

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**WIMAX TEKNOLOJİSİ FİZİKSEL KATMAN
PARAMETRELERİNİN PERFORMANSA ETKİSİNİN
MATLAB KULLANILARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fadime ÖGÜLMÜŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin EKİZ

Eylül 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

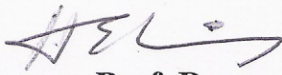
**WIMAX TEKNOLOJİSİ FİZİKSEL KATMAN
PARAMETRELERİNİN PERFORMANSA ETKİSİNİN
MATLAB KULLANILARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

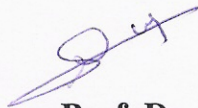
Fadime ÖGÜLMÜŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

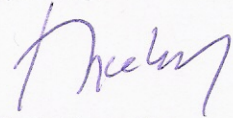
Bu tez 04 / 09 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



**Prof. Dr.
Hüseyin EKİZ
Jüri Başkanı**



**Prof. Dr.
Abdullah FERİKOĞLU
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.
İbrahim ÖZÇELİK
Üye**

TEŐEKKÖR

Tezin hazırlanması aŐamasında bana her tÖrlÖ desteği veren danıŐman hocam sayın Prof. Dr. HÖseyin EKİZ' e, bana tez çalıŐmam boyunca desteğini esirgemeyen aileme teŐekkÖrÖ bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
WİMAX' İN GELİŞİMİ VE MİMARİSİ.....	4
2.1. Wimax Teknolojisinin Sunduğu Özellikleri ve Kullanım / Uygulama Alanları.....	6
2.2. Wimax Teknolojisi Network Mimarisi.....	8
2.3. IEEE 802.16 Tabanlı Ağ Uygulaması.....	9
2.4. Wimax Forum.....	10
BÖLÜM 3.	
IEEE 802.16 PROTOKOL KATMANLARI.....	12
3.1. MAC (Medium Access Control) Katmanı.....	12
3.1.1. Bir MAC protokol veri ünitesi.....	14
3.1.2. MAC bağlantı tipleri	14
3.2. Fiziksel Katman.....	15
3.2.1. Fiziksel katman desteklediği frekans bantları.....	15

3.2.2. Fiziksel katman arayüz biçimleri.....	16
3.2.3. Fiziksel katman işleyiş biçimleri.....	17
3.2.3.1. Esnek kanal bant genişliği.....	17
3.2.3.2. Gelişmiş anten teknikleri.....	18
3.2.3.3. Uyarlamalı modülasyon.....	18
3.2.3.4. İleri hata düzeltme teknikleri.....	19
3.2.3.5. Dik frekans bölümlenmeli modülasyon (OFDM)	21
BÖLÜM 4.	
MATLAB' TA BENZETİM ÇALIŞMASI.....	29
4.1. OFDM Sembol Parametreleri.....	29
4.2. Fiziksel Katman Kurulumu.....	29
4.2.1. Rastgele değer üretimi.....	30
4.2.2. Reed-Solomon kodlayıcı.....	31
4.2.3. Katlamalı kodlayıcı.....	32
4.2.4. Serpiştirici.....	33
4.2.5. Takım yıldız haritası	35
4.2.6. IFFT.....	35
4.2.7. Koruma aralığı ekleme.....	35
4.3. Kanal Modelleri.....	36
4.3.1. SUI kanalları.....	37
4.3.1.1. SUI kanal modellerinin uygulaması.....	40
4.4. Tasarlanan Program Arayüzü.....	42
BÖLÜM 5.	
BENZETİM SONUÇLARI.....	47
BÖLÜM 6.	
SONUÇ.....	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAS	(Adaptive Antenna System) Uyarlamalı Anten Sistemi
ADSL	(Asymmetric Digital Subscriber Line) Simetrik Olmayan Dijital Abone Hattı
ATM	(Asynchronous Transfer Mode) Eşzamanlı Olmayan Transfer Modu
BER	(Bit Error Rate) Bit Hata Oranı
BPSK	(Binary Phase Shift Keying) İkili Faz Kaymalı Anahtarlama
BS	(Base Station) Baz İstasyonu
BWA	(Broadband Wireless Access) Geniş Bant Kablosuz Erişim
CC	(Convolutional Code) Katlamalı Kodlama
CP	(Cyclic Prefix) Koruma Aralığı
CPE	(Customer Premises Equipment) Müşteri Donanımı
CS	(Convergence Sublayer) Yakınsama Altkatmanı
CPS	(Common Part Sublayer) Ortak Kısım Altkatmanı
DFT	(Discrete Fourier Transform) Ayrık Fourier Dönüşümü
DHCP	(Dynamic Host Configuration Protocol) Dinamik İstemci Ayarlama Protokolü
DL	(Downlink) Uydudan Dünyaya Bağlantı
DSL	(Digital Subscriber Line) Dijital Abone Hattı
ETSI	(European Telecommunications Standards Institute) Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
FDD	(Frequency Division Duplexing) Frekans Bölünmeli Çoğullama
FDMA	(Frequency Division Multiple Access) Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FEC	(Forward Error Correction) İleri Hata Düzeltme
FFT	(Fast Fourier Transform) Hızlı Fourier Dönüşümü

HIPERMAN	(High PERformance Metropolitan Area Network) Yüksek Performanslı MAN
ICI	(Inter Carrier Interference) Taşıyıcı Karışması
IDFT	(Inverse Discrete Fourier Transform) Ters Ayırık Fourier Dönüşümü
IEEE	(Institute of Electrical and Electronics Engineers) Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
ISI	(Inter Symbol Interference) Sembol Karışması
LAN	(Local Area Network) Yerel Alan Ağları
LOS	(Line of Sight) Görüş Alanı
MAC	(Medium Access Control) Orta Erişim Kontrolü
NLOS	(Non Line of Sight) Görüş Alanı Dışı
NWEST	(National Wireless Electronics Systems Testbed) Ulusal Kablosuz Elektronik Sistemleri Test Araçları
OFDM	(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Dikgen Frekans Bölünmeli Çoğullama
OFDMA	(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) Dikgen Frekans Bölünmeli Çoğullama Erişimi
QAM	(Quadrature Amplitude Modulation) Dörtlü Genlik Modülasyonu
QoS	(Quality of Service) Servis Kalitesi
PHY	(Physical Layer) Fiziksel Katman
QPSK	(Quadrature PhaseShift keying) Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama
SNR	(Signal to Noise Ratio) Sinyal Gürültü Oranı
SNMP	(Simple Network Management Protocol) Basit Ağ Yönetimi Protokolü
SS	(Subscriber Stations) Abone İstasyonu
SUI	(Stanford University Interim) Stanford Üniversitesi Arabirimi
TDD	(Time Division Duplexing) Zaman Bölmeli Çoklama
TDMA	(Time Division Multiple Access) Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
UL	(Uplink) Dünyadan uyduya Bağlantı
WAN	(Wide Area Network) Geniş Alan Ağları

WIMAX	(Worldwide Interoperability For Microwave Access) Dünya Çapında Mikrodalga Erişimi İçin Bir arada Çalışabilirlik
WI-FI	(Wireless Fidelity) Kablosuz İnternet Ağı
MIMO	(Multiple Input Multiple-Output) Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
WMAN	(Wireless Metropolitan Area Network) Kablosuz Şehir Alan Ağı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	NLOS-LOS CPE Yerleşimi.....	8
Şekil 2.2.	IEEE 802.16 Ağ Görüntüsü.....	9
Şekil 3.1.	IEEE 802.16 Protokol Yığını.....	13
Şekil 3.2.	FDM-OFDM Karşılaştırması.....	21
Şekil 3.3.	OFDM sistemine ait blok diyagram.....	22
Şekil 3.4.	(a) Bir OFDM Alt Kanalının Spektrumu (b) Bir OFDM Sinyalinin Spektrumu (c) Alt taşıyıcılı bir OFDM işaret tayfı.....	24
Şekil 3.5.	Koruma Süresi Boyunca Hiç Bir Sinyal Olmamasının Çok Yollu Ortamlardaki Etkisi.....	25
Şekil 3.6.	Periyodik Önekli OFDM Sinyali.....	26
Şekil 4.1.	Sistem Düzenegi.....	30
Şekil 4.2.	(a) Kanal Kodlama Düzenegi (b) Kanal Kod Çözme Düzenegi....	30
Şekil 4.3.	Rastgele Değer Üretimi için PRBS.....	31
Şekil 4.4.	½ Oranı İçin Katlamalı Kodlayıcı.....	32
Şekil 4.5.	Uygulama ana sayfası.....	42
Şekil 4.6.	Uygulama farklı modülasyon teknikleri uygulama sayfası.....	43
Şekil 4.7.	Uygulama farklı koruma aralığı uygulama sayfası.....	44
Şekil 4.8.	Uygulama farklı SUI Kanalı uygulama sayfası.....	45
Şekil 4.9.	Uygulama farklı Bant Genişliği uygulama sayfası.....	46
Şekil 5.1.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =AWGN, BW=1.75 ortamında BER/SNR çizimi	48
Şekil 5.2.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI1, BW=1.75 ortamında BER/SNR çizimi	49
Şekil 5.3.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI2, BW=1.75 ortamında BER/SNR çizimi	50

Şekil 5.4.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI3, BW=1.75 ortamında BER/SNR çizimi	51
Şekil 5.5.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI4, BW=1.75 ortamında BER/SNR çizimi	52
Şekil 5.6.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI5, BW=1.75 ortamında BER/SNR çizimi	53
Şekil 5.7.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI6, BW=1.75 ortamında BER/SNR çizimi	54
Şekil 5.8.	BPSK $\frac{1}{2}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.9.	QPSK $\frac{1}{2}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.10.	QPSK $\frac{3}{4}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.11.	16 QAM $\frac{1}{2}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.12.	16 QAM $\frac{3}{4}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	58
Şekil 5.13.	64 QAM $\frac{2}{3}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	58
Şekil 5.14.	64 QAM $\frac{3}{4}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	59
Şekil 5.15.	16QAM $\frac{1}{2}$ Modülasyon Türünde SUI 1-2-3 Kanal Değerlerinin Karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.16.	SUI1-2-3 Kanallarının 16QAM $\frac{1}{2}$ Modülasyon Türü BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi	61
Şekil 5.17.	SUI1-2-3 Kanallarının 64QAM $\frac{3}{4}$ Modülasyon Türü BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi	62
Şekil 5.18.	16QAM $\frac{1}{2}$ SUI-1 farklı bant genişliklerindeki BER/SNR çizimleri.....	63
Şekil 5.19.	16QAM $\frac{1}{2}$ SUI-2 farklı bant genişliklerindeki BER/SNR çizimleri.....	64
Şekil 5.20.	BPSK $\frac{1}{2}$ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası.....	65

Şekil 5.21.	QPSK $\frac{1}{2}$ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası.....	65
Şekil 5.22.	QPSK $\frac{3}{4}$ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası.....	66
Şekil 5.23.	16 QAM $\frac{1}{2}$ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası.....	66
Şekil 5.24.	16 QAM $\frac{3}{4}$ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası.....	67
Şekil 5.25.	64 QAM $\frac{2}{3}$ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası.....	67
Şekil 5.26.	64 QAM $\frac{3}{4}$ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası.....	68

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Geniş Bant Kablosuz Erişim İçin IEEE Standartlarının Karşılaştırılması.....	6
Tablo 3.1.	Hava Ara Yüzü İsimleri ve Tanımı.....	17
Tablo 3.2.	Modülasyon Aracılığıyla Kanal Kodlama.....	19
Tablo 4.1.	Kullanılan OFDM Parametreleri.....	29
Tablo 4.2.	Katlamalı Kod Oranları.....	33
Tablo 4.3.	Arazi Tipine Göre SUI Kanalları.....	37
Tablo 4.4.	K faktörü Düşük Olduğunda Gecikme Yayılımı.....	38
Tablo 4.5.	K faktörü Yüksek Olduğunda Gecikme Yayılımı.....	38
Tablo 4.6.	SUI1 Kanalı Değerleri.....	38
Tablo 4.7.	SUI2 Kanalı Değerleri.....	39
Tablo 4.8.	SUI3 Kanalı Değerleri.....	39
Tablo 4.9.	SUI4 Kanalı Değerleri.....	39
Tablo4.10.	SUI5 Kanalı Değerleri.....	40
Tablo4.11.	SUI6 Kanalı Değerleri.....	40
Tablo 5.1.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =AWGN, BW=1.75 ortamında SNR değerleri.....	48
Tablo 5.2.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-1, BW=1.75 ortamında SNR değerleri.....	49
Tablo 5.3.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-2, BW=1.75 ortamında SNR değerleri.....	50
Tablo 5.4.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-3, BW=1.75 ortamında SNR değerleri	51
Tablo 5.5.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-4, BW=1.75 ortamında SNR değerleri	52
Tablo 5.6.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-5, BW=1.75	

	ortamında SNR değerleri.....	53
Tablo 5.7.	Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-6, BW=1.75 ortamında SNR değerleri.....	54
Tablo 5.8.	Farklı Modülasyon Tiplerinin SNR değerleri.....	55
Tablo 5.9.	Farklı Modülasyon Tiplerinin SNR değerleri.....	59
Tablo 5.10.	Farklı Kanal Değerlerinin SNR değerleri.....	60
Tablo 5.11.	Farklı Kanal Değerlerinin SNR değerleri.....	61
Tablo 5.12.	Aynı BW Farklı Modülasyonların SUI1-2-3 SNR değerleri....	62
Tablo 5.13.	Farklı Modülasyon değerlerinde Serpiştirici Kıyası.....	68

ÖZET

Anahtar Kelime: BWA, IEEE 802.16, WirelessMAN, FEC, OFDM

Sabit kablosuz geniş bant erişim son kullanıcı için yüksek hızda ses, video ve veri transferi sunan bir teknolojidir. İlk başta standart belirlenmemiştir. IEEE 802.16 WirelessMAN standartları geniş frekans aralıklarının da sabit ve kablosuz geniş bant erişimi sunan MAC katmanı ve fiziksel katmanı belirlemektedir. WiMAX forum çoklu yol ortamlarında güçlü performanstan dolayı donanım üreticileri için IEEE 802.16 OFDM fiziksel katmanı kabul eder. Bu tezde Wimax ürünleri için standart belirlemede önemli yeri olan fiziksel katmanın uygulaması yapılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Kablosuz ortamlarda Stanford University tarafından belirlenen SUI kanal modelleri kullanılmıştır. Simülasyon Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir.

WIMAX TECHNOLOGY SEARCHED PHYSICAL LAYER PARAMETER EFFECT TO PERFORMANCE WITH USED MATLAB

SUMMARY

Keywords: BWA, IEEE 802.16, WirelessMAN, FEC, OFDM

Fixed Broadband Wireless Access (BWA) is a promising technology which can offer high speed voice, video and data service up to the customer end. Due to the absence of any standard specification, earlier BWA systems were based on proprietary standard. IEEE 802.16 WirelessMAN standard specifies a Medium Access Control (MAC) layer and a set of PHY layers to provide fixed and mobile Broadband Wireless Access (BWA) in broad range of frequencies. The WiMAX forum has adopted IEEE 802.16 OFDM PHY layer for the equipment manufacturer due to its robust performance in multipath environment. The thesis investigates the simulation performance of IEEE 802.16 OFDM PHY layer. The Stanford University Interim (SUI) channel models are selected for the wireless channel in the simulation. The evaluation was done in simulation developed in MATLAB.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kablosuz geniş bant erişim teknolojileri, küçük ve orta büyüklükteki işletmeler de yüksek hızda internet erişimi ve son kullanıcı erişim teknolojileri için umut verici çözümler sunmaktadır. Bu sektörler geniş bant erişimini kablolu DSL (Digital Subscriber Line) teknolojisi ile sağlamalarına rağmen, yayılmadaki zorluklar geniş bant internet kullanım potansiyelinin ortaya çıkmasını önlemektedir. Dünyanın birçok yeri geniş bant erişiminin kolaylıkları altında bulunmamaktadır. Örnek olarak; şehir merkezlerindeki veya kenar semtlerdeki bağlantı noktaları merkezi istasyondan sadece 3 mil (yaklaşık 4828 metre) uzaklaşabilmektedirler [1]. Diğer taraftan bazı ticari kuruluşların yeri, kablolu ağların kapsama alanının da bulunmayabilmektedir. Kablosuz geniş bant ile bu problemlere çözüm üretilebilmektedir. Çünkü kablosuz yapı hızlı yayılabilir, ölçeklenebilir ve oldukça esnektir.

IEEE 802.16 geniş bant kablosuz erişim için bir standart olup endüstrileri birleştirmektedir. Wimax forum geniş bant kullanılmayan yerlerdeki kullanıcıların büyük bir çoğunluğuna geniş alan üzerinde yüksek veri hızı önermektedir. Bu hücresele ağlara göre yüksek bant genişliği ile sabit kablosuz erişim için kullanılan birinci geniş çaptaki endüstri standardıdır. Kablosuz geniş bant sistemler, yatırım riskini küçültmekte, birlikte çalışılabilirliği ve donanım maliyetinin küçülmesini sağlamaktadır.

Standartın ilk versiyonu olan 802.16, 10-66 GHz frekansında çalışırken bazı istasyonlarının görüş açısında olmasına LOS (Line of Sight) ihtiyaç duymaktadır. Daha sonra geliştirilmiş 802.16a standardı ise 2-11 GHz frekans aralığını kullanmakta ve istasyonunu görme NLOS (Non Line of Sight) ihtiyacı gerektirmemektedir. 802.16a standardı 2,5, 3,5 ve 5,8 GHz bantlarını kullanmakta ve 50 km uzaklıkta dahi 70 Mbit/sn hızına varan internet erişimi sağlamaktadır.

Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) Forum Haziran 2001'de Wimax dünyasında birbiri ile uyumlu cihazların oluşturulması ve genel olarak Wimax teknolojisinin yaygınlaştırılması için kuruldu. Bu teknoloji için üretilen tüm cihazların birbiri ile uyumlu çalışmasının teknik ve idari süreçleri Wimax Forum tarafından düzenlenmektedir. Üyeleri telekomünikasyon ürün üretici/satıcıları, servis sağlayıcılar/operatörler ve içerik, uygulama hazırlayanlardan oluşmaktadır. 2004'de sadece 46 üyesi bulunan forumun üye sayısının son yıllarda artışında Intel gibi dünya devlerinin Wimax Forum'a üye olmalarının ve Wimax teknolojisine yatırım yapma kararlarını açıklamalarının çok büyük etkisi bulunmaktadır [2].

WiMAX, esas olarak OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ve MIMO (Multiple Input Multiple-Output) teknolojilerine dayanmaktadır. Bu iki gelişmekte olan teknoloji sayesinde servis sağlayıcılar tek bir baz istasyonundan daha fazla müşteriye hizmet sunma olanağına kavuşurken bunu daha az spektrum kullanarak gerçekleştirmektedirler. OFDM, Wi-Fi (Wireless Fidelity / 802.11) standardı ve WiMAX/802.16 tarafından kullanılan taban radyo teknolojisidir. MIMO ise WiMAX'in etkinliğini dört katına kadar çıkartan gelişmiş bir anten teknolojisidir. Üçüncü nesil ve ötesi iletişim teknolojileri büyük çapta OFDM ve MIMO teknolojilerine dayanmaktadır.

IEEE 802.16 standartlarının OFDM tabanlı fiziksel katmanı ETSI (European Telecommunications Standards Institute) HIPERMAN (High PERFORMANCE Metropolitan Area Network) standardı ile hemen hemen aynı şekilde standartlaştırılmaktadır. Böylece Hiperman standardı ve IEEE 802.16 'nın OFDM tabanlı fiziksel katmanı neredeyse aynıdır. Hem OFDM tabanlı fiziksel katmanlar birbiri ile uyum sağlanmalı hem de geleneksel OFDM sistemler ortaya çıkmalıdır. Her iki standarda uyan ürünler Wimax forum tarafından onaylanmaktadır.

- Wimax uzun süredir büyük donanım üreticilerinin ve açık standartların eksikliğini duyulduğu kablosuz sabit erişimde güvenilir bir çözüm sunmaktadır.
- Wimax OFDM ve OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) gibi gelecekte ağırlık kazanacak teknikleri kullanmaktadır.

- Wimax mobil uygulamaya kadar uzanan gelişim ekseninde planlanmaktadır.
- Harmanlanmış standartlar ve birbiriyle çalışabilir sistemlerin sertifikasyonu ile yüksek hacim ve düşük maliyetler hedeflemektedir.

Bu tez çalışmasında Wimax standartlarının ve sistem performanslarının daha iyi anlaşılması için Matlab üzerinde WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) fiziksel katmanının simülasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmada fiziksel katmanda kullanılan sinyallerin SUI (Stanford University Interim) kanallarının etkisi altında hata oranları tespit edilmiştir.

BÖLÜM 2. WIMAX' İN GELİŞİMİ VE MİMARİSİ

Wimax (Worldwide Interoperability of Microwave Access), Telekom ve Bilişim endüstrileri tarafından desteklenen, küresel standartlara dayalı, yüksek bant genişliği ve kapsamayı ekonomik olarak sunabilen geniş bant kablosuz erişim teknolojisidir [3]. IEEE 802.16 standardı olarak bilinen Wimax, kablosuz geniş bant erişim için çeşitli üreticiler tarafından geliştirilmiş çözümler sunarak bir çok sistemin uyum içerisinde çalışmasını sağlamaktadır.

90 'lı yıllardan itibaren birçok telekomünikasyon donanım üreticileri tarafından kablosuz geniş bant erişim için ürünler sunulmaya ve geliştirilmeye başlanmasına rağmen, endüstri birlikte çalışabilirlik/standartlaşma konusunda sıkıntı çekmektedir. Bir standart ihtiyacına çözüm üretmek amacıyla Uluslararası Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü tarafından Ağustos 1998'de oluşturulan grup, kablosuz geniş bant iletişime yönelik olarak IEEE 802.16 'yı oluşturdu [4].

Wimax teknolojisinin genel özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- WiMAX kablosuz ve geniş bant bir erişim teknolojisidir.
- IEEE'nin 802.16 kablosuz iletişim standardı şartnamesine dayanmaktadır.
- Wi-Fi olarak bildiğimiz 802.11 standardına göre çok daha hızlı ve çok daha geniş bir alana hizmet verebilir.
- Ofislerde, evlerde ve kapalı alanlarda kullanılan Wi-Fi hotspotlar (halka açık yerlerde kablosuz internet/ağ hizmetlerinin sağlandığı yerel alanlar) en fazla 100 metrelik mesafede 10-54 Mbps hızlarda bağlantı sağlarken, Wimax ile coğrafik

özelliklere bağı olarak 50 km'ye kadar 72 Mbps hızlarda erişim sağlanabilmekte, üzerinden ses, video ve veri taşınabilmektedir.

- WiMAX ile LOS (Line of Sight) olarak tabir edilen baz istasyonundan antene direk görüş varsa 50 km, NLOS (Non Line of Sight) olarak tabir edilen baz istasyonundan antene direk görüş yoksa 10-15 km mesafelerde erişim sağlanabilmektedir.
- Standartın 802.16e revizyonu ile birlikte, otobüs veya trende seyahat ederken, ya da benzer koşullar altında PDA ya da taşınabilir bilgisayarlarla mobil, kesintisiz ve yüksek hızlarda erişim sağlanabilmektedir.

IEEE 802.16 standardı geniş bant kablosuz erişim için MAC (Medium Access Control) ve PHY (Physical Layer) katmanlarının özelliklerini kapsamaktadır. IEEE802.16-2001 standardın 2001 Aralık' ta onaylanmış birinci sürümüdür [5]. İkinci sürüm IEEE 802.16-2004, koşulları daha uyumlu hale getirebilmek için 2004 Eylül'de onaylanmıştır. Bu standart özellikle lisanslı ve lisanssız bant genişliklerinde çoklu ortam servislerini destekleyen sabit kablosuz geniş bant erişim sistemleri için hava ara yüzü standardı belirlemektedir [6]. IEEE802.16-2004'ü iyileştirme için 2006 Şubat'ta onaylanan IEEE 802.16e'yi diğer Wimax standartlarından ayıran en temel özellik mobil olmasıdır. Wimax teknolojisi olan 802.16a sabit, 802.16d taşınabilir hizmetlerdir. 802.16e teknolojisi ile, Wimax kullanıcısının, otomobilde/ trende 140 km/saat hızla hareket ederken 2 Mb/s hızında veri bağlantısı kurabilmesini, bu bağlantı üzerinden kaliteli telefon görüşmesi yapabilmesini, DVD kalitesinde film izleyebilmesini ve video konferans gerçekleştirebilmesini amaçlamaktadır[2]. Standartlar arasındaki LOS ve NLOS olmaları; kapsama alanları, sabit, taşınabilir olması, bant kapasiteleri vb. temel farkları belirleyen unsurlar Tablo 2.1' deki gibidir.

