

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

**KABLOSUZ HABERLEŞMEDE KULLANILAN KARMA
ARQ SİSTEMLERİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Sıtkı AKKAYA**

**Danışman
Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FBY-10-3384 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Temmuz 2012
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Sıtkı AKKAYA

İmza :

Elektronik Mühendisliği, Ağrı 2020

Prof. Dr. Necati TAŞPINAR

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Kablosuz Haberleşmede Kullanılan Karma ARQ Sistemleri adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Sıtkı AKKAYA



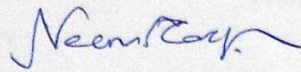
Danışman

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR



Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR



Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR danışmanlığında **Sıtkı AKKAYA** tarafından hazırlanan **“Kablosuz Haberleşmede Kullanılan Karma ARQ Sistemleri”** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

19/07/ 2012

(Tez savunma sınav tarihi yazılacaktır.)

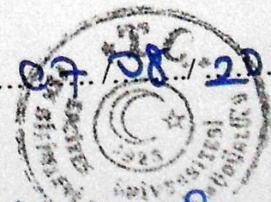
JÜRİ:

Danışman :Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR
 Üye :Doç. Dr. Şaban ÖZER
 Üye :Doç Dr. İbrahim Develi

Necmi Taşpınar
Şaban Özer
İbrahim Develi

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 07/08/2012 tarih ve 2012/3603 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

07/08/2012

Necmettin Maraşlı
 Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI
 Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR’a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne (Proje No: FBY-10-3384) teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sıtkı AKKAYA

Kayseri, Temmuz 2012

KABLOSUZ HABERLEŞMEDE KULLANILAN KARMA ARQ SİSTEMLERİ

Sıtkı AKKAYA

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2012

Danışman: Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

KISA ÖZET

Son yıllarda gerek ses ve görüntü iletimi, gerekse yüksek hızlı internet uygulamalarında olduğu gibi geniş band genişliği gerektiren uygulamalarda yüksek veri hızlarında iletme ihtiyacı duyulmaktadır. Ayrıca kullanılacak band genişliği sınırlı olduğu için iletim ortamında birden fazla kullanıcının aynı anda iletilmesi gerekmektedir. Bu ihtiyacı son yıllarda yaygın olarak kullanılmakta olan Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) sistemi karşılamaktadır. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte veri güvenliği ve güç tasarrufu da önemli hale gelmektedir. Aynı frekans bandını kullanan farklı kullanıcıları ayırmak için tekli kodlar kullanan Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) Sistemi de bu ihtiyacı karşılamaktadır. Bu iki sistem karıştırılarak Çok taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) sistemi elde edilmiştir. Böylelikle, yüksek oranlı veri iletimi, veri güvenliği ve yüksek spektral verimlilik gibi her iki sistemin de avantajlarından yararlanılmıştır.

OFDM ve MC CDMA sistemlerinde verici ve alıcıda sırasıyla Ters Hızlı Fourier Dönüşüm (IFFT) ve Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT) kullanılmıştır. Bunların yerine Ters Ayrık Dalgacık Dönüşüm (IDWT) ve Ayrık Dalgacık Dönüşüm (DWT) kullanılarak Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (WPDM) tabanlı sistemler elde edilmiştir.

Düşük SNR'a sahip ve derin sönümlü kanallarda verici ve alıcı arasında verinin doğru iletimi mümkün olamamaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için en etkili tekniklerden biri Otomatik Tekrar isteği (ARQ) hata kontrol tekniğidir. Bu tezde; yukarıda belirtilen haberleşme sistemlerinde kullanılan farklı ARQ yöntemlerinin farklı parametrelerle performansları benzetim ortamında incelenmiştir.

Alt taşıyıcı sayısı, üreteç polinomu büyüklüğü, başlangıç kod oranı, “n” CDMA kod matrisinin boyutu arttıkça ve “h” ARQ için delme adım büyüklüğü, kod uzunluğu, “M” modülasyon katsayısı azaldıkça sistem başarımlarının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca “Gray” kodlamanın “Binary” kodlamaya göre , “QAM” modülasyon “QPSK” modülasyona göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

ARQ yöntemlerinde ise kod birleştirmeli ARQ tekniklerinin kod birleştirme sizlere göre; II. türden karma ARQ tekniklerinin I. türden ARQ tekniklerine; delinmiş konvolosyon kodları kullanan II. türden karma ARQ tekniklerinin ise II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniklerine göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Kullanılan haberleşme sistemlerinde ise Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullamalı (WPDM) sistemlerin Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı (OFDM) sistemlere göre; Çok taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişimli (MC-CDMA) sistemlerin Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı (OFDM) sistemlere göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ARQ, delinmiş konvolosyon kodlama, I. türden karma ARQ, II. türden karma ARQ, Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı (OFDM), Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA), Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (WPDM).

HYBRID ARQ SYSTEMS USED IN WIRELESS COMMUNICATION

Sıtkı AKKAYA

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, July 2012

Supervisor: Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

ABSTRACT

Recently, high data rate transmission is needed in wide band applications as in both transmission of voice & image and high rate internet application. Besides, more than one user may be required over the same transmission link because the bandwidth is limited. Orthogonal Frequency Division Multiple (OFDM) system is used recently, fulfills this requirement. However, developing technology, data security and power saving has been important. Code Division Multiple Access (CDMA) system used the unique codes which are distinguish the different users using same frequency band, provides the necessity. Multicarrier Code Division Multiplexing Access (MC-CDMA) is obtained by mixture of the both of systems. Thus, exploited advantages of both of systems which are high rate data transmission, data security and high spectral efficiency, etc.

In OFDM and MC-CDMA, at the transmitter and receiver, respectively, Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) and Fast Fourier Transform (FFT) is used. Instead of this transforms, respectively, using Inverse Discrete Wavelet Transform (IDWT) and Discrete Wavelet Transform (DWT), the systems based on Wavelet Packet Division Multiplexing (WPDM) are obtained.

Transmission of data is very difficult in the channel with nominal SNR and deep fading channel. To overcome this problem, one of the most efficient technique is Automatic Repeat Request (ARQ) error control technique. In this thesis; the performance of

different ARQ techniques which are used the above communication systems, with different parameters are investigated with simulation.

It is found that the system throughput increases when the number of subcarrier, the size of generator polynomial, starting code rate, “n” the size of CDMA code matrix increases and while the size of puncturing step “h” for ARQ, the code length, the level of modulation “M” decreases. Besides, it is observed that “Gray” coding and QAM modulation are more successful than “Binary” coding and “QPSK” modulation, respectively.

On the other hand, it is examined that code combining Hybrid ARQ technique, Type II Hybrid ARQ and Type II Hybrid ARQ using punctured convolutional coding are more successful than without code combining Hybrid ARQ, Type I Hybrid ARQ and code combining Hybrid ARQ, respectively.

Wavelet Packet Division Multiplexing (WPDM) Systems are more successful than based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Systems and Multicarrier Code Division Multiplexing Access (MC-CDMA) Systems are more successful than Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Systems are observed.

Keywords: ARQ, punctured convolutional coding, Type I ARQ, Type II ARQ, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), Multicarrier Code Division Multiplexing Access (MC-CDMA), Wavelet Packet Division Multiplexing (WPDM).

İÇİNDEKİLER

KABLOSUZ HABERLEŞMEDE KULLANILAN KARMA ARQ SİSTEMLERİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

TEMEL HABERLEŞME KAVRAMLARI

1.1. ARQ Teknikleri.....	3
1.1.2. ARQ Teknikleriyle ilgili Parametreler	4
1.2. OFDM Sistemi	4
1.2.1. OFDM Sistemiyle İlgili Parametreler.....	4
1.3. WPDM Sistemi	5
1.3.1. WPDM Sistemiyle İlgili Parametreler.....	5
1.4. MC-CDMA Sistemi.....	5
1.4.1. MC-CDMA Sistemiyle İlgili Parametreler	6

1.5. Tüm Haberleşme Sistemleri İçin Genel Parametreler	6
--	---

2. BÖLÜM

ARQ TEKNİKLERİ

2.1. Dur ve Bekle (Stop and Wait) ARQ Tekniği	7
2.2. N Kelime Geri Git (Go-Back-N) ARQ Tekniği	8
2.3. Seçici Tekrar (Selective Repeat) ARQ Tekniği	9
2.4. I. Türden Karma ARQ Teknikleri	9
2.5. II. Türden Karma ARQ Teknikleri.....	10
2.5.1. Viterbi Kod Çözme Tekniğini Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniği.....	11
2.5.2. Viterbi Kod Çözme ve Kod Birleştirme Tekniğini Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniği.....	12
2.5.3. Delinmiş (Punctured) Konvolosyon Kodları ve Kod Birleştirme Tekniğini Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniği.....	13

3. BÖLÜM

KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ

3.1. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM).....	15
3.2. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)	17
3.3. Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA).....	21
3.4. Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (WPDM)	24
3.5. Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (WPDM) Tabanlı MC-CDMA	24

4. BÖLÜM

BENZETİM ÇALIŞMALARI

4.1. Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde İncelenen ARQ Teknikleri.....	25
4.1.1. II. Türden Kod Birleştirmeli Karma ARQ Tekniğini Kullanan Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı (OFDM) Sistemler	26
4.2. Benzetim Çalışmaları.....	27

4.2.1. Karma ARQ Tekniklerinin Kablosuz Haberleşme Sistemleri için Benzetim Çalışmaları.....	27
4.2.2. II. Türden Kod Birleştirmesiz Karma ARQ Tekniği Kullanan OFDM Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları.....	34
4.2.3. Delinmiş Konvolosyon Kodları Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniği Kullanan MC-CDMA Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları.....	38
4.2.4. Delinmiş Konvolosyon Kodları Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan OFDM Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları.....	42
4.2.5. Delinmiş Konvolosyon Kodları Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan WPDM Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları.....	47
4.2.6. Delinmiş Konvolosyon Kodları Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan MC-CDMA Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları.....	51
4.2.7. Delinmiş Konvolosyon Kodları Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan Wavelet Tabanlı MC-CDMA Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları.....	57

5. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

ARQ	: Otomatik Tekrar İsteği (Automatic Repeat Request)
FEC	: İleri Hata Düzeltme (Forward Error Correction)
SW-ARQ	: Dur ve Bekle ARQ (Stop and Wait ARQ)
GBN ARQ	: N Kelime Geri Git ARQ (Go Back N ARQ)
SR ARQ	: Seçici Tekrar ARQ (Selective Repeat ARQ)
FDM	: Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplexing)
OFDM	: Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)
IFFT	: Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (Inverse Fast Fourier Transform)
DWT	: Ayırık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform)
IDWT	: Ters Ayırık Dalgacık Dönüşümü (Inverse Discrete Wavelet Transform)
FDMA	: Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Frequency Division Multiple Access)
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
CDMA	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access)
MC-CDMA	: Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Multi-Carrier Code Division Multiple Access)

WPDM	: Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (Wavelet Packet Division Multiplexing)
BER	: Bit Hata Oranı (Bit Error Ratio)
SNR	: İşaret/Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)
ISI	: Simgelerarası Girişim (Intersymbol)
ICI	: Taşıyıcılararası Girişim (Intercarrier)
CP	: Ön Ek (Cyclic Prefix)
BPSK	: İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying)
QPSK	: Dördül Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying)
QAM	: Dördül Genlik Modülasyonu (Quadrature Amplitude Modulation)
AWGN	: Toplanabilir Beyaz Gaussian Gürültüsü (Additive White Gaussian Noise)
CRC	: Döngüsel Artıklı Kontrol (Cyclic Redundancy Check)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	Kullanılan haberleşme sistemleri ve ARQ teknikleri.....	25
Tablo 4.2.	Benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler	28
Tablo 4.3.	Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler	42
Tablo 4.4.	Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler	48
Tablo 4.5.	Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler.....	51
Tablo 4.6.	Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler.....	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dur ve bekle ARQ tekniği	7
Şekil 2.2.	N kelime geri git ARQ tekniği	8
Şekil 2.3.	Seçici tekrar ARQ tekniği.	9
Şekil 3.1.	OFDM kullanılarak sağlanan band genişliği	19
Şekil 3.2.	OFDM verici ve alıcı yapısı.	19
Şekil 3.3.	Çoklu erişim sistemlerinin frekans-zaman- kod boyutunda gösterimi	22
Şekil 3.4.	CDMA verici ve alıcı yapısı.	23
Şekil 3.5.	CDMA sinyalinin elde edilişi.....	24
Şekil 3.6.	MC-CDMA verici yapısı..	26
Şekil 3.7.	MC-CDMA alıcı yapısı.....	26
Şekil 3.8.	WPDM sisteminin blok şeması.	27
Şekil 4.1.	II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sistemi.....	27
Şekil 4.2.	OFDM sistemine uygulanan ARQ tekniklerinin başarımları	29
Şekil 4.3.	WPDM sistemine uygulanan ARQ tekniklerinin başarımları.....	31
Şekil 4.4.	MC-CDMA sistemine uygulanan ARQ tekniklerinin başarımları	32
Şekil 4.5.	WPDM tabanlı MC-CDMA sistemine uygulanan ARQ tekniklerinin başarımları.....	34
Şekil 4.6.	Kod uzunluğunun II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımları üzerine etkisi.	35
Şekil 4.7.	Üreteç polinom büyüklüğünün II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımları üzerine etkisi.	36
Şekil 4.8.	Alt taşıyıcı sayısının II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımları üzerine etkisi.	37
Şekil 4.9.	Modülasyon seviyesinin II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımları üzerine etkisi.....	38
Şekil 4.10.	Modülasyon seviyesi ve kodlamanın II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımları üzerine etkisi..	39
Şekil 4.11.	“h” adım büyüklüğünün II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımları üzerine etkisi..	40

Şekil 4.12. Başlangıç kod oranının II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi..	41
Şekil 4.13. “n” CDMA matris boyutunun II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.	42
Şekil 4.14. Alt taşıyıcı sayısının II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımı üzerine etkisi..	44
Şekil 4.15. Modülasyon seviyesinin ve türünün II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımı üzerine etkisi ..	45
Şekil 4.16. “h” adım büyüklüğünün II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımı üzerine etkisi..	46
Şekil 4.17. Başlangıç kod oranının II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.	47
Şekil 4.18. Kod uzunluğunun II. türden kod birleştirmeli delinmiş Karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.....	49
Şekil 4.19. “h” adım büyüklüğünün II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.....	50
Şekil 4.20. Başlangıç kod oranının II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.....	51
Şekil 4.21. Modülasyon çeşidi ve uzunluğunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.....	53
Şekil 4.22. Modülasyon kodlama türünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	54
Şekil 4.23. “h” adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	55
Şekil 4.24. Başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	56
Şekil 4.25. “n” CDMA matris boyutu delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	57

Şekil 4.26. Modülasyon çeşidi ve uzunluğunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	59
Şekil 4.27. Modülasyon kodlama türünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	60
Şekil 4.28. “h” adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	61
Şekil 4.29. Başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	62
Şekil 4.30. “n” CDMA matris boyutunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi	63

GİRİŞ

Son yıllarda kablosuz haberleşme sistemlerinde hızlı bir gelişme meydana gelmiştir. Bu gelişim yüksek veri uygulamaları ile ses ve görüntü iletiminden kaynaklanan büyük ihtiyaç dolayısıyla sağlanmıştır. Yeni nesil kablosuz sistemlerde (3,5-4G) mobil telefon teknolojisi, internet erişimi ve mevcut diğer multimedya uygulamalarının bütünleştirilmesi, bir arada yapılabilmesi düşünülmektedir. Sözü geçen uygulamaların ve servislerin çalışabilmesi ve bu taleplerin değerlendirilebilmesi için mevcut spektrumun artırılması ve daha verimli kullanılması zorunludur [1].

Bu ihtiyaçları karşılamak için çeşitli teknik ve sistemler mevcuttur. Verilerin hatasız ve en az iletimle iletebilmesini sağlayan en yaygın hata kontrol tekniği Otomatik Tekrar İsteği (ARQ) tekniğidir. Bu tekniğin temel olarak 3 tipi mevcuttur: Dur ve Bekle (SW) ARQ, N Kelime Geri Git (GBN) ARQ ve Seçici Tekrar (SR) ARQ. SW ARQ'da bir kod kelimesi hatalı alındığında o kod kelimesi doğru alınana kadar başka kod kelimesi alıcıya verilemez. Ancak o kod kelimesi doğru alındıktan sonra yeni bir kod kelimesinin alınmasına izin verilir. N GBN ARQ'da ise bir kod kelimesinin hatalı olması durumunda o kod kelimesine kadar geri dönülerek tekrar gönderilmesi istenir ve doğru alındıktan sonra işleme devam edilir. SR ARQ'da ise sadece hatalı kod kelimesinin yeniden ilemi istenir ve doğru alındıktan sonra işleme devam edilir [2]. Bir ileri hata düzeltme (FEC) sisteminde ise bir mesaj bloğu hata düzeltici bir kodla kodlanarak alıcıya iletilir. Alıcı kod kelimesinde hata saptarsa hataların yerlerini belirleyerek düzeltmeye çalışır. Eğer alıcı hataların varlığını veya hataların gerçek yerlerini belirleyemezse bu tür sistemlerde yeniden iletim olmadığından alınan veri bloğu yanlış olarak çözülecek ve kullanıcıya hatalı veri verilecektir. Temel ARQ ve

FEC tekniklerinin birleştirilmesiyle ortaya çıkan karma ARQ sistemleriyle her iki sistemin dezavantajları yok edilir. Böylece karma ARQ sisteminde FEC alt sistemi kod kelimesindeki hataları düzelterek yeniden iletim sayısını azaltırken, yeniden gönderme işlemleri yanlış veri kelimelerinin kullanıcıya iletilmesini önler. Böylece karma ARQ sistemleriyle yüksek sistem başarımı ve sistem güvenilirliği sağlanmış olur [2]. Karma ARQ sistemlerinin I. türden, II. türden ve III. türden olmak üzere üç türü vardır. Bunlar ise kendi aralarında kod birleştirmeli ve kod birleştirmesiz olarak ikiye ayrılırlar [3-6].

Bu çalışmanın amacı; karma ARQ tekniklerini mevcut bazı haberleşme sistemlerine uygulayarak haberleşme sistemlerinin düşük SNR' lerdeki doğru iletilebilirliğini artırmak ve böylelikle yeniden iletim isteklerini azaltmaya çalışmaktır. Ayrıca farklı parametrelere göre sistemlerin performansı incelenmiştir.

Tezin I. bölümünde temel haberleşme kavramlarıyla ilgili bilgi verilmiştir. II. bölümünde ARQ teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Temel ARQ teknikleri, kod birleştirmesiz I. Türden Karma ARQ, kod birleştirmeli II. türden karma ARQ ve delinmiş (punctured) konvolosyon kodu kullanan II. türden karma ARQ anlatılmıştır.

III. bölümde, kullanılan kablosuz haberleşme sistemlerine değinilmiştir. OFDM Sistemi, WPDM sistemi, MC-CDMA ve WPDM tabanlı MC-CDMA hakkında bilgi verilmiştir. IV. bölüm'de II. ve III. bölümlerde anlatılan sistemlerin birlikte uygulanması hakkında bilgi verilmiş olup benzetim çalışmaları yapılmıştır. V. ve son bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

TEMEL HABERLEŞME KAVRAMLARI

1. ARQ Teknikleri

Son yıllarda kablosuz haberleşme sistemlerinde hızlı bir gelişme meydana gelmiştir. Bu gelişim yüksek veri uygulamaları ile ses ve görüntü iletiminden kaynaklanan büyük ihtiyaç dolayısıyla sağlanmıştır. Yeni nesil kablosuz sistemlerde (3,5-4G) mobil telefon teknolojisi, internet erişimi ve mevcut diğer multimedya uygulamalarının bütünleştirilmesi, bir arada yapılabilmesi düşünülmektedir. Sözü geçen uygulamaların ve servislerin çalışabilmesi ve bu taleplerin değerlendirilebilmesi için mevcut spektrumun artırılması ve daha verimli kullanılması zorunludur [1].

Bu ihtiyaçları karşılamak için çeşitli teknik ve sistemler mevcuttur. Verilerin hatasız ve en az iletimle iletebilmesini sağlayan en yaygın hata kontrol tekniği Otomatik Tekrar İsteği (ARQ) tekniğidir. Bu tekniğin temel olarak 3 tipi mevcuttur: Dur ve Bekle (SW) ARQ, N Kelime Geri Git (GBN) ARQ ve Seçici Tekrar (SR) ARQ. SW ARQ'da bir kod kelimesi hatalı alındığında o kod kelimesi doğru alınana kadar başka kod kelimesi alıcıya verilemez. Ancak o kod kelimesi doğru alındıktan sonra yeni bir kod kelimesinin alınmasına izin verilir. N GBN ARQ'da ise bir kod kelimesinin hatalı olması durumunda o kod kelimesine kadar geri dönülerek tekrar gönderilmesi istenir ve doğru alındıktan sonra işleme devam edilir. SR ARQ'da ise sadece hatalı kod kelimesinin yeniden ilemi istenir ve doğru alındıktan sonra işleme devam edilir [2]. Bir ileri hata düzeltme (FEC) hata sisteminde ise bir mesaj bloğu hata düzeltici bir kodla kodlanarak alıcıya iletilir. Alıcı kod kelimesinde hata saptarsa hataların yerlerini belirleyerek düzeltmeye çalışır. Eğer alıcı hataların varlığını veya hataların gerçek

yerlerini belirleyemezse bu tür sistemlerde yeniden iletim olmadığından alınan veri bloğu yanlış olarak çözülecek ve kullanıcıya hatalı veri verilecektir. Temel ARQ ve FEC tekniklerinin birleştirilmesiyle ortaya çıkan karma ARQ sistemleriyle her iki sistemin dezavantajları yok edilir. Böylece karma ARQ sisteminde FEC alt sistemi kod kelimesindeki hataları düzelterek yeniden iletim sayısını azaltırken, yeniden gönderme işlemleri yanlış veri kelimelerinin kullanıcıya iletilmesini önler. Böylece karma ARQ sistemleriyle yüksek sistem başarımı ve sistem güvenilirliği sağlanmış olur [2]. Karma ARQ sistemlerinin I. türden, II. türden ve III. türden olmak üzere üç türü vardır. Bunlar ise kendi aralarında kod birleştirmeli ve kod birleştirmesiz olarak ikiye ayrılırlar [3-6]. Ayrıca delinmiş (punctured) konvolosyon kodlarını kullanan II. Türden karma ARQ tekniği de mevcuttur [11].

1.1. ARQ Teknikleriyle ilgili Parametreler

Bu teknikler için kullanılan bazı önemli parametreler şu şekildedir.

Başlangıç kod oranı; ilk veri iletiminde gönderilen konvolosyon kod oranını ifade eden parametredir.

Delme adım büyüklüğü; delinmiş konvolosyon kodları için kullanılan, tekrar gönderimde gönderilecek bit sayısını belirten parametre büyüklüğüdür.

2. OFDM Sistemi

Gelişen teknolojiyle birlikte artan band ihtiyacı, hızlı veri iletimi, ses ve görüntü iletimi, vs. gibi talepleri yerine getirmek için son yıllarda kullanılan etkili haberleşme sistemlerinden biri ise Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) dir.

2. OFDM Sistemiyle İlgili Parametreler

Alt taşıyıcı sayısı; bu sistemde Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT) ve Ters Hızlı Fourier Dönüşüm (IFFT) için kullanılan önemli bir parametredir. Alt taşıyıcılar daha yüksek frekanslı verileri daha küçük frekanslı ve fazla taşıyıcıya bölerek daha yüksek başarımlar sağlarlar.

Literatürde ARQ protokollerinin OFDM sistemlerine uygulandığı çeşitli çalışmalar mevcuttur [6-11]. [6] numaralı çalışmada, OFDM sistemleri için oran uyumlu delinmiş

turbo kodlarla kodlanmış karma ARQ sistemi önerilmiştir. [7] numaralı çalışmada, OFDM tabanlı geniş band haberleşme için oran uyumlu delinmiş turbo kodlarla kodlanmış I. , II. ve III. türden karma ARQ sistemlerinin performansları incelenmiştir. [8] numaralı çalışmada çok girişli-çok çıkışlı OFDM (MIMO OFDM) sistemleri için uzay-zaman-frekans çeşitlemeli karma ARQ sistemi önerilmiştir. [9] numaralı çalışmada, MIMO OFDM kullanan ARQ sistemlerinde modülasyon ve kodlama seçim analizi yapılmıştır. [10] numaralı çalışmada, oran uyumlu düşük yoğunluklu eşlik denetim (LDPC) kodlarını kullanan karma ARQ sistemleri önerilmiştir.

3. WPDM Sistemi

OFDM yapının daha etkili bir şekilde kullanımı için sistemde küçük değişiklik yapılarak; Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT) ve Ters Hızlı Fourier Dönüşüm (IFFT) dönüşümler yerine Ayırık Dalgacık Dönüşümü (DWT) ve Ters Ayırık Dalgacık Dönüşümü (IDWT) kullanılarak WPDM sistemleri oluşturulmuştur. [12-13].

3. WPDM Sistemiyle İlgili Parametreler

Alt taşıyıcı sayısı; bu sistemde Ayırık Dalgacık Dönüşümü (DWT) ve Ters Ayırık Dalgacık Dönüşümü (IDWT) için kullanılan önemli bir parametredir.

4. MC-CDMA Sistemi

Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) sistemleri de son yıllarda hem veri güvenliği hem band genişliği tasarrufu için sıkça kullanılan haberleşme sistemleridir.

Kanaldaki band genişliğini daha verimli kullanmak, aynı kanal üzerinden aynı anda birden çok kullanıcıyı haberleştirebilmek ve veriyi daha güvenilir şekillerde iletebilmek için OFDM ve CDMA sistemlerinin birleşimi olan Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) sistemi oluşturulmuştur. MC-CDMA ve OFDM sistemlerinin çeşitli kanallardaki performansları analiz edilmiştir [14-15].

MC-CDMA ve ARQ' nun birleştirilmesiyle mevcut sistemin hem düşük SNR'deki dayanımı hem de güvenilirliği artırılabilir. Bu konuyla ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur [16-18]. Bu sistemle ilgili önemli bir parametre CDMA matris boyutudur.

4. MC-CDMA Sistemiyle İlgili Parametreler

CDMA matris boyutu; kullanıcıları ayırt etmek ve hem frekans hem de zaman dömeninde çalışmaya imkan sağlamak için kullanılır ve bu sistemler için önemli bir parametredir [16-18].

ARQ tekniklerinin işbirlikçi (cooperative) haberleşme sistemlerine birçok uygulaması yapılmıştır [19-38]. Bilişsel (Cognitive) Radyo sistemlerinde kaynak ve trafik önceliğini göz önüne alan bir ARQ mekanizması önerilmiştir [40]. ARQ tekniklerinin MIMO (çok girişli çok çıkışlı) haberleşme sistemleri üzerine uygulamaları da mevcuttur [41-46].

Ayrıca tüm haberleşme sistemleri için önemli olan parametreler şu şekilde verilebilir.

5. Tüm Haberleşme Sistemleri için Genel Parametreler

Band genişliği; kullanıcıya ayrılan haberleşme kanalının büyüklüğü olarak tanımlanabilir. Band genişliği sınırlıdır. O yüzden verimli kullanılması istenir.

Kod uzunluğu; iletilecek kod kelime uzunluğunu ifade eder ve bu büyüklüğe bağlı olarak performans değişmektedir.

Üreteç polinomunun büyüklüğü; konvolosyon kodunda kullanılmakta ve hafıza (register) sayısına bağlı olarak performansı etkilemektedir.

Modülasyon çeşidi; modülasyonda kullanılan tekniği ifade eder (PSK, QAM). Sistem performansı üstünde önemli etkileri vardır.

Modülasyon seviyesi; modülasyonda kullanılan seviyeyi ifade eder (BPSK, QPSK, 8-PSK vb.). Sistem performansı üstünde önemli etkileri vardır.

Modülasyondaki kodlama türü; modülasyonda kullanılan kodlama türünü ifade eder (Binary, Gray). Modülasyon seviyesi arttıkça sistem performansı üstünde önemli etkileri görülmektedir.

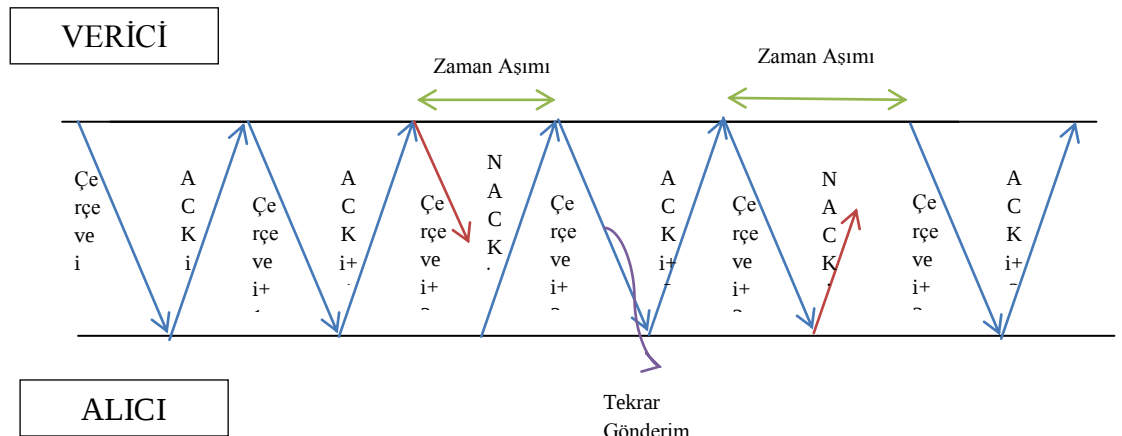
2. BÖLÜM

ARQ TEKNİKLERİ

Bir Otomatik Tekrar İsteği (ARQ) hata kontrol sisteminde mesaj bloğu hata sezen bir koda göre kodlanarak kanala verilir. İletilen kod kelimesi kanal gürültüsü tarafından bozulabilir. Alıcıda kod kelimesinin eşlik denetimi yapılarak mesajın doğru olup olmadığına karar verilir. Eğer eşlik denetimi başarılı ise alınan kod kelimesinin hatasız olduğu kabul edilir ve kullanıcıya verilir. Eğer eşlik denetimi başarısızsa alıcı aynı kod kelimesini tekrar göndermesi için bir geri besleme kanalı üzerinden vericiyi uyarır. Bu şekilde yeniden gönderme işlemleri mesaj doğru olarak alınıncaya kadar devam eder. Temel ARQ tekniklerinin dur ve bekle (SW) ARQ, N kelime geri git (GBN) ARQ ve seçici tekrar (SR) ARQ olmak üzere üç tipi vardır [2].

