

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**WiMAX KABLOSUZ AĞLARDA ÇOKLU ORTAM  
TRAFİKLERİNİN BAŞARIM ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İbrahim NALBATCI**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR  
EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ**

**Mayıs 2013**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

WiMAX KABLOSUZ AĞLARDA ÇOKLU ORTAM  
TRAFİKLERİNİN BAŞARIM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim NALBATCI

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR  
EĞİTİMİ

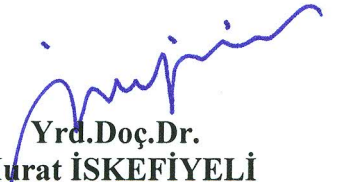
Bu tez 04 / 06 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Doç.Dr.  
A. Turan ÖZCERİT  
Jüri Başkanı



Doç.Dr.  
Cüneyt BAYILMIŞ  
Üye



Yrd.Doç.Dr.  
Murat İSKEFİYELİ  
Üye

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Günümüzde mobil cihazların kullanımının giderek artması, kablolu iletişimin gerçekleştirilmesindeki yüksek maliyetler, uzak mesafelerde kurulumunun zorluğu gibi nedenlerden dolayı genişbant kablosuz iletişimin yaygınlaşması giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada kablosuz haberleşme alanında tercih edilen teknolojilerden biri olan WiMAX mimarisinin farklı trafik türlerindeki başarımı incelenmektedir.

Bu çalışmanın, konuyla ilgili araştırma yapacak kişilere faydalı olmasını diler, hayatım boyunca desteğini esirgemeyen aileme ve danışman hocam Doç. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
TABLolar LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Katkıları .....	3
1.2. Tez Organizasyonu .....	4
BÖLÜM 2.	
KABLOSUZ HABERLEŞME.....	5
2.1. Genişbant Kablosuz Ağ Teknolojilerinin Gelişimi.....	5
2.2. Kablosuz Ağların Coğrafik Olarak Sınıflandırılması .....	6
2.3. Kablosuz Ağların Üstünlükleri ve Zayıflıkları .....	9
2.4. Kablosuz Erişim Yöntemleri.....	10
2.4.1. Noktadan noktaya erişim (point to point, PTP) .....	10
2.4.2. Noktadan çok noktaya erişim (point to multi point, PMP).....	11
2.4.3. Çok noktadan çok noktaya erişim.....	12
BÖLÜM 3.	
WiMAX.....	13
3.1. Wimax Teknolojisinin Sunduğu Özellikler .....	14
3.2. Wimax Şebeke Mimarisi.....	15

3.3. Görüş Hattı İçinde ve Görüş Hattı Harici Çalışma .....	18
3.3.1. Görüş hattı (line of sight) .....	18
3.3.2. Görüş hattı harici (non line of sight) .....	19
3.4. Coğrafik Bölgelere Göre WiMAX Frekans Aralıkları .....	20
3.5. Wimax Standartları .....	21
3.5.1. 802.16 .....	22
3.5.2. 802.16a .....	22
3.5.3. 802.16d (802.16-2004) .....	23
3.5.4. 802.16e (802.16-2005) .....	23
3.5.5. 802.16m (802.16-2011) .....	24
3.6. OSI Referans Modeli .....	25
3.6.1. WiMAX fiziksel katmanı .....	27
3.6.2. Çift yönlü iletişim (duplexing) .....	28
3.7. OFDM (Dikgen Frekans Bölmeli Çoklama) .....	30
3.8. OFDMA (Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) .....	32
3.9. Sayısal Modülasyon .....	33
<b>BÖLÜM 4.</b>	
HİZMET KALİTESİ (QoS) .....	35
4.1. WiMAX Hizmet Sınıfları .....	36
4.1.1. Talep edilmeden verilen hizmet (UGS) .....	37
4.1.2. Gerçek zamanlı sorgulama hizmeti (rtPS) .....	38
4.1.3. Gerçek zamanlı olmayan sorgulama hizmeti (nrtPS) .....	38
4.1.4. En iyi çaba (BE) .....	39
4.1.5. Genişletilmiş gerçek zamanlı sorgulama hizmeti (ertPS) .....	40
<b>BÖLÜM 5.</b>	
WiMAX KABLOSUZ AĞLARINDA ÇOKLU ORTAM YAPISI .....	41
5.1. Çoklu Ortam Trafik Modelleri .....	42
5.1.1. Veri trafiği yapısı .....	42
5.1.2. Ses trafiği yapısı .....	43
5.1.3. Video trafiği yapısı .....	44

## BÖLÜM 6.

WiMAX HABERLEŞME SİSTEMİ BENZETİMİ .....	46
6.1. OPNET Modeller Benzetim Programı .....	46
6.2. Sistemin Benzetimi .....	47
6.3. Video İşareti İletiminde Hizmet Modeli Seçimi Benzetim Sonuçları .....	49
6.4. Mesafeye Göre Sabit Ses Trafik Yükü İletimi Benzetim Sonuçları .....	51
6.5. Artan Video Trafik Yükleri Altında Video İletimi Benzetim Sonuçları .....	53
6.6. Artan Ses Trafik Yükleri Altında Eş Zamanlı Ses ve Video İletimi Benzetim Sonuçları .....	54

## BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	57
----------------------------	----

KAYNAKLAR .....	59
-----------------	----

ÖZGEÇMİŞ .....	61
----------------	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

2G	: Second Generation (İkinci Nesil)
3G	: Third Generation (Üçüncü Nesil)
4G	: Four Generation (Dördüncü Nesil)
AAC	: Advanced Audio Coding (Gelişmiş Ses Kodlama)
AIFF	: Audio Interchange File Format (Ses Değişimi Dosya Biçimi)
ASN	: Access Service Network (Erişim Hizmet Ağı)
ATM	: Asynchronous Transfer Mode (Asenkron İletim Modu)
BE	: Best Effort ( En iyi Çaba)
BS	: Base Station (Baz İstasyonu)
CDMA	: Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CPS	: Common Part Sublayer (Ortak Bölüm Alt Katmanı)
CS	: Convergence Sublayer (Yakınsama Alt Katmanı)
CSN	: Connectivity Service Network (Bağlantı Hizmet Ağı)
DSL	: Digital Subscriber Line (Sayısal Abone Hattı)
EDGE	: Enhanced Data Rates for GSM Evolution (GSM Gelişimi için Artırılmış Veri Hızları)
ERTPS	: Extended Real-Time Polling Service (Genişletilmiş Gerçek Zamanlı Sorgulama Hizmeti)
ETSI	: European Telecommunications Standards Institute (Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü)
FDD	: Frequency Division Duplexing (Frekans Bölmeli Çoklama)
FDMA	: Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
FFT	: Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FTP	: File Transfer Protokol (Dosya İletim Protokolü)
FWA	: Fixed Wireless Access (Sabit Kablosuz Erişim)

GHZ	: Gigahertz
GPRS	: General Packet Radio Service (Paket Kurallı Radyo Hizmeti)
GSM	: Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim Küresel Sistemi)
GW	: Gateway (Ağ geçidi)
HSDPA	: High Speed Downlink Packet Access (Yüksek Hızda Veri Paketi İndirme Bağlantısı)
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
ISP	: Internet Service Provider (İnternet Hizmet Sağlayıcısı)
ITU	: International Telecommunications Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
JPEG	: Joint Photographic Experts Group (Birleşik Fotoğraf Uzmanları Grubu)
LAN	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
LLC	: Logical Link Control (Mantıksal Bağlantı Kontrolü)
LOS	: Line Of Sight (Görüş Hattı)
LTE	: Long Term Evolution (Mobil İletişimde Uzun Vadeli Gelişim)
MAC	: Media Access Control (Ortam Erişim Kontrolü)
MAC PDU	: MAC Protocol Data Unit (Ortam Erişim Kontrol Protokolü Veri Ünitesi)
MAN	: Metropolitan Area Network (Kentsel Alan Ağı)
MBIT/S	: Megabit Per Second (Megabit/saniye)
MBWA	: Mobile Broadband Wireless Access (Mobil Genişbant Kablosuz Erişim)
MHZ	: Megahertz
MIMO	: Multi-Input Multi-Output (Çoklu-Giriş-Çoklu Çıkış)
MIP	: Mobile IP (Mobil İnternet Protokolü)
MP3	: MPEG-1 Audio Layer III (Hareketli Görüntü Uzmanları Grubu Ses Katmanı 3)
MPEG	: Moving Picture Experts Group (Hareketli Görüntü Uzmanları Grubu)
NFC	: Near Field Communication (Yakın Alan İletişimi)



NLOS	: Non Line Of Sight (Görüş Hattı Harici)
NRTPS	: Non-Real-Time Polling Service (Gerçek Zamanlı Olmayan Sorgulama Hizmeti)
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Dikgen Frekans Bölmeli Çoklama)
OFDMA	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
OSI	: Open System Interconnection (Açık Sistem Bağlantısı)
PAN	: Personel Area Network (Kişisel Alan Ağı)
PCM	: Pulse-Code Modulation (Darbe-Kod Modülasyonu)
PDU	: Protocol Data Unit (Protokol Veri Ünitesi)
PMP	: Point to Multi Point (Noktadan Çok Noktaya Erişim)
PPP	: Point to Point Protocol (Noktadan Noktaya Protokol)
PSDN	: Public Switched Data Network (Kamusal Anahtarlama Veri Ağı)
PTP	: Point to Point (Noktadan Noktaya Erişim)
QAM	: Quadrature Amplitude Modulation (Dördün Genlik Modülasyonu)
QoS	: Quality of Service (Hizmet Kalitesi)
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying (Dördün Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
RTPS	: Real-Time Polling Service (Gerçek Zamanlı Sorgulama Hizmeti)
SC	: Single Carrier ( Tek Taşıyıcı)
SONET	: Synchronous Optical Network (Eş Zamanlı Optik Ağlar)
SS	: Subscriber Station (Abone İstasyonu)
TDD	: Time Division Duplexing (Zaman Bölmeli Çoklama)
TDMA	: Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
UGS	: Unsolicited Grant Service (Talep Edilmeden Verilen Hizmet)
UMTS	: Universal Mobile Telecommunications System (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon Sistemi)
VoIP	: Voice over IP (IP Üzerinden Ses İletimi)
VPN	: Virtual Private Network (Sanal Özel Ağ)

WAN	: Wide Area Network (Geniş Alan Ağı)
WAV	: Waveform Audio File Format (Ses Dalgası Dosya Biçimi)
Wi-Fi	: Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik)
WLAN	: Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)
WMA	: Windows Media Audio (Windows Ortam Sesi)
WMAN	: Wireless Metropolitan Area Network (Kablosuz Kentsel Alan Ağı)
WPAN	: Wireless Personal Area Network (Kablosuz Kişisel Alan Ağı)

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kablosuz teknolojilerin kapsama alanları ve veri hızları .....	9
Şekil 2.2.	Noktadan noktaya kablosuz erişim .....	11
Şekil 2.3.	Noktadan çok noktaya kablosuz erişim.....	12
Şekil 2.4.	Çok noktadan çok noktaya kablosuz erişim.....	12
Şekil 3.1.	WiMAX şebeke mimarisi.....	16
Şekil 3.2.	WiMAX baz istasyonu ile abone istasyonları bağlantısı .....	18
Şekil 3.3.	WiMAX LOS sistemi .....	19
Şekil 3.4.	WiMAX NLOS sistemi.....	19
Şekil 3.5.	Coğrafik bölgeler ve frekans aralıkları.....	20
Şekil 3.6.	OSI referans modeli .....	25
Şekil 3.7.	IEEE 802.16 standardı protokol katmanları.....	26
Şekil 3.8.	IEEE 802.16 MAC katmanı ve 2 fiziksel katman ile kullanımı.....	27
Şekil 3.9.	FDD çerçeve: Aynı süreç içerisinde farklı frekans bantları kullanan yukarı ve aşağı yön aktarmaları .....	28
Şekil 3.10.	TDD Çerçeve: Aynı frekans bandını paylaşarak farklı aktarma zamanlarına sahip yukarı ve aşağı yön aktarmaları .....	29
Şekil 3.11.	TDD çerçeve genel biçimi.....	29
Şekil 3.12.	OFDM, bant genişliğinin daraltılması.....	31
Şekil 3.13.	Zaman ve frekans dağılımında tek taşıyıcı ve OFDM .....	31
Şekil 3.14.	OFDMA prensibi.....	32
Şekil 3.15.	Sayısal modülasyon yöntemi.....	34
Şekil 4.1.	UGS yapısı .....	37
Şekil 4.2.	rtPS yapısı .....	38
Şekil 4.3.	nrtPS yapısı .....	39
Şekil 4.4.	BE yapısı .....	39
Şekil 4.5.	MAC katmanı QoS desteği .....	40
Şekil 5.1.	Darbe süresine göre veri işareti.....	42

Şekil 5.2. Ses işareti iletimi blok diyagramı.....	44
Şekil 5.3. Video işareti iletimi blok diyagramı.....	45
Şekil 6.1. Benzetim modeli .....	48
Şekil 6.2. Video işareti iletiminde hizmet modeli seçiminin etkisi .....	50
Şekil 6.3. Mesafeye göre sabit ses trafik yükü iletimi.....	51
Şekil 6.4. Modülasyon seçimi: 64-QAM, Kod oranı: 3/4 için sonuçlar.....	52
Şekil 6.5. Artan video trafik yükleri altında video iletimi uçtan uca ortalama gecikmesi .....	54
Şekil 6.6. Mobil birimlerin hareket yönleri .....	55
Şekil 6.7. Artan ses trafik yükleri ve sabit video trafiği altında video iletimi uçtan uca ortalama gecikmesi .....	56

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kablosuz ağların sınıflandırılması .....	8
Tablo 2.2. Kablosuz ağların üstünlükleri ve zayıflıkları .....	10
Tablo 3.1. IEEE 802.16 standartlarının gelişimi .....	13
Tablo 3.2. Ülkemizde WiMAX sisteminin kullanıldığı bazı alanlar.....	21
Tablo 3.3. WiMAX standartlarının özellikleri .....	24
Tablo 4.1. QoS sınıfları ve özellikleri .....	36
Tablo 6.1. Benzetim modeli parametreleri .....	49

## ÖZET

Anahtar kelimeler: WiMAX, Hizmet Kalitesi, Performans Analizi, Gecikme

Teknolojinin hayatımızın her alanında önemli bir yer edindiği günümüz dünyasında insanlar artık sadece sabit alanlarda değil her an her yerde akıllı telefonlar, taşınabilir bilgisayarlar gibi çeşitli mobil cihazlar ile bilgiye erişim ihtiyacı duymaktadır. Bu ihtiyacın kablolu erişim yöntemleriyle karşılanmasının birçok nedenden ötürü güçleşmesi hatta imkânsız olmasından dolayı üreticiler kablosuz teknolojilerin gelişimi üzerine yoğunlaşmışlardır. Günümüzde kablosuz iletişim teknolojileri oldukça gelişim göstermiş ve bu süreçte standart belirleyici kuruluşlar kablosuz teknolojiler için bazı standartlar belirlemişlerdir.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) bu standartların önemli üyelerinden biridir. WiMAX genişbant kablosuz haberleşme sistemi kullanıcıların bilgiye veri, ses ve video gibi farklı biçimlerde, her yerden, her zaman ve düşük maliyetlerle ulaşmasını sağlar. Görüş hattında olan veya olmayan, noktadan noktaya, noktadan çok noktaya, çok noktadan çok noktaya uygulamaları desteklemektedir. 50 km'ye kadar uzak mesafelere 75 Mbit/s gibi yüksek hızlarda veri, ses ve görüntüyü taşıyabilmektedir.

Bu tez çalışmasında WiMAX sistemi hakkında bilgi verilmiş ve OPNET yazılımı kullanılarak hastane yerleşkesi haberleşme benzetimi için örnek bir model geliştirilmiştir. WiMAX üzerinden gerçek zamanlı haberleşme trafiklerinin (ses ve video gibi) başarımı değerlendirilmiştir.

# **PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTIMEDIA TRAFFICS IN WiMAX WIRELESS NETWORKS**

## **SUMMARY**

Key Words: WiMAX, Quality of Service, Performance Analysis, Delay

Acquired an important place in every area of our lives in today's world of technology, people have now ubiquitous smart phones, not just the hard areas, a variety of mobile devices, such as portable computers, feel the need to access information. Cable-access method of meeting this need becomes difficult or even impossible for several reasons, due to the manufacturer focused on the development of wireless technologies. Nowadays, wireless technologies progress and the process are quite standard-setting organizations have set some standards for wireless technology.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is one of the important members of these standards. WiMAX broadband wireless communication system users' information data in different formats, such as audio and video from anywhere, at any time and allows you to get lower costs. With or without line of sight, point-to-point, point to multi-point, multi-point to multi-point applications support. Distances up to 50 km at speeds as high as 75 Mbit/s of data, voice and video can carry.

In this thesis, information about the WiMAX system is given and also a model to simulate the hospital campus communication using OPNET is developed. The performance of real-time communications traffics (voice and video etc.) over WiMAX is evaluated.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

1990'lı yıllardan itibaren yaşanan teknolojik gelişmelerin sonucu olarak bilgiye erişim için kullanılan araçlarda da büyük değişimler ve gelişmeler ortaya çıkmıştır. Bu gelişim kendisini bilginin elde edilmesi, dağıtılması, istifade edilmesi gibi her aşamada göstermiştir. Bugün cep telefonumuzun kamerasıyla çektiğimiz bir görüntüyü ya da videoyu hemen o anda Internet kanalıyla sayısız kullanıcıya ulaştırabilmekteyiz, nerede olursak olalım Internet erişimi sağlayacak mobil bir cihazımız varsa dünyanın hemen hemen her noktasında ihtiyaç duyduğumuz bir bilgiye erişebiliyoruz ve bu bilgiyi yine istediğimiz biçimde işleyerek aynı ortamdan paylaşımını yapabiliyoruz.

Kullanıcıların bilgiye her zaman, her yerden ve en uygun maliyetle erişim ihtiyacı kablosuz haberleşme sektörünün hedef noktasını oluşturmuştur. Bu amaçla üreticiler tarafından günümüzde yaygın olarak kullanılan birçok kablosuz ağ teknolojisi geliştirilmiştir. Değişken ve yüksek veri hızı, hizmet kalitesi, yüksek bant genişliği gibi ölçütlerle karakterize edilen bu yeni hizmetler aynı ya da farklı ağ grubu içinde olan, aynı ya da farklı hizmet sınıfları ile desteklenen cihazlar arasında iletişim yapabilmektedir.

Dünya çapında kabul görmüş yeni nesil ağlarda kullanılan cihazlarda hizmet sağlayıcılar ile birlikte çalışabilme ya da gerektiğinde bağımsız çalışabilme gibi unsurlar bir standartlaşma ile düzenlenmiştir. WiMAX teknolojisinde IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers – Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) tarafından 802.16 protokolü adı altında yüksek veri hızı, hizmet kalitesi gibi kıstaslar tanımlamak için standartlaştırılmıştır.

WiMAX, uçtan uca ağ yapısına sahip bir teknolojidir. IEEE' nin 802.16 standardı ile belirlenen bu teknoloji yine IEEE'nin 802.16e standardı ile geliştirilip



düzenlenmiştir. WiMAX kablosuz ağ teknolojisi WiMAX Forum grubu tarafından geliştirilmektedir. Bu forum grubu, Intel, Fujitsu, Samsung, AT&T gibi önde gelen teknoloji firmaları tarafından desteklenmektedir.

WiMAX Forum, ticari olmayan bir organizasyondur ve bu endüstri için yol göstericidir. Farklı standartlara sahip (IEEE 802.16/ETSI HiperMAN gibi) genişbant kablosuz ürünlerin birlikte çalışabilmesi için sertifikasyon çalışmalarını yapmaktadır. WiMAX Forum sertifikasını almış bir ürün sabit genişbant, göçebe ve gezgin hizmetlerini destekliyor ve ürünler birlikte uyum içerisinde çalışabilir anlamına gelmektedir [1]. WiMAX Forum'a 50'den fazla üye ülke ve 500'ün üzerinde üye firma bulunmaktadır. Türkiye'den Türk Telekom A.Ş., Superonline, Aselsan, Borusan Telekom, Koç.net, Turbonet A.Ş. firmaları foruma üyedir [1].

İlk sürümü Ekim 2001'de tamamlanan IEEE 802.16 standardı, WMAN teknolojisi olarak kullanıcılara kablosuz ortamda ses ve yüksek hızda veri sağlamak amacıyla bir hava arayüzü ve Ortam Erişim Kontrolü (Media Access Control, MAC) sağlamaktadır. IEEE 802.16 standardı PMP (Point to Multi Point) mimarisinde çalışan kablosuz genişbant erişim sistemlerinin modern bir sürümüdür [2].

WiMAX mimarisinde verilen hizmetler, geliştirilen standardizasyon çalışmaları neticesinde farklılık göstermektedir; bu hizmetler, IEEE 802.16a standardında sabit, IEEE 802.16d standardında gezgin, IEEE 802.16e standardından itibaren ise mobil hizmetler şeklindedir [3].

WiMAX mimarisi başlangıçta 10-66 GHz frekans aralığında kullanıcılara yüksek hızda iletişim sağlamak için tasarlandı [4]. IEEE 802.16 standardında kullanılan 10-66 GHz frekans aralığı görüş hattında çalışmayı gerektiriyordu, IEEE 802.16a sürümünden itibaren ise görüş hattı gerektirmeyen yapı ve 2-11 GHz frekans aralığı kullanılmaya başlandı [5]. WiMAX'in mobil sistemlerde kullanılmasına olanak sağlayan IEEE 802.16e sürümünde ise 2-6 GHz frekans aralığı kullanılmaktadır.

IEEE 802.16 standardı 7 katmanlı OSI (Open System Interconnection - Açık Sistem Bağlantısı) modelini kullanır [6]. Bu modelde alt kısımda yer alan fiziksel katman

(1. katman) ve veri bağı katmanı (2. katman) WiMAX tarafından kullanılmaktadır. Veri bağı katmanı kendi içinde Mantıksal Bağlantı Kontrolü (Logical Link Control, LLC) ve Ortam Erişim Kontrolü olarak ikiye ayrılmış yapıdadır [6].

WiMAX mimarisi diğer birçok kablosuz genişbant ağ teknolojisinde olduğu gibi işaret çoklama tekniği olarak OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Dikgen Frekans Bölmeli Çoklama) tekniğini kullanır [1]. Bu teknik sayesinde veri alt taşıyıcılara bölünerek frekans bandı daha verimli kullanılır. Ayrıca WiMAX mimarisinde uyarlamalı modülasyon ve kodlama teknikleri kullanılır ki bu sayede kanal verimliliğine göre veri iletim hızı ayarlanabilir [1].

WiMAX mimarisi; ATM (Asynchronous Transfer Mode - Asenkron İletim Modu) sistemlere benzer yapıda, sistemin başarımını artırmaya yönelik olarak hizmet kalitesi desteği sunmaktadır [3]. WiMAX sisteminde ortamdaki trafik türüne uygun olacak şekilde 5 farklı hizmet sınıfı bulunmaktadır. (Bölüm 4’de ayrıntılı olarak verilmektedir.) Ortamdaki gecikme, gecikme değişimi, paket kaybı hizmet kalitesinin düşmesine neden olan başlıca etkenlerdir.