Tablo 2.1. Geniş Bant Kablosuz Erişim İçin IEEE Standartlarının Karşılaştırılması

	IEEE 802.16-2001	IEEE 802.16a	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005
Tamamlanma Zamanı	Aralık 2001	Ocak 2003	Haziran 2004	Aralık 2005
Spektrum	10-66 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz
Yayımlama/Kanal Şartları	LOS	NLOS	NLOS	NLOS
Bit Hızı	134 Mbps'e kadar (28 MHz)	75 Mbps'e kadar (20 MHz)	75 Mbps'e kadar (20 MHz)	15Mbps'e kadar (5 MHz)
Modülasyon	QPSK, 16QAM, 64QAM (seçimli)	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (seçimli)	256 alt taşıyıcılı OFDM, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	Ölçeklenebilir OFDMA, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (seçimli)
Hareketlilik	Sabit	Sabit	Sabit/Taşınabilir	Sabit/Hareketli

2.1. Wimax Teknolojisinin Sunduğu Özellikleri ve Kullanım/Uygulama Alanları

Hızlı bir gelişim gösteren Wimax teknolojisinin özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Düşük maliyet
- Yüksek kapasite ve geniş kapsama

- Yüksek bant genişliği
- Kolay kurulum
- Servis kalitesi
- Güvenlik
- Esneklik
- Sabit, taşınabilir, mobil kullanım olanakları
- Ölçeklenebilirlik
- Geniş endüstriyel destek (ekipman ve chipset üreticileri, operatörler, servis sağlayıcılar)

Wimax Teknolojisinin kullanım yerleri/uygulama alanları ile ilgili olarak (mevcut veya potansiyel) aşağıdaki örnekler verilebilir [7].

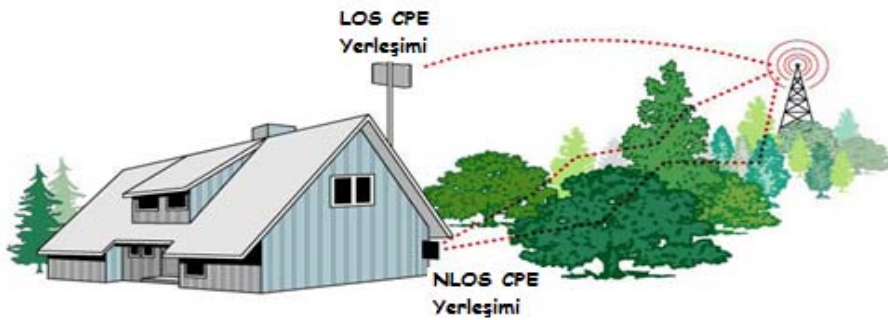
Wimax Uygulama Senaryoları :

- Kırsal alanlara geniş bant erişimin ulaştırılabilmesi
- Kablosuz DSL erişimi
- Hücresel şebekelerin üst bağlantısı
- Üniversite ve teknokent yerleşim ağları (Kampüs)
- Temel ve örgün eğitim ağları
- Banka ve finansal kuruluş ağları
- Sosyal, güvenlik ve sağlık ağları (Polis, ambulans, itfaiye..)
- Uzaktan Kontrol uygulamalar (petrol, doğalgaz firmaları)
- İnşaat şirketleri, KOBİ, vb.[7]

2.2 Wimax Teknolojisi Network Mimarisi

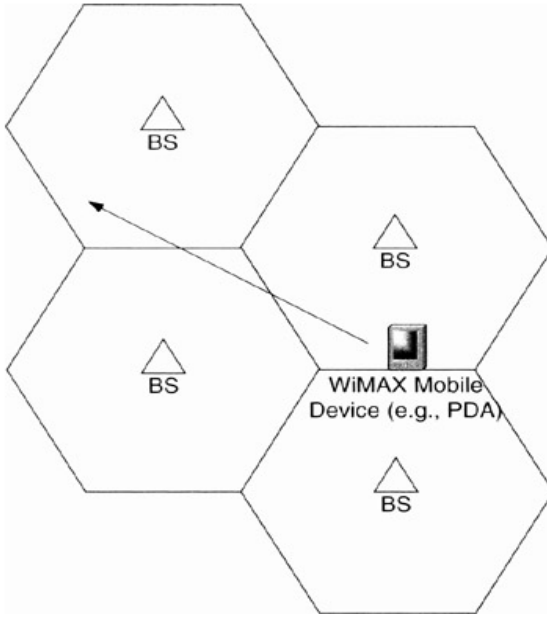
Sabit altyapı alanlarından oluşan IEEE 802.16 ağ, hücresel telefon ağına benzemektedir. Her bir hücre topolojinin uygulamasına bağlı olarak bir veya birçok SS (Abone İstasyonu) ve BS (Baz İstasyonu)'lerden oluşabilmektedir. Bu nedenle BS için çoklu SS düzeni için tek noktadan tek noktaya ya da tek noktadan çok noktaya bağlantısı sağlamaktadır.

BS'ler çekirdek ağlarla bağlantı sağlamaktadır. SS Şekil 2.1'de olduğu gibi bina duvarına veya çatısına yerleştirilmiş bir CPE (Müşteri Donanımı) veya mobil telefon gibi bağımsız bir cihaz olabilir (PDA, PCI→ LapTop Kartı). CPE bağlantısı ile, bina içindeki kullanıcılar geleneksel 802.3 LAN gibi (Ethernet LAN veya Wireless LAN) ile ağa bağlanabilmektedir [28].



Şekil 2.1. NLOS-LOS CPE Yerleşimi

Hücrelerin bir grubu şekil 2.2.'de görülen ağda BS' ye bağlanan ağ düzeniyle birlikte gruplandırılabilir. 802.16 ağı BS'nin ihtiyaçları dışında birbirleri ile iletişim kurabilmekte ve mesh topolojisini desteklemektedir. BS'ler tipik olarak bütün bölümlerin toplamı 360 derece yayın süresine sahip birkaç küçük sektör içine bölünebilen, bir veya daha fazla radyo dalgalarını yönlendirebilen anten ile çalışmaktadır. CPE'ler tipik olarak BS'ye yönlendirilmiş göbek yönlendirmeli antenlerle çalışmaktadır. İhtiyaca bağlı olarak IEEE 802.16 ağlar farklı formlarda geliştirilebilmektedir[6].



Şekil 2.2. IEEE 802.16 Ağ Görüntüsü

2.3. IEEE 802.16 Tabanlı Ağ Uygulaması

Wimax teknolojisi yüksek bant genişliği ve Wi-Fi tabanlı kablosuz sistemlere nazaran geniş bir erişim alanı önermektedir. Wimax teknolojisi, optik taşıyıcı teknolojileri, T ve E taşıyıcı sistemler, DSL, kablolu modemler vb. birçok kablolu haberleşme kanalına alternatif olarak gözükmektedir.

IEEE 802.16 ATM, IPv4, IPv6, Ethernet ve WLAN servislerini desteklemektedir [4]. Ses ve veri sağlayıcılarına servis olanakları için zengin seçenekler sağlamaktadır. Kablosuz geniş bant bağlantı ve çözümlerinin geniş seçimi için kullanılabilir [7].

IEEE 802.16 tabanlı bazı ağ uygulamaları aşağıda şekilde gibidir.

- Hücresel olarak uzak noktalardan merkeze veri aktarımı : IEEE 802.16 kablosuz teknolojisi -yüksek hızda kablosuz internet bağlantısı bulunan alanlara sabit bant genişliği ile uzak noktalardan merkeze veri aktarımı uygulamalarında

olduğu gibi- ticari kuruluşların merkeze veri aktarımı için de mükemmel seçenek sunmaktadır.

- Yüksek bant genişliği : IEEE 802.16 kablosuz teknolojisi bölgenin yapısına bağlı olarak kırsalda 50, şehir içinde 10 kilometreye kadar ulaşan yüksek menzili oluşturmaktadır. Wimax maksimum 70 Mbps hızında internet erişimi sunmaktadır. Bu değer, tam kapasiteyle çalışan 1200'den fazla çevirmeli ağ kullanıcılarının veya 250'den fazla 256Kbps ADSL kullanıcılarının ihtiyaç duyacağı bant genişliğinin tek bir Wimax bağlantısıyla sağlanabileceği anlamına gelmektedir[8].
- Ulaşılabilen Alanlar : Birçok kırsal alanla özellikle gelişmekte olan ülkelerde kablolu altyapı bulunmamaktadır. IEEE 802.16 sabit CPE ve yüksek kazançlı antenler kullanarak iletişim servisleri için çok iyi sonuçlar sağlayabilmektedir.
- Her zaman en iyi bağlantı : IEEE 802.16e hareketliliği desteklemekte [9] ve mobil kullanıcı iş alanlarında akıllı telefon, paket PC, PDA gibi IEEE 802.16 Wimax'i destekleyen el cihazlarıyla yüksek hızda erişim sağlayabilmektedirler.

2.4. Wimax Forum

Wimax forum; IEEE 802.16 ve ETSI HiperMAN kablosuz teknolojilerde telekomünikasyon donanımlarını, üreticilerin parçalarını ve servis sağlayıcıları bir araya getirerek kablosuz geniş bant ürünlerin birlikte çalışabilirliğini ve uyumluluğunu sertifikalandırmaktan sorumludur[8]. Wimax sertifikalı ürünlerin diğer Wimax sertifikalı ürünlerle uyum içinde çalıştığı kanıtlanmıştır[11]. Wimax forum laboratuvarları İşpanya, Kore ve Çin'de kurulmuştur. Wimax forum sistem profillerini bu standardın içinde bulunan bazı özelliklerle belirlemektedir[12]. Wimax forum farklı erişim tipleri sağlayan IEEE 802.16standardının iki sürümü ile uyumludur:

Sabit/Taşınabilir Erişim: Wimax forum sabit ve taşınabilir erişim için IEEE802.16-2004 ve ETSI HiperMAN standardı ile uyumludur[10]. LOS ve NLOS ortamlarında OFDM'yi desteklemektedir. Sabit erişim için hem içeri hem de dışarı Wimax donanımlarında kullanılabilir. 3.5 GHz ve 5.8 GHz frekans bantlarında çalışabilmektedir.

Hareketli Erişim : Standardın 802.16e sürümü ile desteklenmekte ve ölçeklenebilir OFDM kullanmaktadır[10]. 802.16e tabanlı sürümler sabit erişimi desteklemektedir. Hareketli Wimax 5, 7, 8.75 ve 10 MHz kanal bant genişliği için lisanslı 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz ve 3.5 GHz bantlarını kullanmaktadır[13].

BÖLÜM 3. IEEE 802.16 PROTOKOL KATMANLARI

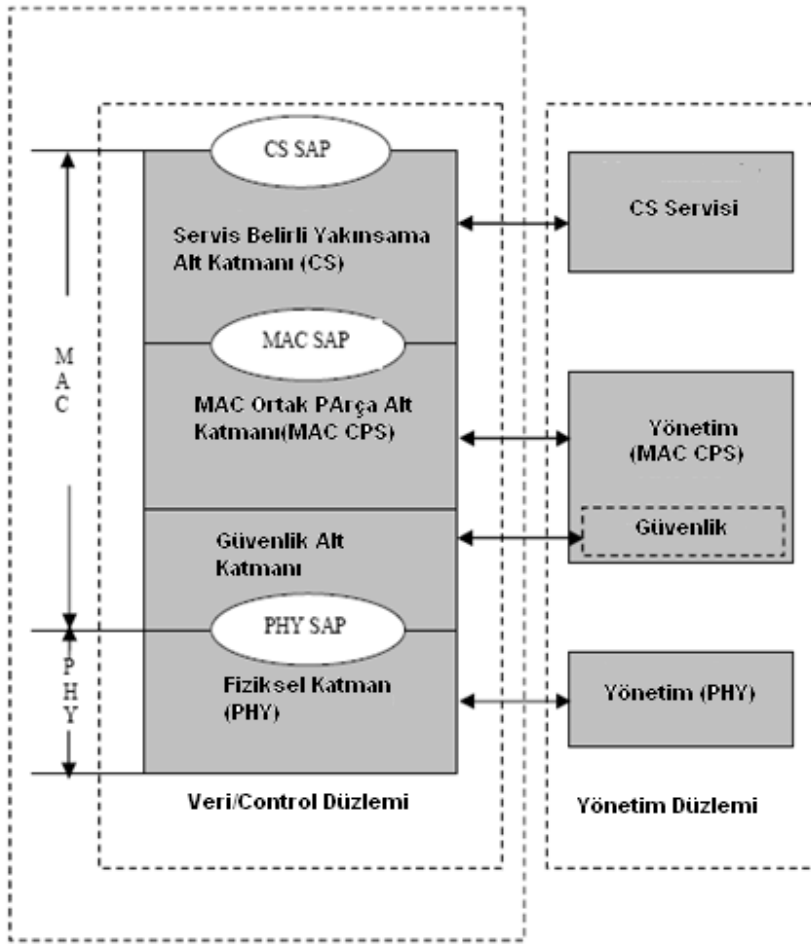
Wimax teknolojisi, MAC (Medium Access Control) ve PHY (Physical Layer) katmanlarını içermektedir. Bu nedenle OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) tabanlı fiziksel katmanın çalışma prensibiyle fiziksel katmanın detaylandırılması önem arz etmektedir.

3.1. MAC (Medium Access Control) Katmanı

IEEE 802.16 MAC katmanı 802.16 PHY (Physical Layer) katmanına orta bir bağımsız arabirim sağlamaktan sorumludur [9]. MAC katmanı Şekil 3.1.'de görülen alt katmanlardan oluşmaktadır.

- Servis Belirli Yakınsama Alt Katmanı CS (Convergence Sublayer)
- MAC ortak Bölüm Alt Katmanı CPS (Common Part Sublayer)
- Gizlilik Alt Katmanı

MAC CS veriyi SAP' tan alır ve dönüşümünü sağlayarak MAC SDU' da haritalandırır. 802.16 MAC tarafından tanımlanan yakınsama alt katmanlarının belirli servislerinin iki tipi tanımlanır. Ethernet, IPUG, IPU4 gibi servislere dayanan paket haritaları için tanımlanan paket yakınsama alt katmanı ve ATM servisleri için tanımlanan ATM yakınsama alt katmanıdır [9]. Böylece çoklu CS özellikleri çeşitli protokollerle ara yüz için uyum sağlayabilmektedir.



Şekil 3.1. IEEE 802.16 Protokol Yığıcı

MAC CPS; MAC katmanının çekirdek parçasıdır ve orta erişim metodu olarak tanımlanmaktadır. CPS çift yönlü, kanal oluşturma, kanal erişimi, PDU çerçeveleme, network girişi ve başlangıç durumuna getirmeye dair pek çok fonksiyon sağlamaktadır. Bu bağlantının onarılması bant genişliğini paylaşır. Sistem erişimi için düzen ve kurallar sağlar. MAC CPS' de yapılan iletim şekilleri için QoS belirlenir.

802.16 MAC bağlantı tabanlıdır her bir kullanıcı istasyonu 48 bit MAC adresine sahiptir. Buna karşın bu MAC adresleri 16 bit tanıttıcı bağlantı ile referansları bağlantılar gibi tanıttıcı donanım elemanı olarak sadece servis sağlamaktadır.

Gizlilik katmanı MAC CPS ve fiziksel katman arasında uzanmaktadır. Güvenlik genel ağlar için temel bir sorundur. Bu alt katman güvenlik anahtarı değişimi ve kimlik tanıma için kullanılmaktadır. Fiziksel katman' dan veri transferi kod çözümü ve kodlama için mekanizma sağlamaktadır. Veri fiziksel katman kontrol istatistikleri MAC CPS ve PHY SAP boyunca fiziksel katman arasında transfer edilmektedir [7].

3.1.1. Bir MAC protokol veri ünitesi

Dönüşel artıklık denetimi (CRC) için bir seçimli alan bir değişken uzunluğunda yük taşıyan sabit bir uzunluktaki başlıktan meydana gelen MAC PDU' nun maksimum uzunluğu 2048 bayttır.

MAC başlığının iki tipi vardır. MAC mesajları veya veri iletimine kullanılan kapsamlı başlık ve UL üzerinde çok fazla bant genişliği isteğine alıcı istasyon tarafından kullanılan bant genişliği istek başlığıdır.

MAC aH başlıklarının 3 tipi vardır. Yönetime ayrılan alt başlıklar BS' ye ihtiyaç olan bant genişliği yönetimi taşımaktadır. Parçalanma alt başlıkları taşınan yükteki servis veri ünitesinin hiç bir parçasının yönlendirilmesi ve hazır bulunduğunu belirtir. Paketleme alt başlıkları bir tekli PDU içine çoklu SDU' ların paketlenildiğini gösterir.

3.1.2. MAC bağlantı tipleri

802.16 MAC BS ve SS arasında kontrol mesajlarını değiştiren MAC yönetim bağlantıları tanımlanır. Bu bağlantılar farklı yönetim seviyelerine ihtiyaç duyan farklı servis kalitesi ihtiyaçlarını belirtir. Temel bağlantı Radyo bağlantı kontrolü ve MAC kritik – zaman kısa bir transferdir. Birincil yönetim bağlantısı kurulum bağlantısı ve kimlik denetimini dair gecikme tolerans mesajları ve uzun transferdir. İkinci yönetim bağlantısı DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol) ve SNMP (Simple Network Management Protocol) gibi transfer standardı tabanlı mesajlar kullanılır.

3.2. Fiziksel Katman

IEEE 802.16 standardı modüler yapısından dolayı birçok fiziksel belirtimi desteklemektedir. Standardın ilk versiyonu tek taşıyıcılı modülasyonu desteklemektedirken sonra OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ve ölçeklenebilir OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) ile taşınabilirlik ve NLOS (Non Line of Sight) ortamlarındaki uygulamaları da desteklemektedir. Standart önce 10-66 GHz bant aralığını kullanmaktayken şimdi 11 GHz bant genişliğinin altını desteklemektedir.

3.2.1. Fiziksel katman desteklediği frekans bantları

Fiziksel katmanı farklı frekans aralıklarının uyum sağlayabilen standartları ile ilgili özellikler içermektedir. Fiziksel katmanının esnekliği sistem düzenlerinin isteklerine göre düzenlenmesini sağlamaktadır. Fiziksel katman bazı seçimli ve temel özellikleri içermektedir [10].

Daha önce 10-66 GHz frekans bandı gerektirirken şimdi 11 GHz'in altını da kullanmaktadır. Wimax fiziksel katmanı tanımlaması NLOS ortamında 2-11 GHz ve LOS ortamında 10-66 GHz bant genişliği göz önüne alınarak standartlaştırılmıştır.

10-66 GHz Lisanslı Bant : LOS yayılması, zarar gören sinyali keskin zayıflaması modem sadece yüksek frekansta mümkündür. Bu bant için hava arabirimi Wireless MAN SC olarak adlandırılır. Wimax sistemlerinde tek noktadan çok noktaya mimarisinden dolayı, baz istasyonu bir TDM sinyali iletir. Abone istasyonlar seri olarak zaman bölümler oluşturur. Hem TDD hem de FDD'den destek sağlanır. Yarı çift yönlü FDD kullanıcıları uyum sağlayabilirler. TDD ve FDD çift yönlü desteği dünya üzerindeki çeşitli kurallarda adreslenmektedir [4].

2-11 GHz Lisanslı-Lisanssız Bant : IEEE 802.16a'da hem lisanslı hem de lisanssız belirlenmektedir. 2-11 GHz düzenlenmesi NLOS şartları için kullanılmaktadır. Bu bantta hava ara yüzünün Wireless MAN SC2, Wireless MAN OFDM, Wireless MAN OFDMA olmak üzere hava ara yüzünün üç tipi desteklenmektedir [14].

3.2.2. Fiziksel katman arayüz biçimleri

IEEE 802.16-2004 ve 802.16e-2005 standartlarına dayanan Wimax'in fiziksel katmanı özellikle IEEE 802.11a; WiFi'de çok fazla etkilenecek şekilde düzenlemiştir. Bu iki teknolojinin amaç ve uygulamalarında farklılıklar olmasına karşın bazı yapıları çok benzerdir. WiFi gibi Wimax'te LOS şartları için uygun modülasyon erişim tekniklerinden OFDM'ye dayanmaktadır. Buna karşın Wimax fiziksel katmanının da, alt taşıyıcı sayısı, rehber vb. koruma gibi çeşitli parametreleri WiFi'den oldukça farklıdır. [IEEE 802.16-2004/IEEE 802.16e-2005] IEEE 802.16 standart grubu fiziksel katmanı beş kapsamda tanımlamaktadır. Bu kapsamlardan herhangi biri geniş bant kablosuz sistem için geliştirilen MAC katmanında kullanılabilir [4].

- WirelessMAN-SCTM : PHY katman tek taşıyıcılı modülasyonu desteklemektedir. LOS (Line of Sight) şartlarında 10-66 GHz arasındaki frekanslar için tanımlanmaktadır. Çoklama yöntemi olarak TDD (Time division Duplexing) ve FDD (Frequency Division Duplexing) kullanılmakta ve ayrı kanallar üzerinde Uplink (Dünyadan Uyduya Bağlantı) ve Downlink (Uydudan Dünyaya Bağlantı) yapılmasına izin vermektedir[14].
- WirelessMAN-SCaTM : Tek taşıyıcılı modülasyonu desteklenmektedir. 2-11 GHz arasındaki frekans için tanımlanmaktadır. NLOS (Non Line of Sight) şartları için tanımlanmaktadır. Çoklama yöntemi olarak TDD ve FDD kullanılmaktadır.
- WirelessMAN-OFDMTM : 256 noktalı dönüşümlü OFDM kullanılır. Erişim TDMA (Time Division Multiple Access) yoluyla. NLOS (Non Line of Sight) şartları için tanımlanmaktadır.
- WirelessMAN-OFDMATM : 2048 noktalı dönüşümlü OFDM kullanılır. 2-11 GHz arasındaki frekans için tanımlanmaktadır. Çoklama yöntemi olarak TDD ve FDD kullanılmaktadır.

- WirelessMAN-HUMAN™ : 11 GHz altında lisansız bantları desteklemektedir. TDD çoğullama tekniğini kullanmaktadır.

Bu kapsam özellikleri Tablo 3.1.' de görülmektedir.

Tablo 3.1. Hava Ara Yüzü İsimleri ve Tanımı [5]

	Uygulama Bandı	Çoklama Yöntemi	Özellik
WirelessMAN-SC™	10-66 GHz	TDD, FDD	Tek Taşıyıcı
WirelessMAN-SCa™	2-11 GHz Lisanslı Bant	TDD, FDD	NLOS için Tek Taşıyıcı
WirelessMAN-OFDM™	2-11 GHz Lisanslı Bant	TDD, FDD	NLOS için OFDM
WirelessMAN-OFDMA™	2-11 GHz Lisanslı Bant	TDD, FDD	OFDM alt grupları ile tek frekans bandında çoklu iletişim sağlar
WirelessMAN-HUMAN™	2-11 GHz Lisanssız Bant	TDD	Dinamik frekans seçici ara yüz içerir

3.2.3. Fiziksel katman işleyiş biçimleri

Wimax fiziksel katmanının sağladığı esnek kanal bant genişliği, gelişmiş anten teknikleri, uyarlamalı modülasyon, ileri hata düzeltme teknikleri ve dik frekans bölümlenmeli modülasyon (OFDM) açıklanmaktadır.

3.2.3.1. Esnek kanal bant genişliği

Wimax fiziksel katmanı tarafından desteklenen esnek kanal genişliği dünya üzerinde yayılmayı sağlamaktadır. Yetkili makamlar tarafından izin verilen çalışma frekansı

ülkeden ülkeye değer kazanmakta ve maksimum verimlilikle spektrumun kullanılabilirliğini sağlamaktadır. Kanal bant genişliği 1.25, 1.5, 1.75, 2, 2.75 ve maksimum 20 MHZ'a kadar değerlerde olabilmektedir [4]. Fakat Wimax forum farklı üreticilerin ürünleri arasındaki birlikte işlerliği sağlayabilmek için birkaç olasılıkla büyük bant genişliklerini başlangıçta daraltmaktadır [15].

3.2.3.2. Gelişmiş anten teknikleri

Wimax fiziksel katmanı uyarlamalı anten sisteminin kullanılmasını desteklemektedir. Akıllı antenler veya çok farklı anten sistemlerinin kullanılmasıyla tanımlanabilmektedir. Farklı teknikler çoklu yol kayıplarının etkisinin küçültmesi ve sinyal için alternatif yollar sağlayan verici veya alıcılarda çoklu antenler çalıştırılmaktadır. Akıllı antenler yaklaşık kontrol edilebilir ışının genişliği, yolu, açısındaki yönetim mekanizmaları ve ışın formatlarında kullanılmaktadır Bu sistem kapasitesinin yükselmesi ve istenmeyen girişimlerin engellenmesini sağlamaktadır [15].

3.2.3.3. Uyarlamalı modülasyon

Uyarlamalı modülasyon iyi şekilde tasarlanmış bir Wimax sisteme izin vermektedir. Kullanılan uyarlamalı modülasyon şeması Wimax sistemi kanal şartlarının iyi olmasını sağlayan en yüksek modülasyon düzenini seçebilmektedir. SNR (Signal to Noise Ratio) deki gibi BS (Base Station)' ye yakın olmak çok iyidir bu yüzden daha yüksek modülasyon düzen şeması üretilen için bu alanda yükseltilmesi için kullanılmaktadır. Buna karşın kapalı alanlarda hücre sınırı SNR' yı düşürmektedir. Bu nedenle sistem adımları bağlantı kararlılığı ve iletişim kalitesi için daha düşük modülasyon şeması kullanılır. Desteklenen modülasyon oranları BPSK, QPSK 16QAM ve 64QAM'dır [16]. Fiziksel Katman da DL ve UL olarak her bir aboneye seçici paylaşılabilen kodlama hızı ve modülasyonun Tablo 3.2. 'de verilen 7 kombinasyonu belirlenir.