2.1 Dur ve Bekle (Stop and Wait) ARQ Tekniği

Bu teknikde verici, bir veri bloğunu gönderdikten sonra alıcıdan o veri bloğuna ait olumsuz (NACK) veya olumlu (ACK) alındı bilgisi gelene kadar hiçbir veri bloğu göndermeksizin bekler. Eğer belli bir süre içerisinde böyle bir bilgi gelmezse verici son gönderdiği veriyi tekrar gönderir. Şekil 2.1.' de bu ARQ tekniği gösterilmiştir.



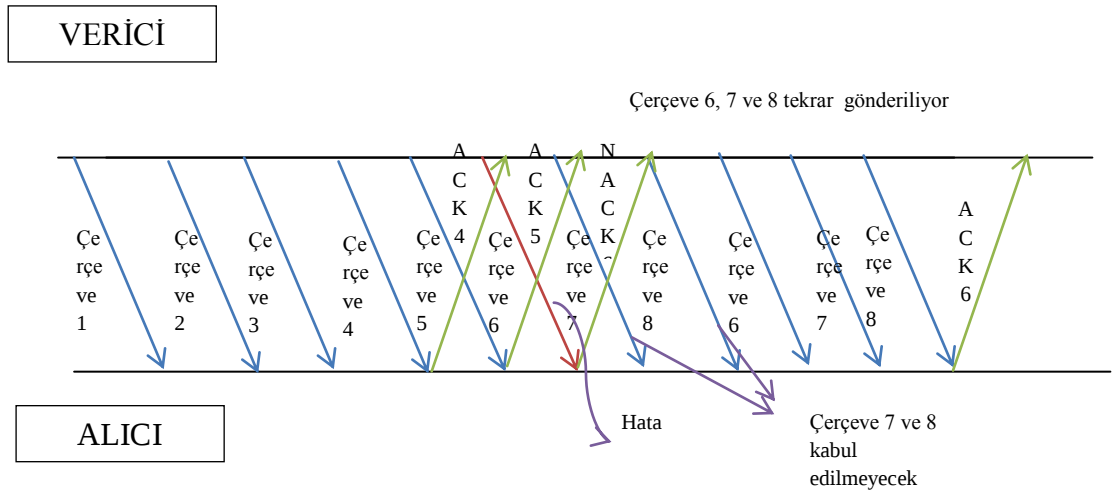
Şekil 2.1. Dur ve bekle ARQ tekniği.

2.2 N Kelime Geri Git (Go-Back-N) ARQ Tekniği

Bu teknikte alıcı hatalı bir çerçeve aldığı zaman belirtilen çerçeve numarasından başlayarak çerçevelerin yeniden iletilmesini ister. Bunu özel bir olumsuz doğrulama çerçevesi göndererek yapar.

Göndericiye herhangi bir NACK hata mesajı gelmediğinde veri iletimine devam edilir. Gönderici $i+2$ doğrulama mesajı “ACK”yı aldığı anda $i+2$ ve önceki verilerin doğru olduğunu saptar ve iletim tablosundan bunları çıkarır.

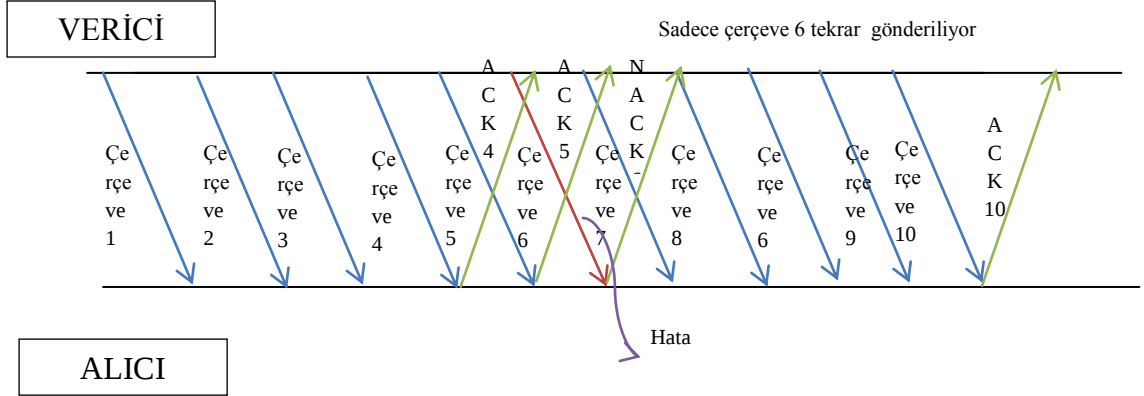
Doğru çerçeve sıralaması korunur ve tampon bellek en aza indirgenir. Ancak doğru olarak gönderilen çerçevelerin bazıları tekrar iletildiğinden iletişim ortamını daha fazla kullanır. Şekil 2.2.’ de bu ARQ tekniği gösterilmiştir.



Şekil 2.2. N kelime geri git (Go-Back-N) ARQ tekniği.

2.3. Seçici Tekrar (Selective Repeat) ARQ Tekniği

Seçici Tekrar (Selective Repeat) ARQ tekniğinde verici, gönderdiği veri bloğuna ilişkin olumsuz alındı gelinceye kadar sırasıyla yeni veri bloklarını göndermeyi sürdürür. Olumsuz bir alındı geldiğinde sadece o veri bloğunu tekrar alıncaya kadar gönderir. SR-ARQ tekniği yüksek kanal bit hata olasılıklı ve uzun bekleme süreli sistemlerde oldukça iyi başarımlar sağlar. Şekil 2.3.’ de bu ARQ tekniği gösterilmiştir [2].



Şekil 2.3. Seçici tekrar (Selective Repeat) ARQ tekniği.

Bir ileri hata düzeltme (FEC) hata kontrol sisteminde ise bir mesaj bloğu hata düzeltici bir kodla kodlanarak alıcıya iletilir. Alıcı kod kelimesinde hatalar saptarsa hataların yerlerini belirleyerek düzeltmeye çalışır. Eğer alıcı hataların varlığını veya hataların gerçek yerlerini belirleyemezse bu tür sistemlerde yeniden iletim olmadığından alınan veri bloğu yanlış olarak çözülecek ve kullanıcıya hatalı veri verilecektir. Temel ARQ ve FEC tekniklerinin birleştirilmesiyle ortaya çıkan karma ARQ teknikleriyle her iki tekniğin dezavantajları yok edilir. Böylece karma ARQ tekniğinde FEC alt sistemi kod kelimesindeki hataları düzelterek yeniden iletim sayısını azaltırken, yeniden gönderme işlemleri yanlış veri kelimelerinin kullanıcıya iletilmesini önler. Böylece karma ARQ teknikleriyle yüksek sistem başarımı ve sistem güvenilirliği sağlanmış olur. Karma ARQ tekniklerinin I. türden, II. türden ve III. türden olmak üzere üç türü vardır. Bu tezde I. türden ve II. türden karma ARQ tekniklerini kullanılmıştır.

2.4. I. Türden Karma ARQ Teknikleri

I. türden karma ARQ tekniğinde, en temel şekliyle, hata sezme ve hata düzeltmenin ikisini de gerçekleştiren tek bir kod kullanılmaktadır. Alınan kod kelimesinde hata sezilirse, ilk önce düzeltme yoluna gidilir. Eğer hatalı bit sayısı (ya da hata grubunun uzunluğu) kullanılan kodun hata düzeltme kapasitesi içindeyse, hatalar düzeltilir ve kullanıcıya verilir. Aksine düzeltilemez bir hata kalıbına rastlanırsa, kod kelimesi atılır ve yeniden iletim isteği vericiye gönderilir. Yeniden iletim sonrası gelen kod kelimesi tekrar yukarıdaki işleme tabi tutulur. Kod çözme yine de başarısız gerçekleşirse, alıcı bu kod kelimesini atar ve yine bir yeniden iletim isteğini vericiye gönderir. Bu işlem kod

kelimesi başarılı bir şekilde alınana ya da çözülene kadar devam eder. Hata düzeltme işlemi herhangi bir ARQ tekniği ile birlikte kullanılabilir.

Kullanılan kod, hem hata sezme hem hata düzeltme amaçlı olduğu için, temel ARQ tekniğine göre daha fazla eşlik biti gerektirir. Sonuç olarak her bir enformasyon bit dizisi için daha fazla bit grubu iletme verilecektir. Eğer kanal bit hata oranı (BER) küçükse, I. türden karma ARQ tekniği, temel ARQ tekniğine göre daha düşük bir başarımlı değerine sahiptir. Bit hata oranı (BER) yüksek olduğunda ise, I. türden karma ARQ tekniği daha verimlidir. Çünkü kullanılan hata düzeltme yeteneği yeniden iletim sıklığını azaltmaktadır.

I. türden karma ARQ tekniği, kanalda beklenen girişim ve gürültü miktarının kabul edilebilir sabit bir seviyede olması durumunda, iletişim sistemlerinde kullanılabilir en iyi protokol olmaktadır. Bu durumda kod kelimesinin uzunluğunun artmasına neden olmayacak yeterlilikte bir hata düzeltme kapasitesine sahip bir kod kullanılır. Böylece yeniden iletimler azaltılır ve sistem performansı artırılır. Ama bit hata oranının (BER) değişken olduğu durağan olmayan kanallarda, I. türden karma ARQ tekniği bazı dezavantajlara sahiptir. Kanal bit hata oranı (BER) düşük olduğunda (uydu iletişim sisteminin iyi havadaki durumu) hata düzeltme bitlerine hiç gerek kalmamakta ya da çok azı yeterli olmaktadır. Sonuç olarak hata düzeltme amaçlı eşlik bitlerinin fazlası gereksiz olmaktadır. Kanal bit hata oranının (BER) yüksek olması durumunda ise, hata düzeltme amaçlı eşlik bitleri yetersiz gelebilir. Dolayısıyla yeniden iletim sıklığı başarımlı düşürür.

2.5. II. Türden Karma ARQ Teknikleri

Değişken bit hata oranlı (BER) kanallar için akla gelebilecek bir yaklaşım, kanal bit hata oranına (BER) uyumlu bir karma ARQ tekniği kullanmak olacaktır. Kanal sakinken, teknik, yalnızca hata sezme amaçlı eşlik bitlerinin iletildiği bir ARQ tekniği gibi davranacak dolayısıyla başarımlı da bu ARQ tekniğindeki gibi olacaktır. Kanal gürültülü olduğunda ise hata düzeltme amaçlı eşlik bitleri de gönderilecektir. Bu yaklaşım II. türden karma ARQ tekniğinin temelini oluşturmaktadır. Bilgi bit dizisi ilk iletiminde yalnızca hata sezme eşlik bitleriyle kodlanır ve kanala verilir. Alıcı hata sezdiğinde, hatalı kod kelimesini saklar ve vericiye yeniden iletim isteği gönderir. Yeniden iletimde gönderilen, önceki kod kelimesi olmayıp ilk gönderilen kod

kelimesinin eşlik bitlerinin hata düzeltme koduyla kodlanmış şeklidir. İlk iletimin eşlik bitlerine ait bu kod kelimesi alındığında alıcı, bu kod kelimesini, tamponda sakladığı hatalı kod kelimesini düzeltmede kullanır. Kod çözme eğer başarısız sonuçlanırsa alıcı ikinci bir yeniden iletim ister. İkinci yeniden iletim, kullanılan stratejiye bağlı olarak ya orijinal kod kelimesidir ya da orijinal kod kelimesine ait eşlik bitleriyle oluşturulan bloktur.

Eşlik ve veri bitlerinin dönüşümlü yeniden iletimi stratejisine dayanan II. türden karma ARQ tekniği kanal şartlarına uyabildiği için I. türden karma ARQ tekniğine göre daha verimlidir.

II. türden karma ARQ tekniği herhangi bir temel ARQ tekniğinde kullanılabilir. Ancak SR-ARQ tekniği en etkili sonucu veren tekniğidir.

2.5.1. Viterbi Kod Çözme Tekniğini Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniği

Bu şema C_0 ve C_1 'le sembolize edilen iki kod ve veri eşlik bitlerinin dönüşümlü olarak yeniden iletimi stratejisini kullanmaktadır. $C_0 (n,k)$ blok kodu , hata sezme amaçlı olarak kullanılmakta iken, $C_1 (2,1,m)$ m bellekli $\frac{1}{2}$ oranlı konvolüsyon kodu hata düzeltme amaçlı kullanılmaktadır.

$G_1(X)$ ve $G_2(X)$, C_1 'in üreteç polinomları olsun. Kullanıcıya gönderilecek mesaj, hazır olduğunda önce bir $I(X)$ kod kelimesine kodlanır. $I(X)$ daha sonra her biri $(n+m)$ bit uzunlukta $P_1(X) = I(X)G_1(X)$ ve $P_2(X) = I(X)G_2(X)$ olmak üzere iki bit dizisine dönüştürülür. İlk olarak $P_1(X)$ kanala verilir. Alıcıya gelen bit dizisi $P'_1(X)$ olsun. $P'_1(X)$, $G_1(X)$ üreteç polinomuna göre viterbi kod çözme işlemine tabi tutulur. Hata "0" sıfırsa, bölüm orijinal $I(X)$ kod kelimesi olarak kabul edilir ve bu kod kelimesi C_0 koduna göre hata sezme işlemine tabi tutulur. Hata sezme işlemi sonrası sendrom da sıfır olarak gerçekleşirse elde edilen mesaj hatasız kabul edilir ve kullanıcıya verilir. Vericiye de bir "ACK" işareti gönderilir. C_1 kodunda düzeltebileceğinden daha fazla hatalı bit varsa ya da C_0 kodunda hata "0" dan farklı gerçekleşirse iletim başarısız olmuş kabul edilir ve vericiye "NACK" işareti gönderilir. Bu arada $P'_1(X)$ alıcı tamponunda saklanır. "NACK" işaretini alan verici, bu sefer $P_2(X)$ 'i kanala verir. Bu iletime karşılık alıcıya gelen bit dizisi $P'_2(X)$ olsun. $P'_2(X)$ başarılı şekilde iletilmişse mesaj kullanıcıya verilir ve vericiye "ACK" işareti gönderilir. İletimin başarısız olması

durumunda ise $P'_1(X)$ ve $P'_2(X)$ bit dizileri harmanlanarak üreteç polinomu $[G_1(X), G_2(X)]$ olan bir $(2,1,m)$ koduna göre kodlanmış kod kelimesi elde edilir. Bu kod kelimesi viterbi kod çözücüye verilir ve elde edilen $I'(X)$ bit dizisinin, C_0 koduna göre hatası hesaplanır. Hata “0” sa iletim başarılı demektir ve mesaj kullanıcıya verilip vericiye bir “ACK” işareti gönderilir. Aksi taktirde alıcı tamponunda saklı duran $P'_1(X)$ atılıp $P'_2(X)$ alıcı tamponunda saklanır ve bir “NACK” işareti vericiye gönderilir. “NAK” işaretini alan verici, $P_1(X)$ 'i tekrar kanal verir. Bu işlemler $I(X)$ doğru olarak iletilene kadar, $P_1(X)$ ve $P_2(X)$ ' in dönüşümlü olarak iletilmesi şeklinde devam eder [2].

2.5.2. Viterbi Kod Çözme ve Kod Birleştirme Tekniğini Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniği

II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinde bir $C_0(n,k)$ blok kodu , hata sezme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Hata düzeltmede ise $C_1(2,1,m)$ m bellekli konvolüsyon kodu kullanılmaktadır. $G_1(X)$ ve $G_2(X)$, C_1 'in üreteç polinomları olsun. Kullanıcıya gönderilecek mesaj, hazır olduğunda önce bir $I(X)$ kod kelimesine kodlanır. $I(X)$ daha sonra her biri $(n+m)$ bit uzunlukta $P_1(X)=I(X)G_1(X)$ ve $P_2(X)=I(X)G_2(X)$ olmak üzere iki bit dizisine dönüştürülür. II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinde bu iki dizinin dönüşümlü iletimi kullanılır.

İlk olarak $P_1(X)$ kanala verilir. Alıcıya gelen bit dizisi $P'_1(X)$ olsun. $P'_1(X)$, $G_1(X)$ polinomuna bölünür. Kalan sıfırsa, bölüm orijinal $I(X)$ kod kelimesi olarak kabul edilir ve bu kod kelimesi C_0 koduna göre hata sezme işlemine tabi tutulur. Hata sezme işlemi sonrası hata “0” dan farklı gerçekleşirse elde edilen mesaj hatasız kabul edilir ve kullanıcıya verilir. Vericiye de doğru alındı anlamında bir “ACK” işareti gönderilir. C_1 kodunda düzeltebileceğinden daha fazla hatalı kod varsa ya da C_0 kodunda hata “0” dan farklı gerçekleşirse iletim başarısız olmuş kabul edilir ve vericiye hatalı alındı anlamında “NACK” işareti gönderilir. Bu arada $P'_1(X)$ alıcı tamponunda saklanır. “NACK” işaretini alan verici, bu sefer $P_2(X)$ 'i kanala verir. Bu iletme karşılık alıcıya gelen bit dizisi $P'_2(X)$ olsun. $P'_2(X)$ başarılı şekilde iletilmişse mesaj kullanıcıya verilir ve vericiye “ACK” işareti gönderilir. İletimin başarısız olması durumunda ise $P'_1(X)$ ve $P'_2(X)$ bit dizileri harmanlanarak üreteç polinomu $[G_1(X), G_2(X)]$ olan bir $(2,1,m)$ koduna göre kodlanmış kod kelimesi elde edilir. Bu kod kelimesi Viterbi kod çözücüye

verilir ve elde edilen $I'(X)$ bit dizisinin C_0 koduna göre hatalı olup olmadığı hesaplanır. Hata “0” sa iletim başarılı demektir ve mesaj kullanıcıya verilip vericiye bir “ACK” işareti gönderilir. Aksi taktirde $P'_1(X)$ ve $P'_2(X)$ alıcı tamponunda saklanır ve bir “NACK” işareti vericiye gönderilir. “NACK” işaretini alan verici, $P_1(X)$ ‘i tekrar kanala verir. ‘in ikinci kopyası $P''_1(X)$ olsun. $P''_1(X)$ başarılı şekilde iletilmişse mesaj kullanıcıya verilir ve vericiye “ACK” işareti gönderilir. İletimin başarısız olması durumunda ise $P'_1(X)$, $P'_2(X)$ ve $P''_1(X)$ bit dizileri harmanlanarak üreteç polinomu $[G_1(X), G_2(X), G_1(X)]$ olan bir $(3,1,m)$ koduna göre kodlanmış kod kelimesi elde edilir. Bu kod kelimesi Viterbi kod çözücüyü verilir ve elde edilen $I'(X)$ bit dizisinin, C_0 koduna göre hatası hesaplanır. Hata “0” sa iletim başarılı demektir ve mesaj kullanıcıya verilip vericiye bir “ACK” işareti gönderilir. Aksi taktirde $P'_1(X)$, $P'_2(X)$ ve $P''_1(X)$ alıcı tamponunda saklanır ve bir “NACK” işareti vericiye gönderilir. “NACK” işaretini alan verici, $P_2(X)$ ‘i tekrar kanala verir. $P_2(X)$ ‘in iletilen ikinci kopyası $P''_2(X)$ olsun. $P''_2(X)$ başarılı şekilde iletilmişse mesaj kullanıcıya verilir ve vericiye “ACK” işareti gönderilir. İletimin başarısız olması durumunda ise $P'_1(X)$, $P'_2(X)$, $P''_1(X)$ ve $P''_2(X)$ bit dizileri harmanlanarak üreteç polinomu $[G_1(X), G_2(X), G_1(X), G_2(X)]$ olan $[4,1,m]$ koduna göre kodlanmış kod kelimesi elde edilir. Bu kod kelimesi Viterbi kod çözücüyü verilir ve elde edilen $I'(X)$ bit dizisinin C_0 koduna göre hatası hesaplanır. Hata “0” sa iletim başarılı demektir ve mesaj kullanıcıya verilip vericiye bir “ACK” işareti gönderilir. Aksi taktirde $P'_1(X)$, $P'_2(X)$, $P''_1(X)$ ve $P''_2(X)$ alıcı tamponunda saklanır ve bir “NACK” işareti vericiye gönderilir. Bu işlemler iletim başarılı bir şekilde gerçekleşene kadar devam eder [11].

2.5.3. Delinmiş (Punctured) Konvolosyon Kodları ve Kod Birleştirme Tekniğini Kullanan II. Türden Karma ARQ Tekniği

II. türden karma ARQ tekniğinde $P_1(X)$ ve $P_2(X)$ konvolosyon kodları bilgi paketi alıcı tarafından doğru alınıncaya kadar sırasıyla gönderiliyordu. Ancak bu durumda sadece bozulan bitler değil; aynı zamanda doğru alınan bitler de tekrar gönderiliyor ve sisteme ek bir yük getiriyordu. Bu durumda haberleşme kanalı için önemli olan band genişliği çok kullanılıyor, hızı düşüyor ve ARQ için önemli olan gönderim sayısı artarak başarımla düşüyordu. Bunu engellemek için delinmiş konvolosyon kodları ve kod birleştirme tekniğini kullanan II. türden karma ARQ tekniği kullanılmıştır [3].

Burada $P_1(X)$ ve $P_2(X)$ konvolosyon kodları başlangıçta seçilen bir delme matrisine göre delindikten sonra gönderilir. Yeniden iletim istendiğinde ise seçilen “h” değerine göre seçilen bitler tekrar gönderilir (“h” değeri matristeki 1 sayısının kaçar kaçar artacağını belirleyen, yani gönderilecek delinmiş konvolosyon kodunun sayısını belirleyen değerdir.). Kod kelimesi hatasızsa, alıcıda kabul edilir. Kod kelimesinde hata varsa bu süreç kod hatasız alınana kadar devam eder. Başlangıç için P_0 delme matrisi aşağıdaki gibi seçilebilir..

$$P_0 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Burada ilk satır $P_1(X)$ 2. satır $P_2(X)$ için kullanılırken; «0» lar o bitin gönderilmeyeceği «1» ler ise gönderileceği anlamına gelmektedir. $P_1(X)$ ve $P_2(X)$ 7’şerli bloklara ayrılır ve sonrasında bu kod kelimelerine delme işlemi uygulanır.

İlk olarak ”h=1” kabul edilerek, 7/8 kod oranına sahip bir delinmiş konvolosyon kod gönderilsin. Matristen de görüldüğü gibi her bir satırdaki konvolosyon kodunun uzunluğu “7” iken toplam “1” sayısı “8” dir. Yani gönderilen bitlerin toplam kod oranı “7/8” dir. Alıcıda kod kelimesi doğru alınmışsa kod kullanıcıya verilir ve yeni kod kelimesinin gönderilmesi istenir. Kod kelimesi hatalı ise kod kelimesi alıcı tamponunda saklanır ve delme tablosuna göre bir sonraki delinmiş kod kelimesinin gönderilmesi istenir [3]. Yeni kod kelimesi gönderildiğinde toplam kod oranı “7/9” olur; matriste ise (1,5) teki “0” değeri “1” olacaktır. Kod kelimesi doğru ise alıcıya verilir, yeni kod kelimesinin gönderilmesi istenir. Hatalı ise hatalı kod kelimeleri alıcıda saklanır ve delme tablosuna göre bir sonraki delinmiş kod kelimesinin gönderilmesi istenir [3]. Yeni kod kelimesi gönderildiğinde toplam kod oranı “7/10” olur; matriste ise (2,4) teki “0” değeri “1” olacaktır. Ve yukarıdaki süreç kod doğru olarak alınıncaya kadar devam edecektir. “7/14” kod oranına gelindiğinde kod artık “1/2” kod oranlı bir konvolosyon kodudur. Bu aşamada yine kod hatalı olursa yukarıdaki süreç devam eder ve alınan yeni delinmiş kodla birlikte “7/15” oranlı kod elde edilir. II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğine benzer şekilde matriste “0” ve “1” li simgelerden farklı olarak “2” simgesi de başladıktan sonra $P'_1(X)$, $P'_2(X)$, $P''_1(X)$ ve $P''_2(X)$ gibi gibi düşünülebilir. Bu süreç de kod doğru alınıncaya kadar devam eder

3. BÖLÜM

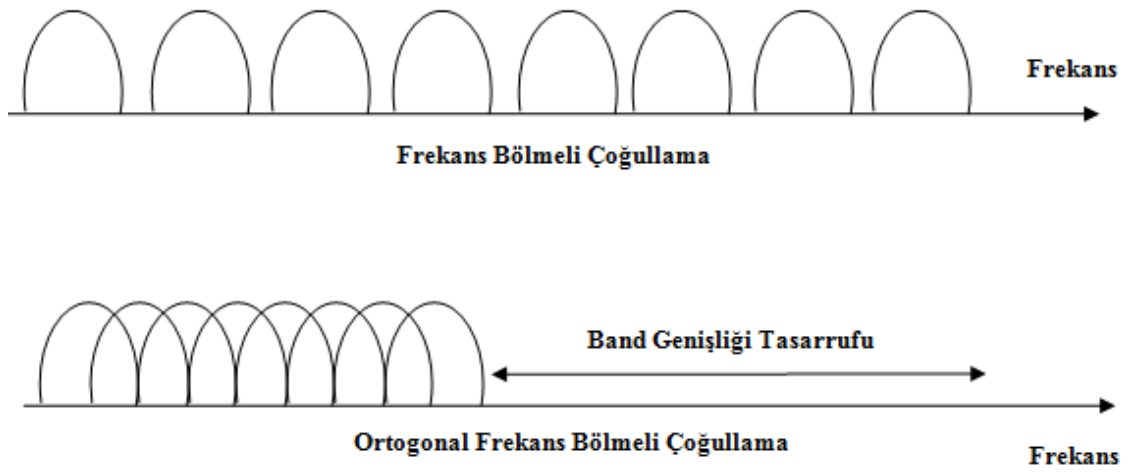
KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Son yıllarda hem yüksek hızlı veri iletimi için hem de band genişliğinin verimli kullanılması için çeşitli çoğullama ve modülasyon yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle veri güvenliği ve enerji tasarrufu da önemli hale gelmiştir. Ayrıca aynı hat üzerinden birden fazla kullanıcının aynı anda haberleşebilmesi de band genişliğinin verimli kullanımı açısından önemlidir. Bu ihtiyaçlara Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) sistemi ve Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) sistemi birlikte cevap verebilmektedirler. Bu iki sistemin birleştirilmesiyle elde edilen, böylelikle iki sistemin de avantajlarını kullanan sisteme Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) sistemi denilmektedir [16].

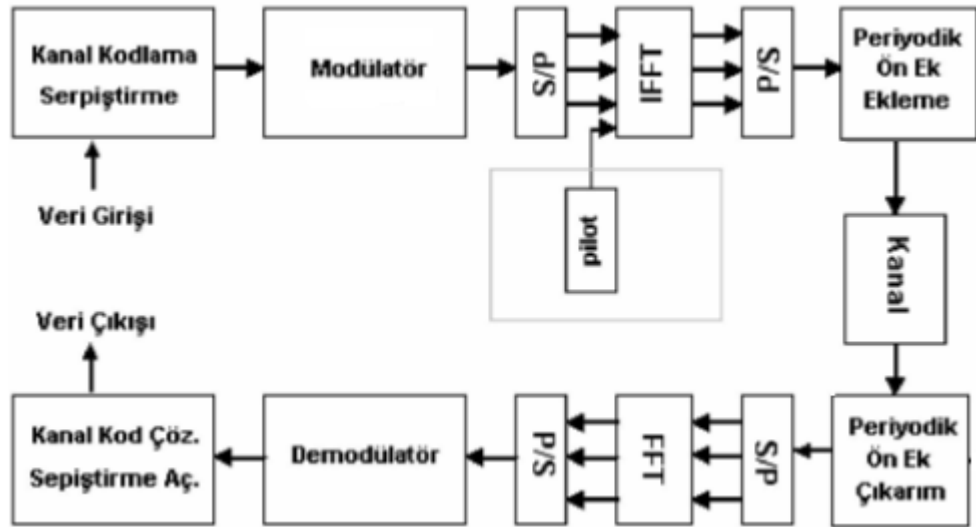
3.1. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)

Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM), frekans seçimli kanallarda sinyal iletimi için yaygın bir şekilde kullanılan tekniktir. Temel olarak bu teknikte, kanal band genişliği bölünerek her bir taşıyıcı için tahsis edilen frekanslarda düşük hızlardaki taşıyıcıların çoğullanması sağlanır. Band genişliğinden daha fazla yararlanmak için dikgen frekans bölmeli çoğullama tekniği (OFDM) önerilmiştir. OFDM, genel olarak veri akışını düşük hızlı alttaşıyıcılara bölerek paralel kanallarda ileten bir modülasyon ve çoğullama tekniğidir. OFDM ile FDM arasındaki en temel fark; OFDM sisteminde taşıyıcı spektrumları birbiri üzerine binmekte ve bu taşıyıcıların birbirlerine dik olması sayesinde spektral verimlilik elde edilmektedir. Bu durum Şekil 3.1.' de gösterilmiştir.

OFDM, aynı zamanda kanalın etkisiyle pakette oluşan simgeler arası girişimi (ISI) yok edebilme özelliğine sahiptir. Bunun için en uygun yöntem, ardarda gelen OFDM çerçeveleri arasına periyodik ön ekin (CP) kanal gecikmesinden (delay spread) büyük olacak şekilde seçilerek ilave edilmesidir. OFDM verici ve alıcı yapısı Şekil 3.2.' de verilmektedir.



