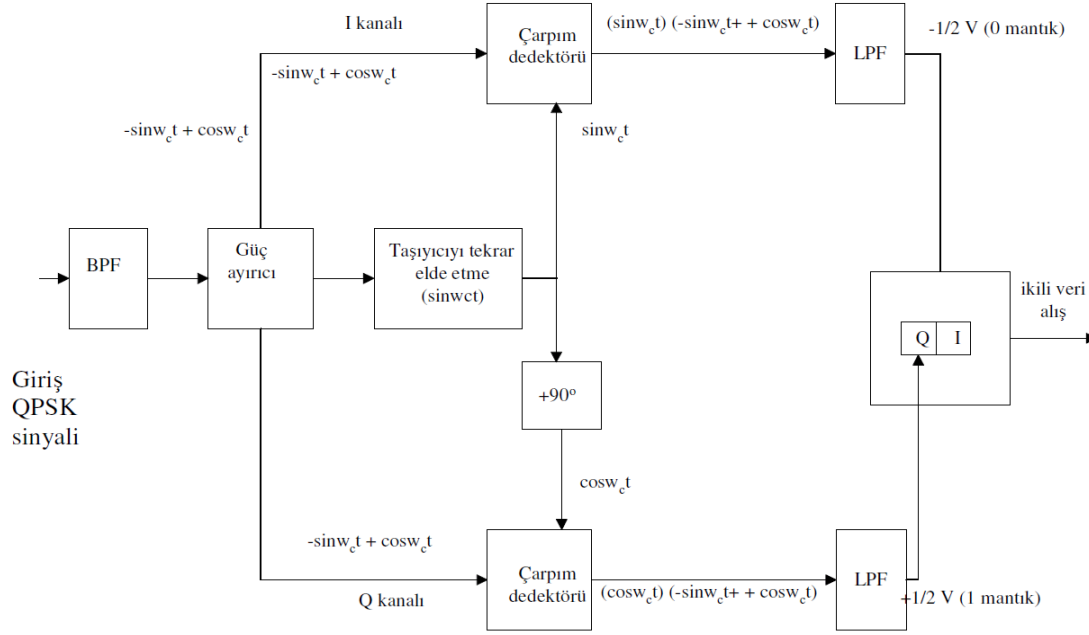
Şekil 3.10. QPSK Modölatör şekli

Burada da mantıksal 1 düzeyi = +1 V, mantıksal 0 düzeyi = -1 V olmaktadır. I dengeli modölatörünün çıkışında olası iki faz (+ sin $\omega_c t$ ve - sin $\omega_c t$) görölür, Q dengeli modölatörünün çıkışında olası iki faz (+ cos $\omega_c t$ ve - cos $\omega_c t$) görölür. Doğrusal toplayıcı iki-dik açılı (90° farklı fazlarda) sinyali birleştirince, oluşan dört olası faz vardır. Şekil 3.11.'de QPSK 'deki herhangi iki komşu fazör arasındaki açısal farkın 90° olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle bir QPSK sinyali, iletim esnasında hemen hemen $+45^\circ$ 'lik yada -45° 'lik faz kaymasına uğrayabilir ve yinede alıcıda demodüle edildiğinde kodlanmış bilgiyi doğru saklayabilmektedir. [36].



Şekil 3.11. QPSK Modülatör a) Doğruluk tablosu b) Fazör diagramı c) İşaret kümesi diagramı

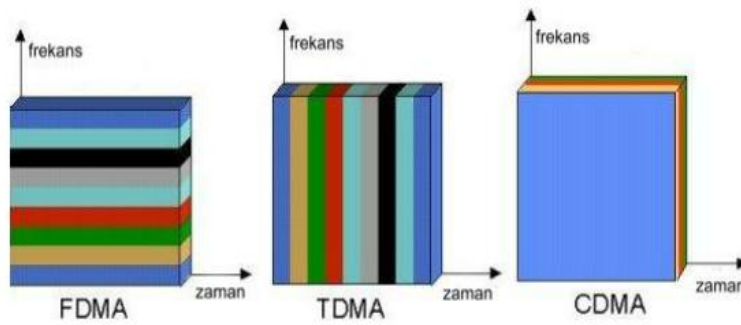
QPSK demodülatör (alıcı)'ün blok diyagramı Şekil 3.12.' de gösterilmiştir. Güç ayırıcı, giriş QPSK işaretini I ve Q çarpım dedektörlerine ve taşıyıcıyı tekrar elde etme devresine yönlendirir. Taşıyıcıyı tekrar elde etme devresi, başlangıçtaki gönderme taşıyıcı osilatörü işaretini tekrar oluşturur. Tekrar elde edilen taşıyıcının frekansı ve fazı, gönderme referans taşıyıcısı ile koherent olmalıdır. QPSK işareti, I ve Q çarpım dedektörlerinde demodüle edilir; dedektörler, başlangıçtaki I ve Q veri bitlerini üretir. Çarpım dedektörlerinin çıkışları, bit birleştirici devreye beslenerek, paralel I ve Q veri kanallarından, tek ikili çıkış veri akısına dönüştürülür. Gelen QPSK işaret, (00, 01, 10, 11) dört olası çıkış fazından herhangi biri olabilir.



Şekil 3.12. QPSK Alıcı

3.2.2. Çoklu Erişim Teknikleri

Çoklu erişim şekli kanal tahsisini ayarlamak için gereklidir. Çoklu erişim yöntemleri, veri transfer ortamının kullanıcılar arasında nasıl paylaşıldığını tanımlar. Kablosuz ağlarda, sınırlı olan bant genişliğini çok sayıda kullanıcıya aynı anda bilgileri iletme ve alma imkanı sağlamaktadır. Yaygın olarak bilinen çoklu erişim yöntemleri FDMA, TDMA, CDMA'dır. WCDMA erişim tekniği CDMA erişim tekniğinin geniş banda yayılmış seklidir.



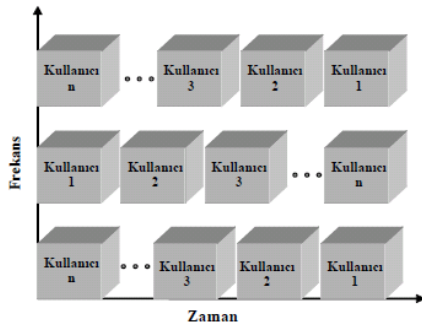
Şekil 3.13. Çoklu Erişim Teknikleri

Dar bant çoklu erişim sistemlerinde mevcut bant genişliği çok sayıda dar bantlı kanallara bölünür. Dar bant FDMA sisteminde her kullanıcıya diğerleri tarafından

kullanılmayan frekans kanalı tahsis edilir. Diğer taraftan, dar bant TDMA sisteminde frekans kanalları zaman aralıklarına bölünerek çok sayıda kullanıcının aynı frekans kanalını farklı zaman aralıklarında kullanması sağlanır. FDMA/FDD, TDMA/FDD ve TDMA/TDD gibi çoklu erişim sistemleri dar bant uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Geniş bant TDMA sisteminde, frekans kanalı çok sayıda zaman aralıklarına bölünerek kullanıcıların aynı frekans kanalını farklı zamanlarda kullanabilmesi sağlanır. Böylece, belirli bir anda bant genişliğinin tamamı sadece bir kullanıcı (aktif slotun sahibi) tarafından değerlendirilebilir. Geniş bant CDMA sisteminde ise, frekans kanalı aynı zamanda çok sayıda kullanıcıya hizmet verebilir. Geniş bant sistemleri iletim ortamını çift yönlü kullanma yöntemlerinden FDD ya da TDD'yi kullanabilir.

3.2.2.1. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)

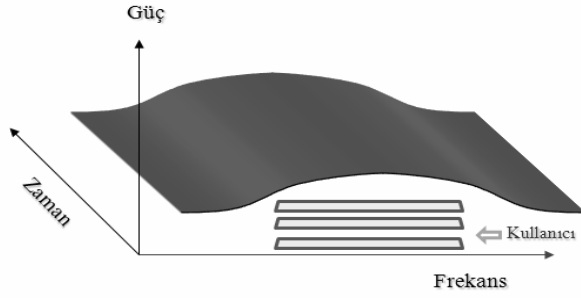
CDMA yönteminde iletim ortamındaki tüm kullanıcılar aynı anda ve aynı frekans bandını kullanarak haberleşirler. Her bir kullanıcıya bilgiyi kodlaması için kullanacağı eşsiz bir kod dizisi tahsis edilir. Her kullanıcı diğer kullanıcıların kodlarına dik (orthogonal) olan kendi kod sözcüğüne sahiptir. Gönderilen bilgiyi tespit edebilmek için, alıcının verici tarafından kullanılan kod sözcüğünü bilmesi gerekir. Alıcı, kullanıcının kod dizisini bilir ve işareti aldıktan sonra kodunu çözerek orijinal bilgiyi yeniden elde eder. Bu, istenilen kullanıcı kodu ile diğer kullanıcı kodlarının arasındaki çapraz ilintinin (cross correlation) düşük olması ile mümkündür.



Şekil 3.14. CDMA Yapısı

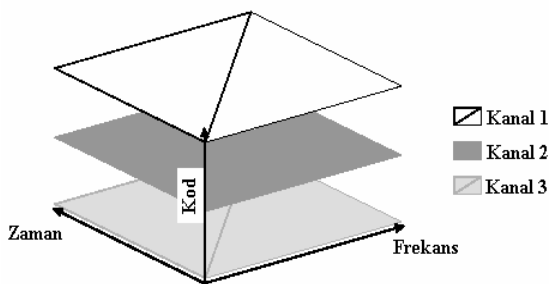
Kod işaretinin bant genişliği bilgi işaretinin bant genişliğinden çok büyük seçildiğinden, kodlama işlemi bilgiyi geniş bir spektruma yayar ve bu yüzden yayılı spektrum (spread spektrum-SS) modülasyonu olarak da bilinir. Sonuçta oluşan işaret SS işaretidir ve CDMA genellikle yaygın spektrum çoklu erişimi (spread spectrum multiple

access, SSMA) olarak da adlandırılır. CDMA, TDMA'den farklı olarak kullanıcılar arasında zaman senkronizasyonu gerektirmez. Teorik olarak, sınırsız adette kullanıcı aynı kanalı aynı zamanda kullanabilirler. Ancak kullanıcı sayısı arttıkça gürültü oranı artmaya başlar ve kalite giderek düşer. CDMA (Code Division Multiple Access – Kod Bölmeli çoklu Erişim) teknolojisinde her bir kullanıcıya bilgiyi kodlayıp diğer kullanıcılardan ayırt etmesi için kod dizisi tahsis edilir.



Şekil 3.15. CDMA

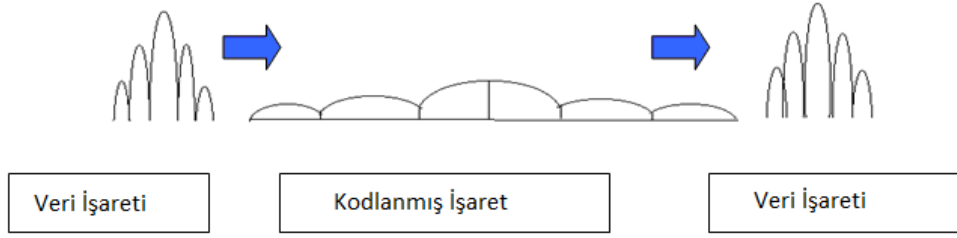
CDMA'nın genlik ekseninden yararlanma biçimi ve CDMA'nın çekirdek modülasyon yöntemi, yayılı spektrum (spread spectrum) tekniğidir. Yayılı spektrum işaretlerin iletim için gerekli minimum bant genişliğinden daha fazlasını kapsayacak şekilde frekans izgesinde yayarak kanalda iletilmesi tekniği olarak özetlenebilir. Böylece TDMA ya da FDMA sistemlerinin gerekseneceğinden çok daha geniş bir frekans bandı işgal etmektedir. Ancak CDMA, band genişliğine ödediği bedeli yüksek sığa (daha fazla bilgi) olarak geri kazanacaktır. CDMA'ın standart data iletim oranı 9.6Mbps.



Şekil 3.16. CDMA Tekniği Zaman-Frekans Karakteristiği

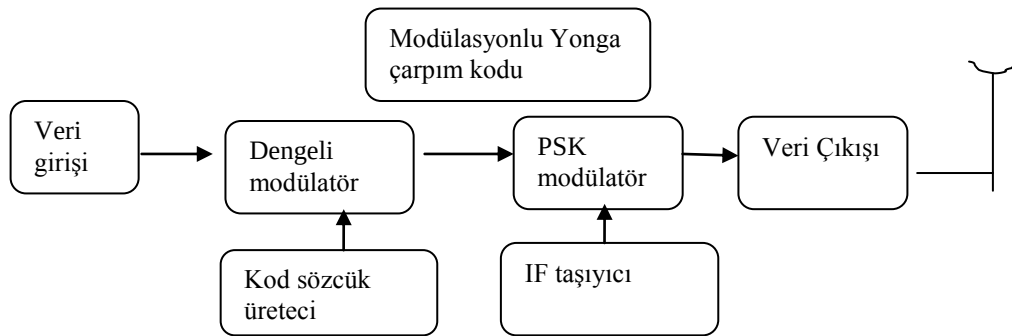
FDMA 'da, yer istasyonları bir uydu kanalı ya da sistemi dahilindeki belli bir bant genişliği ile sınırlıdır, ancak ne zaman iletim yapabilecekleri ile ilgili herhangi bir kısıtlama yoktur. TDMA'da yer istasyonunun iletimleri, belirli bir zaman bölümü ile sınırlıdır, kodları zamanla gönderdiğinden dolayı, ancak belli bir uydu sistemi ya da kanalı

dahilinde iletimlerinin hangi frekansı ya da bant genişliğini kullanabileceği ile ilgili herhangi bir kısıtlama yoktur.

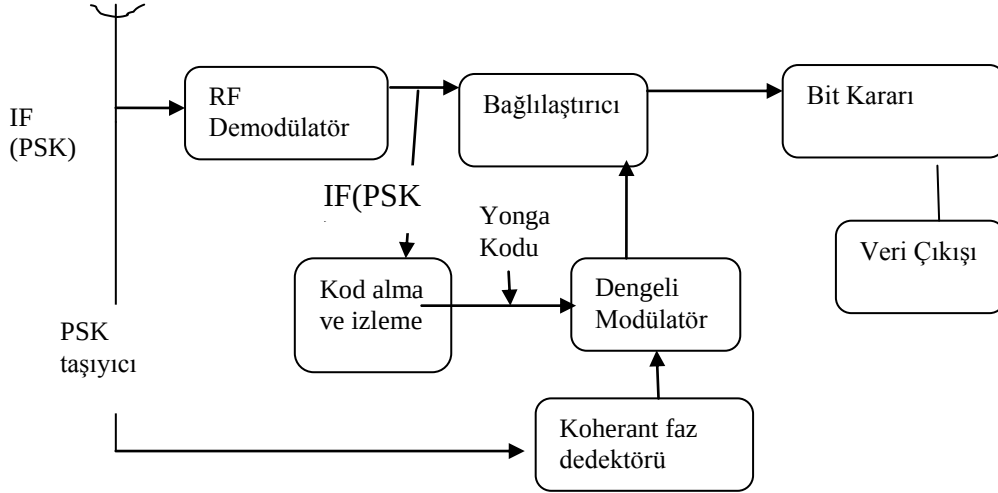


Şekil 3.17. CDMA yayılı spektrumu

Bant genişliği ile ilgili herhangi bir sınırlama olmadığı için (bant genişliği sınırlı değil), CDMA ‘ya bazen spektruma yayılmış çoklu erişim denmektedir; iletimler, tahsis edilen bütün bant genişliğine yayılabilir. İletimler, zarf şifreleme / şifre çözme teknikleriyle ayrılır. Yani, her yer istasyonun iletimleri yonga kodu adı verilen benzersiz bir ikili sözcükle kodlanır. Her istasyonun iletimini almak için, alma istasyonu o istasyonun yonga kodunu bilmek zorundadır. Bu anlatılan işlem veri işlemini gerçekleştiren yonga da olmaktadır. Buradaki veri girişi denilen kısım çoğullama yapıldıktan sonra iletim ortamına verilmeden önce yapılan işlemdir. Bu kısımdan sonra anten vasıtasıyla iletilmektedir.[49].



Şekil 3.18. CDMA verici blok diyagramı



Şekil 3.19. CDMA alıcı blok diyagramı

Kodlayıcıda, giriş verileri benzersiz bir yonga kodu ile çarpılır. Çarpım kodu bir IF taşıyıcıyı PSK (Phase Shift Keying) modülasyonuna tabi tutar. PSK modülasyonunda (ikili işaretler için faz kaydırmalı anahtarlama), bir taşıyıcının fazı sayısal işaretin iki seviyesine bağlı olarak iki değer arasında değiştirilir. İşaretimiz "0" seviyesinde ve "1" seviyesinde farklı faza sahip olur, Modülasyonlu taşıyıcı, iletim için radyo frekansına dönüştürülür. Alıcıda RF, IF'ye (ara frekansa) dönüştürülür. IF'den koherant bir PSK taşıyıcı tekrar elde edilir. Ayrıca yonga kodu elde edilir ve alma istasyonunun kod üreticini senkronize etmekte kullanılır. Alan istasyon yonga kodunu bilmektedir, ancak alma koduyla eşzamanlı olan bir yonga kodu üretmesi gerekir. Tekrar elde edilen senkron yonga kodu, tekrar elde edilmiş PSK taşıyıcıyı çarpır ve PSK taşıyıcı ile yonga kodunu içeren PSK modülasyonlu bir sinyal üretir. Yonga kodunu, PSK taşıyıcıyı ve veri bilgisini içeren alınan IF sinyali karşılaştırıcıda alınan IF sinyali ile karşılaştırılır. Karşılaştırıcının işlevi, iki sinyali karşılaştırmada ve başlangıçtaki veriyi tekrar elde etmektedir. Temel olarak karşılaştırıcı tekrar edilmiş PSK+taşıyıcı+yonga kodunu, alınan PSK taşıyıcı+yonga kodu vericiden çıkarır. Sonuç olarak, veri elde edilir.

3.2.2.2. WCDMA

WCDMA Avrupa Evrensel Gezgin Telefon Sistemleri (European Universal Mobile Telephone Systems -UMTS) adı altında önerilen 3G sistemlerinde CDMA (kod bölmeli çoklu erişim) erişim tekniğini kullanan geniş bantlı bir gezgin iletişim teknolojisidir. Japonya'da 3. nesil standartlarının belirlenmesinden sorumlu ARIB kurumu WCDMA

teknolojisini ilk olarak 5 MHz'lik bir frekans bandı içerisinde kullanmıştır. Yine Japonya'da dünyanın en büyük GSM operatörü NTTDoCoMo'da ETSI tarafından geliştirilen hem GSM hem de UMTS tarafından kullanılabilir bir çekirdek şebeke üzerinde çalışmalarına devam etmektedir.

GSM'e benzer şekilde MAC katmanı bir şebeke protokol yapısına sahiptir. Radyo erişim teknolojisi olarak Direct Sequence CDMA kullanır. WCDMA teorik olarak yerel alanda 2Mbps, geniş alan erişimdeyse 384 kbps hız sağlayacaktır. Bu yüksek hızlara erişebilmek için GSM ve Dar Bant CDMA'a göre daha geniş bir frekans bandına ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple de WCDMA için 5 MHz'lik taşıyıcı aralığı seçilmiştir (GSM'de 200 kHz). Çip oranı 3.84 Mbps, kullanılan modülasyon ise dual-kanal QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 'dir. WCDMA (Geniş bant CDMA) olarak da adlandırılmaktadır. FDD işlemleri biri uplink biri de downlink işlemlerinde kullanılmak üzere eşli (paired) spektrum segmentlerine ihtiyaç duyar. WCDMA kod bölmeli çoklu erişim tekniğini kullanan bir sistemdir. Zaman bölmeli çoklu erişimin (TDMA) tersi olarak, WCDMA de bütün kullanıcılar aynı anda iletim yapar. Ayrıca frekans bölümlenmesi de kullanılır fakat bant genişliği büyüktür. WCDMA, her kullanıcının sinyali, gerçek alıcıdan başka, diğer bütün sistemlerde gürültü meydana getiren tek bir kod kullanır. Bu yüzden, "kanal" terimi, bir taşıyıcı frekans ile kodun bileşimi olarak tanımlar. Korelasyon teknikleri, alıcının aynı anda aynı taşıyıcı üzerinde iletilen bütün kodlar arasındaki bu tek kodu çözmeye izin verir. WCDMA veri hızı ve bant genişliği parametrelerini kullanır, temel işlemler bütün CDMA sistemleri için aynıdır. WCDMA ve mevcut CDMA sistemleri arasında bir fark vardır. (Agilent Technologies,2001)

Buda WCDMA'nin daha fazla bant genişliğine sahip olmasıdır (IS-95 1.23 MHz, WCDMA de 3.84 MHz). Şekilde verilen örnekte WCDMA sistemi 12.2 kbps veri hızında sınırlı bir bant sinyali ile başlar. Gerçekte bu veri hızı 2 Mbps'ye kadar değişir. Kodlama ve serpiştirme (interleaving) işleminden sonra bu örnekte sembol hızı sonucu 30kps'dir. Bu özel kodların kullanılmasıyla 3.84 MHz bant genişliğine yayılır. Son yayılma bitleri çip olarak adlandırılır ve son yayılma hızı saniyedeki çip sayısı terimiyle (WCDMA için 3.84 Mcps) tanımlanır. Yayılma ve veri hızının (3.84 Mcps) kodlama veri hızına (30 kps) oranı yayılım kazancı olarak adlandırılır. Yayılma veri hızının başlangıç veri hızına (bu durumda 12.2 kbps) oranı işlem kazancı olarak

adlandırılır. CDMA sistemlerinde yayılım kazancı işlem kazancına büyük bir katkıda bulunur. İşlem kazancı gürültülü sinyalden, alıcının karşılıklı ilişki kurmayı sağlayarak istenen sinyali çıkarmasına izin verir. İletim yapıldığında bir CDMA sinyali diğer CDMA kullanıcılarının sinyalleri tarafından hükmedilen girişimin yüksek seviyelerinde denenir.

Bu durum iki şekil alır; aynı hücrede diğer kullanıcılardan oluşan girişim ve bitişikteki hücrelerden oluşan girişim. Toplam girişim miktarına bir de arka plandaki gürültü ve diğer sahte sinyaller de eklenir. Sinyal alındığında, karşılıklı ilişkiyi kuran kısım istenen sinyali geri alır ve girişimi reddeder. Bu mümkündür çünkü girişim kaynakları her kanalın tek kodu ile ilişkili değildir. WCDMA'de, her kanal için tek bir kod, scrambling kod ve OVSF kodun bileşimidir. Diğer CDMA sistemlerinde olduğu gibi WCDMA'de her baz istasyonunun çıkış sinyali, WCDMA şartnamesinde bir scrambling kod olarak tanımlanan bütün veri kanalları bir tek pseudo-noise (PN) kodu ile çarpılarak değiştirilir. Bir gezgin istasyon alıcısı, istenen baz istasyonunda kullanılan aynı scrambling kod ile bir baz istasyonundan diğerine, alınan sinyal spektrumu arasında uygunluk sağlanmasıyla ayırt edilebilir. Benzer olarak her bir istasyonunun çıkış sinyali, baz istasyonu alıcısına, bir gezgin kullanıcıdan diğer bir gezgin kullanıcıyı ayırt etmesine izin veren tek bir scrambling kodu ile sinyali değiştirir. Scrambling kodlar 3840 mcps sabit hızda uygulanır. Scrambling kodlar ortogonal değildir, bu yüzden iki gezgin kullanıcı arasında biraz girişim olabilir. Veri kanallama; Temel ses iletişiminden başlayarak, mesajlaşma, dosya transferi ve çoklu ortam uygulamaları için yüksek hızlı veri transferine kadar farklı talepleri karşılayan 3G sistemler, farklı veri transfer hızı ihtiyacı bulunan kullanıcıların taleplerini karşılamak ve oluşturdukları trafik ile baş edebilmek için, kullanıcılara ihtiyaç duyduğu veri transfer hızını sağlamaktadır. Baz istasyonu, bir çok kullanıcıya, aynı anda bir kanal üzerinden iletim yapar. Bu durumda gönderilen verilerin doğru adreslere (gezgin kullanıcılar) varabilmesi için WCDMA kanallama kodları kullanılır. [41]

3.2.2.3. 3G Standartları

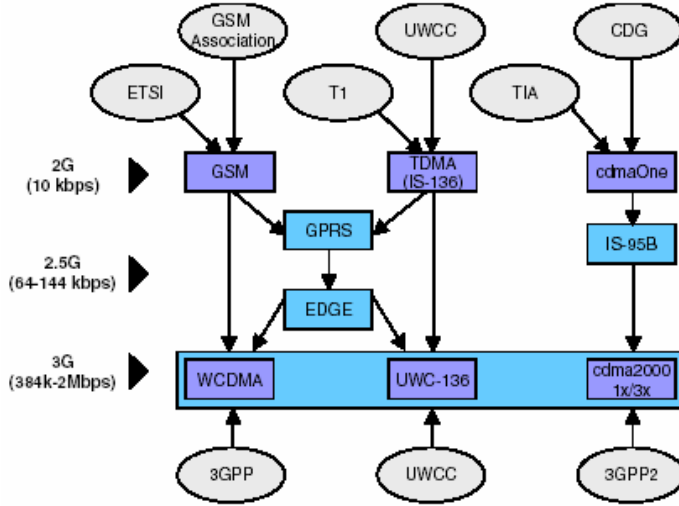
3G telekomünikasyon teknolojilerine yönelik standartlar, Uluslar arası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından geliştirilerek IMT-2000 olarak adlandırılmıştır. Bir telsiz ara yüzünün ITU tarafından IMT2000 kapsamına alınabilmesi için bazı

gereklilikler belirlenmiştir. Buna göre 3G telsiz ara yüzü araç içerisinde 144 Kb/s, kentsel alanda 384 Kb/s ve ev içinde 2048 Kb/s veri hızlarını sağlamak zorundadır. 3GPP tarafından IMT2000 için teklif edilen standartlardan ilki olan UTRA FDD, WCDMA ya da Doğrudan Sıralı (Direct Sequence, DS) CDMA olarak da tanımlanmaktadır. FDD kipi çalışma, aboneye doğru ve baz istasyonuna doğru olmak üzere iki ayrı frekans bandı gerektirir. Telsiz erişim tekniği 3,84 Mc/s yonga hızında ve 5 MHz bant genişliğinde veri iletimine sahip doğrudan sıralı CDMA niteliğindedir. Modülasyon tekniği, iki kanallı Faz Kaydırmalı (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK)'dır. 3GPP'nin ikinci teklifi olan UTRA TDD, Zaman Kodlu IMT (International Mobile Telecommunications Time Code, IMT TC) olarak adlandırılmakta ve doğrudan sıralı CDMA telsiz erişimi tekniğini kullanan iki sürümü bulunmaktadır. Bunların ilki 5 MHz bant genişliğinde ve 3,84 Mc/s yonga hızındaki UTRA TDD, ikincisi ise 1.6 MHz bant genişliği ve 1.28 Mc/s yonga hızı kullanan Zaman Bölmeli Eşzamanlı CDMA (Time Division Synchronous CDMA, TDSCDMA)'dır. TDD sistemleri tekli spektrum bölümleri üzerinden çalışabilmektedir. [37].

Evrensel Telsiz Haberleşme Konsorsiyumu (Universal Wireless Communications Consortium, UWCC)'nin tek taşıyıcılı (Single Carrier, SC) UWC-136 arayüzü, TIA/EIA-136 ve GSM GPRS teknolojilerinin birbirlerine yaklaştırılması ve TIA/EIA-136 teknolojisinin 3G yeteneklerine yükseltilebilmesi amacıyla TIA'nın öncülüğünde geliştirilmiştir. Bu amaçla 30 kHz kanallarının ses ve veri kapasiteleri artırılmış, yüksek gezginlik uygulamalarında 384 Kb/s için 200 kHz taşıyıcı, düşük gezginlik uygulamalarında ise 2 Mb/s için 1,6 MHz taşıyıcı eklenmiştir. Burada ifade edilen gezginlik sabit ve hareketli olmayı ifade etmektedir. Kablosuz bağlantılarda dahi bağlantı halindeyken hareket edildiğinde veri kayıpları olmakta ve bağlantı hızları düşmektedir. Kablosuz iletişimin en temel problemlerinden biridir kullanıcıların hareketli olmasından dolayı ortaya çıkan hareketliliğin yönetilmesinin güçlüğü. Hareketlilik yönetiminin amacı kablosuz ağların etki alanı içinde hareket halindeki birimler ile sağlıklı bir şekilde iletişim kurmak ve bu iletişimin devamlılığını sağlamaktır Bu sayede kablosuz ağlarda gelen ve giden paketler kesintisiz bir şekilde hareket halindeki kullanıcılara ulaşabilmektedir. Bunuda yeni geliştirilen ve bulunan standartlarla sağlamaktadırlar. [37].

ETSI standartlarıyla oluşturulan Sayısal Geliştirilmiş Kablosuz Telekomünikasyon (Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECT), bileşik FDMA/TDMA tekniği

kullanılmaktadır. 2G şebekesi bulunmayan yeni 3G işletmecileri, idari ve ticari gereklilikleri göz önünde bulundurarak 3G standartlarından herhangi birini seçebilmektedirler. Ancak 3G'ye geçiş yapmak isteyen 2G işletmecilerinin kullanacakları 3G standardını seçerken dikkate almaları gereken en önemli ölçüt mevcut şebekelerinin güvenliğini tehlikeye atmaksızın ve en düşük maliyetle 3G'ye geçiş yapabilmektir. standart uyumluluğu açısından 3G'ye güvenli ve uyumlu geçişin yolları gösterilmektedir.



Şekil 3.20. İşletmecilerin 3G'ye geçiş yolları

Yukarıda yer alan şekil 3.20'de işletmecilerin kullandıkları sistem ve standartlara göre 2G ve 3G geçişinde kullanacakları yollar gösterilmektedir. GSM kullanan işletmeci öncelikle GPRS sonra EDGE yolunu izlemek zorundadır. Bundan sonra kendi tercihinine göre WCDMA veya UWC'yi kullanarak 3G'ye geçecektir. Şekilden de anlaşıldığı gibi her yeni teknik veri hızında belirgin bir artış sağlamaktadır. 2.5G olarak gösterilen kısım EDGE ve GPRS teknolojileridir. Ülkemizde 3G geçiş aşamasında GPRS ve EDGE sıralamaları izlenerek geçiş yapılmıştır. Ancak işletmeler direk geçişte yapabilmektedirler. Bunun için lisans alınması gerektiğinden ve bu lisans aşamalarının Ülkerlerin üst kurulları tarafından belirli standartlar ve şartlar oluşturulduğundan zaman almaktadır. Daha yeni teknoloji olan ama 3G standardı kadar esneklik sunmayan GPRS ve EDGE kullanılmıştır.[37].

3.2.2.4. Slotlar Çerçeveler Ve Güç Kontrolleri

WCDMA uplink (UL) ve downlink (DL) veri kanallarının hepsi zaman slotlarına ve çerçevelere bölünür. WCDMA, farklı veri hızları ve farklı özellikte servis parametresi kullanan farklı türlerdeki servislerin iletimine olanak sağlayan esnek çoklu oranlı iletim şemasına sahiptir. Örneğin, kanal kodlama türü, boşluk verme derinliği ve veri hızı istenilen servis özelliğine göre değişebilir. İletim kanalı verisi şifrelenmiştir, bu yüzden fiziksel kanallara eşleştirilir ve radyo iletim bağı üzerinden iletilir. Kanal kodlama şeması hata izleme, hata düzeltme, hız eşleştirme, boşluk verme ve fiziksel kanala haritalanan iletim kanallarının bir birleşimidir. (ETSI). Veri, iletim kanalının özgün ve 10, 20, 40, ya da 80 ms olabilen her iletim süresi aralığında taşıma blok setleri halinde kodlama/çoğullama birimine ulaşır. Çoklu oranlı iletim aşağıdaki basamaklardan oluşur.