Tablo 3.2. Modülasyon Aracılığıyla Kanal Kodlama

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

3.2.3.4. İleri hata düzeltme teknikleri

İletişim sürecinde, bilginin alıcı ve verici arasında aktarımı gerçekleştirirken, iletim ortamında oluşan kayıplar ve gürültünün etkisiyle, gönderilen veri ile alınan veri arasında hata denilen farklar oluşmaktadır. Kanala ya da gürültüye etki edebilmek günümüz koşullarında olası bir durum olmadığından, bu hataları önlemek de mümkün olmamaktadır [17]. İletişim sistemlerinde güvenilirliği sağlamak ve alıcıdaki doğru algılama oranını artırmak için hata düzeltme kodlamasından yararlanılmaktadır [18].

Hata düzeltme teknikleri Wimax teknolojisinin anahtar özelliğidir. Hatalar, kullanılan FEC (Forward Error Correction) - Reed- Solomon, Katlamalı Kodlayıcı - ile düzeltilir. [7].

- Reed-Solomon Kodlayıcı : Veri gönderilirken hata düzeltimi yapılması gönderilen veriye fazladan veri ekleyerek gerçekleştirilir. Bunun içinde önceden belirlenmiş algoritmalar kullanılmaktadır. Amaç hataları tespit etmek ve onları düzeltmektir. Ancak hataların düzeltimi kayıp ya da zarar görmüş paketin tekrar

oluşturulması demektir ve önemli olan unsur paket düzeltimi derecesi ve bu işlemin performansıdır. Reed-Solomon paket düzeyinde gönderimde hata düzeltimi kodudur [25].

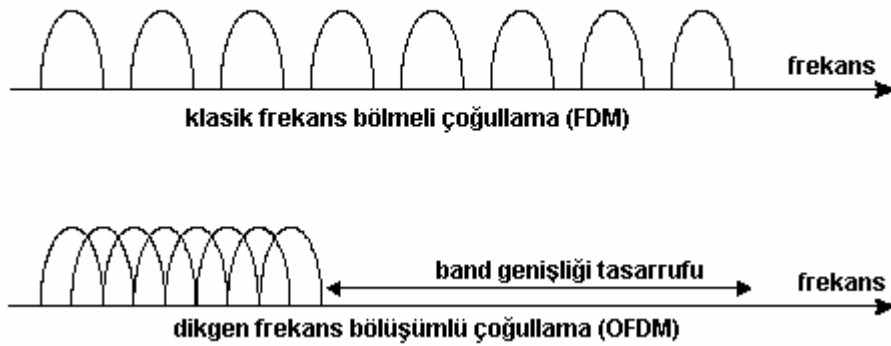
RS Kodlar ikili olmayan BCH kodlarının alt sınıflarından bir tanesidir. Ard arda gelen bit hatalarını ve silinmiş bitleri düzeltmek için kullanılmaktadır. İletimi gerçekleştirecek mesaj bitlerinin belirli sayıda ve sembol olarak adlandırılan gruplar şeklinde alınıp, bu sembollere kontrol sembollerinin eklenmesiyle oluşturulurlar. Genelde mesaj sembollerinin sayısı n , her semboldeki bit sayısı m , bu şekilde tanımlanan kodlarda $RS(n,k)$ ile gösterilmektedir. RS kodlama m -bit sembolde ard arda gelen bitlerde oluşan hataların düzeltilmesinde etkili bir yöntem olup, çoğunlukla da bu amaç için kullanılmaktadır. Ancak tek bit hatalarını da düzeltebilirler. Hatalı bir sembolün düzeltilmesiyle o semboldeki bütün hatalı olarak iletilen bitler düzeltilmiş olmaktadır [17].

- Katlamalı Kodlayıcı : Katlamalı kodlar, ikili hata düzeltme kodları şeklinde 1955 yılında Elias tarafından gerçekleştirilmiştir [27]. Elias, kablosuz haberleşmede (IMT-2000, GSM, IS-95), sayısal karasal ve uydu haberleşmesinde, yayın sistemlerinde ve uzay haberleşme sistemleri gibi daha birçok alanda kullanılan katlamalı kodları, katlamalı eşlik denetim sembol kodları olarak tanımlamıştır [18].

Katlamalı kodlar bellek elemanı kullanımı bakımından periyodik kodlara benzemektedir. Fakat periyodik kodlar blok kodlardır ve kod uzunlukları belirlidir. Katlamalı kodlar ise giriş bit dizisinin sürekli olarak kodlandığı için sabit kod uzunluğuna sahip değildirler. Diğer bir farklılık ise periyodik kodlar lineer bir sistem olarak düşünülebilir, tek girişli ve tek çıkışlı bir sistem olarak karakterize edilebilirler. Katlamalı kodlayıcılar ise çok girişli ve çok çıkışlı sistemlerdir [26].

3.2.3.5. Dik frekans bölümlmeli modülasyon (OFDM)

Frekans Bölümlü Çoğullama (FDM), frekans seçimli kanallarda sinyal iletimi için yaygın bir şekilde kullanılan tekniktir. Temel olarak bu teknikte, kanal bant genişliği bölünerek her bir taşıyıcı için tahsis edilmiş frekanslarda düşük hızlardaki taşıyıcıların çoğullanması sağlanır. Alıcıda sinyalleri birbirinden ayırmak için taşıyıcı frekans boşluklarının birbiri üzerine binmemesi gerekmektedir. Bu zorunluluk, frekans spektrumundan tam olarak verim alınmasını engellemektedir. Bant genişliğinden daha fazla yararlanmak için dikgen frekans bölümlü çoğullama tekniği (OFDM) çıkarılmıştır [19]. İlk olarak yüksek frekanslı askeri uygulamalarda kullanılan bu teknik 1971 yılında Weinstein ve Ebert tarafından önerilmiştir [20].

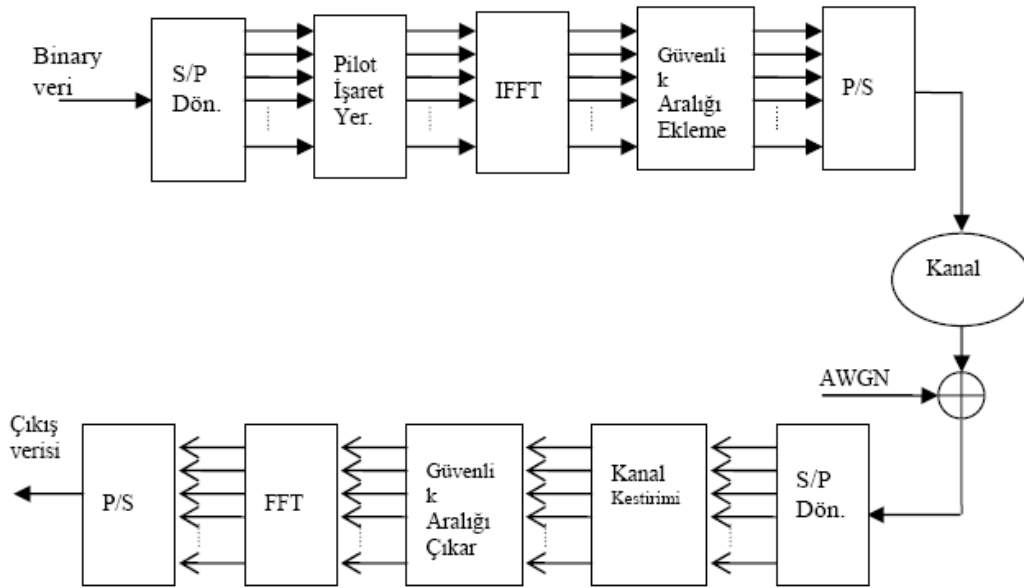


Şekil 3.2. FDM-OFDM Karşılaştırması[19]

Şekil 3.2’de klasik bir FDM sisteminde OFDM sisteminde kanalların yerleşimi gösterilmektedir [20]. OFDM ile FDM arasındaki en temel fark; FDM’de çok taşıyıcı bulunmasına karşın bunlar birbirine dik değil fakat OFDM sisteminde taşıyıcı spektrumları birbiri üzerine binmekte ve bu taşıyıcıların birbirlerine dikgen olması sayesinde spektral verimlilik elde edilmektedir[19]. OFDM, genel olarak veri akışını düşük hızlı alt taşıyıcılara bölerek paralel kanallarda ileten bir modülasyon ve çoğullama tekniğidir. Bu alt taşıyıcılar, mevcut bant genişliğini böler ve her bir taşıyıcı için yeterli bir şekilde frekans ayrılarak bu alt taşıyıcıların dikgen olması sağlanır. Taşıyıcılar arasındaki dikgenliğin anlamı; her bir taşıyıcının bir sembol periyodu üzerinde tam sayı periyotlara sahip olmasıdır. Bu sayede her bir taşıyıcının spektrumu, sistemdeki diğer taşıyıcıların her birinin merkez frekansında bir sıfıra

sahip olacaktır. Bunun sonucunda taşıyıcılar arasında spektral olarak üst üste binme olmasına rağmen herhangi bir girişim meydana gelmeyecektir [20]. Taşıyıcılar arasındaki bu ayrıklık teorik olarak minimum olacak ve çok iyi bir şekilde spektral verimlilik sağlanacaktır. OFDM sistemleri, kablosuz ortamlarda genellikle frekans seçimli çoklu yol tarafından oluşturulan semboller arası girişim (ISI) problemine karşı da kullanılan bir tekniktir. Her bir alt taşıyıcı sembolü, kanal darbe cevabından daha uzun oluşturularak düşük veri hızlarında modüle edilir. Bu yolla ISI azaltılabilir. Bunun için en uygun yöntem, art arda gelen OFDM çerçeveleri arasına koruma aralığı (CP) - kanal gecikmesinden büyük olacak şekilde seçilerek- eklenerek ISI etkisi tamamen ortadan kaldırılır [19]. Bu koruma aralığı her biri farklı sembollerle modüle edilmiş alt taşıyıcıları birbirinden ayırarak iletimin sorunsuz gerçekleşmesini sağlayacak fakat bant genişliğinin verimli kullanılmamasına neden olacaktır.

Her bir alt taşıyıcı düşük veri hızlarında çalışmasına rağmen, fazla miktarda alt taşıyıcı kullanılarak toplamda yüksek veri hızları elde edilebilir. Semboller arası girişim etkisi (ISI), çok küçük ya da OFDM sisteminin çalışmasını etkilemeyecek yapıda olmalı ve bu sayede alıcı tarafta bir dengeleyiciye gerek duyulmaması gerekmektedir. Bir OFDM sisteminin temel olarak blok diyagramı Şekil 3.3'deki gibidir:



Şekil 3.3. OFDM sistemine ait blok diyagram[20]

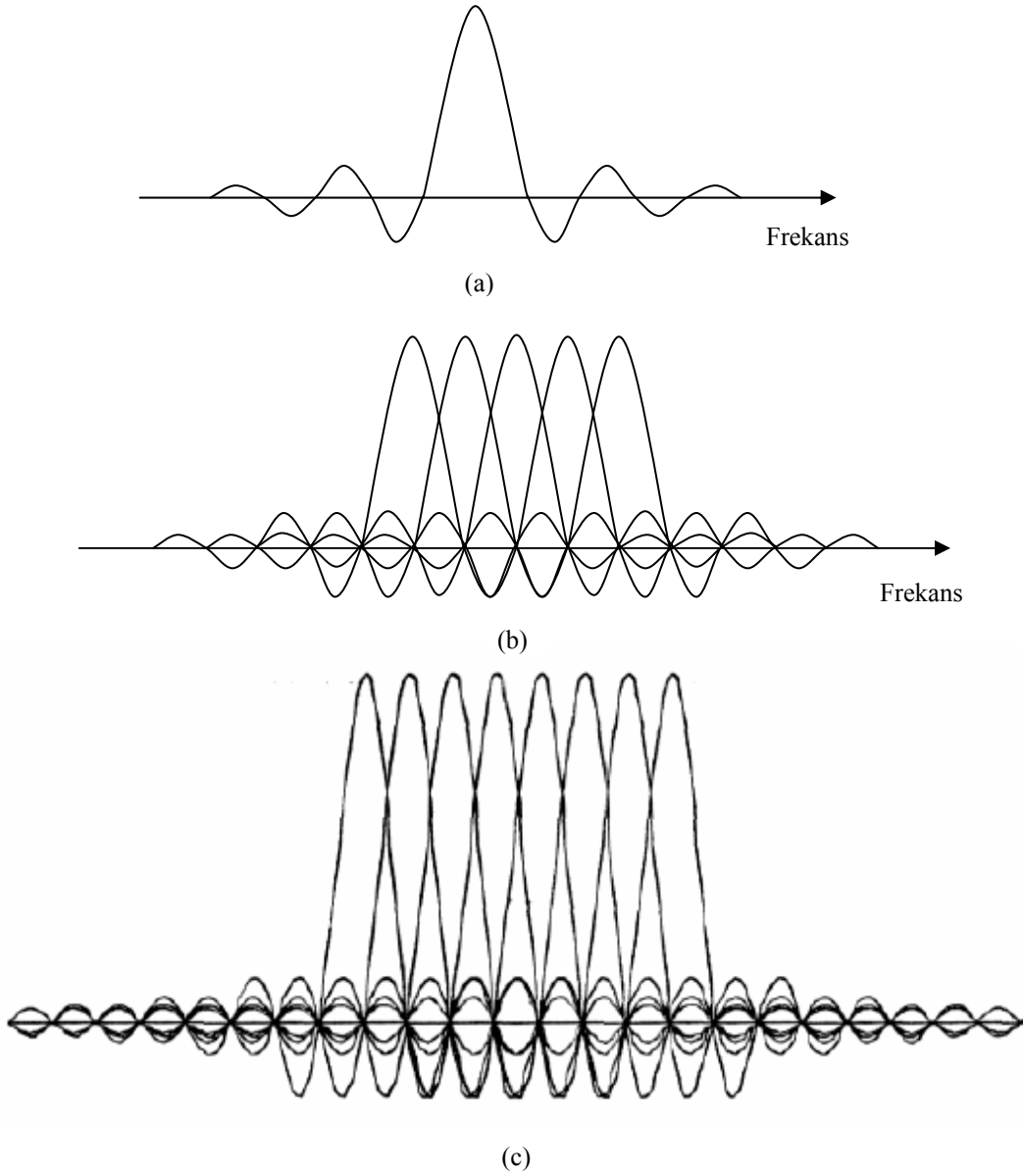
OFDM, giriş verisine ve kullanılan modülasyon işlemine bağlı olarak gereken spektrum seçilerek meydana getirilir. Ve kanalda meydana gelebilecek bozulmalara karşı kanal kodlaması ve serpiştirme yapılır. Üretilecek her bir taşıyıcı, iletim için tahsis edilir. Gerekli olan taşıyıcı ve genlik fazı, modülasyon işlemine (tipik olarak BPSK, QPSK veya QAM) bağlı olarak hesaplanır. Daha sonrasında IFFT, bu spektrumunu zaman domeni sinyaline çevirir. FFT, periyodik zaman domeni sinyalini kendisinin karşılığı olan frekans spektrumunu sinyaline dönüştürür. Karşılık dalga şeklini bularak dikgen sinozoidal parçaların toplamı bulunur. Sinozoidal parçaların genlik ve fazı, zaman domeni sinyalinin frekans spektrumunu gösterir.

OFDM de ters ayırık fourier dönüşümü kullanılmakta ve bu sayısal işaret işleme tekniği sayesinde sistemdeki alt taşıyıcıların bir birilerine dikgen olması sağlanmaktadır.[19]

OFDM sistemlerinde ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) ya da hızlı Fourier dönüşüm (FFT) algoritmaları, sinyalin modülasyonu ve demodülasyonunda kullanılır. IFFT/FFT vektörünün boyutu, çoklu yol kanalı tarafından ortaya çıkarılan hatalara karşı sistemin direncini belirler [19]. Bu vektörün zaman aralığı, alınan çoklu yol sinyalindeki yankılanmaların maksimum gecikmesinden daha büyük olarak seçilmelidir.

Alt Taşıyıcıların Üretilmesi : OFDM tekniğinde alt taşıyıcıların birbirine dik olacak şekilde üst üste bindirilmesi işlemi Ayırık Fourier Dönüşümü (DFT) kullanarak gerçekleştirilebilir. 1971 yılında Weinstein ve Ebert modülasyon ve demodülasyon işleminin bir parçası olarak paralel bilgi iletim sistemlerine Ayırık Fourier Dönüşümünü (DFT) uygulamıştır [20]. Şekil 3.4. (a) alt taşıyıcıya ait bilginin spektrumunu (b) ise her alt taşıyıcının iletim hızına eşit frekans aralıklı müstakil spektrum içindeki OFDM işaretini göstermektedir. Şekil 3.3. her bir alt taşıyıcının frekans merkezinde başka kanallardan çapraz girişim olmadığını göstermektedir. Bu nedenle alıcıda DFT kullanırsak ve her bir alt taşıyıcının merkez frekansında ilintisini hesaplırsak çapraz girişim olmadan iletilen bilgiyi tekrar elde edilebilir. Buna ek olarak DFT tabanlı çok taşıyıcı tekniğini kullanarak frekans bölmeli

çoğullama sadece bant geçiren süzme ile değil aynı zamanda temel bant işlemi ile elde edilir [21].



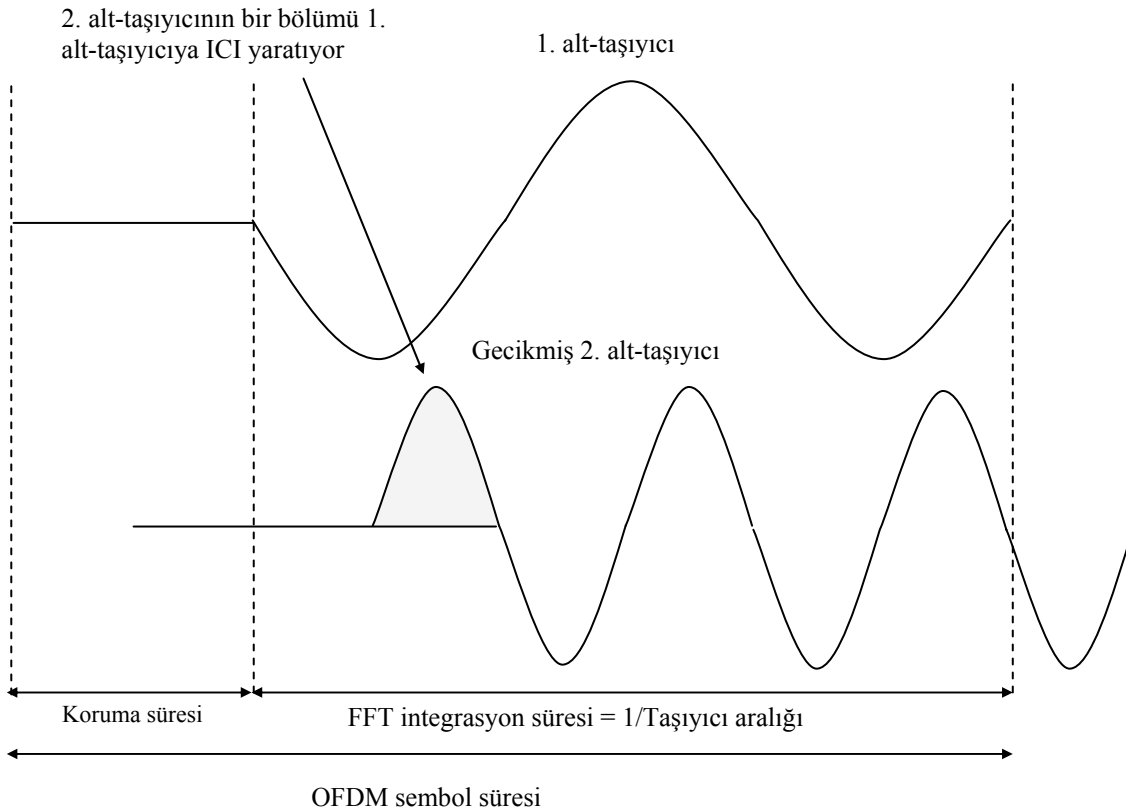
Şekil 3.4. (a) Bir OFDM Alt Kanalının Spektrumu (b) Bir OFDM Sinyalinin Spektrumu
 (c) Alt taşıyıcılı bir OFDM işaret tayfi

Bir FDM sistemde taşıyıcıların her biri bir osilatör yardımı ile üretilmektedirler. Ancak OFDM' de bu işlemi tek bir IFFT kullanarak gerçekleştirebiliriz [22].

Yukarıdaki Şekil 3.4. (c)' de 8 alt taşıyıcılı bir OFDM işaretin spektrumu göstermektedir. IFFT ile her bir alt taşıyıcının maksimum noktalarına gelen spektrum değerleri hesaplanır. IFFT her bir alt taşıyıcıyı diğer alt taşıyıcılardan etkilenmeyecek şekilde modüle edebilir[20].

Her taşıyıcının tepe noktasında diğer taşıyıcılara ait bileşenler “sıfır” değerini alır. Bu da taşıyıcıların birbirine dik olduğunu gösterir. İşaretlerin alıcı tarafta demodüle edilmesi sırasında FFT (Fast Fourier Transform) kullanılır. FFT uygulaması IFFT işleminin tersini yaparak modüle etmiş olduğumuz işareti tekrar elde etmemizi sağlar [7].

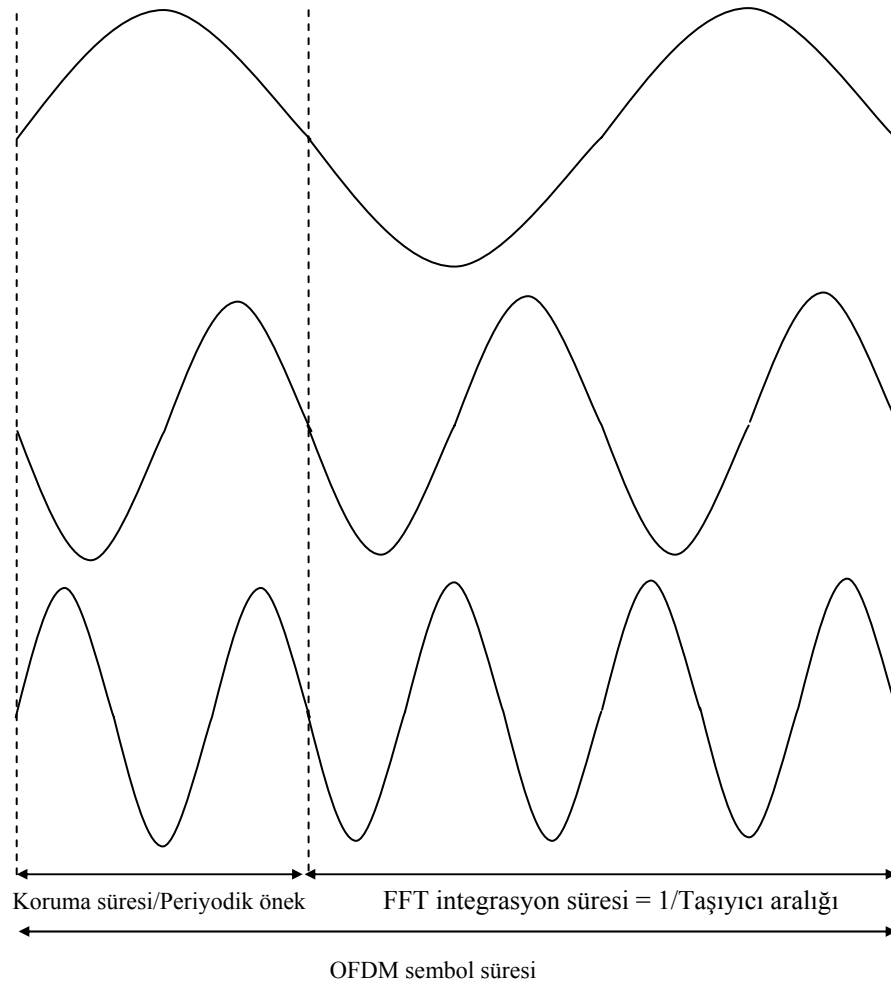
Koruma Süresi ve Periyodik İlaveler: OFDM yönteminin kullanılmasının en önemli nedeni çok yollu gecikme yayılımıdır. Giriş dizisini N_s adet alt-taşıyıcıya bölerek sembol süresi N_s defa küçültülmüş olur bu da sembol süresine göre çok-yollu gecikme yayılımını azaltır. Semboller-arası bozulmayı (ISI) tamamen ortadan kaldırmak için OFDM sembolüne koruma aralığı eklenip, koruma aralığı beklenen en uzun gecikme yayılımından daha büyük seçilmelidir. Böylece bir önceki sembolün bir sonraki sembole karışması önlenir. Koruma aralığında hiçbir sinyal olmazsa taşıyıcılar-arası bozulma (ICI) ortaya çıkar. ICI alt-taşıyıcılar arasında oluşan ve hiç bir şekilde dik olmayan hat karışmasıdır. Bu etki Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Koruma Süresi Boyunca Hiç Bir Sinyal Olmamasının Çok Yollu Ortamlardaki Etkisi

Burada 1. alt-taşıyıcı ve gecikmiş 2. alt-taşıyıcı gösterilmektedir. OFDM alıcısı 1. alt-taşıyıcıyı demodüle etmeye çalıştığında, 2. alt-taşıyıcının gecikmiş olmasından dolayı bir bozulmayla karşılaşacaktır. Aynı sebepten dolayı 1. alt-taşıyıcı 2. alt-taşıyıcıda bir çakışmaya sebebiyet verecektir.

