

**UYARLAMA MODÜLASYONLU TURBO KODLANMIŞ DİKGEN  
FREKANS BÖLMELİ ÇOKLAMA (OFDM) SİSTEMLERİN  
MÜKEMMEL OLMAYAN KANAL KESTİRİMİ  
ALTINDA İNCELENMESİ**

**MUSA CİVİL**

**YÜKSEK LİSANS  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2012  
ANKARA**

Musa CİVİL tarafından hazırlanan “UYARLAMA MODÜLASYONLU TURBO KODLANMIŞ DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOKLAMA (OFDM) SİSTEMLERİN MÜKEMMEL OLMAYAN KANAL KESTİRİMİ ALTINDA İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Özgür ERTUĞ .....  
Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Erkan AFACAN .....  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, GAZİ ÜNİVERSİTESİ

Doç.Dr. Suat ÖZDEMİR .....  
Bilgisayar Mühendisliği, GAZİ ÜNİVERSİTESİ

Yrd.Doç.Dr. Özgür ERTUĞ .....  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, GAZİ ÜNİVERSİTESİ

Tarih : 07/07/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Musa CİVİL

**UYARLAMA MODÜLASYONLU TURBO KODLANMIŞ DİKGEN FREKANS  
BÖLMELİ ÇOKLAMA (OFDM) SİSTEMLERİN  
MÜKEMMEL OLMAYAN KANAL KESTİRİMİ  
ALTINDA İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**MUSA CİVİL**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Temmuz 2012**

**ÖZET**

Bu tez kapsamında haberleşme kanal modellerinde çok sık kullanılan Awgn ve çok yollu Rayleigh kanal altında 4/8/16/32/64 QAM modüle edilmiş OFDM sistemlerin bit-hata-oranı (BER) mükemmel kanal kestirimi altında incelenmiştir. İleri-hata-düzeltilme (FEC) yöntemlerinden olan turbo kodlama tekniği de eklenerek 4/8/16/32/64 QAM modüle edilmiş OFDM sistemlerin bit-hata-oranı (BER) mükemmel kanal altında incelenmiştir. Tüm analizlerin benzetim çalışmaları Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bu tezde QAM modüle edilmiş OFDM sistemler için uyarlamalı modülasyon tekniği 4/8/16 QAM olarak uygulanmış ve mükemmel kanal kestirimi altında bit-hata-oranı benzetim çalışmaları yapılarak elde edilmiştir. Bu çalışmalar turbo kodlar ile desteklenerek mükemmel kanal kestirimi altında uyarlama modülasyonlu turbo kodlanmış OFDM sistemler için bit-hata-oranı benzetim çalışmaları ile elde edilmiştir.

Mükemmel kanal kestirimi yapılarak incelenen uyarlama modülasyonlu turbo kodlanmış sistemler pilot sembol eklenerek ve mükemmel

olmayan kanal kestirimi metotları uygulanarak incelenmiş ve benzetim çalışmaları ile bit-hata-oranı hesaplanarak mükemmel kanal kestirimi ile karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak bu çalışma efektif çıktı analizini içermektedir.

**Bilim Kodu** : 905.1.035  
**Anahtar Kelimeler** : OFDM Sistem, M-QAM, Turbo Kodlama Tekniği, Uyarlamalı Modülasyon, Bit Hata Oranı  
**Sayfa Adedi** : 66  
**Tez Yöneticisi** : Yrd.Doç.Dr. Özgür ERTUĞ

**ANALYSIS OF ADAPTIVE MODULATED & TURBO CODED OFDM  
SYSTEMS UNDER IMPERFECT CHANNEL ESTIMATION**

**(M.Sc. Thesis)**

**MUSA CİVİL**

**GAZI UNIVERSITY**

**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**July 2012**

**ABSTRACT**

Scope of thesis we analyzed bit-error-ratio (BER) of 4/8/16/32/64 QAM modulated OFDM systems in most used communication channel model which is called Awgn and multipath Rayleigh under perfect channel estimation. By adding turbo coding which is technique of forward-error-correction (FEC), 4/8/16/32/64 QAM modulated OFDM Systems bit-error-ratio also analyzed. All analysis simulation works realizer in Matlab environment.

In this thesis, Adaptive Modulation as 4/8/16 QAM is applied to QAM modulated OFDM Systems and bit-error-ratio simulations are made under perfect channel estimation. Supporting by turbo coding bit-error-ratio simulations are gained for adaptive modulated OFDM systems under perfect channel estimation.

Adaptive modulated and turbo coded OFDM systems are supporting by pilot and analyzed under imperfect channel estimation. Simulation results by calculating bit-error-ratio under perfect and imperfect channel estimation are also compared. Added to this, effective throughput analysis are included in this work.

**Science Code** : 905.1.035  
**Key Words** : OFDM System, M-QAM, Turbo Coding,  
Adaptive Modulation, BER  
**Page Number** : 66  
**Adviser** : Assist. Prof.Dr. Özgür ERTUĞ

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren SayınYrd.Doç.Dr. Özgür Ertuğ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez süresince yardımcı olan değerli arkadaşlarım Fatih Genç, Mustafa Selim Can ve Asuman Yavanoğlu'na teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca finansal olarak destek veren TÜBİTAK Bideb'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman bana destek vermiş ve yanımda olmuş, maddi ve manevi yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen çok değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; bu tez çalışması boyunca bana karşı her türlü destek veren ve hep yanımda olan saygıdeğer eşime teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. TURBO KODLANMIŞ DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOKLAMA.....	5
2.1. QAM/OFDM Yapısı .....	6
2.2. Turbo Kodlama.....	8
2.2.1. Turbo kodlayıcı .....	8
2.2.2. Turbo kod çözücü.....	10
2.2.3. Turbo kod çözücü algortimaları .....	11
2.3. Awgn Kanal Yapısı .....	13
2.4. Çok-Yollu Rayleigh Kanal Yapısı.....	14
2.5. Kanal Kestirimi .....	16
2.5.1. Mükemmel kanal kestirimi.....	16
2.5.2. MMSE kanal kestirimi.....	17
2.5.3. LS kanal kestirimi.....	17
3. TURBO KODLANMIŞ QAM/OFDM PERFORMANS ANALİZİ.....	19
3.1. Awgn Kanal Altında .....	19

	<b>Sayfa</b>
3.2. Mükemmel Kanal Kestirimi .....	25
3.3. Mükemmel Olmayan Kanal Kestirimi.....	30
3.4. DFT Temelli Mükemmel Olmayan Kanal Kestirimi .....	38
4. UYARLAMA MODÜLASYONLU TURBO KODLANMIŞ OFDM .....	46
4.1. Uyarlama Modülasyonlu Turbo Kodlanmış OFDM Mimarisi .....	46
4.2. Bit Hata Oranı (BER) Analizi .....	51
4.2.1. Mükemmel kanal kestirimi altında .....	51
4.2.2. DFT Temelli Mükemmel olmayan kanal kestirimi altında .....	52
4.3. Çıktı Analizleri .....	54
5. SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR .....	59
EKLER .....	61
EK - 1 UYARLAMA MODÜLASYONU MATLAB KODLARI .....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	66

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Awgn kanal benzetim parametreleri.....	20
Çizelge 3.2. Awgn kanal altında QPSK ve QAM benzetim sonuçları.....	24
Çizelge 3.3. Rayleigh kanal benzetim parametreleri.....	26
Çizelge 3.4. Mükemmel olmayan kanal benzetim parametreleri.....	31
Çizelge 4.1. Uyarlama modülasyonu benzetim parametreleri.....	47
Çizelge 4.2. Anahtarlama eşik değerleri.....	48

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 QAM mimarisi.....	6
Şekil 2.2. 64 - QAM yıldız (constellation) diagramı .....	7
Şekil 2.3.Turbo kodlayıcı.....	8
Şekil 2.4. Özyinelemeli sistematik evrişimsel kodlar (RSCC).....	9
Şekil 2.5. Turbo kod çözücü.....	11
Şekil 2.6. BCJR algoritması kafes yapısı .....	12
Şekil 2.7. Awgn kanal yapısı .....	13
Şekil 2.8. Çok-yollu kanal.....	14
Şekil 2.9. Çok-yollu tap-kanal modeli .....	15
Şekil 2.10. Blok tipi kanal kestirimi .....	16
Şekil 3.1. Awgn kanal altındaki sistem mimarisi.....	19
Şekil 3.2. 4-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Awgn kanalda) .....	21
Şekil 3.3. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM bit hata oranı (Awgn kanalda).....	21
Şekil 3.4. 8-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Awgn kanalda) .....	22
Şekil 3.5. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM bit hata oranı (Awgn kanalda).....	22
Şekil 3.6. 16-QAM bit hata oranı (Awgn kanalda) .....	23
Şekil 3.7. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM bit hata oranı (Awgn kanalda).....	23
Şekil 3.8. Rayleigh kanal altındaki sistem mimarisi.....	25
Şekil 3.9. 4-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Rayleigh kanal) .....	27
Şekil 3.10. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit-hata-oranı .....	27
Şekil 3.11. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (Rayleigh kanal).....	28

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.12. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit-hata-oranı .....	28
Şekil 3.13. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (Rayleigh kanal).....	29
Şekil 3.14. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit-hata-oranı .....	29
Şekil 3.15 Rayleigh kanal altındaki mükemmel olmayan kanal kestirimi.....	30
Şekil 3.16. 4-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi) .....	32
Şekil 3.17. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit hata oranı .....	32
Şekil 3.18. 4-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi).....	33
Şekil 3.19. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit hata oranı .....	33
Şekil 3.20. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi) .....	34
Şekil 3.21. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit hata oranı .....	34
Şekil 3.22. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi).....	35
Şekil 3.23. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit hata oranı .....	35
Şekil 3.24. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi) .....	36
Şekil 3.25. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit hata oranı .....	36
Şekil 3.26. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi).....	37
Şekil 3.27. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit hata oranı .....	37
Şekil 3.28. DFT temelli kestirim.....	39
Şekil 3.29. 4-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi) .....	39
Şekil 3.30. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit hata oranı .....	40
Şekil 3.31. 4-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi).....	40
Şekil 3.32. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit hata oranı .....	41
Şekil 3.33. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi) .....	41
Şekil 3.34. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit hata oranı .....	42

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.35. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi).....	42
Şekil 3.36. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit hata oranı .....	43
Şekil 3.37. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi) .....	43
Şekil 3.38. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit hata oranı .....	44
Şekil 3.39. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi).....	44
Şekil 3.40. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit hata oranı .....	45
Şekil 4.1. Uyarlama modülasyonlu turbo kodlanmış QAM/OFDM.....	48
Şekil 4.2. Uyarlama modülasyon algoritması .....	49
Şekil 4.3. Alternatif uyarlama modülasyon algoritması.....	50
Şekil 4.4. Mükemmel kanal kestirimi altında bit-hata-oranı .....	51
Şekil 4.5. DFT-LS kanal kestirimi altında bit-hata-oranı .....	52
Şekil 4.6. DFT-MMSE kanal kestirimi altında bit-hata-oranı.....	53
Şekil 4.7. Mükemmel kanal kestirimi altında çıktı analizi.....	55
Şekil 4.8. DFT-LS kanal kestirimi altında çıktı analizi.....	55
Şekil 4.9. DFT-MMSE kanal kestirimi altında çıktı analizi .....	56

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$B_c$	Uyum Bant Genişliği
$h_n$	Kanal Dürtü Tepkisi
$H_n$	Kanal Frekans Tepkisi
$N_o$	Gürültü Varyansı
$T_c$	Uyum Süresi
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama(İngilizce) / Açıklama (Türkçe)</b>
<b>A-CP</b>	Cyclic Prefix Adder / Çevrimsel Önek Ekleyici
<b>BER</b>	Bit-Error-Ratio / Bit-Hata-Oranı
<b>DEC</b>	Decoder / Veri Çözücü
<b>DEMOD</b>	Demodulator / Ters Modülatör
<b>DFT</b>	Discrete Fourier Transform / Ayrık Fourier Dönüşümü
<b>ENC</b>	Encoder / Veri Kodlayıcı
<b>FEC</b>	Forward Error Correction / İleri Hata Düzeltme
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform / Hızlı Fourier Dönüşümü
<b>IFFT</b>	InverseFastFourierTransform / Hızlı Ters Fourier Dönüşümü
<b>ISI</b>	Inter SymbolInterference / Semboller Arası Girişim
<b>LS</b>	Least Square / En Küçük Kareler
<b>MMSE</b>	Minimum Mean Square Error / Minimum Ortalama Karesel Hata
<b>MOD</b>	Modulator / Modülatör

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama(İngilizce)/Açıklama (Türkçe)</b>
<b>OFDM</b>	Ortogonal Frequency Division Multiplexing / Dikgen Frekans Bölmeli Çoklama
<b>P/S</b>	Parallel Seri Converter / Paralel Seri Çevirici
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation / Kuadrant Genlik Modülasyonu
<b>R-CP</b>	Cyclic Prefix Remover / Çevrimsel Önek Kaldırıcı
<b>S/P</b>	Serial Parallel Converter / Seri Paralel Çevirici
<b>SNR</b>	Signal Noise Ratio / Sinyal Gürültü Oranı
<b>U/D</b>	Uygulanabilir Değil



## 1. GİRİŞ

OFDM modülasyon teknikleri son yıllarda kablosuz haberleşme alanında oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır. Birçok modern haberleşme sistemlerinde OFDM tekniğine oldukça sık olarak rastlanır.

Veri aktarımı kablosuz ortamda tek bir rf-taşıyıcı üzerinden gönderilirken birden fazla bozucu etki ile karşılaşabilir ve ulaştığı noktada verilerin büyük bir bölümünde hata oluşmuş ayrıca frekans bandı verimli kullanılmamış olur. Çok-taşıyıcılı veri aktarımında ise daha küçük frekans bandında birbirine dikgen alt-taşıyıcılar sayesinde veri aktarımı daha verimli ve kayba karşı daha dayanıklı olarak yapılır.

OFDM tekniği çok taşıyıcı iletim tekniğinin özel bir şekli olup tek bir yüksek hızlı data serisinin birden çok düşük hızlı data serisine ayrılmasını ifade etmektedir. Bu düşük hızlı data dizilimleri daha sonra alt-taşıyıcılar kullanılarak modüle edilerek birbirine dikgen duruma gelirler. Bu sayede çok yollu gecikme yayılımı ile oluşan kanal dağınıklarının sonucu ortaya çıkan ISI azaltılmış olur [1].

OFDM tekniğin temel avantajı çok-yollu gecikme yayılımına karşı dayanımı ve bant genişliğini birbiri üzerine frekans bölmesinde bindirilerek etkin kullanımudur. Dikkat çeken diğer bir özelliği ise modülasyon ve ters modülasyon işlemlerinin hızlı ve ters hızlı fourier dönüştürücü üzerinden hesaplama kolaylığıdır [1].

OFDM tekniğinde dikgen frekans bölmeli çoklama yapılarak bant genişliği daha verimli kullanılmış olur. Örneğin, tek-taşıyıcılı bir frekans bölmeli çoklama 60 kHz bant genişliği kaplarken 4 taşıyıcılı herbiri 15 kHz bant genişliğinde bir OFDM sistem ile frekans spektrum daha etkin kullanılmış olur.

OFDM tekniği ile modüle edilmiş bir sistem genel olarak frekans spektrumun etkin kullanımı ve çok yollu kanal etkisi ile ortaya çıkan ISI karşı dayanım sağlamaktadır.

Temel olarak kablosuz haberleşmede kullanılan bir temel bant OFDM sistem verici ve alıcı sisteminden oluşmaktadır.

OFDM sistemi verici birimlerini incelersek; MOD bloğu ile frekans bölgesinde oluşturulan data en çok kullanılan M-PSK ya da M-QAM modülatör ile modüle edilir. S/P bloğu modüle edilmiş sembollerin her birini veya birkaçını alt-taşıyıcılar için uygun hale getirir. IFFT bloğu ise OFDM tekniğinin asıl uygulandığı blok olup frekans bölgesinde zaman bölgesine geçişin yapıldığı yerdir. A-CP bloğu ile bir ereve içindeki OFDM sembollerinin diğer ereve içindeki OFDM sembolleri ile karışması engellenerek haberleşme dayanıklılığı sağlanır. Haberleşme kanalı boyunca data seri olarak iletileceği için A-CP'den hemen önce P/S evrimi yapılarak OFDM alt-taşıyıcıları içindeki sembollerin seri hale gelmesi sağlanır.

Kanal ise çok-yollu Rayleigh kanal olup gürültü eklemesinin gönderilen sinyallere bindirildiği yapıdır. Verici birimde IFFT bloğu sonrasında tüm işlemler zaman bölgesinde yapılmaktadır.

OFDM sisteminin alıcı birimi ise verici tarafındaki blokların yaptığı fonksiyonların terslenerek yapıldığı yerdir. R-CP bloğu bir ereve içindeki OFDM sembol bozulmalarını bir sonraki OFDM sembolleri ile engellenmesi için yerleştirilen önek verisinin kaldırılarak bir sonraki bloğa sadece ereve içindeki OFDM sembolünün iletildiği bloktur. Bu aşamadan sonra frekans bölgesine tekrar geçmek için S/P dönüşümüne tekrar ihtiyaç duyulur. FFT bloğu ile tekrar zaman bölgesinden frekans bölgesine geçiş sağlanır ve semboller alt-taşıyıcılardan ayrılır. P/S bloğu verinin ters modüle edilmesi için seri dizi haline getirildiği yerdir. DEMOD bloğu ise ters modülasyon gerçekleştirilerek veri olarak sunulduğu bloktur.

FEC teknikleri arasında yer alan turbo kodlama tekniği haberleşme sistemlerinde oldukça fazla kullanım alanı olan ve veri güvenliği başarımı oldukça yüksek olan bir kodlama yapısıdır.

Turbo kodlama için  $1/2$  ve  $1/3$  kodlama oranı bu tez kapsamında uygulanmıştır. Basit olarak  $1/2$  turbo kodlama yapısını incelersek göndermek istediğimiz her bir veri biti için yanına bir tane güvenlik biti ekleriz. Bu güvenlik biti veri bitinin hatalara karşı dayanımını artırır.

Turbo kodlama OFDM sistemi mimarisi içinde basit olarak ENC ve DEC blokları ile gösterilmiştir. ENC bloğu haberleşme kanalında gönderilecek veriyi alarak Turbo  $1/2$  ya da  $1/3$  olarak kodlanmış hale getirir. ENC bloğunda çıkan kodlanmış veri MOD bloğuna girer.

Alıcı tarafında ise durum verici tarafında yapılan işlemlerin tam tersi olarak gerçekleşir. DEMOD bloğundan ters modüle edilmiş olarak ayrılan kodlanmış veri dizisi DEC bloğundan geçerek sadece veri dizisi haline gelir.

Tezin 2. bölümünde QAM/OFDM, Awgn ve çok-yollu Rayleigh kanal, turbo kodlama, turbo kodlayıcı, turbo kod çözücü, LS kestirim, MMSE kestirim, mükemmel kestirim, DFT-temelli LS ve MMSE kestirimi yer almaktadır.

Tezin 3. bölümünde Awgn kanal ve 2-yollu Rayleigh kanal altında QAM/OFDM performansları ve BER analizleri, turbo  $1/2$  ve turbo  $1/3$  kodlanmış QAM/OFDM performansları ve BER analizleri, mükemmel kanal kestirimi içeren pilot veri eklenmiş ve turbo  $1/2$  ve turbo  $1/3$  kodlanmış QAM/OFDM performansları ve BER analizleri, mükemmel olmayan kanal kestirimi içeren pilot veri eklenmiş ve turbo  $1/2$  ve turbo  $1/3$  kodlanmış QAM/OFDM performansları ve BER analizleri yer almaktadır.

Tezin 4. bölümünde uyarılama kodlamalı turbo kodlanmış QAM/OFDM mimarisi oluşturularak mükemmel ve mükemmel olmayan kanal kestirimi

altında BER analizi ve çıktı (throughput) karşılaştırmaları yapılmıştır. Yine bu bölüm içersinde mükemmel olmayan kanal kestirimi için gürültü azaltma tekniği olarak DFT temelli yapıdan bahsedilmiştir. DFT temelli kestirim yapısında kanal gecikme oranı dikkate alınarak filtre boyunca tüm gürültünün kestirim hesabına katılmasının önüne geçilmiş olur.

5. Bölümde tez sonuçları tartışılmış ve öneriler yapılmıştır.

## 2. TURBO KODLANMIŞ DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOKLAMA

Turbo kodlanmış OFDM tekniği Şekil 1.6'da verilmiştir. Turbo kodlama yapılarak verinin kanal iÇerisinde daha güvenli bir biŐimde aktarımı sağlanır. Turbo kodlama yapılarından olan 1/2 ve 1/3 kod oranı QAM/OFDM mimarisine uygulanmıştır.

QAM/OFDM sistem mimarisine eklenen ENC ve DEC blokları MOD ve DEMOD bloklarından hemen önce ve hemen sonra uygulanır.

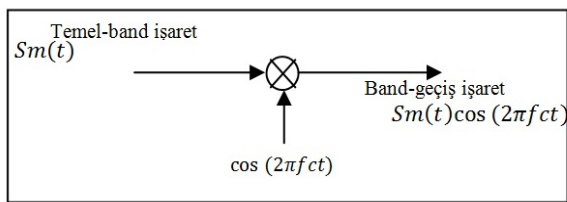
Turbo kodlanmış QAM/OFDM sistemde gönderilen verinin güvenliği ve alıcı tarafındaki yanlış tespit oranı düşürölürken aktarılan veri miktarı da azalmaktadır.

Bant geniŐliđinin bir kısmını koruyucu turbo verisi kaplamaktadır. BER aŐısından turbo kodlanmış ve turbo kodlanmamış bir kanal incelendiğinde, turbo kodlanmış verinin 4 - 4,5 dB daha önce turbo kodlanmamış verinin BER oranını yakaladığı gözlemlenmektedir.

İletim kanallarında yüksek miktarda verinin düşük bant genişliğinde aktarımı kadar kanal etkilerine karşı dayanımı ve ne kadar verinin sağlıklı aktarıldığı gibi unsurlar da büyük önem taŐır.