- Her iletim bloğuna döngüsel yedekleme kontrolünün (CRC) eklenmesi
- İletim bloğunun birleştirilmesi ve kod bloğunun bölünmesi
- Kanal kodlama
- Hız eşleştirme
- Süreksiz iletim (DTX) göstergesi bitlerinin eklenmesi
- Boşluk verme
- Radyo çerçevelerinin bölünmesi
- İletim kanallarının çoğullanması
- Fiziksel kanalların bölünmesi
- Fiziksel kanallara eşleştirme

İletim bloklarında hata izleme CRC yoluyla gerçekleştirilir. CRC 24, 16, 12, 8 ya da 0 bittir ve daha yüksek katman sinyali, her iletim kanalı için kullanılması gereken CRC uzunluğunun kaç olduğunu belirler. [41]. CRC'nin ilave edilmesinden sonra, iletim bloğunun birleştirilmesi ve kod bloğunun bölünmesi gerçekleşir. Bütün iletim blokları seri olarak birleştirilir. İletim süresi aralığındaki bit sayısı kod bloğunda kullanılan maksimum büyüklüğünden daha fazlaysa, iletim bloklarının birleştirilmesinden sonra kod bloğu bölünmesi gerçekleşir. Kod bloklarının maksimum büyüklüğü kullanılan katmanlı kodlama, turbo kodlama ya da kodlama kullanılmamasına bağlıdır. Maksimum kod bloğu büyüklükleri:

- Katmanlı kodlama: 504
- Turbo kodlama: 5114
- Kanal kodlaması yok: sınırsız

Radyo çerçevesi büyüklüğü denkleştirmesi, çıkışı aynı büyüklükte olan ardışık radyo çerçevelerine bölünebileceğini göstermek üzere, giriş bit sıralamasını doldurmaktır. Radyo çerçevesi büyüklüğü denkleştirmesi sadece UL'de gerçekleşir. DL'de hız eşleştirme çıkış bloğu uzunluğu radyo çerçevesi bölümü için zaten uygundur. İletim süresi aralığı 10 ms'den uzun olduğunda, giriş biti sıralaması bölünür ve ardışık radyo çerçeveleri üzerine eşleştirilir. Bu, spektrum etkinliğini geliştirerek birçok radyo çerçevesi üzerinden iletme olanak sağlar. WCDMA esnek veri hızları sağladığından, iletim kanalı üzerindeki bitlerin sayısı farklı iletim süresi aralıkları arasında değişebilir. Hız eşleştirme bu sembol hızı sonucunu, fiziksel bir kanalın olası sınırlı sembol hızı serisine uyarlar. Hız eşleştirme iletim kanalındaki bitlerin, yarı-durağan olan ve sadece daha yüksek katmanlı sinyalleşme yoluyla değişebilen hız eşleştirme özneliğine göre tekrarlandığı ya da delindiği anlamına gelir. Bitlerin sayısı maksimumdan düşükse DL'de iletim kesilir (örneğin, DTX radyo çerçevelerini bitlerle doldurmak için kullanılır). DTX gösterge bitlerinin kesim noktası radyo çerçevesinde kullanılan iletim kanallarının sabit veya esnek pozisyonuna bağlıdır. Bağlantı sırasında her iletim kanalı için sabit ya da esnek pozisyonlardan hangisinin kullanıldığı ağı bağlıdır. DTX gösterge bitleri sadece iletimin ne zaman kesileceğini gösterir, iletilmezler. Sonucu iletmek için bir ya da daha fazla fiziksel kanal kullanılabilir. Birden fazla fiziksel kanal kullanıldığında fiziksel kanal bölümü, bitleri farklı kanallar boyunca böler. İkinci boşluk vermeden sonra, fiziksel kanal eşleştirme gerçekleşir. [41]

Herhangi hücrel bir CDMA sisteminde baz istasyonu, bağlantı bütçesini optimize etmek için yeterli bir hızda gezgin kullanıcının iletim gücünü kesinlikle kontrol etmelidir. Bu uplinkte, güç kontrolüne göre gönderilir. Amaç birkaç dB içinde baz istasyonunda bütün gezgin kullanıcılardan alınan gücü ayarlamaktır ki uplinkte yayılma spektrumu bağlantı bütçesini optimize etmek esastır. IS-95 ten farklı olarak, gezgin kullanıcı bir de baz istasyonuna aynı hızda bit kontrol bitleri gönderir ve baz istasyonu kendi gezgin kullanıcı için amaçladığı veri kanallarının güçlerinin ayarlanmasıyla cevap verir. Bu downlink güç kontrolüne göre gönderilir. WCDMA hızlı kapalı çevrim ve açık çevrim güç kontrolü

prosedürlerine sahiptir. Hızlı güç kontrolü 1.5 KHz hızla çalışır (yuva başına bir komut). Tanımlanmış güç kontrolü adımı büyüklüğü 1dB'dir, fakat tanımlanmış adım büyüklüklerinin katları da kullanılabilir.

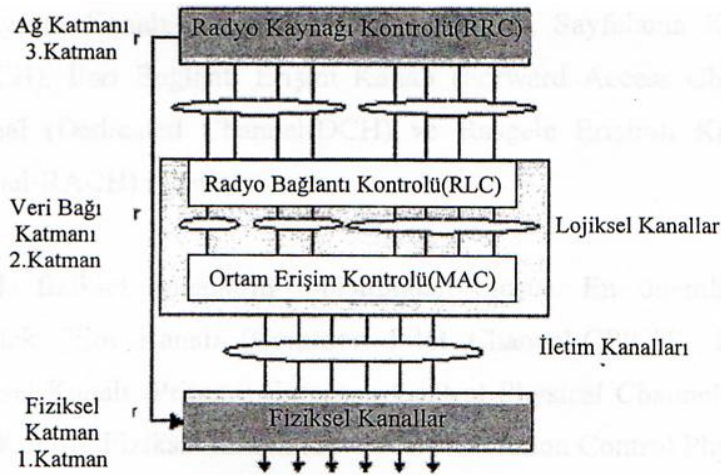
Hücreler arası geçiş durumunda, her komutun güvenilirliği dikkate alınarak farklı baz istasyonlarından güç kontrolü komutları birleştirilir. Sıkıştırılmış modda, hızlı güç kontrolü, daha hızlı yaklaşmak üzere sıkıştırılan bir çerçeveden sonra kısa bir periyot için daha büyük adım büyüklüğü kullanır. Açık döngü kontrolü RACH ya da CPCH de iletimi başlatmadan önce kullanılır. Bu sistemler fiziksel kanallar ve iletim kanallarında detaylı incelenecektir.

3.2.2.5. WCDMA protokolü

Fiziksel katman, data link katmanının Ortam Erişim Kontrol (Medium Access Control, MAC) alt katmanı ile ağ katmanının Radyo Kaynak Kontrol (Radio Resource Control, RRC) alt katmanı arasındaki bir arayüz olarak görev yapar. Bu katman MAC için farklı iletim kanallarını sunar. İletim kanalı hava arayüzü üzerinden iletilecek olan bilginin nasıl transfer edileceğini karakterize eder. MAC ise data link katmanının Radyo Link Kontrol (Radio Link Control, RLC) alt katmanı için farklı mantıksal kanalları sunar. Her bir mantıksal kanal da iletilecek bilginin tipine bağlı olarak şekillenir. WCDMA sisteminin protokol yapısı Açık Sistem Bağlantıları arası (Open Systems Interconnection -OSI) modeli standardına uyar. Şekil 3.21 alt katmanı gösterir. Ağ katman (3.katman) daha çok GSM standartlarına dayanır. Ağdan gezgin kullanıcı servis bağlantılarını gerçekleştirir.

Veri Bağı Katmanı (2.katman), Radyo Bağlantı Kontrolü (Radio link control-RLC) ve Ortam Erişim Katmanı (Medium Access Control-MAC) bloklarından oluşur. RLC bloğu, kullanıcı verisinin transferi, hata düzeltme, akış kontrolü, protokol hatası arama-düzeltilme ve ciphering görevlerini gerçekleştirir. 2. katmandaki MAC bloğunun işlevi lojiksel kanallar ile iletim kanalları arasında haritalama yapmaktır. Aynı iletim kanalı üzerinde çeşitli lojiksel kanalların multiplexing/de-multiplexing işlevinin etkili şekilde sağlanması görevini de yapar. Fiziksel katman, data link katmanının Ortam Erişim Kontrol (Medium Access Control, MAC) alt katmanı ile ağ katmanının Radyo Kaynak Kontrol (Radio Resource Control, RRC) alt katmanı arasındaki bir ara yüz olarak görev yapar. Bu katman MAC için farklı iletim kanallarını sunar. İletim kanalı hava ara yüzü

üzerinden iletilecek olan bilginin nasıl transfer edileceğini karakterize eder. [41]. MAC ise data link katmanının Radyo Link Kontrol (Radio Link Control, RLC) alt katmanı için farklı mantıksal kanalları sunar. Her bir mantıksal kanal da iletilecek bilginin tipine bağlı olarak şekillenir. Yukarıda belirtildiği gibi data link katmanı MAC, RLC, Paket Data Yakınsama Protokolü (Packet Data Convergence Protocol, PDCP) ve Tüme/Çoğa Gönderim Kontrol (Broadcast/Multicast Control, BMC) alt katmanlarından oluşur. Ağ katmanı ve RLC, kontrol amaçlı ve trafik amaçlı olarak bölünmüşlerdir. PDCP ve BMC sadece kullanıcı amaçlı olarak belirlenmiştir. Kontrol amaçlı yapılar ise RRC ve data link katmanı arayüzleridir (ETSI TS 125 201). Fiziksel katman (1.katman), fiziksel kanallar üzerindeki iletim kanallarını haritalar ve sistemin çalışması için gerekli olan RF işlevlerinin hepsini gerçekleştirir. Bu işlevler frekans ve zaman senkronizasyonu, hız uyumu, yayılım ve modülasyon, güç kontrolü ve soft handoff gibi işlemleri içerir.



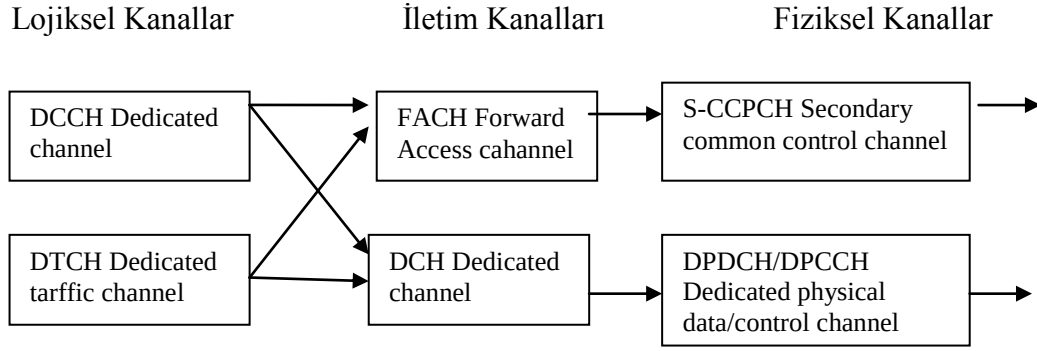
Şekil 3.21. WCDMA protokol yapısı

3.2.2.6. Fiziksel Kanallar ve iletim kanalları

Lojiksel kanallar fiziksel kanallar üzerinden iletilecek olan bilgiyi içerir. Lojiksel kanallar, Yayılım Kontrol Kanalı (Broadcast Control Channel-BCCH), Ortak Kontrol Kanalı (Common Control Channel-CCCH), Sayfalama Kontrol Kanalı (Paging Control Channel-PCCH), Atanmış Kontrol Kanalı (Dedicated Control Channel-DCCH) ve Atanmış Trafik Kanalını (Dedicated Traffic Channel-DTCH) içerir. WCDMA çoklu servisler arasında fiziksel kaynakların paylaşımını desteklemede iletim kanalları kavramını ortaya koyar. Her servis, veri, faks, ses ve sinyalleşme gibi daha yüksek sinyalleşme kanalları

tarafından farklı iletim kanalları, içinde belirli bir yola gönderilir. Bu servislerin farklı veri hızları ve hata kontrol mekanizmaları vardır. İletim kanallarından sonra bir veya daha fazla fiziksel kanal yolu ile iletimden önce gerektiğinde çoğullanır. Yüksek veri hızlı servisler veya düşük hızlı iletim kanallarının bir bileşimi birkaç fiziksel kanal içine çoğullanabilir. Bu esneklik, çeşitli veri hızlarında pek çok iletim kanalının fiziksel kanallara etkili bir şekilde tahsis edilebilmesine izin verir. Bu iletim kanallarının etkili bir şekilde çoğullanmasıyla, sistem kapasitesi optimize edilir. örneğin, üç iletim kanalının toplam veri hızı tek bir fiziksel kanalın maksimum hızını aşıyorsa o zaman gereken toplam veri hızına uygun olan yakındaki iki düşük hızlı fiziksel kanala yönlendirilebilir. İletim kanalları, Yayılım Kanalı (Broadcast Channel-BCH), Sayfalama Kanalı (Paging Channel - PCH), İleri Bağlantı Erişim Kanalı (Forward Access Channel-FACH), Atanmış Kanal (Dedicated Channel-DCH) ve Rastgele Erişimli Kanal (Random Access Channel-RACH)'ı içerir. WCDMA DL fiziksel kanallarının toplamından oluşur. En önemli DL fiziksel kanalları, Ortak Pilot Kanalı (Common Pilot Channel-CPICH), Birincil Ortak Kontrol Fiziksel Kanalı (Primary Common Control Physical Channel - P-CCPCH), İkincil Ortak Kontrol Fiziksel Kanalı (Secondary Common Control Physical Channel - S-CCPCH) ve Atanmış Fiziksel Veri ve Kontrol Kanalı (Dedicated Physical Data and Control Channel-DPDCH/DPCCH) dir. Uplink, bir Fiziksel Rastgele Erişimli Kanal (Physical Random Access Channel-PRACH), bir Fiziksel Ortak Paket Kanalı (Physical Common Packet Channel -PCPCH) ve DPDCH/DPCCH ten oluşur. [41].

Şekil 3.22'de DL için kanal haritalaması ile ilgili bir örneği göstermektedir. Gezgin kullanıcı boş olduğunda, baz istasyonu FACH iletim kanalları aracılığıyla DCCH lojikel kanalından atanmış bir sinyalleşme bilgisi gönderir. Bu bir gezgin kullanıcıya iletim için S-CCPCH, fiziksel kanal üzerinde, bilgiyi haritalar. Gezgin kullanıcı atanmış bağlantı modunda iken aynı sinyalleşme bilgisi DCH iletim kanalına doğru yönlendirilir. Bu gezgin kullanıcıya doğru iletim için DPDCH/DPCCH üzerindeki bilgiyi haritalar.



Şekil 3.22. DL’ de lojiksel, iletim ve fiziksel kanal haritalaması

İletim kanalı hava arayüzü üzerinden iletilecek olan verinin karakteristiğinin ne ve nasıl olacağını tanımlayan kanaldır. İki farklı iletim kanalı vardır (ETSI TS 125 211). Bunlar;

- Adanmış kanallar
- Ortak kanallar

Adanmış iletim kanalları olarak bir tane kanal vardır. Bu kanal, adanmış kanal (Dedicated channel, DCH) olarak adlandırılır ve DL ya da UL boyunca aktif haldedir. DCH, tüm hücreye/tüm hücreden iletilir. Görevi, hızlı veri transfer oranlarının değişimi (her 10 ms’de), hızlı güç kontrolü ve mobil kullanıcının adreslenmesi şeklindedir. Çizelge 3.1. , iletim ve mantıksal kanallar arasındaki bağlantıları adreslemeyi göstermektedir ve aşağıdaki bağlantılar mevcuttur. [41].

Çizelge 3.1. mantıksal trafik kanalları (kullanıcı kanalları)

Adanmış trafik kanalı (Dedicated traffic channel, DTCH)	Noktadan noktaya kanaldır. Kullanıcı bilgilerinin iletimi için bir mobil kullanıcıya adanmıştır. DTCH hem UL’de hem de DL’de vardır.
ODMA adanmış trafik kanalı (ODMA dedicated traffic channel, ODTCH)	Noktadan noktaya kanaldır. Mobil kullanıcılar arasında kullanıcı bilgilerinin iletimi için bir mobil kullanıcıya adanmıştır.

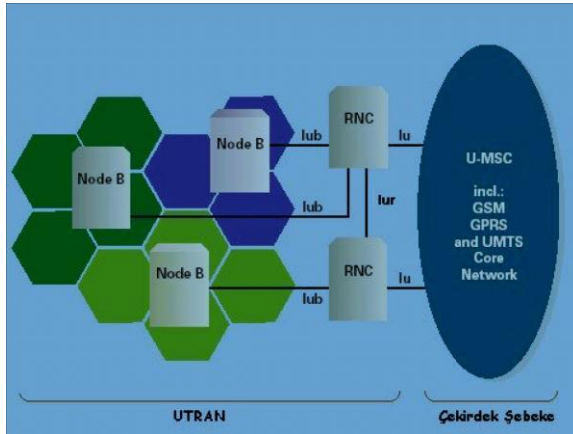
Çizelge 3.2. Ortak iletim

Tümegönderim kanalı (Broadcast channel, BCH)	DL iletim kanalı hücreye özgü bilginin tümegönderildiği sistemdir. BCH daima tüm hücreye düşük sabit bit oranı ile gönderilir.
İleri erişim kanalı (Forward access channel, FACH)	DL iletim kanalıdır. Sadece ışıma örüntülü (beamforming) anten kullanan hücrelere yada tüm hücrelere gönderilir
Bilgilendirme kanalı (paging channel,PCH)	DL iletim kanalıdır. PCH daima tüm hücreye gönderilir. PCH'in iletimi, verimli bir eylemsizlik modu prosedürünü oluşturmak için bir fiziksel katman sinyalinin iletimi ile ve bilgilendirme belirteci ile ifade edilir.
Rasgele erişim kanalı (Random access channel, RACH)	UL iletim kanalıdır. RACH daima tüm hücre içinden alınır. RACH sınırlı boyuta sahip bir veri alanı ile, bir çarpışma riski ile ve açık çevrim güç kontrolünün kontrolü ile karakterize edilir.
Ortak paket kanalı (Common Packet channel, CPCH)	UL iletim kanalıdır. CPCH, veri trafiğinin iletimi için kullanılan içerik tabanlı rastgele erişim kanalıdır. CPCH, UL, CPCH için güç kontrolünü sağlamak amacıyla DL yönünde adanmış bir kanal ile ifade edilir.
DL paylaşılmış kanal (Dowling shared channel, DSCH)	DL iletim kanalı farklı mobil terminaller tarafından paylaşılır. DSCH, DCH ile ifade edilir

- BCCH kanalı BCH'e bağlanır, aynı zamanda FACH'a bağlanabilir.
- PCCH kanalı PCH'e bağlanır.
- CCCH kanalı RACH ve FACH'a bağlanır.
- SHCCH kanalı RACH, USCH/FACH ve DSCH'ye bağlanır.
- DTCH kanalı ya RACH ya da FACH'ye, RACH ve DSCH'ye, DCH ve DSCH'ye, DCH'ye, FDD mod için de CPCH'ye bağlanır.
- CTCH kanalı FACH'ye bağlanır.
- DCCH kanalı ya RACH ve FACH'ye, RACH ve DSCH'ye, DCH ve DSCH'ye, DCH'ye ve CPCH'ye bağlanır. [41].

3.2.2.7. Utran

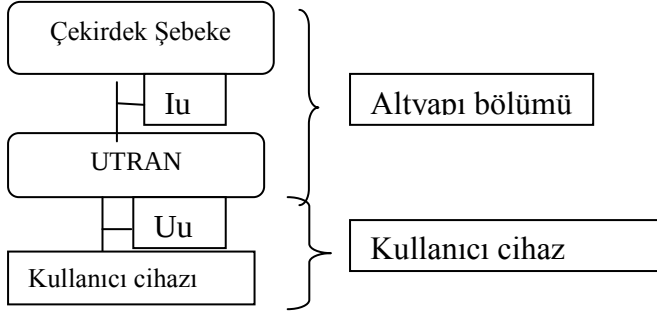
ETSI tarafından, çiftli frekans bantlarında Çift Yönlü Frekans Bölmesi (Frequency Division Duplex, FDD) kipinde çalışma için Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA) telsiz erişim tekniğini, tekli frekans bantlarında Çift Yönlü Zaman Bölmesi (Time Division Duplex, TDD) kipinde çalışma için Zaman Bölmeli CDMA (Time Division CDMA, TDCDMA) telsiz erişim tekniğini kullanan Evrensel Karasal Telsiz Erişim Şebekesi (Universal Mobile Telecommunication System Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) geliştirilmiştir. Bu teknikleri çalışma kiplerine bağlı olarak kullanmaktadır. UMTS şebeke mimarisi temel olarak Telsiz Erişim Şebekesi (UTRAN), çekirdek şebeke (CN) ve kullanıcı terminali (UE) olmak üzere üç alt sistemden oluşmaktadır. Telsiz Erişim Şebekesi ve çekirdek şebeke birbirlerine ‘lu’ denilen bir arabirimle bağlantı halindedir. ‘lu’ arabirimi devre anahtarlama (CS) veya paket anahtarlama (PS) olabilir. Şebeke birimlerinin içerdikleri elemanları şu şekilde sıralayabiliriz. UTRAN (UMTS Karasal Telsiz Erişim Şebekesi); Node B ve RNC (radio Network Controller)’den oluşmaktadır. Node B GSM’deki baz istasyonlarına (BSC Base Station Controller)’a eşdeğerdir. Çekirdek şebeke (Core Network) GSM’deki NSS (Network Switching Subsystem)’e eşdeğerdir.



Şekil 3.23. UTRAN Şebekesi

Şekil 3.24’da temel kısımları, harici referans noktaları ve UTRAN ara yüzleri ile basitleştirilmiş UMTS mimarisini göstermektedir. Şebeke mimarisi kullanıcı cihazı ve şebeke altyapısı olmak üzere kabaca iki kısma ayrılabilir. Burada referans noktaları olarak

kısımlar arasındaki noktalar kastedilmektedir. Örneğin kullanıcı cihazı UTRAN a erişmek için bir radyo arayüzü kullanır ve bu arayüz Uu referans noktası olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.24. UTRAN şebeke yapısı

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), UMTS'nin radyo erişim şebekesini Oluşturan Node B ve RNC lerden oluşmuştur. Bu iletişim ağı 3G olarak bilinir. Bu erişim şebekesi, devre anahtarlama ve IP tabanlı paket anahtarlama veri akışına kadar birçok trafik akışını sağlayabilir. (BTK).

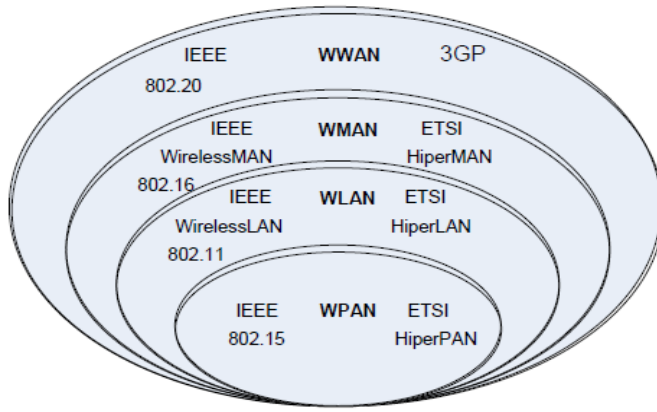
Çizelge 3.3. UTRAN Özellikleri

	UTRA/FDD	UTRA/TDD
Erişim Tekniği	W-CDMA	TD-CDMA
Chip Hızı	3.84 Mchip/sn	3.84 Mchip/sn
Kanal alanı	4.4-5Mhz	4.4-5Mhz
Çerçeve süresi	10 msn	10 msn
Çerçeve başına dilim sayısı	15	15
Modülasyon	Aşağı bağlantı QPSK: Yukarı bağlantı çift kod BPSK	QPSK
Hız	Değişken (her 10 msn). Yayma faktörünü değiştirerek iletilecek işarete birkaç kod tahsis ederek veya (sadece TDD için) birkaç zaman dilimini toplayarak farklı hızlar elde edilebilir.	

UTRAN'daki kanal ve protokol yapısı Şekiller ve anlatımlardan da anlaşılacağı gibi WCDMA da yer alan kanal yapısı ve iletim şekilleri bunun içinde geçerlidir.

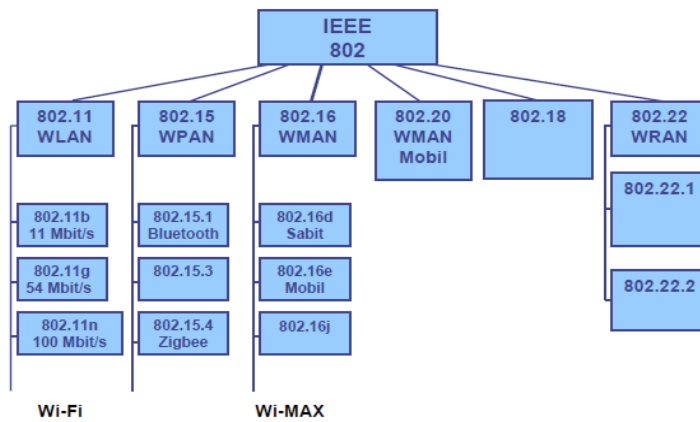
3.2.3. WİMAX IEEE 802.16 standardı

En küçük ölçekli şebeke kişisel alan şebekesi PAN'dır (personal area network). Bluetooth ve Zigbee gibi kısa mesafelerde cihazların birbirleriyle iletişim kurmasına imkân tanır. Şebeke ölçeği açısından bir ileri adım, yerel alan ağıdır (local area network, LAN). Yerel alan ağının en bilineni Wi-Fi'dir. WİMAX ise sonraki adım olan kentsel alan şebekesidir (metropolitan area network (MAN)).



Şekil 3.25. IEEE standartları ve alan ağları (IEEE)

Şekil 3.25’de IEEE standartları görülmekte ve bu standartların hangi uluslar arası kuruluşlar tarafından kabul edildiği yer almaktadır. Şekil 3.26’de ise IEEE 802 çalışma grubu görülmekte bu grubun hangi standartları ürettiği görülmektedir. İleride kablosuz olarak geliştirilecek standartlarında aynı grubun ürünü olacağı kaçınılmazdır.



Şekil 3.26. IEEE 802 grubu standartları

En hızlı WiMAX bağlantısı saniyede 70 megabit iletim hızına ulaşabilmektedir. 70 megabit birkaç düzine işyeri ya da yüzlerce ev kullanıcı arasında dağıtılsa bile, WiMAX kablolu modem her bir kullanıcıya sağladığı en küçük transfer hızlarına (2 Mbt) eşit bir hız sağlayacaktır. WiMAX kablosuz erişim ile teorik olarak 50 km yarıçapında bir kapsamaya sahiptir. (IEEE). WiMAX, IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) tarafından geliştirilen standartlardan 802 serisinin bir üyesi olup, IEEE 802.16 standartlarını temel alan bir kablosuz geniş bant erişim teknolojisidir. İlk sürümü Ekim 2001’de tamamlanan IEEE 802.16 standardı, WMAN teknolojisi olarak, kullanıcılara kablosuz ortamda ses ve yüksek hızda veri sağlamak amacıyla bir hava ara yüzü ve Ortam Erişim Kontrolü (Media Access Control / MAC) sağlamaktadır. IEEE 802.16 standardı PMP (Point to Multipoint) mimarisinde yani baz istasyonları ile kullanıcı istasyonları arası iletişim tek noktadan çok noktaya iletişim veya ağ ile çalışan kablosuz geniş bant erişim sistemlerinin modern sürümüdür. Daha sonra geliştirilen 802.16a/d sürümleri örülü ağ (Mesh Network) şebeke mimarisini de desteklemektedir. Başlangıç sürümü 10–66 GHz arasında çok sayıda çalışan kablosuz geniş bant erişim sistemlerin yayılım ihtiyacını karşılamak amacıyla geliştirilmiştir.

Sonraki sürümlerin 2–11 GHz ve bunun ardından da 2-6 GHz arasında çalışan sistemler standartlaştırılmıştır. 2001 yılında geliştirilen ilk IEEE 802.16 standardı 10–66 GHz frekans aralığı için tasarlanmışken, 2003 yılının Ocak ayında 2–11 GHz frekans aralığını kapsayacak şekilde değiştirilerek IEEE 802.16a olarak adlandırılmış ve görüş hattı gerektirmeyen (NLOS) kullanım ihtiyaçlarına cevap verecek özelliğe kavuşturulmuştur.

Çizelge 3.4. WİMAX standartları ve kullandıkları teknikler

	802.16	802.16a/Rev d	802.16.e
Spektrum	Ara.01	802.16a: ocak 2003 802.16Rev d: haziran 2004	2005 Ortalarında
uygulama alanı	10-16 Ghz	2-11 Ghz	2-6 Ghz
Kanal şartları	Baz istasyonunu görmesi gerekir	Baz istasyonunu görmeye gerek yok.	Baz istasyonunu görmeye gerek yok.
Bit hızı	32-134 Mbps hızında 28 Mhz kanal aralığında	75Mbps hızında 20 Mhz kanal aralığında	15 Mbps hızında 5 Mhz kanal aralığında
Modülasyon	QPSK, 16QAM ve 63QAM	OFDM 256, QPSK, 16QAM ve 64QAM	OFDMA
Haraket kabiliyeti	sabit	sabit	kısmen hareketli
kanal Bant genişliği	20, 25 ve 28 Mhz	1,5 ile 20 Mhz arasında	5 Mhz dolaylarında
Kapsama alanı	1-3 mil	4-6 mil şehir içinde, açık alanda 30 mil	1-3 mil

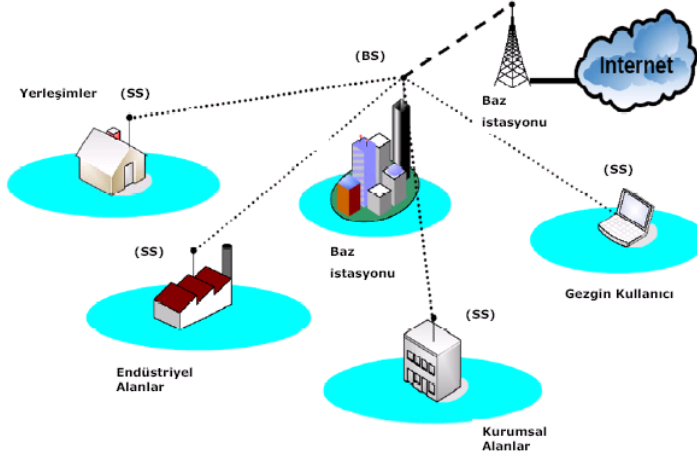
Yayın yapılması hedeflenen çevre için birkaç tane PHY konusu önemli bir hal almıştır. Örneğin 6 GHz üzerindeki frekanslarda istasyon aralarında LOS (Line of Sight – Görüş Alanında Olan) bir zorunluluktur. LOS yolları için gerekli olanları bir tasarım ihtiyacı gibi alınarak PHY çoklu yolu minimum düzeyde etkileyerek tasarlanabilir. Bu PHY ye tipik olarak 10 MHz'den büyük geniş kanallar barındırmasına izin verir, böylece IEEE 802.16 hem yüklemede hem de indirmede yüksek kapasiteli bağlantıları sağlayabilme kabiliyetine sahip olur. [18]. Düşük frekanslarda, LOS bağlantı işlemler için gerekli değildir, fakat LOS yapısının olmayışı başka tasarım sıkıntılarının oluşmasına neden olur. Uygun profilleri (modülasyonu ve FEC (Forward Error Connection) – İleri Hata Kontrolü) yapısını değiştirmek) IEEE 802.16'nın kapasitesini daha da artırmak için kullanılır. MAC farklı çevreler için farklı PHY'leri barındırması için geliştirilmiştir. Tek-taşıyıcılı PHY'ler, hem TDD (Time Division Duplexing – Zaman Bölmeli İkileme) hem de FDD (Frequency Division Duplexing – Frekans Bölmeli İkileme) yayılmalarını barındırması ve FDD durumunda iki yönlü ve tek yönlü terminallerine izin vermesi için tasarlanmıştır. MAC, PMP (Point to Multipoint – Noktadan Çoklu-noktaya) kablosuz

erişim ortamları için özel olarak tasarlanmıştır. Daha yüksek katmanları taşımak veya katmansız olarak ATM (Asynchronous Transfer Mode – Asenkron Aktarım Modu), ethernet veya IP (Internet Protocol – Internet Protokolü) gibi protokolleri transfer etmek için tasarlanmıştır. Ayrıca daha geliştirilmemiş protokolleri de içerisinde barındıracak şekilde geliştirilmiştir. MAC, Gerçek geniş-bant fiziksel katmanların, ATM olmayan servislerde olduğu gibi, ATM uyumlu QoS servislerinden ATM'e transferde çok yüksek bit oranı sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. (her yöne 268 Mbps hızına kadar).

IEEE 802.16 Standardı, MAC standardın verimini artıran bir dizi içeriğin yanında, değişebilir uzunlukta bir PDU (Protocol Data Unit – Protokol Veri Birimi) kullanır. Çoklu MAC PDU'lar PHY yapısını korumak için tekli bağlanabilirler. Ayrıca, aynı servis için tasarlanmış çoklu SDU'lar (Service Data Unit – Servis Veri Birimi) tekli MAC PDU içinde birbirlerine bağlanabilirler, böylece MAC başlığının taşması korunmuş olur. Değişken parçalanması eşik değeri servisin QoS yapısını garanti altına almak için çok büyük SDU'ları parçalar halinde gönderilmesine izin verir. Önceden başlık gizleme SDU başlıklarının gereksiz parçalarını azaltmada yararlı olacaktır. AC, DAMA/TDMA (Demand Assigned Multiple Access / Time Division Multiple Access – İsteğe Göre Tahsis Edilen Çoklu Erişim / Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) diye bilinen kendini-doğrulamalı bant genişliği isteği/vermesi algoritmasını kullanır. Böylece CSMA/CA tekniğinin yetersiz geldiği noktaları elimine eder. DAMA çoklu istasyonlar boyunca istenilen değişikliklere adapte eder. DAMA ile kanallara ayrılan zaman ihtiyaca göre dinamik olarak değişir. Bir kablolu erişim terminalinden üyelere iletimde standart iki tip işlem tanımlar, biri ses veya görüntü gibi sürekli bir iletim dizisini kullanan tip, diğeri de IP tabanlı trafik gibi patlamalı iletim dizisini kullanan tiptir. Kullanıcı terminalleri QoS ve kendi servislerindeki trafik parametrelerine bağlı olan bant genişliği için değişik seçeneklere sahiptirler. [46].

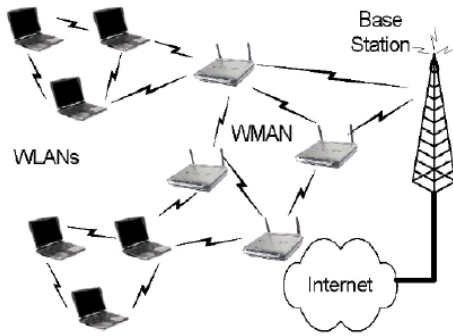
IEEE 802.16–2004 standardı sadece sabit sistemlere yöneliktir. 07 Aralık 2005 tarihinde ise mobilite destekli IEEE 802.16–2005 (802.16e) standardı onaylanmıştır. 802.16 iletişim yapısı 2'ye ayrılmaktadır, bunlar Tek noktadan çok noktaya(Point-to-Multipoint-PMP), Örgülü (MESH). Tek noktadan çok noktaya iletişim: Uç birimler yada başka bir deyişle kullanıcı istasyonları(Subscriber Stations-SS) bir baz istasyonu (BS) ile iletişim halindedirler. Tüm haberleşme parametreleri BS tarafından kontrol edilir. Bu durumda SS'den BS'e doğru akan trafiğe “uplink”, BS'den SS'e doğru akan trafiğe ise “downlink”

denir. bu iki trafikte aynı çerçeve üzerinden çeşitli parametreler yardımıyla BS tarafından kontrol edilir (Downlink Map ve Uplink Map alanları çerçevede bu amaç için kullanılan alanlardır). Bu tarz bir yapı şekil 3.27.'de görülmektedir. [34].



