

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

**ÇOK TAŞIYICILI KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM
(MC-CDMA) SİSTEMLERİNDE TEPE GÜCÜ / ORTALAMA
GÜÇ ORANININ YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE
DÜŞÜRÜLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Mahmut YILDIRIM**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2009
KAYSERİ**

Prof.Dr.Necmi TAŞPINAR danışmanlığında **Mahmut YILDIRIM** tarafından hazırlanan “Çok taşıyıcılı kod bölmeli çoklu erişim (MC-CDMA) sistemlerinde tepe gücü / ortalama güç oranının yapay zeka teknikleri ile düşürülmesi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

02/ 07 /2009

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Üye : Doç.Dr. Nurhan KARABOĞA

Üye : Doç.Dr. Celal YILDIZ

Necmi Taşpınar
Nurhan Karaboğa
Celal Yıldız

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 21/07/2009.. tarih ve 2009/23-13 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

21.../07/2009



N. Ayyıldız
Prof.Dr.Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Çok Taşıyıcı Kod Bölmeli Çoklu Erişim” konulu tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında en büyük yardımı gördüğüm değerli hocam Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR’a teşekkür ederim.

Yapılan çalışmalarda her türlü yardımı yapan ve yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Derviş Karaboğa’ya ve Arş. Gör. Bahriye Akay’a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca en büyük maddi ve manevi desteği gördüğüm anneme ve babama teşekkür ederim.

**ÇOK TAŞIYICILI KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (MC-CDMA)
SİSTEMLERİNDE TEPE GÜCÜ/ORTALAMA GÜÇ ORANININ YAPAY ZEKA
TEKNİKLERİ İLE DÜŞÜRÜLMESİ**

Mahmut YILDIRIM
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2009
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Necmi Taşpınar

ÖZET

Çok taşıyıcılı kod bölmeli çoklu erişim (MC-CDMA) kablosuz haberleşme tekniği, günümüzde araştırmacılar tarafından üzerinde çok fazla durulmaktadır. MC-CDMA, yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinin gerektirdiği yüksek veri hızında güvenli iletişim sağlar. Kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) ve dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) sistemlerinin bir araya gelmesinden oluşan MC-CDMA, birçok avantaja sahip olmasına karşın en büyük dezavantajlarından bir tanesi işaretlerinin yüksek tepe gücü/ortalama güç oranına (PAPR) sahip olmasıdır. İşaretlerin yüksek PAPR değeri, MC-CDMA sisteminin performansını önemli ölçüde düşürmektedir. MC-CDMA işaretlerinin kuvvetlendirilmesinde kullanılan yüksek güç kuvvetlendiricisi (HPA), doğrusal olmayan etkilerinden dolayı özellikle yüksek PAPR değerine sahip olan işaretlerin bozulmalarına neden olur.

MC-CDMA işaretlerinin PAPR değerlerini düşürmek için literatürde yer alan kırpma, ton ekleme, aktif grup genişletme (ACE), seçici eşleme (SLM) ve kısmi iletim dizisi (PTS) klasik yöntemlerinin yanı sıra yapay arı kolonisi (ABC) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri de kullanılmıştır. ABC algoritması PTS yöntemi ile birlikte kullanılırken YSA ton ekleme yöntemi ile birlikte kullanılmıştır.

PAPR düşürme teknikleri uygulandıktan sonra MC-CDMA sisteminin performansı iki kritere göre değerlendirilmiştir. Birincisi işaretlerin PAPR değerlerinin tümleyici kümülatif dağılım fonksiyonu (CCDF) ile değişim performansdır. İkincisi HPA ve doğrusal kuvvetlendirici kullanılması durumlarında işaretlerin bit hata oranı (BER) performansdır.

Anahtar Sözcükler: Çok taşıyıcılı kod bölmeli çoklu erişim, tepe gücü/ortalama güç oranı, yapay arı kolonisi algoritması

**PEAK-TO-AVERAGE POWER RATIO REDUCTION BY ARTIFICIAL
INTELLIGENT TECHNIQUES IN MULTICARRIER CODE DIVISION
MULTIPLE ACCESS (MC-CDMA) SYSTEMS**

Mahmut YILDIRIM
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Science
M.Sc. Thesis, July 2009
Thesis Supervisor : Prof. Dr. Necmi Taşpınar

ABSTRACT

MC-CDMA wireless communication technique is recently emphasized by researchers. MC-CDMA provides secure data transmission at high speeds in today's new generation wireless communication systems. One of the biggest disadvantages of MC-CDMA, which combines OFDM and CDMA is having high PAPR ratio. This results in a decrease in MC-CDMA performance. The HPA systems that are used to amplify the MC-CDMA signals result in distortions in high PAPR ratio signals.

clipping, tone injection (TI), active constellation extension (ACE), selective mapping (SLM) and partial transmit sequence (PTS) are used in these in order to decrease the PAPR value in MC-CDMA systems. In addition to these methods artificial bee colony (ABC) and artificial neural networks (ANN) are used in these in order to decrease the PAPR value. ABC is used with PTS and YSA is used with tone injection.

After deploying PAPR decreasing techniques, the performance of MC-CDMA is evaluated in two criteria. First is the CCDF deviation performance of PAPR values, and the second is BER performance while HPA and linear amplifier is used.

Key Words: Multicarrier code division multiple access, peak-to-average power ratio, artificial bee colony algorithm

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	I
TEŞEKKÜR	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	XIII
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	
1.1. Tezin Literatürdeki Yeri	1
1.2. Tezin Amacı	2
2. BÖLÜM	
SİSTEM MODELİ	
2.1. Giriş	4
2.2. MC-CDMA Verici ve Alıcı Birimi	5
2.3. PAPR Düşürme Teknikleri	8
2.3.1. MC-CDMA İşaretlerinin PAPR Problemi	8
2.3.2. Kırpma Yöntemi	9
2.3.3. Aktif Grup Genişletme (ACE) Yöntemi	10
2.3.4. Ton Ekleme Yöntemi	10
2.3.5. Seçici Eşleme (SLM) Yöntemi	12
2.3.6. Kısmi İletim Dizileri (PTS) Yöntemi	13

2.4.	Yüksek Güç Kuvvetlendirici (HPA)	14
2.4.1.	TWTA Modeli	15
2.4.2.	SSPA Modeli	17
3. BÖLÜM		
PAPR DÜŞÜRMEK İÇİN KULLANILAN YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ		
3.1.	Yapay Sinir Ağları	19
3.1.1.	Giriş	19
3.1.2.	Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	19
3.1.3.	İşlemci Eleman	20
3.1.4.	YSA'ların Sınıflandırılması	21
3.1.4.1.	Geri Yayılım Algoritması	22
3.2.	Yapay Arı Kolonisi (ABC)	22
3.2.1.	Giriş	22
3.2.2.	Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması	23
4. BÖLÜM		
SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI		
4.1.	Giriş	27
4.2.	Simülasyon Sonuçları	30
4.2.1.	Sistem Parametrelerinin MC-CDMA Sistemi için PAPR-CCDF ve BER-SNR Performanslarına Etkisi	30
4.2.2.	Yüksek Güç Kuvvetlendiricinin (HPA), AWGN kanal Tipinde MC-CDMA Sistemi Üzerine Etkisi	36
4.2.3.	Klasik PAPR Düşürme Tekniklerinin Performanslarının Değerlendirilmesi	39

4.2.4. PAPR Değerini Düşürmek için Kullanılan Yapay Zeka Tekniklerinin Performanslarının Değerlendirilmesi	45
5. BÖLÜM	
SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Tez çalışmasında kullanılan sistem modelinin blok gösterimi.	4
Şekil 2.2.	MC-CDMA verici sistemi blok modeli.	5
Şekil 2.3.	Temel MC-CDMA verici sistem modeli iç yapısı.	7
Şekil 2.4.	Temel MC-CDMA alıcı sistem modeli iç yapısı.	7
Şekil 2.5.	Temel MC-CDMA işaretinin yapısı.	9
Şekil 2.6.	MC-CDMA işaretinin kırılması.	9
Şekil 2.7.	ACE yöntemi için QAM işaretlerinin genişleme aralığı	10
Şekil 2.8.	Ton ekleme yönteminde sinyallerin genişleme noktaları.	11
Şekil 2.9.	SLM yönteminin blok gösterimi.	12
Şekil 2.10.	PTS yönteminin blok gösterimi.	13
Şekil 2.11.	HPA blok modeli.	15
Şekil 2.12.	TWTA modelinde giriş işaretine karşın çıkış işaretinin değişimi.	16
Şekil 2.13.	SSPA'nın p değerine bağlı normalize giriş-çıkış genlik eğrileri.	17
Şekil 3.1.	Bir işlemci Elemanının (Nöron) Temel Yapısı	20
Şekil 3.2.	YSA' larda En Çok Tercih Edilen Transfer Fonksiyonları. (a) Sigmoid, (b) Keskin Sınırlayıcı, (c) Doğrusal (d) Hiperbolik Tanjant	21
Şekil 4.1.	Simülasyonlarda kullanılan sistem modeli.	29
Şekil 4.2.	Farklı kullanıcı sayılarındaki ÇT-KBÇE sisteminin PAPR-CCDF değişimi.	21
Şekil 4.3.	Farklı kullanıcı sayılarına sahip MC-CDMA sistemi için AWGN kanal tipinde SNR'ye göre BER değişimi.	32
Şekil 4.4.	Farklı alt-taşıyıcı sayılarındaki MC-CDMA sisteminin PAPR-CCDF değişimi.	33