Şekil 3.1. OFDM kullanılarak sağlanan band genişliği tasarrufu.



Şekil 3.2. OFDM verici ve alıcı yapısı.

OFDM, giriş verisine ve kullanılan modülasyon işlemine bağlı olarak gereken spektrum seçilerek meydana getirilir ve kanalda meydana gelebilecek bozulmalara karşı kanal kodlaması ve serpiştirme (interleaving) yapılır. Üretilecek her bir taşıyıcı, iletim için tahsis edilir. Gerekli olan taşıyıcı ve genlik fazı, modülasyon işlemine (tipik olarak BPSK, QPSK ve QAM) bağlı olarak hesaplanır. Daha sonrasında IFFT, bu spektrumu zaman domeni sinyaline çevirir. FFT, periyodik zaman domeni sinyali kendisinin karşılığı olan frekans spektrumu sinyaline dönüştürür. Bu sinyale uygun dalga şeklini

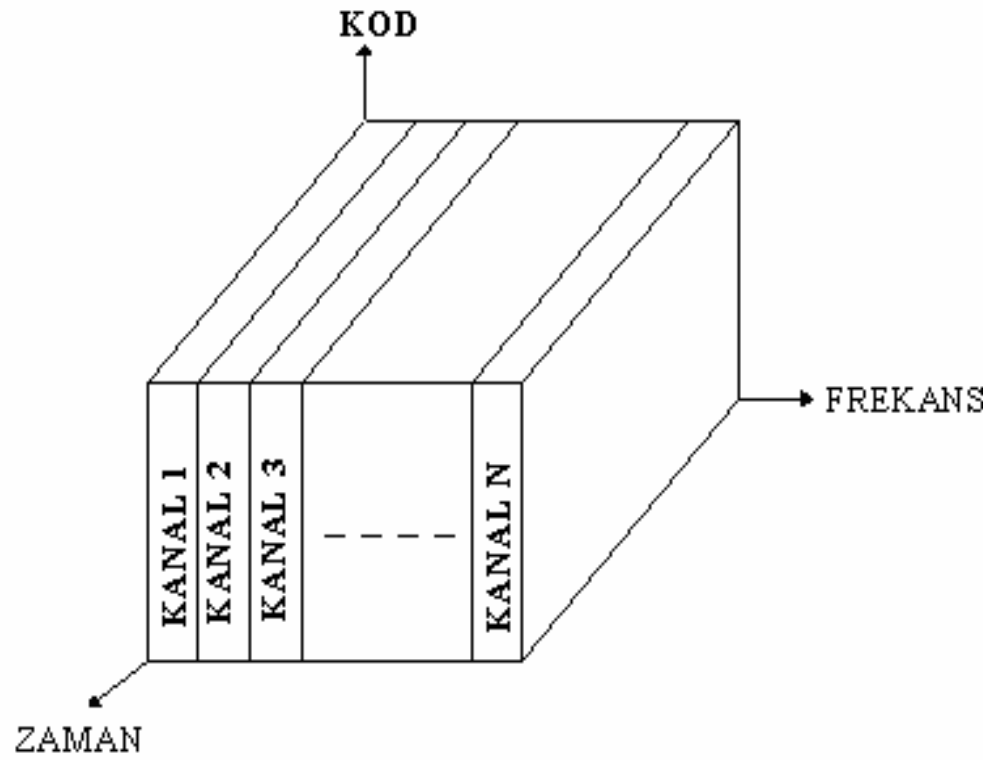
bularak dikgen sinozoidal parçaların genlik ve fazı zaman domenî sinyalinin frekans spektrumunu gösterir.

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 vektörünün boyutu, çoklu yol kanalı tarafından ortaya çıkarılan hatalara karşı sistemin direncini belirler. Bu vektörün zaman aralığı, alınan çoklu yol sinyalindeki yankılamaların maksimum gecikmesinden daha büyük olarak seçilmelidir [1].

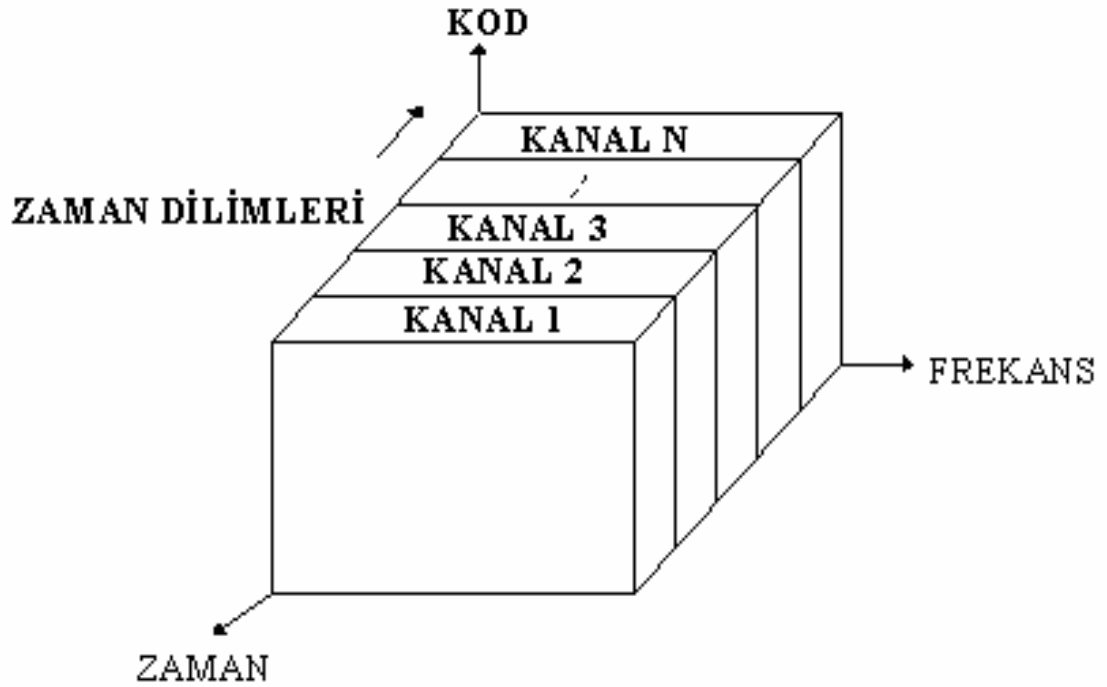
3.2. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)

Kod Bölmeli Çoklu Erişim sisteminde kullanıcılar, ilgili bant genişliğinin tamamında ve iletim zamanının tümünde etkindir. Kullanıcılar Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA) 'de frekans bandının belli kesimlerinde, Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) de ilgili zamanın belli kısımlarında iletim imkanına sahiptirler. Ancak CDMA, ifade edilen özelliği ile FDMA ve TDMA yapılarından farklıdır. CDMA sisteminde kullanıcılara ait sinyaller aynı frekans bandında ve aynı zamanda iletilirken, farklılıkları kod boyutunda ortaya çıkmaktadır. Her kullanıcı farklı kodlarla gönderildiğinden sinyallerin karışması engellenmiş olur. Bu durum, alıcıda da sezme açısından rahatlık sağlar. Zira alıcıda kullanıcıların ne zaman farklılıklarından ne de frekans farklılıklarından faydalanarak sezme yapılır. Vericide oluşturulan kod boyutundaki farklılık, alıcıda gerçekleştirilen sezmenin temelini oluşturur. 3 ayrı çoklu erişim sisteminin Frekans-Zaman-Kod boyutunda gösterimi Şekil 3.3.' de verilmiştir.

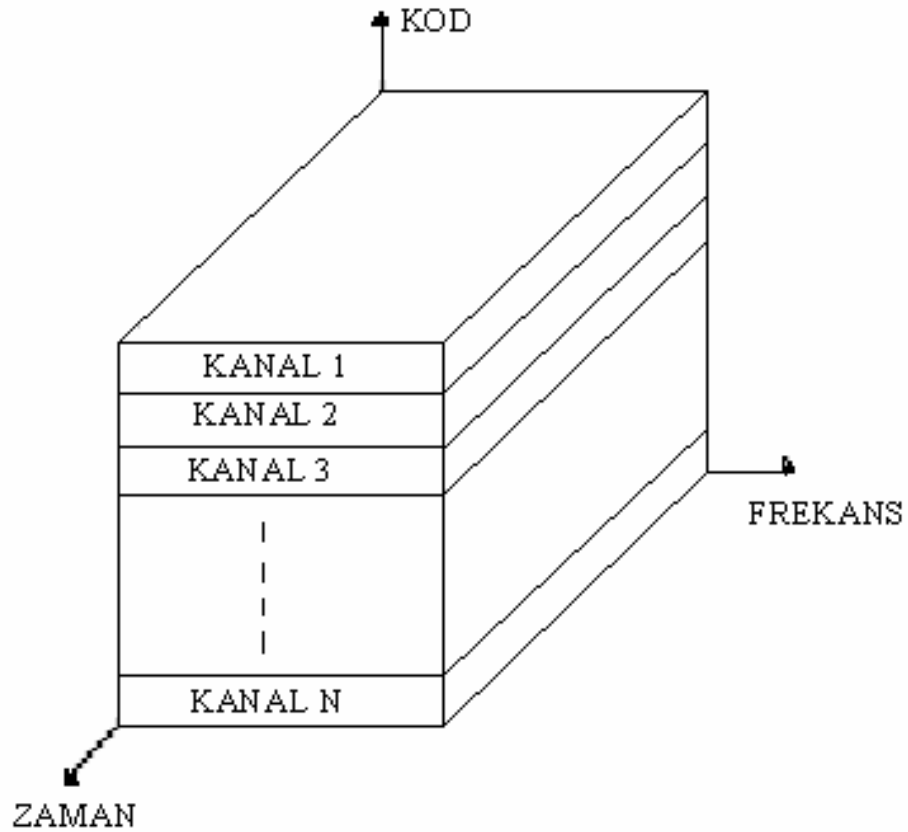
CDMA sisteminde her bir kullanıcı bilgisi kendisine ait bir yayma koduyla çarpılarak kanala verilir. Kanalda bütün kullanıcılara ait CDMA sinyali toplanarak gürültü benzeri sinyali oluşturur. Alıcı tarafta, gürültüyle de toplanmış olan bütün kanalların bilgisini içeren toplam CDMA sinyali her bir kullanıcıya ait kod ile tekrar çarpılarak kullanıcı bilgileri tekrar elde edilir. Bir kullanıcı için bilginin yayma koduyla çarpılarak CDMA sinyalinin elde edilişi Şekil 3.5.'de görülmektedir. CDMA sisteminde kullanıcılar arasında kodlar sayesinde ayırt edicilik sağlanır. Her kullanıcıya gürültü benzeri bir kod atanırken bu kod yayma kodu olarak isimlendirilir. Bu kod, diğer kullanıcıların kodlarına dikgendir (ortogonaldır).



Şekil 3.3. (a) FDMA gösterimi.



Şekil 3.3. (b) TDMA gösterimi.



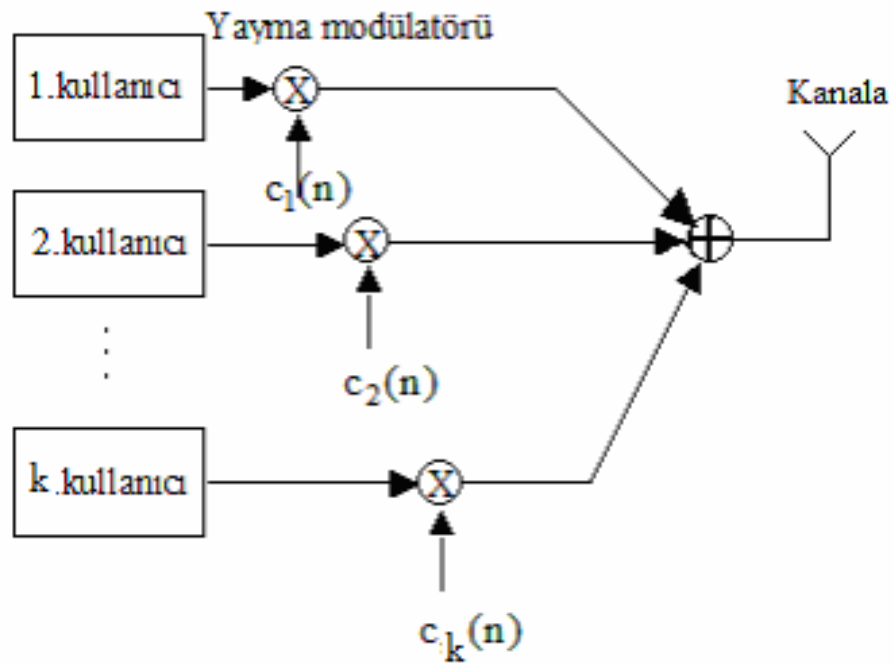
Şekil 3.3. (c) CDMA gösterimi.

Şekil 3.3. Çoklu erişim sistemlerinin frekans-zaman-kod boyutunda gösterimi.

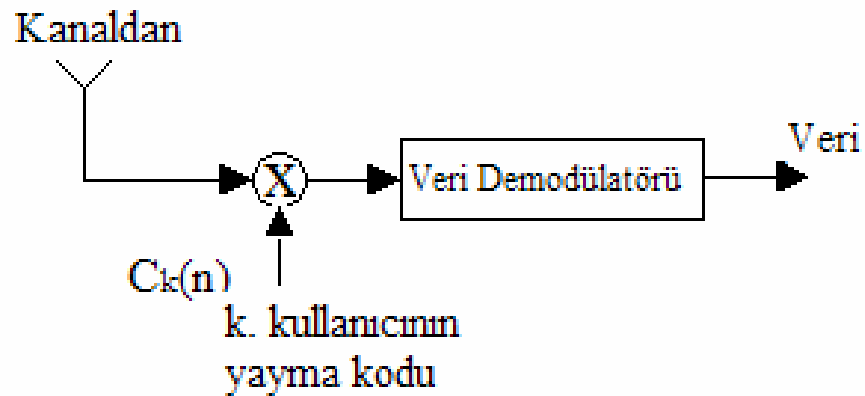
Gürültü benzeri kod, bilgi işaretine uygulanır ve böylece bilgi işareti diğer kullanıcılar tarafından gürültü benzeri bir işaret olarak algılanır. Alıcıda da ilgili kullanıcıya ait kodun aynısı kullanılır ve alıcısı bu kodu toplam CDMA sinyalinin kendi bilgi işaretini seçmek için kullanır. Bu durumda sadece ilgili kullanıcı işareti çözebildiği için mesajın gizliliği sağlanmış olur. Gürültü benzeri kodun yayma kodu olarak da isimlendirilmesinin sebebi iletim gerçekleşmeden önce orijinal işaretin çok yüksek bir bant genişliğine yayılmasıdır. Şekil 3.4.'de CDMA verici ve alıcı yapısı gösterilmektedir.

CDMA sinyalinin elde edilmesinin ve CDMA sinyalinin tekrar bilginin elde edilmesinin daha detaylı olarak bit gösterimiyle yapılması uygun olur. Şekil 3.5.'de görülen bilgi $[1 -1 1]$ bitleri, yayma kodu da $[-1 -1 1 1 1 -1 1]$ bitleridir. Bir bit bilgi periyodu T_b , bir bitlik kod periyodu (chip) ise T_c ile gösterilmektedir. Her bir bilgi biti N tane kod bitiyle ifade edilmekte, böylece bilgi daha geniş bir spektrumda iletilmektedir. $[1 -1 1]$ bilgisiyle, $[-1 -1 1 1 1 -1 1]$ kodunun çarpılması sonunda $[-1 -$

1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 1] dizisi elde edilir. Alıcı tarafta alınan dizi kod uzunluğu kadar bölümler halinde aynı kod ile çarpılıp toplanarak ve eşik ile kıyaslama yapılarak bilgi tekrar elde edilir. Alınan dizi kod ile çarpılıp toplandığında [7 -7 7] bilgisi elde edilir. Kıyaslama işleminden sonra da [1 -1 1] bilgisinin doğru olarak tekrar elde edildiği görülür [47].

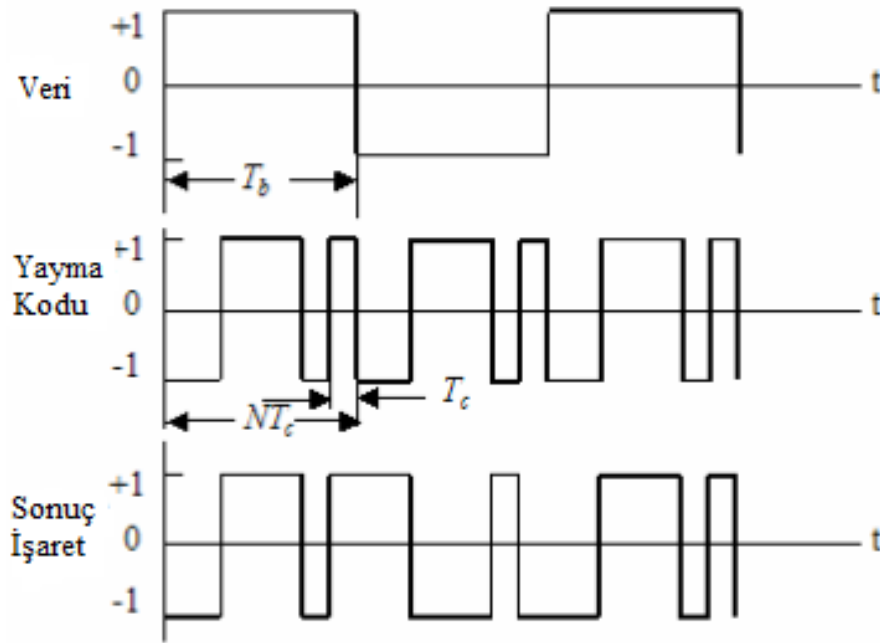


Şekil 3.4.a. CDMA verici yapısı.



Şekil 3.4. b. CDMA alıcı yapısı.

Şekil 3.4. CDMA verici ve alıcı yapısı.



Şekil 3.5. CDMA sinyalinin elde edilişi.

3.3. Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA)

OFDM yapıları, kanalın frekans seçiciliğine karşı uygulanan oldukça etkili bir tekniktir. CDMA yapısı da, gezgin haberleşmede kullanılan güçlü bir sistemdir. Çünkü; gezgin haberleşmede eş zamansız haberleşmede etkili bir çözüm yolu olma özelliği gösterir. Ayrıca TDMA ve FDMA gibi bilinen erişim şemalarına göre daha yüksek kapasite sağlar. Kod Bölmeli Çoklu Erişimde yayılmanın sebep olduğu işlem kazancı, çok kullanıcı girişiye karşı dayanıklılık sağlar. Ancak bilinen CDMA; veri iletiminin saniyede yüz mega bitlere kadar çıkması durumunda çok da dayanıklı olmaz. Bunun sebebi hızlı veri iletiminin eş zamanlılaştırılmasındaki zorluk ve yüksek seviyedeki ISI değerleridir.

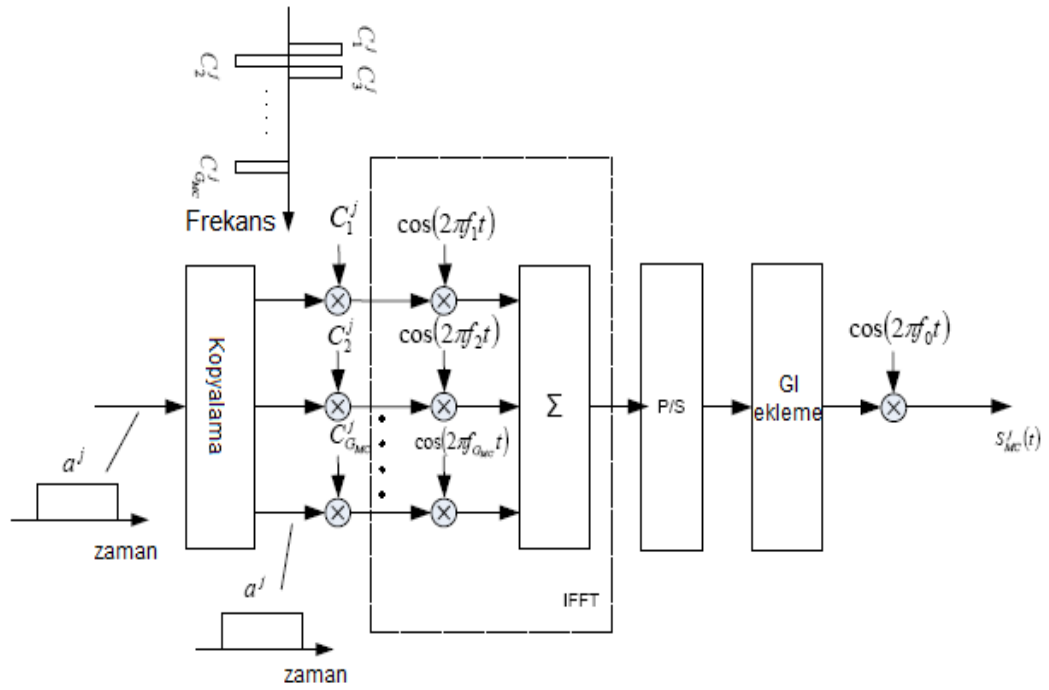
Özellikle son yıllarda bu konular üzerinde çalışan araştırmacılar, CDMA ve OFDM prensiplerini birleştirerek, hem CDMA hem de OFDM tekniklerinin pek çok avantajlarını koruyan ve mevcut spektrumu verimli bir şekilde kullanan bir yapı geliştirdiler. OFDM' in özelliğinden faydalanarak, eğer alt taşıyıcılar arasındaki mesafeler ve alt taşıyıcı sayıları yaklaşık olarak seçilirse, tüm taşıyıcıların büyük bir sönümde olması söz konusu olamaz ve böylece frekans çeşitlemesi sağlanmış olur.

OFDM ve CDMA' nın karıştırılmasıyla oluşturulabilecek bu yapı 4G teknolojileri için oldukça faydalı bir teknik olacaktır.

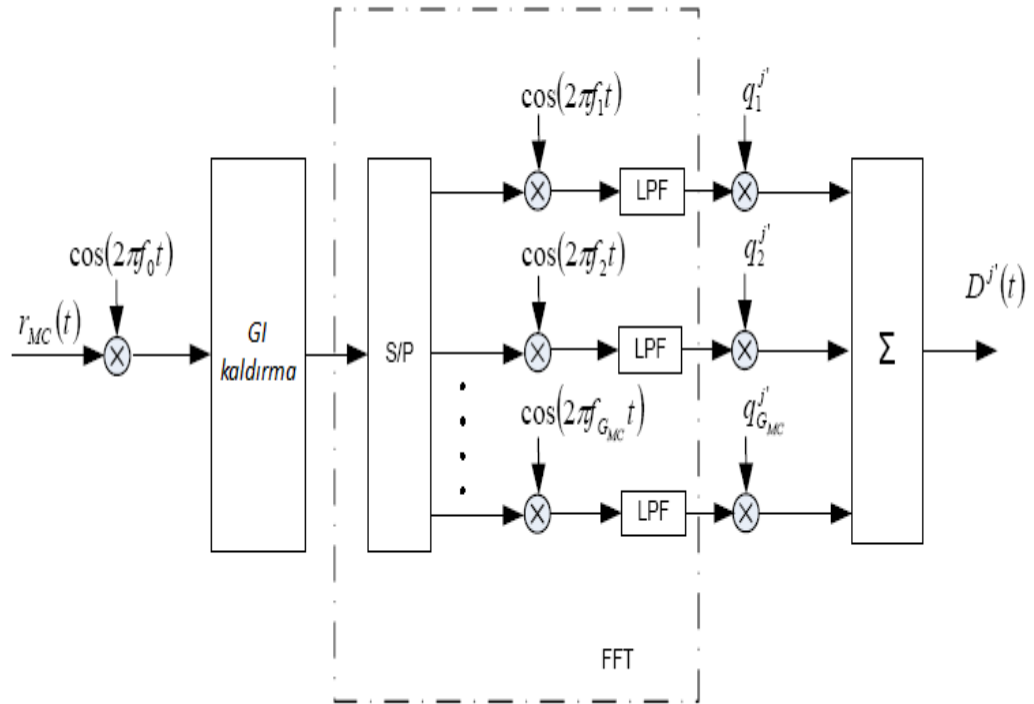
MC-CDMA yapısına göre; orijinal verinin yayılmasından sonra her bir alt taşıyıcı bir yonga tarafından modüle edilir. Böylelikle, yayma kodunun yapısına bağlı olan sembolün bir kısmı farklı alt taşıyıcılar tarafından iletilir. Yani, CDMA sinyali pek çok taşıyıcıya yayılır. Bu da, bir veri sembolünün pek çok dar bant alt taşıyıcı üzerinde iletimi ile sağlanır.

Çoklu erişimde, farklı kullanıcıların aynı alt taşıyıcı yapıları ile iletimi mümkündür. Ancak yayma kodlarının farklı olması gerekir. Yani bu kodlar, diğer kullanıcıların kodlarına göre ya dikgen olmalıdır veya çok düşük çapraz-korelasyona sahip olmalıdırlar. Eşzamanlı bir haberleşme kanalında en optimum kod olarak genellikle Walsh-Hadamard kodlarını kullanılır. Çünkü; bu durumda yayma kodlarının otokorelasyon karakteristikleri önemli değildir. Böylece burada iki çeşit dikgen durumdan söz edebiliriz: alt taşıyıcıların birbirine dikgen olduğu durum ve ayrıca yayma kodlarının dikgen olduğu durum. Bu yapıda CDMA farklı birçok kullanıcının çoğullanmasında kullanılır. Fakat dalga formları OFDM prensibine bağlı olarak seçilir. İletilen sinyal N adet dar bant sinyalden oluşmuştur. Eğer bu N adet dar bant sinyalin her birinin sembol süresi gecikme yayılımından daha fazla ise, sistemde ICI ve ISI oluşmayacaktır.

Şekil 3.6.' da MC-CDMA vericisi görülmektedir. j . kullanıcıya ait MC-CDMA yapısında, önce mesaj bilgisi, o kullanıcıya ait yayma kodu ile çarpılır. Daha sonra yayma kodu ile aynı uzunluğa sahip IFFT fonksiyonuna tabi tutulur. Daha sonra paralel işaretler seriye dönüştürülerek, bütün kullanıcıların sinyalleriyle eş zamanlı olarak toplanır ve kanala verilir. MC-CDMA sinyali, OFDM sistemlerin bir avantajını kazanmış, yüksek spektral verimliliğe sahiptir. Görüleceği üzere; birbirinin içine girmiş alt taşıyıcılar geniş spektrum aralığı kazandırmışlardır. Şekil 3.7.' de MC-CDMA sistem için alıcı yapısı görülmektedir. Alıcıda ise alınan veriden örnek kaldırıldıktan sonra elde edilen bilgi her bir kullanıcıya ait kodla çarpılıp her bir kullanıcıya ait veri dizisi FFT işlemine tabi tutulur ve kullanıcılara verilir [47].



Şekil 3.6. MC-CDMA verici yapısı.

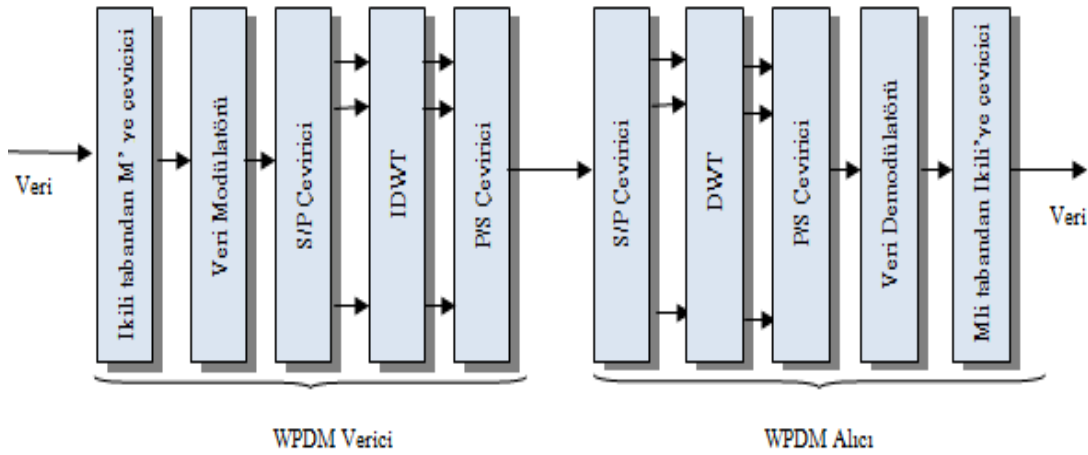


Şekil 3.7. MC-CDMA alıcı yapısı.

3.4. Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (WPDM)

Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama temel olarak OFDM tekniğine benzemektedir. Tek fark kullanılan dönüşüm tekniğindedir. OFDM sistemlerde IFFT (Ters Hızlı Fourier Dönüşümü) ve FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) kullanılırken; WPDM sistemlerde IDWT (Ters Ayırık Dalgacık Dönüşümü) ve DWT (Ayırık Dalgacık Dönüşümü) kullanılmaktadır. WPDM sistemler düşük BER oranında OFDM sistemine göre daha yüksek başarımlı sağladığı benzetim sonuçlarında görülmüştür. Aşağıda bu sistemin blok şeması verilmiştir.

Şekil 3.8.'de de görüldüğü gibi klasik OFDM' den tek farkı; verici ve alıcıda sırasıyla IFFT ve FFT yerine IDWT ve DWT kullanılmaktadır.



Şekil 3.8. WPDM sisteminin blok şeması.

3.5. Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (WPDM) Tabanlı MC-CDMA

WPDM MC-CDMA' in klasik MC-CDMA' den tek farkı yine dönüşüm tekniğindedir. klasik MC-CDMA sistemlerde IFFT (Ters Hızlı Fourier Dönüşümü) ve FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) kullanılırken; WPDM tabanlı klasik MC-CDMA' de IDWT (Ters Ayırık Dalgacık Dönüşümü) ve DWT (Ayırık Dalgacık Dönüşümü) kullanılmaktadır. WPDM sistemler düşük BER oranına sahip sistemler yüksek başarımlı sağladığı için tercih edilmiş ve klasik MC-CDMA sistemine göre daha yüksek başarımlı sağladığı simülasyon sonuçlarında görülmüştür.