Şekil 3.27. Tek noktadan çok noktaya ağ yapısı (PMP)

Örgü tipi iletişim: SS'ler BS ile doğrudan bir bağlantı içine girmezler. SS'ler kendi içlerinde de birbirleriyle bağlantı kurabilir ve bu bağlantıyı yönetebilirler. Burada tek-katmanlı bir yapıdan (single-hop) çok, çok-katmanlı2 (multi-hop) bir yapı söz konusudur. Örgü yapısında BS iletişimi kontrol eden bir şekilde de bulunabilir, ki bu yapı merkez-örgü şeklinde adlandırılır (Centralized Mesh), ya da SS'ler BS'in gözetimi altında olmadan haberleşmeyi yapabilirler (Distributed Mesh). Bu tarz bir yapı şekil 3.28. de görülmektedir.

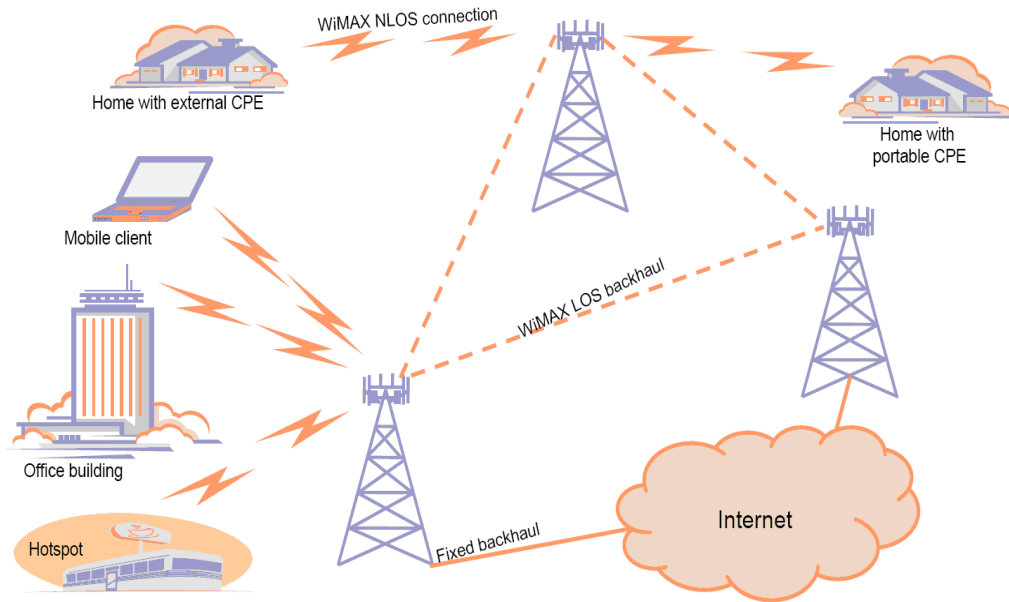


Şekil 3.28. Örgü (MESH) ağ

Single-hop: SS ile BS doğrudan bağlıdır. Tek bir zıplama ile SS BS'e ulaşır. Multi-hop: SS,BS'e tek zıplamada ulaşamaz.Söz konusu SS, BS ile başka SS'leri geçerek iletişime geçebilir.

3.2.3.1. IEEE 802.16a Standardı

Wi-Max standartlarından ilki olan 802.16a standardı, bu standardın IEEE tarafından gözden geçirilmiş hali olan 802.16-2004; kapalı alanlarda 300 mbt\sn hız vaat etmektedir. 2-11GHz frekans aralığını kullanmaktadır. Haberleşme için alıcı-verici sistemler arasında doğrudan görüş (LOS) koşullarına gerek duymaz. Söz konusu standart 2.5GHz, 3.5GHz ve 5.8GHz frekanslarını kullanılmaktadır. Görüş açısı uygun olmayan alanlarda iletim için tasarlanmıştır. 3 tip modülasyon şeması kullanır. Bunlar tek taşıyıcılı modülasyon, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 'dır. 1.75-20 MHz frekans aralığı kullanılır. Bu protokol ses ve video iletimi gibi düşük gecikme ihtiyacı olan uygulamalarda kullanılır.



Şekil 3.29. 802.16a çalışma şekli

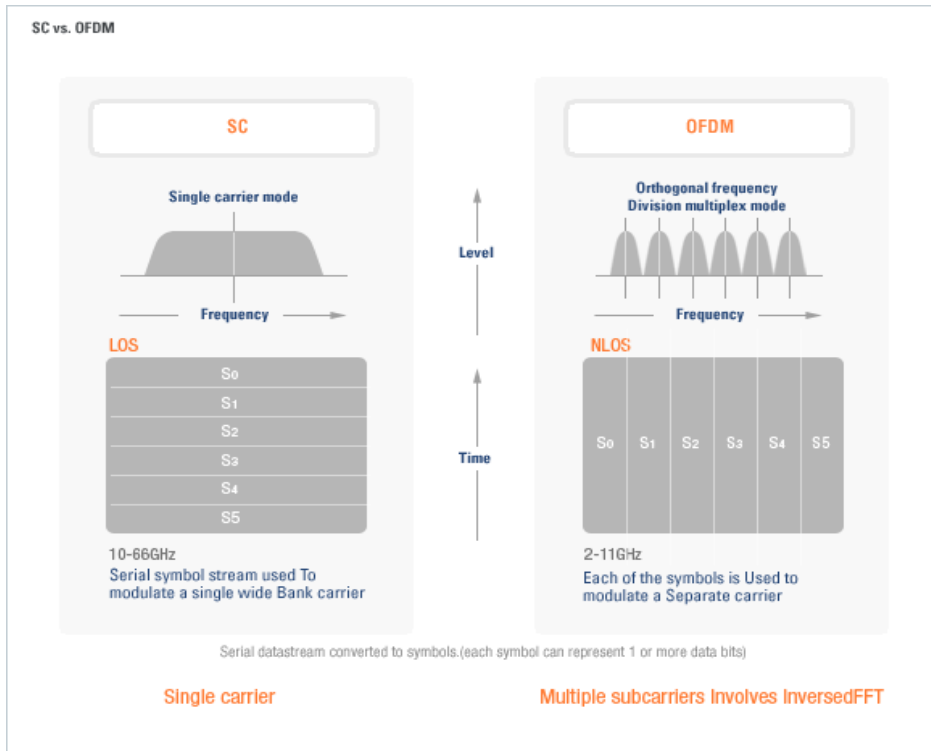
IEEE 802.16a üç adet hava ara yüz spesifikasyonlarını tanımlar ve bu üç seçenek sayesinde sistem üreticileri kendi ürünlerini kişileştirme fırsatına sahip olurlar. Bu üç 802.16a fiziksel ara yüz spesifikasyonları şunlardır:

- Wireless MAN-SC; Single Carrier (Tekli Taşıyıcı) Modülasyonu formatını kullanır. PHY katman tek taşıyıcılı modülasyonu desteklemektedir. LOS (Line of Sight) şartlarında 10-66 GHz arasındaki frekanslar için tanımlanmaktadır. Çoklama yöntemi olarak TDD (Time division Duplexing) ve FDD (Frequency Division

Duplexing) kullanılmakta ve ayrı kanallar üzerinde Uplink (Dünyadan Uyduya Bağlantı) ve Downlink (Uydudan Dünyaya Bağlantı) yapılmasına izin vermektedir.

- Wireless MAN-OFDM; Ortogonal Ferquency Division Multiplexing, 256 nokta Fast Fourier Transform (FFT) 'ı kullanılır. Bu modülasyon lisans için muaf tutulmaktadır. Erişim TDMA (Time Division Multiple Access) yoluyla. NLOS (Non Line of Sight) şartları için tanımlanmaktadır.
- Wireless MAN-OFDMA; orthogonal frequency division multiple access, 2048 nokta FFT kullanılır. Çoklu taşıyıcı subset'ının bireysel alıcılara adreslenmesi ile çoklu erişim sağlanır

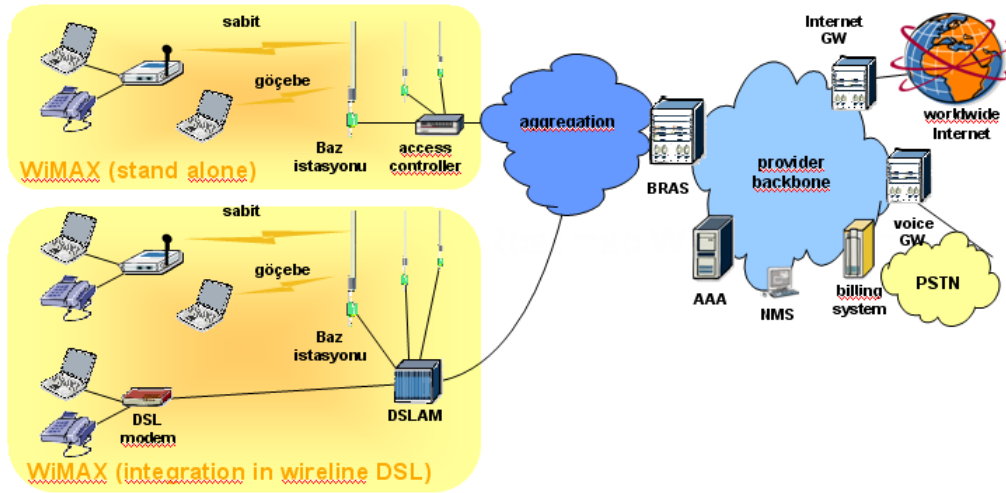
2-11 GHz arasındaki frekans için tanımlanmaktadır. Çoklama yöntemi olarak TDD ve FDD kullanılmaktadır. [43].



Şekil 3.30. Tekli taşıyıcı mod ve OFDM

3.2.3.2. IEEE 802.16d Standardı

2003 yılında hazırlanan bu standart 802.16 a standardının eksik özelliklerini tamamlamak üzere geliştirilmiştir. Bu standartla alıcı-verici haberleşmesi için doğrudan görüş hattının gerektiği ve gerekmediği (antenlerin birbirini görmesi veya görmemesi durumları) koşullarda haberleşme mümkün olmaktadır. Standart OFDM çoğullama tekniğini kullanmaktadır. Omurga şebeke olarak kullanılmanın yanı sıra, bakır kablonun olmadığı ya da kablo döşemenin ekonomik olmadığı yerlerde ses ve geniş bant hizmetleri sağlamak veya mevcut DSL (dijital abone hattı) ve Kablo Modem gibi geniş bant teknolojilerle rekabet etmek amacıyla geliştirilmiş sabit ve göçebe uygulamaları sağlayabilen bir kablosuz geniş bant standardıdır. 802.16d standardı ile lisanslı ve lisanssız 2–11 GHz bantlarında IP tabanlı şebekeler üzerinden noktadan noktaya ve noktadan çok noktaya LOS (Line of Sight) ve/veya kapsama alanı içerisinde herhangi bir noktaya NLOS ses, veri ve görüntünün iletimini yapmak mümkündür. Teorik olarak 50 km'ye kadar 70 Mbps'lik iletim hızını mümkün kılmaktadır. Bu standartın önerdiği modülasyon, anten yapıları kullanılarak çalışmalar sağlanmaktadır.



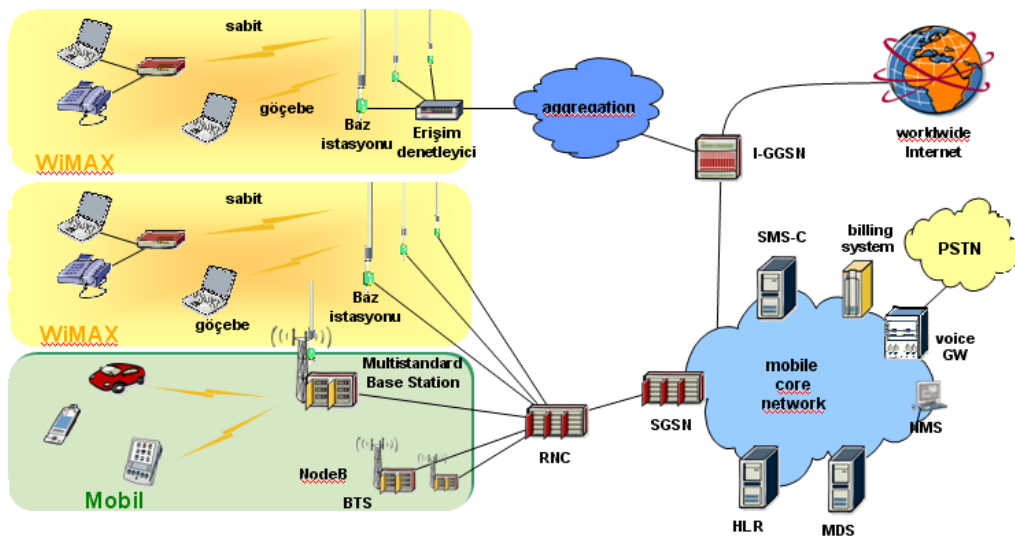
Şekil 3.31. 802.16d standardının sabit ağa entegrasyonu

Şekil 3.31’de wimax’in PSTN ve internet ortamına bağlanması gösterilmektedir. Burada sabit telefon operatörleri (Türk Telekom gibi) kendi veri sistemleri ile direk baz istasyonlarını birbirine bağlayarak veya kablo entegrasyonu ile bakır kablo kullanarak internet, telefon veya müşterilerin istediği hizmetleri almaları sağlanmaktadır. Diğer şekil

3.32’de GSM operatörlerinin kendi baz istasyonları üzerinden sabit veya hareketli müşterilerine istenilen hizmeti verebilmektedirler. Wimax’in kısa çalışması bu şekilde olmaktadır. İnternet veya telefon için ise Şekil 2.31’de sağdaki kısmını kullanarak bağlantı kurulmaktadır. Burada BRAS (Broadband Remote Access Server) Geniş band uzaktan erişim sunucusu internet erişimi için kullanıcıları internet ortamına çıkabilmeleri için IP verilmesi, kullanıcı bilgileri kontrolü gibi işlemlerin yapıldığı serverdır. AAA (Access, Authorization, and Accounting) erişim yetkilendirme ve muhasebe sunucusudur. İnternet gateway ve voice gateway internet, telefon görüşmelerinin yapılabilmesi için geçiş yaptıkları sunuculardır. NMS (Network management system) ağ yönetim sistemi, NMS merkezlerinden ağ yönetilmektedir.

3.2.3.3. IEEE 802.16e Standardı

Ses ve geniş bant hizmetleri sağlamak amacıyla 802.16d standardının temel özellikleri arasında bulunmayan taşınabilirlik ve nihayetinde tam mobilitayı amaçlayan bir mobil kablosuz geniş bant standardıdır. Şekil 3.32 de görüldüğü gibi sabit telefon operatörleri, GSM veya ISP firmaları kendi şebekelerine ve hizmet noktalarına adapte edebilmektedirler. Şekilde ki gösterimim de olduğu gibi Türk Telekom kendi şebekesine ilavelerle WİMAX’i hayata geçirecektir. Şekil 3.32’de görüldüğü gibi 3.31’de olmayan bazı sistemler yer almaktadır. Bu sistemler 802.16d’de olmayan mobilitate ve diğer hizmetleri verebilmek için konulmuş sistemlerdir.



Şekil 3.32. 802.16e Sabit ve mobil kullanımda ortak çözüm

SGSN (Serving GPRS Support Node) Hizmet GPRS Destek düğümü şu anda kurulan wimax sistemlerinde de yer alan bağlantı gerçekleştirilmesini sağlayan kısımdır, RNC (Radio Network Controller) Radyo Ağ Denetleyici adından da anlaşıldığı gibi ağı denetlemektedir. Diğer kısımların çalışması 802.16d çalışma sistemi ile aynıdır. Burada mobil kullanma, araç içinde belirli bir hızda giderken veri alışverişinde bağlantı kalitesi düşmeden meydana gelmektedir. iMAX'te NLOS uygulama OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)teknolojisi ve MIMO (multi-input multi-output) alıcı teknolojisi sayesinde gerçekleştirilmektedir. OFDM teknolojisi birçok yeni nesil GTE (geniş bant telsiz erişim) sistemi tarafından kullanılmaktadır. OFDM teknolojisi yüksek hızdaki verinin minimum bant genişliği ile engebeli alanlarda elde edilmesi için kullanılan en etkin yöntemdir.

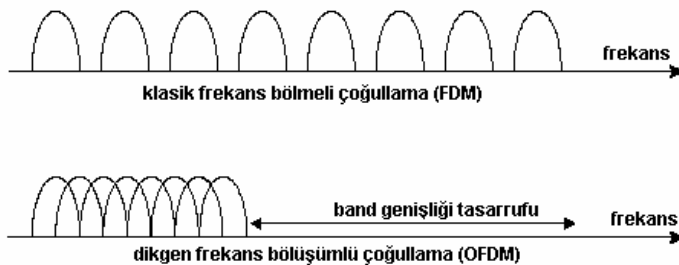
3.2.3.4 OFDM Kodlama Tekniği

Frekans Bölümlü Çoğullama (FDM), frekans seçimli kanallarda sinyal iletimi için yaygın bir şekilde kullanılan tekniktir. Temel olarak bu teknikte, kanal bant genişliği bölünerek her bir taşıyıcı için tahsis edilmiş frekanslarda düşük hızlardaki taşıyıcıların çoğullanması sağlanır. Alıcıda sinyalleri birbirinden ayırmak için taşıyıcı frekans boşluklarının birbiri üzerine binmemesi gerekmektedir. Bu zorunluluk, frekans spektrumundan tam olarak verim alınmasını engellemektedir. Bant genişliğinden daha fazla yararlanmak için dikgen frekans bölümlü çoğullama tekniği (OFDM) çıkarılmıştır . İlk olarak yüksek frekanslı askeri uygulamalarda kullanılan bu teknik 1971 yılında Weinstein ve Ebert tarafından önerilmiştir. OFDM basitçe, her taşıyıcı diğer taşıyıcıya dik olacak şekilde taşıyıcı aralığı tanımlanmış, çok taşıyıcılı bir modülasyon türü olarak tanımlanabilir. OFDMA, dik frekans bölmeli çoğullama erişimidir. OFDM çoklu yol bozulmalarına karşı oldukça dayanıklı ve kanal içi, simgeler arası girişimi engelleyen bir tekniktir. Tek taşıyıcılı sistemlere göre daha basit kanal eşitleyiciye ihtiyaç duyar. Hata düzeltme kodu kullanarak güvenli ve verimli iletişim sağlar. Anlık gürültü ve çoklu yol bozulmalarından kaçınarak izin verilen bant genişliğinin tamamını kullanır.

Radyo sinyalini daha küçük alt sinyallere bölüp aynı anda farklı frekanslardan alıcıya gönderme yöntemiyle çalışır ve maksimum spektrum verimliliği sağlar. OFDM iletişim sistemleri, zamanla hızlı değişen çok yollu, sönmölmelere ve semboller arası

girişimlere (ISI) dayanımlı olmaları sebebiyle yeni nesil geniş bantlı telsiz iletişim sistemleri için verimli bir yöntem olarak kabul edilmektedir. OFDM sistemlerinde yüksek bit hızına sahip veri, çok daha düşük hızlı paralel alt bantlara ayrılır ve birbirine dik taşıyıcılarla modüle edilir. Ortogonal Alt taşıyıcılar arasında, Frekans spektrumunda her taşıyıcının tepe noktasında diğer tüm taşıyıcılar 0 değerini alır. Her alt taşıyıcının T periyodundaki kendi döngüsü tam sayıdır. Komşu iki alt taşıyıcı arasındaki döngü sayısı farkı 1 dir. Geleneksel bir seri veri iletişim sisteminde her bir işaret frekans spektrumu kullanılabilir bant genişliğinin tümünü kaplamasına izin verilecek şekilde, sıralı olarak arkaya gönderilir. Paralel bir veri iletişim sistemi, seri sistemlerde görülen bir çok sorunun sistem üzerindeki etkisinin azaltılmasına olanak sağlar. Paralel bir sistem bir anda birden fazla sıralı veri dizilerinin aynı anda iletildiği ve buna bağlı olarak birden fazla verinin iletilebildiği bir sistemdir. Sistemde her bir veri işaretin frekans spektrumu kullanılabilir bant genişliğinin sadece bir bölümünü kaplar. Paralel sistem yaklaşımı, frekansa bağlı zayıflamanın simgeler üzerinde dağıtılması avantajına sahiptir.

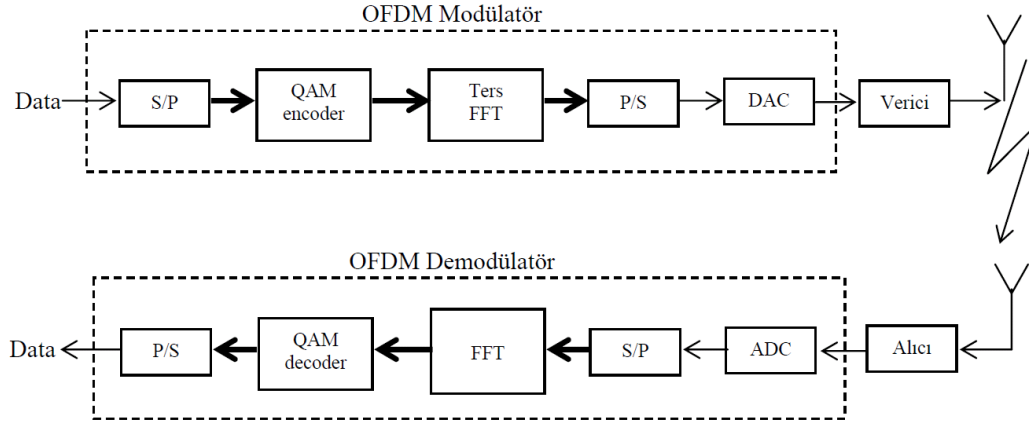
Bu zayıflama ve darbe girişimi nedeniyle aniden ortaya çıkan hataların etkili bir biçimde, rastgele dağılmasını önler; bu sayede ardışıl verilerin tamamen zarar görmesi yerine çoğu simge az miktarda zarar görür. Bu durum ileri yönde hata düzeltme (FEC: Forward Error Correction) olmaksızın bile, simgelerin büyük bir kısmının başarılı bir şekilde elde edilmesini sağlar. Kanal bant genişliğinin tamamının dar alt bantlara bölünmesinden dolayı, her bir alt bantın frekans yanıtı göreceli olarak düzdür. Her alt kanal asıl kanal genişliğinin belirli bir bölümünü kapladığı için kanal eşitleme işlemi seri sistemlere oranla daha başarılıdır. Basit bir dengeleme algoritması her alt kanaldaki karesel ortalama bozulmasını minimum hale getirebilir, farksal kodlamanın kullanılması ise eşitlemenin tamamen ortadan kalkmasını sağlayabilir. [43].



Şekil 3.33. FDM ve OFDM Kanalları

Şekil 3.33’da klasik bir FDM sisteminde OFDM sisteminde kanalların yerleşimi gösterilmektedir. OFDM ile FDM arasındaki en temel fark; FDM’de çok taşıyıcı bulunmasına karşın bunlar birbirine dik değil fakat OFDM sisteminde taşıyıcı spektrumları birbiri üzerine binmekte ve bu taşıyıcıların birbirlerine dik olması sayesinde spektral verimlilik elde edilmektedir. OFDM, genel olarak veri akışını düşük hızlı alt taşıyıcılara bölerek paralel kanallarda ileten bir modülasyon ve çoğullama tekniğidir. Bu alt taşıyıcılar, mevcut bant genişliğini böler ve her bir taşıyıcı için yeterli bir şekilde frekans ayrılarak bu alt taşıyıcıların dikgen olması sağlanır. Taşıyıcılar arasındaki dikgenliğin anlamı; her bir taşıyıcının bir sembol periyodu üzerinde tam sayı periyotlara sahip olmasıdır. Bu sayede her bir taşıyıcının spektrumu, sistemdeki diğer taşıyıcıların her birinin merkez frekansında bir sıfıra sahip olacaktır. Bunun sonucunda taşıyıcılar arasında spektral olarak üst üste binme olmasına rağmen herhangi bir girişim meydana gelmeyecektir. Taşıyıcılar arasındaki bu ayrıklık teorik olarak minimum olacak ve çok iyi bir şekilde spektral verimlilik sağlanacaktır. OFDM sistemleri, kablosuz ortamlarda genellikle frekans seçimli çoklu yol tarafından oluşturulan semboller arası girişim (ISI) problemine karşı da kullanılan bir tekniktir. Her bir alt taşıyıcı sembolü, kanal darbe cevabından daha uzun oluşturularak düşük veri hızlarında modüle edilir. Bu yolla ISI azaltılabilir. Bunun için en uygun yöntem, art arda gelen OFDM çerçeveleri arasına koruma aralığı (CP) - kanal gecikmesinden büyük olacak şekilde seçilerek- eklenerek ISI etkisi tamamen ortadan kaldırılır. Bu koruma aralığı her biri farklı sembollerle modüle edilmiş alt taşıyıcıları birbirinden ayırarak iletimin sorunsuz gerçekleşmesini sağlayacak fakat bant genişliğinin verimli kullanılmamasına neden olacaktır. [47].

Her bir alt taşıyıcı düşük veri hızlarında çalışmasına rağmen, fazla miktarda alt taşıyıcı kullanılarak toplamda yüksek veri hızları elde edilebilir. Semboller arası girişim etkisi (ISI), çok küçük ya da OFDM sisteminin çalışmasını etkilemeyecek yapıda olmalı ve bu sayede alıcı tarafta bir dengeleyiciye gerek duyulmaması gerekmektedir. Bir OFDM sisteminin temel olarak blok diyagramı Şekil 2.34.’deki gibidir: [47].

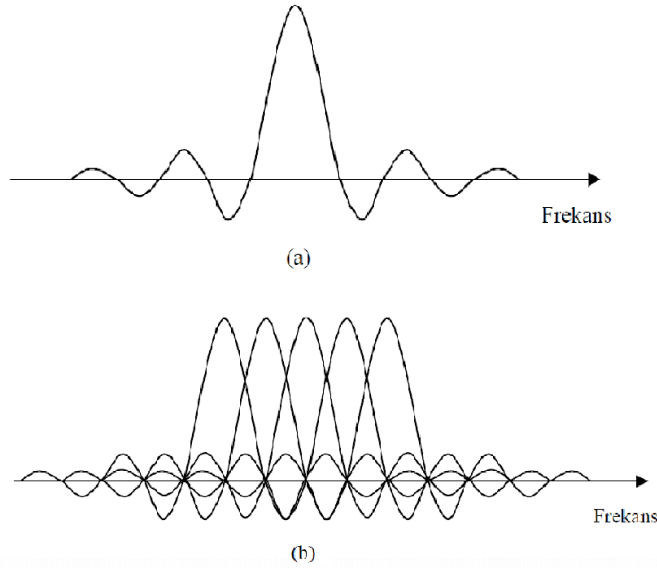


Şekil 3.34. OFDM sistemine ait blok diagram

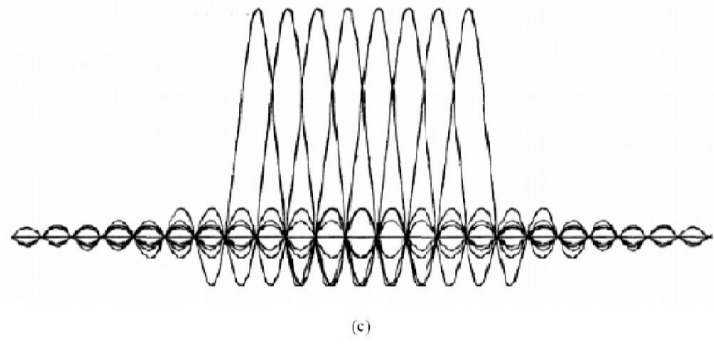
Kısaca OFDM Modülasyonu, Sistemin girişine gelen analog datalar önce paralele çevrilir. Paralel hat sayısını belirleyen etken, kullanılacak olan bant genişliğidir. Eğer bant genişliği çok büyükse subcarrier sayısı artırılabilir. Sub-carrierler, blok periyodu T olmak üzere $1/T$, $2/T$, $3/T$, ... olarak alınırlar. QAM encoder yardımıyla datalar sayısalıya çevrilir. Daha sonra ters FFT işlemi yapılacaktır. Bu işlem aslında 1 için pozitif, -1 için negatif sub-carrierlerin toplanmasıdır. Paralel olarak gelen bitlerden 1. bit 1 ise $\sin \omega t$ -1 ise $-\sin \omega t$, 2. bit 1 ise $\sin 2\omega t$ -1 ise $-\sin 2\omega t$, 3. bit 1 ise $\sin 3\omega t$ -1 ise $-\sin 3\omega t$ şeklinde toplanmaktadır. Böylece bitlere bağlı olarak N adet sub-carrierin toplamından oluşan bir işaret elde edilir. Bütün bu işlemler ayrı ayrı yapılmaktadır. Daha sonra bu datalar seriye ve sonra da analog işarete dönüştürülür. En sonunda ise yüksek frekanslara çıkarmak için modüle edilir ve iletim ortamına verilir. OFDM, giriş verisine ve kullanılan modülasyon işlemine bağlı olarak gereken spektrum seçilerek meydana getirilir ve kanalda meydana gelebilecek bozulmalara karşı kanal kodlaması ve serpiştirme yapılır. Üretilen her bir taşıyıcı, iletim için tahsis edilir. Gerekli olan taşıyıcı ve genlik fazı, modülasyon işlemine (tipik olarak BPSK, QPSK veya QAM) bağlı olarak hesaplanır. Daha sonrasında IFFT, bu spektrum zaman domenine sinyaline çevirir. FFT (Fast Fourier Transform), periyodik zaman domenine sinyalini kendisinin karşılığı olan frekans spektrumuna sinyaline dönüştürür. Karşılık dalga şeklini bularak dikgen sinüzoidal parçaların toplamı bulunur. Sinüzoidal parçaların genlik ve fazı, zaman domenine sinyalinin frekans spektrumunu gösterir. OFDM de ters ayrık fourier dönüşümü kullanılmakta ve bu sayısal işaret işleme tekniği sayesinde sistemdeki alt taşıyıcıların bir birilerine dikgen olması sağlanmaktadır. OFDM sistemlerinde ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) ya da hızlı Fourier dönüşümü

(FFT, Fast Fourier Transform) algoritmaları, sinyalin modülasyonu ve demodülasyonunda kullanılır. IFFT/FFT vektörünün boyutu, çoklu yol kanalı tarafından ortaya çıkarılan hatalara karşı sistemin direncini belirler. Bu vektörün zaman aralığı, alınan çoklu yol sinyalindeki yankılanmaların maksimum gecikmesinden daha büyük olarak seçilmelidir.

Alt Taşıyıcıların Üretilmesi : OFDM tekniğinde alt taşıyıcıların birbirine dik olacak şekilde üst üste bindirilmesi işlemi Ayırık Fourier Dönüşümü (DFT, Discrete Fourier Transform) kullanarak gerçekleştirilebilir. 1971 yılında Weinstein ve Ebert modülasyon ve demodülasyon işleminin bir parçası olarak paralel bilgi iletim sistemlerine Ayırık Fourier Dönüşümünü (DFT, Discrete Fourier Transform) uygulamıştır . Şekil 3.35. (a) alt taşıyıcıya ait bilginin spektrumunu (b) ise her alt taşıyıcının iletim hızına eşit frekans aralıklı müstakil spektrum içindeki OFDM işaretini göstermektedir. Şekil 3.35. her bir alt taşıyıcının frekans merkezinde başka kanallardan çapraz girişim olmadığını göstermektedir Bu nedenle alıcıda DFT kullanırsak ve her bir alt taşıyıcının merkez frekansında ilintisini hesaplırsak çapraz girişim olmadan iletilen bilgiyi tekrar elde edilebilir. Buna ek olarak DFT tabanlı çok taşıyıcı tekniğini kullanarak frekans bölmeli çoğullama sadece bant geçiren süzme ile değil aynı zamanda temel bant işlemi ile elde edilir. [47].



Şekil 3.35. (a) Bir OFDM alt kanalının spektrumu, (b) Bir OFDM sinyalinin spektrumu



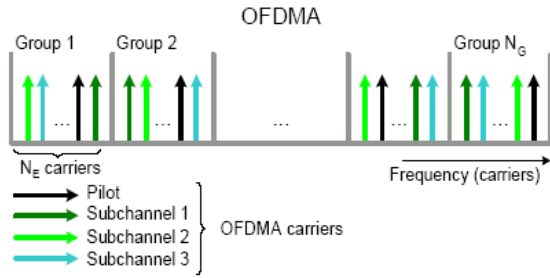
Şekil 3.36. (c) Alt taşıyıcılı bir OFDM işaret spektrumu

Bir FDM sistemde taşıyıcıların her biri bir osilatör yardımı ile üretilmektedirler. Ancak OFDM’ de bu işlemi tek bir IFFT kullanarak gerçekleştirebiliriz. Şekil 3.36. (c)’ de 8 alt taşıyıcılı bir OFDM işaretin spektrumu göstermektedir. IFFT ile her bir alt taşıyıcının maksimum noktalarına gelen spektrum değerleri hesaplanır. IFFT her bir alt taşıyıcıyı diğer alt taşıyıcılardan etkilenmeyecek şekilde modüle edebilir. Her taşıyıcının tepe noktasında diğer taşıyıcılara ait bileşenler “sıfır” değerini alır. Bu da taşıyıcıların birbirine dik olduğunu gösterir. İşaretlerin alıcı tarafta demodüle edilmesi sırasında FFT (Fast Fourier Transform) kullanılır. FFT uygulaması IFFT işleminin tersini yaparak modüle etmiş olduğumuz işareti tekrar elde etmemizi sağlar. Koruma Süresi ve Periyodik İlaveler : OFDM yönteminin kullanılmasının en önemli nedeni çok yollu gecikme yayılımıdır. Giriş dizisini N_s adet alt-taşıyıcıya bölerek sembol süresi N_s defa küçültülmüş olur bu da sembol süresine göre çok-yollu gecikme yayılımını azaltır. Semboller-arası bozulmayı (ISI) tamamen ortadan kaldırmak için OFDM sembolüne koruma aralığı eklenip, koruma aralığı beklenen en uzun gecikme yayılımından daha büyük seçilmelidir. Böylece bir önceki sembolün bir sonraki sembole karışması önlenir. Koruma aralığında hiçbir sinyal olmazsa taşıyıcılar-arası bozulma (ICI) ortaya çıkar. Burada 1. alt-taşıyıcı ve gecikmiş 2. alt-taşıyıcı gösterilmektedir. OFDM alıcısı 1. alt-taşıyıcıyı demodüle etmeye çalıştığında, 2. alt-taşıyıcının gecikmiş olmasından dolayı bir bozulmayla karşılaşacaktır. Aynı sebepten dolayı 1. alt-taşıyıcı 2. alytaşıyıcıda bir çakışmaya sebebiyet verecektir.