## 2.1. QAM/OFDM Yapısı

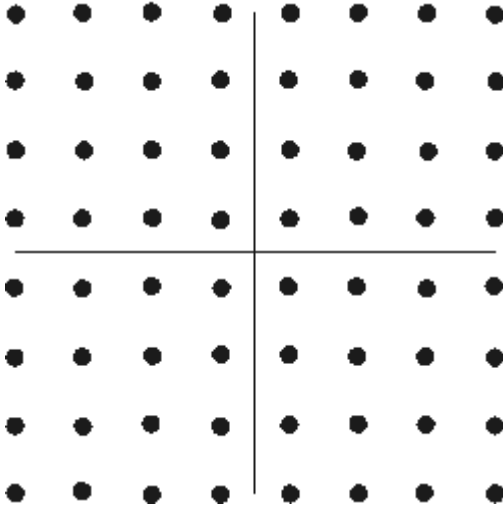
Sayısal dalga formlarının bant-geçiren kanallarda genlik modülasyonu ile iletimi için  $S_m(t)$ ,  $m=1,2,\dots,M$  temel bant dalga formları şekil 2.1'de görülen  $\cos(2\pi f_c t)$  formundaki sinüzoidal taşıyıcı ile çarpılır. Bu şekilde  $f_c$  taşıyıcı frekansdır ve kanalın geçiş bandındaki merkez frekansa karşılık gelir.



Şekil 2.1 QAM mimarisi

Band-geçiş dalga formları bilgi bitlerince genlik modüle edilen iki ortogonal taşıyıcı işaret ( $\cos(2\pi f_c t)$ ,  $\sin(2\pi f_c t)$ ) olarak temsil edilir. Buna karşın taşıyıcı faz modüleli işaretler eşit enerjiye sahip olmak zorundadır. Dolayısıyla işaret dalga formlarının geometrik gösteriminde işaret noktaları yarıçaplı çember üzerindedirler. Bu işaretleri oluşturmanın en kolay yolu ayrı bilgi bitlerini her bir ortogonal taşıyıcı  $\cos(2\pi f_c t)$  ve  $\sin(2\pi f_c t)$  üzerine yerleştirmektir [10].

Şekil 2.2'de  $M=6$  için 64-QAM yıldız kümesi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 64 - QAM yıldız (constellation) diagramı

M – QAM ile anlatılan QAM yıldız diyagramının içindeki her bir yıldızın ifade ettiği bit sayısıdır. Şekil 2.2’de her bir yıldız değeri 6 bitten oluşmaktadır. N<sub>bps</sub> bir semboldeki bit sayısını temsil etmek üzere bir QAM modülasyonun alfabe sayısı olan M için aşağıdaki formül geçerlidir;

$$M=2^{N_{bps}} \quad (2.1)$$

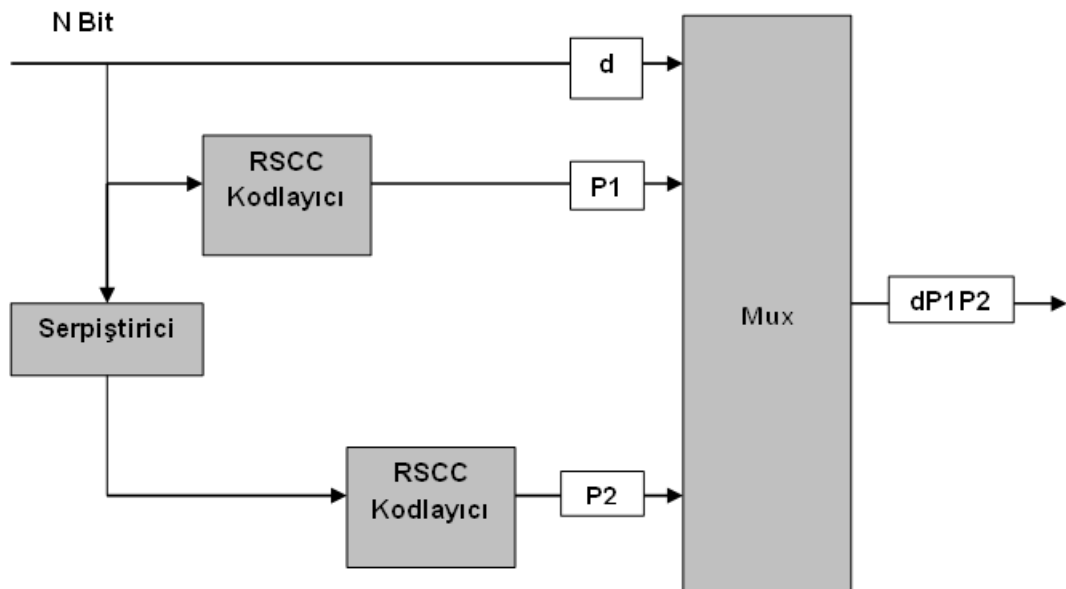
Tez kapsamında QAM/OFDM mimarisi içinde N<sub>bps</sub>=2, 3, 4, 5, 6 için M=4, 8, 16, 32, 64 QAM teknikleri kullanılmıştır.

## 2.2. Turbo Kodlama

Turbo kodlar ileri yönde hata düzeltme kodları (FEC) olup, kodlayıcı ve kod çözücü blokları içermektedir. Kodlayıcı ve kod çözücü bloklar detaylı olarak ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

### 2.2.1. Turbo kodlayıcı

Turbo kodlar, iki paralel ve seri kodlayıcı arasında bir serpiştirici (interleaver) içeren, eklenmiş kodların (concatenated codes) özel bir sınıfıdır. Serpiştiricinin varlığı, düşük SNR değerlerinde mükemmel performansa sahip çok büyük kod kelimeleri ile sonuçlanır. Bu kodları kullanarak, düşük sinyal-gürültü oranlarında (SNR) dahi Shannon limitine, 1 dB'den az olacak kadar yaklaşmak mümkündür. Bir Turbo kodlayıcının yapısı şekil 2.3'de gösterilmiştir [2].

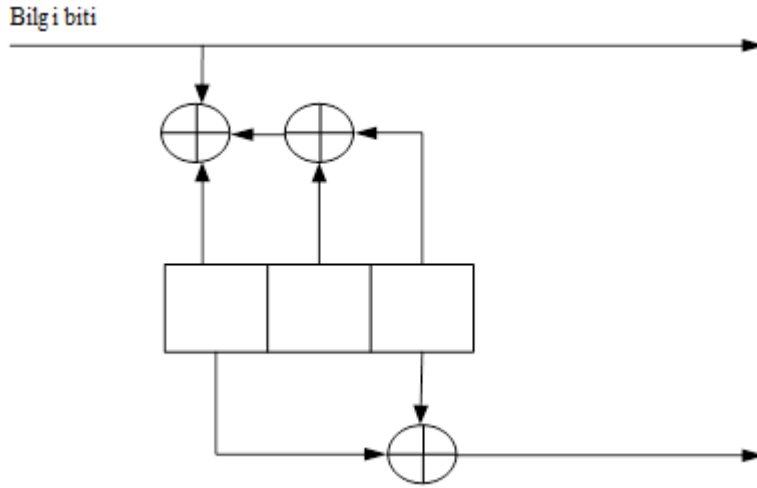


Şekil 2.3. Turbo kodlayıcı

Turbo kodlayıcı N uzunluğundaki bir serpiştirici ile ayrıştırılmış iki yapıyı oluşturan koddan oluşur. Yapıyı oluşturan kodlar genellikle 1/2 oranında özyinelemeli sistematik evrimsel kodlardır (Recursive systematic



convolutional codes- RSCC) ve aynı kod genellikle yapıyı oluşturan iki yapıcı kod olarak kullanılır. Şekil 2.3' de bir RSCC kodlayıcı gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Özyinelemeli sistematik evrişimsel kodlar (RSCC)

Şekil 2.3'de gösterilen kodlayıcının yapısında,  $N$  Bilgi biti ilk kodlayıcıya girer. Aynı bilgi bitleri boşluk bırakılarak ikinci kodlayıcıya uygulanır. Kodlayıcılar sistematik olduğundan, her bir kodlayıcı girişine uygulanan  $N$  bilgi bitini ve bunu takip eden  $N$  eşlik sınaması bitini üretir. Kodlamadan sonra,  $N$  bilgi biti ve iki kodlayıcının  $2N$  eşlik sınaması biti yani toplam  $3N$  bit kanal üzerinden iletilir. Bundan dolayı toplam oran  $R=N/3N=1/3$  olur.

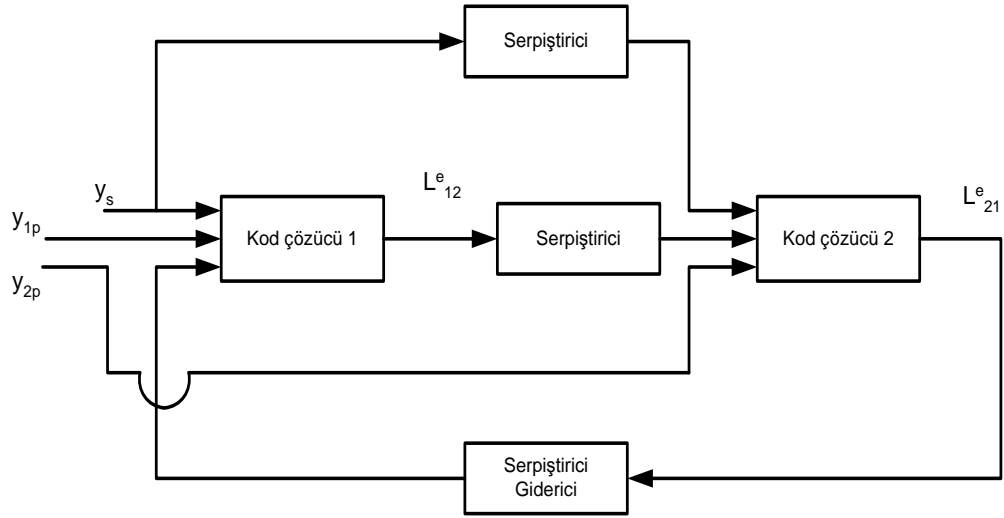
Turbo kodlarda serpiştiriciler genellikle, binlerce bit gibi oldukça büyük uzunluktadır. Yarı rastgele serpiştiriciler yeteri kadar iyidir ancak serpiştiricinin akıllıca seçimi ile kod performansında bazı iyileştirmeler elde edilebilir. Ayrıca, kodlayıcının tüm-sıfır durumuna dönmesini garanti edecek şekilde bilgi dizisine sıfırların eklendiği özyinelemeli olmayan evrişimsel kodların aksine, bileşen kodlardan birini tüm-sıfır durumuna döndürmek, sıfırdan farklı belirli bir dizinin bilgi dizisine eklenmesini gerekli kılar. Bir tek serpiştiricinin varlığından dolayı, birçok durumda, her iki kodu tüm-sıfır konumuna döndürmek imkânsızdır.

### 2.2.2. Turbo kod çözücü

Turbo kodlar iki temel-yapıcı kod bileşenine sahip olduğu için, bunların kod çözümü için şekil 2.4'de gösterilen özyinelemeli algoritma (iterative decoding algorithm) uygundur. Bitlerin olabirliğini bir çıkış olarak üreten herhangi bir kod çözme yöntemi, özyinelemeli kod çözümünde kullanılabilir. Böyle bir yöntem Bahl, Cocke, Jelinek, ve Raviv (BCJR), tarafından Bahl ve diğerleri ( 1974 ) isimli kaynakta önerilen ardıl olasılığın maksimumu (Maximum a posteriori probability – MAP) kod çözme yöntemidir.

Düşük karmaşıklığa ve zayıflamış performansa sahip başka bir yöntem ise Hagenauer ve Hoher (1989) tarafından önerilen esnek-çıkışlı Viterbi algoritmasıdır (Soft-output Viterbi algorithm- SOVA). Her iki yöntemde de, farklı bitlerin olabirliği hesaplanır ve bunlar birinci kod çözücüye iletilir. İkinci kod çözücü de olabirlik oranlarını hesaplar ve bunları birinci kod çözücüye iletir, bu süreç olabirliklerin, her bir bit için doğru kod çözümünün yüksek olasılığını işaret etmesine kadar tekrarlanır. Bu noktada, son karara varılır.

Şekil 2.4'de gösterilen özyinelemeli kod çözüm prosedüründe  $y_s$ ,  $y_{1p}$ ,  $y_{2p}$  sırası ile sistematik bitlere, kodlayıcı 1 için eşlik sınaması bitlerine (Parity bit) ve kodlayıcı 2 için eşlik sınaması kodlarına işaret eder.  $L_{12}^e$  ve  $L_{21}^e$  iki kod çözücü arasında alış verişi yapılan bilgiyi temsil eder.

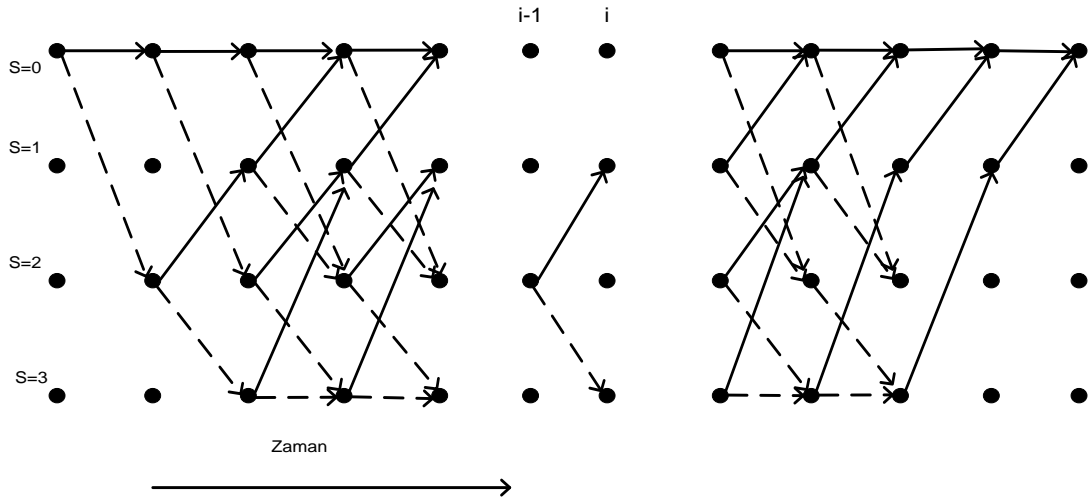


Şekil 2.5. Turbo kod çözücü

### 2.2.3. Turbo kod çözücü algortimaları

BCJR (Bahl, Jelinek, Cocke ve Raviv) algoritması, bir evrişimsel koddaki her bilgi bitini MAP kriterine göre kod çözen kafes-temelli (trellis) bir kod çözme algoritmasıdır. Bu algoritma, maksimum olabilirlik kriterine bağlı olarak bilgi bitleri dizisi hakkında maksimum olabilirlik kararı oluşturan Viterbi algoritmasından farklıdır. Yan bir ürün olarak, BCJR algoritması, turbo kodlarının özyinelemeli kod çözümünde kullanılabilir, iletilen bitler için olasılık veya olabilirlik üretir.

Şekil 2.5'de BCJR algoritmasına ait kafes yapısı görülmektedir.



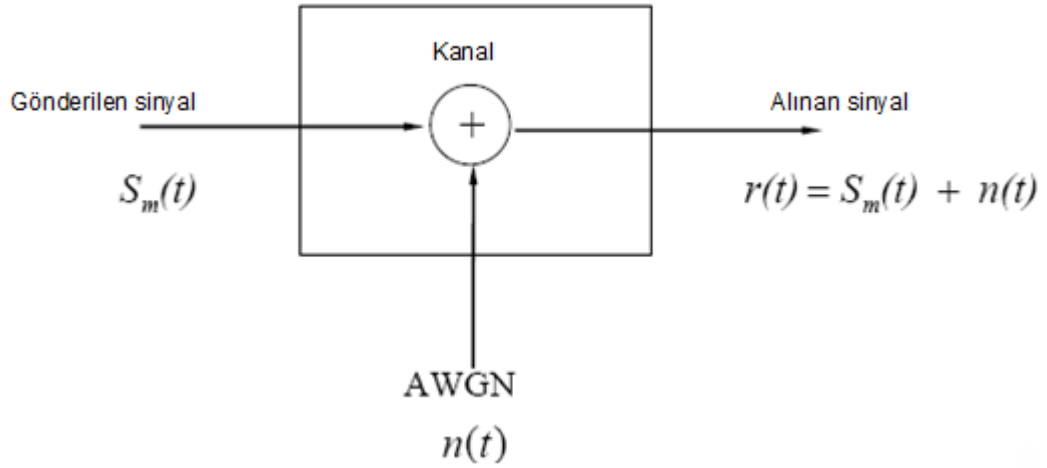
Şekil 2.6. BCJR algoritması kafes yapısı

BCJR algoritmasında bir kez kafesi ileri yönde ve bir kez kafesi geri yönde geçmek zorunda olduğumuza dikkat etmemiz gerekir. Bundan dolayı, bu algoritmanın karmaşıklığı Viterbi algoritmasının iki katıdır. Ayrıca ileri yönde geçişte, katsayı değerleri saklanmalıdır, dolayısı ile algoritmanın kayıt gereksinimi de oldukça yüksektir.

### 2.3. Awgn Kanal Yapısı

Bir kablosuz haberleşme sisteminde alıcı ve verici arasındaki sinyal bozulmaları ve gerçek ortam benzetimlerini yapmak için bir kanal ortamına ihtiyaç vardır. Awgn kanal yapı itibari ile en basit ve modellemeye en uygun kanal modelidir.

Şekil 2.7’de basitçe Awgn kanal yapısı gösterilmiştir. Bu yapıda verici üzerine sadece gürültü eklenmektedir.

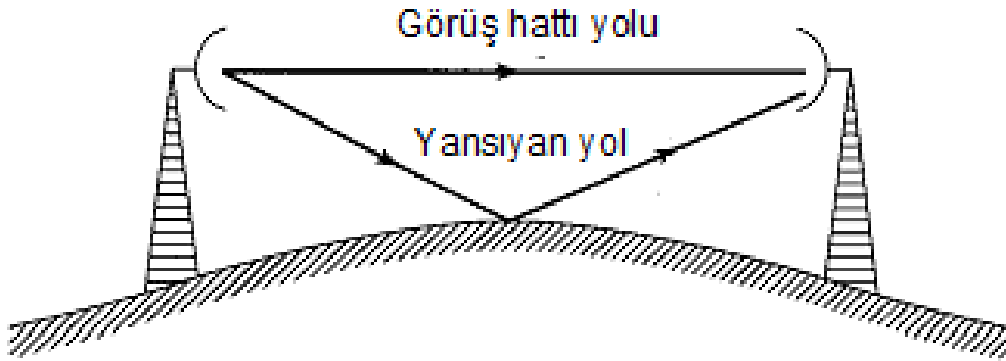


Şekil 2.7. Awgn kanal yapısı

## 2.4. Çok-Yollu Rayleigh Kanal Yapısı

Görüş Hattı (LOS) radyo iletimi sırasında verici ve alıcı antenleri genellikle yoluna çıkan büyük binalar ve tepeler gibi engellerden kaçınmak amacıyla yüksek kuleler üzerine monte edilerek sinyal gönderimi yapılır. Fakat sinyaller iletim esnasında çeşitli yerlerden yansır (büyük binalar, tepeler, yer) ve bu durum alıcı tarafında istenmeyen ISI girdisine sebep olur [11].

Çok-Yollu bozucu etki dediğimiz bu yapı için 2 yollu örnek gösterim şekil 2.8'de verilmiştir.

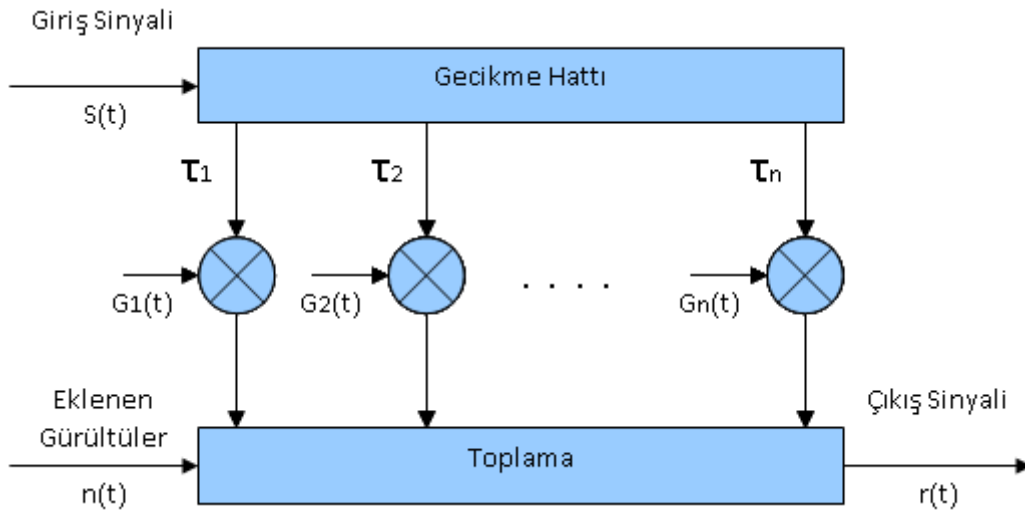


Şekil 2.8. Çok-yollu kanal

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi vericiden doğrudan görüş hattı yolu (LOS) ile gelen radyo sinyali ile yeryüzünden yansıma sonucu gelen radyo sinyali alıcı tarafından alınır. Yansıyan radyo sinyali, alıcı tarafında gecikmeli olarak alınır. Bu modelde amaç alıcı tarafından bozucu etki yaratan aynı sinyalin gecikmeye uğramış varyasyonlarını da gözlemlemektir. Bu şekilde alıcı ve verici arasında radyo sinyali aktarımına çok yollu kanal aktarımı denilir. Tez kapsamında Rayleigh dağılımına uğramış 2 yollu kanal yapısı üzerinde benzetim çalışmaları yapılmıştır. Şekil 2.8'de Çok-Yollu kanal için tap-kanal modeli gösterilmiştir.  $t_n$  Kanal boyunca gecikmeyi  $G_N$  ise kanal taplerine ait

katsayıyı gösterir.  $s(t)$  Verici Sinyali,  $r(t)$  alıcı sinyalini,  $n(t)$  ise eklenen gürültüyü simgeler.  $h(t)$  kanal dürtü tepkisini "\*" kanal ile verici çıkışındaki zaman bölgesinde yapılan konvolusyon işlemini gösterir.

$$r(t)=s(t)*h(t)+n(t) \quad (2.2)$$

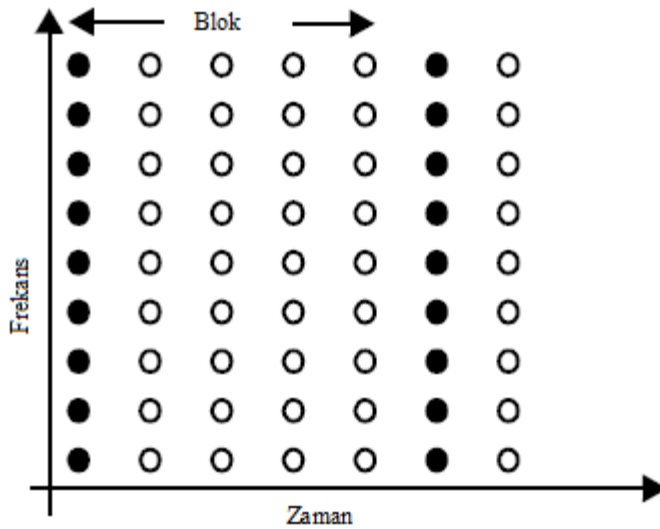


Şekil 2.9. Çok-yollu tap-kanal modeli

## 2.5. Kanal Kestirimi

Alıcı tarafında ISI bozulmasına karşı kullanılan bir yöntemde kanal kestirimidir. Her ne kadar veri kodlanıp gönderilse de kanal altında bozulmalara uğrar. Özellikle hızlı sönümlmeli kanallar alıcıya ulaşan verinin çok fazla bozularak gelmesine sebep olur. Bu da vericinin veriyi düzgün bir şekilde ayırt edememesi anlamına gelir ve sonuçta bit-hata-oranı yükselir.