### **1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Katkıları**

Bu tez çalışmasının amacı, WiMAX ağı ile işaret türlerine uygun hizmet sınıflarını kullanarak aynı ortamda gerçekleştirilen veri, ses ve video trafiklerinin birbiri üzerine oluşturdukları etkiyi incelemektir. Bu etkileşim incelenirken birimler arası mesafe ve mesafeye göre kullanılması öngörülen modülasyon teknikleri, birimlerin sabit ya da hareketli olması gibi başarımı etkileyen faktörlerde göz önüne alınmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda hedeflenen çalışmalar aşağıdaki gibidir:

- Kablosuz ağların kapsama alanlarının incelenmesi ve karşılaştırılması.
- WiMAX kablosuz ağ mimarisinin kablosuz ağlar içindeki yeri ve bu mimarinin ayrıntılı olarak incelenmesi.

- WiMAX kablosuz ağlarda çoklu ortam trafik türlerinin ve sunulan hizmet sınıflarının incelenmesi ve karşılaştırılması.
- Mesafe, hareketlilik ve zaman kısıtları ile OPNET yazılımı kullanılarak benzetim yapılması.

Yapılan bu çalışmanın konuyla ilgili araştırma yapacak kişilere; WiMAX genişbant kablosuz ağ mimarisi, içerdiği hizmet sınıfları, kullanılan modülasyon teknikleri, çoklu ortam işaret iletiminde WiMAX'in başarımı gibi konularda fayda sağlaması hedeflenmektedir.

## **1.2. Tez Organizasyonu**

Bu çalışmanın ilk bölümünde kablosuz teknolojiler tanıtılmış, WiMAX'in bu teknolojiler arasındaki yeri belirtilmiştir ve devamında WiMAX ağ mimarisi hakkında teknik bilgi verilmiştir. İkinci bölümde WiMAX mimarisinin desteklediği hizmet sınıfları incelenmiş ve devamında WiMAX kablosuz ağlarında taşınan trafik türleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın benzetim bölümünde geliştirilen hastane-ambulans haberleşmesi senaryosu ile WiMAX teknolojisi kullanılarak çoklu ortam trafikleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde haberleşmeyi gerçekleştiren kullanıcı istasyonları sabit ya da gezgin olarak ayarlanıp farklı tiplerdeki trafik yükleri aynı ortamda belli bir düzen ile taşınmış ve birbirleri üzerinde olan etkileri incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. KABLOSUZ HABERLEŞME**

### **2.1. Genişbant Kablosuz Ağ Teknolojilerinin Gelişimi**

Kablosuz ağ teknolojilerinin tarihi 2. Dünya Savaşı yıllarına kadar uzanır. ABD ordusu savaş sırasında veri iletimi için ilk defa radyo işaretlerini kullandı ve bu yöntem ABD ve müttefikleri arasında yaygın bir hal aldı. 1971 yılında Hawaii Üniversitesi'ndeki araştırmacılardan bir grup ABD ve müttefiklerinin kullandığı bu yöntemlerden esinlenerek ilk paket tabanlı radyo iletişim ağını kurmuşlardır. Bu ağın adı ALOHANET'tir ve bilinen ilk kablosuz yerel alan ağıdır. ALOHANET bünyesindeki bilgisayarlar 4 ayrı adada bulunuyordu ve merkez bilgisayar Oahu Adası'ndaydı. Bu şekilde gerçekleştirilen bağlantı yöntemi kablosuz ağların başlangıcını oluşturmaktadır.

Günümüzde özellikle son yıllarda kablosuz ağ kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve kablolu çözümlere nazaran tercih edilmektedir. Bu noktada kablosuz çözümlerin kurulum kolaylığı ve kablolu çözümlerle birlikte çalışabilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. Şu an yaygın olarak kullanılan farklı türlerde ağ teknolojileri mevcuttur. Geliştirilen her teknoloji ile yüksek bant genişliği tahsisi, yüksek veri hızında iletişim ve hizmet kalitesi desteği gibi ihtiyaçlara çözüm aranmaktadır. Ağ teknolojileri farklı olsada üretici firmaların cihazlarının birbiri ile uyumlu ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi iletişimin devamlılığı için bir zorunluluktur. Bu durum belli standartlara uymayı gerektirmektedir. Kablosuz ağlar IEEE kuruluşu tarafından 802 standardı altında gruplandırılmaktadır. 802.11 (WLAN, Wireless Local Area Network - Kablosuz Yerel Alan Ağı), 802.15(Bluetooth), 802.16 (WiMAX), 802.20 (MBWA, Mobile Broadband Wireless Access - Mobil Genişbant Kablosuz Erişim) bu standartlar arasında yer almaktadır. Mevcut standartlar geliştirildikçe zaman içinde isimlerinin sonuna bir takım ekler olarak genişletilmişlerdir. Örneğin tezin

konusu olan geniş bant kablosuz erişim yöntemi 802.16 standardı, 802.16a, 802.16d, 802.16e ve 802.16m isimleri ile genişletilmiştir.

## 2.2. Kablosuz Ağların Coğrafik Olarak Sınıflandırılması

Kablosuz ağlar kapsama alanlarına göre farklı kategorilere ayrılmaktadır. Bu kategoriler WPAN (Wireless Personal Area Network - Kablosuz Kişisel Alan Ağı), WLAN, WMAN (Wireless Metropolitan Area Network - Kablosuz Kentsel Alan Ağı) ve WWAN (Wireless Wide Area Network - Kablosuz Geniş Alan Ağı) şeklindedir. WPAN, en küçük ağ yapısıdır. Kişisel iki cihazı veya bilgisayarı birbirine bağlamak için kullanılır. Çok kısa mesafelerde ve düşük hızlarda iletişim gerçekleştirilebilir. WPAN'ı kullanıcılar kendi kişisel aygıtları arasında iletişim kurmak için ya da Internet gibi geniş alan ağlarına bağlanmak için kullanırlar. WPAN bağlantısı IEEE 802.15 standardı altında geliştirilmektedir. Bluetooth (1 – 100 metre, 1 Mbit/s), ZigBee (10-75 metre, 1 – 2 Mbit/s) ve NFC (Near Field Communication - Yakın Alan İletişimi, 4 – 10 cm, 424 Kbit/s) bağlantıları WPAN örnekleridir.

Kablosuz ağlarda kullanılan bir diğer standart da ETSI (European Telecommunications Institute - Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü) tarafından tanımlanmıştır. Bu kuruluş Avrupa'daki standartlaşmadan sorumludur. ETSI'nın telekomünikasyon, televizyon ve radyo yayıncılığı ile kablosuz teknolojiler gibi alanlarda standardizasyon çalışmaları bulunmaktadır. HiperLAN1 ve HiperLAN2 adı altında kablosuz ağ standartları geliştirmiştir.

WLAN, ofis, bina ya da binalar grubuna hizmet vermek için kullanılan küçük ölçekli ağlardır. En yaygın kullanım şekli kablosuz ethernet ağlardır. Kabloya ihtiyaç duymadan radyo dalgaları ile ağa erişim gerçekleştirilir. WLAN günümüzde yaygın olarak Wi-Fi (Wireless Fidelity - Kablosuz Bağlantı Alanı) ifadesi ile anılmaktadır. WLAN'a özgü geliştirmeler IEEE 802.11 standardı altında yapılmaktadır. Bu standart 2.4 GHz frekansında, kapalı alanlarda yaklaşık 10 metre mesafede, 1-2 Mbit/s hızında çalışmaktadır. IEEE 802.11 standardı 802.11a, 802.11b, 802.11g,

802.11h, 802.11n ekleri altında, bant genişliği, veri iletim hızı ve kapsama mesafesi gibi özelliklerinin iyileştirilmesi şeklinde gelişim göstermiştir.

WMAN; bir şehre, kasabaya veya bölgeye hizmet vermek için kurulan kablosuz bağlantı ağlarıdır. WMAN sistemler, WLAN ve WWAN arasında yer alan orta büyüklükteki ağlardır. Bu sistemler yardımcı ağ aygıtları ile yönlendirme, güçlendirme ve doğrulama işlemlerini yaparak bünyelerinde barındırdıkları birçok WLAN sistemi birbirine bağlarlar. WiMAX ve LTE (Long Term Evolution - Mobil İletişimde Uzun Vadeli Gelişim) sistemleri WMAN bağlantılara örnektir. LTE teorik olarak 100 Mbit/s hızında veri iletimi ve 100 km yarıçaplı bir mesafede kapsama alanı imkanı sunmaktadır. Tezin konusu olan WiMAX ağ mimarisi ise 50 km yarıçapında bir kapsama alanında 75 Mbit/s'lik hızlarda iletişim imkanı sunmaktadır. WiMAX ağ mimarisi Bölüm 3'de detaylı olarak anlatılmaktadır.

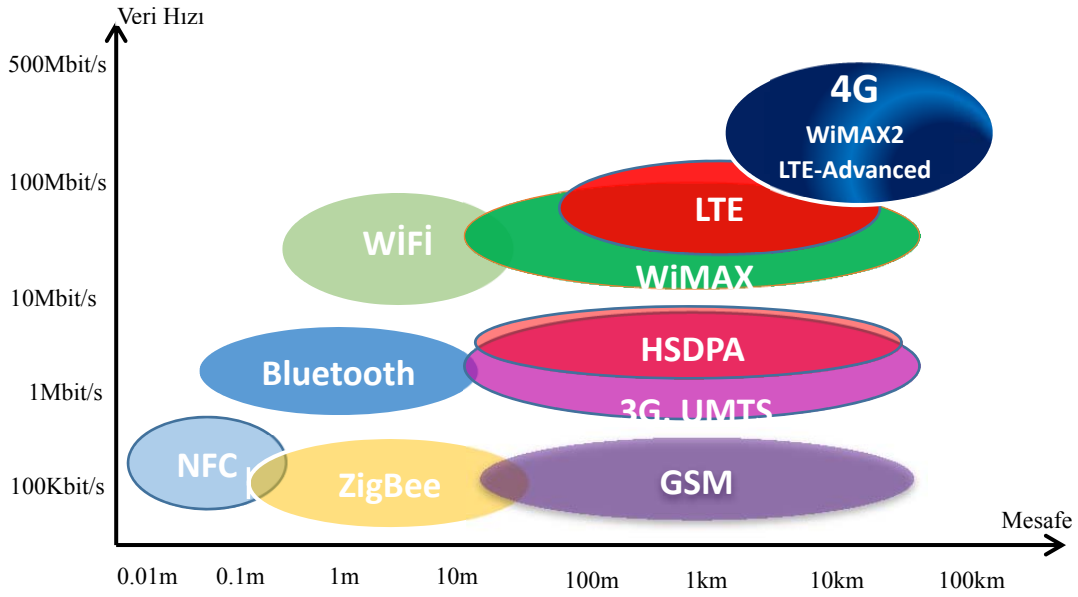
WAN, en geniş kapsama alanına sahip kablosuz ağlardır. Bir ülkeyi ya da kıtayı kapsayabilir, hatta dünya çapında olabilirler. Bilinen en meşhur geniş alan ağı Internettir. WWAN ağlar belirli bir kuruluş içinde geliştirilebilirler. 3G (Third Generation - Üçüncü Nesil), GSM (Global System for Mobile Communications - Mobil İletişim Küresel Sistemi), GPRS (General Packet Radio Service - Paket Kurallı Radyo Hizmeti), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution - GSM Gelişimi için Artırılmış Veri Hızları), CDMA (Code Division Multiple Access - Kod Bölmeli Çoklu Erişim), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Uluslararası Mobil Telekomünikasyon Sistemi), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access - Yüksek Hızda Veri Paketi İndirme Bağlantısı), 4G (Four Generation - Dördüncü Nesil, WiMAX 2 ve LTE Advanced), MBWA gibi mobil geniş bant kablosuz erişim teknolojileri WWAN sistemlere örnek olarak gösterilebilir.

Tablo 2.1. Kablosuz ağların sınıflandırılması

Kapsama	Kablosuz Teknoloji	Standart Ekleri	Tarih	Frekans	Hız (Teorik)	Mesafe (Teorik)
WPAN	NFC	ISO 14443	2004	13.56 MHz	424 Kbit/s	4-10 cm
	Bluetooth	802.15	Temmuz 1999	2.4 GHz	1-24 Mbit/s	1-100 m
	Zigbee	802.15.4	Aralık 2004	2.4 GHz	1-2 Mbit/s	10-75 m
WLAN	Wi-Fi	802.11	Temmuz 1997	2.4 GHz	1-2 Mbit/s	30-100 m
		802.11a	Ekim 1999	5 GHz	25-54 Mbit/s	25-75 m
		802.11b	Ekim 1999	2.4 GHz	6-11 Mbit/s	35-100 m
		802.11g	Haziran 2003	2.4 GHz	24-54 Mbit/s	25-75 m
		802.11h	Temmuz 2004	5 GHz	24-54 Mbit/s	25-75 m
		802.11n	Ocak 2006	2.4/5 GHz	200-540 Mbit/s	50-125 m
WMAN	WiMAX	802.16d (sabit)	Ekim 2001	2-11 GHz	75-100 Mbit/s	6.5-10 km
		802.16e (mobil)	Aralık 2005	2-6 GHz	30 Mbit/s	1.5-5 km
	LTE	--	Ağustos 2009	2-8 GHz	50-100 Mbit/s	1.5-6 km
WWAN	WiMAX 2	802.16m	2011	2.3-3.5 GHz	360 Mbit/s	75 km
	LTE-Advanced	--	2010	2-8 GHz	300 Mbit/s	100 km

Günümüzde iletişim alanındaki gelişmeler çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Bu ilerlemeye paralel olarak taşınan işaretlerin boyutu, hızı ve kalitesi gibi değerleri de artmaktadır. Örneğin bir video, izleyen bütün kullanıcılara aynı anda verilmelidir ve kalitesi en iyi seviyede olmalıdır çünkü hiçbir kullanıcı düşük kalitede bir video görüntüsünü izlemekten memnun olmayacaktır ya da İnternette sörf yaparken kopan bağlantılar, uzun süreli gecikmeler kullanıcıların hiç karşılaşmak istemedikleri durumlardır. Bu taleplerin karşılanabilmesi için iletişim sürecinin donanım kısmında gelişmelere uyum sağlayabilmelidir.

Genişbant kablosuz ağ sistemleri iletişim alanında yaşanan bu gelişimi yüksek bant genişliği ve yüksek hızda iletişim sunarak, kapsama alanlarını sürekli genişleterek, hata düzeltme, gecikmeyi önleme gibi ölçütler üzerinde yoğunlaşarak takip etmektedir. Bir metropol alan ağı olan WiMAX gelişmiş anten teknikleri, hizmet kalitesi, ileri düzeyde hata düzeltme oranı, yüksek hızda veri taşıma kapasitesi, mobil iletişim desteği gibi özellikleri ile kullanıcılarına hizmet vermekte ve gelişimini sürdürmektedir.



Şekil 2.1. Kablosuz teknolojilerin kapsama alanları ve veri hızları

WiMAX'in kırsal alanlarda maliyeti azaltacak şekilde şebeke erişimine olanak tanınması, hareketli ortamlarda kullanılabilir olması, kullanıcıların iletişim taleplerinin karşılanabilmesini sağlamaktadır. Şekil 2.1'de WiMAX şebeke mimarisinin diğer kablosuz teknolojiler arasındaki konumu görülmektedir.

### 2.3. Kablosuz Ağların Üstünlükleri ve Zayıflıkları

Günümüzde teknoloji günlük yaşamın hemen hemen her alanında kullanılmakta, adeta yaşamımızın vazgeçilmez bir tamamlayıcısı olmaktadır. İnsanlar çok hızlı bir şekilde ilerleyen hayatın akışı içerisinde bir nedenden dolayı mutlaka iletişime ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacın giderilmesi klasik iletişim yöntemleri ile oldukça zor hatta imkansızdır. İletişim sistemleri için kablo ile kurulan ağ yapıları mobil hayata geçişte bu hareketliliğin karşılanmasında çözüm olamamaktadır. İşte bu noktada kablosuz ağ çözümleri devreye girmektedir. Kablosuz ağların en büyük faydası, ağa erişim olduğu sürece hareket esnekliği sağlamasıdır. Kullanıcılar mevcut cihazları ile evde, ofiste ya da hareket halindeyken bile kablosuz ağa dahil olarak iletişim ihtiyaçlarını giderebilirler. Tablo 2.2'de kablosuz ağların üstünlükleri ve zayıflıkları özetlenmektedir.



Tablo 2.2. Kablosuz ağların üstünlükleri ve zayıflıkları

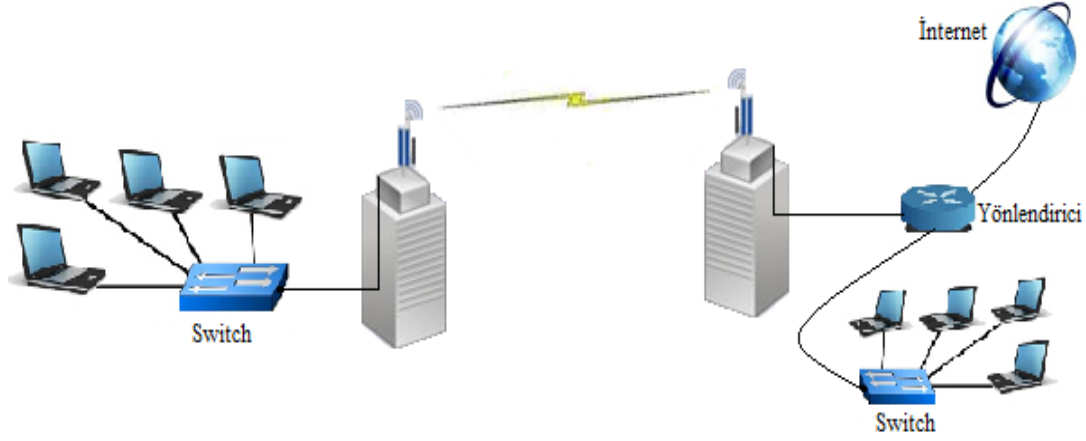
ÜSTÜNLÜKLER	ZAYIFLIKLAR
Kullanıcılara hareket esnekliği sağlar.	Piyasada uzun yıllar kablolu ürünlerin hâkimiyeti olduğu için kablosuz ürünlerin maliyeti kablolu ürünlere göre daha yüksektir.
Kurulumu kablolu yapıya göre hızlı ve basittir.	Kablosuz ağın güvenlik gereksinimlerini karşılamak daha zahmetlidir.
Kablo ile yapılamayan işler için çözüm üretilebilir.	Bant genişliği sınırlamasına tabidir.
Özellikle dar alanlarda kabloların oluşturduğu görüntü kirliliğini ortadan kaldırır.	Kapalı alanlarda veri hızı açık alanlara nazaran oldukça düşüktür.
Ağ yapısı kolaylıkla istenilen yapıda değişikliğe uğratarak kapsama alanı genişletilebilir.	Engellerle karşılaşıldığında veri kayıpları yaşanır.
Kablolu yapılara dahil olarak birlikte rahatlıkla kullanılabilir.	İletişimin süresi boyunca hizmet kalitesini garanti etmelidir.
Özellikle kısa mesafelerde veri iletim hızı yüksektir.	Ortamda fazla oranda radyo işaretinin bulunması insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.
İleri şifreleme teknikleri sayesinde güvenli ortam oluşturulur.	

## 2.4. Kablosuz Erişim Yöntemleri

Kablosuz erişim yöntemleri noktadan noktaya, noktadan çok noktaya ve çok noktadan çok noktaya erişim olmak üzere üç farklı türde yapılmaktadır.

### 2.4.1. Noktadan noktaya erişim (point to point, PTP)

Kendi aralarında haberleşmek için bir hat ile birbirine bağlanmış iki baz istasyonundan oluşan sistemlere noktadan noktaya (point to point, PTP) sabit kablosuz erişim (Fixed Wireless Access, FWA) sistemleri denilmektedir [7]. Bu bağlantı yüksek bant genişliği ve yönlü antenlere sahip bir bağlantıdır. PTP sistemleri genelde uzak noktadan merkeze veri aktarımı için kullanılır. Örneğin 40 km mesafeye mevcut ağı uzatmak veya sağlamak ve bu işi yüksek hızda bir bağlantı ile gerçekleştirmek mümkündür. Yüksek kapasiteli kablosuz ethernet köprüleri gibi cihazlar yardımıyla kurumsal ve telekomünikasyon ağları için kolay ve güvenli çözümler sunulabilmektedir.



Şekil 2.2. Noktadan noktaya kablosuz erişim

Noktadan noktaya cihazlar ile şeffaf bağlantı sağlamak, kolayca tek bir kablosuz ağ üzerinden VPN (Virtual Private Network – Sanal Özel Ağ), gerçek zamanlı video, VoIP (voice over-IP – Internet protokolü üzerinden ses iletimi) gibi içeriklerin aktarımı mümkündür. Şekil 2.2’de noktadan noktaya sabit kablosuz erişim yapısı görülmektedir.

#### 2.4.2. Noktadan çok noktaya erişim (point to multi point, PMP)

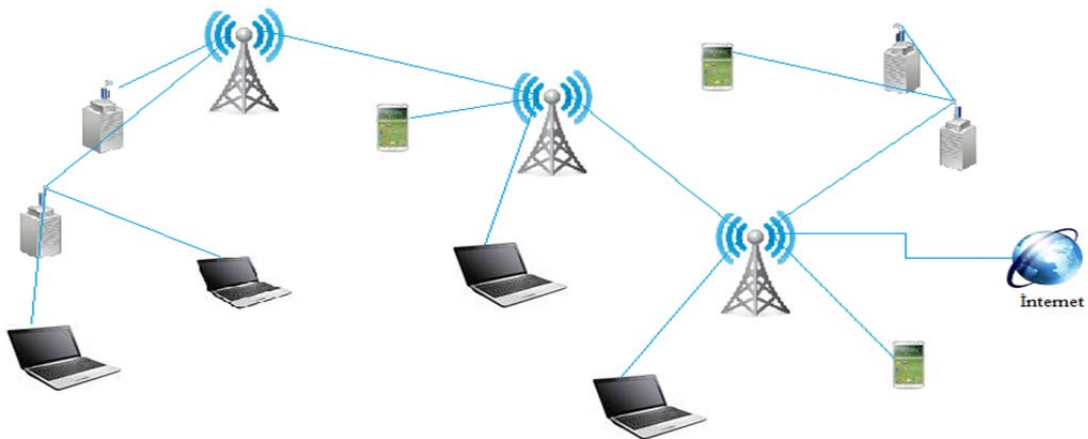
Noktadan çok noktaya sistemler ise, daha küçük abone istasyonları olan ve daha güçlü baz istasyonlarına sahip bir erişim ağıdır. Burada sadece kullanıcı donanımlarını yükleyerek ağa hızlıca erişim mümkündür. Abone istasyonu (Subscriber Station, SS), yönlü antenlerden baz istasyonuna (Base Station, BS) doğru yerleştirilir; nedeni ise baz istasyonunun çok yönlü olmasından ya da çok yönlü anten gruplarına sahip olmasındandır [7]. Şekil 2.3’de noktadan çok noktaya sabit kablosuz erişim yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3. Noktadan çok noktaya kablosuz erişim

### 2.4.3. Çok noktadan çok noktaya erişim

Çok noktadan çok noktaya olarak bilinen hüresel ağ yapısında ise merkezde bir baz istasyonu bulunmaz [7]. Bu sistemde çok sayıda kullanıcının vericisinin ağ yapısına dahil olması neticesinde hizmet alanı genişler ancak bu durum yönlendirme, hizmet kalitesi ve ağdaki düğümlere erişimde karmaşıklığa neden olur. Üreticilerin bu yapıya çözüm için geliştirdikleri açık ve kapalı ağlarda kullanılabilen yüksek kapasiteli, kendi kendini iyileştirebilen kablosuz ağ omurgası ürünleri vardır.