4. BÖLÜM

BENZETİM ÇALIŞMALARI

4.1.Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde İncelenen ARQ Teknikleri

Önceki bölümde çeşitli ARQ teknikleri ve kablosuz haberleşme sistemleri hakkında bilgi verilmişti. Bu bölümde ise bu ARQ tekniklerinin verilen kablosuz haberleşme sistemlerine uygulanışı anlatılacaktır. Bu sistemler ve uygulanan ARQ teknikleri tablo halinde aşağıdaki gibi gösterilebilir:

Tablo 4.1. Kullanılan haberleşme sistemleri ve uygulanan ARQ teknikleri.

Uygulanan ARQ Teknikleri Haberleşme Sistemleri	I. Türden Kod Birleştirmesiz ARQ	I. Türden Kod Birleştirmeli ARQ	II. Türden Kod Birleştirmesiz ARQ	II. Türden Kod Birleştirmeli ARQ	Delinmiş Konvolosyon Kodlarını Kullanan II. Türden Kod Birleştirmeli ARQ
OFDM	X	X	X	X	X
WPDM	X	X	X	X	X
MC-CDMA	X	X	X	X	X
WPDM tabanlı MC-CDMA	X	X	X	X	X

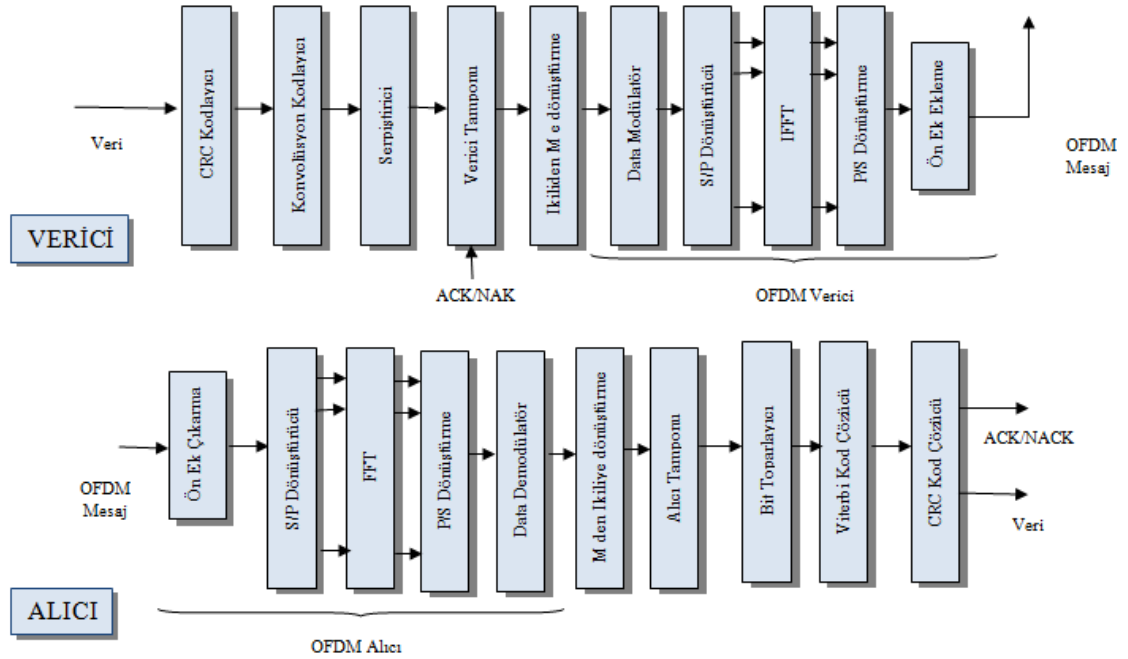
X: İşlemlerin yapıldığını göstermektedir.

Bu sistemler yapı bakımından benzer oldukları için II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği kullanan Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı (OFDM) Sistemler üzerinden ARQ tekniklerinin sistemlere uygulanışı ile ilgili aşağıda kısaca bilgi verilmiştir.

4.1.1. II. Türden Kod Birleştirmeli Karma ARQ Tekniğini Kullanan Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı (OFDM) Sistemler

OFDM sistemlerinde konvolosyon kodunu kullanan II. türden karma ARQ tekniğinin kullanımı Şekil 4.1.' de gösterilmiştir. Bu sistemde vericide hata sezen kod olarak CRC-16 (Döngüsel Artıklı Kontrol- Cyclic Redundancy Check) kodu kullanılmıştır. Böylelikle orjinal bit dizisine 16 bit eklenmiştir. CRC ile kodlanan bit dizisi daha sonra konvolosyon kodlayıcı ile kodlanmıştır. Konvolosyon kodlayıcıda ise $m=6$ bellekli [133] ve [171] üreteç polinomları kullanılmıştır. Kodlanan bit dizisi serpiştiriciye (interleaver) verilir ve serpiştirilen dizi verici tamponunda saklanır. Modülasyona girecek olan bit dizisi öncelikle M tabanına çevrilir. Daha sonra modülasyona tabi tutulur. Modülasyondan sonra bit dizisi seri/paralel dönüştürücüden geçirilerek alt taşıyıcılara ayrılır ve IFFT işlemine tabi tutulur. Ardından kanala verilecek dizi paralel/seri dönüştürücüden geçirilip alıcıda taşıyıcılar arası girişim (ICI) meydana gelmemesi için dizi uzunluğunun 1/4'ü oranında önek (prefix) eklenir.

Alıcıda ise öncelikle ön ek atılır ve seri/paralel dönüştürücüden geçirilen diziye FFT uygulanır. Sonra paralel/seri dönüştürücüden geçirilen dizi demodüle edildikten sonra ikili tabana çevrilerek bir kopyası alıcı tamponunda saklanır ve düzenleyiciye (deinterleaver) gönderilir. Düzenleyiciden gelen bit dizisi Viterbi kod çözücüsünde kod çözme işlemine tabi tutulur ve son olarak CRC kod çözme yapılır. Bit dizisi doğru olarak alınmışsa vericiye “ACK” bilgisi gönderilir ve diğer dizinin gönderilmesi sağlanır. Yanlış alma durumunda ise “NAK” bilgisi gönderilir ve yukarıda belirtilen II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin süreci takip edilir. Alıcıda ise tamponda saklanan $\tilde{P}_1(x)$ ve $\tilde{P}_2(x)$ bit dizileri harmanlanıp tekrar çözülerek doğru bit dizileri elde edilmeye çalışılır [11]. Bu süreç doğru iletim sağlanana kadar devam eder. Şekil 4.1.'de kullanılan sistem gösterilmiştir [7].



Şekil 4.1. II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sistemi.

Diğer sistemler için düşünülecek olursa değişen tek şey OFDM verici ve alıcı yapısı yerine sistemlerin kendi verici alıcı yapılarının kullanılmasıdır.

Ayrıca OFDM sistemi için diğer ARQ tekniklerinin kullanıldığını düşünelim. Bu durumda ise yukarıdaki sistem aynı kalmakla birlikte kullanılan ARQ yöntemi değiştirilecektir.

4.2. Benzetim Çalışmaları

Bir ARQ sisteminin başarımı, birim zamanda doğru alınan kod kelimesi sayısının birim zamanda gönderilen kod kelimesi sayısına oranı olarak tanımlanır.

4.2.1. Karma ARQ Tekniklerinin Kablosuz Haberleşme Sistemleri için Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde; tezde anlatılan tüm karma ARQ teknikleri, kablosuz haberleşme sistemleri için bilgisayar ortamında benzetimleri yapılarak başarımları incelenmiştir.

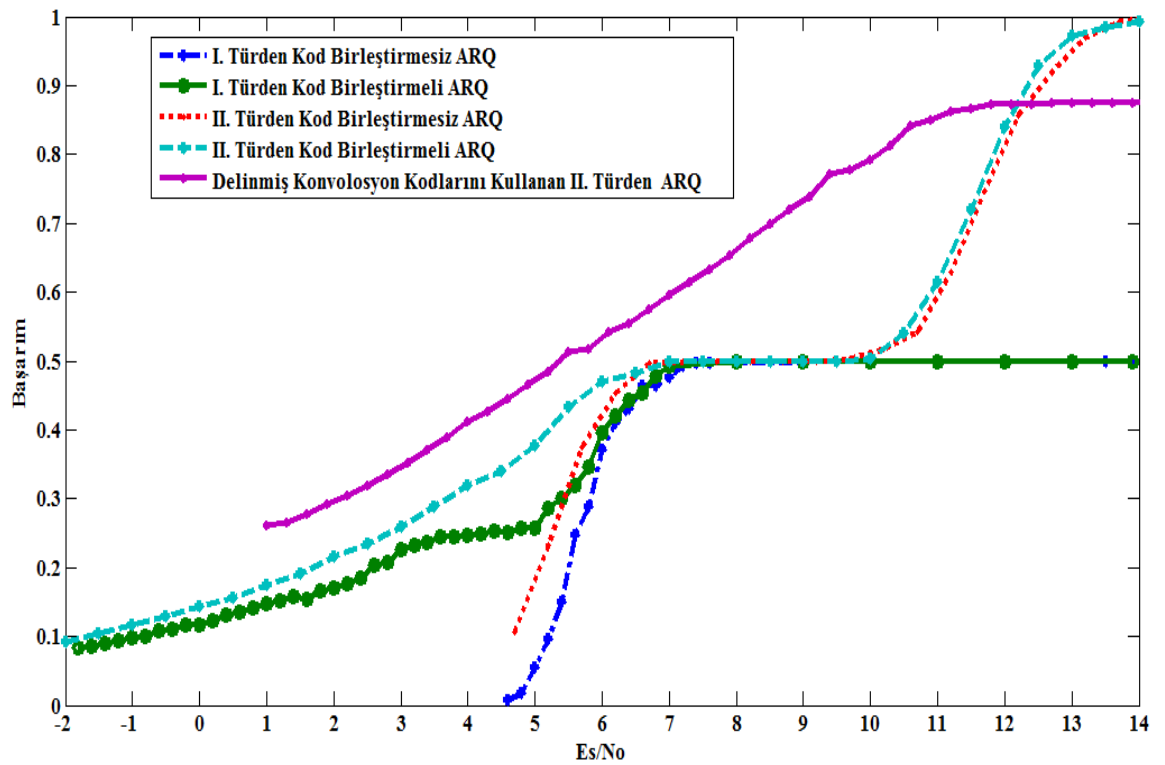
Benzetim çalışmaları AWGN kanalda yapılmış olup, karşılaştırmalar Tablo 4.2.'deki parametrelere göre gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.2. Benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler.

Kod Uzunluğu	2048
Üreteç Polinomu	[133 171]
Alt Taşıyıcı Sayısı	128
Modülasyon Çeşidi	PSK
Modülasyon Seviyesi	BPSK
Modülasyondaki Kodlama Türü	Binary
Delme Adım Büyüklüğü (h) (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	h=1
Başlangıç Kod Oranı (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	7/8
CDMA Matris Boyutu “n” (MC-CDMA için)	n=32

Şekil 4.2.' de OFDM sistemine uygulanan ARQ tekniklerinin başarımları kıyaslanmıştır. Burada görüldüğü gibi en yüksek başarımlar delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğine aittir. Daha sonra sırasıyla II. türden kod birleştirmeli karma ARQ, II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ, I. türden kod birleştirmeli karma ARQ, I. türden kod birleştirmesiz karma ARQ gelmektedir. Ancak yaklaşık “12” dB’den sonra delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinin daha büyük başlangıç kod oranına sahip olması nedeniyle daha düşük başarıma sahip olduğu görülmektedir. Yaklaşık “5” dB’den küçük değerlerde I. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği I. ve II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ yapılarına göre daha başarılı iken; “5” dB ile “7” dB arasında II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğine göre daha başarısız; I. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğine göre ise “5” dB ve “6” dB aralığında daha başarılı olduğu görülmüştür. Yaklaşık “7” dB ile “9” dB aralığında II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniği hariç tüm karma ARQ yapıları “0.5” başarımlar gösterirken; “9” dB’den sonra I. türden kod birleştirmeli ve kod birleştirmesiz karma ARQ teknikleri başlangıç kod oranlarından dolayı aynı başarımları göstermeye devam etmektedir. II. türden kod birleştirmeli karma ARQ

tekniki ise II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğine göre daha başarılı olduğu ve “1” başarımlarını gösterdiği görülmüştür. Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinin ise “9” dB’den “12” dB’ye kadar tüm diğer karma ARQ tekniklerden daha başarılı olduğu ancak 12 dB’den sonra II. türden kod birleştirmeli ve kod birleştirmesiz karma ARQ tekniklerine göre daha başarısız olduğu ve “0.875” başarımlarını gösterdiği görülmüştür. Bu durumun nedeni ise delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinde başlangıç kod oranı olarak “7/8” in seçilmiş olmasıdır.

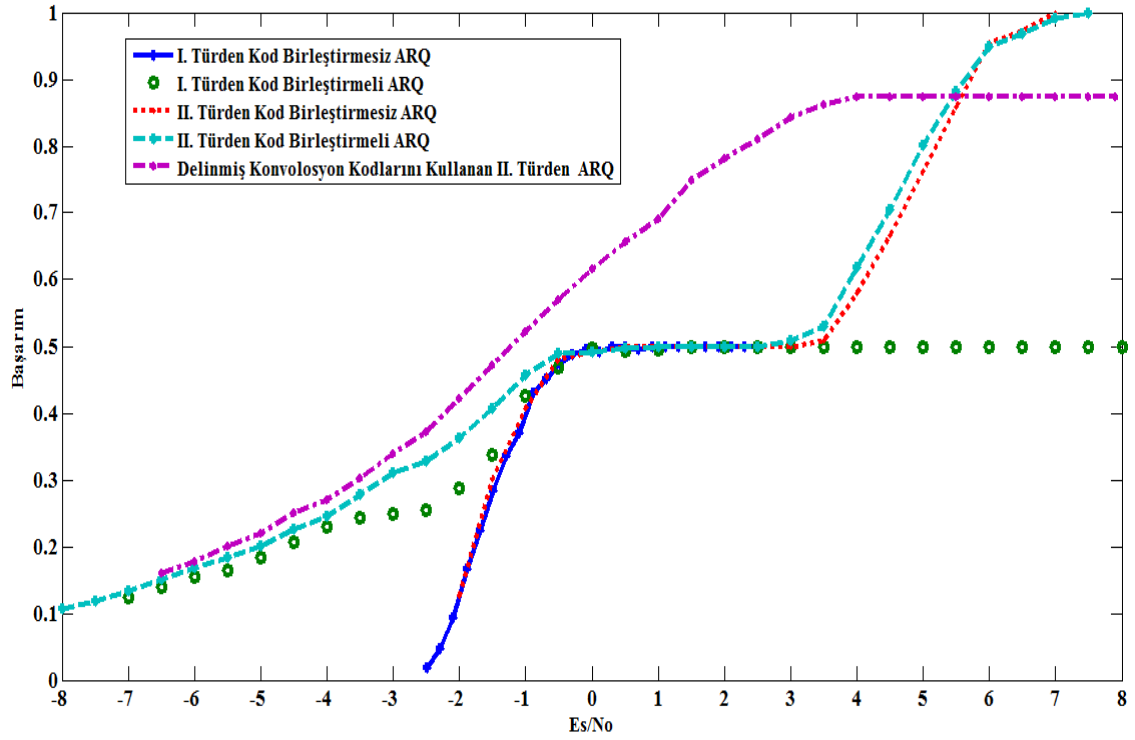


Şekil 4.2. OFDM sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımları.

Şekil 4.3.'de ise WPDM sistemine uygulanan ARQ tekniklerinin başarımları gösterilmektedir. Bu sistemlere uygulanan ARQ tekniklerinin OFDM sistemine uygulanan ARQ tekniklerinden çok daha yüksek başarımlar gösterdiği görülmektedir. OFDM sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlarını gösteren “Başarım - E_s/N_0 ” grafiğinin “ E_s/N_0 ” eksenini “-2” dB ile “14” dB aralığında

değişirken WPDM istemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlarını gösteren “Başarım - Es/No” grafiğinin “Es/No” eksenine ise “-8” dB ile “8” dB aralığında aralığında değişmektedir. “-8” dB’den “-1” dB’ye kadar başarımların sıralaması en başarılıdan en başarısız doğru şu şekilde çıkmıştır: II. türden kod birleştirmeli delinmiş karma ARQ tekniği, II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği, I. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği, II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniği, I. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği. “-2.5” dB ile “-0.5” dB aralığında I. ve II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ teknikleri çok yakın ve diğerlerine göre en başarısız sonuçları vermişlerdir. Ancak “-1” dB ve “-0.5” dB değerleri aralığında II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğinin I. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğine göre çok küçük de olsa daha başarılı olduğu gözlenmiştir. “0” dB ile “3.5” dB aralığında tüm ARQ başarımlar eğrileri “0.5” değerini göstermektedir. “3.5” dB’den daha büyük değerlerde I. türden kod birleştirmeli ve kod birleştirmesiz karma ARQ teknikleri “0.5” başarımlar göstermeye devam ederken II. türden kod birleştirmesiz ve kod birleştirmeli karma ARQ teknikleri “7” dB’ye kadar artarak “1” başarımlar değerine ulaşmıştır. II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğine göre çok az da olsa daha başarılı olduğu da görülmüştür. Burada II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğine göre çok az fark olmasının nedeni yüksek SNR’lerde gereksiz kod kullanımıdır. Böylelikle yüksek SNR’lerde II. türden kod birleştirmeli karma ARQ yerine II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ kullanılarak hesaplama zorluğu, tampon (buffer) gereksinimi ve sistem karmaşıklığının azaltılabileceği gözlenmiştir. Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinin ise “-8” dB’den “4” dB’ye kadar artan bir başarımlar gösterdiği ve diğer ARQ tekniklerine göre sürekli başarılı olduğu ve “4” dB değerinden sonra “0.875” başarımlar değerine ulaştığı görülmüştür. “5” dB’den büyük değerlerde ise II. türden kod birleştirmeli ve kod birleştirmesiz karma ARQ tekniklerine göre daha düşük başarımlar gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca “Başarım - Es/No” grafiğinin başarımlar eğrilerine genel olarak bakıldığında OFDM sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlarını gösteren “Başarım - Es/No” grafiğine göre WPDM sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlar eğrileri birbirine çok daha yakın olmakla birlikte benzer

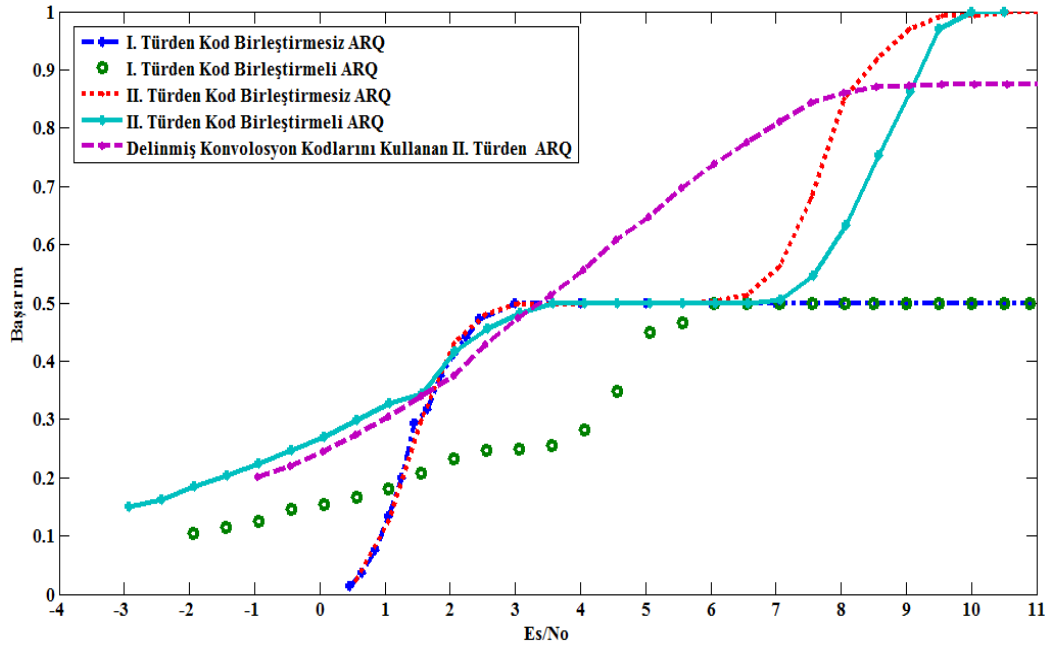
başarım sıralamasını vermiştir. Ayrıca diğer karma ARQ teknikleri kırılmalar yaşarken; delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniği sürekli artan bir başarım göstermektedir.



Şekil 4.3. WPDM sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımları.

Şekil 4.4.'teki benzetimde ise MC-CDMA sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımları gösterilmektedir. OFDM sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlarına göre bakıldığında en yüksek başarım değerlerine daha düşük "dB" değerlerinde ulaştığı; düşük ve aynı dB değerlerinde ise çok daha yüksek başarım gösterdiği ortaya çıkmıştır. "-2" dB ile "1.5" dB aralığında başarım sıralaması en başarılıdan en başarısız doğru; II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği, delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniği, I. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği, II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniği, I. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği şeklindeyken "1.5" dB ile "3.5" dB aralığında en iyi başarım gösteren teknikler I. ve II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ teknikleri olurken başarım sıralaması sırasıyla; Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniği, II. türden kod

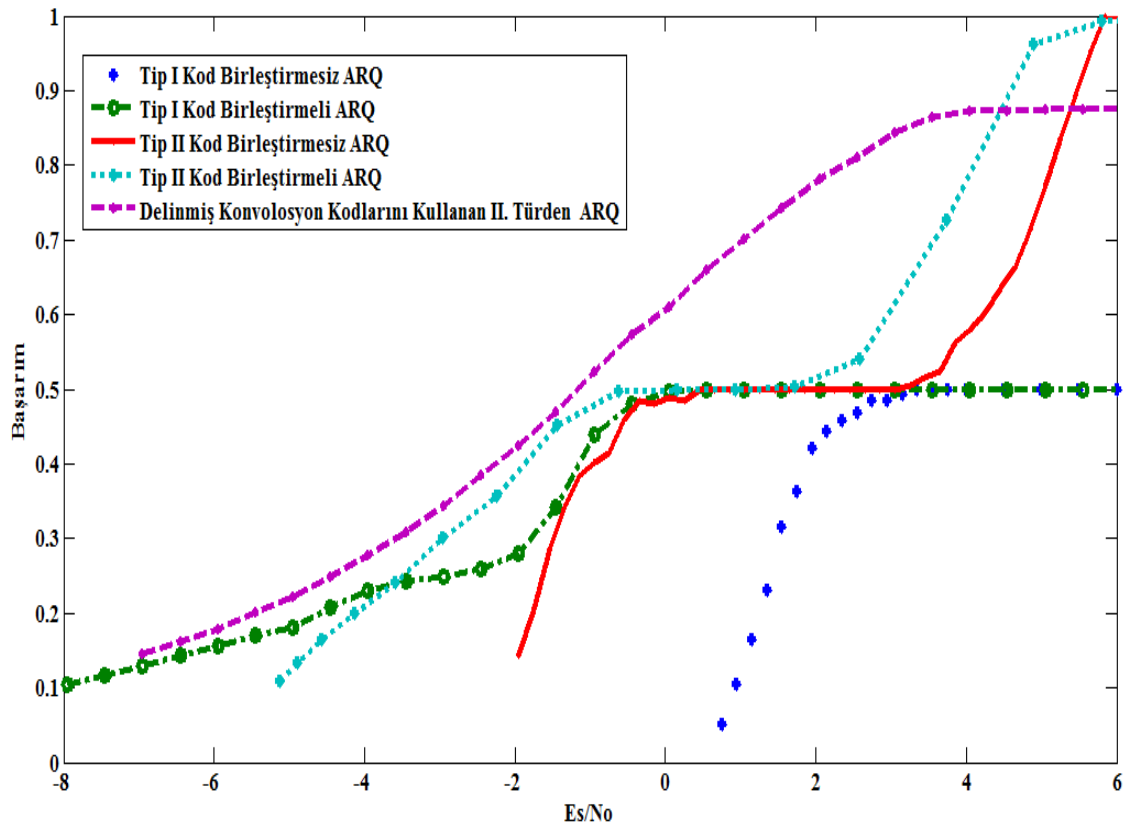
birleştirmeli karma ARQ tekniği, I. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği şeklinde devam etmektedir. I. ve II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ teknikleri “3” ve “6.5” dB arasında “0.5” başarımları gösterirken; II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği “4.5” ve “8.5” dB arasında “0.5” başarımları, I. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği ise “6.5” dB’den büyük değerlerde “0.5” başarımları göstermiştir. I. türden karma ARQ tekniklerini daha büyük dB’lerde başarımları değerleri değişmezken; II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin “10” dB’de, II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğinin ise “9.5” dB de “1” başarımları değerine ulaştığı görülmüştür. Burada II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğinin II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğine göre daha başarılı olmasının nedeni hem yüksek SNR’lerde gereksiz kod kullanımı hem de MC-CDMA’da kullanılan CDMA kodlarının veriye sağladığı gürbüzlük sayılabilir. Böylelikle yüksek SNR’lerde II. türden kod birleştirmeli karma ARQ yerine II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ kullanılarak hesaplama zorluğu, tampon (buffer) gereksiniminin ve sistem karmaşıklığının azaltılabileceği gözlenmiştir. Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinin ise “-2” dB’den “2” dB’ye kadar diğer tekniklere (II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniği hariç) göre daha yüksek başarımları gösterdiği gözlenmiştir. “2 – 3.5” dB aralığında I. ve II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniklerine göre daha başarısız olduğu, “3.5” dB ile “8” dB aralığında ise yükselen ve diğerlerine göre daha başarılı bir eğri çizdiği görülmüştür. “8” dB’de ise “0.875” dB’ye ulaşmış ve bu değerden sonra II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğinden daha başarısız gözlenmiştir. “10.5” dB’den sonra ise II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğinden daha başarısız görülmüştür.



Şekil 4.4. MC-CDMA sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımları.

Şekil 4.5.' te WPDM tabanlı MC-CDMA sistemine uygulanan ARQ tekniklerinin başarımları gösterilmiştir. WPDM sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlarına göre bakıldığında en yüksek başarımların daha düşük "dB" değerlerinde ulaştığı; düşük ve aynı dB değerlerinde ise çok daha yüksek başarımlar gösterdiği ortaya çıkmıştır. Klasik MC-CDMA sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlarına göre bakıldığında ise WPDM' den dolayı WPDM tabanlı MC-CDMA sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin çok daha başarılı olduğu görülmüştür. Grafiğe bakıldığında ise WPDM tabanlı MC-CDMA sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlarının "-8" dB ile "6" dB aralığında değişmektedir. Diğer kablosuz haberleşme sistemlerine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımlarından farklı olarak başarımların eğrileri çok kesişmemektedir. Burada görüldüğü gibi en yüksek başarımlar delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğine aittir. Daha sonra sırasıyla II. türden kod birleştirmeli karma ARQ, II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ, I. türden kod birleştirmeli karma ARQ, I. türden kod birleştirmesiz karma ARQ gelmektedir. Ancak yaklaşık "4,5" dB'den sonra delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinin daha büyük başarımlara sahip olması nedeniyle daha düşük başarımlara sahip olduğu görülmektedir. "-8" dB'den "0" dB'ye

kadar II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğine göre daha başarılı olduğu görülürken; “3 - 8” dB değerleri aralığında bu iki teknik arasındaki başarımların azaldığı görülmüştür. Diğer tekniklere bakıldığında başarımların sıralaması I. türden kod birleştirmeli karma ARQ, II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ, I. türden kod birleştirmesiz karma ARQ şeklinde devam etmektedir. Bu sisteme uygulanan I. ve II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniklerinin başarımları arasında diğerlerinden daha büyük fark olduğu görülmüştür. Ve yine en başarısız ARQ tekniğinin I. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniği olduğu görülmüştür. Klasik MC-CDMA sistemine göre ise çok düşük SNR değerlerinde çok daha başarılı olduğu ve en yüksek başarımların değeri olan “1” e daha küçük SNR değerlerinde ulaştığı gözlenmiştir.

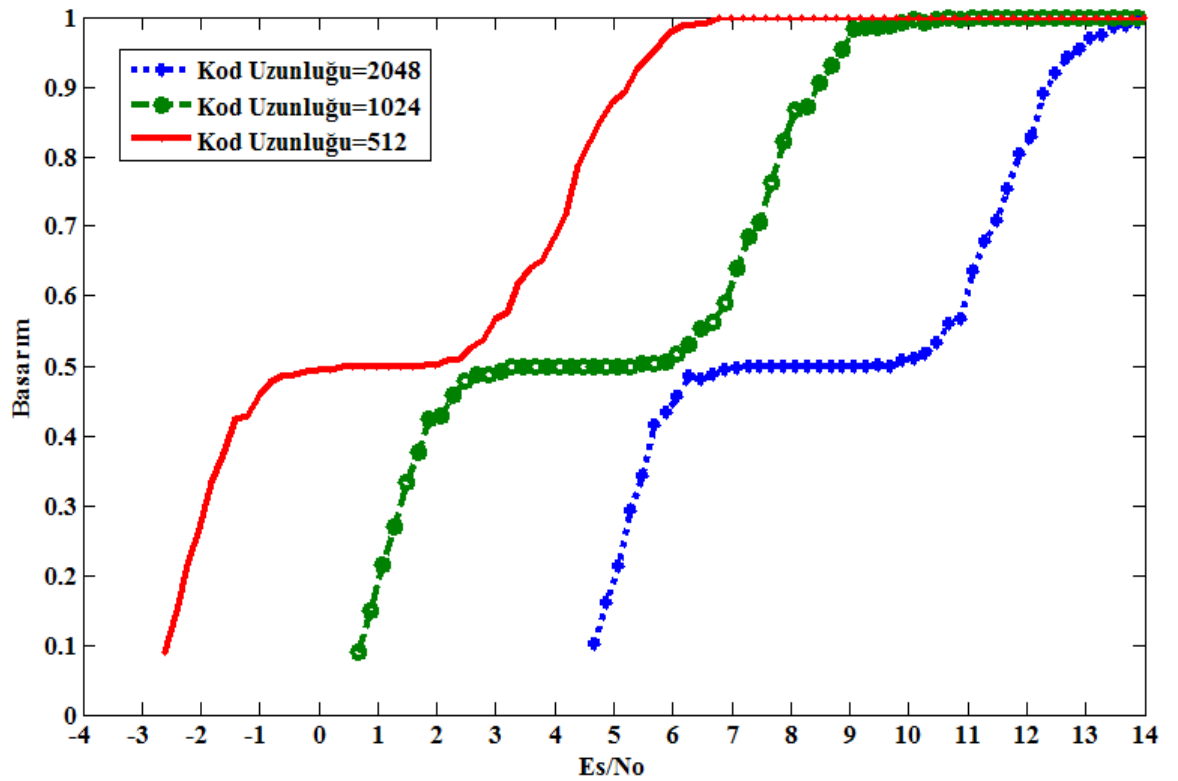


Şekil 4.5. WPDM tabanlı MC-CDMA sistemine uygulanan karma ARQ tekniklerinin başarımları.