3.2.3.5. OFDMA Tekniği

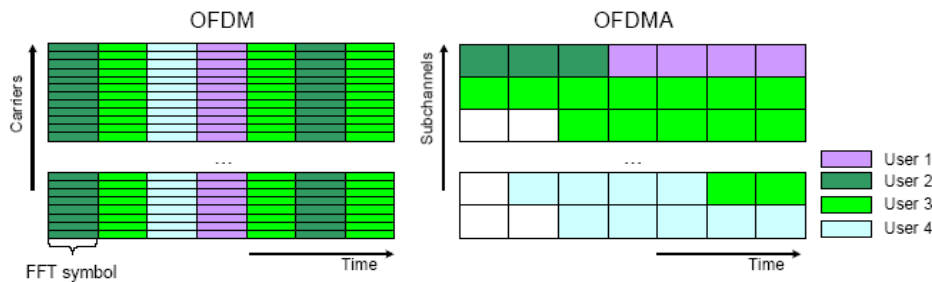
OFDMA (Orthogonal Division Multiple Access – Dikey Frekans Bölmeli çoklu Erişim), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Dikey Frekans Bölmeli çoklayıcı) sayısal modülasyon tekniğinin çok kullanıcılu uyarlamasıdır. OFDMA, FDMA,

TDMA ve CDMA'yi OFDM'in (Orthogonal Frequency Division Modulation – Dikey Frekans Bölmeli Modülasyon) avantajlarıyla beraber kullanır. Temel olarak, OFDM bant genişliğini N tane dik alt kanala böler ve veriyi bu alt kanallarla gönderir. OFDM tekniği ile FDM tekniği ile birbirine benzerdir. [19]. OFDM tekniği FDM tekniği ile aynı kuralı kullanır, bu kural çeşitli mesajları tek radyo kanalından transfer etmektir. FDM her frekans modülasyonu için çeşitli frekansları kullanır. Her frekansın diğer frekans alanındaki frekanslarla üst üste binmemesi için yeterli boşlukları vardır. Her sinyal, alıcı tarafındaki baz istasyonun aradığı sinyal haricindeki diğer sinyalleri bastırabilmek için bağımsız olarak bant geçiren filtre ile filtrelenir. Alınan sinyal orijinal sinyalin tersidir. OFDM haberleşme sistemlerinde yüksek veri hızı için çok taşıyıcılı nakil teknolojisidir. Taşıyıcılar birbirine diktir ve aralarındaki frekans aralığı FFT (Fast Fourier Transform) kullanılarak yaratılmıştır. FDM ile OFDM'in karşılaştırılması 3.38'de gösterilmiştir. ultiplexing (çoklama) Tekniği ile ama OFDMA Alt kanal oluşturma sayesinde birden fazla kullanıcı Kendilerine atanan alt kanallar üzerinden aynı anda sinyal gönderir bunu da Multiple Access Tekniği ile yapmaktadır. (Wimax Forum)



Şekil 3.37. OFDMA'da alt kanal oluşturma

Şekil 3.38'de OFDM ve OFDMA bant genişliğini çoklu frekans alt taşıyıcılara bölerek iletmektedir.



Şekil 3.38. OFDM ve OFDMA'da sinyal gönderme

Bir OFDM sisteminde veri giriş akıntısı, azalan veri hızı (bu yüzden sembol zamanı yükselmekte) bir kaç paralel alt-akıntılara bölünür ve her alt-akıntı modüle edilir ve ayrı bir orthogonal alt-taşıyıcı üzerinde gönderilir. Yükselen sembol süresi OFDM'in gecikmeyi dağıtan sağlamlığını iyileştirmektedir. Ayrıca, cyclic prefix (CP)'in girmesi CP süresinin kanal gecikme dağılımından fazla olduğu sürece Inter-Symbol Interference (ISI)'i tamamen ortadan kaldırılabılır. CP genel olarak veri payload'unun başlangıcına eklenen blok parçasının son örneğinin tekrarlanmasıdır. CP inter-blok interferansı engeller ve kanalı dairesel görünüm yapar ve alçak-karışık frekans domain eşitlemesine izin verir. CP'nin fark edilen dezavantajı etkili olarak bant genişliği veriminin azaltan taşma meydana getirmesidir. Bir bakıma, CP bant genişliği verimini azaltırken, CP'nin etkisi raised-cosine filtrelenmiş tekli-taşıyıcı sistemlerindeki "roll-off-factor"'a benzemektedir. OFDM çok keskin olduğu için, hemen hemen "brick-wall" spectrum, dağıtılmış kanal bant genişliğinin büyük bir parçası CP'den kaynaklanan verim kaybını normale indirmeye yardımcı olan veri transmisyonunda kullanılabilir. Semboller arası girişimi engellemek için cp eklenir. (Wimax Forum)

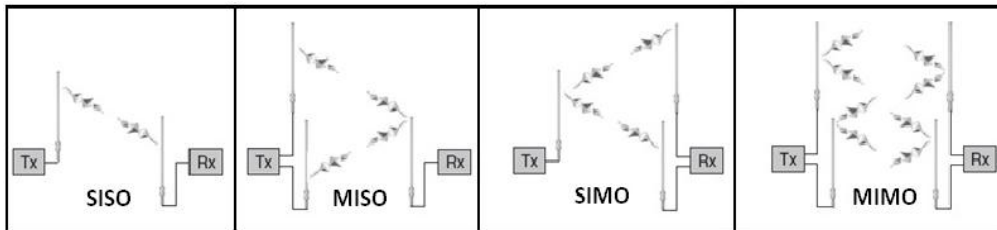
3.2.3.6 MIMO Kodlama Tekniği

Konu hakkındaki ilk fikirler A.R. Kaye, D.A. George ve W. van Etten'in çalışmalarına dayanmaktadır. Bell Lab's çalışanlarından J.Winters ve J.Salz, hüzmeye şekillendirme (BF) üzerine çeşitli makaleler hazırladılar. 1993 yılında Paulraj ve Kailath, MIMO kullanan uzaysal çoğullama (SM, spatial multiplexing) kavramını ileri sürdüler. 1996'da G. Raleigh ve G. J. Foschini MIMO teknolojisine yeni yaklaşımlar getirdiler. Bir vericide, es yerleşimli çoklu verici antenlerin kullanıldığı bu yapılandırma ile link çıkışı etkili bir şekilde artmaktaydı. MIMO sistemler konusundaki araştırmaları aslen tetikleyen unsur ise Bell Lab's araştırmacıları E. Telatar ve J.Foschini'nin Shannon kapasitesi üzerinde ki çalışmaları olmuştur. 1998'de Bell Labs'ta, MIMO iletişim sistemlerinin performansını geliştiren temel teknik olan SM'nin ilk laboratuvar prototipi gösterildi. Geliştirilen MIMO tekniklerinden en önemlileri şu şekildedir;

- Bell Laboratories Layered Space-Time (BLAST), G.J. Foschini (1996)
- Per Antenna Rate Control (PARC), Varanasi, Guess (1998), Chung, Lozano (2001)

- Selective Per Antenna Rate Control (SPARC), Ericsson (2004).

Alıcı-vericide çoklu anten durumları ; MIMO, alıcı ve vericide birden fazla anten kullanımıyla girişim bastırması gelişmiş, daha büyük erim alanı sağlayan ve yüksek sönüm direnci gösteren, veri kapasitesi ve basarımı artırılmış bir iletişim linkini öngörür. Radyo dalgasında, alıcı-verici arasında kat edilen birçok farklı yolda karşılaşılan çok yollu sönümleme nedeniyle sinyal gücünde zayıflama oluşur. MIMO, daha yüksek kapasite sağlamak amacıyla birçok veri akışını, çoklu vericilerden alıcılara göndererek radyo yayılımının bu karakteristiğini avantaja çevirir. Dizi ve çeşitlilik kazancı, girişimin azaltılması gibi performans iyileştirilmeleri ekstra bir iletim gücü ya da bant genişliği gerektirmeden sağlanmaktadır. Bunu daha yüksek spektral verim, link güvenilirliği ve çeşitleme ile başarır. Gigabit mertebesindeki telsiz sistemlerin gerçekleştirilmesinde MIMO teknolojisinin önemi üzerine bir çalışmada, spektral verimliliğinin klasik haberleşme sistemlerinden daha iyi olduğu gözlenmiş, hem kapasite hem de çeşitlilik kazancı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. [44]. MIMO sistemlerin temelini oluşturan uzay çeşitlemesi Şekil 2.39’da gösterildiği gibi, vericide, alıcıda ve hem vericide-hem alıcıda çeşitleme olarak üç çeşide ayrılmaktadır. Herhangi bir çeşitlemenin olmadığı, sistemde sadece bir alıcı ve verici antenin bulunduğu sistemler tek-girişli tek-çıkışlı sistemler (SISO) olarak adlandırılır. Eğer sadece alıcıda çoklu anten kullanılmış ve çeşitleme yapılmışsa SIMO, yalnız vericide çeşitleme yapıldığı durumda da MISO, hem alıcıda hem de vericide çeşitlemenin yapıldığı sistemlere de MIMO adı verilir.



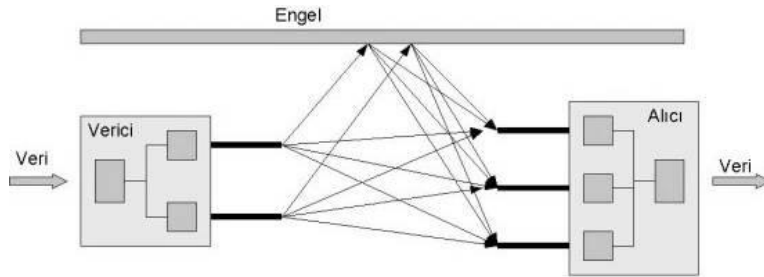
Şekil 3.39. Alıcı vericide farklı anten durumları

Eğer yollar eşit şekilde güçlü ve mükemmel olarak ayrılmış iseler, iletişim kanalının toplam kapasitesi kullanılan bağımsız yolların sayısı ile doğrusal olarak artar. M verici ve N alıcının bulunduğu bir sistemde ($M \times N$), bağımsız yolların sayısı M ve N’nin az olanıdır. Pratikte bütün yollar eşit şekilde güçlü ve kusursuz olarak ayrılmamıştır. Performans, alıcı-verici arasındaki her yolu karakterize eden katsayılar tarafından belirlenir. Bu tekil

değerler, her antenden iletilen farklı işaretler esnasında gönderilen, her veri paketinin başlangıcında bulunun kısa bir training period isareti ile belirlenir. Bu işaretler iletim kanalı hakkında bilgi (Channel State Information-CSI) sağlar ve bu bilgi ile alıcı, veri paketinin geri kalanını çözmek için kullanılan tekil değerleri hesaplayabilir. Örneğin 10-3, 10-4 gibi hücresel sistemlerce güvenilir bulunan hata oranlarına bakıldığında 1 ve 5 yol için SNR değerinde 30 dB iyileşme görülmektedir. Dolayısıyla daha düşük SNR'da daha güvenilir iletişim sağlanabilir. [44].

Çoklu işaretler kanala verilmeden önce iletimde ya da alımda birleştirilir. Amaç zarar verici çoklu sönmüleme ve girişim gibi yayılım koşullarının varlığında daha güvenilir iletişim linki sağlamaktır. Örneğin BF ile enerji arzu edilen yöne odaklanarak ortalama SNR artırılır. Aslında, her anten elemanının istenen iletilen işarete vereceği cevap tahmin edilirse, elemanları, her elemanın cevabının fonksiyonu ile ağırlıklandırarak işareti en uygun şekilde birleştirmek mümkün hale gelebilir. Sonrasında istenen ortalama işaret seviyesi maksimize edilebilirken gürültü, girişim gibi diğer bileşenler minimize edilebilir. Verici ve alıcı MIMO link kapasitesini başarmak için sırasıyla ön ve son-kodlama teknikleri (pre, post-coding) kullanılır. Ön-kodlama, kod çözme aşamasında alınan işaretin kalitesini artıran hüzme şekillendirme ve uzaysal kodlamayı içerir. Uzaysal kodlama SM (Spatial Multiplexing) ile veri çıkışını artırabilir ve uzaysal çeşitleme kullanarak Alamouti kodlama gibi tekniklerle kapsama alanını artırabilir. BF'nin faydaları yapıcı birleştirme ile işaret kazancını artırmak ve çok yollu sönmüleme etkisini azaltmaktır. Alıcıda birden fazla anten olduğunda iletim BF, işaret seviyesini bütün alıcı antenlerde eşzamanlı olarak maksimize edemez ve ön-kodlama kullanılır. Ön kodlama vericide kanal durumu hakkında bilgi (CSI) gerektirir. Telsiz haberleşme sistemlerinde yüksek haberleşme hızı ihtiyacının en üst seviyeye çıkacağı oldukça kabul gören bir düşüncedir. Elde edilen büyük gelişmelere karşın arzu edilen en üst seviye veri hızları, telsiz haberleşme sistemlerinin doğası gereği ortaya çıkan çok yollu yayılım ve istenmeyen hücre içi ve hücreler arası karışma nedeniyle sınırlandırılmaktadır. Çok taşıyıcılı ya da ayrık çok tonlu modülasyon olarak da adlandırılan OFDM bir kullanıcıdan başka bir kullanıcıya bilgi iletmek için çok sayıda alt taşıyıcıdan yararlanır. Çoklu yol kavramı ve uzaysal çoğullama Tipik bina içi telsiz ağ kurulumlarında radyo işareti vericiden alıcıya en kısa yoldan nadiren direkt olarak alınır. Böyle olmasının nedeni alıcı-verici arasında LOS ortamının nadiren sağlanmasıdır. İşaret bir alıcıya farklı yollardan gittiğinde işaretin alıcıya ulaşma zamanı kat ettiği yolun

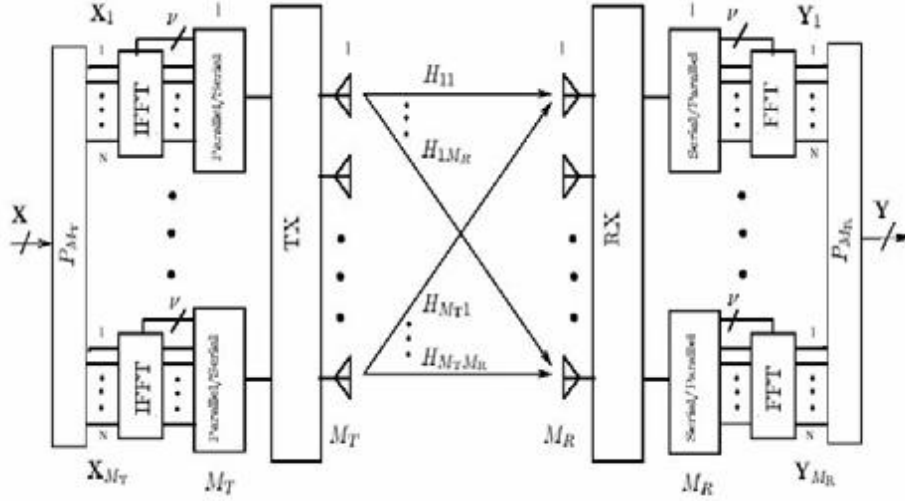
uzunluğuna bağlıdır. En kısa yolu kat eden işaret ilk ulaşır. Akabinde kopyalar veya yankıları az bir gecikmeyle ulaşır. Bu gecikme tek bir antendeki işarete önemli bir zayıflamaya yol açacak kadar önemlidir çünkü bütün kopyalar ilk ulasan işarete girişime neden olur. Anten dizileri kullanımıyla, işareti tümüyle kaybetme olasılığı ilintisiz antenlerin sayısıyla üssel olarak azalır. Bir MIMO sistemde aynı anda birçok radyo işareti gönderilir ve çoklu yoldan faydalanılır. Her akış kendi vericisini kullanarak kendi anteninden gönderilir. Her işaret bütün antenler arasında mesafe olduğundan alıcıya doğru farklı bir yol izler. Öbür taraftan her verici diğerlerinden farklı veri akışları gönderebilir. Alıcının her biri kendi radyosuna sahip çoklu antenleri vardır. Alıcıların her biri gelen işareti bağımsız olarak çözebilir sonra her radyonun aldığı işaret diğer alıcı radyolardan gelenlerle birleştirilir. Karmaşık matematiksel işlemlerden sonra alınan sonuç daha iyi bir alınan işarettir. [44]



Şekil 3.40. çoklu yol ve uzaysal çoğullama

Sistemdeki her ilave verici ya da alıcı SNR'ı artırır. Fakat her ilave verici veya alıcıdan gelen kazanç artışı hızla azalır. SNR'daki kazanç 2×1 'de 2×2 ve 3×2 'ye kadar her adımda büyük ama 3×3 ve ötesinde nispeten daha düşüktür. Gerçekte MIMO linkler akıllı antenlerden çok daha fazlasını sunar. Temel avantaj, matris kanalının çeşitli uzaysal modlarında, aynı zaman-frekans slotunda, ilave güç gerektirmeksizin iletim olasılığı altında yatmaktadır. Bir OFDM sisteminin, zaman değişkenli ya da frekans seçici kanallar üzerindeki sistem kapasitesini geliştirmek ve çeşitlilik kazancını artırmak için alıcı ve verici katlarında anten dizileri ile birleştirilmesi sonucunda Multiple Input - Multiple Output Çoklu –Giriş Çoklu –Çıkış (MIMO) sistemleri elde edilmektedir. MIMO WİMAX'in etkinliğini dört katına kadar çıkartan gelişmiş bir anten teknolojisidir. Bu sistemde birçok alıcı ve verici kullanılır. [44]. Bir OFDM iletiminde ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) işlemi vericide gerçekleştirilmekte ve bunu IFFT bloğunun paralelden seriye dönüştürülmüş çıkışının ilk L örneğinin kopyasını içeren L uzunluklu CP (cyclic Prefix) öneki izlemektedir. Alıcıda CP kaldırılmakta, ardından alınan işaret dizisi üzerinde

N uzunluklu FFT uygulanmaktadır. Sonuçta frekans seçici sönmleme kanalı, her birinin band genişliği B/N olan N tane paralel frekans düz sönmlemeli kanala ayrışmaktadır. Herbir verici ve alıcı antende IFFT/FFT ve CP işlemlerinin gerçekleştirilmesiyle OFDM, doğrudan MIMO kanallara genişletilebilmektedir. Çeşitlilik kazancı ya da sistem kapasitesini artırmak için OFDM çoklu giriş çoklu çıkış alıcı vericisi ile birleştirilebilmektedir. [44].



Şekil 3.41. MIMO sistemi

Haberleşme teorisinde MIMO, verici ve alıcı taraftaki çoklu antenlerle radyo bağları kurmaktadır. Verilen çoklu antenlerde uzamsal boyut kablosuz bağlantının performansını geliştirmek için kullanılabilir. Performans çoğunlukla kablosuz bağın sağlayabildiği ortalama bit hızı (bit/s) ya da ortalama bit hata oranı (BER) olarak ölçülmektedir. Hangisinin daha önemli olduğu uygulamaya bağlıdır. Çift yönlü metot ve iletim band genişliği ile verilen bir MIMO kanalda, bir sistem;

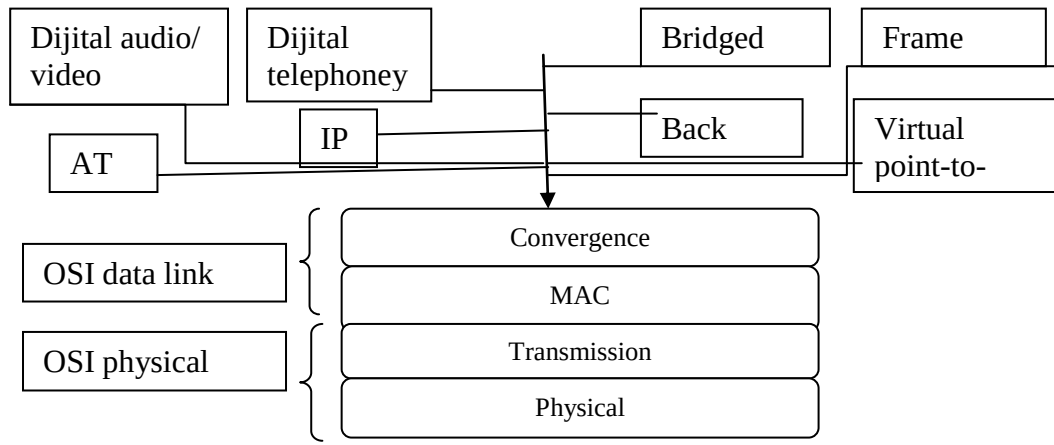
- Düz ya da frekans seçici sönmleme
- Sınırsız ya da kanal durum bilgisi olmaksızın (tüm CSI)

biçiminde sınıflandırılmaktadır. Tüm CSI (channel state information) tam bir MIMO kanalı aktarım işlevi bilgisi anlamına gelmektedir. Çift yönlü zamanı kanalın evre uyumlu zamanından daha az olan bir zaman bölmeli çoğullama sisteminde tüm CSI vericide mevcut olduğu için kanal karşılıklıdır. Frekans bölmeli çoğullama sistemlerinde çoğunlukla alıcıdan vericiye bir geri besleme kanalı söz konusu olup, bu kanal vericiye kısmi CSI sağlamaktadır. Bu, antenlerin hangi alt grubunun kullanılacağı ya da kanalın

hangi öz modunun en güçlü olduğu bilgisi olabilmektedir. İletim çeşitliliğinin kullanılmasıyla, vericide herhangi bir CSI olmaksızın da yüksek sağlamlıkta kablosuz bir bağ gerçekleştirmek mümkündür. [44].

3.2.3.7 Fiziksel Katman

IEEE 802.16 Protokol Mimarisi 4 katmandan oluşur: Convergence, MAC, Transmission ve Physical. Bunlar şekil 3.42.'deki OSI katmanlarının en aşağısında bulunan Fiziksel ve Data Link katmanlarına karşılık gelir.



Şekil 3.42. IEEE802.16 Protokol Mimarisi

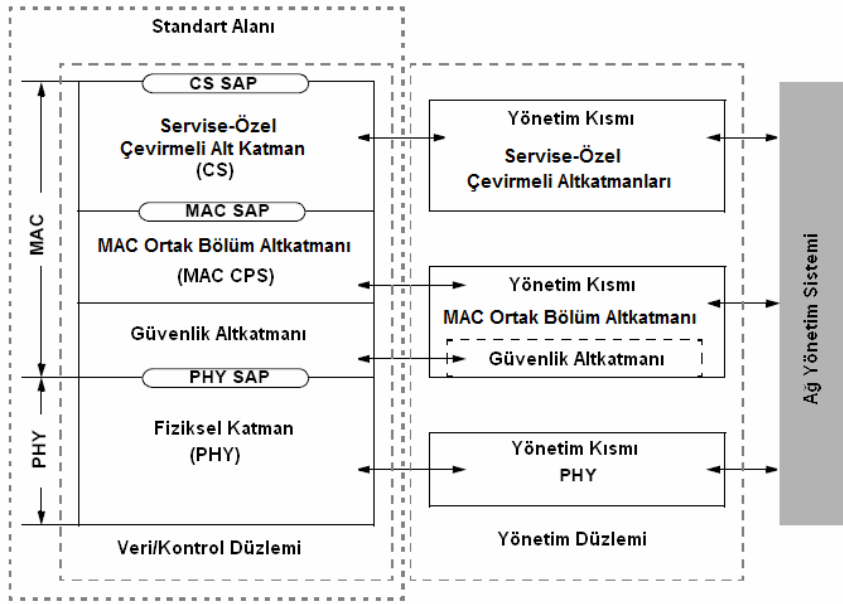
Wimax kullanıcı terminalleri ve PC kartları (bugün WLAN’da olduğu gibi) kullanarak uzak mesafelerdeki müşterilere güvenli servis sağlayabilmelidir. Bu gerekliliklerden, transmit edilen gücün insan sağlığına etki edecek limitlere uyumlu olması mikrodalga limitlerini oluşturacaktır. Veriş (uplink) içindeki alt kanal oluşturma ve bas istasyonundaki smart antenler bu sınırlamaların üstesinden gelebilmelidir. Wimax sistemi hedef uygulamaları tarafından yürütülen bütün taleplerini desteklemek için yeni radyo fiziksel katmanı ve uygun MAC katmanına dayanmaktadır. PHY katman modülasyonu, farklı tip servisler (VoIP, real-time and non real-time services) için optimize edilmiş kaynak dağılımını ve QoS’i desteklemesi için merkezileştirilmiş MAC Katmanı ile kombinasyonu ile birlikteliği için OFDMA’a dayanmaktadır. OFDMA PHY katmanı, 2-11 GHz frekans aralık çevresinde NLOS yayılması için çok iyi adapte edilmiştir. OFDMA NLOS refleksiyondan meydana gelen önemli gecikmeyi idare edeceği zaman doğal olarak çok güçlüdür. NLOS refleksiyonu antenler birbirini görmediğinden sinyalin engellere

Çarparak belirli bir gecikmeden sonra alıcıya ulaşmasıdır. Radyo kanal kapasitesine göre bireysel her aboneye uygulanan uyarlanabilir modülasyon ile birlikte, OFDMA yaklaşık 3 – 4 bit/s/Hz arası yüksek bir spectral verim sağlayabilir. Buna karşılık, Single Carrier Modulation'ın aksine, OFDMA sinyali yükselen bir peak'e sahiptir. Ortalama radio ve yükselen frekans doğruluğu gerekmektedir. Bu yüzden, uygun g c amplifierları ve frekans doğrultucu konsepti seçimi çok önemlidir. Fiziksel katman yani MAC katmanı bilgileri iletim ortamlarında, iletişim cihazlarının algılayabileceği formatlara dönüştürerek iletmektedir. WIMAX fiziksel katmanı, yüksek hızlı veri iletimi ve multimedya uygulamaları için kullanılan iletim şeması OFDM'yi kullanır. OFDM, WIMAX'ın yanı sıra ADSL/VDSL, 802.11 a/g/n, dijital radyo sistemleri, karasal dijital/mobil TV sistemleri, MBWA (IEEE 802.20), UWB (IEEE 802.15.3a) gibi bir çok ticari geniş bant sisteminde kullanılmaktadır. OFDM, görüş açısının olmadığı ortamlarda yüksek hızlı veri iletimi için etkili bir yöntemdir. WIMAX'ın fiziksel katmanı 10 ila 66 GHz frekans aralığını desteklemektedir. Ancak üzerinde yapılan değişikli ve geliştirmeler sayesinde diğer frekanslarıda desteklemektedir. Bu tür sistemlerde veri iletimi için açık görüş alanı gerekmektedir. [46].

Bu sınırlama nedeniyle, IEEE tek taşıyıcılı modülasyonu (WirelessMAN-SC) tercih etmiştir. Açık görüş alanında iletim, bina çatısında büyük miktarda veriyi yüksek hızlarla iletebilecek sabit bir anten gerektirir. Bu tip antenler pahalı oldukları gibi kurulumları da maliyetlidir. WIMAX'ın bina türü küçük çaplı uygulamalarda kullanımı için kapalı görüş açısına göre çalışan bir sistem gerekmektedir. Dolayısıyla, IEEE 802.16a fiziksel katmanı, özellikle radyo dalgalarının ev ve ağaç gibi engellerin üstünden yansıyabilecek, 11 GHz altındaki frekanslarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. 11 GHz bandı altındaki lisanslı bantla yüksek dalga uzunluğuna bağlı olarak LOS gerekli değildir ve çoklu-yol önemli olabilir. Near-LOS ve Non-LOS (NLOS) senaryolarını desteklemesi için gelişmiş g c yönetimi teknikler, gürültü azaltılması ve çoklu antenlerde olduğu gibi ilave olarak PHY özelliği gerekmektedir. 11 GHz altındaki lisans harici bantlar için fiziksel  evre, aynı frekans aralığındaki lisanslı bantlar ile aynıdır. Fakat, lisans harici tutulan doğa düzenleyiciler yayılan gücü sınırladığında ilave gürültüler ve bozucu etkiler sunar. PHY ve MAC, gürültüyü tespit etmek ve engel olmak için DFS (Dynamic Frequency Selection – Dinamik Frekans Seçimi) gibi mekanizmalar sunar. Gerçek hareket kabiliyetini sağlamak için tasarlanmış bu ağlar kablosuz ağların en karmaşık türüdür. Ses tabanlı hücresel ağlar

veya PCS (Personal Communication Service – Kişisel Bağlantı Servisi) ağlarda olduğu gibi, yüksek-hız mobil ağları her yerde olan bir kapsama alanına ve yüksek hız hareketliliğine sahiptir. Bu tasarımlar biraz maliyetli olmaktadır. IEEE 802.16e, IEEE 802.20 ve CDMA 2000 (Code Division Multiple Access – Kod Bölmeli Çoklu Giriş) standartları dünya üzerindeki büyük alanlarda gerçek geniş-bant mobil veri çözümleri sunan standartlardır. Maliyet ve karmaşıklık özelliklerinden dolayı Telekom operatörleri, küçük şirketlerin itirazlarına rağmen bu tür ağları kullanmaktadırlar. Şekil 3.43’de görüldüğü gibide MAC 3 adet alt katmandan oluşur. Servise-Özel çevirmeli alt-katmanı (CS – Convergence Sublayer) AP’lerden alınan harici ağ verisinin haritalanmasını ve dönüşümünü sağlar. Harici ağ servisleri veri ünitelerinin (SDU) sınıflandırmasını içerir ve uygun MAC servis akış belirleyicisi (SFID – Service Flow Identifier) ve bağlantı belirleyicisi (CID – Connection Identifier) ile birleştirilir. Ayrıca PHS (Payload Header Suppression – Veri Başlığı Gizleme) gibi bazı fonksiyonları da içerebilir. Çoklu CS sınıflandırmaları çeşitli protokollerle arayüz sağlamada kullanılır. CS verisinin içyapısı CS için özgüdür ve MAC CPS’in (Common Part Sublayer – Ortak Bölüm Alt Katmanı) CS taşınan verisi ile ilgili herhangi bir yazı veya bilgiyi anlamasına gerek yoktur. [46]

. MAC, CPS giriş kontrolü, bant genişliği ayırma, bağlantı kurma ve bağlantı yönetimigibi çekirdek fonksiyonları sağlar. Özel MAC bağlantıları olan MAC-SAP’ler (Service Access Point – Servis Erişim Noktası) boyunca birçok CS’den veri alır. MAC ayrıca, yetkilendirmeyi sağlayan güvenlik katmanı, güvenlik anahtarı değiştirme ve şifrelemeyi içerir. Veri, PHY kontrolü ve istatistik PHY SAP üzerinden MAC CPS ve PHY arasında iletilir. [46].



Şekil 3.43. Porotokol Katmanları

PHY, birçok sınıflandırma içerip, her biri özel frekans aralığına ve uygulamasına ayrılır. PHY sınıflandırması, 10 – 66 GHz frekans bandındaki işlemler için düşünülmüş, servis sağlayıcıların sistemlerini hücre planlama, maliyet, dalga özellikleri, servis ve kapasite bakımından en verimli bir şekilde kullanabilmek için esneklik sağlaması amacıyla tasarlanmıştır. Spektrum esnekliğinin sağlanabilmesi için hem TDD hem de FDD işlemlerini desteklemektedir. PHY ile veri gönderimi TDMA (Time Division Multiple Access – Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) ve DAMA yapılarının birlikte çalışmasıyla yapılır. Veri gönderme kanalları birkaç adet zaman bloklarına ayrılmıştır. Bu blokların sayısı, bazı parametrelerdeki (giriş yapma, içerik, yönlendirme ve trafiğin kullanımı) değişimlere göre BS (Base Station – Baz İstasyonu) içindeki MAC tarafından kontrol edilmekte ve optimal performans için zaman içinde değişiklik göstermektedir. Veri alma kanalı TDM (Time Division Multiplexing – Zaman Bölmeli Çoğullama) yapıdadır, Her SS'nin (Subscriber Station – Abone İstasyonu) gönderdiği bilgi birleştirilerek tek bir sektör içinde iletimi yapılır.

IEEE 802.16 MAC protokolü, noktadan çoklu noktaya geniş bant kablosuz erişim uygulamaları için tasarlanmıştır. Hem veri indirmede (BS'den) hem veri göndermede (BS'e doğru) yüksek bit oranlarına olan ihtiyacı ele almıştır. Erişim ve bant genişliği tahsisi algoritmaları, kanal başına düşen ve çoklu son kullanıcılar tarafından paylaşılan

yüzlerce terminalleri içermelidir. Bu son kullanıcılar için gerekli servisler çeşitlilik göstermektedir ve TDM yapıda ses ve veriyi, internet protokolü (IP) ile bağlanabilirliği ve paketlenmiş VOIP yapılarının uzantılarını içerir. Bu çeşitlilikteki servisleri desteklemek için IEEE 802.16 MAC protokolü hem patlamalı hem de sürekli veri trafiğini desteklemelidir. Ek olarak, trafik türlerini takip edebilmek için bu servisler QoS yeteneğine ihtiyaç duymaktadır. IEEE 802.16 MAC, ATM servis kategorileri benzeri çeşitli servis tiplerini ve GFR (Guaranteed Frame Rate – Garanti edilmiş çerçeve oranı) gibi daha yeni kategoriler gibi geniş bir servis aralığı sağlamaktadır. IEEE 802.16 MAC protokolü, ATM ve paket-tabanlı protokolleri de içeren çeşitli uzak noktalardan merkeze veri aktarma mekanizmalarını desteklemelidir. Taşıma katmanına özel trafiği her hangi bir tür trafiği verimli bir şekilde taşımak amacıyla yeterli esnekliğe sahip bir MAC'a dönüştürmek için çevirmeli alt katmanlar kullanılır. Veri başlığı gizleme, paketleme ve parçalara ayırma gibi özellikler aracılığı ile trafiği orijinal iletim mekanizmasından daha verimli bir biçimde iletme için çevirmeli alt katmanlar ve MAC birlikte çalışır.

