

TC.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI



4.NESİL MOBİL HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNİN KAMU
KURUMLARI İÇİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Mehmet ŞİŞMAN

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ali GÜNEŞ

İSTANBUL-2014

TC.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI



4.NESİL MOBİL HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNİN KAMU
KURUMLARI İÇİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Mehmet ŞİŞMAN

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ali GÜNEŞ

İSTANBUL-2014



T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilgisayar Mühendisliği (Tezli) Yüksek Lisans Programı Y1113.010020 numaralı öğrencisi Mehmet ŞİŞMAN' ın "4. NESİLMOBİL HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNİN KAMU KURUMLARI İÇİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEĞİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 10.10.2014 tarih ve 2014/17 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 31.10.2014

- 1) Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali GÜNEŞ
2) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Vassilya ABDULOVA
3) Jüri Üyesi : Dr. Atakan ERDEM

(Handwritten signatures in blue ink)

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

ÖNSÖZ

Tez çalışması kapsamında geçmişten günümüze kadar olan mobil haberleşme teknolojileri teknik açıdan detaylı olarak incelenmiştir. 20.yüzyıl başlarında Guglielmo Marconi'nin radyo dalgalarını kullanarak haberleşme sağlamasından, günümüz 4G teknolojilerine kadar geçen sürede mobil haberleşme sistemleri inanılmaz aşamalar kaydettiği görülmüştür. ITU tarafından resmi olarak dördüncü nesil mobil haberleşme sistemi ilan edilen LTE-Advanced teknolojisi ile Mobile WiMAX 2 (IEEE 802.16m) teknolojileri tez kapsamında teknik olarak incelenerek karşılaştırılmıştır. Bu teknolojilerin yerel yönetimler ölçeğindeki kamu kurum ve kuruluşları için uygunluğu araştırılmıştır. Bu kapsamda teknolojilerin kamu kurumları için faydaları, kurumsal bilgi işlem yapıları içerisinde ağ (network) sistemlerine olan katkıları, kurumsal altyapı giderleri bakımından yeni teknolojilerin yaratacağı fırsatlar, var olan ağ sistemlerine alternatif veya bağımsız yeni topolojilerin ortaya çıkarılması gibi konular ele alınacaktır. Teknolojik uygunluğun test edilebilmesi için İstanbul örneği ele alınarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Tez çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek katkıda bulunan Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı danışman hocam sayın Prof. Dr. Ali GÜNEŞ'e teşekkür ederim. Tez çalışmasında saha testlerinin yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen İstanbul Ulaşım Haberleşme ve Güvenlik Teknolojileri A.Ş Haberleşme ve Görüntü Sistemleri Şefi Sayın Ahmet Selami SÖĞÜT'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi manevi hiçbir yardımı esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
TABLolar	iv
ŞEKİLLER	viii
GİRİŞ	1
1. MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ	3
1.1. TARİHÇE	3
1.2. BİRİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ	4
1.3. İKİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ	5
2. 3. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ	10
2.1. TARİHÇE	10
2.2. 3G STANDARTLARI	12
2.3. 3GPP ORTAKLIK PROJESİ	15
2.4. UMTS	20
2.4.1. UMTS Şebeke Yapısı	23
2.5. HSPA (HSDPA-HSUPA)	28
2.6. HSPA+	34
2.6.1. MIMO	37
2.6.2. Yüksek Seviyeli Modülasyon	40
3. 4. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ	42
3.1. TARİHÇE	42
3.2. 4G STANDARTLARI (IMT-ADVANCED)	45
3.3. LTE ve LTE-ADVANCED	51
3.3.1. LTE Erişim Yöntemleri	55
3.3.2. LTE Şebeke Yapısı	60
3.3.3. LTE-Advanced	68
3.3.4. LTE-Advanced Şebeke Yapısı	72
3.3.5. LTE-Advanced Yenilikleri	74
3.4. MOBILE WiMAX 2 (IEEE 802.16m)	83

3.4.1. IEEE Standartları	85
3.4.2. WiMAX Standartları	87
3.4.3. Mobile WiMAX 2 (802.16m) ve Teknik Özellikleri	90
3.4.4. Mobile WiMAX 2 (802.16m) Şebeke Yapısı	95
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	98
4.1. TÜRKİYE VE DÜNYADA GENİŞBANT ERİŞİM.....	98
4.2. KAMU KURUMLARI İÇİN GENİŞBANT	105
4.2.1. Yerel Yönetimler ve İstanbul Örneği	106
4.2.2. 4G ve Teknolojik Seçim	110
4.3. BULGULAR.....	113
4.3.1. Saha Keşfi.....	113
4.3.2. Kapsama Analizi	114
4.3.3. Radyo Şebeke Yapısı	117
4.3.4. Örnek Senaryo.....	119
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	122
KAYNAKÇA	128
ÖZET	137
ABSTRACT.....	139

SİMGELER VE KISALTMALAR

2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	The Third Generation Partnership Project
4G	fourth generation
AM	Amplitude modulation
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AMPS	Advance Mobile Phone System
ASN	Access Service Network
ASN-GW	Access Service Network Gateway
BSS	Base Station Subsystem
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CoMP	Coordinated Multipoint Transmission And Reception
CPC	Continuous Packet Connectivity
CQI	Channel Quality Indicator
CSN	Connectivity Service Network
DSC	Digital Cellular System
DSL	Digital Subscriber Line
ECSD	Enhanced CSD
E-DCH	Enhanced Uplink Dedicated Channel
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EGPRS	Enhanced GPRS
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunication Standart Institute
E-UTRAN	Evolved UTRAN
FDD	Frequency division duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FM	frequency modulation
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telephone Service
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network

GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HetNet	Heterogeneous networks
H-FDD	Half-Duplex FDD
HSDPA	High Speed Download Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	High Speed Packet Access Plus
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Upload Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMT-A	IMT-Advanced
ISDN	Integrated System Digital Network
ITU	International Telecommunications Union
ITU-R	ITU-Radiocommunication Sector
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri Genel Müdürlüğü
İSBAK	İstanbul Ulaşım Haberleşme ve Güvenlik Teknolojileri A.Ş
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
LDMS	Local Multipoint Distribution System
LOS	Line Of Sight
LSTI	LTE/SAE Trial Initiative
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution-Advanced
MAC	Medium Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMDS	Multi-Channel Multipoint Distribution System
MME	Mobility Management Entity
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Centre
NLOS	Non Line Of Sight
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSS	Network Switching Sub System
NTT	Nippon Telegraph and Telephone

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Acces
PCS	Personal Communication Services
P-GW	Packet Gateway
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RAN	Radio Access Network
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
SAE	System Architecture Evolution
SAE-GW	SAE Gateway
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
S-GW	Serving Gateway
TDD	Time Division Duplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA
TSG	Technical Specification Groups
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	wireless local area network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Networks
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

TABLOLAR

Tablo 1 - 1.Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri	4
Tablo 2 - GSM'de Geliştirilen Sistemler	7
Tablo 3 - IMT-2000 Karasal Radyo Arayüz Standartları	14
Tablo 4 - 3GPP Ortakları	16
Tablo 5 - 3GPP Teknik Şartname ve Çalışma Grupları (TSG-WG)	17
Tablo 6 - 3GPP Sürümleri (Releases).....	18
Tablo 7 - UMTS Kullanım Alanları ve Sağladığı Hizmetler.....	21
Tablo 8 - UTRA-FDD / UTRA-TDD Yapısı	25
Tablo 9 - 3GPP HSPA+ Sürümlere Göre Gelişimi	36
Tablo 10 - IMT-Advanced Gelişim Sürecindeki Önemli Adımlar	47
Tablo 11 - IMT-Advanced 4G Gereksinimleri.....	48
Tablo 12 - LTE Teknik Özellikleri	53
Tablo 13 - LTE-Advanced İçin Önemli Adımlar.....	69
Tablo 14 - LTE-Advanced Teknik Detaylar ve IMT-A Gereksinimleri.....	70
Tablo 15 - IEEE 802 Kablosuz Standartları ve Etki Alanları.....	86
Tablo 16 - WiMAX Standartları	88
Tablo 17 - IEEE 802.16m Teknik Detaylar ve IMT-A Gereksinimleri.....	92
Tablo 18 - Bağlantı Çeşidine Göre İnternet Abone Sayıları	100
Tablo 19 - 3G Hizmeti Kullanıcı Verileri	102
Tablo 20 - Alternatif İşletmecilerin Fiber Uzunlukları.....	105
Tablo 21 - Kamu Kurum ve Kuruluşları Fiber Uzunlukları	106
Tablo 22 - İBB İstihdam Türüne Göre Personel Dağılımı.....	107
Tablo 23 - İBB Hizmet Binaları Dağılımı	108
Tablo 24 - 4G (LTE-A & IEEE 802.16m) Teknik Karşılaştırma	110
Tablo 25 - Pilot Bölge Radyo Şebeke Yapısı	117

ŞEKİLLER

Şekil 1 - GSM Şebeke Yapısı	8
Şekil 2 - IMT-2000 Frekans Spekturumu	11
Şekil 3 - IMT-2000 Standartları ve Destekleyen Kuruluşlar.....	13
Şekil 4 - UMTS Kullanıcı Verilerinin Kanaldaki Kullanımı.....	22
Şekil 5 - UMTS Kapsama Alanları.....	23
Şekil 6 - UMTS Şebeke Yapısı.....	24
Şekil 7 - HSPA ve HSPA+.....	29
Şekil 8 - HSDPA Kanal Kalite Göstergesi, CQI	30
Şekil 9 - HSDPA Uyarlamalı Modülasyon	31
Şekil 10 - HSDPA Kanal Yapısı	31
Şekil 11 - HSUPA Kanalları	33
Şekil 12 - HSPA+ Çok Taşıyıcılı Downlink Hattı	34
Şekil 13 - MIMO Kanal Yapısı	37
Şekil 14 - MIMO Uzaysal Çeşitleme Teknikleri	38
Şekil 15 - MIMO Uzaysal Çoğullama	39
Şekil 16 - Yüksek Seviyeli Modülasyon Teknikleri	40
Şekil 17 - 4G Haberleşme Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi	43
Şekil 18 - IMT-Advanced Gelişim Planı.....	46
Şekil 19 - 4G Mobil Haberleşme Sistemleri.....	50
Şekil 20 - OFDM-FDM Güç Spektrumu.....	56
Şekil 21 - OFDM ve OFDMA Alt Taşıyıcı Yerleşimi	58
Şekil 22 - LTE Erişim Yöntemleri	58
Şekil 23 - LTE Evolved Packet System - EPS.....	60
Şekil 24 - LTE E-UTRAN Mimarisi	61
Şekil 25 - E-UTRAN-UTRAN Karşılaştırması.....	62
Şekil 26 - LTE Çekirdek Şebekesi EPC	65
Şekil 27 - LTE-A ve IMT-A Zaman Çizelgeleri.....	68
Şekil 28 - LTE-Advanced E-UTRAN Yapısı	72
Şekil 29 - LTE-Advanced'a Ait Önemli Teknolojiler	74
Şekil 30 - LTE-Advanced Taşıyıcı Toplama	75

Şekil 31 - LTE-Advanced Taşıyıcı Toplama Çeşitleri	76
Şekil 32 - LTE-A MIMO Modelleri ve Uyarlamalı Anahtarlama.....	77
Şekil 33 - LTE-A Downlink Hızları (Taşıyıcı Toplama ve Gelişmiş MIMO) ...	78
Şekil 34 - LTE-Advanced Heterojen Ağlar	79
Şekil 35 - LTE-Advanced Röle Düğümleri.....	81
Şekil 36 - LTE-A Koordineli Çok Nokta Sinyal İletimi ve Alımı (CoMP)	82
Şekil 37 - IEEE 802 Standartlar Topluluğu.....	85
Şekil 38 - IEEE 802.16m Zaman Çizelgeleri	91
Şekil 39 - IP Tabanlı Mobil WiMAX Şebeke Yapısı	96
Şekil 40 - Toplam Genişbant İnternet Abone Sayısı	99
Şekil 41 - Sabit Genişbant Abonelerinin Hızlara Göre Dağılımı	100
Şekil 42 - Toplam Mobil Abone Sayısı ve Nüfusa Göre Penetrasyon	101
Şekil 43 - Avrupa Ülkeleri ve Türkiye'ye Ait Mobil Penetrasyon Oranları ...	103
Şekil 44 - OECD Sabit Genişbant İnternet Penetrasyon Oranları	103
Şekil 45 - OECD Sabit-Mobil Genişbant Penetrasyon Oranları.....	104
Şekil 46 - Bölge Kapsama Alanı.....	113
Şekil 47 - DTM Sınıflandırma Sonucu	114
Şekil 48 - CRC-Predict Modeli - 1	115
Şekil 49 - CRC-Predict Modeli - 2	116
Şekil 50 - Pilot Bölge Kapsama Alanı Modülasyon Değerleri.....	116
Şekil 51 - Baz İstasyonu ve Araç Terminali.....	118
Şekil 52 - D-100 İncirli Baz İstasyonu	119
Şekil 53 - D-100 Şirinevler Baz İstasyonu	119
Şekil 54 - Örnek Senaryo Sistem Mimarisi.....	120
Şekil 55 - Örnek Senaryo Ekran Görüntüsü - 1	121
Şekil 56 - Örnek Senaryo Ekran Görüntüsü - 2.....	121

GİRİŞ

İngiliz asıllı ABD'li bilim insanı Alexander Graham Bell tarafından telefonun icadı ile başlayan haberleşme serüveni, zaman içerisinde kullanıcıların ihtiyaçlarına göre şekillenen teknolojik yeniliklerle birlikte insan günlük yaşamının vazgeçilmezi haline gelmiştir. İlk başlarda sadece ses iletimi mümkünken zamanla veri iletiminin de mümkün hale gelmesi ile birlikte bilgiye erişim önemli hale gelmiştir. İnsanların bilgiye en hızlı şekilde erişme isteği, İnternet gibi teknolojilerin doğmasına yol açarak insanların çalışma ve sosyal hayatında köklü değişikliklere yol açmıştır. İlk başta çevirmeli bağlantı ile erişim sağlanırken daha sonraları mobil haberleşme sistemlerinin gelişmesi ile konumdan, zamandan ve mekândan bağımsız bir şekilde yüksek hızda erişim mümkün hale gelmiştir.

Üçüncü ve dördüncü nesil mobil haberleşme sistemleri gibi mobil genişbant teknolojilerinin tarihsel gelişimi tez kapsamında detaylı bir şekilde incelenecektir. Tez çalışması kapsamında bu teknolojilerin yerel yönetimler ölçeğindeki kamu kurum ve kuruluşları için uygunluğunun araştırılması hedeflenmektedir. Bu teknolojilerin kamu kurumları için faydaları, kurumsal bilgi işlem yapıları içerisinde ağ (network) sistemlerine olan katkıları, kurumsal altyapı giderleri bakımından yeni teknolojilerin yaratacağı fırsatlar, var olan ağ sistemlerine alternatif veya bağımsız yeni topolojilerin ortaya çıkarılması gibi konular ele alınacaktır. Teknolojik uygunluğun test edilebilmesi için metropol şehir olarak İstanbul örneği ele alınmıştır. Tezin son kısmında test sonuçlarına göre ele alınan konular değerlendirilerek sonuç ve öneriler paylaşılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda tez çalışmasının organizasyonu aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Birinci bölümde, mobil haberleşme sistemlerine genel bir giriş yapılmıştır. Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz'in radyo dalgalarını keşfinden, üçüncü nesil sistemlere kadar olan kısım anlatılarak mobil haberleşmenin tarihçesi anlatılmıştır. Çoğu 1980'li yıllarda hizmete sunulan birinci nesil diye isimlendirilen analog yapıya sahip mobil haberleşme sistemlerinden bahsedildikten sonra 1990'lı yıllarda hayatımıza giren GSM gibi ikinci nesil

mobil haberleşme sistemleri anlatılmıştır. GSM'e ait teknik detaylardan bahsedildikten sonra 2G-3G arasında köprü görevi gören HSCSD, GPRS ve EDGE gibi ara nesil teknolojiler de bu bölümde detaylandırılmıştır.

İkinci bölümde, üçüncü nesil mobil haberleşme sistemleri teknik açıdan detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü nesil haberleşme sistemlerin tarihçesi, 3G standartları, 3GPP ortaklık projesi ve sürümleri anlatılmıştır. UMTS teknolojisine ait teknik özellikler ve şebeke yapısı anlatıldıktan sonra HSPA ve HSPA+ teknolojileri de bu bölümde detaylandırılmıştır.

Üçüncü bölümde, dördüncü nesil mobil haberleşme sistemleri teknik açıdan detaylı olarak incelenmiştir. Dördüncü nesil haberleşme sistemlerin tarihçesi, 4G standartları (IMT-Advanced) anlatıldıktan sonra LTE, LTE-Advanced ve Mobile WiMAX 2 (IEEE 802.16m) teknolojilerine ait teknik özellikler ve şebeke yapıları bu bölümde detaylandırılmıştır.

Dördüncü bölümde, Türkiye ve Dünyada genişbant erişim hakkında bilgi verilmiştir. BTK tarafından yayınlanan Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü raporunda 2014 yılı Birinci Çeyrek (Ocak-Şubat-Mart) dönemine ait veriler tez kapsamında incelenmiştir. Dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin kamu kurumları için araştırılması konusunda, kamu örneği olarak yerel yönetimler (İstanbul örneği) seçilerek teknik açıdan incelenmiştir. 4G sistemlerinin uygulanabilirliğinin test edilmesi amacıyla saha keşifleri sonucu pilot bölge belirlenmiş, radyo şebeke yapısını oluşturmak için bir kapsama analizi yapılmıştır. Teknik detaylar belirlendikten sonra örnek senaryoya uygun testler gerçekleştirilmiştir.

Son bölümde ise tez çalışması kapsamında anlatılanlar ışığında aşağıda yer alan değerlendirme ve öneriler sunulmaktadır.

1. MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

1.1. TARİHÇE

Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz 1888 yılında kendisinin en önemli başarısı olan elektromanyetik ışımanın başka bir türü sayılan radyo dalgalarını keşfetti ve bu sayede radyo dalgaları ile bilgi transferinin gerçekleştirilmesi olanak sağladı. Guglielmo Marconi ise Hertz 'in bu keşfinden sadece birkaç yıl sonra radyo dalgalarını mors kodu kullanarak birkaç kilometre uzaklıktaki alıcı ve verici arasında sinyal haberleşmesi gerçekleştirildi.

Guglielmo Marconi'nin deneyleri hücrel radyonun ve diğer birçok çeşit iletişim sisteminin temelini oluşturuldu. AM ve FM radyo yayını ilk olarak 1929 yılında yayına başladı. İlk FM alıcılar iyi kalitede alıcı olmakla birlikte boyutları ve harcadıkları güç bakımından büyüktüler. Ön hücrel sistemlerden (0G) günümüz 4G teknolojisine kadar geçen sürede mobil haberleşme inanılmaz aşamalar kaydederek insanlar için artık vazgeçilemez bir ihtiyaç haline gelmiştir. Farklı dönemlerdeki kullanıcıların ihtiyaçlarına göre şekillenen ve gelişen haberleşme teknolojileri günümüzdeki halini zaman içerisinde almıştır. Mobil cihaz fiyatlarının da düşmesiyle birlikte mobil kullanıcı sayısı önceki yıllara oranla büyük artış göstermiştir.

Kullanıcı talepleri doğrultusunda kablolu haberleşme sistemlerinden farklı olarak konumdan bağımsız bir şekilde sesli iletişim yapılabilmesi amacıyla mobil haberleşme sistemlerinin geliştirilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Zaman içerisinde elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte hücrel sistemleri günlük hayata uygulamak mümkün hale gelmiştir. Özellikle 1970'li yılların başlarında yarıiletken ve mikrochiplerin geliştirilmesi teknolojinin

daha hızlı ve karmaşık yapıların geliştirilmesine imkân sağlamıştır. Bu gelişmeler sayesinde AT&T/Bell laboratuvarlarında Richard Frenkiel ve Joel Engel tarafından 1971 yılında mobil iletişim için hücreli sistemin temelleri ortaya kondu ve analog 1. nesil mobil haberleşme sistemleri geliştirildi. AT&T/Bell laboratuvarlarında yapılan bu sürece paralel olarak Japonya'da benzer çalışmalar sonucunda NTT (Nippon Telegraph and Telephone) tarafından 1979 yılında dünyadaki ilk hücreli sistemi hayata geçirildi.

1981 yılında, ABD ve Japonya'daki gelişmelere bağlı olarak Avrupa'daki İskandinav ülkeleri Norveç, Finlandiya, İsveç ve Danimarka tarafından NMT(Nordic Mobile Telephone) devreye alındı. 1982 yılında İngiltere ve İrlanda'da hücreli haberleşme için TACS (Total Access Communication System) kullanıma sunuldu. ABD'de ise ilk hücreli lisanslar 1981 yılında alındı ve 1983 de AMPS (Advance Mobile Phone System) hayata geçmiştir.

1.2. BİRİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Çoğu 1980'li yıllarda hizmete sunulan, Avrupa'nın farklı ülkelerinde ve dünyada birbirinden bağımsız olarak çalışan farklı analog sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerden en çok kullanılanları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1 - 1. Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri

Yıl	Sistem	Ülke
1979	NTT (NipponTelegraphand Telephone)	Japonya
1981	NMT (Nordic Mobile Telephone)	İskandinav Ülkeleri
1982	TACS (Total Access CommunicationSystem)	İngiltere
1983	AMPS (Advance Mobile Phone System)	ABD, Avusturalya
1985	C-450 (C-Netz)	Almanya, Portekiz
1986	Radiocom 2000	Fransa
1980s	RMTI (Radio Mobile Telephone Integrato)	İtalya

Mobil haberleşme teknolojilerindeki değişiklikler genellikle nesil terimi ile anılırlar. Tablo 1 de listelenen 1980'li yıllara ait sistemler 1.nesil haberleşme sistemleri olarak kabul edilir. Analog iletim tekniklerini kullanan 1.nesil sistemler, daha çok ses haberleşmesi için kullanılmaktadır.

Teknik olarak birbirine benzeyen bu sistemler Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA - Frequency Division Multiple Access) tekniğini ve dar bant FM modülasyon yöntemini kullanmışlardır. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim tekniğinde her bir kullanıcı için tek bir frekans bandı ya da kanalı ayrılır. Bu kanallar kullanıcılara hizmet isteği talepleri üzerine atanır. FDD (Frekans bölmeli çift yönlü) de, kanal ileri (uplink) ve geri kanal (downlink) olmak üzere iki adet kanal frekansına sahiptir. FDMA'da, Uplink ve Downlink iletimi farklı frekans bantlarında gerçekleşir. Arama periyodu boyunca, başka kullanıcı aynı frekans bandını paylaşamaz.

Avrupa'nın farklı ülkelerinde ve dünyada birbirinden bağımsız olarak sistemlerin geliştirilmesi pek çok sorunları da beraberinde getirmiştir. Bir sistemdeki mobil telefon cihazının başka bir sistemde kullanılamamasından kaynaklı olarak uluslararası dolaşım sağlanamıyordu. 1.Nesil haberleşme sistemlerin dezavantajları genel olarak: düşük servis kalitesi (ses karışması, cızırtı), görüşme yapılabilmesi için uzun süre beklenmesi, bant genişliğinin etkin kullanılamaması, ekipmanların büyük boyutlarda ve pahalı olması, yüksek güç tüketimi, güvenliğin yetersiz oluşu ve uluslararası dolaşımın olmaması gibi sıralanabilir.

1.3.İKİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Tablo 1 'de görüldüğü gibi 1980'li yıllarda Avrupa'da birbirinden farklı, uyumsuz ve birlikte çalışamayan birçok farklı hücresele standartlar bulunmaktaydı.

Bu durum haberleşme sistemlerinin ülke içinde sınırlı kalmasına ve küresel bir yapıya ulaşmasında engel teşkil ediyordu. Çözüm için tek bir hücresele sisteme ihtiyaç duyulmaktaydı. CEPT-European Conference of

Postal and Telecommunications Administrations (Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Konferansı) tarafından 900 Mhz'de bir standartın oluşturulmasını fikrinin 1982 yılında kabul edilmesiyle Avrupa'da ortak bir hücresel mobil sisteminin standartlarının geliştirilmesi amacıyla "GSM-Groupe Special Mobile" adlı bir grup oluşturuldu.

1987'de GSM-Groupe Special Mobile tarafından geliştirilen sayısal bir mobil haberleşme sistemi olan yeni sisteme Global System for Mobile - GSM adı verilmiştir. "Sistem ismi ile komite isminin karışıklık oluşturmaması için komitenin ismi Groupe Special Mobile'den (GSM), Special Mobile Groupe (SMG) olarak değiştirildi. 1988'de ETSI (European Telecommunication Standart Institute- Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü) kurularak, daha önce farklı standartlarla ifade edilen CEPT aktivitelerini (tüm telekomünikasyon standartlarını), GSM standartları da dâhil olmak üzere devralarak çalışmalarını devam ettirdi." [73] GSM standartları 1988, 1989 yılları arasındaki yoğun çalışmalar sonucunda 1990 yılında ETSI standartları içinde tamamlanmıştır.

"1991 yılında Finlandiya'nın yerel GSM operatörü Radiolinja üzerinden yine Finlandiya'nın iletişim devi Nokia'nın 1011 modeli ile ilk cep telefonu görüşmesi gerçekleştirildi. İlk görüşmenin bir yıl sonrasında, Telecom Finlandiya, İngiliz Vodafone ile ilk dolaşım (roaming) anlaşmasını yaptı ve iki ülke arasında cep telefonu görüşmeleri mümkün oldu." [1], [74]

90'lı yılların başlarında analog haberleşme sistemlerinin yerini ikinci nesil haberleşme sistemleri olarak da adlandırılan sayısal haberleşme sistemleri almaya başlamıştır. Avrupa Birliği fikrinin sonucu olarak ortak bir haberleşme sistemi kurulması ile amaçlanmış GSM adıyla anılan, bu Avrupa'ya özgü sayısal mobil haberleşme sistemi kısa sürede uluslararası bir standart olmuştur. Dünyanın pek çok ülkesinde GSM mevcut iken, Amerika ve Asya kıtasının bazı bölgelerinde GSM'in türevleri olarak nitelendirebileceğimiz farklı frekanslarda çalışan sistemler geliştirilmiştir. İkinci nesildeki önemli mobil haberleşme standartları olarak GSM-850, GSM900, DSC-1800 (Digital Cellular System), PCS-1900 (Personal Communication Services) bunlardan bazılarıdır. GSM 850 ve 1900 Mhz bantları Kuzey Amerika, ABD ve Kanada

da kullanılmaktadır. 900 ve 1800 Mhz bantları ise Amerika hariç tüm dünyada kullanılmaktadır.

Farklı frekans bantlarına göre GSM'de geliştirilen sistemler Tablo 4'deki gibidir. [2]

Tablo 2 - GSM'de Geliştirilen Sistemler

SİSTEM	GSM-900	E-GSM	GSM (DSC) 1800	GSM (PCS) 1900
Uplink (UL)	890-915 Mhz	880-890 Mhz	1710-1785 Mhz	1850-1910 Mhz
Downlink (DL)	935-960 Mhz	920-935 Mhz	1805-1880 Mhz	1930-1990 Mhz
Bant Genişliği	2x25 Mhz	2x10 Mhz	2x75 Mhz	2x25 Mhz
Dupleks Uzaklığı	45 Mhz	45 Mhz	95 Mhz	80 Mhz
Dalga Boyu	~33 cm	~33 cm	~17 cm	~16 cm
Taşıyıcı Aralığı	200 kHz	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Kanal Kapasitesi	124	49	374	299
Erişim Yöntemi	TDMA/FDD	TDMA/FDD	TDMA/FDD	TDMA/FDD
Modülasyon Tekniği	GMSK	GMSK	GMSK	GMSK
Modülasyon Hızı	270,85 Kbps	270,85 Kbps	270,85 Kbps	270,85 Kbps
Data Kodlama Hızı	9,6 Kbps tam Rate	9,6 Kbps tam Rate	9,6 Kbps tam Rate	9,6 Kbps tam Rate
Ses Kodlama Hızı	13 Kbps tam Rate	13 Kbps tam Rate	13 Kbps tam Rate	13 Kbps tam Rate

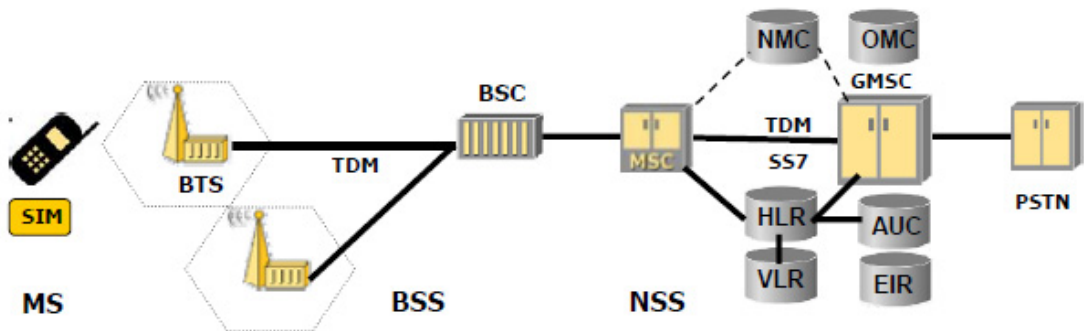
GSM'nin tüm dünyada bu kadar yaygınlaşmasının sebebi ise katmanlı protokoller ve açık ara yüzlerden (open interfaces) oluşan esnek bir tasarıma sahip olmasıdır. [3]

Ses ve veri iletişimini de destekleyen ikinci nesil sistemler sayısal modülasyonu desteklemekte ve gelişmiş görüşme (servis) kalitesi sunmaktadır. GSM, Sayısal sistemin getirdiği geliştirilmiş güvenlik ve düşük güçte haberleşen daha küçük boyutlarda mobil cihazlar gibi birçok yeniliği beraberinde getirmiştir. Çoklu erişim tekniklerinden TDMA ile birlikte GSM'de frekans spektrumunun daha verimli kullanılması sonucunda sistem kapasitesi birinci nesil analog sistemlere göre büyük oranda artmıştır. Zaman Bölmeli

Çoklu Erişim (TDMA) genel olarak Avrupa'da kullanılmakla beraber, Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) daha çok ABD'de kullanılmaktadır.

Genel olarak GSM şebeke yapısı standart ara yüzler kullanılarak ve bileşenler arasındaki bağlantı açık olarak ifade edilmiş, alt gruplara bölünebilen yönetilebilir bir sistem olarak tasarlanmıştır. Böylece ülkeler/üreticiler arasındaki uyumsuzluk sorunu giderilmiş olacaktır. Bu amaçlar doğrultusunda GSM şebeke yapısı genel olarak 4 ana bileşene ayrılabilir.

Her bir şebeke grubu kendi içinde birden fazla bileşenden oluşmaktadır. GSM şebeke yapısı Şekil 1'de gösterildiği gibidir. [4]



Şekil 1 - GSM Şebeke Yapısı

- ✓ Mobil İstasyon (MS: Mobile Station) Kullanıcının şebekede görüşme yapabilmesi için gerekli olan telefon, tablet vb.
- ✓ Baz İstasyonu Alt Sistemi (BSS: Base Station Subsystem) Kullanıcının şebekeye girişini sağlayan Mobil istasyon ile santral arasındaki radyo bağlantı sistemidir.
- ✓ Şebeke Anahtarlama Alt Sistemi (NSS: Network Switching Sub System) Kullanıcının şebeke içinde veya diğer şebekelerde bulunan telefon aboneleri ile bağlantısını sağlayan ve abonelik işlemlerini yürüten sistemdir.

- ✓ İşletme ve Bakım Sistemi (OMS: Operation and Maintenance System) Şebekenin bir merkezden kontrolünü sağlayan işletme sistemi ve bu amaçla yapılan tüm faaliyetleri içermektedir. [73]

İkinci nesil haberleşme teknolojileri ses iletimi konusunda kullanıcının ihtiyacını karşılamada başarılı olsa da, internetin tüm dünyada hızla yayılması mobil haberleşme sistemlerinde de etkisini göstermiştir. Zaman içinde kullanıcı sayısının artmasıyla birlikte, veri hizmetlerinin giderek yaygınlaşması sonucunda yüksek hızda iletim yapan sistemlere ihtiyaç doğmuştur. Bu durum ikinci nesil haberleşme sistemlerinin yetersiz kalmasına sebep olmuştur. Bu kapsamda sırasıyla aşağıdaki sistemler geliştirilmiştir.

- ✓ Yüksek Hızlı Devre Anahtarlama Veri (HSCSD: High Speed Circuit Switched Data)
- ✓ Genel Paket Radyo Hizmetleri (GPRS: General Packet Radio Services)
- ✓ Küresel Evrim İçin Geliştirilmiş Veri Hızları (EDGE: Enhanced Data Rates for Global Evolution).

HSCSD, GPRS ve EDGE gibi sistemler GSM'in varyasyonları olup, ikinci nesil haberleşme teknolojileri ile üçüncü nesil haberleşme teknolojileri arasında köprü görevi görmüştür. Yüksek veri hızı sağlamak üzere geliştirilen bu sistemler 2.5G teknolojileri veya ara nesil sistemler olarak ifade edilir. HSCSD, GRPS ve EDGE gibi ara nesil sistemlerin (2.5G) geliştirilmesi ile mobil haberleşme sistemlerinde veri (data) uygulamalarının büyük bir önem ve potansiyele sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu sistemlerin üçüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir katkısı olmuş ve 2G'den 3G'ye geçişi kolaylaştırarak yönlendirici olmuştur.

2. 3.NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

2.1.TARİHÇE

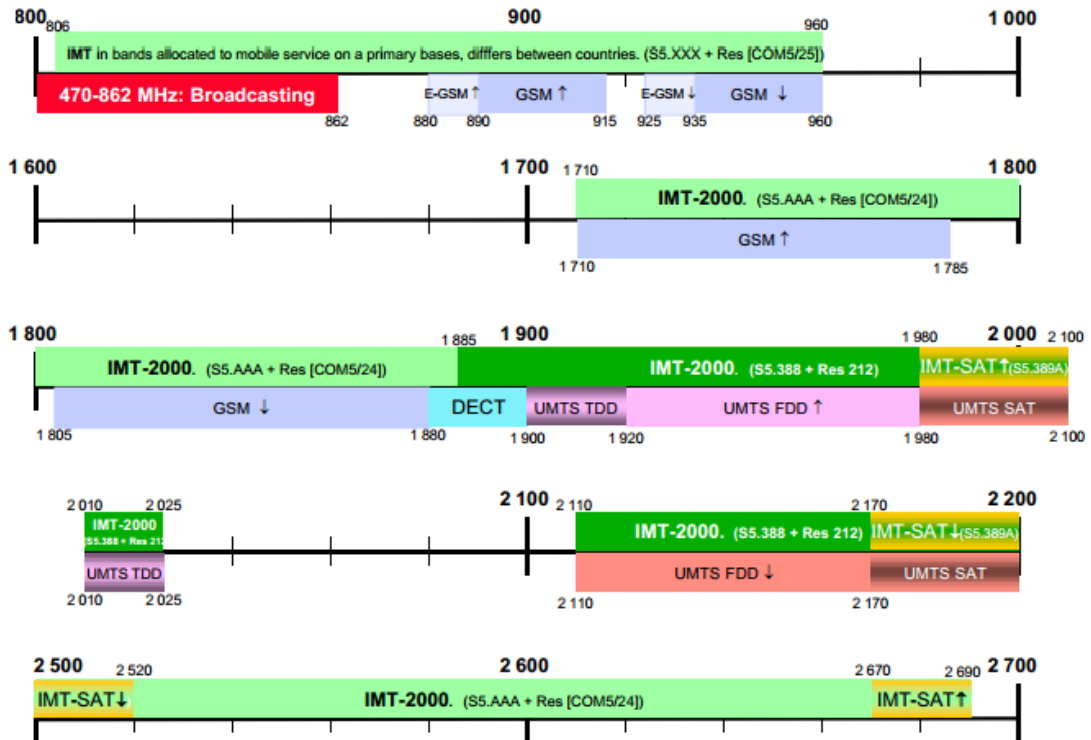
İkinci nesil mobil haberleşme sistemlerinde dünya çapında şebeke için standartlaşma amaçlansa da Avrupa (GSM900), ABD (DSC-1800) ve Japonya da (PCS-1900) kullanılan standartların birbirlerinden farklı olması nedeniyle ikinci nesil sistemlerle bu amaca ulaşılamamıştır. Zamanla internetin gelişerek yaygınlaşması ve kullanıcı sayısındaki artışlar neticesinde veri kullanımının önemi giderek artmıştır. İnternet ortamında veri iletiminin oldukça hızlı sağlanması ile birlikte kullanıcılar mobil haberleşme sistemlerinde de veri iletiminin hız kazanmasını talep etmişlerdir. Artan veri ihtiyacına karşılık HSCSD, GRPS ve EDGE gibi ara nesil sistemlerin (2.5G) geliştirilmesi ile mobil haberleşme sistemlerinde veri (data) uygulamalarının büyük bir önem ve potansiyele sahip olduğu anlaşılmıştır. Geliştirilen ara nesil sistemler (2.5G) zamanla kullanıcıların taleplerini karşılayamaz durumuna gelmiş ve yetersiz kalmıştır. Küresel gezinmeye imkân sağlayan dünya çapında ortak standart ihtiyacı, spektrum kapasite yetersizliği, çoklu ortam (multimedia) hizmetlerinin kısıtlı olması ve daha yüksek veri hızlarına olan ihtiyaçlar sonucunda üçüncü nesil mobil haberleşme sistemleri doğmuştur.

Üçüncü nesil haberleşme teknolojileri ile ilgili çalışmalar, 1980'li yıllarda, birçok standart enstitüsü ve endüstri gurubunun katıldığı FPLMTS (Future Public Land Mobile Telephone Service - Gelecekteki Genel Karasal Mobil Telefon Servisi) projesi ile başlatıldı. Ayrıca pekçok ulusal/bölgesel kuruluşlar üçüncü nesil haberleşme sistemleri ile ilgili standartlar üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar daha sonra ITU (International Telecommunication

Union - Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) bünyesinde devam etmiş ve üçüncü nesil mobil haberleşme standartlarını tek bir çatı altında toplayarak 1998 yılında IMT-2000 (International Mobile Telecommunication - Uluslararası Mobil İletişim) adı verilen küresel çerçeve altında tanımlamıştır. IMT-2000, tüm dünyada üçüncü nesil mobil haberleşmenin tüm standartları için bir kılavuz referans olarak planlanmıştır. 3G'nin hedefleri arasında yüksek hızda çoklu ortam (ses ve görüntülü uygulamalar) ile ileri düzeyde küresel dolaşım yer almaktadır.

1992 yılı Dünya İdari Radyo Konferansında (WARC-92) IMT-2000 frekans spektrumu için ilk olarak, üçüncü nesil sistemlerin karasal ve uydu birimlerine özel 230 MHz'lik 1885-2025 ve 2110-2200 MHz frekans bantları tanımlanmıştır. 230 MHz'lik bu bantta 2x60 MHz FDD (Frekans Bölüşümlü Çift Yönlü), 35 MHz ise TDD (Zaman Bölüşümlü Çift Yönlü) için tanımlanmıştır. Ek bant gereksinimi WRC-2000'de (Dünya Radyohaberleşme Konferansı'nda) İstanbul'da ele alınmış ve 806-960 MHz bandı ile 1710-1885 MHz ve 2500-2690 MHz bantlarının kullanıma tahsis edilmiştir.

IMT-2000 frekans spektrumu Şekil 2'de gösterildiği gibidir. [5]



Şekil 2 - IMT-2000 Frekans Spektrumu

Şekil 21'e ilave olarak 2007 yılında yine Dünya Radyohaberleşme Konferansı'nda (WRC-07) 450 MHz'de ek bir bant tanımlaması daha yapılmıştır. ITU bünyesinde radyo haberleşmeyle ilgili çalışmalar ITU-R (Radyohaberleşme Sektörü) tarafından yapılmaktadır. IMT-2000 sistemi için küresel anlamda frekans düzenlemeleri ilgili ITU-R tavsiyesinde belirtilmiştir. [6]

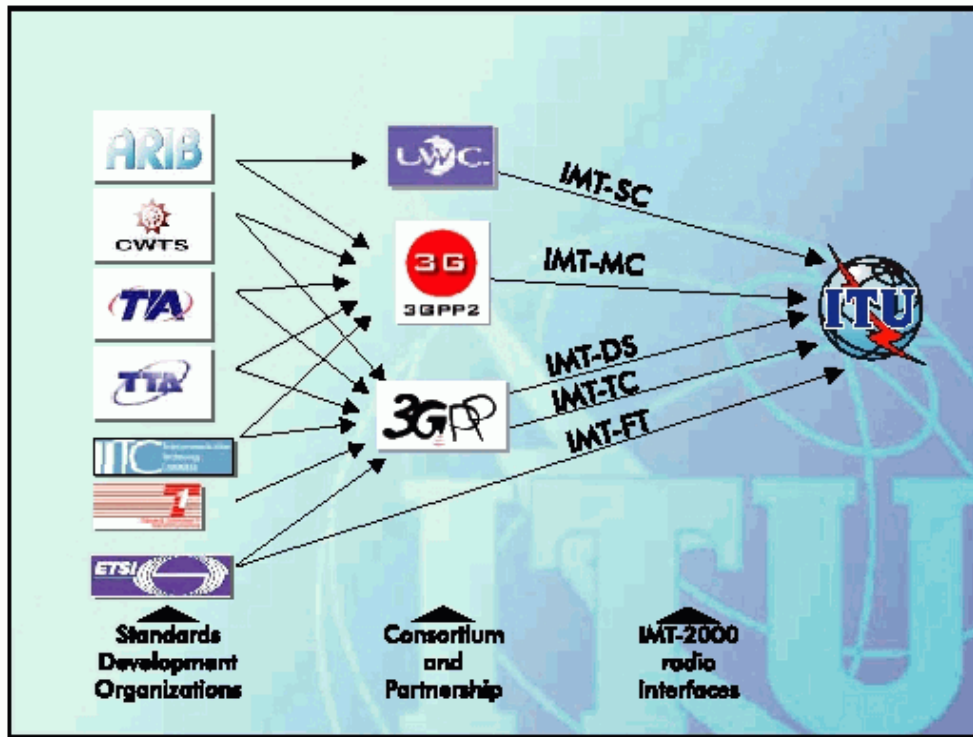
"2G şebekesi bulunmayan yeni 3G işletmecileri, idari ve ticari gereklilikleri göz önünde bulundurarak 3G standartlarından herhangi birini seçebilmektedirler. Ancak 3G'ye geçiş yapmak isteyen 2G işletmecilerinin kullanacakları 3G standardını seçerken dikkate almaları gereken en önemli ölçüt mevcut şebekelerinin güvenliğini tehlikeye atmaksızın ve en düşük maliyetle 3G'ye geçiş yapabilmektir." [4]

2.2. 3G STANDARTLARI

Dünya genelinde ITU tarafından yapılan çalışmaların dışında, farklı bölgelerdeki kurum ve kuruluşlar tarafından üçüncü nesil sistemlerin geliştirilmesi için çeşitli çalışmalar yürütülmekteydi. Avrupa, Japonya ve ABD'de üçüncü nesil sistemler üzerine yapılan çalışmalarda WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access - Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim) tabanlı erişim tekniği kullanılmaktaydı. IMT-2000 çerçevesinin oluşturulmasından sonra 1998 yılında ETSI (European Telecommunications Standards Institute - Avrupa Haberleşme Standartları Enstitüsü) Avrupa'da üçüncü nesil sistemler için kullanılacak standartları UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi) adı altında ITU'ye evrensel standart önerisi olarak sunmuştur. ABD ise, Kuzey Amerika'da kullanılmakta olan hücreli sistemlerden AMPS ve CDMA ile uyumlu olan CDMA-2000'i 3G küresel standardı olarak önermiştir. Japonya ise WCDMA standardını 1997 yılında belirlemiştir. "Hem Japonya'da hem de dünyada ilk gerçek anlamdaki 3G hizmeti, WCDMA'i seçen NTT DoCoMo tarafından 31 Mayıs 2001'de sunulmaya başlanmıştır." [4]

“Üçüncü nesil mobil sistemler için küresel şartnameler hazırlanabilmesi için, 1998 yılı Aralık ayında Avrupa’dan ETSI, Japonya’dan ARIB ve TTC, ABD’den ATIS, Çin’den CWTS ve Kore’den TTA gibi dünyanın önde gelen standart enstitülerinin altı tanesi bir araya gelmiştir. Bu grup üçüncü nesil mobil haberleşme sisteminin mevcut GSM alt yapısı ile uyumlu olmasını sağlayacak teknik özellik ve standartları belirlemek amacı ile bir araya gelerek; üçüncü nesil ortaklık projesi 3GPP’i (The 3rd Generation Partnership Project) oluşturmuşlardır.” [75] 1999 yılı Ocak ayında ANSI-41 şebekelerine ve CDMA2000 radyo arayüzüne dayanan 3GPP’ye benzer bir diğer ortaklık projesi “3GPP2” oluşturulmuştur. 3GPP2 bünyesinde CWTS, ARIB, TTC, TTA ve TIA kuruluşları yer almaktadır.

IMT-2000 standartları ve destekleyen kuruluşlar genel olarak Şekil 3’de gösterildiği gibidir. [7]



Şekil 3 - IMT-2000 Standartları ve Destekleyen Kuruluşlar

IMT-2000 çerçevesinde standartlaşma kurumları tarafından farklı standartlar tanımlanmıştır. ITU’ya 3G telsiz standartlarının belirlenmesi

kapsamında önerilen arayüzler değerlendirme gruplarınca incelenmiş ve Eylül 1998'e kadar hazırlanan raporlar ITU'ya sunulmuştur. Kasım 1999'da Helsinki'de yapılan toplantının ardından ITU Radyo Komünikasyon Topluluğu IMT 2000 karasal telsiz arayüzü (mobil terminal ile telsiz haberleşme) olarak beş teknolojiyi önermiştir. [8], [3]

Önerilen 5 radyo arayüzü Tablo 3'de gösterildiği gibidir.