Şekil 2.4. Çok noktadan çok noktaya kablosuz erişim

## BÖLÜM 3. WiMAX

WiMAX ağ mimarisi, genişbant telsiz iletişim olanağı veren yapısıyla kullanıcılara yüksek hızda Internet erişimi yüksek hızda sesli iletişim gibi hizmetleri sağlamak amacıyla 2001 yılında IEEE 802.16 standardının onaylanması ile gelişimine başladı. WiMAX teknolojisi zamanla kapsama alanı, sabit-gezgın iletişim olanağı ve bant genişliği gibi özelliklerinin geliştirilmesi ile farklı standartlar altında ilerleme göstermiştir. Bu standartlar gelişim sürecine göre 802.16, 802.16a, 802.16d (802.16-2004) ve 802.16e (802.16-2005) ve 802.16m (WiMAX 2)'dir. WiMAX standartlarını birbirinden ayıran en büyük fark sabit ya da mobil oluşlarıdır. 802.16-2004 standardına kadar WiMAX mobiliteyi desteklemeyen yapıdadır. WiMAX'in mobilite desteği 802.16e standardı ile geliştirildi. Bu gelişim WiMAX'in günlük yaşama hızla girmesine, kullanıcılarının yaygınlaşmasına destek sağlamıştır.

WiMAX mimarisi, Intel, Samsung, Fujitsu, AT&T gibi önde gelen teknoloji firmalarının oluşturduğu WiMAX Forum Grubu tarafından geliştirilmektedir. Tablo 3.1'de WiMAX standartlarının gelişim süreci verilmektedir.

Tablo 3.1. IEEE 802.16 standartlarının gelişimi

802.16-2004			802.16-2005	802.16-2011	
802.16	802.16a	802.16d		802.16e	802.16m
Sabit Genişbant Kablosuz 10-66 GHz hava arayüzü	Sabit Genişbant Kablosuz 2-11 GHz hava arayüzü	Sabit ve hareketli Genişbant Kablosuz 2-11 GHz	Sistem Temelleri 802.16a	Sabit, hareketli ve mobil Kablosuz Genişbant 2-6 GHz	Sabit, hareketli ve mobil 4G standardına uyumlu 2.3-3.5 GHz
2001	2003	2004		2005	2011

WiMAX bünyesinde geliştirilen son standart olan IEEE 802.16m, dört yıl süren çalışmalar neticesinde WiMAX Forum grubu tarafından 2011 yılında duyuruldu. IEEE 802.16m bir standart adı olmasının ötesinde WiMAX 2 olarak kabul görmüştür. WiMAX Forum grubu 802.16m standardı ile WiMAX teknolojisini, LTE gibi yeni nesil bir teknoloji karşısında popülaritesini kaybetmemesini ve 4G standardına dahil olabilmemesini hedeflemiştir. Bu çalışmaların bir neticesi olarak WiMAX 802.16m, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunications Union, ITU) tarafından 4G standardı olarak onaylandı. ITU aynı zamanda LTE-Advanced'ı da 4G standardı olarak onaylamıştır [8-9].

Mobilite desteği ile gelişimini hızlandıran WiMAX ağ mimarisi özellikle abone sayısının az, kablolu genişbant sistemlerinin kurulumunun zor olduğu ve maliyetinin çok fazla olduğu alanlarda tercih edilmektedir. Hızlı ve güvenilir alt yapısı, görüş hattı kısıtlamasına tabi olmaması, noktadan noktaya, noktadan çok noktaya, çok noktadan çok noktaya uygulamaları desteklemesi WiMAX'i cazip kılan özellikleridir.

### 3.1. WiMAX Teknolojisinin Sunduğu Özellikler

WiMAX sisteminin başlıca özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Düşük maliyet,
- Yüksek kapasite ve geniş kapsama alanı,
- Görüş menzili olmaksızın çalışabilme,
- Yüksek bant genişliği,
- Kolay kurulum,
- Hizmet kalitesi,
- Güvenlik,
- Esneklik,
- Sabit, taşınabilir, mobil kullanım olanakları,
- Ölçeklenebilirlik,
- Geniş endüstriyel destek,

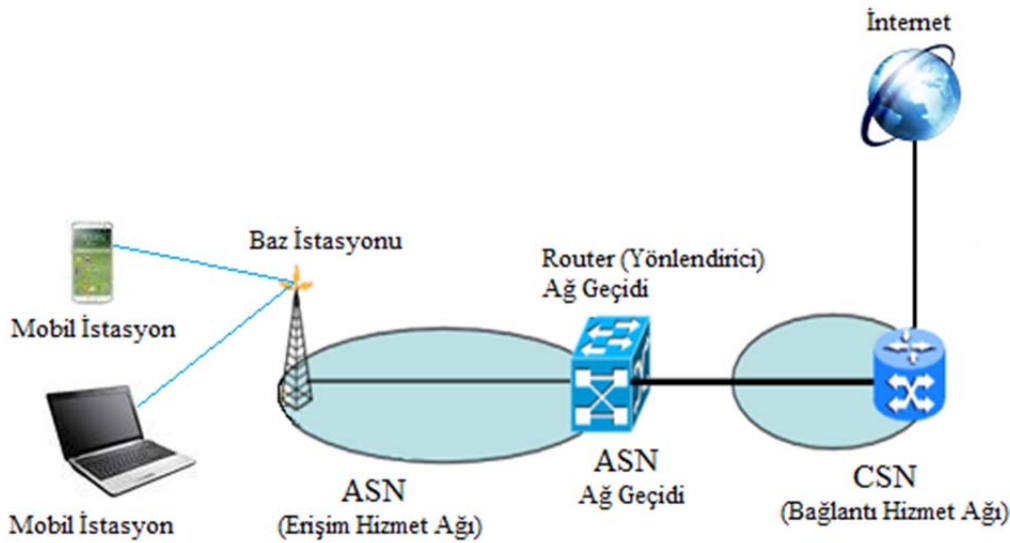
Günlük yaşamda kapalı alanlarda kullanılan Wi-Fi bağlantılarıyla yaklaşık 100 metrelik alanda 10-54 Mbit/s hızlarda kablosuz erişim sağlanabilirken WiMAX ile yaklaşık olarak 50 km yarıçapında bir alanda 75 Mbit/s'lik hızlarda erişim sağlanabilmekte üzerinden ses, video ve veri taşınabilmektedir.

WiMAX standardınının 802.16e revizyonu ile birlikte, otobüs veya trende seyahat ederken ya da benzer koşullar altında akıllı telefonlar ya da taşınabilir bilgisayarlarla mobil, kesintisiz ve yüksek hızlarda erişim sağlanabilmektedir.

WiMAX teknolojisi, bant genişliğinin dağılımı, kullandığı uyarlamalı anten teknikleri, hareketlilik ve mobilite imkanı veren mimarisi ile genişbant kablosuz iletişim yöntemleri için oldukça geniş bir alanda kullanım imkanı vermektedir. WiMAX teknolojisi hücresel toplayıcı omurga (cellular backhaul), talebe bağlı genişbant (broadband on-demand), konutlarda genişbant (Kablo ve DSL (Digital Subscriber Line - Sayısal Abone Hattı) açıklarını giderme), uzak kırsal alanlar, fiber optik kablunun son mesafe dağıtımı, karasal sayısal yayıncılık, kamu güvenlik hizmetleri ve özel sektör ağ çözümleri gibi geniş bir yelpazede uygulanmaktadır.

### **3.2. WiMAX Şebeke Mimarisi**

WiMAX forum grubunun uçtan uca ağ mimarisini geliştirmek için yaptığı çalışmalar neticesinde bir ağın WiMAX abone istasyonuna, hareketlilik, güvenlik, girişim ve veri doğrulama gibi konularda nasıl destek vereceğine ilişkin süreç ve protokoller geliştirilmiştir [10]. Bu şebeke yapısı mobil istasyonlar (Mobile Station, MS), erişim hizmet ağı (Access Service Network, ASN) ve bağlantı hizmet ağı (Connectivity Service Network, CSN) gibi kendine özgü yapılar içermektedir. Ayrıca bu şebeke yapısında, süreç ve protokolleri tanımlayan ve farklı elemanlar arasındaki bağlantılara mantıksal olarak hizmet veren arayüzler mevcuttur. Şekil 3.1'de WiMAX şebeke mimarisi verilmektedir.



Şekil 3.1. WiMAX şebeke mimarisi

Bu mimaride yer alan erişim hizmet ağı (ASN); belirli bir coğrafik bölgeye WiMAX kablosuz erişimini sağlayan bir ya da daha fazla ağ geçidinden (ASN Gateway) oluşur. ASN, ortam erişim kontrol (MAC) fonksiyonlarının (konumlandırma, numaralandırma, baz istasyonları arasında taşınabilirlik gibi) yönetiminden sorumludur. ASN, CSN ile kıyaslandığında yüksek düzeydeki yönetimleri yapmaz, sadece WiMAX telsiz bağlantısı yönetimini sağlar. ASN vekil olarak da kullanılabilir (vekil hareketli ağ protokolü - Proxy Mobile IP, MIP) [11].

Bağlantı Hizmet Ağı (CSN); bir ağ fonksiyonları kümesidir, görevi ise abone istasyonlarına IP bağlantısını sağlamaktır. CSN ağa erişim için ağ geçitlerini (gateway), yetkilendirme için yönlendiricileri, kullanıcı veritabanını tutmak için vekil ve girişim cihazlarını, IP'leri tutmak için sunucuları içerisinde barındırır. CSN, ASN ile konum hizmetleri, hukuksal hizmetler, kabuller, erişim hakları gibi hizmetleri karşılar.

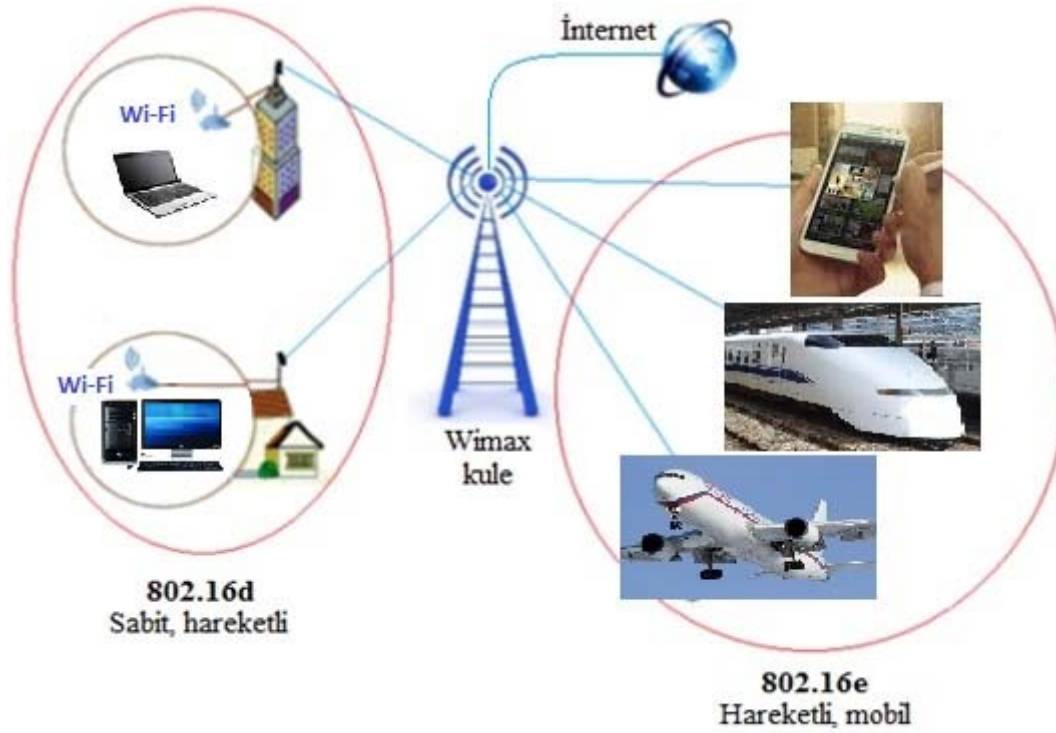
WiMAX sistemi, noktadan çok noktaya ağları ve hücrel ağ topolojisini destekler. Noktadan çok noktaya modunda abone istasyonları yalnızca baz istasyonları ile konuşur. Hücrel modda ise bütün uç noktalar birbirleri ile doğrudan ya da bir abone istasyonu üzerinden dolaylı olarak iletişim kurabilirler.

Bir WiMAX ağ sistemini ele aldığımızda bir toplayıcı omurga bağlantısına erişen kısım hücrenel BS (Base Station – Baz İstasyonu) olarak adlandırılır, sistemin geri kalan kısmı ise hücrenel SS (Subscriber Station – Abone İstasyonu)'dir. Hücrenel BS'ye sahip olan bir hücrenin de diğer uç noktalarla olan bağlantısını koruması gerekir. Bu koruma işlemleri iki yöntemle yapılabilir. Birinci olarak bir uç noktadan diğerine geçerken iki durak kullanır ya da zaman aralıklarını paylaşır ve paket çakışmalarını önlemek için birlikte çalışır. Bu yöntem dağıtılmış çizelgeli sistemdir. İkinci olarak belli bir bölgede hücrenel SS'lerden kaynak isteğini toplayan ve bu istekleri kendi kapasitesinde tutan BS'lere dayanmaktadır. Bu kapasite aynı BS ile veri alışverişinde bulunan diğer hücrenel SS'ler ile paylaşılmaktadır. Bu yöntemle merkezileştirilmiş hücre yapısı denir.

Bir WiMAX sistemi iki bölüm olarak düşünülebilir. WiMAX kulesi ve WiMAX alıcısı. Bir WiMAX kulesi ile yaklaşık 50 km yarıçapında bir alan kapsanabilmektedir. Kapsama alanı frekans, vericinin gücü ve alıcının hassasiyetine göre değişebilir. WiMAX alıcıları ve antenler ise günümüzde taşınabilir aygıtlara monte edilebilecek kadar küçültülmüştür. Henüz ülkemizde kullanılmasa da yurt dışında WiMAX ağ mimarisinin kullanıldığı birçok ülkede cep telefonu, dizüstü bilgisayar ve tabletler gibi mobil aygıtlar WiMAX modülü eklenmiş halde pazarda yer almaktadırlar.

Şekil 3.2'de WiMAX abone istasyonları ile baz istasyonu arasında nasıl bir bağlantı olduğu görülmektedir. Şekil 3.2'de görüldüğu gibi 802.16e standardının gelişimi ile WiMAX sistemler günlük yaşamda kullanıcılara kablosuz iletişim alanında daha fazla hizmet vermektedir.





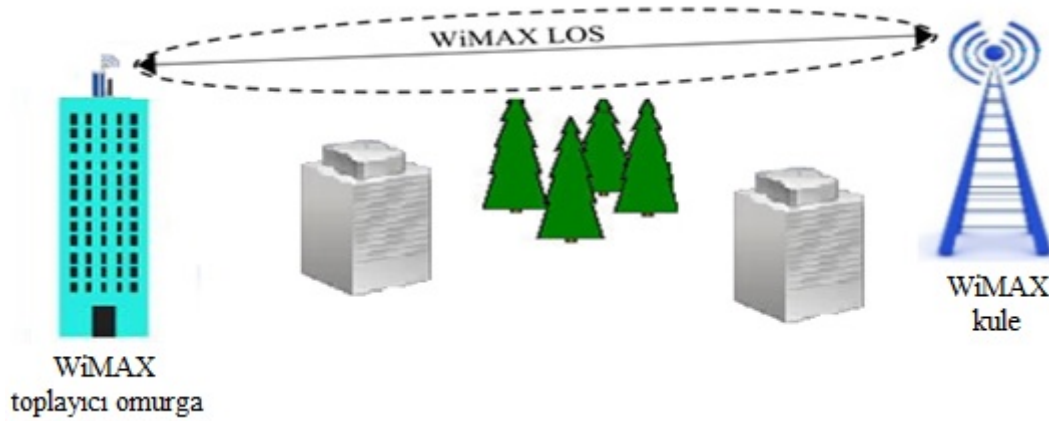
Şekil 3.2. WiMAX baz istasyonu ile abone istasyonları bağlantısı

### 3.3. Görüş Hattı İçinde ve Görüş Hattı Harici Çalışma

#### 3.3.1. Görüş hattı (line of sight - LOS)

LOS sisteminde WiMAX anteni tek doğrultuda yayın yapar, bu yayın yaklaşık 50 km'lik mesafelere kadar iletilebilir.

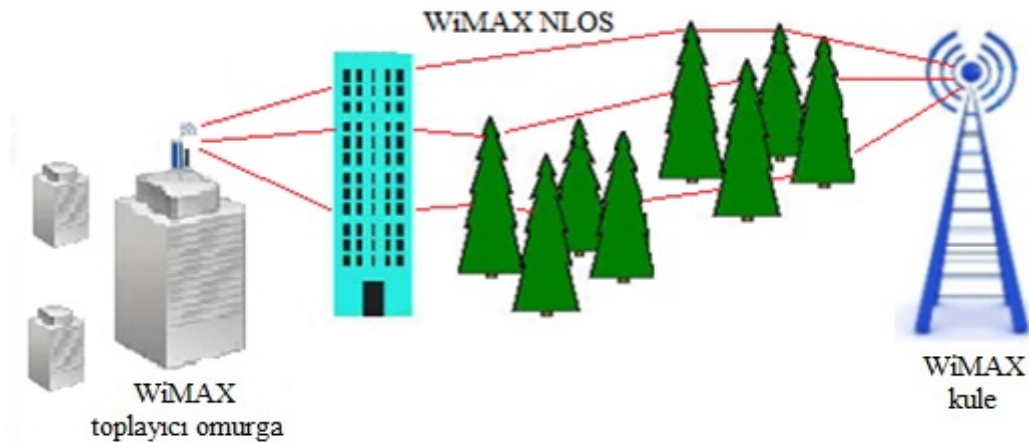
Bu sistemde alıcı ve verici arasında işaretler hiçbir engelle karşılaşmamalıdır. Eğer arada engel olursa iletilen işaretlerde büyük güç kaybı meydana gelebilir. LOS sisteminde WiMAX kuleleri yüksek yansıtıcı antenlerle donatılmıştır. Bu sayede 66 GHz büyüklüğüne kadar frekanslarda kararlı bir yapıda en az hata payı ile yayın yapılabilmektedir. Şekil 3.3'de WiMAX LOS sistemi görülmektedir.



Şekil 3.3. WiMAX LOS sistemi

### 3.3.2. Görüş hattı harici (non line of sight - NLOS)

Görüş hattının olmadığı durumlarda alıcı ve verici arasındaki işaret alışverişi işaretlerin saçılması, yansınması veya bir engelle karşılaşıncı kırılması şeklinde olur. İşaret alıcıya ulaştığında kısımlanarak yayılmış işaretler, çoklu yol yansımış işaretler ve yayılı enerji bileşenlerinden oluşur. Çoklu yol olayı işaretin polarizasyonunun değişmesine neden olabilir. NLOS sisteminde kullanıcı bilgisayarındaki küçük antenler vasıtasıyla iletim kulelerine bağlantı sağlanır. Yayın yapılan alan 6 – 10 km yarıçapında bir alanla sınırlıdır. Bu yapıdaki WiMAX işaret aralığı 2 GHz'den 11 GHz'e kadar kullanılabilir. Bu şekilde düşük işaret aralığında işaretlerin yapısı engellerle karşılaştığında çabuk bozulmaz. Şekil 3.4'de WiMAX NLOS sistemi görülmektedir.

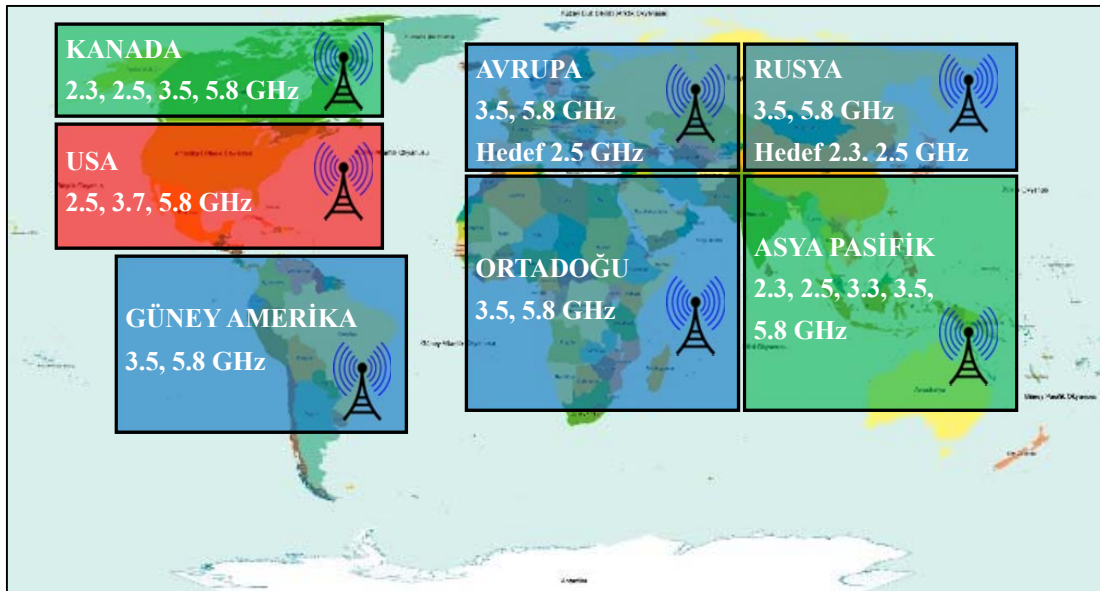


Şekil 3.4. WiMAX NLOS sistemi

### 3.4. Coğrafik Bölgelere Göre WiMAX Frekans Aralıkları

WiMAX Forum Grubu, ülkelerin kendine özgü frekans aralıkları olduğu için genel uyumlu cihazlara erişimi sağlayan frekansları seçmek amacıyla 3.3-3.8 GHz, 2.3-2.7 GHz ve 5.75-5.85 GHz [12] aralıklarında üç frekans bandı belirlemiştir. Bu frekans bantlarının ilk ikisi lisanslı, üçüncüsü ise lisanstan muaf tutulmuştur. Şekil 3.5’de bir çok kıtanın kendilerine uygun olarak seçtikleri frekans aralıkları verilmektedir.

Türkiye’de WiMAX teknolojisi lisanslı olarak henüz kurulmamıştır. Ancak Genişbant Telsiz Erişim (GTE) hizmetinin yetkilendirilmesini kapsayan “Elektronik Haberleşme Sektörüne İlişkin Yetkilendirme Yönetmeliği” 28/05/2009 tarih ve 27241 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Ülkemizde WiMAX’in hem sabit hem de mobil uygulamaları için öncelikle 3400 – 3600 MHz frekans bandı aralığı düşünülmektedir, ikinci bir yaklaşım olarak yine hem sabit hem de mobil uygulamalar için 2.5 GHz frekansı değerlendirilmektedir [2]. Ülkemizde WiMAX teknoloji lisanssız olarak bazı illerimizde çeşitli kamu kurumları ve özel kuruluşlar tarafından Bilişim Teknolojileri Kurulu (BTK) izni ile belli zaman dilimlerinde denenmiştir. Tablo 3.2’de bu kurumların başlıcaları listelenmektedir.