Şekil 4.5.	Farklı yayma faktörlerini kullanan MC-CDMA sistemi için AWGN kanal tipinde SNR'ye göre BER değişimi.	34
Şekil 4.6.	Farklı yayma kodlarını kullanan MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.	35
Şekil 4.7.	Farklı yayma kodlarını kullanan MC-CDMA sisteminde PAPR-CCDF değişimi.	35
Şekil 4.8.	Değişik modülasyon tipleri kullanan MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.	36
Şekil 4.9.	SSPA'nın 8 kullanıcı MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.	38
Şekil 4.10.	SSPA'nın 16 kullanıcı MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.	38
Şekil 4.11.	SSPA'nın 32 kullanıcı MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.	39
Şekil 4.12.	Kırpma metodu ile 3, 6 ve 8 dB tepe gücüne oranla kırpma uygulandığında MC-CDMA sistemi için PAPR-CCDF değişimi.	40
Şekil 4.13.	ACE metodunun MC-CDMA işareti için PAPR-CCDF değişimi.	40
Şekil 4.14.	SLM metodunun MC-CDMA işaretlerinin değişik kopyalama Sayılarındaki PAPR-CCDF değişimi.	41
Şekil 4.15.	Ton ekleme metodunun değişik iterasyonlardaki MC-CDMA sistemi için PAPR-CCDF değişimi.	42
Şekil 4.16.	Klasik PTS yöntemi için değişik faz çarpanı (W) ve alt-blok (V) sayılarında MC-CDMA işaretlerinin PAPR-CCDF değişimi.	43
Şekil 4.17.	Klasik PTS için MC-CDMA işaretlerinin SSPA kullanılması durumunda AWGN kanal tipinde SNR'ye göre BER değişimi.	44

- Şekil 4.18. ABC tabanlı PTS algoritması için değişik iterasyonlarda MC-CDMA işaretinin PAPR-CCDF değişimi. 46
- Şekil 4.19. ABC tabanlı PTS optimizasyonu ve rastgele araştırma yöntemini kullanan klasik PTS optimizasyonu için değişik iterasyonlarda PAPR-CCDF değişimi. 46
- Şekil 4.20. ABC tabanlı PTS algoritması için MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması ABC tabanlı PTS algoritması için MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması. 48
- Şekil 4.21. YSA tabanlı ton ekleme yöntemi ile değişik iterasyonlardaki klasik ton ekleme yönteminin PAPR-CCDF değişimi. 49
- Şekil 4.22. YSA tabanlı ton ekleme yöntemi için MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması durumunda AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi. 56

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Tezin Literatürdeki Yeri

Çağımızda yüksek veri hızı ile birlikte güvenli iletişime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaca cevap verebilmek için aynı frekans ve zaman dilimlerini kullanan birden fazla kullanıcı verilerinin iletilebildiği çoğullama yöntemleri geliştirilmiştir [1–6]. Araştırmacılar arasında en fazla ilgi çeken yöntemlerden bir tanesi Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) modülasyon tekniğidir [1, 2].

Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) [6–12] ve Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) [13–15] tekniklerinin birleşiminden oluşan MC-CDMA sistemi, her iki sistemin avantajlarına ve dezavantajlarına sahiptir. MC-CDMA sisteminin temel avantajları, aynı frekans aralığında ve aynı zaman diliminde kullanıcı verilerinin yüksek doğruluk ile iletilebilmesi, haberleşme kanallarından kaynaklanan çeşitli bozucu etkilere karşı dayanıklılık, mevcut frekans bandının verimli şekilde kullanılması ve simgeler arası girişimden (ISI) kaynaklanan işaretlerin sönmelenmesinin yok edilmesidir. Çeşitli avantajlarının yanı sıra bu tez çalışmasının da konusu olan MC-CDMA sisteminin en büyük dezavantajlarından birisi işaretlerinin, yüksek tepe gücü/ortalama güç oranına (PAPR) [16] sahip olmasıdır. MC-CDMA işaretlerinin yüksek PAPR değerlerini düşürmek için literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir [17–36].

MC-CDMA işaretlerinin PAPR değerlerinin düşürülme nedeni yüksek güç kuvvetlendiricilerin (HPA) [37–39] kullanılmasıdır. Doğrusal olmayan şekilde işaretleri kuvvetlendiren HPA özellikle yüksek PAPR değerine sahip olan işaretlerin bozulmalarına neden olur. HPA kullanılması durumunda MC-CDMA ve OFDM sistemlerinin performansları literatürde birçok çalışma tarafından incelenmiştir [37–39].

MC-CDMA, ilk olarak 1993 yılında N. Yee, J. P. Linnartz ve G. Fettweis'in yaptıkları çalışma ile ortaya atılmıştır [1]. MC-CDMA ile ilgili ilk makale 1997 yılında S. Hara ve R. Prasad tarafından 'IEEE Communication Magazine' dergisinde yayınlanmıştır [2]. Ruangsurat ve Rajatheva, eşzamanlı uydu yer bağı için MC-CDMA sisteminde PTS tekniğini kullanarak PAPR düşürülmesini incelemişlerdir [36]. PTS tekniği PAPR düşürümü için etkili olmasına rağmen, yüksek PAPR düşürümü sistem karmaşıklığı ve maliyeti artırdığı görülmüştür. Talasaz ve Kenari, MC-CDMA sisteminde PAPR'ı düşürmek için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemde yayma kodlarının bir kümesi ve bir toparlama kodu her bir kullanıcıya atanır. Kullanıcı en düşük PAPR sağlayan atanmış kümeden kendi yayma kodunu seçmektedir [22]. Hathi, Darwazeh ve O'Reilly, MC-CDMA ve MC-DS-CDMA da yayma kod dizilerinin farklı yerleşimleri için PAPR değişimi incelenmişlerdir. Aktif kullanıcıların bir kaçı için, MC-CDMA sistemlerinde PAPR performansının farklı kullanıcılar için yayma kod dizilerinin dikkatli yerleşimi ile geliştirildiği görülmüştür [23]. Kunseok, Kweonhue ve Sooyoung, MC-CDMA sistemlerinde minimum PAPR elde etmek için optimum Walsh-Hadamard kodları araştırmışlardır [24]. Ohkubo ve Ohtsuki, MC-CDMA sistemlerinde PAPR azaltmak için seçici eşleme (SLM) yönteminin etkileri ve SLM'deki faz dizileri araştırmışlardır [31]. Kang, Ahn ve Lee, uydu MC-CDMA sisteminde PAPR düşürmek için etkin bir kısmi iletim dizileri şeması önermişlerdir [34]. Bilinen PTS şemasının karmaşıklığını azaltmak için yeni faz faktörü optimizasyon algoritması kullanılmıştır.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, MC-CDMA sisteminin en büyük dezavantajlarından birisi olan işaretlerin PAPR değerini düşürmek için literatürde bulunan klasik yöntemlerin yanında yapay sinir ağları ve yapay arı kolonisi algoritması gibi yapay zeka yöntemleri de kullanılmıştır. PAPR değerinin düşürülmesinde kullanılan yapay zeka yöntemleri ile klasik yöntemler karşılaştırılarak birbirlerine göre üstünlüklerinin görülmesi amaçlanmıştır. Ayrıca MC-CDMA sisteminde işaretlerin kuvvetlendirilmesinde kullanılan yüksek güç kuvvetlendiricilerin sistem performansına etkileri değişik parametreler için incelenmiştir.

Bu tez çalışması beş bölüm olarak planlanmıştır. İlk bölümde literatür incelemesi ve tezin amacı sunulmuştur. İkinci bölümde, MC-CDMA sistemi, klasik PAPR düşürme

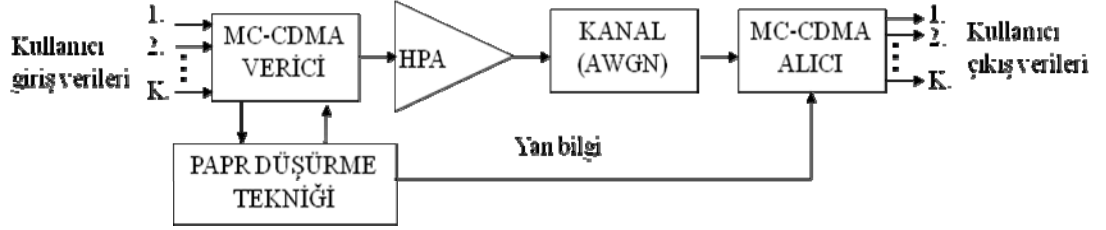
teknikleri ve yüksek güç kuvvetlendirici modelleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları ve yapay arı kolonisi algoritmaları açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, simülasyon sonuçları ve beşinci bölümde tez çalışması ile elde edilen sonuçlara ilişkin yorumlar sunulmuştur.