ICI'ı ortadan kaldırmak için koruma aralığı boyunca OFDM sembolü Şekil 3.6'da gösterildiği gibi periyodik olarak tekrarlanır. Bu, gecikme süresi koruma aralığından küçük olduğu sürece, OFDM sembolünün gecikmiş benzerinin FFT zaman aralığındaki tekrarları hep tam sayılı olacağını garanti eder. Sonuç olarak, çok-yollu sinyallerde koruma aralığı küçük olan gecikmeler ICI'a sebebiyet vermezler.



Şekil 3.6. Periyodik Önekli OFDM Sinyali

Koruma aralığı için periyodik ön ek kullanımı sebepleri;

- Alıcı taşıyıcı senkronizasyonunu sağlamak için uzun bir bekleme yerine bazı sinyaller, daima iletilir yapıda olmalıdır.
- Periyodik konvolüsyon, OFDM sinyali ve iletim sistemi modelinin kanal cevabı arasında uygulanabilir olmalıdır [20].

OFDM sistemlerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki şekildedir.

OFDM Kullanımın Avantajları : OFDM iletişim şekli aşağıdaki avantajlara sahiptir [22].

- Çoklu yol etkisi ile etkili bir şekilde baş edebilen bir tekniktir. Verilen bir gecikme yayılımı için denkleştirici kullanan tek taşıyıcılı bir sisteme göre uygulamadaki karmaşıklığı görünür bir şekilde azaltır.
- Zamanda yavaş değişen kanallarda o özel alt kanalın işaret-gürültü oranına göre alt taşıyıcı başına veri hızını ayarlayarak kapasiteyi artırabilir.
- OFDM dar bant karışmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Çünkü böyle bir girişim alt taşıyıcının sadece küçük bir yüzdesini etkiler.
- OFDM tek - frekans ağları yapmayı mümkün kılar. Bu da özellikle yaygın uygulamaları için çekicidir.
- Alt taşıyıcıların üst üste binmesine izin vererek spektrumun daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar.
- Periyodik ön kullanılarak semboller arası girişimi (ISI) yok eder.
- Uygun bir kanal kodlama ve serpiştirme kullanılarak kanalın frekans seçimliliği yüzünden kaybolan semboller yeniden elde edilebilir.
- Tek taşıyıcılı sistemlerden daha az zamanlama kaymalarına karşı hassastır.

OFDM Kullanımın Dezavantajları :

- OFDM frekans kaymasına ve faz gürültüsüne karşı daha fazla duyarlıdır.
- OFDM göreceli olarak büyük tepeden ortalamaya güç oranına sahiptir. Bu da RF kuvvetlendiricisinin güç etkinliğini azaltır [7].

BÖLÜM 4. MATLAB' TA BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu bölümde Wimax'in fiziksel katman çalışma performansının daha iyi anlaşılması için Matlab 7.0' da iletişim araç çubuğu kullanılarak Fiziksel Katman uygulaması hazırlanmıştır. Fiziksel katmanın bölümleri tanıtarak gerekli değerler verilmiştir.

4.1. OFDM Sembol Parametreleri

Çalışmada tablo 4.1.' de verilen değerler kullanılmıştır.

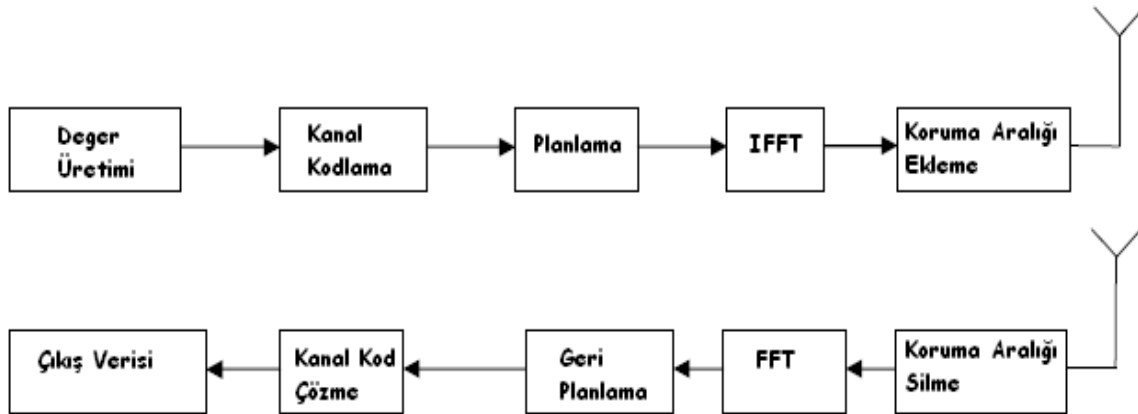
Tablo 4.1. Kullanılan OFDM Parametreleri

Tip	Parametre	Değer
	BW	1.25.....20MHz
	N used	200
	Örnekleme Değeri	8/7
	Koruma Aralığı	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
	N FFT	255
	Fs	Flor(n.BW/8000).8000
	DeltaF	Fs/N _{FFT}
	Tb	1/DeltaF
	Tg	G.Tb
	Ts	Tb+Tg
	Örnekleme Zamanı	Tb/N _{FFT}

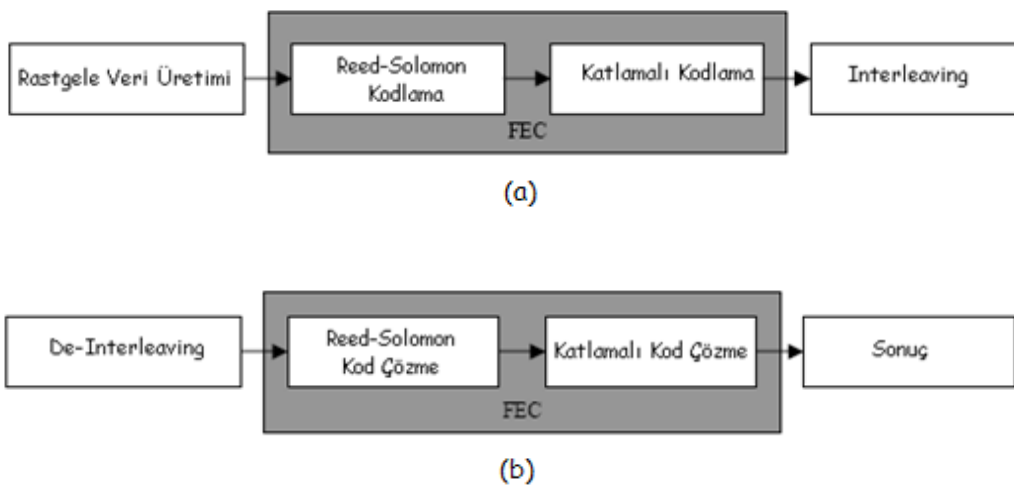
4.2. Fiziksel Katman Kurulumu

Çalışmanın yapısı Şekil 4.1.'de görülmektedir. Bu yapı IEEE 802.16-2004 WirelessMAN OFDM hava ara yüzüne benzemektedir. Düzenek belirtilen zorunlu

özellikleri yerine getirmekte değerleri seçme şansı sunmaktadır. Kanal kodlama bölümü rastgele değer üretimi, ileri hata düzeltme teknikleri ve serpiştirici olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. İleri hata düzeltme teknikleri olarak Reed-Solomon ve Katlamalı kodlama teknikleri kullanılmaktadır. Kodlama ve kod çözme şemaları Şekil 4.2.'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Sistem Düzenegi

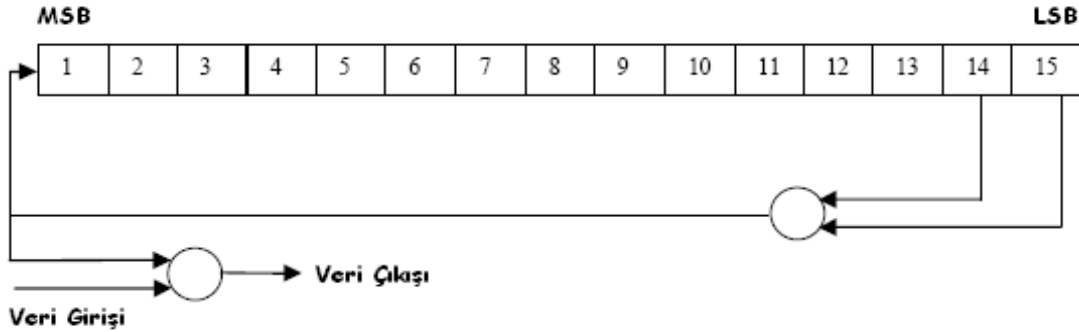


Şekil 4.2. (a)Kanal Kodlama Düzenegi (b) Kanal Kod Çözme Düzenegi

4.2.1. Rastgele değer üretimi (Randomization)

Rastgele değer üretimi giriş verisi devam eden uzun 1 ve 0 dizilerinden kaçınarak pay ayrılan her bir delinmenin üzerinde rastgele veri girişini düzenlemektedir. Bu Şekil 4.3.'de görülen geri beslemeli olarak yapılandırılmış XOR kapısı, ile $1+x^{14}+x^{15}$

bir polinom üretici ve 15 adımlı kaymalı kaydedici kullanılan PRBS (Sözde rastgele İkili Sıra) ile yerine getirilmektedir [5].



Şekil 4.3. Rastgele Değer Üretimi için PRBS

Rastgele değer üretimi için fonksiyon oluşturuldu. Şekil 4.3.'deki PRBS değer üreticisi kullanıldı. 15 bitlik dizide 14. ve 15. bitlere XOR işlemi uygulandı, çıkış değeri 1. bit olarak yazıldı. Birinci bit girilen veri değeri ile XOR işlemi yapıldı ve çıkış verisi elde edildi. Bu şekilde uzun bit dizisi yerine 15 bitlik bir döngü kullanıldı.

4.2.2. Reed-Solomon kodlayıcı

Rastgele üretilmiş veri, kodlayıcıdan geçirilmeden önce blok formatına dönüştürülür. Bir tek 0x00 ilave byte her bir burst'un sonuna eklenir. RS kodlayıcı da GF (2^8) kodu ve RS (N=255, K=239, T=8) kullanılarak kodlama gerçekleştirilir. Kod ve alan değeri üretmek için aşağıdaki polinom kullanılmaktadır.

$$G(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1) \dots (x + \lambda^{2T-1}), \lambda = 02_{\text{HEX}}$$

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad (4.1)$$

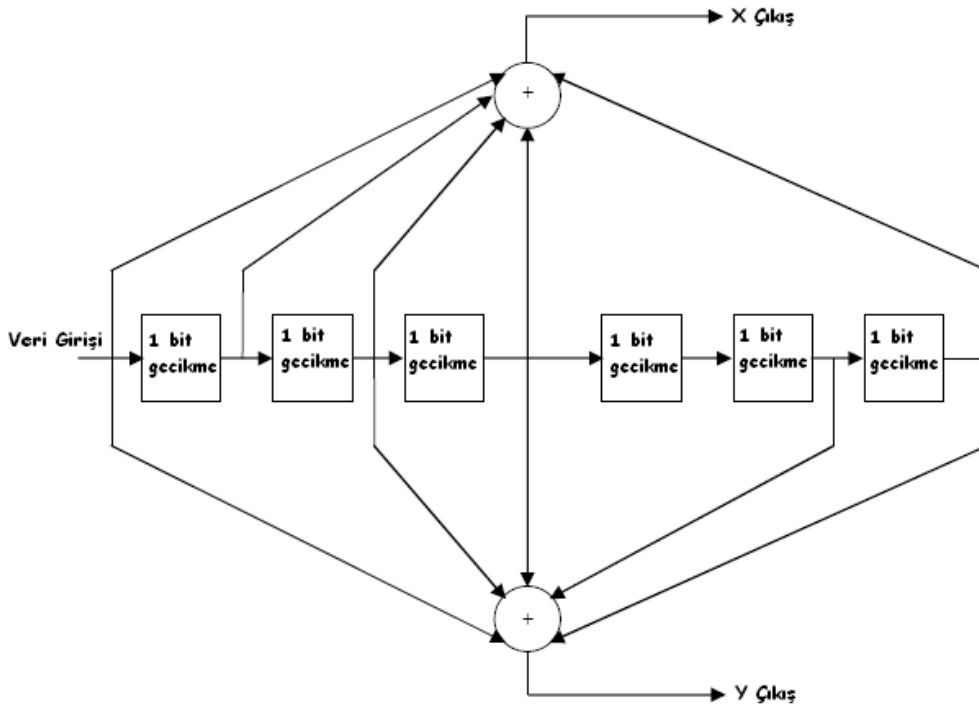
Kodlayıcı değişken hata düzeltme kabiliyetini ve değişken blok genişliklerini kolaylaştırmak için delinme ve kısaltılmayı desteklemektedir. Bir k' baytının kısaltılmış blokları kodlamadan sonra ve veri bloğundan önce 239-k' sıfır byte eklemeyi sağlamaktadır. Delinme T' byte larının doğrulamasına izin vermekte ve 16 parity byte'nın birinci 2T' 'sini tutmaktadır [5].

Matlab' ta iletişim araç çubuğunda Reed Solomon kodlama/kod çözme işlemi için fonksiyon yazıldı. Her bir modülasyon şeması için Tablo 3.2.' de görülen RS kod sütunundaki n, k ve t değerleri kullanılarak, kodlama işlemi için rsenc ve kod çözme için rsdec komutları uygulandı.

4.2.3. Katlamalı kodlayıcı (Convolutional Code)

RS kodlayıcı bloğunun dışından gelen veri katlamalı kodlayıcıya gelmektedir. Bu kodlayıcıyı yerel oran değeri $\frac{1}{2}$, sabit uzunluğu 7' dir. Polinom değerleri aşağıda verilmiştir ve iki kod biti sunmaktadır [5].

$$\begin{aligned} G_1 &= 171_{\text{OCT}} \text{ For X} \\ G_2 &= 133_{\text{OCT}} \text{ For Y} \end{aligned} \quad (4.2)$$



Şekil 4.4. $\frac{1}{2}$ Oranı İçin Katlamalı Kodlayıcı

Bir delinme işlemi değişken kod oranları katlamalı kodlayıcının çıkışında Tablo 4.2. ' ye uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Bu tablo da görülen "1" değeri katlamalı kodlayıcının çıktısı olduğu "0" ise katlamalı kodlayıcının çıktısı olmadığı anlamına gelmektedir.

Tablo 4.2. Katlamalı Kod Oranları

Oran	Dfree	X Çıkış	Y Çıkış	XY(Çıkış)
1/2	10	1	1	X_1Y_1
2/3	6	10	11	$X_1Y_1Y_2$
3/4	5	101	110	$X_1Y_1Y_2X_3$
5/6	4	10101	11010	$X_1Y_1Y_2X_3Y_4X_5$

Matlab' ta iletişim araç çubuğunda Katlamalı Kodlayıcı kodlama/kod çözme işlemi için fonksiyon yazıldı. Reed-Solomon fonksiyonunun çıkış değerinin poly2trellis(7, [133 171]) komutu ile çok terimli kafes yapısı oluşturulur. Convenc komutu ile veri kodlanırken vitdec komutu ile kod çözme işlemi gerçekleştirildi.

4.2.4. Serpiştirici (Interleaving)

Katlamalı kodlar ve blok kodların büyük bir çoğunluğu tek şekilde dağılmış hatalara karşı dayanıklı olup hataların gruplar halinde gelmesi durumunda hata düzeltme kapasiteleri oldukça düşmektedir. Pratikte, özellikle hareketli haberleşmede bayımlardan dolayı oluşan düşük SNR oranları hataların gruplar halinde gelmesine sebep olup, ve kullanılan kodlama türüne göre bitlerin uygun bir şekilde serpiştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bir serpiştirici, önceden belirlenmiş fonksiyonu sayesinde girişinde bulunan giriş dizisindeki bitlerin yerlerini değiştirerek çıkışında giriş dizisiyle olabildiğince ilişkisiz dizi üreten bir devredir. Giriş dizisinde zamanda birbirine yakın olan bitler serpiştiricinin çıkışında birbirinden uzaklaştırılarak giriş dizisiyle çıkış dizisi arasındaki ilişki küçültülmektedir. Genellikle bir serpiştirici hata patlamalarını düzgün dağıtmak için kullanılır. Düzgün dağıtmakta amaçlanan, simge bloklarının haberleşme kanalından iletiminde, bilgi taşıyan simgeleri bozan kanal gürültüsünün yeniden şekillendirilmesidir.

Bu şekillendirme alıcıda hatalı olarak alınan ardışık simgelerin birbirinden serpiştirici sayesinde uzaklaştırılmasıyla yapılmaktadır. Kanal içerisinde gruplar

halinde hatalar oluşacağı dikkate alınır, en mantıklı olanı klasik kodlama tekniklerinde olduğu gibi serpiştiriciyi kanal kodlayıcı ile kanal arasına yerleştirmektir.

RS ve katlamalı kodlayıcı serpiştirici tarafından veri ile denetim bilgisi karıştırılmaktadır. Bu bloğun genişliği bir OFDM sembolünde alt kanallarla kodlanan bit sayısına bağlıdır (N_{cbps}). IEEE 802.16' da karıştırma iki adımla tanımlanmaktadır.

Birincisi bitişik kodlanan bitler bitişik olmayan alt taşıyıcılar üzerine haritalandırılır. İkinci yer değiştirme bitişik kodlanmış bitler en az ve en çok anlamlı sıralı bitler üzerine sıra ile haritalandırılır [5].

Matlab' ta karıştırma aşağıdaki formüllerle birinci ve ikinci yer değiştirme değerleri hesaplandıktan sonra bitlerin indeks değerleri hesaplanarak yerine getirilir.

$$s = \text{ceil}(N_{cbps}/2) \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} f_k &= (N_{cbps}/12) \cdot k_{\text{mod}12} + \text{floor}(k/12) \quad k = 0, 1, 2, \dots, N_{cbps}-1 \\ s_k &= s \cdot \text{floor}(f_k/s) + (m_k + N_{cbps} - \text{floor}(12 \cdot m_k / N_{cbps}))_{\text{mod}(s)} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N_{cbps}-1 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Alt kanallarla kodlanmış bit sayısı N_{cbps} ; BPSK, QPSK, 16QAM veya 64QAM için sırayla 1, 2, 4 veya 6 olarak alınmaktadır. Veri gönderme işleminde, k birinci yer değiştirme işlemi öncesinde kodlanmış bitlerin indeks numarasıdır. f_k , birinci yer değiştirme sonrası ve ikinci yer değiştirme başındaki indeks numarası, s_k ise ikinci yer değiştirme sonrasındaki indeks numarasıdır.

Geri çevirme işlemi için aşağıdaki formüller sırayla takip edilir.

$$\begin{aligned} f_j &= s \cdot \text{floor}(j/s) + (j + \text{floor}(12 \cdot j / N_{cbps}))_{\text{mod}(s)} \quad j = 0, 1, \dots, N_{cbps}-1 \\ s_j &= 12 \cdot f_j - (N_{cbps} - 1) \cdot \text{floor}(12 \cdot f_j / N_{cbps}) \quad j = 0, 1, 2, \dots, N_{cbps}-1 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Veri alma işleminde j birinci yer değiştirme işlemi öncesinde kodlanmış bitlerin indeks numarasıdır. f_j , birinci yer değiştirme sonrası ve ikinci yer değiştirme başındaki indeks numarası, s_j , ise ikinci yer değiştirme sonrasındaki indeks numarasıdır.

Matlab' da 4.4' deki formüller kodlanarak kodlama bloğu için veri iletimi sağlanmaktadır. 4.5 'deki formüller kodlanarak kod çözücü blok için veri alımı gerçekleştirilmektedir. Bunlara göre serpiştirici fonksiyonu yazılarak veri iletimi ve alımı sağlandı.

4.2.5. Takım yıldız haritası

Karıştırılan veri seri olarak takımyıldızı haritasına gelir. Matlab BPSK için haritalandırmayı desteklemektedir. QPSK, 16QAM ve 64QAM için IEEE 802.16d standardında belirtilen gray haritası kullanılmaktadır [5]. Gray haritasının oluşturulması için Matlab' ın gray komutu kullanıldı.

4.2.6. IFFT

Veri daha sonra zaman alanında haritalanmak için IFFT' ye gönderilir. Zaman etki alanında haritalama için IFFT' ye ihtiyaç duyulmaktadır. Matlab programındaki ifft fonksiyonu kullanılır.

4.2.7. Koruma aralığı ekleme

Koruma aralığı çoklu yol etkisinden korunmak için zaman etki alanı içerisinde eklenir. Standart olarak dört farklı koruma aralığı bulunmaktadır. Bu değerler OFDM sembol zamanına koruma zamanının oranı G değerini verir ve $1/32$, $1/6$, $1/8$ ve $1/4$ 'dür.

4.3. Kanal modelleri

Kablosuz ortamda alıcı ile verici arasındaki iletişim kanalları çok çeşitlidir. Verici tarafından gönderilen sinyaller yansıma, kırılma ve dağılma gibi etkiler nedeniyle alıcıya birçok kanalı kullanarak farklı güçlerde ve farklı zaman gecikmeleriyle ulaşabilirler [26]. Vericiden gönderilen işaret alıcıya direkt olarak ulaşabileceği gibi yansiyarak veya kırılarak farklı yollar izleyerek de ulaşabiliyorsa böyle iletişim ortamlarına çok yollu kanal denir. Bu ise, ortalama gücün değişmesine neden olmaktadır.

Yansıma veya kırılma nedeni, gönderme ortamında bulunan yüksek binalar, hareketli veya sabit cisimlerdir. Gönderilen işaretin farklı yollar izleyen kopyaları alıcı girişinde toplanır, zıt fazlı işaretler birbirini zayıflatır veya sönmüleye neden olurlar. Sönümleme; frekansa, zamana, mesafeye ve doppler etkisine bağlıdır.

Kablosuz haberleşme sistemlerinin, kullanıcılar değişik hızlarda hareket ederlerken ve değişik coğrafi bölgelerde iken servis vermeleri gerekecektir. Hareketli kullanıcıların bir erişim noktası bölgesinden diğerine geçerken verilen servisler kesilmemelidir. Bu nedenle, özel hareketlilik destek fonksiyonlarının yerine getirilmesi zorunludur. Bununla birlikte, gezgin kullanıcıların hızı nedeniyle gönderilen sinyaller ve bileşenleri alıcıya gerçek frekansından farklı olarak ulaşacaktır. Buna doppler etkisi denir [26].

Kanal türleri aşağıdaki gibidir.

- AWGN Kanal : İdeal kanaldır. Toplanır beyaz Gauss gürültülü (AWGN) kanal, iletişim sistemlerinin modellenmesinde oldukça sık kullanılan bir kanal türüdür. AWGN kanalında, iletilen işaretler Gauss dağılımına sahip gürültü tarafından bozulmaktadır. [18].
- Rayleigh Kanal : Direkt sinyal alışı yok. Alıcıya sadece yansıyan sinyaller ulaşır. AWGN kanala oranla daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşıklığa sebep olan en büyük etken bayılmadır[18].

- Ricean Kanal : Direkt alış var. Yansıyan alışlar var

4.3.1. SUI kanalları

Stanford Üniversitesinin geçici modelleri AT&T kablosuz Erceg tarafından erken çalışmanın bir uzantısıdır.

Bu model Tablo 4.3.' te belirtilen 3 arazi tipini kullanmaktadır.

- Kategori A → Tepelik /Normal ağaç yoğunluğu olan yerler için,
- Kategori B → Tepelik/Hafif ağaç yoğunluğu olan veya düz/normal ağaç yoğunluğu olan yerler için,
- Kategori C → Düz/Hafif olan yerler için [29].

Tablo 4.3. Arazi Tipine Göre SUI Kanalları

Arazi Tipi	SUI Kanalları
C	SUI 1-SUI 2
B	SUI 3-SUI4
A	SUI 5-SUI 6

Bu arazi kategoriler bir NLOS oluşumunda RF kanalının kayıp yol durumunu tam olarak tahmin etmek için basit bir metot sağlar. Doğa istatistiklerinde model gerçek bir RF bağlantı içinde denenmiş yol kaybının büyüklüğü ile temsil edilebilir.

SUI kanal modellerinde SUI 1- SUI 6 arasında farklı 6 senaryo Wimax teknolojisinin test edilmesi ve geliştirilmesi için seçildi.

Kullanılan bu modelleri baz istasyonu bölümüne yerleştirilmesini hedefleyebilen yayın süresi ihtimallerinin tam olarak öngörülmesi muhtemeldir. Muhtemel yayın süresi daha ileri planlama çabaları için kullanılabilir. Örneğin coğrafik alanlarda servis sağlayıcıların baz istasyonu yerleşim ihtiyaçlarının sayısını belirler. Bu modellerde ayrıntılı yer planlama olmasa da gerçek plana başlamadan önce bir tahmin sağlamaktadır. Özel çerçeve koşullarını göz önüne alarak RF planlama

aktivitelerinin performansını kanal karışmasına, gerçek karışıklık ve yer etkilerini gerçekleştirir [23].