Şekil 3.5. Coğrafik bölgeler ve frekans aralıkları

Tablo 3.2. Ülkemizde WiMAX sisteminin kullanıldığı bazı alanlar

Kurum / Şirket	Kullanım Amacı	Süre
Hacettepe Üniversitesi	Akademik kullanım	02/07/2007 tarihinden itibaren 6 ay
Netaş Telekomünikasyon A.Ş.	Tanıtım amaçlı	04/06/2010 tarihinden itibaren 1 yıl
Aselsan A.Ş.	Deneme amaçlı	01/08/2007 tarihinden itibaren 6 ay
Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Deneme amaçlı	15/10/2006 tarihinden itibaren 6 ay
Borusan Telekom ve İletişim Hizmetleri A.Ş.	Deneme amaçlı	15/08/2006 tarihinden itibaren 6 ay
Türksat Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş.	Deneme amaçlı	15/05/2006 tarihinden itibaren 6 ay
Türk Telekomünikasyon A.Ş.	Deneme amaçlı	01/06/2005 tarihinden itibaren 1 yıl
Huawei Telekomünikasyon Dış Ticaret Limited Şirketi	Tanıtım amaçlı	26/06/2008 tarihinden itibaren 1 yıl
Orta Doğu Yazılım Hizmetleri A.Ş.	Deneme amaçlı	02/07/2007 tarihinden itibaren 6 ay
Atlas On-Line İletişim Sistemleri Ticaret A.Ş.	Deneme amaçlı	15/05/2006 tarihinden itibaren 6 ay
Yozgat Türk Telekom	Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı okullarda internet erişimi için	2005-2006 yılları arası

### 3.5. WiMAX Standartları

IEEE tarafından geliştirilen standartlardan 802 ailesinin bir üyesi olan WiMAX, 802.16 standartlarını temel alan bir kablosuz genişbant erişim teknolojisidir. IEEE 802.16 standardı ilk sürümdür ve Ekim 2001'de tamamlanan bu sürüm kullanıcılara kablosuz ortamda ses ve yüksek hızda veri iletişimi gerçekleştirebilmek amacıyla bir hava arayüzü ve ortam erişim kontrolü (MAC) sağlamaktadır. IEEE 802.16 standardı noktadan çok noktaya yapıda çalışan kablosuz genişbant erişim sistemlerinin modern bir sürümüdür. Sonradan geliştirilen 802.16a ve 802.16d sürümleri ise örülü ağ (mesh network) şebeke mimarisini de desteklemektedir. Başlangıçta 10-66 GHz frekans aralığındaki çok sayıda genişbant sistemin yayılım ihtiyacının karşılamak için geliştirilen 802.16 standardı daha sonra sırasıyla 2-11 GHz ve 2-6 GHz frekans aralığında çalışan sistemler şeklinde standartlaştırılmıştır. WiMAX sisteminde 10-66 GHz frekans aralığı artık kullanılmamaktadır [19].

2001 yılında geliştirilen 802.16 standardı 10-66 GHz frekans aralığında ve görüş hattı desteği ile çalışırken, Ocak 2003 yılında geliştirilen 802.16a standardı ile

frekans aralığı 2-11 GHz arasını kapsayacak şekilde geliştirilmiş ve görüş hattı gerektirmeden kullanım ihtiyaçlarına cevap verebilme özelliği eklenmiştir. Haziran 2004 geliştirilen WiMAX sürümü IEEE 802.16-2004 (802.16d) adını almıştır, bu sürüm sabit ve hareketli sistemlere yöneliktir ve bu sürüm ile önceki sürümler kullanımdan kalkmıştır. Aralık 2005’de geliştirilen IEEE 802.16-2005 (802.16e) sürümü ile WiMAX sistemlerine mobilite desteği de eklenmiştir [19].

WiMAX bünyesinde geliştirilen bu standartlara ilave olarak yaklaşık 4 yıl süren çalışmalar neticesinde IEEE 802.16m standardı WiMAX Forum Grubu tarafından duyuruldu. IEEE 802.16m (IEEE 802.16-2011) bir standart adı olmasının ötesinde WiMAX 2 olarak kabul görmüştür. WiMAX Forum Grubu 802.16m standardı ile WiMAX teknolojisinin, LTE gibi yeni nesil bir teknoloji karşısında popülaritesini kaybetmemesini ve 4G standardına dahil olabilmelerini hedeflemiştir. Bu çalışmaların bir neticesi olarak WiMAX 802.16m, ITU tarafından 4G standardı olarak onaylandı. ITU aynı zamanda LTE-Advanced’ı da 4G standardı olarak onaylamıştır [8-9].

### **3.5.1. 802.16**

IEEE 802.16 grubu ilk olarak 1998 yılında kablosuz genişbant için bir hava arayüzü standardı geliştirmek üzere çalışmalarına başladı. 10-66 GHz frekans bandında görüş hattı (LOS) tabanlı ve noktadan çok noktaya bir genişbant sistemi üzerinde çalışıldı ve 802.16 standardı böylece Ekim 2001’de tamamlandı [6].

### **3.5.2. 802.16a**

IEEE 802.16 grubunun kablosuz genişbant sistemlerinin modern bir yapıya bürünmesi kapsamında yaptıkları çalışmalar neticesinde görüş hattına gerek duymadan (NLOS) çalışabilecek özellikte ve kablolu çözümlerin erişemediği noktalarda uygulama alanı bulmuştur. 2-11 GHz frekans aralığını kullanmaktadır. Sabit bilgisayarlar arasında kablosuz Internet erişimi sağlayan bir standart olarak geliştirilmiştir. Haberleşme esnasında doğrudan görüş hattına ihtiyaç duymayan bir yapıdır. Bu standart 50 km yarıçapında bir alanda kapsama ve 75 Mbit/s hızlarda bağlantıya imkan tanımaktadır.

### 3.5.3. 802.16d (802.16-2004)

Bu standart 802.16a standardının eksiklerini gidermek üzere geliştirilmiştir. Alıcı ve verici haberleşmesi için doğrudan görüş hattı olan veya olmayan durumlarda haberleşme mümkün olmaktadır. Hücresel toplayıcı omurga olarak kullanılmaktadır. Kablolu çözümlerin yüksek maliyetli olduğu kırsal alanlarda alternatif çözümler için kullanılmaktadır. Sabit ve hareketli uygulamaları destekleyen bir kablosuz genişbant standardıdır. IEEE 802.16d standardı 2-11 GHz frekans aralığında, görüş hattı sınırlamasına tabi olmadan çalışır (LOS ve NLOS yapıda çalışabilir.)

### 3.5.4. 802.16e (802.16-2005)

IEEE 802.16 grubu tarafından geliştirilen bu standart ile hareket halinde olunan koşullarda mobil cihazlar vasıtasıyla Internet'e erişim hedeflenmiştir. Bu sayede sabit ve hareketli sistemler arasında haberleşme mümkün olacaktır, böylelikle mobilite tam anlamı ile desteklenmiş olacaktır. Bu standardın frekans aralığı 2.3 GHz ve 2.5 GHz'dir. IEEE 802.16e standardı da yine IEEE 802.16d standardında olduğu gibi NLOS yapıda çalışabilmektedir.

WiMAX'de NLOS uygulama OFDM ve MIMO (multi-input multi-output – çoklu giriş çoklu çıkış) alıcı teknolojisi sayesinde gerçekleştirilmektedir. Birçok yeni nesil genişbant kablosuz erişim teknolojisi OFDM teknolojisini kullanmaktadır. Bu teknoloji asgari bant genişliği ile engebeli alanlarda yüksek hızda verinin elde edilmesi için kullanılır. OFDM'de genelde 7 GHz'in altındaki frekanslarda karşılaşılan çoklu yol yansımalarından görülen problemlerin azaltılması amaçlanmaktadır. OFDM'in bina dışı alanlarda esneklik geliştirme, girişimi azaltma gibi faydaları vardır [13].

MIMO teknolojisinin görevi ise, kablosuz sistemlerde sistem performansını, hızı ve güvenilirliği artırmaktır; bu durum teorik olarak kullanılan anten sayısı ile doğru orantılıdır [13].

### 3.5.5. 802.16m (802.16-2011)

Bu standart WiMAX2 olarak anılmaktadır. 802.16m tam anlamıyla mobil iletişim için geliştirilmiştir, çok yüksek hızlar ve daha geniş kapsama alanı vadedilmektedir. WiMAX2, ITU tarafından 4G standardı olarak onaylanmıştır.

Tablo 3.3’de WiMAX standartlarının karşılaştırmalı listesi görülmektedir.

Tablo 3.3. WiMAX standartlarının özellikleri [3].

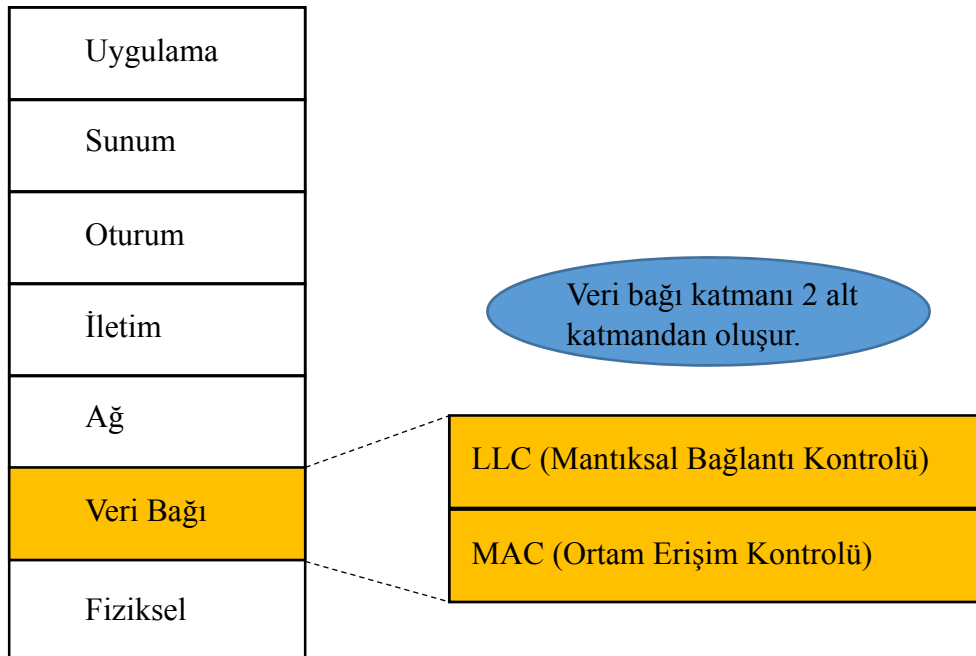
Standart	802.16	802.16a	802.16d (802.16-2004)	802.16e (802.16-2005)	802.16m (Wimax2)
Standart Yılı	Ekim 2001	Ocak 2003	Haziran 2004	Aralık 2005	Şubat 2011
Frekans Spektrumu	10-66 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz -sabit 2-6 GHz -mobil	2.3-3.5 GHz
Haberleşme Özelliği	Doğrudan görüş hattı gerekir	Doğrudan görüş hattı gerekmez	Doğrudan görüş hattı gerekmez	Doğrudan görüş hattı gerekmez	Doğrudan görüş hattı gerekmez
Bant Genişliği	32-134 Mbit/s	20 MHz de 75 Mbit/s	15 Mbit/s a kadar çıkabilir.	15 Mbit/s a kadar çıkabilir.	360 Mbit/s (teorik)
Modülasyon	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	OFDM 256, 64-QAM, 16-QAM, QPSK	OFDM 256, OFDMA, 64-QAM, 16-QAM, QPSK	OFDM 256, OFDMA, 64-QAM, 16-QAM, QPSK	OFDM 256, OFDMA, 64-QAM, 16-QAM, QPSK
Hareketlilik	Sabit uygulamalar	Sabit uygulamalar	Sabit ve hareketli uygulamalar	Hareketli ve mobil uygulamalar	Hareketli ve mobil uygulamalar
Kanal Bant Genişliği	20,25 ve 28 MHz	1.25-20 MHz arasında seçilebilir.	1.25-20 MHz arasında seçilebilir.	1.25-20 MHz arasında seçilebilir.	1.25-20 MHz arasında seçilebilir.
Hücre Yarıçapı	1.6-5 km	5-8 km yükseklikte kurulu kule ile 50 km’lik mesafelere kadar kapsama	5-8 km yükseklikte kurulu kule ile 50 km’lik mesafelere kadar kapsama	1.6-5 km	75 km

### 3.6. OSI Referans Modeli

IEEE 802.16 ağ standardı OSI modelini kullanır. Bu modelde en üstte uygulama katmanı (7. katman), en aşağıda fiziksel katman (1. katman) yer almaktadır.

OSI modelinde farklı protokollerin fonksiyonları katmanlara ayrılmıştır, her katman sadece bir alt katmandaki fonksiyonları kullanabilir. Her katman verileri bir üst katmana verir. Genelde alt katmanlar donanım, üst katmanlar yazılım olarak uygulanır. Fiziksel katman ikili iletişim arasında fiziksel bağlantıyı yapar, veri bağı katmanında yer alan MAC katmanı ise bağlantının kuruluşundan ve bakımından sorumludur. MAC katmanının işlevi baz istasyonu tarafından kontrol edilir, Frekans Bölmeli Çoklama (Frequency Division Duplexing, FDD) ve Zaman Bölmeli Çoklama (Time Division Duplexing, TDD) yöntemlerinden birini kullanır.

IEEE 802.16 MAC katmanı noktadan çok noktaya (PMP) ağ yapısını ve örülü yapıyı destekler.

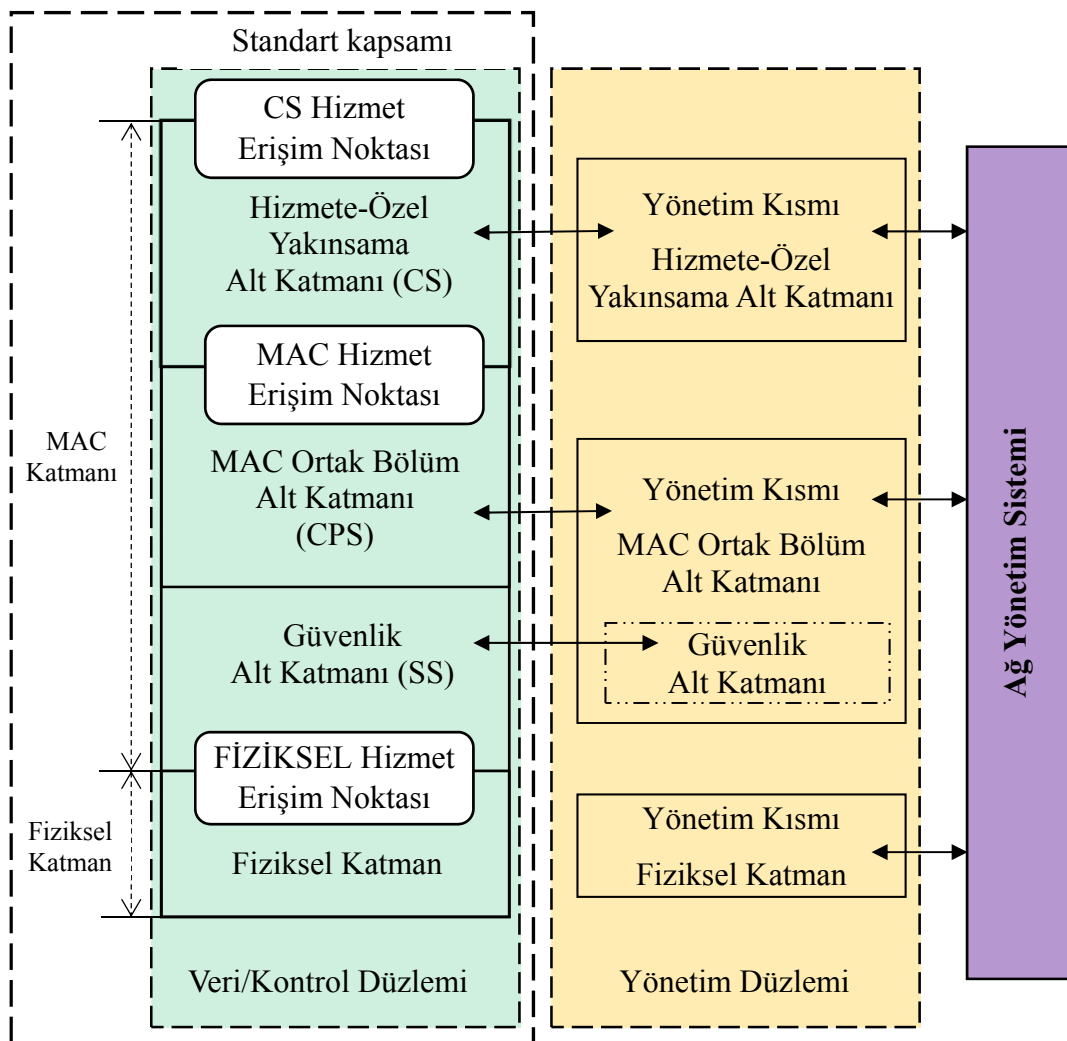


Şekil 3.6. OSI referans modeli



IEEE 802.16, çok sayıda fiziksel katmanı destekleyecek yapıdadır ancak bunlardan sadece ikisi kullanılmaktadır. Bunlar; fiziksel katman ve veri bağı katmanıdır. Veri bağı katmanının sadece MAC kısmı kullanılmaktadır.

Şekil 3.7’de WiMAX protokol katmanları mimarisi görülmektedir. MAC katmanı kendi içinde Yakınsama Alt Katmanı (Convergence Sublayer, CS), Ortak Bölüm Alt Katmanı (Common Part Sublayer, CPS) ve Güvenlik Alt Katmanı (Security Sublayer, SS) olmak üzere 3 alt katmana ayrılmaktadır [6].



Şekil 3.7. IEEE 802.16 standardı protokol katmanları

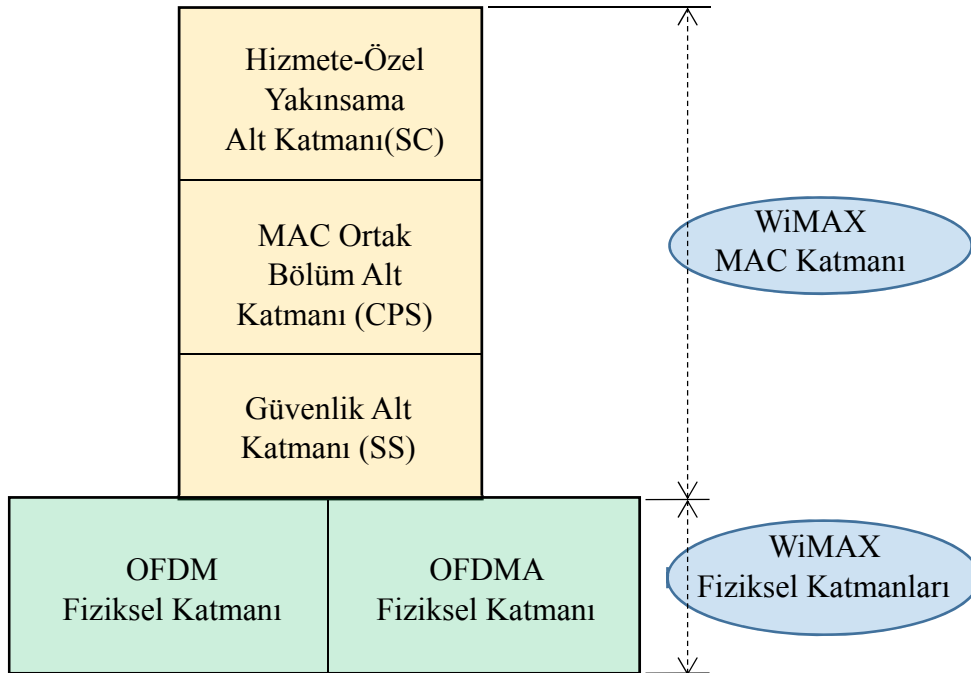
### 3.6.1. WiMAX fiziksel katmanı

Genişbant kablosuz erişim sistemi olan WiMAX'te veri, hava arayüzünden imkan verilen frekanslarda elektromanyetik dalgalar yoluyla yüksek hızlarda yayılır. Fiziksel katman bu yayılım için iletişim kurulması gereken taraflar arasında aşağı ve yukarı yönde (downlink ve uplink) fiziksel bağlantı sağlar.

IEEE 802.16 standardı 2-66 GHz aralığı frekans bandını kullanır ve bu frekans aralığı iki parçaya bölünmüştür.

Birinci aralık 2 ile 11 GHz arasındadır, NLOS iletimi için ayrılmıştır ve WiMAX'te artık sadece bu aralık kullanılmaktadır. İkinci aralık 11 ile 66 GHz arasındadır ve LOS iletimi için ayrılmıştır. Bu aralık WiMAX'te artık kullanılmamaktadır [14].

IEEE 802.16 standardı beş farklı arayüzü içermektedir. Ayrıca TDD ve FDD çoklama modları 802.16 sistemine dahil olabilirler [11]. Şekil 3.8'de WiMAX MAC katmanının çoklama modları dahil edilerek kullanımı görülmektedir.



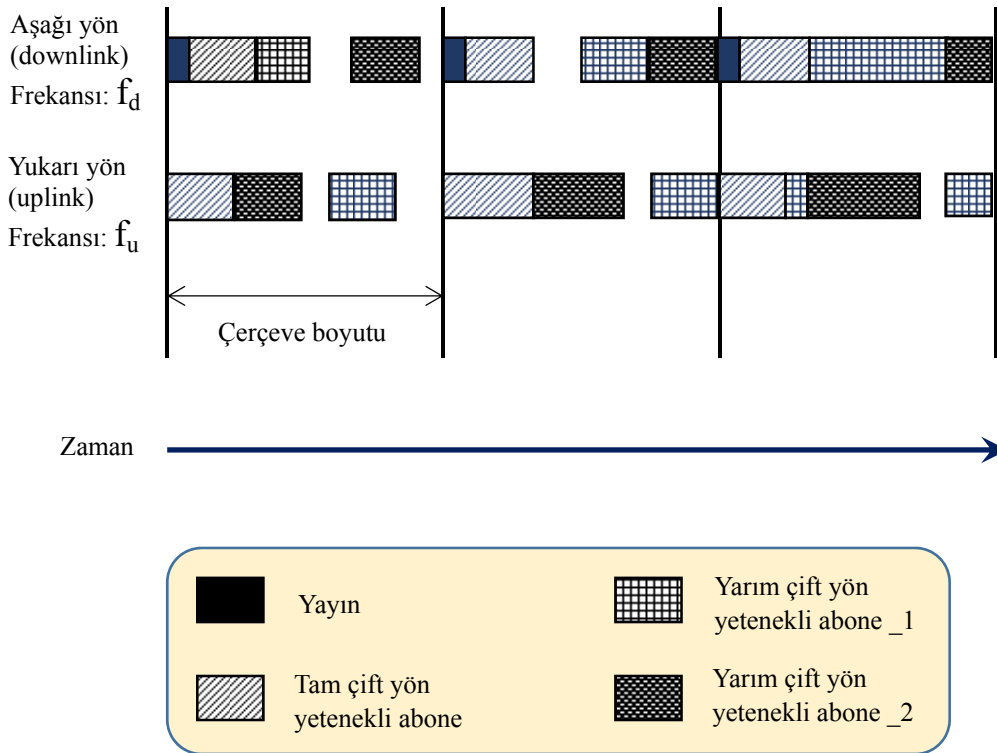
Şekil 3.8. IEEE 802.16 MAC katmanı ve 2 fiziksel katman ile kullanımı

### 3.6.2. Çift yönlü iletişim (duplexing)

IEEE 802.16 standardı zaman bölmeli çoklama (TDD) ve frekans bölmeli çoklama (FDD) olmak üzere iki temel çoklama tekniği içerir.