2. BÖLÜM

SİSTEM MODELİ

2.1. Giriş

Tez çalışmasında kullanılan sistem modelinin blok gösterimi Şekil 2.1’de verilmiştir. Blok gösterimdeki her bir birim, bilgisayar ortamında değişik parametre değerleri için simüle edilerek sistem performansına etkileri incelenmiştir.



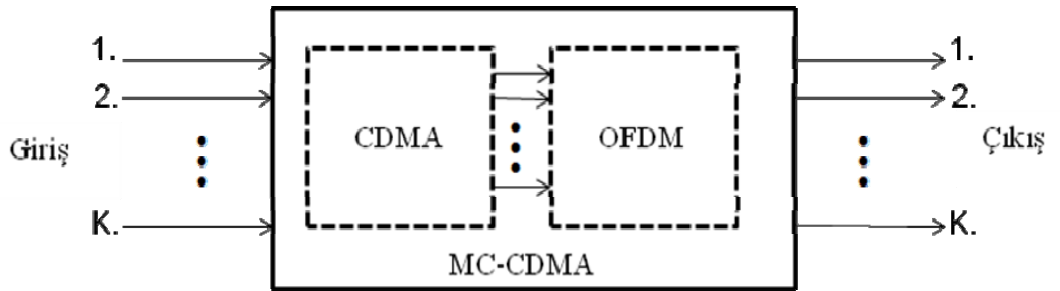
Şekil 2.1. Tez çalışmasında kullanılan sistem modelinin blok gösterimi.

Şekil 2.1’de verilen sistem modelinde kullanıcı giriş verileri rastgele bit değerlerinden oluşmaktadır. Kullanılan sistemde, K ile ifade edilen 4, 8, 16 ve 32 kullanıcı sayıları için simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Şekil 2.1’de görüleceği gibi MC-CDMA verici ve PAPR düşürme birimleri birbirlerine paralel olarak çalışmaktadırlar. MC-CDMA verici birimi tarafından üretilen işaretlerin yapısı, uygulanan PAPR düşürme tekniğine göre değişebilir. Sistemde ilk olarak kullanıcılardan gelen veriler MC-CDMA verici birimi tarafından modüle edilir. Temel MC-CDMA sinyalinin PAPR değeri, oldukça yüksektir. Yüksek PAPR değeri, sistemin performansını olumsuz etkileyeceği için düşürülmesi gerekmektedir. Bunun için PAPR düşürme birimi tarafından MC-CDMA sinyalinin yapısı değiştirilerek daha az PAPR değerine sahip sinyaller oluşturulur. Bu çalışmada kıpma, ton ekleme, aktif yıldız kümesi genişletme, seçici eşleme ve kısmi iletim dizisi PAPR düşürme teknikleri kullanılmıştır. Kullanılan PAPR

düşürme tekniğine bağlı olarak oluşan ve yan bilgi olarak adlandırılan işaretlerin sistem alıcı kısmına iletilmesi gerekmektedir. PAPR değeri düşürülen işaretler, daha sonra HPA aracılığı ile kuvvetlendirilir. MC-CDMA sinyallerinin kuvvetlendirilmesinde kullanılan HPA modellerinden bu tez çalışmasında SSPA modeli kullanılmıştır. SSPA, doğrusal olmayan bir şekilde işaretleri kuvvetlendirdiği için sistemin performansını olumsuz etkilemektedir. SSPA tarafından kuvvetlendirilen işaretler haberleşme kanalına verilmektedir. Bu tez çalışmasında AWGN tipi haberleşme kanalı kullanılmıştır. Haberleşme kanalından iletilen işaretler daha sonra MC-CDMA alıcı birimine ulaşır. Bu birimde sisteme girilen kullanıcı verileri tekrar elde edilmeye çalışılır. Bu bölümün diğer kısımlarında ise Şekil 2.1’de gösterilen birimler ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.2. MC-CDMA Verici ve Alıcı Birimi

MC-CDMA sistemi, CDMA ve OFDM sistemlerinin bir araya gelmelerinden oluşmaktadır. MC-CDMA verici sistemi blok modeli Şekil 2.2’de görülmektedir. K adet Kullanıcıdan gelen veriler ilk olarak CDMA sistemine ulaşır. CDMA sisteminde temel olarak yapılan iş, verilerin yayma kodları yardımı ile frekans ekseninde yayılmalarıdır. Daha sonra veriler OFDM sistemine ulaşırlar. Burada yapılan temel iş, verilerin birbirlerine dik olan alt taşıyıcılara bindirilerek haberleşme kanalından iletilmelerini sağlamaktır.



Şekil 2.2. MC-CDMA verici sistemi blok modeli.

Şekil 2.3’de ise MC-CDMA vericisinin iç yapısı görülmektedir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi MC-CDMA sistemi K tane aktif kullanıcıya sahiptir ve her bir kullanıcı M adet karmaşık veri vektörüne sahiptir. $d^{(k)} = [d_1^{(k)}, d_2^{(k)}, \dots, d_M^{(k)}]$ k. kullanıcı için M adet veriyi

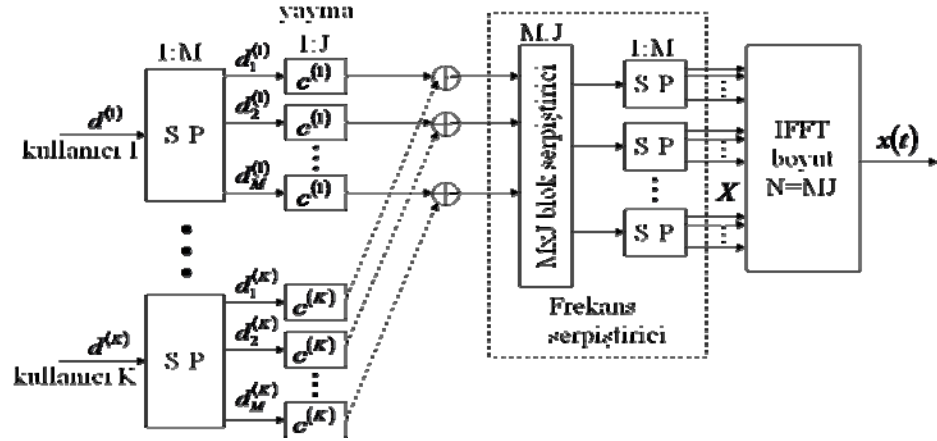
sembolize eder. MC-CDMA sisteminde ilk olarak kullanıcılardan gelen veriler paralel veri vektörlerine dönüştürülür. Daha sonra bu vektörler her kullanıcı için özel olan yayma kodu ile çoğullanırlar. Yayma kodları kullanıcı verilerinin frekans ekseninde yayılmasını sağlarlar. Her bir yayma kodu vektörü J tamsayısı ile ifade edilir ve yayma faktörü (yayma uzunluğu) olarak tanımlanır ve $c^{(k)} = (c_1^{(k)}, c_2^{(k)}, \dots, c_j^{(k)})$ şeklinde ifade edilir.. Yayma kodları ile çoğullanan kullanıcı veri vektörleri daha sonra karşılıklı olarak toplanırlar. Toplanan vektörlerin yan yana gelen elemanları, frekans ekseninde farklı yerlere yerleştirmek için ayrılırlar. Bu sayede haberleşme kanalından kaynaklanan ve çoğuşmalı (burst) hata olarak adlandırılan bozulmadan mümkün olduğu kadar az etkilenmiş olurlar. Bu işlemlerden sonra veri vektörü aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$X = \sum_{k=1}^K X^{(k)} = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]. \quad (2.1)$$

Son olarak Denk.(2.1)'de verilen vektör Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (inverse fast fourier transform-IFFT) işleminden geçirilir. Bu sayede alt-taşıyıcılar arasında dikgenlik sağlanır ve alt-taşıyıcıların birbirlerini sönmlemesi engellenmiş olur. Bu şekilde oluşturulmuş $0 \leq t \leq T_s$ zaman aralığında tanımlı MC-CDMA işareti aşağıdaki gibi ifade edilir:

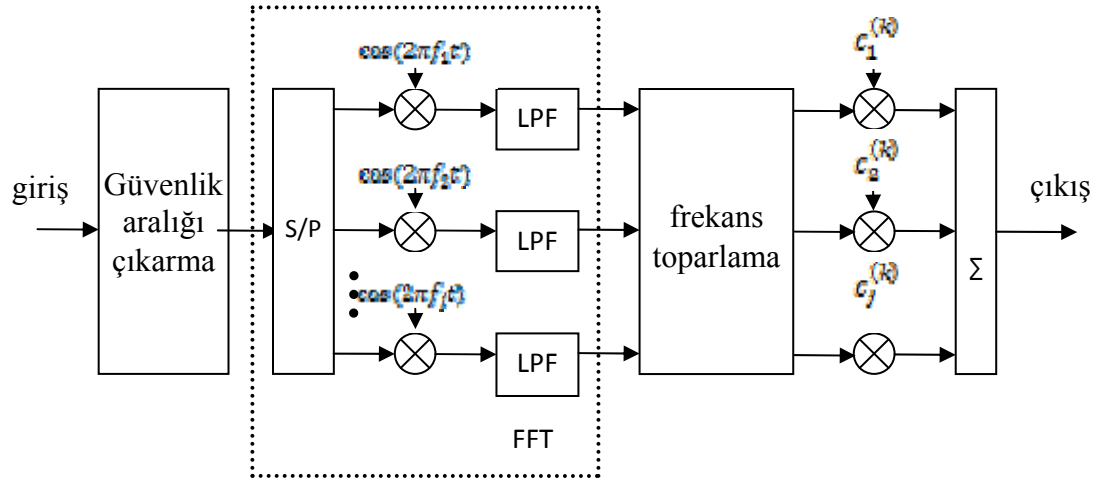
$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K d_m^{(k)} c_j^{(k)} e^{j2\pi\{M(j-1)+(m-1)\}t/T_s}. \quad (2.2)$$

Burada T_s , MC-CDMA işaretinin periyodu, N alt-taşıyıcı sayısı, $d_m^{(k)}$ k. kullanıcının m. bit değeri, $c_j^{(k)}$ k. kullanıcıya ait yayma kodunun j. bit değeridir.