Bu tez kapsamında Blok-tipi kanal kestirme ve ZF eşitleme yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemde veri dizisinde önce bir blok pilot verisi eklenir. Bu pilot verisi belirli aralıklarla kendini yinleyerek OFDM sembolünde yer alır.



Şekil 2.10. Blok tipi kanal kestirimi

### 2.5.1. Mükemmel kanal kestirimi

Alıcı tarafında kanal dürtü tepkisinin tamamen bilindiği varsayılarak kanal etkisinin azaltmak için kanal tepkisinin tersi ile gelen sinyalin çarpılması sonucu oluşan kestirim yöntemidir. Tez kapsamında mükemmel kestirim ve mükemmel olmayan kanal kestirimi arasındaki karşılaştırmalara yer verilecektir.



### 2.5.2. MMSE kanal kestirimi

$h$  Rayleigh kanalın kanal vektörü,  $G$  kanal gürültüsü ile ilişkisiz ise  $h$ 'nin frekans eksenindeki MMSE algoritması ile kestirimi, aşağıdaki eşitlik ile bulunur [3,4].

$$H_{MMSE} = F R_{hY} R_{yy}^{-1} Y \quad (2.3)$$

Bu ifade de;

$$R_{hY} = E\{hY\} = R_{hh} F_h X_h \quad (2.4)$$

$$R_{YY} = E\{YY\} = X F R_{hh} F_h X_h + \sigma_G^2 I_N \quad (2.5)$$

“Eş. 2.4” de  $h$  ve  $Y$  arasındaki kovaryans hesaplanmakta, “Eş. 2.5” numaralı denklemde ise  $Y$  nin otokovaryans matrisidir.

$R_{hh}$   $h$ 'nin otokovaryans matrisi olup  $\sigma_G^2$  ise  $E\{|G(k)|^2\}$  ise gürültünün varyansıdır.

$H_{MMSE}$  bulunduktan sonra iletilen veriler aşağıdaki gibi ifade edilir [5];

$$X_e = Y[n]/H_e[n] \quad , n=0,1,2,\dots,N-1 \quad (2.6)$$

### 2.5.3. LS kanal kestirimi

LS kanal kestirici;

$$(Y - X F_G)^H (Y - X F_G) \quad (2.7)$$

ifadesi minimize ederek,

$$H_{LS}=X^{-1}Y \quad (2.8)$$

ifadesi ile kanal dürtü cevabını kestirir.

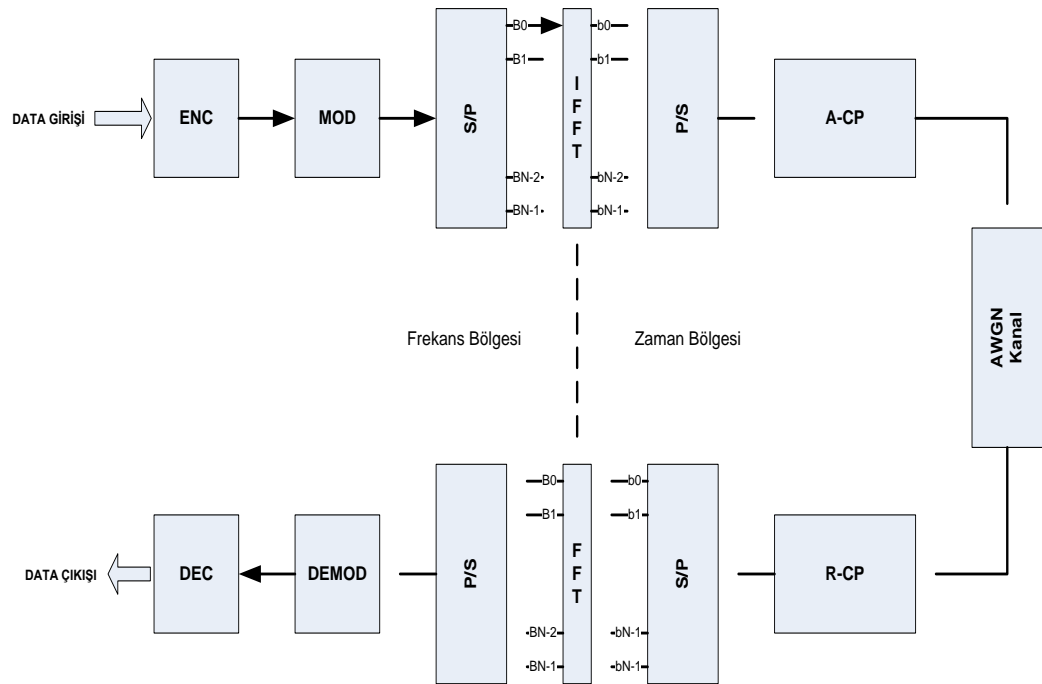
Daha sonra iletilen veriler “Eş. 2.6” daki ifade kullanılarak hesaplanır [6].

### 3. TURBO KODLANMIŞ QAM/OFDM PERFORMANS ANALİZİ

Turbo kodlanmış QAM/OFDM Sistem için 2-yollu Rayleigh ve Awgn kanal altında benzetim çalışmaları yapılmıştır.

#### 3.1. Awgn Kanal Altında

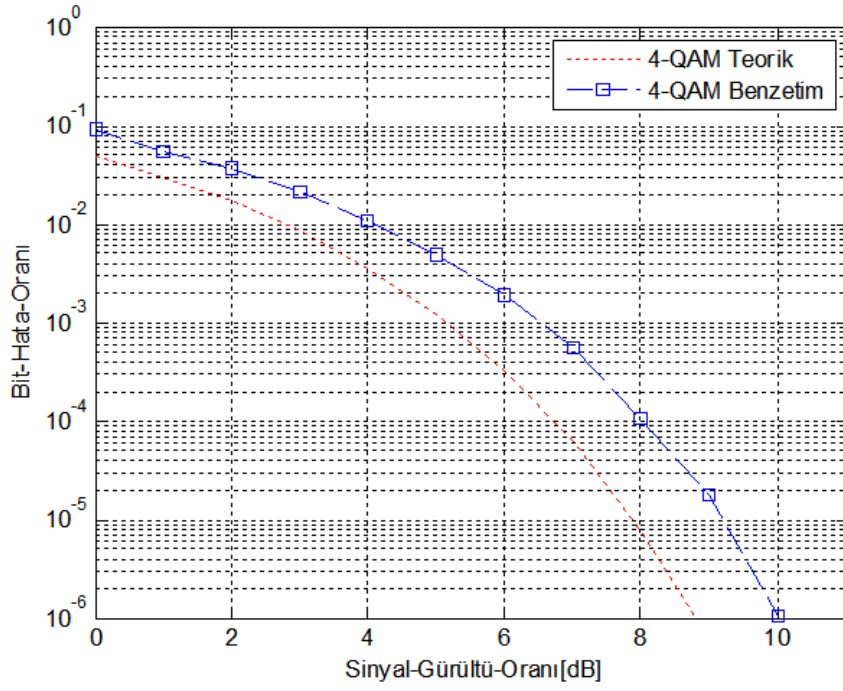
Awgn Kanal altında farklı QAM modları ve Farklı Kod Oranları için Şekil 3.1'de yer alan mimari aşağıdaki parametreler benzetim çalışmaları uygulanmıştır. Bu benzetim çalışmaları kodlanmamış ve 1/2 kod oranı için 4/8/16-QAM için yapılmıştır. Çizelge 3.1'de bu benzetim çalışmalarına ait parametreler yer almaktadır. Çizelge 3.2'de ise 4/64 QAM ve QPSK içeren sonuçlar da verilmiştir.



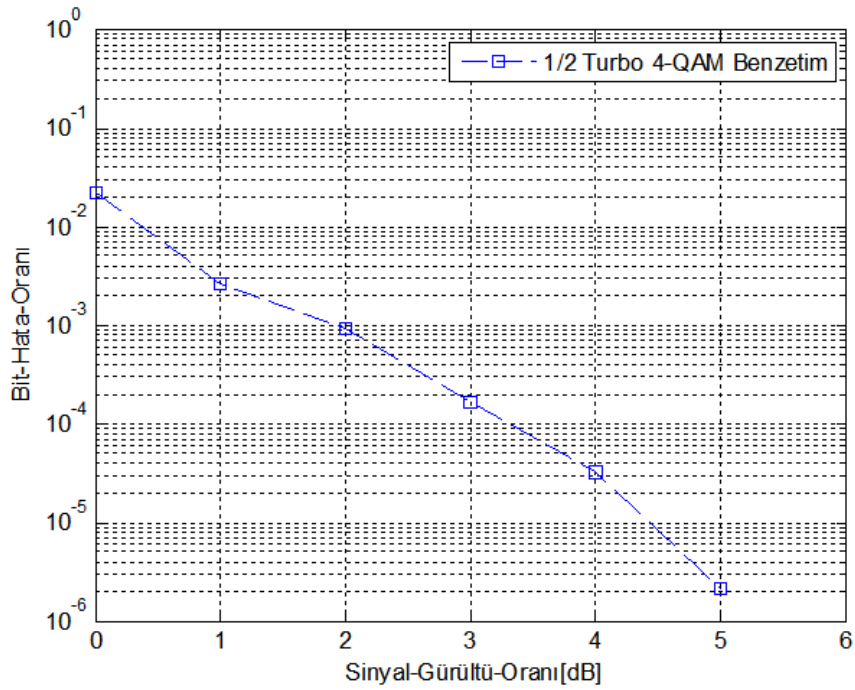
Şekil 3.1. Awgn kanal altındaki sistem mimarisi

Çizelge 3.1. Awgn kanal benzetim parametreleri

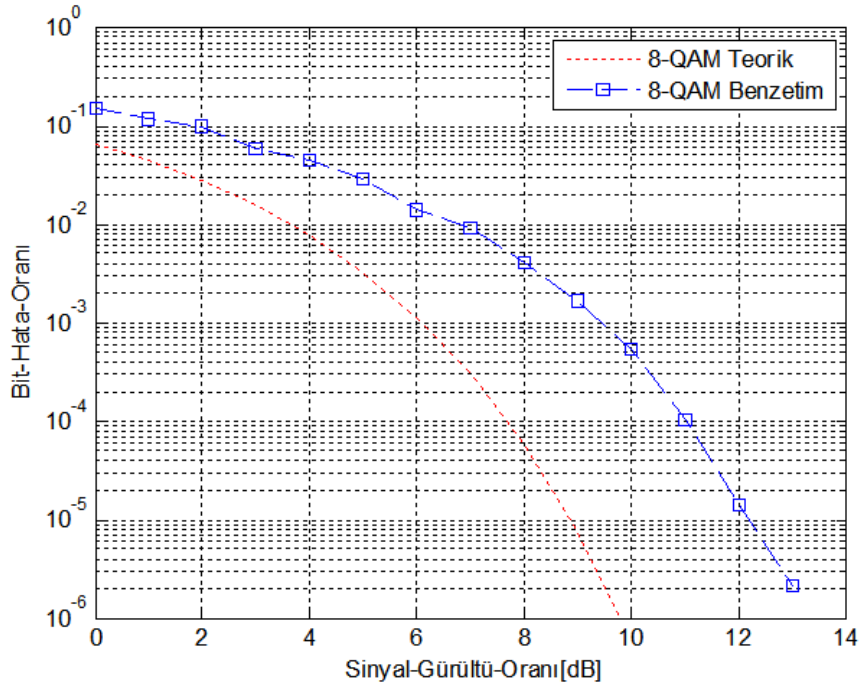
<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
OFDM sembol	512
Kullanılan alt-taşıyıcı	512
Koruma aralığı(guard interval)	32
Çerçeve boyutu	1
Kanal tipi	Awgn
Sinyal gürültü oran aralığı	1-30 dB
Bant genişliği	5 MHz
Turbo kod oranı	1/2
Modülasyon tipi	4/8/16-QAM
Kanal eşitleyici	ZF(Zero forcing)



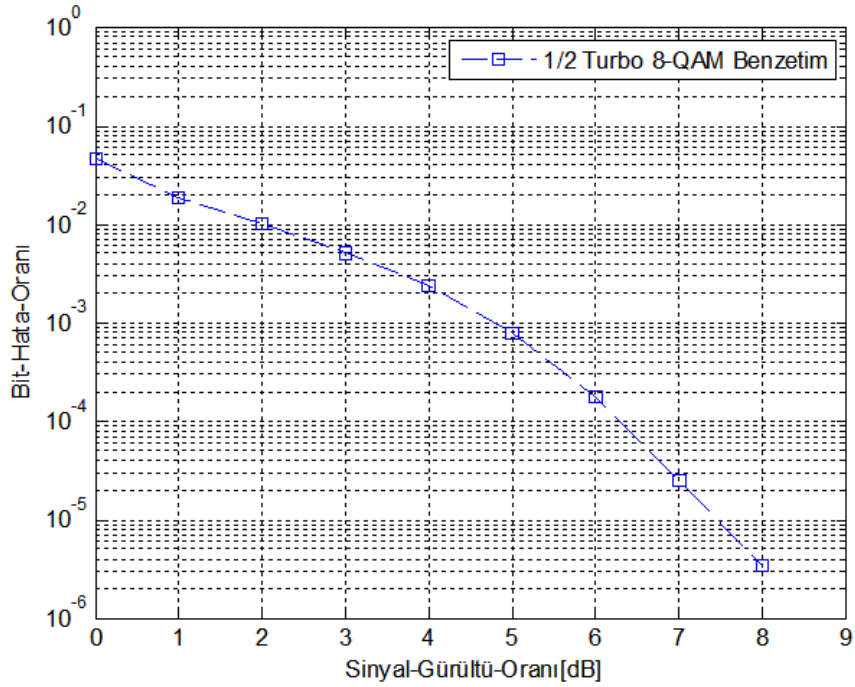
Şekil 3.2. 4-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Awgn kanalda)



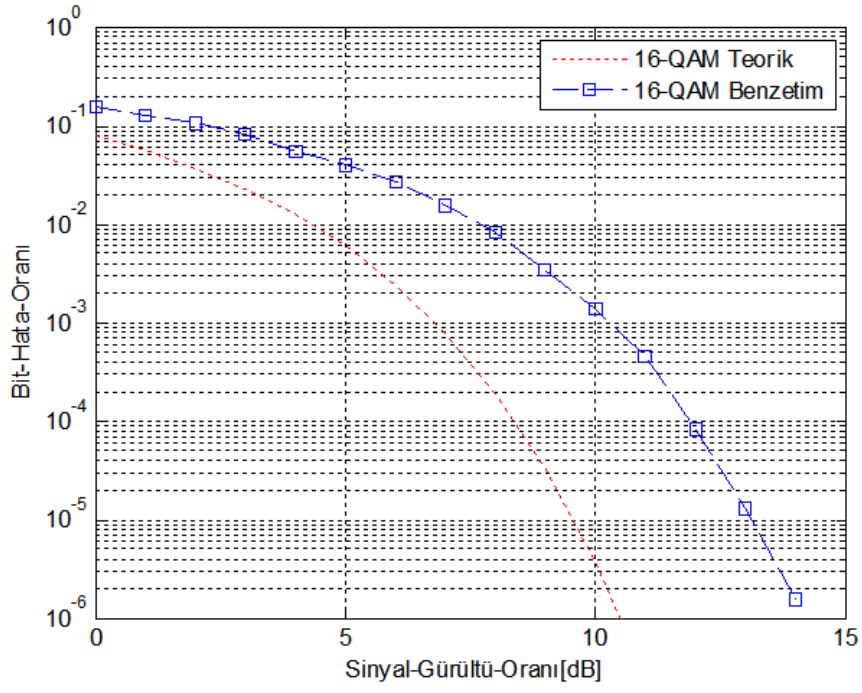
Şekil 3.3. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM bit hata oranı (Awgn kanalda)



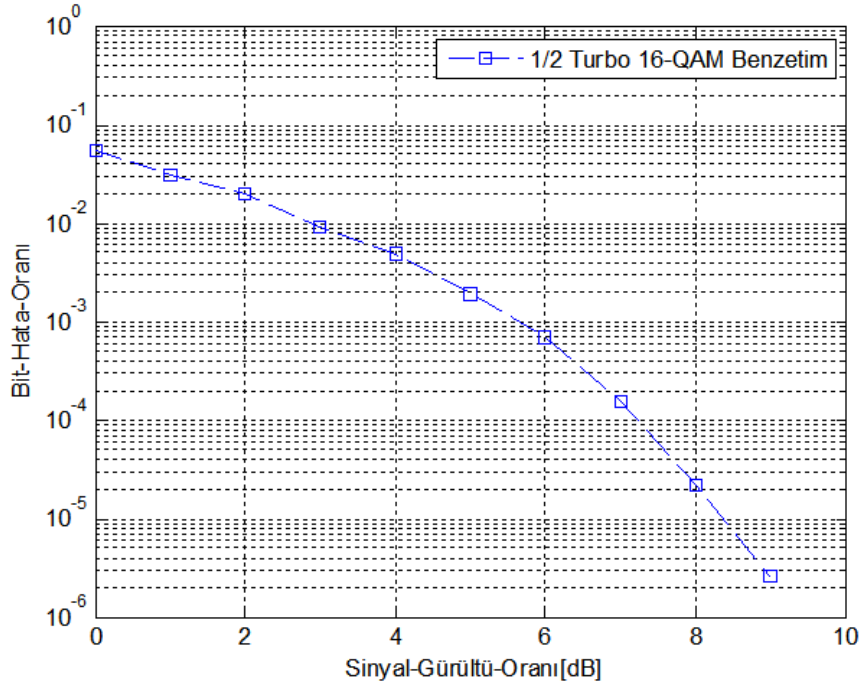
Şekil 3.4. 8-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Awgn kanalda)



Şekil 3.5. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM bit hata oranı (Awgn kanalda)



Şekil 3.6. 16-QAM bit hata oranı (Awgn kanalda)



Şekil 3.7. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM bit hata oranı (Awgn kanalda)

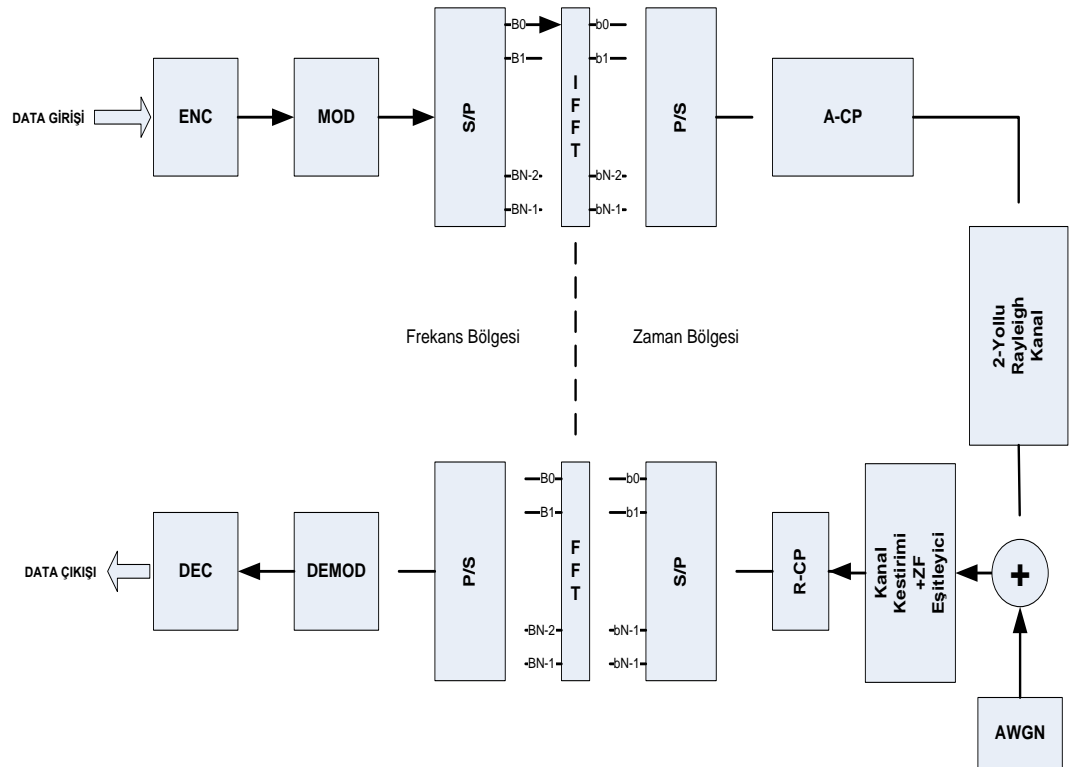
Çizelge 3.2. Awgn kanal altında QPSK ve QAM benzetim sonuçları