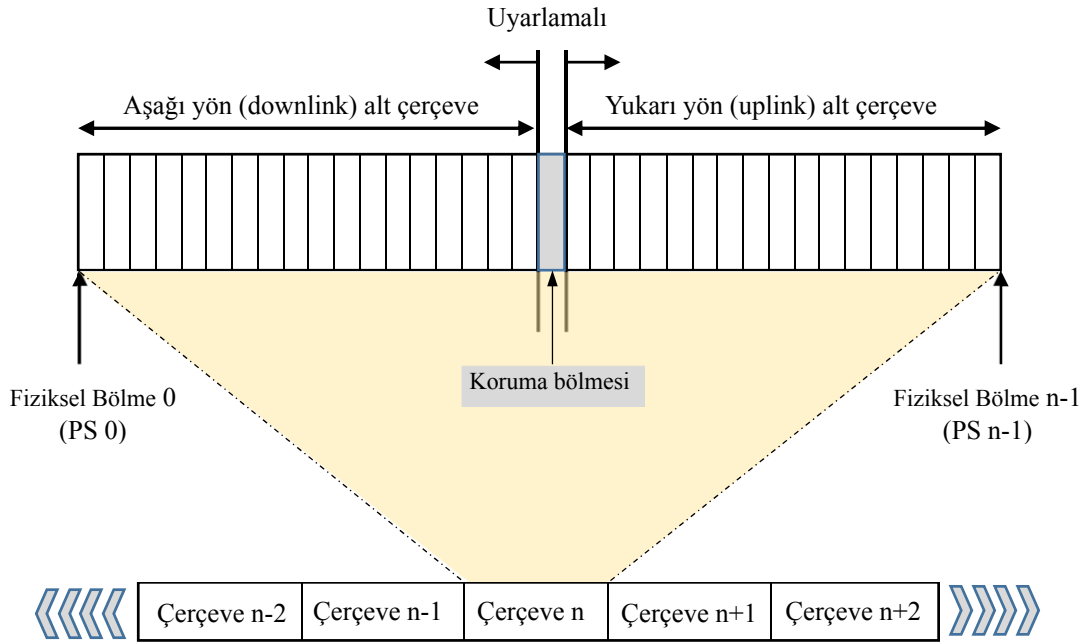
FDD çoklama modu çoğu mobil haberleşme sistemi tarafından kullanılır. Yukarı yönlü ve aşağı yönlü işaretleri filtreler yardımıyla kolayca ayırabilmesi bu modun başlıca tercih sebeplerindendir. İki yönlü radyo haberleşmesinde kullanılan en yaygın çoklama tekniğidir.

FDD sistemlerde yukarı ve aşağı bağlantı için farklı frekans bantları kullanılır, gönderme ve alma aynı anten üzerinden sağlanır. Yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı frekans bantlarını birbirinden ayırmak için bir çoklayıcı kullanılır [15]. Şekil 3.9'da FDD sistemi örnek frekans tahsisi görülmektedir.



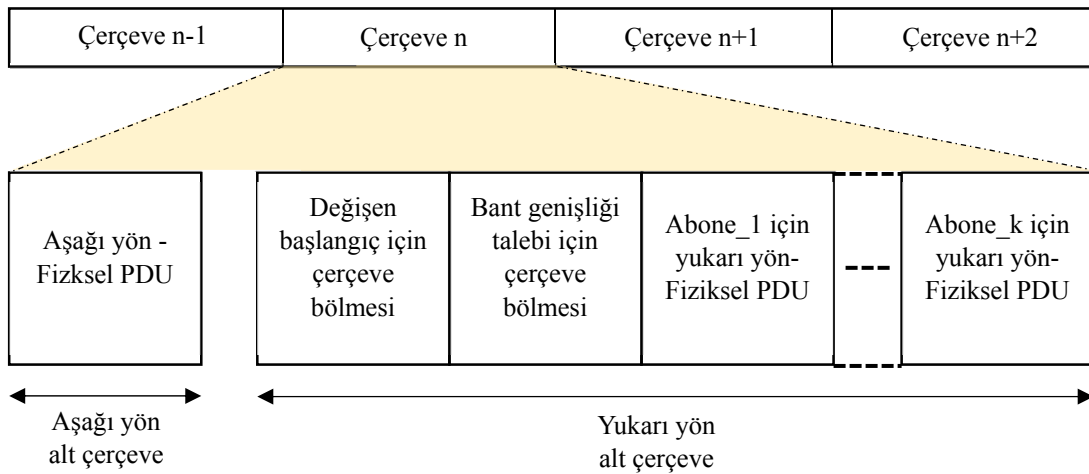
Şekil 3.9. FDD çerçeve: Aynı süreç içerisinde farklı frekans bantları kullanan yukarı ve aşağı yön aktarmaları

TDD çoklama modunda ise baz istasyonu ve terminal aynı frekans kanalından farklı zaman dilimlerinde işaret iletirler. TDD sistemlerde, FDD sistemlerin aksine yukarı ve aşağı bağlantı için aynı frekans bandı kullanılır. TDD sistemlerde her bir bağlantı için kullanılan bant genişliği, FDD sistemlerde kullanılan bant genişliğinin iki katıdır [15]. Şekil 3.10'da TDD sistemi örnek frekans tahsisi görülmektedir.



Şekil 3.10. TDD Çerçeve: Aynı frekans bandını paylaşarak farklı aktarma zamanlarına sahip yukarı ve aşağı yön aktarmaları

TDD sisteminde yer alan her bir çerçevenin yapısı Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11. TDD çerçeve genel biçimi.

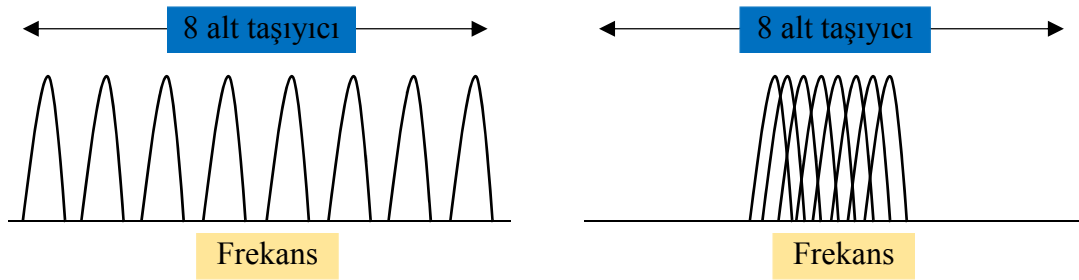
### 3.7. OFDM (Dikgen Frekans Bölmeli Çoklama)

WiMAX mimarisinde IEEE 802.16d standardında ve önceki standartlarda gerçek uygulamalarda iletim metodu olarak OFDM tekniği, IEEE 802.16e (mobil WiMAX) standardında ise OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access - Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) tekniği kullanılır.

OFDM tekniği veriyi kendisine ait frekans bandını verimli kullanabilmek için birbiriyle örtüşmesine izin verilen sınırlı sayıda farklı alt kanaldan paralel olarak gönderme ilkesine dayanmaktadır. Alt taşıyıcı sayısı genelde  $N$  ile gösterilir. Her bir alt taşıyıcı diğeriyle dikgen olduğundan birbiriyle girişim yapmamakta ve böylece frekans bandı daha verimli kullanılmaktadır. OFDM'in tercih edilme sebeplerinden birisi de frekans seçici sönmüleme ya da dar bant girişime karşı direnci artırmasıdır [3].

Bir OFDM sisteminde kaynaklar; frekans (alt taşıyıcılar) ve zaman (OFDM sembol) bazında bölünürler. Her alt taşıyıcı düşük hızlı işaret ile (Dördün Faz Kaydırmalı Anahtarlama, Dördün Genlik Modülasyonu) modüle edilir. OFDM sembolü, ayarlanmış bütün alt taşıyıcılar tarafından aktif sembol zamanı diye adlandırılan özel süre boyunca elde edilen zaman dilimine bağlı olan işareti gösterir [3].

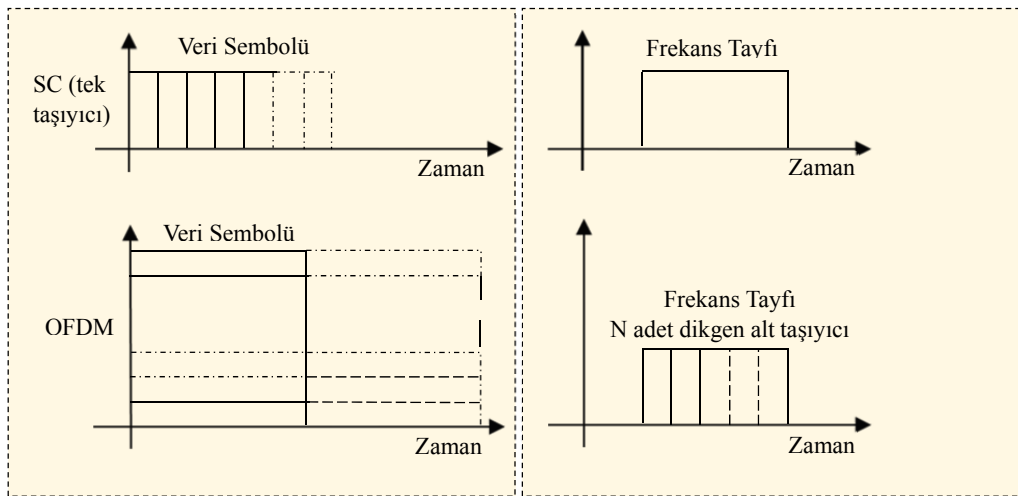
OFDM yöntemi üç tip alt taşıyıcı içerir. Bunlar veri alt taşıyıcısı (veri gönderimi için), pilot alt taşıyıcısı (senkronizasyon ve tahmin etme işlemi için) ve koruma alt taşıyıcısı (null subcarrier, koruma bandı görevi yapar, gönderim işlevi yapmaz.) Yukarı ve aşağı yön bağlantıları için veri ve pilot alt taşıyıcıları aktif veri alttaşıyıcılarıdır ve alt kanal olarak adlandırılırlar. Bu şekildeki kanallamada 48 adet alttaşıyıcı bulunur. OFDM'in TDMA (Time Division Multiple Access - Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) ya da FDMA (Frequency Division Multiple Access - Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) gibi çoklu erişim yöntemleri ile birlikte kullanılması OFDMA'yı oluşturur. OFDM çoklu erişim yönteminde (OFDMA) alt taşıyıcılar alt kümelere bölünür ve her bir alt küme bir alt kanalı temsil eder [11]. Şekil 3.12'de OFDM tekniği ile bant genişliğinin daraltılması yöntemi görülmektedir.



Şekil 3.12. OFDM, bant genişliğinin daraltılması

OFDM tekniğinde efektif olarak modüle edilmiş taşıyıcılar birbiri ile karışmayacak şekilde dikey sıkıştırılarak, ihtiyaç duyulan bant genişliğinin azaltılması sağlanır. Demodülasyon işlemi için Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) kullanılır. FFT işlem süresini kısaltır, böylece zaman sorunu ortadan kaldırılır. OFDM’de 256 noktalı FFT kullanılır ve tüm alt taşıyıcılar tek seferde gönderilir. Aşağı yönde, Zaman Bölmeli Çoklama (Time Division Multiplexing, TDM), yukarı yönde ise Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access, TDMA) kullanılır.

Genellikle kablosuz sistemlerde OFDM en iyi performans gösteren iletim tekniği olarak kabul edilir. Her kanal için daha küçük bant genişliğine sahip olmak, daha büyük zaman dilimi, işaretleri alt işaretlere bölerek farklı frekanslarda taşınmasını sağlamak ve bu sayede verimliliği artırmak önemli avantajlarıdır. Şekil 3.13’de zaman dağılımında ve frekans dağılımında tek taşıyıcı yapı ile birden fazla dikgen alt taşıyıcıdan oluşan yapı görülmektedir.



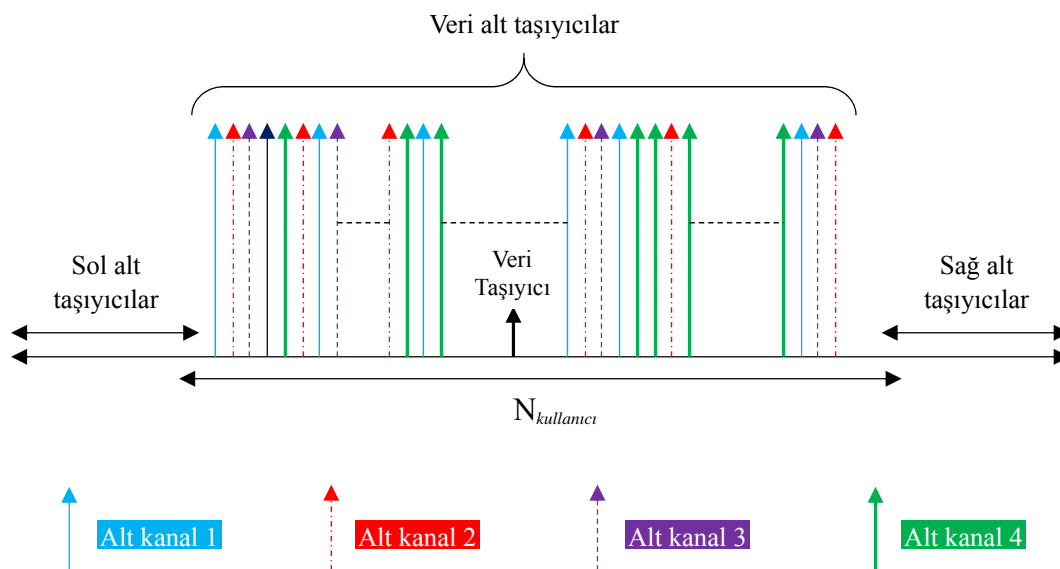
Şekil 3.13. Zaman ve frekans dağılımında tek taşıyıcı ve OFDM

### 3.8. OFDMA (Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)

OFDM iletiminin temelde tek bir işaret taşımak için tasarlanmış olmasından dolayı TDMA veya FDMA gibi bir çoklu erişim şemasının OFDM ile birlikte kullanılması gereklidir. Böylece bir OFDM işareti çok sayıda kullanıcı işaretinden oluşarak, OFDMA çoklu erişimini meydana getirir. Şekil 3.14’de görüldüğü gibi OFDMA da alt taşıyıcılar, alt taşıyıcılardan oluşan alt kümelere bölünürler ve her alt küme bir alt kanalı temsil eder. Yukarı yönde, bir verici bir veya daha fazla alt kanalı tahsis edebilir ve aşağı yönde, bir alt kanal farklı alıcılar veya alıcı gruplarına tahsis edilmiş olabilir [11].

OFDMA 2048 ya da 4096 noktalı FFT kullanır ve bunlar alt kanallara bölünür. Her kanalda QPSK (Quadrature Phase Shift Keying - Dördün Faz Kaydırmalı Anahtarlama) ve QAM (Quadrature Amplitude Modulation - Dördün Genlik Modülasyonu) gibi farklı modülasyon yöntemleri kullanılabilir. Aşağı yön MAP (Media Access Protocol – Ortam Erişim Protokolü) ile alt kanallara bölümlenir.

OFDM ile OFDMA arasındaki en temel fark OFDM belli bir zamanda kanalda yalnızca tek bir kullanıcının erişimine izin verirken, OFDMA aynı kanalda çoklu erişime izin verir.



Şekil 3.14. OFDMA prensibi

OFDMA'nın çoklu erişim özelliğinin yanında diğer bir önemli özelliği de OFDM aktarmanın ölçeklenebilir olmasıdır.

Ölçeklenebilirlik, FFT boyutunun değişmesi neticesinde alt taşıyıcıların sayısının değişmesi demektir. OFDMA'da 2048, 1024, 512 ve 128 desteklenen FFT boyutlarıdır. 256 FFT boyutu OFDMA katmanına dahil değildir [16-17]. IEEE 802.16e-2005 standardının dayandığı kavram ölçeklenebilir OFDMA'dır. Mobil WiMAX standardında 1024 ve 512 FFT boyutları zorunludur [18].

### 3.9. Sayısal Modülasyon

Sayısal modülasyon yönteminin; gürültü direnci, yüksek performanslı sayısal iletişim gibi faydaları bulunmaktadır. Bu nedenle WiMAX'de diğer birçok iletişim sistemi gibi sayısal modülasyon yöntemini kullanmaktadır.

IEEE 802.16 standardında QPSK, 16-QAM ve 64-QAM olmak üzere üç farklı modülasyon türü desteklenmektedir [6].

Kanal verimi yüksek seviyede ise mümkün olan en yüksek hızda veri iletimini tercih ederken, kanal verimi düşük seviyede ise veri kaybını önlemek için daha düşük hızlarda veri iletilir.

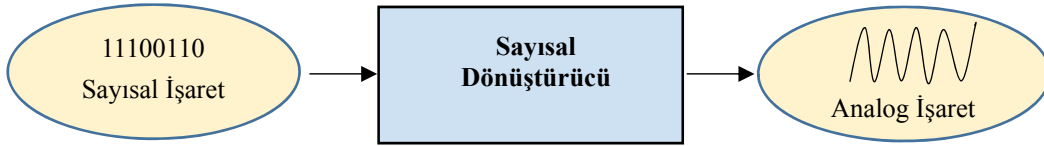
Düşük veri hızları Dördün Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) gibi küçük işaret kümeleri ile  $\frac{1}{2}$  katlamalı (convolutional) ya da turbo kod gibi düşük hata düzeltme oranları kullanarak elde edilir [19].

Yüksek veri hızları ise Dördün Genlik Modülasyonunun (QAM) 64-QAM boyutu gibi geniş işaret kümeleri ile  $\frac{3}{4}$  katlamalı ya da turbo kod gibi daha az güçlü hata düzeltme kodları kullanarak elde edilir. Baz istasyonuna yaklaştıkça kanal kalitesi artar ve hata oranı düşer. Bu durumda yüksek veri hızı için gerekli modülasyon seçilir ve hata düzeltme oranı olarak daha düşük bir oran seçilir [20].



QPSK; girişteki bitlerin ikişerli gruplar halinde alındığı, her bit grubunun da doksana derece ( $0, \pi/2, \pi$  veya  $3\pi/2$ ) faz farkı olan taşıyıcı sinüs dalgasıyla temsil edildiği anahtarlama yöntemidir [19].

QAM; birini kosinüs biçimli, diğerini sinüs biçimli taşıyıcılara bindirerek aynı bandın iki kez kullanılmasını sağlayan analog veya sayısal anahtarlama yöntemidir. Sırasıyla 16 ve 64 boyutlu işaret uzayı kullanan 16-QAM ve 64-QAM yöntemleri yaygın olarak kullanılan sayısal modülasyon yöntemleridir [6]. Sayısal işaretin analog işarete dönüştürülmesi işlemi blok diyagramı Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15. Sayısal modülasyon yöntemi

## BÖLÜM 4. HİZMET KALİTESİ

WiMAX ve diğer genişbant sistemlerde sistemin başarımını belirleyen önemli bir noktada hizmet kalitesi desteğidir (Quality of Service – QoS).

Hizmet kalitesi, ses ve video gibi yüksek kapasiteli verilerin alıcılara ne kadar başarılı ulaştırıldığını belirleyen bir ölçüttür. İyi bir hizmet kalitesinin değerine zarar veren temel faktörler; gecikme, gecikme değişimi (jitter) ve paket kaybıdır.

Gecikme noktadan noktaya ölçülmesi gereken bir değerdir. Örneğin bir video işareti iletiminde taşınan video çerçeveleri arasındaki gecikme 100 ms ya da üzerinde olursa görüntüde kopmalar meydana gelir ve bunun bir canlı yayın olduğu düşünülürse yayının kalitesi ciddi oranda düşmüş olur. WiMAX sistemi tercih edildiğinde diğer kablolu sistemlere nazaran hava arayüzünde abone ve baz istasyonu arasında gecikmelerin büyük bir kısmı görülmez.

IEEE 802.16 standardı kullanıcılar arasında bant genişliği paylaşımı için güçlü araçlar sunmaktadır, bu sayede bant genişliği paylaşımı kolaylaşmaktadır. İletişimin kalitesi için her kullanıcıya tahsis edilen bir hizmet planlaması vardır ve bu planlamaya QoS denmektedir. Bu parametreyi temel alarak, baz istasyonu algoritması her uygulamaya gerekli olan bant genişliği miktarını tahsis etmektedir. İletişimin başlatılması ve sürdürülebilir olması için mutlaka her kullanıcıya bir hizmet sınıfı atamasının yapılması gerekir. Bu yapı sayesinde mevcut kaynaklar etkili ve dengeli bir şekilde dağıtılır, video uygulaması, ses aktarımı gibi gerçek zamanlı (real-time) uygulamalar ile karşılaşıldığında gerçek zamanlı uygulamaya bant genişliği tahsis etmek öncelik taşıyacaktır.

#### 4.1. WiMAX Hizmet Sınıfları

WiMAX ağlarda kullanılan hizmet sınıfları aşağıda sıralanmaktadır [6].