Taşıma verimi konuları MAC ve fiziksel katman arasındaki arayüz de de ele alınır. Örnek olarak, modülasyon ve kodlama yöntemleri her bir patlama için her abone istasyonuna uyarlamalı olarak ayarlanabilir bir patlama profilinde belirtilir. MAC uygun bağlantı koşulları altında bant genişliği-verimli patlamalı profilleri kullanabilir, fakat planlanan yüzde 99.999 hat kullanılabilirliğini desteklemek için gerekli, daha az verimli olmakla birlikte daha güvenli seçenekleri kullanır. İstek-tahsisli mekanizmalar ölçeklenebilir, verimli ve kendi kendini düzeltebilen olacak şekilde tasarlanır. IEEE 802.16 erişim sistemi, terminal başına çoklu bağlantılar ve çoklu QoS katmanları ile ve yüksek bir miktarda istatistiksel olarak çoğullanmış kullanıcılar için verimliliği kaybetmez. İçeriksiz erişimin kararlılığını içerik yönelimli verimliliği ile dengede tutarak, IEEE 802.16 MAC erişim sistemi çok çeşitli istek mekanizmalarından istifade eder. Çok sayıda bant genişliği paylaşılması ve QoS mekanizmaları var olmasına karşın, planlama ve yer ayırma yönetiminin detayları standartlaştırılmamış ve üreticiler için cihazlarını benzerlerinden ayırt etmek amacıyla önemli bir mekanizma sağlamıştır.

Bant genişliği tahsisi ve veri taşınmasının yanında MAC ağa giriş yetkilendirmesi ve servis hırsızlığının önlemek amacıyla bir gizlilik alt katmanı içerir ve bu katman veri gizliliği amacıyla anahtar değiştirme ve şifreleme işlemlerini yapar. IEEE 802.16a projesi

2 ve 11 GHz frekansları arasındaki farklı servis ihtiyaçlarının ve daha fazla talep edilen fiziksel ortamın sağlanabilmesi için MAC yapısını ARQ ve örgü (mesh) desteğini sağlayacak şekilde güncellenmektedir. MAC, daha üst seviyedeki katmanlara arayüz olan Servise-Özel Çevirmeli alt katmanını içerir. Bu katmanın altında MAC fonksiyonları gerçekleştiren MAC Ortak bölüm alt katmanı yer alır. Ortak katmanın altında ise güvenlik alt katmanı vardır. Servise-özel çevirmeli alt-katmanlar; IEEE 802.16 standardı, IEEE 802.16 MAC bağlantılarına doğru ve bağlantılarından dışarı olmak üzere genel iki servise-özel çevirmeli alt-katman tanımlar. ATM çevirmeli alt-katman ATM servisleri için, paket çevirmeli alt-katman ise IPv4, IPv6, Ethernet ve VLAN (Virtual Local Area Network – Sanal Yerel Ağ) gibi paketlemeli servislerin yerleştirilmesi için tanımlanmıştır. Alt katmanın öncelikli görevi SDU'ları doğru MAC bağlantısına göre sınıflandırmak, QoS yapısını devam ettirmek veya aktif hale getirmek ve bant genişliği tahsisini yapmaktır. Tahsis servislerin tipine göre çeşitlilik gösterir. Bütün bu temel fonksiyonlara ek olarak, çevirmeli alt katman veri başlığı gizleme ve hava akışı verimini artırılmasının yeniden oluşturulması gibi daha karmaşık fonksiyonları da gerçekleştirebilir.

Ortak bölüm alt katmanı; Genel olarak, IEEE 802.16 MAC eşzamanlı ve birbirinden bağımsız birden fazla sektörü aynı anda işleyen merkezi bir BS'li noktadan-çoklu noktaya bir mimari yapıyı destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Veri indirmede, SS'lere gelen veriler TDM yapıda çoğullanır. Veri gönderme SS'ler arasında TDMA yapıda paylaşılır. IEEE 802.16 MAC bağlantı-tabanlıdır. Bağlantı içermeyen bütün servisler dahil tüm servisler dönüştürülür. Bu, bant genişliği talep etmede, QoS ve trafik parametrelerini ilişkilendirmede, uygun çevirmeli alt-katmana veri taşıma ve yönlendirmede ve servis tarafından kabul edilmiş terimlere ilişkin diğer tüm olaylarda bir mekanizma sağlar. Bağlantılar 16-bit bağlantı belirleyicisi ile tanımlanmıştır ve sürekli olarak verilen bant genişliği veya isteğe bağlı olarak verilen bant genişliği gerektirebilir. İleride açıklanacağı gibi, her iki tip bant genişliği tahsisi de desteklenmektedir. Bütün SS'ler standart olarak 48-bitlik bir MAC adresine sahiptir, fakat çalışma esnasında kullanılan birincil adresler CID'ler olduğundan 48 bitlik MAC adresi belirleyici olarak çalışır. Ağa girdikten sonra SS'lere her yöne doğru üç yönetim bağlantısı verilir. Bu üç bağlantı, farklı yönetim katmanlarınca kullanılan farklı üç QoS ihtiyacını belirtir. Bağlantılardan ilki kısa süreli, zaman açısından kritik MAC ve radyo bağlantı kontrolü (RLC) mesajlarını iletmek için kullanılan basit bağlantıdır. Birincil yönetim bağlantısı, yetkilendirme ve bağlantı

kurulumu gibi daha uzun ve gecikmeye karşı daha toleranslı mesajların iletilmesinde kullanılır. İkincil yönetim bağlantısı ise, DHCP, TFTP (Trivial File Transfer Protocol – Önemsiz Dosya Transfer Protokolü) ve SNMP (Simple Network Management Protocol – Basit Ağ Yönetim Protokolü) gibi standart-tabanlı yönetim mesajlarının iletilmesinde kullanılır. Bütün bu yönetim bağlantılarına ek olarak, SS'lere kabul edilmiş servisler için taşıma bağlantıları tahsis edilir. Taşıma bağlantıları, QoS ve trafik parametrelerinde farklı veri gönderme ve veri alma işlemini kolaylaştırmak için tek yönlü olup servislerde çiftler olarak yer almaktadır. [46].

MAC, değişik amaçlar için ilave bağlantılar bulundurmaktadır. Bir bağlantı, içeriktabanlı ilk erişim için ayrılmıştır. Başka bir bağlantı, SS bant genişliği ihtiyacının içerik-tabanlı yoklamasını işaretlemekle birlikte veri indirmede yayın iletimi için tahsis edilmiştir. İlave bağlantılar, içerik-tabanlı yayınlar yerine içerik-tabanlı çokluyayınlar içindir. SS'lere bu çoklu-yayın yoklaması bağlantılarına ilişkin yoklama grupları içine katılmaları için komut verebilir. MAC PDU Yapıları; MAC PDU, MAC'ın BS ve SS'lerdeki MAC katmanları arasında değiş-tokuşu yapılan veri birimidir. Bir MAC PDU, sabit uzunlukta MAC başlığı, değişken uzunlukta veri ve isteğe bağlı olarak CRC (Cyclic Redundancy Check – Dairesel Fazlalık Kontrolü) yapısını içerir. HT alanı tarafından ayırt edilen iki başlık formatı tanımlanır. Genel başlık ve bant genişliği istekli başlık. Veri içermeyen bant genişliği istekli MAC PDU'ları hariç, MAC PDU'lar ya MAC yönetim mesajlarını ya da çevirmeli alt-katman verisini içerir. Üç çeşit MAC alt-başlığı mevcut olabilir. Büyük yönetim alt-başlığı, bağlandığı BS'nin ihtiyacı olan bant genişliği yönetiminin taşınması için SS'ler tarafından kullanılır. Bölmeli alt-başlık, SDU'ların herhangi bir bölmesindeki verinin yön ve mevcudiyet bilgilerini içeren bilgileri içerir. Paketleme alt-başlığı ise, çoklu SDU'ların bir tek PDU içinde paketlenmesini belirtmede kullanılır. Büyük yönetim ve bölmeli alt-başlıkları, tip alanıyla belirtilmiş MAC PDU'ların içerisine genel başlıktan hemen sonra yerleştirilebilir. Paketleme alt-başlığı, tip alanıyla belirtilmiş her MAC SDU yapısında öne yerleştirilebilir. Aşağıda detaylı bilgiler verilmiştir.

MAC PDU'ların iletimi; IEEE 802.16 MAC, ATM veya IP gibi çeşitli yüksek seviyeli protokolleri destekler. Karşılık gelen çevirmeli alt-katmanlardan gelen MAC SDU'lar, MAC protokolüne uygun olarak bir veya daha fazla bağlantı üzerinden

taşınmadan önce MAC PDU yapısına göre şekillendirilir. Hava-bağlantısından geçerken MAC PDU'lar MAC SDU'lara dönüştürülür. Böylece, MAC katman protokolü tarafından yapılan biçim değişikliği alıcı tarafından algılanır. IEEE 802.16 paketleme ve parçalama işlemleriyle birlikte bant genişliği tahsis işlemini işlemlerin esnekliğini, verimliliğini ve etkinliğini maksimum yapmak için birleştirme özelliğine sahiptir. Parçalama, MAC SDU'ların bir veya birden fazla MAC SDU (Service Data Unit) parçalarına bölünme işlemidir. Paketleme ise, çoklu MAC PDU'ların bir tek MAC PDU (Protocol Data Unit) verisinin içine paketlenmesidir. Her iki işlem de ya bir veri indirme bağlantısı için bir BS ile ya da bir veri gönderme bağlantısı için bir SS tarafından başlatılabilir.

IEEE 802.16, bant genişliğinin verimli kullanılmasını sağlamak için parçalama ve paketleme işlemleri birlikte yapılmasına izin vermektedir. Güvenlik alt katmanı; Güvenlik alt katmanı, SS (Subscriber Station) ile BS (Base Station) arasındaki bağlantıyı şifreleyerek geniş bant kablosuz ağdaki kullanıcıların güvenliğini sağlar. Ek olarak, bu katman üreticilere sanal hırsızlara karşı güçlü bir koruma sağlar. BS katmanının üzerinden akan trafiği şifreleyerek veri transfer servislerine yetkisiz girişleri de engeller. Güvenlik katmanı, BS katmanında, sunucuda ve kullanıcı tarafındaki SS katmanında bir yetkilendirme protokolü çalıştırır. Ayrıca bu mekanizma sayısal sertifika tabanlı şifreleme protokolleri ile sağlamlaştırılır. Yetenekler göz önüne alındığında, SS katmanı IEEE 802.16 standardının güvenlik yapısını desteklemez. Bu katmanda yetkilendirme ve anahtarlama adımları atlanır. Bu gibi durumlarda ihtiyaç duyulursa BS katmanı SS katmanında yetkilendirme sistemlerini çalıştırır. Aksi halde anahtarlama veya veri şifreleme mekanizmaları çalışmaz. [46].

Wimax, mevcut spectrum kaynakları ve hedef servisler için çeşitli gereklilikleri karşılamak için kanal bazında esneklik, taşıyıcı frekans ve duplex mod (TDD ve FDD)'u sağlamaktadır. 802.16 standardı başlangıçta video, veri ve sesi içeren geniş bant servislerin dağıtımı için geliştirilmiştir. MAC katmanı time-proven DOCSIS standardına dayanmakta ve aynı kanal üzerinden gecikme hassasiyeti olan ses trafiğini ve anlık video yayın ihtiyacını en yüksek hızlardaki veri trafiğini desteklemektedir. MAC denetçisi tarafından bir terminalin kaynak dağılımı yalnız bir zaman aralığından tüm çerçeveye kadar değişebilir, bu sayede herhangi bir zamanda belirli bir terminale doğru çok geniş dinamik bir aralık oluşturulur. Ayrıca, kaynak dağılımı bilgisi her çerçevenin başında MAP (Mobile

Application Part) mesajları içinde nakledildiği için, programcı doğal olarak akan trafiğe adapte olması için çerçeveden çerçeveye temelinde kaynak dağılımını değiştirebilir. MAC katmanının birincil amacı fiziksel katman ile taşıma katmanları arasında bir ara yüz oluşturmaktır. MAC katmanı üst katmandan aldığı paketleri (MAC Service Data Unit - MSDU), kablosuz iletim için “MAC Protocol Data Unit”e (MPDU) dönüştürür. Alıcı taraftaki MAC katmanı da bu işlemin tersini yapar. IEEE 802.16 ve 802.16e MAC dizaynları, Ethernet, IP, VOIP, IPTV gibi çeşitli üst seviye protokollerle uyumlu ara yüzler içerir.

Çizelge 3.5. MAC Özellikleri

Özellik	Faydası
TDM/TDM Uplink/Downlink çerçeveleri planlar	•Verimli bantgenişliği kullanımı
1'den yüzlerce aboneye kadar ölçeklendirir	•Sağlam bir iş durumunu dağıtmak için yeterli aboneyi desteklemek için düşük fiyat etkili yerleşime izin verir
Bağlantı-yönelimli	•Bağlantı başına QoS •Daha Hızlı paket yönlendirmesi ve iletilmesi
QoS support Continuous Grant Real Time Variable Bit Rate Non Real Variable Rate Best Effort	•Gecikmeye hassas olan servisler için düşük gecikme (TDM Voice, VoIP) •VBR trafik için Optimal transport (örnek; video) Veri polarizasyonu
Otomatik olarak Retransmission isteği (ARQ)	• RF katmanını gizleyerek suretiyle daha üst katmanlardaki hataları azaltarak Uçtan Uca performansı geliştirir
Adaptive modülasyonu destekler	•Kanal durumunun izin verdiği en yüksek hızı sağlar, sistem kapasitesini iyileştirir
Güvenlik ve şifreleme (üçlü DES)	•Kullanıcı özelini korur
Otomatik Güç kontrol	•Kendi kendine interferansı azaltarak GSM yerleşimini sağlar

OFDM, WIMAX'ın yanı sıra ADSL/VDSL, 802.11 a/g/n, dijital radyo sistemleri, karasal dijital/mobil TV sistemleri, MBWA (IEEE 802.20), UWB (IEEE 802.15.3a) gibi bir çok ticari geniş bant sisteminde kullanılmaktadır. Wimax sistemlerinde baz istasyonu, ve alıcı cihazların sinyal gürültü oranları BTS güçleri olarak aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.6. Alıcı SNR değeri

Gerekli Minimum Alıcı SNR Değeri			
Modülasyon	Eb/No (db)	Kodlama Oranı	Alıcı SNR (db)
QPSK	10,5	1/2	9,4
		3/4	11,2
16-QAM	14,5	1/2	16,4
		3/4	18,2
64-QAM	19.0	2/3	22,7
		3/4	24,4

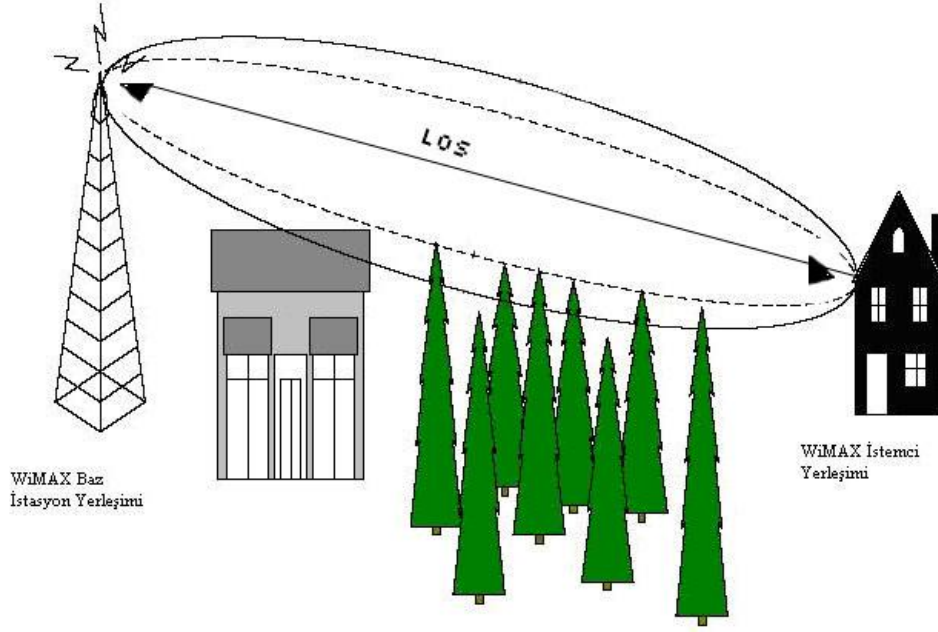
Çizelge 3.6’da modülasyon türlerine göre SNR değerleri görülmektedir. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi modülasyon türü değiştikçe SNR değerimiz artmakta. Bu artış modülasyonlu işaretin taşıdığı yani ihtiva ettiği bilgi oranının arttığında göstermektedir. Wimax de alıcı hassasiyeti -70 dbm ile -134 dbm aralığında yer almaktadır. Güç iletimi 25 dbm’den 0,5 adımlarla 35 dbm’e kadar artmaktadır. Bu çıkış gücü sistem tarafından alıcı ile bağlantı kurulduktan sonra alıcıdan BTS’e veri iletim talebi iletildikten sonra sistem hızını ve çıkış gücünü bağlantı kalitesi ve mobilite durumuna göre modülasyon otomatik değişmekte, çıkış gücünü anlık olarak ayarlamaktadır. Bu özellikle GSM’den ayrılmaktadır. Aşağıda yer alan çizelge 3.7’de yer alan bilgilerde GSM’ler kullandıkları özelliklere göre sınıflanmıştır. Bu sınıflandırmada band genişliği ve kapasiteleri ile hücre özellikleri ile beraber gösterilmiştir. Kanal kapasitesi her kanalda haberleşebilecek abone sayısıdır. Bu çizelgede yer alan modülasyon teknikleri metod bölümünde detaylı anlatılmaktadır.

Çizelge 3.7. Gezgin iletişim teknik özellikleri

Özellikler	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Bir TDM Çerçevesindeki Toplam Fiziksel Kanal	8-992	8-1992	8-1992
Kanal Aralığı	200 Khz	200 Khz	200 Khz
Kanal Kapasitesi	124	124	124
Modülasyon tekniği	GMSK	GMSK	GMSK
Modülasyon hızı	270,85 Kbps	270,85 Kbps	270,85 Kbps
Konuşma kodlama hızı	13 Kbps tam Rate 6,5 Kbps yarım Rate	13 Kbps tam Rate 6,5 Kbps yarım Rate	13 Kbps tam Rate 6,5 Kbps yarım Rate
Veri (data) kodlama hızı	9,6 Kbps tam Rate 4,8 Kbps yarım Rate	9,6 Kbps tam Rate 4,8 Kbps yarım Rate	9,6 Kbps tam Rate 4,8 Kbps yarım Rate
En yüksek veri hızı	>150 Kbps (GPRS)	>150 Kbps (GPRS)	>150 Kbps (GPRS)
Çoklu erişim yöntemi	TDMA-FDMA	TDMA-FDMA	TDMA-FDMA
Hücre yarıçapı	0.15-30 Km.	0.15-30 Km.	0.15-30 Km.
Baz İstasyonu(BTS) Çıkış gücü	2.5-60 Watt (44 dBm)	2.5-60 Watt (44 dBm)	2.5-60 Watt (44 dBm)
Baz İstasyonu Duyarlılık (hassasiyet) değeri	-110 dBm	-110 dBm	-110 dBm

3.2.3.8. Los ve Nlos

LOS sisteminde alıcı ile verici arasında işaretler hiçbir engelle karşılaşmadan direk olarak yollanırlar. Eğer bu arada engeller varsa iletilen işaretlerin gücünde büyük kayıplar meydana gelebilmektedir. LOS sisteminde WiMAX kuleleri yüksek yansıtıcı antenleriyle birçok veriyi daha az bir hata ile göndermekte, daha güçlü ve daha kararlı bir yapıya sahiptirler. LOS, büyüklüğü 66 GHz'e kadar ulaşabilen yüksek frekanslarda kullanılır. Yüksek frekanslarda daha az karışım oluşmaktadır. Sekil 3.44'de WiMAX LOS sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.44. Wimax los sistemi

Görüş hattı olmaması durumunda, alıcı verici arasındaki işaret alış verisi, işaretlerin herhangi bir yere çarparak yansımaları, saçılması ve engellerle karşılaşarak kırılması şeklinde olur. İşaret alıcıya ulaştığında direk ulaşmış işaretler, çoklu yol yansımış işaretler, yayılı enerji, kısımlanarak yayılmış işaret bileşenlerinden oluşur. Farklı biçim ve şekillerde, farklı yollardan ulaşan bu işaretler değişik gecikme yayılımları, güç yitirimi ve kutuplaşmalara sahiptirler. Çoklu yol olayı işaretin polarizasyonunun değişmesine neden olabilir. Bu duruma kutuplama yani frekansın tekrar kullanımı denilebilir. Radyo işaretlerinde kullanılan bu çoklu yol işaretleri anahtarlamak şartıyla NLOS sistemlerinde üstünlük sağlayabilirler. NLOS sistemi bilgisayarımızdaki küçük antenden iletim kulelerine bağlantı sağlar. Bu modda WiMAX küçük işaret aralığı (2 GHz'den 11 GHz'e) kullanılır. Düşük dalga uzunluğu iletimi fiziksel engellemelerle kolaylıkla bozulmaz. Engelleri daha kolay aşabilir. (Wimax Forum)

3.2.3.9. Uyarlamalı Modülasyon

Uyarlamalı modülasyon iyi şekilde tasarlanmış bir Wimax sisteme izin vermektedir. Kullanılan uyarlamalı modülasyon şeması Wimax sistemi kanal şartlarının iyi olmasını sağlayan en yüksek modülasyon düzenini seçebilmektedir. SNR (Signal to Noise Ratio)

deki gibi BS (Base Station)' ye yakın olmak çok iyidir bu yüzden daha yüksek modülasyon düzen şeması üretilen işin bu alanda yükseltilmesi için kullanılmaktadır. Buna karşın kapalı alanlarda hücre sınırı SNR' yı düşürmektedir. Bu nedenle sistem adımları bağlantı kararlılığı ve iletişim kalitesi için daha düşük modülasyon şeması kullanılır. Desteklenen modülasyon oranları BPSK, QPSK 16QAM ve 64QAM'dır. Fiziksel Katman da DL ve UL olarak her bir aboneye seçici paylaştırılabilen kodlama hızı ve modülasyonun Çizelge 3.8 'de verilen 7 kombinasyonu belirlenir. [47].

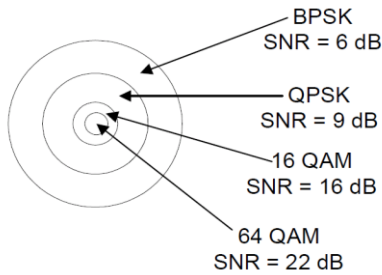
Çizelge 3.8. Modülasyon aracılığı ile kanal kodlama

Modülasyon	Kodlanmamış Blok Genişliği (bytes)	Kodlanmış Blok Genişliği (bytes)	Genel Kod Oranı	RS Kod	Katlamalı Kodlayıcı Kod Oranı
BPSK	12	24	1/2	(12,12,0)	1/2
QPSK	24	48	1/2	(32,24,4)	2/3
QPSK	36	48	3/4	(40,36,2)	5/6
16QAM	48	96	1/2	(64,48,8)	2/3
16QAM	72	96	3/4	(80,72,4)	5/6
64QAM	96	144	2/3	(108,96,6)	3/4
64QAM	108	144	3/4	(120,108,6)	5/6

İletişim sürecinde, bilginin alıcı ve verici arasında aktarımı gerçekleşirken, iletim ortamında oluşan kayıplar ve gürültünün etkisiyle, gönderilen veri ile alınan veri arasında hata denilen farklar oluşmaktadır. Kanala ya da gürültüye etki edebilmek günümüz koşullarında olası bir durum olmadığından, bu hataları önlemek de mümkün olmamaktadır. İletişim sistemlerinde güvenilirliği sağlamak ve alıcıdaki doğru algılama oranını artırmak için hata düzeltme kodlamasından yararlanılmaktadır. Hata düzeltme teknikleri Wimax teknolojisinin anahtar özelliğidir. [22].

Hatalar, kullanılan FEC (Forward Error Correction) - RS (Reed- Solomon),Katlamalı Kodlayıcı ile düzeltilir. Reed-Solomon Kodlayıcı : Veri gönderilirken hata düzeltimi yapılması gönderilen veriye fazladan veri ekleyerek gerçekleştirilir. Bunun içinde önceden belirlenmiş algoritmalar kullanılmaktadır. Amaç hataları tespit etmek ve onları düzeltmektir. Ancak hataların düzeltimi kayıp ya da zarar görmüş paketin tekrar oluşturulması demektir ve önemli olan unsur paket düzeltimi derecesi ve bu işlemin

performansdır. Reed-Solomon paket düzeyinde gönderimde hata düzeltimi kodudur RS Kodlar ikili olmayan BCH kodlarının alt sınıflarından bir tanesidir. Ard arda gelen bit hatalarını ve silinmiş bitleri düzeltmek için kullanılmaktadır. İletimi gerçekleştirecek mesaj bitlerinin belirli sayıda ve sembol olarak adlandırılan gruplar şeklinde alınıp, bu sembollere kontrol sembollerinin eklenmesiyle oluşturulurlar. Genelde mesaj sembollerinin sayısı n , her semboldeki bit sayısı m , bu şekilde tanımlanan kodlarda $RS(n,k)$ ile gösterilmektedir. RS kodlama m -bit sembolde ard arda gelen bitlerde oluşan hataların düzeltilmesinde etkili bir yöntem olup, çoğunlukla da bu amaç için kullanılmaktadır. Ancak tek bit hatalarını da düzeltebilirler. Hatalı bir sembolün düzeltilmesiyle o semboldeki bütün hatalı olarak iletilen bitler düzeltilmiş olmaktadır Katlamalı Kodlayıcı : Katlamalı kodlar, ikili hata düzeltme kodları şeklinde 1955 yılında Elias tarafından gerçekleştirilmiştir. Elias, kablosuz haberleşmede (IMT-2000, GSM, IS-95), sayısal karasal ve uydu haberleşmesinde, yayın sistemlerinde ve uzay haberleşme sistemleri gibi daha birçok alanda kullanılan katlamalı kodları, katlamalı eşlik denetim sembol kodları olarak tanımlamıştır Katlamalı kodlar bellek elemanı kullanımı bakımından periyodik kodlara benzemektedir. Fakat periyodik kodlar blok kodlardır ve kod uzunlukları belirlidir. Katlamalı kodlar ise giriş bit dizisinin sürekli olarak kodlandığı için sabit kod uzunluğuna sahip değildirler. Diğer bir farklılık ise periyodik kodlar lineer bir sistem olarak düşünülebilir, tek girişli ve tek çıkışlı bir system olarak karakterize edilebilirler. Katlamalı kodlayıcılar ise çok girişli ve çok çıkışlı sistemlerdir. [46].



Şekil 3.45. Adaptif modülasyon için bağıl hücre yarıçapları (Wimax Forum)

Adaptive modülasyon WiMAX sistemi sinyal gürültü oranı (SNR) radyo bağlantısının durumuna bağlı olarak sinyal modülasyonu düzenini ayarlamayı sağlar. Ne zaman radyo link kaliteli ise, en yüksek modülasyon kullanılır, daha fazla kapasite ve bilgi akışı sağlayan sistem seçilir. Bir sinyal alışı sırasında wimax sistemi daha düşük bir modülasyon bağlantı kalitesi ve bağlantının istikrarını korumak için geçiş yapabilir. Adaptif modülasyonun en önemli özelliği gerçek koşullarda esnek olabilmesidir.

3.2.3.10. Handoff (Aktarım)

Bir kullanıcı bağlantı halindeyken bir hücrenin servis alanından diğer bir hücrenin servis alanına geçmesi el değiştirme yani aktarım olarak tanımlanır. 802.16e standardı üç tip aktarımı desteklemektedir. Bunlar zorunlu aktarım (HHO), hızlı baz istasyonu anahtarlaması (FBSS) ve makro zorunlu devir teslim aktarımı (MDHO)'dir. Bunlardan HHO zorunluysa, FBSS ve MDHO seçime bağlıdır. WiMAX forum 802.16e standardı içinde HHO ile ilgili bir çok optimizasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar sonucu aktarım gecikmesi 50 µs den daha az bir süreye indirgenmiştir.

3.2.3.11. Hareketli (Mobil) IP

Hareketli IP, kısaca IP olarak bilinir ve Internet'in çalışması için gerekli olan protokol yığınının (TCP/IP) temel bir parçasıdır. Temel olarak IP, paketleri belirli bir hedefe gönderilmek üzere WEB'e bırakır. Her IP Paketi hedef için IP adresi anlamına gelen 4 byte sayısal değer içerir. Örneğin: 207.82.11.19 IP adresi herhangi bir ucun sunucudaki WEB adresinin tek olmasını sağlar. Her IP adresi bir telefon numarası ile eşleşecek şekilde sabit bir ağ bölgesine atanmıştır. Bir paketin hedefi hareketli olması durumunda ve her yeri değiştiğinde yeni bir IP numarası atanmasını gerektirir. Bu şekilde ağ adreslerinin güncellenmesi hareketliliği olanaksız kılar. Hareketli IP teknolojisi aygıtın Internet'e bağlanması ve hareket halindeyken bile aynı IP adresine sahip olmasını sağlar. IETF (Internet Engineering Task Force) nin teklifi ile IP hareketlilik problemine her aygıtın 2 IP adresine sahip olması yolu ile Hareketli IP standardı tasarlanmıştır.

- Static home address
- Care of adres (kullanıcı hareket ettikçe değişir)

Burada sistemin çalışması kısaca kullanıcıya sabit home adres atanır hareket ettikçe değişen care of adresi vardır. Care of adres değiştikçe yeni adres bilgisini yerini bulabilmesi için home adrese bildirir. Bu adres bilgileri sistemi kullanan firmalar tarafından, sistemsal olarak merkez santralinde bulundurmaktadırlar. Bu sistemi yönetici ve asistanına benzetilebilir, yönetici mobil halde olabilir ama asistanı devamlı sabittir. Yöneticinin nerde olduğunu bilmektedir. [45].

3.2.4. Teknolojilerin Üstünlükleri

Burada ilk önce 3G'nin avantajları ve getirilerinden bahsedilecek daha sonra da Wimax'in üstünlükleri, avantajlarından ve getirileri sırası ile kısaca özetlenecektir. 3G Servis Esnekliği ; WCDMA her biri 5MHz genişliğindeki taşıyıcı bandlarının yardımı saniyede 8kbit'ten 2Mbit'e kadar veri iletim oranlarına ihtiyaç duyan çeşitli servisleri destekleyebilmektedir. WCDMA aynı anda hem devre anahtarlama hem de paket anahtarlama teknikleriyle çalışan servisleri aynı frekans bandı üzerinde destekleyebildiğinden tek bir cihaz yardımıyla kullanıcı multimedya uygulamalarından ve devre anahtarlama bağlantı uygulamalarından yararlanabilmektedir. Frekans Spektrumunu Etkin Kullanımı; WCDMA radyo teknolojisi mevcut 200kHz'lik frekans spektrumunu etkin şekilde kullanabilecek yeteneğe sahiptir. WCDMA'in yanında HCS (Hierarchical Cell Structure) ve yapışık (Koraharent) demodülasyon teknikleri de mevcut network kapasitesini artırabilmektedir. 3.nesil sistemler için tasarlanan şebeke yapısında her bir hücre katmanı 10MHz'lik bir frekans bandına ihtiyaç duyduğundan 2 veya 3 katmanlı şebekede 30MHz'lik bir frekans bandında çalışabilir.

Şebeke Kapasitesinin Artırılması; WCDMA radyo frekans (RF) alıcı vericileri darband alıcı vericilere göre 8 kat daha etkin bir şekilde ses trafiğini yönetebilir. Böylece her bir RF taşıyıcısı ile 80 adet eşzamanlı ses çağrısını veya 50 adet veri uygulamasını gerçekleştirebilir. Şebeke kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak kullanılan tekniklerden biri de HCS(Hierarchical Cell Structure) 'dir. HCS ,WCDMA taşıyıcıları arasında mobil yardımcı ara frekansı olarak adlandırılan yeni bir yöntem kullanmaktadır. Ses Trafik Kapasitesinin Artırılması; WCDMA tekniği,ses trafiğinin de spektrumunun etkin kullanımı ile desteklenmesini sağlar. Böylece 30 MHz'lik bir frekans bandında her bir hücre için en az 192 ses çağrısını aynı anda gerçekleştirir. Çeşitli Servislere Aynı Anda Erişebilme; WCDMA tekniğinde devre anahtarlama ve paket anahtarlama servislerde mevcut bant genişliği içerisinde rasgele dağıtılacaklardır.Bu dağıtımda göz önünde bulundurulacak tek parametre uygulamanın ihtiyaç duyduğu servis kalitesi (QoS) seviyesidir. Böylece her bir WCDMA terminali (mobil telefon,PDA gibi) ses çağrıları yaparken aynı anda faks,E-Mail gönderimi gibi servislerden de yararlanabilecektir. Hızlı Servis Erişimi; 3.nesil servisler için hem multimedya servislerine erişilebilmesi hem de saniyede 384kbit veri iletim oranına ihtiyaç duyan paket data servislerinden yararlanabilmesi için bir rastgele erişim

prosedürü geliştirilmiştir. Bu prosedür de bir mobil kullanıcı ile baz istasyonu arasında bağlantının kurulabilmesi için sadece birkaç milisaniyeye ihtiyaç duyulmaktadır. Eş Zamanlı Radyo Erişimi; WCDMA, radyo baz istasyonlarının senkronize bir şekilde çalışabilmesini sağlayabilecek kendine özgü bir haberleşme altyapısına sahip olmakla farklı bir sistemle senkronize çalışma zorunluluğundan kurtulacaktır. WCDMA'nın sahip olacağı bu fonksiyonun faydasını şu örnekle açıklayabiliriz. CDMA /IS-95 sistemi bazı uygulamaları gerçekleştirebilmek için GPS sistemi ile senkronize çalışmak zorundadır. Böyle bir zorunluluk ise hem uygulamanın yönetilebilmesini zorlaştırmakta hem de pahalı bir halle getirebilmektedir. [15].