Tablo 3 - IMT-2000 Karasal Radyo Arayüz Standartları

IMT-2000 Karasal Radyo Arayüzleri		Erişim Tekniği		
		CDMA	TDMA	FDMA
IMT-DS (Direct Spread)	UTRA FDD (WCDMA)	X		
IMT-MC (Multi Carrier)	CDMA-2000	X		
IMT TC (Time Code)	UTRA TDD	X	X	
IMT SC (Single Carrier)	UWC-136		X	
IMT FT (Frequency Time)	DECT		X	X

Tablo 3'e ilave olarak 2007 yılında OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Acces - Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoklu Erişim) TDD WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks - Kablosuz Kentsel Alan Ağı), ITU tarafından altıncı karasal radyo arayüzü olarak kabul edilmiştir. [9]

IMT-DS (Direct Spread): "Bu standardın temeli UTRA-FDD (UMTS Karasal Radyo Erişim Frekans Bölmeli Çift Yönlü Haberleşme - UMTS Terrestrial Radio Access Frequency Division Duplex)'ye dayanmaktadır. Bu arayüz UTRA-FDD veya WCDMA olarak da adlandırılmaktadır. UTRA-FDD modu eş zamanlı gerçekleşmesi gereken simetrik uygulamalar (ses, video, konferans) için uygun olup, tam hareketliliğe imkân tanımaktadır. IMT-MC (Multi Carrier): CDMA-2000 olarak da adlandırılan bir 3G radyo arayüz standardıdır. CDMA-2000 radyo frekansını çoklu kullanıcıya aynı anda ve

birbiriyle enterfere olmadan paylaştıran sayısal bir telsiz teknolojisi olan CDMA'ın geliştirilmiş versiyonudur.” [10]

IMT-TC: İki versiyonu vardır. “UTRA TDD (UMTS Karasal Radyo Erişim Zaman Bölmeli Çift Yönlü Haberleşme - UMTS Terrestrial Radio Access Time Division Duplex) ve TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA - Zaman Bölmeli Eşzamanlı CDMA). Bunlar tekli bant kullanırlar. İnternet gibi asimetrik servislerde ve düşük hareketlilik gerektiren uygulamalarda kullanılır. UTRA TDD'nin Avrupa'da, TD-SCDMA'nın ise Çin'de kullanılacağı düşünülmektedir. IMT-SC: 3G teknolojisi olarak TDMA kullanan ülkelerin 3.Nesile geçiş için öngördükleri bir sistem olmakla beraber EDGE adı ile de anılan bu arayüz yeni bir modülasyon tekniği kullanarak TDMA tabanlı telsiz arayüzlerin kodlama tekniğinin geliştirmekte ve mevcut GSM Şebekeleri üzerinden 3G verilerinin sunulmasını sağlamaktadır. IMT-FT: DECT olarak da bilinir. Avrupa'da kablosuz telefonlara has TDMA kullanan bir sayısal telsiz teknolojisidir. Tekli frekans bandı kullanır. 120 duplex ses kanalı içerir.” [10]





2.3. 3GPP ORTAKLIK PROJESİ

3GPP (The 3rd Generation Partnership Project), bölgesel ihtiyaçları gözetilen telekomünikasyon kurumlarının işbirliği içerisinde oluşturduğu ortaklık projesidir.

1998 Aralık ayında kurulan 3GPP ortakları arasında Tablo 4'de görüldüğü gibi Avrupa'dan ETSI, Japonya'dan ARIB ve TIC, ABD'den ATIS, Çin'den CWTS ve Kore'den TTA gibi dünyanın önde gelen standart enstitüleri yer almaktadır.

Ortaklık projesi çalışmalarını ITU (International Telecommunication Union) bünyesindeki IMT-2000 çerçevesi içerisinde yürütmektedir. Organizasyon ortakları tarafından bölgesel ihtiyaçlar gözetilerek 3GPP bünyesinde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ITU'ye iletilmektedir.

Tablo 4 - 3GPP Ortakları

3GPP Ortaklık Projesi		
	Kurum	Bölge
	ETSI - European Telecommunications Standards Institute	Avrupa
	ARIP - Association of Radio Industries and Businesses	Japonya
	TTA - Telecommunications Technology Association	Kore
	ATIS - Alliance for Telecommunications Industry Solutions	Amerika
	TTC - Telecommunication Technology Committee	Japonya
	CCSA - China Communications Standards Association	Çin

3GPP'nin ilk başta amacı önceki GSM sistemleri(GSM, GPRS, EDGE) ile uyumlu, küresel ölçekte uygulanabilirliği olan üçüncü nesil mobil haberleşme sistemleri için standartlar oluşturmak olmuştur.

İlerleyen dönemde 3GPP'nin amacı aşağıdaki konuları da içerecek şekilde genişletilmiştir:

- ✓ GSM dâhil olmak üzere GSM radyo arayüz teknolojileri (GPRS, EDGE)
- ✓ Mevcut mobil sistemlerin dışında geliştirilen üçüncü nesil çekirdek ağlar (3GPP Core Networks) ve standart enstitüleri tarafından geliştirilen radyo arayüz teknolojileri (UTRA-FDD, UTRA-TDD)
- ✓ Bağımsız bir şekilde geliştirilen IMS (IP Multimedia Subsystem) ve uygulamaları 3GPP kapsamına dâhil edilmiştir.

3GPP standardizasyonu Radyo Arayüzleri, Çekirdek Ağ (Core Network) ve servis katmanı konuları kapsamaktadır. Bu kapsamda yüksek hızda veri aktarımı, düşük gecikme oranı, daha esnek spektrum, gelişmiş güvenlik, donanım çeşitliliği, IMS uygulamaları ve 3GPP dışındaki standartlara destek vermesi gibi avantajlar sağlamaktadır.

3GPP bünyesinde 39 farklı ülkeden 390 şirket üye olarak yer almaktadır. 3GPP grup yapısı farklı Teknik Şartname Gruplarından (TSG -

Technical Specification Groups) oluşmaktadır. Her bir teknik şartname grubunda üye şirketlerden seçilmiş uzmanların bulunduğu Çalışma Grupları (WG -Working Groups) yer almaktadır. Tablo 5’de detayları gösterildiği gibi 3GPP’de GERAN (GSM EDGE Radio Access Network), RAN (Radio Access Network), SA (Service & Systems Aspects) ve CT (Core Network & Terminals) Teknik Şartname Grupları vardır. Şarntameler yılda dört kez gerçekleşen TSG toplantılarından sonra güncellenmektedir. [11]

Tablo 5 - 3GPP Teknik Şartname ve Çalışma Grupları (TSG-WG)

3GPP Teknik Şartname ve Çalışma Grupları (TSG-WG)			
TSG GERAN GSM EDGE Radio Access Network	TSG RAN Radio Access Network	TSG SA Service & Systems Aspects	TSG CT Core Network & Terminals
GERAN WG1 Radio Aspects	RAN WG1 Radio Layer 1 spec	SA WG1 Services	CT WG1 MM/CC/SM (Iu)
GERAN WG2 Protocol Aspects	RAN WG2 Radio Layer 2 spec Radio Layer 3 RR spec	SA WG2 Architecture	CT WG3 Interworking with external networks
GERAN WG3 Terminal Testing	RAN WG3 Iub spec, Iur spec, Iu spec UTRAN O&M requirements	SA WG3 Security	CT WG4 MAP/GTP/BCH/SS
	RAN WG4 Radio Performance Protocol aspects	SA WG4 Codec	CT WG6 Smart Card Application Aspect
	RAN WG5 Mobile Terminal Conformance Testing	SA WG5 Telecom Management	

TSG GERAN, 3 Çalışma Grubundan (WG -Working Groups) oluşur ve GSM, GPRS, EDGE gibi GSM radyo teknolojileri ile ilgili çalışmalardan sorumludur. TSG SA (Service & Systems Aspects), 3GPP sisteminin genel yapısı ve hizmet gereksinimlerini belirler. 5 çalışma grubundan oluşmakla birlikte, projenin koordinasyonundan da sorumludur. TSG RAN, UTRAN ve E-UTRAN’ı içerir ve 5 çalışma grubundan oluşur. TSG CT, mantıksal ve fiziksel

terminal arayüzleri ile 3GPP'nin çekirdek ağından (Core network) sorumludur. 4 çalışma grubundan oluşur.

3GPP Standartları sürümlere (Release) bölünmüş bir şekilde yayınlanmaktadır. Her yeni sürüm çıkarıldığı döneme göre haberleşme sistemleri ile ilgili yeni özellik ve düzenlemeleri içermektedir. Bu sürümler sayesinde üçüncü nesil teknolojilerinin evrimi gerçekleşmektedir. İlk sürüm çıkarıldığı 1999 yılı ile numaralandırılırken takip eden diğer sürümler 4'ten itibaren numaralandırılmıştır. 3GPP sürümleri ve detayları içeren bilgiler Tablo 6'da gösterildiği gibidir.

Tablo 6 - 3GPP Sürümleri (Releases)

Release (Sürüm)	Sürüm Tarihi	Açıklama
R98, R97, R96, Faz2, Faz1	1998,1997, 1996,1995, 1992	R98 ve önceki sürümlerin tamamı 3G'den önceki GSM sürümlerini kapsamaktadır.
R99	Mart 2000	İlk UMTS 3G ağlarını belirtmekle beraber CDMA hava arayüzünü içermektedir.
R4	Mart 2001	Sürüm 2000 olarak da bilinir. IP Çekirdek Ağ özellikleri eklenmiştir.
R5	Haziran 2002	HSDPA (High Speed Download Packet Access) ve IMS(IP Multimedia Subsystem) tanıtılmıştır.
R6	Mart 2005	HSUPA, MBMS, IMS Teknolojisine geçiş için Push to talk, GAN gibi gelişmeler eklenmiştir. , WLAN ile uyum sağlanmıştır.
R7	Aralık 2007	HSPA+, Gerçek zamanlı VoIP uygulamaları, gecikmenin düşürülmesi, QoS geliştirmeleri
R8	Aralık 2008	LTE (Long Term Evolution) ve SAE(System Architecture Evolution), yeni OFDMA arayüzü
R9	Aralık 2009	SAE Geliştirmeleri, WiMAX ve LTE'nin beraber çalışabilmesi
R10	Haziran 2011	IMT Advanced'in 4G gerekliliklerini yerine getiren LTE-A (LTE Advanced), R8'deki LTE ile uyumluluk
R11	Haziran 2013	Gelişmiş IP arabağlantı hizmetleri, Coordinated Multi-Point operation (CoMP), Heterojen Ağlar (Heterogeneous networks - HetNet)

İlk sürümün çıkarıldığı 1999 yılından önceki tüm sürümler (R98, R97, R96, Faz2, Faz1) 3G'den önceki GSM sürümlerini açıklamaktadır. Sürüm 99 IMT-2000 ihtiyaçlarını karşılayan ilk sürüm olmakla birlikte WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) erişimi için ilk UMTS 3G ağını tanımlamıştır. CDMA hava arayüzünü içermektedir. GSM'den farklı olarak radyo erişim şebekesi (UTRAN) (UMTS Karasal Radyo Erişim Şebekesi) yeniden tasarlanmıştır. Sürüm 4 sürüm 2000 olarak da bilinir, Multimedia mesajlaşma desteği ve IP çekirdek ağ tanımlanmıştır. Devre anahtarlamalı ses ve veri servisleri için geliştirmeler yapılmıştır.

Sürüm 5 ile birlikte Tüm-IP yapısına geçiş yapılmış ve UMTS'ye göre daha yüksek hızda erişim sağlayan HSDPA (High Speed Download Packet Access) ile IMS (IP Multimedia Subsystem) tanımlanmıştır. Sürüm 6'da, HSUPA (High Speed Upload Packet Access) tanımlanmıştır. HSDPA ve HSUPA birlikte HSPA olarak isimlendirilir. MBMS (Multimedia Broadcast/Multicast Services) ile gelişmiş multimedia desteği sağlanmıştır. WLAN ile uyum seçeneği eklenmiştir. Sürüm7'de ise HSPA+ geliştirilmiştir, Mobil istasyonda güç tüketiminin azaltılması ve aktif duruma hızlı bir şekilde dönülmesini sağlayan CPC (Continuous Packet Connectivity - Sürekli Paket Bağlanırlığı) eklenmiştir. Gerçek zamanlı VoIP uygulamaları, gecikmenin düşürülmesi, QoS geliştirmeleri ile birlikte HSPA radyo arayüzü için downlink de 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation), uplink'de 16QAM modülasyonunu içerir.

Sürüm 8'de LTE (Long Term Evolution) duyurulmuştur. Şebeke yapısında UTRAN'ın evrimi E-UTRAN (Evrimleşmiş-UTRAN) ve çekirdek şebekenin evrimi EPC (Evolved Packet Core - Evrimleşmiş Paket Çekirdek) olarak adlandırılmıştır. WCDMA radyo kanal performansını arttırmak için çift taşıyıcılı HSPA (DS-HSPA) ve eşzamanlı 64QAM MIMO kullanımı gibi yenilikler tanımlanmıştır. Sürüm 9'da SAE(System Architecture Evolution) geliştirmeleri, WiMAX ve LTE'nin beraber çalışabilmesi, çift taşıyıcılı HSDPA(MIMO) ve HSUPA gibi yenilikler duyurulmuştur.

Sürüm 10'da ise IMT-A (IMT-Advanced)'ın 4G gereksinimlerini karşılayan LTE-A (LTE-Advanced) duyuruldu. LTE-A'da veri hızında önemli artış yaşanmıştır. Sürüm 11'de Gelişmiş IP arabağlantı hizmetleri, Coordinated Multi-Point operation (CoMP), Heterojen Ağlar (Heterogeneous networks - HetNet)

2.4. UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi), mobil kullanıcıya ses, veri ve çoklu ortam hizmetler gibi yüksek hızda geniş bant hizmetler sunan, IMT-2000'nin standartlarına uygun olarak Avrupa'da kabul edilen üçüncü nesil mobil haberleşme sistemidir. ETSI tarafından teklif edilen UMTS, Mart 2000'de 3GPP tarafından yayımlanan R99 sürümünde duyurulmuştur. UMTS sisteminin gelişim sürecinde ikinci nesil haberleşme sistemlerine göre göze çarpan en önemli özellik radyo erişim şebekesinin değişerek TDMA yerine daha yüksek hızda haberleşmeye sağlayan WCDMA (Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim - Wideband Code Division Multiple Access) kullanılmasıdır. WCDMA, IMT-DS (Direct Spread) veya UTRA-FDD olarak da bilinir.

UMTS, yüksek hızda simetrik - asimetrik veri transferine olanak veren ve kaynakların verimli kullanılmasını sağlayan, devre ve paket anahtarlama sistemlerinin aynı anda hizmet verilebilmesini mümkün kılan bir şebekedir. WCDMA haberleşmesinde veri trafiğinin planlanması yük bazlı olduğu için paket transferine daha uyumludur ve IP protokolünü desteklemektedir. UMTS şebekeleri mevcut bir GSM şebekesinin alt yapısı üzerine kurulabilmekte, yani ikinci ve üçüncü nesil sistemler bir arada çalışabilmektedir.

UMTS sayesinde 2G'nin sunduğu SMS, MMS, Sesli Mesaj gibi servislerin yanı sıra ilave olarak farklı kullanım alanlarına ait uygulama ve servisler mobil sistemlere entegre olmuştur. Bu alanlar özetle Tablo 7'deki gibidir. [12]

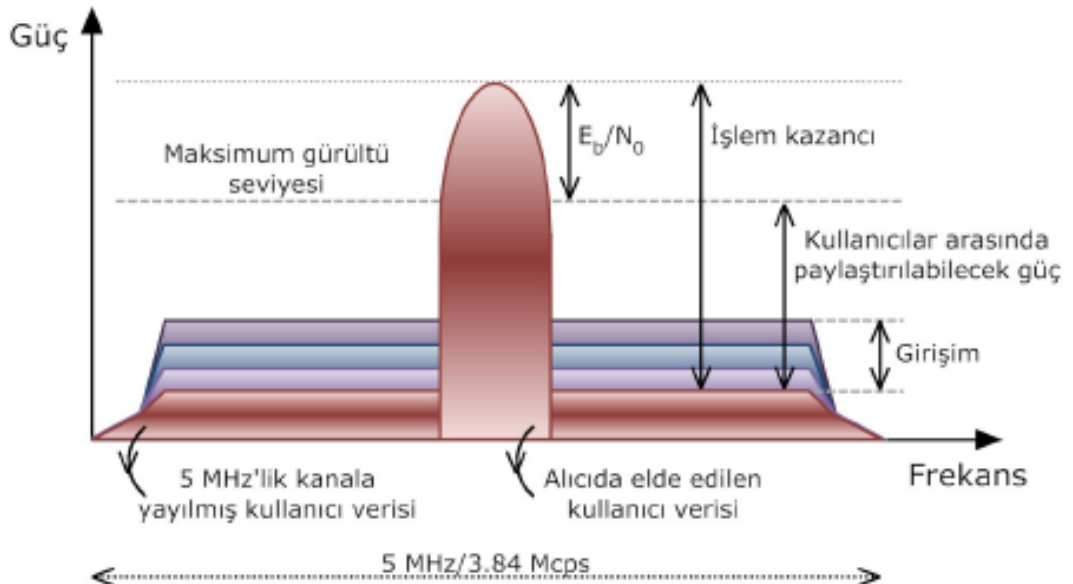
Tablo 7 - UMTS Kullanım Alanları ve Sağladığı Hizmetler

UMTS Kullanım Alanları ve Sağladığı Hizmetler	
Kişisel kullanım	Telefondan Tv izleme, Online video gösterimi, e-ticaret, gazete ve görsel medyaya erişim, müzik dinleme
Kişiler Arası İletişim	Görüntülü konuşma, Mobil video konferans, Sesli cevap ve tanıma, Kişisel konum belirleme, İnternet üzerinden sesli görüşme
Eğitim	Sanal Okul, İnternet üzerinden dil eğitimi ve bilimsel laboratuarlara, kütüphanelere erişim
Eğlence	Online Oyun, Sabit ve Mobil ağlarla çevrimiçi oyun, mobil Tv, Video Klipler, Sosyal ağlara içerik yükleme
Toplum Hizmetleri	Acil servis hizmetleri, Hastane veya tıp hizmetlerine uzaktan erişim
İş Uygulamaları	Mobil ofis, Sanal çalışma grupları, Gelişmiş araç navigasyonu/şehir rehberleri, Video tabanlı mobil reklamcılık
Ticari ve Finansal	Mobil bankacılık, İnternet üzerinden fatura ödeme, Dijital katalog alışverişi, Ortak B2B uygulamaları, Mobil ödeme

IMT-2000 frekans spektrumuna göre UMTS için eşli ve tekli frekans bantlarında çalışabilen UTRAN (UMTS Karasal Radyo Erişim Şebekesi - UMTS Terrestrial Radio Access Network) geliştirilmiştir. FDD modunda çalışma için WCDMA radyo erişim tekniği (UTRA-FDD), eşli olmayan tekli frekans bantlarında TDD modunda çalışma için TDCDMA (Time Divison CDMA - Zaman Bölmeli CDMA), radyo erişim tekniği (UTRA TDD) kullanılmaktadır. “FDD modu kentsel ve kırsal alanlarda geniş alan kapsama amacıyla tasarlanmıştır. Bu mod eş zamanlı gerçekleşmesi gereken simetrik uygulamalar (ses, video, konferans) için uygun olup tam hareketliliğe imkân tanımaktadır. TDD modu, tek frekans bandının çift yönlü (kullanıcıya veya şebekeye doğru) veri aktarımı için kullanılması anlamına gelmektedir.” [4] Asimetrik servislerde veya hareketliliğin az olduğu durumlarda kullanılır.

“WCDMA eşli frekans bandında (2x60 MHz) FDD modunda çalışmaktadır. Şekil 2’de gösterildiği gibi haberleşme yukarı linkte 1920-1980 MHz bandında, aşağı linkte 2110-2170 MHz bandında yapılmaktadır. Her bir bant 5 MHz genişliğindeki 12 adet kanaldan (taşıyıcı) oluşmaktadır. Bu açıdan

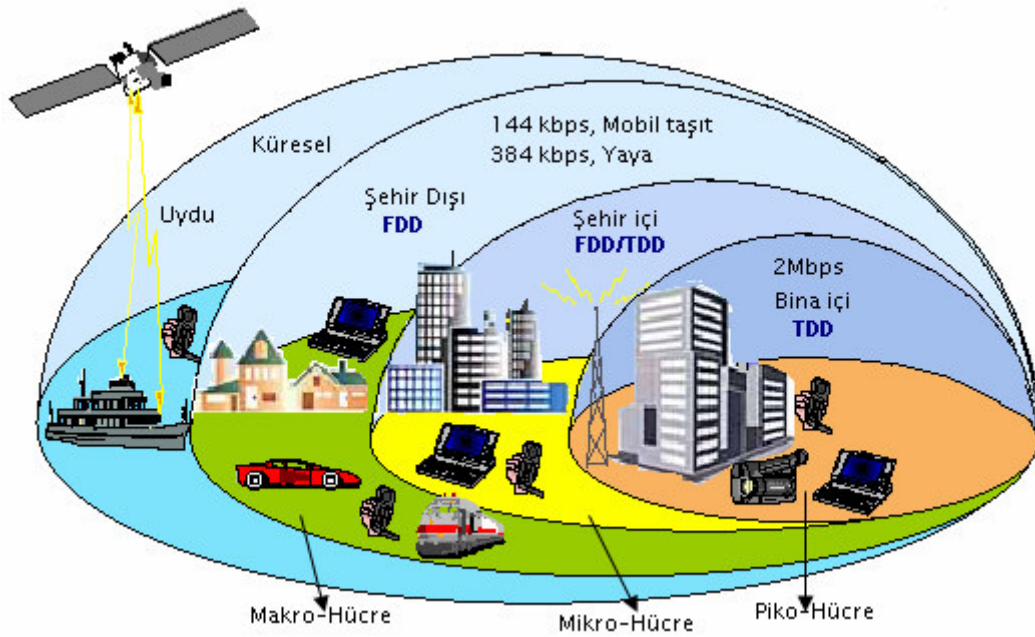
WCDMA, TDMA ile karşılaştırıldığında daha yüksek hızda haberleşmeye imkân sağlayan 5 Mhz gibi daha büyük bant genişliği kullanmaktadır. Bantlar arası uzaklık ise 190 MHz'dir. WCDMA radyo erişim sistemine göre kullanıcı verisinin kendinden daha yüksek veri hızına sahip yayma koduyla çarpılarak frekans bandına yayılması (veri hızının artması nedeniyle) sağlanmaktadır. Yayma kodunun veri hızı, yonga hızı olarak adlandırılmaktadır. WCDMA'da yonga hızı 3.84 Mcps'dir. Yayma koduyla çarpılan kullanıcı verisi 5 MHz'lik taşıyıcı bant genişliğine yayılmaktadır. Her bir kullanıcı kendine ait özel bir kod kullanarak aynı frekansta 5 MHz'lik kanal üzerinden haberleşmektedir. Alıcıda alınan işaret sadece doğru kod dizisiyle (vericide kullanılan kod dizisi) çarpıldığında bilgi işareti elde edilmektedir. Aynı frekansta iletim yapıldığından kullanıcılar kendilerine özgün olarak tanımlanan kod dizilerine göre birbirlerinden ayrılmaktadır. Böylece maksimum gürültü seviyesinin altında kalan işaretler alıcıda tekrar elde edilebilmektedir. Dikgen kod yapısı sayesinde kullanıcılar aynı zamanda aynı kanalda haberleşme yapabilmektedir." [13]



Şekil 4 - UMTS Kullanıcı Verilerinin Kanaldaki Kullanımı

“Yayma kodu kullanılarak işaretin bant üzerinde yayılması ve alıcıda aynı kod kullanılarak işaretin tekrar elde edilmesi sonucunda sağlanan kazanç, işlem kazancı (PG) olarak adlandırılmaktadır.” [13]

WCDMA radyo erişim tekniğine dayalı bir şebeke olan UMTS, iletim hızını kullanıcı başına 2 Mbps seviyelerine kadar çıkarmakta ve tüm dünyada geçerli olan bir sistem olarak tasarlanmıştır. Şekil 5’de gösterildiği gibi UMTS, bina içi gibi piko hücrelerde (düşük hareketliliğin olduğu alanlarda) TDD modunda 2 Mbps, şehir içi gibi mikro hücrelerde FDD/TDD modunda 384 kbps, kırsal kesim gibi şehir dışında makro hücrede 144 kbps ve en genelde uydu sistemleri ile gerçek bir küresel dolaşım standardı sağlamaktadır.



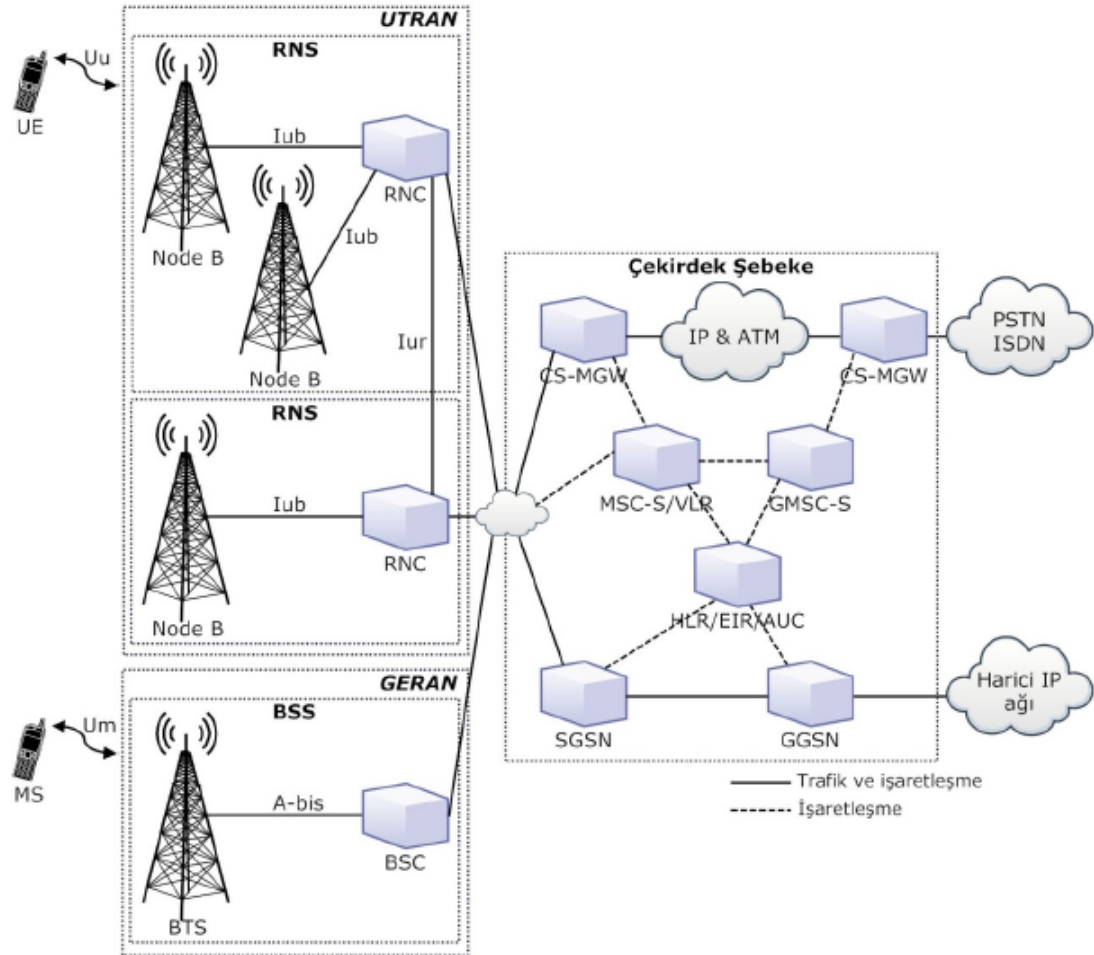
Şekil 5 - UMTS Kapsama Alanları

2.4.1. UMTS Şebeke Yapısı

UMTS şebeke yapısı genel olarak 3 ana bileşene ayrılabilir. Şekil 6’de görüldüğü gibi UMTS Şebeke yapısının ana bileşenleri ve alt sistemleri aşağıdaki gibidir. [13]

- ✓ Kullanıcı Ekipmanları (UE: User Equipment)

- ✓ UMTS Karasal Radyo Erişim Şebekesi (UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network)
- ✓ Çekirdek Şebeke (CN: Core Network)



Şekil 6 - UMTS Şebeke Yapısı

Kullanıcı Ekipmanları (UE: User Equipment), U-SIM (UMTS Subscriber Identity Modüle - UMTS Abone Kimlik Modülü) ve ME (Mobile Equipment, Mobil Cihaz) birleşiminden oluşmaktadır.

$$UE = U-SIM + ME$$

Kullanıcı Ekipmanları (UE), GSM'deki mobil istasyon (MS) ile aynı prensiplere dayanmakta olup, UTRAN'daki Node B'ye erişebilmek için "Uu" radyo arayüzünü kullanır. Bileşenlerinden ME, Baz İstasyonu (Node B) ile radyo dalga alışverişini yaparken, U-SIM ise abonenin kimlik bilgilerini tutan,

doğrulama algoritmasını gerçekleştiren, doğrulama ve şifreleme bilgilerini saklayan akıllı karttır.

UMTS'de farklı bir radyo arayüzü kullanıldığı için UMTS Karasal Radyo Erişim Şebekesi (UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network), adında yeni bir radyo erişim şebekesi tanımlanmıştır. UTRAN, GSM'deki BSS (Base Station Subsystem)'e eş değerdir. Şebekede UE ile CN arasındaki bağlantıyı sağlayan dijital ve RF ekipmanlarının bir kombinasyonudur. UTRAN radyo arayüzünün diğer şebekelerden farkı iki adet farklı ve birbirini tamamlayan radyo erişim modu içermesidir: UTRA FDD ve UTRA TDD yapıları Tablo 8'de karşılaştırılmıştır. [10] FDD modu tamamen WCDMA tabanlıdır. TDD modun da ise ilave olarak bir TDMA kısmı mevcuttur.

Tablo 8 - UTRA-FDD / UTRA-TDD Yapısı

	UTRA-FDD	UTRA-TDD
Erişim Tekniği	W-CDMA	TD-CDMA
Chip Hızı	3.84 Mcps	3.84 Mcps
Kanal Alanı	4.4 - 5 Mhz	4.4 - 5 Mhz
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, bir veya daha fazla Radyo Şebeke Alt Sisteminden (RNS: Radio Network Subsystem) oluşmaktadır. RNS Çekirdek Şebekeye (CN) "lu" arayüzü üzerinden bağlıdır. Her bir RNS ise bir adet Radyo Şebeke Denetleyicisi (RNC: Radio Network Controller) ve Node-B'lerden oluşmaktadır.

“UTRAN şebekesinde bulunan baz istasyonu görevini üstlenen Node B, WCDMA erişim tekniği kullanarak kullanıcı terminaliyle UMTS şebekesi arasında hava arayüzü bağlantısı sağlayan fiziksel ünedir. İkinci nesil sistemlerle UMTS'nin en büyük farkı bu noktada ortaya çıkmaktadır. Node-B temel olarak İleri Hata Düzeltme (FEC: Forward Error Correction), WCDMA spreading/despreading ve modülasyon (QPSK) işlevlerini yerine getirerek kullanıcıdan gelen ve kullanıcıya giden bilginin dönüşümünü gerçekleştirir. Bir veya birden fazla Node-B, bir lub arayüzü üzerinden bir RNC'ye bağlanır. Her Node-B bir veya birkaç hücreye hizmet verebilmektedir.” [3] Tek bir Node B, FDD ve TDD modlarının her ikisini de destekleyebilir ve işletme maliyetlerini düşürmek için bir GSM-BTS ile birlikte konumlandırılabilir. [12], [14]

Radyo Şebeke Denetleyicisi (RNC: Radio Network Controller), GSM'deki Baz İstasyon Kontrolörüyle (BSC) eş değer fonksiyonlara sahiptir. Her RNC bir veya birçok Node-B'yi kontrol eder. RNC'ler, lu arabirimi yoluyla çekirdek şebekeyle bağlantı halindedirler. Devre anahtarlamalı bağlantılar için lu-CS arayüzü üzerinden ses, paket anahtarlamalı bağlantılar için lu-PS arayüzü üzerinden veri iletimi gerçekleştirilir. RNC, kullanıcı terminaliyle sinyalleşmeyi gerektiren 'handover' kararları ile tüm Radyo Şebeke Altsistem'in (RNS) merkezi işlem ve bakımından sorumludur. UTRAN'ın bağımsız olarak radyo kaynak yönetimi (Radyo kaynak denetimi, Şebekeye kabul denetimi, Kanal tahsisi, Güç kontrol ayarları, Şifreleme vb.) yapmasına olanak tanır. [12], [14]

UTRAN aynı zamanda GSM kullanıcılarının şebekeyle bağlantısını sağladığı için bünyesinde GSM/EDGE Radyo Erişim Şebekesi (GERAN: GSM EDGE Radio Access Network) içermektedir.

UMTS Çekirdek şebekesi (CN: Core Network), “devre ve paket anahtarlamalı trafiğin entegre bir şekilde kullanıldığı, evrimleşmiş GSM çekirdek şebekesine dayanmaktadır. Çekirdek şebekede bir Devre Anahtarlı (CS) etki alanı bir de Paket Anahtarlı (PS) etki alanı vardır. Bu iki alan örtüşmektedir ve bazı ortak elemanlar içermektedirler. Çekirdek şebeke genel olarak, şebeke içi ve şebekeler arası ses ve veri iletimi için gerekli anahtarlama ve yönlendirme işlemlerini yürütmektedir. Çekirdek şebekedeki asıl değişiklik

paket anahtarlama geçişi ve IP protokolünü tam olarak desteklemesidir. Zaman bakımından önemli olan işlemler (ses ve görüntü servisleri gibi) MSC üzerinden Devre Anahtarlama (CS) tekniği kullanılarak yürütülürken, mesajlaşma ve bilgilendirme gibi zaman kritik olmayan veri iletim hizmetleri ise SGSN ve GGSN üzerinden Paket Anahtarlama (PS) ile gerçekleştirilecektir.” [15], [3]

Devre anahtarlama yapıda taşıma ve kontrol birimlerinin birbirinden ayrılması amacıyla Taşıyıcı Bağımsız Devre Anahtarlama (Taşıyıcı Bağımsız Çekirdek Şebeke) mimariye geçmiştir. Böylece veri taşımada verimliliğin artırılması ve IP tabanlı taşımaya geçişin kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Bu yapıyı sağlayabilmek amacıyla MSC, MSC-S (Sunucu) ve CS-MGW (Ortam Geçidi) birimlerine ayrılmıştır. Mobil hizmetler anahtarlama merkezi-Sunucu (MSC-S), bütün çağrı kontrolü ve gezici abone yönetiminden sorumludur. CS-MGW ile birlikte çalışır. MSC-S birden fazla CS-MGW'yi kontrol edebilir. Yapısında VLR'yi barındırır. Devre anahtarlama-Ortam geçidi (CS-MGW), trafiğin devre anahtarlama yapıya girişi ve çıkışı kontrol etmektedir. Bu arayüzüyle UTRAN'a, A arayüzüyle GERAN'a bağlıdır. Trafik CS-MGW tarafından işlenir. Harici şebekelere bağlantısı olan CS-MGW devre ve paket anahtarlama taşıma yöntemleri arasındaki dönüşümü sağlamaktadır. Böylece zaman dilimleri üzerinden taşınan veri, IP paketlerine (veya tersi) dönüştürülerek taşınmaktadır. Geçit mobil hizmetler anahtarlama merkezi-Sunucu (GMSC-S), harici şebekelerle olan bağlantıyı sağlar.

“Abone ana kütüğü (HLR), abone bilgilerinin tutulduğu veritabanıdır. Ziyaretçi abone kütüğü (VLR), abonenin bulunduğu servis alanında bilgilerinin geçici olarak tutulduğu veritabanıdır. Cihaz kimlik kütüğü (EIR), mobil ekipman kimlik bilgilerinin tutulduğu veritabanıdır. Kimlik denetim merkezi (AUC), kullanıcıların IMSI numaralarının doğrulanması ve şebekeyle aralarındaki linkin şifrelenmesi için gerekli bilgilerin tutulduğu veritabanıdır. GPRS hizmet destek düğümü (SGSN), dâhili paket anahtarlama trafiği kontrol eder. GPRS geçit destek düğümü (GGSN) ise harici paket anahtarlama trafiği kontrol etmektedir.” [13]

2.5. HSPA (HSDPA-HSUPA)

3GPP tarafından kullanıcıların her geçen gün artan yüksek veri hızı gerektiren (daha kaliteli internet/görüntü/multimedya gibi) uygulama isteklerini karşılamak için yeni sürümler oluşturulmaktadır. 3GPP bünyesinde sürdürülen standartlaştırma çalışmaları belirli aralıklarla yayımlanmakta, her sürüm mevcut olanların üzerine yeni özellikler geliştirmek için tasarlanmakta ve eklenen işlevler itibariyle bir önceki sürümden farklılaşmaktadır.

“UMTS (3G/WCDMA) teknolojisinin temelini oluşturan ilk sürüm olan Release-99 (Sürüm-99) 3GPP tarafından yayınlanarak IMT-2000 standartları karşılanmıştır. 2001 yılı Mart ayında Release-99’u takip eden ve küçük gelişmeler içeren Release-4 standardı yayınlanmıştır. Üçüncü nesil sistemler ile birlikte mobil servis kullanımının giderek yaygınlaşması ile artan kapasite ve veri hızı ihtiyaçları doğrultusunda 3GPP tarafından 2002 yılında Release-5 (sürüm-5) tanımlanmıştır. Bu sürüm ile UMTS’ye göre daha yüksek hızda paket veri indirme işlevi sağlayan HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), IMS (IP Multimedia Subsystem) ve IP UTRAN gibi yeni teknolojilerle şebekenin ve spektrumun daha etkin kullanımını sağlayan tanımlamalar yapılmıştır. HSDPA gelişmesini takiben 2005 yılı Mart ayında Multimedia yayıncılığa (MBMS, Multimedia Broadcast Multicast Services) imkan sağlayan Geliştirilmiş Ayrılmış Kanal (E-DCH, Enhanced Uplink Dedicated Channel) özelliğini tanımlayan Sürüm 6 yayınlanmıştır. Sürüm 6 ile birlikte yukarı bantta yüksek hızda veri gönderime imkân sağlayan HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) teknolojisi geliştirilmiştir.” [16], [17], [18]

“HSDPA ve HSUPA teknolojileri birlikte kısaca UMTS teknolojisinin gelişiminde en önemli basamak olan HSPA (High Speed Packet Access) şeklinde isimlendirilir. 3.5G olarak da değerlendirilen HSPA teknolojisi radyo arabirimi yine WCDMA tabanlı olup UMTS ile geriye doğru tamamen uyumludur.” [16], [19]

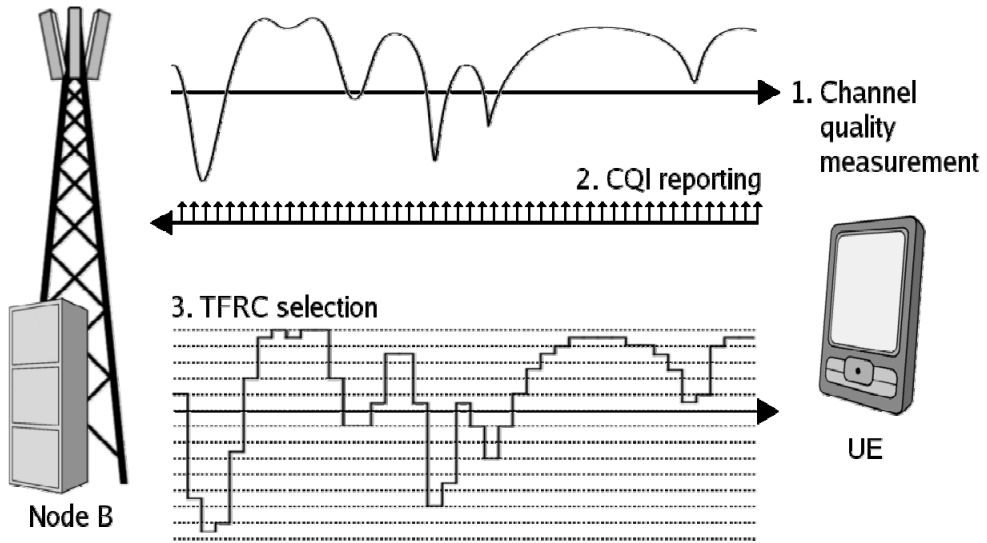


Şekil 7 - HSPA ve HSPA+

Kullanılan mobil servislerin pek çoğunda kullanıcılar aşağı yönlü bağlantı (downlink) için daha fazla veri transferi gerçekleştirir. Karşıdan veri yükleme (download) için ortaya çıkan bu dengesizlik sonucunda 3GPP tarafından Sürüm 5’de tanıtılan ve 2005 yılında ilk ticari uygulaması yapılan HSDPA, hava bağlantı teknolojisi olup yüksek veri hızı, düşük gecikme değeri ile yüksek sistem kapasitesini gerçeklemeyi hedeflemektedir. HSDPA teknolojisi ile Sürüm 99’a göre önemli ölçüde yüksek veri hızı sağlanmış olup maksimum veri hızı downlink’de 14,4 Mbps değerine çıkartılmıştır. HSDPA, QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ve 16QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) modülasyonlarını kullanarak, 5 Mhz kanal genişliğinde 14,4 Mbps’lık bir hızı bir hücredeki kullanıcılar arasında paylaştırarak dağıtabilmektedir. Uyarlamalı modülasyon (Adaptive Modulation), iletim kaynaklarının tahsisinde PSK modülasyonuna göre spektrumu daha verimli kullanarak daha yüksek hızda veri gönderimine imkân sağlamaktadır. [16], [18]

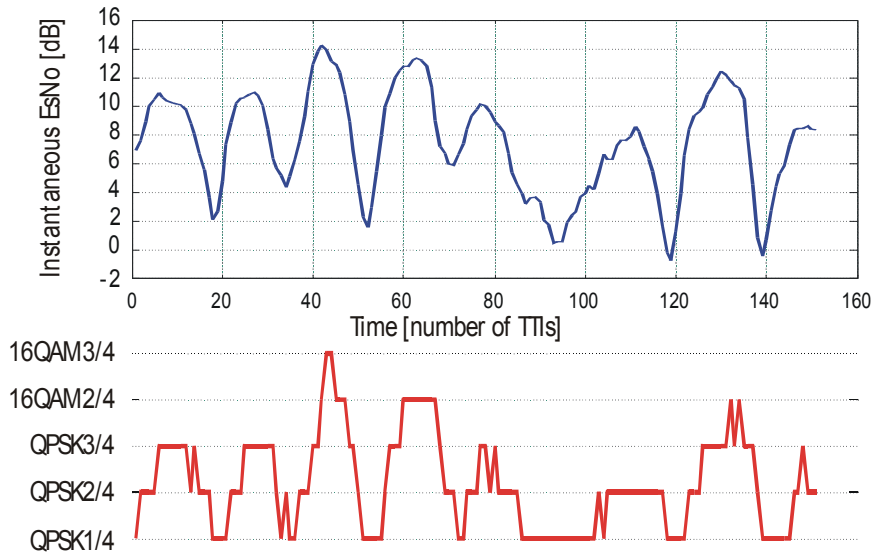
“HSDPA bu yüksek hıza WCDMA’ya yeni fiziksel kanallar katarak, uyarlanabilir modülasyon ve kodlama (Adaptive Modulation and Coding, AMC) ile karma otomatik yineleme istemi (Hybrid Automatic Repeat Request, HARQ) yaparak gerçekler. HSDPA sisteminde kullanıcı birim (User Equipment, UE), kanal koşullarına bağlı olarak kabul edilebilir blok hata oranını sağlayan (BLER, Block Error Rate) en yüksek kanal kalite göstergesini (CQI, Channel Quality Indicator,) baz istasyonuna (Node-B) rapor eder. Node-B kendine gelen CQI değerine göre bir sonraki paket iletimi için gönderilecek uygun iletim blok büyüklüğünü (Transport Block Size, TBS), modülasyon türünü, kod sayısı gibi değişkenleri belirler. Böylece kanalın bozucu etkisi azaltılmış olur.” [20]

“HSDPA bir radyo çerçevesinin uzunluğu 2 ms’dir. 10 ms’lik bir WCDMA çerçevesinde (TTI, Transmit Time Interval) beş HSDPA alt çerçevesi vardır. Kısa TTI kullanımı ile UE Node-B’yi her 2 ms’de kanal kalitesi hakkında bilgilendirir. Böylece hızlı değişen kanal durumunda sistem buna çok hızlı cevap verir ve iletim formatını (Transport Format, TF) yeni kanal koşullarına göre ayarlar.” [20]



Şekil 8 - HSDPA Kanal Kalite Göstergesi, CQI

HSDPA başarımı, AMC doğruluğu, CQI ve SIR (Signal Interference Ratio, Sinyal Girişim Oranı) değerleri ile yakından ilgilidir. HSDPA sisteminde UE aşağı hat radyo kanal durumunu CQI ile belirler. CQI, SIR ile ilişkili olup 1 ile 30 arasında değerler alabilir. Yüksek CQI değeri kanal kalitesinin çok iyi olduğunun bir göstergesidir. UE’nin marka ve modeline bağlı olarak CQI değerini belirleme yöntemleri farklılık gösterebilir. CQI değerine bağlı olarak Node-B kanal iletim formatını (TBS değeri, modülasyon türü, kod uzunluğu) değiştirir. Böylece radyo kanalının özellikleri sürekli izlenir ve iletim formatı her 2 ms’de dinamik olarak değişebilir. Yüksek CQI değeri için yüksek modülasyon indeksi ile (örn 64 QAM) yüksek veri hızlı iletim yapılırken, düşük CQI durumunda ise kanalın bozucu etkisi daha dayanıklı modülasyon şemaları (örn. QPSK) kullanılarak azaltılır. Bu durumda ise veri iletim hızı düşer. [20], [21]

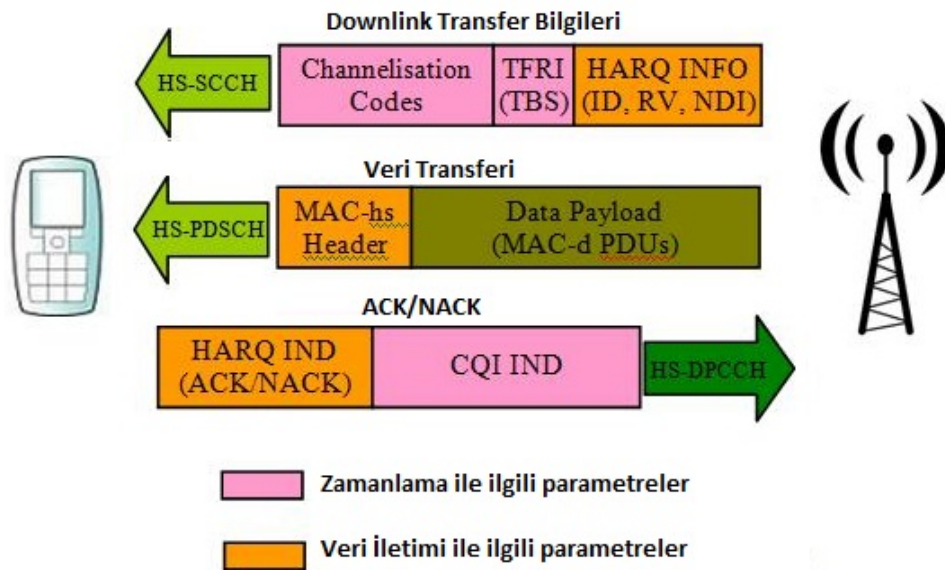


Şekil 9 - HSDPA Uyarlamalı Modülasyon

Sürüm 5 ve ileri sürümlerde HSDPA'de yeni bir iletim kanalı olan HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel, Yüksek Hızlı Aşağı Yönde Paylaşılmış Kanal) tanımlanmıştır. Bu katmanda 3 adet yeni fiziksel kanal bulunmaktadır. Bunlar;

- HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel)
- HS-PDSCH (High Speed Physical Downlink Shared Channel)
- HS-DPCCH (Uplink High Speed Dedicated Physical Control Channel)

dır.