Şekil 2.3. Temel MC-CDMA verici sistem modeli iç yapısı.

Şekil 2.4’de temel MC-CDMA sisteminin alıcı birimi verilmektedir. Haberleşme kanalından alınan işaretlerden, ilk önce simgeler-arası girişimi önlemek amacıyla verici kısımda eklenen güvenlik aralığı çıkarılır. FFT işlemine tabi tutulan işaretler daha sonra verici kısımda yapılan frekans serpiştirme işleminin tersi olan frekans toplama işlemine tabi tutulurlar. Son olarak bu işaretler yayma işleminin tersi olan toplama işlemine tabi tutulurlar.



Şekil 2.4. Temel MC-CDMA alıcı sistem modeli iç yapısı.

2.3. PAPR Düşürme Teknikleri

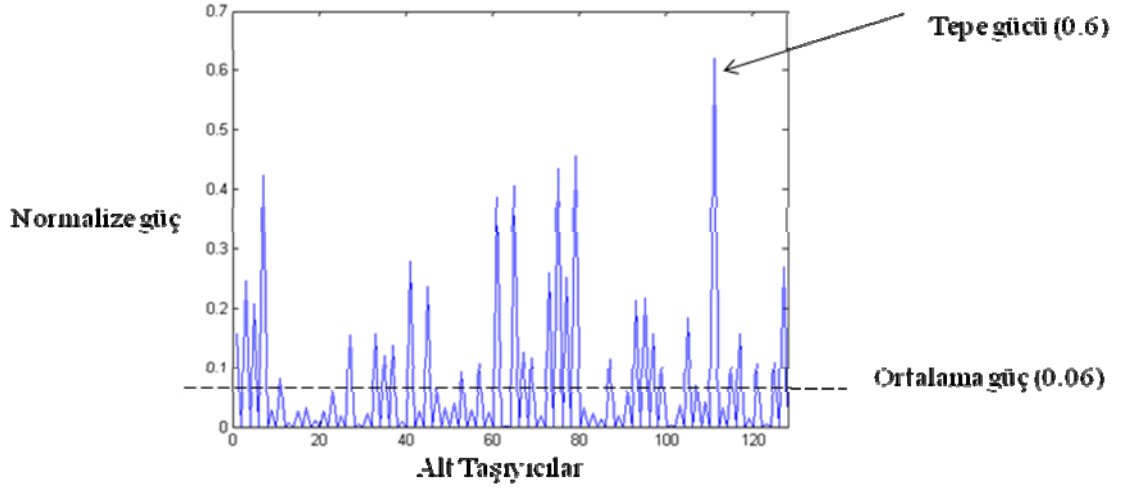
Bu bölümde İlk olarak MC-CDMA sinyallerindeki PAPR değeri izah edilecektir. Daha sonra literatürde kullanılan PAPR düşürme tekniklerinden kıpma, ton ekleme, aktif grup genişletme, seçici eşleme ve kısmi iletim dizisi teknikleri incelenecektir.

2.3.1. MC-CDMA İşaretlerinin PAPR Problemi

MC-CDMA sistemi birçok avantaja sahip olmasına karşın en büyük dezavantajlarından bir tanesi işaretlerinin yüksek PAPR değerine sahip olmasıdır. Yüksek PAPR değerleri sistem performansını olumsuz yönde etkiler. Çünkü MC-CDMA sistemlerinde kuvvetlendirici olarak kullanılan HPA'lar, yüksek PAPR değerine sahip işaretlerin bozulmalarına neden olur. MC-CDMA işaretinin PAPR değeri aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$PAPR(x(t)) = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{\max_{0 \leq t < NT-1} \{ |x(t)|^2 \}}{E \{ |x(t)|^2 \}} \right], dB \quad (2.3)$$

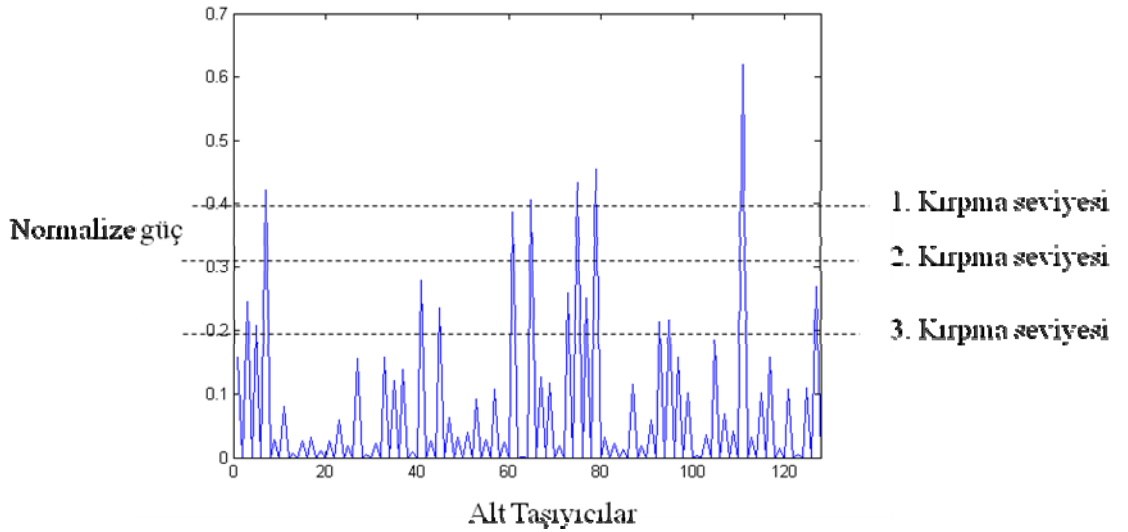
Bu denklemde $x(t)$ MC-CDMA işaretini ifade etmektedir. $\max\{.\}$ işaretin maksimum değerini ve $E\{.\}$ işaretin ortalama değerini göstermektedir. Şekil 2.5'de bir MC-CDMA işaret normalize güç değeri görülmektedir. Bu işaret 128 alt-taşıyıcıya sahiptir. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi MC-CDMA işaretinin normalize tepe gücü 0.6 seviyesinde ve normalize ortalama gücü ise 0.06 seviyesindedir ve PAPR değeri Denk 2.3 ile hesaplanırsa 10 dB olmaktadır.



Şekil 2.5. Temel MC-CDMA işaretinin yapısı.

2.3.2 Kırpma Yöntemi

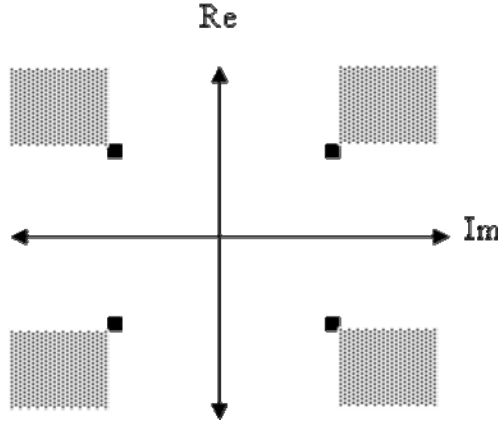
Şekil 2.6'da görüldüğü gibi kırpma işleminde sinyaller belirli bir değerden sonrası kırılır. Bu yöntem PAPR düşürme teknikleri içerisinde uygulanması en kolay olanıdır ama sinyallerdeki bilgi kaybı en fazla olan metottur. Kırpmada önceden belirlenen eşiği aşan tüm örnekler, eşik değerine düşürülür. PAPR azaltma için kırpma kullanıldığında, her bir MC-CDMA işaretinin tepe gücü ve ortalama gücünün her ikisi birden azaltılır. Kırpma tekniğinin başlıca dezavantajı, işaretlerdeki bilgi kaybının çok fazla olmasıdır. Bundan dolayı kırpma metodu uygulanan bir MC-CDMA sisteminde BER performansı oldukça düşük olur.



Şekil 2.6. MC-CDMA işaretinin kırılması.