Kod oranı	Modülasyon tipi	Sinyal gürültü oranı (dB)	Hedef bit hata oranı
U/D	4-PSK	6,193	$10^{-3}$
U/D	8-PSK	12,693	$10^{-3}$
U/D	16-PSK	19,992	$10^{-3}$
U/D	32-PSK	22,031	$10^{-3}$
U/D	64-PSK	27,294	$10^{-3}$
U/D	4-QAM	6,485	$10^{-3}$
U/D	8-QAM	9,782	$10^{-3}$
U/D	16-QAM	11,238	$10^{-3}$
U/D	32-QAM	16,641	$10^{-3}$
U/D	64-QAM	19,614	$10^{-3}$
1/2	4-PSK	3,958	$10^{-3}$
1/2	8-PSK	7,958	$10^{-3}$
1/2	16-PSK	13,312	$10^{-3}$
1/2	32-PSK	18,558	$10^{-3}$
1/2	64-PSK	21,401	$10^{-3}$
1/2	4-QAM	2,241	$10^{-3}$
1/2	8-QAM	4,941	$10^{-3}$
1/2	16-QAM	8,865	$10^{-3}$
1/2	32-QAM	12.95	$10^{-3}$
1/2	64-QAM	17	$10^{-3}$



### 3.2. Mükemmel Kanal Kestirimi

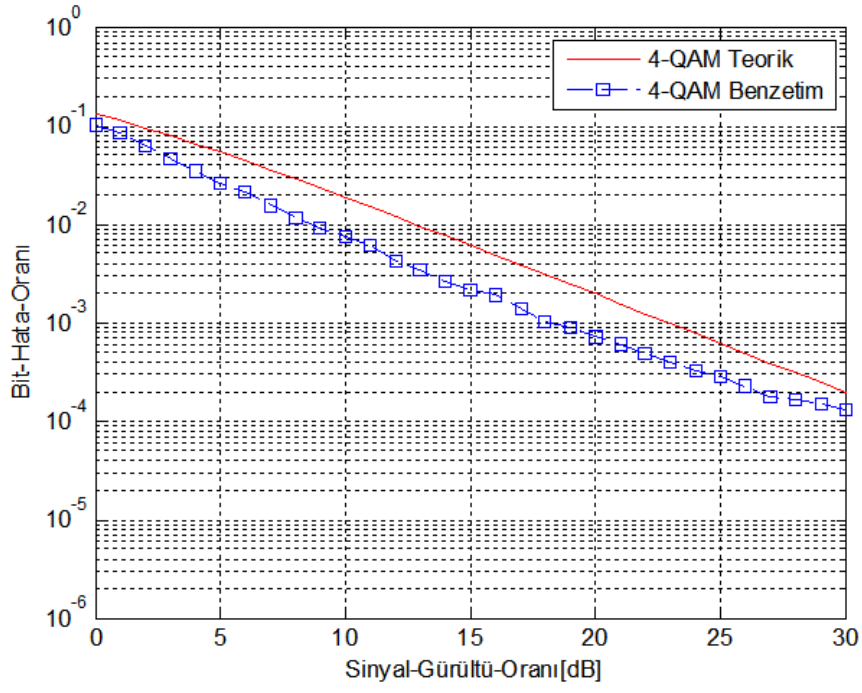
2-Yollu Rayleigh kanal altında farklı 4/8/16-QAM modülasyon tiplerini içeren kodlu ve kodsuz benzetim çalışmaları bu bölümde yapılmıştır. Ayrıca benzetim çalışmalarına teorik sonuçlar da eklenmiştir. Şekil 3.8'de yer alan mimari benzetim çalışmaları uygulanmıştır.



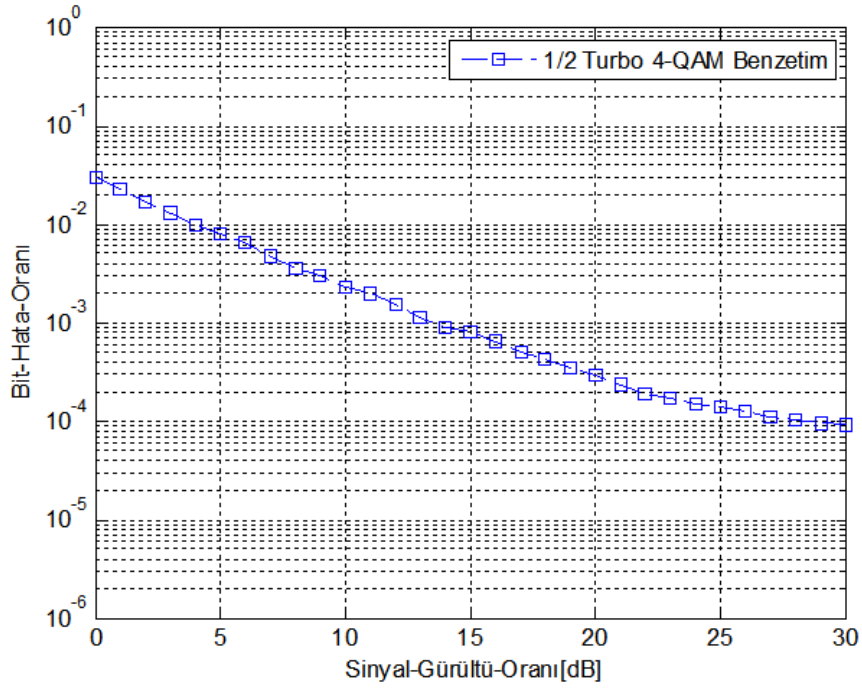
Şekil 3.8. Rayleigh kanal altındaki sistem mimarisi

Çizelge 3.3. Rayleigh kanal benzetim parametreleri

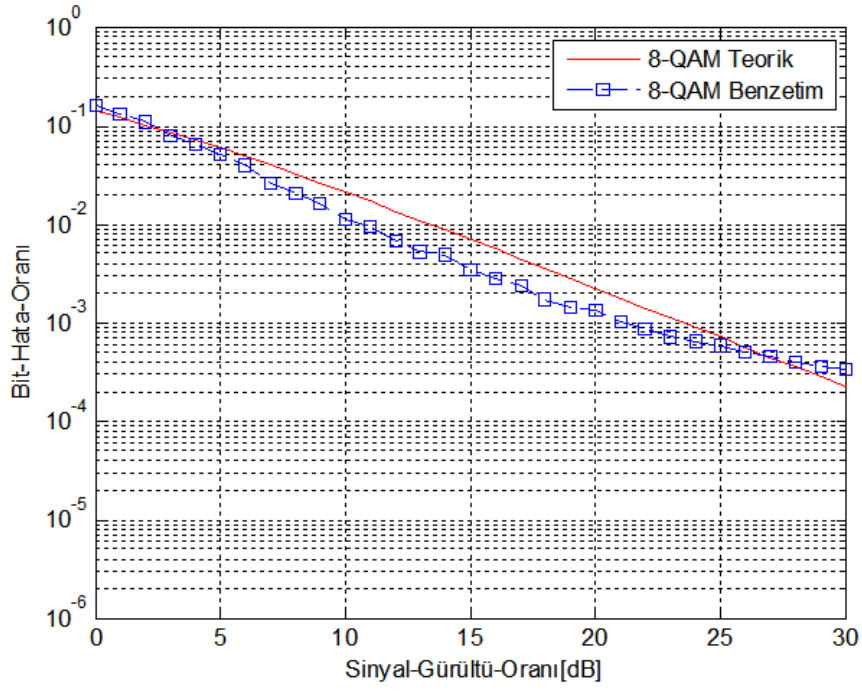
<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
OFDM sembol	512
Kullanılan alt-taşıyıcı	512
Koruma aralığı(guard interval)	32
Çerçeve boyutu	1
Kanal tipi	Rayleigh
Sinyal gürültü oran aralığı	1-30 dB
Bant genişliği	5 MHz
Turbo kod oranı	1/2
Modülasyon tipi	4/8/16-QAM
Kanal eşitleyici	ZF(Zero forcing)
Kanal kestirim metodu	Mükemmel
Pilot taşıyıcı	U/D



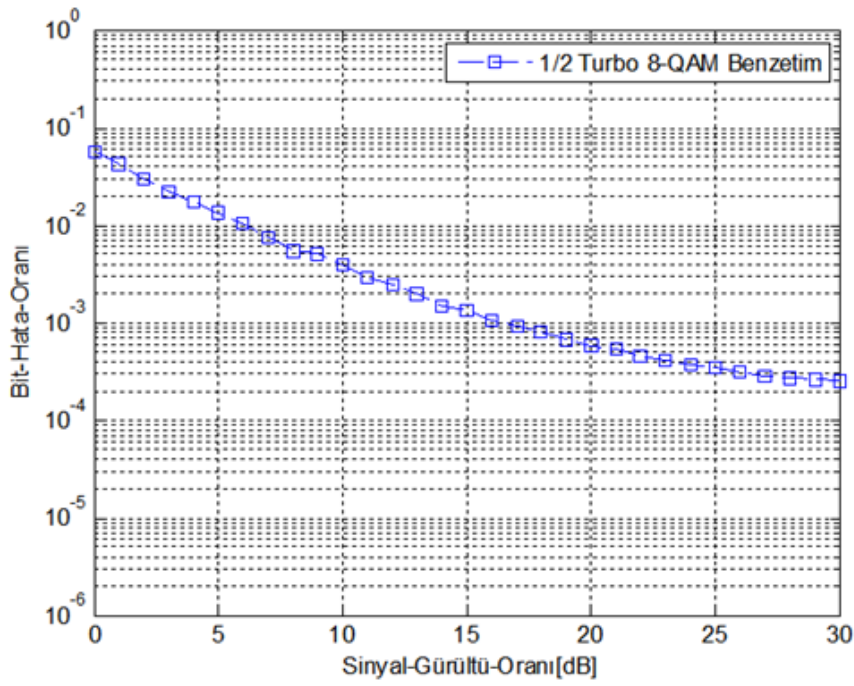
Şekil 3.9. 4-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Rayleigh kanal)



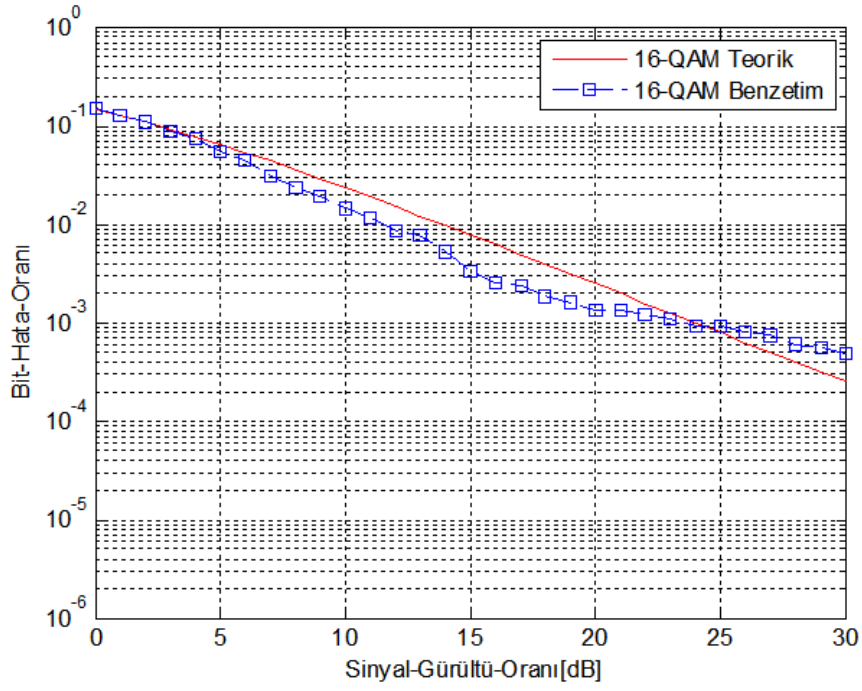
Şekil 3.10. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Rayleigh kanal)



Şekil 3.11. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (Rayleigh kanal)



Şekil 3.12. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Rayleigh kanal)



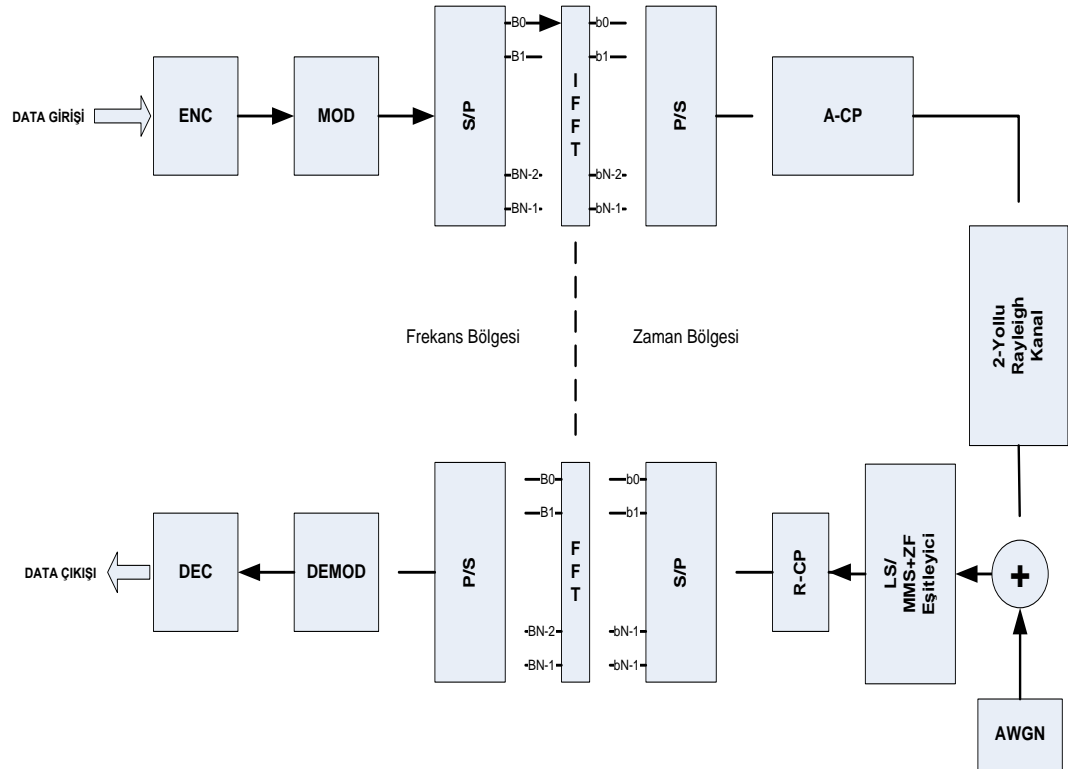
Şekil 3.13. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (Rayleigh kanal)



Şekil 3.14. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit-hata-oranı (Rayleigh kanal)

### 3.3. Mükemmel Olmayan Kanal Kestirimi

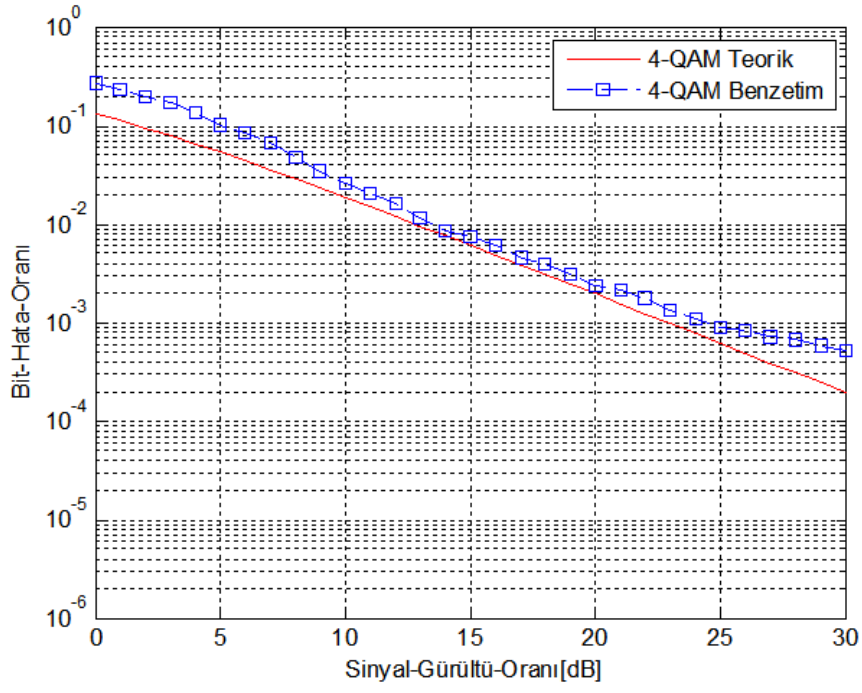
2-Yollu Rayleigh kanal altında farklı 4/8/16-QAM modülasyon tiplerini içeren kodlu ve kodsuz benzetim çalışmaları bu bölümde yapılmıştır. Ayrıca benzetim çalışmalarına teorik sonuçlar da eklenmiştir. Şekil 3.15'de yer alan mimari benzetim çalışmaları uygulanmıştır. Kanal kestirim metodu olarak LS ve MMSE ayrı ayrı incelenmiştir. Çizelge 3.4'de mükemmel olmayan ve DFT temelli mükemmel olmayan benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler verilmiştir.



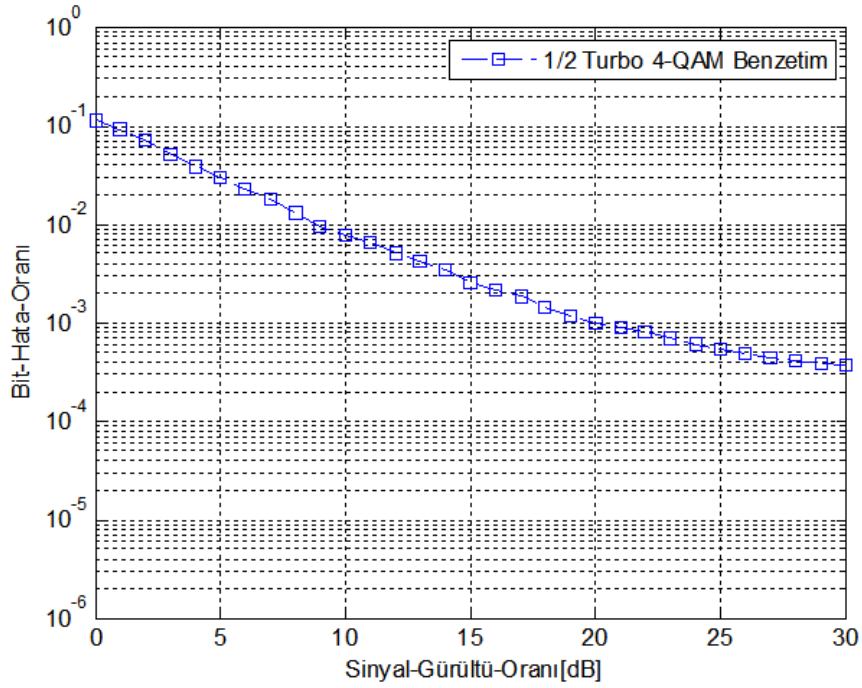
Şekil 3.15 Rayleigh kanal altındaki mükemmel olmayan kanal kestirimi

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
OFDM sembol	512
Kullanılan alt-taşıyıcı	512
Koruma aralığı(guard interval)	32
Çerçeve boyutu	1
Kanal tipi	Rayleigh
Sinyal gürültü oran aralığı	1-30 dB
Bant genişliği	5 MHz
Turbo kod oranı	1/2
Modülasyon tipi	4/8/16-QAM
Kanal eşitleyici	ZF(Zero Forcing)
Kanal kestirim metodu	LS, MMSE, DFT-LS, DFT-MMSE
Pilot taşıyıcı	4

Çizelge 3.4. Mükemmel olmayan kanal benzetim parametreleri

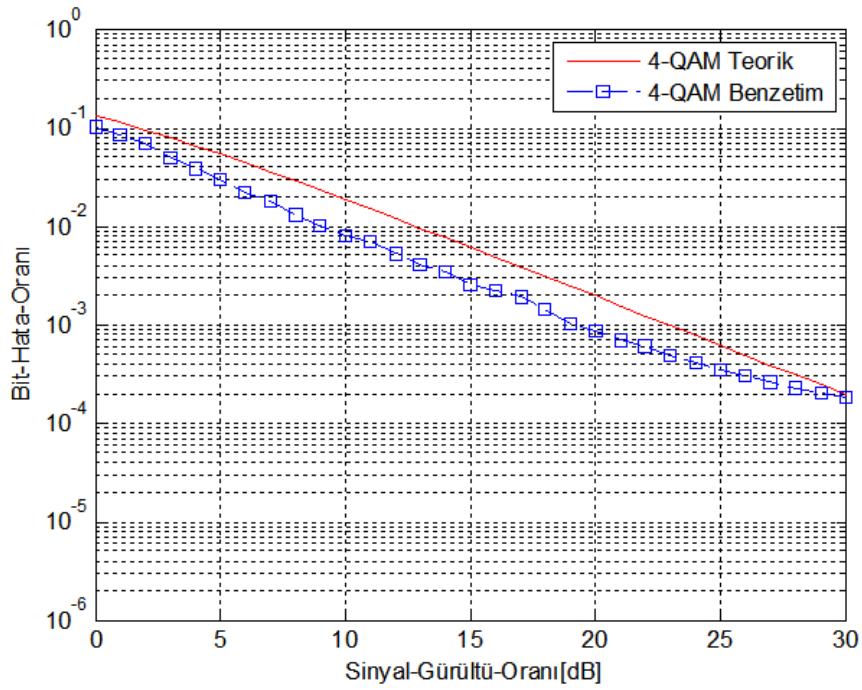


Şekil 3.16. 4-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi)