Şekil 10 - HSDPA Kanal Yapısı

Şekil 10'da gösterildiği gibi HS-SCCH, UE kimliği ve ilişkilendirilmiş HS-PDSCH'in kanal parametrelerini, HS-DPCCH kullanıcının CQI bilgisi ile HARQ alındı bilgisini taşır. HS-PDSCH ise veri iletim kanalı olarak kullanılır.

"HSDPA ile veri indirmedeki yüksek hızlara erişilmesine karşın VoIP (Voice over IP) ve gerçek zamanlı video konferans gibi uygulamalarda hem aşağı (downlink) hem de yukarı yönlü bağlantı (uplink) için yüksek veri transfer hızlarına ihtiyaç duyulur. Bu ihtiyaç doğrultusunda 2005 Mart ayında 3GPP Sürüm-6'da yayınlanan HSUPA teknolojisi geliştirilmiştir. HSUPA mobil iletişimde gönderme yönünde (uplink) veri iletim hızını arttırarak indirme ve gönderme hızlarında simetri sağlamaktadır. Aşağı yönlü bağlantıda HSDPA için kullanılan pek çok özellik yukarı yönlü bağlantıda HSUPA içinde kullanılmıştır. HSUPA ile aşağı yönlü bağlantı için 14,4 Mbps, yukarı yönlü bağlantı için ise 5,76 Mbps veri hızlarına ulaşılmıştır." [16], [22]

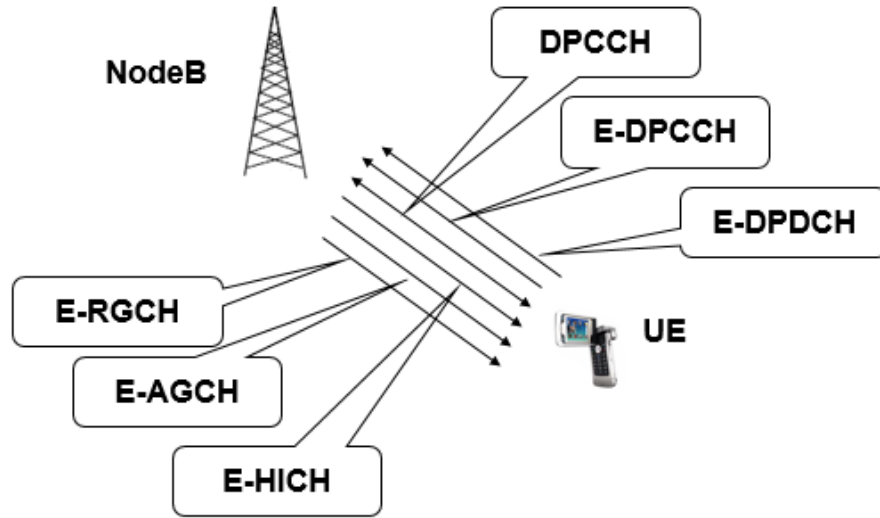
Yukarı yönlü bağlantı için yeni bir paket veri servisi olarak tanımlanan HSUPA hakkında ilk teknik sürümler 2004 yılı Aralık ayında kabul edilmiş ve 2005 Mart ayında Sürüm 6'da yayınlanarak standartları belirlenmiştir. Zaman içinde operatörler ve kullanıcılar için çalışmalar devam etmiş ve HSUPA teknolojisi 2007 yılında kullanılmaya başlanmıştır. HSUPA için yeni terminal gerekmektedir. Bu terminaller WCDMA Sürüm 99 ile uyumludur. HSUPA aşağıdaki yaklaşımlardan dolayı veri gönderme yönünde performans kazancı sağlamaktadır.

- Uplink için geliştirilmiş ayrılmış kanal (E-DCH)
- Değişen radyo koşullarına hızlı tepki süresi, kısa TTI (2ms)
- Layer-1 Hybrid ARQ Protokolü kullanması
- Uplink için Node-B tabanlı planlama

HSUPA için HSDPA'da kullanılan tekniğe (HS-PDSCH) benzer şekilde her bir UE'den Node-B'ye bağımsız veri yolunu ifade eden ayrılmış (Dedicated) kanal tanımlanmıştır. Geliştirilmiş Ayrılmış Kanal (E-DCH, Enhanced Uplink Dedicated Channel) sayesinde uplink yönündeki bağlantıyı optimize ederek performans artışı sağlamıştır. E-DCH, HSDPA'da kullanılan

HS-DSCH kanalının aksine SCH (Shared Channel) değil, ayrılmış (Dedicaded) kanaldır. Bu kapsamda yeni olarak;

- E-AGCH (E-DCH Absolute Grant Channel)
- E-RGCH (E-DCH Relative Grant Channel)
- E-HICH (E-DCH HARQ Indicator Channel) kanalları tanımlanmıştır.



Şekil 11 - HSUPA Kanalları

Uplink için Node-B tabanlı planlama sayesinde UE'nin belirleyeceği limitler dâhilinde ki veri iletim formatını (TF) Node-B kontrol eder. Bu durum uplink için gelişmiş kapsama ve kapasite artışı anlamına gelir. HSUPA, Multimedia yayıncılığa (MBMS, Multimedia Broadcast Multicast Services) imkân sağlamıştır. HSUPA sayesinde uplink kapasitesinde %50-70 arası artış olmuştur.

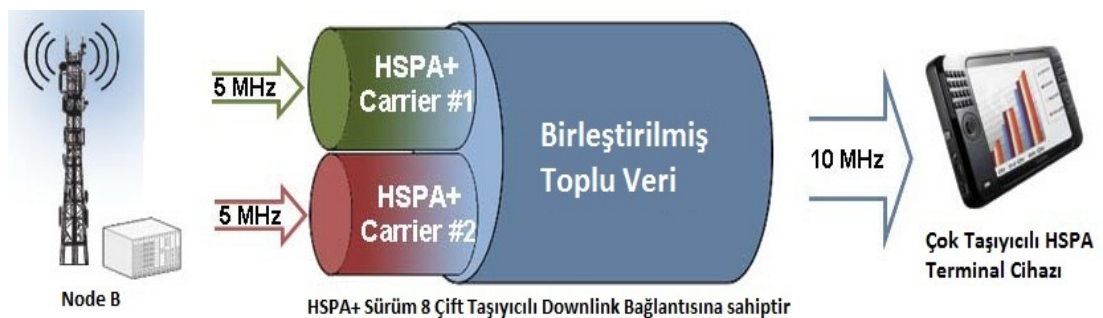
HSUPA, High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) ile birlikte High Speed Packet Access (HSPA) olarak anılmaktadır. HSPA paket veri servisleri sayesinde, son kullanıcı uygulamalarında gelişmiş etkileşim ve hız artışı sağlanmıştır. Operatörler açısından HSPA, ağ kapasitesinin gelişmesi anlamına gelmektedir. Downlink bağlantı yönünde 15 code (HSDSCH codes) kullanılması, 4/4 kodlama oranı ve 16QAM modülasyonu ile birlikte 14,4 Mbps hıza ulaşılmıştır. Uplink bağlantı yönünde 2 x SF2 + 2 x SF4 code kullanımı ile birlikte 5,76 Mbps hıza ulaşılmıştır.

HSPA ile birlikte DL ve UL bağlantı yönünde hız artışına bağlı olarak, mevcut uygulamalar gelişmiş, yeni nesil uygulamalar tanıtılarak yeni kullanım alışkanlıklarını beraberinde getirmiştir. DSL bağlantılardaki hızlara yakın hizmet sunan yüksek hızda mobil internet erişimi, Streaming yayınları, Vo-IP uygulamaları, Video Konferans ve Online Multi Player Oyun endüstrisinde ki uygulamaların gelişmesine katkı sağlamıştır.

2.6. HSPA+

HSPA+ (High Speed Packet Access Plus), Gelişmiş HSPA olarak da isimlendirilir. HSPA için daha yüksek veri hızlarının elde edilebilmesi amacıyla 3GPP tarafından geliştirilerek yeni sürümler ile birlikte bir dizi yenilikler tanımlanmıştır. 3GPP Sürüm 7 ile başlayan bu geliştirmeler Sürüm 11 ile devam etmektedir. Bu yenilikler arasında yüksek seviyeli modülasyon kullanımı (64QAM), Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO, Multiple-Input Multiple-Output) anten kullanımı (2x2 formu), Sürekli Paket Bağlantısı (Continuous Packet Connectivity) gibi özelliklere sahip HSPA+ teknolojisi elde edilmiştir. HSPA ile birlikte tam kapsamlı paket tabanlı IP servislerini (QoS Quality of Service) desteklerken, HSPA+ ile daha düşük gecikme oranı, yüksek veri hızı erişimi ile gelişmiş son kullanıcı deneyimi sunar.

Tek taşıyıcılı HSDPA sisteminin yüksek veri hızlı erişimi kısıtlaması nedeniyle 3GPP Sürüm 8 ile birlikte çok taşıyıcılı (multi carrier) frekansın kullanımına imkân sağlamıştır.



Şekil 12 - HSPA+ Çok Taşıyıcılı Downlink Hattı

Sürüm 8 ile birlikte 2 adet 5+5 Mhz frekans bandı içeren Çift Taşıyıcılı (Dual Carrier) HSDPA'yı (DC-HSDPA) sunmuş ve toplamda 10 MHz bant genişliği kullanılarak MIMO olmaksızın 42 Mbps'lik veri hızlarına ulaşmak mümkün olmuştur. "DC-HSDPA, 3GPP Sürüm 8 ile başlayan ve kullanıcı birimin iki aşağı hat taşıyıcısını kullanan bir sistemdir. DC-HSDPA yüksek kaynak kullanım verimliliği sağlar ve kanalın bozucu etkisi frekans seçicilikten yararlanılarak azaltılır. 2 adet 5 MHz'lik taşıyıcınının birleştirilmesi ile 10 MHz bant genişliği kullanılır ve veri hızı MIMO olmaksızın aynı kodlar kullanılarak 16QAM ile 21 Mbit/s, 64 QAM ile 42 Mbit/s'lere kadar çıkabilir. DC-HSDPA sisteminde 42 Mbit/s'lik veri hızlarına iki taşıyıcıdaki trafik akışını toplayarak fiziksel kanal oranını 2 katına çıkarılarak ulaşılır." [20]

Günümüzde 83 ülkede 159 operatör şirket tarafından çift taşıyıcılı 42 Mbps veri hızında hizmet verilmektedir. [23]

Çok taşıyıcılı frekans kullanımı ve MIMO anten yapılandırması diğer 3GPP sürümlerinde de kullanılmış ve teorik hızlarda önemli artışlar sağlamıştır. Sürüm 8'deki downlink yönündeki çok taşıyıcılı sistem, Sürüm 9'da 2X2 MIMO Anten formunda, uplink ve downlink yönünde çift taşıyıcı ile kullanılmış (5+5 Mhz) ve 10 MHz bant genişliği kullanılarak 23 Mbps uplink hızına ve 84 Mbps downlink hızına ulaşılmıştır. Sürüm 10'da ise downlink yönünde 5 Mhz'lik 4 taşıyıcınının birleşmesi ile downlink de 20 Mhz bant genişliği kullanılarak 2X2 MIMO Anten yapılandırmasıyla 168 Mbps veri hızına ulaşılmıştır. Aynı bant genişliği ve MIMO anten kullanıldığı durumda LTE'ye yakın hızlarda hizmet alınması gerektiğinde, HSPA+ teknolojik olarak en uygun çözümdür.

Yüksek kalitede ses aktarımı, geleneksel mobil haberleşme hizmetlerinin kilit noktası konumundadır. HSPA+ ile hem devre anahtarlama (CS) hem de VoIP üzerinden ses aktarımı mümkündür. Her iki yöntemde WCDMA'ya göre aynı kalitede (codec) hizmet sunarken, sistem kapasitesini iki katına çıkararak daha fazla konuşma süresi kazancı sağlar. HSPA+ ile birlikte kullanıcılar eş zamanlı olarak yüksek hızda ses ve veri hizmetinden faydalanmış olurlar.

HSPA+'a ait 3GPP tarafından yayınlanan sürümlerdeki gelişimi aşağıdaki Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9 - 3GPP HSPA+ Sürümlere Göre Gelişimi

Teknoloji	Modülasyon Tekniği		Downlink	Uplink
	DL	UL		
HSPA Sürüm 6	16QAM	QPSK	14.4 Mbps	5.76 Mbps
HSPA+ Sürüm 7 (5+5 Mhz)	64QAM	16QAM	21.1 Mbps	11.5 Mbps
HSPA+ Sürüm 7 (2X2 MIMO, 5+5 Mhz)	16QAM	16QAM	28.0 Mbps	11.5 Mbps
HSPA+ Sürüm 8 (2X2 MIMO, 5+5 Mhz)	64QAM	16QAM	42.2 Mbps	11.5 Mbps
HSPA+ Sürüm 8 (No MIMO, DL Çift Taşıyıcı, 10+5 Mhz)	64QAM	16QAM	42.2 Mbps	11.5 Mbps
HSPA+ Sürüm 9 (2X2 MIMO, DL/UL Çift Taşıyıcı, 10+10 Mhz)	64QAM	16QAM	84 Mbps	23 Mbps
HSPA+ Sürüm 10 (2X2 MIMO, DL Quad /UL Çift Taşıyıcı, 20+10 Mhz)	64QAM	16QAM	168 Mbps	23 Mbps

HSPA+ yüksek hızda mobil genişbant hizmeti sunmasının yanında getirdiği yeniliklerle birlikte gelişmiş kullanıcı deneyimi sunar. Bu yenilikler arasında aşağıdaki başlıklar yer almaktadır.

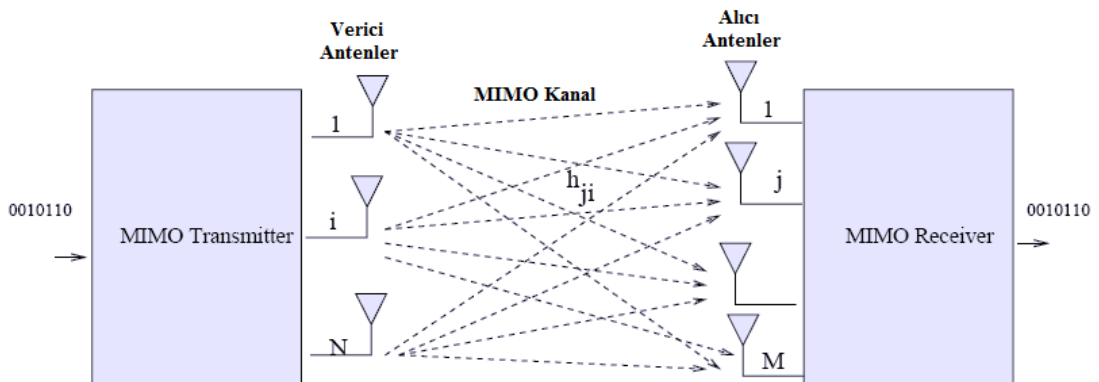
- Gelişmiş “always on” deneyimi sayesinde son kullanıcılar için pil ömründen ödün vermeden bağlı mod da daha uzun süre kalmasını sunar. (CPC, Continuous Packet Connectivity - Sürekli Paket Bağlanırlığı)
- WCDMA ile HSPA+ (VoIP veya CS üzerinden) karşılaştırıldığında %50 daha fazla konuşma süresi imkânı sağlar.

- Mobil istasyonda güç tüketiminin azaltılması ve aktif duruma hızlı bir şekilde dönülmesini sağlayan CPC özelliği sayesinde %50 daha hızlı geçiş yapılarak geçiş süresi düşürülmüştür.

2.6.1. MIMO

Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO, Multiple-Input Multiple-Output) alıcı ve vericide çoklu anten kullanımı olarak ifade edilir. Şekil 13’de gösterildiği gibi MIMO kanal yapısında bir vericide, eş yerleşimli çoklu verici antenlerin kullanıldığı bir yapılandırma ile alıcı antene birden fazla paralel veri akışı sağlanarak sistem kapasitesinde etkili bir artış sağlanmış olur. Alıcı/verici tarafında 2 antenin bulunduğu 2x2 MIMO anten yapısında veriler ortogonal bir şekilde iletilir. Sinyal işleme algoritmalarının kullanıldığı bu yapı sayesinde Node-B tarafında ilave güç ve bant genişliği gerektirmeden sistemin kapasitesi artırılmış olur. Ayrıca ortogonal veri akışının olmadığı kenar hücre kullanıcılarında MIMO hüzme biçimlendirme (beamforming) kazanç sağlamaktadır. Çoklu anten kullanımının daha etkili olabilmesi için veri iletimi yapılan ortamın sinyal gürültü oranının (SNR) yüksek olması gerekmektedir.

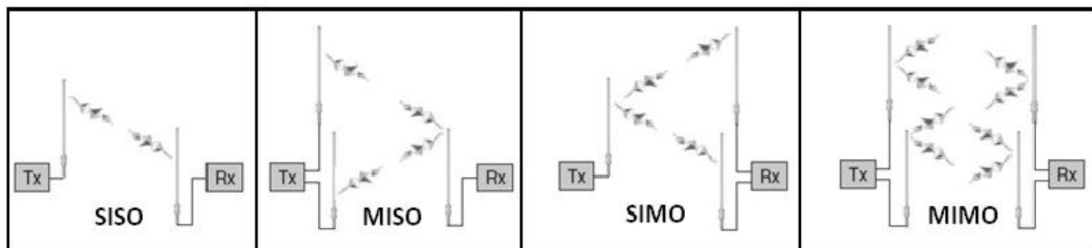
“Çoklu anten kullanımı ile kablosuz sistemlerde uzaysal çeşitleme (spatial diversity) ve uzaysal çoğullama (spatial multiplexing) kazançları elde edilebilir.” [16]



Şekil 13 - MIMO Kanal Yapısı

“Kablosuz kanal üzerinde coğrafi özelliklere ve verici ile alıcı arasındaki bağıl hareketliliğe bağlı olarak genlikleri ve gecikme süreleri zamanla rastgele değişen çok sayıda birbirinden farklı sinyal yayılım yolları bulunabilir. Sinyal karakteristiklerinde görülen bu değişim sönümlenme olarak isimlendirilir ve önlem alınmazsa sistem için önemli performans kayıplarına sebep olur. Sönümlenmenin sinyal gücü üzerindeki etkisi düşünüldüğünde yavaş ve hızlı olmak üzere iki grupta incelenir. Yavaş sönümlenme cep telefonu ile baz istasyonu arasındaki sinyali kesecek şekilde engellerden kaynaklanır. Hızlı sönümlenme ise alıcıya çeşitli yollar üzerinden ulaşan sinyaller sebebiyle ortaya çıkar. Doğrudan görüş hattında alınan sinyal yanında yansımalar sebebiyle alıcıya ulaşan sinyaller çoklu yol sönümlenmesine sebep olur.” [16], [24]

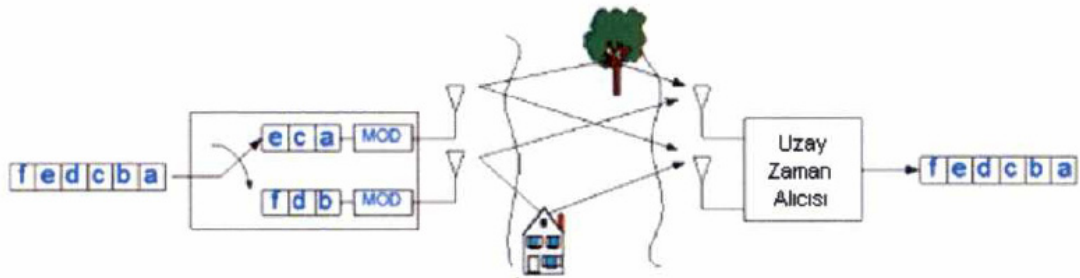
“Uzaysal çeşitleme (spatial diversity) yönteminin temel amacı iletişimde sıklıkla karşılaşılan çok yollu sönümlenmenin etkisini azaltmaktır. Bu tip sistemlerde, iletilecek olan veri sinyalleri kopyalanarak ortogonal olarak kodlanır ve her biri farklı verici anten üzerinde farklı zaman dilimlerinde alıcıya gönderilir. Çoklu anten sistemlerinin kullanılması ile birbirinden bağımsız olarak farklı sönümlenmelere sahip sinyaller alıcıya ulaşmış ve böylece çeşitleme kazancı elde edilmiş olur. Bu uygulama alıcıdaki Sinyal/Gürültü oranı SNR’ın (Signal Noise Ratio) artırılmasını sağlar. SNR artışı: hücre kapsamının artırılmasını, veri iletim hızı ve iletimde yüksek seviyeli modülasyon tekniklerinin daha az hata düzeltme biti ile iletilebilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca uzaysal çeşitleme yardımıyla birbirinden bağımsız sönümlenmeli yollar oluşturularak kablosuz bağlantı güvenilirliği artırılır.” [25]



Şekil 14 - MIMO Uzaysal Çeşitleme Teknikleri

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. Uplink bağlantı yönünde çok yollu sönmülemelerden kaynaklanan etkileri minimuma indirebilmek için alıcı çeşitlemesi ve Downlink bağlantı yönünde hücresel kapsama ile kapasite artırabilmek için verici çeşitleme teknikleri kullanılmalıdır. İletişim kalitesini ve performansını yükseltebilmek için bu anten yapılarından herhangi birisi mevcut koşullar göz önünde bulundurularak kullanılabilir.

MIMO tekniklerinde uzaysal çeşitlemenin yanı sıra, uzaysal çoğullama, tek veya çok kullanıcı MIMO yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. “Uzaysal çoğullama kullanılarak ise MIMO kanal birbirine paralel alt kanallara ayrılarak farklı veri akışları bu kanallar üzerinden aktarılır. Böylece aynı bant genişliği için verici gücü artırılmaksızın sistem haberleşme kapasitesi yükseltilir.” [16]

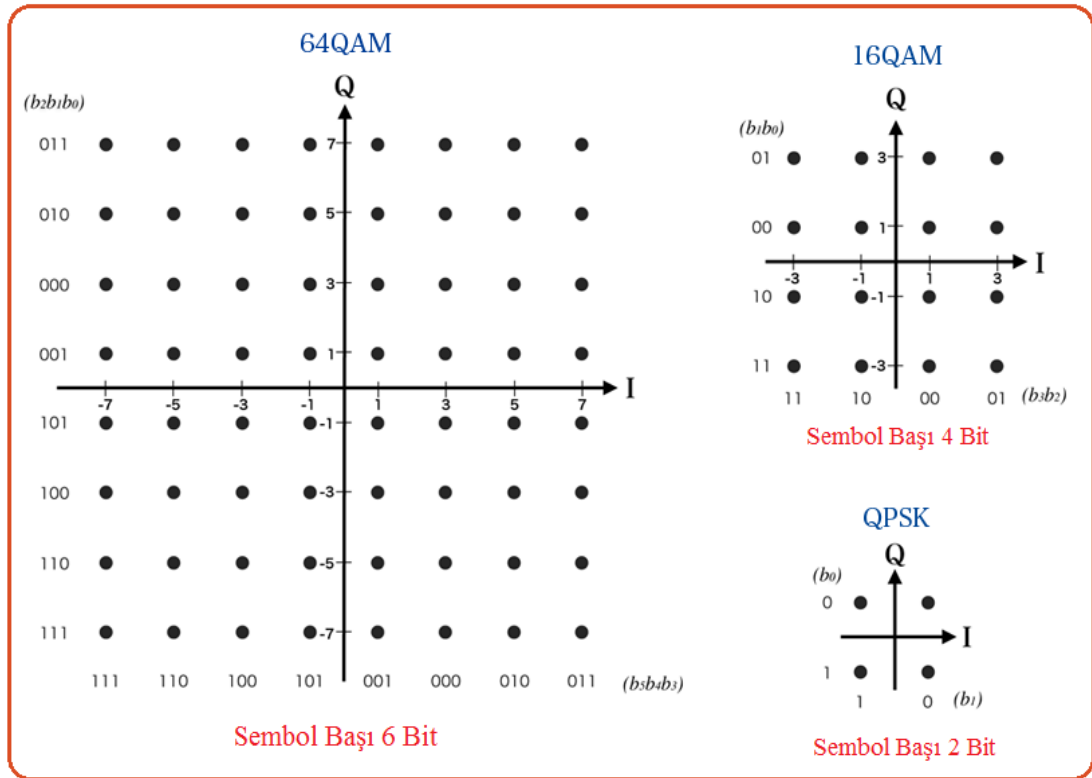


Şekil 15 - MIMO Uzaysal Çoğullama

“MIMO tekniklerinden olan tek veya çok kullanıcı MIMO yöntemleri arasındaki farklılık, tek kullanıcı teknikte bütün veri dizileri aynı kullanıcı için iletilirken, çok kullanıcı teknikte aynı zaman-frekans kanalları farklı kullanıcılar arasında paylaşılır.” [25]

2.6.2. Yüksek Seviyeli Modülasyon

HSPA(Sürüm 6)'da downlink bağlantı için 16QAM modülasyonu, uplink bağlantı için QPSK modülasyonu kullanılır. Sürüm 7 ve sonrasında HSPA+ ile birlikte 64QAM gibi daha yüksek seviyeli modülasyon tekniklerinin kullanılması ile paket veri iletiminde önemli derece hız artışı sağlanmıştır. Yüksek hızlara ulaşmak için kullanılacak yöntemlerin başında yüksek seviyeli modülasyon ile sembol başına taşınan bit sayısının artırılması gelmektedir.



Şekil 16 - Yüksek Seviyeli Modülasyon Teknikleri

QPSK modülasyon tekniğinde sembol başına taşınan bit sayısı 2 iken, 16QAM modülasyon tekniğinde bu değer 4 bit'e çıkmıştır. HSPA+ ile birlikte kullanılan 64QAM modülasyon tekniğinde ise sembol başına taşınan bit sayısı 6'dır. HSPA+ sistemi uyarlamalı modülasyon tekniği sayesinde kanal şartlarının iyi olmasını sağlayan en yüksek modülasyon düzenini seçebilmektedir. Daha yüksek seviyeli bir modülasyon tekniği ile iletilen

kablosuz sinyaller girişime karşı daha duyarlı olurlar ve alıcıdaki demodülasyon işleminin başarılı olabilmesi için daha iyi bir SNR oranına ihtiyaç duyarlar. SNR artışı veri iletim hızı ve iletimde yüksek seviyeli modülasyon tekniklerinin daha az hata düzeltme biti ile iletilebilmesini mümkün kılmaktadır. Bölüm 4.6.1'de belirtilen MIMO anten teknikleri ve yüksek seviyeli modülasyon tekniklerinin kullanılması veri iletiminde üst sınır olarak bilinen Shannon kapasite sınırlarına (SNR ve bant genişliğine bağlı olarak hatasız iletilebilecek veri miktarına) pratikte yaklaşmayı mümkün kılmaktadır. Sürüm 7 ile birlikte HSPA+ için veri transfer hızı downlink'de 42 Mbps (64QAM ile 2x2 MIMO yapılandırma ile) uplink'de 11,5 Mbps değerine kadar yükselmiştir.

3. 4.NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

3.1.TARİHÇE

Klasik kablolu haberleşme sistemlerinden farklı olarak konumdan bağımsız bir şekilde, sesli iletişim yapılabilmesi amacıyla mobil haberleşme sistemleri geliştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda 1980'li yıllarda birinci nesil diye adlandırılan analog yapıya sahip sadece ses iletimine imkân sağlayan sistemlerin geliştirilmesi ile mobil sistemler günlük hayatta ki yerini almıştır. 1990'lı yıllarda geliştirilen ve GSM gibi dijital yapıya sahip sistemler sayesinde ses iletiminin yanında veri iletimi de mümkün hale gelmiştir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte 2000'li yılların başından itibaren internet kullanımının yaygınlaşması, abone sayısındaki artış ve yüksek hız gerektiren uygulamalara çözüm amacıyla üçüncü nesil mobil sistemler geliştirilmiştir. UMTS ile başlayan HSPA ve HSPA+ sistemleri ile geliştirilen mobil haberleşme sistemleri sayesinde hız ve kapasite artışı sağlanarak kullanıcıların talepleri karşılanmaya çalışılmıştır.

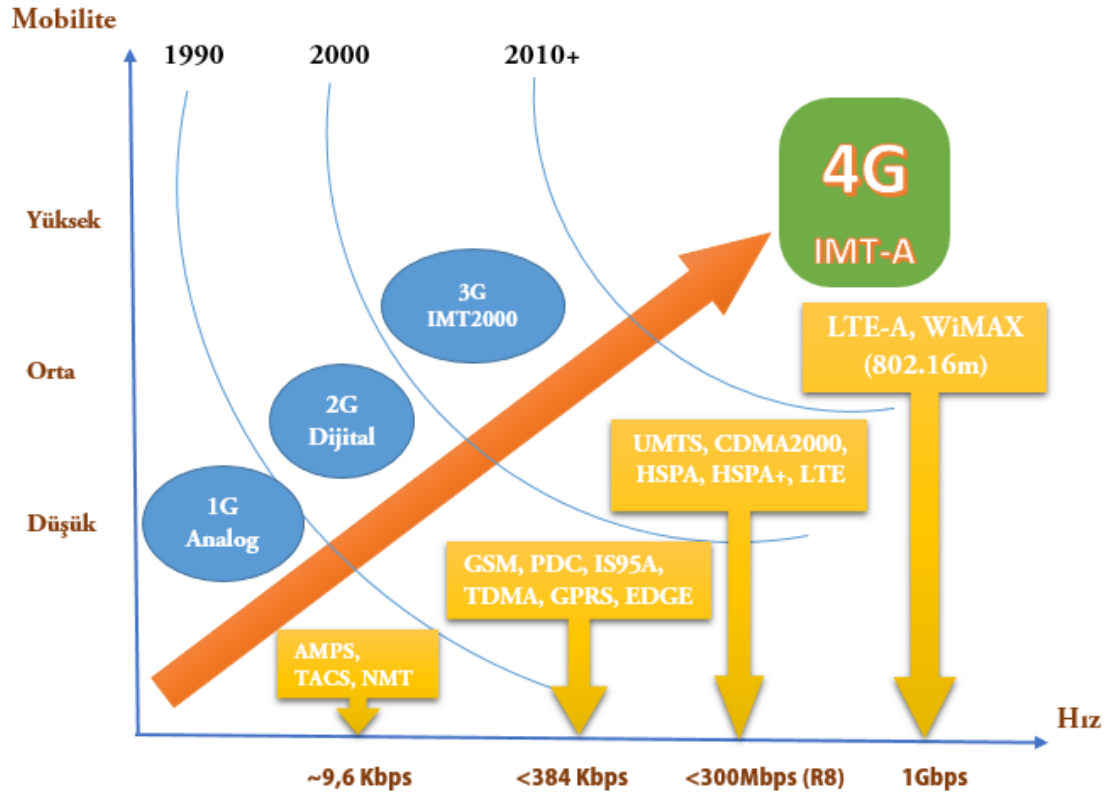
Üçüncü nesil mobil haberleşme sistemleri kullanıcıların ihtiyaçlarına küresel ölçekte cevap verse de, bir takım sorunlar hem kullanıcı tarafında hem de operatör tarafında yaşanmıştır. Bu sıkıntılar arasında:

- Operatörler açısından yatırım maliyetlerinin yüksek olması,
- Hizmet lisanslarına ait yüksek giriş ücretleri,
- Ülkeler arasındaki lisanslama farklılıkları,
- Kullanıcı terminal cihazlarının yüksek maliyetli olması,
- Yüksek pil tüketimi,

- Kapasite sınırı, yüksek veri iletim hızı ihtiyacı

gibi sorunlar yer almaktadır. Üçüncü nesil ile dördüncü nesil mobil sistemler arasında geçişi sağlayan, 3.5G diye isimlendirdiğimiz HSPA ve HSPA+ gibi teknolojiler küresel olarak yoğun ilgi görmüştür. Bu durumun değerlendirilerek kullanıcı eğilimlerinin incelenmesi bir sonraki neslin planlanması açısından önem arz etmektedir.

Akıllı cihazların son yıllarda yaygınlaşması sonucunda yüksek veri hızına ihtiyaç duyan çoklu ortam içerikli uygulamalar sayesinde mobil veri kullanımı artmıştır. Dünyada ve ülkemizde kullanılan mobil teknolojiler mevcut durumda kullanıcıların beklentilerini karşılasalar da zaman içerisinde şebeke kapasitelerinin yetersiz kalacağı ön görülmektedir. Hız ve kapasite gereksiniminin sonucu olarak, sistemin mobil geniş bant haberleşmeye olan ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç, dördüncü nesil teknolojilerin gelişimine yön veren önemli bir motivasyon kaynağı olmuştur.



Şekil 17 - 4G Haberleşme Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Şekil 17’de görüleceği gibi haberleşme sistemlerinin dördüncü nesle evrimine doğru daha fazla veri hızı ve kullanıcı hareketliliği (mobilite) sağlayacak şekilde sistemin bant kapasitesi artış göstermektedir. “Kullanıcı taleplerindeki artış, mobil haberleşme sistemleri için üçüncü neslin getirdiği sınırlamalar ve daha yüksek bant genişliği gerektiren mobil teknolojilerin ortaya çıkmasının bir yansıması olarak dördüncü nesil mobil genişbant haberleşme sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır.” [26]

Önceki sistemlere göre daha yüksek veri hızları temeline dayanan dördüncü nesil sistemler, herhangi bir zamanda, herhangi bir yerde çoklu kitle iletişimi ile kullanıcılara hizmet verebileceği bir şekilde uçtan uca IP çözümü sağlar. Dördüncü nesil sistemler ile hedeflenen; tamamen IP tabanlı ağ alt yapısına sahip, her türlü ağ hizmetini kaliteli bir şekilde tek noktada birleştirerek makul fiyat ve tek faturalandırma sistemi ile 100 Mbps - 1 Gbps veri iletim hızlarına erişmektir. [27], [28]

Dördüncü nesil sistemler için temel ihtiyaç, çoklu ortam hizmet kalitesinin artırılması göz önünde tutulduğunda daha yüksek veri iletim hızı ve sistem kapasitesinin artmasıdır. Dördüncü nesil sistemler mobil kullanıcılara esnek, özelleştirilebilen ve her yerde kullanılabilir çoklu ortam erişimi imkanı sağlar. Çoklu ortam servisleri dördüncü nesil sistemler ile birlikte önemli ölçüde geliştirilerek yeni nesil mobil servisler için etkili çözümler sunmayı hedefler. Üçüncü ve dördüncü nesil mobil haberleşme sistemleri tarafından sağlanan çoklu ortam servisleri karşılaştırıldığında ses ağırlıklı hizmetler yerini veri odaklı hizmetlere bırakmıştır. Bu servisler arasında IP telefon, yüksek çözünürlüklü mobil Tv, video konferans, 3D televizyon ve bulut bilişim gibi servisler yer alır.

Mobil kullanıcıların ses, video ve veri hizmetlerine erişim gereksinimlerinin gün geçtikçe artmasıyla birlikte ortaya çıkan kablosuz genişbant erişim ihtiyacı, dördüncü nesil mobil haberleşme sistemleri sayesinde karşılanacaktır. Mobil haberleşme sistemlerinin süreç içerisindeki gelişimi sonucunda bütünleşmiş ağ yapısına ulaşılması hedeflenmektedir.

3.2. 4G STANDARTLARI (IMT-ADVANCED)

2000 yılından itibaren IMT (International Mobile Telecommunications) tarafından üçüncü nesil mobil haberleşme sistemleri için IMT kavramlarından türetilen standartların birincisi olarak IMT-2000 çerçevesi oluşturulmuştur. IMT-2000 veya yaygın bilinen adıyla 3G standartlar ailesi, kişisel mobil haberleşme sistemleri için temel oluşturmuş ve tüm dünya tarafından kabul görmüştür. Daha sonraki dönemde IMT-2000 üzerinde sistem performansını artırıcı bir takım iyileştirmelerle “Gelişmiş IMT-2000” oluşturulmaya çalışıldıysa da gelecek için etkin bir çözüm olmaktan uzak kalmış ve yeni nesil sistemler için geniş bir teknolojik yelpazede standartlar oluşturma ihtiyacı doğmuştur. Bu gereksinimleri yerine getirecek standartlar ITU-R (ITU-Radiocommunication Sector) tarafından IMT Advanced olarak belirlenmiştir.

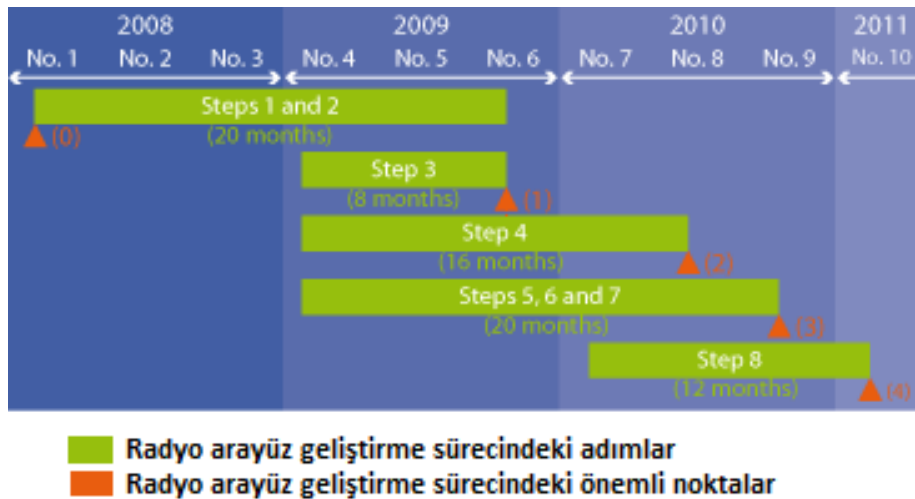
IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications - Advanced), ITU tarafından dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin standartlarını belirlemek amacıyla oluşturduğu genel çerçevenin adıdır. IMT-Advanced, “IMT-2000 ötesindeki sistemler” veya “4G” olarak da isimlendirilir. IMT-2000 ve IMT-Advanced dâhil, bünyesinde yaptığı çalışmalar sayesinde ITU, küresel kablosuz teknolojilerin bir sonraki neslin tanımlanmasında görevli uluslararası kabul görmüş kuruluş haline gelmiştir.

ITU, IMT-Advanced olmaya aday olan teknolojilerin taşınması gereken temel özellikleri aşağıdaki şekilde tanımlamıştır. [29], [25]

- Yüksek seviyeli hizmet ve uygulamaların fiyat performans açısından kabul edilebilir düzeyde sunulması ile mobil uygulamaların herkes tarafından uygun fiyatlarla kullanımını sağlamak,
- IMT kapsamındaki mobil sistemler ile sabit şebekeler için tanımlanmış servislerle tam uyumlu olmak,
- Radyo erişim sistemleri ile birlikte çalışabilme yeteneğine sahip olmak,
- Yüksek kaliteli mobil servisler,
- Kullanıcı ekipmanlarının dünya çapında kullanım için uygun olması,

- Kullanımı kolay uygulamalar, hizmetler ve ekipmanlar,
- Dünya çapında dolaşıma imkan sağlama,
- İleri seviye servis ve uygulamaları desteklemek için gelişmiş yüksek veri hızı. (Yüksek hareketlilik gerektiren uygulamalar için 100 Mbps, düşük hareketlilik gerektiren uygulamalar için 1 Gbps veri iletişim hızları düşünülmektedir. ITU-R M.1645 nolu tavsiye kararı)

WP-8F (Working Party 8F) çalışma grubu bünyesinde ITU-R 229-1/8 “IMT-2000 ve ötesindeki sistemlerin gelecekteki gelişimi” iş ögesi kapsamında bölgesel kuruluşlarla uzun yıllar yapılan istişareler sonucu ortaya çıkan raporlar ve tavsiyeler IMT-Advanced için dayanak oluşturmuştur. 2007 yılındaki Radyokomünikasyon Genel Kurulunu takiben IMT çalışmalarını “WP-5D, Working Party 5D” adı altında SG-5 (Study Group 5) çatısı bünyesinde yürütülmüştür. Grup çalışmalarına ITU-R 229-2/5 “IMT Karasal Bileşenlerinin Gelecekteki Gelişimi” sorusunu revize ederek ele almıştır. 2008 yılında ITU-R Working party 5D tarafından IMT-Advanced olarak belirlenen dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi planı Şekil 30’da gösterildiği gibidir. [30]



Şekil 18 - IMT-Advanced Gelişim Planı

Working Party 5D süreci 3G ötesindeki sistemlerin belirlenmesi noktasında bir yol haritası görevi görmüştür. Plan dâhilinde oluşturulan zaman

çizelgesine göre adımlar ve önemli kritik noktalar Tablo 10'da gösterildiği gibidir.

Tablo 10 - IMT-Advanced Gelişim Sürecindeki Önemli Adımlar

	IMT-A Gelişim Sürecindeki Önemli Adımlar	Önemli Kritik Noktalar	
		Açıklama	Tarih
Adım 1	Bildirinin yayımlanması	Aday radyo arayüzleri önermek için davetlerin alınması	Mart 2008
Adım 2	Aday radyo arayüzlerinin geliştirilmesi		
Adım 3	Önerilerin onaylanması	ITU, aday radyo arayüzleri için önerileri	Ekim 2009
Adım 4	Değerlendirme grupları tarafından aday teknolojilerin değerlendirilmesi	ITU değerlendirme Raporu	Haziran 2010
Adım 5	Değerlendirme faaliyetlerinin incelenmesi ve koordinasyonu	IMT-A Radyo arayüzleri ve çerçevesinin belirlenmesi	Ekim 2010
Adım 6	Minimum gereksinimler ışığında uygunluğunun değerlendirilmesi		
Adım 7	Değerlendirme sonuçları göz önünde bulundurarak görüşler oluşturulması ve kararlar		
Adım 8	Geliştirilen radyo arayüz tavsiyeleri	Önerilerin gelişimini tamamlaması ve arayüzün netleşmesi	Şubat 2011

2008 yılı Mart ayında bildirinin yayımlanması ile birlikte aday radyo arayüz teknolojilerine ait tekliflerin sunulması için ilk davetler yayınlandı. Sürecin başlamasıyla birlikte bağımsız değerlendirme grupları oluşturulmuş ve aday teknolojilere ait değerlendirme raporlarını incelemiştir. Tablo 11'de gösterildiği gibi ITU-R Working Party 5D bünyesinde yayınlanan genelge ile IMT-Advanced teknolojisinin ileriye dönük olarak aday radyo arayüz

teknolojilerinin taşınması gereken minimum gereksinimleri ve ölçütleri tanımlanmıştır.

Tablo 11 - IMT-Advanced 4G Gereksinimleri

IMT-Advanced Gereksinimleri		
Tepe Veri Hızı	Downlink	1 Gbps*
	Uplink	
Spektrum Tahsisi		40 Mhz'e kadar
Hareketlilik (Mobilite)		350 km/h'e kadar
Gecikme Süresi	Kullanıcı Düzleminde	<10 ms
	Kontrol Düzleminde	<100 ms
Spektral Verimlilik (bit/s/Hz/hücre)	Tepe Downlink Hızı	15 bit/s/Hz (4x4 MIMO)
	Tepe Uplink Hızı	6.75 bit/s/Hz (2x4 MIMO)
	Ortalama Downlink Hızı	2.2 bit/s/Hz (4x2 MIMO)
	Ortalama Uplink Hızı	1.4 bit/s/Hz (2x4 MIMO)
	Hücre Kenar Downlink Hızı	0.06 bit/s/Hz (4x2 MIMO)
	Hücre Kenar Uplink Hızı	0.03 bit/s/Hz (2x4 MIMO)
VoIP Kapasitesi (Aktif Kullanıcı/sektör/MHz)		40

* Düşük hareketlilikte 1 Gbps, Yüksek hareketlilikte 100 Mbps veri iletimi.

Hücre spektral verimliliği, bir hücrede yer alan tüm kullanıcıların throughput (belirli bir süre içerisinde doğru alınan bit sayısı) değerlerinin, kanal bant genişliğine bölünmesi olarak ifade edilir ve mevcut bant genişliğinin ne kadar düzgün kullanıldığını belirleyen bir kavramdır. Hücre spektral verimliliği bit/s/Hz/hücre şeklinde ölçülür. Spektral verimlilikte tepe downlink hızı, hatasız koşullar varsayılarak tüm radyo kaynakları kullanıldığında mobil istasyona teorik olarak iletilebilecek en yüksek veri bitini ifade eder. Dördüncü nesil olmaya aday mobil teknolojiler IMT-Advanced sistem gereksinimlerine göre;

- Tepe Downlink Hızı minimum 15 bit/s/Hz (4x4 MIMO)
- Tepe Uplink Hızı minimum 6.75 bit/s/Hz (2x4 MIMO) olmalıdır.

Örneğin; 40 Mhz'lik bir bant genişliğine sahip sistemde 4x4 MIMO anten kullanımında tepe downlink hızı $40 \times 15 = 600$ Mbps olacaktır. Aynı şekilde 2x4 anten kullanımında tepe uplink hızı $40 \times 6.75 = 270$ Mbps olacaktır.