802.16-2004'te dört hizmet sınıfı yer alır:

- Talep Edilmeden Verilen Hizmet (Unsolicited Grant Service, UGS)
- Gerçek Zamanlı Sorgulama Hizmeti (Real-Time Polling Service, rtPS)
- Gerçek Zamanlı Olmayan Sorgulama Hizmeti (Non-Real-Time Polling Service, nrtPS)
- En İyi Çaba (Best Effort, BE)

802.16e'ye eklenen 5. zamanlama hizmet modeli:

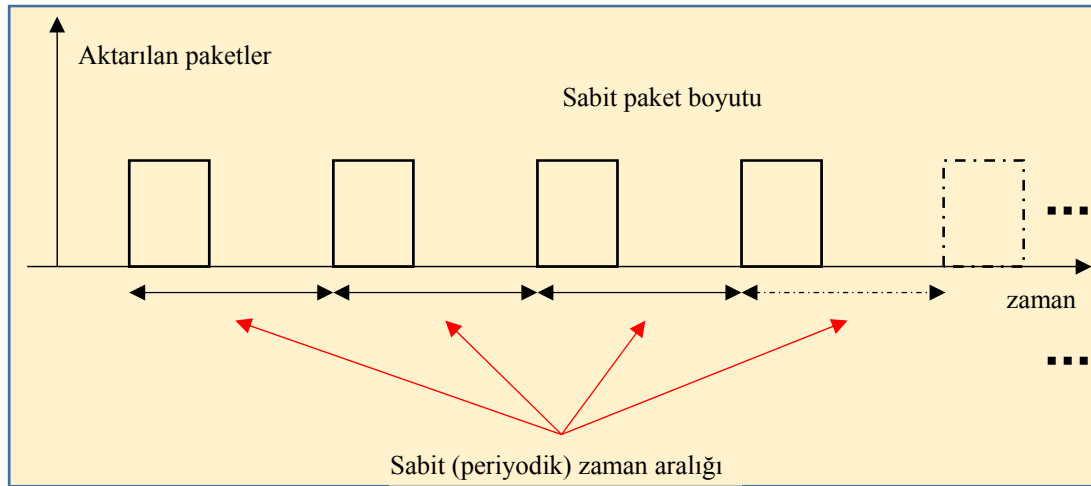
- Genişletilmiş Gerçek Zamanlı Sorgulama Hizmeti (Extended Real-Time Polling Service, ertPS)

Tablo 4.1. QoS sınıfları ve özellikleri [6]

Hizmet Sınıfı	Uygulama	QoS Özellikleri
Unsolicited Grant Service (UGS)	VoIP	Jitter toleransı Maksimum gecikme toleransı Maksimum sürekli hız
real-time Polling Service (rtPS)	Streaming Audio/Video	Trafik önceliği Maksimum gecikme toleransı Maksimum rezerve oranı Maksimum sürekli hız
non-real-time Polling Service (nrtPS)	FTP	Trafik önceliği Maksimum rezerve oranı Maksimum sürekli hız
Best Effort (BE)	Data transfer, web browsing	Trafik önceliği Maksimum sürekli hız
Extended real-time Polling Service (ertPS)	VoIP (Aktivite algılama ile VoIP)	Trafik önceliği Jitter toleransı Maksimum gecikme toleransı Maksimum rezerve oranı Maksimum sürekli hız

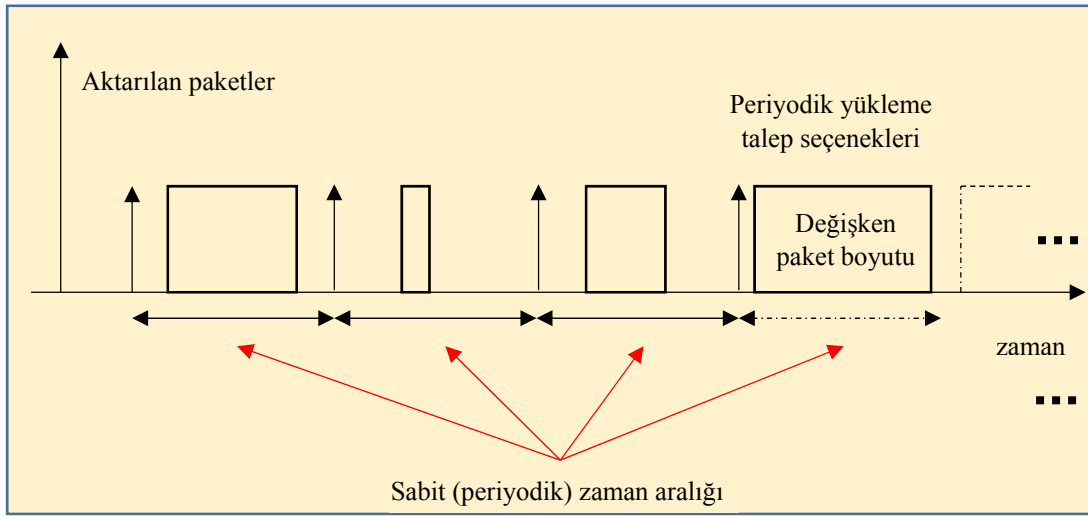
#### 4.1.1. Talep edilmeden verilen hizmet (UGS)

Bu hizmet modeli VoIP gibi işaretlerin iletiminde, periyodik olarak sabit boyutlu ve gerçek zamanlı veri paketleri oluşturmak için kullanılır. Kullanıcı ile baz istasyonu arasında sabit bant genişliği ile başlangıçta bağlantı bir kez sağlanır ve haberleşmenin devamında kullanıcıdan başka herhangi bir isteğe gerek duyulmaz. Bağlantı mümkün olan en yüksek veri hızı ile sağlanır ve paketin düşeceği en fazla gecikme süresinin oluşması engellenir. Hizmet kullanıcı ve baz istasyonu arasında isteklerden doğacak gecikmeleri ve yükü ortadan kaldırır ve akışın gerçek zamanlı ihtiyaçları karşılamak için kullanılabilir olmasını sağlar [11]. Şekil 4.1’de UGS yapısı görülmektedir.



Şekil 4.1. UGS yapısı

#### 4.1.2. Gerçek zamanlı sorgulama hizmeti (rtPS)

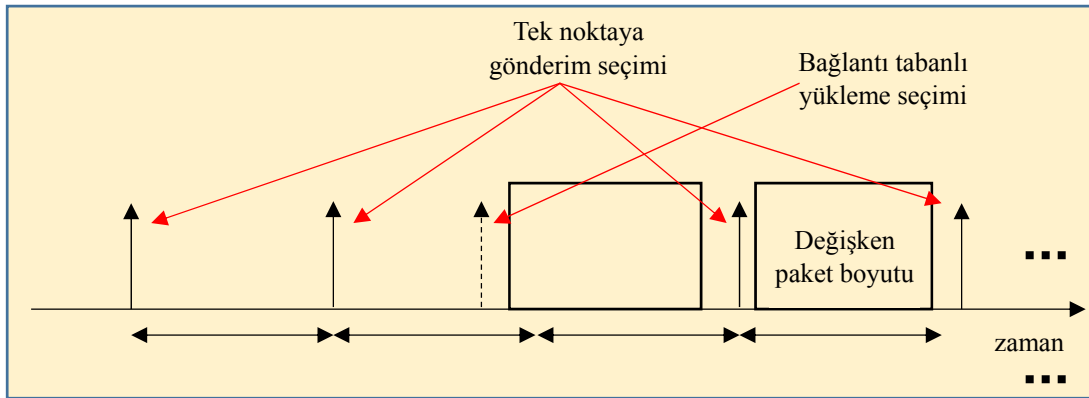


Şekil 4.2. rtPS yapısı

Bu hizmet modeli video akışı gibi gerçek zamanlı ve periyodik olarak değişken boyutlu veri paketleri içeren hizmetlerin akışını sağlamak için geliştirilmiştir. Bu model aynı zamanda değişken veri hızlarını da desteklemektedir. Baz istasyonu her aboneye ihtiyaç duyacağı bant genişliğini periyodik olarak sormalıdır. Abone istasyonuna istenilen devir boyutunu belirleme olanağı sağlar. rtPS hizmet modelinde veri hızı her bağlantıda haberleşmenin gerçekleşebileceği en düşük hız ile paket üretilme sıklığına bağlı olarak en fazla trafik hızını tanımlayacak şekilde uç değerlerde tanımlanır ve veri hızının bu aralıkta olması istenir. Bu hizmet modeli, UGS hizmet modeline göre daha fazla istek masrafı gerektirir [11]. Şekil 4.2’de rtPS yapısı görülmektedir.

#### 4.1.3. Gerçek zamanlı olmayan sorgulama hizmeti (nrtPS)

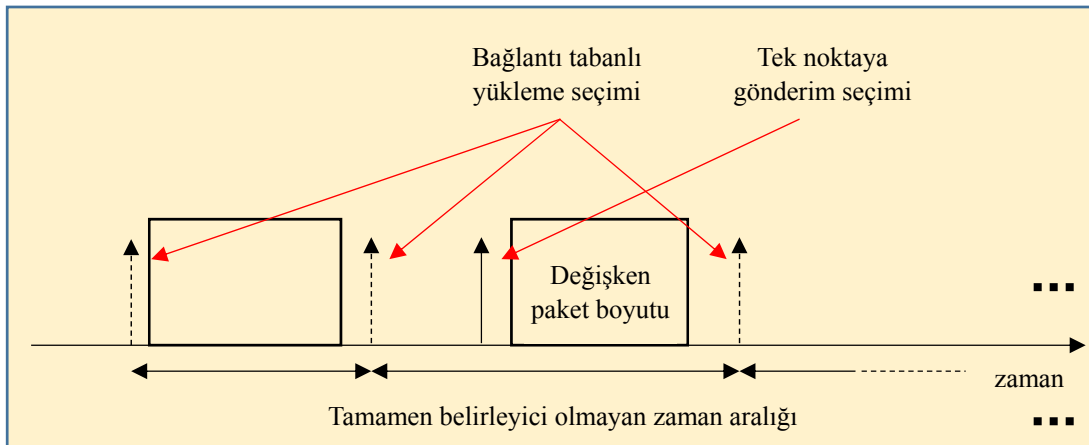
Gerçek zamanlı olmayan, değişken devir boyutlu veri paketleri içeren (periyodik olmayan) hizmet akışı için geliştirilmiştir. Örneğin FTP (File Transfer Protokol - Dosya İletim Protokolü) iletimi için uygundur. Asgari olarak haberleşme en düşük veri hızında ya da imkan varsa daha yüksek bir hızda sağlanır. Gecikme olmayacağı garantisini vermez ki buna ihtiyaçta yoktur [11]. Şekil 4.3’de nrtPS yapısı verilmektedir.



Şekil 4.3. nrtPS yapısı

#### 4.1.4. En iyi çaba (BE)

Hiçbir şekilde gecikme yada başarım türünden hizmet garantisi gerektirmeyen ve bu yüzden elde edilen en iyi kaynak üzerinden veri akışının yürütülmesini sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. BE yapısında, abonelere istek yoklama zorunluluğu yoktur. Bu yüzden bu model uzun süre hiç bir BE paket iletimi olmadan çalışabilir. Diğer sınıf türlerinden artan bant olursa bu sınıftaki abonelere tahsis edilir. Veri iletim hızı, haberleşmeyi sağlayacak en düşük hız ile mümkün olan en yüksek hız tanımlanarak bu ikisinin arasında olması sağlanır [11]. Şekil 4.4’de BE yapısı görülmektedir.

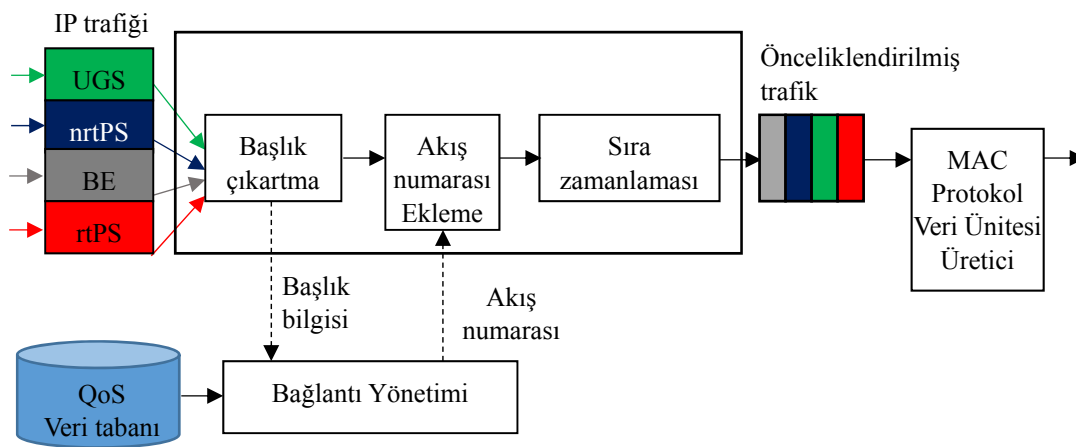


Şekil 4.4. BE yapısı

#### 4.1.5. Genişletilmiş gerçek zamanlı sorgulama hizmeti (ertPS)

802.16e standardı ile eklenen bu model UGS ve rtPS temeline dayalı bir hizmet modelidir. Baz istasyonu, istekleri UGS gibi talep edilmemiş biçimde sağlamakta ve böylece bant genişliği talep gecikmesinden korunmaktadır. Ancak UGS dağıtım boyutları sabitken ertPS dağıtım boyutları dinamikdir. Bu model VoIP gibi siteler için sessizlik engelleyicisi ile bir arada tasarlanmıştır. Bant ataması sessizlik durumunda ihtiyaç olmayacağı için yapılmaz, aktif durumda iken en yüksek sürekli veri hızı atanır [11].

WiMAX sistemi iyi hizmet kalitesini garanti eden bazı mekanizmalar sunmaktadır. Bunlardan başlıcaları; çoğalan mesafede sabit işaret gücünü garanti eden kodlama ve modülasyon teknikleridir (QPSK/16-QAM/64-QAM). Bir diğer mekanizma ise dinamik bant genişliğidir (DBA). Bu mekanizma ağı gözlemler ve baz istasyonu zarar gören akışı düzeltmek için daha fazla bant genişliği ve güç tahsis eder. Baz istasyonu farklı hizmetlerden oluşan veri içeriğini (ses ve video gibi) alır ve trafik çeşitlerine uygun hizmet türüne göre sınıflara ayırır. QoS ihtiyaçlarına ve önceliklere göre bu trafik sınıflandırıcı gelen trafiği bir sıralamaya tabi tutma yeteneğine sahiptir. WiMAX MAC katmanı protokolü dinamik yapıdadır ve ekle/değiştir/sil fonksiyonlarını içerir. Şekil 4.5’de MAC katmanı sınıflandırıcı uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.5. MAC katmanı QoS desteği

## **BÖLÜM 5. WiMAX KABLOSUZ AĞLARINDA ÇOKLU ORTAM YAPISI**

WiMAX kablosuz ağlarında veri, ses ve video işareti gibi çoklu ortam trafiklerinin iletiminde farklı mekanizmalar kullanılmaktadır. Kablosuz haberleşmede işaretlerin yapısı gereği; görüntü aktarımı, ses veya veri aktarımı tüm ağlarda aynı başarıyı vermez. Örneğin bir görüntü aktarımı için yüksek bant genişliğine ihtiyaç duyulur ya da gerçek zamanlı bir görüntü ağın yapısından ve kullanılan süreçlerden etkilenir. Özellikle görüntü ve ses gibi zamana duyarlı uygulamalar için iletişim kanalının yeterince yüksek bant genişliğine sahip olması ve devamlı kullanılabilir olması aktarımın en iyi şekilde çalışması için çok önemlidir. Hizmet kalitesi, farklı ağ yapıları için kaliteyi değerlendirmede kullanılır ve ağın yeteneği için önemli bir ölçüttür. QoS desteği eğer yeterince iyi ise ağdaki küçük bir gecikme ya da tıkanıklıkta bant genişliğinin devamlılığını garanti eder. Kablosuz teknolojilerin; QoS desteği anlamında yüksek hata oranlarını önleme, bağlantı sürekliliğini sağlama, bant genişliği ihtiyaçlarına cevap verme gibi önemli kıstasları aşması gerekmektedir.

Kablosuz ağlar üzerinden desteklenebilen veri, ses ve video trafiklerinin karakteristikleri birbirinden farklıdır. Veri iletiminde hücre gecikmeleri çok elzem olmadığından bit hızı da ikinci planda olabilir. Ses ve video iletimi gibi gerçek zamanlı uygulamalarda ise gecikme, gecikme değişimi, sürdürülebilir veri iletim hızı büyük önem arz etmektedir.

Ses, video, metin gibi farklı karakteristiklere sahip bilgilerin birleşimi çoklu ortam olarak adlandırılmaktadır. Bu farklı tiplerin bir arada iletildiği bir ortam doğal olarak normalden daha fazla işlev yürütecek ve bu durum gecikme ve veri kayıplarının oluşmasına neden olacaktır ya da sistem bu olumsuzlukların yaşanmaması için çok daha fazla çaba gösterecektir. Çoklu ortam trafikleri gerçek zamanlı (sürekli ortam) ve gerçek zamanlı olmayan (ayrık ortam) trafikler olarak iki kategoride ele alınır.



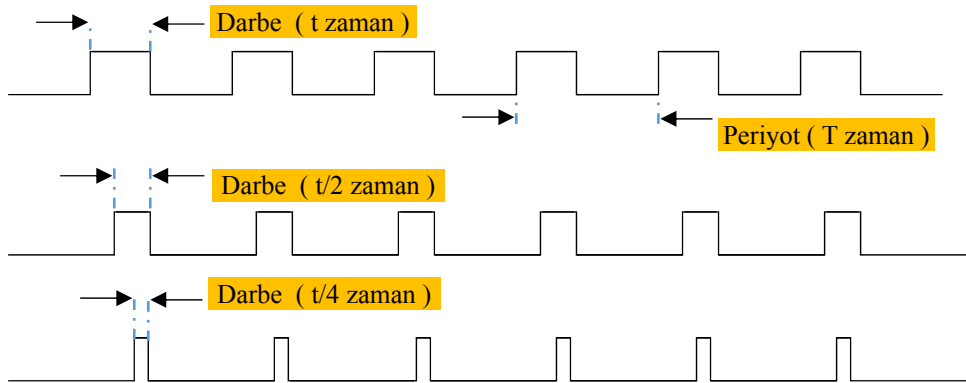
Gerçek zamanlı trafikler ses, video, animasyon gibi zamana bağlı olan verilerden oluşur ve belli bir zaman aralığında işlenmesi gereken verilerdir. Gerçek zamanlı olmayan trafikler ise zamana bağlılık göstermeyen trafiklerdir, işlenmesi veya depolanması için sabit bir zaman aralığı gerekmemektedir. Geometrik çizimler, metin, grafik gibi trafik türleri zamana bağlı olmayan trafik türlerine örnektir.

Kablosuz ortamlarda çoklu ortam trafiklerini gerçekleştirirken hizmet kalitesi, enerjinin en verimli şekilde kullanımı, hareketlilik gibi etkenleri göz önünde bulundurmak iletişimin sağlıklı devam edebilmesi için önemlidir.

## 5.1. Çoklu Ortam Trafik Modelleri

### 5.1.1. Veri trafiği yapısı

Veri trafiği zamandan bağımsızdır, herhangi bir zaman diliminde hedefe ulaşabilir. Örneğin bir FTP iletiminde veri paketleri değişken boyutludur dolayısıyla periyodik değildir herhangi bir sürede hedefe ulaşabilir. Tabi burada iletilen bilginin büyüklüğü ve periyot zamanı iletimde geçen süreyi etkiler. Örneğin bu tez çalışmasında benzetimi yapılan hastane yerleşkesinde hareketli birimlerin herhangi birinden merkeze küçük bir mesaj metni de iletilebilir ya da aynı anda birkaç hareketli birimden, merkeze nakli yapılan hastalara yapılan müdahalelere ilişkin anlık veriler de yoğun bir şekilde aktarılabilir. Şekil 5.1’de darbe (pulse) süresine göre veri işareti görülmektedir.



Şekil 5.1. Darbe süresine göre veri işareti

### 5.1.2. Ses trafiği yapısı

Ses işareti gerçek zamanlı bir uygulamadır dolayısıyla bu tür bir iletimde sürekli ve gecikme duyarlılığı önemlidir. Sesi oluşturan konuşma ve dinleme periyotlarıdır. Hücre üretiminin gerçekleşmesi sadece konuşma aşamasındadır. Dinleme kısmı sessizlik durumudur ve bu aşamada hücre üretimi söz konusu değildir [21].

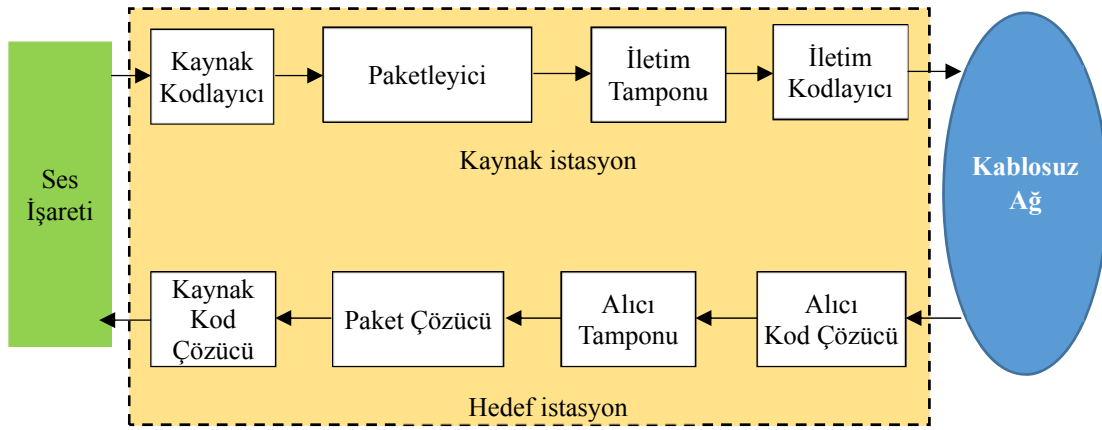
WiMAX ağlarda Bölüm 4’de bahsedildiği gibi iletilen veri türüne uygun hizmet kalitesi desteği verilmektedir. Ses iletimi için ertPS hizmet modelinin kullanılması iletimin başarımını olumlu yönde etkilemektedir. Bu hizmet modelinde baz istasyonu, istekleri talep edilmemiş biçimde sağlamakta ve bu sayede bant genişliği talep gecikmesinden korunmaktadır.

Ağ ortamında sesin iletilmesi için sayısal hale dönüştürülmesi gerekir. Sesin sayısal hale dönüştürülmesi işlemi sürekli haldeki ses dalgalarının birim zamanda alınan ses örnekleri halinde bölünmesi ve her bir ses örneğinin sayısal veri olarak kaydedilmesi işlemidir. Burada birim zamanda alınan ses rneği sayısı örnekleme hızı olarak adlandırılır. Örnekleme hızı ne kadar yüksek olursa sesin içerdiği detay bilgileri ve kalitesi o oranda yüksek olur. Sesin kalitesinin artmasında örnekleme hızının yanında bit derinliği de önemlidir. Bit derinliği düşük olduğu takdirde örnekleme hızı ne kadar yüksek olsa da sesin kalitesi yeterli düzeyde olmayacaktır.

Sayısal ses formatlarının başlangıç darbe kod modülasyonuna (Pulse-code Modulation, PCM) dayanır, örnekleme hızı ve bit derinliğine dayalı bu format sayısal ses formatlarının temelini oluşturur [22]. PCM formatında ses işareti sıkıştırma işlemine tabi tutulmaz, bu format ses işaretini olduğu gibi sayısal hale dönüştürme mantığında çalışır. Sıkıştırma yapılmadığı için ses işaretinde hiçbir kayıp yaşanmaz ancak ses işareti bellek üzerinde fazla yer kaplar.

PCM dışında WAV (Waveform Audio File Format – Ses Dalgası Dosya Biçimi) ve AIFF (Audio Interchange File Format – Ses Değişimi Dosya Biçimi) formatları da sıkıştırmaz sayısal ses formatlarıdır. Küçük farklar dışında PCM mantığına yakın bir mantıkla çalışmaktadırlar [22]. MP3 (MPEG-1 Audio Layer III – Hareketli

Görüntü Uzmanları Grubu Ses Katmanı 3), AAC (Advanced Audio Coding – Gelişmiş Ses Kodlama), WMA (Windows Media Audio – Windows Ortam Sesi) gibi sayısal ses formatları ise sıkıştırılmış ses formatlarıdır. Günlük hayatta kullandığımız ses formatları genelde sıkıştırılmış ses formatlarıdır bu nedenle ses kayıpları söz konusudur ancak bellek üzerinde daha az yer kaplamaları önemli avantajlarıdır. Şekil 5.2’de ses işareti iletimi blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 5.2. Ses işareti iletimi blok diyagramı

### 5.1.3. Video trafiği yapısı

WiMAX kablosuz ağ sisteminde video iletimi için rtPS hizmet modeli seçimi sistemin başarımını artırmaktadır. Bu hizmet modeli video işaretinin karakteristiğine uygun olacak şekilde gerçek zamanlı uygulamalar için geliştirilmiş ve değişken boyutlu veri paketlerinin akışını sağlayabilecek özelliktedir. Ayrıca video iletiminde ki değişken veri hızlarını da desteklemektedir.