Tablo 4.4. ve Tablo 4.5.' te K faktörüne bağlı olarak gecikme yayılmaları görülmektedir.

Tablo 4.4. K faktörü Düşük Olduğunda Gecikme Yayılımı

Doppler	Düşük Gecikme Yayılması	İlımı Gecikme Yayılması	Yüksek Gecikme Yayılması
Düşük	SUI-3		SUI-5
Yüksek		SUI-4	SUI-6

Tablo 4.5. K faktörü Yüksek Olduğunda Gecikme Yayılımı

Doppler	Düşük Gecikme Yayılması	İlımı Gecikme Yayılması	Yüksek Gecikme Yayılması
Düşük	SUI-1,2		SUI-5
Yüksek		SUI-4	SUI-6

Tablo 4.6. SUI-1 Kanalının gecikme, güç, K faktörü ve Doppler değerlerini vermektedir.

Tablo 4.6. SUI1 Kanalı Değerleri

SUI-1 Kanal				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Üniteler
Gecikme	0	0.2	0.4	μ s
Güç	0	-3	-10	dB
K Faktörü	10	10	10	
Doppler	0.4	0.4	0.4	Hz
Arazi Tipi: C Anten Korelasyonu:0.7, RMS Gecikme Yayılması: 0.1 μ s				

Tablo 4.7. SUI-2 Kanalının gecikme, güç, K faktörü ve Doppler değerlerini vermektedir.

Tablo 4.7. SUI2 Kanalı Değerleri

SUI-2 Kanal				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Üniteler
Gecikme	0	0.3	0.6	µs
Güç	0	-3	-8	dB
K Faktörü	5	5	5	
Doppler	0.4	0.4	0.4	Hz
Arazi Tipi: C Anten Korelasyonu:0.5, RMS Gecikme Yayılması: 0.2 µs				

Tablo 4.8 SUI-3 Kanalının gecikme, güç, K faktörü ve Doppler değerlerini vermektedir.

Tablo 4.8. SUI3Kanalı Değerleri

SUI-3 Kanal				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Üniteler
Gecikme	0	0.5	1	µs
Güç	0	-5	-10	dB
K Faktörü	0	0	0	
Doppler	0.4	0.4	0.4	Hz
Arazi Tipi: B Anten Korelasyonu:0.25, RMS Gecikme Yayılması: 0.3 µs				

Tablo 4.9. SUI-4 Kanalının gecikme, güç, K faktörü ve Doppler değerlerini vermektedir.

Tablo 4.9. SUI4 Kanalı Değerleri

SUI-4 Kanal				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Üniteler
Gecikme	0	2	4	µs
Güç	0	-4	-8	dB
K Faktörü	0	0	0	
Doppler	1	1	1	Hz
Arazi Tipi: B Anten Korelasyonu:0.25, RMS Gecikme Yayılması:1.3 µs				

Tablo 4.10. SUI-5 Kanalının gecikme, güç, K faktörü ve Doppler değerlerini vermektedir.

Tablo 4.10. SUI5 Kanalı Değerleri

SUI-5 Kanal				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Üniteler
Gecikme	0	4	11	μ s
Güç	0	-3	-5	dB
K Faktörü	0	0	0	
Doppler	2	2	2	Hz
Arazi Tipi: A Anten Korelasyonu:0.25, RMS Gecikme Yayılması: 3.1 μ s				

Tablo 4.11. SUI-6 Kanalının gecikme, güç, K faktörü ve Doppler değerlerini vermektedir.

Tablo 4.11. SUI6 Kanalı Değerleri

SUI-6 Kanal				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Üniteler
Gecikme	0	14	20	μ s
Güç	0	-10	-12	dB
K Faktörü	0	0	0	
Doppler	0.4	0.4	0.4	Hz
Arazi Tipi: A Anten Korelasyonu:0.25, RMS Gecikme Yayılması: 5.2 μ s				

4.3.1.1. SUI kanal modellerinin uygulaması

SUI kanal uygulamasının amacı kanal katsayılarının simülasyonunu yapmaktır. Kanal değerleri yayılmayı belirtir. Güç yoğunluk spektrumu gürültünün filtre edilmesi metodu ile üretilir [24]. Bir takım karmaşık Gaussian dağılım sayısı ortalama sıfır yayılımı 1 olan dağılımın toplam ortalama gücü her bir kademe için elde edilir, sanal ve gerçek parçalar için 0.5' in varyansı ile üretilir. Böylece Rayleigh dağılımı karmaşık değerlerin büyüklüğü için $K=0$ alınır. Ricean dağılımında $K>0$ ' dir ve

sabit bir m değeri Rayleigh katsayısını oluşturmak için eklenmektedir. K değeri sabit parça ile değişken paçanın oranı ile hesaplanmaktadır.

Her bir kademe için P gücü:

$$P = |m|^2 + \sigma^2$$

Daha sonra sabit m değeri ve karmaşık Gaussian değerinin varyansı σ^2 gücün oranı:

$$k = \frac{|m|^2}{\sigma^2} \text{ 'dir.}$$

Bu eşitliklerden karmaşık Gaussian gücü

$$\sigma^2 = p \cdot \frac{1}{K+1} \text{ ve sabit değeri } |m|^2 = p \cdot \frac{K}{K+1} \text{ olarak hesaplanır.}$$

SUI kanalları dağınık kanal değerleri için özel güç spektral yayılım fonksiyonu belirlemektedir.

$$S(f) = \begin{cases} 1 - 1.72f_0^2 + 0.785f_0^4 & |f_0| \leq 1 \\ 0 & |f_0| > 1 \end{cases}$$

Fonksiyon en büyük Doppler frekansı tarafından parametrelendirilir.

$$f_0 = f / f_m$$

PSD fonksiyonu ile üretilen kanal değerleri orijinal değerleri genlik frekans cevabı filtresi ile bağlantı kurulur.

$$|H(f)| = \sqrt{S(f)} \quad (4.6)$$

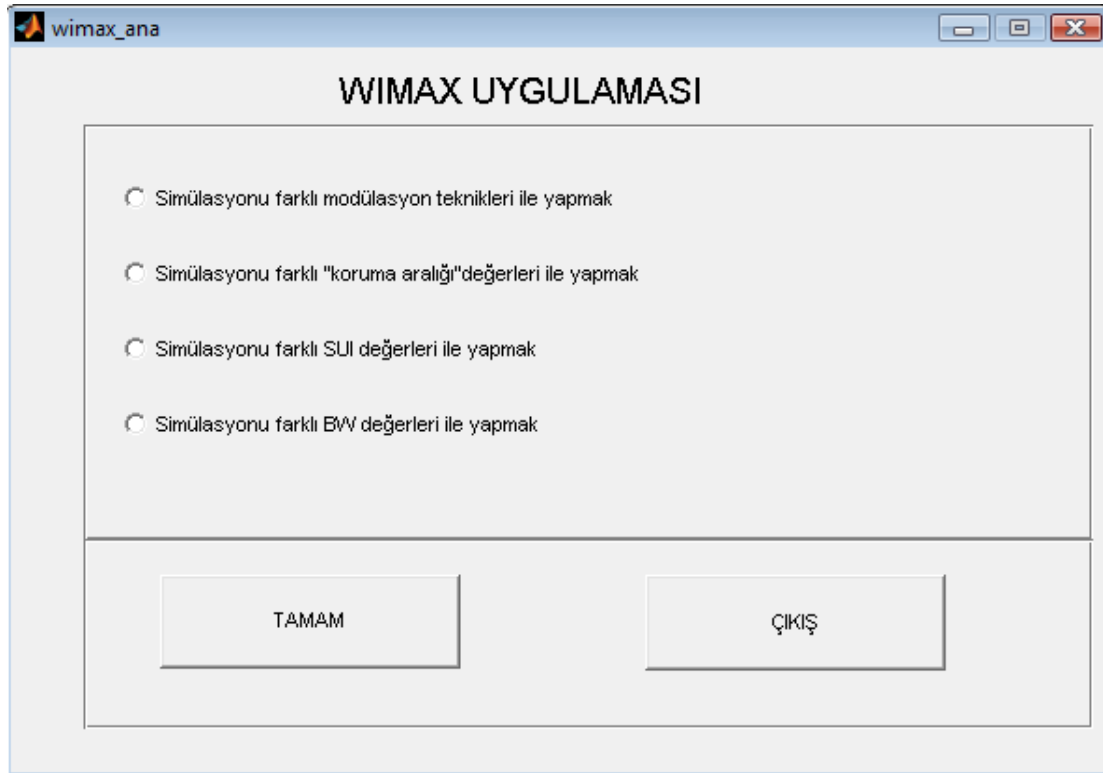
Filtrenin gücü 1'e normalize edilir ve sinyal çıkış gücü 1'e eşitlenir.

4.4. Tasarlanan Program Arayüzü

Matlab 7. 0 kullanılarak tasarlanan program ara yüzü ana sayfası şekil 4.5' de görülmektedir. Ana sayfa çalıştırıldığında dört seçenekten oluşan bir menü görülmektedir.

1. Farklı modülasyon teknikleri ile simülasyon gerçekleştirme
2. Farklı koruma aralığı değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme
3. Farklı SUI kanalı değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme
4. Farklı bant genişliği değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme

Bu menüden hangi kritere göre simülasyon gerçekleştirilmek isteniyorsa seçilir ve ilgili pencere aktif hale getirilir. Seçilen kriterler sonucunda belirlenmiş SNR değerleri ile Bit Hata Oran (BER) grafikleri çizilir. Şekil 4.5.' de uygulamanın ana sayfası görülmektedir.



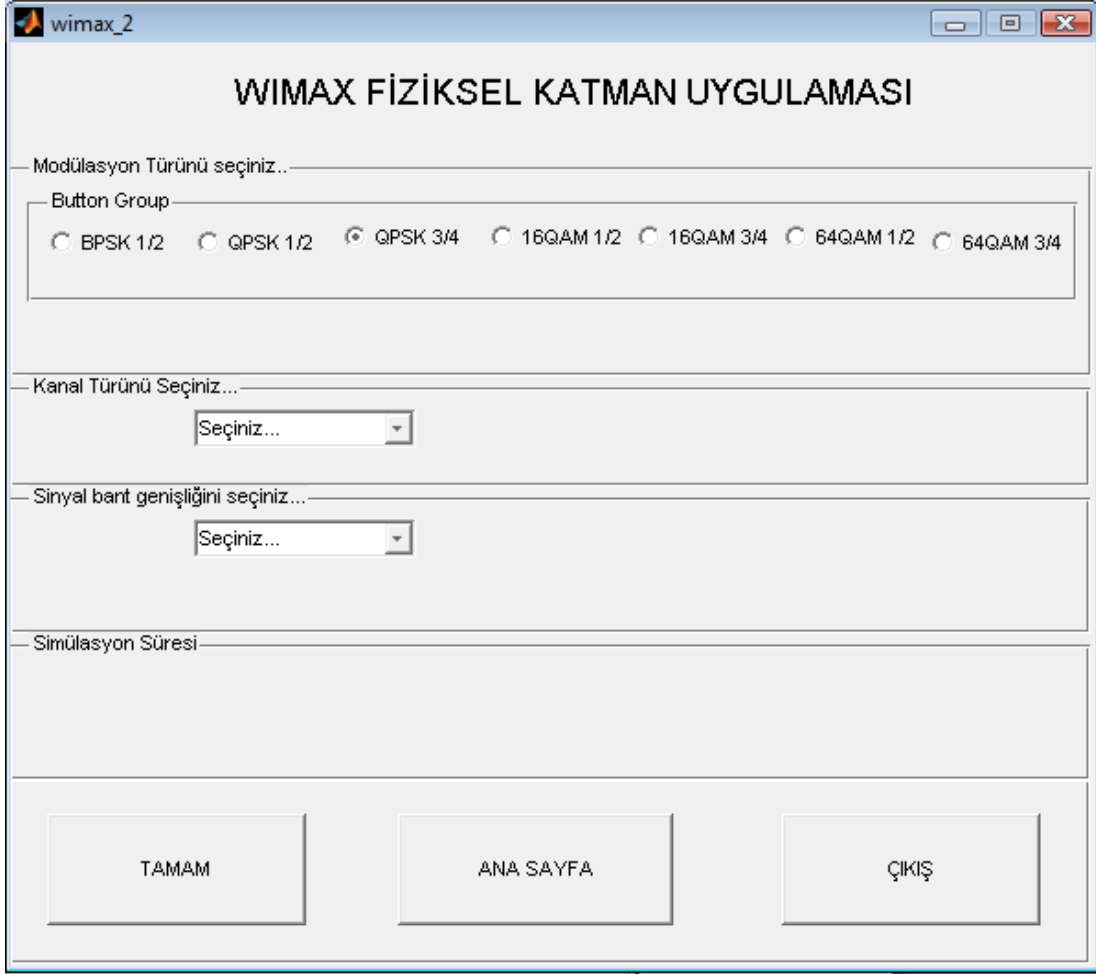
Şekil 4.5.Uygulama ana sayfası

1. Farklı modülasyon teknikleri ile simülasyon gerçekleştirme seçeneği işaretlenerek tamam butonuna tıkladığında Şekil 4.6.' da görülen pencere açılır.

Şekil 4.6. Uygulama farklı modülasyon teknikleri uygulama sayfası

Burada istenen koruma aralığı, modülasyon türü SUI kanal numarası ve sinyal bant genişliği değerleri seçilir. Tamam butonu seçilerek simülasyon çalıştırılır. Simülasyon tamamlandığında ilgili figür görüntülenir.

2. Farklı koruma aralığı değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme seçeneği işaretlenerek tamam butonuna tıkladığında Şekil 4.7.' de görülen pencere açılır.



Şekil 4.7. Uygulama farklı koruma aralığı uygulama sayfası

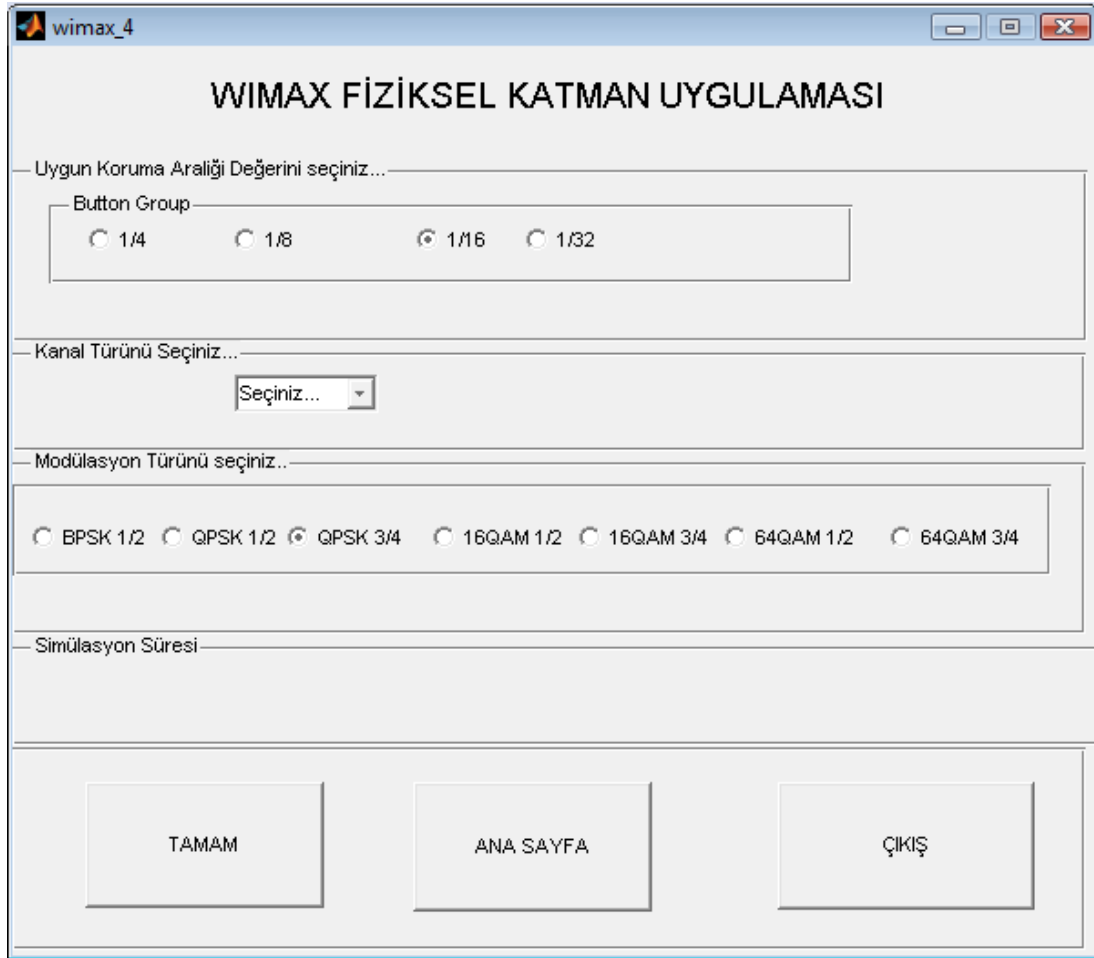
Burada istenen modülasyon türü SUI kanal numarası ve sinyal bant genişliği değerleri seçilir. Tamam butonu seçilerek simülasyon çalıştırılır. Simülasyon tamamlandığında $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ ve $\frac{1}{32}$ koruma aralığı değerlerinde gerçekleştirilen simülasyon sonucu ilgili figürde görüntülenir.

3. Farklı SUI kanalı değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme seçeneği işaretlenerek tamam butonuna tıkladığında Şekil 4.8.' de görülen pencere açılır.

Şekil 4.8. Uygulama farklı SUI Kanalı uygulama sayfası

Burada istenen koruma aralığı, sinyal bant genişliği, modülasyon türü ve istenilen SUI kanal numarası seçilerek tamam butonuna tıklanır. Simülasyon tamamlandığında istenilen SUI kanal örnekleri ilgili figürde çizilerek görüntülenir.

4. Farklı bant genişliği değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme seçeneği işaretlenerek tamam butonuna tıkladığında Şekil 4.9.' da görülen pencere açılır.



Şekil 4.9. Uygulama farklı Bant Genişliği uygulama sayfası

Burada istenen koruma aralığı, SUI kanal numarası ve modülasyon türü ve Tamam butonu seçilerek simülasyon çalıştırılır. Simülasyon tamamlandığında farklı bant genişlikleri ilgili figürde görüntülenir.

BÖLÜM 5. BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde simülasyon programı çalıştırıldıktan sonra elde edilen sonuçlar görüntülenmektedir.

Uygulama ana sayfasından aşağıda sıralanan dört farklı durumdan uygun olan seçilir.

1. Farklı modülasyon teknikleri ile simülasyon gerçekleştirme
2. Farklı koruma aralığı değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme
3. Farklı SUI kanalı değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme
4. Farklı bant genişliği değerleri ile simülasyonu gerçekleştirme

1. Seçenek seçildiğinde farklı modülasyon teknikleri ile seçilen koruma aralığı, kanal çeşidi ve bant genişliği ile çizim yapılmaktadır.

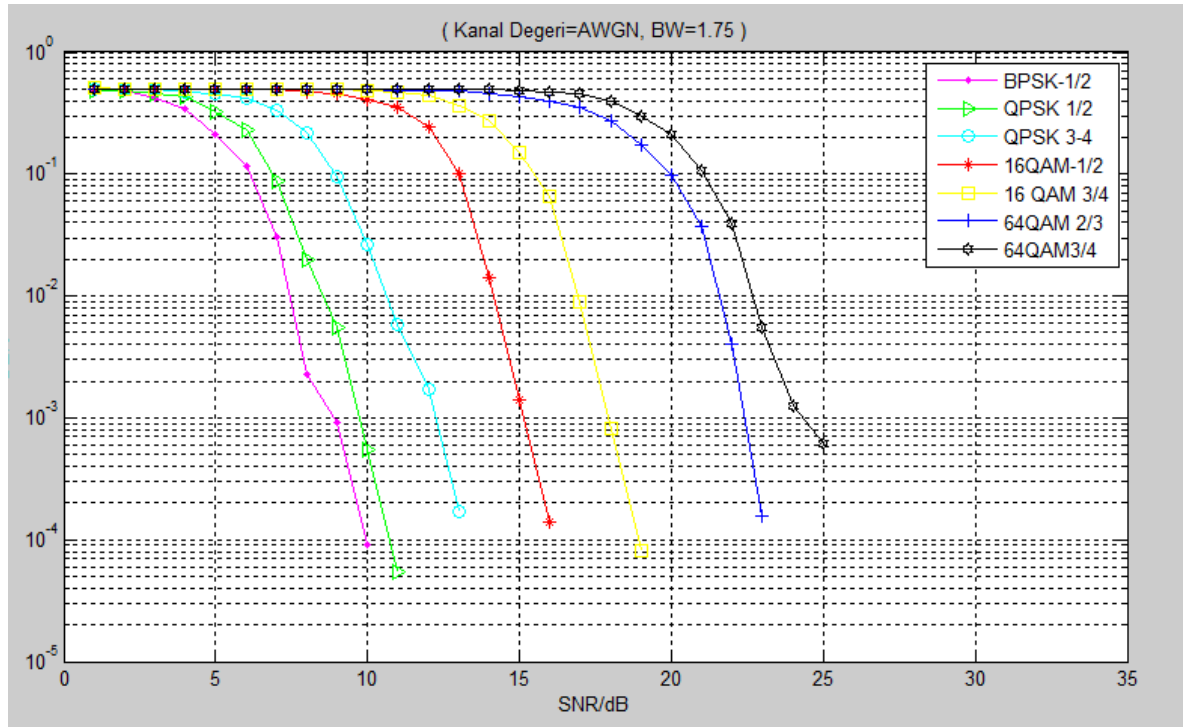
Koruma Aralığı : 1/4

Modülasyon Türü : BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$,
64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$

Sinyal Bant Genişliği : 1.75 MHz

Değerleri kullanılarak sadece kanal değerleri AWGN SUI-1-2-3-4-5-6 değerleri için grafikler elde edilmiştir.

AWGN kanalı için çizilen grafik Şekil 5.1.' de verilmiştir.



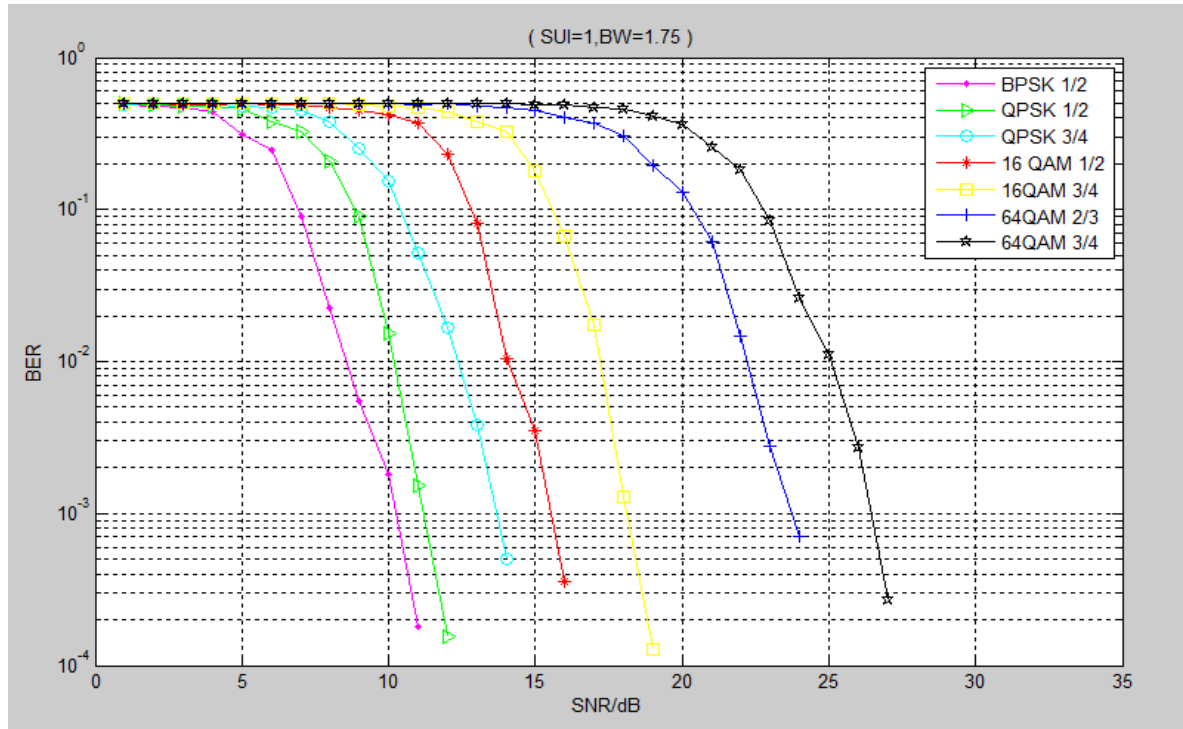
Şekil 5.1. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =AWGN , BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi

Şekil 5.1.' deki grafik incelendiğinde AWGN kanal değerinde 1.75 MHz bant genişliğinde elde edilen grafikte düşük modülasyon ve kodlama şemalarının düşük SNR değerine sahip olduğu ve böylece daha iyi performans sağladığı görülmektedir. 10^{-3} 'deki SNR değerleri modülasyon şemaları için Tablo 5.1.' de görülmektedir.