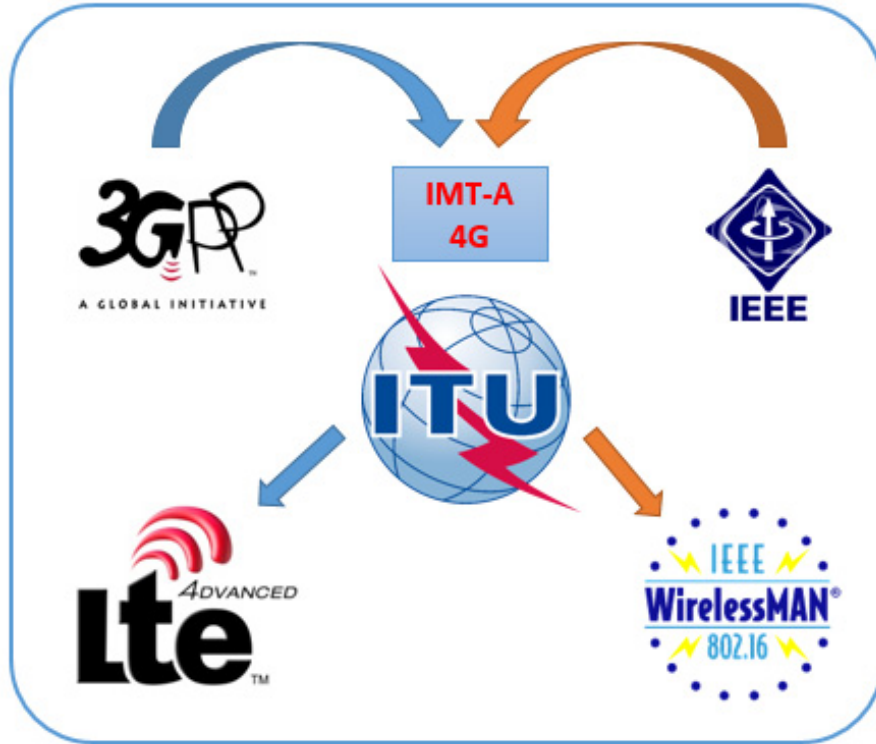
IMT-Advanced gereksinimlerine göre aday teknolojilerde sistem bant genişliği farklı bant genişliklerinde çalışabilecek ölçeklenebilir yapıda olması gerekir. IMT-A'ya göre 40 Mhz dâhil olmak üzere (tek veya birden fazla taşıyıcı desteği ile) bu bant genişliğini aday teknolojilerin desteklemesi gerekmektedir. IMT-Advanced gereksinimlerine göre gecikme süresi, kontrol ve kullanıcı düzleminde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Genellikle aktif-pasif olma durumu gibi farklı bağlantı modları arasındaki geçiş süresi kontrol düzlemindeki gecikme süresi olarak bilinir ve IMT-A'ya göre aday teknolojilerde bu süre 100ms'den daha az olmak zorundadır. Kullanıcı düzlemindeki gecikme ise taşıma gecikmesi olarak da isimlendirilir ve 10 ms'den daha az olmalıdır. IMT-Advanced gereksinimlerine göre hareketlilik (mobilite) konusunda 350 km/h'a kadar destek vermesi gerekmektedir. Bu kapsamda hız aralıklarını belirten sınıflar:

- Sabit Durum: 0 km/h
- Yaya: 0-10 km/h arası
- Araç: 10-120 km/h arası
- Yüksek Hızda Araç: 120-350 km/h olarak tanımlanmıştır. [29]

Bu hız sınıflandırmalarına göre kapsama alanları Kapalı Ortam, Mikrohücre (en fazla 30 km/h), Kentsel Kapsama Alanı ve Yüksek Hızdaki Alanlar olarak ayrılır. Veri iletim hızları ise en yüksek kapalı ortamda olmak üzere en az 1 Bit/s/Hz olmalıdır.

2009 yılında uluslararası kuruluş ve bölgesel organizasyonların dördüncü nesil sistemler için düşündükleri teknolojilerine ait tekliflerini ITU-R'ye sunulmuştur. Bu teklifler arasında 3GPP tarafından geliştirilen LTE-Advanced (Long Term Evolution - Advanced) ile IEEE tarafından geliştirilen WirelessMAN - Advanced gibi yeni aday teknolojilerde yer almaktadır.

ITU-R (ITU-Radiocommunication Sector) Working party 5D tarafından dördüncü nesil teknolojileri belirlemek amacıyla IMT-Advanced kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde 2010 yılı Ekim ayı toplantısında altı aday teknolojinin değerlendirmesini tamamlamıştır.



Şekil 19 - 4G Mobil Haberleşme Sistemleri

ITU-R tarafından 2010 yılı Ekim ayında Cenevre'de yapılan toplantısında ilan edilen değerlendirme sonuçlarına göre iki teknoloji IMT-Advanced gereksinimlerini tümüyle karşılayarak onaylanmış ve ITU tarafından Kasım ayı toplantısında resmi 4G teknolojileri olarak ilan edilmiştir. Şekil 19'da gösterildiği gibi bunlardan ilki 3GPP tarafından LTE'nin geliştirilmiş sürümü olarak oluşturulan LTE-Advanced (Long Term Evolution - Advanced) ve bir diğeri ise IEEE tarafından geliştirilen Mobile WiMAX'ın ikinci sürümü olan WirelessMAN - Advanced'dir. Bu teknoloji Mobile WiMAX Sürüm 2 veya IEEE 802.16m olarak da isimlendirilir.

3.3. LTE ve LTE-ADVANCED

3GPP'nin mobil haberleşme sektöründeki HSPA ve HSPA+ gibi başarılı çözümleri sayesinde zaman içerisinde kullanıcıların bu yüksek hızdaki teknolojilere olan talebi gün geçtikçe arttığı gözlenmektedir. Artan kapasite ve hız ihtiyacını karşılamak için 3GPP tarafından sistem mimarisinin tekrar tasarlanması sonucunda LTE (Long Term Evolution - Uzun Vadeli Evrim) teknolojisi tanımlanarak Sürüm 8 ile birlikte standartları duyurulmuştur. ITU-R tarafından resmi olarak 4G teknolojisi ilan edilen LTE-Advanced ve Mobile Wimax 2 (IEEE 802.16m) teknolojileri ile benzer teknolojiyi kullanmasına rağmen LTE, IMT-A gereksinimlerini karşılamamaktadır. Üçüncü nesil mobil sistemlere göre pek çok yeniliği bir arada sunan LTE pek çok kesim tarafından 3.9G olarak sınıflandırılmaktadır.

LTE konsepti ilk kez 2004 Toronto konferansında tartışılmıştır. Bu yeni fikrin teknolojik olarak aşağıdaki gibi üst düzey bir dizi gereksinimleri karşılaması gerektiği konferansta belirtilmiştir. Bunlardan bazıları;

- ✓ İletilen veri (bit) başına maliyetlerin azaltılması,
- ✓ Basit mimari yapı ve açık arayüzler,
- ✓ Frekans bantlarının esnek kullanımı,
- ✓ Düşük güç tüketen kullanıcı cihazları,
- ✓ Düşük maliyet ve yüksek hız,
- ✓ Gelişmiş kullanıcı deneyimleri ve hizmet kalitesidir. [31]

Japon NTT Docomo firması 2004 yılı Kasım ayında mevcut üçüncü nesil sistemlerin uzun vadeli gelişimi için ilk kez LTE (Super 3G) teknolojisini önermiştir. NTT Docomo firmasının yaptığı çalışmalar 2008 yılı Aralık ayında yayınlanan Sürüm 8'de belirtilen standartların oluşturulmasına katkı sağlamıştır. [32] 3GPP tarafından LTE çalışmalarına başlamadan önce sistemden beklenen hedefler ortaya konmuştur. LTE teknolojisi kendinden önceki teknolojilerle karşılaştırıldığında daha üstün performansı hedeflemektedir. Bu ana hedefler arasında,

- ✓ Tepe veri hızlarını downlinkte >100 mbps, uplinkte >50 mbps,
- ✓ 1,5 - 20 Mhz aralığında ayarlanabilir değişken frekans aralığı,

- ✓ Kontrol düzleminde düşük gecikme süresi <100 ms,
- ✓ Kullanıcı düzleminde düşük gecikme süresi <10 ms,
- ✓ Yüksek mobilite ve güvenlik,
- ✓ Spektral verimlilik,
- ✓ Tamamen IP tabanlı bir şebeke yapısı oluşturmak olduğu söylenebilir. [31], [33]

Yukarıda belirtilen yüksek seviyeli hedeflere ulaşırken LTE, erişimde yeni çözüm olarak downlink hattı için daha yüksek veri hızı ve hacmi sağlayan OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) çoklama yöntemini kullanır. Uplink hattı için ise SC-FDMA (Single Carrier Frequency-Division Multiple Access - Tek Taşıyıcılı Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) erişim yöntemini kullanır. LTE FDD (Frequency Division Duplexing) ve TDD (Time Division Duplexing) çoklama tekniklerinin her ikisini de desteklemektedir. Bununla birlikte LTE, 64QAM gibi yüksek seviyeli modülasyon, 20 Mhz'e kadar büyükçe bir bant genişliği ve download için 4x4'e kadar MIMO çoklu anten kullanımı özelliklerine sahiptir. Tüm bu yeni özellikleri sayesinde LTE teorik olarak en yüksek downlink veri hızı 300 Mbps, uplink yönünde ise 75 Mbps veri iletim hızlarına ulaşmak mümkündür. LTE, MIMO çoklu anten sistemini orijinal sistemin entegre bir parçası olarak kullanan ilk mobil haberleşme sistemidir. [34]

LTE'nin en önemli özelliklerinden birisi frekans spektrumunu esnek bir şekilde kullanabilmesidir. Mümkün olduğunca daha fazla düzenleyicinin gereksinimlerini desteklemesi için 700 Mhz 'den 2,7 Ghz'e kadar değişen frekans bantlarını kullanır. Düşük frekans sinyalleri; daha iyi yayılım göstererek belirli bir bölgeyi daha az baz istasyonu ile kapsanmasını sağlar ve düşük bant genişliğinde çalışırlar. Yüksek frekans sinyalleri ise düşük frekans sinyallerine göre daha az yayılım göstererek aynı bölgeyi daha fazla baz istasyonu ile kapsar ve yüksek bant genişliğinde çalışırlar. LTE'nin ilk devreye alınma aşamasında düşük bir frekans bandının kullanılmasına imkan sağlayarak, ilerleyen zamanda şebekenin gelişmesi ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda sorunsuz bir şekilde daha yüksek frekans bantlarının kullanılmasına imkan sağlaması önemli bir avantajdır.

Genel olarak LTE teknolojisine ait teknik özellikler Tablo 12’de gösterildiği gibidir.

Tablo 12 - LTE Teknik Özellikleri

LTE Teknik Özellikleri	
Başlık	Detaylar
Kanal Bant Genişliği	1.4, 3.5, 10, 15, ve 20 MHz
Frekans Bant Aralığı	700 Mhz’den 2,7 Ghz’e kadar
Veri Türü	Paket Anahtarlama Tümü Veriler (ses + veri) Devre Anahtarlama veri içermez
Desteklenen Modülasyon Teknikleri	QPSK, 16 QAM ve 64 QAM
Erişim Yöntemi - Downlink	OFDMA
Erişim Yöntemi - Uplink	SC-FDMA
Çoklama Modu	FDD ve TDD
Anten Kullanımı	MIMO (4x4’e kadar)
Tepe Veri Hızı - Downlink	300 Mbps (4x4 MIMO, 20 Mhz)
Tepe Veri Hızı - Uplink	75 Mbps (2x4 MIMO, 20Mhz, FDD)
Spektrum Verimliliği (bit/s/Hz/hücre)	DL: 15 bit/s/Hz (4x4 MIMO) UL: 3,75 bit/s/Hz (64QAM, SISO)
Gecikme Süreleri	Kontrol Düzleminde: 100 ms Kullanıcı Düzleminde: 10 ms
Hareketlilik (Mobilite)	0-15 km/h (optimize edilmiş) 15-120 km/h – yüksek performans

UE-5 sınıfı cihazlar için Sürüm 9'da tanımlanan 4x4 MIMO anten kullanımı durumunda LTE'de elde edilen downlink (300 Mbps) ve uplink (75 Mbps) değerleri teorik değerlerdir. Gerçek hayatta ki uygulamalarda elde edilen veri iletim hızları, teorik hızlara göre farklılık göstermektedir. Bu farklılığın sebepleri arasında sönümlenme, hava koşulları, çok yolluluk, sinyal bozucu etmenler gösterilebilir. İşletmeciler açısından yatırım planlamaları yapılırken saha testleriyle elden edilen ortalama sektör veya hücre kenarı veri iletim hızı gibi parametreleri dikkate alırlar. LTE, 5 Mhz'lik hücre için 200'den fazla aktif kullanıcı kapasitesine sahiptir.

“Hücrenel mobil haberleşme sistemlerinde mobilite (hareketlilik), hücreler arası veya aynı hücrede sektörler arası çağrının taşınması ile mümkün olmaktadır. LTE şebekelerinde mobilite, kavramı, kullanıcıların yüksek hızlarda hareket halindeyken bile hizmet alabilmesini ifade etmektedir. LTE standartlarında kullanıcının 120 ile 350 km/h arasındaki hızlarda hareket ederken bile şebekeye erişmesi mümkündür. Frekans bandına bağlı olarak bu değer 500 km/h kadar çıkabilmektedir.” [25], [35]

“LTE saha denemelerini gerçekleştirmek, endüstrileşmesini sağlamak, standartlarına yön vermek ve dünya çapında bir ekosistem oluşturmak amacıyla:

- ✓ NGMN (Next Generation Mobile Networks),
- ✓ LSTI (LTE/SAE Trial Initiative) ve
- ✓ VoLGA (Voice over LTE via Generic Access)

gibi operatör ve üreticilerin bir araya gelip işbirliği yaptıkları forumlar, gruplar oluşturulmuştur. NGMN sadece mobil operatörlerin katılımı ile oluşturulmuştur. 3GPP standartlarına mobil teknolojilerle ilgili fonksiyonel gereksinimleri iletirler ve buna göre de standartların oluşturulmasını sağlarlar. VoLGA ise LTE kullanılmaya başladığında CS (devre anahtarlamalı) servislerin LTE üzerinden verilmesi için çözüm üretmek için bazı operatör ve üreticilerin bir araya gelip kurduğu bir forumdur. LSTI ise operatör ve üreticilerin bir araya gelip LTE ilk örnek ürünlerini denedikleri bir ortaklıktır. Burada saha denemeleri de yapılarak NGMN ve 3GPP standart koyucularına geri besleme yapılır, böylece bir ekosistem oluşmuş olur.” [76] Yapılan

çalışmaların sonucunda test performanslarının beklentileri karşıladığı ve 3GPP'nin koymuş olduğu hedefler ile paralellik gösterdiği görülmüştür.

LTE çalışmalarının 2008 sonunda tamamlanarak duyurulmasının ardından, halka açık ilk LTE servisi 14 Aralık 2009 tarihinde TeliaSonera işletmecisi tarafından Oslo ve Stockholm şehirleri arasında modem veri bağlantısı kurularak başarı ile gerçekleştirilmiştir. LTE destekli ilk mobil telefon ise Samsung firması tarafından 2010 yılında piyasaya sürülmüştür. [36]

2013 yılı Şubat ayı verilerine göre 67 ülkede toplam 150 LTE şebekesi hizmet vermektedir. Yeni hizmete alınacak olan şebekelerle birlikte 2013 sonuna kadar 256 LTE şebekesine ulaşılması beklenmektedir. 2012 yılında 63 milyon LTE bağlantısı gerçekleştirilirken, 2013 yılında bu değer iki katından fazla artarak 134 milyon LTE bağlantısına ulaşması beklenmektedir. [37]

3.3.1. LTE Erişim Yöntemleri

LTE kendinden önceki 3GPP sürümlerinden farklı olarak spektrumun daha verimli kullanarak bant genişliğinden daha fazla yararlanmak için,

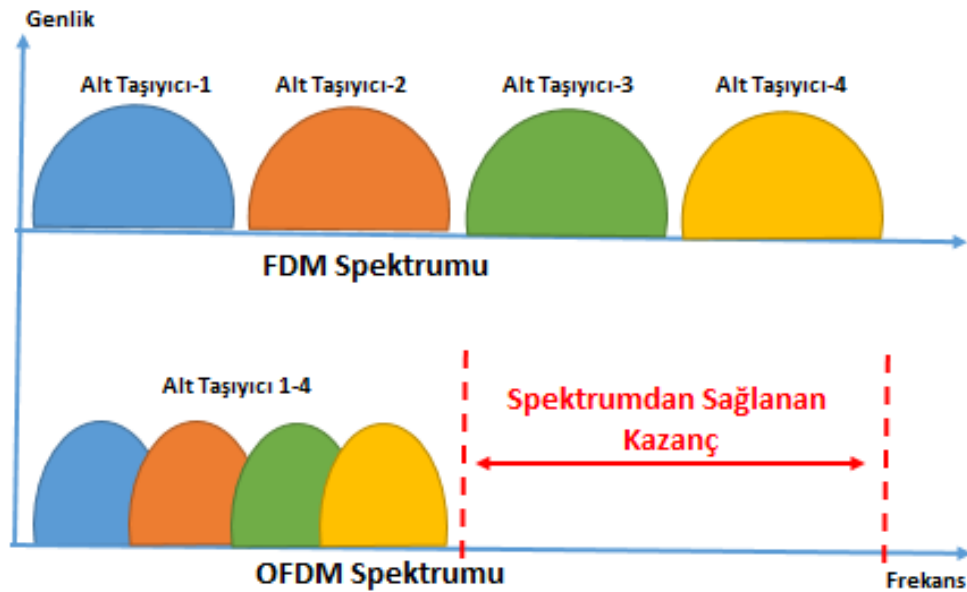
- ✓ Downlink yönünde OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim),
- ✓ Uplink yönünde ise SC-FDMA (Single Carrier Frequency-Division Multiple Access - Tek Taşıyıcılı Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)

erişim yöntemleri kullanmaktadır. OFDMA, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Dikey Frekans Bölmeli Çoklayıcı) sayısal modülasyon tekniğinin çok kullanıcıyı uyarlamasıdır. Daha önceki yıllarda OFDM teknolojisi 2G ve 3G sistemleri için düşünülse de sinyal işleme gereksiniminin yüksek olması ve buna bağlı olarak sistem maliyetinin artmasından dolayı tercih edilmemiştir. Günümüzde ise sinyal işleme maliyetlerindeki önemli düşüşler ve veri iletim ortamındaki yüksek performansından dolayı OFDM teknolojisi mobil haberleşme sistemlerinde tercih edilir ve kullanılır olmuştur. OFDM teknolojisi LTE gibi sadece hücresel

sistemlerde değil, DSL, WLAN, WiMAX kablosuz teknolojilerinden DVB ve DAB gibi broadcast teknolojilerine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır.

“OFDM’in son kelimesi olan Multiplexing (Çoklama/Çoğullama), haberleşme ağlarında birden fazla analog veya dijital bilgi aktarımının birleştirilip tek bir sinyal aktarımı haline getirilmesini ifade eder. Günümüzde analog sinyaller önce dijitale çevrilip sonra çoklanıp kiplendiğinden çok daha fazla sayıda sinyalin sığdırılıp, işlenerek aynı bir fiziksel ortam (örneğin bir tek fiziksel kablo hattı) üzerinden ve çok daha kaliteli aktarımlarının sağlanabilmesi mümkündür. Çoklanmış sinyal ya da onu içeren taşıyıcı Multiplex (Multiplex) olarak adlandırılır. Kuşkusuz çoklanarak yola çıkarılan bir sinyalin kullanılabilmesi için vardığı yerde tersine bir (demultiplexing - ayırma) işlemiyle tekil fiziksel kanallara ayrılması da gerekir.” [38], [77]

“OFDM, genel olarak veri akışını düşük hızlı alt taşıyıcılara bölerek paralel kanallarda ileten bir modülasyon ve çoğullama tekniğidir. OFDM ile FDM arasındaki en temel fark; OFDM sisteminde taşıyıcı spektrumları birbiri üzerine binmekte ve bu taşıyıcıların birbirlerine dik olması sayesinde spektral verimlilik elde edilmektedir. Bu sayede elde edilen bant genişliği tasarrufu Şekil 20’de gösterilmektedir.” [39]



Şekil 20 - OFDM-FDM Güç Spektrumu

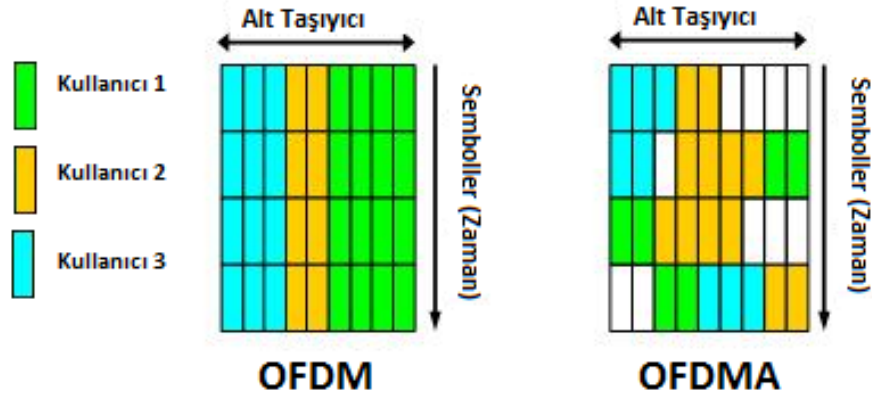
OFDM'de temel fikir alt taşıyıcı yöntemine dayanmaktadır. Veri birbirine çok yakın sırada dizilmiş çok sayıda alt taşıyıcı ile iletilmektedir. Alt taşıyıcılar biri diğerine dikgen olacak şekilde seçilmekte ve aralarındaki frekans aralığı FFT (Fast Fourier Transform - Hızlı Fourier Dönüşümü) kullanılarak yaratılmaktadır. Her bir alt taşıyıcı düşük sembol oranlarında QPSK, 16QAM veya 64QAM gibi konvansiyonel modülasyon teknikleri kullanılarak modüle edilirler. OFDM'de dikgen alt taşıyıcılar, bant genişliğini olabildiğince verimli bir şekilde kullanılmaktadırlar. Kısa sembol süresi sayesinde yüksek veri hızlarına ulaşması sebebiyle OFDM pek çok alanda tercih sebebidir. Ayrıca sistemdeki alt taşıyıcıların düşük hızlı olmaları, çoklu yolun (multipath) meydana getireceği olumsuz etkilerine karşı daha fazla dayanım sağlamaktadır.

“Çok yollu yayılımın olduğu kanallarda, alıcıya ilk ulaşan semboller ile gecikerek ulaşan semboller birbirine karışmakta ve semboller arası girişim ortaya (ISI, Inter Symbol Interference) çıkmaktadır. Buna bağlı olarak sistem başarımı düşmektedir. OFDM tekniğinde, semboller arası girişimi ortadan kaldırmak için en az kanalın gecikme yayılması (delay spread) süresi kadar bir süreye sahip çevrimsel önek (CP, Cyclic Prefix) kullanılmaktadır. Çevrimsel önek, OFDM sembolünün sonundaki faydalı bir kısım örnek kopyalanıp sembolün başına getirilerek oluşturulur. Bu sayede alt taşıyıcılar arasındaki girişim önlenir ve aralarındaki dikgenlik korunmuş olur ve semboller arası girişim (ISI) önlenmiş olur. Alıcı tarafta ise oluşabilecek girişim miktarı çevrimsel önek süresini geçmediği için, çevrimsel önek atıldığında veri kaybı olmadan girişimi ortadan kaldırmak mümkün olmaktadır.” [40]

Ayrıca tüm veri iletim hızı boyunca, taşıyıcıların sayısını arttırmak, her bir taşıyıcının taşıdığı veri oranını azaltmakta ve bu nedenle de her bir alt taşıyıcıdaki sembol süresini uzatmaktadır. Her bir alt kanaldaki düşük veri hızı (ve uzun sembol süresi) ISI'yi oluşturan etkileri büyük oranda azaltmaktadır.

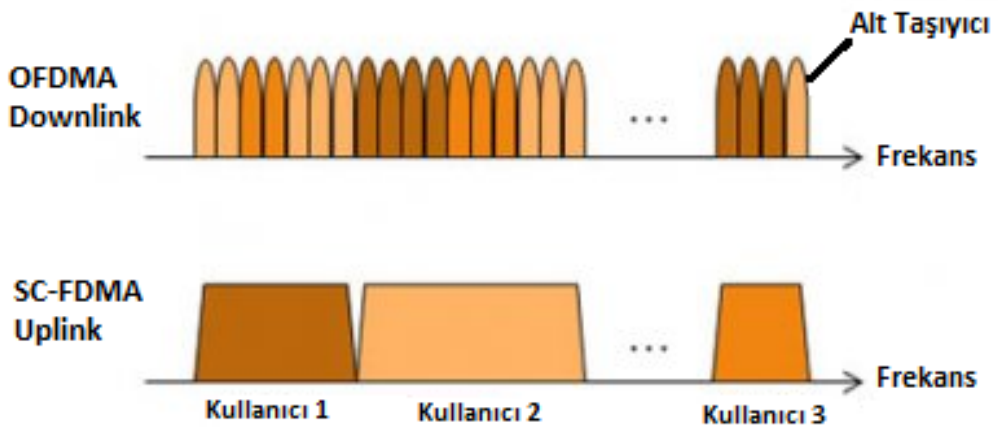
“OFDM'in tercih edilme sebeplerinden birisi de frekans seçici sönmüleme ya da dar bant girişime karşı direnci artırmasıdır. Tek taşıyıcılı bir sistemde bir sönmüleme ya da girişim bütün hattın zayıflamasına neden olurken, çok taşıyıcılı sistemde alt taşıyıcıların sadece küçük bir kısmı bu durumdan etkilenecektir.” [40]

OFDMA, OFDM sayısal modülasyon tekniğinin çok kullanıcılu uyarlamasıdır. Şekil 21’de görüldüğü üzere OFDMA sisteminde iletilen alt taşıyıcıların her biri aynı zaman diliminde farklı kullanıcılara atanabilmektedir. Böylece çoklu kullanıcılar eş zamanlı olarak verileri alabilmektedir.



Şekil 21 - OFDM ve OFDMA Alt Taşıyıcı Yerleşimi

OFDM sisteminde ise tek bir kullanıcı belli zaman dilimlerinde bütün alt taşıyıcılardaki verileri alabilmektedir. Alt taşıyıcılar birbirlerine bitişik alt taşıyıcı gruplarına ayrılmıştır. OFDMA’da kullanıcılara atanan alt taşıyıcı gruplarının birbirleri üzerine binmemesi için aralarında belirli miktar boşluk bırakılmalıdır. OFDMA ve SC-FDMA erişim tekniklerine ait spektrum kullanımı Şekil 22’de gösterildiği gibidir. [34]



Şekil 22 - LTE Erişim Yöntemleri

Şekil 22'de gösterildiği gibi, kullanılabilir bant genişliği karşılıklı dik darbantlı alt taşıyıcılara bölünmekte ve alt taşıyıcılar çok sayıda kullanıcıya paylaştırılmaktadır. Yüksek hızlı işlemciler ve pahalı güç yükselteçleri kullanılmasını ve daha yüksek güç tüketimini gerektirdiğinden OFDMA kullanımı yüksek PAPR oranına sahiptir. Bu durum pil dayanımı bakımından problem yaratan pahalı bir çözümün ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Pil tüketiminin fazla olması şebeke tarafında maliyete etki eden bir faktör olmasa da, kullanıcı cihazlarında önemli bir sıkıntıdır. Bu sebeple uplink yönünde farklı bir çözüm olan SC-FDMA tekniği uygulanmıştır. [34]

“LTE’de uplink yönünde kullanılan SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access - Tek Taşıyıcılı Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) tekniği yeni çoklu erişim tekniğidir. SC-FDMA teknolojisi, yukarı yönlü iletim için uygun hale getirilmiş OFDM teknolojisinin farklı bir biçimidir. SC-FDMA teknolojisi standart OFDM teknolojisinin alıcı verici bloklarını farklı sırada kullanır. SC-FDMA frekans bölgesinde tek taşıyıcılı modülasyonun çok kullanıcıyı uyarlamasıdır. SC-FDMA teknolojisini ana amacı, OFDM teknolojisine göre düşük PAPR (Peak to Average Power Ratio - Tepe Güç/Ortalama Güç Oranı) ile iletimi ortaya çıkarmaktır.” [41]

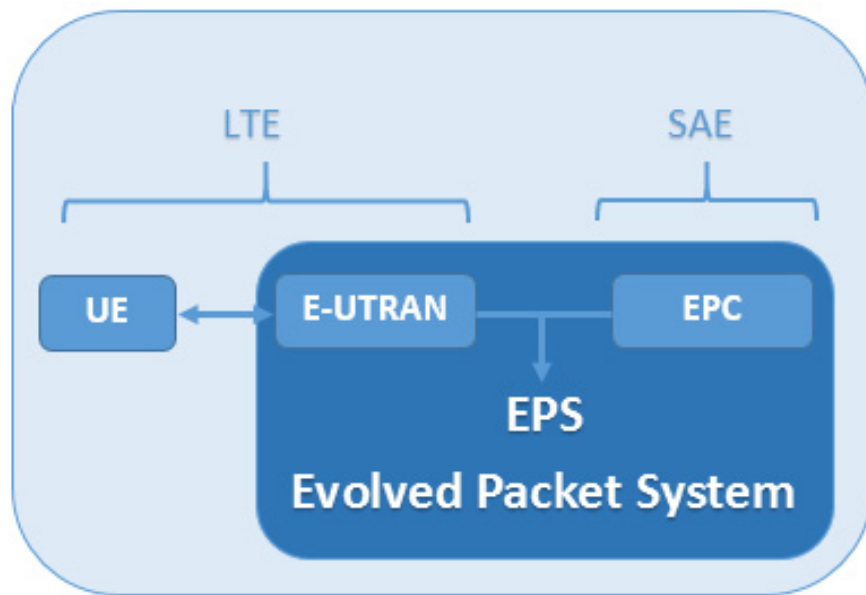
OFDM tekniğinin sağladığı avantajlar özetle aşağıdaki gibidir:

- ✓ Yansımalarından kaynaklanan çok yol etkisine (multipath) karşı başarılıdır.
- ✓ Örtüşmeye izin vererek bant genişliğinin verimliliğini artırır.
- ✓ Sönümlenmeye karşı dayanıklıdır.
- ✓ IFFT, Inverse Fast Fourier Transform (Ters Hızlı Fourier Dönüşümü) ve FFT, Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü) işlemlerini kullandığından gerçekleştirilmesi kolaydır.
- ✓ Sinyallerin demodülasyonunda daha basit eşitleyicilerin kullanılması sonucunda donanım karmaşıklığını önemli ölçüde azaltır.
- ✓ Gelişmiş ve akıllı anten yapılarına (MIMO) daha iyi uyum sağlar.
- ✓ Geniş frekans bandı ve ölçeklenebilir bant genişliği sayesinde pil tüketimi optimize edilir.

3.3.2. LTE Şebeke Yapısı

“LTE daha yüksek hızda veri, daha düşük boyutlarda gecikme, daha geniş spektrum ve optimize edilmiş paket radyo teknolojisi sağlayabilmesi amacıyla şebeke yapısı üzerinde bir takım geliştirmeler yapılmıştır.” [42]

“3GPP tarafından Sürüm 8 ile birlikte LTE şebeke yapısına ait standartların gelişimi iki çalışma nesnesi LTE/SAE (Long Term Evolution/System Architecture Evolution) şeklinde gruplandırılmıştır. Bunlardan LTE (Long Term Evolution) radyo erişim şebekesinin gelişimini hedeflerken, SAE (System Architecture Evolution) ise çekirdek şebekenin gelişimini hedeflemektedir. Bu iki çalışma nesnesinin sonucu olarak E-UTRAN (Evolved UTRAN) ve EPC (Evolved Packet Core) ortaya çıkmıştır.” [42]



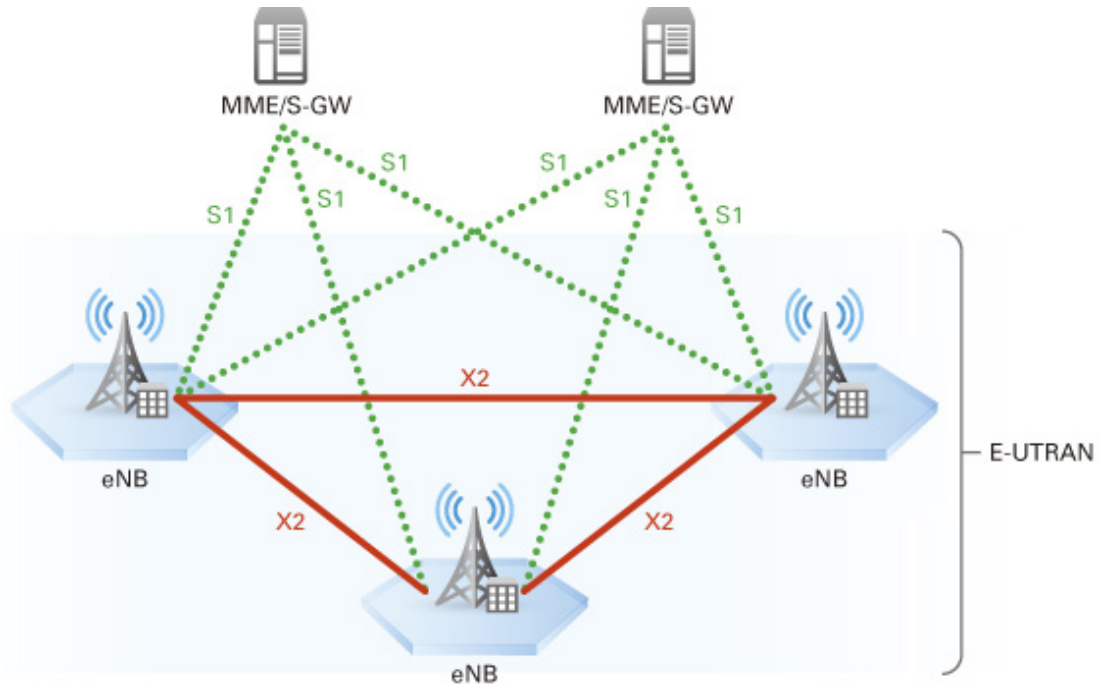
Şekil 23 - LTE Evolved Packet System - EPS

LTE radyo erişim şebekesi (E-UTRAN) ile çekirdek şebekelerinin (EPC) birleşmesi EPS'yi (Evolved Packet System) oluşturmaktadır. EPS tamamen IP tabanlı bir yapıya sahiptir. LTE şebeke yapısını oluşturan EPS, GSM ve UMTS gibi önceki haberleşme sistemlerinden farklı olarak sadece PS (Packet Switched - Paket Anahtarlama) şeklinde geliştirilmiştir. Geleneksel CS (Circuit

Switched - Devre Anahtarlama) hizmetleri paket anahtarlama taşıyıcılarla taşınmaktadır. EPS, ikinci ve üçüncü nesil haberleşme sistemlerinin şebekelerine kıyasla basit bir ağ yapısına sahiptir. Bu sebeple kullanılan düğüm ve arayüz sayısının daha az olması maliyetlerin azaltılmasında önemli bir avantajdır.

3.3.2.1. LTE Radyo Erişim Şebekesi

LTE'de radyo erişim şebekesi E-UTRAN (Evolved UTRAN) ve UE (Kullanıcı Cihazından) oluşmaktadır. Sürüm 8 ile birlikte tanımlanan E-UTRAN, Sürüm 6'ya kıyasla daha basitleştirilmiş bir ağ mimarisine dayanmaktadır.



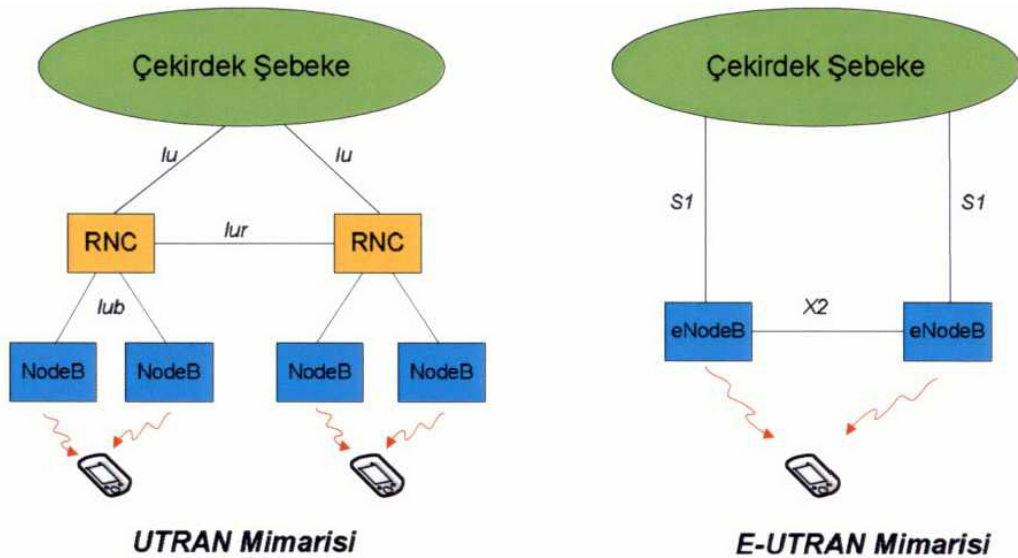
Şekil 24 - LTE E-UTRAN Mimarisi

Şekil 24'de gösterilen E-UTRAN mimarisindeki eNodeB (Evolved NodeB)'ler, evrimleşmiş baz istasyonunu ifade etmektedir. [43] Sürüm 8 ile birlikte X2 ve S1 adında iki yeni hava arayüzü tanımlanmıştır.

“X2 hava arayüzü eNodeB’lerin kendi aralarında birbirlerine bağlanmasını sağlar ve komşu olan eNodeB’lerin birbirlerine bu arayüz üzerinden bağlanması gerekir. S1 arayüzü ise eNodeB ile MME/S-GW arasında olan arayüzdür. Kullanıcı ve kontrol trafiğinin E-UTRAN ve EPC arasında taşınmasını sağlar.” [44]

eNodeB bütün radyo erişim fonksiyonlarını yerine getiren birimdir ve fonksiyonel olarak kullanıcı cihazı ile çekirdek şebeke arasında köprü görevi görür. eNodeB Uu hava arayüzü üzerinden kullanıcı cihazlarına veri gönderimi ve alımından sorumludur. Kullanılan S1 ve X2 arayüzleri sayesinde eNodeB birden çok MME’ye, S-GW’ye ve diğer eNodeB’lere bağlanabilmektedir. Fakat belirli bir terminal belirli bir anda ancak bir eNodeB, MME ve S-GW’ye bağlanabilmektedir.

“Sürüm 8’deki E-UTRAN yapısı ile Sürüm 6’daki UTRAN yapısı ile karşılaştırıldığında bir takım farklılıklar mevcuttur. Üçüncü nesil sistemlerde bulunan RNC (Radio Network Controller) LTE’de bulunmamaktadır. UTRAN mimarisindeki RNC’ye ait fonksiyonlar E-UTRAN’da eNodeB ve diğer şebeke elemanları arasında paylaştırılmıştır. eNodeB’ler doğrudan S1 arayüzü ile çekirdek şebekeye bağlanabilmektedir.” [25]



Şekil 25 - E-UTRAN-UTRAN Karşılaştırması

eNodeB'lerin komşu hücrelerle arasında doğrudan bir bağlantı sağlayan X2 arayüzü sayesinde, el değiştirme işlevinin eNodeB üzerinde yapılmasını sağlayarak mobileden (kullanıcı hareketliliğinden) kaynaklanan paket kayıplarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

LTE radyo erişim şebeke yapısında Kullanıcı Cihazı (User Equipment) UE olarak tanımlanmış olup donanım olarak cep telefonu veya tablet gibi düşünülebilir. LTE'de bant genişliğinin yüksek olmasından dolayı bu donanımlar çok farklı uygulamalara imkân sağlayan akıllı (smart) cihaz sınıfındadır. Kullanıcı cihazı Evrensel Abone Kimlik Modülü (Universal Subscriber Identity Modüle, U-SIM) ve Mobil Cihaz (Mobile Equipment, ME) birleşiminden oluşmaktadır. USIM, mobil ağ bağlantısı için gerekli kimlik doğrulama ve profillerin atanması, izinlerin kontrol edilmesi gibi işlemlerin başlatıldığı noktadır. LTE'de UE için en önemli özellik ses aktarımını VoIP kullanarak gerçekleştirecek olmasıdır.

E-UTRAN, aktif kullanıcı cihazları için her türlü radyo fonksiyonunu yerine getirmekle görevlidir. E-UTRAN'ın üzerindeki önemli fonksiyonlardan bazıları aşağıdaki gibidir. [25], [45]

- ✓ Radyo kaynaklarının yönetimi: radyo kabul kontrolü, radyo taşıyıcı kontrolü, planlama, radyo hareketlilik kontrolü ve UE'lere downlink ve uplink için dinamik olarak kaynak tahsisinin sağlanması gibi işlevleri kapsar.
- ✓ Güvenlik: havada iletilen verilerin kötü niyetli kişiler tarafından ele geçirilmesini engellemek için veri paketlerinin şifrelenmesi ve şifre çözme işlemlerinin yürütülmesi.
- ✓ Veri akışını sağlayabilmek için S1 arayüzü ve LTE-Uu arasındaki veri transfer işlemlerini gerçekleştirmek.
- ✓ Verilerin değiştirilmemesine yönelik veri bütünlüğünü sağlayıcı fonksiyonların yürütülmesini sağlamak
- ✓ Hareketlilik (Mobilite) kontrol fonksiyonlarının yürütülmesi.
- ✓ Veri iletiminde kullanılan kontrol sinyalleri için başlık sıkıştırma işlevi.
- ✓ Radyo iletim ortamının ölçümü ve ölçüm raporlama yapılandırması.

- ✓ Bekleme konumunda, UE'nin eNodeB ile iletişim kurabilmesi için gerekli sinyalleşme mekanizmasının kurulması.
- ✓ Konum bilgisi fonksiyonu ile UE'nin konumuna yönelik bilginin düzenli olarak izlenmesi.
- ✓ Hücreler arasında oluşan enterferansların azaltılabilmesi için hücreler arası koordinasyonun sağlanması.
- ✓ Hücreler arası trafik yük dengesinin sağlanması.
- ✓ Uçtan uca iletişim bağlantısının kurulması ve sonlandırılması işleminin yürütülmesi.
- ✓ NAS mesajlaşması için gerekli dağıtım fonksiyonun sağlanması.
- ✓ UE için MM'/SGW seçimine yönelik NAS düğümlerinin belirlenmesi.
- ✓ Çok sayıda alıcıya aynı verinin gönderilmesini sağlayan MBMS fonksiyonunun sağlanması.

3.3.2.2. LTE Çekirdek Şebeke

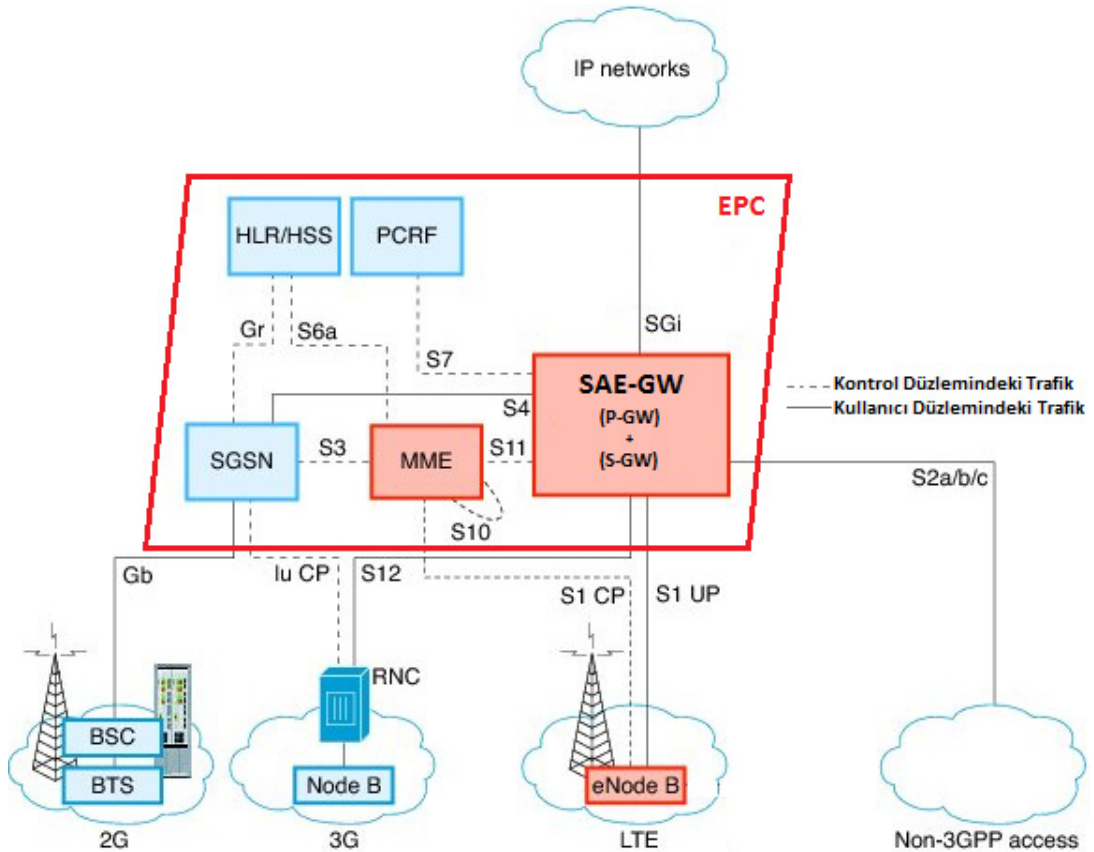
“Çekirdek şebeke, taşıyıcıların sağlanması ve kullanıcı cihazlarının kontrolü başta olmak üzere LTE şebekesinin en önemli kısmıdır. EPC, baz istasyonları ile diğer şebekeler (internet şebekesi, telefon şebekesi vb.) arasındaki bağlantıları yönetir ve sağlar.” [46] EPC'deki en büyük değişiklik devre anahtarlama ile ilgili hiçbir özelliğin olmamasıdır. Bunun yerine önceki sistemlerde olmayan yeni donanımları içeren tamamen yeni bir ağ yapısı oluşturulmuştur. LTE çekirdek şebeke yapısı genel olarak 4 ana bileşene ayrılmaktadır. Bu bileşenler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- MME (Mobility Management Entity)
- SAE-GW (SAE Gateway= Serving Gateway + Packet Gateway)
- PCRF (Policy and Charging Rules Function)
- HSS (Home Subscriber Server)

Ağ yapısında yeni olan birimlerden MME (Mobility Management Entity, Hareket Yönetim Birimi) LTE çekirdek şebekesindeki temel kontrol elemanıdır.

SAE-GW, S-GW (Serving Gateway) ve P-GW (Packet Gateway) olarak adlandırılan iki adet yeni ağ donanım tipinin birleşmesinden meydana gelmiştir. Bunlar kullanıcıdan gelen istekleri ele alan ve uygulama bazlı olarak her şeyin IP üzerinden taşınmasını sağlayan donanımlardır. Bunların yanında PCRF ise uygulama ile ilgili detaylı bilgilerin S-GW'ye ve P-GW'ye atanmasından sorumludur. HSS (Home Subscription Server, Abone Yönetim Merkezi) kullanıcı ile ilgili bütün verileri saklayan donanımdır.