2.3.3. Aktif Grup Genişletme (ACE) Yöntemi

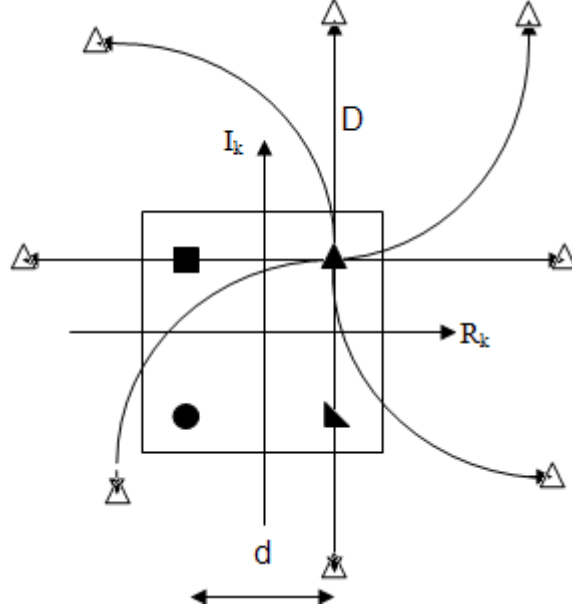
Şekil 2.7’de bu çalışmada ACE yönteminde, QAM modülasyonuna tabi tutulmuş MC-CDMA işaretlerin genişleme aralığı taralı bölge ile gösterilmektedir. ACE yönteminde, QAM işaretlerinden her biri önceden belirlenen genişleme bölgesi içinde genliği ve faz açısı değiştirilir. Bu değişim MC-CDMA işaretinin PAPR değerini en aza indirecek şekilde gerçekleştirilir. Belirlenen bölgede genliği ve fazı değiştirilen işaret orijinal işarete göre aynı bilgiyi taşır. ACE yöntemi, herhangi bir PSK ve QAM modülasyon türü için uygulanabilir. Ancak PSK ve QAM modülasyonunun derecesi arttıkça sinyallerin genişleme esnekliği azalmaktadır. ACE yöntemi kullanıldığı zaman, MC-CDMA alıcı kısmında ek bir düzenlemeye ihtiyaç yoktur, kırpma yönteminde olduğu gibi işaretler bilgi kaybına uğramaz ve alıcı birimine iletilecek bir yan bilgiye ihtiyaç duymaz. Ancak, bu yöntemin dezavantajı, bit başına ortalama enerjideki artmadır.



Şekil 2.7. ACE yöntemi için QAM işaretlerinin genişleme aralığı.

2.3.4. Ton Ekleme Yöntemi

Şekil 2.8’de ton ekleme yönteminde bu çalışmada kullanılan QAM işaretlerinin genişleme noktaları görülmektedir. Ton Ekleme yönteminde temel QAM işaretleri, kendileri ile aynı bilgiyi taşıyan noktalarla eşleştirilir. Bu eşleştirmeler, MC-CDMA işaretlerinin PAPR değerini düşürmek için uygun noktalara yapılır.



Şekil 2.8. Ton ekleme yönteminde sinyallerin genişleme noktaları.

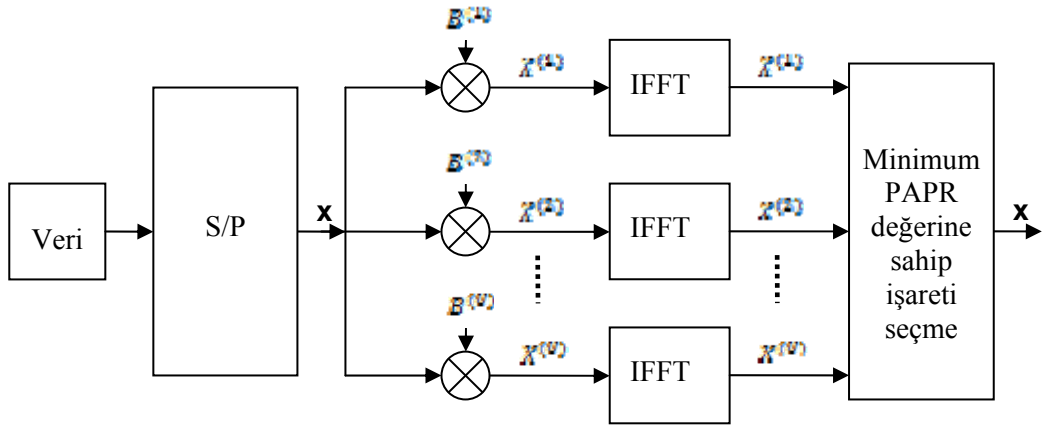
Ton ekleme yönteminde, ACE yöntemine benzer şekilde temel QAM işaretlerinin genlik ve faz bilgilerini değiştirerek PAPR değeri düşürülür. ACE yönteminde QAM işaretleri, genişleme bölgesinde herhangi bir noktada bulunabilirken ton ekleme yönteminde sadece önceden belirlenmiş noktalarda bulunabilir.

MC-CDMA sisteminde orijinal QAM sembol vektörü $S = [S_1, S_2, \dots, S_N]$ olduğunu kabul edersek, burada her bir veri sembolü S_k , grup noktaları arasındaki minimum uzaklık d_k ile birlikte bir kare M_k QAM temel bant modülasyona aittir. Bu durumda S_k 'nin gerçek ve sanal parçaları, $S_k^{(r)}$ ve $S_k^{(i)}$ ile belirtilir. $\{\pm d_k/2, \pm 3d_k/2, \dots, \pm(\sqrt{M_k} - 1)d_k/2\}$, burada $\sqrt{M_k}$ boyut başına seviye sayısıdır. Şimdi herhangi bir veri sembolü S_k düşünelim, f_k uygun frekans ve $\alpha_k D_k + j b_k D_k$ karmaşık genlikteki bir tonun eklenmesiyle, orijinal grup noktası S_k , genişletilmiş grup noktası $\hat{S}_k = S_k + \alpha_k D_k + j b_k D_k$ noktasına eşlenir, burada α_k ve b_k herhangi bir tamsayı değeri ve D_k alıcıda bilinen pozitif reel sayıdır. $D_k \geq d_k \sqrt{M_k}$ seçilerek, çözümlenmiş \hat{S}_k 'nin kodlanmamış sistemdeki hata olasılığı, aşağı yukarı kodlanmış S_k 'nin hata olasılığı ile aynıdır. Alıcıdaki orijinal grup noktalarını geri elde etmek için, temel bant demodülasyon safhasından önce basit bir işlem gereklidir. Bu işlem D_k 'nin katlarının, $[-D_k/2, D_k/2]$ aralığında iken, $\text{Re}(\hat{S}_k) = S_k^{(r)} + \alpha_k D_k$ ve $\text{Im}(\hat{S}_k) = S_k^{(i)} + b_k D_k$ ifadesinden çıkarılması ve eklenmesidir.

PAPR'ı minimize etmek için, α_k ve b_k nın uygun değerlerinin belirlenmesinin gerekliliği ortadadır. Ancak, bu üstel kompleksliğe sahip bir tamsayı programlama sorununun çözülmesini gerektirir. PAPR'ı azaltmanın miktarı, D_k değerine ve alınabilen α_k ve b_k olası değerlerinin sayısına bağlıdır. PAPR azaltma, sistem karmaşıklığının artırılmasıyla artırılabilir. Ton ekleme yönteminin avantajları, veri oranı kaybı ve gerekli yan bilginin bulunmamasıdır. Ancak, ton eklemenin dezavantajı, sistemin temel performansı için göz önüne alınması gereken, bit başına ortalama enerjideki artmadır.

2.3.5. Seçici Eşleme (SLM) Yöntemi

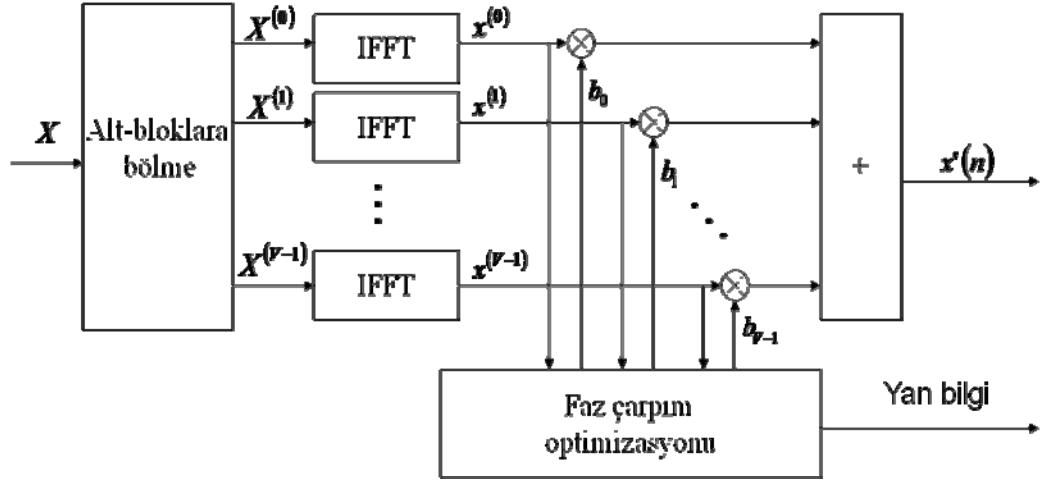
Şekil 2.9'da SLM yönteminin blok modeli görülmektedir. SLM tekniğinde, orijinal veri bloğundan çeşitli aday veri blokları, U adet kopyalanarak oluşturulur ve birisi en düşük PAPR değeri ile iletilir. Burada $u=1,2, \dots, U$ 'dır. İlk olarak, MC-CDMA işaretinin alt-blok sayısı boyutunda ve U adet farklı faz dizileri üretilir, $B^{(u)} = [b_0^{(u)}, b_1^{(u)}, \dots, b_{N-1}^{(u)}]$, burada $B^{(1)}$, aday veri blokları dizisindeki fazı değiştirilmemiş orijinal MC-CDMA işaretidir. Bu tez çalışmasında kullanılan faz çarpanları $b_n^{(u)} \in \{\pm 1\}$ şeklindedir. Üretilen bu U adet farklı faz dizileri daha önceden kopyalanarak üretilen orijinal MC-CDMA işaretleri ile çarpılır. Daha sonra her bir işaret IFFT işlemine tabi tutulur. IFFT işlemi sonucunda U adet işaretin PAPR değerleri hesaplanır ve en düşük PAPR değerine sahip işaret iletilir. Alıcıda, orijinal veri bloğunun tekrar elde edilebilmesi için iletilen işaret ters faz çarpanları ile çarpılır. Bundan dolayı, MC-CDMA alıcı birimine sadece SLM yöntemi ile PAPR değeri düşürülmüş MC-CDMA işareti değil aynı zamanda da faz çarpanları vektörünün de yan bilgi olarak iletilmesi gerekmektedir. Yan bilginin iletilmesi SLM yönteminin en büyük dezavantajıdır.