Tablo 5.1. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =AWGN, BW=1.75 ortamında SNR değerleri

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10 ⁻³ 'te SNR oranları							
AWGN	8.86	9.73	12.22	15.13	17.91	22.42	24.32

SUI-I kanalı için Şekil 5.2.'deki grafik elde edilmektedir.



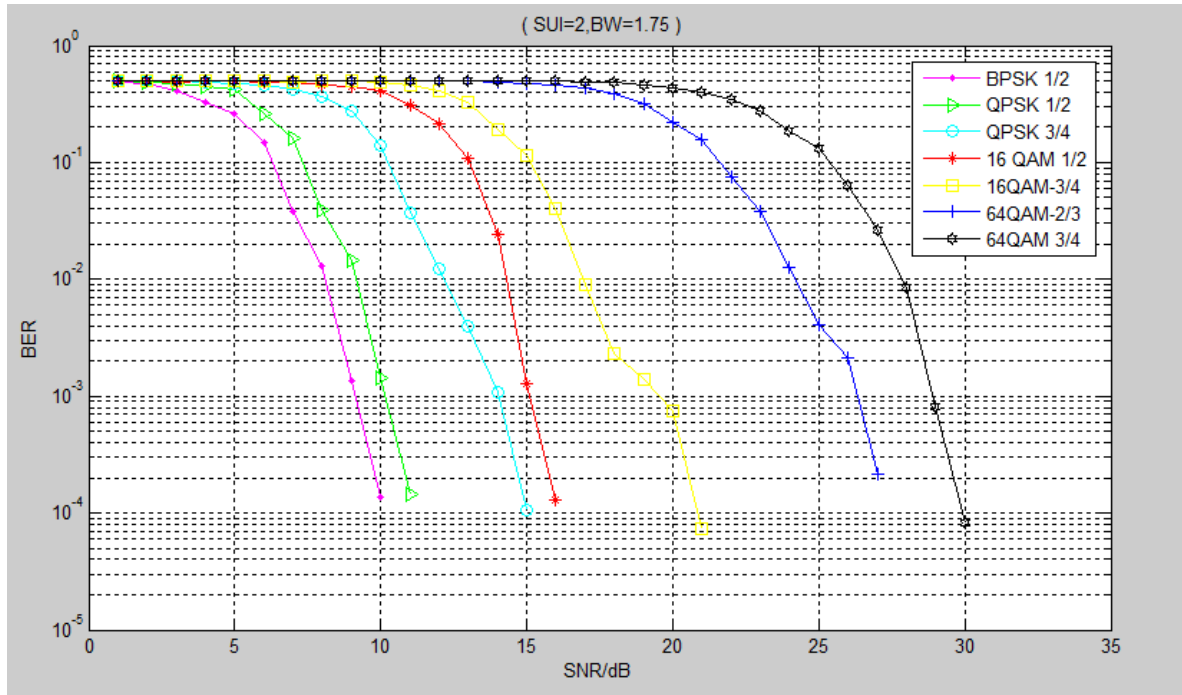
Şekil 5.2. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI1, BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi

Şekil 5.2.'deki grafik incelendiğinde SUI-1 kanal değerinde 1.75 MHz bant genişliğinde elde edilen grafikte düşük modülasyon ve kodlama şemalarının düşük SNR değerine sahip olduğu ve böylece daha iyi performans sağladığı görülmektedir. 10^{-3} 'deki SNR değerleri modülasyon şemaları için Tablo 5.2.'de görülmektedir.

Tablo 5.2. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-1 , BW=1.75 ortamında SNR değerleri

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10^{-3} 'te SNR oranları							
SUI-1	10.25	11.17	13.64	15.53	18.1	23.74	26.43

SUI-2 kanalı için Şekil 5.3.' deki grafik elde edilmektedir



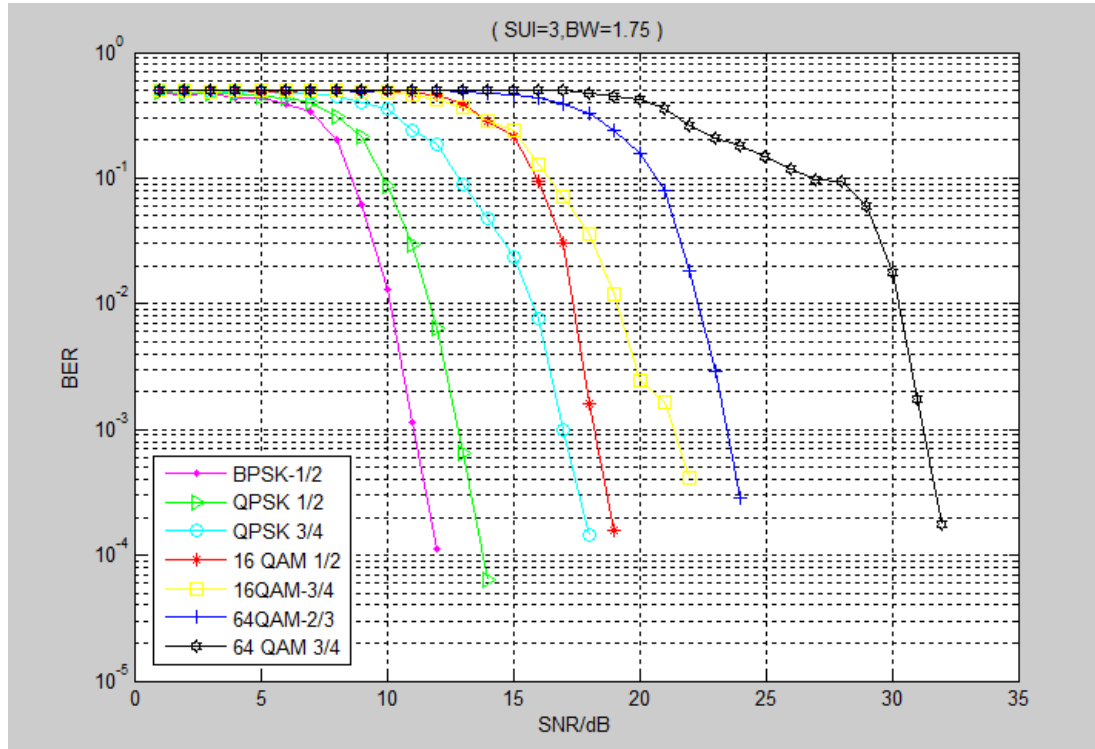
Şekil 5.3. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI2, BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi

Şekil 5.3.' teki grafik incelendiğinde SUI-2 kanal değerinde 1.75 MHz bant genişliğinde elde edilen grafikte düşük modülasyon ve kodlama şemalarının düşük SNR değerine sahip olduğu ve böylece daha iyi performans sağladığı görülmektedir. 10^{-3} 'teki SNR değerleri modülasyon şemaları için Tablo 5.3.' de görülmektedir.

Tablo 5.3. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SU-2, BW=1.75 ortamında SNR değerleri

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10 ⁻³ 'te SNR oranları							
SUI-2	9.12	10.16	13.98	15.07	19.51	26.3	28.9

SUI-3 kanalı için Şekil 5.4.' deki grafik elde edilmektedir



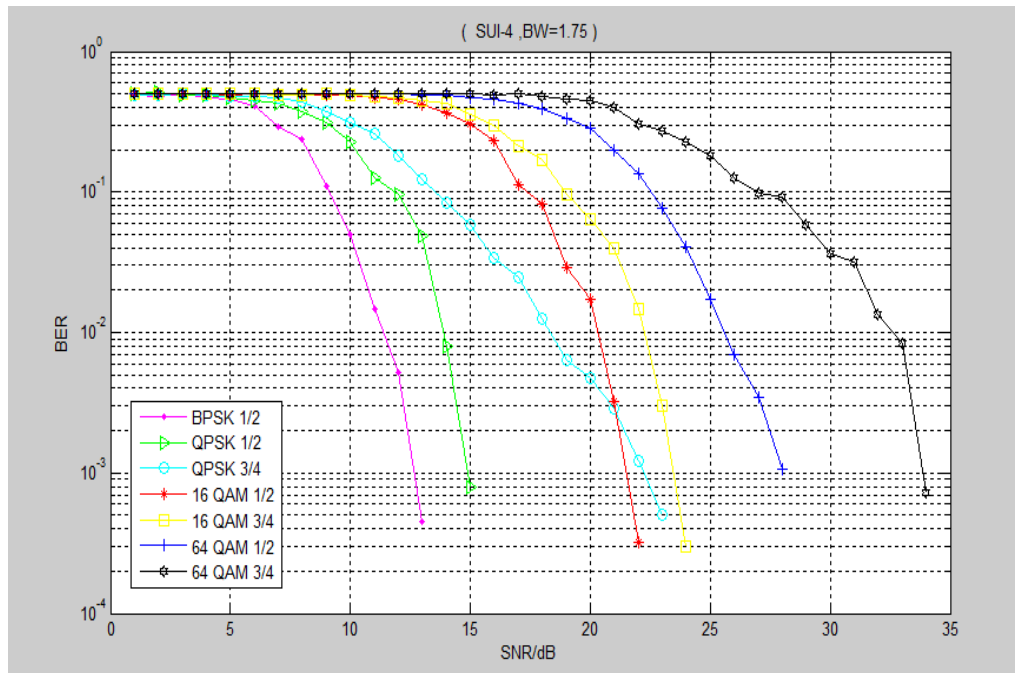
Şekil 5.4. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI3, BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi

Şekil 5.4.' deki grafik incelendiğinde SUI-3 kanal değerinde 1.75 MHz bant genişliğinde elde edilen grafikte düşük modülasyon ve kodlama şemalarının düşük SNR değerine sahip olduğu ve böylece daha iyi performans sağladığı görülmektedir. 10^{-3} 'teki SNR değerleri modülasyon şemaları için Tablo 5.4.' de görülmektedir.

Tablo 5.4. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-3 , BW=1.75 ortamında SNR değerleri

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10 ⁻³ 'te SNR oranları							
SUI-3	11	12.08	16.99	18.18	21.3	23.45	31.22

SUI-4 kanalı için Şekil 5.5.'deki grafik elde edilmektedir



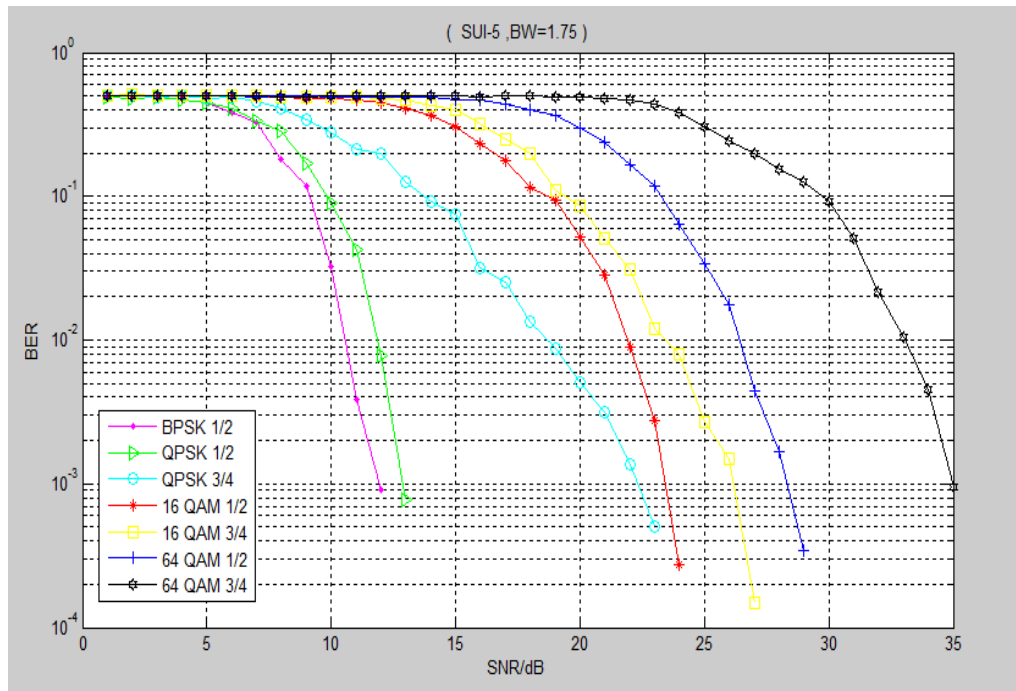
Şekil 5.5. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI4, BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi

Şekil 5.5.'deki grafik incelendiğinde SUI-4 kanal değerinde 1.75 MHz bant genişliğinde elde edilen grafikte düşük modülasyon ve kodlama şemalarının düşük SNR değerine sahip olduğu ve böylece daha iyi performans sağladığı görülmektedir. 10^{-3} 'teki SNR değerleri modülasyon şemaları için Tablo 5.5.'de görülmektedir.

Tablo 5.5. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-4, BW=1.75 ortamında SNR değerleri

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10 ⁻³ 'te SNR oranları							
SUI-4	12.67	14.89	22.21	21.5	23.47	28	33.86

SUI-5 kanalı için Şekil 5.6.'daki grafik elde edilmektedir



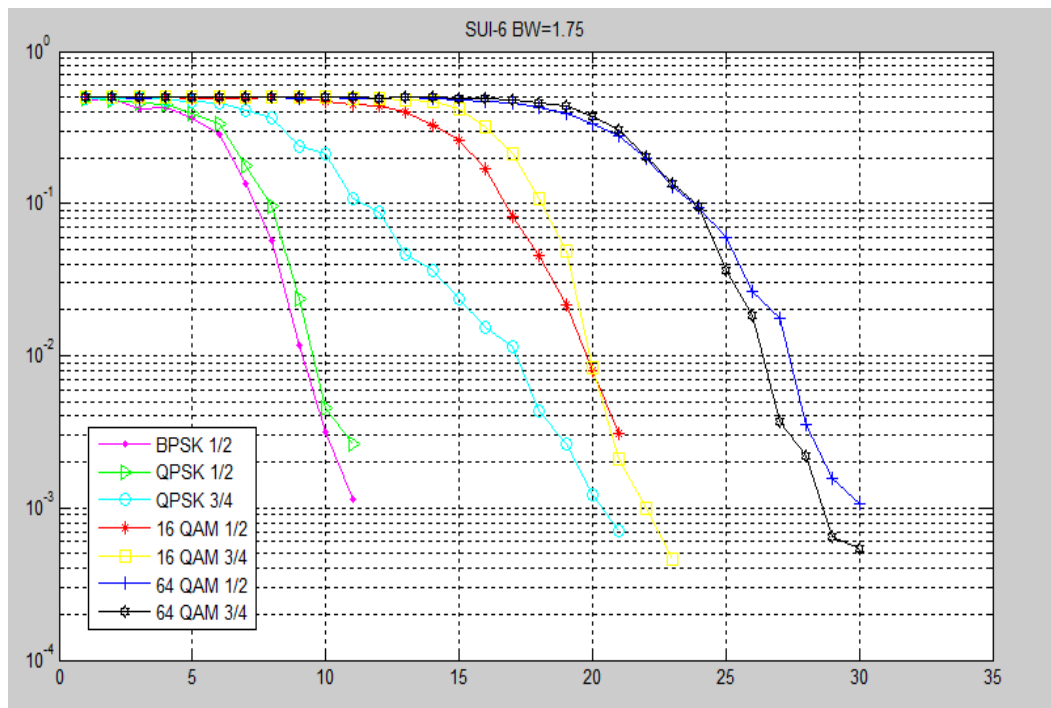
Şekil 5.6. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI5, BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi

Şekil 5.6.'daki grafik incelendiğinde SUI-5 kanal değerinde 1.75 MHz bant genişliğinde elde edilen grafikte düşük modülasyon ve kodlama şemalarının düşük SNR değerine sahip olduğu ve böylece daha iyi performans sağladığı görülmektedir. 10^{-3} 'teki SNR değerleri modülasyon şemaları için Tablo 5.6.'da görülmektedir.

Tablo 5.6. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-5, BW=1.75 ortamında SNR değerleri

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10 ⁻³ 'te SNR oranları							
SUI-5	11.91	12.88	22.28	23.43	26.15	28.3	34.96

SUI-6 kanalı için Şekil 5.7.' deki grafik elde edilmektedir



Şekil 5.7. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI6, BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi

Şekil 5.7.' deki grafik incelendiğinde SUI-6 kanal değerinde 1.75 MHz bant genişliğinde elde edilen grafikte düşük modülasyon ve kodlama şemalarının düşük SNR değerine sahip olmasına karşın modülasyon ve kodlama şemaları büyüdükçe SNR değerlerinin orantılı olarak artmamaktadır. 10^{-3} 'deki SNR değerleri modülasyon şemaları için Tablo 5.7.' de görülmektedir.

Tablo 5.7. Bütün Modülasyon Türlerinin Kanal =SUI-6, BW=1.75 ortamında SNR değerleri

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10^{-3} 'te SNR oranları							
SUI-6	11	11.41	20.36	21.47	21.96	28.62	30

Tablo 5.1. 'den Tablo 5.7.'deki değerler Tablo 5.8.' de toplanarak incelendiğinde

Tablo 5.8. Farklı Modülasyon Tiplerinin SNR değerleri

	Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
	Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10 ⁻³ 'te SNR oranları	AWGN	8.86	9.73	12.22	15.13	17.91	22.42	24.32
	SUI-1	10.25	11.17	13.64	15.53	18.1	23.74	26.43
	SUI-2	9.12	10.16	13.98	15.07	19.51	26.3	28.9
	SUI-3	11	12.08	16.99	18.18	21.3	23.45	31.22
	SUI-4	12.67	14.89	22.21	21.5	23.47	28	33.86
	SUI-5	11.91	12.88	22.28	23.43	26.15	28.3	34.96
	SUI-6	11	11.41	20.36	21.47	21.96	28.62	30

SUI-6 haricindeki diğer kanal modellerinin modülasyon ve kodlama şemalarında SNR değerlerinin orantılı olarak arttığı görölmektedir. Düşük modülasyon ve kodlama şemalarında düşük SNR değeri ve yüksek performans gözlenmektedir. Her modülasyon şeması kendi içinde incelendiğinde ise AWGN kanalı ile SUI-6 arasında SNR değerinin arttığı görölmektedir

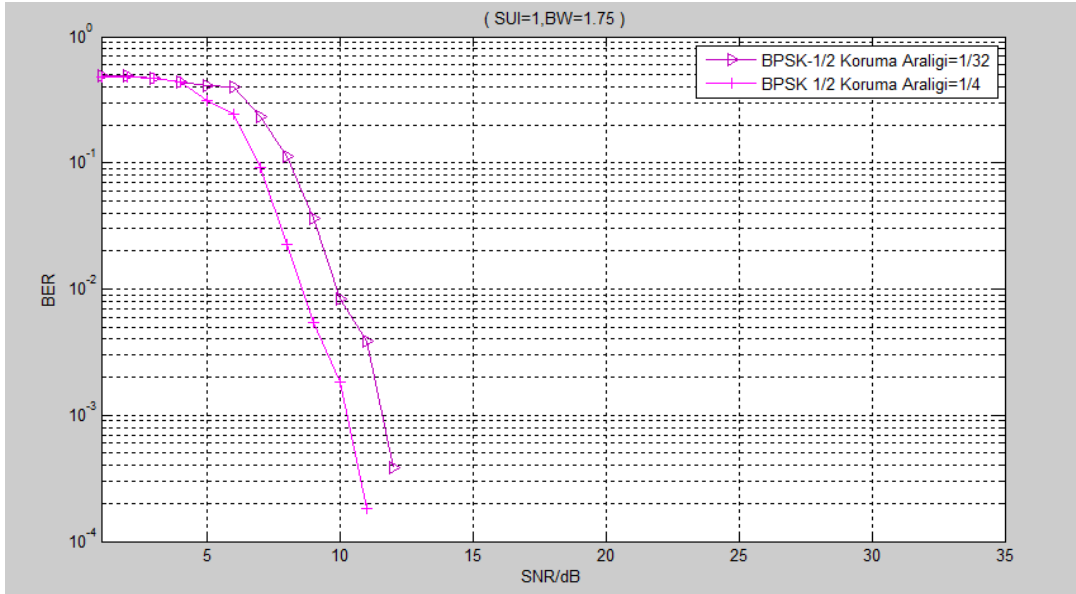
2. Seçenek seçildiğinde farklı koruma aralığı değerleri ile seçilen modülasyon türü, kanal çeşidi ve bant genişliği ile çizim yapılmaktadır.

SUI Kanal Çeşidi : SUI1

Sinyal Bant Genişliği : 1.75 MHz

değerleri seçilip her modülasyon türünün ¼ ve 1/32 koruma aralığı değerlerindeki grafikleri çizilmiştir.

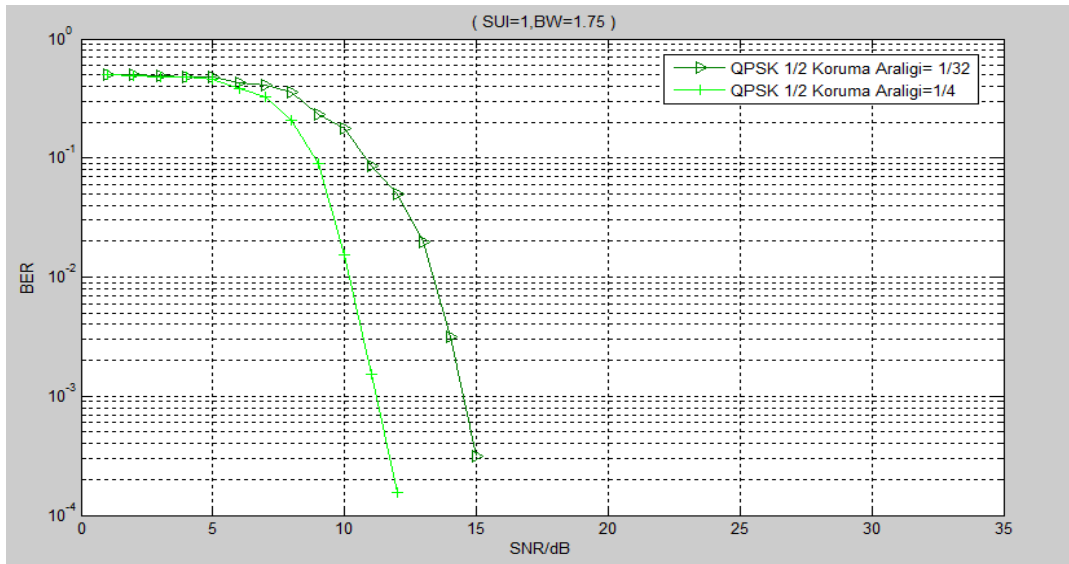
BPSK ½ modülasyonu için Şekil 5.8.' deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.8. BPSK $\frac{1}{2}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.8.' deki grafikte BPSK $\frac{1}{2}$ modülasyonu için $\frac{1}{4}$ koruma aralığındaki SNR değeri $\frac{1}{32}$ koruma aralığındaki SNR değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

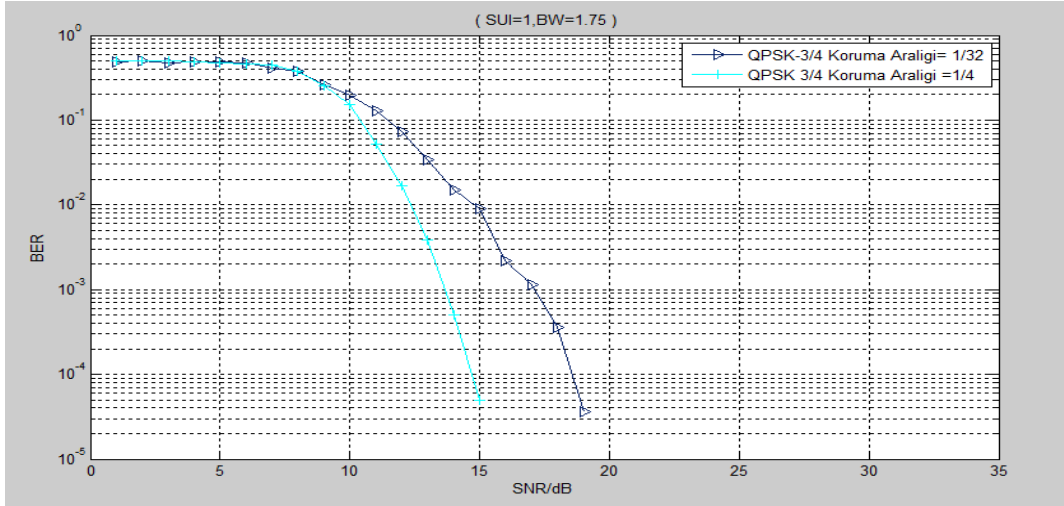
QPSK $\frac{1}{2}$ modülasyonu için Şekil 5.9.' deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.9. QPSK $\frac{1}{2}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.9.'deki grafikte QPSK $\frac{1}{2}$ modülasyonu için $\frac{1}{4}$ koruma aralığındaki SNR değeri $\frac{1}{32}$ koruma aralığındaki SNR değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