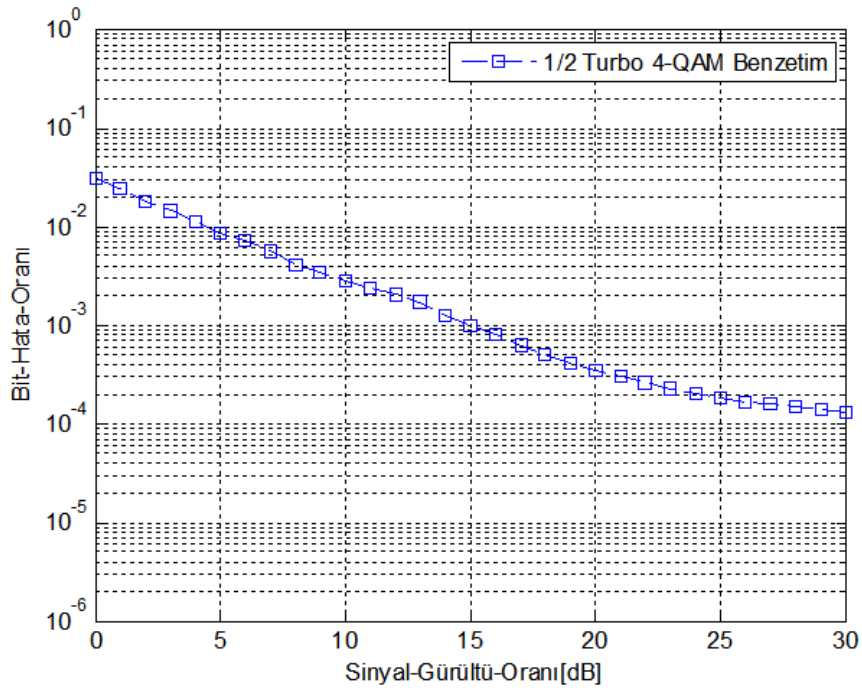


Şekil 3.17. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi)

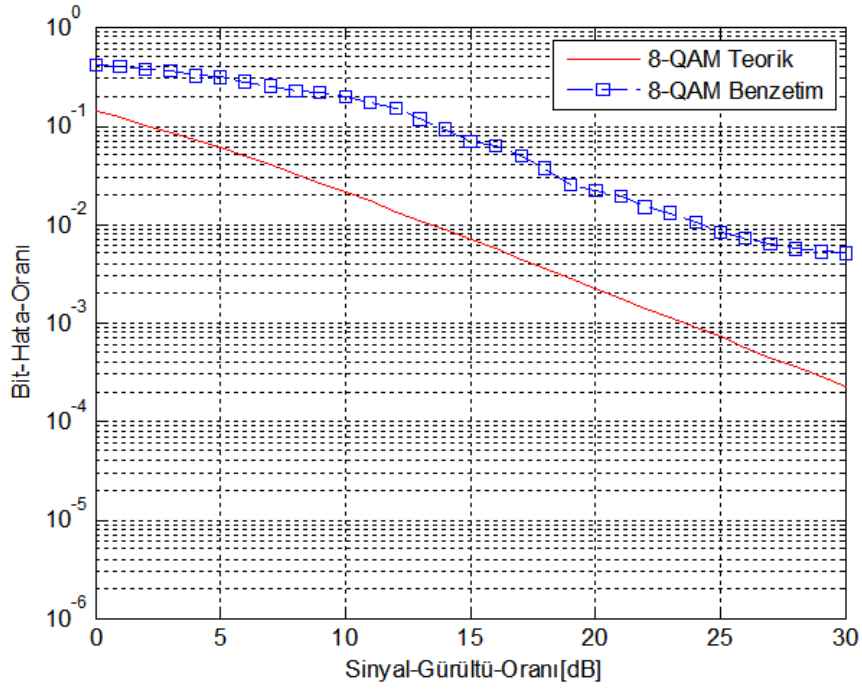




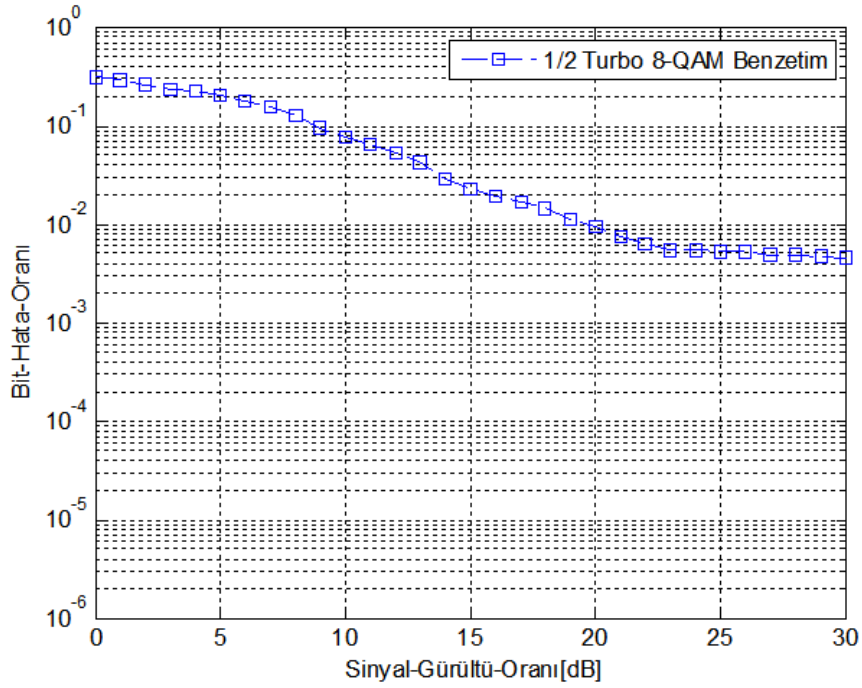
Şekil 3.18. 4-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi)



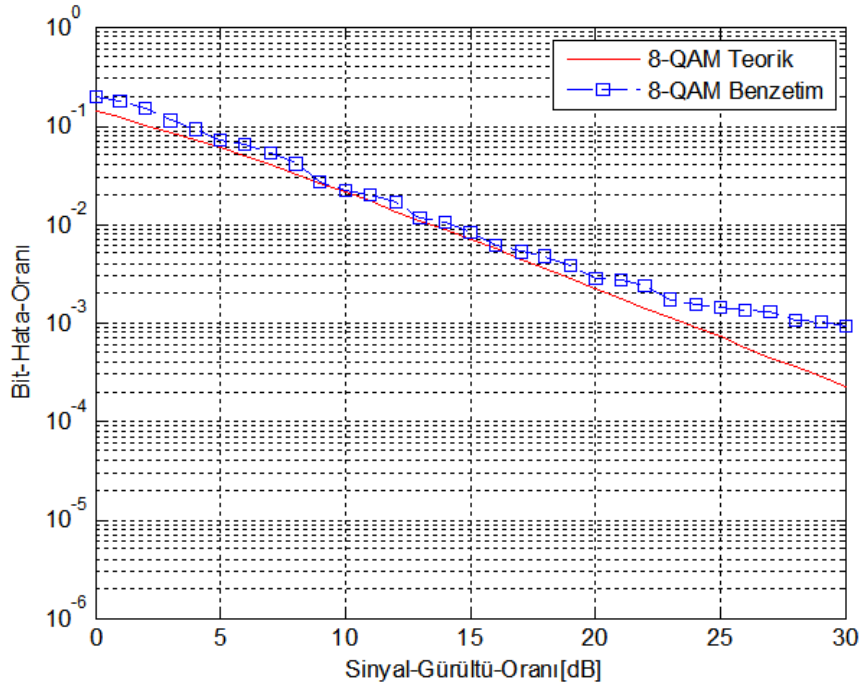
Şekil 3.19. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi)



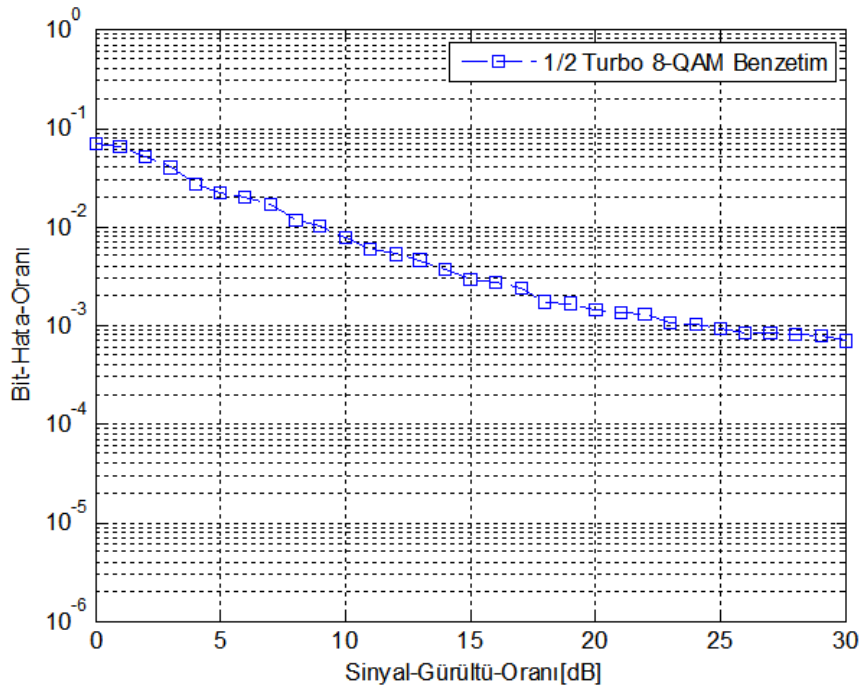
Şekil 3.20. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi)



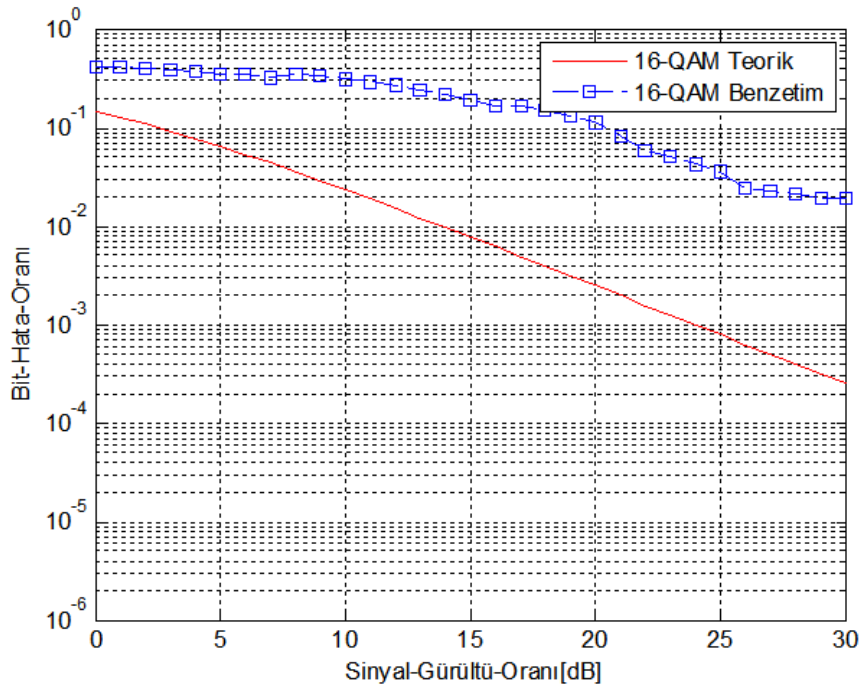
Şekil 3.21. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi)



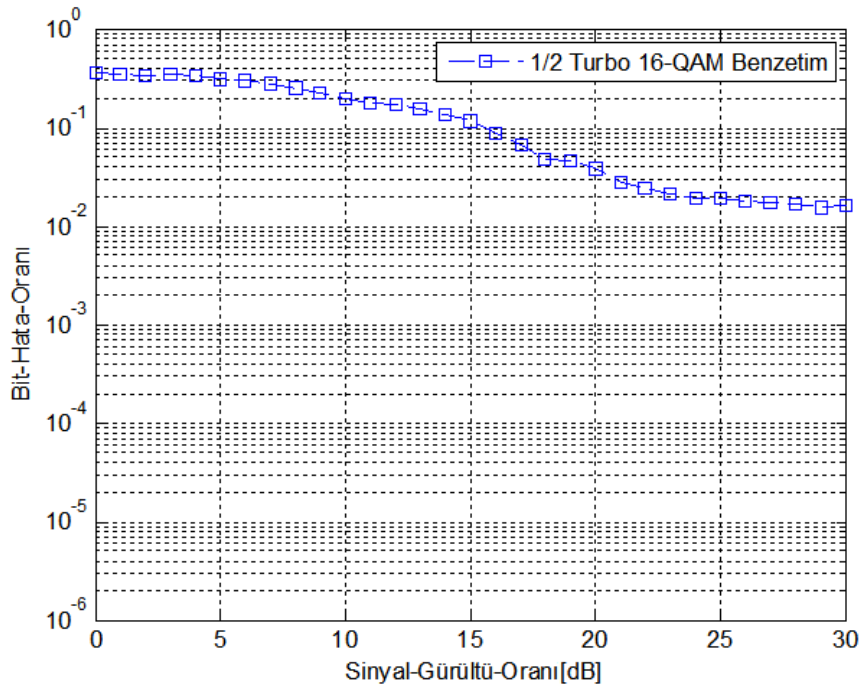
Şekil 3.22. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi)



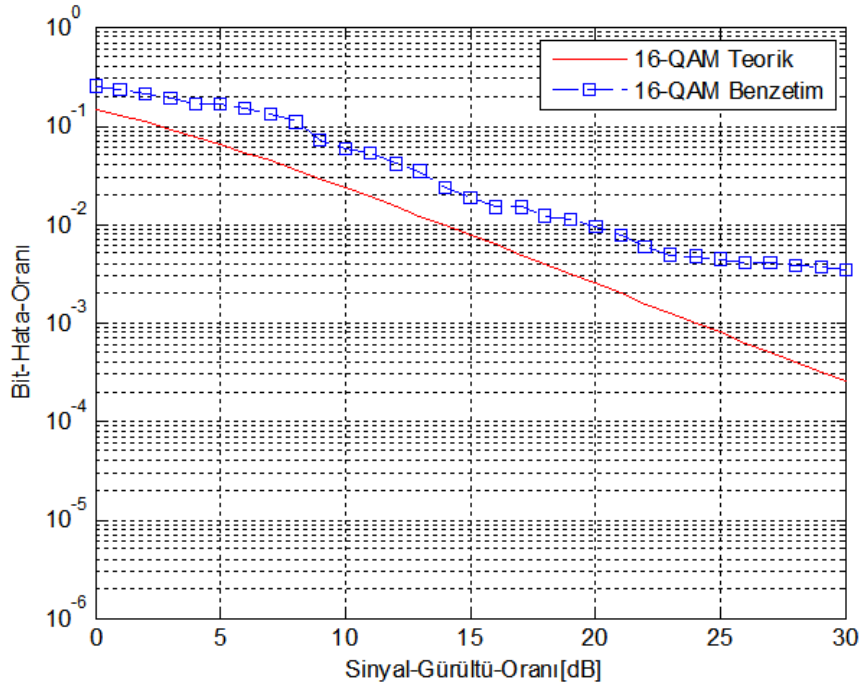
Şekil 3.23. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi)



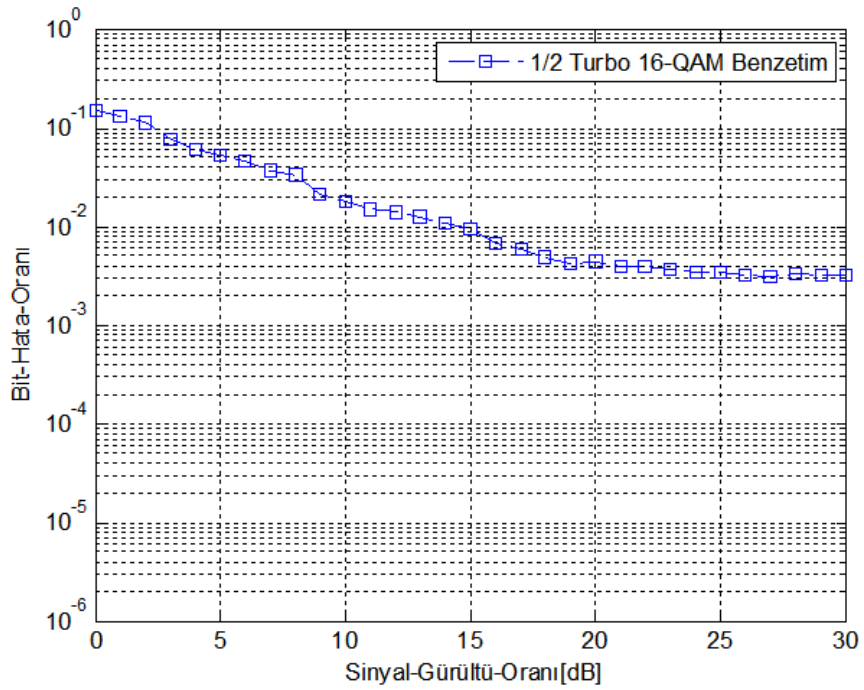
Şekil 3.24. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi)



Şekil 3.25. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit hata oranı (LS kanal kestirimi)



Şekil 3.26. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi)



Şekil 3.27. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit hata oranı (MMSE kanal kestirimi)

### 3.4. DFT Temelli Mükemmel Olmayan Kanal Kestirimi

DFT temelli kanal kestirim yöntemi ile LS ve MMSE kanal kestirim metodlarının performansı maksimum kanal gecikmesi dışındaki gürültünün elenmesiyle geliştirilmiştir [13]. Bu yöntem sayesinde kanal gürültüsü maksimum kanal gürültüsü ile sınırlandırılmıştır.

LS ve MMSE'deki kanal kestirimi ile  $k$  alt-taşıyıcısının kanal kestirimi  $H[k]$ ;

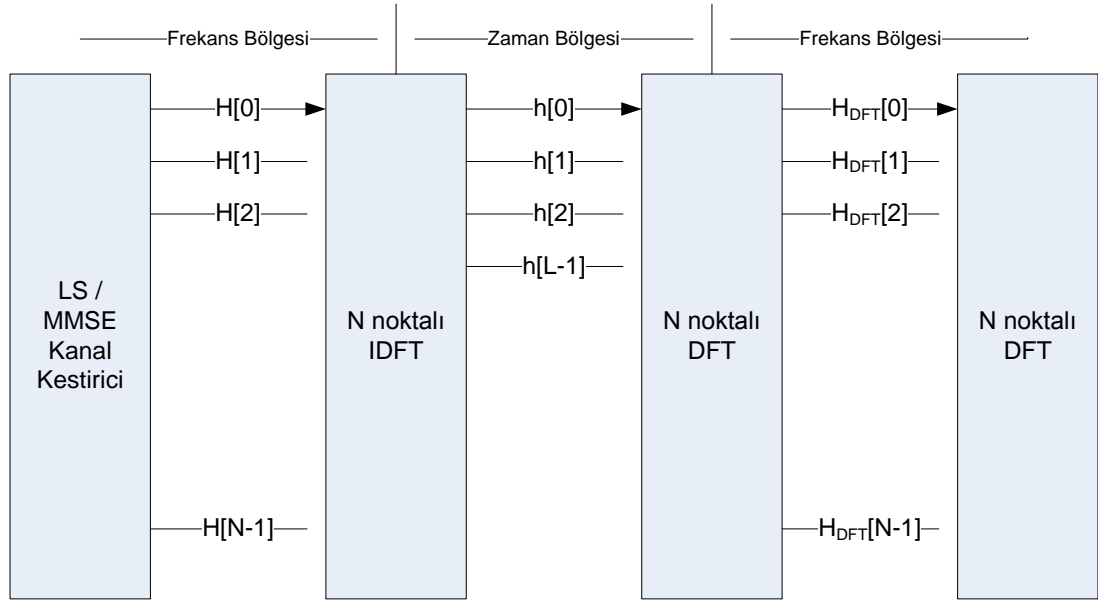
$$\text{IDFT} \{H[k]\} = h[n] + z[n] \approx h[n], n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.1)$$

sadece gürültü olanları dikkate almayarak ve maksimum kanal gecikmesine  $L$  dersek,

$$h_{\text{DFT}}[n] = h[n] + z[n] \approx h[n], n = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (3.2)$$

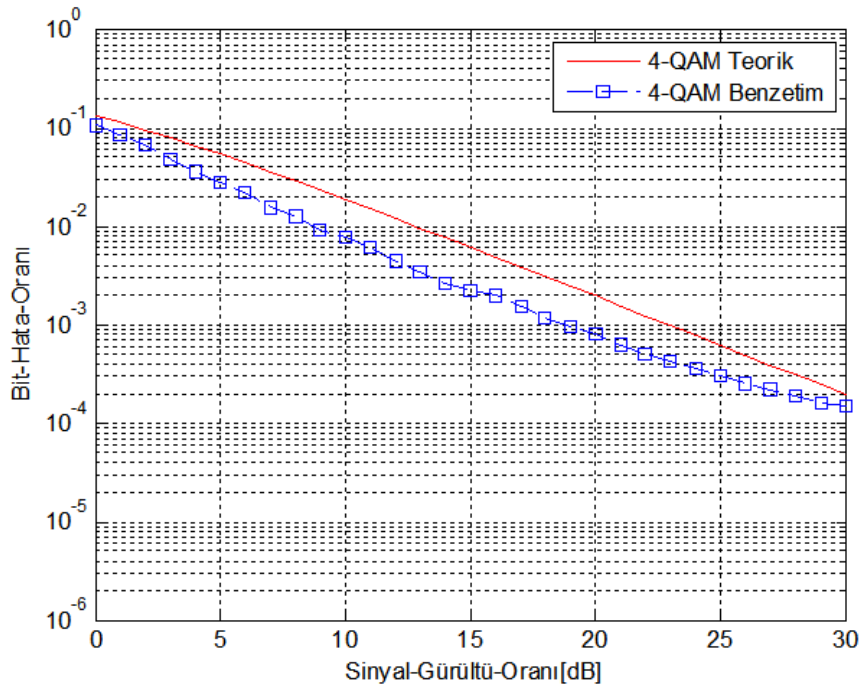
“Eş.3.2” den tekrar dönüşüm yaparak kanal kestirimini tamamlamış oluruz.