LTE uçtan uca IP tabanlı çekirdek şebekesi olup önceki sistemlere göre daha basit bir mimari yapıya sahiptir. “Şebeke yapısı hali hazırdaki sistem ekipmanlarının kullanılmasına olanak sağlayarak yeni ağ adaptasyonunda masrafları düşürmesi de bir gereksinimdir. LTE teknolojisinde kullanılan düğüm ve arayüz sayısının önceki teknolojiye oranla düşürülmüş olması bu amaca yöneliktir.” [42] LTE çekirdek şebeke yapısı ve bileşenleri arasındaki bağlantılar aşağıda Şekil 26'da gösterildiği gibidir.



Şekil 26 - LTE Çekirdek Şebekesi EPC

- MME (Mobility Management Entity, Hareket Yönetim Aygıtı)

MME, LTE çekirdek şebekesindeki temel kontrol elemanıdır. “Mobilite (Hareketlilik) ve oturum yönetimine ait protokoller MME’de NAS (NonAccess Stratum) aracılığı ile yürütülmektedir. NAS protokolü, bağlantı tabanlı taşıma teknolojisi olan akış kontrol iletişim protokolü üzerinden UE ile MME arasındaki iletişimi sağlar. Mobilite yönetim protokolü ile şebekedeki hareketliliğin ve güvenliğin kontrolü yapılmaktadır.” [25] MME, Kontrol düzleminde çalışır, kullanıcı düzlemi veri yollarına karışmaz. Mantıksal olarak UE’ye bağlıdır ve şebeke ile UE arasında kontrol bağlantısını tutar. MME, aşağıda listelenen hareketlilik ve oturum yönetme işlevlerini idare etmektedir:

- ✓ Kimlik Doğrulama ve Güvenlik: şebekeye ilk defa girdiği zaman önce MME kimlik doğrulamasını başlatır. Kalıcı kimlik bilgilerini önce bulunduğu şebekeden veya kullanıcı cihazının kendisinden ister ardından kalıcı kimlik bilgisi ile abone veritabanı sunucusundan kullanıcı bilgilerini içeren kimlik doğrulama vektörünü ister ve karşılaştırır. Doğrulama bu şekilde yapılmaktadır. UE için şebekeye girişte en uygun S-GW’yi seçer.
- ✓ Hareket Yönetimi: MME servis alanındaki bütün kullanıcı cihazlarının konumlarını saklar. Bekleme konumundaki mobilitenin sağlanması, mobil cihaz boş konumundayken konum bilgisinin takip edilmesi görevleri arasındadır. 3GPP standardı olan ve 3GPP standardı olmayan şebekeler arasındaki mobilitenin yürütülmesi de görev tanımı içerisindedir.
- ✓ Çağrı gönderme ve eNodeB’lere mesajların dağıtılması.
- ✓ Şebekedeki taşıyıcı sinyallerin kontrolü ve yönetimi
- ✓ NAS sinyallerinin bütünlüğünün sağlanması ve şifrenmesi.

- SAE-GW (SAE Gateway= Serving Gateway + Packet Gateway)

SAE-GW fiziksel olarak tek cihaz olarak görülse de aslında S-GW (Serving Gateway) ve P-GW (Packet Gateway) cihazlarının birleşiminden oluşur. SAE-GW, üçüncü nesildeki UTRAN yapısında yer alan GGSN ve SGSN’nin tünel fonksiyonlarının birleştirilmesi ile meydana gelmiştir. Böyle bir işlemin getirdiği üstünlük ise kullanıcı düzlemi ile kontrol düzlemini tamamen

birbirinden ayırmasıdır. SGSN'nin bütün kontrol düzlemi görevleri MME cihazına aktarılmış ve bunun sonucu olarak kontrol düzlemi trafiğinin kullanıcı düzlemi trafiği üzerindeki kısıtlayıcı etkisi tamamen kaldırılmıştır.

S-GW (Serving Gateway), "S1-U arayüzünü kullanarak kullanıcılara ait veri paketlerinin yönlendirilmesi ve iletilmesi işlemlerinden sorumludur. S-GW'de IP veri paketlerinin sıkıştırma, kullanıcı verilerinin şifrelenmesi, kullanıcı düzleminde çağrı ve veri akışının sonlandırılması, UE'nin mobilitesini desteklemek için kullanıcı düzlemindeki anahtarlama işlemleri yürütülmektedir. Ayrıca S-GW yasal zorunluluktan dolayı, UE'nin görüşmelerine yönelik bilgilerin tutulduğu birimdir. S-GW'ler birer uygulama noktası olarak tasarlandıklarından birbirleri arasında iletişim söz konusu değildir. Gerekli bilgilendirmeler ve komutlar MME üzerinden S-GW'ye gelmektedir." [25], [47]

P-GW (Packet Gateway), "şebeke dışındaki paket veri şebekeleri ve işletmecilerin ana mobilite noktalarına bağlanabilmek için kullanılır. UE'lere IP adres ataması bu birim tarafından yapılmaktadır. Yasal zorunluluk gereği paket verilerinin detaylı incelemesinin yapıldığı birimdir. Ayrıca hizmet kalitesi gereklilikleri de P-GW tarafından yürütülmektedir. Bunun yanında paket filtreleme, faturalandırma desteği ve kullanıcı yönetim mekanizması gibi fonksiyonlara sahiptir." [25], [48]

- PCRF (Policy and Charging Rules Function)

"LTE mimarisindeki davranış kuralları ve ücretlendirme kurallarını barındıran çekirdek şebeke bileşenidir. Servis kalitesinin nasıl tutulacağı ile ilgili QoS sınırları içinde karar verir. P-GW ve S-GW'ye davranış kuralları ile ilgili bazı bilgileri sağlar. PCRF genellikle diğer çekirdek şebeke elemanları gibi operatörün anahtarlama merkezlerine yerleştirilmiş bir sunucudur. PCRF her bir uygulama için P-GW servis kalitesi (Qos jitter delay) ve taşıyıcı ayrımı için gerekli parametrelerin atanmasına yarar." [46]

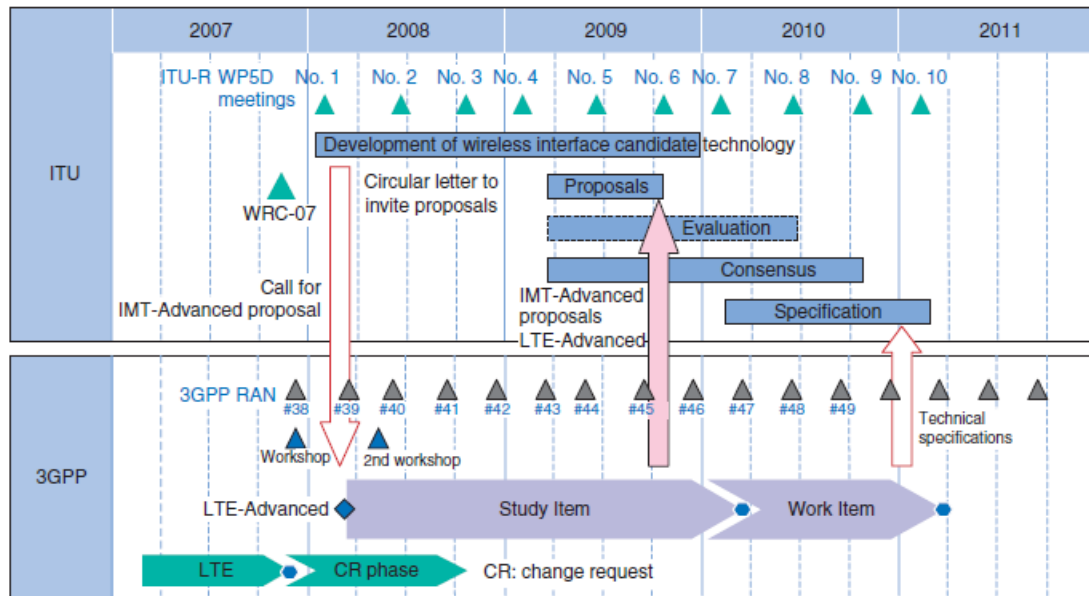
- HSS (Home Subscriber Server)

HSS, bütün kullanıcıların kalıcı bilgilerinin depolandığı bir sunucudur. Genel olarak bir veritabanı gibi düşünülebilir. Kullanıcının profil bilgileri kopyası burada saklanır. Kullanıcıların dolaştıkları şebekenin kontrol düğümleri içerisinde kullanıcıların konumlarını kaydeder. HSS ağıdaki bütün MME'lere

bağlanabilmelidir. Bu şekilde UE bir MME'den diğerine geçişi veya geçmesine izin verilmesini denetler. UE için HSS son kayıt olduğu MME bilgisini tutar. Yeni MME, UE yer değiştirdiğinde HSS'e bildirdikten sonra son MME'den HSS kullanıcı bilgilerini siler.

3.3.3. LTE-Advanced

LTE-Advanced 3GPP tarafından Sürüm 10'da tanımlanarak standartlaştırılan dördüncü nesil mobil haberleşme teknolojisidir. LTE-Advanced, sistem performansı ve yetenekleri açısından LTE radyo erişim şebekesinin evrimleşmiş halini ifade etmektedir. LTE-Advanced için, kendinden önceki 3GPP standartları ile uyumlu olması ve ITU'nün IMT-Advanced için belirlemiş olduğu gereksinimleri karşılaması veya daha ötesine gitmesi hedeflenmektedir. ITU tarafından resmi olarak dördüncü nesil mobil haberleşme sistemi ilan edilen LTE-Advanced, 3GPP sistemlerinin doğal bir evrimi olarak karşımıza çıkmaktadır. LTE-Advanced'a ait zaman çizelgesi aşağıda Şekil-27'de gösterildiği gibidir. [49]



Şekil 27 - LTE-A ve IMT-A Zaman Çizelgeleri

LTE-Advanced için gelişim planı, 2008 yılında ITU-R Working party 5D tarafından IMT-Advanced olarak belirlenen dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi planına paralel bir şekilde ilerleme kaydetmiştir. 2007 yılı sonlarında ilk workshop (çalıştay) düzenlenmesi ile başlayan LTE-A gelişim sürecinde, 2009 yılı sonbaharında ITU'ye teklif gönderilmiş ve onay alınarak 2010 yılında yayınlanan Sürüm 10'da şartname detayları belirtilmiştir. Bu sürece ait önemli adımlar aşağıda Tablo 13'de gösterildiği gibidir.

Tablo 13 - LTE-Advanced İçin Önemli Adımlar

Adımlar	Tarih
İlk Workshop (Çalıştay)	2007 Kasım - Cancun
Çalışma ögesinin onaylanması	NTT DoCoMo
İkinci Workshop	2008 - Shenzhen
Üçüncü Workshop	2008 - Prag
LTE-A Gereksinimi Onayı (TR 36.913 v8.0.0 RAN #40)	2008 - Mayıs
ITU-R WP5D'ye erken önerinin sunumu	2008 - Ekim
ITU-R'ye önerinin tamamlanarak teslimi (WP5D #5)	2009 - Haziran
ITU-R'ye sunulması için onayın alınması RAN TR (TR 36.912)	2009 - Eylül
ITU-R'ye nihai teklif için en son güncelleme (WP5D #6)	2009 - Ekim
Çalışma ögesinin tamamlanması	2010 - Mart
Sürüm 10 için LTE-A şartname onayı	2010 - Aralık
Sürecin dondurulması	2011 - Mart

3GPP tarafından teknik şartname üzerindeki değişiklikler, hata düzeltmeleri ve geliştirmeler ile LTE teknolojisi daha olgun bir yapıya kavuşmuştur. ITU tarafından belirlenen IMT-Advanced gereksinimlerini

karşılatabilmek için LTE üzerinde yapılan geliştirmeler sonucunda LTE-A ortaya çıkmıştır. 3GPP tarafından IMT-Advanced gereksinimleri göz önüne alınarak hazırlanan teknik raporlara göre (TR 36.913) LTE-Advanced teknolojisine ait teknik özellikler Tablo 14’de gösterildiği gibidir. [50]

Tablo 14 - LTE-Advanced Teknik Detaylar ve IMT-A Gereksinimleri

		IMT-Advanced Gereksinimleri (M.2134)	LTE- Advanced Gereksinimleri (TR 36.913)
Tepe Veri Hızı	Downlink	1 Gbps	1 Gbps
	Uplink		500 Mbps
Gecikme Süresi	Kullanıcı Düzleminde	<10 ms	<10 ms
	Kontrol Düzleminde	<100 ms	<50 ms
Spektral Verimlilik (bit/s/Hz/hücre)	Tepe DL Hızı	15 (4x4)	30 (8x8)
	Tepe UL Hızı	6.75 (2x4)	15 (4x4)
	Ortalama DL Hızı	2.2 (4x2)	2.4 (2x2)
			2.6 (4x2)
	Ortalama UL Hızı	1.4 (2x4)	1.2 (1x2)
			2.0 (2x4)
Hücre Kenar DL Hızı	0.06 (4x2)	0.07 (2x2)	
		0.09 (4x2)	
Hücre Kenar UL Hızı	0.03 (2x4)	0.12 (4x4)	
		0.04 (1x2)	
		0.07 (2x4)	
VoIP Kapasitesi (Aktif Kullanıcı/sektör/MHz)		40	80
Spektrum Tahsisi		40 Mhz’e kadar	100 Mhz’e kadar
Hareketlilik (Mobilite)		350 km/h’e kadar	350 km/h’e kadar

Sürüm 10'da tanımlanan 8x8 ve 4x4 MIMO çoklu anten kullanımı durumunda LTE-Advanced'da elde edilen downlink (1000 Mbps) ve uplink (500 Mbps) değerleri IMT-Advanced gereksinimlerini karşılamaktadır. LTE-Advanced bu yüksek veri hızlarına erişirken spektral verimlilik açısından, Tepe Downlink hızı 8x8 anten yapılandırmasında 30 (bit/s/Hz/hücre), Tepe Uplink hızı 4x4 anten yapılandırmasında 15 (bit/s/Hz/hücre) değerlerine ulaşmaktadır. Yayalar ve 500m uzaklığa kadar olan kapsama alanı 3GPP tarafından kentsel kapsama alanı içerisine dahil edilmiş olup, bu senaryoya göre kullanıcıların ortalama downlink hızı 2.4 (bit/s/Hz/hücre, 2x2 MIMO), 2.6 (bit/s/Hz/hücre, 4x2 MIMO), 3.7 (bit/s/Hz/hücre, 4x4 MIMO) olmaktadır. 10 kullanıcıya sahip benzer senaryo için, hücre kenar kullanıcılarına ait spektral verimliliği değerlendirecek olursak downlink hızı 0.07 (bit/s/Hz/hücre/kullanıcı, 2x2 MIMO), 0.09 (bit/s/Hz/hücre/kullanıcı, 4x2 MIMO), 0.12 (bit/s/Hz/hücre/kullanıcı, 4x4 MIMO) olmaktadır.

Kontrol düzlemindeki gecikme süresi LTE-Advanced'a göre 50ms'den daha az bir değerdedir. Kullanıcı düzlemindeki gecikme ise 10 ms'den daha azdır. VoIP kapasitesinde tüm anten yapılandırmaları için önemli iyileştirmeler yapılmıştır. LTE-Advanced'da sistem bant genişliği farklı bant genişliklerinde çalışabilecek ölçeklenebilir yapıya sahiptir. LTE-Advanced, 100 Mhz dâhil olmak üzere (tek veya birden fazla taşıyıcı desteği ile) bu bant genişliğini desteklemektedir. Daha geniş bir spektrumun ihtiyaç olması durumunda 20 Mhz'lik taşıyıcılar bir araya gelerek istenilen bant genişliği sağlanmış olur. LTE-Advanced'da hareketlilik (mobilité) ve kapsama alanı gereksinimleri Sürüm 8'de tanımlanan LTE ile aynıdır. Ayrıca LTE-Advanced, LTE ve önceki 3GPP sürümleri ile geriye dönük uyumluluğu ve beraber çalışmayı garanti eder.

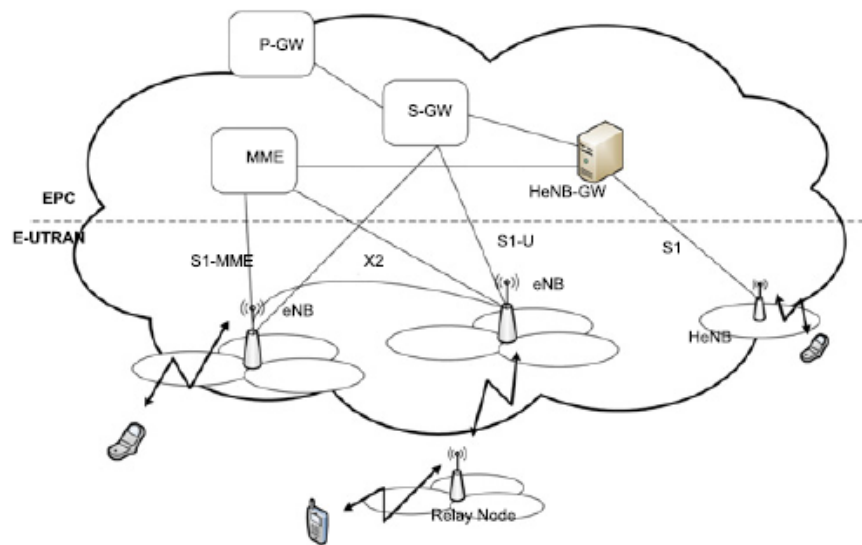
Sürüm 10 ile birlikte Kullanıcı Cihazı (UE) Kategorilerine ilaveler olmuştur. Sürüm 8'de, Sürüm 10'da bu sayı 8'e çıkmıştır. UE Kategorileri cihazların yetenekleri ve kapasitelerini bildirmektedir. Örneğin LTE-Advanced ile yeni eklenen kategori UE kategori sayısı 5 iken 6 ve kategori 7 sınıfı cihazlar 2x2, 4x4 MIMO anten yapılandırmasını destekler ve 300 Mbps teorik hızlara ulaşmaktadır. Kategori 8 ise en yüksek veri hızına ulaşmaktadır. 8x8 MIMO anten yapılandırması ve beş taşıyıcının bir araya gelmesi ile 3 Gbps gibi

yüksek hıza ulaşmaktadır. Uplink yönünde UE Kategori 8, 4x4 MIMO ve 64QAM modülasyonunu kullanarak 1.5 Gbps veri hızına ulaşmaktadır. [51]

3.3.4. LTE-Advanced Şebeke Yapısı

3GPP tarafından yeni nesil ağlar için ortak hizmet verecek şebeke yapısının bileşenleri ve teknik detayları Sürüm 8 ile birlikte belirtilmiştir. LTE ve SAE çalışma öğeleri altında şebekenin gelişimi planlanmıştır. LTE (Long Term Evolution) radyo erişim şebekesinin gelişimini hedeflerken, SAE (System Architecture Evolution) ise çekirdek şebekenin gelişimini hedeflemektedir. Bu iki çalışma nesnesinin sonucu olarak E-UTRAN (Evolved UTRAN) ve EPC (Evolved Packet Core) ortaya çıkmıştır. E-UTRAN ve EPC ikisi birlikte EPS mimarisini oluşturmaktadır. EPS mimarisine ait detaylı bilgiler Bölüm 3.3.2'de bahsedilmiştir.

Dördüncü nesil mobil haberleşme sistemleri, radyo erişim şebekesi ve çekirdek şebekenin yeniden tanımlanarak gelişimini ifade etmektedir. Fakat bugüne kadar çekirdek şebeke yapısında köklü değişiklikler olmamıştır. Bu nedenle bu bölümde E-UTRAN mimarisi ve Sürüm 9 ile Sürüm 10'daki LTE-Advanced sistemleri için tanımlanan işlevleri üzerinde durulacaktır.



Şekil 28 - LTE-Advanced E-UTRAN Yapısı

E-UTRAN yapısının merkezinde eNodeB (eNB) yer almaktadır. X2 hava arayüzü ile komşu eNodeB'ler ile birbirlerine bağlanırken, S1 hava arayüzü ile çekirdek şebekeye bağlantı sağlar. Ayrıca Home eNodeB (HeNB, femtocell), kapalı alan kapsama alanının iyileştirilmesi için daha düşük maliyetli çözümler sunar. HeNB doğrudan çekirdek şebekeye bağlanabildiği gibi bir veya daha fazla ağ geçidi (HeNB-Gateway) ile de çekirdek şebekeye bağlanabilir. Ayrıca şebeke performansını artırmak için Rôle düğümlerini kullanmak çözümlerden bir tanesidir. Tüm bu yeniliklerin amacı kapsama alanının genişletilerek, daha yüksek hızlarda, daha iyi hizmet kalitesi sunarak, adil bir şekilde kullanıcılar arasında paylaşmaktır. Şebeke yapısında kullanıcı düzleminde yer alan protokoller:

- ✓ PDCP (Packet Data Convergence Protocol),
- ✓ RLC (Radio Link Control),
- ✓ MAC (Medium Access Control) ve
- ✓ PHY (Physical Layer) protokolleridir.

Kontrol düzleminde ise RRC (Radio Resource Control) protokolü yer almaktadır. LTE-Advanced için, 3GPP tarafından daha önce LTE için ayrılmış frekans bantlarına ilave olarak, IMT-Advanced gereksinimlerini karşılamak üzere 100 Mhz bant genişliği kullanımı dikkate alınarak aşağıdaki frekans bantları tahsis edilmiştir.

- ✓ 450 - 470 Mhz Bandı, (Küresel kullanıma açık)
- ✓ 698 - 862 Mhz Bandı, (Bölge 22, bölge 3 ve 9 ülke için tanımlı)
- ✓ 790 - 862 Mhz Bandı, (Bölge 1 ve Bölge 3 için tanımlı)
- ✓ 2.3 - 2.4 Ghz Bandı, (Küresel kullanıma açık)
- ✓ 3.4 - 4.2 Ghz Bandı, (3.4-3.6 Ghz arası pek çok ülke için tanımlı) ve
- ✓ 4.4 - 4.99 Ghz Bandı.

LTE-Advanced, Sürüm 8'de tanımlanan LTE'ye göre daha geniş frekans spektrumunu ölçeklenebilir bir yapıda tahsis edilmesini amaçlar. Bant genişliği çözümü için esas olan 20 Mhz'den daha büyük frekans bantlarının ardışık kullanılmasıyla elde edilecek daha büyük frekans bantlarıdır. Ancak LTE-Advanced için taşıyıcı toplaması uygulanırken, kullanıcı cihazı (UE)

tarafındaki karmaşıklık dikkate alınmalıdır. FDD ve TDD çoklama yöntemlerinde frekans bantlarının bu çözümü desteklemesi gerekmektedir.

3.3.5. LTE-Advanced Yenilikleri

3GPP tarafından Sürüm 10 ile birlikte LTE-Advanced için geliştirilen sistem performansını arttırmaya yardımcı bir takım yeni teknolojiler mevcuttur. Şekil 29'da gösterildiği gibi bunlardan bazıları: Taşıyıcı Toplama (Carrier Aggregation), Gelişmiş MIMO Anten Teknikleri (Advanced MIMO Techniques), Heterojen Ağlar (Heterogeneous Networks, HetNet), Röle Dğümleri (Relay Nodes), Koordineli Çok Nokta Sinyal İletimi ve Alımı (Coordinated Multipoint (CoMP) Transmission And Reception) gibidir.

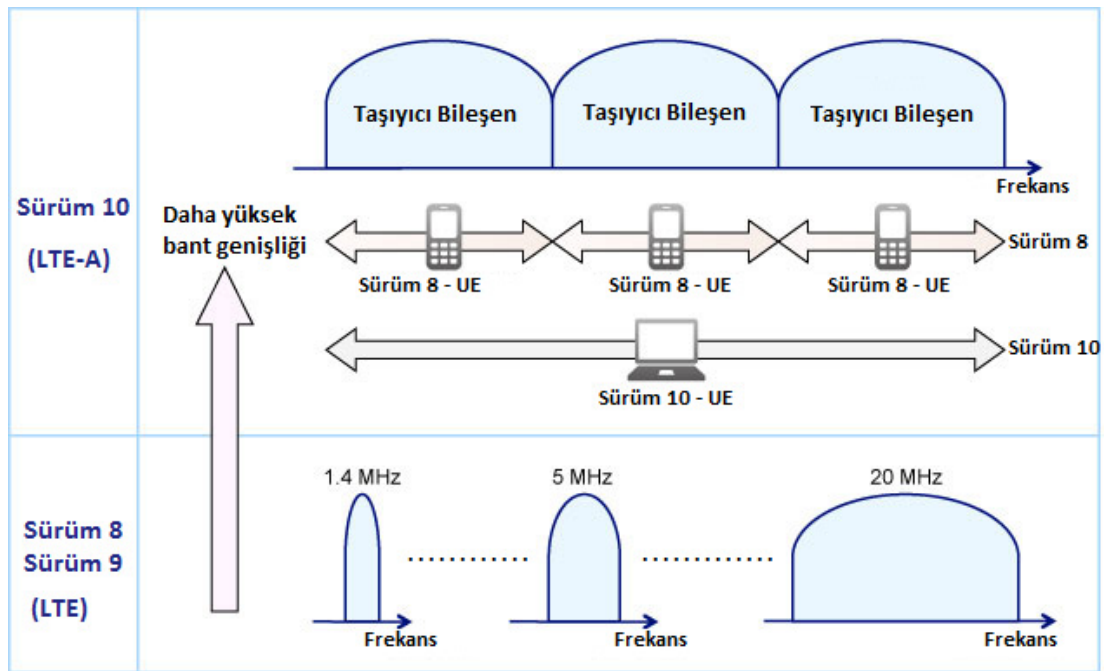


Şekil 29 - LTE-Advanced'a Ait Önemli Teknolojiler

LTE-A, daha fazla spektrum ve çoklama özellikleri sayesinde daha yüksek veri hızına ulaşması, Koordineli Çoklu Nokta Aktarımı (CoMP) sayesinde de sistem kapasitesinin artan veri hızıyla daha kolay başa çıkması hedeflenmektedir. Bu bölümde Şekil 29'da gösterilen LTE-Advanced'a ait önemli teknolojiler tek tek ele alınacaktır.

✓ Taşıyıcı Toplama (Carrier Aggregation)

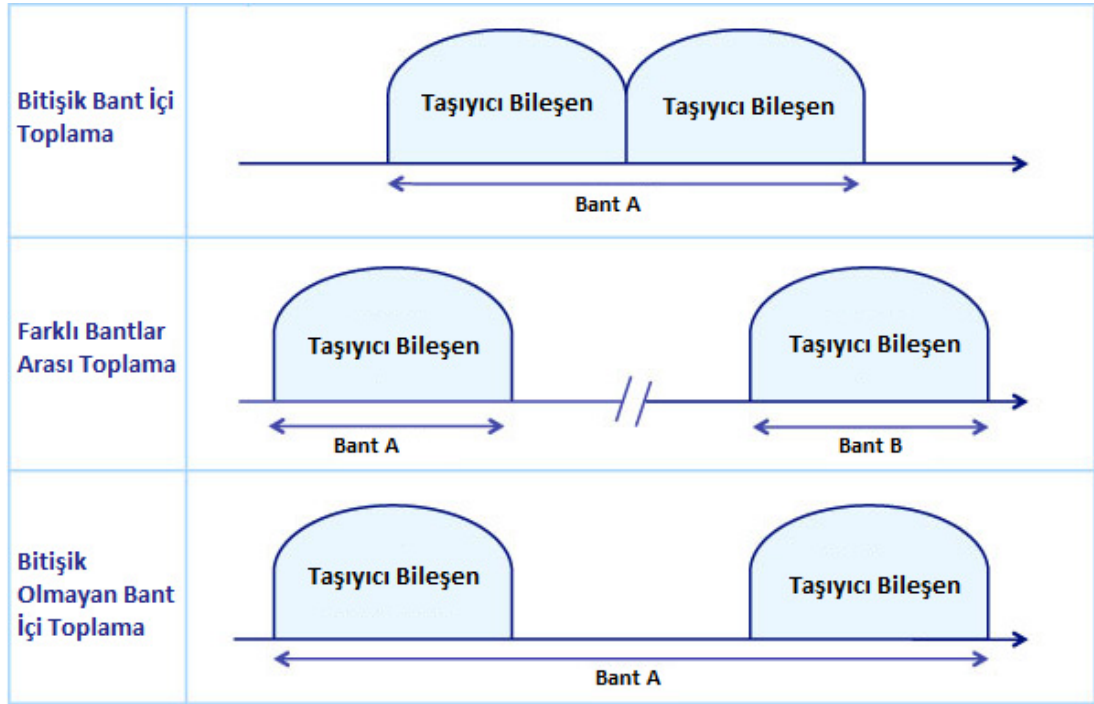
Dördüncü nesil ve gelecek nesil sistemler için, LTE'de desteklenen bant genişliklerinden çok daha fazlasına ihtiyaç duyulduğundan LTE-Advanced'da taşıyıcı toplama ihtiyacı ortaya çıkmıştır. LTE-Advanced'in IMT-Advanced için tanımlanan gereksinimleri karşılayabilmesi açısından taşıyıcı frekansların toplanarak senkronize çalışabilmeleri kritik bir teknolojik yeniliktir. Bu yenilik ile 20 Mhz'den daha büyük bant genişliklerini destekleyebilmek için iki veya daha fazla taşıyıcı sinyalin LTE-Advanced'da toplanabilmesi, yani tek bir taşıyıcı frekans tarafından spektrumun daha geniş bir bölümünün kullanılabilmesi mümkündür.



Şekil 30 - LTE-Advanced Taşıyıcı Toplama

Şekil 30'da görüleceği üzere Sürüm 8'de genel çerçevesi çizilmiş LTE mobil cihazları, frekans spektrumunu esnek kullanarak (1.4 Mhz – 20 Mhz) tek taşıyıcı frekans üzerinden veri alma gönderme yapacak şekilde tasarlanmışlardır. LTE-Advanced ile birlikte Sürüm 10'da 20 Mhz'lik taşıyıcıların toplanması ile arzu edilen daha yüksek bant genişliğine ulaşılmaktadır. Yüksek hızlara ulaşmak için Sürüm 10'u destekleyen kullanıcı

ekipmanları (UE) bulundurulmalıdır. 20 Mhz bant genişliğinin ötesinde sinyalleri alma kabiliyetine sahip LTE-Advanced yongalı mobil cihazlar çoklu taşıyıcı sinyaller üzerinden veri alış verişi yapabilmektedir. [52]



Şekil 31 - LTE-Advanced Taşıyıcı Toplama Çeşitleri

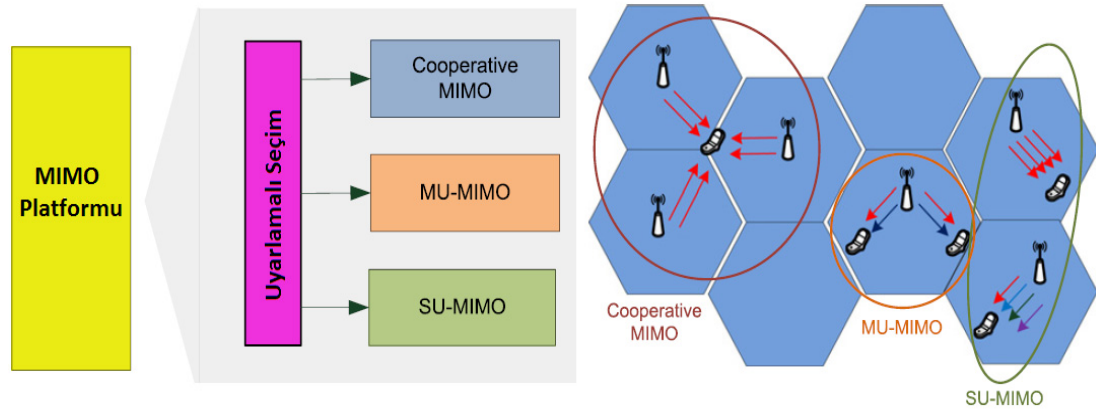
Şekil 31’de gösterildiği gibi LTE-Advanced’da taşıyıcı toplama işlemleri 3 farklı şekilde olmaktadır. Bunlar aynı frekans bandında yan yana olan taşıyıcılar için “Bitişik Bant İçi Toplama”, aynı frekans bandında fakat bitişik olmayan taşıyıcılar için ”Bitişik Olmayan Bant İçi Toplama” ve farklı frekanslarda bulunan taşıyıcılar için “Farklı Bantlar Arası Toplama” şeklindedir.

✓ Gelişmiş MIMO Anten Teknikleri (Advanced MIMO Techniques)

Çoklu Giriş, Çoklu Çıkış (Multiple-Input Multiple-Output, MIMO) anten uygulamaları alıcı ve verici tarafta birden fazla antenin kullanılması anlamına gelmektedir. Dördüncü nesil mobil sistemler ve gelecek nesil sistemler için MIMO anten kullanımı kilit bir tol üstlenmektedir. Gelecek nesil hücreli sistemler için çok fazla sayıda kullanıcıya çok yüksek veri iletim hızları sağlamak için MIMO tekniği yararlı bir araç olarak ön plana çıkmaktadır.

Gelişmiş MIMO tekniği ITU-R tarafından belirlenen IMT-Advanced gereksinimleri karşılamak için LTE-Advanced'in ana unsurlarından biri olarak kabul edilir. Uzaysal çeşitleme (spatial diversity) ve uzaysal çoğullama (spatial multiplexing) gibi yenilikler zaten Sürüm 8'deki LTE'de tanımlanmıştır. Bununla birlikte sistem performansını artırmak için tepe, ortalama ve kenar hücre kullanıcılarının spektral verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Performans geliştirmek için söz konusu teknikler, radyo kanalına ait belirli bir düzeyde Kanal Durum Bilgisine (Channel State Information, CSI) ihtiyaç duyarlar. Kullanıcı cihazı ve baz istasyonu arasında CSI bilgisi geri bildirim yapılarak paylaşılmaktadır.

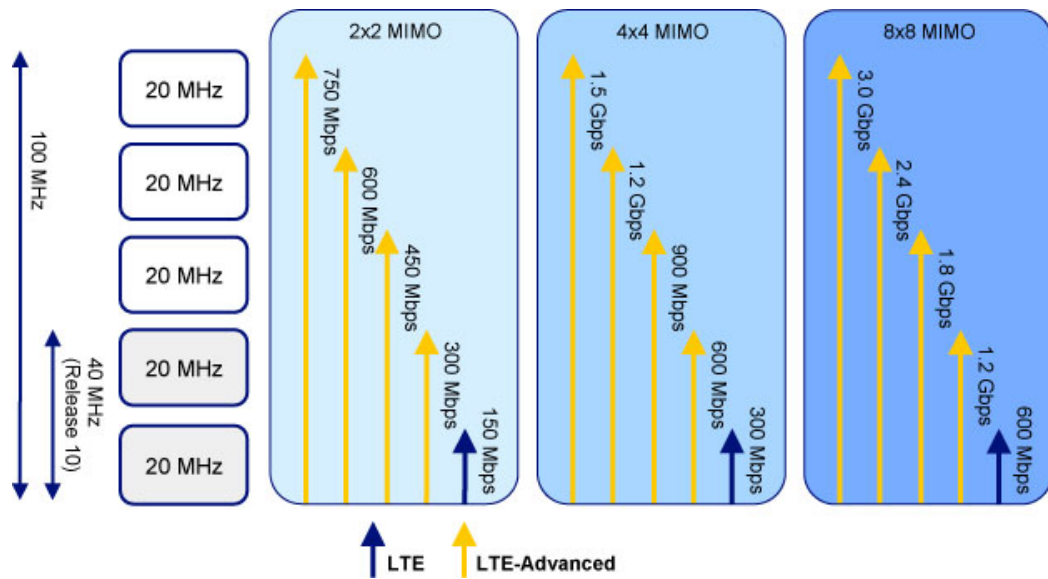
Gelişmiş MIMO kavramı uyarlanabilir çok modlu bir çerçeve olarak tasarlanmıştır. Gelişmiş MIMO sayesinde, istenilen duruma göre sistem düzenine en uygun MIMO modu seçilerek daha yüksek veri hızına ve kapsama alanına ulaşılmış olur. Uyarlama stratejisi, baz istasyonundan gelen geri bildirim mekanizması sayesinde farklı kanallara ait CSI ölçüm değerlerine göre seçilmektedir.



Şekil 32 - LTE-A MIMO Modelleri ve Uyarlamalı Anahtarlama

Şekil 32'de gösterildiği gibi LTE-Advanced'da kullanılan ana MIMO modelleri ve uyarlamalı anahtarlama düzeni şekildeki gibidir. Bunlardan Cooperative MIMO, çok noktalı sinyal iletimi ve alımı olarak da bilinir ve Koordineli Çok Nokta Sinyal İletimi ve Alımı (CoMP) başlığında detaylandırılacaktır. SU-MIMO, Uzaysal çeşitleme (spatial diversity) ve

uzaysal çoğullama (spatial multiplexing) tekniklerini veri iletiminde kullanır. Şekil 33, LTE-Advanced için downlink yönünde hızları taşıyıcı toplama ve gelişmiş MIMO özellikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Downlink yönünde anten sayısını artırarak 8x8 MIMO modunda 100 Mhz bant genişliğinde tek bir kullanıcı için en yüksek tepe veri hızına (3 Gbps) erişmek mümkündür. Benzer şekilde uplink yönünde 4x4 MIMO modunda en yüksek veri hızına erişmek mümkündür. [52]



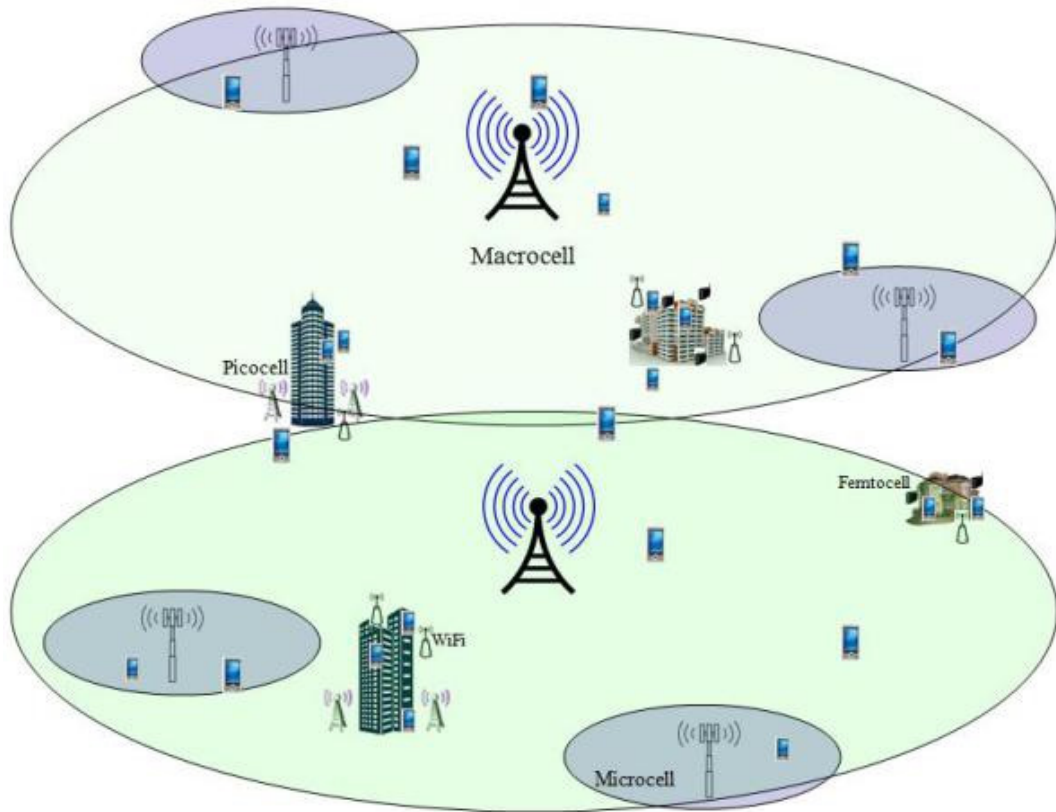
Şekil 33 - LTE-A Downlink Hızları (Taşıyıcı Toplama ve Gelişmiş MIMO)

✓ Heterojen Ağlar (Heterogeneous Networks - HetNet)

Gelecek nesil mobil haberleşme sistemlerinde farklı türde birden fazla ağın iç içe çalıştığı en genel ağ (networks of networks) yapısı hedeflenmektedir. Bu ağ kavramının içinde:

- Femtocell, (HeNBs), Picocell (metrocell) ve macrocell gibi 10m den 50km'ye kadar kapsama alanı çeşitliliğinde,
- Farklı frekans bantlarında çalışan,
- Wi-Fi, 2G, 3G ve 4G gibi farklı teknolojileri destekleyen,
- Kablosuz ağlar arasında geçiş özelliğine sahip ağ yapısı içermektedir.

Heterojen Ağlar (HetNet), Şekil 34'de gösterildiği gibi LTE-Advanced şebekesinde büyük ölçekli makro eNodeB'lerin yanında piko hücre, mikro hücre, röle ve femto gibi şebeke elemanlarının kullanılacağı anlamına gelmektedir. Şebeke içerisindeki farklı kapasite ve kapsama gereksinimlerinin heterojen ağların uygulanması ile karşılanabileceği düşünülmektedir. [53]



Şekil 34 - LTE-Advanced Heterojen Ağlar

Heterojen Ağlar makro ölçekteki eNodeB'ler ile küçük hücrelerin ortak kanal dağıtımını için ideal bir çözümdür. Yerel küçük bir hücrenin sinyalleri kolaylıkla büyük ölçekli makro hücreler ile arasında enterfere oluşturabilir. Sürüm 10'da tanımlanan LTE-Advanced teknolojisi parazitlerin azaltılması için Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC) denilen çözüm uygular. eICIC hücre katmanları arasında koordinasyonu sağlayarak kanalda olası bir parazitlenmenin önüne geçer.

HetNet, yüksek yoğunluklu küçük hücreler ile makro hücreler arasında frekans paylaşımı durumunda sistem kapasitesi ve kapsama alanı açısından gelişme sağlamaktadır. Yüksek yoğunluklu alanların bölünerek daha küçük hücreler halinde kapsanması yatırım maliyetleri ve işletme giderleri (CAPEX, OPEX) açısından daha ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Femto, piko gibi hücreler ile baz istasyonlarının sayısı arttıkça şebekenin konfigürasyon ve bakımları daha da önemli hale gelmektedir. SON özelliği sayesinde baz istasyonları kendi aralarında ve çekirdek şebeke ile iletişim halinde kalarak sistemi otomatik bir şekilde optimize ederler.

✓ Röle Düşümleri (Relay Nodes)

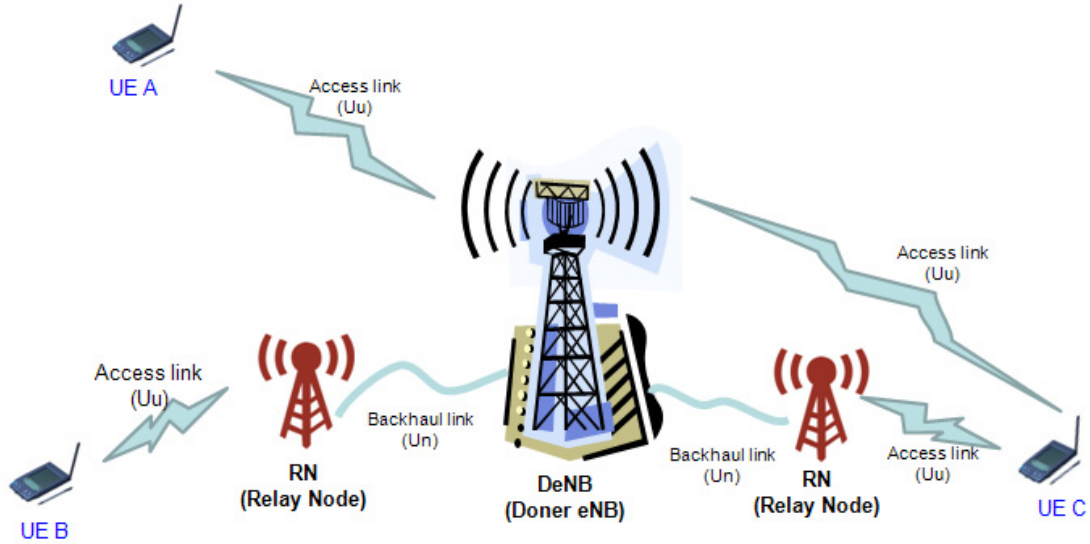
Röle düşümü (Relay Nodes, RN), LTE'deki kapsama alanı ve verimliliği arttırmak için geliştirilmiş LTE-Advanced şebeke elemanlarından bir tanesidir. 3GPP'ye göre LTE-Advanced'da röle düşümü kullanımı aşağıdaki gelişmeleri sağlayacaktır. [54] Bunlar:

- Yeni kapsama alanları sağlamak,
- Geçici ağ dağıtımı,
- Kenar hücre verimliliği,
- Yüksek veri hızına sahip kapsama alanları ve
- Grup hareketliliği.

Röle düşümü uygulaması ile kullanıcı cihazı (UE) ve baz istasyonu (eNodeB) arasında sinyalleşme ve trafik bilgilerinin taşınmasını mümkün kılar. Röle düşümü ile kapsama alanının iyi olmadığı kırsal alanlar gibi hücre kenarına yakın noktalardan hizmet almakta olan tüketiciler için hizmet kalitesinin yükseltilmesi ve hücre kapsama alanının genişletilmesi sağlanmış olur. Bu sayede eNodeB sayısının azaltılarak yatırım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Röleler, düşük güç tüketiminde çalışan baz istasyonlarına benzetilebilir. Ayrıca rölenin karmaşıklığı eNodeB'ye göre daha az olduğundan maliyetlerin azaltılmasına katkı sağlar.

Rölenin eNodeB ile UE arasında hangi noktada konumlandırılacağı önemlidir. Röle en uygun noktada konumlandırılıp kullanıldığı takdirde TX güç tüketimini azaltabilir. Güç tüketiminin azalması yol kaybının önlenmesi de

yardımcı olur. Hücre kenarındaki kullanıcılar için kapsama alanının artırılması ile mobilite ve veri hızının artması, hücre içinde kapsanmayan ölü alanların kapsanması gibi avantajları sağlar.