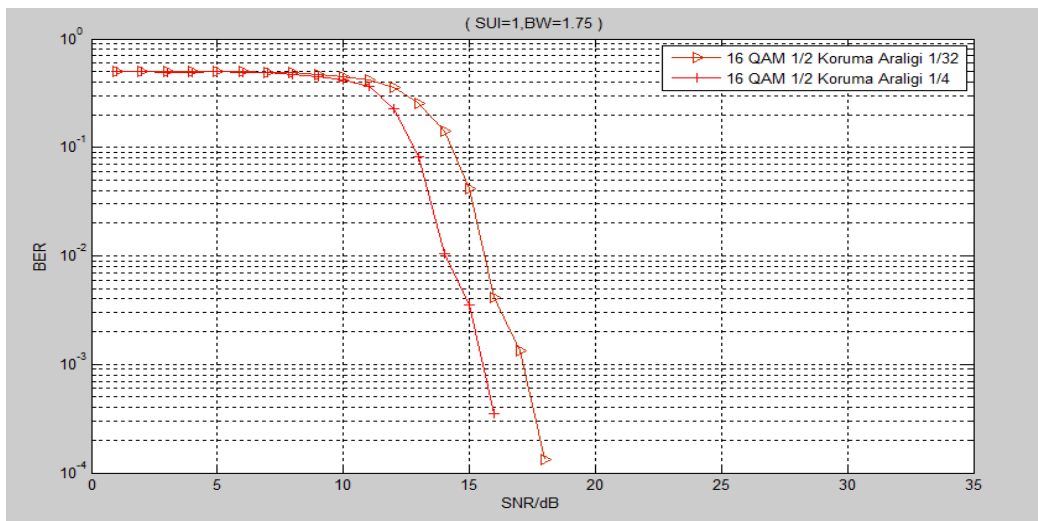
QPSK $\frac{3}{4}$ modülasyonu için Şekil 5.10.'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.10. QPSK 3/4 Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.10.'daki grafikte QPSK 3/4 modülasyonu için $\frac{1}{4}$ koruma aralığındaki SNR değeri $\frac{1}{32}$ koruma aralığındaki SNR değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

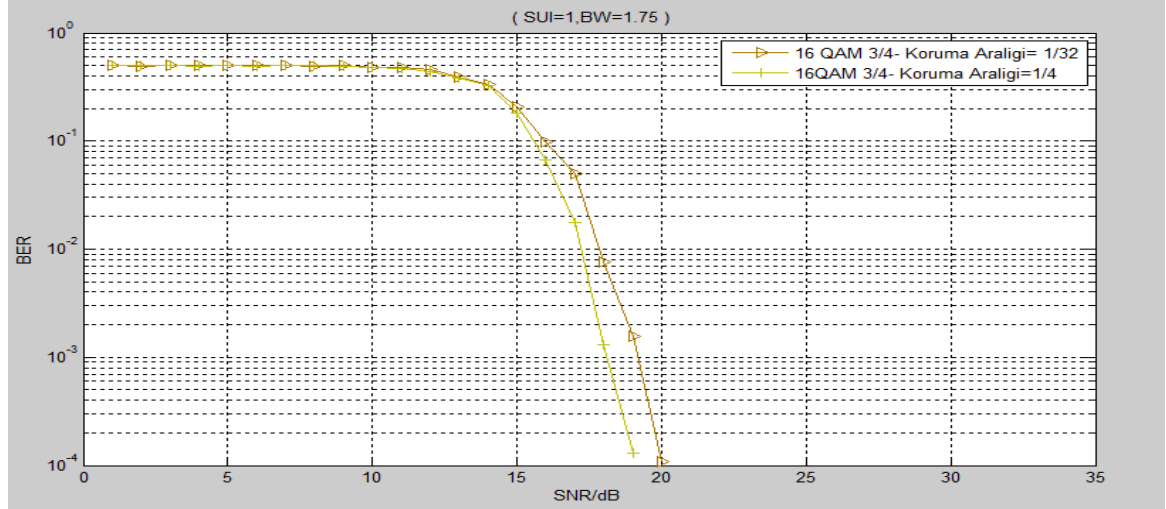
16 QAM $\frac{1}{2}$ modülasyonu için Şekil 5.11.'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.11. 16 QAM $\frac{1}{2}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.11.' deki grafikte 16 QAM 1/2 modülasyonu için $\frac{1}{4}$ koruma aralığındaki SNR değeri $\frac{1}{32}$ koruma aralığındaki SNR değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

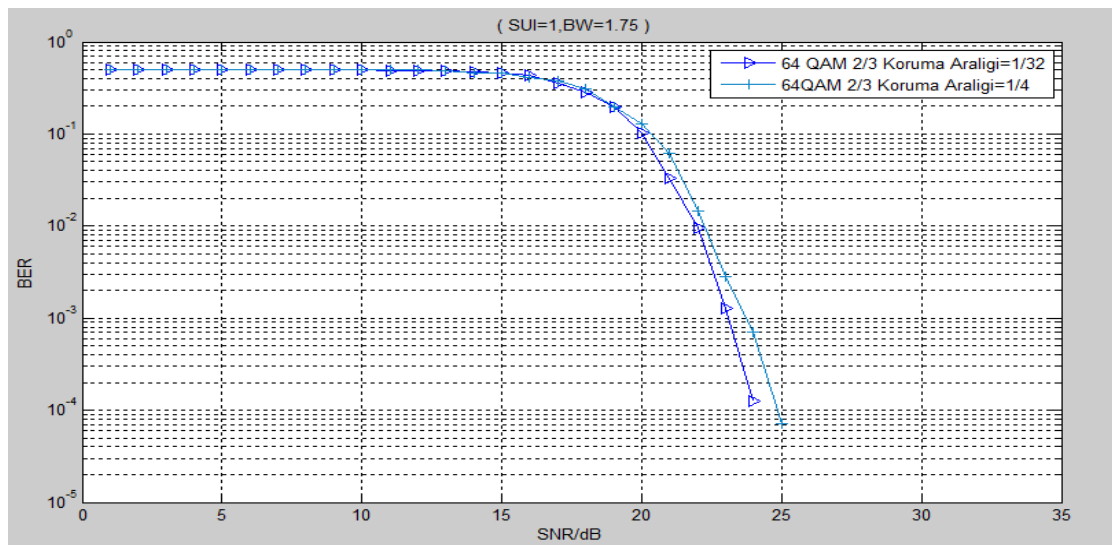
16 QAM 3/4 modülasyonu için Şekil 5.12.' deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.12. 16 QAM $\frac{3}{4}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.12.' deki grafikte 16 QAM 3/4 modülasyonu için $\frac{1}{4}$ koruma aralığındaki SNR değeri $\frac{1}{32}$ koruma aralığındaki SNR değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

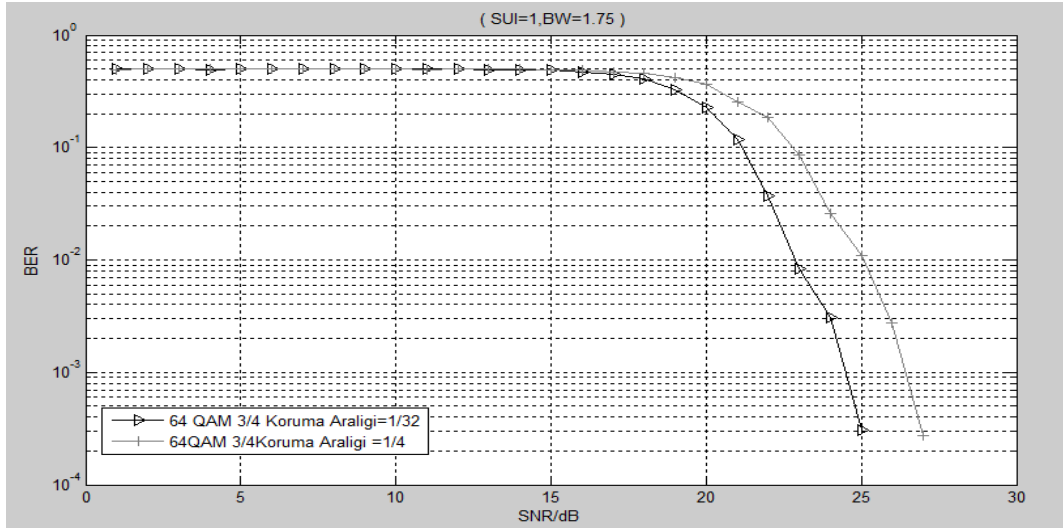
64 QAM 2/3 modülasyonu için Şekil 5.13.' deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.13. 64QAM2/3 Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.13.'deki grafikte 64 QAM 2/3 modülasyonu için $\frac{1}{4}$ koruma aralığındaki SNR değeri $\frac{1}{32}$ koruma aralığındaki SNR değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

64 QAM $\frac{3}{4}$ modülasyonu için Şekil 5.14.'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.14. 64QAM $\frac{3}{4}$ Modülasyon Türünde $\frac{1}{4}$ ve $\frac{1}{32}$ Koruma Aralığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.14'deki grafikte 64 QAM $\frac{3}{4}$ modülasyonu için $\frac{1}{4}$ koruma aralığındaki SNR değeri $\frac{1}{32}$ koruma aralığındaki SNR değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 5.9. Farklı Modülasyon Tiplerinin SNR değerleri

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10^{-3} 'te SNR oranları							
1/4	10.25	11.18	13.65	15.54	18.1	23.09	24.48
1/32	11.58	14.49	17.10	17.11	19.15	23.74	26.43

Şekil 5.8., 5.9., 5.10., 5.11., 5.12., 5.13. ve 5.14. 'deki tüm modülasyonlar için aynı kanal koşulları ve aynı bant genişliği seçilmiştir. Bütün şekiller incelenerek 10^{-3} 'teki SNR değerleri Tablo 5.9.' da çıkarılmıştır. Tablo 5.9.' a göre $\frac{1}{4}$ koruma aralığı değeri düşük değerlikli modülasyonlarda daha az SNR değeri üretirken yüksek değerlikli modülasyonlarda SNR değerinin arttığı görülmektedir. $\frac{1}{32}$ koruma aralığı değeri ise

düşük değerlikli modülasyonlarda daha fazla SNR değeri üretirken yüksek değerlikli modülasyonlarda SNR değerinin azalmakta olduğu görülmektedir.

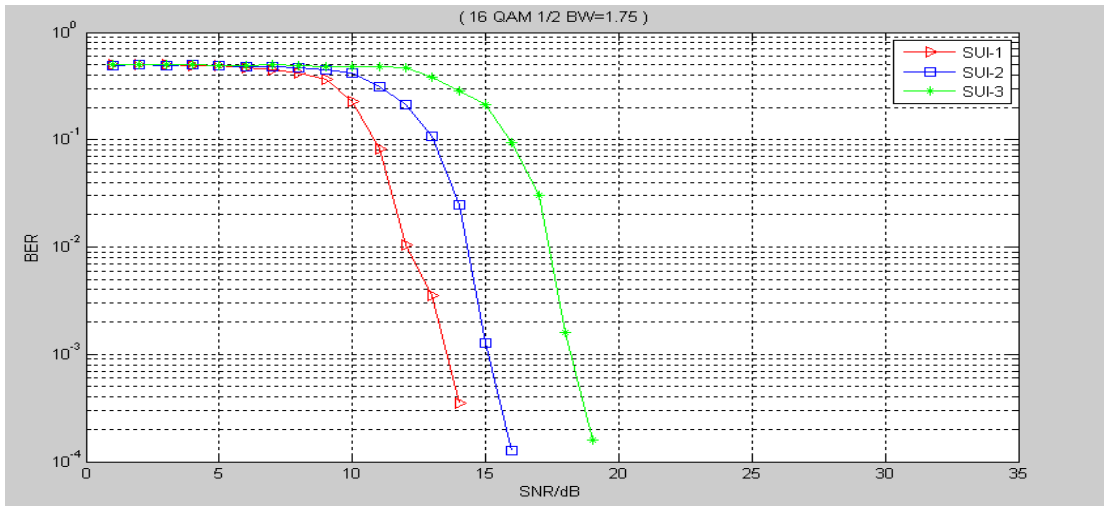
3. Seçenekte farklı SUI kanalı değerleri ile seçilen modülasyon türü, kanal çeşidi ve bant genişliği ile çizim yapılmaktadır.

Koruma Aralığı : 1/4

Modülasyon Türü : 16QAM ½

Sinyal Bant Genişliği : 1.75 MHz

Seçilerek SUI1-2-3 kanal değerleri için Şekil 5.15.' deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.15. 16QAM ½ Modülasyon Türünde SUI 1-2-3 Kanal Değerlerinin Karşılaştırılması

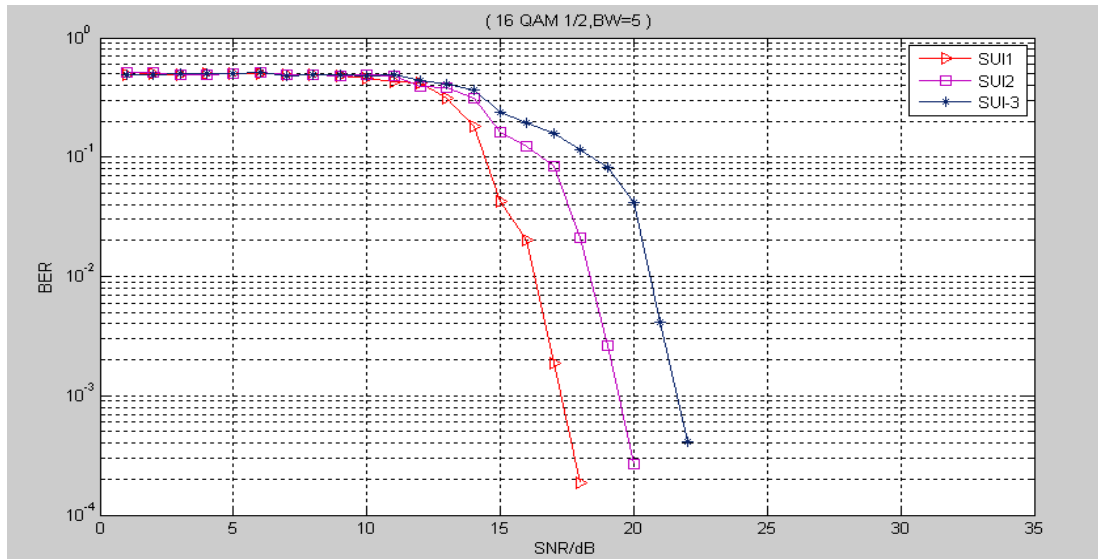
16 QAM ½ modülasyon türünde 1.75 MHz bant genişliği değeri için SUI1-2-3 kanalları incelenmiş ve değerler Tablo 5.10.' da verilmiştir. Buna göre SUI-1'den SUI-3'e doğru gidildikçe SNR değerinin arttığı görülmektedir. Buna göre SUI-1 kanal değerinde performans daha yüksektir.

Tablo 5.10. Farklı Kanal Değerlerinin SNR değerleri

10 ⁻³ 'te SNR oranları			
Modülasyon	SUI-1	SUI-2	SUI-3
16QAM ½ 1.75 MHz	13.52	15.1	18.18

Koruma Aralığı : 1/4
 Modülasyon Türü : 16QAM ½
 Sinyal Bant Genişliği : 5 MHz

Seçilerek SUI1-2-3 kanal değerleri için Şekil 5.16.'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.16. SUI1-2-3 Kanallarının 16QAM ½ Modülasyon Türü BW=5MHz ortamında BER/ SNR çizimi

16 QAM ½ modülasyon türünde 5 MHz bant genişliği değeri için SUI1-2-3 kanalları incelenmiş ve değerler Tablo 5.11.'de verilmiştir. Buna göre SUI-1' den SUI-3' e doğru gidildikçe SNR değerinin arttığı görülmektedir. Buna göre SUI-1 kanal değerinde performans daha yüksektir.

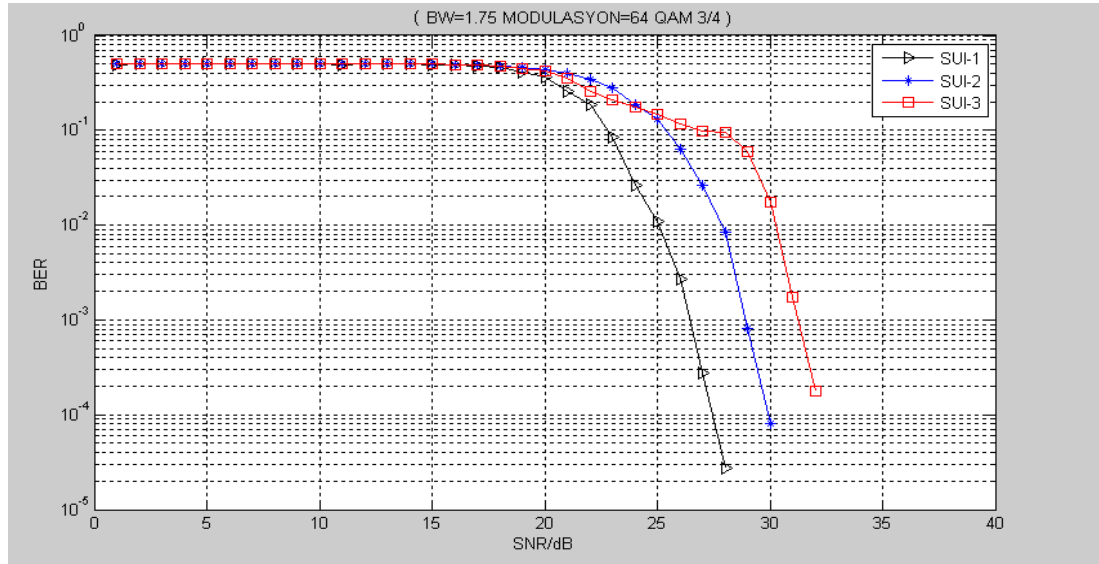
Tablo 5.11. Farklı Kanal Değerlerinin SNR değerleri

10 ⁻³ 'te SNR oranları			
Modülasyon	SUI-1	SUI-2	SUI-3
16QAM ½ 5 MHz	17.24	19.42	21.59

Tablo 5.10.'da SUI-1-2-3 kanalları için 1.75 MHz bant genişliğinde SNR değerinin Tablo 5.11.'deki 5 MHz bant genişliğinde ki SNR değerine göre daha düşük olduğu gözlenmektedir. Buna göre 1.75'te performans değeri daha yüksektir.

Koruma Aralığı : 1/4
 Modülasyon Türü : 64QAM 3/4
 Sinyal Bant Genişliği : 1.75 MHz

Seçilerek SUI1-2-3 kanal değerleri için Şekil 5.17.'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.17. SUI1-2-3 Kanallarının 64QAM $\frac{3}{4}$ Modülasyon Türü BW=1.75 ortamında BER/ SNR çizimi

64 QAM $\frac{3}{4}$ modülasyon türünde 1.75 MHz bant genişliği değeri için SUI1-2-3 kanalları incelenmiş ve değerler Tablo 5.12.'de verilmiştir. Buna göre SUI-1'den SUI-3'e doğru gidildikçe SNR değerinin arttığı görülmektedir. SUI-1 kanal değerinde performans daha yüksektir.

Tablo 5.12. Aynı BW Farklı Modülasyonların SUI1-2-3 SNR değerleri

10 ⁻³ 'te SNR oranları			
Modülasyon	SUI-1	SUI-2	SUI-3
64 QAM 3/4	26.43	28.9	31.23

Tablo 5.10.'da SUI-1-2-3 kanalları için 16 QAM $\frac{1}{2}$ modülasyon türündeki SNR değerinin Tablo 5.12.'deki 64 QAM $\frac{3}{4}$ modülasyon türündeki SNR değerine göre

daha düşük olduğu gözlenmektedir. Buna göre 16 QAM ½’deki performans değeri daha yüksektir.

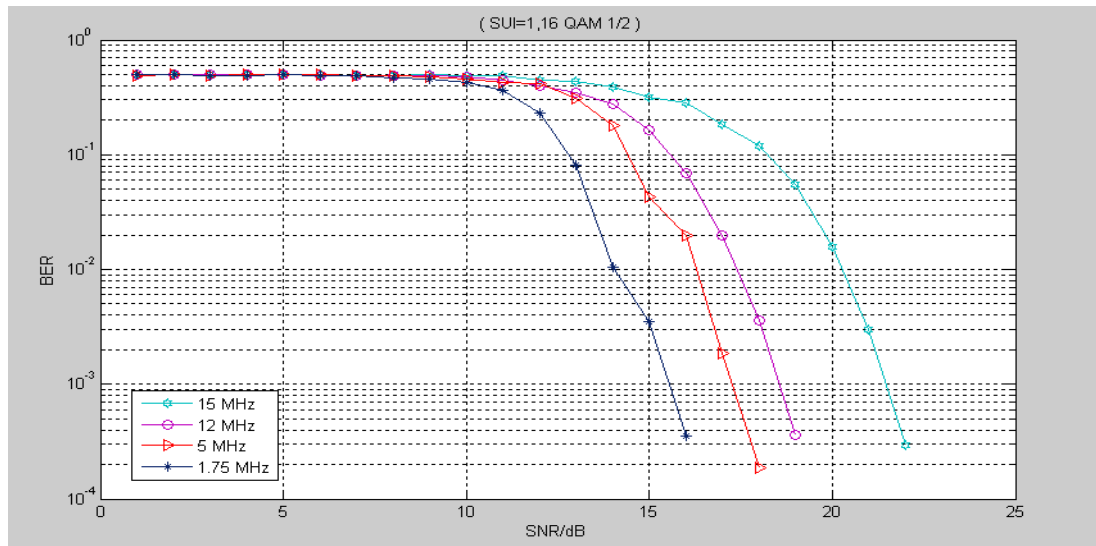
4. Seçenekte farklı SUI kanalı değerleri ile seçilen modülasyon türü, kanal çeşidi ve bant genişliği ile çizim yapılmaktadır.

Koruma Aralığı :1/4

Modülasyon Türü : 16 QAM 1/2

SUI Kanal Çeşidi : SUI1

Değerleri ile 15-12-5-1.75 MHz bant genişliklerindeki çizim Şekil 5.18.’de verilmiştir.



Şekil 5.18. 16 QAM ½ SUI-1 farklı bant genişliklerindeki BER/SNR çizimleri

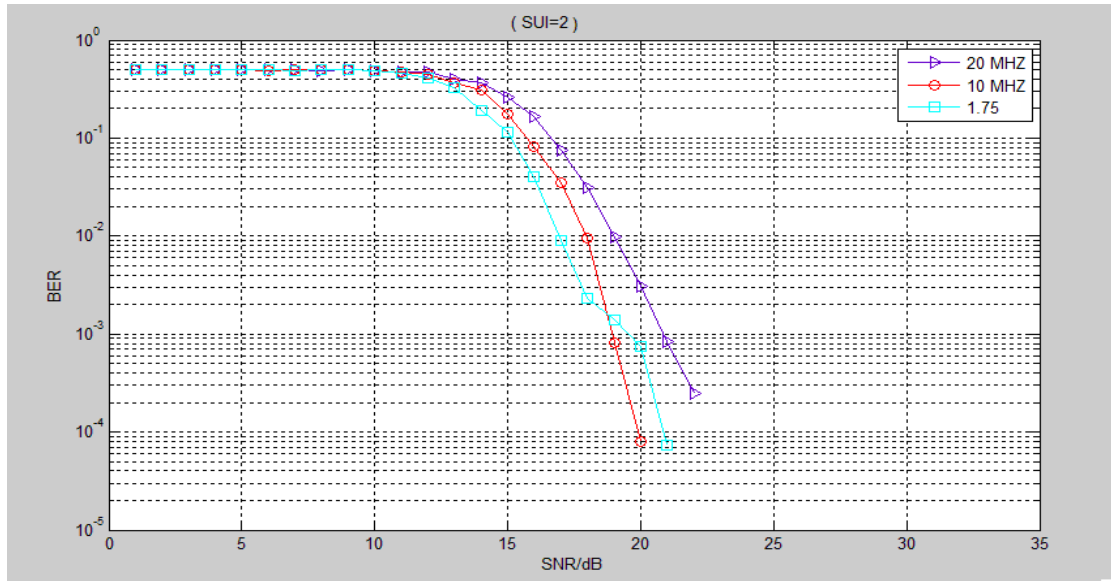
Şekil 5.18.’deki grafik incelendiğinde 16 QAM ½ modülasyon türünde SUI-1 kanalında bant genişliği 1.75’ ten 15 MHz ‘e giderken SNR değeri artmakta ve performans düşmektedir.