$$H_{\text{DFT}}[k] = \text{DFT} \{h[n]\} \quad (3.3)$$

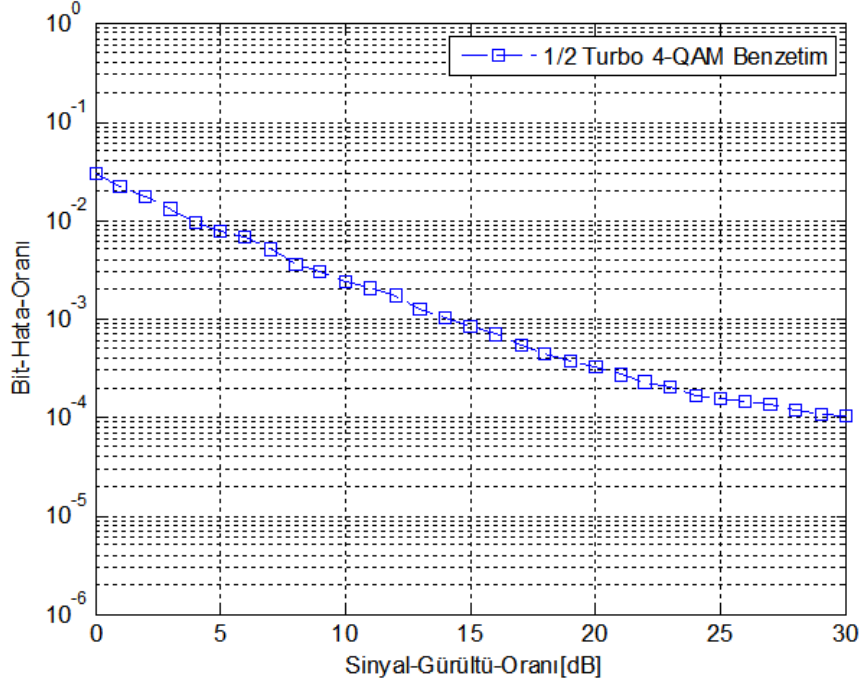


Şekil 3.28. DFT temelli kestirim

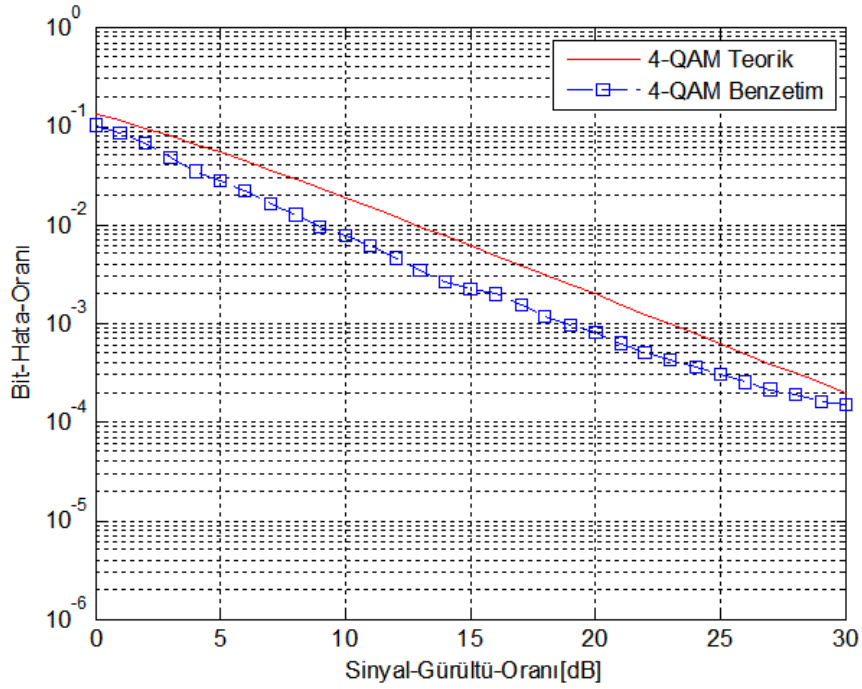
2-Yollu Rayleigh kanal altında farklı 4/8/16-QAM modülasyon tiplerini içeren kodlu ve kodsuz benzetim çalışmaları bu bölümde tekrarlanmıştır. Şekil 3.15'de yer alan mimari benzetim çalışmaları uygulanmıştır. Kanal kestirim metodu olarak DFT temelli LS ve DFT temelli MMSE ayrı ayrı incelenmiştir.



Şekil 3.29. 4-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi)

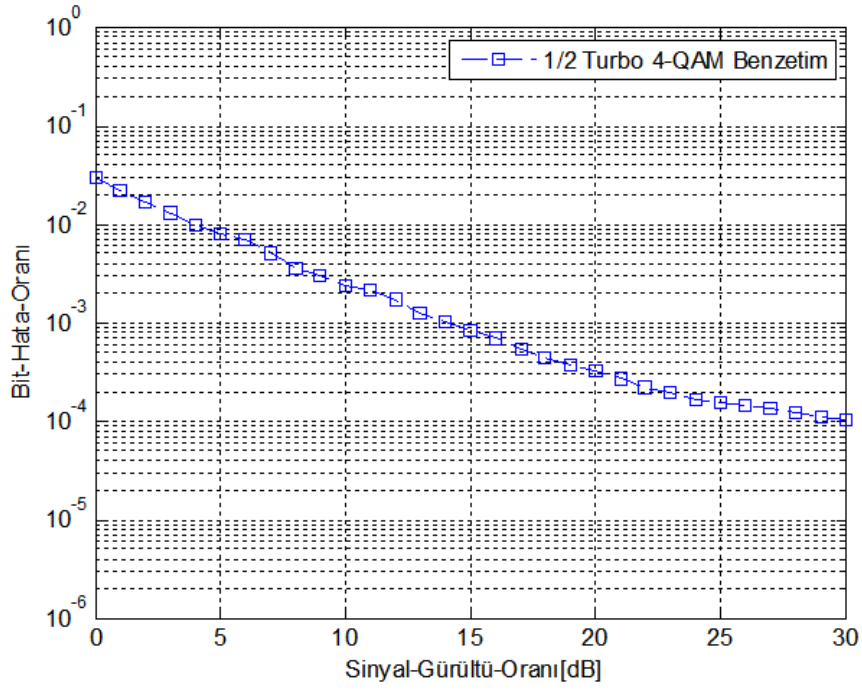


Şekil 3.30. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi)

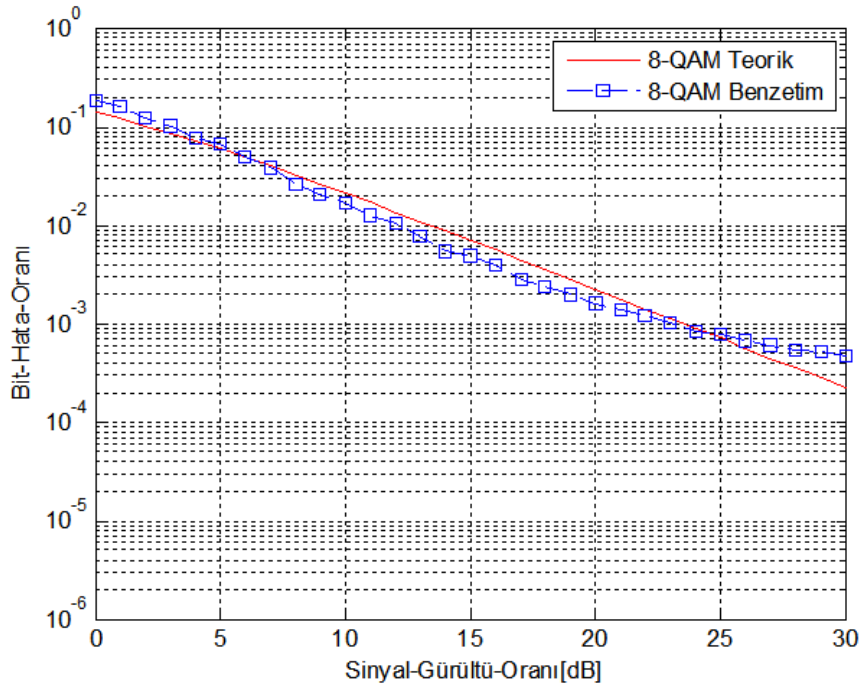


Şekil 3.31. 4-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi)

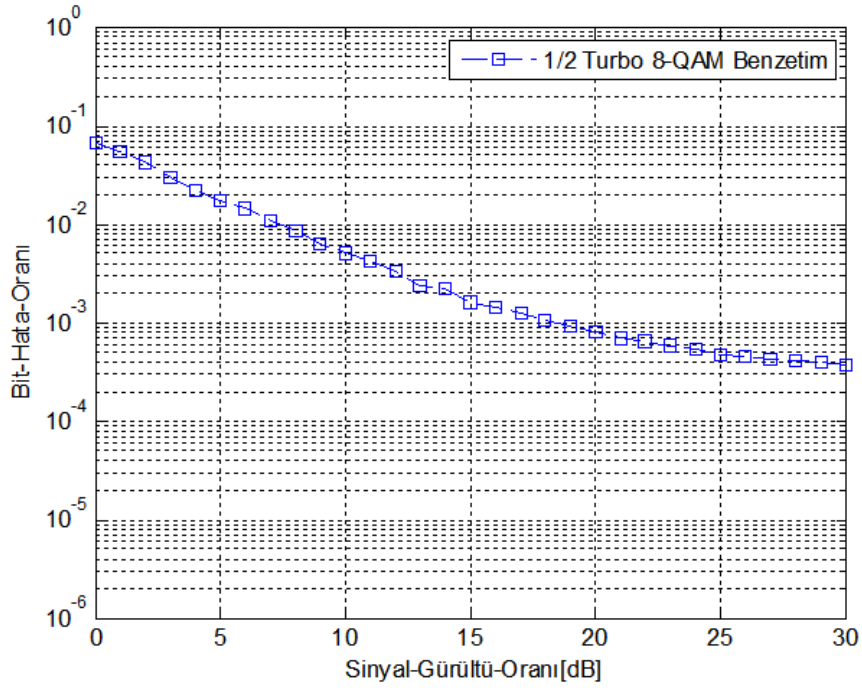




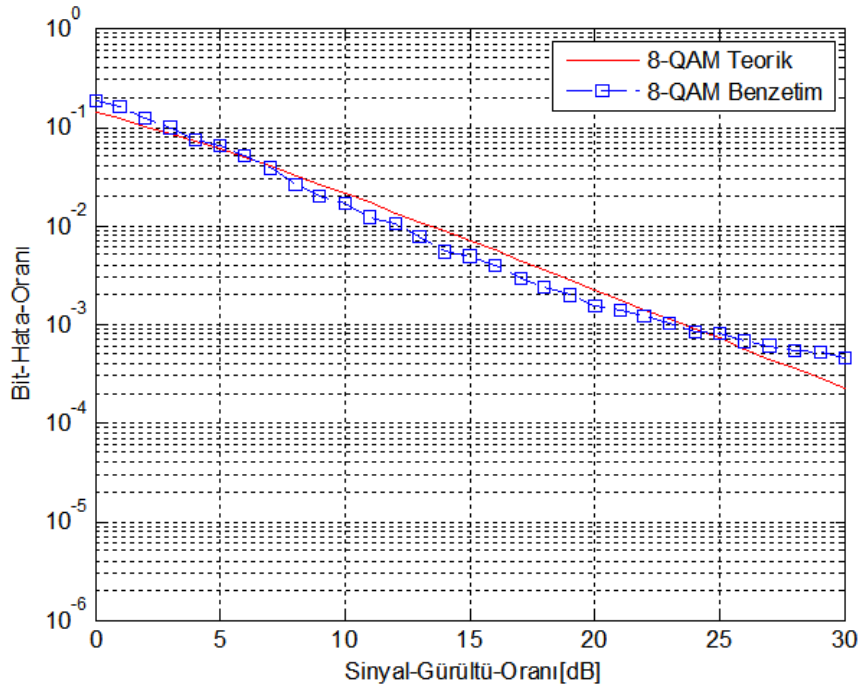
Şekil 3.32. Turbo 1/2 kodlanmış 4-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi)



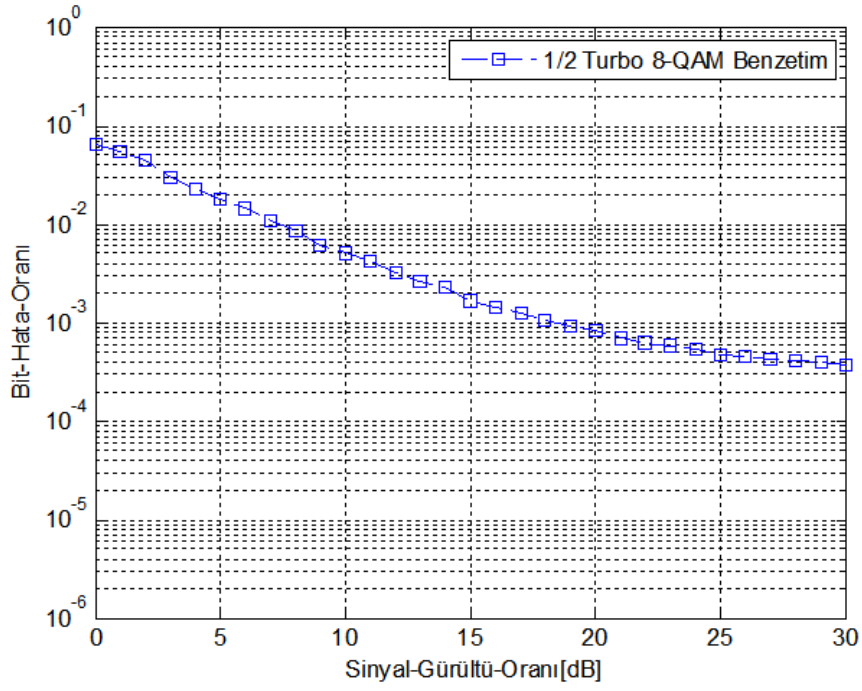
Şekil 3.33. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi)



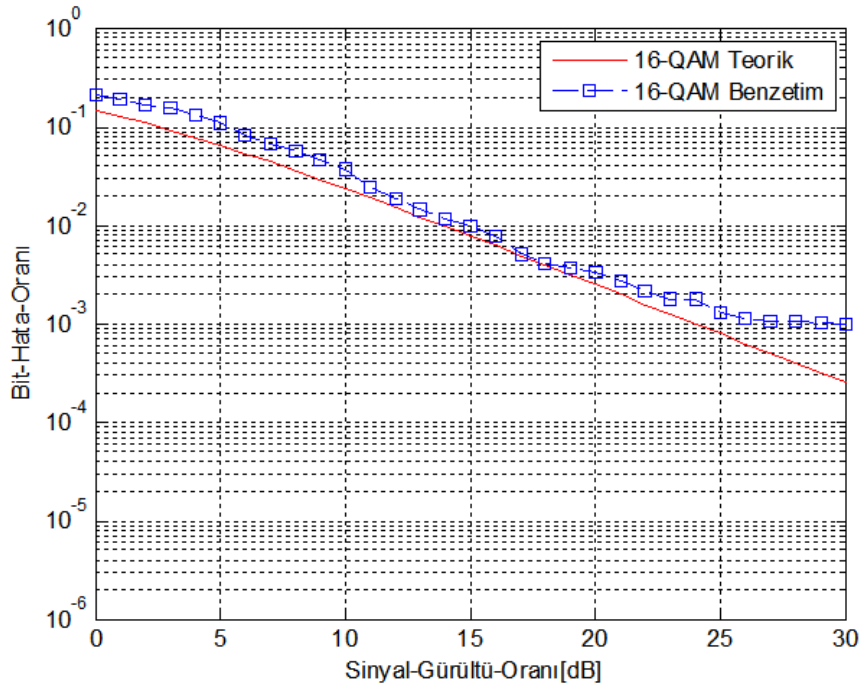
Şekil 3.34. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi)



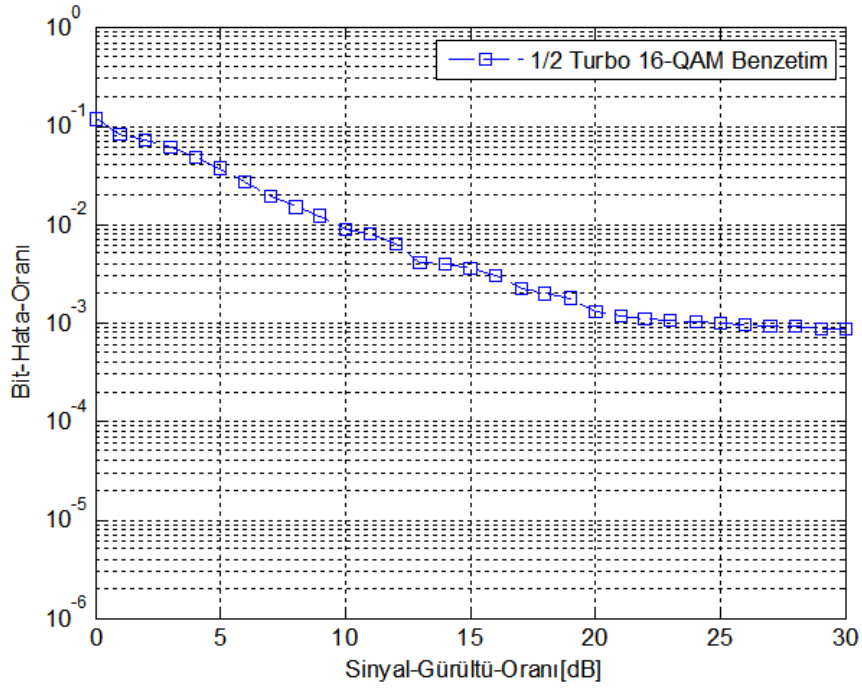
Şekil 3.35. 8-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi)



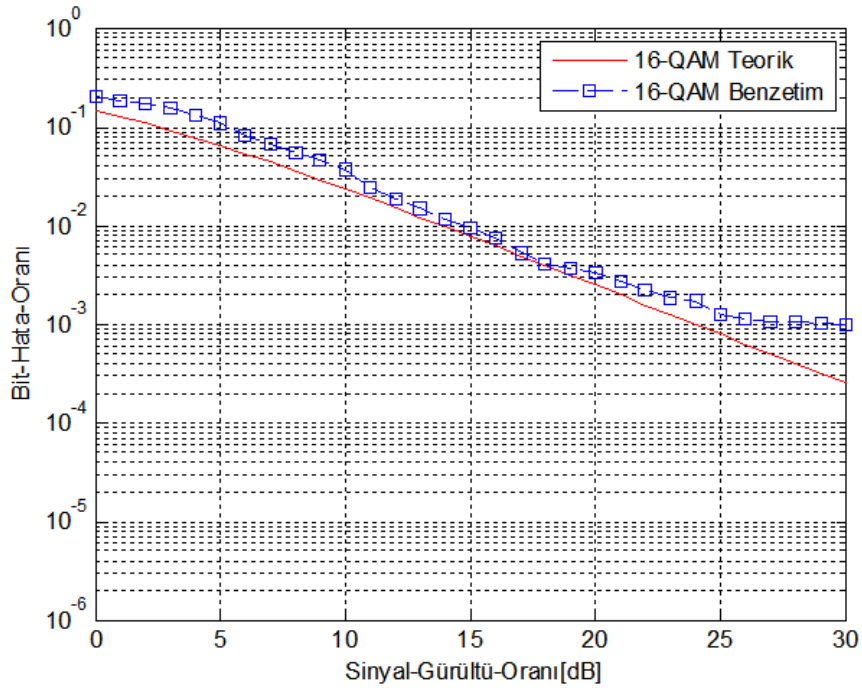
Şekil 3.36. Turbo 1/2 kodlanmış 8-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi)



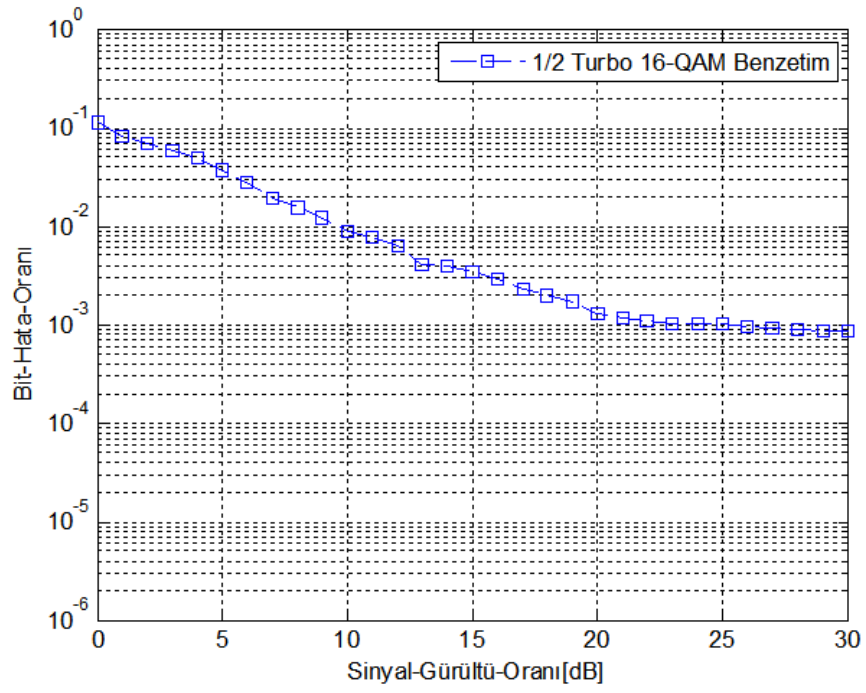
Şekil 3.37. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi)



Şekil 3.38. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-LS kanal kestirimi)



Şekil 3.39. 16-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi)



Şekil 3.40. Turbo 1/2 kodlanmış 16-QAM/OFDM bit hata oranı (DFT-MMSE kanal kestirimi)

## 4. UYARLAMA MODÜLASYONLU TURBO KODLANMIŞ OFDM

### 4.1. Uyarlama Modülasyonlu Turbo Kodlanmış OFDM Mimarisi

Uyarlamalı modülasyonlu turbo kodlanmış sistem mimarisinde kanal kestirimi sonucunda alıcı tarafındaki alt-kanalların anlık sinyal gürültü oranı (SNR) değeri hesaplanarak alıcı ve vericinin bir sonraki OFDM gönderimini seçmeleri için uygun modülasyon ve ileri-hata-düzeltilme (FEC) kod oranı seçilmektedir.