Şekil 35 - LTE-Advanced Röle Düğümleri

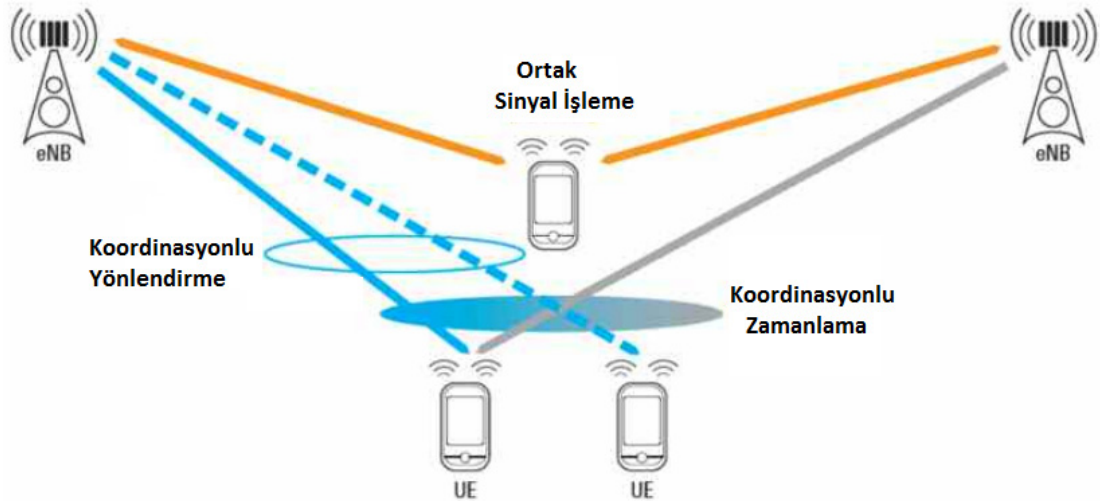
Röle düğümleri radyo erişim şebekesine verici bir hücre (Doner eNB, DeNB) aracılığı ile bağlıdır. Şekil 35’de görüldüğü gibi Röle düğümü eNodeB’ye “Un” arayüzü ile bağlanırken, kullanıcı cihazları röle düğümüne “Uu” arayüzü ile bağlanmaktadır. [55]

Röle tipleri protokol yığınları içerisinde katmanlarına göre üçe ayrılmaktadır. Bunlardan Katman 1 (L1) Röle: “Güçlendir ve İlet” röleler olarak bilinir. Basit bir yapıya sahip L1 rölesi, ortamdan aldığı iletişim sinyallerini güçlendirerek bağlı olduğu eNodeB’ye aktarır. Güçlendirme sırasında havadan alınan hedef sinyalin yanında, gürültü ve enterferans sinyalleride güçlendirir. Önemli olan rölenin gönderme/alma yönü ile iletim altyapısı arasındaki yalıtımın çok iyi olması gerekir. Aksi durumda rölenin kendi kendine osilasyon yapmasına sebep olur. Katman 2 (L2) Röle: kod çözme ve iletim işlemlerini yürütür. İletim performansını optimize edebilmek için daha esnek bir işlem serbestliğine sahiptir. Havadan alınan RF (Radio Frequency) sinyalin içerisindeki veri paketleri alınıp işlenir ve bir sonraki düğüme gönderilir. L2 tip

röle bu özelliği sayesinde L1 rölede olduğu gibi havadan aldığı gürültü ve enterferans sinyalleri güçlendirip bir sonraki düğüme göndermez. Böylece sinyal kalitesinin artırılmasını ve link performansının daha yüksek olmasını sağlar. Katman 3 (L3) Rölesi L2 rölesi ile aynı özelliklere sahiptir. Şebekeye kurulum sırasında daha az düzenleme yapılmasını sağlar. [25]

✓ Koordineli Çok Nokta Sinyal İletimi ve Alımı (CoMP)

Koordineli Çok Nokta Sinyal İletimi ve Alımı (CoMP, Coordinated Multipoint Transmission And Reception) yaklaşımında, hücrelerin kesişim noktalarında bulunan kullanıcı cihazları (UE) aynı anda birden fazla hücreden sinyal alabilmekte ve aynı şekilde hücrelerin trafik yüküne bakılmaksızın UE'den birden fazla hücreye sinyal gönderilebilmektedir. [25]



Şekil 36 - LTE-A Koordineli Çok Nokta Sinyal İletimi ve Alımı (CoMP)

Koordinasyon işlemi CoMP uygulamasının temelini oluşturmaktadır. Hücreler arası koordinasyonun sağlanması durumunda downlink kapasitesi önemli ölçüde artırılabilir. Uplink tarafı dikkate alındığında, hücreler arası görev programlamasının koordine edilmesi ile birçok hücre tarafından alınan aynı sinyalin oluşturacağı istenmeyen etkiler link performansını önemli ölçüde arttıracak şekilde avantaja dönüştürülebilmektedir. [25]

3.4. MOBILE WiMAX 2 (IEEE 802.16m)

WiMAX, (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Mikrodalga Erişimi için Evrensel Uyumluluk) teknolojisi IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) tarafından standartlaştırılan sabit, taşınabilir ve mobil erişimleri destekleyen bir genişbant kablosuz erişim teknolojisidir. WiMAX, IEEE WirelessMAN (Wireless Metropolitan Area Network, Kablosuz Metropol Alan Ağı) kategorisine bağlı 802.16 çalışma grubu tarafından 2001 yılında standartları belirlenmiştir. WiMAX'ın bu ilk sürümü sabit ortamlar için tasarlanırsa da 2003, 2004, 2005 ve sonraki sürümlerinde şebeke üzerinde yapılan değişiklikler ve geliştirmeler ile mobil sürümleri de ortaya çıkmıştır. WiMAX ile yüksek veri iletim hızlarında geniş kapsama alanlarında çok sayıda kullanıcıya hizmet verilmesi amaçlanmıştır.

WiMAX, WirelessMAN teknolojisine dayanan, geniş bir alan üzerinde IP tabanlı kablosuz erişim hizmeti sunan bir teknolojidir. WiMAX, alternatif veya tamamlayıcı geniş bant erişim ağlarını oluşturmak için ölçeklenebilir bir platform sunmaktadır. WiMAX kullanıcılarına genişbant kablosuz erişim sunmak amacıyla, mevcut kablolu (sabit) internet teknolojilere (Kablolu Modem, DSL, T1 bağlantılarına) alternatif olarak tasarlanan WiMAX, Ethernet (802.03) standardının kablosuz hali olarak da düşünülebilir. Bu yönüyle WiMAX, Wi-Fi (Wireless Fidelity, 802.11) standardına benzemektedir. WiMAX Wi-Fi'ye göre çok daha geniş kapsama alanına sahip olup, daha fazla kullanıcıya geniş bant kablosuz erişim hizmeti sunmaktadır. WiMAX, geleneksel kablolu altyapının olmadığı veya kurulmasının zor olduğu kırsal alanlar gibi uzak noktalardan hizmet almakta olan tüketiciler için genişbant kablosuz erişim hizmetine ulaşma imkânı sunar.

WiMAX şebekelerinin uçtan uca IP tabanlı bir yapıda olmasından dolayı yatırım ve işletme maliyetleri benzer şebekelere göre daha düşüktür. Bu durum yatırım riskini küçültmekte, birlikte çalışabilirliğini ve donanım maliyetinin küçülmesini sağlamaktadır. WiMAX standartları görüş hattında olan (LOS, Line Of Sight) veya olmayan (NLOS, Non Line Of Sight), noktadan noktaya,

noktadan çok noktaya ve çok noktadan çok noktaya uygulamalarını desteklemektedir. Bölüm 2.6.1'de anlatılan MIMO (Multiple Input Multiple Output) ve Bölüm 3.3.1'de anlatılan OFDM teknolojileri WiMAX'in temelini oluşturmaktadır. WiMAX ve LTE-A dahil olmak üzere dördüncü nesil haberleşme sistemleri OFDM ve MIMO tekniklerini kullanarak yüksek sistem kapasite ve hızlarına ulaşmaktadır. WiMAX, geniş bant kablosuz erişim için MAC (Medium Access Control) ve PHY (Physical Layer) katmanlarının özelliklerini kapsamaktadır.

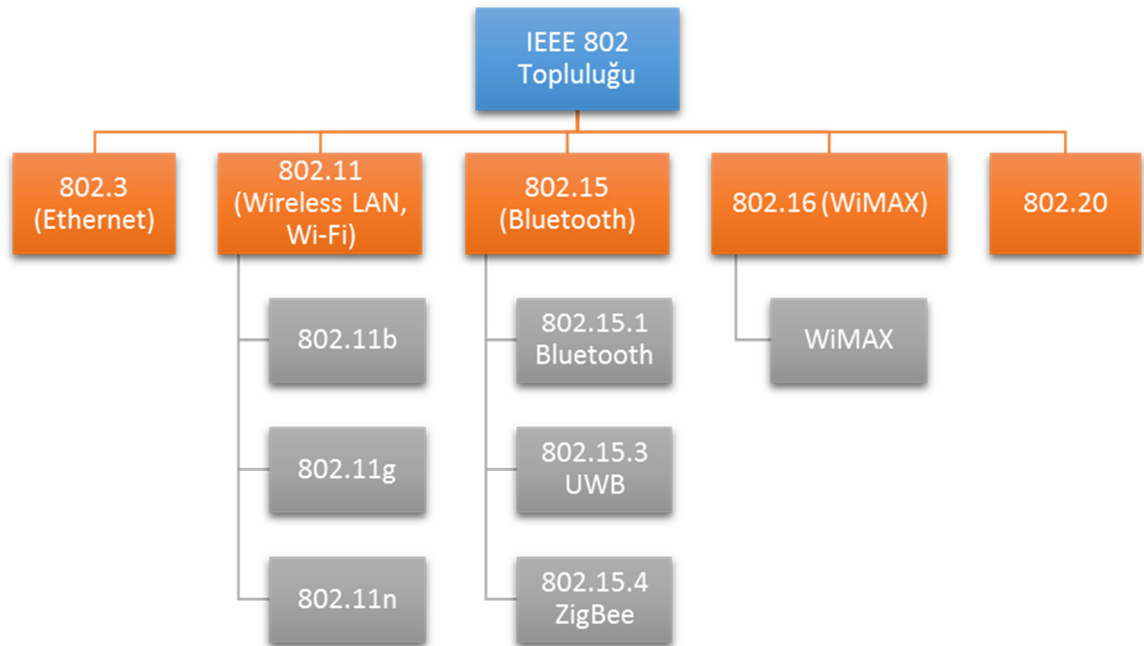
WiMAX'i benzer kablosuz geniş bant teknolojileri arasında öne çıkaran özellikler arasında:

- ✓ Yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük olması,
- ✓ Ölçeklenebilir bir mimari yapıya sahip olması,
- ✓ Tüm dünyada standartların aynı olması,
- ✓ Rekabet ve birlikte çalışılabilirlik,
- ✓ Alternatif veya tamamlayıcı geniş bant erişimi,
- ✓ Geniş spektrum aralığı ve
- ✓ Yüksek veri iletim hızları yer almaktadır.

WiMAX teknolojisi IEEE'e bağlı 802.16 çalışma grubu tarafından standartlaştırılırken, WiMAX uyumlu donanımların testlerini yapacak ve şirketler arasında işbirliğini arttırmak amacıyla WiMAX Forum adı altında bir endüstriyel bir çalışma grubu 2001 yılı Nisan ayında kurulmuştur. Kar amacı gütmeyen WiMAX Forum, bünyesinde 50 ülkeden 140 ticari şirketi barındırır. Üye şirketler arasında sektör üreticileri, servis sağlayıcılar, operatörler, içerik ve uygulama hazırlayıcı şirketler bulunmaktadır. WiMAX Forum, WMAN ürünlerinin gelişmesini desteklemek için üreticilerin güçlenmesine yardımcı olur, aynı zamanda ekipmanların uyumluluğunu ve birlikte çalışabilirliğini onaylama görevini üstlenmiştir. WiMAX forum üyeleri tarafından geliştirilen ürünler sertifikasyon sürecini geçmek için uyumlu olmaya ihtiyaç duymaktadır. Harmanlanmış standartlar ve birbiriyle çalışabilir sistemlerin sertifikasyonu ile yüksek hacim ve düşük maliyetler hedeflemektedir.

3.4.1. IEEE Standartları

IEEE, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers) elektronik alanında gelişen her teknolojiye kod vererek bunları standartlaştıran bir kurumdur. 802 kod numarası, bir noktadan çok noktaya geniş bant kablolu/kablosuz erişim sunan standartlar topluluğudur. Zaman içerisinde ihtiyaçlar gözetilerek kablosuz iletişim teknolojileri geliştirilmesi ile birlikte, IEEE 802 topluluğu içerisinde değişik çalışma grupları oluşturulmuştur. Gerekli standardizasyon çalışmaları bu çalışma grupları tarafından yapılmaktadır. IEEE 802 topluluğu içerisinde birçok çalışma grubu yer almaktadır. Bunlardan en çok tercih edilenleri 802.3 (Ethernet), 802.11 (Wireless LAN, Wi-Fi), 802.15 (Bluetooth, UWB, ZigBee) gibidir.



Şekil 37 - IEEE 802 Standartlar Topluluğu

Çalışma gruplarına ait standartların bazıları aktif bir şekilde kullanılırken bazıları kullanımdan kalkmış, çalışmalara son verilmiş veya geliştirme aşamasında olabilmektedir. Geliştirilen teknolojiler 1m'den 50km'ye kadar olan

farklı büyüklükteki alanlarda hizmet sunmaktadır. Şekil 37’de gösterilen çalışma grupları etkiledikleri bölge bakımından kapsadığı alanlara göre sınıflandırılmaktadır. “Sınıflandırmanın yapılmasında farklılıklar olabilmesine rağmen genel olarak:

- ✓ 10 metreye kadar olan mesafe WPAN (Wireless Personal Area Network, Kablosuz Kişisel Alan Ağı),
- ✓ 100 metreye kadar olan mesafe WLAN (Kablosuz Yerel Alan Ağı, Wireless Local Area Network),
- ✓ Şehir seviyesine kadar olan mesafe WMAN (Kablosuz Metropol Alan Ağı, Wireless Metropolitan Area Network) ve
- ✓ Daha ötesindeki mesafeler için WWAN (Kablosuz Geniş Alan Ağı, Wireless Wide Area Network) olmak üzere dört kategoride sınıflandırılabilir.” [78], [56]

IEEE standartlarının kapsadıkları alanlar dikkate alındığında sınıflandırmaları hiyerarşik olarak: WPAN’lar için IEEE 802.15, WLAN’lar için IEEE 802.11, WMAN’lar için IEEE 802.16 ve WWAN’lar için IEEE 802.20’dir. Bir diğer standart kurumu ETSI bünyesinde bu sınıflandırmalar hakkında: WPAN’lar için HiperPAN, WLAN’lar için HiperLAN, WMAN’lar için HiperMAN ve WWAN’lar için 3GPP grupları çalışmaktadır.

Tablo 15 - IEEE 802 Kablosuz Standartları ve Etki Alanları

Kategori	Etki Alanı	IEEE Çalışma Grubu	Teknoloji	Açıklama
WPAN	<10m	802.15	Bluetooth, ZigBee, UWB	Yakın mesafe kişisel alan ağı
WLAN	100m	802.11	Wi-Fi	Kablosuz Kişisel Alan Ağı
WMAN	>100m	802.16	WiMAX	Şehir mesafesini kapsar.
WWAN	>100m	802.20	Uydu Haberleşmesi	Daha ötesi mesafeleri kapsar.

Tablo 15’de gösterildiği gibi WPAN standartları, IEEE bünyesinde 802.15 ve ETSI bünyesinde HiperPAN çalışma grupları tarafından yürütülmektedir. Öncülüğünü Bluetooth’un teknolojisinin yaptığı bu çalışmalar kişisel bağlantı hizmeti sunmayı amaçlamıştır. WLAN standartları, IEEE bünyesinde 802.11 ve ETSI bünyesinde HiperLAN çalışma grupları tarafından yürütülmektedir. WLAN, 100 metreye kadar olan mesafede kullanıcılara geniş bant erişim hizmeti sunmaktadır. 802.11x (802.11b, 802.11g, 802.11n) standartları sayesinde popülaritesini arttırmış ve çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. WMAN ise genellikle kampüs veya şehir seviyesindeki metropol alanlar için kablosuz erişim şebekesi olarak tanımlanabilir. Standartlar IEEE 802.16 ve ETSI HiperMAN çalışma grupları tarafından yürütülmektedir. Bu iki çalışma grubu WiMAX teknolojisi üzerine çalışmaktadır.

3.4.2. WiMAX Standartları

“1990’lı yılların ortalarında Amerika’da özel olarak faaliyet gösteren Telekom işletmecileri kendi olanaklarını kullanarak abonelerine kablosuz genişbant internet hizmeti vermeye başlamışlardır.” [25] İşletmecilerin uyguladığı bu yöntemler:

- ✓ LDMS (Local Multipoint Distribution System) ve
- ✓ MMDS (Multi-Channel Multipoint Distribution System)

adı verilen iki teknolojiye dayanmaktaydı. “Bu sistemlerin oturmuş bir standardı bulunmamaktaydı ve birlikte çalışabilirliği garanti etmemekteydiler. Standardizasyon eksikliğinden dolayı bu teknolojileri kullanabilen cihazların kitlesel üretimi de pek mümkün olmamıştır. MMDS teknolojisinde baz istasyonundan kullanıcıya tek yönlü bir iletişim olması sebebiyle MMDS, geniş kapsama alanına rağmen erişim şebekesi olmayıp dağıtım şebekesi özelliğine sahiptir. Bu gibi problemlere çözüm bulabilmek için yeni bir standardın ortaya çıkarılması ihtiyacı belirmiş ve IEEE tarafından 1998 yılında 802.16 çalışma grubu kurulmuştur.” [25], [57]

IEEE bünyesinde 802.16 grubunun yaptığı çalışmalar sonucunda kullanıcılara kablosuz genişbant erişim hizmeti vermek amacıyla 2001 yılı Aralık ayında WiMAX'in ilk sürümü olan IEEE 802.16 standardı onaylanarak duyurulmuştur. 2001 yılındaki sürümün ardından zaman içerisinde özelliklerinin geliştirilmesi ile Tablo 16'da gösterildiği gibi 2003, 2004, 2005 ve 2011 yıllarında WiMAX'in farklı standartları IEEE tarafından onaylanarak yayımlanmıştır.

Tablo 16 - WiMAX Standartları

Başlık	IEEE 802.16	IEEE 802.16a	IEEE 802.16d	IEEE 802.16e	IEEE 802.16m
Tarih	2001	2003	2004	2005	2011
Spektrum	10-66 GHz	2-11 Ghz	2-11 Ghz	2-11 Ghz-sabit 2-6 Ghz-mobil	2.3-3.5 Ghz
Mobilite	Sabit	Sabit	Sabit, Hareketli	Hareketli, Mobil	Hareketli, Mobil
Bant Genişliği	32-134 Mbps	75 Mbps	15 Mbps	15 Mbps	360 Mbps
Kanal Bant Genişliği	20,25 ve 28 Mhz	1.25-20 Mhz	1.25-20 Mhz	1.25-20 Mhz	1.25-20 Mhz
Haberleşme Şekli	LOS	NLOS	NLOS	NLOS	NLOS
Modülasyon	QPSK 16 QAM 64QAM	QPSK 16 QAM 64QAM OFDM 256	QPSK 16 QAM 64QAM OFDM 256 OFDMA	QPSK 16 QAM 64QAM OFDM 256 OFDMA	QPSK 16 QAM 64QAM OFDM 256 OFDMA
Hücre Çapı	< 5 km	< 50 km	< 50 km	< 5 km	< 5 km

IEEE 802.16'nin geliştirilmesi ile ortaya çıkan bu standartlar 2003 yılında IEEE 802.16a, 2004 yılında IEEE 802.16d, 2005 yılında IEEE 802.16e ve 2011 yılında IEEE 802.16m'dir. Standartlar arasındaki temel farklılıklar ise: haberleşme şekli bakımından görüş hattında olması (LOS, Line Of Sight) veya olmamasına (NLOS, Non Line Of Sight) göre, kapsama alanlarına göre veya sabit, taşınabilir ve mobil olma durumlarına göre farklılıklar gösterir. Mobilite durumunu değerlendirecek olursak, 2004 yılından önceki sürümler olan 802.16 ve 802.16a sabit, 2004 yılındaki 802.16d taşınabilir ve 2004'den sonraki 802.16e ve 802.16m ise mobil ortamlar için tasarlanmıştır.

WiMAX'in ilk sürümü olan 802.16 standardı 2001 yılında geliştirilmiş ve sabit kablosuz erişime imkan tanımıştır. 802.16, 10-66 Ghz frekans aralığında çalıştığı için haberleşme şekli olarak görüş hattı zorunluluğu gerektiren (LOS) bir yapıda, noktadan çok noktaya hizmet veren genişbant sistemidir. 20,25 ve 28 Mhz kanal bant genişliklerinde 32-134 Mbps hızlarına erişebilmektedir. 802.16 mevcut bir standarda dayanmadığı için benzer sistemler ile uyumlu çalışabilmesi hedeflenmiştir.

Düşük frekans uygulamaları için 802.16'nın fiziksel katmanı uygun olmadığından, bu uygulamalar görüş hattında olmayan (NLOS) işletimleri gerektirir. Bu sebeple IEEE, 802.16'nın bir uzantısı olarak 2003 yılında görüş hattına gerek duymadan çalışabilecek özellikte olan IEEE 802.16a'yı duyurmuştur. [58] 2-11 Ghz frekans aralığında lisanslı ve lisanssız olarak çalışabilmektedir. Görüş hattında ve ideal koşullarda 50 km'lik bir alanda en yüksek 75 Mbps veri hızına ulaşır. 802.16a'da oldukça gelişen görüş hattının olmadığı performansı sayesinde WiMAX, ağaçlar ve bina gibi engellerin bulunduğu yerlerde kullanılacak en uygun teknolojidir. Ayrıca istasyonları kule yerine bina üzerine kurulabilir olması kablolamada esneklik sağlar. 802.16a ileri hata düzeltme yeteneği, mesafeyi ve kapasiteyi artırmak için kullanılan gelişmiş anten teknikleri desteği ve uyarlamalı modülasyon gibi avantajlara sahiptir.

2004 yılında duyurulan IEEE 802.16d standardı, 802.16a'nın eksikliklerini gidermek üzere geliştirilmiştir. Sabit ve hareketli uygulamaları destekleyen bir kablosuz genişbant standardıdır. Bu standartla alıcı-verici

haberleşmesi için doğrudan görüş hattının gerektiği ve gerekmediği koşullarda haberleşme mümkün olmaktadır. Standart OFDM çoğaltma tekniğini kullanmaktadır. Hücrenel toplayıcı omurga olarak kullanılmaktadır.

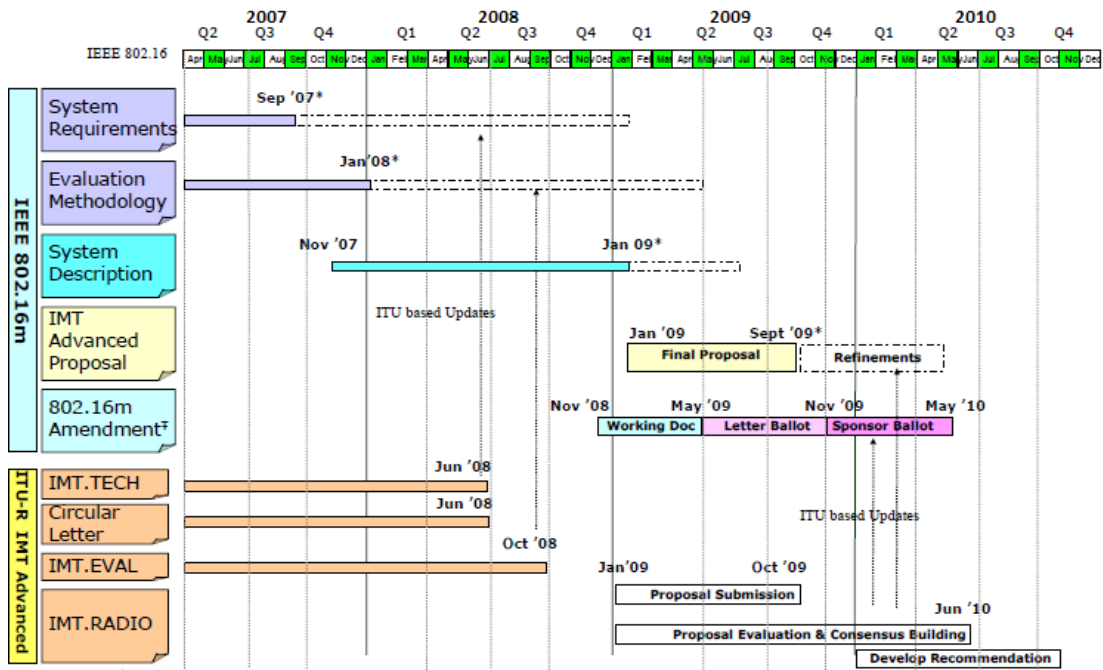
IEEE 802.16 çalışma grubu tarafından 2005 yılında geliştirilen 802.16e standardı ile hareket halinde olunan koşullarda mobil genişbant erişim hizmeti sunulması ile sabit ve hareketli sistemler arasında haberleşme mümkün olmuştur. Mobile WiMAX Sürüm1 olarak da adlandırılan IEEE 802.16e standardı sayesinde mobilite tam anlamı ile desteklenmiştir. IEEE 802.16e'de OFDM tekniğinin kullanılması, düşük frekanslarda çoklu yol yansımalarından görülen problemleri azaltılmış, MIMO anten tekniği sayesinde sistem performansı ve hızı artırılmıştır. IEEE 802.16e (Mobile WiMAX Sürüm1) standardında geliştirmeler yapılarak 2009 yılında FDD iletim modu ve gelişmiş MIMO tekniklerinin eklenmesi ile Mobile WiMAX Sürüm 1.5 elde edilmiştir. Mobile WiMAX teknolojisinin standartlaşma sürecinde performans artışı sağlayacak çalışmalar ilerleyen zamanda devam etmiştir.

Mobile WiMAX (IEEE 802.16e, Sürüm1), “2007 yılında yapılan Dünya Radyokomünikasyon Konferansında ITU tarafından IMT-2000 standart ailesinin altıncı üyesi olarak kabul edilerek üçüncü nesil mobil haberleşme sistemi sayılmıştır.” [25], [59] Bu durum WiMAX açısından, IMT-2000 frekans bantlarını kullanabileceği gibi, işletmeciler açısından tercih edilebilir hale getirmiştir.

3.4.3. Mobile WiMAX 2 (802.16m) ve Teknik Özellikleri

ITU tarafından LTE-Advanced ile birlikte resmi olarak dördüncü nesil mobil haberleşme sistemi ilan edilen IEEE 802.16m standardı, 802.16e'nin geliştirilmiş hali olarak karşımıza çıkmaktadır. WirelessMAN-Advanced olarak da isimlendirilen IEEE 802.16m, Mobile WiMAX 2 ismi ile de anılmaktadır. IEEE'e bağlı 802.16 çalışma grubu tarafından 802.16m standardının oluşturulma amacı “ITU'nün ITU-R M.2072 raporunda tanımlanmış olan gelecek nesil ileri seviyeli servislerin ve uygulamaların desteklenebilmesi için

gereklili olan performans hedeflerinin sağlanması” şeklinde tanımlanmıştır. [25], [60] IEEE 802.16m için, kendinden önceki WiMAX standartları ile uyumlu olması ve ITU'nün IMT-Advanced için belirlemiş olduğu gereksinimleri karşılaması veya daha ötesine gitmesi hedeflenmektedir. IEEE 802.16m'ye ait zaman çizelgesi aşağıda Şekil 38'de gösterildiği gibidir. [61]



Şekil 38 - IEEE 802.16m Zaman Çizelgeleri

IEEE 802.16m için gelişim planı, 2008 yılında ITU-R Working party 5D tarafından IMT-Advanced olarak belirlenen dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi planına paralel bir şekilde ilerleme kaydetmiştir. 2007 yılı sonlarında sistem gereksinimlerinin ilan edilmesi ile başlayan IEEE 802.16m gelişim sürecinde, 2009 yılı sonbaharında ITU'ye teklif gönderilmiş ve 2010 yılında onay alınarak 802.16m standardı yayınlanmıştır. 802.16m tam anlamıyla mobil iletişim için geliştirilmiştir, çok yüksek hızlar ve daha geniş kapsama alanı vaat edilmektedir.

IEEE 802.16m standardında yapılan iyileştirmeler ve geliştirmeler sayesinde önceki WiMAX standartlarına göre; kapsama alanı, spektral verimlilik, veri iletim hızı, VoIP kapasitesi, tepkime süresi ve hizmet kalitesi gibi

alanlarda performans artışı sağlanmıştır. IEEE tarafından IMT-Advanced gereksinimleri göz önüne alınarak hazırlanan teknik raporlara göre IEEE 802.16m standardına ait teknik özellikler Tablo 17’de gösterildiği gibidir. [62]

Tablo 17 - IEEE 802.16m Teknik Detaylar ve IMT-A Gereksinimleri

		IMT-Advanced Gereksinimleri (M.2134)	IEEE 802.16m Gereksinimleri
Tepe Veri Hızı	Downlink	1 Gbps	365*
	Uplink		376*
Gecikme Süresi	Kullanıcı Düzleminde	<10 ms	<10 ms
	Kontrol Düzleminde	<100 ms	<100 ms
Spektral Verimlilik (bit/s/Hz/hücre)	Tepe DL Hızı	15 (4x4)	17 (4x4) 8.5 (2x2)
	Tepe UL Hızı	6.75 (2x4)	9.3 (2x4) 4.6 (1x2)
	Ortalama DL Hızı	2.2 (4x2)	3.2 (4x2)
	Ortalama UL Hızı	1.4 (2x4)	2.6 (2x4)
	Hücre Kenar DL Hızı	0.06 (4x2)	0.09 (4x2)
	Hücre Kenar UL Hızı	0.03 (2x4)	0.11 (2x4)
VoIP Kapasitesi (Aktif Kullanıcı/sektör/MHz)		40	80
Spektrum Tahsisi		40 Mhz’e kadar	100 Mhz’e kadar
Hareketlilik (Mobilite)		350 km/h’e kadar	350 km/h’e kadar

* Kaynak[68], 2x20Mhz bant genişliği, FDD ve 4x4 MIMO yapılandırmasında ki değerdir.

IEEE 802.16m, çoklu taşıyıcı desteği (Multi-Carrier Support) sayesinde taşıyıcı frekansların toplanarak daha yüksek bant genişliğine (100Mhz) ulaşmasına imkan sağlar. Taşıyıcı frekansların toplanması işlemi aynı frekans

içinde bitişik veya bitişik olmayan kanalların toplanması olabileceği gibi, farklı frekanslardaki kanalların toplanması şeklinde de olabilir. IEEE 802.16m ile birlikte 20 Mhz'lik taşıyıcıların toplanması ile arzu edilen daha yüksek bant genişliğine ulaşılarak, IMT-Advanced gereksinimleri için koşul olan 1 Gbps tepe veri hızını aşmak mümkün olacaktır. IEEE 802.16m, bu yüksek veri hızlarına erişirken spektral verimlilik açısından, Tepe Downlink hızı 4x4 anten yapılandırmasında 17 (bit/s/Hz/hücre), Tepe Uplink hızı 2x4 anten yapılandırmasında 9.3 (bit/s/Hz/hücre) değerlerine ulaşmaktadır. Kullanıcıların ortalama downlink hızı 3.2 (bit/s/Hz/hücre, 4x2 MIMO), ortalama uplink hızı 2.6 (bit/s/Hz/hücre, 4x2 MIMO) olmaktadır. Hücre kenar kullanıcılarına ait spektral verimliliği değerlendirecek olursak downlink hızı 0.09 (bit/s/Hz/hücre/kullanıcı, 4x2 MIMO) olmaktadır.

Hızlı HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request), kaynak planlama yaklaşımı, Qos geliştirmeleri ve spektral verimlilikteki artışlar sayesinde IEEE 802.16m'de VoIP kapasitesi önemli derecede artmıştır. Tablo X'deki VoIP kapasitesi hesaplanırken AMR 12.2 kbps ses kodlayıcısının kullanıldığı varsayılmıştır. Downlink 4x2 MIMO ve uplink 2x4 MIMO anten yapılandırması ve 2x20Mhz bant genişliğinde microcell bir hücrede VoIP kapasitesi 80 (Çift yönlü arama/ sektör/MHz) olacaktır. [62]

IEEE 802.16m standardında gecikme süresi geliştirmeleri kapsamında alt çerçeve yapısına dayanan yeni bir model benimsenmiştir. Bu yapı sayesinde veri iletiminde kullanıcı ve kontrol düzleminde önemli iyileştirmeler yapılmıştır. Hedef tepkime süreleri: kullanıcı düzleminde <10 ms, kontrol düzleminde < 100 ms şeklinde belirlenmiştir.

IEEE 802.16m standardı tek bir servis akışı içerisinde farklı tipteki hizmet kalitesi parametrelerini destekleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu yaklaşım IMT-Advanced için belirlenen farklı seviyedeki çoklu ortam hizmetleri için esnek hizmet kalitesi desteğinin verilmesini mümkün kılmaktadır. Burada hizmet sınıfları veri hızları bakımından:

- ✓ 144 kbps'e kadar olanlar düşük seviyeli çoklu ortam hizmetleri,
- ✓ 2 Mbps'e kadar olanlar orta seviyeli çoklu ortam hizmetleri,
- ✓ 30 Mbps'e kadar olanlar yüksek seviyeli çoklu ortam hizmetleri,

- ✓ 100 Mbps veya 1 Gbps'e kadar olanlar çok yüksek seviyeli çoklu ortam hizmetleri olarak tanımlanmıştır. [62]

IEEE 802.16m standardı IEEE 802.16e (Mobile WiMAX Sürüm1) ile geri dönük uyumluluğu garanti eder. IEEE 802.16m, aynı baz istasyonunda 802.16m standardında olan ve olmayan radyo erişim teknolojilerinin (RAT, Radio Access Technologies) eş zamanlı olarak çalışmasını desteklemektedir. Radyo erişim teknolojilerine (RAT): Wi-Fi ağları, HSPA, LTE, LTE-Advanced ve 1x-EVDO gibi farklı standartta teknolojilerini içerir.

IEEE 802.16m sistemi çalışma frekansı bakımından 6 Ghz ve altındaki IMT-Advanced için belirlenen tüm lisanslı frekans bantlarını desteklemek üzere tasarlanmıştır. Mobil ve sabit sistemler için ayrılan bu frekans bantları aşağıdaki gibidir.

- 450-470 MHz
- 698-960 MHz
- 1710-2025 MHz
- 2110-2200 MHz
- 2300-2400 MHz
- 2500-2690 MHz
- 3400-3600 MHz

WiMAX operatörleri yaygın olarak 2.3, 2.5 ve 3.5 frekans aralıkları tercih etmektedir. WiMAX Forum'a üye 300'den fazla operatörün 3.5-3.6 Ghz spektrumunda hizmet verdiği tahmin edilmektedir. Dünya genelinde 150'den fazla ülkede 477 operatör ile 25 milyondan fazla kişi WiMAX ile geniş bant erişim hizmeti almaktadır. [63] Ülkemizde de WiMAX hizmetinin 3400-3600 MHz aralığının kullanılması beklenmektedir. IEEE 802.16m standardı dünya çapında daha geniş spektrum atamalarında uygulanabilirliği sağlamak için FDD, TDD ve H-FDD (Half-Duplex FDD) çoklama tekniklerini desteklemektedir. IEEE 802.16m standardının sağladığı temel avantajlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- ✓ Fiziksel katmanda OFDM tekniğinin kullanılması,
- ✓ Gelişmiş anten teknolojisi ve sinyal işleme yeteneği,

- ✓ Yüksek veri iletim kapasitesi,
- ✓ Ölçeklenebilir bant genişliği,
- ✓ Uyarlamalı modülasyon ve kodlama (AMC),
- ✓ Bağlantı katmanı tekrar iletim isteği (Hibrid-ARQ),
- ✓ Yeni çerçeve yapısı sayesinde tepki süresinin azaltılması,
- ✓ Çoklu taşıyıcı desteği (Multi-Carrier Support),
- ✓ Hızlı HARQ, kaynak planlaması, Qos Hizmet kalitesi,
- ✓ Femtocell desteği ve gelişmiş şebeke yönetim mekanizması (SON),
- ✓ IP tabanlı mimari ve
- ✓ Güvenlik.

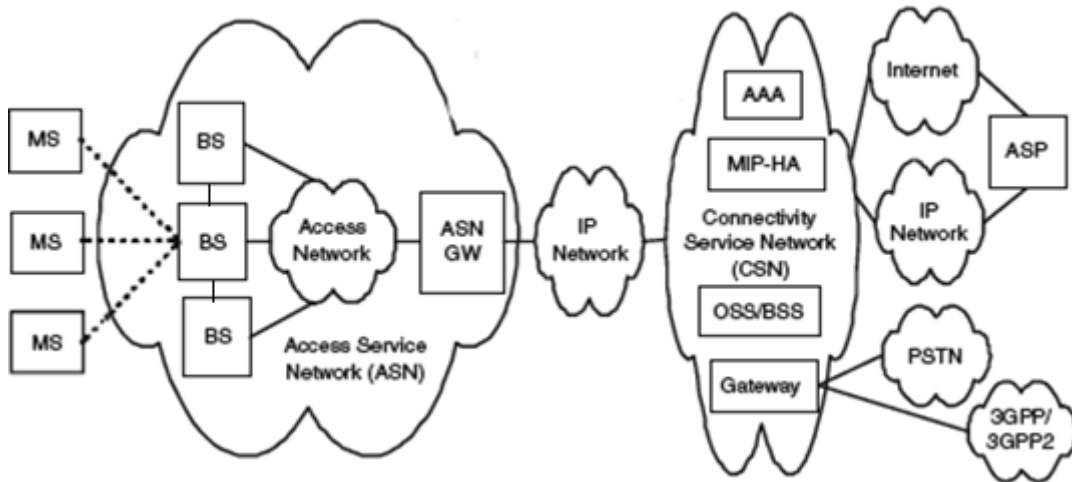
3.4.4. Mobile WiMAX 2 (802.16m) Şebeke Yapısı

“WiMAX teknolojisine ait standartlar IEEE tarafından belirlense de, şebeke üzerindeki çalışmalardan WiMAX Forum (NWG, Network Working Group - Şebeke Çalışma grubu) sorumludur. İşletmeciler WiMAX Forum tarafından sertifikate edilmiş, birbirleri ile uyumlu şebeke cihazlarını tercih etmektedir. Bu noktada radyo erişim şebekesi ve çekirdek şebekenin standartlaştırılması önem kazanmaktadır. Açık standartlar gereği cihaz üreticileri arasında rekabet artmakta, bu durum cihaz maliyetlerinin düşmesini sağlamaktadır. Farklı cihaz üreticileri tarafından üretilen ürünlerin birlikte çalışabilirliğinin sağlanması amacıyla WiMAX Forum: baz istasyonu, kullanıcı cihazları ve diğer şebeke cihazlarının sertifikasyon işlemlerinden de sorumludur.” [25], [64]

WiMAX Forum bünyesinde NWG (Network Working Group - Şebeke Çalışma grubu) tarafından WiMAX dağıtımları için mimari çerçevenin oluşturulması amacıyla, operatörler arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak için şebeke referans modeli geliştirilmiştir. Şebeke referans modeli tamamen IP tabanlı hizmet modeline dayanan: sabit, göçebe ve mobil dağıtımları desteklemek için bütünleşik bir şebeke mimarisi öngörmüştür. Aşağıda Şekil

39'da IP tabanlı Mobil WiMAX şebeke mimarisi gösterilmiştir. [65] Genel olarak şebeke mimarisi 3 bölüme ayrılabilir. Bunlar:

- ✓ Mobil İstasyonlar (MS, Mobile Stations),
- ✓ Erişim Hizmet Ağı (ASN, Access Service Network) ve
- ✓ Bağlantı Servis Ağı (CSN, Connectivity Service Network).



Şekil 39 - IP Tabanlı Mobil WiMAX Şebeke Yapısı

Mobil WiMAX Şebeke Yapısı, LTE şebeke yapısı ile karşılaştırıldığında birçok benzerlik bulunmaktadır. LTE şebeke yapısında olduğu gibi WiMAX baz istasyonları da (BS) handover işlemi için birbirleri ile iletişim halindedir. LTE'de erişim şebekesi ile çekirdek şebeke arasında bir şebeke elemanı bulunmazken, Mobil WiMAX'de iki şebeke arasında ara bağlantıyı sağlayan ASN-GW (Access Service Network Gateway) cihazı bulunmaktadır.

Çalışma prensibi bakımından LTE şebeke yapısındaki AGW (Access Gateway)'e benzemektedir. ASN-GW'in belli başlı görevleri arasında:

- AAA sunucusu gibi çalışarak kullanıcı yönetimi ve mobilite yönetimi,
- Kimlik doğrulama işlemleri,
- BS'ler arası bağlantı kopması durumunda, çağrının hücreler arası taşınması için aktif handover desteğinin verilmesi,
- MS ile IEEE 802.16e layer 2 temelli bağlantı, MS ile CSN arasında IP bağlantısının kurulabilmesi için kullanılan röle fonksiyonları,

- Şebekenin taranması ve kullanıcının tercih ettiği CSN/NSP'nin seçimi,
- Hizmet kalitesi hedeflerine göre radyo kaynaklarının yönetimi,
- Handover, lokasyon yönetimi ve ASN içerisinde çağrı aktarımı gibi mobilite ile ilgili fonksiyonların işletilmesi gibi grevleri vardır. [25]

CSN (Connectivity Service Network), bir ağ fonksiyonları kümesidir, görevi ise abone istasyonlarına IP bağlantısını sağlamaktır. CSN'nin belli başlı görevleri arasında:

- Kullanıcıların oturum açması yani şebekeye erişmesi durumunda mobil cihazlara IP adreslerinin atanması,
- Kullanıcıların ve cihazların kimlik doğrulaması, şebekeye erişim yetkisinin verilmesi ve faturalandırma işlemi için AAA sunucusu görevleri,
- Hizmet kalitesi ve kullanıcı yönetimi
- Abonelerin faturalandırılması ve işletmeciler arası dağılımın yönetilmesi,
- Şebeke servis sağlayıcıları (NSP) arasında dolaşımı mümkün kılan CSN'ler arası tünelleme fonksiyonu,
- ASN'ler arası mobilite yönetimi ve mobil IP fonksiyonları,
- İnternet erişimi, konum tabanlı hizmetler, bire bir bağlantı, sanal özel ağ (VPN), çoklu ortam IP servisleri, yasal zorunluluklar, mesajlaşma ve diğer IP şebekelerine erişim gibi servisler için kullanıcı yönetim kontrol ve altyapı desteğinin verilmesi gibi işlevleri vardır.[25]

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

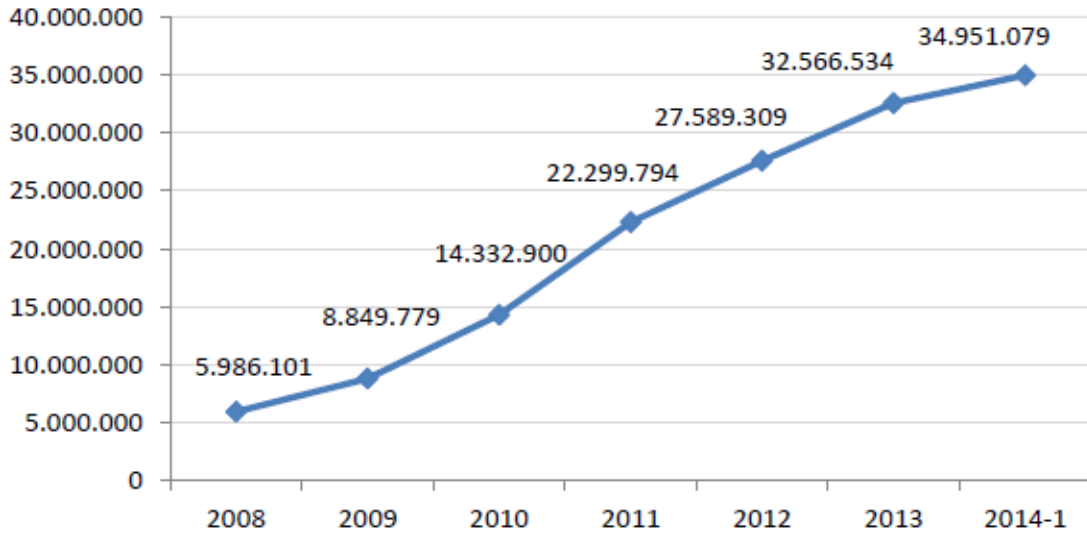
4.1. TÜRKİYE VE DÜNYADA GENİŞBANT ERİŞİM

Gelişen teknoloji ile birlikte bilgi ve iletişim teknolojilerinin insan hayatındaki rolü ve önemi her geçen gün artmaktadır. Bilgiye ulaşırken kullandığımız altyapıyı değerlendirdiğimizde genişbant kavramı çok önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Genişbant terimi, elektronik ortamda aşağı (downlink) ve yukarı (uplink) yönde yüksek veri iletim hızına sahip haberleşme sistemleri olarak tanımlanabilir. Genişbant kavramı ile ilgili birçok tanım yapılmasına rağmen yüksek veri iletim hızından kastedilen hız aralığı ile ilgili uluslararası düzeyde kabul görmüş ortak bir görüş bulunmamaktadır. ABD, AB, OECD ve ITU gibi farklı kıtalardaki ülkeler ve standart kuruluşları tarafından genişbant için hız tanımlamaları farklı olmuştur. Ağırlıklı olarak genişbant, en az 256 Kbps veri iletim hızında sürekli bağlantıya sahip teknolojiler için kullanılmaktadır. Kullanıcıların herhangi bir bilgiye, zamandan ve mekândan bağımsız şekilde yüksek hızda erişim sağlaması, insan davranışları ve günlük hayatında önemli değişiklikler yaratmıştır. Dünya genelinde birçok ülke genişbant erişimi bilgi toplumunun alt yapısı olarak gördüğünden, bu yöndeki teknolojilere yatırım ve desteklerini sürdürmektedir.

Genişbant hizmetlerinin kullanıcıya ulaşmasını sağlayan erişim şebekelerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Söz konusu şebekeler kablolu ve kablosuz olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir. Kablolu genişbant erişim platformlarına örnek olarak: xDSL(Sayısal Abone Hattı - Digital Subscriber Line), Kablo Platformu ve Fiber Optik teknolojileri örnek gösterilebilir. Kablosuz genişbant erişim platformlarına ise: Sabit Telsiz Erişimi,

Uydu Erişimi, Mobil Genişbant Erişim (2G ve sonrası), Wi-Fi ve WiMAX teknolojileri örnek gösterilebilir.