4.2.2. II. Türden Kod Birleştirmesiz Karma ARQ Tekniğini Kullanan OFDM Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları

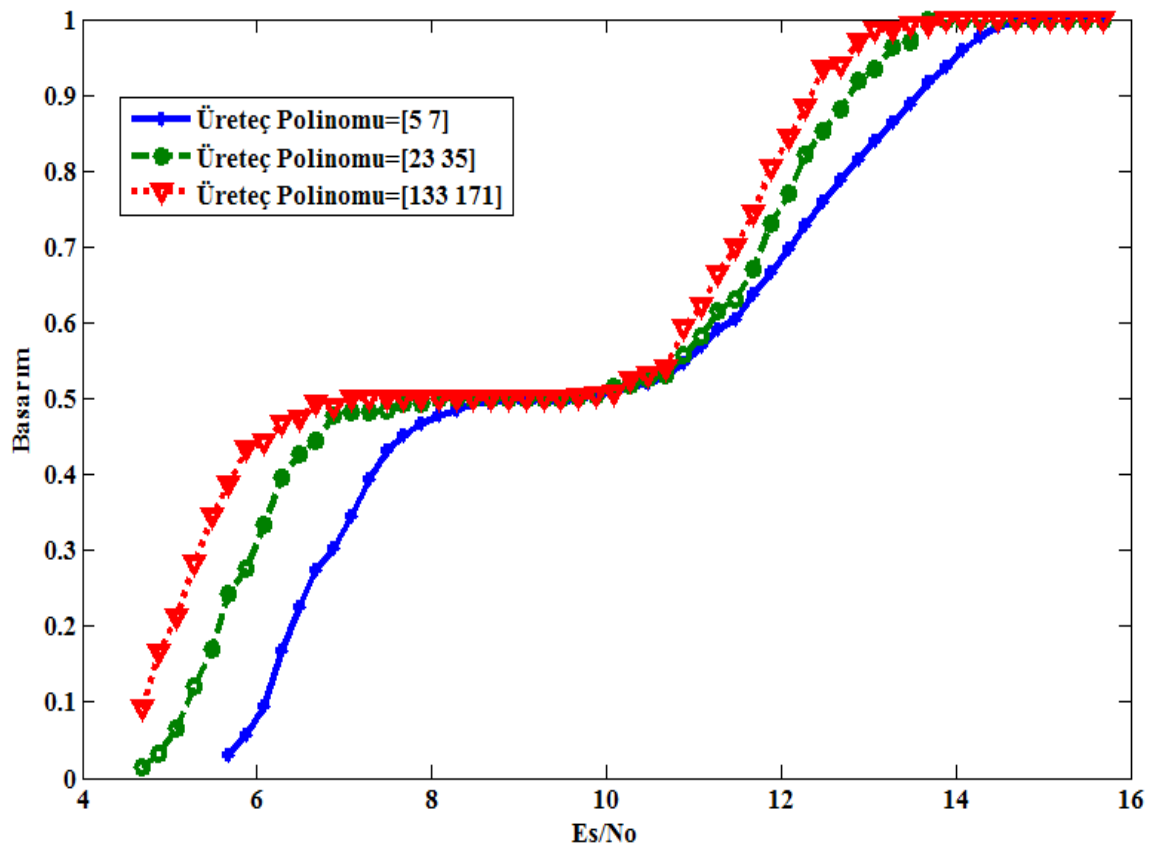
Tablo 4.2.’deki parametrelere göre yapılan benzetim çalışmaları ise aşağıda verilmektedir. Bu benzetimler II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminde yapılmıştır.

Şekil 4.6.’da verilen kod uzunluğu başarımlar grafiğinde; kod uzunluğu azaldıkça başarımın arttığı görülmektedir. Kod uzunluğu “2048” iken başarımlar eğrisi “-2.5” dB ile “7” dB arasında değişirken; “1024” uzunluklu kodda bu aralık “0.5-9”, kod uzunluğu “512” iken ise “4.5-14” olmaktadır. Kod uzunluğuna bağlı olarak toplam aralık fazla değişmezken başarımlar aralığının “en yüksek- en düşük” noktalarında önemli değişimler söz konusu olmaktadır. Bu bakımdan seçilen kod uzunluğunun başarımlar üzerinde önemli bir faktör olduğu ve kod uzunluğu ne kadar küçük olursa başarımın o oranda arttığı görülmüştür.



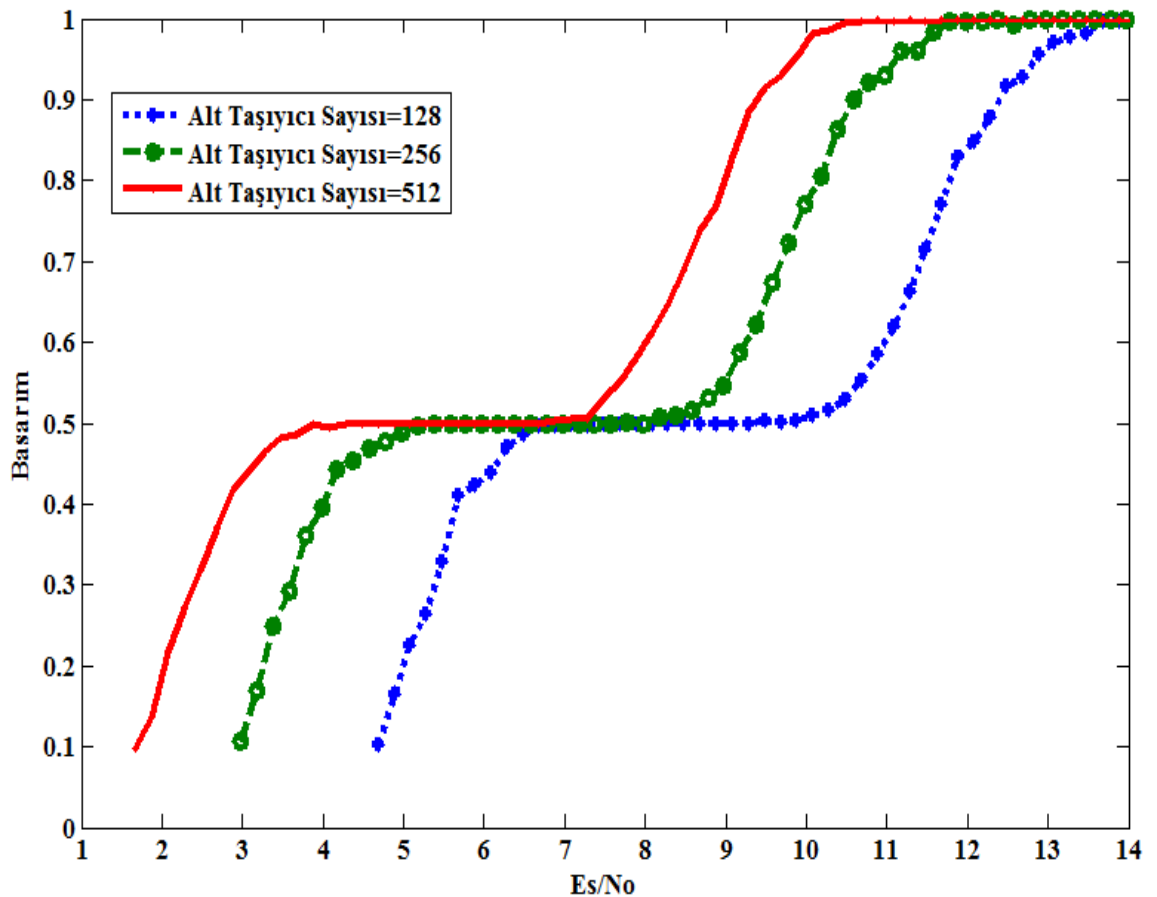
Şekil 4.6. Kod uzunluğunun II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Şekil 4.7.' de ise üreteç polinom büyüklüğünün başarımlar üzerine etkisi gösterilmiştir. “0.1” lik başarımlarda [133 171], [23 35] ve [5 7] üreteç polinomlarına sahip kodların başarımları arasında yaklaşık “1” dB’lik fark olduğu ve en yüksek başarımın [133 171] üreteç polinomuna sahip koda ait olduğu gözlenmiştir. En yüksek başarım olan “1” e bakıldığında yine en başarılı [133 171] üreteç polinomuna sahip kodun, en başarısız ise [5 7] üreteç polinomuna sahip kodun olduğu ve aralarında yaklaşık “1” dB’lik fark olduğu görülmüştür. Yani üreteç polinomunun büyüklüğüyle başarımın doğru orantılı olarak değiştiği; üreteç polinomunun büyüklüğü arttıkça başarımın arttığı gözlenmiştir. Ayrıca bu farkın üreteç polinomlarında kullanılan hafıza (register) sayılarıyla da doğru orantılı olduğu düşünülebilir. Başarım hafıza sayısı da doğru orantılı olarak değişmektedir.



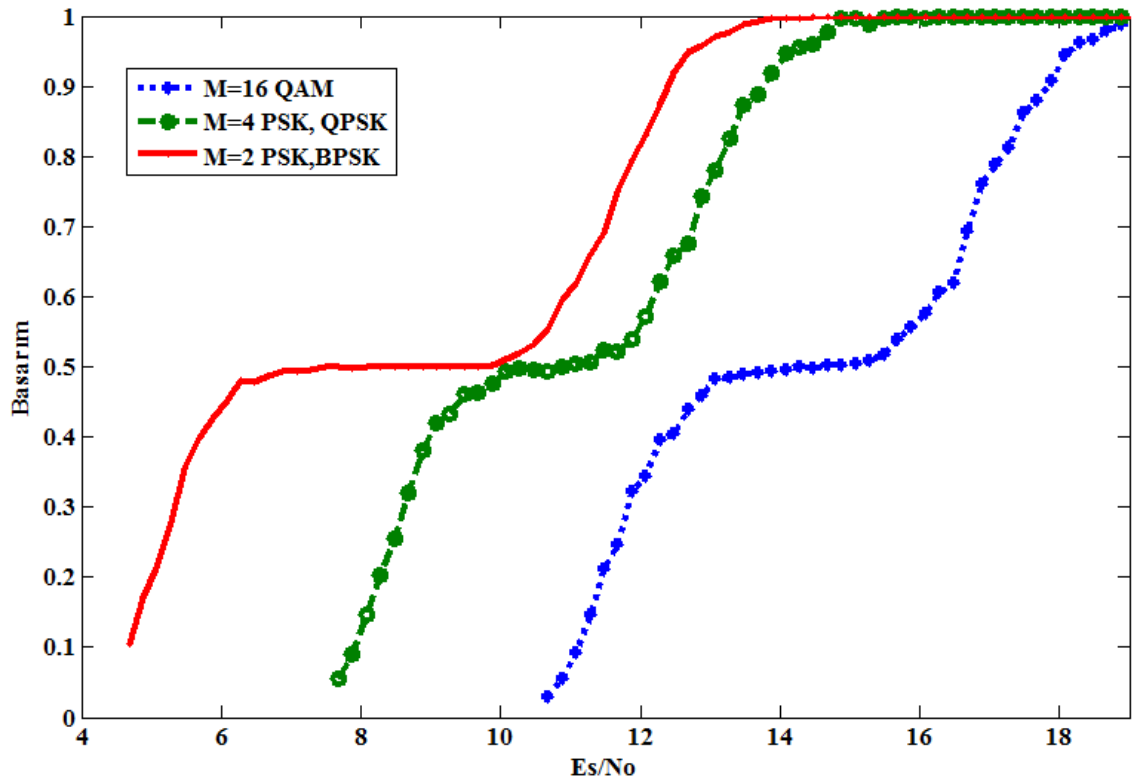
Şekil 4.7. Üreteç polinom büyüklüğünün II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımlar üzerine etkisi.

IFFT , FFT, IDWT ve DWT' de kullanılan alt taşıyıcı sayılarının sistem başarımına etkisi ise Şekil 4.8.'de verilmiştir. Alt taşıyıcı sayısı “512” iken başarım eğrisi “1.5” dB ile “10.5” dB arasında değişirken; “256” alt taşıyıcı sayısında bu aralık “3-11.5”, alt taşıyıcı sayısı “128” iken ise “4.5-14” olmaktadır. Alt taşıyıcı sayısına bağlı olarak toplam aralık fazla değişmezken başarım aralığının “en yüksek- en düşük” noktalarında önemli değişimler söz konusu olmaktadır. Bu bakımdan seçilen alt taşıyıcı sayısının başarım üzerinde önemli bir faktör olduğu ve alt taşıyıcı sayısı ne kadar büyük olursa başarımın o oranda arttığı görülmüştür. Aynı başarım değerlerinde dB değerleri arasındaki farklara bakıldığında ise “128-256” alt taşıyıcılı sistemler arasındaki dB farkı yaklaşık “1” iken; “256-512” alt taşıyıcılı sistemler arasında bu fark yaklaşık “2” dB olduğu görülmüştür. Yani alt taşıyıcı sayıları arasındaki kat farkı arttıkça bu farkın da doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür.



Şekil 4.8. Alt taşıyıcı sayısının II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Modülasyon seviyesinin sistem başarımına etkisi ise Şekil 4.9.'da verilmiş ve modülasyon seviyesi arttıkça sistem başarımının düştüğü görülmüştür. “M=2” BPSK iken başarımlar eğrisi “4.5” dB ile “14” dB arasında değişirken; “M=4” QPSK modülasyon seviyesinde bu aralık “7.5 - 15”, modülasyon seviyesi “M=16” QAM iken ise “10.5-19” olmaktadır. Modülasyon seviyesine bağlı olarak başarımlar aralığının “en yüksek- en düşük” noktalarında önemli değişimler söz konusu olurken toplam başarımlar aralığında da “1-2” dB aralığında değişimler söz konusu olabilmektedir. Bu bakımdan seçilen modülasyon seviyesinin başarımlar üzerinde önemli bir faktör olduğu ve modülasyon seviyesi ne kadar küçük olursa başarımların o oranda arttığı görülmüştür. Bu seçimin sistem performansı üzerinde ne kadar önemli olduğu ve çalışılacak kanal durumuna göre seçilmesi gerektiği anlaşılabılır.

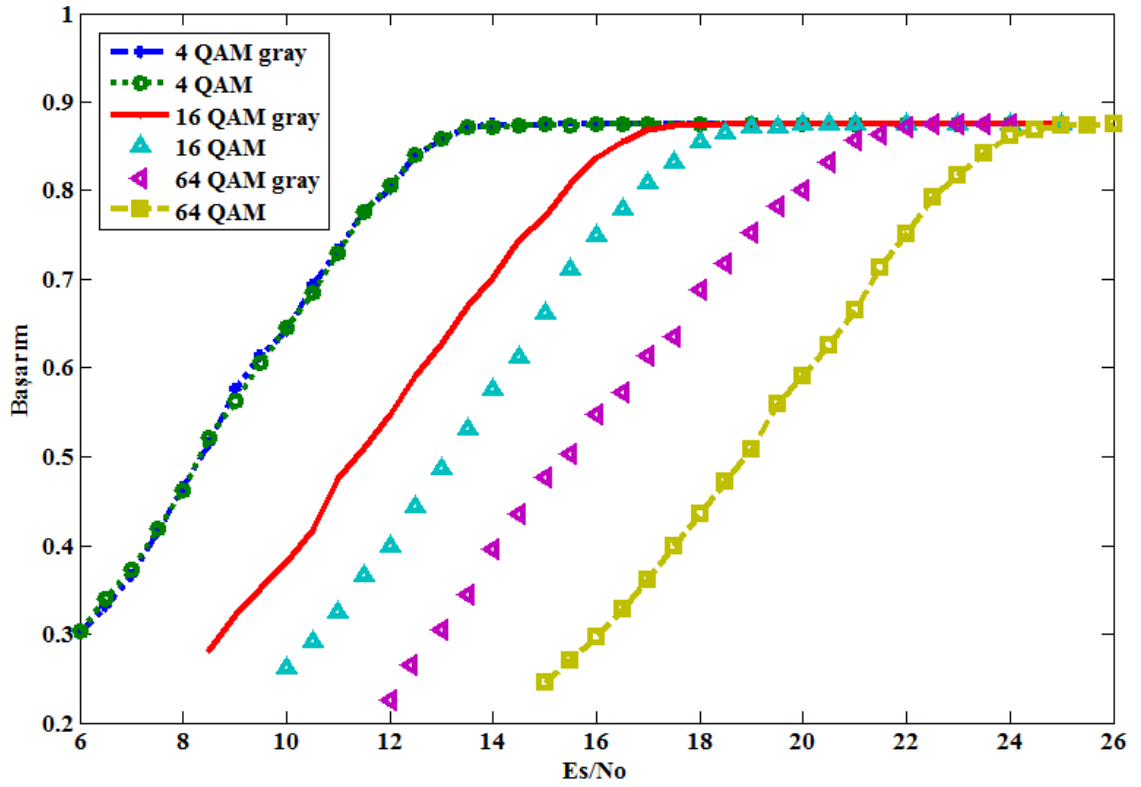


Şekil 4.9. Modülasyon seviyesinin II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımına etkisi.

4.2.3. Delinmiş Konvolosyon Kodlarıyla Kodlanmış II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan MC-CDMA Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları

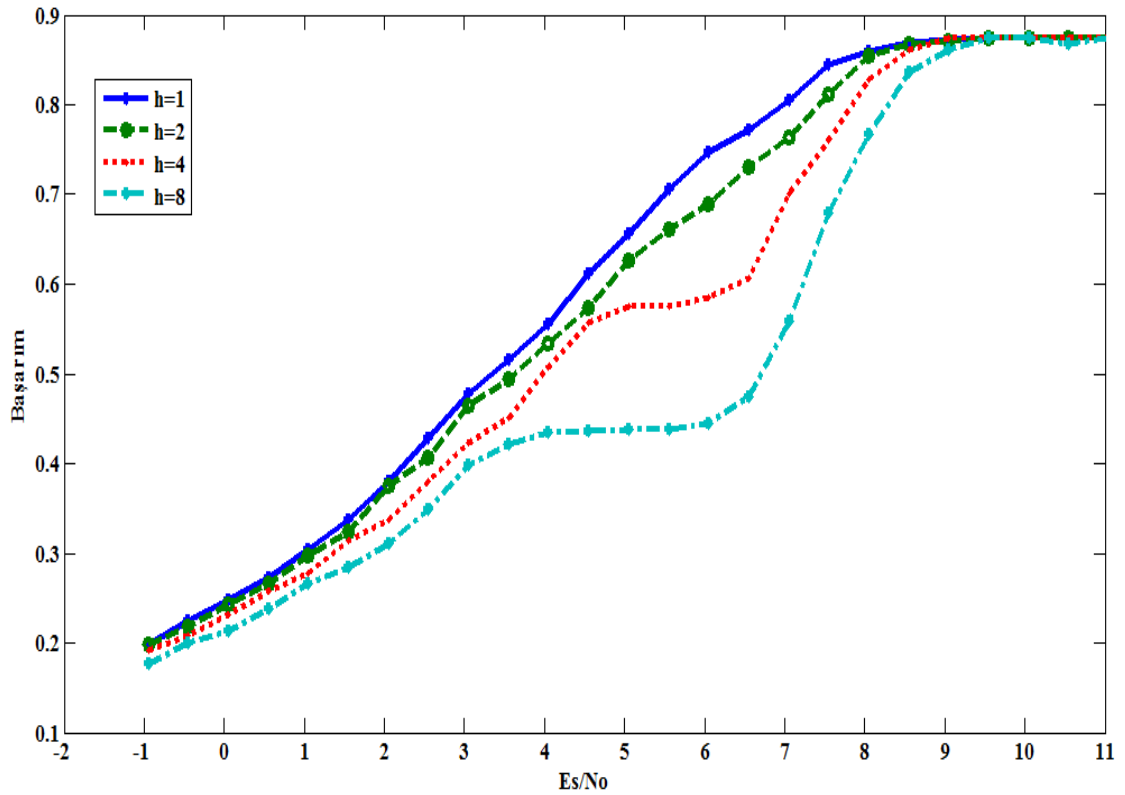
Aşağıdaki benzetimler ise delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC- CDMA sisteminde Tablo 2’deki parametrelere göre yapılmıştır.

Şekil 4.10’ da CDMA matris uzunluğu “ $n=1$ ” seçilmiş olup hem kodlamanın sistem performansına etkisi hem de modülasyon seviyesinin sistem performansına etkisi gösterilmiştir. Burada modülasyonda kullanılan “Gray” kodlamanın “Binary” kodlamaya göre ve modülasyon seviyesi küçük olanın büyüğe göre daha başarılı olduğu görülmüştür. 4 QAM kullanılan “Gray” ve “Binary” kodlanan kodların başarımları çok yakınken; 16 QAM’ in kullanıldığı “Gray ” ve “Binary” kodlanan kodların “0.25” lik başarımlarında yaklaşık “2 dB” lik bir fark vardır. “Gray” kodlama “Binary” kodlamaya göre daha başarılı çıkmıştır. 64 QAM’ in kullanıldığı “Gray ” ve “Binary” kodlanan kodların “0.25” lik başarımlarında yaklaşık “3” dB lik bir fark vardır. “Gray” kodlama “Binary” kodlamaya göre daha başarılı çıkmıştır. Yani Modülasyon seviyesi arttıkça başarımlar düşmektedir ve “Gray” kodlama ile “Binary” kodlama arasındaki başarımlar farkında da önemli artış ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.10. Modülasyon seviyesi ve kodlamanın delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

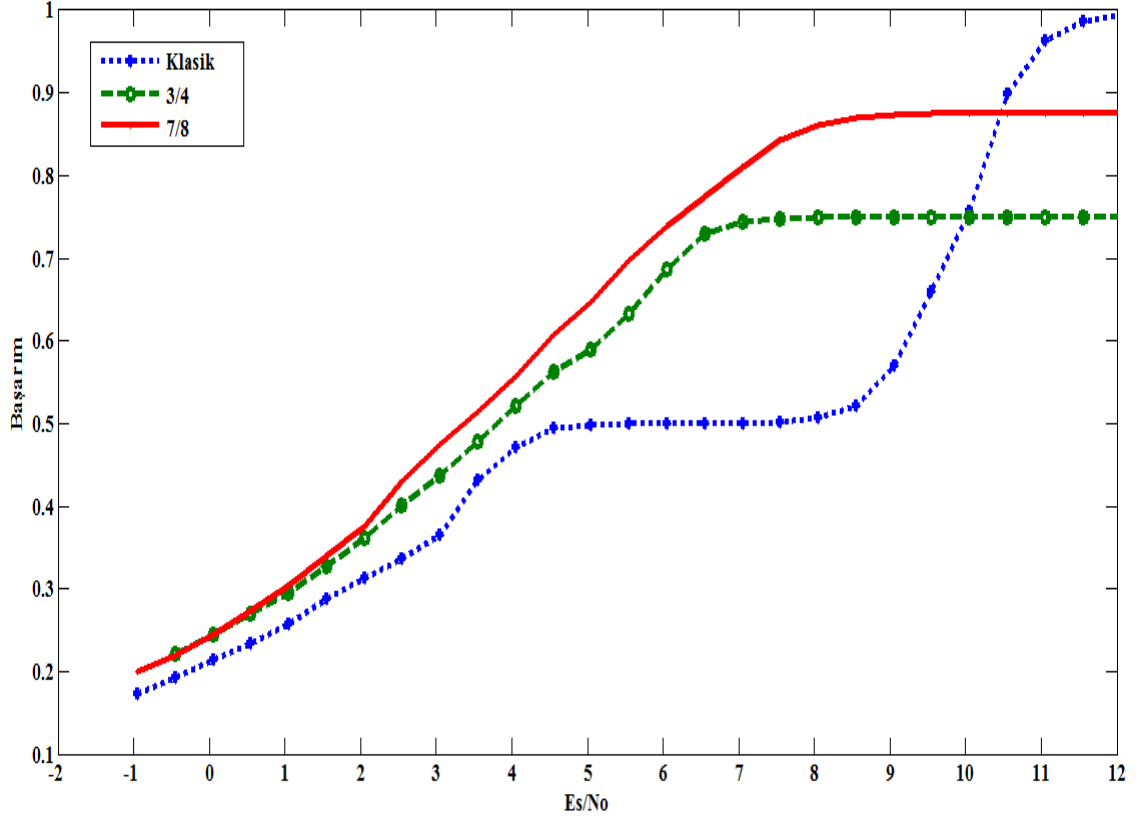
Şekil 4.11’de ise delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinde delme için kullanılan “h” delme adım büyüklüğünün sistem başarımı üzerine etkisi gösterilmiş olup “h” değeri küçüldükçe sistem başarımının arttığı görülmüştür. “-1” dB ile “3” dB aralığında aynı başarımlardaki “Es/No” değerleri arasında yaklaşık “0.02” dB lik fark varken “3” dB’den “9” dB’ye kadar başarımlar arasında önemli bir fark olduğu görülmüştür. En başarılı eğri “h=1” olurken en başarısız ise “h=8” de elde edilmiştir. Yani başarımın delme adım sayısı “h” ile ters orantılı olarak değiştiği; “h” değeri arttıkça başarımın düştüğü gözlenmiştir. En yüksek başarım için “h=1” seçilmesi gerektiği düşünülebilir.



Şekil 4.11. “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinde kullanılan başlangıç kod oranlarının sistem başarımı üzerine etkileri Şekil 4.12 ile verilmiştir. Burada başlangıç kod oranına göre en yüksek başarımlar $7/8$ ’ e aittir; klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin en düşük başarıma sahip olduğu görülmüştür. Yani başlangıç kod oranı arttıkça sistem başarımının arttığı görülmüştür. “-1” dB den “4” dB değerine kadar başlangıç kod oranları arasındaki farkın başarımlar üzerine çok az bir etkisi gözlenirken; “4” dB ile “10.5” dB aralığında bu farkın çok fazla olduğu ve en düşük başarıma “ $1/2$ ” başlangıç kod oranlı klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ’nun sahip olduğu daha sonra sırasıyla delinmiş konvolosyon kodlarını kullanan “ $3/4$ ” ve “ $7/8$ ” kod oranlı II. türden ARQ’nun başarılı olduğu görülmüştür. “10.5” dB den sonra klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ’nun biraz daha başarılı olması; diğer sistemlerde delinmiş konvolosyon

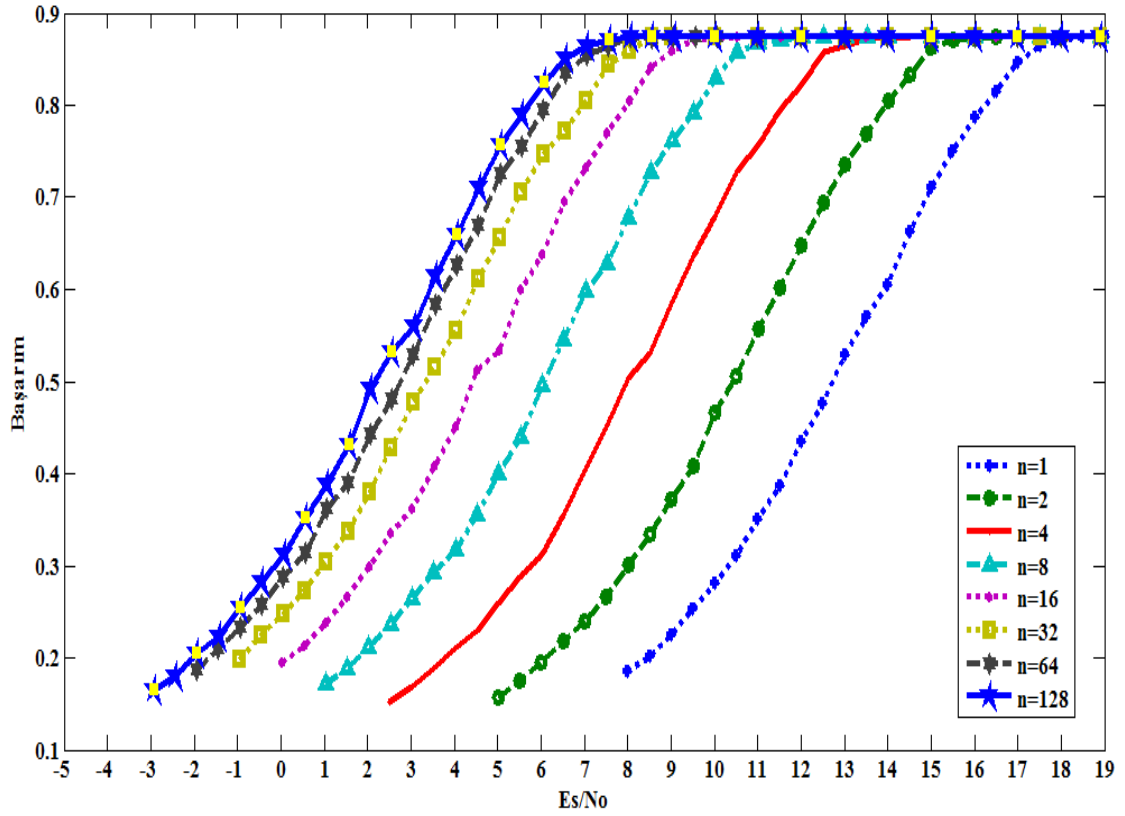
kodu kullanılması; dolayısıyla daha büyük başlangıç kod oranı seçilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.12. Başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

MC-CDMA’de kullanılan “n” CDMA matris boyutunun sistem başarımı üzerine etkisi Şekil 4.13’te gösterilmiş olup sistem başarımıyla matris boyutunun doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca “n” değerlerinin “2” nin kuvvetleri şeklinde seçildiği görülmektedir. Burada CDMA yayma kodu olarak “Walsh – Hadamard” kullanılmıştır. Aynı başarımlardaki ardışık “n” uzunluklu kodların “Es/No” değerleri arasında “2” dB’ye kadar fark olduğu gözlenmiştir. “0.15” lik başarımlarında “n=128” eğrisi “-3” dB’de iken “n=1” eğrisi “8” dB’ de olmakta ve aradaki yaklaşık fark “11” dB olmaktadır. Başarımın “n” CDMA matris boyutu ile doğru olarak arttığı görülmüştür. Ancak başarımlar arasındaki farka bakıldığında ardışık “n”

değerleri arasındaki farkın “n” değerleri arttıkça azaldığı; yani ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür. En yüksek başarımları elde etmek için “n” nin büyük seçilmesi gerektiği düşünülebilir.