Koruma Aralığı :1/4

Modülasyon Türü : 16 QAM 1/2

SUI Kanal Çeşidi : SUI2

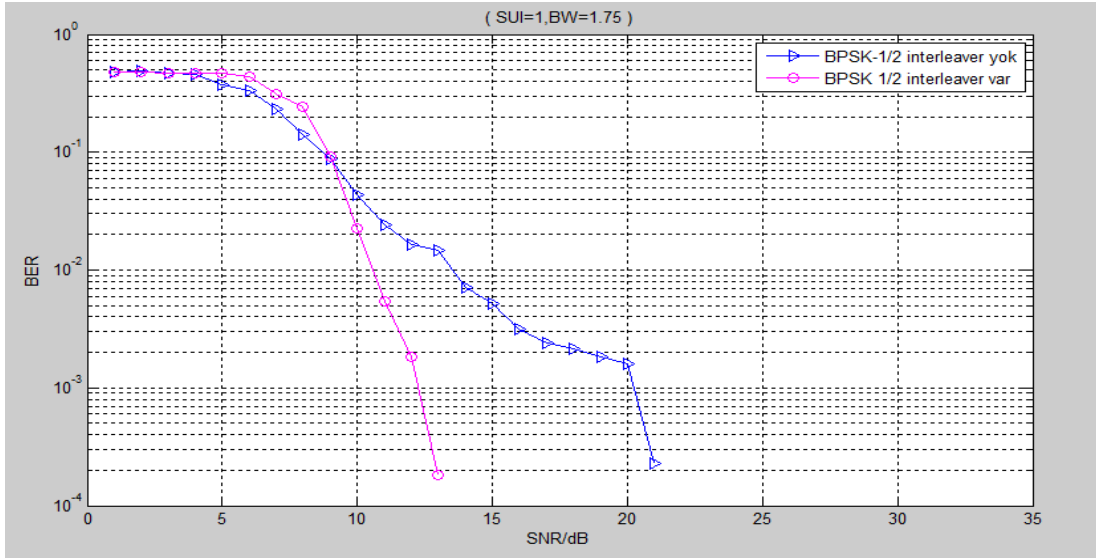
Değerleri ile 20-10-1.75 MHz bant genişliklerindeki çizim Şekil 5.19.' da verilmiştir.



Şekil 5.19. 16 QAM ½ SUI-2 farklı bant genişliklerindeki BER/SNR çizimleri

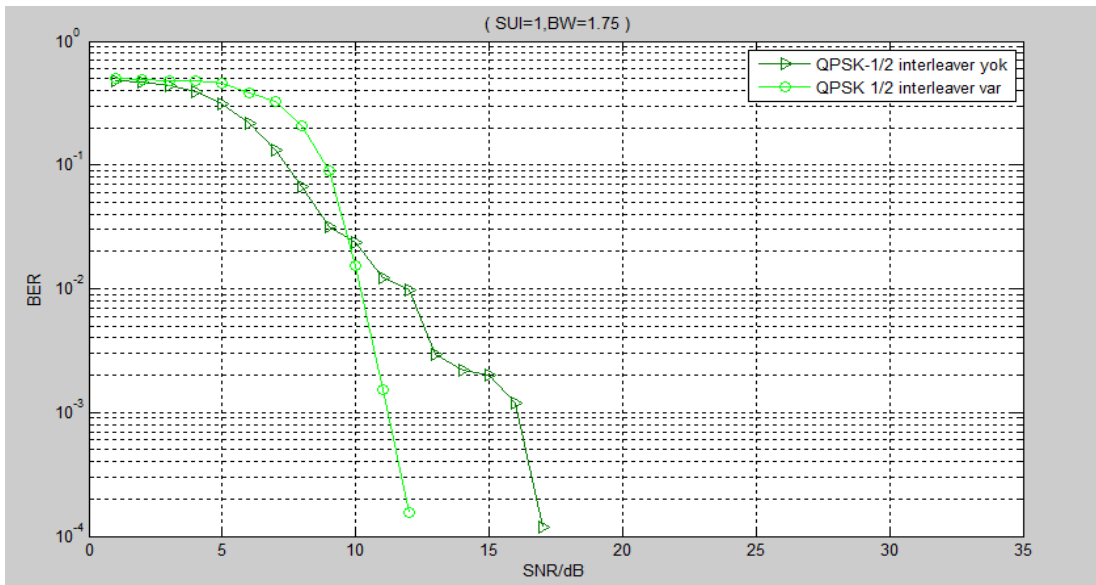
Şekil 5.19.'daki grafik incelendiğinde 16QAM ½ modülasyon türünde SUI-2 kanalında bant genişliği 1.75'ten 20 MHz'e giderken SNR değeri arttığı görülmektedir.

Programdaki seçenekler kullanılarak yukarıdaki grafiklere ulaşılmaktadır. Programda serpiştiricinin sistem performansı üzerindeki etkisi için serpiştirici (interleaver) fonksiyonu kaldırdıktan sonra oluşan hata oranı her modülasyon türü için Şekil 5.20., 5.21., 5.22., 5.23., 5.24., 5.25. ve 5.26.'da görülmektedir.



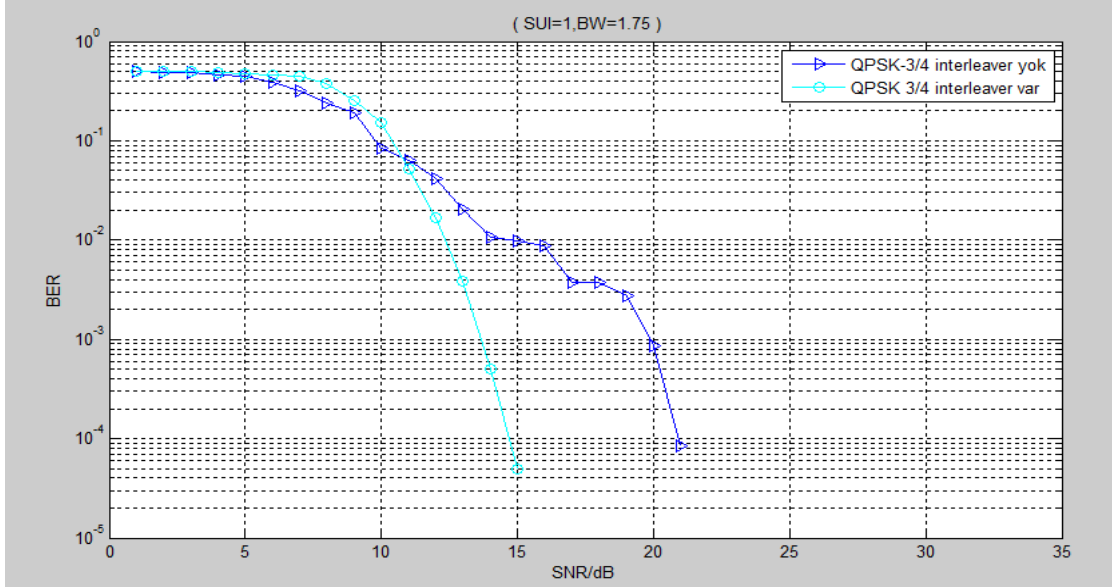
Şekil 5.20. BPSK ½ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası

Şekil 5.20’de BPSK ½ modülasyonu için serpiştirici (interleaver) kaldırıldığında SNR oranının yükseldiği görülmektedir. Buna bağlı olarak performans düşmektedir.



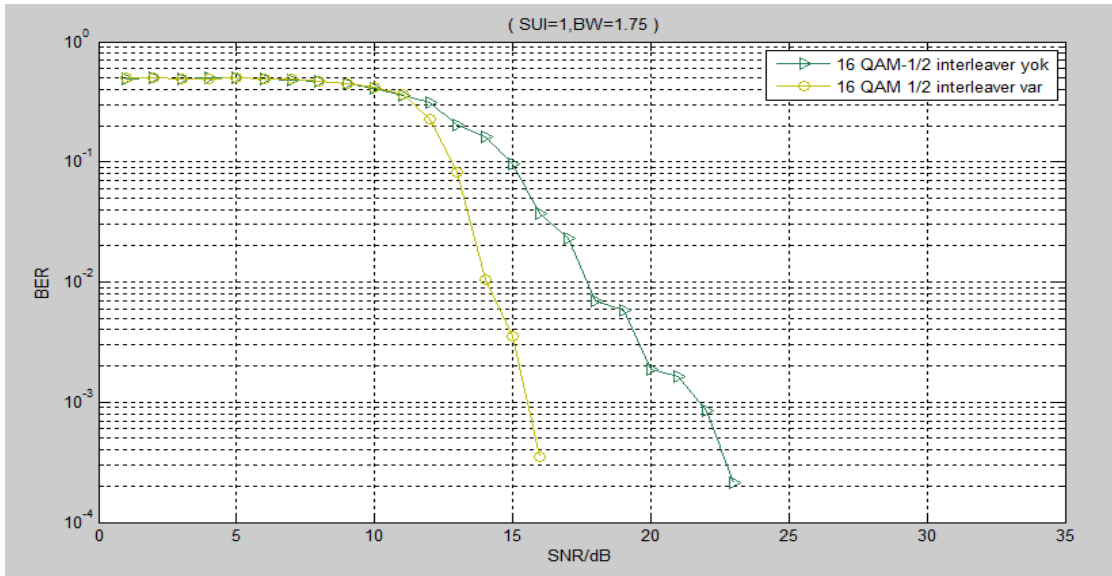
Şekil 5.21. QPSK ½ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası

Şekil 5.21’de QPSK ½ modülasyonu için serpiştirici (interleaver) kaldırıldığında SNR oranının yükseldiği görülmektedir. Buna bağlı olarak performans düşmektedir.



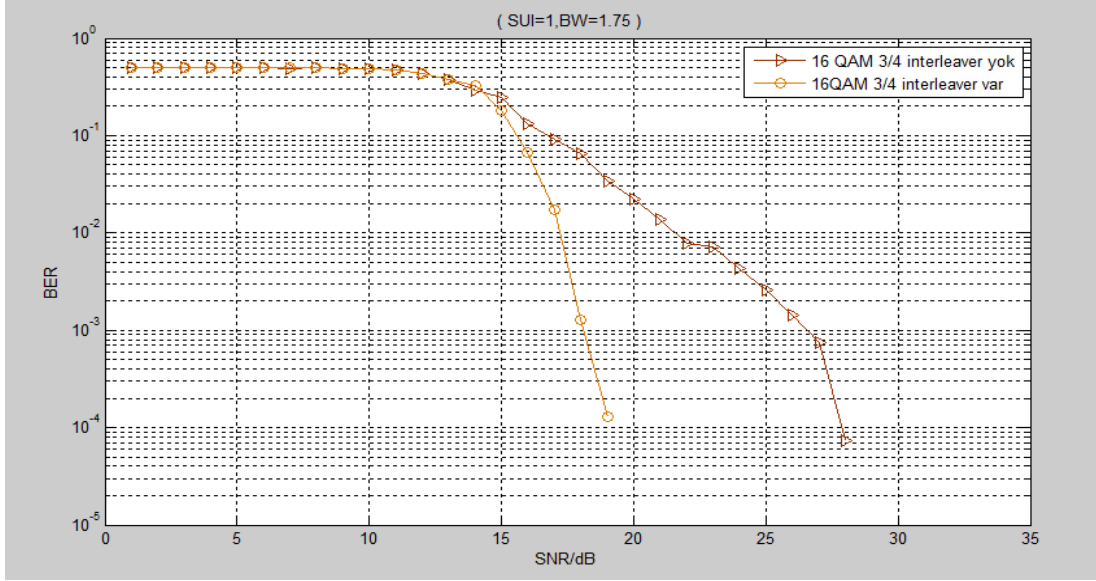
Şekil 5.22. QPSK 3/4 Modülasyonu için Serpiştirici kıyası

Şekil 5.22'de QPSK $\frac{3}{4}$ modülasyonu için serpiştirici (interleaver) kaldırıldığında SNR oranının yükseldiği görülmektedir. Buna bağlı olarak performans düşmektedir.



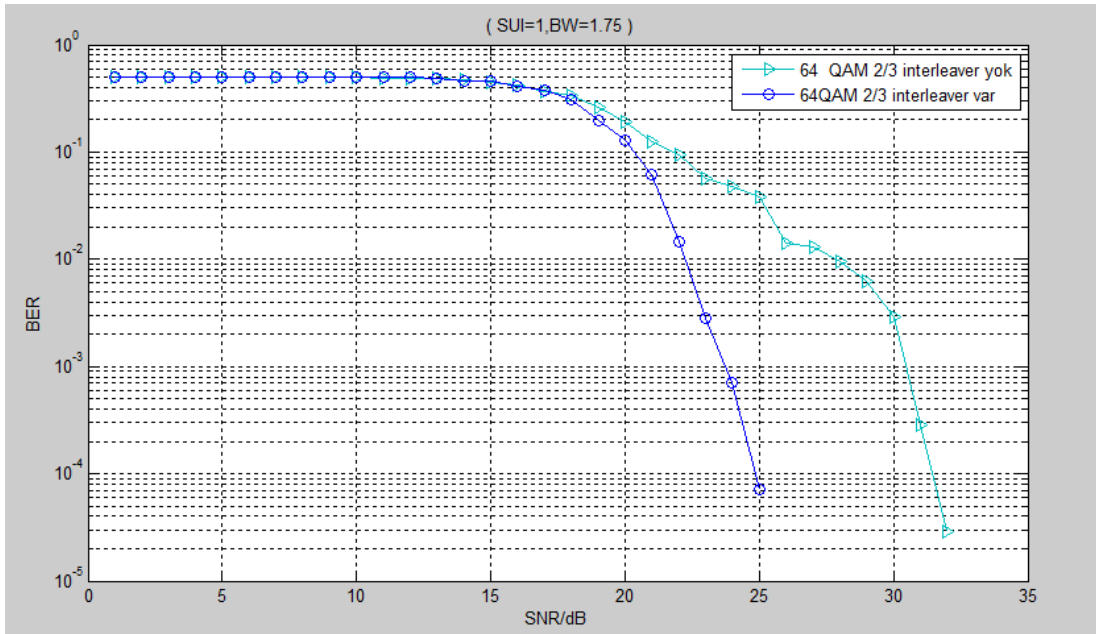
Şekil 5.23. 16 QAM $\frac{1}{2}$ Modülasyonu için Serpiştirici kıyası

Şekil 5.23'de 16 QAM $\frac{1}{2}$ modülasyonu için serpiştirici (interleaver) kaldırıldığında SNR oranının yükseldiği görülmektedir. Buna bağlı olarak performans düşmektedir.



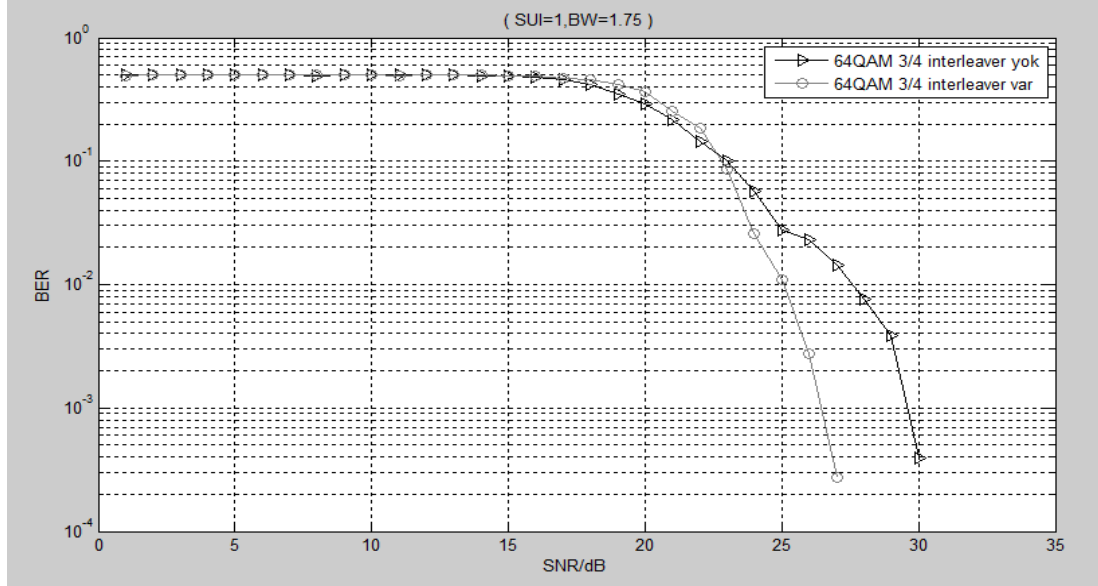
Şekil 5.24. 16 QAM 3/4 Modülasyonu için Serpiştirici kıyası

Şekil 5.24.' de 16 QAM 3/4 modülasyonu için serpiştirici (interleaver) kaldırıldığında SNR oranının yükseldiği görülmektedir. Buna bağlı olarak performans düşmektedir.



Şekil 5.25. 64 QAM 2/3 Modülasyonu için Serpiştirici kıyası

Şekil 5.25.' de 64 QAM 2/3 modülasyonu için serpiştirici (interleaver) kaldırıldığında SNR oranının yükseldiği görülmektedir. Buna bağlı olarak performans düşmektedir.



Şekil 5.26. 64 QAM 3/4 Modülasyonu için Serpiştirici kıyası

Şekil 5.26.' da 64 QAM 3/4 modülasyonu için serpiştirici (interleaver) kaldırıldığında SNR oranının yükseldiği görülmektedir. Buna bağlı olarak performans düşmektedir.

Tablo 5.13. Farklı Modülasyon değerlerinde Serpiştirici Kıyası

Modülasyon	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Kod Oranı	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
10^{-3} 'te SNR oranları							
Serpiştirici var	12.25	11.18	13.65	15.54	18.1	23.73	26.43
Serpiştirici Yok	20.23	16.07	19.85	21.74	26.55	30.45	29.58

Tablo 5.13.' te bütün modülasyonların Şekil 5.20., 5.21., 5.22., 5.23., 5.24., 5.25. ve 5.26.' daki değerleri görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde serpiştirici (interleaver) fonksiyonunun SNR oranındaki önemi görülmektedir. Serpiştirici (interleaver) fonksiyonu olmadığı zaman SNR oranı artmakta ve performans düşmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇ

Bilgiye erişim sosyal ve ekonomik gelişimin kapıları aralamaktadır. Bu bağlamda Wimax bilgiye erişim yolunda çok önemli tamamlayıcı bir fonksiyona sahiptir. Ülke çapında geniş bant erişimin kentsel-kırsal alanı kapsayacak şekilde yaygınlaştırılabilmesi için anahtar konumundadır. Wimax son kullanıcıların teknolojinin sunduğu imkanlardan maksimum düzeyde, daha uygun fiyatlarla faydalanmasını sağlayan bir teknolojidir. Bakır kablo hattının her yerde aynı koşullarda sunulmaması DSL hizmetinin her noktaya ulaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Wimax bu boşluğu önemli ölçüde doldurabilmeye adaydır.

Tez çalışmasında Wimax ürünleri için standart belirlemede önemli yeri olan fiziksel katmanın Matlab'ta uygulaması yapılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Matlab'ta hazırlanan uygulama ana sayfasında dört seçenek sunulmaktadır. Birinci seçenek farklı modülasyon teknikleri, ikinci seçenek farklı koruma aralığı değerleri, üçüncü seçenek farklı SUI kanal modelleri ve dördüncü seçenek farklı bant genişlikleri için grafik çizimlerinin sinyal hata oranlarıdır.

Bant genişliği ve koruma aralığı sabit tutularak modülasyon tekniklerine göre yapılan çizimlerde modülasyon değeri arttığı zaman SNR değerinin arttığı görülmüştür.

Bant genişliği ve kanal değeri sabit tutularak koruma aralığı değerlerine göre yapılan çizimlerde yüksek koruma aralığı değerinin düşük değerlikli modülasyonlarda daha az SNR değeri üretirken yüksek değerlikli modülasyonlarda SNR değerinin arttığı, düşük koruma aralığı değerinde bunun tam tersi olduğu görülmüştür.

SUI kanallarının sistem performansındaki etkisi için sabit bant genişliği ve koruma aralığında farklı modülasyon teknikleri ile yapılan çizimlerde SUI1 kanalında SNR değerinin SUI3'e göre daha az olduğu görülmüştür.

Sabit koruma aralığı, kanal değeri ve modülasyonda farklı bant genişliği için yapılan çizimlerde ise bant genişliğinin artmasının SNR değerini artırdığı görülmüştür.

Bu uygulamalara ek olarak programdaki serpiştiricinin SNR üzerindeki etkisi incelenmiş ve serpiştiricinin olmamasının bütün modülasyon türlerinde SNR değerini artırdığı görülmüştür.

Uygulamalar sonunda Wimax teknolojisinin fiziksel katman, WirelessMAN-OFDM ara yüzü için sistem performansını etkileyen değerler belirlenmiştir.

İlerleyen çalışmalarda menü seçenekleri farklı kriterler eklenerek çoğaltılabilir. Her bir seçim içerdiği seçenekler artırılarak detaylandırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] IEEE 802.16 and WiMAX http://www.wimax-industry.com/wp/papers/intel_80216_wimax.pdf” Son erişim 25.08.2008
- [2] Understanding WiMAX and 3G for Portable/Mobile Broadband Wireless, Technical White Paper ,Intel Corporation, Son erişim 25.08.2008
- [3] Siemens Kablosuz Geniş bant erişim sistemleri, 3 Mart 2006, İstanbul, Cengiz KARABALIK, www.siemens.com, Cengiz KARABALIK
- [4] “IEEE Standard 802.16 for Global Broadband Wireless Access,” http://ieee802.org/16/docs/03/C8021603_14.pdf” Son erişim 25.08.2008
- [5] IEEE Std 802.16-2001, IEEE Std. 802.16-2001 IEEE Standard for Local and Metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems , December 2001- P802.16-Revd/D4, March 2004 Son erişim 25.08.2008
- [6] IEEE 802.16-2004, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access systems”, 1 October, 2004 Son erişim 25.08.2008
- [7] HASAN, M. A., Performance Evaluation of WiMAX/IEEE 802.16 OFDM Physical Layer, Helsinki University Of Technology Department of Electrical and Communications Engineering Communications Laboratory, June 2007
- [8] AKIN, N. A., POSLU,Y., IEEE 802.16 (WIMAX) Protokollerini Kullanan Ürünler ve Özellikleri, Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
- [9] IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor 12005 Amendment and Corrigendum to IEEE Std 802.162004),” IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1”, February 2006
- [10] Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16eWiMAX networks, http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Applications_for_802.162004_and_802.16e_WiMAX_networ

k_final.pdf, Son erişim 25.08.2008

- [11] What does WiMAX Forum Certified™ mean? ,<http://www.wimaxforum.org/technology/faq/> Son erişim 25.08.2008
- [12] SWEENEY, DANIEL, WiMAX Operator's Manual: Building 802.16 Wireless Networks, Apress Publishing, May 2004
- [13] Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation,http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf, Son erişim 25.08.2008
- [14] EKLUND, C., ROGER B., MARKS, Roger B., KENNETH L., STANWOOD, STANLEY, W., IEEE Standard 802.16: A technical overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access, IEEE Communications Magazine, pp. 98107 June 2002.
- [15] GHOSH, A., WOLTER, D.R., ANDREWS, J.G., CHEN, R., Broadband wireless access with WiMax/802.16: current performance benchmarks and future potential, Communications Magazine, IEEE, Vol.43, Iss.2, Feb. 2005, pp: 129136
- [16] “Adaptive Modulation (QPSK, QAM)”, Application Notes, Intel Corporation, Son erişim 25.08.2008
- [17] ÜNAL, L., Reed-Solomon Kod Çözücü Tasarımı, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2005
- [18] ZORLU, Y., Reed – Solomon Kodların Awgn Ve Rayleigh Kanallarda Basarım Analizi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi , Temmuz 2006
- [19] SEYMAN, M. N., Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama (Ofdm) Sistemlerinde Senkronizasyon Teknikleri, T.C. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2005
- [20] ÖZŞAHİN, A. T., Ofdm Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kanal Dengeleme, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2006
- [21] WEINSTEIN, S. B., EBERT, P.M., Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform, IEEE Transactions on Communication Technology, 19(3), 628-634, 1971.
- [22] M. RAHMAN , S. DAS , F. FITZEK, OFDM based WLAN systems, Technical Report, Aalborg University, Denmark, February 2005
- [23] IEEE 802.16.3c-01/29r4, “Channel Models for Fixed Wireless Applications,” <http://www.ieee802.org/16>. Son erişim 25.08.2008

- [24] DANIEL S. B., Simulating the SUI Channel Models, IEE 802.163c01_53
- [25] DEMİR, U., Raptor Ve Reed-Solomon Göndermede Hata Düzeltim Kodları Dokuz Eylül Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü İzmir
- [26] ÇALHAN A., Kablosuz İletişimde Kullanılan Katlamalı Kodlama Tekniklerinin Karşılaştırmalı Başarım Analizi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2006
- [27] ELİAS, P., Coding for Noisy Channels, IRE Conv. Record, 4 (1955) 37-47.
- [28] “WiMAX’s technology for LOS and NLOS environments”, WiMAX Forum white paper www.wimaxforum.com Son erişim 25.08.2008
- [29] J.M. Cioffi., “A multicarrier primer”. Stanford University, <http://www.stanford.edu/group/cioffi/documents/multicarrier.pdf> Son erişim 25.08.2008

ÖZGEÇMİŞ

Fadime Öğülmüş, 23.09.1982 'de Malatya/Darende' de doğdu. İlkokul 4. Sınıfa kadar Darende'de başladığı eğitimini geldiği Sakarya 'da devam ederek, orta ve lise eğitimini burada tamamladı. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Geyve MYO Bilgisayar Programcılığı Bölümünü kazandı. 2 yıllık öğrenimini takiben 2002 yılı DGS sınavında kazandığı Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği bölümünden 2005 yılında mezun oldu. 2005 Eylül ayında MEB'de başladığı Bilişim Teknolojileri Öğretmenliği görevine devam etmektedir.