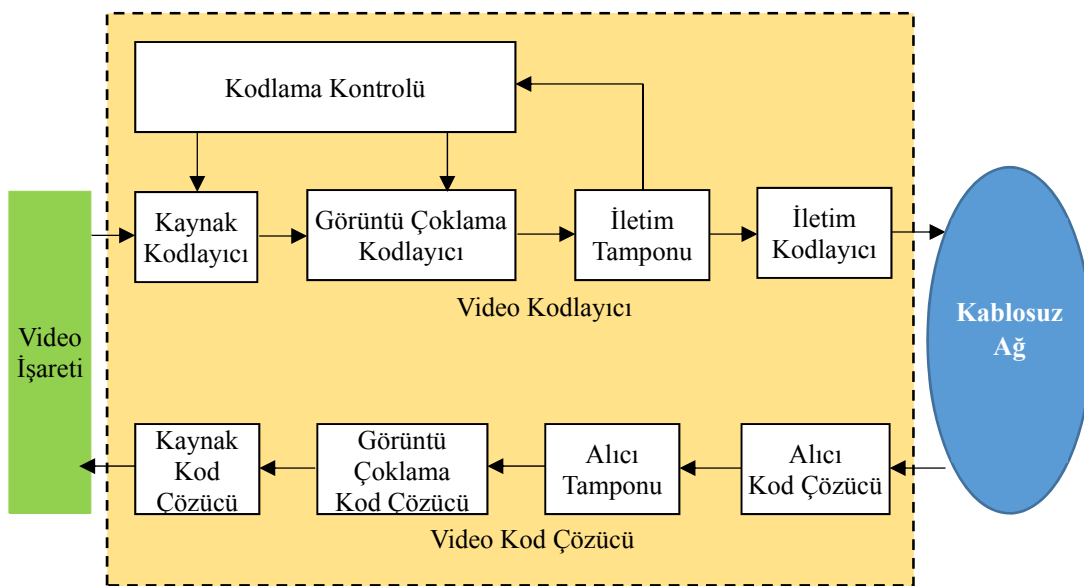
Kablosuz ağ üzerinden video iletimini gerçekleştirebilmek için ölçeklendirme, sıkıştırma (kodlama) ve gerçek zamanlı yayın (streaming) gibi adımları gerçekleştirmek gereklidir.

Ölçeklendirmede video daha küçük pencere boyutlarına indirgenir, bu durum özellikle düşük bant genişliği olan ağlarda önemlidir. Bir görüntü işaretinde çerçeve oranı, renk derinliği ve çerçeve çözünürlüğü ölçeklendirilir [23].

Gerçek zamanlı yayın, ağ üzerinden veri paketlerinin gönderilmesinde kullanılır. Görüntünün başarılı bir şekilde izlenebilmesi ve ağın performansı açısından, görüntüyü herkese aynı anda göndermek gereklidir.

Sıkıştırma, tüm ağlar için yapılması gereken bir adımdır çünkü sıkıştırılmamış videoların ağda iletimi zordur ve yüksek bant genişliği ihtiyacı gerekir. Kodlama için farklı yöntemler mevcuttur; bunlardan bazıları H.261, JPEG (Joint Photographic Experts Group - Birleşik Fotoğraf Uzmanları Grubu) ve MPEG (Moving Picture Experts Group - Hareketli Görüntü Uzmanları Grubu) olarak sayılabilir. MPEG yöntemi, Moving Pictures Experts Group tarafından geliştirilmiş yaygın olarak kullanılan bir sıkıştırma standardıdır. MPEG1, MPEG2, MPEG4 olarak bilinen standartları tanımlanmıştır.

Kodlanmış video verisinin kullanıcıya sunulabilmesi için kodunun çözülmesi ve noktacık değerlerini içeren iki boyutlu dizilere dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm sonucunda yine de dönüşümü tamamlanan çerçeveler hazır olmayabilir, diğer bir deyişle anlamlı olmayabilir, görüntünün anlamlı olabilmesi için çerçevelerin tümünün dönüşümünün tamamlanması ve bu sayede birbirlerinden ihtiyaç duydukları bilgileri alabilmeleri gereklidir [23]. Şekil 5.3'de video işareti iletimi blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 5.3. Video işareti iletimi blok diyagramı

## **BÖLÜM 6. WiMAX HABERLEŞME SİSTEMİ BENZETİMİ**

Bu bölümde WiMAX kablosuz ağ sistemi tarafından desteklenebilen çoklu ortam uygulamalarının karakteristiklerini incelemek için OPNET Modeler 14.0 benzetim programı kullanılarak bir hastane yerleşkesinin haberleşme sistemi benzetimi gerçekleştirilmiştir.

### **6.1. OPNET Modeler Benzetim Programı**

OPNET benzetim programı, haberleşme ağlarının modellenmesi için geliştirilmiş bir benzetim programıdır. Nesne tabanlı özellikleri ve sağladığı geniş uygulama desteğinden dolayı bu çalışmada tercih edilmiştir.

OPNET hiyerarşik modelleme katmanlarından oluşur ve modellenen sistemlerin davranış ve başarımlarını analizleri benzetim yöntemi ile gerçekleştirilir [24]. OPNET programı çok sayıda ağ protokollerinin ve önde gelen ağ firmalarının ürünlerinin modellerini içeren geniş bir kütüphaneye sahiptir. OPNET'in düzenleyiciler yardımı ile yeni protokol ve ürünler için modellemeler yapılabilmesine imkan vermesi ve bu modellerin kütüphaneye dahil edilebilmesi önemli üstünlüklerindedir [24].

OPNET benzetim programı ağ, düğüm ve süreç şeklinde üç seviyeden oluşur. Bu seviyeler görsel düzenleyiciler yardımıyla geliştirilebilmektedir. Her seviyenin düzenleyicisi ayrıdır. Program içerisinde, benzetim parametrelerinin düzenlenmesi ve istatistiklerin grafiksel olarak alınabilmesi için araçlar yer almaktadır [25]. OPNET ile benzetim, birbiri ile ilişkili ya da ayrık senaryolardan oluşabilir ve program senaryolardan elde edilen sonuçları bir arada görebilme, analiz etme imkanı vermektedir [26].

## 6.2. Sistemin Benzetimi

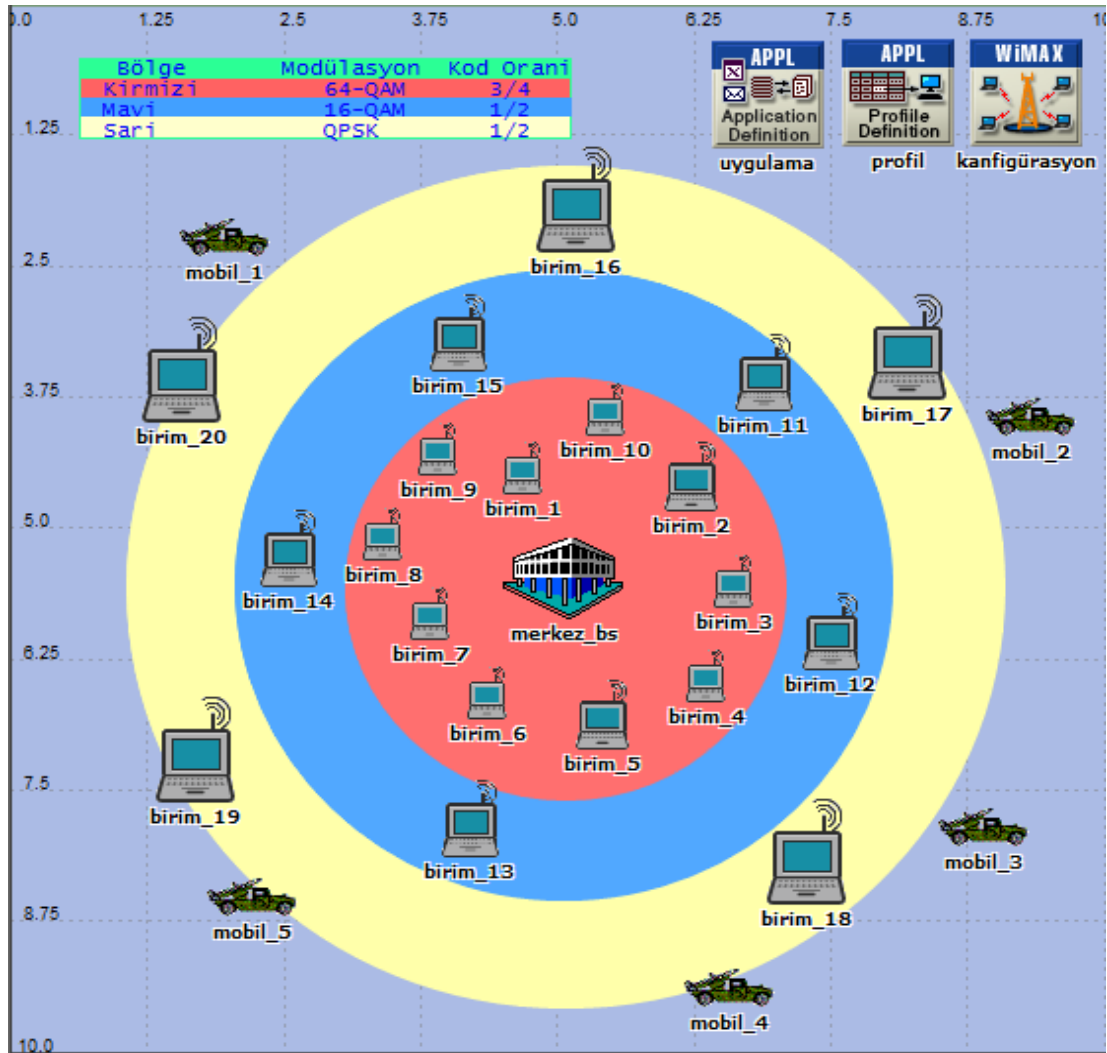
Benzetim için geliştirilen modelde sabit ve mobil uygulamalar ile iletişim kurulacağı için IEEE 802.16e standardı tercih edilmiştir. Modelde merkez binada bir WiMAX baz istasyonu yer almaktadır ve bu haliyle model tek noktadan çoklu noktaya ağ yapısı şeklindedir. Yerleşkede diğer birimler (sabit istasyonlar) 5 km yarıçapında bir alana yayılmıştır. Merkeze ambulanslardan da (mobil istasyonlar) bağlantı söz konusudur ve ambulanslar en fazla merkezden 10 km uzaklıktaki mesafelere kadar hizmet vermektedir. Ağ yapısı bu durumda 10 km yarıçaplı bir alanı kapsamaktadır. Ortamda toplam 20 adet sabit birim ve 5 adet hareketli birim olduğu kabul edilmektedir.

Bu modelde WiMAX 802.16e standardının sabit ve mobil iletişim özelliklerinin her biri için uygun olan 5 GHz frekans bandı kullanılmaktadır, sistemin bütün birimlerine yüksek hızda bağlantı imkanı sağlaması (10-15 Mbit/s arası) beklenmektedir, ancak ambulansların hareketli oluşu ve NLOS yapıda olmalarının performansı düşürmesi olasıdır. Eğer sistemde hareketli istasyonlar olmasaydı ve bütün istasyonlar LOS yapıda olacak şekilde kurgulansaydı o zaman daha yüksek bir frekans bandı seçimi ile çok daha yüksek hızlarda bağlantı imkanı oluşabilirdi.

Benzetimin ilk bölümünde ağın hizmet kalitesi desteği incelenmektedir. Bunun için 4.bölümde anlatılan QoS sınıflarının video işareti iletimi sırasındaki başarımı grafiksel olarak verilmektedir. İkinci bölümde merkez binaya uzaklıklarına göre sabit birimlerin sabit ses yükü trafiğinin iletimindeki başarımı gözlemlenmektedir. Benzetimin üçüncü bölümünde gerçek zamanlı video trafik yükünün artan oranları ile kablosuz ortamda sabit birimler arasında iletimi incelenmekte, dördüncü bölümde ise sabit birimler üzerinden ses trafiği artan oranlarda gerçekleştirilirken hareket halindeki ambulanslar üzerinden sabit bir değerde video trafiği gerçekleştirilmekte ve farklı yüklerin aynı ortamda eş zamanlı iletiminde birbirleri üzerine olan etkileri incelenmektedir.

Benzetim için gerçekleştirilen modeller sırasıyla aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Video işareti iletiminde hizmet modeli seçimi benzetimi.
- Merkez binaya olan mesafeye göre sabit ses trafik yükü iletimi benzetimi.
- Artan video trafik yükleri altında video iletimi benzetimi.
- Artan ses trafik yükleri altında eş zamanlı ses ve video iletimi benzetimi.



Şekil 6.1. Benzetim modeli

Tablo 6.1’de benzetim modelinde kullanılan parametreler verilmektedir.

Tablo 6.1. Benzetim modeli parametreleri

Parametre	Değer
Trafik tipi	Ses : GSM kalitesinde (GSM quality speech) Video : Yüksek çözünürlüklü video (High resolution video)
Modülasyon Tekniği	64-QAM (kırmızı bölge), 16-QAM (mavi bölge), QPSK (sarı bölge)
Frekans Bandı	5 GHz
Kanal Bant Genişliği	20 MHz
Güç (W)	Baz istasyonu: 0.5 Kullanıcı istasyonu: 0,5
Alış/Veriş Bit Hızı	20 Mbit/s
Kod oranı	3/4 (64-QAM), 1/2 (16-QAM), 1/2 (QPSK)
PHY Profil	OFDMA
Paket Boyutu	512 byte (aşağı ve yukarı)
Sembol periyodu	102,86 $\mu$ s
Çerçeve süresi	5 ms
Alt kanal sayısı	2048
Tampon boyutu	64 KB
Benzetim Süresi	60 dk

### 6.3. Video İşareti İletiminde Hizmet Modeli Seçimi Benzetim Sonuçları

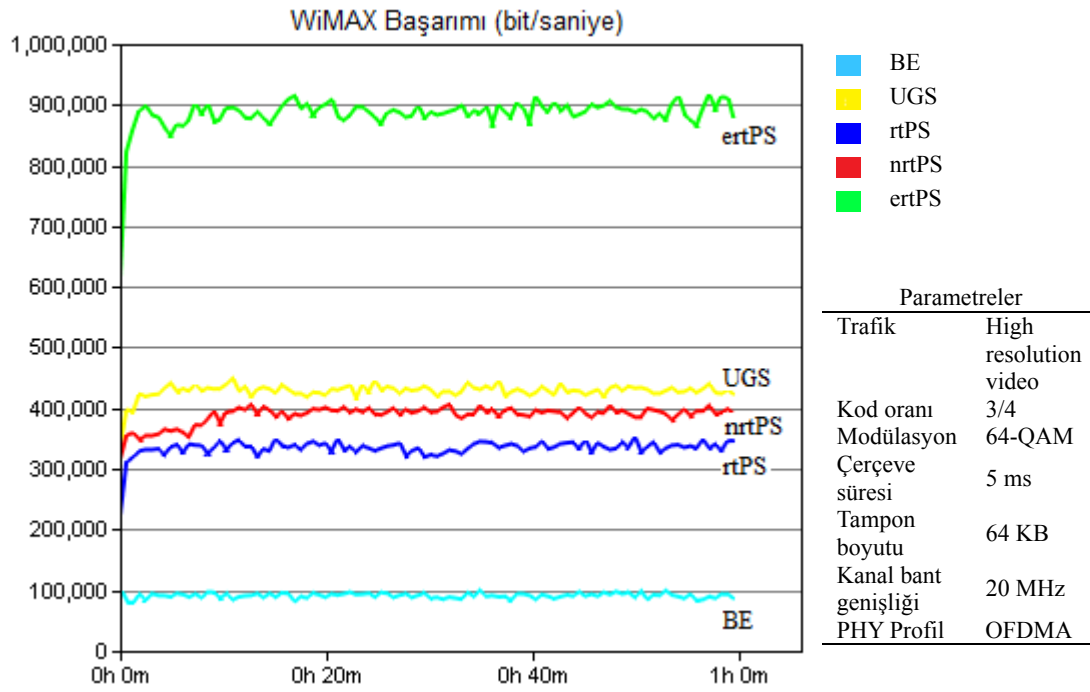
QoS desteği, Bölüm 4’te anlatıldığı gibi kablosuz teknolojinin yüksek kapasiteli veri türlerini ne kadar başarılı bir şekilde ulaştırıldığını belirleyen bir değerdir ve bu değere olumsuz etki eden başlıca faktörler, gecikme, jitter ve paket kaybıdır.

Ortamda varolan trafik türüne uygun hizmet modelinin seçimi sistemin uçtan uca ortalama gecikme ve azami gecikme değerlerine doğrudan etki etmekte dolayısıyla sistemin başarımının ölçülmesinde çok önemli bir kriter olmaktadır. Benzetimin bu bölümünde merkeze en yakın bölgede bulunan 10 sabit birim kendi aralarında video iletimi yapmaktadır. Video işareti sabit değerle tutularak gerçekleştirilen model ile video trafiği taşınması sırasında hizmet modeli seçiminin iş çıkarma oranı (throughput) başarımına etkisi görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi video işareti iletimi esnasında işaretin karakteristiğine uygun şekilde gerçek zamanlı, gecikme toleranslı ve değişken devir boyutunu destekleyen bir hizmet modeli seçimi başarımı olumlu yönde etkilemektedir.



Bu modelde en iyi başarımlar ertPS hizmet modeli kullanıldığında elde edilmiştir, başarımlar 900000 bit/s civarındadır. UGS, nrtPS ve rtPS modellerinde ise başarımlar birbirine yakın değerde elde edilmiştir. UGS modelinde başarımlar 420000 bit/s civarında, nrtPS modelinde 400000 bit/s civarında iken rtPS modelinde başarımlar 350000 bit/s civarındadır.

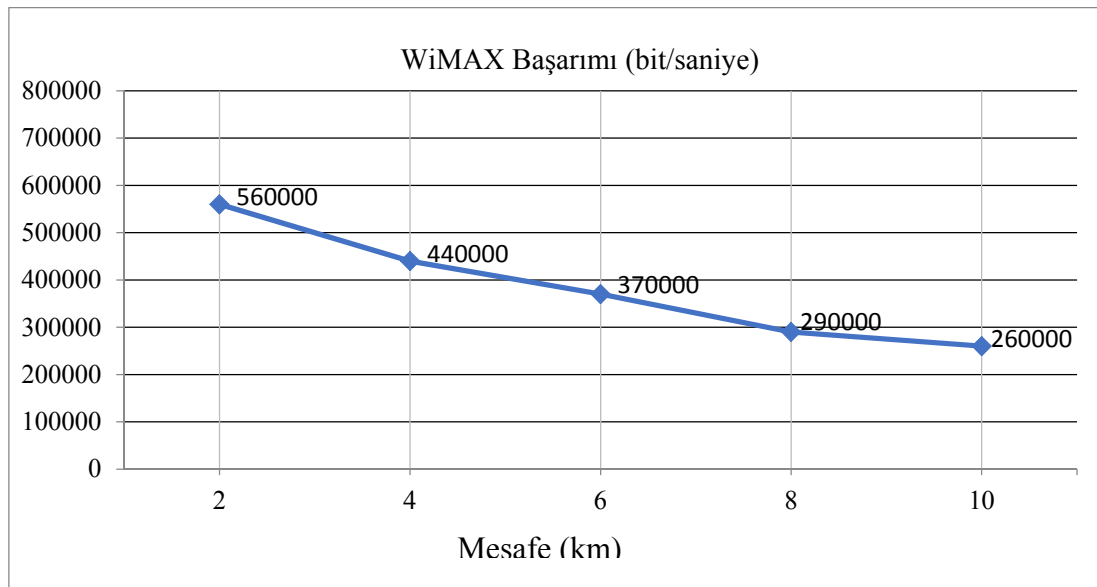
BE hizmet modeli gecikme ya da başarımlar türünden hiçbir şekilde hizmet garantisi vermediği ve haberleşme süresince herhangi bir istek yoklamasında bulunmadığı için başarımlarını en düşük seviyede kalmıştır, bu modeldeki başarımlar 100000 bit/s civarındadır.



Şekil 6.2. Video işareti iletiminde hizmet modeli seçiminin etkisi

#### 6.4. Mesafeye Göre Sabit Ses Trafik Yükü İletimi Benzetim Sonuçları

Benzetim modelinin bu bölümünde bütün sabit birimler arasında yalnızca ses trafiği gerçekleştirilmiştir. Teorik olarak merkez binada yer alan baz istasyonuna yakın birimler daha kaliteli bir kanalda iletişim yapacakları için iletim hızlarının yüksek, hata oranlarının düşük olması beklenmektedir. Merkezden uzaklaştıkça bu durumun tersi yönünde birimlerin iletim hızlarında düşüşler olması ve hata oranının artması beklenmektedir. Mesafeden kaynaklanan olumsuzlukları azaltmak için birimlerin buldukları bölgelere göre modülasyon seçimi yukarı ve aşağı yönde benzetim modeli parametrelerinde belirtildiği şekilde yapılmıştır (Bkz. Tablo 6.1). Modelin başarımlarını analiz ederken merkez binaya olan uzaklıklarına göre yaklaşık 2'şer kilometre aralıklarla konumlanan beş terminalin başarımları gözlemlenerek yapılmıştır. Şekil 6.3'de merkez binaya olan mesafeye göre sabit ses trafik yükü iletimi benzetim sonuçları görülmektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi merkez binaya en yakın mesafede olan 1 nolu birimin başarımları 560000 bit/s değeri ile en yüksek seviyede olmuştur, bu beklenen bir durumdur. Merkez binaya en uzak birimin başarımları ise 260000 bit/s değerindedir.

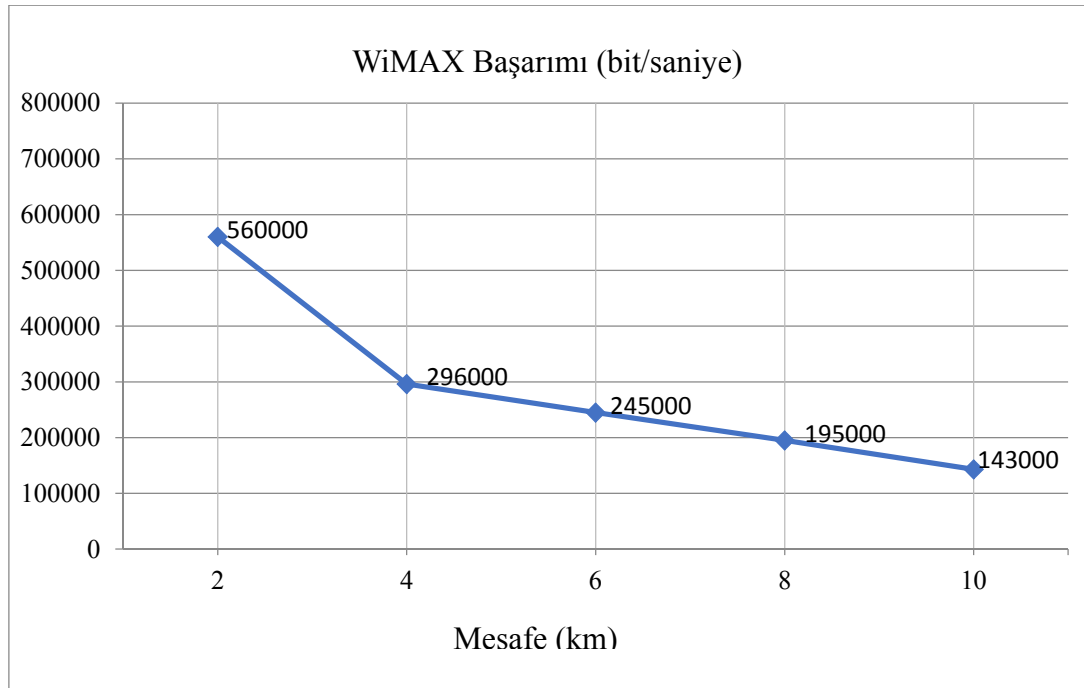


Şekil 6.3. Mesafeye göre sabit ses trafik yükü iletimi

Burada uygun modülasyon seçiminin başarıma etkisi azımsanmayacak derecededir, birimler arasındaki ortalama 2'şer kilometrelik mesafeden dolayı başarıyı etkileyecek olumsuzluklar bu sayede bir miktar bertaraf edilmektedir.