Şekil 4.13. CDMA matris boyutu “n” nin delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımları üzerine etkisi.

Aşağıdaki benzetimlerde ise delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinin kullanılan sistemlerin performansları incelenmiştir.

4.2.4. Delinmiş Konvolosyon Kodlarıyla Kodlanmış II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan OFDM Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları

Burada delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin benzetim çalışmalarıyla ilgili bilgi verilecektir. Burada

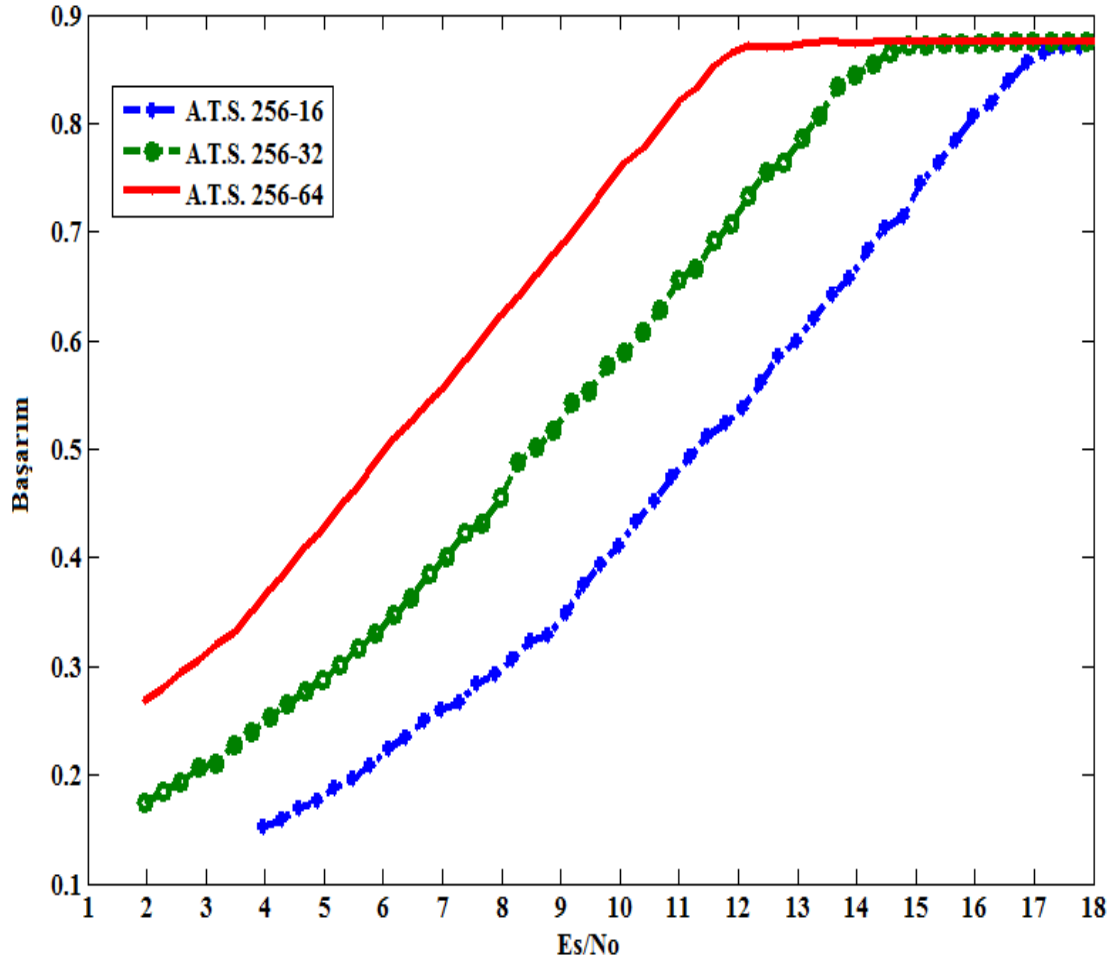
kullanılan parametreler Tablo 4.3.' te verilmiştir. Çalışmalarımızda diğer parametreler sabit kalıp tek bir parametreyi değiştirerek sistem performansı incelenmiş ve kanal olarak AWGN kanal kullanılmıştır.

Tablo 4.3. Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler.

Kod Uzunluğu	2672
Üreteç Polinomu	[133 171]
Alt Taşıyıcı Sayısı	256-32
Modülasyon Çeşidi	PSK
Modülasyon Seviyesi	BPSK
Modülasyondaki Kodlama Türü	Binary
Delme adım büyüklüğü (h) (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	h=1
Başlangıç Kod Oranı (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	7/8

Şekil 4.14' de alt taşıyıcı sayısının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımlarına etkisi gösterilmiştir. Ancak burada; yukarıdaki II. türden kod birleştirmesiz karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminde kullanılan alt taşıyıcı sayısından farklı olarak ilk veri gönderiminde “256” olan alt taşıyıcı sayısı daha sonraki delinmiş veri gönderimlerinde sırasıyla “16-32-64” seçilmiş ve sistem performansı üzerinde etkileri incelenmiştir. Burada en iyi başarımları “256-64” alt taşıyıcılı sistem gösterirken en düşük başarımlıysa “256-16” alt taşıyıcıya sahip sistem göstermiştir. “4” dB değerinde “256-16”, “256-32” ve “256-64” alt taşıyıcıya sahip sistemler sırasıyla yaklaşık “0.15”, “0.25” ve “0.375” değerlere sahiptir ve “0.875” lik başarımlarına “12” dB, “15” dB ve “18” dB değerlerinde ulaşmışlardır. Alt taşıyıcı sayısı arttıkça sistem başarımlarının arttığı; alt taşıyıcı sayısı ile sistem başarımlarının doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür.

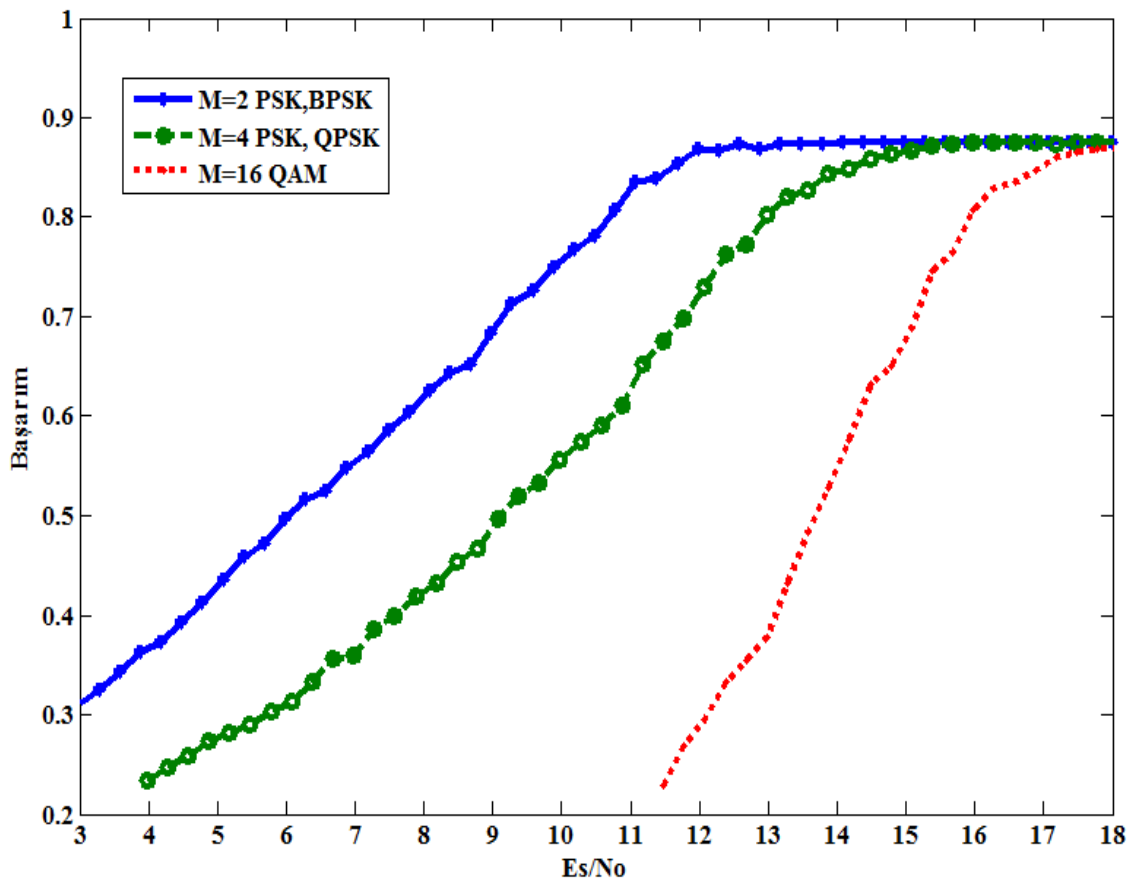
Alt taşıyıcı sayısı ne kadar büyük seçilirse sistem başarımının o ölçüde artacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca literatürde alt taşıyıcı sayının “2” nin kuvvetleri şeklinde seçilmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 4.14. Alt taşıyıcı sayısının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Şekil 4.15’ de modülasyon seviyesinin ve türünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarım üzerine etkisi gösterilmiştir. “BPSK, QPSK ve 16 QAM” modülasyon teknikleri kullanılmış ve en yüksek başarımın “BPSK” en düşük başarımınsa “16 QAM” e ait olduğu gözlenmiştir. “0.3” lük başarım değerine “BPSK” eğrisi “3” dB, “QPSK”

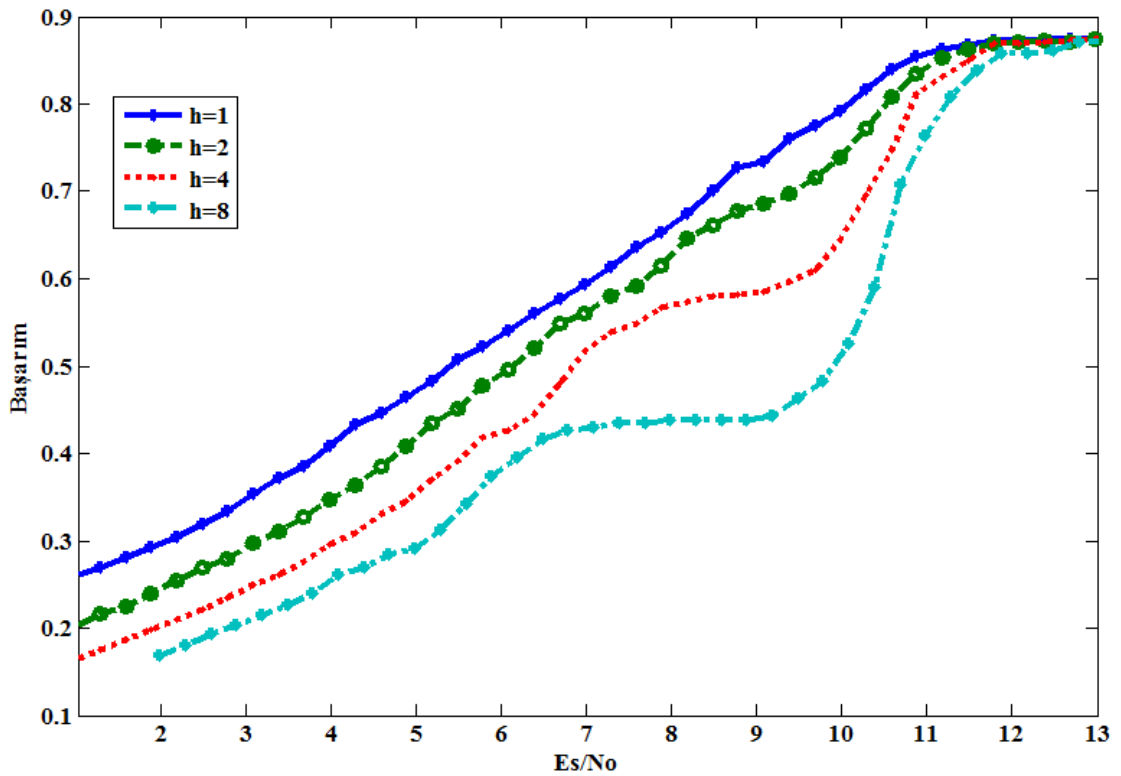
eğrisi “6” dB ve “16 QAM” eğrisi “12” dB de ulaşmıştır. “0.875” lik en yüksek başarımlı değere “12” dB, “15” dB ve “18” dB değerlerinde ulaşmışlardır. Modülasyon seviyesi “M” ile başarımın ters orantılı olarak değiştiği; “M” seviyesi arttıkça başarımın azaldığı görülmüştür. Bu nedenle düşük SNR’a sahip bir sistemde çalışılıyorsa “M” değerinin düşük seçilmesi gerektiği, yüksek SNR’li bir kanalda çalışılıyorsa yüksek seçilebileceği düşünülebilir.



Şekil 4.15. Modülasyon seviyesinin ve türünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Şekil 4.16’ da “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarım üzerine etkisi gösterilmiştir. “h” delme adım büyüklüğü olarak “1-2-4-8” değerleri kullanılmış ve en yüksek başarımın “h=1” değerine; en düşük başarımınsa “h=8” değerine ait olduğu gözlenmiştir. “2” dB değerinde “h=1” eğrisi “0.3” dB, “h=2”

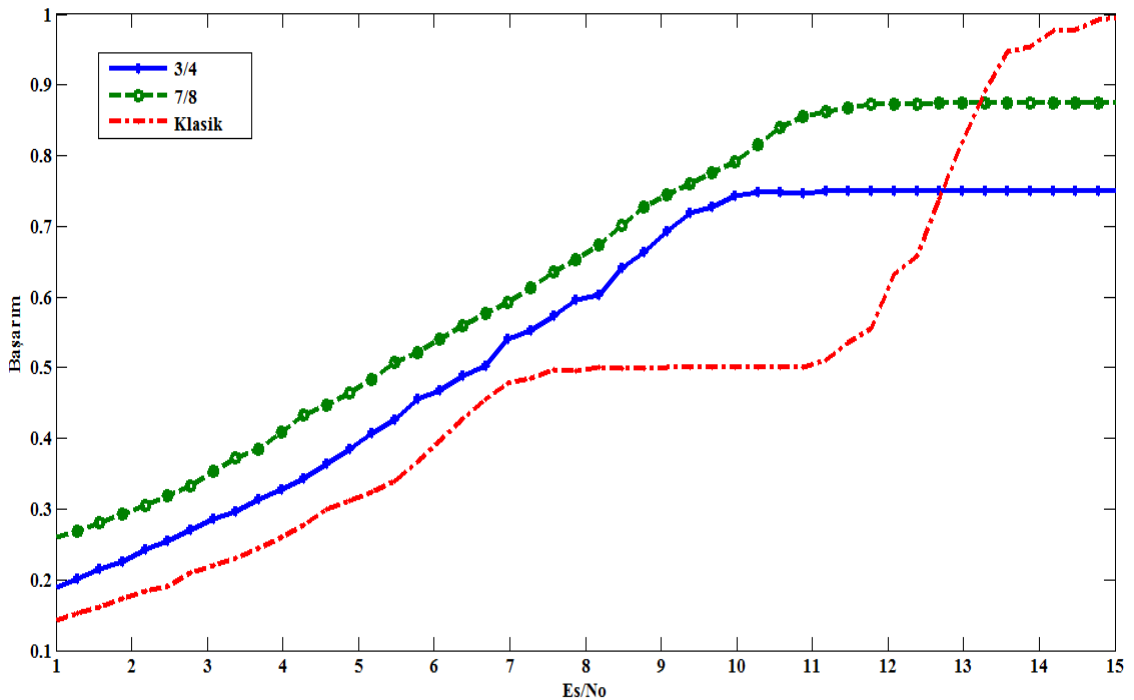
eğrisi “0.25” dB, “h=4” eğrisi “0.2” ve “h=8” eğrisi “0.15” başarımlarına ulaşmıştır. “0.875” lik en yüksek başarımlarına aralarında çok az bir fark olsa da hemen hemen aynı “13” dB’de ulaşmışlardır. Grafiğe genel olarak bakıldığında aynı dB değerlerindeki başarımların değerleri arasına yaklaşık “0.05” lik bir başarımlar farkı görülürken; bu farkın “6” ve “11” dB aralığında oldukça fazla olduğu gözlenmiştir. Başarımların “h” delme adım büyüklüğü ile ters orantılı olarak değiştiği; “h” değeri ne kadar büyükse başarımların o kadar düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.16. “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımlarını üzerine etkisi.

Şekil 4.17’ de başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımlarını üzerine etkisi gösterilmiştir. “3/4”, “7/8” başlangıç kod oranlarına sahip Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniklerini ve klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sistemlerinin başarımlarını karşılaştırılmıştır. “1” dB değerinde klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ

teknikini kullanan OFDM sistemi “0.15”, “3/4” başlangıç kod oranına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sistemi “0.2”, “7/8” başlangıç kod oranına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sistemi “0.25” başarımlarına sahiptir. “3/4” başlangıç kod oranına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımlar eğrisi kendi için en yüksek değer olan “0.75” lik başarıma “10” dB’de ulaşırken, “7/8” başlangıç kod oranına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımlar eğrisi de kendi için en yüksek değer olan “0.875” değerine “11” dB de ulaşmıştır. Klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sistemi ise en yüksek başarımlar değeri olan “1” e “15” dB de ulaşmıştır. Grafiğe bakıldığında en düşükten en yükseğe doğru başarımlar sırası “Klasik, 3/4, 7/8” olduğu görülmektedir. Ancak “13” dB’den sonra klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin diğer sistemlere göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.17. Başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan OFDM sisteminin başarımlarına etkisi.

4.2.5. Delinmiş Konvolosyon Kodlarıyla Kodlanmış II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan WPDM Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları

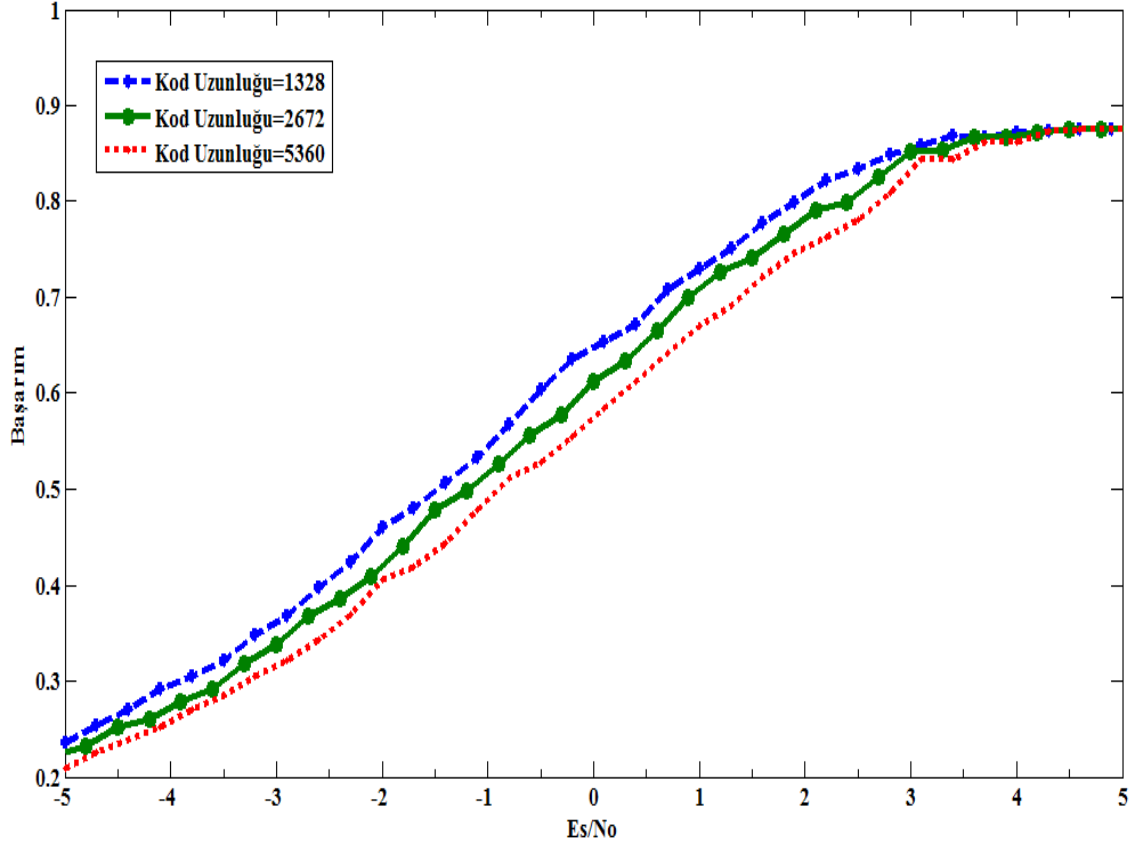
Bu bölümde delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin benzetim çalışmalarıyla ilgili bilgi verilecektir. Burada kullanılan parametreler Tablo 4.4.' te verilmiştir. Çalışmalarımızda diğer parametreler sabit kalıp tek bir parametreyi değiştirerek sistem performansı incelenmiştir.

Tablo 4.4. Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler.

Kod Uzunluğu	2672
Üreteç Polinomu	[133 171]
Alt Taşıyıcı Sayısı	256-32
Modülasyon Çeşidi	PSK
Modülasyon Seviyesi	BPSK
Modülasyondaki Kodlama Türü	Binary
Delme adım büyüklüğü (h) (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	h=1
Başlangıç Kod Oranı (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	7/8

Şekil 4.18' de kod uzunluğunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımlarına etkisi gösterilmiştir. Burada kod uzunlukları olarak “1328, 2672, 5360” seçilmiştir. En yüksek başarımlar “1328” kod uzunluğuna sahip sistemde görülürken; en düşük başarımlar ise “5360” kod uzunluğuna sahip sistemde görülmektedir. Ancak dikkat edilirse aradaki fark çok azdır. “-5” dB değerinde “1328”, “2672” ve “5360” kod uzunluğuna sahip sistemler sırasıyla yaklaşık “0.21”, “0.23” ve “0.25” değerlere sahiptir ve “0.875” lik başarımlarına “4” dB, “4.5” dB ve “5” dB değerlerinde

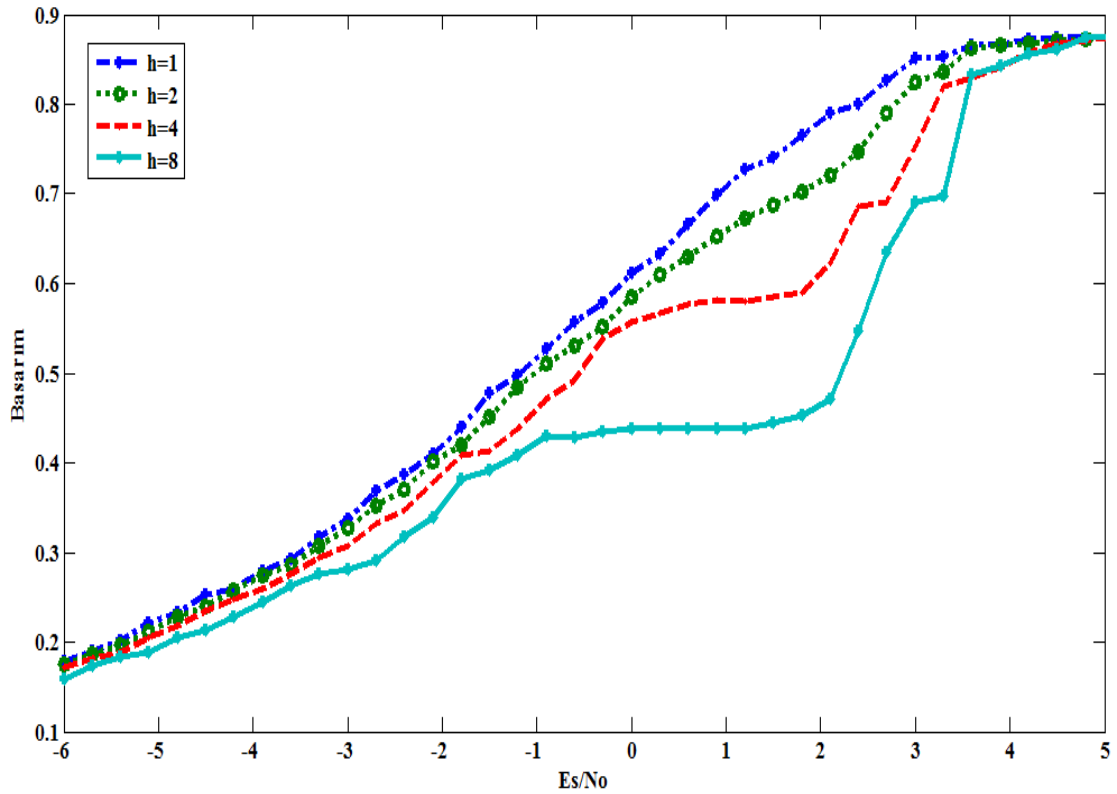
ulaşmışlardır. Ayrıca OFDM sisteme göre çok daha düşük dB değerlerinde daha yüksek başarımlar gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.18. Kod uzunluğunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Şekil 4.19’ da “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımlarına etkisi gösterilmiştir. “h” delme adım büyüklüğü olarak “1-2-4-8” değerleri kullanılmış ve en yüksek başarımın “h=1” değerine; en düşük başarımına “h=8” değerine ait olduğu gözlemlenmiştir. “-6” dB değerinde “h=1” eğrisi “0.18” dB, “h=2” eğrisi “0.175” dB, “h=4” eğrisi “0.17” ve “h=8” eğrisi “0.16” başarımlarına ulaşmıştır. “0.875” lik en yüksek başarımların değerlerine aralarında çok az bir fark olsa da hemen hemen aynı “5” dB’de ulaşmışlardır. Grafiğe genel olarak bakıldığında aynı dB değerlerindeki başarımların değerleri “-3” dB’ye kadar çok fazla bir fark

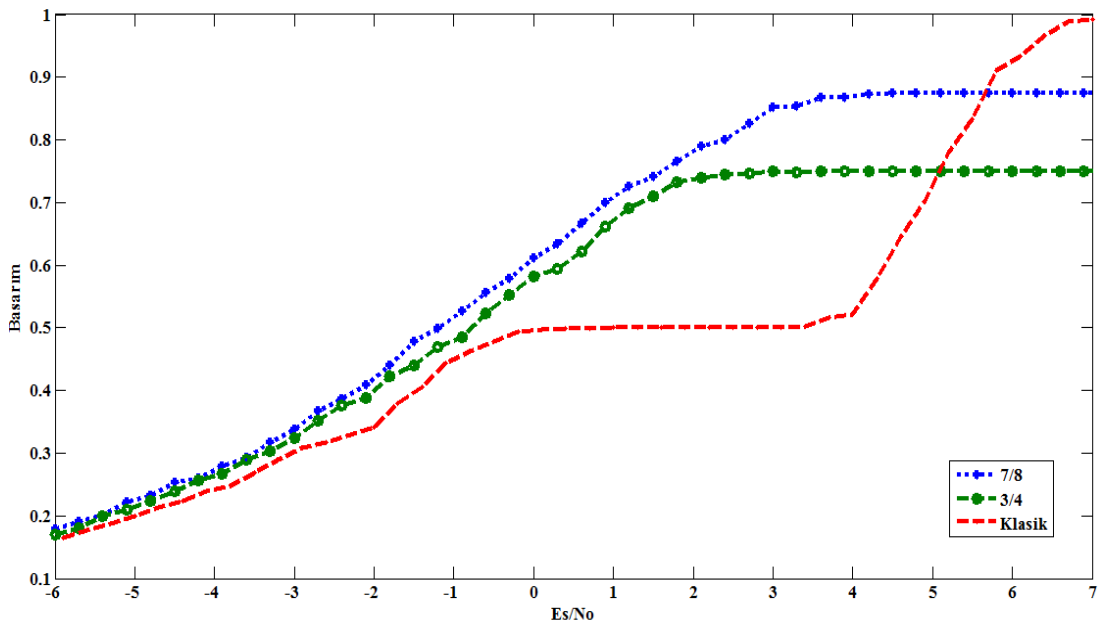
gözlenmezken “-3” ve “-1” dB arasında yaklaşık “0.02” lik bir başarımlık farkı görülmekte; bu fark “-1” ve “5” dB aralığında oldukça artmaktadır. Ancak OFDM sisteminkinden farklı olarak çok küçük dB değerlerinde yüksek başarımlık göstermekte ve başarımlık değerleri arasındaki fark daha az olmaktadır.