Şekil 2.9. SLM yönteminin blok gösterimi.

2.3.6. Kısmi İletim Dizisi (PTS) Yöntemi

PTS, araştırmacılar tarafından en çok üzerinde durulan PAPR düşürme tekniğidir. PTS yöntemi kullanıldığında kırpma yönteminde olduğu gibi işaretlerde bilgi kaybı olmaz, ACE ve ton ekleme yöntemlerinde karşılaşılan bit enerji seviyelerinin artması sorunu yaşanmaz ve SLM yöntemindeki alıcı birime iletilen yan bilgi sayısının fazla olması sorunu yoktur. PTS tekniğinde, MC-CDMA verici birimi ile paralel olarak çalışmaktadır. MC-CDMA işareti üretilirken frekans serpiştirici biriminden sonra PTS tekniği kullanılarak işaretin PAPR değeri düşürülür. Şekil 2.10'da PTS yönteminin blok modeli görülmektedir.



Şekil 2.10. PTS yönteminin blok gösterimi.

PTS tekniğinde ilk olarak MC-CDMA frekans serpiştirici biriminden gelen ve uzunluğu alt taşıyıcı sayısına eşit olan X işareti parçalanarak V sembolü ile ifade edilen alt bloklara bölünür. Literatürde kullanılan üç farklı alt blok parçalama yöntemi vardır, bunlar serpiştirme blok ayırma ve rastgele ayırma. Alt bloklara ayırma sonucunda veri matrisi $V \times N$ boyutunda olmaktadır. Her bir alt blok $X^{(v)} = [X_0^{(v)}, X_1^{(v)}, \dots, X_{N-1}^{(v)}]$ şeklinde gösterilmektedir. Burada $v = 1, 2, \dots, V$ şeklindedir. Bu işlem sonucundaki veri aşağıdaki eşitlik ile gösterilmektedir.

$$X = \sum_{v=0}^{V-1} X^{(v)} \quad (2.4)$$

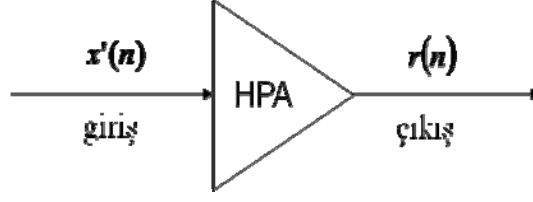
Daha sonra her bir alt blok ayrı ayrı IFFT işlemine tabi tutulur. Daha sonra N uzunluğundaki her bir alt bloğun fazları değiştirilir. Bu işlem için önceden belirlenen değişik döndürme açılarındaki faz döndürme katsayıları ile alt bloklar çarpılır. W işareti ile ifade edilen faz döndürme sayısının iki olması durumunda $b_v \in \{\pm 1\}$ 'dir. Yani her bir alt blok ya 1 ile ya da -1 ile çarpılacaktır. Burada b_v V . Alt blok ile çarpılacak olan faz döndürme katsayısıdır. Faz döndürme sayısının dört olması durumunda $b_v \in \{\pm 1, \pm j\}$ 'dir. Yani her bir alt blok 1, -1, j ya da $-j$ ile çarpılacaktır. Faz çarpanları ile fazları değiştirilen alt bloklar daha sonra tekrar toplanarak bir araya getirilirler. Literatürde PTS yöntemi için birinci alt bloğun faz çarpanı $b_0 = 1$ alınmaktadır. Bu durumda PTS yönteminde alt blok sayısının V olması durumunda W^{V-1} adet alternatif faz çarpım vektörü bulunmaktadır. Örneğin $W = 2$ ve $V = 16$ durumunda $2^{16-1} = 32768$ tane faz çarpım vektörü bulunmaktadır. Faz döndürme katsayıları ile fazları değiştirilen alt blok vektörleri daha sonra toplanarak bir araya getirilirler. Bu işlemlerin sonucunda aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$x'(n) = \sum_{v=0}^{V-1} b_v \text{IFFT}\{X^{(v)}\} \quad (2.5)$$

Tekrar $1 \times N$ boyutuna getirilen işaretin PAPR değeri hesaplanır ve en uygun faz çarpım vektörü bulunur. PTS tekniği uygulandıktan sonra en düşük PAPR değerini veren işaret alıcı tarafa iletilir. PTS tekniğinde alıcı tarafa en düşük PAPR değerini sağlayan faz çarpım vektörünün iletilmesi gerekmektedir. Alıcı kısma $R = (V - 1)\log_2(W)$ adet bitin yan bilgi olarak iletilmesi gerekmektedir.

2.4. Yüksek Güç Kuvvetlendirici (HPA)

Bu tez çalışmasında kullanılan sistemde, kullanıcılardan gelen veriler ilk önce MC-CDMA verici birimi tarafından modüle edilir. MC-CDMA birimi tarafından üretilen işaretlerin PAPR değerleri oldukça yüksektir. Bu değeri düşürmek için MC-CDMA verici birimi ile birlikte paralel çalışan PAPR düşürme teknikleri kullanılır. PAPR değerleri de düşürülen işaretler haberleşme kanalına verilmeden önce kuvvetlendirilmeleri gerekmektedir. MC-CDMA sistemleri ile birlikte kuvvetlendirici olarak HPA'lar kullanılırlar. Şekil 2.11'de HPA modeli görülmektedir.



Şekil 2.11. HPA blok modeli.

HPA'lar doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahiptirler. Yani HPA tarafından kuvvetlendirilecek işaretler bozulmalara maruz kalır. Özellikle yüksek PAPR değerine sahip işaretler HPA tarafından daha fazla bozulurlar. Bundan dolayı Yüksek PAPR değerine sahip orijinal MC-CDMA işaretleri PAPR düşürme teknikleri ile optimize edilerek HPA tarafından kuvvetlendirilmeleri sağlanır. Literatürde kullanılan iki çeşit HPA modeli vardır. Bunlar gezici dalga tüpü kuvvetlendirici (travelling wave tube Amplifier-TWTA) ve katı-hal güç kuvvetlendirici (solid state power Amplifier-SSPA) modelleridir.

Temel bir HPA'nın girişine uygulanan işaret aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$x'(n) = s(n)e^{j\theta(n)} \quad (2.6)$$

Burada $s(n)$ giriş işaretin genlik değeri, $e^{j\theta(n)}$ ise faz bilgisidir. $x'(n)$ işareti bu tez çalışmasında PAPR düşürme tekniği uygulandıktan sonra elde edilen işarettir. HPA'nın çıkışında elde edilen işaret ise aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

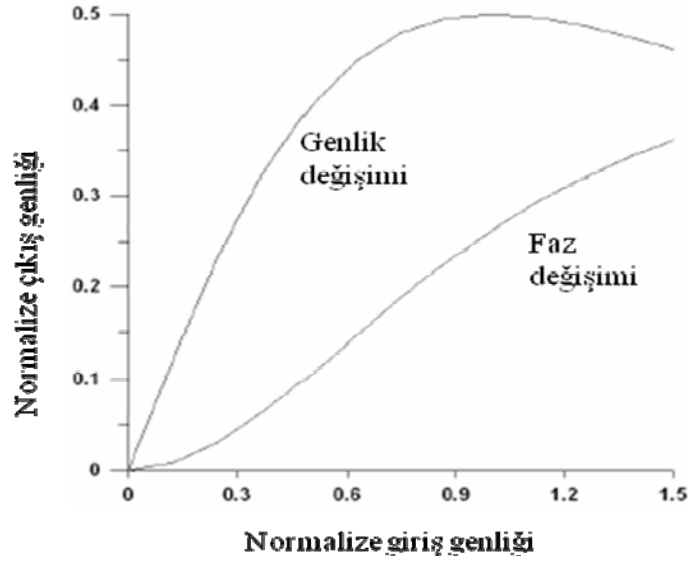
$$r(n) = A_{HPA}(s(n))e^{j\{\theta(n)+\phi_{HPA}(s(n))\}} \quad (2.7)$$

Burada A_{HPA} HPA'nın giriş işaretine karşın çıkış genlik cevabı, ϕ_{HPA} giriş işaretine karşın faz cevabıdır.