Kablosuz erişim sistemleri kullandıkları teknikler ve sistemler incelenmiş, sağlık ve çevereye etkileri ele alınmış olup, her bir sistemin kendisine göre avantaj, dezavantajları ve sağlık açısından zararlı veya zararı olmadığını gösteren araştırmalar bulgular bulunmaktadır. Bununla beraber 3G veri iletiminde GSM operatörleri için şu anda alternatifsiz bir teknolojidir, wimax'ın uygulanma amacı ülkemiz için kırsal alanlara götürülemeyen hizmetleri ulaştırmak için lisanslar verilmektedir. İlerleyen zamanlarda wimax şehir içlerinde de kullanılmak üzere lisanslama çalışmaları yapılacaktır. Wimax ve 3G teknik olarak aralarında farklar bulunmakla beraber, 3G WCDMA modülasyon tekniğini kullanırken, wimax OFDM modülasyon ve MIMO anten tekniği kullanmaktadır. Bu tekniklerin wimax açısından avantajlar sağlamaktadır. MIMO 3G de mesafeden dolayı meydana gelen bozulmaları avantaj olarak kullanmakta ve mesafe bakımından 3G den avantajlıdır.

Çoklu erişim haberleşme sistemlerinde iletişim kaynakları çoklu kullanıcılar arasında paylaşılır, bunun için kaynak yönetim planı gerekir. Kablosuz standartların gelişiminde kullanılan kapasite, verimlilik ve ihtiyaçlarına göre belirlenmiştir. Birinci nesilde FDMA, ikinci nesil haberleşme sistemlerinde FDMA ve TDMA'yi beraber kullanmaktadır. Kablosuz kanallarda, çoklu etkiyi azaltmak için geniş denetleme süreçleri gerektirdiğinden TDMA'nın daha az verimli olduğu görülmektedir. FDMA ise taşıyıcılar arasındaki engellemelerden sakınmak için daha fazla bant genişliği harcamaktadır. FDMA' da meydana gelen bu sorunu çözmek için FDMA ve TDMA' dan üretilen CDMA ortaya çıkmıştır. Bununla beraber sistem kapasiteleri artmıştır. CDMA teknolojisini geniş bantta

kullanarak WCDMA üretildi. Wimax' de ise FDMA' dan üretilen OFDMA tekniğini kullanmaktadır. Kısaca WCDMA ve OFDMA arasındaki farklılıkları özetlemek gerekirse;

- OFDMA'nın sistem performansı alt kanalların bir birine dik olmasından dolayı içindeki çoklu yollu bileşenden etkilenmez, WCDMA'ya göre çoklu yola ve kendi girişimine daha dirençlidir.
- OFDMA WCDMA'ya göre daha çok ölçeklenebilirlik seçeneğine sahiptir. OFDMA sistemlerinde kanalların farklı kısımları kullanıcılara atanırken, WCDMA sisteminde her kullanıcı kanalın tamamını kullanır.
- QOS OFDMA tabanlı sistemlerde frekans seçici sıralama özelliğinden dolayı geliştirilebilir. WCDMA' ya bu özellik uygulanamaz.
- OFDMA gelişmiş ve akıllı anten teknolojileri tam olarak destekler ama WCDMA sistemi sınırlı olarak bu sistemi desteklemektedir. WCDMA sistemi sinyali akıllı anten teknolojileri için kanalın tüm bant genişliğine girmesi gerekir, sistemin karışıklığı kanalın bant genişliğine göre ölçeklenebilir.
- OFDMA bant genişliğini WCDMA'ya göre daha verimli kullanmaktadır.

OFDM tekniğinin sağladığı bu üstünlüklerin yanında, sistem tasarımında dikkate alındığında sistemin çalışmasını olumsuz yönde etkileyecek problemleri de bulunmaktadır. Tek taşıyıcılı bir sistem ile kıyaslandığında OFDM sisteminin en önemli sakıncalarından biri, zaman ve frekans eş-zamanlama hatalarına karşı olan hassaslığıdır. Zaman ve frekans hatalarına karşı sistemi korumak ve sistemin verimini artırmak için eş-zamanlama işlemine gerek vardır. OFDM sisteminde eğer alıcı ve verici aynı frekansları kullanıyorsa, OFDM alıcısı alt taşıyıcıları demodüle etmeden önce en azından iki eş-zamanlama işlemi gerçekleştirmek zorundadır. İlk olarak, sembollerin nerede başladığı belirlenmeli, ikinci olarak ise alınan işaretin taşıyıcı frekans kaymalarının tam olarak tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu zaman ve frekans eş-zamanlama hataları düzeltilmediği zaman semboller arası girişim (ISI – Inter-symbol Interference) ve taşıyıcılar arası etkileşim (ICI

– Inter-carrier Interference) meydana gelecek ve bunun sonucunda sistem doğru bir şekilde çalışmayacaktır. OFDM sisteminde eş-zamanlamayı sağlamak için verici tarafta pilot işaretler gönderilerek eş-zamanlama işleminin yapılması sağlanır.

3.2.4.1. Ekonomi

WCDMA sisteminin 2. nesil dijital hücresel bir şebekeye adapte edilmesi, hem 2. nesil hem de 3. nesil şebeke arasında sorunsuz bir çalışma ortamının oluşturulması ve bu işlemler için geliştirilen çekirdek şebeke tarafından sağlanacaktır. Pek çok uygulama için 2. nesil baz istasyonları sisteminin de kullanılmasına devam edilecektir.

3.2.4.2. Servis kalitesi (QoS)

Servis Kalitesi kullanıcıya sunulan uygulamaların verimliliğini belirten geniş kapsamlı bir ifadedir. Günümüzde çok çeşitli ağ trafiği bulunmakta ve her trafik türünün kendine özgü bant genişliği, gecikme, kayıp ve kesintisiz çalışma özellikleri bulunmaktadır. İnternet'in hızla gelişmesiyle günümüzde çoğu ağ trafiği İnternet Protokol (IP) temelli olmuştur. Tek bir standart kullanılması karışıklığı önler ve daha düşük işletme maliyeti sağlar. Video konferans uygulaması da daha yavaş olmakla birlikte IP'ye doğru hareket etmeye başlamış durumdadır. [45]. Bir hizmet akışı, QoS parametrelerinin özel birleşimi ile paketlerin tek yönlü bir akışıdır ve hizmet akış tanımlayıcısı (Service Flow Identifier - SFID) ile tanımlanır. WiMAX'in QoS parametreleri şöyle sıralanabilir; trafik önceliği, maksimum trafik oranı desteği, maksimum trafik yoğunluğu oranı, minimum tolerans oranı, zamanlama çeşidi, maksimum gecikme, ARQ çeşidi, tolere edilmiş kararsızlık, veri bölüm tipi ve boyutu hizmeti, kullanılacak bant genişliği istek mekanizması, aktarılan PDU (Protocol Data Unit) biçimi kuralları ve diğerleri. Hizmet akışı, ağ yönetim sistemi boyunca tedarik edilebilir veya standartta tanımlanan işaretleme mekanizmaları boyunca dinamik olarak yaratılabilir. Birçok uygulama çeşidini desteklemek için, WiMAX beş programlama hizmetini tanımlar. Veri iletimi için baz istasyonu tarafından MAC programlayıcısı ile desteklenen hizmetler şunlardır.

- **Talep Edilmeden Verilen Servis (Unsolicited Grant Services- UGS)** : Bu hizmet sabit bit oranlı (CBR) trafiği, sabit boyutlu veri paketlerini desteklemek için tasarlanmıştır. Periyodik aralıklarla sabit bant genişliği tahsis eder.

- **Gerçek Zamanlı Seçim Servisi** (Real-Time Polling Services- rtPS) : Bu hizmet MPEG video gibi, gerçek zamanlı hizmetleri desteklemek için tasarlanmıştır. iletim yapılırken gerçek zamanlı paketlere öncelik verilir.
- **Gerçek Zamanlı Olmayan Seçim Servisi** (Non-Real-Time Polling Service- NrtPS) : Bu hizmet Dosya Transfer Protokolü (File Transfer Protocol - FTP) gibi, gecikmeye duyarlı olmayan veri akısını desteklemek için tasarlanmıştır.
- Gerçek zamanlı olmayan paketlerin iletiminde daha düşük bant genişliği ayırarak geciktirir, sırayı gerçek zamanlı uygulamalara bırakır.
- **En iyi Efor Servisi** (Best-Effort Service- BE): Bu hizmet, Web tarayıcısı gibi minimum bir hizmet düzeyi garantisi gerektirmeyen uygulamaları desteklemek için tasarlanmıştır.
- **Uzatılan Gerçek Zamanlı Değişken Oran**(Extended Real-Time Variable Rate -ERTVR): Bu hizmet, VoIP gibi, gerçek zamanlı uygulamaları desteklemek için tasarlanmıştır.

Çoklu-anten teknolojilerinin tekli-anten teknolojilerine göre avantajları aşağıda sıralanmıştır: [16].

- Uygun anten sistemi (AAS–Adaptive Antenna System) antenlerin yönsel özelliklerini işleten bir teknik olan SDMA’i (Space Division Multiple Access – Uzay Bölmeli Çoklu Erişim) kullanarak üst üste bindirilmiş işaretlerin iletilmesine olanak sağlar. Uygun modülasyon tipi, ortamdaki SNR oranına göre en iyi spektral yoğunluğuna sağlayarak modülasyonu bağlantı şartlarına göre belirler. AAS gibi çoklu-anten teknolojileri çoklu alım yollarını birleştirerek SNR oranının iyileşmesini sağlar.

- Tekrar iletim için ARQ (Automatic Repeat Request – Otomatik Tekrar İsteği) protokolünün kullanılması bir hata oluşması durumunda alıcının tekrar-iletim isteği göndermesine olanak vermesinden dolayı sistem performansının artmasında önemli bir rol oynar.

- FEC kodlaması, RF girişiminin olduğu durumlarda kesinliği ve güvenilirliği orijinal bilginin tekrar iletilmesine gerek kalmadan sağlamaktadır.

- Genlik ve faz modülasyon yapmaya izin verecek şekilde tasarlanması, sağlayıcıya ağdaki gecikmelere karşı dayanıklılık kazanmasında yardım eder. Lisanslı veya lisans-dışı WIMAX ağları ile ilgili istatistik veritabanı oluşan problemlerin giderilmesinde sağlayıcıya gerekli bilgileri verir.

WIMAX, erişim ağlarında potansiyel servis önerileri konusunda esneklik tanıyan özellikler içeren bir kablosuz geniş bant çözümüdür. Uyarlamalı modülasyon ve kodlama: WIMAX, FEC ve adaptif modülasyon gibi modülasyon ve hata düzeltme kodlama şemaları içerir. Kanal durumuna göre kullanıcı ve çerçeve bazında şema değişikliklerine olanak sağlar. Bağlantı katmanında yeniden iletimler: WIMAX bağlantı katmanı, artırılmış güvenilirlik isteyen bağlantılar için ARQ desteği sağlar. ARQ yönteminde, gönderilen her paketin teslim alındığına dair bir doğrulama mesajı beklenir. Teslimi doğrulanmayan paketlerin kaybolduğu ve yeniden iletilmesi gerektiği kabul edilir. OFDMA ve OFDM tabanlı fiziksel katman: Mobil WIMAX çoklu erişim için OFDM modülasyonunu kullanmaktadır. Böylece farklı kullanıcılar farklı OFDM tonlarında hizmet alabilmektedir. OFDMA, frekans bandının verimli kullanımına ve kullanıcı çeşitliliğine izin verdiği için sistemin kapasitesi de belirgin bir şekilde artmaktadır. OFDM tabanlı WIMAX kapalı görüş alanlarında çalışmaya olanak sağlamaktadır.

Ölçeklenebilir bant genişliği ve veri hızı desteği: WIMAX mimarisinin fiziksel katmanı mevcut kanal genişliğine bağlı olarak veri hızını ölçekleyebilmektedir. Farklı bant genişliğine sahip ağlar arasında dolaşan bir kullanıcı için bu ölçekleme dinamik olarak yapılabilir. Her kullanıcı için dinamik kaynak tahsisi: Baz istasyonundaki bir zamanlayıcı indirme ve gönderme işlemleri için kaynak tahsisini ayarlar. Kullanıcılar çoğullamalı TDM kullanarak taleplerine göre kanalı paylaşırlar. OFDMA-PHY standardı kullanıldığında bant genişliği zaman ve frekansa göre ayarlanır. Bu standart ile ayrıca kaynak tahsisi bilgisi her çerçevede iletilir. Bu standartta WCDMA'da olmayan ve desteklenmeyen ek ilaveler bulunmaktadır. Gelişmiş anten teknikleri desteği: WIMAX'ın sahip olduğu gelişmiş anten çözümü, "beamforming", "space-time coding" ve "spatial

multiplexing” gibi çoklu anten tekniklerinin kullanımına olanak verir. Bu özellikler verici ya da alıcıdaki antenlerin yerleşimlerine bağlı olarak tüm sistemin kapasitesini ve spektral etkiyi artırır. Gelişmiş güvenlik: WIMAX, AES kullanarak güçlü şifrelemeyi destekler. Ayrıca genişletilebilir EAP’e dayanan esnek bir kimlik denetimi mimarisi sunar. Taşınabilirlik desteği: 802.16e standardı, VOIP, IPTV ve diğer multimedya servislerini içeren gecikme toleranslı uygulamalar için güvenli sınırsız geçişleri destekleyen mekanizmalara sahiptir. Taşınabilir cihazların pil ömrünü arttıracak güç koruması mekanizmalarını da destekler. IP tabanlı mimari: WIMAX, IP platformuna dayanan bir referans ağ mimarisine sahiptir. IP mimarisi sayesinde güvenlik, uçtan uca iletim, oturum yönetimi ve taşınabilirlik üzerine kurulu uçtan uca servisleri sunar.

3.2.4.3. Taşınırılık Yönetimi

Pil ömrü ve handoff (aktarım) mobil uygulamaları için iki kritik sorundur. Mobile WiMAX güç verimliliği mobil istasyonları ile uyku modunu ve boşa çalışma modunu desteklemektedir. Bu modlarda istasyon ve alıcı kısım üzerinde ki işlem ve çalışan kanal durumuna göre uyku moduna geçmektedir.

3.2.4.4. Güç Yönetimi

WiMAX güç verimliliğini sağlamak için uyku ve boşa çalışma durumu tasarımlarını içermektedir. Uyku modun da baz istasyonu belli periyotlarda bağlantı içinde olur. Bu periyotlar mobil istasyonunun durumuna indirme hattı ve çıkarma hattı trafiğine bağlıdır. Uyku modu mobil istasyonunun en az güç çekecek biçimde tasarlanmıştır. Ayrıca mobil istasyonları için çok geniş bir esneklik sağlamaktadır. Boş durma modu mobil istasyonları için, çoklu baz istasyonları tarafından yerleştirilen mobil istasyonu karşılıklı hava yayılımı gibi periyodik özgül mobil istasyonuna ihtiyaç duymayan uygun indirme hattı yayın trafiğine göre çalışan bir mekanizmadır. [45].

3.2.5. Sağlık Açısından İncelenmesi

Sağlık açısından incelemesinde, etkileme şekilleri olarak ele alınacak ve insanları etkilerinden bahsedilecektir.

3.2.5.1. Radyo Frekans Ve Radyasyon Çeşitleri

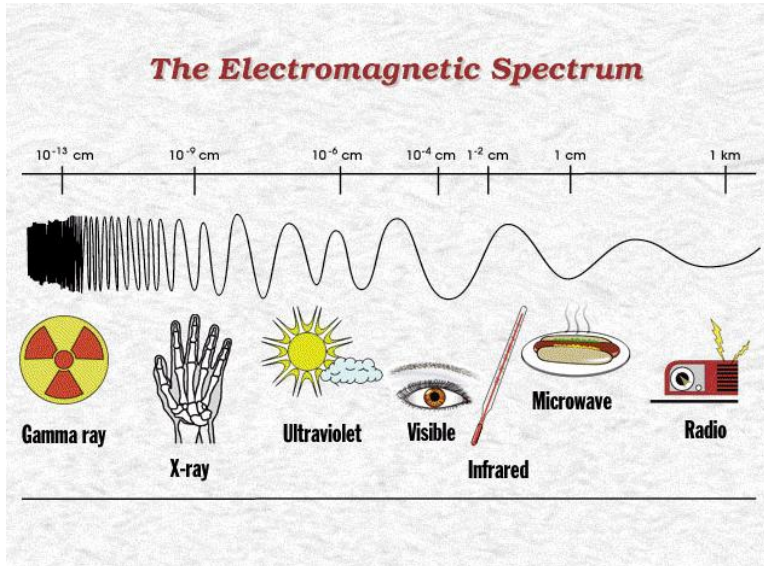
Radyasyon, madde içerisinde soğurulan ve transfer edilen enerji olarak ifade edilmektedir. Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları; tıpta, endüstride kullanılan x ışınları, güneş ışınları, günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitlerindendir. Bir elementin özelliklerini taşıyan en küçük ögesi atomdur. Pozitif yüklü atom çekirdekleri negatif yüklü elektronlarla birlikte nötr olan atomları oluşturmaktadır. Bir atom çekirdeğinin kararsız durumdan daha kararlı bir duruma geçerken elektromanyetik dalga veya parçacık şeklinde enerji yayılmasına radyasyon (ışınım) denir. Çeşitli radyasyon türlerinin madde içine nüfuz edebilme özellikleri farklıdır. Ancak belli bir radyasyon türü için nüfuz edebilme özelliği enerji ile ilişkilidir. Radyasyonlar madde içine nüfuz edip atomları iyonlaştırabilmesi veya iyonlaştıramaması özelliklerine göre incelenirler: iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki grupta toplanabilir. Elektromanyetik dalgaların davranışlarını belirleyen en önemli özellik bu dalgaların frekansıdır. Frekans, manyetik alanın bir saniye içindeki 180 derecelik yön değiştirme sayısıdır. EM dalgaların dalga boyları ve sahip oldukları enerji miktarı frekans ile doğrudan ilintilidir. Dalga boyu frekans arttıkça azalır, taşınan enerji miktarı ise frekans ile doğru orantılıdır. EM dalgalar frekanslarına göre sınıflandırılır buna elektromanyetik spektrum denir. [38].

3.2.5.2. İyonlaştırıcı Radyasyon

Madde içinden geçerken enerjisini ortama aktarmak yoluyla ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran radyasyon türüdür. Radyasyon tipleri arasında dokuya absorbe olma yetenekleri en fazla olan radyasyon kaynakları X ışınları, gama ışınları ve nötronlardır. Diğer radyasyon kaynakları olan alfa ve beta partikülleri ise absorbe yetenekleri çok az olan, ancak doku içine doğrudan verildiklerinde etkili olan partiküllerdir. Radyasyonun enerji birimi Rad'dır. Bir Rad (Radiation absorbed dose) bir maddenin 1 gramlık dokusunun absorbe ettiği enerjidir. Vücudun tamamının radyasyona maruz kaldığı durumlarda 0-125 Rad arası dozlar çok az semptom neden olurken, 125-250 Rad arası dozlar semptom ve bulgulara, 250-400 Rad arası dozlar ileri bulgulara ve bazen ölüme, 500 Rad dozu % 50 oranında ölüme, 700 Rad dozu ise % 100 ölüme sebep olmaktadır. Mutasyon yapabilen radyasyon dozu ise 5-150 Rad olarak kabul edilmektedir

Mor ötesi ve gama ışınları ile alfa, beta ve nötron parçacıklarının yayılması gibi özellikle yüksek frekanslarda, EM enerji bir dalga gibi değil de bir tanecik (foton) gibi davranır. Her taneciğin nasıl bir biyolojik etki yapacağı fotonun taşıdığı enerjiye bağlıdır. Çok yüksek frekanslarda, UV ve X-ışını, EM foton kimyasal bağları kırarak kadar enerjiye sahiptir. Bağların kırılması olayı iyonlaşma olarak adlandırılır. EM spektrumun bu bölümüne de “iyonize bölüm” adı verilir. İyonize bölümde yer alan X-ışınlarının en iyi bilinen biyolojik etkisi molekülleri iyonlaştırmasıdır. X Işınlarının frekansları 1 milyon MHZ civarındadır; bu değer, manyetik alanın saniyede 1 trilyon kez yön değiştirmesi demektir. Radyo dalgalarının frekanslarının birkaç yüz MHZ olduğu düşünülürse X-ışınının ne kadar yüksek frekanslı olduğu anlaşılabilir. Çok yüksek frekanslı olduklarından iyonlaştırıcı EM dalgaların taşıdığı enerji miktarı da çok yüksektir. EM parçacıklar genetik malzemenin (DNA) ikili sarmal yapısını bozacak yeterde enerjiye sahiptirler; “iyonlaştırıcı” teriminin kaynağı bu yapı bozma olayıdır. [38].

DNA yapısında meydana gelen bozulmalar kanser ve sakat doğumlar gibi ciddi zararlara neden olabilir. X-ışınının dışında mor ötesi ısıların da kanser olasılığını artırıcı etkisi olduğu bilinmektedir (Ozon tabakasını delinmesiyle beraber dünya üzerindeki cilt kanseri oranının artması, mor ötesi ısıların bu etkisi ile ilgilidir).



Şekil 3.46. Elektromanyetik Spektrum

3.2.5.3. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Yeterince enerjisi olmadığı için ortamdaki atomları iyonlaştırmayan radyasyon türüdür. Bu radyasyon türünü şu şekilde sınıflandırabiliriz. □Çok düşük frekanslar (ELF), □Radyo Frekansları (RF), □Kızıl ötesi, □Mikro dalga, Görünür Işık. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynakları da biyolojik etkiler yapabilir. UV, görünür ışık ve IR frekansların pek çok biyolojik etkisi fotonun enerjisine bağlıdır. Ancak bunlar iyonlaşmadan daha çok elektronik uyarım yaparlar. Bu durum IR'nin (3×10^{11} Hz) altındaki frekanslarda gerçekleşmez. RF ve mikrodalga kaynakları dokuyu, elektrik akımı indükleyerek etkileyebilirler. Bu da ısıya neden olur. GSM sisteminde kullanılan yüksek frekanslı RF dalgaları buna örnek olarak verilebilir. Radyasyon kaynağının enerjisine göre, elektrik akımının ve oluşan ısının değeri, kaynağın frekansına, ısıtılan maddenin boyutuna ve ısınma özelliğine bağlı olarak değişir. AM radyo (yaklaşık 106 Hz) frekansının altındaki frekanslarda radyasyon insan ve hayvan vücutları üzerinde iki kat daha zayıftır. Bu yüzden de elektrik akımı oluşturma veya ısı etkisi oluşturma konusunda çok etkisizdirler. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun vücut içerisindeki kimyasal bağları koparacak güçte enerjisi olmamasından dolayı iyonlaştırıcı radyasyon ile arasında herhangi bir benzerlik bulunmamaktadır. iyonlaştırıcı olmayan radyasyon genetik malzemeyi bozacak enerjiye sahip değildir. [38].

3.2.5.4. Radyo Frekans Radyasyon Etkisi

Radyasyon sınıfları arasında GSM sisteminde kullanılan RF dalgalarının etkisinden söz etmemiz gerekir. Baz istasyonlarından ve alıcı cihazlardan (telefon, tablet pc gibi) kaynaklanan radyo dalgalarının etkilerini iki bölümde altında inceleyebiliriz.

3.2.5.5. Termal Etkiler

RF dalgaları belirli bir miktar enerji taşıdıkları için, bu dalgalar beden tarafından emildiğinde taşınan enerji de dokulara geçer ve dokuların ısınmasına yol açar. RF alanlarının ısınma sonucunda çeşitli sağlık sorunları oluşturduğu bilinmektedir. RF alanları, 1MHz'in üzerindeki frekanslardaki birincil etkisi bulunduğu ortamda iyonları ve su moleküllerini ortaya doğru hareket ettirerek ısınmaya neden olur. RF'nin çok küçük

değerlerinde bile az miktarda ısı oluşur. Ancak bu ısı kişi fark etmeden vücudun normal ısı düzenleyici mekanizması tarafından uzaklaştırılır. 1 MHz'in altındaki frekanslardaki RF alanların birincil etkisi sinir ve kas dokularındaki hücreleri uyaran elektrik yüklerini ve akımlarını oluşturmaktır. Bunlar yaşam için gerekli kimyasal reaksiyonların bir parçası olarak vücut içinde zaten vardır. Eğer RF alanları, vücudun normal seviyesinden daha yüksek oranda akım oluşturlarsa bunun sonucunda önemli sağlık sorunları oluşabilir.

3.2.5.6. Termal Olmayan Etkiler

Termal olmayan etkiler açık şekilde ortaya çıkarılamayan ve ölçüme uygun olmayan etkilerdir. RF dalgalarının uzun sürede oluşabilecek etkileri konusunda su ana kadar yapılan çalışmalar devam etmektedir. Termal olmayan etkiler genellikle, düşük seviyeli, uzun süreli RF radyasyon emilimi sonucu ortaya çıkarlar. Bu etkilerin hayvanlar ve hücre kültürleri üzerinde birtakım biyolojik etkiler olduğu deneylerle belirlenmiştir. Fakat su ana kadar yapılan araştırmaların hiç biri RF dalgalarının zararlı herhangi bir termal olmayan etkisi olduğu yolunda bir sonuca ulaşmamıştır. [38].

3.2.5.7. Radyo Frekansının Canlılara Ve Çevreye Etkileri

RF dalgalarına maruz kalan insan vücudu, soğurulan enerjinin ısıya dönüşmesinden dolayı yüksek frekans alan tüm vücut veya bazı bölgeler bu soğurulan enerjiden etkilenir. Bu ısı etkilenme ısının içeride oluşmasından dolayı deri tarafından algılanamayarak sadece vücut kontrol sisteminin etkilenmesi şeklinde olur. RF dalganın frekansı ise bu etkinin direk olarak bağlı olduğu bir etkidir. RF dalgasının vücudun ısısının değişimindeki etkisini önlemek amacıyla Elektrik Alan Şiddeti, Manyetik Alan Şiddeti ve Güç Yoğunluğu için standart değerler geliştirilmiştir. Temel sınır değer olarak insan vücudundaki bir derecelik sıcaklık artışına neden olan elektromanyetik güç soğrulması belirtilir. Ne kadar insan vücudu kontrol sistemi bu sıcaklık artışlarını belli bir oranda düzenlemeye çalışsa da uzun dönem içerisindeki soğrulma vücudu olumsuz etkiler. Soğurulan gücün teorik hesabı için geliştirilmiş modeller vardır. Bu modellerin hiçbirisi tek başına insan vücudunu temsil etmek için uygun değildir. Bu yüzden son zamanlarda pek çok laboratuarda insan vücudunun anatomik yapısının ve birçok dokusunun belirtildiği heterojen modeller geliştirilmeye başlandı. Bu modeller manyetik rezonans resimlerinin

(MRI, magnetic resonance imaging) bilgisayarda simülasyonu ile gerçekleştirilmiş ve uygun doku tipine göre yerleştirilmiştir. Tüm bu modellerde kullanılan genel yol, soğurulan enerjiyi bulmaktır. Düşük frekanslı RF radyasyondan kaynaklanan, dokulardaki güç soğurulması, genelde ihmal edilebilir derecededir. Bu nedenle vücut sıcaklığında kayda değer bir artış yapmaz. Ancak 100 kHz 'in üzerindeki frekanslarda durum değişir ve güç soğurulması anlamlı oranlara ulaşır. Bu anlamda dört farklı frekans bölgesi ve etkileşimden söz edilebilir.[38]

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

Wimax üzerine direk bir çalışma bulunmamasına rağmen frekans bandları ve radyo frekans üzerine birçok araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir.

3.2.5.8. SAR (Specific Absorption Rate)

Özgül soğrulma oranı SAR (Specific Absorption Rate), vücut dokuları tarafından soğrulan enerjinin soğurulma hızıdır. Spesifik Absorbstion Rate (SAR) dokulardaki RF kaynaklı sıcaklık artışı ile ilişkilendirilen biyolojik etkilerin ölçüm birimi olup, dokunun iletkenliği ile ilgilidir ve iletkenlik dokunun su içeriği ile artar. Birimi dokunun kilogramı başına absorbe edilen enerji anlamında W/ kg olarak ifade edilir. $SAR = \text{Enerji} / \text{Kütle} \times \text{Zaman}$, Temel olarak ortalama insanda vücut sıcaklığını 1°C arttıracak EM güç soğrulmasının zararlı olduğu belirtilmiş ve bir dokunun ya da vücudun maruz kaldığı elektromanyetik alandan dolayı meydana gelen soğrulma “Özgül Soğrulma Oranı” (Specific Absorption Ratio) ya da “Özgül Emilim Oranı” ile tanımlanmıştır. SAR vücuda verilmiş olan enerjinin değerlendirmesini bir birim zamana karşı bir birim kütle olarak verir. [38]. Bu güne kadar yapılan araştırmalar, insan vücudunun 1°C'lik sıcaklık artısını düzenleyemediğini ve vücutta sorunlar oluşturduğunu göstermektedir. Temel olarak normal bir insanın kan dolaşımında 4 W/kg değeri bulunmuştur. Yani kilogram başına dokuların soğrulanabileceği maksimum güç 4 W olarak belirlenmiştir. Temel etkileme sınırı,

mesleki etkilenme SAR sınırı değerinin 1/10'u olarak alınır. Yani mesleki ortalama etkilenme SAR sınırı, $4/10 = 0,4$ [W/kg]'dır. Burada güvenlik katsayısı olarak 1/10 alınmıştır. Genel halk sağlığı için güvenlik katsayısı 5 kat daha artırılarak 1/50 seçilmiştir. Yani genel halk sağlığı ortalama etkilenme SAR sınırı, $4/50 = 0,08$ [W/kg] olarak belirlenmiştir. İnsanların genel yaşam alanlarında, bu değerin ellide biri (50 kat güvenlik payı ile) olan 0.08W/kg SAR sınır değeri olarak bulunur. Bu sınır değeri bir veya birden fazla RF ışıma kaynağı tarafından vücudun bir çalışma günü boyunca herhangi bir 6 dakikalık periyotta ki ortalama etkilenme değeridir. Mesleki etkilenme sınırı, sistemin gerçekleştirilmesinde ve bakımında çalışanların ışımaya karşı korunur olmaları nedeniyle genel halk sağlığı sınırından daha yüksek tutulmuştur. SAR değerinin bulunması için dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin bilinmesi gerekir. Baz istasyonları ve diğer cihazlar açısından limitleri SAR değeriyle belirlemek pratik olmaktan uzaktır. Bu nedenle SAR değeri olarak verilen temel limitlerden türetilmiş limitlere geçilir ve (kolay ölçülebilir olması nedeniyle) elektrik alan şiddeti ya da güç yoğunluğu olarak verilir..(Kabaca insan vücudunun ortalama iletkenliği=1S/m, yoğunluğu=0.001kg/m³ alındığında 1.6W/kg.'lık SAR değeri 40V/m şiddetindeki elektrik alana karşı gelmektedir.)

3.2.5.9. Radyo Frekansında Uluslararası Standartlar

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

birkaç gün sürerse, insan vücudu bunu düzenlemekte zorlanır ve kısa dönemli olumsuz etkiler ortaya çıkabilir. Türetilmiş limitler için ise Elektrik Alan Şiddeti, Manyetik Alan Şiddeti ve Güç Yoğunluğu için standart değerler belirlenmiştir. GSM sisteminde halkın ve işi gereği RF dalgasına maruz kalan insanların zarar görmemesi amacıyla geliştirilen bu standart değerler başlıca 2 kurum tarafından belirlenmekte olup, bu kurumlar şu şekildedir;

ANSI (IEEE): Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü

ICNIRP: Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu

Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection- Uluslar arası iyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. Amerika Birleşik Devletleri'nde bu sınır değerler Federal Komünikasyon Komisyonu, FCC(Federal Communications Commission) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü, IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü, ANSI (American National Standards Institute) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. [38].

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

Elektrik Alan Sıddeti 1,375

Elektromanyetik Güç Yoğunluğu için $f/200 \text{ } 2 \text{ W/m}$;

ifadeleri ile verilmiştir. Bu ifadelerle verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Bunun yanında IEEE standartlarında ise Güç Yoğunluğu üst sınırı

300–1500 MHz frekans aralığında $f/150 \text{ } 2 \text{ W/m}$;

1500–100000 MHz frekans aralığında $10.0 \text{ } 2 \text{ W/m}$;

Ülkemizdeki elektromanyetik alan şiddeti sınır değerleri bu konularda yasa ile yetkilendirilmiş Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından belirlenmektedir. Bu değerler en son olarak 2009 yılında Resmi gazetede yayınlanan elektronik haberleşme cihazlarına güvenlik sertifikası düzenlenmesine ilişkin yönetmelikle belirlenmiştir. Bu sınır değerler aşağıdaki çizelgede radyo frekans büyüklükler olarak sıralanmıştır.