Türkiye'deki elektronik haberleşme sektöründe faaliyet gösteren işletmecilerin, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'na (BTK) göndermiş oldukları veriler esas alınarak hazırlanan "Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü" raporunda 2014 yılı 1. Çeyrek (Ocak-Şubat-Mart) dönemine ait veriler önceki dönemler ile kıyaslamalı olarak tez kapsamında incelenmiştir. 2014 yılı birinci çeyreği itibarıyla genişbant pazarında toplam internet abonesi bir önceki çeyreğe göre %7,3 oranında artarak 34.951.079 kişi olmuştur. [66]



Şekil 40 - Toplam Genişbant İnternet Abone Sayısı

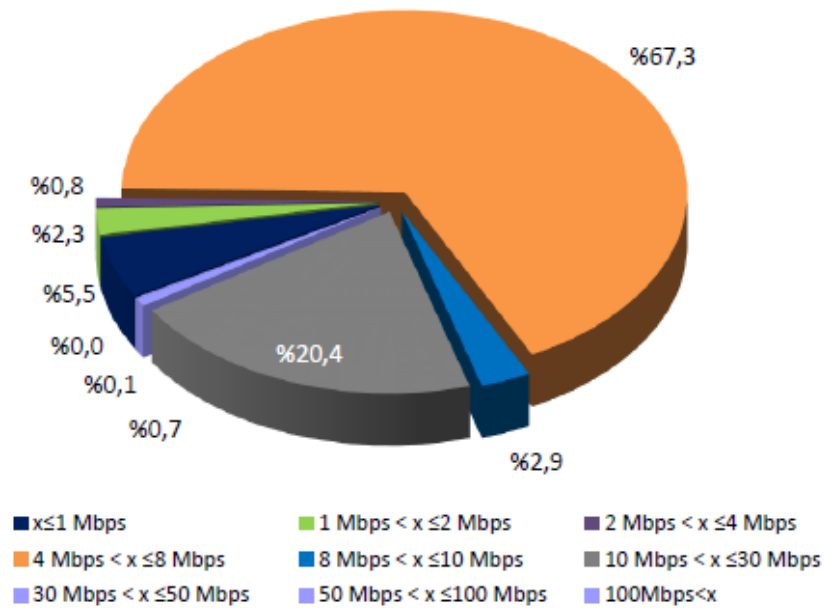
Şekil 40'da görüleceği gibi 2008 yılında yaklaşık 6 milyon genişbant internet abonesi bulunmaktayken altı yıllık bir sürede beş kata yakın artışla 2014 yılı birinci çeyrek sonu itibarıyla 35 milyona yaklaşmıştır. Genişbant abone sayısı hesaplamasında: Sabit, mobil, kablo, fiber vb. tüm genişbant internet erişim yöntemleri dahil olup, çevirmeli (dial up) internet hariçtir. 2014 yılı birinci çeyreği itibarıyla Türkiye'deki çevirmeli internet dâhil toplam internet abone sayısının bağlantı çeşidine göre dağılımını gösteren Tablo 18 incelendiğinde, fiber ve mobil kaynaklı artışlar dikkati çekmektedir. Fiber ve mobil bağlantıdaki artışların devam etmesi, genişbant internet abone sayısını da önemli oranda etkilemektedir.

Tablo 18 - Bağlantı Çeşidine Göre İnternet Abone Sayıları

	2013-1	2013-4	2014-1	Çeyrek Büyüme Oranı	Yıllık Büyüme Oranı
xDSL	6.678.907	6.644.543	6.671.447	0,4%	-0,11%
Mobil Bilgisayardan İnternet	1.780.790	1.701.014	1.541.425	-9,4%	-13,44%
Mobil Cepten İnternet	21.408.431	22.472.129	24.902.577	10,8%	16,32%
Kablo İnternet	501.201	486.497	492.288	1,2%	-1,78%
Fiber	741.675	1.193.704	1.277.711	7,0%	72,27%
Diğer	137.366	116.043	112.808	-2,8%	-17,88%
TOPLAM	31.248.370	32.613.930	34.998.256	7,3%	12,00%

2013-1'e göre yıllık büyüme oranlarını değerlendirirsek Fiber bağlantıda %72,27, Mobil bağlantıda %16,32 oranında gerçekleşmiştir. Toplam internet abone sayısının yıllık artış oranı ise %12 olarak gerçekleşmiştir. [66]

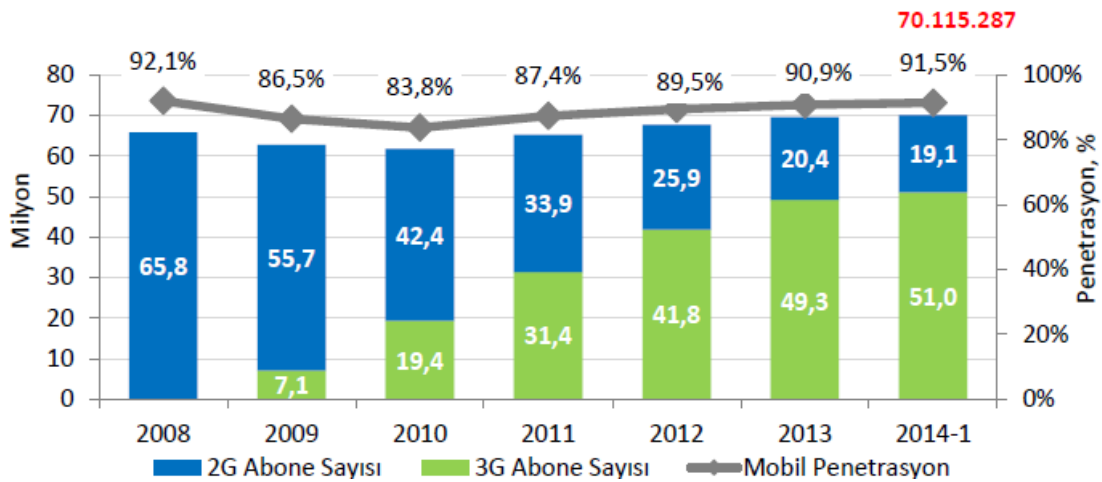
2014 yılı birinci çeyreğinde toplam sabit genişbant (DSL, Kablo ve Fiber) internet kullanım (indirme ve yükleme) miktarı ise yaklaşık 958.058 TB (TeraByte) olarak gerçekleşmiştir. Bu kullanımın yaklaşık %90'ı veri indirme, %10'u veri yükleme şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 41 - Sabit Genişbant Abonelerinin Hızlara Göre Dağılımı

Şekil 41’de gösterildiği gibi Türkiye’deki sabit genişbant internet abonelerinin hızlara göre dağılımında abonelerinin büyük bir çoğunluğu (%67’si) 4-8 Mbps arası hızda bağlantı sunan paketleri tercih etmişlerdir. 2014 yılı birinci çeyrek itibarıyla sabit genişbant internet abonelerinin yaklaşık %88’i bireysel aboneliğe sahiptir. Geriye kalan %12 ise kurumsal abonelerdir. Türkiye’deki sabit genişbant abonelerinin genişbant teknolojisi bazında dağılımında son üç yıllık veriler incelendiğinde, 2011-1 döneminde TNet’in xDSL Pazar payı %84 civarında iken 2014-1 döneminde bu oranın %66 seviyelerine kadar düştüğü görülmüştür. Bu düşüşte özellikle fiber genişbant internet sunan işletmecilerin toplam sabit genişbant pazarı içindeki payının son üç yılda %2’den %15’e çıkmasının önemli etkisi olmuştur. [66]

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumunun (BTK) hazırlamış olduğu rapora göre 2014 yılı Mart ayı itibarıyla 70.115.287 mobil abone bulunmaktadır. TÜİK verilerine göre 31 Aralık 2013 tarihi itibarıyla Türkiye nüfusunun 76.667.864 kişi olduğunu düşünürsek, mobil penetrasyon oranı %91,5 değerine ulaşmıştır. Şekil 42’de 2G ve 3G mobil abone sayısı ile penetrasyon oranları yıllar itibarıyla karşılaştırılmaktadır.



Şekil 42 - Toplam Mobil Abone Sayısı ve Nüfusa Göre Penetrasyon

Temmuz 2009’da sunulmaya başlanan 3G hizmeti Şekil 61’de gösterildiği gibi Mart 2014 itibarıyla 51.023.960 milyon aboneye ulaşmıştır.

Tablo 19’da 3G hizmetlerine ilişkin veriler yer almaktadır. 2014 yılı birinci çeyrekte 3G abone sayısı 51 milyona ulaşırken; 3G hizmetiyle birlikte mobil bilgisayardan ve cepten internet hizmeti alan mobil genişbant abone sayısı da 26.444.002’e yükselmiştir. Bu kullanıcılardan faturalı mobil genişbant abone sayısı 12.456.467, ön ödemeli mobil genişbant abone sayısı ise 13.987.535 olarak gerçekleşmiştir. Mobil genişbant abone sayısı hesaplamasında bir aydan kısa süreli paket kullanan aboneler, hiç paket kullanmaksızın internete erişen aboneler ve bir aydan uzun süreli paket kullanan aboneler dikkate alınmaktadır. [66]

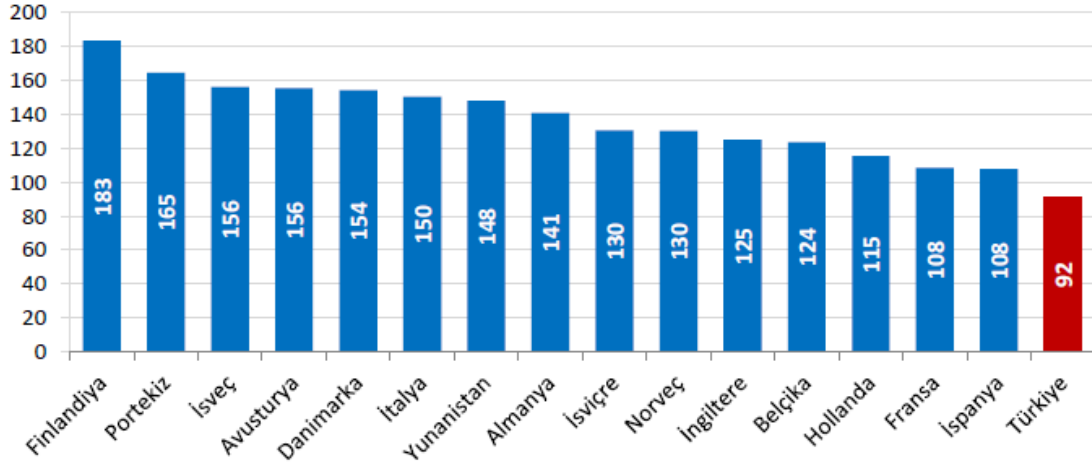
Tablo 19 - 3G Hizmeti Kullanıcı Verileri

	2013-1	2013-2	2013-3	2013-4	2014-1
3G Abone Sayısı	43.874.972	45.341.769	47.533.786	49.266.163	51.023.960
Mobil Bilgisayardan İnternet	1.727.466	1.745.497	1.742.995	1.701.014	1.541.425
Mobil Cepten İnternet	19.041.609	20.038.163	21.099.677	22.472.129	24.902.577
Mobil İnternet Kullanım Miktarı (TeraByte)	27.710	31.297	38.944	43.686	52.359

2014 yılı birinci çeyrekte toplam mobil internet kullanım miktarı ise 52.359 TB (TeraByte) olarak gerçekleşmiştir. Mobil işletmecilerin abone portföyü incelendiğinde, toplam mobil abonelerin yaklaşık %90,9’u bireysel, %9,1’i ise kurumsal olduğu görülmektedir. 2014 birinci çeyreğinde 331 dakika olan ortalama aylık mobil kullanım süresi ile Türkiye, raporda yer verilen Avrupa ülkelerine kıyasla en fazla mobil telefonla görüşme yapan ülke olmuştur. [Kaynak: Wireless Intelligence, 2013-4. Çeyrek, BTK.]

Türkiye’de 2009 yılında 3G hizmetlerinin sunulmasıyla birlikte mobil internet kullanımını hızlı bir şekilde artmaktadır fakat geline seviyede Türkiye ile bazı Avrupa ülkelerine ait mobil penetrasyon oranları karşılaştırıldığında, Türkiye Avrupa ülkelerine göre geri durumdadır. Şekil 62’de mobil penetrasyon oranları karşılaştırılmıştır. 2014 birinci çeyreği itibarıyla Avrupa ülkeleri içinde en yüksek mobil penetrasyon oranına sahip ülkeler Finlandiya, Portekiz, İsveç,

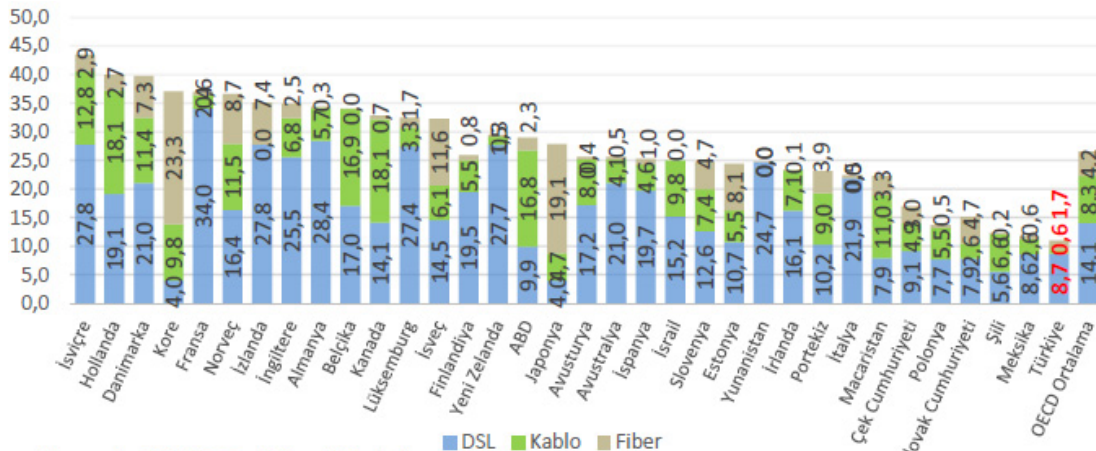
Avusturya ve Danimarka olarak görülmektedir. İncelenen ülkelerin ortalama mobil penetrasyon oranı %139,6'dır. Türkiye'de ise Mart 2014 itibariyle mobil penetrasyon oranı yaklaşık %92 seviyesindedir.



*Kaynak: Wireless Intelligence, 2014-1. Çeyrek, BTK.

Şekil 43 - Avrupa Ülkeleri ve Türkiye'ye Ait Mobil Penetrasyon Oranları

Benzer bir durum sabit genişbant internet penetrasyon oranları içinde geçerlidir. DSL, Kablo ve Fiber gibi sabit genişbant teknolojilerinde gelinen seviyede Türkiye, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD) ülkelerine göre geri durumdadır. Şekil 44'te Türkiye ve OECD ülkelerinde sabit genişbant internet penetrasyon oranları temel bağlantı teknolojilerine göre verilmektedir.

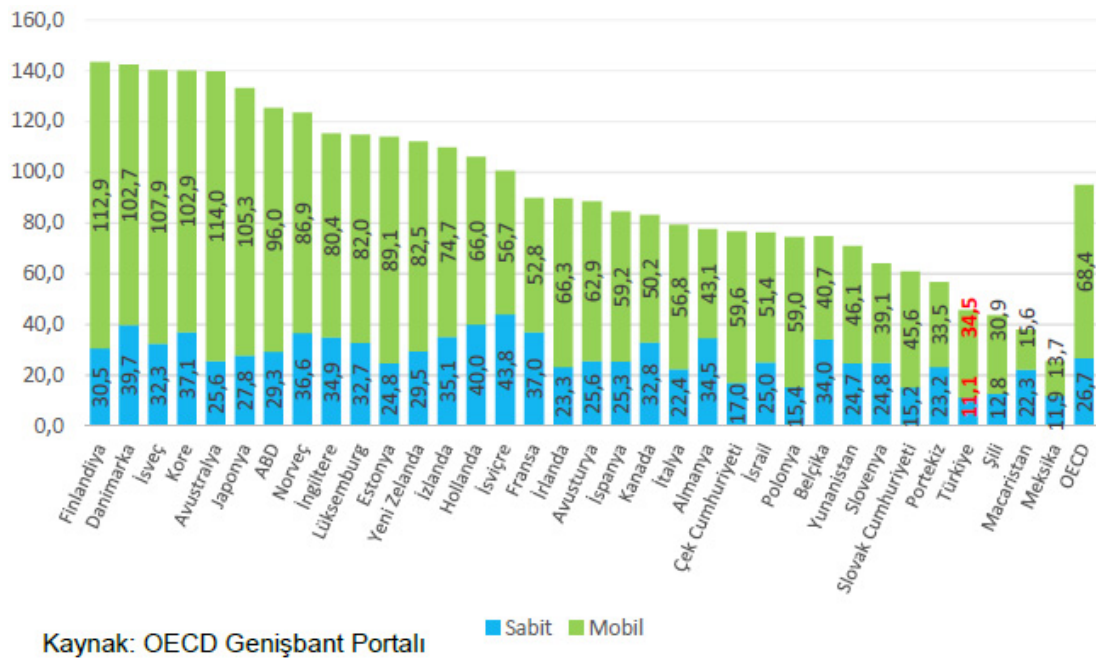


Kaynak: OECD Genişbant Portalı

Şekil 44 - OECD Sabit Genişbant İnternet Penetrasyon Oranları

OECD ortalama penetrasyon oranları Haziran 2013 itibarıyla DSL için %14,1, kablo için %8,3 ve fiber için %4,2 seviyesinde gerçekleşmiştir. Türkiye’de ise Mart 2014 itibarıyla sabit genişbant internet penetrasyon oranlarının DSL için %8,7, kablo için %0,6 ve fiber için %1,7 seviyesinde olduğu görülmektedir. OECD ülkelerinin verileri Haziran 2013, Türkiye verileri ise Mart 2014 tarihlidir. [66]

Sabit ve mobil genişbant teknolojilerinde gelinen seviyede Türkiye, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü’nün (OECD) ülkelerine göre geri durumdadır. Şekil 45’de OECD ülkeleri ve Türkiye’de nüfusa göre sabit ve mobil genişbant penetrasyon oranlarına yer verilmektedir.



Şekil 45 - OECD Sabit-Mobil Genişbant Penetrasyon Oranları

Türkiye’de nüfusa göre sabit genişbant penetrasyon oranı %11 iken OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) ülkeleri penetrasyon ortalaması %26,7’dir. Mobil genişbant penetrasyon oranı Türkiye’de %34,5 iken OECD ortalaması %68,4’dür. [66]

4.2. KAMU KURUMLARI İÇİN GENİŞBANT

Günümüzde bilgi ve iletişim teknolojileri, ekonomik ve sosyal gelişmenin en önemli itici güçleri olarak kabul edilmektedir. Bu çerçevede, genişbant internet erişimi, verimlilik ve rekabet gücünün artışı ile birlikte, işlem maliyetlerinin azaltılması, organizasyonların iyileştirilmesi, sosyal faydaların elde edilmesinde en kritik faktörler arasında yer almaktadır. Toplumun bilgi ve iletişim teknolojilerinden maksimum fayda sağlaması sosyal ve ekonomik açıdan da büyük önem arz etmektedir. Rakamlarla ifade edersek genişbant hizmetlerindeki her %10'luk artış gelişmekte olan ülkelerin ekonomik kalkınmasını %1,3 oranında yükseltmektedir. [67]

Yüksek kapasiteli ses, veri ve görüntü hizmetlerine olan talep artışını karşılamak için erişim altyapısının fiber optik altyapıya dönüştürülmesi gerektirmektedir. Genişbant erişim için fiber optik şebekelerin tesis edilmesi stratejik anlamda büyük önem arz etmektedir. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumunun (BTK) hazırlamış olduğu rapora göre, Türkiye'de Mayıs 2014 tarihi itibarıyla bildirim kapsamında 117 ve kullanım hakkı kapsamında 9 adet altyapı işletmecisi bulunmaktadır. 2014 yılı birinci çeyreği itibarıyla, alternatif işletmecilerin toplam fiber uzunluğu 51.244 km'dir. [66]

Tablo 20 - Alternatif İşletmecilerin Fiber Uzunlukları

İşletmeciler	Kendisine Ait Toplam Uzunluk	Kiralık Toplam Uzunluk	Omurga Toplam Uzunluk	Erişim Toplam Uzunluk	Genel Toplam Uzunluk (km)
TOPLAM	39.823	11.421	41.886	9.358	51.244

Tablo 20'de yer alan uzunluklar işletmecilerin kendi altyapılarının yanı sıra kiraladıkları omurga ve erişim şebekelerini de kapsamaktadır. Türk Telekom'un ise 182.405 km fiber altyapısı bulunmaktadır. Bunun yaklaşık 122.801 km'si omurga, geri kalan kısmı erişim amaçlı kullanılmaktadır.

Türk Telekom fiber altyapısı ülkemiz genelinde İstanbul, Ankara gibi nüfusun yoğunluklu olduğu büyükşehirlerde daha fazla olduğu görülmektedir.

Kamu kurum ve kuruluşları açısından, kendi kurumsal ihtiyaçları için fiber optik hatlar döşeyen ve kapasitesinin kullanım fazlasını kiralama yoluyla işletmecilerin kullanımına sunan kamu kurumları mevcuttur. Bunlardan bazıları Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAŞ), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD)'dir. Bu kurumlara ait fiber altyapı bilgileri Tablo 21'de gösterilmiştir.

Tablo 21 - Kamu Kurum ve Kuruluşları Fiber Uzunlukları

Kurum	Toplam Uzunluk
KGM	109 km
BOTAŞ	5.200 km 48/24 elyaf
TCDD	80 km 12 Damarlı 85 km 48 Damarlı 255 km. 48 Damarlı *220 km. 2 adet 48 damarlı *420 km. 48 damarlı
TEİAŞ	5825,2km *1501,5 km 1501,5 km

* Planlanan hatları göstermektedir. Kaynak: [67]

4.2.1. Yerel Yönetimler ve İstanbul Örneği

Tez çalışmasının konusunu oluşturan dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin kamu kurumları için araştırılması konusunda, kamu örneği olarak yerel yönetimler (İstanbul örneği) seçilerek teknik açıdan detaylı olarak incelenecektir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) 31 Aralık 2013 tarihli Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçlarına göre İstanbul sınırları içerisinde ikamet eden 14.160.467 kişi ile en çok nüfusa sahip olan il olmuştur. Türkiye nüfusunun %18,5'na karşılık gelen nüfusu ile İstanbul, 39 ilçeyi içinde barındıran toplam 5.461 km²'lik kara alanına sahiptir. [68]

Bir kamu kuruluşu olması hasebiyle İstanbul Büyükşehir Belediyesi görev, yetki ve sorumluluklarını düzenleyen kanun ve yönetmelikler (5216 ve 5393 sayılı kanunlar) dahilinde hizmetlerini yürütmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nde; başkan, genel sekreter, genel sekreter yardımcıları, daire başkanları, müdürler, müdür yardımcıları, şefler, memur ve işçilerden oluşan sekiz kademeli hiyerarşik bir yapı bulunmaktadır. [69] İnsan kaynakları açısından, İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi) Genel Müdürlüğü ve İETT (İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel) İşletmeleri Genel Müdürlükleri dahil olmak üzere İBB çatısı altında istihdam türüne göre toplam personel dağılımını gösteren tablo aşağıdaki gibidir.

Tablo 22 - İBB İstihdam Türüne Göre Personel Dağılımı

İstihdam Türü	İBB	İETT	İSKİ	Toplam
Memur	8.958	887	2.803	12.648
İşçi	4.215	4.116	4.682	13.013
	13.173	5.003	7.485	25.661

* Kaynak: [69],[70],[71]

Tablo 22'de gösterilen değerler ilgili kurumların yayınlamış oldukları 2014 yılı Performans Programı kaynak alınarak hazırlanmış ve İBB çatısı altında toplam 25.000'i aşan personel sayısı ile Türkiye'deki en büyük belediye olma özelliğine sahiptir. Tablodaki İBB'ye ait değerler Ekim 2013 tarihli, İSKİ'ye ait değerler ise Eylül 2013 tarihidir. Lokasyon olarak hizmetlerin yürütüldüğü bina sayıları Tablo 23'de gösterildiği gibidir.

Tablo 23 - İBB Hizmet Binaları Dağılımı

Bina Türü	İBB	İETT	İSKİ	Toplam
Ana Hizmet Binası	2	2	2	6
Ek Hizmet Binaları	725**	12	28	765
	727	14	30	771

* Kaynak: [69],[70],[71]

** Lojmanlar hariç verilen hizmet çeşitliliğine göre toplam bina sayısını bildirir.

İBB tarafından yürütülen hizmetlerin çeşitliliği ve hizmetlerin geniş bir alanda yaygın bir şekilde yürütülmesinin zorunluluğu, bina ihtiyacını arttırmıştır. Hizmetlerin gerektirdiği bina ihtiyacı karşılanırken; satın alma, kiralama veya inşa etme yöntemlerinden uygun olanı tercih edilmektedir. İSKİ ve İETT için bu durum, kurumun mevcut sabit sermayesi bakımından kendi mülkiyetinde olan hizmet binalarıdır.

Tablo 22 ve Tablo 23’de verilen personel sayıları ve hizmet binaları düşünüldüğünde İstanbul gibi büyük bir coğrafi alana yayılmış belediyeler için verilen hizmet çeşitliliği (e-belediye) ve kalitesi bakımından bilişim altyapısı son derece önem kazanmaktadır. Bu açıdan İBB’nin kurumsal ihtiyaçları karşılamak amacıyla, sabit ve mobil genişbant teknolojilerine olan ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Türkiye’de yerel yönetimler anlamında ihtiyaçlarını karşılamak amaçlı fiber optik altyapı kurulumuna yatırım yapan en kapsamlı belediye İstanbul Büyükşehir Belediyesi’dir.

Yapılan çalışmalar sonucunda işletmeciler ile istişare halinde olunarak, İBB hizmet sınırları içinde haberleşme altyapı tesislerinin kurulması ve geçiş hakkına ilişkin usul ve esasları belirlemeyi amaçlayan yönetmelik İBB tarafından çıkarılarak uygulamaya konmuştur. [72]

- ✓ “İBB Haberleşme Altyapı Tesislerinin Kurulması ve Bu Tesislerin Ortak Kullanılması İçin Geçiş Hakkına İlişkin Yönetmelik”

03.02.2010 tarihli ve 27482 sayılı “Elektronik Haberleşme Hizmetlerinin Yürütülmesinde Geçiş Hakkına Dair Yönetmelik” yürürlüğe girmesi ile birlikte İBB yönetmeliği üzerinde düzenlemeye gidilerek geçiş hakkı kullanımı için model geliştirilmiştir. Aynı güzergâhta kablo çekimi yapmak isteyen işletmecilerin ilk yatırım yapan işletmeciye katılım bedeli, Belediyeye ise geçiş hakkı bedeli ödemesi şeklinde bir yapı hazırlanmıştır. BTK'nın diğer belediye ve kamu kurumlarına da önerdiği bu model sayesinde sürdürülebilir ve verimli bir altyapı kullanımı sağlanmıştır. Yönetmelik ile gereksiz ve mükerrer kazıların engellenerek; emek, zaman ve mali kaynak israfının önüne geçilmek suretiyle şehrin altyapısının daha etkin kullanılması hedeflenmiştir. 407 km İBB tarafından olmak üzere toplamda 1161 km ortak telekomünikasyon altyapısı tesis edildi. Bu altyapılar kullanılarak 685 km İBB tarafından, toplamda ise 1810 km fiber optik kablo çekimi gerçekleştirilmiştir. [72]

Kamu kurum ve kuruluşlarında sürdürülmekte olan “e-devlet” kavramı ile birlikte halkın kullanımına yönelik uygulamalar yerel yönetimlerde de sürmektedir. Vatandaş odaklı e-belediyecilik hizmetlerinin sunulması, günlük hayatta şehir yaşamını kolaylaştıran ve yaşam kalitesini arttıran bir rol oynamaktadır. Bilişim altyapısı kullanılarak İBB tarafından internet ortamında halkın kullanımına açık olan hizmetler kapsamında e-belediye uygulamalarından bazıları: Beyaz Masa, E-Beyanname, E-Sorgulama ve Ödeme, Şehir Rehberi, Bilgi Edinme, Evrak Takibi, Kamera Görüntüleri, İSKİ Online İşlemler, İETT Online İşlemler, İGDAŞ Online İşlemler gibi uygulamalardır.

Mobil genişbant penetrasyon oranının Türkiye genelinde yapılan yatırımlarla yükselmesi bu noktada önem arz etmektedir. Halkın daha çok akıllı mobil cihazlar aracılığı ile belediyenin vermiş olduğu hizmetlerden yararlanmasının pek çok alanda kurumsal faydaları mevcuttur. Vatandaş odaklı olan bu uygulamalar ile kullanıcılar belediye ile ilgili tüm işlemlerini belediyeye gelmeden çözebilmelidir. E-belediye hizmetlerinin tüm vatandaşlar tarafından etkin bir şekilde verimli kullanılması ve ulaşılabilir olması sağlanmalıdır.

4.2.2. 4G ve Teknolojik Seçim

Tablo 24 - 4G (LTE-A & IEEE 802.16m) Teknik Karşılaştırma

		IMT-Advanced Gereksinim	Mobile WiMAX2 (IEEE 802.16m)	LTE-Advanced
Tepe Veri Hızı	Downlink	1 Gbps*	365 Mbps**	1 Gbps
	Uplink		376 Mbps**	500 Mbps
Gecikme Süresi	Kullanıcı Düzleminde	<10 ms	<10 ms	<10 ms
	Kontrol Düzleminde	<100 ms	<100 ms	<50 ms
Spektral Verimlilik (bit/s/Hz/hücre)	Tepe DL Hızı	15 (4x4)	17 (4x4) 8.5 (2x2)	30 (8x8)
	Tepe UL Hızı	6.75 (2x4)	9.3 (2x4) 4.6 (1x2)	15 (4x4)
	Ortalama DL Hızı	2.2 (4x2)	3.2 (4x2)	2.4 (2x2) 2.6 (4x2) 3.7 (4x4)
	Ortalama UL Hızı	1.4 (2x4)	2.6 (2x4)	1.2 (1x2) 2.0 (2x4)
	Hücre Kenar DL Hızı	0.06 (4x2)	0.09 (4x2)	0.07 (2x2) 0.09 (4x2) 0.12 (4x4)
	Hücre Kenar UL Hızı	0.03 (2x4)	0.11 (2x4)	0.04 (1x2) 0.07 (2x4)
VoIP Kapasitesi (Aktif Kullanıcı/sektör/MHz)		40	80	80
Spektrum Tahsisi		40 Mhz'e kadar	100 Mhz'e kadar	100 Mhz'e kadar
Hareketlilik (Mobilite)		350 km/h'e kadar	350 km/h'e kadar	350 km/h'e kadar

* Düşük hareketlilikte 1 Gbps, Yüksek hareketlilikte 100 Mbps veri iletimi.

** Kaynak[62], 2x20Mhz bant genişliği, FDD ve 4x4 MIMO yapılandırmasında ki değerlerdir.

Bölüm 3.3.3 başlığında detayları belirtilen LTE-Advanced teknolojisi ile Bölüm 3.4 başlığında detayları belirtilen Mobile WiMAX 2 (IEEE 802.16m) teknolojileri IMT-Advanced gereksinimlerini karşılayarak, ITU tarafından resmi olarak dördüncü nesil mobil haberleşme sistemi ilan edilmiştir. Her iki teknolojiye ait teknik özelliklerinin karşılaştırılmasını içeren bilgiler Tablo 24'de gösterildiği gibidir. Tablo incelendiğinde her iki teknolojinin de benzer teknik özelliklere sahip olduğu görülmektedir. IEEE 802.16m için downlink ve uplink yönünde ulaşılan tepe veri hızları düşük gibi görünse de, bu değerlerin 2x20Mhz bant genişliği, FDD ve 4x4 MIMO yapılandırmasında ki değerler olduğu unutulmamalıdır. Taşıyıcı frekans sayısının artırılması ve anten yapılandırılması ile hızlar istenilen IMT-Advanced gereksinimlerini karşılayacak düzeye gelmektedir.

IEEE 802.16m ile LTE-Advanced benzer teknolojik altyapıyı kullandıkları için oluşan teknik değerlerin birbirine yakın olması normaldir. Her iki şebekenin uçtan uca IP tabanlı mimariye sahip olması diğer IP tabanlı sistemlerle birlikte çalışabilirlik konusunda avantaj sağlamaktadır. IEEE 802.16m'de basit mimari yapı olduğu gibi LTE-Advanced'da önceki 3GPP sürümlerine göre daha basit bir şebeke yapısına sahiptir. Bu durum sistemdeki donanım maliyetleri de önemli ölçüde azalmıştır. Her iki teknolojide FDD ve TDD çoğullama modunu desteklediği için Tablo 24'e eklenmemiştir. Aynı şekilde her iki teknolojide yüksek modülasyon teknikleri, gelişmiş anten yapılandırmaları ve daha büyük bant genişliği sayesinde yüksek veri iletim hızına ulaşmaktadırlar.

LTE-Advanced ve IEEE 802.16m'in önümüzdeki yıllarda piyasada yaygınlaşması ile birlikte işletmeciler verimli şebekeler sayesinde bakım maliyetleri düşürerek kendilerine yeni gelir kapıları açma fırsatını yakalayacaklardır. Tüketiciler açısından bu durum daha ucuz maliyetli daha yüksek hıza sahip mobil cihazlar sayesinde yeni nesil mobil servisleri kullanma şansı doğacaktır. Son yıllarda kullanımı artan akıllı telefonlar ve tabletler ile birlikte mobil veri kullanımı dünya genelinde her geçen yıl artış göstermektedir. Teknik ve idari değerlendirmeler ışığında İstanbul ölçeğinde ki metropol şehirler için, kendi mobil genişbant haberleşme altyapısını kurması hayati

derecede önem arz etmektedir. Bilgi teknolojilerinin kamu kurumları tarafından aktif şekilde kullanılarak vatandaşa hizmet olarak sunulması bilgiye daha çabuk ve etkin bir şekilde erişilmesini sağlamıştır. İstanbul örneği için dördüncü nesil mobil genişbant haberleşme altyapısının tesisi hakkında LTE-Advanced ve Mobil WiMAX teknolojileri arasında teknik ve idari değerlendirmeler sonucunda tez çalışması kapsamında WiMAX teknolojisi ele alınacaktır. Mobil WiMAX teknolojisinin tercih edilme sebepleri arasında:

- ✓ Şebeke ilk kurulum maliyetleri açısından daha uygun olması,
- ✓ Açık standartlar gereği cihaz üreticileri arasında rekabetin artması sonucu LTE-A'a göre daha ucuz donanımların olması,
- ✓ Esnek hizmet kalitesi desteğinin sağlanması,
- ✓ Kurumsal bina sayısının İstanbul içerisinde fazla olması sebebiyle WiMAX'in noktadan noktaya çözümlere daha uygun olması,
- ✓ Uçtan uca IP tabanlı mimarisi kurumsal uygulamalar için daha uygun olması,
- ✓ Farklı teknolojileri bir araya toplayarak merkeze iletebilmesi (taşıyıcı omuga görevi görmesi),
- ✓ IEEE 802.16m standardında olan ve olmayan tüm Radyo Erişim Şebekelerini desteklemesi,
- ✓ 3GPP şebekeleri ile ara bağlantı yapma ihtiyacı olmayan kurumlara kendi hücresele ağını oluşturma fırsatı vermesi ve
- ✓ NLOS (optik görüş açısı olmadan) çalışabiliyor olması yer alır.

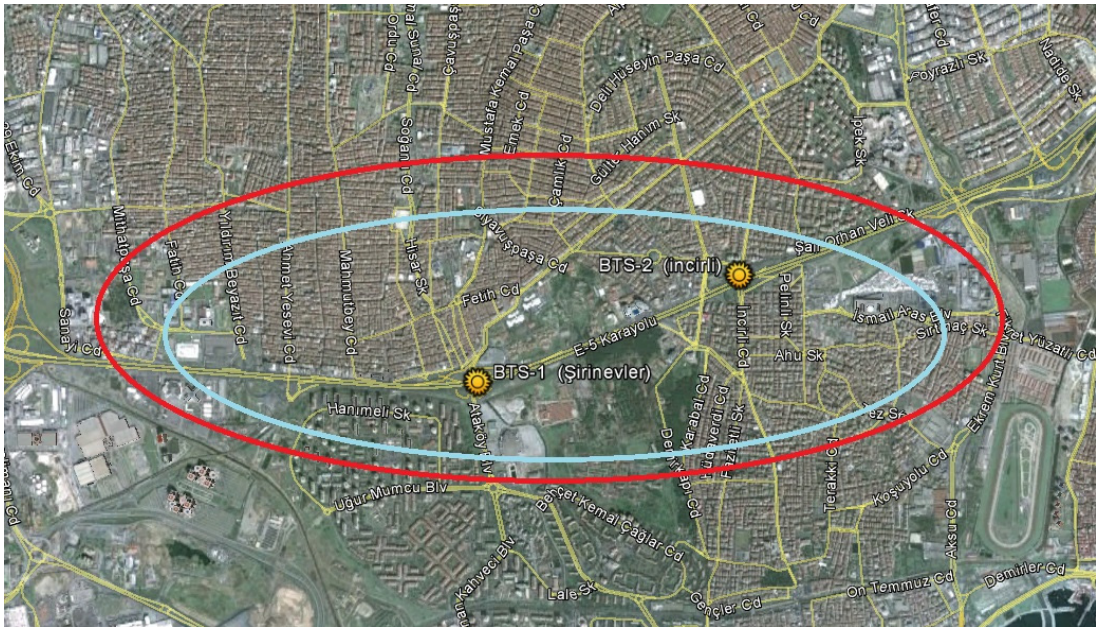
Son yıllarda kullanımı artan akıllı cihazlar sayesinde vatandaşlar her türlü hizmete konumdan bağımsız bir şekilde erişim sağlamaktadır. Yerel yönetim olarak İstanbul sınırları içerisinde yeni nesil teknolojileri şehrin bilişim altyapısında uygulayarak, gündelik hayatı kolaylaştırıcı hizmetlerin sunulması amaç edinilmiştir. Ayrıca bu yeni teknolojilerin mevcut kurumsal altyapıyı destekleyici veya alternatif altyapı oluşturması kurumsal açıdan yeni fırsatlar yaratılması anlamına gelmektedir. Şu anda ülkemizde dördüncü nesil mobil haberleşme sistemleri hayata geçmemiş olsa da, 4. nesil mobil haberleşme teknolojilerinin, uygulanabilirliğinin test edilmesi gerekmektedir.

4.3. BULGULAR

Bu bölümde İstanbul örneği ele alınarak dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin uygulanabilirliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda saha keşifleri sonucu pilot bölge belirlenmiş, radyo şebeke yapısını oluşturmak için bir kapsama analizi yapılmıştır. Teknik detaylar belirlendikten sonra örnek senaryoya uygun testler gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Saha Keşfi

Tez çalışmasına konu olan 4.nesil mobil haberleşme teknolojilerinin, uygulanabilirliğini test etmek için pilot bölge belirlenmesi amacıyla saha keşifleri yapılmıştır. Baz istasyonu konumları belirlenirken, sahadan elde edilen verinin İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi) üzerinden aktarılması için örnek olarak seçilen konumların İBB'ye ait fiber omurgası üzerinde veya yakınında olmasına dikkat edilmiştir. Bu faktörler göz önüne alınarak keşif sonucunda D-100 karayolu üzerinde yer alan iki nokta örnek olarak ele alınmıştır. Bu noktalar: Şirinevler KöprülÜ Kavşağı ve İncirli Kavşağıdır.



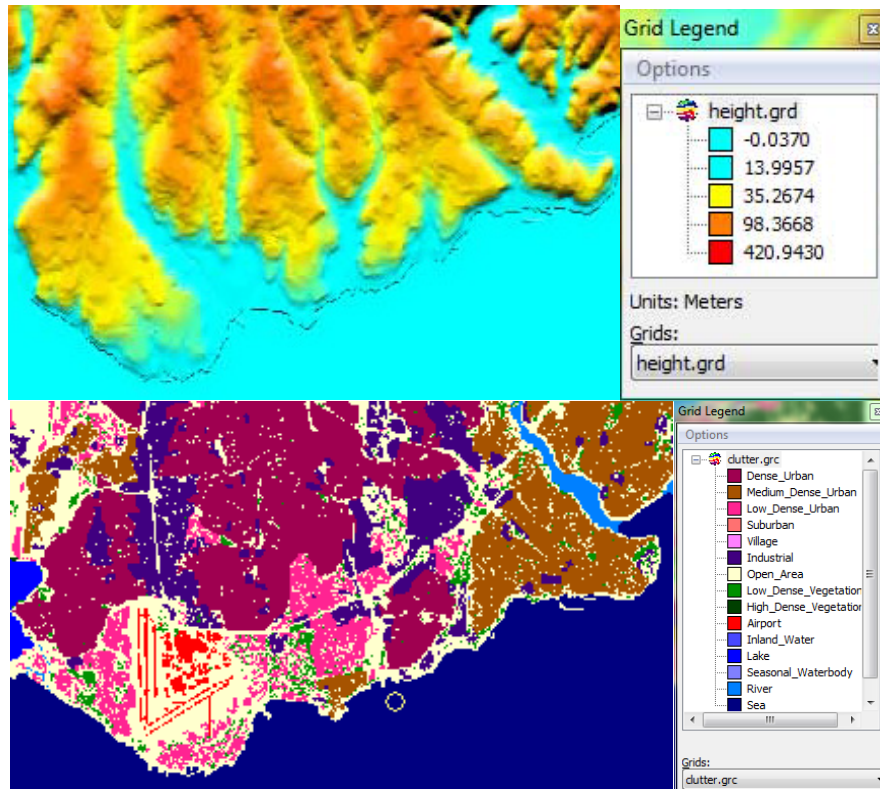
Şekil 46 - Bölge Kapsama Alanı

Saha ve merkez arası fiber optik bağlantı için altyapının uygunluk analizi yapılmış olup, seçilen iki baz istasyonu noktaları birbirleriyle fiber omurgası üzerinden haberleşmesi için gerekli alt yapı mevcuttur.

4.3.2. Kapsama Analizi

Pilot bölgedeki Radyo Şebeke Yapısını oluşturmak için coğrafi özellikleri de içine alan bir kapsama analizi yapılarak pilot bölgede kesintisiz servis sağlanması için gerekli noktalar belirlenmiş ve baz istasyonlarının montajı yapılmıştır.

Kapsama analizi hakkında, alan ile ilgili DTM (Digital Terrain Model - Sayısal Karasal Modeli) oluşturmak için test alanına ait 2011 yılı Landsat 7 ETM + pan-sharp uydu görüntüsü üzerinden sınıflandırma yapılmıştır.



Şekil 47 - DTM Sınıflandırma Sonucu

Yayılim modelleri, radyo dalgalarının bir noktadan başka bir noktaya coğrafi koşullar ile iletiminin simülasyonunu oluşturur. Yayılim modelinin karmaşık yapısı gereği iletim esnasındaki yol kaybını en doğru şekilde tahmin etmek için oldukça fazla bilgiye ihtiyaç duymaktadır. Modelin tahmini ile gerçek dünya arasında ki ölçümlerde her zaman farklılıklar vardır. Bu farklılıkları en aza indirmek için en uygun modeli seçerek kalibre edilmesi gerekmektedir.

Pilot bölgedeki test çalışmasında CRC-Predict 4.x yayılım modeli kullanılmıştır. CRC-Predict Kanada'da geliştirilen (Communications Research Centre - Mentum) ve birçok ülkede kullanılan, fiziksel optik dalga teorisine dayalı deterministik bir modeldir.

Propagation Model Editor: Predict 4

Settings Clutter Properties General

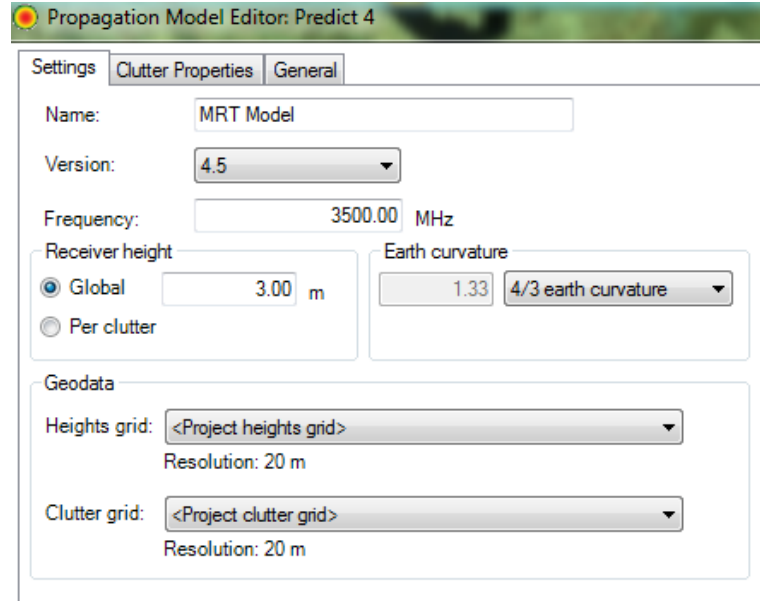
Use clutter grid Use default/single properties

Properties

Reference Name	Clutter Height (m)	Clutter Separation (m)	Receiver Height (m)	Clutter Absorption Loss (dB)	Ground Type
<Default>	7	20	3	0	Dry ground
Dense_Urban	15	20	3	0	Dense urban
Medium_Dense_...	12	25	3	0	Dense urban
Low_Dense_Urban	9	25	3	0	Dense urban
Suburban	7	30	3	0	Residential
Village	3	30	3	0	Residential
Industrial	7	35	3	0	Industrial
Open_Area	0	50	3	0	Dry ground
Low_Dense_Veg...	5	20	3	0	Forest
High_Dense_Ve...	10	35	3	0	Forest
Airport	0	35	3	0	Dry ground
Inland_Water	0	50	3	0	Fresh water
Lake	0	50	3	0	Fresh water
Seasonal_Water...	0	50	3	0	Fresh water
River	0	50	3	0	Fresh water
Sea	0	50	3	0	Salt water

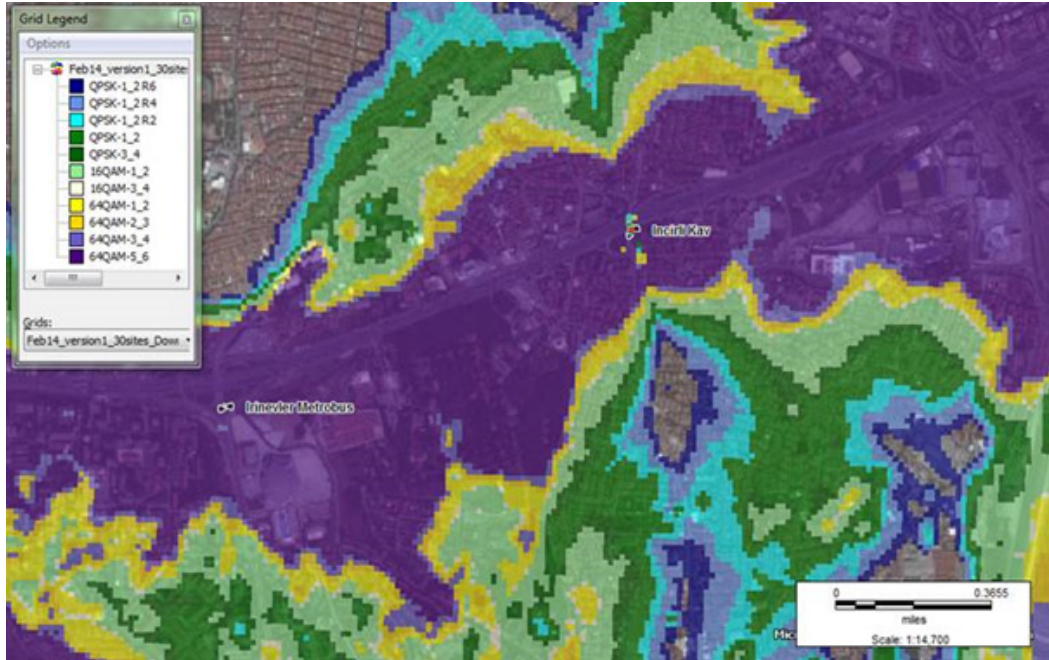
ClutterProperties

Şekil 48 - CRC-Predict Modeli - 1



Şekil 49 - CRC-Predict Modeli - 2

Modelden elde edilen sonuçlara göre 64QAM, 16QAM ve QPSK modülasyon tekniklerin kullanılması ile Downlink ve Uplink de oluşan değerler Şekil 50'de ki gibidir.