Kablosuz iletişim düşünüldüğünde bir OFDM sembolü içerisinde yer alan her bir alt-taşıyıcı kanalın tepkisinde aynı anda farklı şekillerde etkilenir. Sönümlenmenin çok hızlı olduğu frekans bölgelerinde sembol aktarımını gerçekleştiren alt-taşıyıcı daha fazla etkilenirken sönümlenmenin az olduğu yerde sembol aktarımını gerçekleştiren alt-taşıyıcı daha az etkilenir.

Adaptasyon algoritması için kullanılan bir yöntem olan eşik değer uygulaması ile en düşük SNR değerine sahip olan alt-taşıyıcı, kendisinin içinde yer aldığı alt-bant için bir sonraki OFDM sembol çerçevesindeki uygulanacak modülasyonun seçimini belirler [7].

Bu algorithmanda ortalama SNR değeri her bir alt-bant için hedeflenen BER değerinden küçüktür. Eğer BER değeri hedeflenen değere yaklaşıyorsa daha uygun bir modülasyon ve kod oranı seçilerek çıktı (throughput) miktarı artırılır [8].

BER için hedef değer olarak veri aktarımının yapılabileceği  $10^{-2}$  değeri seçilerek her bir OFDM çerçevesi için adaptasyon metodu uygulanmıştır.

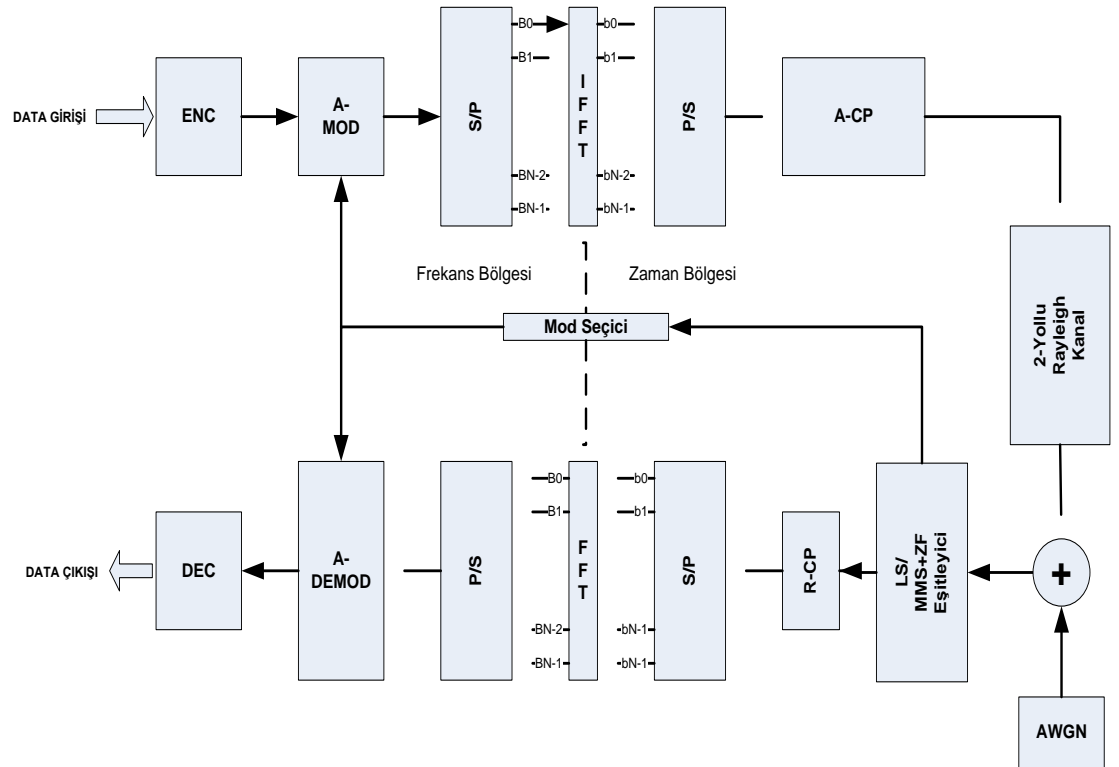
Kanal kestirimi ve anlık SNR ölçümü alıcı tarafında yapılır ve vericiye bir geri besleme yapılarak bir sonraki çerçeve için uygun metot belirlenir [9].

Çizelge 4.1. Uyarlama modülasyonu benzetim parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
FFT boyutu	512	Alt taşıyıcı frekans aralığı	9765,625 (Hz)
Alt-taşıyıcı sayısı	512	Kanal tipi	2-Yollu Rayleigh kanal
Data alt-taşıyıcı sayısı	384	Kanal Kestirim	Mükemmel Kanal Kestirimi, DFT-LS, DFT-MMSE
Pilot alt-taşıyıcı sayısı	128	Kullanılan sembol süresi	102,4 (µs)
Alt-bant sayısı	32	Koruma süresi	6,4 (µs)
Alt-bant başına alt-taşıyıcı	16	OFDM sembol süresi	108,8 (µs)
Pilot sembol aralığı	4	1 ms içindeki OFDM paket sayısı	9
Çerçeve boyutu	1	FEC Oranı (Turbo)	1/2
Koruma aralığı	1/16	QAM Anahtarlamaları	4/8/16
Sinyal-gürültü-oranı	1-30 dB	Kanal Eşitleyici	ZF(Zero Forcing)
Bant genişliği	5 MHz		

Çizelge 4.2. Anahtarlama eşik değerleri

Parametre	Değer
4-QAM, 1/2 kod oranı	SNR < 16 dB
8-QAM, 1/2 kod oranı	16 dB ≤ SNR < 19
16-QAM, 1/2 kod oranı	19 dB ≤ SNR

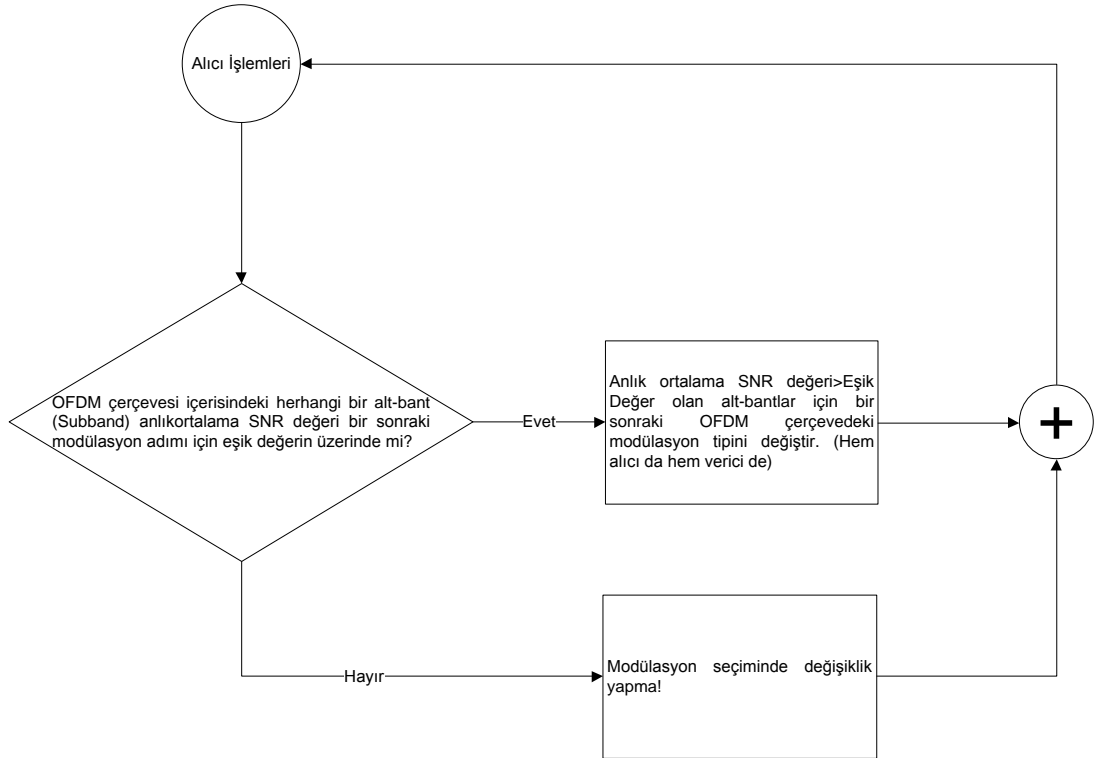


Şekil 4.1. Uyarlama modülasyonu ile turbo kodlanmış QAM/OFDM sistem mimarisi

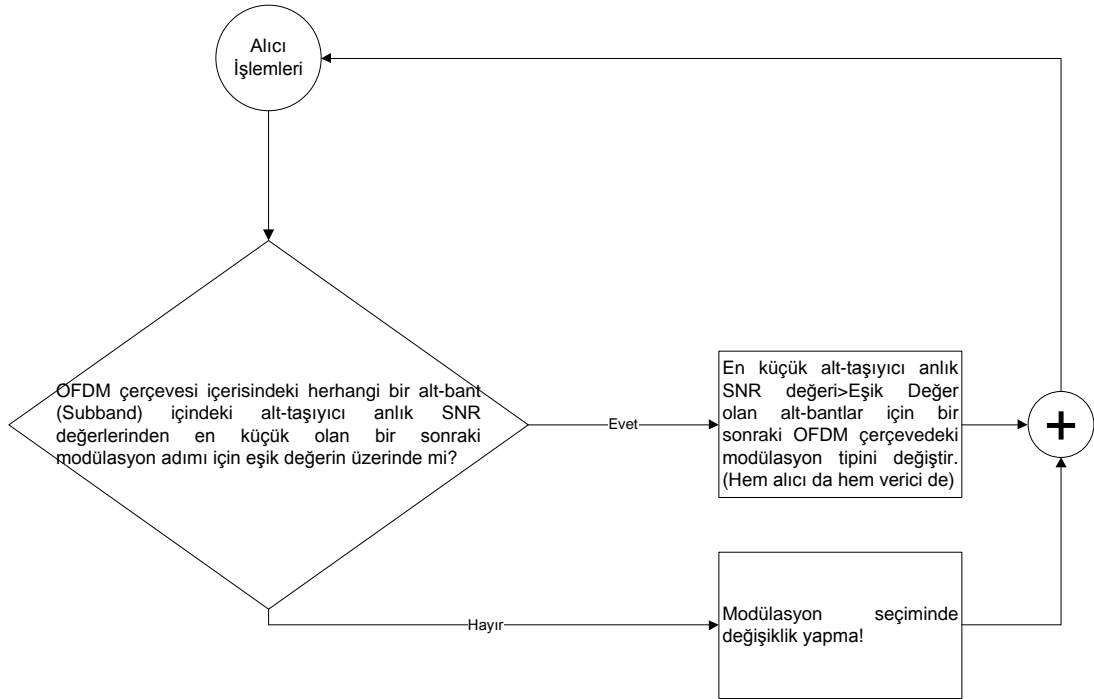
Şekil 4.1'de verilen uyarlama modülasyonu için alıcı tarafından kanal çıkışındaki sinyal üzerinde anlık sinyal gürültü oranı kestirimi için Şekil 4.2'deki işlem akışı uygulanmaktadır. Bu akış sonucunda eğer zıplama için uygun bir alt-bant var ise verici ve alıcı konfigürasyonu bir sonraki OFDM sembolünde güncellenecektir.



Şekil 4.2’de tez çalışması kapsamında uygulanacak algoritma verilmiştir. Alternatif olarak işlem yükünü ve alıcı-verici kompleksliğini artıran diğer bir algoritma ise şekil 4.3’de verilmiştir. Bu algorithmada ise uyarlama modülasyonundaki alt bantlara uygulanacak olan modülasyon tipi her bir alt-bant içerisinde yer alan alt taşıyıcılardan anlık sinyal gürültü oranı en düşük olanın sahip olduğu değer eşik değerinin üzerinde ise bir sonraki OFDM çerçevesinde bulunduğu alt-bant için alıcı-verici tarafında yeni modülasyon tipi uygulanır.



Şekil 4.2. Uyarlama modülasyon algoritması



Şekil 4.3. Alternatif uyarlama modülasyon algoritması

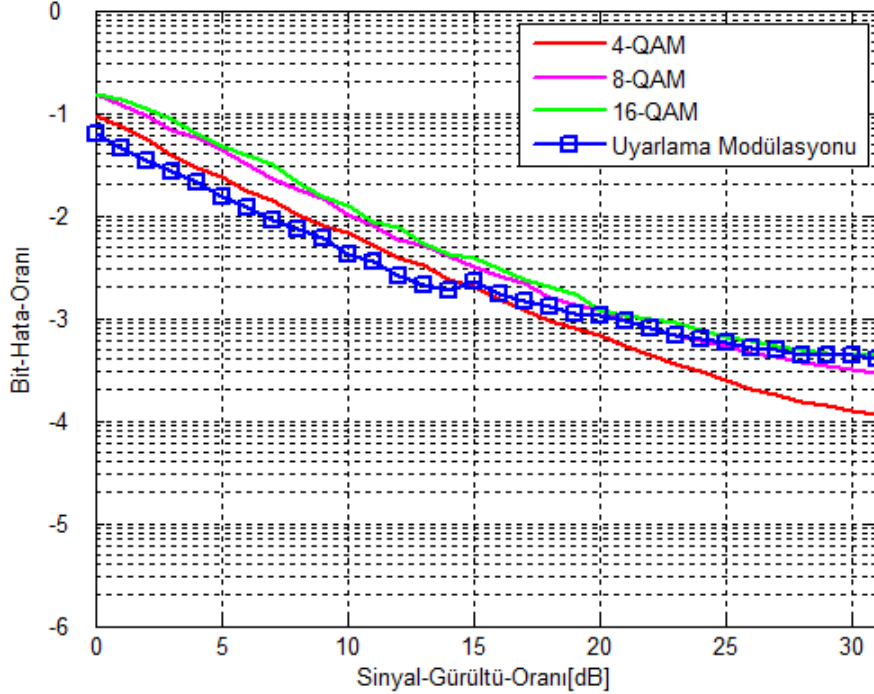
## 4.2. Bit Hata Oranı (BER) Analizi

Uyarlama modülasyonlu turbo kodlanmış sistem için BER sonuçları benzetim çalışmaları ile elde edilmiştir. Bu benzetim çalışmaları yapılırken mükemmel ve mükemmel olmayan kanal kestirimi uygulanmıştır.

Mükemmel olmayan kanal kestirimi yapılırken LS ve MMSE kanal kestirim algoritmaları DFT temelli olarak uygulanmıştır.

### 4.2.1. Mükemmel kanal kestirimi altında

Mükemmel kanal kestirimi altında BER sonuçları oldukça başarılı olup 2-yollu Rayleigh kanal için yapılmıştır. Şekil 4.4'de verilmiştir.

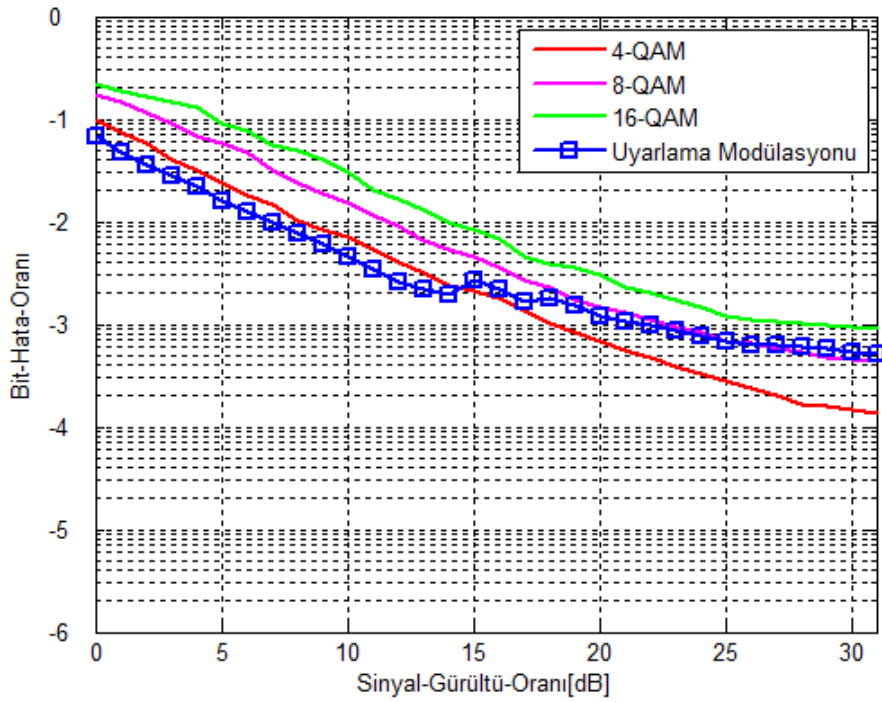


Şekil 4.4. Mükemmel kanal kestirimi altında bit-hata-oranı

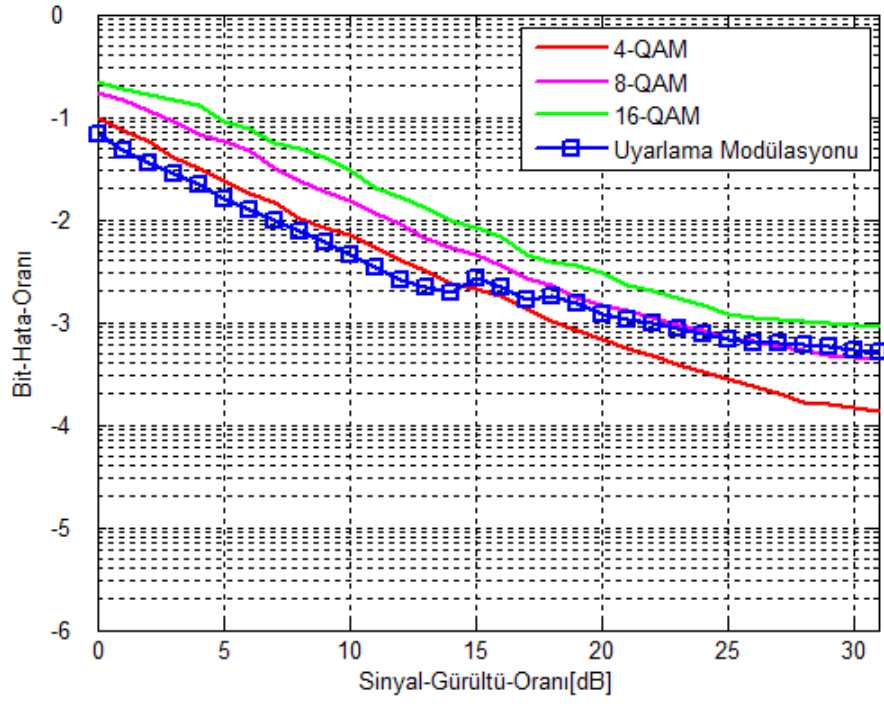
#### 4.2.2. DFT Temelli Mükemmel olmayan kanal kestirimi altında

Mükemmel olmayan DFT temelli LS ve MMSE kanal kestirimi altında BER sonuçları oldukça başarılı olup 2-yollu Rayleigh kanal için yapılmıştır. Şekil 4.5 ve şekil 4.6'da verilmiştir.

Sonuçlar mükemmel kanal kestirimini DFT gürültü azaltımı uygulanmadan önceki durumuna göre bit-hata-oranı olarak ilerleme sağlamıştır. DFT temelli kanal kestirimi için pilot sayısı artırılarak bit-hata-oranı geliştirilebilir, fakat bu durumda gönderdiğimiz kullanıcı verisini azaltmış kanalın çıktısını (throughput) aşağı çekmiş oluruz.



Şekil 4.5. DFT-LS kanal kestirimi altında bit-hata-oranı



Şekil 4.6. DFT-MMSE kanal kestirimi altında bit-hata-oranı

### 4.3. Çıktı Analizleri

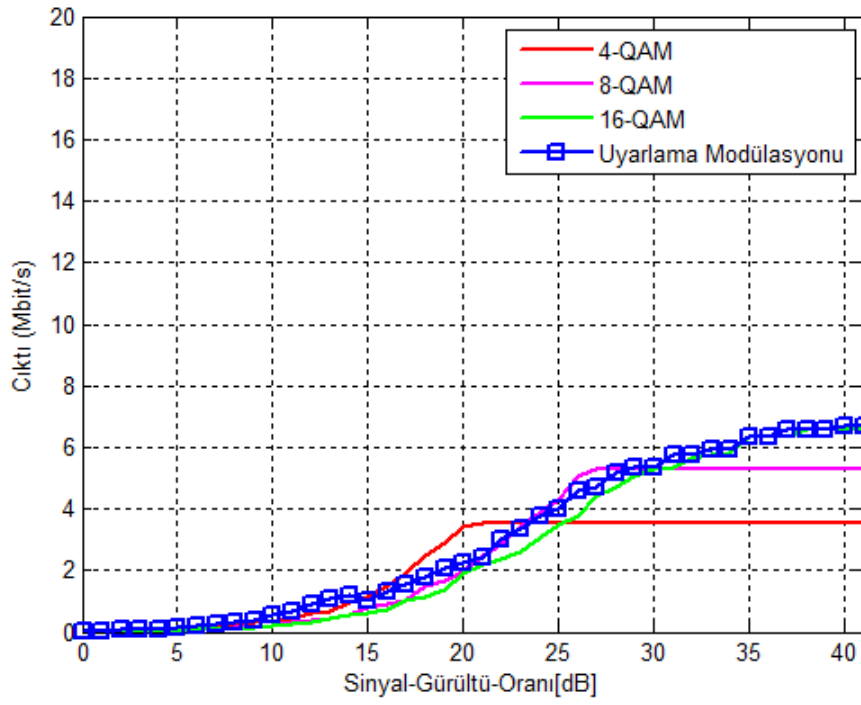
Bu bölümde alıcı tarafında çıktı (throughput) analizi yapılmıştır. Çıktı analizi yapılırken efektif çıktı sonucu dikkate alınmıştır. Efektif çıktı hesabında sadece kullanıcı verisinin taşındığı data alt-taşıyıcıları dikkate alınır. Kullanıcı verisinin olmadığı pilot alt-taşıyıcılar efektif çıktı analizine dahil edilmemiştir.