2.4.1. TWTA Modeli

TWTA modelinde, giriş işaretindeki genlik değişimi ile çıkış işaretinin genliği ve fazı birlikte değişmektedir. Şekil 2.12'de normalize giriş işaretinin genlik değişimine göre normalize çıkış genlik ve faz değişimleri görülmektedir.

TWTA modelinde giriş işaretinin genliğine bağlı olarak çıkış işaretinin genliğindeki değişimi üç bölgeye ayırabiliriz. Birinci bölge, giriş ve çıkış genlik değerlerinin 0 - 0.3 olduğu aralıktır. Bu bölge doğrusal bölge olarak adlandırılır ve giriş işarete karşılık çıkış işareti doğrusal olarak kuvvetlendirilir. İkinci bölge, giriş genlik değerinin 0.3 - 1 olduğu aralıktır. Bu bölge doğrusal olmayan bölge olarak adlandırılır ve giriş işarete karşılık çıkış işareti doğrusal olmayan bir şekilde kuvvetlendirilir. Bunun sonucu olarak bu bölgede çalışan bir TWTA giriş işaretini kuvvetlendirirken bu işaretin bozulmasına neden olur.



Şekil 2.12. TWTA modelinde giriş işarete karşın çıkış işaretinin değişimi.

Üçüncü bölge, giriş genlik değerinin 1'den fazla olduğu bölgedir. Bu bölge doyum bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgede giriş işaretinin genliği artsa dahi çıkış işaretinin genliği artmamaktadır ve Şekil 2.12'de görüldüğü gibi değişmektedir. Şekil 2.12'de aynı zamanda giriş işaretinin genliğine bağlı olarak çıkış işaretinin fazının nasıl değiştiği görülmektedir. TWTA modelinde çıkış işareti aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$r(n) = A_{TWTA}(s(n))e^{j\{\theta(n)+\phi_{TWTA}(s(n))\}} \quad (2.8)$$

Burada A_{TWTA} TWTA'nın giriş işaretine karşın çıkış genlik cevabı, ϕ_{TWTA} giriş işaretine karşın faz cevabıdır. A_{TWTA} ve ϕ_{TWTA} değerleri aşağıdaki eşitlikler ile verilmektedir.

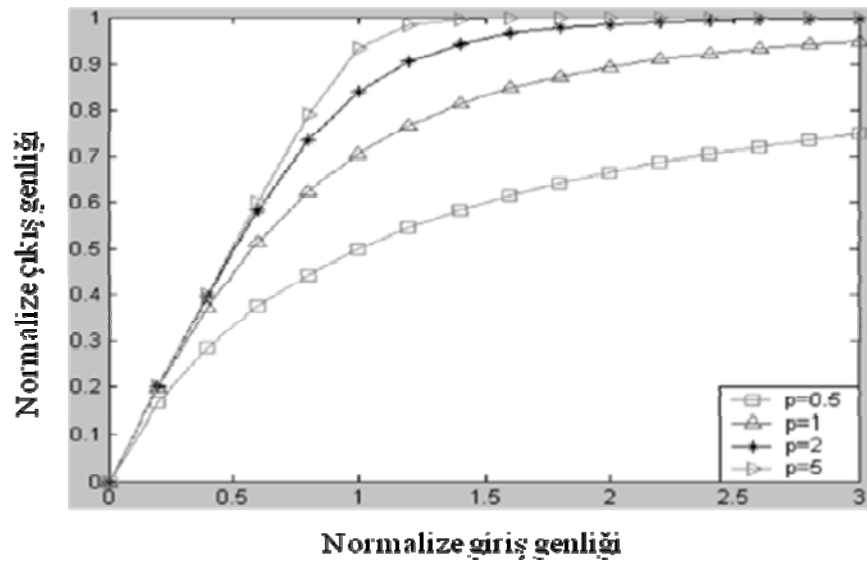
$$A_{TWTA}(s(n)) = A_{sat}^2 \frac{s(n)}{s(n)^2 + A_{sat}^2} \quad (2.9)$$

$$\phi_{TWTA}(s(n)) = \frac{\pi}{6} \frac{s(n)}{s(n)^2 + A_{sat}^2} \quad (2.10)$$

Burada, A_{sat} TWTA'nın giriş doyum gerilimidir.

2.4.2. SSPA Modeli

Bu tez çalışmasında HPA olarak SSPA modeli kullanılmıştır. SSPA modelinde, giriş işaretindeki genlik değişimi ile çıkış işaretinin sadece genliği değişmekte fazında bir değişiklik olmamaktadır. Şekil 2.13'de normalize giriş işaretinin genlik değişimine göre normalize çıkış genlik değişimi görülmektedir. Şekil 2.13'de p ile ifade edilen düzleştirme faktörü SSPA'nın üretim parametrelerine göre değişmektedir. Şekil 2.13'de görüldüğü gibi p değeri arttıkça giriş ve çıkış işaretleri normalize genlikleri daha doğrusal şekilde değişmektedir. SSPA modelinde de belirli bir bölgede çıkış işaretinin genliği artmamaktadır.



Şekil 2.13. SSPA'nın p değerine bağlı normalize giriş-çıkış genlik eğrileri.

SSPA modelinde çıkış işareti aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$r(n) = A_{SSPA}(s(n))e^{j\{\theta(n)+\phi_{SSPA}(s(n))\}} \quad (2.11)$$

Burada A_{SSPA} SSPA'nın giriş işaretine karşın çıkış genlik cevabı, ϕ_{SSPA} giriş işaretine karşın faz cevabıdır. A_{SSPA} ve ϕ_{SSPA} değerleri aşağıdaki eşitlikler ile verilmektedir.

$$A_{SSPA}(s(n)) = \frac{s(n)}{\left[\left(1 + \frac{s(n)}{A_0} \right)^{2p} \right]^{\frac{1}{2p}}} \quad (2.12)$$

$$\phi_{SSPA}(s(n)) = 0 \quad (2.13)$$

Burada, A_0 SSPA'nın çıkış doyum gerilimidir.

3. BÖLÜM

PAPR DÜŞÜRMEK İÇİN KULLANILAN YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ

3.1. Yapay Sinir Ağları

3.1.1. Giriş

Bu bölümde, YSA'ların [46–47] temel özellikleri ile birlikte bu tez çalışmasının konusu olan MC-CDMA sistemlerinde PAPR düşürmek için kullanılan geri-yayımlı algoritması ile eğitilen YSA yapısından bahsedilecektir. Yapay Sinir Ağları (YSA), beynin fizyolojik yapısından faydalanılarak oluşturulan bilgi işleme modelleridir. YSA, matematiksel olarak modellenmesi zor veya karmaşık matematiksel modellere sahip problemleri çözmek için kullanılırlar. YSA'ların öğrenme özelliği, araştırmacıların dikkatini çeken en önemli özelliklerinden birisidir. Çünkü herhangi bir olay hakkında giriş ve çıkışlar arasındaki ilişkiyi, elde bulunan mevcut örneklerden öğrenerek daha önce hiç görülmemiş problemlere çözümler üretebilme yeteneği YSA 'lardaki zeki davranışın temelini oluşturmaktadır.

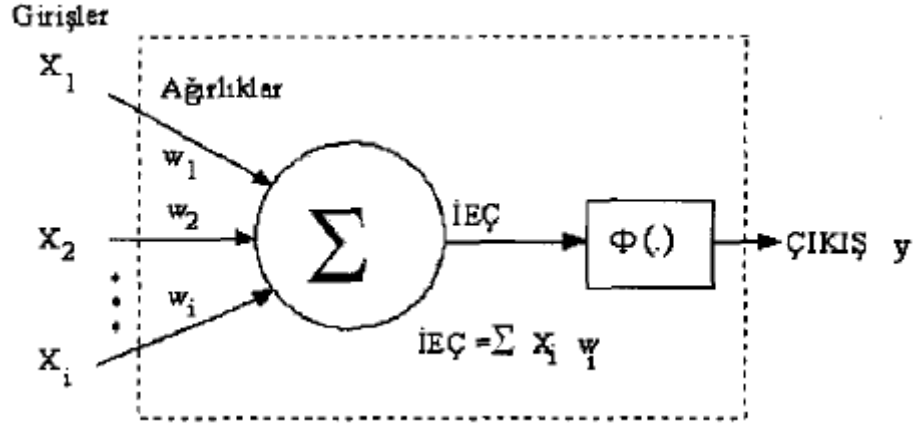
3.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Genel olarak YSA'lar, sinir sisteminin işlevi dikkate alınarak insan beyninin modellenmesi için tasarlanmış sistemlerdir. YSA'ların ağ yapıları, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşur ve katmanlar halinde düzenlenir. YSA'lar insan beyninin bilgi işleme yöntemine uygun olarak işlem yaparlar ve öğrenme aşamasından sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı şekilleri ve bu bağlantıların ağırlıkları ile bilgiyi saklama ve genelleme yapabilme yeteneğine sahip paralel bir yapıya sahip işlemci elemanlardan meydana gelir. YSA'ların hesap yapabilme özellikleri, paralel dağılmış işlemci elemanlardan, öğrenme

ve genelleme yapabilme özelliklerinden kaynaklanır. YSA'ların genelleme yapabilme özellikleri ise bilinen durumlardan yararlanarak bilinmeyen durumlar içinde çözümler üretebilmesi olarak tanımlanabilir.