Şekil 4.19. “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımlık üzerine etkisi.

Şekil 4.20’ de başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımlık üzerine etkisi gösterilmiştir. “3/4”, “7/8” başlangıç kod oranlarına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden kod birleştirmeli ARQ tekniklerini ve klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin kullanan WPDM sistemlerinin başarımlıkları karşılaştırılmıştır. “-6” dB değerinde klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin kullanan WPDM sistemi “0.16”, “3/4” başlangıç kod oranına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini

kullanan WPDM sistemi “0.17”, “7/8” başlangıç kod oranına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sistemi “0.175” başarımlı değerine sahiptir. “3/4” başlangıç kod oranına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımlı eğrisi kendisi için en yüksek değer olan “0.75” e “2” dB’ de ulaşırken, “7/8” başlangıç kod oranına sahip delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımlı eğrisi kendisi için en yüksek değer olan “0.875” e “3.5” dB’ de ulaşmıştır. Klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sistemi en yüksek başarımlı değeri olan “1” e “7” dB’ de ulaşmıştır. Grafiğe bakıldığında en düşükten en yükseğe doğru başarımlı sıralaması “Klasik, 3/4, 7/8” olduğu görülmektedir. Ancak “5,5” dB’ den sonra klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğini kullanan WPDM sisteminin diğer sistemlere göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca OFDM sisteminin benzetim sonuçlarından farklı olarak çok küçük dB değerlerinde yüksek başarımlı göstermekte ve başarımlı değerleri arasındaki fark daha az olmaktadır.



Şekil 4.20. Başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ Tekniğini kullanan WPDM sisteminin başarımlı üzerine etkisi.

4.2.6. Delinmiş Konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan MC-CDMA Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları

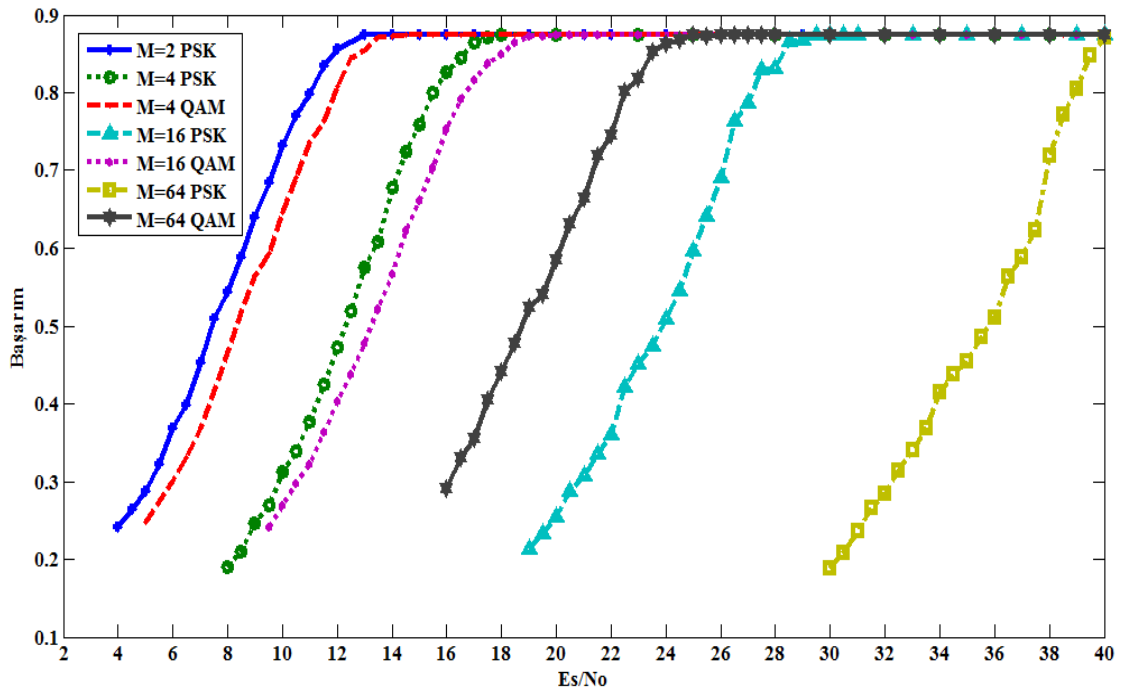
Bu bölümde delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin benzetim çalışmalarıyla ilgili bilgi verilecektir. Burada kullanılan parametreler Tablo 4.5.' te verilmiştir. Çalışmalarımızda diğer parametreler sabit kalıp tek bir parametreyi değiştirerek sistem performansı incelenmiştir.

Tablo 4.5. Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler.

Kod Uzunluğu	2672
Üreteç Polinomu	[133 171]
Alt Taşıyıcı Sayısı	128
Modülasyon Çeşidi	PSK
Modülasyon Seviyesi	BPSK
Modülasyondaki Kodlama Türü	Binary
Delme adım büyüklüğü (h) (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	h=1
Başlangıç Kod Oranı (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	7/8
CDMA Matris Boyutu “n” (MC-CDMA için)	n=32

Şekil 4.21’de CDMA matris uzunluğu “n=1” seçilmiş olup modülasyon çeşidi ve uzunluğunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımlarına etkisi gösterilmiştir. Burada modülasyon çeşidi olarak “PSK-QAM” , modülasyon seviyesi olarak “2-4-16-64” seçilmiştir. En yüksek başarımlar “BPSK” modülasyonlu sistemde görülürken; en düşük başarımlar ise “64 PSK”lı sistemde görülmektedir. Ancak dikkat edilirse “M” modülasyon seviyesi değeri yükseldikçe başarımlar değeri ve düşük dB değerlerindeki dayanım azalmakta, “M” değeri düştükçe başarımlar ve dayanım artmaktadır. Ayrıca

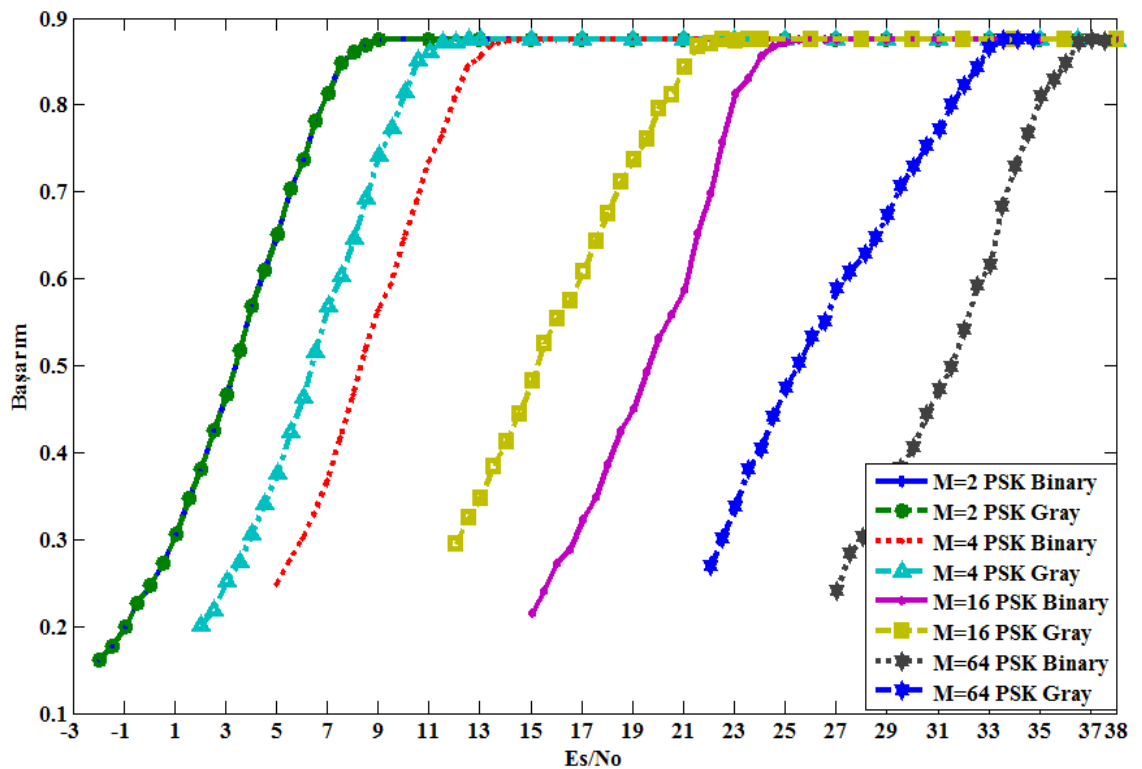
“QAM” modülasyon tekniğinin “PSK” modülasyon tekniğine göre çok daha yüksek başarımlar gösterdiği görülmüştür. “4 PSK” ve “4 QAM” modülasyon çeşitlerinin en yüksek başarımlar değerlerine bakılırsa sırasıyla “16” ve “12” dB olduğu görülmektedir. “16 PSK” ve “16 QAM” modülasyon çeşitlerinin en yüksek başarımlar değerlerine bakılırsa sırasıyla “28” ve “18” dB olduğu; “64 PSK” ve “64 QAM” modülasyon çeşitlerinin en yüksek başarımlar değerlerine bakılırsa sırasıyla “40” ve “24” dB olduğu görülmektedir. Aradaki “dB” değeri farkının modülasyon seviyesi arttıkça arttığı görülmektedir.



Şekil 4.21. Modülasyon çeşidi ve uzunluğunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Şekil 4.22’ de hem kodlamanın sistem performansına etkisi hem de modülasyon seviyesinin delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi gösterilmiştir. Burada modülasyonda kullanılan “Gray” kodlamanın “Binary” kodlamaya göre ve modülasyon seviyesi küçük olanın büyüğe göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

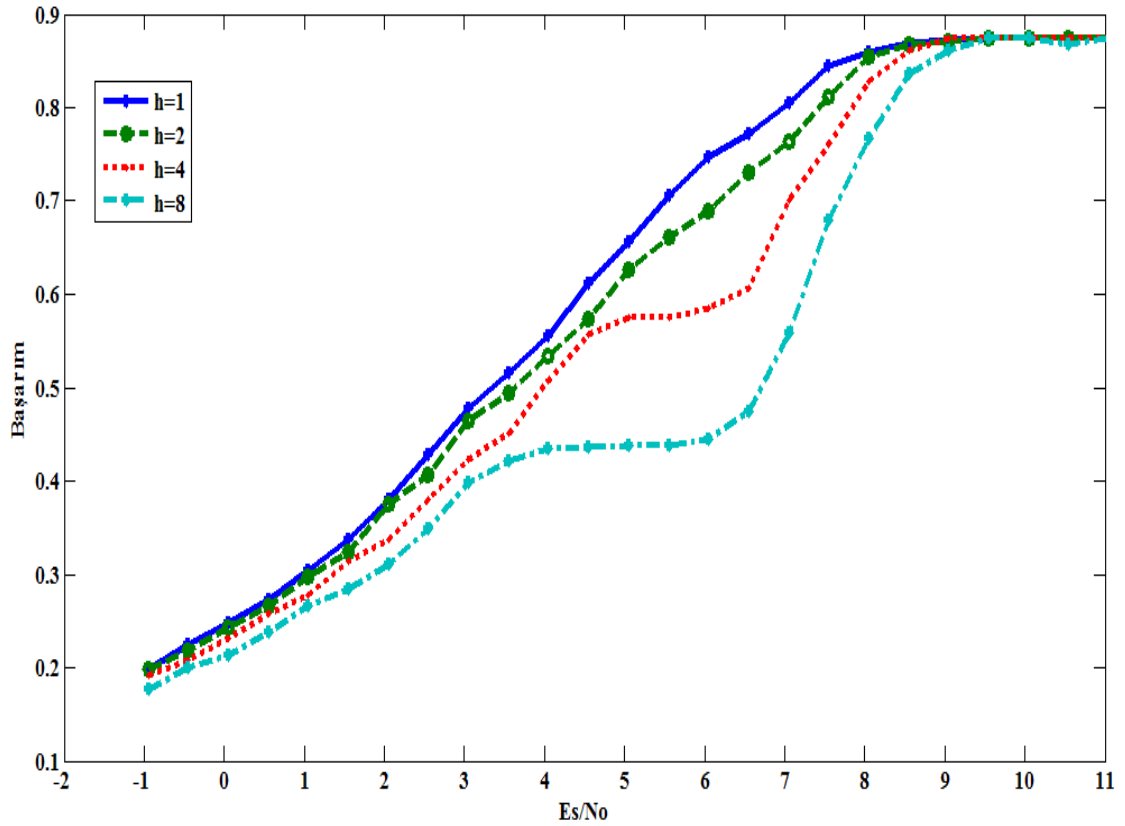
BPSK kullanılan ; “Gray” ve “Binary” kodlanmış kodların arasında fark yokken; QPSK kullanılan “Gray” ve “Binary” kodlanan kodların aynı başarımlardaki dB değerleri arasında “2” dB lik bir fark vardır. Aynı başarım değerinde 16 PSK’ in kullanıldığı “Gray ” ve “Binary” kodlanan kodların dB değerleri arasında ise yaklaşık “4”dB’ lik bir fark vardır. 64 PSK’ nın kullanıldığı “Gray ” ve “Binary” kodlanan kodların “0.25” lik başarım değerlerinde ise yaklaşık “6 dB” lik bir fark vardır ve “Gray” kodlama “Binary” kodlamaya göre daha başarılı çıkmıştır. “Gray” kodlama “Binary” kodlamaya göre daha başarılı çıkmıştır. Yani Modülasyon seviyesi arttıkça başarım düşmektedir ve “Gray” kodlama ile “Binary” kodlama arasındaki başarım farkında da önemli artış ortaya çıkmaktadır. Ayrıca Şekil 4.10’a bakıldığında QAM’de kullanılan “Gray” ve “Binary” aynı başarım değerlerinde dB değerleri arasındaki fark PSK’ da kullanılanlara göre hem daha azdır hem de PSK modülasyona göre daha başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22. Modülasyon kodlama türünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımları üzerine etkisi.

Şekil 4.23’de ise delme için kullanılan “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sistem başarımı üzerine etkisi gösterilmiş olup “h” değeri küçüldükçe sistem başarımının arttığı görülmüştür.

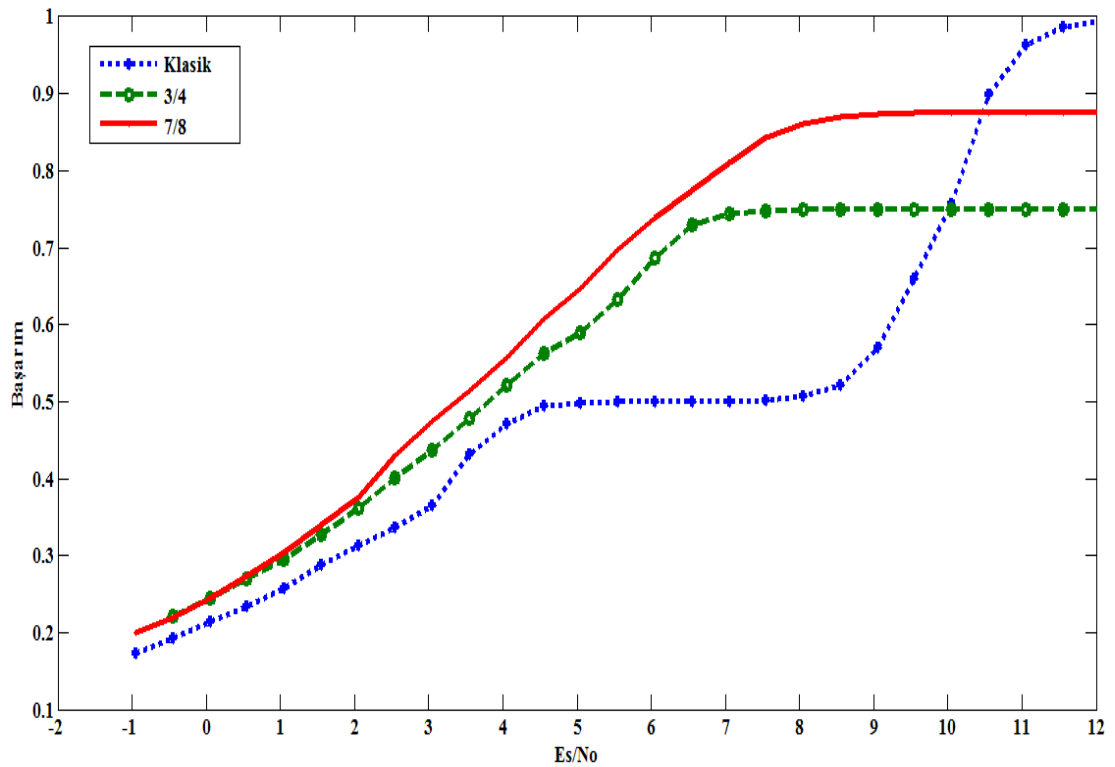
“-1” dB ile “3” dB aralığında aynı başarımlardaki E_s/N_0 değerleri arasında yaklaşık “0.02” lik bir başarımlık farkı varken “3” dB’den “9” dB’ye kadar başarımlar arasında önemli bir fark olduğu görülmüştür. En başarılı eğri “h=1” olurken en başarısız ise “h=8” de elde edilmiştir.



Şekil 4.23. “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Başlangıç kod oranlarının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sistem başarımı üzerine etkileri Şekil

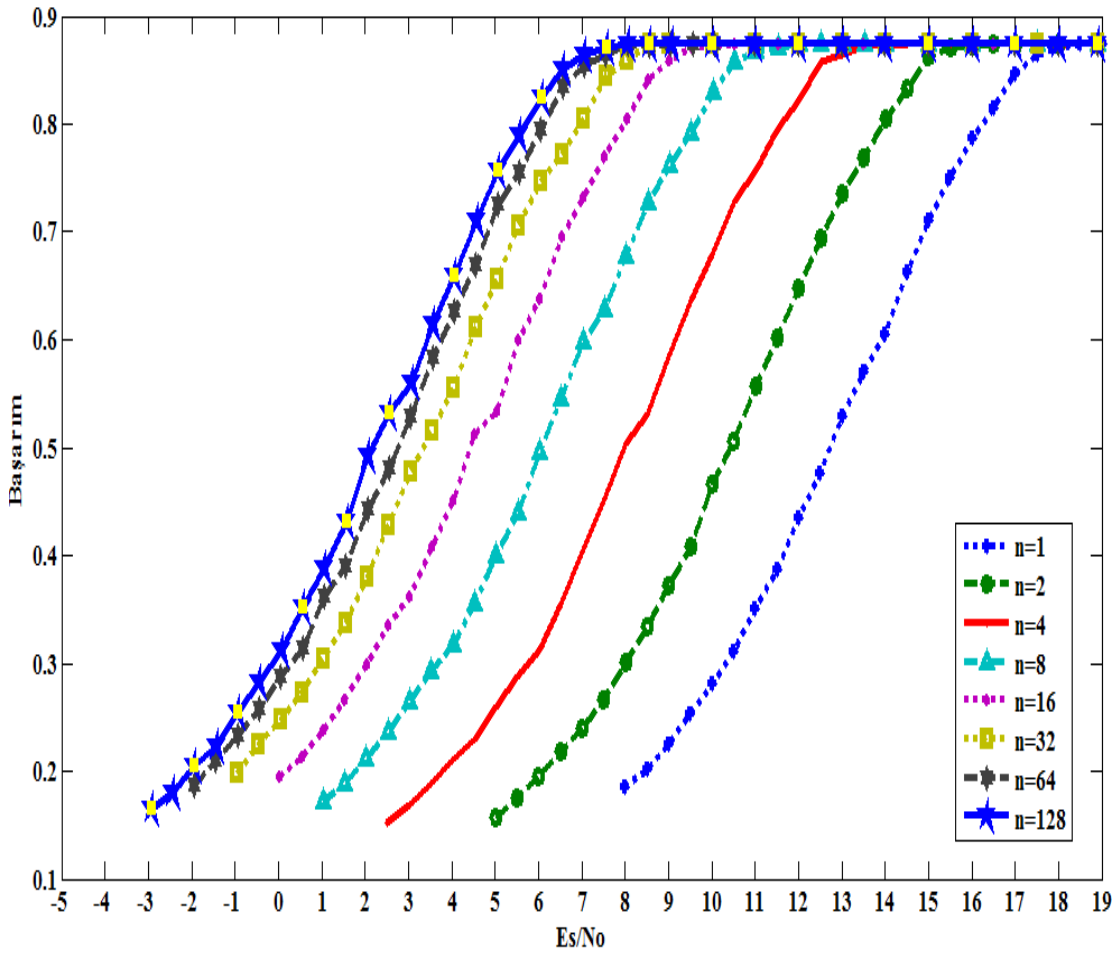
4.24 ile verilmiştir. Burada başlangıç kod oranına göre en yüksek başarımlar $7/8$ ' e aittir; klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin en düşük başarımlara sahip olduğu görülmüştür. “-1” dB ile “4” dB değerleri arasında bu sistemlerin başarımları arasındaki fark yaklaşık “0.05” kadar ve “ $7/8$ ” başlangıç kod oranına sahip sistem en başarılıdır; “4” dB ile “10,5” dB değerleri arasında bu sistemlerin başarımları arasındaki fark gittikçe artmaktadır ve “ $7/8$ ” başlangıç kod oranına sahip sistem başarılı olmaktadır. Ancak bu değerden sonra II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin en yüksek başarımlara sahip olduğu görülmüştür. Sonuçta genel olarak bakıldığında başlangıç kod oranı arttıkça sistem başarımının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.24. Başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

MC-CDMA’de kullanılan “n” CDMA matris boyutunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sistem

başarımı üzerine etkisi Şekil 4.25'te gösterilmiş olup sistem başarımıyla matris boyutunun doğru orantılı olduğu görülmüştür. Aynı başarımlardaki ardışık “n” uzunluklu kodların “Es/No” değerleri arasında “2” dB’ye kadar fark gözlenmiştir. “0.15” lik başarım değerinde “n=128” eğrisi “-3” dB’de iken “n=1” eğrisi “8” dB’ de olmakta ve aradaki yaklaşık fark “11” dB olmaktadır. Ayrıca aynı başarım değerinde ardışık “n” değerlerinin arasındaki Es/No değeri farkı “n” değerleri arttıkça azalmıştır.



Şekil 4.25. “n” CDMA matris boyutunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

4.2.7. Delinmiş Konvolosyon Kodlarıyla Kodlanmış II. Türden Karma ARQ Tekniğini Kullanan WPDM Tabanlı MC-CDMA Sisteminin Çeşitli Parametreler için Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin benzetim çalışmalarıyla ilgili bilgi verilecektir. Burada kullanılan parametreler Tablo 4.6.' da verilmiştir. Çalışmalarımızda diğer parametreler sabit kalıp tek bir parametreyi değiştirerek sistem performansı incelenmiştir.

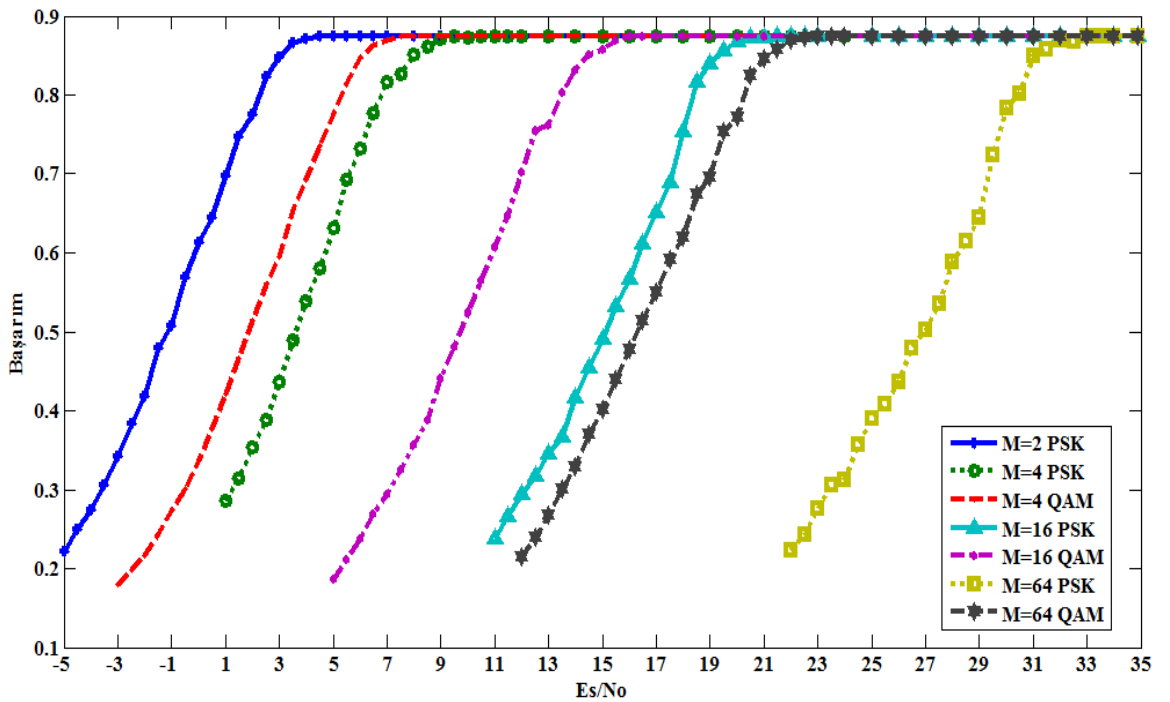
Ayrıca benzetim çalışmalarımız haberleşme kanalı olarak AWGN kanal seçilerek yapılmıştır.

Tablo 4.6. Delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler

Kod Uzunluğu	2672
Üreteç Polinomu	[133 171]
Alt Taşıyıcı Sayısı	128
Modülasyon Çeşidi	PSK
Modülasyon Seviyesi	BPSK
Modülasyondaki Kodlama Türü	Binary
Delme adım büyüklüğü (h) (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	h=1
Başlangıç Kod Oranı (Delinmiş Konvolosyon Kodu Kullanan ARQ için)	7/8
CDMA Matris Boyutu “n” (MC-CDMA için)	n=32

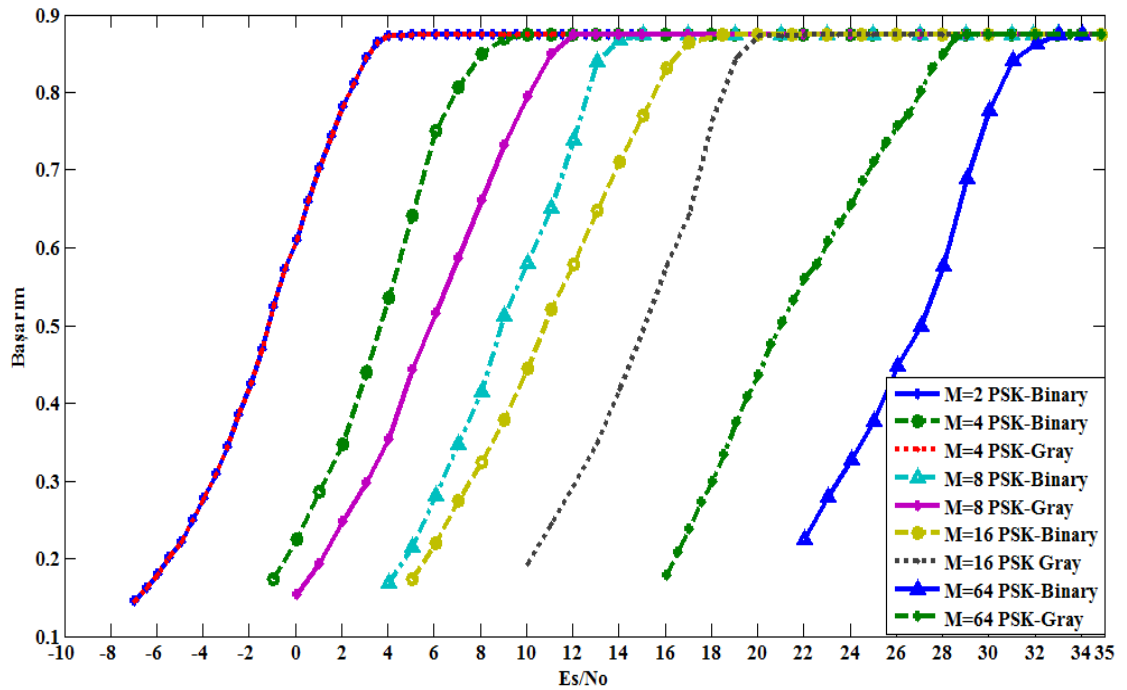
Şekil 4.26’da CDMA matris uzunluğu “n=1” seçilmiş olup modülasyon çeşidi ve seviyesinin delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımlarına etkisi gösterilmiştir. Burada modülasyon çeşidi olarak “PSK-QAM” , modülasyon seviyesi olarak “2-4-16-64” seçilmiştir. En yüksek başarımlar “BPSK” modülasyonlu sistemde görülürken;

en düşük başarımlar ise “64 PSK”lı sistemde görülmektedir. Ancak dikkat edilirse “M” modülasyon seviyesi değeri yükseldikçe başarımlar değeri ve düşük dB değerlerindeki dayanım azalmakta, “M” değeri düştükçe başarımlar ve dayanım artmaktadır. Ayrıca “QAM” modülasyon tekniğinin “PSK” modülasyon tekniğine göre çok daha yüksek başarımlar gösterdiği görülmüştür. “4 PSK” ve “4 QAM” modülasyon çeşitlerinin en yüksek başarımlar değerlerine bakılırsa sırasıyla “7” ve “5” dB olduğu görülmektedir. “16 PSK” ve “16 QAM” modülasyon çeşitlerinin en yüksek başarımlar değerlerine bakılırsa sırasıyla “20” ve “16” dB olduğu; “64 PSK” ve “64 QAM” modülasyon çeşitlerinin en yüksek başarımlar değerlerine bakılırsa sırasıyla “32” ve “22” dB olduğu görülmektedir. Aradaki “dB” değeri farkının modülasyon seviyesi arttıkça arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.21. ile karşılaştırıldığında daha yüksek başarımlar değerine sahip olduğu, çok daha düşük dB değerlerinde daha yüksek başarımlar gösterdiği gözlenmiş ve “PSK” ile “QAM” modülasyonunun aynı başarımlarındaki dB değerleri arasındaki farkın klasik MC-CDMA’dekinden daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4.26. Modülasyon çeşidi ve uzunluğunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımlarını üzerine etkisi.