Bu modelde bütün sabit birimler için aynı modülasyon tekniği seçilmiş olsaydı referans alınan birimlerin başarıları Şekil 6.4'de görüldüğü gibi gözlemlenmektedir. (Modülasyon tekniği bütün birimler için 64-QAM ve kod oranı: 3/4 şeklindedir.)

Şekil 6.4'de görüldüğü gibi mesafeye göre uygun modülasyon tekniğinin seçilmemesi birimlerin başarılarını önemli ölçüde etkilemektedir. Burada merkeze en yakın birimin başarıları 560000 bit/s değerinde olup ilk durumdaki seviyesini korurken mesafe arttıkça birimlerin başarıları değerlerinde daha belirgin düşüşler gözlemlenmektedir. En uzak birimin başarıları ilk durumda 260000 bit/s değerindeyken, burada 143000 bit/s değerindedir.



Şekil 6.4. Modülasyon seçimi: 64-QAM, Kod oranı: 3/4 için sonuçlar

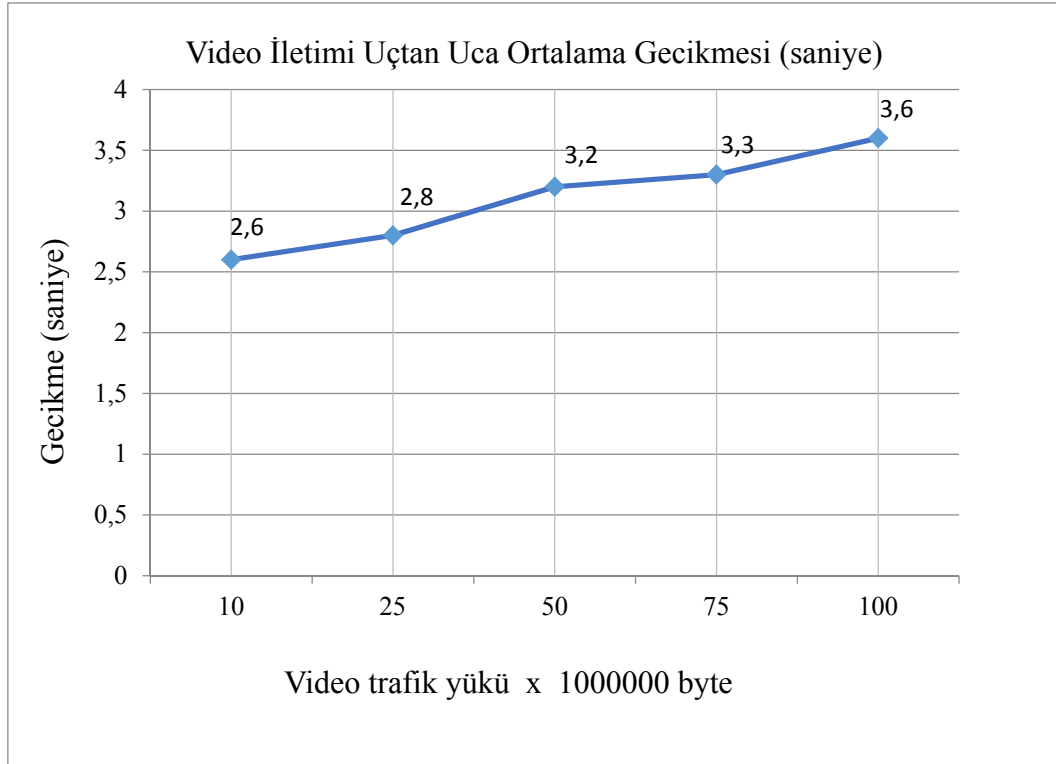
### 6.5. Artan Video Trafik Yükleri Altında Video İletimi Benzetim Sonuçları

Bu bölümde gerçekleştirilen benzetim modelinde sabit birimler arasında artan yük miktarları ile yalnızca video trafiği gerçekleştirilmiştir. Modelde video trafiği beş kademede artırılarak benzetim yapılmaktadır. Modelin başarımlarını analiz eden değişen video trafik yükleri neticesinde sistemin uçtan uca ortalama gecikme parametreleri dikkate alınarak yapılmıştır. Benzetim modeli bu bölümde 10 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.5’de artan video trafik yükleri ve buna göre video iletimi uygulamasının uçtan uca ortalama gecikme sonuçları görülmektedir.

Ortamda iletimi gerçekleştirilen video trafik yükleri Şekil 6.5’de görüldüğü gibi 10000000 byte değeri ile 100000000 byte değeri arasında kademeli olarak uygulanmaktadır. Artan video trafik yüklerinin video iletimi uçtan uca ortalama gecikme değerlerine etkisi Şekil 6.5’de görülmektedir.

Şekil 6.5’de görüldüğü gibi video trafiği uçtan uca ortalama gecikmesi 1.kademede 2,6 saniye olarak gözlemlenmektedir. 1.kademe ile 2.kademe arasında (video trafiğinin 25000000 byte değerine yükseltilmesi durumu) yaklaşık 0,2 saniye artmaktadır, 1.kademe ile 3.kademe arasında (video trafiğinin 50000000 byte değerine yükseltilmesi durumu) gecikme değişimi yaklaşık 0,4 saniye artmaktadır. Son kademede video trafiği 100000000 byte değerine yükseltildiğinde ise video iletimi uçtan uca ortalama gecikmesi 3,6 saniye olarak görülmektedir ki bu durumda 1.kademedeki gecikme süresine göre 1 saniyelik bir artış gözlemlenmektedir.

Benzetimi yapılan model ile gerçekleştirilen video iletimi uygun QoS desteği altında yapıldığından (rtPS) video trafiğindeki artışların sistemin uçtan uca ortalama gecikmesine etkisi sınırlı düzeydedir. Ortalama gecikme, video trafik yükünün yüksek oranda artırılması neticesinde giderek artış göstermektedir.

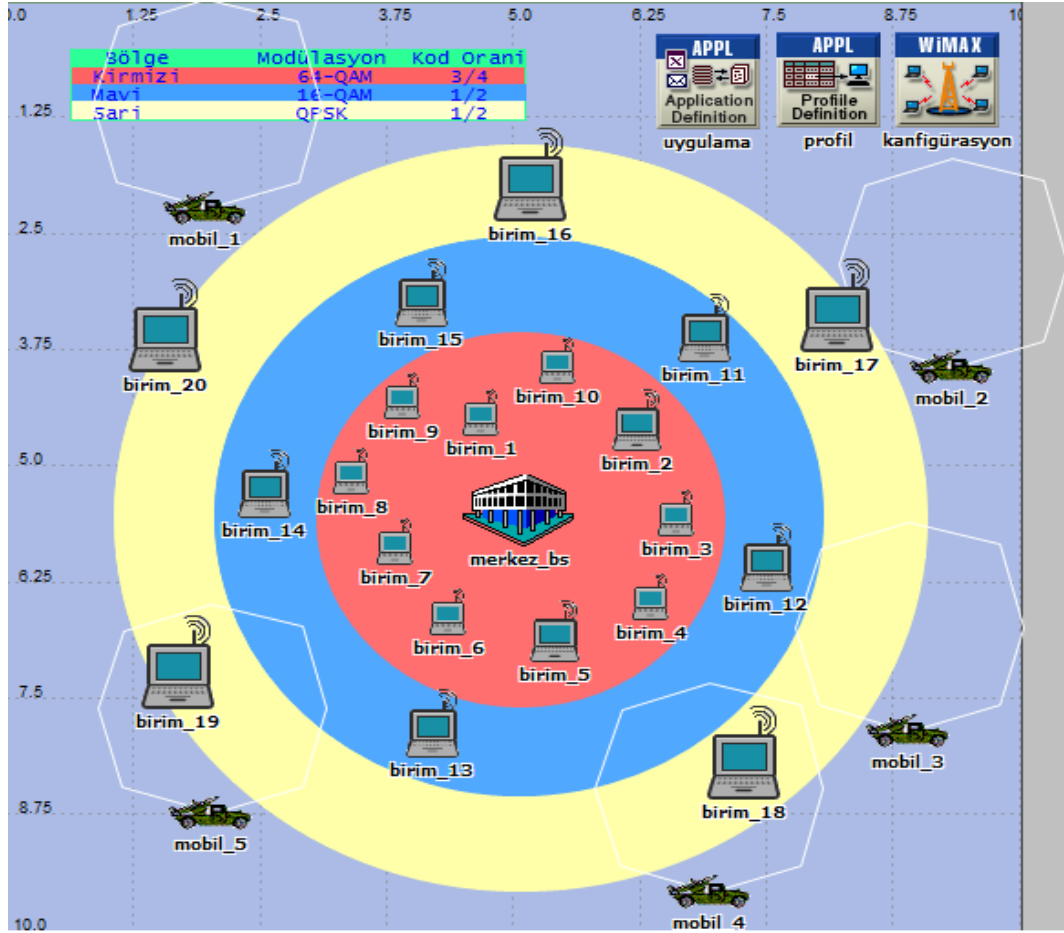


Şekil 6.5. Artan video trafik yükleri altında video iletimi uçtan uca ortalama gecikmesi

### 6.6. Artan Ses Trafik Yükleri Altında Eş Zamanlı Ses ve Video İletimi Benzetim Sonuçları

Benzetim modelinin bu bölümünde ses trafiğinin video trafiği üzerine etkisi incelenmektedir. Modelde, mobil birimler (5 adet) hareket halinde olup sabit bir trafik yükü ile karşılıklı video iletimi yapmak üzere ayarlanmıştır ve senaryoda ortamdaki diğer sabit birimler üzerinden (20 birim) gerçekleştirilen ses trafiği kademeli olarak artırılmıştır.

Şekil 6.6'da mobil birimlerin hareket yönleri verilmektedir, sonuç olarak artan ses trafiğinin video trafiği üzerine etkisi incelenmektedir. Başarım analizi video trafiğinin uçtan uca ortalama gecikme parametreleri dikkate alınarak yapılmıştır. Benzetim modeli bu bölümde 10 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.6. Mobil birimlerin hareket yönleri

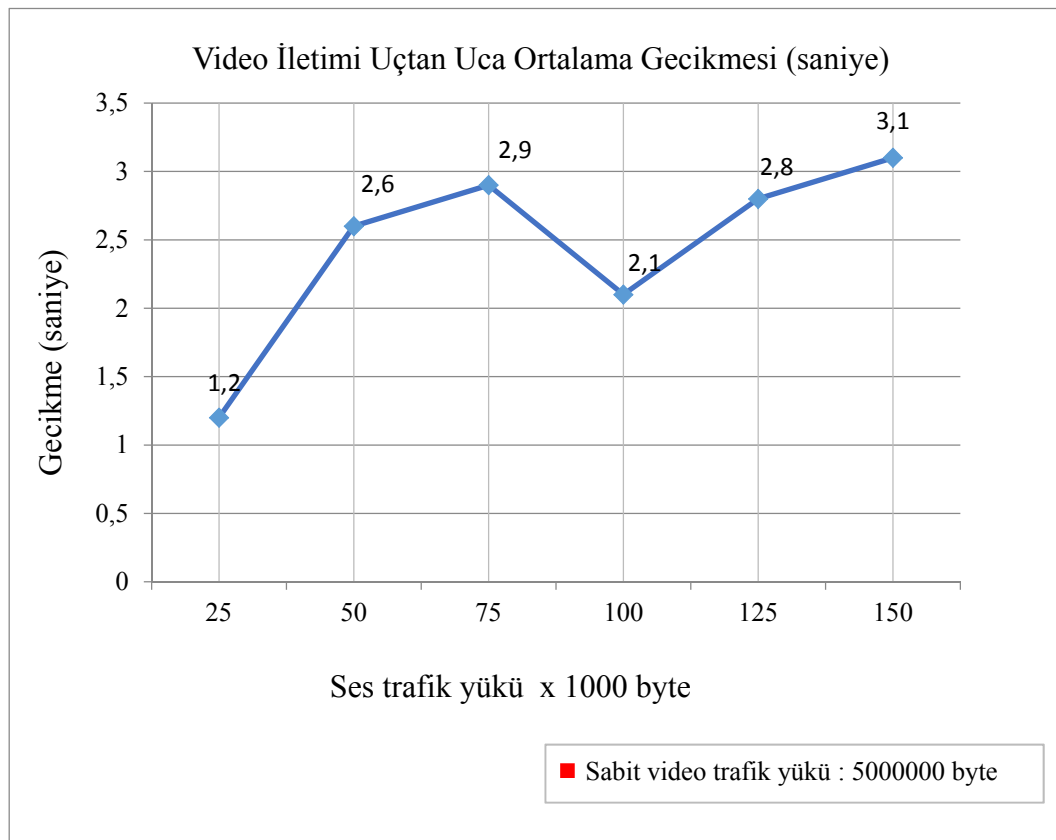
Şekil 6.7’de artan ses trafik yükleri altında hareket halindeki mobil birimlerin gerçekleştirdiği video trafiğinin, uçtan uca ortalama gecikme sonuçları görülmektedir.

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi sabit birimlerin gerçekleştirdiği ses trafiği 25000 byte ile 150000 byte değerleri arasında her kademede 25000 byte oranında artırılarak uygulanmaktadır. Ortamda mobil birimlerin gerçekleştirdiği video trafiği ise senaryo süresince 5000000 byte değerinde sabit tutulmaktadır.

Ses trafiğinin kademeli olarak artırılması neticesinde video trafiğinde yaşanan uçtan uca ortalama gecikme değerleri Şekil 6.7’de görülmektedir. 1.kademede gecikme 1,2 saniye (ses trafik yükü 25000 byte), 2. kademede ki gecikme 2,6 saniye (ses trafik yükü 50000 byte), 3.kademede ki gecikme 2,9 saniye (ses trafik yükü 75000 byte),

4.kademede ki gecikme 2,1 saniye (ses trafik yükü 100000 byte), 5.kademede ki gecikme 2,8 saniye (ses trafik yükü 125000 byte) ve 6.kademede ki gecikme 3,1 saniye (ses trafik yükü 150000 byte) olarak görülmektedir.

WiMAX'in, haberleşme ortamının koşullarına göre sunmuş olduğu başarımı artırmaya yönelik hizmetleri sistemin gecikmesini asgari değerlerde tutmaya çalışmaktadır. Ancak yük miktarındaki artışlar ve hareketli birimlerden kaynaklanan mesafenin değişkenliği sistemde yaşanan gecikme sürelerinde farklılıklar meydana getirmektedir. Burada, Bölüm 6.5'de gözlemlenen (Bkz. Şekil 6.5) benzetim sonuçlarındaki gibi yük artışına göre orantısal bir gecikme olmamıştır, aksine benzetimin bazı kademelerinde (4.kademede görüldüğü gibi) ses trafik yükü artmasına rağmen, video trafiği gecikmesinin daha az olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni hareketli birimlerin mesafe faktörünü sürekli değiştirmeleridir. Şekil 6.7'den görüldüğü gibi video trafiği uçtan uca ortalama gecikme değerleri ortamın koşullarından doğrudan doğruya etkilenmektedir.



Şekil 6.7. Artan ses trafik yükleri ve sabit video trafiği altında video iletimi uçtan uca ortalama gecikmesi

## BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında WiMAX genişbant kablosuz ağ sistemi incelenmiş ve kullandığı hizmet sınıfları hakkında temel bilgiler verilmiştir. Yapılan benzetim çalışmasında çoklu ortam trafiklerinin kablosuz ortamda iletimi gerçekleştirilirken karşılaşılan durumlar ve dikkat edilmesi gereken kıstaslar ele alınmıştır. Ortamda trafik türüne uygun hizmet modeli seçiminin sonuçları nasıl etkilediği grafiksel olarak verilmektedir. Benzetimin devamında artan yük oranlarının sistemin başarımına ilişkin sonuçları gözlemlenmektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi artan trafik yükleri sistemin uçtan uca ortalama gecikme değerlerinde sınırlı düzeyde değişimler meydana getirmektedir.

Haberleşmeyi gerçekleştiren istasyonlar sabit olabileceği gibi hareketli de olabilir. Bu durumda baz istasyonuna olan mesafenin artması sistemin başarımını olumsuz yönde etkilemektedir, bu olumsuzluğu en aza indirmek için WiMAX sisteminde kullanılabilen uyarlamalı modülasyon tekniklerinden yararlanılmaktadır.

Benzetimin son bölümünde ise farklı trafik türlerinin aynı ortamda eş zamanlı iletiminde birbirleri üzerinde oluşturdukları etki incelenmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki bu eş zamanlı iletim esnasında ses trafiğindeki artışlar video trafiği gecikme değerlerinde küçük oranda değişimlere neden olmaktadır. Ancak yaşanan bu gecikme değişiminin, WiMAX'in gelişmiş QoS desteği sayesinde kabul edilebilir sınırlar içinde kalması sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen benzetim modelinde; birimlerin merkeze olan uzaklıkları, kullanılan modülasyon teknikleri ve kod oranı gibi etkenler değiştirilerek ağ yapısının değişen bu etkenler neticesinde vereceği tepkiler incelenebilir. Örneğin Bölüm 6.4'de ses işareti iletimi gerçekleştirilirken seçilen modülasyon yöntemlerinde kullanılan kod oranları değiştirilerek sistemin bu duruma vereceği tepki



gözlemlenebilir ya da burada birimler çok daha uzak mesafelere yerleştirilerek sistemin başarımı gözlemlenebilir.

Eş zamanlı ses ve video iletimi gerçekleştirilirken bütün birimlerin mobil olması ve hareket yönlerinin birbirinden farklı olması neticesinde ses ve video iletiminde yaşanan gecikmeler gözlemlenebilir.

WiMAX genişbant kablosuz haberleşme sistemi ve benzer diğer kablosuz ağ teknolojileri kablosuz haberleşmenin önünde engel olarak duran bant genişliği sınırlaması, bağlantı sürekliliğinin sağlanması, veri kayıplarının önlenmesi, güvenilirlik, şifreleme gibi hususlardaki çözüm yöntemlerini iyileştirdikçe kablosuz haberleşme kablolu haberleşmeye göre daha cazip bir seçenek olacaktır.

Günümüzde mobil haberleşme alanında genişbant kablosuz sistemlerin sunmuş olduğu çözümler, bu alanda atılacak yeni adımlar; insanlığın temel ihtiyaçlarından biri olan iletişim ihtiyacını çok daha kolay bir şekilde ve çok daha geniş kitlelere yayılarak gidermesini sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] İSKEFİYELİ, M., WiMAX (IEEE 802.16)-profibus arabağlaşım elemanının petri ağlarla modellenmesi ve performans analizi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2009.
- [2] GÜNGÖR, M., TEKİN, M.A., YILMAZ, R., WiMAX: Diğer Genişbant Telsiz Erişim (GTE) Teknolojileri ile Karşılaştırılması, BTK, SAS Raporları, Ankara, 2009.
- [3] MAHMOUDIAN, E., WiMAX üzerinden internet protokol televizyon ve servis kalitesi – QoS, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Ankara. 2010; 3(9):57-59, 4(1):67-70.
- [4] HAMMOSHI, M., WiMAX Simulation Model to Investigate Performance Factors, Lecturer, Computer Systems Dept., Technical Institute of Mousl, Iraq. 2011; pp. 5-10.
- [5] ADHICANDRA, I., WiMAX Femtocells, Department of Information Engineering, The University of Pisa, Italy. 2009; pp. 4-7.
- [6] ANDREWS, J. G., GHOSH, A., MUHAMED, R., Fundamentals of WiMAX. 2007; 2(1):33-38, 2(4):49-51, 3(1):67-75.
- [7] TRINKWON, D., Technology of Fixed Wireless Access. Online Doküman, [http://www.citi.columbia.edu/wireless!/citi\\_fw.htm](http://www.citi.columbia.edu/wireless!/citi_fw.htm), 2006.
- [8] <http://freewimaxinfo.com/wimax-2-technology.html>, Erişim Tarihi: 26.02.2013.
- [9] <http://www.3gpp.org/Technologies/Keywords-Acronyms/article/umts>, Erişim Tarihi: 26.02.2013.
- [10] WiMAX Forum, WiMAX End-to-End Network Systems Architecture, Technical report. <http://www.wimaxforum.org/home>, 2005.
- [11] NUAYMI, L., WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access. John Wiley & Sons, England. 2007; 1(3):47-55, 2(5):71-101, 3(9):146-172, 11(3):199-202.
- [12] FIELBRANDT, L., WiMAX Demystified, Funkschau Workshop WLAN&WiMAX, 2005.

- [13] CANTEKİNLER, M.K., ÇETİN, T., DAŞDEMİR, Ö., WiMAX/3N Karşılaştırma Raporu, BTK, SAS Raporları, Ankara, 2008.
- [14] WiMAX (802.16e) Model User Guide (Tutorials).
- [15] BANDIRMALI, N., ÇEKEN, C., BAYILMIŞ, C., ERTÜRK, İ., Kablosuz erişim yöntemlerinin karşılaştırmalı incelemesi. Kocaeli Üniversitesi, elektrik-elektronik dergisi. 2008; pp. 1-3.
- [16] OHRTMAN, F., WiMAX Handbook Building 802.16 Wireless Networks, McGraw-Hill, USA. 2005; pp. 54-75.
- [17] SHEPARD, S., WiMAX crash course, McGraw-Hill, USA. 2006; pp. 168-174.
- [18] MOAWAD, R.B., IPTV over WiMAX: overview on the video path from the server to the WiMAX end-user. IEEE Lebanon Communications Workshop. 2008; pp. 17-23.
- [19] PAREEK, D., The Business of WiMAX. John Wiley & Sons. England. 2006; 2(6):52-58, 2(7):59-69.
- [20] ÇEKEN, C., ERTÜRK, İ., BAYILMIŞ, C., Kablosuz ATM Teknolojisi ile Çoklu Ortam Trafiklerinin Transferi, Otomasyon Dergisi, 8. 2003; pp. 122-127.
- [21] BANDIRMALI, N., Kablosuz ATM ağlarda veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisinin incelenmesi, Y.Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli. 2005; 5(3):59-63.
- [22] MALKOÇ, A., Dijital ses formatları arasındaki farklar. Online Doküman, [http://www.chip.com.tr/makale/dijital-ses-formatlari-arasindaki-farklar\\_24997.html](http://www.chip.com.tr/makale/dijital-ses-formatlari-arasindaki-farklar_24997.html), Şubat 2011.
- [23] CHOWDHURY, A., BOYER, E., Analysis of Quality of Service (QoS) for Video Conferencing Over WiMAX Networks. Spring 2010; pp. 10-17.
- [24] BAYILMIŞ, C. Modelleme ve simülasyon teorisi ve uygulamaları. Online Doküman, <http://www.cbayilmis.sakarya.edu.tr>, 2009.
- [25] TUĞRAL, N., Kablosuz bilgisayar ağlarının karşılaştırmalı incelenmesi, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ankara. 2006; 4(1):57-58.
- [26] [www.opnet.com](http://www.opnet.com), Erişim Tarihi: 14.03.2013.

## ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Nalbatcı, 06.05.1982 de Sakarya'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Sakarya'da, lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. Kartal Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Bilgisayar Bölümü Teknik Lise kısmından mezun oldu. 1999 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi dalından Bilgisayar Öğretmeni olarak 2003 yılında mezun oldu. 2003-2007 yılları arasında Sakarya Hendek Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde Bilgisayar Öğretmeni olarak görev yaptı. 2007-2010 yılları arasında İstanbul Pendik Güllübağlar İMKB Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde Bilgisayar Öğretmeni olarak görev yaptı. 2010 yılında İstanbul Pendik Melek Aknıl Kız Teknik ve Meslek Lisesi'ne Müdür Yardımcısı olarak atandı ve halen bu görevini sürdürmektedir.