Şekil 50 - Pilot Bölge Kapsama Alanı Modülasyon Değerleri

4.3.3. Radyo Şebeke Yapısı

Pilot bölgedeki testler için radyo şebeke yapısı hakkında Tablo 25’da detayları gösterildiği gibi 3500 Mhz frekans bandında, OFDMA / TDD erişim yöntemi ile 10 Mhz bant genişliğine sahip frekans kanalı uygun görülmüştür.

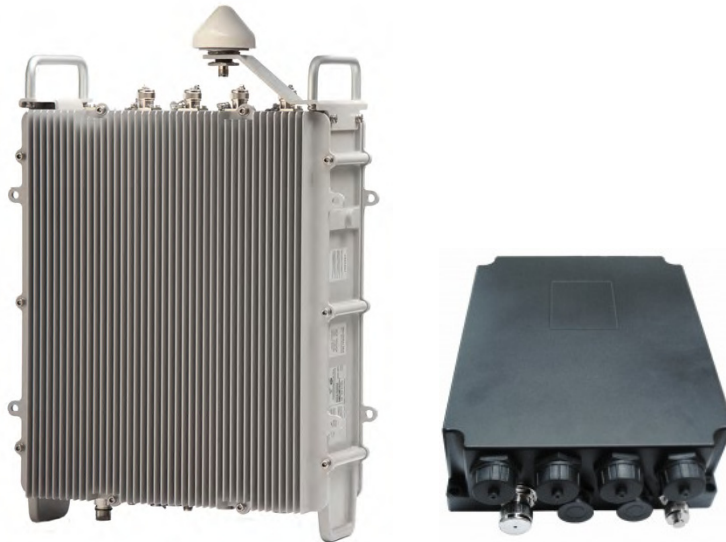
Tablo 25 - Pilot Bölge Radyo Şebeke Yapısı

Radyo Şebeke Yapısı	
DTM (Digital Terrain Model – Sayısal Karasal Model)	20m çözünürlük, LANDSAT -7 ETM + PAN merged(15m) uydu görüntüleri 2011
Yayılm Modeli (Propagation Model)	CRC Predict 4.x deterministik
Frekans Bandı	3500 MHz
Frekans Kanalı	10 MHz Kanal Bant Genişliği, 2 x 30MHz Toplam Bant Genişliği
Modülasyon	64QAM, 16QAM ve QPSK
Çoklu Erişim Yöntemi	OFDMA / TDD
BTS Çıkış Gücü	37dBm anten portu, 40dBm Tx power
BTS Sektör Hücre Yapısı	65 derece - Quad Açılı
BTS Yükseklik	20m
BTS Anten	MIMO (DL 2TX/2RX ve UL 1TX/2X)
Araç Terminali Özellikleri	MRT (Mobile Radio Transmitter), 2 x 23dBm 4dBi tavana montaj edilebilen araç anteni
Planlama Aracı	MP Planet 5.3

Şekil 51’de gösterildiği gibi test için Airspan marka Air4G Macro Base Station model 4G baz istasyonu ile Airspan MRT (Mobile Radio Transmitter) CPE (araç terminali) model teknik donanımlar kullanılmıştır.

Baz istasyonu IEEE 802.16e Mobil WiMAX ve 3GPP LTE (Long Term Evolution) teknolojilerinin her ikisini birden aynı kompakt şasede destekleyerek ve talep edildiğinde yazılım üzerinden çalışma modu değiştirilebilmektedir. Test için baz istasyonu Mobil WiMAX modunda çalışır hale getirilmiştir. 64QAM, 16QAM ve QPSK modülasyon tekniklerini destekleyen ve 3.5 Ghz frekans bandında çalışan baz istasyonu “All in One” mimariye sahip olduğu için (entegre Base Band, RF ve GPS ünitesi) kuruma operasyonel (kurulum ve bakım-onarım) avantaj sağlamaktadır. Tek donanım içindeki quad açılı ve eğilimli panel sektörel antenler takılarak baz istasyonunun kapsama alanı genişletilebilir bir yapıya sahiptir.

Araç Terminali (MRT CPE) tarafında ise donanım olarak, IEEE 802.16e Mobil WiMAX ve IEEE 802.11b/g WiFi teknolojilerini desteklemektedir. Araç terminali üzerinde baz istasyonu ile haberleşmesini sağlayan iki adet MIMO anten bağlantısı mevcuttur.



Şekil 51 - Baz İstasyonu ve Araç Terminali

4.3.4. Örnek Senaryo

Saha keşfi sonucunda D-100 karayolu üzerinde yer alan iki nokta olan Şirinevler KöprülÜ Kavşaağı ve İncirli Kavşaağına Baz İstasyonların montajı yapılmıştır.

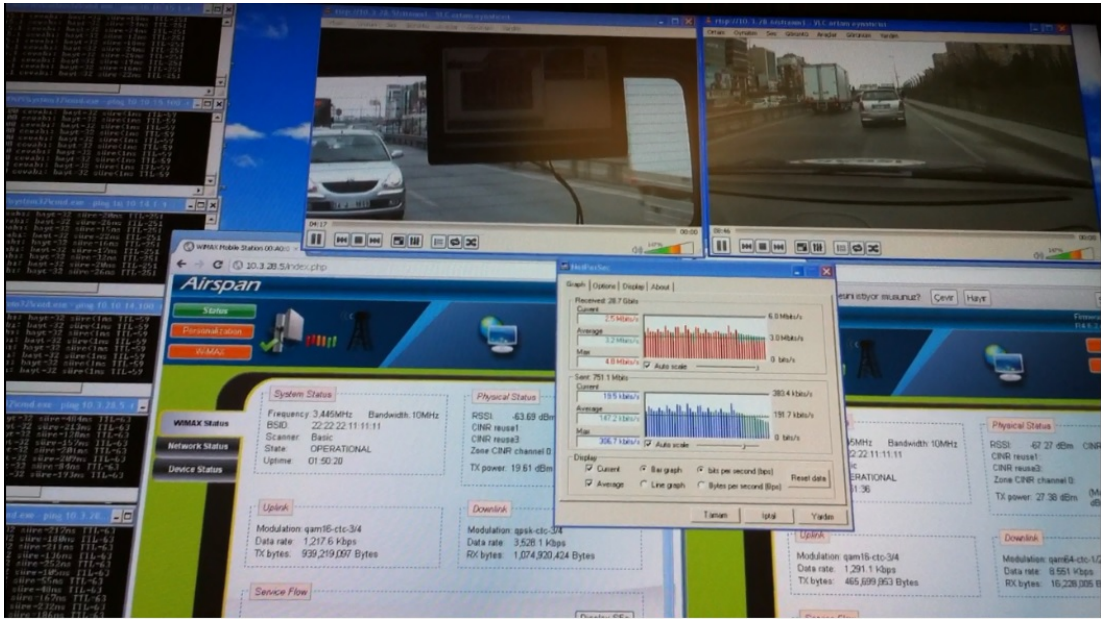


Şekil 52 - D-100 İncirli Baz İstasyonu

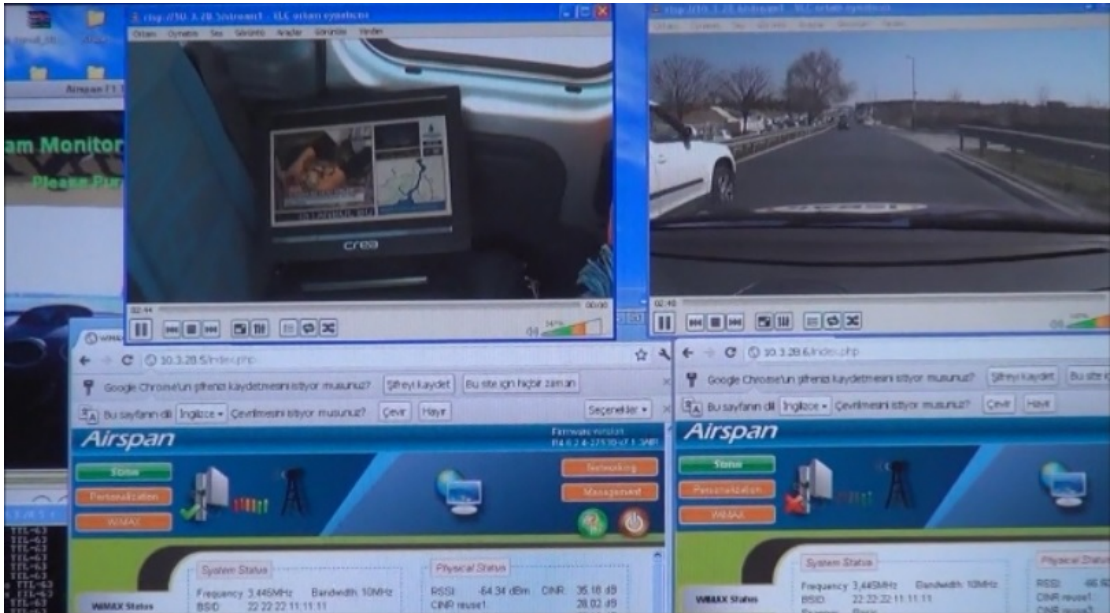


Şekil 53 - D-100 Şirinevler Baz İstasyonu

araç terminali, hd kameralar) network ping değerleri gözlemlenmiştir. NetPerSec programı ile downlink ve uplink de ayrı ayrı sistemde oluşan anlık, ortalama ve en yüksek bağlantı hızları ölçülmüştür.



Şekil 55 - Örnek Senaryo Ekran Görüntüsü - 1



Şekil 56 - Örnek Senaryo Ekran Görüntüsü - 2

Pilot bölge için oluşturulan senaryolar başarı ile test edilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında geçmişten günümüze kadar olan mobil haberleşme teknolojileri teknik açıdan detaylı olarak incelenmiştir. 20.yüzyıl başlarında Guglielmo Marconi'nin radyo dalgalarını kullanarak haberleşme sağlamasından, günümüz 4G teknolojilerine kadar geçen sürede mobil haberleşme sistemleri inanılmaz aşamalar kaydettiği görülmüştür. 1970'li yılların başlarında yarıiletken ve mikrochiplerin geliştirilmesine paralel olarak teknolojiye ilerlemelerle birlikte hücresel mobil haberleşme sistemlerin uygulanması mümkün hale gelmiştir. Tarihsel süreç olarak değerlendirdiğimizde teknolojileri sınıflandıracak olursak: 1980'leri birinci nesil (1G), 1990'ları ikinci nesil (2G), 2000'li yılları üçüncü nesil (3G) ve 2010'dan itibaren ise dördüncü nesil (4G) teknolojilerin yer aldığı görülmektedir. Birbirini takip eden bu süreç içerisindeki teknolojilere örnek vermek gerekirse: NMT, TACS, AMPS, GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, HSPA+, LTE, LTE-A ve WiMAX bunlardan bazılarıdır. İlk başlarda insanların ihtiyaçlarına göre şekillenen ve gelişen mobil haberleşme teknolojileri son 10 yılda teknolojiye hızlı gelişmeler sayesinde insan günlük hayatını etkileyen en önemli faktör haline gelmiştir.

Tez çalışmasının araştırma konusunu da oluşturan dördüncü nesil mobil haberleşme sistemleri teknik olarak Bölüm 3'de detaylı bir şekilde incelenmiştir. IMT-Advanced gereksinimlerini karşılayarak, ITU tarafından resmi olarak dördüncü nesil mobil haberleşme sistemi ilan edilen LTE-Advanced teknolojisi ile Mobile WiMAX 2 (IEEE 802.16m) teknolojisine ait teknik özellikleri içeren karşılaştırma değerleri Bölüm 4.2.2'de Tablo 24'de gösterildiği gibidir. Tablo incelendiğinde her iki teknolojinin de benzer teknik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Türkiye'deki elektronik haberleşme sektöründe faaliyet gösteren işletmecilerin, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'na (BTK) göndermiş oldukları veriler esas alınarak hazırlanan "Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü" raporunda 2014 yılı 1. Çeyrek (Ocak-Şubat-Mart) dönemine ait veriler önceki dönemler ile kıyaslamalı olarak tez kapsamında incelenmiştir.

BTK'nın raporuna göre 2008 yılında yaklaşık 6 milyon genişbant internet abonesi bulunmaktayken altı yıllık bir sürede beş kata yakın artışla 2014 yılı birinci çeyrek sonu itibarıyla 35 milyona yaklaşmıştır. Bu değer üzerinde özellikle fiber ve mobil kaynaklı artışlar dikkat çekmiştir. 2014 yılı Mart ayı itibarıyla yaklaşık 70 milyon mobil abone olduğu düşünüldüğünde son nüfus sayımına göre %91,5 mobil penetrasyon oranına ulaşılmıştır. Mobil ve sabit genişbant kullanıcı sayısındaki artışlara rağmen gelinen seviyede Türkiye ile bazı Avrupa ve Dünya ülkelerine ait penetrasyon oranları karşılaştırılmış, ortalama değerler dikkate alındığında Türkiye, Avrupa ve Dünya ülkelerine göre geri durumda olduğu tespit edilmiştir.

Dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin kamu kurumları için araştırılması konusunda, kamu örneği olarak yerel yönetimler (İstanbul örneği) seçilerek teknik açıdan incelenmiştir. İSKİ ve İETT Genel Müdürlükleri dahil olmak üzere İBB çatısı altında toplam 25.000'i aşan personel sayısı mevcuttur. Toplam personel sayısı ve Tablo 23'de gösterilen hizmet binaları sayısı düşünüldüğünde İstanbul gibi büyük bir coğrafi alana yayılmış belediyeler için verilen hizmet çeşitliliği (e-belediye) ve kalitesi bakımından bilişim altyapısı son derece önem kazanmaktadır. Türkiye'de yerel yönetimler anlamında ihtiyaçlarını karşılamak amaçlı fiber optik altyapı kurulumuna yatırım yapan (1810km) en kapsamlı belediye İstanbul Büyükşehir Belediyesidir. İstanbul örneği için dördüncü nesil mobil genişbant haberleşme altyapısının tesisi hakkında LTE-Advanced ve Mobil WiMAX teknolojileri arasında teknik ve idari değerlendirmeler sonucunda tez çalışması kapsamında WiMAX teknolojisi ele alınmıştır. Kurumsal bina sayısının İstanbul içerisinde fazla olması sebebiyle WiMAX'in noktadan noktaya çözümlerde LTE-Advanced'a göre daha iyi olduğu ve uçtan uca IP tabanlı mimarisinin kurumsal uygulamalar için daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Seçilen WiMAX sisteminin uygulanabilirliğinin test edilmesi amacıyla saha keşifleri sonucu pilot bölge belirlenmiş, radyo şebeke yapısını oluşturmak için bir kapsama analizi yapılmıştır. Teknik detaylar belirlendikten sonra örnek senaryoya uygun testler gerçekleştirilmiştir ve başarı ile test sonuçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında anlatılanlar ışığında aşağıda yer alan değerlendirme ve öneriler sunulmaktadır.

- ✓ Tarihsel süreç olarak değerlendirdiğimizde teknolojileri sınıflandıracak olursak: 1980'leri birinci nesil (1G), 1990'ları ikinci nesil (2G), 2000'li yılları üçüncü nesil (3G) ve 2010'dan itibaren ise dördüncü nesil (4G) teknolojilerin yer aldığı görülmektedir. Mobil haberleşme sistemlerinin ortalama her 10 yılda bir gelişim göstermesi, 2020'li yıllardan itibaren 5G teknolojilerinin yer alacağını öngörmek mümkündür.
- ✓ LTE-Advanced ile IEEE 802.16m benzer teknolojik altyapıyı kullandıkları için oluşan teknik değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.
- ✓ LTE-Advanced sistem performansı ve yetenekleri açısından kendinden önceki 3GPP sürümlerinin evrimleşmiş halini ifade eder. WiMAX teknolojisi ise 3GPP sistemlerine göre çok daha yeni bir teknoloji olup, kendinden önceki herhangi bir standarda dayanmamaktadır. Dünyada ve Türkiye genelinde 3GPP sistemleri daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- ✓ Son yıllarda kullanımı artan akıllı telefonlar ve tabletler ile birlikte mobil veri kullanımı dünya genelinde her geçen yıl artış göstermiş ve mobil veri kullanımı mobil ses kullanımını geçmiştir. IEEE 802.16m ve LTE-Advanced teknolojileri kullanıcılardan gelen bu talepler gözetilerek sistem mimarilerini tasarlamışlardır.
- ✓ Her iki teknolojinin de IMT-Advanced gereksinimleri karşılayabilmesi açısından, taşıyıcı frekansların toplanarak sistem bant genişliğini arttırması kritik bir teknolojik yeniliktir.
- ✓ Hem LTE-Advanced'da hem de IEEE 802.16m sistemlerinde, kullanıcılardan gelen yüksek veri iletim hızı talebinin karşılanmasında 3 ana unsurun önemli olduğu tespit edilmiştir. Bunlar gelişmiş anten teknolojileri (MIMO), yüksek seviyeli modülasyon teknikleri ve taşıyıcı toplama özellikleridir.

- ✓ Yapılan inceleme ve araştırmalar sonucunda yerel yönetimler ölçeğindeki kamu kurum ve kuruluşları için İstanbul örneğinde olduğu gibi IEEE 802.16m Mobil WiMAX teknolojisinin LTE-Advanced teknolojisine göre aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepler arasında:
 - İstanbul gibi coğrafi alanı büyük bir şehirde, İBB örneğinde olduğu gibi fazla sayıda hizmet binasının olması sebebiyle WiMAX'in noktadan noktaya çözümlere daha uygun olması,
 - 3GPP şebekeleri ile ara bağlantı yapma ihtiyacı olmayan kamu kurumlarına kendi hücresele ağını oluşturma fırsatı vermesi,
 - Kurumsal yapı içerisindeki farklı genişbant teknolojilerini bir araya toplayarak merkeze iletebilmesi (taşıyıcı omurga görevi görmesi),
 - Tam mobiliteye uygun hücresele bir şebeke olmasının yanında, kamu kurumları için sabit ve hareketli çözümleri barındırmasının getirdiği avantajlar,
 - Kurumsal uygulamalar için uçtan uca IP tabanlı mimarinin daha iyi performans göstermesi,
 - Kurumsal network ağına alternatif veya tamamlayıcı olarak tasarlanabilmesi,
 - Şebeke cihazları ve şebeke ilk kurulum maliyetlerinin daha uygun olması,
 - Esnek hizmet kalitesi desteğinin olması ve
 - NLOS (optik görüş açısı olmadan) çalışabiliyor olması yer alır.
- ✓ Dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin uygulanabilirliğinin test edilmesi amacıyla Mobil WiMAX teknolojisi seçilerek İstanbul örneği ele alınmış ve Bölüm 4,3'de teknik detayları verilen testler başarı ile gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Kurumsal hizmet binaları başta olmak üzere, turistik ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu ana arterleri kapsayacak şekilde kente WiMAX sisteminin kurulmasının vatandaşlara ve kurumsal olarak İBB nezdinde İstanbul'da yer alan tüm kamu kurum ve kuruluşlarına fayda sağlayacaktır.

- ✓ Bu faydalar arasında İstanbul'da yer alan kamu kurum ve kuruluşları arasında ortak bir haberleşme altyapısının tesisi ile bilgi teknolojileri eksenli işbirlikleri yapılabilir.
- ✓ Belediye öncülüğünde İstanbul da tamamen kamuya özel hücresel bir şebekenin kurulması, ileriye dönük pek çok uygulamanın altyapısını oluşturacaktır. (Örneğin mobil hizmet araçları ile belediye hizmetlerinin halkın ayağına götürülmesi, halkın daha rahat ve kolay bir şekilde belediye hizmetlerine erişim sağlaması, kamusal hizmet kalitesinin artırılması)
- ✓ Kurumların network altyapısı anlamında kazı-kablolama-kapatma işlemleri gibi ağır işçilik gerektiren maliyeti yüksek giderler en aza indirgenebilir.
- ✓ Network altyapısının zarar gördüğü durumlarda alternatif bir çözüm olarak uygulanabildiği gibi, altyapının ulaşmadığı kırsal alanlara da hizmet götürme şansı doğmaktadır.
- ✓ Kurumsal personelin mobil (hareketli) olduğu durumlarda kurumsal ağa (intranet) bağlanma imkânı ile iş verimliliğini artırma fırsatı ortaya çıkmaktadır. Kurumsal uygulamalar için mobil tasarımların yer aldığı "mobil kurumsal ağ portalı" ile bu durum değerlendirilebilir.
- ✓ Bu altyapı üzerinden kurum içi VoIP görüşmeler yapılarak kurumsal haberleşme giderleri en aza indirgenebilir.
- ✓ Turistik ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu ana arterleri kapsayacak şekilde WiMAX sisteminin kurulması hizmet çeşitliliği ve kalitesi bakımından halka dönük faydaları arasında değerlendirilebilir.
- ✓ İhtiyaç analizi yapılarak kurumsal bant genişliği hesabı yapıldıktan sonra, BTK'dan alınacak izinler doğrultusunda İBB'ye özel WiMAX frekansının tahsisi ile kalıcı olarak sistem mimarisi tasarlanabilir. Belediyeye özel frekansın tahsisi ile güvenliğin sağlanması, herhangi bir enterferans riskinin olmayacak olması gibi avantajlara sahip olacaktır.

- ✓ Olağanüstü durumlarda (deprem, sel gibi felaket anları) ve beklenmeyen durumlarda kamu kurum ve kuruluşlarına ait birimler arasında kesintisiz haberleşme olanağını sunmaktadır. Bu gibi durumlarda GSM şebekesinin hizmet verememesi kamu kurum kuruluşlarının sunmuş olduğu hizmetleri aksamamamı için bu altyapının operatörlerden bağımsız olması ayrı bir önem arz etmektedir.
- ✓ E-Belediyecilik anlayışı içerisinde, sosyal hayatı kolaylaştıran yeni mobil uygulamalar için fırsat yaratması bakımından avantaj sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1]. Cep telefonlarının çeyrek asırlık hikayesi, CHIP ONLINE, (Erişim) http://www.chip.com.tr/galeri/cep-telefonlarinin-ceyrek-asirlik-hikayesi_524.html, 24.12.2013
- [2]. Turkcell Akademi, Bilgi ve İletişim Teknolojileri Gelişim programı, Ankara 2012
- [3]. DARICI, Ahmet, 3.Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri, Telekomünikasyon Kurumu, Aralık 2002, (Erişim) http://www.tk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/raporlar/arastirma_raporlari/dosyalar/3g_raporu_aralik_2002.pdf, http://www.tk.gov.tr/Yayin/Raporlar/pdf/3G_Raporu_Aralik_2002.PDF, 14.12.2013
- [4]. BÜYÜKBAŞ, Afşin, CDMA ve UMTS: Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması. Uzmanlık Tezi. Telekomünikasyon Kurumu. Ankara 2005, (Erişim) http://www.tk.gov.tr/ekDosyalar/tezler/Afsin_BUYUKBAS.PDF, http://www.tk.gov.tr/Yayin/Uzmanlik_Tezleri/tktezler/afsin_buyukbas_uzmanlik_tez.pdf, 15.12.12013
- [5]. UMTS Forum, WARC-92 frequencies for IMT-2000 (Erişim) http://www.3gpp.org/ftp/tsg_sa/TSG_SA/TSGS_08/Docs/PDF/SP-000257.pdf, 15.02.2014
- [6]. ITU, Frequency Arrangements for Implementation of the Terrestrial Component of International Mobile Telecommunications-2000, Recommendation ITU-R M.1036-3, Geneva 2007, (Erişim) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1036-3-200707-S!!PDF-E.pdf, 17.02.2014
- [7]. ITU, The dawn of 3G mobile systems, (Erişim) http://www.itu.int/itunews/issue/2000/09/the_dawn.html, 16.02.2014
- [8]. ITU, IMT-2000 Radio Interface Specifications Approved in ITU Meeting in Helsinki, Press Release, Geneva 1999

- [9]. ITU, IMT-2000 Radio Interface Expanded with OFDMA Technology, Press Release, Geneva 2007
- [10]. TÜMER Ş.Banu, Üçüncü Nesil Mobil Telekomünikasyon Sistemlerinin Gelişimi ve Radyo Yükleme Stratejileri, İnönü Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Malatya 2010
- [11]. 3GPP, TSG Structure, Specifications Groups Home, (Erişim) <http://www.3gpp.org/specifications-groups/specifications-groups> , 20.02.2014
- [12]. NAİMOĞLU Mahmut İlker, Üçüncü Nesil Mobil İletişim Sistemlerindeki Güvenlik Tehdit Ve Zafiyetleri, Bahçeşehir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2011
- [13]. YUMUŞAK, Ferhat, 2. Nesil ve 3. Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri İçin Metro İstasyonu Hücre Planlaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2012
- [14]. Holma H. & Toskala A., 2004. WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications. John Wiley & Sons Ltd
- [15]. UĞURLU, Necati, Mobil Telefon şebekelerinde (GPRS/EDGE/WCDMA-HSDPA) data servislerinin hizmet kalitesi parametrelerinin belirlenmesi, Ölçüm yöntemleri ve teknik düzenlemeler, Uzmanlık Tezi, Telekomünikasyon Kurumu, Ankara 2007, (Erişim) http://www.tk.gov.tr/ekDosyalar/tezler/Necati_UGURLU.PDF, 05.03.2014
- [16]. Hakkı SOY, Özgür ÖZDEMİR, Mehmet BAYRAK, Gelecek Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri: 3G, 4G ve Ötesi, Akademik Bilişim 2012, sayfa 211-218, 1-3 Şubat 2012, Uşak Üniversitesi, (Erişim) <http://ab.org.tr/ab12/bildiri/128.pdf> , 13.03.2014
- [17]. Garg, V.K., "Wireless Communications and Networking", Elsevier Ltd., USA, (2007).
- [18]. 3G Americans, Mobile Broadband: The Global Evolution of UMTS/HSPA, 3GPP Release 7 and Beyond, Temmuz 2006
- [19]. Holma, H., Toskala, A., "WCDMA for UMTS – HSPA Evolution and LTE", John Wiley & Sons Ltd., UK, (2007).

- [20]. Esenalp M., Kurnaz Ç., “Bina içi Ortamda Çift Taşıyıcılı HSDPA Sistem Başarımının İncelenmesi”, IEEE 21. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 24-26 Nisan, Girne 2013, (Erişim) <http://vpa2.sabanciuniv.edu/conferences/SIU2013/pdf/302.pdf>, 14.03.2014
- [21]. Ko K., Lee D., Lee M. And Lee H. S., “ A Novel SIR to Channel Quality Indicator (CQI) Mapping Method for HSDPA System”, Vehicular Technology Conference (VTC) Fall 2006, pp.1-5.
- [22]. Wang, J., "High-Speed Wireless Communications: Ultra-wideband, 3G Long-Term Evolution, and 4G Mobile Systems", Cambridge University Press, UK, (2008)
- [23]. Qualcomm, HSPA+: Evolving for the long- haul, Şubat 2014, (Erişim) https://www.qualcomm.com/sites/default/files/document/files/hspa_evolution_for_the_long_haul.v6.20140225-wireless-networks.pdf, 01.04.2014
- [24]. Goldsmith, A., "Wireless Communications", Cambridge University Press., UK, (2005).
- [25]. URFALIOĞLU, Rami, 4.Nesil Mobil Haberleşmenin Standartlaşma Sürecinde Aday teknolojiler LTE ve Mobil WiMAX'ın Karşılaştırmalı Analizi, Türkiye İçin Geçiş Stratejileri Önerileri, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Bilişim Uzmanlığı Tezi, Ankara 2011, (Erişim) http://www.tk.gov.tr/ekDosyalar/tezler/Rami_URFALIOGLU.PDF, 24.05.2014
- [26]. Kübra Çalış, Suat Özdemir, Yeni Nesil Mobil Genişbant Teknolojileri ve Türkiye, Akademik Bilişim 2013, 23-25 Ocak 2013, Akdeniz Üniversitesi, (Erişim) <http://ab.org.tr/ab13/bildiri/275.pdf>, 26.05.2014
- [27]. 4G, Wikipedi, Özgür Ansiklopedi, (Erişim) <http://tr.wikipedia.org/wiki/4G>, 26.05.2014
- [28]. Kim,Young Kyun, Prasad, Ramjee, 4G Roadmap and Emerging Communication Technologies, Artech House,pp 12-13 isbn=1-58053-931-9

- [29]. ITU, Requirements Related to Technical Performance for IMT-Advanced Radio Interfaces, Report ITU-R M.2134, 2008, (Erişim) https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2134-2008-PDF-E.pdf, 26.05.2014
- [30]. ITU, Development of IMT-Advanced: The SMaRT approach, (Erişim) <http://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=en&year=2008&issue=10&ipage=39>, 10.05.2014
- [31]. Raj Jain, A Survey of Long Term Evolution, (Erişim) <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-10/ftp/lte.pdf> 26.05.2014
- [32]. NTT Docomo, LTE System and Services as Social Platform for Enriching People's Lives, (Erişim) https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol13_1/vol13_1_004en.pdf, 27.05.2014
- [33]. Holma, H., Toskala, A., "LTE for UMTS : OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access," Wiley, 2009
- [34]. 3GPP, LTE, (Erişim) <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>, 29.05.2014
- [35]. Khan, Farooq, LTE for 4G Mobile Broadband, Cambridge University press, İngiltere 2009
- [36]. LTE (telecommunication), Wikipedia, (Erişim) [http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_\(telecommunication\)](http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication)), 01.06.2014
- [37]. 4G Americas Reports, Commercial LTE Networks, (Erişim) <http://www.marketwired.com/press-release/4g-americas-reports-150-commercial-lte-networks-67-countries-250-lte-networks-1758613.htm>, 02.06.2014
- [38]. PROKOMTEK Profesyonel Komünikasyon Teknolojileri Ltd. Şti., COFDM, OFDM, FDMA Frekans Bölmeli Çoklama, (Erişim) http://www.wisidivisiheadendankaraprokomtek.com/FileUpload/bs553547/File/9_cofdm_ofdm_fdma_frekans_bolmeli_coklama.pdf, 02.06.2014
- [39]. AKKAYA, S., TAŞPINAR, N., Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) Sistemlerinde Konvolüsyon Kodlarını Kullanan II. Türden Kod

- Birleştirmeli Karma SR ARQ Protokolü, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, (Erişim) <http://web.firat.edu.tr/iats/cd/subjects/Electrical&Electronics/EAE-79.pdf>, 02.06.2014
- [40]. Ayhan YAZGAN, Emin TUĞCU, Önder AYDEMİR, Cemaleddin ŞİMŞEK, OFDM Sisteminin AWGN Kanallardaki Performansının İncelenmesi, Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri 11-13 Şubat 2009 Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, (Erişim) http://ab.org.tr/ab09/kitap/yazgan_tugcu_AB09.pdf, <http://ab.org.tr/ab09/bildiri/167.pdf>, 02.06.2014
- [41]. Erkan İŞLER, Seyhun Barbaros YABACI, Turgut İKİZ, UMTS ve LTE Şebekelerinde Radyo Erişim Tekniklerinin Kıyaslanması, (Erişim) http://www.emo.org.tr/ekler/1f5f9d7a569c105_ek.pdf, 03.06.2014
- [42]. OSMANCA S., Mustafa, 4G Teknolojisinde Kullanılmakta Olan WiMAX Ve 3gpp LTE Sistemlerinin İncelenmesi Ve Karşılaştırılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012
- [43]. Artiza Networks, What is LTE eNB?, (Erişim) http://www.artizanetworks.com/lte_tut_what_lteenb.html, 01.06.2014
- [44]. AKIN Murat, LTE(4G) Taşımak İçin Kullanılacak Teknolojiler, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010
- [45]. ERGEN Mustafa, Mobile Broadband Including WiMAX and LTE, Springer Inc., Berkley CA, USA 2009
- [46]. ÇALIŞKAN Ahmet, Dördüncü Nesil (LTE) Haberleşme Sistemlerinde Kapasite ve Kapsama Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2011
- [47]. Lescuer Pierre, Luciderme Thierry, Evolved Packet System (EPS), John Wiley & Sons, İngiltere 2008
- [48]. NEC Corporation, Mobile Backhaul Evolution and Convergence, E-Seminar White Paper, Japonya, Ocak 2010
- [49]. SADAYUKİ Abeta, TETSUSHİ Abe, TAKEHİRO Nakamura, Overview and Standardization Trends of LTE-Advanced, NTT DOCOMO, (Erişim)

- <https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201201gls.html>,
06.06.2014
- [50]. 3GPP TR 36.913 V 10.0.0.; Technical Specification Group Radio Access Network; Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) LTE-Advanced, Release 10 March 2011, (Erişim)
http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136913/10.00.00_60/tr_136913v100000p.pdf, 07.06.2014
- [51]. M. Kottkamp, A. Roessler, J. Schlien, Rohde & Schwarz LTE Advanced Technology Introduction White Paper, 2012, (Erişim) www.rohde-schwarz.com.sg/file/1MA169_3e_LTE-Advanced_technology.pdf,
07.06.2014
- [52]. Artiza Networks, DL/UL Acceleration Technologies, (Erişim)
http://www.artizanetworks.com/lte_tut_adv_acceleration.html,
09.06.2014
- [53]. Gunjan Indrayan, Are HetNets the solution for data hogging wireless networks?, (Erişim)
<http://wirelesstelecom.wordpress.com/2012/12/18/are-hetnets-the-solution-for-data-hogging-wireless-networks/>, 10.06.2014
- [54]. 3GPP, TR 36.912 Feasibility study for further advancements for EUTRA (LTE-Advanced), Tech. Rep., June 2010, (Erişim)
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36912.htm>, 09.06.2014
- [55]. LTE Advanced - Overview, (Erişim)
http://www.sharetechnote.com/html/Lte_Advanced_Overview.html,
15.06.2014
- [56]. Quinn, L., Mehta, P., Sicher, A., Wireless Communications Technology Landscape, Dell Inc., White Paper, şubat 2005
- [57]. Srinath, N., WiMAX-An Introduction, Department of Computer Science and Engineering Indian Institute of Technology Madras 2008
- [58]. Intel Corporation, Deploying License-Exempt WiMAX Solutions, White Paper, 2005

- [59]. Katz M.D., Fitzek F.H.P., WiMAX Evolution Emerging Technologies and Applications, John Wiley&Sons, 2009
- [60]. IEEE 802.16, IEEE 802.16m System Requirements, IEEE Standarts, USA, Ekim 2007
- [61]. Yaghoobi Hassan, Mobile WiMAX Update and IEEE 802.16m, Principal Wireless System Architect, Intel Corporation, Mart 2009, (Erişim) http://www.slideshare.net/bramnh/intel-16m-wi-max-update?qid=79f5c1d5-7f40-47c4-8300-6556f04dc2e2&v=qf1&b=&from_search=25, 02.07.2014
- [62]. WiMAX Forum, WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standart, (Erişim) http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_802.16m.pdf, 21.07.2014
- [63]. Berge Ayvazian, WiMAX Advanced to Harmonize With TD-LTE, Heavy Reading, White paper, (Erişim) <http://www.wimaxforum.org/literatureretrieve.aspx?id=197066>, 26.07.2014
- [64]. Radhamani G., & Rao Krishna, WiMAX A Wireless Technology Revolution, Auber Publication, USA, 2008
- [65]. WiMAX - Reference Network Model, Tutorials Point, (Erişim) http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_network_model.htm, 27.07.2014
- [66]. Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü, 2014 Yılı 1. Çeyrek Üç Aylık Pazar Verileri Raporu, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Mayıs 2004 Ankara (Erişim) http://www.tk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/pazar_verileri/ucaylik14_1.pdf , <http://www.slideshare.net/webrazzi/btk-2014-1-ceyrek> , 20.07.214
- [67]. Sayısal Kentlere Dönüşüm, Genişbant ve Fiber: İktisadi Düzenleyici İncelemeler, Deneyimler ve Öneriler, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2010, (Erişim)

- http://www.tgm.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/raporlar/arastirma_raporlari/dosyalar/fiber_nisan%202010v4.pdf , 20.07.2014
- [68]. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2013, Türkiye İstatistik Kurumu, (Erişim)
<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15974>, 05.08.2014
- [69]. Performans Programı 2014, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, (Erişim)
http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/kurumsal/Birimler/StratejikPlanlamaMd/Documents/performans2014/performans_internet.html, 06.08.2014
- [70]. Performans Programı 2014, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (Erişim)
http://www.iETT.gov.tr/webimage/l%CC%87ETT_PERFORMANS_SMAL_L.pdf, 06.08.2014
- [71]. Performans Programı 2014, İSKİ Genel Müdürlüğü, (Erişim)
http://www.iski.gov.tr/Web/UserFiles/File/faaliyetraporu/pdf/ISKI_Performans_Programi_2014.pdf, 06.08.2014
- [72]. Hakkı TOK, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, İBB, Sayısal Kentlere Dönüşüm BTK, (Erişim)
http://www.tk.gov.tr/etkinlikler/uluslararası_etkinlikler/dosyalar/HakkiTOK_SAYISAL_%20KENTLERE.pdf, 04.08.2014
- [73]. CAN Erdem, Mobil Cihazların Çalışma Sistemleri Ve Çevre Üzerindeki Etkileri, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 2006, (Erişim)
<http://w3.gazi.edu.tr/~mkaradag/tezler/erdemcan.pdf> , 23.11.2013
- [74]. Süper buluşun çeyrek yüzyıllık hikayesi!, (Erişim)
http://turkticaret.net/business_center/haber.php?id=6778, 10.12.2013
- [75]. AKDAĞLI Ali, ÇALIŞKAN Fikret, DEMİRCİ Şevket, Gelişen Haberleşme Teknolojileri, Mersin, Mart 2008 (Erişim)
http://kisi.deu.edu.tr/ozlem.karaca/Gelisen_Haberlesme_Teknolojileri.pdf, 02.03.2014
- [76]. Barış YAVUZ, Hülya Soydaş ÇAKIR, Mobil Genişbantın Gelişimi ve 4. Nesil (4G) Mobil Haberleşme Sistemi LTE'nin Değerlendirilmesi, Akademik Bilişim 2010, 10 - 12 Şubat 2010, Muğla Üniversitesi, (Erişim)
<http://ab.org.tr/ab10/bildiri/83.doc> , 06.06.2014

- [77]. QPSK, BPSK, Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama, (Erişim) <http://www.uydutihaber.net/site/modules.php?op=modload&name=News&file=index&catid=15> , 07.06.2014
- [78]. Murat ARI, İnternet Tabanlı Uzaktan Eğitim Teknolojilerinde Wimax Esnekliği, (Erişim) http://www.emo.org.tr/ekler/f9b5ec26abebe62_ek.pdf , 01.07.2014
- [79]. Tura, Omer, Guray Yuksel, and Alkan Soysal. "Comparison of LTE 800 MHz and LTE 2600 MHz frequency bands in terms of cell coverage", 2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2011.
- [80]. Cep telefonun kısa ama etkileyici tarihi, <http://fotoanaliz.hurriyet.com.tr/galeridetay.aspx?cid=15669&rid=4369> , 20.06.2014
- [81]. IP-Driven Access-Independent Resource Management in Converged Access Networks, (Erişim) http://www3.alcatel-lucent.com/enrich/v2i22008/pdf/IP_Driven_Access.pdf , 21.06.2014
- [82]. Gezgin İletişim Şebekesi, (Erişim) <http://seltaspano.com/teknik/104.pdf> , 22.06.2014
- [83]. Uzmanlık Tezleri, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, (Erişim) http://www.btk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/tezler/index.php , 01.04.2014
- [84]. Kablosuz İletişimde 4G Devrimi, (Erişim) <http://www.technopat.net/2012/04/05/kablosuz-iletisimde-4g-devrimi/> , 05.04.2014
- [85]. Akademik Bilişim 2012, 1-3 Şubat 2012, Uşak Üniversitesi, (Erişim) <http://ab2012.usak.edu.tr/ab2012bk.pdf> , 13.03.2014
- [86]. Aktül KAVAS, WLAN, WiMAX ve UMTS Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi, (Erişim) http://www.emo.org.tr/ekler/0e57eb7c5b31448_ek.pdf?dergi=493 , 05.04.2014
- [87]. Hakkı Soy, Bilgisayar Ağ Sistemleri Ders Notları, (Erişim) http://hakkisoy.com/docs/ag_sis.pdf , 22.02.2014

ÖZET

ŞİŞMAN, Mehmet. 4.Nesil Mobil Haberleşme Teknolojilerinin Kamu Kurumları İçin Araştırılması Ve Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2014.

İngiliz asıllı ABD'li bilim insanı Alexander Graham Bell tarafından telefonun icadı ile başlayan haberleşme serüveni, zaman içerisinde kullanıcıların ihtiyaçlarına göre şekillenen teknolojik yeniliklerle birlikte insan günlük yaşamının vazgeçilmezi haline gelmiştir. İlk başlarda sadece ses iletimi mümkünken zamanla veri iletiminin de mümkün hale gelmesi ile birlikte bilgiye erişim önemli hale gelmiştir. İnsanların bilgiye en hızlı şekilde erişme isteği, İnternet gibi teknolojilerin doğmasına yol açarak insanların çalışma ve sosyal hayatında köklü değişikliklere yol açmıştır. Tarihsel süreç olarak değerlendirdiğimizde teknolojileri sınıflandıracak olursak: 1980'leri birinci nesil (1G), 1990'ları ikinci nesil (2G), 2000'li yılları üçüncü nesil (3G) ve 2010'dan itibaren ise dördüncü nesil (4G) teknolojilerin yer aldığı görülmektedir.

Son yıllarda kullanımı artan akıllı telefonlar ve tabletler ile birlikte mobil veri kullanımı dünya genelinde her geçen yıl artış göstermiş ve mobil veri kullanımı mobil ses kullanımını geçmiştir. IEEE 802.16m ve LTE-Advanced teknolojileri kullanıcılardan gelen bu talepler gözetilerek sistem mimarilerini tasarlamışlardır. İMT-Advanced gereksinimlerini karşılayarak, İTU tarafından resmi olarak dördüncü nesil mobil haberleşme sistemi ilan edilen LTE-Advanced teknolojisi ile Mobile WiMAX 2 (IEEE 802.16m) teknolojisine ait teknik özellikler tez çalışması kapsamında detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Bu teknolojilerin yerel yönetimler ölçeğindeki kamu kurum ve kuruluşları için uygunluğunun araştırılması için İstanbul ili örneği ele alınmıştır.

Teknolojik seçim noktasında yerel yönetimler ölçeğindeki kamu kurum ve kuruluşları için IEEE 802.16m Mobil WiMAX teknolojisinin LTE-Advanced teknolojisine göre aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda teknolojilerin kamu kurumları için faydaları, bilgi işlem yapıları içerisinde ağ (network) sistemlerine olan katkıları, kurumsal

altyapı giderleri bakımından yeni teknolojilerin yaratacağı fırsatlar, var olan ağ sistemlerine alternatif veya bağımsız yeni topolojilerin ortaya çıkarılması gibi konular ele alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: 4G, WiMAX, IEEE 802.16m, Mobile WiMAX, LTE, LTE-Advanced.

ABSTRACT

ŞİŞMAN, Mehmet. Research And Sample Of 4th Mobile Communication Technologies For Public Institutions, Master of Science, Istanbul, 2014.

Communication adventure that has started with the invention of the telephone by Alexander Graham Bell who was British-born American scientist has become the indispensable for the daily life with the technological innovations in terms of needs of the users. The access to the information has become important with the data transmission while sound transmission was important at first. The request of the people related to the access to the information causes to occur Technologies like internet and profound changes in both working and social life of the people. We can classify the technologies when considered as historical process as follows: First generation (1G) in 1980, Second generation (2G) in 1990, Third generation in 2000(3G), and Fourth generation (4G) as from 2010.

In addition to the increasing of the using of the smart phones and tablets the using of mobile data has started to increase in recent years and the using of mobile data is more than the using of the mobile sound. These requests from IEEE 802.16 m and LTE-Advanced technology users have designed the system architecture. By meeting the needs of IMT-Advanced, the technical features of LTE Advanced technology and Mobile WIMAX 2(IEEE 802.16m), known as fourth generation mobile communication system, have been compared in detail in this thesis. Istanbul has been discussed in order to research the efficiency of these Technologies for public organization and institutions.

IEEE 802.16m Mobile WIMAX technology has been identified as more appropriate than LTE-Advanced technology for some reasons stated below. In this context, the benefits of the Technologies for public institutions, contributions to the network systems in information processing, opportunities of new Technologies in terms of corporate infrastructure costs and some

issues related to the alternative or independent new topology have been discussed in order to evaluate the results.

Key Words: 4G, WiMAX, IEEE 802.16m, Mobile WiMAX, LTE, LTE-Advanced.