Çizelge 3.9. Ortam Ve Tek Bir Cihaz İçin Belirlenen Sınır Değerler (BTK)

Frekans Aralığı (MHz)	E-alan şiddeti (V/m)		H – Alan şiddeti (A/m)		B – Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)		Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu (W/m²)	
	Tek cihaz için limit değeri	Ortamin toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamin toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamin toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortamin 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
400-2 000	$0,341 f^{1/2}$	$1,375 f^{1/2}$	$0,0009 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,001 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/3 200$	$f/200$
2 000-60 000	15	61	0,04	0,16	0,05	0,2	0,625	10

f = frekans (MHz)

Ülkemizde kullanılacak telefon, tablet pc gibi cihazlardan kurulan baz istasyonlarına kadar hiçbir cihaz üst sınırları olan bu değerleri geçemeyecek şekilde tasarlanıp kullanılmaktadır. Bu konuda denetleme işinide yine Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu yapmaktadır.

3.2.5.10. Radyo Frekansının Biyolojik Etkileri

Elektromanyetik alanların hücre fizyolojisi üzerine olan etkileri son 30 yılda birçok araştırmaya konu olmuş ve elektromanyetik alanların biyolojik sistemlerde farklı yanıtlara neden olduğu gösterilmiştir. Uzun süre çok düşük frekanslı manyetik alanların enerjilerinin düşük olması nedeniyle biyolojik sistemler üzerinde etkilerinin olmadığı düşünülmüşse de 1970’lerde biyolojik sistem üzerine etkileri konusunda araştırılmaya başlanmıştır. Kablosuz iletişim araçlarındaki radyo frekanslarına insan vücudu çeşitli şekillerde maruz kalabilmektedir. Bunlardan en sık olanı alıcı kısımlarda cep telefonu gibi vücudun çoğunlukla baş kısmını etkilemektedir. Baz istasyonlarından yayılanlar ise bütün vücudu etkilemektedir. Bu iki radyasyon etkileme çeşitleri şiddet ve yoğunluk açısından farklılık

göstermektedirler. İnsan vücudu absorpsiyon karakteristiği dikkate alındığında, RF frekans bandı üç alt bölgeye ayrılabilir. [32].

1. İnsan gövdesi için 30 MHz'den daha küçük alt rezonans bölgesinde yüzey absorpsiyon belirgindir, fakat boyun ve bacaklarda enerji absorpsiyonu hızla artar.
2. Tüm vücut için 30-300 MHz rezonans bölgesinde ve hatta vücudun bir kısmının rezonansı için daha yüksek frekanslarda, özellikle kafa için, çok dikkatli olunmalıdır.
3. 400 MHz'den 3 GHz'e kadar olan aralıkta ısı etkisi daha belirgindir. Bu bölgede özellikle 100 W/m²'lik güç yoğunluğunda lokal enerji absorpsiyonu beklenebilir. Frekans arttıkça absorbe edilen enerji azalır ve ısıtma etkisi artar.

Absorbe edilen enerji miktarı radyasyona maruz kalan kişinin boyutlarını içeren çok sayıda faktöre bağlıdır. Standart bir kişi (boy 1.74m) elektriksel yükünden arındırıldıktan sonra, yaklaşık 70 MHz civarında bir frekansta, enerji absorpsiyon rezonans frekansına sahiptir. Daha küçük boylu insanlar ve çocuklar için enerji absorpsiyon rezonansı 100 MHz'i aşar. Normalden uzun boylu insanlar için absorpsiyon rezonans frekansı 70 MHz'in altındadır. Özellikle 2450 MHz'lik manyetik alanda standart insan boyutlarındaki bir kişi mevcut alanın %50'sini absorbe edecektir. Bu değerler, insan vücudu maruz kaldığı takdirde farklı frekans aralıklarında farklı absorpsiyon etkilerinin oluştuğunu göstermektedir. Absorbe edilen güç insan vücudunun etkilediği alandaki direnci ile de yakından alakalıdır. İnsan vücudunun her yerinde sabit bir direnç değeri yoktur. Bu değer bulunan bölgenin tuz, su gibi maddelerin bulunmasına değişmektedir. Bu değişikliklerle beraber vücudumuzun tamamı aynı derecede etkilenmemektedir. [48]. Her baz aktarım istasyonu 16 farklı frekans üzerinden RF dalgaları yayabilir, bu frekansların her birine "kanal" denir. Baz istasyonundaki anten sayısı arttıkça, üzerinden yayın yapılan frekans sayısı da artmaktadır. Bir baz istasyonunun en fazla 6 antene sahip olabildiği için en fazla 96 farklı frekanstan yayın yapabilir. ABD Federal Haberleşme Komisyonu, her kanaldan maksimum 50 watt gücünde yayın yapılabileceğini standartlarında belirtmiştir, ama GSM operatörleri en fazla kanal başına 40 Watt çıkış gücüyle yayın yapmaktadırlar. Hatta şehirlerde bu değer 1 Watt civarına düşmektedir, çünkü yan yana kurulan hücrelerden yayılan yüksek çıkış güçlü RF dalgalar girişime neden olabilir ki bu da ses

iletim kalitesini düşürmektedir. Baz aktarım istasyonları tipik olarak 10-50 m yüksekliğindeki kulelere yerleştirilir ve genelde her kulede 120 ° derecelik yatay açığı kapsayan üç anten bulunur. Her anten düzeyde tipik olarak 5–6 ° derecelik huzmeye sahiptir. Bu huzme yataydan biraz aşağı yöneltilerek kuleye en yakın 50 m’ de yere değer. Her anten birkaç konuşma kanalına (tipik olarak 2–4, en fazla 16) sahiptir. Bir kule ile 30-70km’lik yarıçaplı bir alanın kapsanabilmesi için her kanal ortalama 40–60 W çıkış gücüne sahiptir. 60W güç ile 10m yüksekliğindeki bir kuleden 50m ileride ölçülecek alan şiddeti 4–6 V/m civarında olacaktır. Bu değer çevredeki yakın binalardan ya da balkonlardan yansıma durumunda artabilir. Baz istasyonu antenine olan mesafe 240mm az olması durumunda ICNIRP belirlemiş olduğu sınır değerlerin aşıldığı görülmüştür. Baz istasyonlarından yayılan RF dalgaların gücü izin verilen değerlerin onlarca kat altındadır. Fakat bazı ender durumlarda antenlerden emilen radyasyon, sınır değerleri asabilmektedir. Örneğin, çatılara yerleştirilen antenlere eğer 1 metreden daha yakına gelinebiliyorsa, bina sakinleri bundan zarar görebilmektedir. Böyle bir durumda emilen radyasyonun gücü $1\text{mW}/\text{cm}^2$ ’e kadar çıkabilmektedir. Böyle durumları engellemek için antenler çatılarda bir platform üzerine yerleştirilmelidir.

3.2.5.11. Beyin Dalgalarının Faaliyetlerine Etkiler

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

bariyer, beyni yabancı toksik maddelerden korur ve beyin için gerekli metabolizmaların geçişine izin verir. Anoksi, yani yeterli oksijenin alınamaması, ödem, yüksek tansiyon ve iyonize radyasyon gibi birçok sebepten dolayı kan-beyin bariyeri değişir. Genellikle, geçirgenliği yükselir. RF enerji ise, kandaki sıcaklığı yükselttiğinden dolayı, kan-beyin bariyerinin geçirgenliğinde artışa sebep olabilir. Sıçanlar üzerinde yapılan bir deneyde, 15 mW/ 2 cm şiddetindeki, 2800 MHz frekanslı bir radyasyona 60 dakikalık bir maruziyetin beyine kan akısını artırdığı gözlenmiştir. 915 MHz frekanslı radyasyonla yapılan bir deney ise SAR değeri 3,3 W/kg değerine ulaştığı zaman, kan-beyin bariyerinin albümin geçişine açıldığını göstermiştir. Fare ile yapılan bir deneyde ise, 2 yıl boyunca, günde 60 dakika mobil telefon kullanımının beyin damarlarını olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Bu örneklerin yanı sıra, birçok deney sonucunda ve insanlarda kayda değer herhangi bir olumsuz etki gözlenmemiştir. [38].

3.2.5.12. Hormonal Faaliyetler Üzerindeki Etkiler

Hormon adı verilen nörokimyasal hücreler, vücutta bilgi ve yetenek taşır. Hormonların, gerektiğinde salgılanmak üzere depolandığı bezler ve hormonlar çok çeşitlidir. Bazı hormonlar vücudun genel fonksiyonlarını düzenlerken, bazı hormonların görevi ise bu hormonların salgılanmasını kontrol etmektir. “Büyüme hormonu” vücutta yağ, protein ve karbonhidrat metabolizmasını kontrol eder ve dolaylı olarak büyümeyi, gelişmeyi sağlar. Yapılan bir deneyde, 7,5 W/kg SAR seviyesinde, 2,45 GHz frekanslı radyasyona 60 dakika maruz bırakılan genç bir sıçanın büyüme hormonu serumunda azalma gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, aynı frekansta ve daha şiddetli bir radyasyona maruz bırakılan bir baska hayvanda herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Cinsiyet hormonları ve bu hormonları kontrol eden hormonlar üzerinde yapılan araştırmalar, elektromanyetik radyasyonun olumsuz bir etkisini göstermemiştir. Bu hormonlar kan basıncı üzerinde etkili olsalar da, kan basıncındaki RF enerji kaynaklı değişim, bu hormonlar üzerinde herhangi bir etki yapmamaktadır. [38].

3.2.5.13. Sinir Sistemi Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler

Yapılan araştırmalar, SAR değerinin 2 W/kg’den yüksek olduğu soğurmalarda sinir sisteminde yapısal bozulmaların meydana gelebileceğini göstermektedir. Bu etki, pals

dalgalı radyasyonlarda, sürekli dalgalı radyasyonlara kıyasla daha çok görülmektedir. Fareler üzerinde yapılan bir deneyde, 2700 MHz frekanslı ve şiddetli bir pals radyasyonuna maruziyet, hücre zarlarında, ısı bozulmadan farklı bir bozulmaya neden olmuştur. Bunun yanı sıra, özellikle standart değerlere yakın şiddetlerdeki radyasyonun, insan sinir sisteminde, ciddi bir morfolojik değişime yol 56 açmadığı düşünülmektedir. Ancak, şiddetli radyasyonun, diğer doku ve organlarda olduğu gibi, sinir sisteminde de yapısal bozukluklara neden olma olasılığı yüksektir. SAR değerinin 6,8 ila 100 W/kg kadar yüksek olduğu durumlarda, nöronların aktivitelerinde azalma ve zar iletkenliklerinde yükselme meydana gelir. Bu da hücrenin ömrünü kısaltır. [38].

3.2.5.14. Görme Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler

RF enerjinin gözde birtakım hasarlara yol açabileceği tespit edilmiştir. Bunların basında katarakt gelmektedir. Bunun yanı sıra, RF enerjinin, retina, kornea ve diğer oküler sistemleri de etkilediği görülmektedir. Göz, ısı bakımından vücuttan yalıtılmış bir organ olduğu için dış ısı etkilere karşı daha duyarlıdır. Çünkü göz, sıcaklık değişimini tolere edecek bir dolaşım sistemine sahip değildir. Bu nedenle, şiddetli bir RF enerji, göz sıcaklığını yükselterek katarakta yol açabilmektedir. Tavşanlar üzerinde yapılan bir deneyde, 150 W/kg güç yoğunluğunda, 2450 MHz frekanslı bir radyasyon 30 dakikadan uzun bir sürede, gözde, lens içindeki sıcaklığı 41 dereceye çıkarmakta ve katarakta yol açmaktadır. Aynı koşullarda, maymunlar üzerinde yapılan deneyde ise katarakt gözlenmemiştir. Dolayısıyla, bu deney sonuçlarına göre insanlardaki riski tespit etmek doğru değildir. Ancak, SAR değerinin insan gözü lensindeki sıcaklığı 41 °C 'nin üzerine çıkaracak değere ulaşması, aynı mekanizma ile katarakt oluşturabilir. RF enerjinin göz üzerindeki olumsuz etkilerinde, radyasyonun şiddeti ve frekansı, kaynağa olan uzaklık ve maruziyet süresi önemli faktörlerdir. RF enerjinin insan gözü üzerindeki olumsuz etkilerini tespit üzere yapılan epidemiyolojik çalışmalar neticesinde açık bir kanıt elde edilememiştir. Doğruluğu kanıtlanmamış olmakla beraber, 4 yıldan uzun süre RF enerji maruziyeti altında çalışanlarda katarakt riskinin arttığı, mobil telefon kullanan kişilerde iris melanin hücre urunun olumsa riskinin yükseldiği ve yine uzun süre RF enerjiye maruz kalanların iris saydamlığının bozulabileceği öngörülmektedir. UHF radyasyonuna uzun süre maruz kalan kişilerde göz yorulması, göz yaşarması, renkli ışığa, özellikle mavi ışığa karşı duyarlılığın azalması gözlenmiştir. Gözün ön odacık kısmında bulunan C vitamini 57 miktarının azalması da yine, RF enerjinin göz üzerindeki olumsuz etkileri arasındaki

gözlemlerden biridir. Sonuç olarak, radyasyon kaynağından uzaklarda ve radyasyon şiddetinin standart değerlerin altında olması durumunda RF enerjinin insan gözüne ciddi bir olumsuz etkisi yoktur. [32].

3.2.5.15. Kan Hücreleri ve Bağışıklık Sistemi Üzerindeki Etkiler

Son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, RF radyasyonunun, kan hücreleri ve bağışıklık sistemi üzerinde belirli etkilerinin olabileceğini göstermektedir. Bu etkiler, bazı araştırmalara göre 10 mW/ 2 cm üzerinde güç yoğunluğuna sahip radyasyonlarda görülmekte, bazı araştırmalara göre ise 0,5 mW/ 2 cm civarındaki güç yoğunluklarında bile ortaya çıkabilmektedir. Bu konudaki çalışmaların çoğunda, etkileşme mekanizmalarının biri diğerini tutmamaktadır. Kırmızı kan hücresi olarak bilinen eritrositler üzerinde yapılan incelemeler, RF radyasyonunun, hücre zarında değişiklik yaptığını ve bu değişimin hücredeki potasyum ve sodyum iyonlarının hareketini etkilediğini göstermektedir. İnsan ve tavşan kanı üzerinde yapılan bir deneyde, 1 mW/ 2 cm gibi düşük bir güç yoğunluğuna sahip, 1–3 GHz frekanslı bir radyasyonun, “hemoliz” adı verilen, eritrositlerin eriyerek yapılarındaki hemoglobinin açığa çıkması olayının gerçekleşmesine neden olduğu ortaya çıkmıştır. Beyaz kan hücresi olarak bilinen lökositler üzerinde yapılan incelemeler, RF radyasyonunun, bazı tip lökositlerde, bölünerek lenfosit halini alacak hücrelerde mitoz bölünme aksaklığını ortaya çıkardığı görülmektedir. Hatta radyasyon maruziyetinden sonra da, hücre üzerindeki toksik etkinin azalan bir oranla devam ettiği gözlenmiştir. Bununla beraber, standart değerlere yakın radyasyon soğurumunda kayda değer bir etki gözlenmemiştir. Elektromanyetik radyasyonun bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla birçok deney yapılmıştır. Bu deneylerde, değişik şiddetlerde ve frekanslarda radyasyon ve kobay olarak değişik hayvanlar kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen patolojik veriler, standart değerlere yakın radyasyonlarda hiçbir etkinin görülmediği yönündedir. Hayvanlar üzerinde şiddetli 58 radyasyonlar ile yapılan deneylerde bazen olumsuz etkiler ortaya çıkarsa da, bu etkilerin 6 haftalık zaman zarfında ortadan kalktığı gözlenmiştir. [48].

3.2.5.16. Üreme Sistemi Üzerindeki Etkiler

Genital organlar RF alanlarına karşı çok duyarlıdır. Şiddetli radyasyon maruziyetinde başlıca etki, üreme organları üzerinde oluşan ısı etkisidir. Bu organlarda

sıcaklık artışı kan damarlarının büzülmesine neden olabilir ya da yumurtalık veya testislere direkt zarar verebilir. Histolojik araştırmalar, çeşitli işlem fazında sperm oluşmasının durakladığını ortaya koymuştur. Bu morfolojik değişimler üreme çevriminde kısırlaşma ve dişi doğum sayısında artış olarak kendini gösterir. RF radyasyonunun hamile kadınlarda, düşük oranında artmaya neden olduğu bilinmektedir. Hamilelik başlangıcında diatermi tedavisi gören bir annenin fetusunda bir nevi hastalık görüldüğü de yine gözlenmiş bir vakadır. Hamilelikte RF maruziyetine bağlı olarak, çocuk doğduğunda kemikleşme eksikliği de görülebilmektedir.[38].

3.2.5.17. Kalıtım Faaliyetleri Üzerindeki Etkiler

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

3.2.5.18. Diğer Biyolojik Faaliyetler Üzerindeki Etkiler

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

meydana getirmesine rağmen, uyku esnasında RF enerji soğurumu “derin uyku” halini kısıtlamaktadır. [48].

3.2.5.19. Yüksek Elektromanyetik Duyarlılık

“Yüksek elektromanyetik duyarlılık” terimi, mobil telefon, monitör, ışık kaynağı, yüksek gerilim hattı, elektrikli ev aletleri gibi elektrik ve manyetik alan kaynaklarından etkilendiğine inanan insanlar için kullanılmaktadır. Güvenlik standartlarına uygun, zayıf RF radyasyon maruziyetinde, bazı durumlarda bireysel etkiler gözlenmektedir. Bu etkiler, genellikle, bitkinlik, stres ve uyku düzeni bozukluğu gibi sinir sistemine bağlı semptomlardır. Bazen de, yanma hissi, iğnelenme, kızartı gibi deri semptomlarıdır. Hatta göz, kulak, burun, boğaz ve sindirim sisteminde ağrı ve yanma gibi semptomlar da görülmektedir. [38].

3.2.5.20. Sağlık Açısından Etkileri

Elektromanyetik alanların hücre fizyolojisi üzerine olan etkileri son 30 yılda birçok araştırmaya konu olmuş ve elektromanyetik alanların biyolojik sistemlerde farklı yanıtlara neden olduğu gösterilmiştir. Uzun süre çok düşük frekanslı manyetik alanların enerjilerinin düşük olması nedeniyle biyolojik sistemler üzerinde etkilerinin olmadığı düşünülmüşse de 1970’lerde yüksek gerilim hatları yakınlarındaki yerleşim bölgelerinde çocukluk çağı lösemi sıklığında artış gözlenmesi bu alanların biyolojik sistemler üzerinde etkilerinin araştırılmasına yol açmıştır. Son 30 yıldır sürdürülen epidemiyolojik, in vitro ve in vivo araştırmalar bu manyetik alanların biyolojik sistemleri etkilediğini göstermiştir. Araştırmalar büyük ölçüde bu alanların kanser oluşumuna yol açıp açmadığı konusuna odaklanmıştır. Bu doğrultuda yürütülen çalışmalarda çok düşük frekanslı manyetik alanların hücre proliferasyonuna, sinyal ileti yollarına ve bağışıklık sistemi üzerine etkileri tartışılmıştır. İyonlaşmaya neden olmayan radyasyonun biyolojik sistemler ve insan sağlığı üzerine olan etkileri çok sayıda çalışma ile gösterilmiş ve bu etkilerin manyetik alanların oluşturduğu ısı artışından bağımsız olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulguları açıklayabilecek mekanizmalar henüz ortaya konulamamış olsa da manyetik alan etkilerinin lineer olmayan bir şekilde olduğu kabul edilmektedir. “Pencere etkisi” olarak tanımlanan bu etki; sadece belirli frekans ve alan şiddeti aralıklarında farklı fizyolojik yanıtların elde

edilebileceği anlamına gelmektedir. Farklı manyetik alan koşullarında farklı yanıtların elde edilme olasılığı, çeşitli tıp dallarında tedavi yöntemi olarak kullanılıp kullanılamayacağı düşüncesini beraberinde getirmiştir. Düşük frekanslı manyetik dalgaların etki mekanizmaları henüz anlaşılamamıştır. Günlük yaşamda kullanım sıklıkları da göz önüne alındığında manyetik alanların canlı organizmalar üzerine olumsuz etkilerinin olup olmadığı tartışmaları devam etmektedir.[32]

Hücre membranı üzerine etkileri, radyofrekans manyetik alanların; kanal iyon yapısı değişiminde azalma, tek kanal açılma sıklığında azalma ve hızlı (burst-like) ateşlenmesinde artışlar gibi çeşitli iyon kanal özelliklerini etkilediğine dair yayınlanmış raporlar mevcuttur. Ancak bu çalışmalar RF manyetik alanların membran kanallarını etkilediğini gösterse de deneysel olarak spesifik bir etkileşim mekanizması ortaya koyamamışlardır. Radyofrekans manyetik alanların sodyum (Na) ve potasyum (K) gibi katyonların hücre Membranından transportu üzerine olan etkileri ölçülebilen ısı değişiklikleri olmadan membran değişikliklerinin meydana gelebileceğini göstermiştir. Bazı çalışmalar ise RF manyetik alanların katyon permeabilitesi üzerine etkilerinin belirli ısı değerleri üzerinde oluştuğunu; bunun da bir “pencere etkisi” varlığını desteklediğini göstermişlerdir.. Radyofrekans manyetik alanların eritrositlerdeki Na-K ATPaz iyon pompasındaki iyonları taşıyan moleküller üzerindeki etkilerine bağlanabilir. İn vitro çalışmalarda 147-450 MHz frekansında radyofrekans alanlara maruziyetin sınır hücrelerinde veya beyin dokusunda hücre dışına kalsiyum (Ca) çıkışına yol açtığı gösterilmiştir. Ancak farklı frekanslarda yapılan başka çalışmalar hücre dışına Ca çıkışını göstermede yeterli olmamışlardır. [11].

Sinyal iletimi üzerine etkileri, protein kinazlar, hormonların, büyüme faktörlerinin ve sitokinlerin membran reseptörlerinden hücre içi etki yerlerine sinyal iletiminde yer alan esas enzimlerdir. Byus ve arkadaşları çok düşük frekanslı (ELF) manyetik alan maruziyeti ile siklik AMP-bağımsız protein kinaz aktivitesinde azalma saptamışlardır. Ornitin dekarboksilaz (ODC) aktivitesi membran aracılı sinyal iletim olaylarında yer alır ve ODC aktivasyonu karsinogenezde rol alan birçok mitojen ve tümör-promotor ajanın aktivasyonunda rol alır. Byus ve arkadaşları ODC aktivitesinin 450 MHz manyetik alana maruz kalan insan melanom ve rat hepatoma hücrelerinde anlamlı olarak yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. [10].

İmmün sistem vücuda giren virüsler, bakteriler gibi tek hücreli veya çok hücreli organizmalar ile protein ve polisakkaritler başta olmak üzere makro molekülleri ayırt ederek ve bunlara karşı bağışık yanıt oluşturur. Böylece organizmayı enfeksiyonlardan korumaya çalışırken bir taraftan da kanser hücrelerine karşı etki etmeye çalışır. İmmünolojik yanıtlar sitokinler ve interlökinler gibi kimyasal araçların kullanıldığı hücreler arası sinyal iletim yolları aracılığı ile oluşur. Patojenlere karşı defans mekanizmasının ilk hattı immün sistemin göreceli özgül olmayan kısmı ile oluşturulur. Bu hücreler doğal öldürücü (NK=natural killer), mononükleer fagositler ve granülositlerdir. Proteinlerden oluşan kompleman sistemi ise humoral immünitinin sitolitik ve inflamatuvar etkilerine aracılık eder. İmmün sistemin bu doğal yanıtlarını kazanılmış antijen-spesifik yanıtlar takip eder. Bu antijen-spesifik yanıtlara aracılık eden hücreler başlıca; antikor salgılayan B-lenfositler, sitotoksik veya hücre aracılı immünite oluşturan T-lenfositler ve bu iki hücre tipinin aktivasyonunda rol alan T-helper hücrelerdir. Aktive olan sitotoksik T hücreler, yüzeyinde yabancı molekül barındıran hücreleri tanıyarak sitotoksik etki gösterir ve anti-tümör yanıtlarla da ilişkilidirler. Tuschl ve arkadaşları 2000 yılında yaptıkları çalışmada indüksiyon ısıtıcıları ile ilişkili manyetik alana (50-600 Hz, veya 2.8-21 kHz) maruz kalan işçilerde kontrol grubundaki işçilere göre sitotoksik yanıt ile ilişkili NK sayısı ve monositlerin oksidatif patlama miktarında artma olduğunu ve monositlerin fagositik aktivitesinde azalma olduğunu göstermişlerdir. Zhu ve arkadaşları da 2001 yılında yaptıkları çalışma ile elektrikli demiryolu sisteminde çalışan işçilerde maruz kalınan manyetik alanın (50 Hz) toplam beyaz küre sayısını ve İmmünglobülin A ve G düzeylerini düşürdüğünü göstermişlerdir. Aynı zamanda bu grupta DNA hasarı olan lenfosit yüzdesinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. [48].

Manyetik alanların hematolojik sistem üzerindeki etkileri birçok çalışmaya konu olmuştur. Ancak yapılan çok sayıda araştırmaya karşın elde edilen sonuçlar arasında tutarlılık saptanamamıştır. Bu çalışmalar temel olarak dolaşımdaki beyaz küre sayısı üzerine yoğunlaşmış ve elde edilen sonuçlar bir mekanizma ile ilişkilendirilememişlerdir. Bu nedenle iyonizan radyasyonun etki mekanizmaları ile açıklanmaya çalışılabilir. Radyasyona akut şekilde maruz kalınmasından sonra oluşan hematolojik değişiklikler "Hematopoetik Sendrom" olarak adlandırılmaktadır. Kemik iliğindeki hücrelerin radyasyona duyarlılıkları hassasiyet sırasına göre şu şekildedir; eritroid hücreler,

miyeloid hücreler, megakaryositler. Bunların dışındaki kemik iliği hücrelerinden retikulum hücreleri, plazma hücreleri ve fibroblastlar radyorezistan olarak kabul edilirler. Bütün vücut 300 Rad civarında tek dozluk midletal düzeyde bir radyasyona maruz kaldığında; en sensitif hücre eritrositer seri hücreleri olmasına karşın bu hücrelerin ortalama hayatlarının ayları bulması nedeniyle bu hücrelerde azalma ilk bulgu olarak karşımıza çıkmamaktadır. Bununla beraber retikulositopeni ilk bulgu olarak saptanabilir. Periferik kan tablosundaki değişiklikler ilk önce en kısa ömürlü olan lenfositlerde (ömürleri birkaç saat) daha sonra granüositlerde ve trombositlerde (ömürleri birkaç gün) ve en geç olarak da eritrositlerde (ömürleri bir kaç ay) ortaya çıkar. Değişiklikler lenfositlerde saatler içinde, granüositlerde günler içerisinde, eritrositlerde ise haftalar içinde görülür. Lökosit sayısında ilk birkaç gün içinde kemik iliği depolarından ani boşalmaya bağlı abortif bir artış görülebilir. Bu olaya "AlarmReaksiyonu" adı verilir. Ardından granüositler hızla düşecektir. Trombositlerdeki düşüş daha yavaş ve daha uzun sürelidir. İyileşme dönemi haftalar, hatta aylarca sürer. Çok daha yüksek dozlarda hücrelerin düşüş hızı artar, iyileşme ve normale dönme süresi ise daha da uzar. İyileşme döneminde lenfosit ve eritrositlerin normal değerlerine ulaşması diğer hücrelere göre daha uzun zaman alır. Aktif kemik iliği insanlarda retikulum hücreleri ve fibrillerinin oluşturduğu bir çatıda kan sinüzoidlerinden oluşmaktadır. Kök hücreler ve prekürsör hücreler retikulumun içinde yer alır. Radyasyon kemik iliğinde iki önemli değişiklik yapar:[32]

1. Sinüzoidlerde dilatasyon ve hematopoetik hücrelerin yerini yağ ve jelatinöz bir dokunun kaplaması,
2. Periferdeki hücrelerin prekürsörlerinde dejenerasyon.

Kemik iliğindeki her hücrenin duyarlılığı değişiktir. Bütün vücudun midletal dozda bir radyasyona maruz kalmasıyla kemik iliği immatür eritroid ve miyeloid seri hücrelerinden mahrum kalır. İyileşme fazı haftalar sonra başlar. İyileşme fazında genişlemiş sinüsler tekrar normal ölçüsüne iner ve kök hücrelerden proliferasyon başlar. Bu kök hücreler ya radyasyondan kurtulan, rezistan olan birkaç indifferansiye hücrelerdir ya da muhtemelen retiküler hücrelerden transformasyonla oluşmaktadır. İyileşme fazında periferde granülositer seriye ait hücrelerin genç şekilleri bol miktarda görülür. Bunlar genellikle çok az lobüle olmuşlardır. Yine bu fazda lenfositler piknotik nüveli ve parçalanmış şekilde değişiklik "baykuş gözü" olarak adlandırılır. Granüositlerde ayrıca vakuolizasyon da göze çarpar. Bunun dışında çekirdekli kırmızı seri hücreleri de ortaya çıkar. Eğer radyasyon çok şiddetli ise veya uzun süreli bir maruz kalma oluştursa kemik iliği fibröz bir doku haline

gelir, fonksiyon yapamaz, hatta kemik iliğinden kaynağını alan tümörler çıkabilir. Akut olarak yüksek doz radyasyona maruz kalan kişilerin kemik iliğinde veya uzun süreli düşük dozda radyasyona maruz kalan kemik iliğinde radyasyonun kronik etkileri görülebilir. Bu kronik etkiler şunlardır:

- Aplastik anemi (aylar ve yıllar sonra gelişebilir)
- Akut lösemi oluşumu (en sık olarak 8-13 yıl sonra görülürler)
- KML oluşumu (en sık olarak 8-13 yıl sonra görülürler)
- RES Maligniteleri (karaciğer, dalak, lenf nodları maligniteleri),
- KLL insidansı radyasyona maruz kalma ile artış göstermektedir.

Çok şiddetli RF enerji soğurumun da, kalpte ısı etkiye dayalı, birtakım deformasyonların meydana geldiği fakat düşük şiddetli RF radyasyon maruziyetinde, elektrokardiyogram (EKG) verileri, kalpte herhangi bir olumsuz etkinin oluşmadığını göstermektedir. Kesin olmamakla beraber, RF enerjinin, kalpte ritim bozukluğuna yol açabileceği de ileri sürülmektedir. Öne sürülen ritim bozukluğu, kardiyovasküler sistemden kaynaklı olabileceği gibi, bütün vücudun soğurduğu enerjiye tepki de olabilir. Çünkü RF enerjiden soğurulan enerji vücut sıcaklığını artırabilir ve bu artışı dağıtmak için dolaşım sistemi daha hızlı çalışabilir. Güç yoğunluğu yüksek bir radyasyondan soğurulan enerji, bireyde yüksek ateş meydana getirebileceği için, buna bağlı olarak kalp atışı hızında bir azalma da meydana gelebilir. Sıçanlar üzerinde yapılan bir deneyde 915 MHz frekanslı bir radyasyondan 16 hafta boyunca, 2,5 W/kg SAR tesirinde kalpte herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Yine, 435 MHz frekanslı ve 10 W/ 2 m güç yoğunluğunda bir radyasyona 6 ay boyunca maruz bırakılan kobayların kan basınçlarında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bunun yanı sıra son zamanlarda yapılan araştırmalar, özellikle deri altında yüksek ateşe neden olan GHz civarındaki şiddetli radyasyonlara uzun süre maruz kalmanın, kalpte akut ritim bozukluğuna neden olabileceği ihtimalini ortaya koymaktadır. Çok şiddetli mikrodalga radyasyon kaynaklarının yakınlarında, en bilinen etki, yüksek çarpıntı ve tansiyondur. Bunun haricinde, elektromanyetik radyasyonun kalp üzerinde ciddi bir etkisi gözlenmemiştir. Özellikle, standartlara uygun elektromanyetik radyasyonun, kardiyovasküler sistem üzerinde olumsuz bir etkisi yoktur. Ancak, kalp pili olarak bilinen “pacemaker” kullanan kişilerin cep telefonu kullanmaları veya başka nedenlerle RF radyasyona maruz kalmaları oldukça sakıncalıdır.

Sağlık bakımından wimax ve 3G olarak iki sistemde de baz istasyonları kullanılmaktadır. Bu baz istasyonlarının etkisi materyal ve metod kısmında da irdelendiği üzere baz istasyonları veya kullanıcı cihazları kullanım süresi ve kullanım mekanı ile beraber kullanıcı gibi belirli profil yapılarına göre etkileri değişiklik göstermektedir. Sağlık açısından yapılan araştırmalardan birkaç örnek vermek gerekirse; Oscar ve Hawkins adlı araştırmacılar 1977 yılında radyo frekanslarının yaymış olduğu elektromanyetik dalgaların beyindeki kan damarları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonunda, çok düşük enerji seviyelerinde bile, kılcal damarlardan beyin dokusuna inülin, dekstran önemli oranda geçtiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, Gruenau ve arkadaşları 1982’ de aynı çalışmayı denemiş fakat herhangi bir sonuca ulaşamamıştır. Son yıllarda Schirmacher ve çalışma grubu 2000 yılında 1.8 GHz’ te elektromanyetik alanın, beyin ve kan bariyerinin sukroza olan permeabilitesini arttırdığını göstermişlerdir.

Sağlık açısından araştırmalara bakıldığında ise, Almanya Lübeck Üniversitesinde bir biyofizikçi olan Lebrecht von Klitzing 1993 yılında bazı insanlara verdiği darbe biçimli elektromanyetik alan ışınlamaları sonucunda bu kişilerde beyinsel iletiminde değişiklikler gözlemiştir. Yine aynı yılda, Almanya Mainz Üniversitesindeki bir grup doktor gece uykusu sırasında açık bırakılan cep telefonlarının genç erkeklerde uyku bozukluğuna neden olduğunu göstermiştir. Beyin dalgası ölçümleri rüya fazında önemli derecede kısaldığını göstermişlerdir. Avustralyalı Michael Repacholi cep telefonu frekansı olan 900 MHz ile kemirgenlerle yaptığı çalışmada ışınlanan gruptaki lenf bezi kanser oranını kontrol grubuna göre iki katı kadar fazla olduğunu gözlemlemiştir.