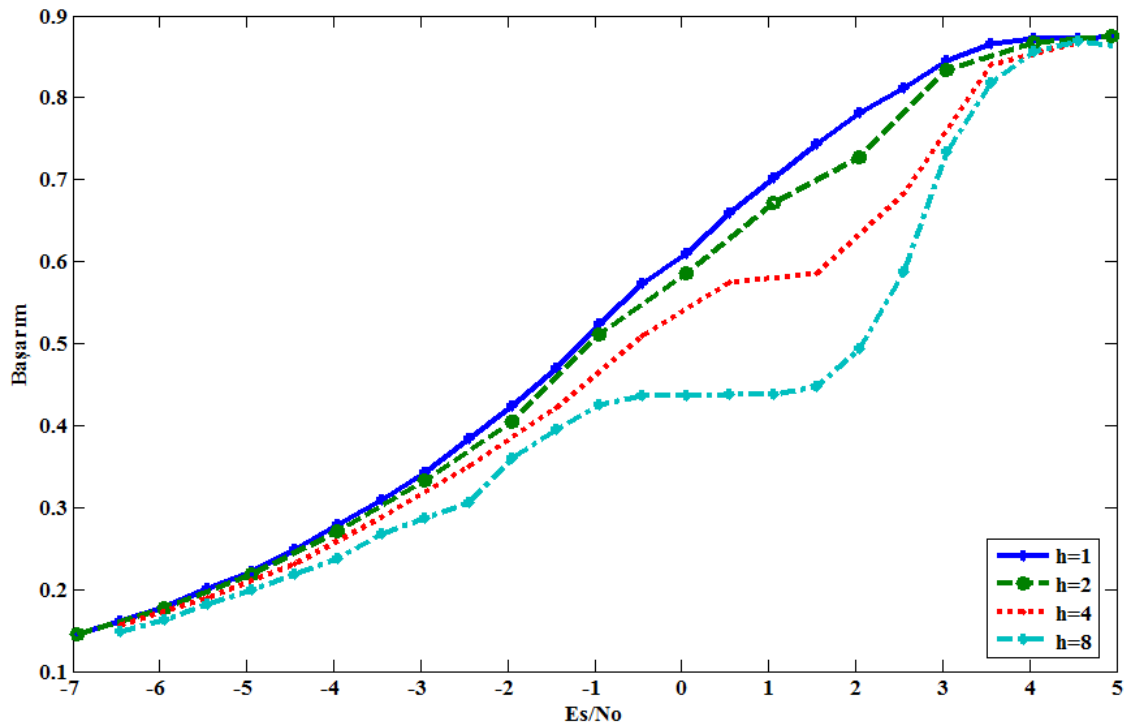
Şekil 4.27’ de hem kodlamanın bu sistem performansına etkisi hem de modülasyon seviyesinin delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin performansına etkisi gösterilmiştir. Burada modülasyonda kullanılan “Gray” kodlamanın “Binary” kodlamaya göre ve modülasyon seviyesi küçük olanın büyüğe göre daha başarılı olduğu görülmüştür. QPSK, 8 PSK, 16 PSK ve 64 PSK da kullanılan “Gray” ve “Binary” kodlanmış kodların aynı başarımlarında dB değerleri arasındaki farklar her biri için “4” dB olmaktadır. Hepsini için de “Gray” kodlama “Binary” kodlamaya göre daha başarılı çıkmıştır. Aynı “M” seviyesi yani modülasyon seviyesi arttıkça başarımlar düşmektedir ve “Gray” kodlama ile “Binary” kodlama arasındaki başarımlar farkında da önemli artış ortaya çıkmaktadır. Ayrıca Şekil 4.22 ile karşılaştırıldığında daha yüksek başarımlar değerine sahip olduğu, çok daha düşük dB değerlerinde daha yüksek başarımlar gösterdiği gözlenmiştir ve modülasyonda kullanılan “Gray” ve “Binary” kodlamaların aynı başarımlarındaki dB değerleri arasındaki farkın klasik MC-CDMA’dekinden daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4.27. Modülasyon kodlama türünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımları üzerine etkisi.

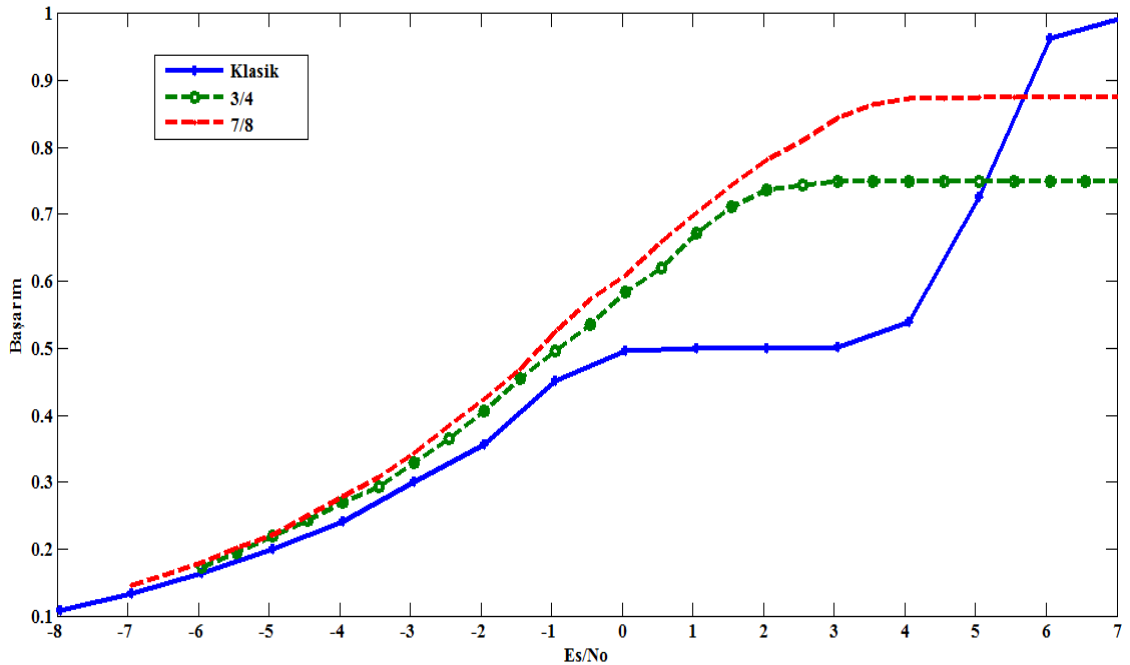
Şekil 4.28’de ise delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğinde delme için kullanılan “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi gösterilmiş olup “h” değeri küçüldükçe sistem başarımının arttığı görülmüştür.

“-7” dB ile “-1” dB aralığında aynı başarımlardaki E_s/N_0 değerleri arasında küçük bir fark varken “-1” dB’den “3” dB’ye kadar başarımlar arasında fark önemli ölçüde artmaktadır. “3” den büyük değerlerde hemen hemen aynı değere sahip olduğu görülmektedir. En başarılı eğri “h=1” olurken en başarısız ise “h=8” de elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 4.23 ile karşılaştırıldığında klasik MC-CDMA sistemine göre daha yüksek başarımla değerine sahip olduğu, çok daha düşük dB değerlerinde daha yüksek başarımla gösterdiği gözlenmiştir. Şekil 4.23’ deki başarımla eğrilerine benzer başarımla eğrileri elde edilmiştir.



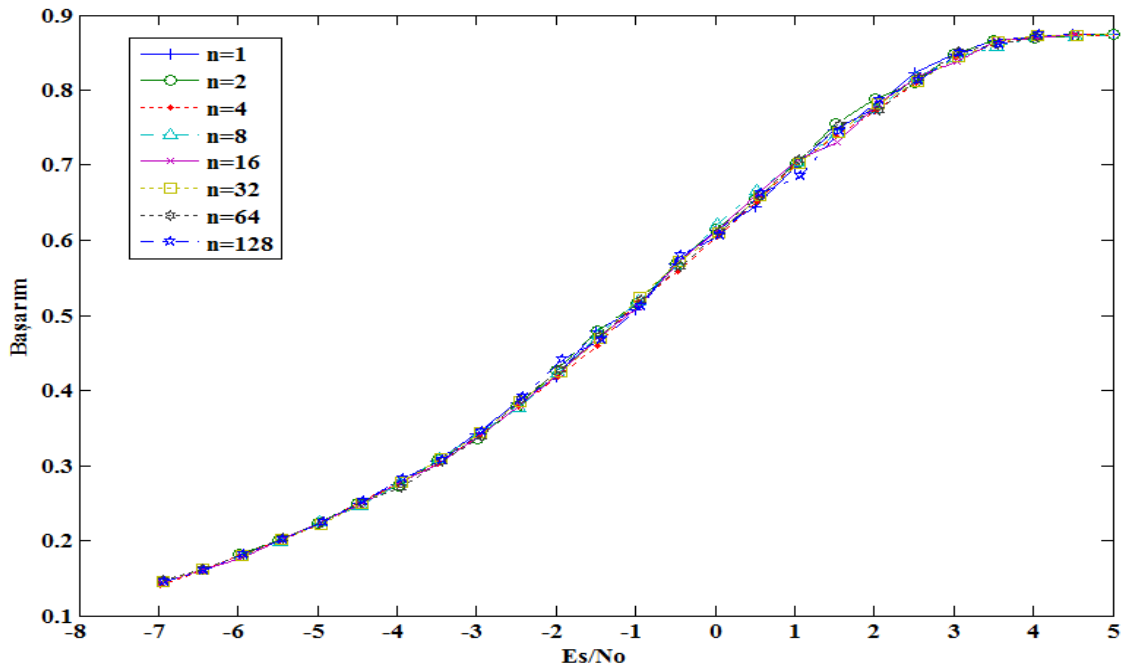
Şekil 4.28. “h” delme adım büyüklüğünün delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

Başlangıç kod oranlarının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi Şekil 4.29 ile verilmiştir. Burada başlangıç kod oranına göre en yüksek başarımlar $7/8$ ' e aittir; klasik II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniğinin en düşük başarıma sahip olduğu görülmüştür. “-8” dB ile “-1” dB değerleri arasında başarımların değerleri arasında yaklaşık “0.05” kadar bir fark görülürken ve “ $7/8$ ” başlangıç kod oranına sahip sistem başarılıyken; “-1” dB ile “5,5” dB değerleri arasında başarımların değerleri arasındaki fark gittikçe artmaktadır ve “ $7/8$ ” kod oranına sahip sistem en başarılı olmaktadır. Ancak bu değerden sonra klasik II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin en yüksek başarıma sahip olduğu görülmüştür. Yani başlangıç kod oranı arttıkça sistemin başarımının arttığı görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.24 ile karşılaştırıldığında daha yüksek başarımların değerine sahip olduğu, çok daha düşük dB değerlerinde daha yüksek başarımlar gösterdiği gözlenmiş ve benzer eğriler elde edilmiştir.



Şekil 4.29. Başlangıç kod oranının delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

MC-CDMA’de kullanılan “n ” CDMA matris boyutunun delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi Şekil 4.30’da gösterilmiş olup sistem başarımıyla matris boyutunun doğru orantılı olduğu görülmüştür. Şekilden de görüldüğü gibi klasik MC-CDMA den farklı olarak burada “n” değerlerindeki değişimin başarım üzerinde çok küçük etkisi vardır. Şekil 4.25.’e bakılırsa aynı başarımlardaki kodların “Es/No” değerleri arasında “2” dB’ye kadar değişim olmaktadır. “0.15” lik başarım değerinde “n=128” eğrisi “-3” dB’de iken “n=1” eğrisi “8” dB’ de olmakta ve aradaki yaklaşık fark “11” dB olmaktadır. Ayrıca aynı başarım değerinde ardışık “n” değerlerinin arasındaki Es/No değeri farkı “n” değerleri arttıkça azalmıştır. Ayrıca delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan MC-CDMA sisteminin daha yüksek başarım değerine sahip olduğu, çok daha düşük dB değerlerinde daha yüksek başarım gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 4.30. “n” CDMA matris boyutu delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniğini kullanan WPDM tabanlı MC-CDMA sisteminin başarımı üzerine etkisi.

5. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

OFDM ve MC -CDMA sistemlerinde, düşük SNR'a sahip ve derin sönümlü kanallarda alıcı ve verici arasında verinin doğru iletimi mümkün olamamaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için Otomatik Tekrar İsteği (ARQ) hata kontrol tekniğinin çok etkili bir yöntem olduğu gözlenmiştir.

OFDM ve MC-CDMA sistemlerinde verici ve alıcıda sırasıyla Ters Hızlı Fourier Dönüşüm (IFFT) ve Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT)' leri kullanılmıştır. Bunların yerine Ters Ayrık Dalgacık Dönüşüm (IDWT) ve Ayrık Dalgacık Dönüşüm (DWT) kullanılarak Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (WPDM) tabanlı sistemler elde edilmiştir.

Tezde; yukarıda belirtilen haberleşme sistemlerinde kullanılan farklı ARQ yöntemlerinin farklı parametrelerle performansları benzetim ortamında incelenmiştir.

Alt taşıyıcı sayısı, üretic polinomu büyüklüğü, başlangıç kod oranı, “n” CDMA kod matrisinin boyutu arttıkça ve ARQ için delme adım büyüklüğü “h”, kod uzunluğu, “M” modülasyon katsayısı azaldıkça sistem başarımlarının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca “Gray” kodlamanın “Binary” kodlamaya göre , “QAM” modülasyonun “ QPSK” modülasyona göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

ARQ yöntemlerinde ise kod birleştirmeli ARQ tekniklerinin kod birleştirmesizlere göre; II. türden karma ARQ' ların I. türden ARQ tekniklerine göre; delinmiş konvolosyon kodlarıyla kodlanmış II. türden karma ARQ tekniklerinin ise II. türden kod birleştirmeli karma ARQ tekniklerine göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Kullanılan haberleşme sistemlerinde ise Dalgacık Paket Bölmeli Çoğullama (WPDM)' lı yapıların Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)' li sistemlere göre; Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA)'li yapıların Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı (OFDM)' li sistemlere göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir. Burada seçilen sistemin hangi SNR' de çalıştırılacağı, kanalın durumu, sistem maliyeti, band genişliği vs. göz önünde bulundurularak seçim yapılması gerekir. Yani eğer güvenlik ve çok kullanıcı bir iletim söz konusu değilse kayıpsız ve yüksek SNR li bir kanal için MC - CDMA kullanılması gerekmeyecektir.

Seçilen ARQ tekniklerinde kullanılan kanalın çalışılacak SNR aralığı göz önünde bulundurularak seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Örneğin bazı sistemlerde düşük SNR değerlerinde kod birleştirmeli ARQ teknikleri yüksek başarımlı gösterirken; yüksek SNR değerlerinde daha düşük başarımlı göstermiştir. Bunun nedeni gereksiz kod kullanımından kaynaklanmaktadır. Kanal durumu göz önünde bulundurularak seçim yapıldığında hem daha az tampon kullanılarak sistem yapısı basitleştirilecek, hem maliyet azalacak, hem de kullanılan band genişliği azalacaktır.

Ayrıca kullanılacak kod uzunluğu, alt taşıyıcı sayısı, üreteç polinomu büyüklüğü, modülasyon seviyesi, modülasyon tekniği, modülasyonda kullanılacak kodlama tekniği, delme işleminde kullanılacak "h" adım büyüklüğü, kullanılacak başlangıç kod oranı, MC-CDMA için kullanılacak "n" matris boyutu da uygun biçim de seçilmelidir. Çünkü haberleşme için hatasız iletim önemli olduğu kadar band genişliğinin verimli bir şekilde kullanılması da önemlidir. Ancak yukarıda belirtilen parametreleri en ideal olacak şekilde almak da sistemi maliyetli ve karmaşık hale getirebilir. O nedenle kullanılacak sisteme uygun parametreler seçilmelidir.

Daha sonraki çalışmalarda; kullanılan ARQ teknikleri işbirlikli haberleşme (cooperative), bilişsel (cognitive) haberleşme, MIMO (çok girişli çok çıkışlı) haberleşme sistemlerine de uyarlanabilir. Haberleşme kanalı olarak AWGN kanal yerine Rician, Rayleigh, Nakagami -m vs. kanallar da kullanılabilir. Ayrıca dalgacık dönüşümünün farklı yapıları karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Nee R. V., and Prasad R., **OFDM for Wireless Multimedia Communications**, Artech House, London, Publishers, 2000.
2. Lin S. , Costello D. and Miller M. , **Automatic-repeat-request error-control schemes**, IEEE Communications Magazine, vol. 22, pp. 5 - 17, 1984.
3. Kallel S. and Haccoun D., **Generalized type-II hybrid ARQ scheme using punctured convolutional coding**, IEEE Trans. on Communications, vol. 38, no. 11, pp. 1938-1946, November 1990.
4. Amat A.G., Jimenez B.B. M.O. Riera and, **A novel ARQ protocol for IEEE802.11a based on rate-compatible codes**, Proc. of the IEEE 60th Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC 2004- Fall), vol.5, pp. 3219-3223, 2004
5. Pai H.T., Han Y.S. and Chu Y.J., **New HARQ scheme based on decoding of tail-biting convolutional codes in IEEE 802.16e**, IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol.60, no.3, pp. 912-918, March 2011.
6. Garg D. and Adachi F. , **Rate compatible punctured turbo-coded hybrid ARQ for OFDM in a frequency selective fading channel**, Proc. of the 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC 2003- Spring), vol. 4, pp. 2725- 2729, 2003.
7. [Amoako K. O., Nooshabadi S. and Yuan J., Turbo punctured hybrid-ARQ strategies over OFDM systems, Proc. of the 2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems in Joint with the Conference on Ultrawideband Systems and Technologies, pp 212-216, 2004..](#)
8. [Liu F. and Chen L., Space-time-frequency diversity hybrid ARQ for MIMO-OFDM systems, Proc. of the 10th IEEE International Conference on Communication systems, pp 1-5, 2006.](#)

9. Liu S., Zhang X. and Wang W., **Analysis of modulation and coding scheme selection in MIMO-OFDM systems**, Proc. of the First International Conference on Communications and Electronics, pp. 240-245, 2006.
10. Chen X., Fei Z., Kuang J., Sun W. and Wan L., **The application of the MI-based link quality model for link adaptation of rate compatible LDPC codes**, Proc. of the IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC 2008- Spring), pp. 754-758, 2008.
11. Kallel S., **Analysis of a type II hybrid ARQ scheme with code combining**, IEEE Tran. on Communications , vol. 38, pp. 1133-1337, 1990.
12. Jamin A. and Mahonen P., **Wavelet packet based modulation for wireless communications**, Wireless Communications and Mobile Computing Journal, vol. 5, no. 2, pp. 123-137, 2005.
13. Okamoto E., Iwanami Y., Ikegami T., **Multimode transmission using wavelet packet modulation and OFDM** , Proc. of the IEEE 58th Vehicular Technology Conference, vol.3, pp. 1458- 1462, 2003.
14. Naveen V. J., Krishna K. M. and Rajeswari K. R., **Performance analysis of MC-CDMA and OFDM in wireless Rayleigh channel**, International Journal of Advanced Science and Technology, vol. 25, pp. 17-30, December, 2010.
15. Sivanesskumar S. and Sukanesh S., **Performance analysis of multi-carrier code division multiple access system under clipping noise**, European Journal of Scientific Research, vol.38, no.4 , pp 590-595, 2009.
16. Garg D. and Adachi F., **Application of rate compatible punctured turbo coded hybrid ARQ to MC_CDMA mobile radio**, ETRI Journal, volume 26, no. 5, pp. 405-412, October 2004.
17. Fuduka K. and Nakajima A., **Throughput performance of MC-CDMA HARQ using ICI cancellation**, IEICE Trans. Commun., vol. E92-B, no.2, pp. 491-498, February 2009.
18. Miyoshi K., Matsumoto A., Wengeter C., Usesusi M. and Homma K.,

- Enhanced hybrid ARQ techniques for MC-CDMA, Electronics and Communications in Japan, part 2, vol. 90, no. 10, pp. 60-72, 2007.**
19. Choi W, , Kim D. I., and Kim B.H., **Adaptive Multi-Node Incremental Relaying for Hybrid-ARQ in AF Relay Networks**, IEEE Transactions On Wireless Communications, Vol. 9, No. 2, pp. 505-511, February 2010.
 20. Park I, Lee H. and Kim T.Matyjas. J. D., **The Performance Analysis of Hybrid ARQ-II for Cooperative Communication over Wireless Channels**, IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, pp. 402-407, 2010.
 21. Dehnie S. and Tornasin S., **Detection of Selfish Nodes in Networks Using CoopMAC Protocol with ARQ**, IEEE Transactions On Wireless Communications, Vol. 9, NO. 7, pp. 2328-2337, July 2010
 22. Stanojev I., Simeone O., Spagnolini U., Ness Y. B. and Pickholtz R. L., **Cooperative ARQ via Auction-Based Spectrum Leasing**, IEEE Transactions On Communications, VOL. 58, NO. 6, June , 2010
 23. Boujemia H., **Optimal Transmission Policy of Truncated Cooperative ARQ protocols using Opportunistic Amplify and Forward Relaying**, 2009 International Conference on Signals, Circuits and Systems, 2009.
 24. Mahinthan V., **Cross-Layer Performance Study of Cooperative Diversity System With ARQ**, IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 58, No. 2, pp. 705-719, February 2009
 25. Culver S., Gidlund M. and Wang G., **Performance of Cooperative Relaying with ARQ in Wireless Sensor Networks**, 2009 IEEE 34th Conference on Local Computer Networks (LCN 2009) Zürich, Switzerland; pp. 317-319, 20-23 October 2009.
 26. Yang K. and Xu J. ' **Improved Hybrid ARQ Scheme Using Adaptive Modulation In Cooperative Relay Networks**', pp. 712-715, Proceedings of ICCTA2009.
 27. Alcaraz J. J. and Haro J. G. ' **Performance of Single-Relay Cooperative ARQ Retransmission Strategies**', IEEE Communications Letters, Vol. 13, NO. 2, pp. 12-123, February 2009.
 28. Azarian K., Gamal H. E. And Schniter P., ' **On the Optimality of the ARQ-**

- DDF Protocol**', IEEE Transactions On Information Theory, Vol. 54, No. 4, pp. 1718-1724, April 2008
29. Narasimhan R., ' **Delay-Limited Throughput of Cooperative Multiple Access Channels with Hybrid-ARQ**', ISIT 2008, Toronto, Canada, pp. 409-412, July 6 - 11, 2008
 30. Pozo M. J., Trullols O., Barcelo J. M., Vidal J. G., ' **A Cooperative ARQ for Delay-Tolerant Vehicular Networks**' The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, IEEE Computer Society, pp.192-197, 2008.
 31. Dai L. and Letaief K. B. ' **Throughput Maximization of Ad-hoc Wireless Networks Using Adaptive Cooperative Diversity and Truncated ARQ**', IEEE Transactions On Communications, Vol. 56, No. 11, pp. 1907-1918, November 2008
 32. Cerutti I., Fumagalli A. and Gupta P., ' **Delay Models of Single-Source Single-Relay Cooperative ARQ Protocols in Slotted Radio Networks With Poisson Frame Arrivals**', IEEE/ACM Transactions On Networking, Vol. 16, No. 2, pp., 371-382, April 2008
 33. Chiu H. L. and Wu S. H. ' **Cooperative ARQ for Distributed Space-Time Coding: the Diversity-Multiplexing-Delay Tradeoff**', International Symposium on Information Theory and its Applications, ISITA2008, Auckland, New Zealand, 7-10, December, 2008.
 34. Levorato M. Tomasin S. Zorzi M. ' **Cooperative Spatial Multiplexing for Ad Hoc Networks with Hybrid ARQ: System Design and Performance Analysis**', IEEE Transactions On Communications, Vol. 56, No. 9, pp. 1545-1555, September 2008
 35. Mardani M., Eliasi B., Lahouti F. and Harsini J. S. ' **Blockage Mitigation in Adaptive Rate Land Mobile Satellite Links Using Cooperative ARQ**', 2008 International Symposium on Telecommunications, pp. 707-712, 2008.
 36. Tacca M., Monti P. and Fumagalli A., ' **Cooperative and Reliable ARQ Protocols for Energy Harvesting Wireless Sensor Nodes**', IEEE Transactions On Wireless Communications, Vol. 6, No. 7, pp. 2519-2529, July 2007

37. Kobravi A. and Bahaei M. S., '**Cross-Layer Adaptive ARQ and Modulation Tradeoffs**', The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'07), 2007
38. Austin A. Vidal J., Calvo E. and Mufioz O., '**Evaluation of Turbo H-ARQ Schemes for Cooperative MIMO Transmission**' , 2004 International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks, pp. 20-24, 2004.
39. Jeon S. Y. And Cho D. H., '**An ARQ Mechanism Considering Resource and Traffic Priorities in Cognitive Radio Systems**', IEEE Communications Letters, Vol. 13, No. 7, pp. 504-506, July 2009
40. Neckebroek J., Bruneel H. And Moeneclaey M., '**Application Layer ARQ for Protecting Video Packets over an Indoor MIMO-OFDM Link with Correlated Block Fading**', IEEE Journal On Selected Areas In Communications, Vol. 28, No. 3, pp. 667-675, April 2010
41. Lee J., Lou H. L., Toumpakari, Jang E. W. and Cioffi J.M., '**Transceiver Design for MIMO Wireless Systems Incorporating Hybrid ARQ**' Advances In Signal Processing For Communications, IEEE Communications Magazine, pp. 32-40, January 2009.
42. Guo X., Ji X. Peng M. and Wang W., '**A Novel Virtual Hybrid Arq Mechanism For Multi-Cell Mbms Transmission In Wireless Network**' , Proceedings of ICCTA2009, pp 702-706, 2009.
43. Pawar S. A., Kumar K. R. Elia P., Kumar P. V. And Sethuraman B.A. '**Space-Time Codes Achieving the DMD Tradeoff of the MIMO-ARQ Channel**', IEEE Transactions On Information Theory, Vol. 55, No. 7, 3301-3314, July 2009.
44. Neckebroek J., Bruneel H. and Moeneclaey M., '**Application Layer ARQ for Protecting Video Packets over an Indoor MIMO-OFDM Link with Correlated Block Fading**', IEEE Journal On Selected Areas In Communications, Vol. 28, No. 3, 667-675, April 2010
45. Jang E. W., Lee J. Song L. and Cioffi J. M., '**An Efficient Symbol-Level Combining Scheme for MIMO Systems with Hybrid ARQ**', IEEE Transactions On Wireless Communications, Vol. 8, No. 5, pp. 2443-2451, May 2009

46. Faqih M. A., Nsiri B., Adib A., Aboutajdine D. and Saoudi S., '**A new Hybrid ARQ Scheme based on Blind Separation Sources over MIMO System in Multipaths Radio Fading Channel**', 2009 International Conference on Microelectronics, pp. 268-271, 2009.
47. Glover I., Grant P., **Digital Communications**, Prentice Hall, 1997.
48. Akkaya S. and Taşpınar N., "**Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) Sistemlerinde Konvolüsyon Kodlarını Kullanan II. Türden Kod Birleştirmeli Karma SR ARQ Protokolü**", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, pp: 376-381. (2011).
49. Akkaya S. and Taşpınar N., "**Generalized Type- II Hybrid SR ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding and Code Combining Technique in Wavelet Packet Division Multiplexing (WPDM)**", Proceeding of the 2. World Conference on Information Technology (WCIT), Antalya, Procedia Computer Science, ID:8775, sequence number: 423,(2011).
50. Taşpınar N. and Akkaya S., "**Generalized Type- II Hybrid SR-ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding and Code Combining Technique in Multi- Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) Systems**", Proceeding of the Elektro 2012 Conference, Slovakia, pp 378-381 (2012).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Sıtkı AKKAYA

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 25 Mayıs 1987, Hınıs

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: + 90-354-242-1001

Fax: + 90-354-242-1005

email: sitki.akkaya@gmail.com

Yazışma Adresi: Bozok Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Merkez/YOZGAT

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	---
Lisans	EÜ Mühendislik Fak. Elektrik Elektronik Müh.	2009
Lise	TED Kayseri Koleji (Burslu)	2005

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2009- Halen	Bozok Üniversitesi Müh. Mim Fak. Elektrik Elektronik Müh.	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce , Almanca

DERECELER

ÜDS- 61,25

ALES- 90.204

ULUSLARARASI KONFERANSLAR

1. Taşpınar N. and Akkaya S., "Generalized Type- II Hybrid SR-ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding and Code Combining Technique in Multi- Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) Systems", Proceeding of Elektro 2012 Conference, Slovakia, pp 378-381 (2012).

2. Akkaya S. and Taşpınar N., "Generalized Type- II Hybrid SR ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding and Code Combining Technique in Wavelet Packet Division Multiplexing (WPDM)", Proceeding of 2. World Conference on Information Technology (WCIT), Antalya, Procedia Computer Science, ID:8775, sequence number: 423,(2011).

3. Akkaya S. and Taşpınar N., “Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) Sistemlerinde Konvolüsyon Kodlarını Kullanan II. Türden Kod Birleştirmeli Karma SR ARQ Protokolü”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, pp: 376-381. (2011).

PROJELER

1. Araştırmacı, TEZ PROJESİ, YÜKSEK LİSANS, FBY-10-3384, Kablosuz Haberleşmede Kullanılan Karma ARQ Sistemleri.