Herkes tarafından bilinen bir gerçek şudur ki iyi bir kablosuz sistem tasarlamak için spektral etkin kullanım bir anahtardır [13]. Çıktı analizi kablosuz haberleşme sisteminde etkin kullanımının ölçümü için geçerli kriterlerden biridir.

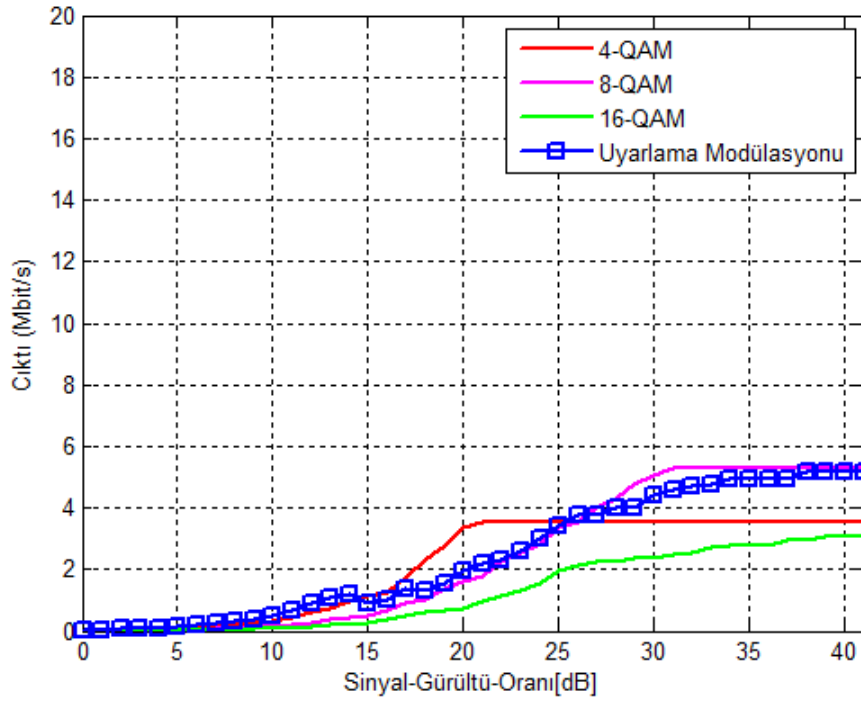
Çıktı analizinde kanal kodlama oranlarında dikkate alınarak kullanıcı veri bitlerinden ileri-hata-düzeltilme bitleri ayrılır. Bu sayede bir OFDM sembolündeki çıktı analizi yapılırken sadece kullanıcı tarafından ihtiyaç duyulan faydalı veri (payload) alanı ile ilgilenilmiş olur.

Çıktı analizinin etkileyen diğer bir unsurda modülasyon tekniğindeki alfabe sayısıdır. Yani her bir alt-taşıyıcıda kaç adet bit gönderdiğimizdir. Yüksek sinyal gürültü oranlarında büyük modülasyon derecesine sahip 32/64/128 QAM tipinde 5/6/7 bit her bir taşıyıcıda iletilir.

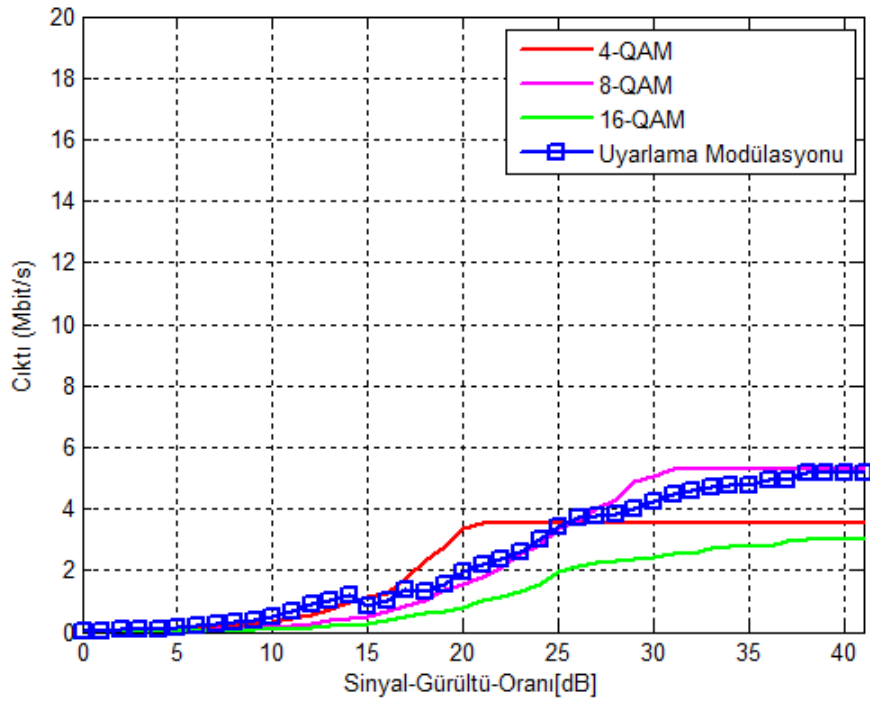
Çıktı analizleri yapılırken saniyede efektif kullanıcı verisindeki bit sayısı ile sinyal gürültü oranı arasındaki ilinti değerlendirilmiştir. Çıktı analizlerinde mükemmel ve mükemmel olmayan kanal kestirimi altında uyarlama modülasyon sonuçları incelenmiştir.



Şekil 4.7. Mükemmel kanal kestirimi altında çıktı analizi



Şekil 4.8. DFT-LS kanal kestirimi altında çıktı analizi



Şekil 4.9. DFT-MMSE kanal kestirimi altında çıktı analizi



## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında Awgn ve 2-yollu Rayleigh kanal altında temel QAM/OFDM benzetim sonuçları ve turbo kodlanmış QAM/OFDM benzetim sonuçları çıkarılmıştır.

Çıkan bu sonuçlardan faydalanılarak Uyarlama modülasyonlu turbo kodlanmış QAM/OFDM yapısının benzetim çalışmaları yapılmıştır. Bu benzetim çalışmaları sonucunda ortaya çıkan sonuçlar mükemmel ve mükemmel olmayan kestirim altında incelenmiştir. Mükemmel olmayan kestirim içine kanal gürültüsünün tamamını almayacak şekilde indirildiğinde ortaya çıkan sonuçların başarılı olduğu gözlenmektedir.

Ayrıca 4.bölümdeki çalışma için çıktı (throughput) analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında Uyarlama Modülasyonlu LS-Kanal kestirimi yapılan QAM/OFDM sistem performansı olarak düzgün sönümlenmeli kanallarda kullanılması daha uygun olacaktır.

Uyarlama modülasyonu performans artışlarına rağmen alıcı/verici çiftinde tasarım kompleksliğini artırmaktadır.

Çalışmalarda 4/8/16 QAM kullanılması üzerindeki zıplamalarda (modülasyon atlaması) performans artışı görülemediğidir.

Çalışma kapsamında DFT temelli LS ve MMSE'deki gürültü azalımı incelenmiş olup tavsiye edilmektedir.

Benzetim çalışmalarında turbo 1/2 kod oranı kullanılmıştır. Bit-hata-oranı 1/3 kod oranı ile iyileştirilebilir fakat bu durumda bant genişliği etkin kullanımı azaltılmış olur.

Bu tez temel benzetim çalışmalarında başlayarak önerilen yapıya kadar Matlab ortamında geliştirilmiş olup, konu üzerinde çalışacak tez öğrencileri için bu alanlar bir altyapı oluşturmuştur.

Çalışma DFT temelli LS ve MMSE'deki gürültü azalımı ile birlikte M-PSK ve M-QAM modülasyon yapacak şekilde genişletilebilir.

Snmlenin hızlı olduğu kanallarda benzer çalışmalar yapılırken kod oranları  $1/3$ ,  $1/2$  arasında eşik değerine göre değiştirilerek başarılı sonuçlar alınabileceği öngörülmektedir.

Uyarlama modülasyonundaki eşik değer seçimi için alt-bant ortalama sinyal gürültü oranı (SNR) yerine alt-bant içindeki minimum taşıyıcı sinyal gürültü oranı (SNR) değeri alınarak çalışma kapsamı genişletilebilir.

Çalışma temel bant üzerinde yapılmış olmasına rağmen HF bant için geliştirilebilir.

Mobil istasyonlar ile olan etkisi Doppler kayması dikkate alınarak ileriki alışmalar da değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Faezah, J. and Sabira, K., "Adaptive Modulation for OFDM Systems", ***International Journal of Communication Networks and Information Security Transactions Power Electronics***, 1 (2) : 1 – 8 (2009).
2. John G. Proakis, Masoud Salehi. , "Fundamentals of Communication Systems" , 2<sup>nd</sup> ed., ***Prentice Hall***, 2004.
3. Coleri S., Ergen M., Puri A., Bahai A., "Channel Estimation Techniques Based on Pilot Arrangement in OFDM Systems", ***IEEE Trans.on Broadcasting***, 48(3): 223-229 (2002).
4. Van de Beek J.-J., Edfords, O., Sandell M., Wilson S.K., and. Borjesson P.O., "On Channel Estimation in OFDM Systems", ***IEEE 45th Vehicular Technology Conference***, 1 (1) : 815-819 (1995).
5. Van de Beek J.-J., Edfords, O., Sandell M., Wilson S.K., and. Borjesson P.O., "Channel Estimation in OFDM Systems", ***Freescale Semiconductor***, 1 (0) : 1-15 (2006).
6. Uher J., Waysocki T., Waysocki B., "Effect of Sample Timing on LS Channel Estimation", ***IEEE 45th Vehicular Technology Conference***, 48 (3) : 600-819 (2009).
7. L.Hanzo., S.X.Ng., T.Keller., W.Web., "Quadrature Amplitude Modulation: From Basics to Adaptive Trellies Coded, Turbo Equalised and Space-Time Coded OFDM, CDMA and MC-CDMA Systems", 2<sup>nd</sup> ed., ***John Wiley and Sons Ltd***, 2004.
8. Y.Lei., A.Burr., "Adaptive Modulation and Code Rate for Turbo Coded OFDM Transmissions", ***Vehicular Technology Conference***, 1: 2702-2706, 2007.
9. K.M.Hadi., R.Tripathi., K.Kant., "Performance of Adaptive Modulation in Multipath Fading Channel", ***The 8<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology***, 2: 1277-1282, 2006.
10. Haykin S., "Communication Systems" , 4<sup>th</sup> ed., ***John Wiley and Sons Ltd***, 2001.

11. Goldsmith A., "Wireless Communication" , 1<sup>st</sup> ed., **Cambridge University Press**, 2005.
12. Yong Soo Cho., Jaekwon Kim., Won Young Yang., Chung G. Kang., "Mimo Ofdm Wireless Communications with Matlab", 1<sup>st</sup> ed, **John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd**, 2010.
13. Hadj Zerrouki., Mohamed Feham., "High Throughput of Wimax Mimo-Ofdm Including Adaptive Modulation and Coding", **International Journal of Computer Science and Information Security**, 7: 1 (2010).

## **EKLER**

## EK - 1 Uyarlama Modülasyonu Matlab Kodları

```

%*****%
Proje: Yüksek lisans bitirme tezi
Hazırlayan: Musa Civil
Tarih: 18/05/2012
Tanım: Turbo kodlanmış OFDM sistemlerin mükemmel olmayan
      kanal kestirimi altında incelenmesi
Revizyon: 1.0
Kod tipi: Temel kod
%*****%

clear all;
clc;

%% Kanal parametreleri %%
NgType=2;           % döngüsel önek tipi seçimi 1=CP, 2=ZP
ChType=1;           % kanal tipi 1=awgn, 2=rayleigh kanal
Target_neb=100;    % hedef hata oranı awgn=200, aayleigh=1000
PowerdB=[0 -8 ];   % rayleigh kanal tap gücü
Latency=[0 3 ];    % rayleigh kanal gecikme
Power=10.^(PowerdB/10); % linear rayleigh kanal tap gücü
Ntap=length(PowerdB); % kanal basamak sayısı
Length_ch=Latency(end)+1; % kanal uzunluğu
est_metod=1;       % 1=DFT-LS, 3=DFT-MMSE, 2=Mükemmel kanal kestirimi

%% OFDM sistem parametreleri %%
bps=2;             % taşıyıcı başına düşen bit sayısı 2=4QAM, 3=8QAM, 4=16QAM
M=2^bps;           % modülasyon alfabe uzunluğu
Nfft=512;          % FFT çerçeve genişliği
Nps=4;             % pilot yerleştirme aralığı
Np=Nfft/Nps;       % pilot taşıyıcı sayısı
Nd=Nfft-Np;        % data taşıyıcı sayısı
Ng=32;             % koruma aralığı uzunluğu (%6.25 kabul edildi)
Nsym=Nfft+Ng;      % OFDM çerçeve zamanı
Nused=Nfft-Np;     % aktif kullanılan taşıyıcı sayısı
Es=1;             % bit enerjisi
A=sqrt(3/2/(M-1)*Es); % modülasyon normalizasyon faktörü

%% Turbo kodlayıcı parametreleri %%
alg=1;             % 1=logmapo, 2=sova
len=384*bps;       % kodlanacak verinin
rate=1/2;          % kodlama oranı
itr=5;             % sova algoritması için iterasyon sayısı
generator=1;       % kodlanmış verici için kullanılan polinom 1=g = [ 1 1 1; 1 0 1 ], 2=g = [ 1 1
0 1; 1 1 1 1]

%% Benzetim parametreleri %%
EbNo=[0:1:30];    % sinyal gürültü oranı benzetim koşu aralığı
N_iter=1e3;        % her bir EbNo değeri için koşulan iterasyon sayısı
Nframe=1;          % her bir koşudaki OFDM çerçeve sayısı
sigPow=0;          % sinyal gücü başlangıç değeri

%% Kayıt parametreleri %%
file_name=[ 'BER_' Channel '_' NgType '_' 'LG' num2str(Ng) '.dat']; % kayıt dosyası açılması

```

## EK – 1 (Devam). Uyarlama Modülasyonu Matlab Kodları

```

fid=fopen(file_name, 'w+'); % kayıt yazma fonksiyonun göstergesi

%% Benzetim temel fonksiyonu
for i=0:length(EbN0)
randn('state',0);
rand('state',0);
Ber2=ber(); % bit hata oranı ilklendirme
Neb=0; Ntb=0; % koşu başına hatalı ve toplam bit sayısı sıfırlama
PPer=0; % çıktı analizi paket hata sayısı göstergesi
for m=1:N_iter
%% Verici işlemleri
Xp = 2*(randn(1,Np)>0)-1; % pilot değer üretimi
% modülasyon uyarlaması
if avgs<16
M=4;
Nbps=2;
elseif (avgs>=16)&&(avgs<19)
M=8;
Nbps=3;
elseif avgs>=19
M=16;
Nbps=4;
end
Xt= randint(1,Nfft-Np,M); % veri üretimi tamsayı>0
Xt=dec2bin(Xt); % veriyi ikili formata çevirme
% turbo 1/2 kodlama fonksiyonuna data verisi gönderimi
Xt= turbo_encode(Xt, len, rate, generator);
% QAM modülasyonu
Xmod= qammod(Xt,M,0,'gray')/A;
% pilot verilerin OFDM çerçevesine eklenmesi
ip = 0;
pilot_loc = [];
for k=1:Nfft
if mod(k,Nps)==1
X(k) = Xp(floor(k/Nps)+1);
pilot_loc = [pilot_loc k];
ip = ip+1;
else
X(k) = Xmod(k-ip);
end
end
%% IFFT işlemi
x= ifft(X);
% çevrimsel ön ek eklenmesi
if NgType~=2
xt = [x(Nfft-Ng+1:Nfft) x];
elseif NgType==2
zp=zeros(1,Ng);
xt=[zp x];
end
%% Kanal işlemleri
x_GI=xt;
% OFDM sembolünün rf kanaldan geçirilmesi

```

## EK – 1 (Devam). Uyarlama Modülasyonu Matlab Kodları

```

[y_GI,h,Length_ch]=channel_effect(ChType,x_GI,Nframe,Nsym,Ntap,sigPow,Power,EbNo,N
used,Nfft);
%% Verici işlemleri
if ChType==1
H= fft(h ,Nfft); % kanalın frekans tepkisi (mükemmel kestirim için)
end
% çevrimsel ön ek kaldırılması
for k=1:Nframe
yr = y_GI(Ng+1:Nsym);
%% FFT işlemi
Y=fft(yr);
%% Kanal kestirimi
[Xmod_r,H_DFT]=channel_estimation(ChType,Y,Xp,pilot_loc,Nfft,Nbps,h,snr,est_metod);
%% Anlık snr değerinin hesaplanması
avgs=inst_snr(H_DFT,s);
end
% pilot verilerin OFDM çerçevesine çıkarılması
ip=0;
for k=1:Nfft
if mod(k,Nps)==1
ip=ip+1;
else
Xmod_dr(k-ip)=Xmod_r(k);
end
end
% QAM demodülasyon
X_r=qamdemod(Xmod_dr*A,M,0,'gray');
% turbo 1/2 kodlama fonksiyonundan data verisi alımı
X_rd=turbo_decode(X_r, len, rate, gnum,algr,itr);
%% Bit hata oranı hesaplanması
Neb=Neb+sum(sum(de2bi(X_rd,Nbps)~=de2bi(Xt,Nbps)));
Ntb=Ntb+Nused*Nframe*Nbps;
if Neb~=0
PPer=PPer+1;
end
if Neb>Target_neb, break; end
end
%% Bit hata oranı ve Çıktı analizleri
Per=(N_iter*Nused*Nbps+Neb-Nused*Nbps*m)/(N_iter*Nused*Nbps);
if i==0
sigPow= sigPow/Nsym/Nframe/N_iter;
fprintf('Signal power= %11.3e\n', sigPow);
fprintf(fid,'%%Signal power= %11.3e\n%%EbN0[dB] BER\n', sigPow);
else
Ber = Neb/Ntb;
C=(Nused*Nbps/(2*108.8))^(1-Per);
fprintf('EbN0=%3d[dB], BER=%4d/%8d =%11.3e\n', EbN0(i), Neb,Ntb,C);
fprintf(fid, '%d\t%11.3e\n', EbN0(i), C);
if Ber<1e-6,
break;
end
end
end
end

```



## EK – 1 (Devam). Uyarlama Modülasyonu Matlab Kodları

```

%*****%
Proje: Yüksek lisans bitirme tezi
Hazırlayan: Musa Civil
Tarih: 18/05/2012
Tanım: Turbo kodlanmış OFDM sistemlerin mükemmel olmayan
      kanal kestirimi altında incelenmesi
Revizyon: 1.0
Kod tipi: Kanal etkisi
%*****%
function[y_GI,h,Length_ch]=channel_effect(ChType,x_GI,Ntap,Power,EbNo,Nused,Nfft)
if ChType==0
y= x_GI; % awgn kanal
else % rayleigh kanal
channel=(randn(1,Ntap)+j*randn(1,Ntap)).*sqrt(Power/2);
h=channel;
Lch=length(channel);
y = conv(x_GI,h);
end
% gürültü eklenmesi
snr = EbNo+10*log10(Nbps*(Nused/Nfft));
y_GI =awgn(y,snri,'measured');
%*****%
Proje: Yüksek lisans bitirme tezi
Hazırlayan: Musa Civil
Tarih: 18/05/2012
Tanım: Turbo kodlanmış OFDM sistemlerin mükemmel olmayan
      kanal kestirimi altında incelenmesi
Revizyon: 1.0
Kod tipi: Kanal kestirimi
%*****%
function[Xmod_r,H_DFT]=channel_estimation(ChType,Y,Xp,pilot_loc,Nfft,Nbps,h,snr,est_me
tod)
if ChType==0
Xmod_r = Y;
else
if est_metod==1
H_est = LS_CE(Y,Xp,pilot_loc,Nfft,Nps,'linear');
elseif est_metod==2
H= fft(h ,Nfft);
H_est=H;
else
H_est = MMSE_CE(Y,Xp,pilot_loc,Nfft,Nps,h,snr);
end
end
if est_metod==2
Xmod_r=Y./H;
else
h_est = ifft(H_est); % kanal dürtü tepkisi kestirimi
h_DFT = h_est(1:Lch); % gürültü azalımı
H_DFT = fft(h_DFT,Nfft); % DFT kestirimi
Xmod_r=Y./H_DFT;
end
end

```

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CİVİL MUSA  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 03.01.1984 Ankara  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (312) 811 18 00 Dahili: 6214  
e-mail : mcivil@tai.com.tr

### Eğitim

#### Derece

#### Eğitim Birimi

#### Mezuniyet tarihi

Lisans	Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh.	2007
Lise	Gölbaşı Anadolu Lisesi	2002

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2008	Armas Elektronik	ARGE
2008- Uzmanı	TAI	Tasarım

### Yabancı Dil

İngilizce