Ayrıca belirtilen çalışmalar gibi frekansların canlılar üzerinde etkisinin olmadığını ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur. 1995-1996 yılları arasında fareler üzerinde 2450 MHz ile yapılan deneylerde 4 saatlik süre sonunda elektromanyetik enerjinin DNA bozulmasına yol açtığı açıklanmıştır (Lai and Singh,1995,1996). 1997’ de benzer deneyde Prof. Lai ve Singh’ in elde ettikleri sonuçlara ulaşamamış (Malyapa et. al., 1997). 2002 yılında yapılan deneylerde yine DNA bozulmasının gözlenmediğini açıklamışlardır (Tice et. al., 2002). 18 ile 80 yaşları arasında değişen kadın ve erkek toplam 900 kişilik bir grupla 1994-1998 yılları arasında gerçekleştirilen ve 4 yıl süren çalışmalarda radyo frekans veya cep telefonu kullanmanın kısa dönemde beyin tümörü oluşumuna yada tümörün büyümesine etkisinin olmadığı sonucunu elde etmişlerdir.

Tıbbi bulguların önemli bir kısmının bilimsel ve tekrarlanabilir olmaktan uzak çelişkili hatta tutarsız olduğu belirtilmekte, bir kısmının ise baz istasyonları ve kullanılanıcı cihazları ile ilişkilendirelemeyeceğinin altı çizilmekte ve bilimsel deneylerin sürdürölmsi gereğı vurgulanmaktadır.

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

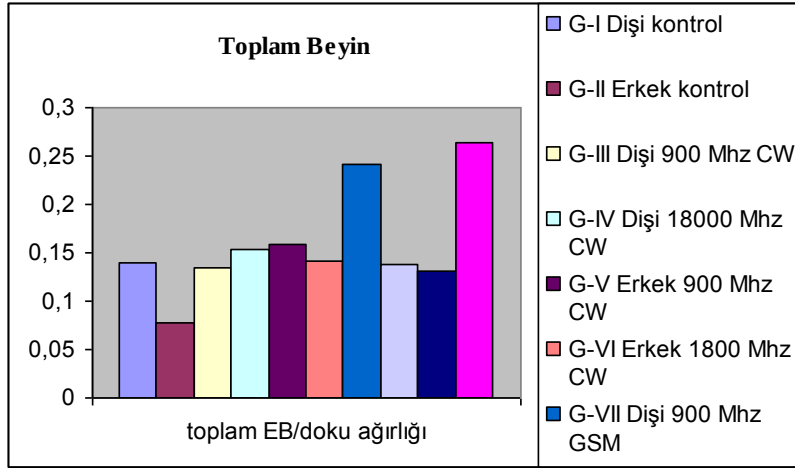
Wimax ve 3G ülkemizde operatörler için çok cazip gelmektedir ve her ikisi içinde artan bir potansiyele sahiptir. Bununla beraber operatörler teknolojik gelişmeleri aşamalı olarak uygulamaktadırlar. Başlıca sebebi yeni teknolojilerin girmesinden önce eskiden yeteri kadar ekonomik geri dönüş beklimleridir. Teknolojik gelişme ilk mobil gelişme olan 1G ile başlamış olup sırasıyla 2G ardından 3G ve şimdide wimax ile evrimi devam etmektedir. Bu iki sistem de kullanıcılara yüksek hızlarda veri transferi, mobilite (hareketlilik) işletmeciler açısından kapsama alanı ve hız problemlerinin büyük ölçüde gidermesi ve kolay işletme, işletme giderleri ve yatırım harcamalarının azalması yönünden cazip gelmektedir. WİMAX'e geçildiği zaman kentsel alanlardan ziyade ilk başta kırsal alanda çeşitli hizmetleri alamayan kullanıcılara yönelik yatırımlar yapılacaktır. Çalışmalar bu yönde ağırlık kazanmıştır. Daha sonra kentsel alanlarda uygulanmaya başlanacaktır.

Sağlık açısından zararlı olduğu veya olmadığı yönde araştırmalar yapılıyor olsada küreselleşmenin ve globalleşmenin gerektirdiği teknolojik yenilikleri yapmak zorunluluğundayız. Teknolojik gelişmelerin her zaman için bir de eksileri olmaktadır. Bu eksileri sağlık açısından en aza indirmek için gerekli ölçüm ve sınırlamalar kurum ve kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. sağlık ve çevre açısından her yeni teknolojinin veya buluşun bir zararı veya etkisi olmakla beraber Wimax ve 3G sinyalleri ve cihazların yaydığı radyasyonlar ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda zararlarını ortaya çıkaranların yanı sıra zararlı olmadığından ziyade herhangi bir zararının tespit edilmediği çalışmalarda mevcuttur. Teknolojik geliştirmeler yapılırken sağlık, güvenlik, ekonomiklik gibi etkenler test edilmekte ve uluslar arası standartlara uygun şekilde imal edilmektedirler. Aral, 2008 çalışmasında radyo frekans radyasyonunun (RFR) kan beyin bariyeri (KBB) geçirgenliğine etkisi üzerine çalışmasında, 900 Mhz ve 1800 Mhz frekanslarında, CW – sürekli dalga ve GSM modülasyonlu RFR'un dişi ve erkek sıçanlarda sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin dokusu kan beyin bariyeri geçirgenliklerine etkisini incelemiştir.

Çzelge 4.1. Tüm Grupların Toplam Beyin EB Konsantrasyonu

Grup numarası ve adı	toplam EB/doku ağırlığı
G-I Dişi kontrol	0,138884
G-II Erkek kontrol	0,077
G-III Dişi 900 Mhz CW	0,1342162
G-IV Dişi 18000 Mhz CW	0,153884
G-V Erkek 900 Mhz CW	0,15805
G-VI Erkek 1800 Mhz CW	0,142
G-VII Dişi 900 Mhz GSM	0,2415
G-VIII Dişi 1800 Mhz GSM	0,1376
G-IX Erkek 900 Mhz GSM	0,1305
G-X Erkek 1800 Mhz GSM	0,2638

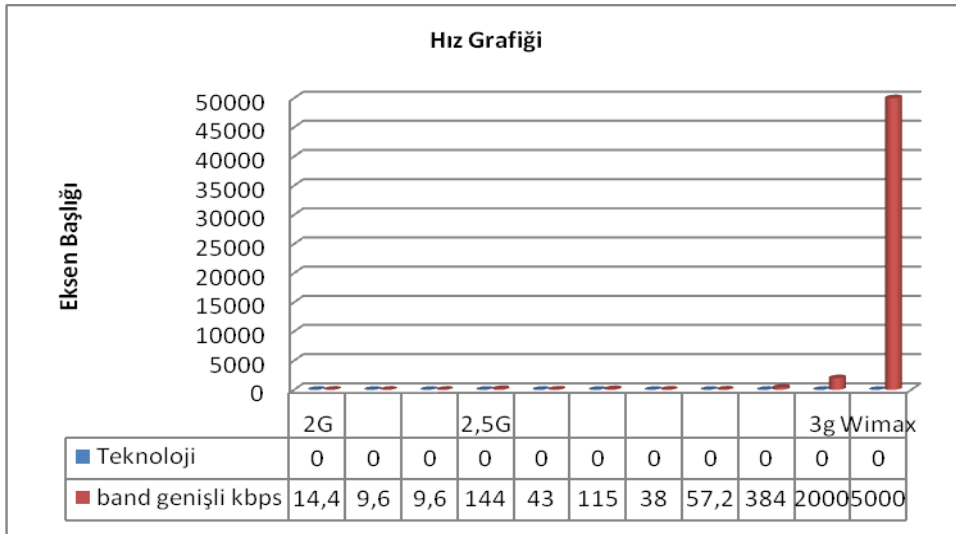
Çizelge 4.1’de EB (Evans Blue) Konsantrasyonları verilen dişi ve erkek kontrol ve uygulama grupları verileri Mann Whitney U testi karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1. Dişi Ve Erkek Grupların Kendi İçerisinde Karşılaştırılması

Dişi gruplar incelendiğinde beyin dokusuna sızan evans blue miktarının kontrol dişi grubuna oranla 900 Mhz GSM modülasyon grubunda istatistiksel arttığını gözlemlemiştir. 900 Mhz GSM modülasyon dişi grubunda kontrol grubu dışıdan daha fazla EB konsantrasyonu saptanmıştır. Diğer dişi RF alan uygulama grupları kontrol grubundan farklı bulunmamıştır. Erkek gruplarına bakıldığında tüm alan uygulama gruplarının evans blue sızıntısını istatistiksel arttırdığı gözlemiştir. Çalışmanın sonucunda genel olarak GSM modülasyonun dişilerde ve erkeklerde etkiyi önemli ölçüde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Kan beyin bariyeri geçirgenliği artışı ile insanlarda oldukça yaygınlaşan baş ağrısı şikâyetleri arasında bir ilişki var mıdır? Bordeaux Üniversitesi Ulusal Bilim Araştırma Merkezi (University of Bordeaux, National Center for Scientific Research) direktörü Dr. Pierre Aubineau tarafından GSM sinyalleri uygulanarak sıçanlarla yapılan çalışmada sıçanların duramater yapılarının değiştiği, bunun cep telefonu kullanan bireylerin baş ağrısı şikâyetleri ile ilişkili olabileceğini açıklamıştır⁸². Frey’de 1998’de yaptığı çalışmada cep telefonu radyasyonu – kan beyin bariyeri geçirgenliği – baş ağrısı arasında ilişki olabileceğini öne sürmektedir. [50]. Şekil 4.1’deki grafikte 2G ve 3G hız grafikleri verilmiştir. Grafikte 2G kullandığı modülasyonlar CDMA, TDMA ve GSM’in sağladığı hızlar 14,4 kbps ile 9,6 kbps arasında olmasının nedeni kullandıkları teknikler ve band genişliğinden kaynaklanmaktadır. 3G de ise kullanılan teknikler bölgesel ve ülke olarak değişiklik göstermektedir. Kuzey Amerika CDMA2000 kullanırken Avrupa ve asya W-CDMA kullanmaktadır. 3G’nin sağladığı hız ise 2 Mbps, bu sağlanan hız kullandığı teknikler ve sistemlerden kaynaklanmaktadır.



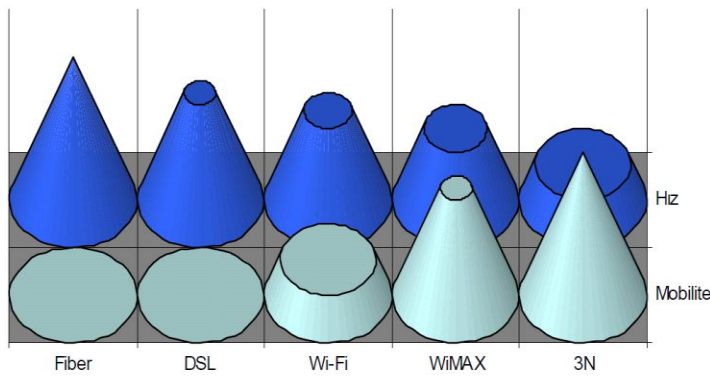
Şekil 4.2. 2G, 3G Hız Grafiği

Bu evrimle beraber 3G de beklenen müşteri ve ekonomik sonuç elde edildikten sonra operatörlerin de ilgisini çeken wimax’e geçiş için önceden yapılan çalışmalar şebekelere adapte edilecektir. Wimax hem GSM hem de sabit operatörler için cazip olan tarafları şebekelere düşük maliyetle monte edilmesi ve kapsama alanının geniş olması

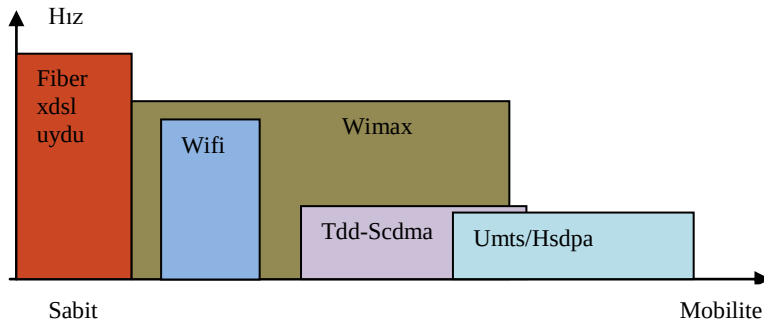
nedeniyle çok çekicidir. Bu konulardan daha önemlisi wimax de verilebilen hizmetlerin çeşitliliğinin fazla oluşu ve mobilitenin 3G'ye göre yüksek performanslılığıdır.

GSM ve telekomünikasyon sektöründe faaliyet gösteren firmalar önemli oranda artan çoklu ortam uygulamaları ve Internet erişim isteklerine, cevap verebilmek için değişik türde teknolojileri kendi altyapılarına uyarlamak ve son kullanıcı ihtiyaçlarını hızlı bir şekilde karşılamak zorunda kalmaktadırlar. Ancak yeni teknolojileri kendi altyapılarına uyarlarken, kurulan yeni sistemlerin teknolojik olarak ömürlerinin uzun süreli olması, büyük ölçüde doğru çözümlerin, doğru bir şekilde uyarlanmasına bağlıdır. Göz önünde bulundurulması gereken diğer bir etken de var olan altyapı üzerinde fazla bir harcama yapmadan son kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verebilmektir. Ayrıca hali hazırda sunulan ses ve klasik veri hizmetlerinin de, kurulacak yeni yapıyla bütünleştirilebilmesi hem ekonomik, hem de geçiş sürecinin kesintisiz olmasını ve dolayısıyla yapılacak yatırımın daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Wimax çalışma sistemi ise 3G ve wimax cihazlarda otomatik tarama özelliği bulunduğu için kendilerine ulaşan işaretleri algılayabilmektedirler. Otomatik tarama özelliği cihazlarda bulunan NIC'ler tarafından yapılmaktadır. Doğru frekans kanalı bulununca AP ile NIC arasında bağlantı kurulumu başlatılır. Sistem tarafından doğru frekans kanalı bulunduğundan sonra GSM'de olduğu gibi kimlik doğrulamaları ve bağlantı kurulup sistemlerin sinyalleşmesi başlamaktadır. Wimax standardında bağlantı tabanlı erişim protokolü yerine erişim talepli erişim protokolü kullanılmaktadır. Bu şekilde daha az veri çarpışması, veri çarpışması veri transferi sırasında bant genişliği kaybının olmaması anlamına gelmektedir. Mevcut ağ genişliği en verimli şekilde kullanılmış olmaktadır. Wimax'de sahip olunan elverişli kanal genişliği ve uyarlanır modülasyon değerine göre daha fazla kullanıcının daha hızlı bir şekilde veri erişimine imkan vermektedir. Wimax de ilk lisanslar kırsal bölgelerde hizmet alamayan kullanıcıların metropollerdeki kullanıcıların aldığı her türlü hizmetleri alması için verilmeye başlandı. Bu iki sistemin sektörleri, çıkış güçleri aynı olmasına rağmen wimax 3G den daha fazla kapsama alanına sahip olmasının altında yatan asıl neden kullandığı akıllı ve yeni teknolojiler ve uygulamalardır. Wimax de verilecek hizmetler kullanıcı profili ve lokasyonuna bağlı uygulamalar bu uygulamalar interaktif Televizyon, kişiye özel reklam, special bilgisine bağlı uygulamalar aile bireyi eve geldiğinde uyarı mesajı gelmesi ve benzeri özellikler, içerik paylaşım uygulamaları masaüstü bilgisayardan mp3, resim, video, yüklenmesi (home network), sosyal ağ oluşturma anında mesajlaşma

uygulamalarında otomatik güncelleme (facebook, myspace), televizyon üzerinden görüntülü arama, IPTV, video broadcast yayını, aile paketi gibi uygulamalar wimax ile beraber gelecek yeniliklerdir. WiMAX'te NLOS uygulama OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) teknolojisi ve MIMO (multi-input multi-output) alıcı teknolojisi sayesinde gerçekleştirilmektedir. OFDM teknolojisi birçok yeni nesil GTE (geniş bant telsiz erişimi) sistemi tarafından kullanılmaktadır. OFDM teknolojisinin kullanılmasındaki temel amaç çoklu yol yansımalarından kaynaklanan problemlerin azaltılmasıdır. Bu problemler özellikle 7GHz'in altındaki frekanslarda görülmektedir. OFDM, abone istasyonlarının sinyal gürültü oranını (SNR) artırma, enterferansı minimize etme ve bina dışı ortamlarda esneklik geliştirme gibi faydalar sağlamaktadır. MIMO ise kablosuz sistemlerde hızın, sistem performansının ve güvenilirliğin artırılmasını sağlamaktadır. MIMO'nun teorik kapasitesi kullanılan anten sayısı arttıkça artmaktadır. OFDM teknolojisi yüksek hızdaki verinin minimum bant genişliği ile engebeli alanlarda elde edilmesi için kullanılan en etkin yöntemdir. OFDM teknolojisinin kullanılmasındaki temel amaç çoklu yol yansımalarından kaynaklanan problemlerin azaltılmasıdır. Bu problemler özellikle 7 GHz'in altındaki frekanslarda görülmektedir. OFDM, abone istasyonlarının sinyal gürültü oranını (SNR) artırma, enterferansı minimize etme ve bina dışı ortamlarda esneklik geliştirme gibi faydalar sağlamaktadır. MIMO ise kablosuz sistemlerde hızın, sistem performansının ve güvenilirliğin artırılmasını sağlamaktadır. MIMO'nun teorik kapasitesi kullanılan anten sayısı arttıkça artmaktadır. (OECD)



Şekil 4.3. Sabit ve Mobil Teknolojilerin Hız ve Mobilite Yönünden Karşılaştırılması



Şekil 4.4. Farklı geniş bant teknolojilerin hız mobilite diagramı (Alcatel)

Şekil 4.2 ve 4.3’de wimax teknolojisinin hız ve mobilite yönlerinden karşılaştırmaları gösterilmiştir. Şekillere göre wimax sistemi fiber ve DSL sistemine göre nispeten düşük hızlı iken, hücreyel yaygınlığı daha çok olan UMTS 3G’ye göre mobilite yönünden dezavantajlıdır. Şekillerden de anlaşılacağı üzere mobilite ve hız arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Aşağıdaki şekilde de wimax ve 3N sistemleri frekans, uygulama, rekabet gibi bazı yönlerden karşılaştırmalara yer verilmiştir.

Çizelge 4.2. Wimax ve 3N Karşılaştırması

	wimax	3N Mobil Telefon Sistemi
Frekans	2,5GHz, 3,5GHz ve 5GHz	1,8GHz, 1,9GHz ve 2,1GHz
Uygulama	Veri+Ses	Ses + Veri
Rekabet	Birbirine rakip değil tamamlayıcı teknolojiler olduğu değerlendirmelerinin yanı sıra, Wimax ile çok ucuza ses (telefon) iletişiminin sağlanması, kurulum kolaylığı ve ucuz maliyetler nedeniyle birbirine rakip olduğu değerlendirmeleri de yapılmaktadır.	
Teknoloji	OFDM, Paket anahtarlama	CDMA, Devre ve Paket anahtarlama
Hücreler arası geçiş	Hücreler arası geçiş 3N’de Wimax’ten daha iyi tanımlanmıştır.	

Çizelge 4.3. Çoklu Erişim Sistemleri Karşılaştırması

	FDMA	TDMA	CDMA	SDMA
Kullanıcı etkinliği	Kullanıcılar aynı anda ve sürekli olarak aktiftir her bir kullanıcı tek bir frekans bandını kullanır.	kullanıcılar kısa zaman aralıklarında sırayla aktif olurlar. Her bir kullanıcı TDMA çerçevesinde tek bir zaman slotu kullanır.	kullanıcılar aynı anda ve sürekli aktiftir. Her bir kullanıcı tek bir kullanıcı CDMA kodu kullanır	kullanıcılar aynı anda ve sürekli aktiftir. Her bir kullanıcı kendi sektörünü kullanır.
Kullanıcı sinyalleri arasındaki fark	Frekans boyutunda	zaman boyutunda	CDMA kodlama dayalı	Alıcı antendeki erişim yönüne dayalı
Kullanıcı sinyallerinin ayırımı	Filtreleme ile	senkronizasyon yayılımı ile, iletilen kullanıcı sinyalleri arasında koruma periyodları gerekir.	senkronizasyon yayılımı ile, tek kullanıcı algılaması yada çok kullanıcı algılaması	anten dizileri kullanılarak
yayılma alanı	Analog ve dijital	Dijital	Dijital	Dijital
Avantajları	Basit, güçlü ağ desteğine sahip ve basit eşitleme	Frekans farklılığı alıcının mobil radyo kanalındaki zaman değişimine duyarsızlığı, zaman farklılığı, yüksek spektral kapasite, basit radyo frekans dizaynı, zaman bölmeli çoklamaya uygun	Frekans farklılığı, alıcının mobil radyo kanalındaki zaman değişimine duyarsızlığı. Basit eşitleme, girişim ayrılığı, ağ planı gerekmez, esneklik, radyo frekans dizaynında azaltılmış karmaşıklık.	Basit çoklu erişim girişimi az, ağ planını destekler, uzay bölümü ve kolay el değiştirme, eşitleme gerekli değil.
Dezavantajları	Düşük esneklik, küçük frekans ayırımı, alıcı mobil radyo kanal zaman değişimlerine duyarlı, küçük girişim ayırımı, uzay ayırımı gerekli, radyo frekans dizaynında ciddi karmaşıklık.	Düşük esneklik, girişim nedeniyle eşitleme gerekli, küçük girişim ayırımı, tüm kullanıcılara küresel senkronizasyon	Düşük spektral kapasite	Düşük esneklik, küçük frekans bölmeli, alıcı mobil radyo kanalında zaman değişimine duyarlı, girişim ayırımını azaltır, düşük spektral kapasite, radyo frekans dizaynında yüksek karmaşıklık.

Sonuç olarak; iletişim teknolojilerinde meydana gelen hızlı evrim ve yüksek hız arayışları yeni teknolojik gelişmelere ve sistemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu gelişmeler son yıllarda o kadar hızla olmaktadır ki yeni kurulan sistem bir yıl sonra eski olabilmektedir. Hızlı gelişmeler kullanıcılar açısından kaliteli ve yüksek hızlara düşük maliyetlerle ulaşma şansını vermektedir. Ulaşılan yüksek hız ve kalite sağlık açısından zararlarını en aza indirmek için geliştirilen teknolojiler ve cihazlar güvenlik testleri ve kontrollerinden geçirilerek kullanılmaya başlanmaktadır. Bu kontroller de ülkelerin belirlediği sınır değerlerini tutmayan cihazlar kullanılmamakta ve gerekli düzeltme ve kontrolleri yapıldıktan sonra tekrar ölçüm ve kontrollerden geçirilmektedir. Ülkemizde son yıllarda yapılan özellikle kırsal alanların kalkınmasına yönelik, metropollerde ulaşılabilen her türlü hizmeti ulaştırmak için yatırımlar yapılmaktadır. Global dünya şartlarında meydana gelen gelişmeleri artık dünya ülkeleri ile beraber ülkemizde de hayata geçmektedir. Çalışmamızda elde edilen veriler ışığında her ne kadar birbirlerine göre avantajları da olsa her iki teknolojilerin birbirlerinin tamamlayıcısı niteliğinde olduğu, her yeni teknolojiye diğerinin eksik olan, iletişim ve band genişliği gibi sorun oluşturan kısıtlamalara yeni yöntemler ve teknikler geliştirerek çözümler üretilmektedir. Araştırma konumuzun içerisinde yer alan her bir bölümün esasında başlı başına bir araştırma konusu olabilecek seviyede detay ve öneme sahip olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Bilimsel süreli yayınlar:

- [1] Şükrü Ö. Sağlık Üzerine Olası Etki Açısından Elde Taşınabilen Kişisel İletişim Cihazları ve Hücresel Vericilerle İlgili Değerlendirme. Gazi Üniversitesi FenBilimleri Dergisi 15(2) : 567-576 (2002).
- [2] Angela W., John K. V., Li S., Radio frequency identification Applications in Healthcare. İnternational Journal of Healthcare Tecnology Management, Bryant Universty:522-540 (2006).
- [3] Kleef V. E., Fischer A.R.H., Khan M., Frewer J. L., Risc and Benefit perceptions of Mobile Phone and Base, Risk Analysis: An International Journal. Vol 30. Issue 6. 1002-1015. (2010)
- [4] Yanar A. Reseach and Development in the Physical, Engineering, and Life Sciences.Ecologist. vol 39. Issue 7-19. (2009).
- [5] Riadh H., Mark J. E., Daniel K., Gregory W. L., James P., Frank S., Recent Advances in Research on Radiofrequency Fields and Health., Journal of Toxicology Environmental Health: Part B. Vol 12. 250-288. (2009).
- [6] United States, Food Drug Administration. Telecommunications: Research and Regulatory Efforts on Mobile Phone Health Issue: GAO-01-545 (2001).
- [7] Moulder J., Foster K., Erdreich L., Mobile Phones, Mobile Phone Base Stations and Cancer. International Journal of Radiation Biology: Vol 81 189-203 (2005).
- [8] Daniel K., Craig B., Barry G., Lotz W., Rosemonde M., Frank P. S., Donald W. Potetial Health Risks of Radiofrequency Fields From Wireless Telecommunication Devices. Journal of Toxicology Environmental health part B Vol 4. 143-145. (2001).
- [9] Julia C. RF Safety. Broadcast Engineering Vol 54.6-7. (2012).
- [10] Osman Ö. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Dokulara Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 5(1) 176-189. (2001).
- [11] Nesrin S., Elektromanyetik Kirlilik ve Sağlığımız. Türk Nöropsikiyatri Derneği Dergisi. 47(2) 158-161. (2010).
- [12] Şükrü Ö. 900Mhz EM Işınımının İnsan Beyninde Oluşturduğu Sıcaklık Artışının ve ÖSO'nun Beyin Eşdeğer Modeli Kullanarak deneysel Olarak Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi fen Bilimleri Dergisi. 17(3) 127-132 (2004).
- [13] Özlem C., Selçuk Ç., Hasan R. K., Suat Ö., 50Hz-1 mT Manyetik Alanın İnsan Medyan Siniri Üzerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 15(2) 215-220. (2009).

- [14] Fehmi Ö., Hakan M. Manyetik Alanın Organizma Üzerindeki Biyolojik Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi tıp Fakültesi Dergisi. 13(1) 38-41. (2006).

Kitaplar:

- [15] Abate, Z., WiMAX RF Systems Engineering, Artech House Inc., ISBN 13:978-1-59693-975-2, s. 6-40,129-140,134,208, (2009).
- [16] Ahson s., Ilyas M., WiMAX Technologies Performance Analysis and QoS, CRC pres Taylor & Francis Grup, ISBN 9781420045253 1420045253, s.100-125, (2007).
- [17] Blogh J.S., Hanzo L., Third Generation Systems and Intelligent Wireless Networking, John Wiley Sons Ltd., England, s. 150-180, (2002).
- [18] Carlo G.L., Thibodeau P., Wireless Phones and health II, Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-306-46899-9, s.269-305, (2002).
- [19] Blogh J.S., Hanzo L., Third Generation Systems and Intelligent Wireless Networking, John Wiley Sons Ltd., England, ISBN 0470845198 9780470845196, s.300-340, (2002).
- [20] Ergen M., Bahai A.R.S., Saltzberg B.R., Multi carrier Digital Communications Theory And Applications Of OFDM, Springer Science, ISBN 0-387-22575-7, s.300-350, (2004).
- [21] Dahlman F., parkval S., Sköld J., Beming P., 3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband, Academic Pres, USA, ISBN 978-0-12-374538-5, s.120-137, (2008).
- [22] Hanzo L., Akhtman Y., Wang L., Jiang M., , MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMAX, , John Wiley sons Ltd., UK, ISBN 9780470711767, s.2-36, (2010).
- [23] Ergen M., Mobile Broadband Including WiMAX and LTE, Springer Science, USA, ISBN 978-0-387-68189-4, s.19-25, 221-280, (2009).
- [24] Glisic G.S., Adaptive WCDMA, John Wiley Sons Ltd., Finland, ISBN9780470859254 s.100-140, (2003).
- [25] Karım M.R., Sarraf M., W-CDMA And CDMA200 For 3G Mobile Networks, John Wiley Sons Ltd, Newyork, ISBN 9780470847619, s.187-196. (2002).
- [26] Krishna R., radhamani G., Wimax a Wireless Technology Revolution, Taylo & Francis Grup, USA, ISBN 9780849370595, s.300-360, (2008).
- [27] Nuaymi L., WiMAX Technology For Broadband Wireless Access, John wiley Sons Ltd., England, ISBN 978-0-470-02808-7, s. 23-80, (2007).
- [28] Ohrtman F., WiMAX Handbook Building 802.16 Wireless Network, McGraw Hill, Newyork, ISBN 978-1-59693-293-7, s.49-85, (2005).

- [29] Lee B.G., Choi S., Broadband Wireless Access and Local Networks: Mobile Wimax And Wifi, Artech House Inc., Norwood, ISBN 13- 978-1-59693-293-7, s.280- 293, (2008).
- [30] Tackikawa K., W-CDMA Mobile Communications Systems, NTT Docomo Inc., Japan, ISBN 9780470854631, s.300-340, (2003).
- [31] Klauanberg J. B., Mimlavcic D., Radio Frequency Radiation Dosimetry and Its Relationship to the Biological Effects of Electromagnetic Fields, Kluwer Academic, ISBN 0-7923-6404, s.44-50.(2000).
- [32] carlo L. G., Wireless Phones and Health II: State of the Science, Kluwer Academic Publisher, USA, ISBN 0-306-46901-4, s.20-40, 180-190. (2002).
- [33] Lin J. C., Advances in Electromagnetic Fields in Living Systems, Springer Science, New York, ISBN 978-0-387-92733-6, s.1-35. (2009).

Tezler:

- [34] Arı H., PMP Modundaki Bir Wimax Ağının NCTUns Yardımıyla Sistem Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 128s. (2008).
- [35] Aruğaslan E., Termal Elektrik Kaynaklı Kablosuz Yüksek Sıcaklık Duyum Devresi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 98s. (2008).
- [36] Biçer Z., Sayısal Modülasyonlarda Dalgacık Dönüşüm Temelli Bir Akıllı Sınıflandırma Sistemi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 85s. (2007).
- [37] Büyükbaş A. CDMA ve UMTS: Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması. Uzmanlık Tezi. Telekomünikasyon Kurumu. Ankara. 120s. (2005).
- [38] Cevizli E. GSM İletişimde RF Radyasyon Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü. Sakarya. 79s. (2009).
- [39] Çelikler S. Gezgin Haberleşme Uygulamaları-TMS320C6711 ile Gauss Minimum Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyon ve Demodülasyon Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli. 67s. (2007).
- [40] Dinçkan A., GPRS Sistemlerinde Güvenlik. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. İstanbul. 165s. (2006).
- [41] Karakoç M. İleri Nesil Kablosuz Sistemlerde Dinamik Kaynak Tahsisi Ve Kanal Kestirimi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli. 195s. (2008).

- [42] Omeroviç S. Wimax Overview. Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia. 35s.
- [43] Özkan L. OFDMA Sistemlerinde Alternatif Modülasyon Teknikleri. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 114s. (2009).
- [44] Pınar N. MIMO-IP Telsiz Ağlarda Dörtlü Oyun uygulamaları Başarım Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 135s. (2009).
- [45] Sürücü D. NS2-Evalvid Ortamında Wimax ve Wi-Fi Teknolojilerinin Video Aktarım Performansının Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi. Zonguldak. 113s. (2008).
- [46] Saltabaş H. İ., Kablosuz Haberleşme Yöntemleri ve IEEE 802.16 Protokolü. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya. 88s. (2007).
- [47] Ögülmüş F. Wimax Teknolojisi Fiziksel Katman Parametrelerinin Performansa Etkisinin Matlab Kullanılarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya. 89s. (2008).
- [48] Taşpınar T. GSM 900 ve 1800 Mhz Telefonların Oluşturduğu Manyetik Alanın Hematolojik Parametreler ve Kemik İliği Üzerine Etkilerinin Karşılaştırılması. Tıpta uzmanlık Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp fakültesi. Isparta. 97s. (2008).
- [49] Şahin V. Mobil Haberleşme Sistemlerinin Gelişimi Ve Genişband CDMA Performans Testi. Yüksek lisans Tezi. Gazi Üniversitesi fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 163s. (2006).
- [50] Aral B. S., 900 Mhz ve 1800 Mhz radyo Frekans radyasyonunun Kan Beyin Bariyerine Etkisi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 194s. (2008).

İnternet kaynakları:

- [51] UMTS, 3G/4G Industry News, <http://www.umts-forum.org>.
- [52] WiMAX FORUM, 2006, (erişim tarihi 10.08.2011), http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf.
- [53] ETSI, world class standards, <http://www.etsi.org/WebSite/Technologies/Technologies.aspx>.
- [54] Alcatel-Lucent, <http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/BellLabs/Technology> (2012).
- [55] IEEE, (erişim tarihi 05.04.2011), http://ieee802.org/16/docs/01/80216-01_58r1.pdf.

- [56] BTK, (erişim tarihi 02.04.2012),
<http://www.tk.gov.tr/mevzuat/yonetmelikler/index.php>.
- [57] IEEE, www.ieee802.org/16/. (2012) .
- [58] wimax Forum, www.wimaxforum.com. (2011).
- [59] Motorola, The Promise of WiMAX Broadband Access to the Last Mile (Erişim Tarihi 04.05.2012) <http://www.motorola.com/networkoperators/pdfs/Wi4-the-promise-article.pdf>.
- [60] IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones) Raporu, “Mobile Phones and Health, (erişim Tarihi 05.04.2012), <http://www.iegmp.org.uk>.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Ali ÖZDEK
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.09.1985 Elbistan
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (344) 413 30 12
Faks : 0 (344) 555 30 05
e-posta : aliozdek@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	KSÜ/ Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2007
Lise	Gazi Mustafa Kemal Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	KİPAŞ HOLDİNG	Bilgi İşlem (part-time)
2007-	TÜRK TELEKOM	Elbistan Telekom Müdürlüğü
2012	TÜRK TELEKOM	K.Maraş İl Telekom Müdürlüğü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- 1.
- 2.

Hobiler

Seyahat etmek, yeni yerleri görmek, kitap okumak, bisiklete binmek, yürüyüş yapmak