3.1.3. İşlemci Eleman

Bir YSA, belirli bir problemin çözümüne yönelik, birbiri ile belirli ağırlıklarla bağlanan çok sayıda işlemci elemandan (nöron) meydana gelir. Şekil 3.1' de bir YSA yapısının temel birimi olan bir işlemci eleman görülmektedir. Burada girişler, dış kaynaklardan veya diğer işlemci elemanlarından gelen ve ağırlıkları farklı olan işaretlerdir.



Şekil 3.1 Bir işlemci Elemanının (Nöron) Temel Yapısı

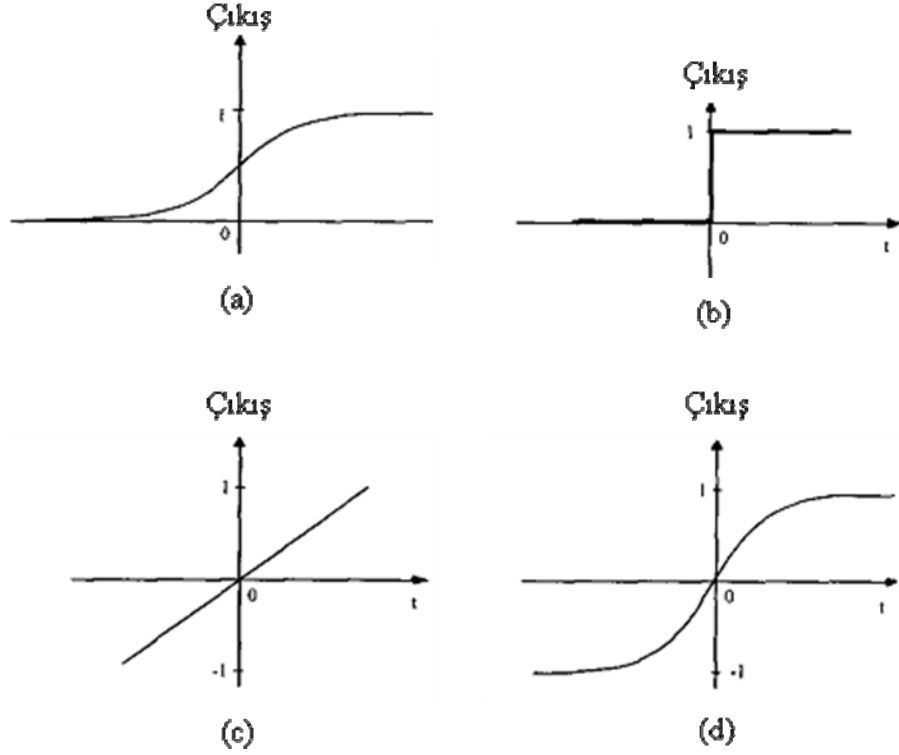
İşlemci elemanında giriş değerlerine önce toplama fonksiyonu uygulanır ve her bir işlemci elemanının çıkışı (İEÇ) aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$İEÇ = \sum_{i=0}^N x_i w_{ij} - \theta_i \quad (3.1)$$

Burada x_i , i' inci girişi, w_{ij} j' inci elemandan i' inci elemana bağlantı ağırlığı ve θ_i eşik değeri olarak tanımlanmaktadır. Daha sonra bu çıkış değeri, transfer (aktivasyon) fonksiyonuna uygulanır. Bu fonksiyon; bir işlemci elemanın, uygulanan girişlerden hangi miktarda etkileneceğini tanımlar.

$$y = \varphi \left[\sum_{i=0}^N X_i W_{ij} - \theta_j \right] \quad (3.2)$$

Yukarıda tanımlanan y çıkışı; transfer fonksiyonuna bağlı olarak değişir. Transfer fonksiyonu olarak genellikle Şekil 3.2' de verilen fonksiyonlardan birisi kullanılır.



Şekil 3.2. YSA' larda En Çok Tercih Edilen Transfer Fonksiyonları. (a) Sigmoid, (b) Keskin Sınırlayıcı, (c) Doğrusal (d) Hiperbolik Tanjant

3.1.4. YSA'ların Sınıflandırılması

YSA' lar temel olarak birbirleri ile bağlantılı işlemci elemanlardan oluşurlar. Her bir işlemci elemanı arasındaki bağlantıların yapısı, YSA'nın yapısını belirler. İstenilen sonuca ulaşmak için bağlantıların yapısı öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan bir öğrenme kuralına göre, hatayı minimuma indirecek şekilde, ağırlıklar değiştirilebilir. YSA'lar öğrenme algoritmalarına ve yapılarına göre sınıflandırılabilir. Yapılarına göre YSA'lar ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılırken öğrenme algoritmalarına göre YSA'lar danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve takviyeli öğrenme şeklinde üçe ayrılırlar. Bu tez çalışmasında

danışmanlı öğrenme yapılarından birisi olan geri-yayılım algoritması kullanılarak MC-CDMA işaretlerinin PAPR değerleri düşürülmeye çalışılmıştır.

3.1.4.1. Geri Yayılım Algoritması

Geri-yayılım (back propagation (BP)) algoritması, birçok uygulamalarda kullanılan en yaygın öğrenme algoritmalarından birisidir. Bu algoritma, çıkış hatalarını geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmaktadır. Geri-yayılım algoritması, birçok ağ tipinde kullanılabilmesine karşın, çok katmanlı ağların eğitimi için oldukça uygundur. Geri-yayılım eğitim algoritmasında ağ, ağırlıkların rastgele bir seti ile çalışmaya başlar. Bir giriş vektörü, ileri yönlü olarak ağa beslenir ve başlangıç ağırlık seti yardımı ile çıkış değerleri hesaplanır. Bir sonraki adımda önceki adımda hesaplanmış çıkış, gerçek çıkış verisi ile karşılaştırılır ve bu vektör çifti arasındaki hatanın karesi, toplam sistem hatasını oluşturur. Giriş-çıkış çiftlerinin tümü için toplam hata, ağırlık düzleminde Euclidean mesafesi olarak tanımlanır. Ağ, dereceli azaltma (gradyent descent) yaklaşımı kullanarak Euclidean mesafesini en aza indirmeye çalışır. Geri-yayılım algoritması, Denk.4.3'de verilen güncelleme formülünü kullanarak i . ve j . kat işlemci elemanlar arasındaki $\Delta w_{ij}(t)$ ağırlık değişimini hesaplar.

$$\Delta w_{ij}(t) = \eta \delta_j y_i + \alpha \Delta w_{ij}(t-1) \quad (3.3)$$

burada η öğrenme katsayısı, δ lokal hata eğimi, α . momentum katsayısı ve y_i i . işlemci biriminin çıkışını göstermektedir. Bu ifadede $\Delta w_{ij}(t-1)$ bir önceki adımda oluşan ağırlık değişimini göstermektedir.

3.2. Yapay Arı Kolonisi (ABC)

3.2.1. Giriş

Bu bölümde, ABC [40–45] algoritmasının temel yapısı ile birlikte bu tez çalışmasının konusu olan MC-CDMA sistemlerinde PAPR düşürmek için kullanılan ABC tabanlı kısmi iletim dizisinden (PTS) bahsedilecektir. Sürü zekası; karıncalar, arılar, kuşlar, balıklar gibi aralarında etkileşim olan hayvanların topluluk halindeki davranışlarını

örnek olarak, problemlere çözüm getirmeyi amaçlayan bir yapay zeka tekniğidir. Arı kolonilerinin kovan çevresinde dolaşarak birbirlerine bilgi aktarımları, karıncaların geçtikleri yollara kimyasal madde bırakarak diğer karıncalara bilgi aktarımları, kuş sürülerinin ve balık sürülerinin konum ve hızlarını ayarlayarak ilerlemeleri sürü zekasına temel teşkil eden zeki davranışlardır. Bir sürüde iki önemli işlev vardır: birincisi kendi başına organize olabilme (self-organization) ikincisi ise iş bölümüdür. Kendi başına organize olabilme; bir topluluktaki bireylerin, diğer bireylerle etkileşimden aldıkları bilgileri kullanarak kendi başlarına işlev görenek topluluğun bütününe etkilemeleridir. Topluluğun diğer bireyleri ile etkileşiminde temel komşuluk bilgilerinden faydalanılır. Yani topluluğun bir bütün olarak genel başarımı ile ilgili bilgiler söz konusu değildir. İş bölümü, topluluktaki bireylerin aynı zaman içerisinde farklı işlemleri gerçekleştiriyor olmasıdır. Bireylerin bir arada çalışarak gösterdikleri performans, bir iş bölümüne tabi olmayan bireylerin gösterdikleri performanstan daha etkili olmaktadır ve bu özellik araştırma uzayındaki değişimlere cevap verebilmeyi sağlamaktadır.

3.2.2. Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması

ABC algoritmasında, bir yiyecek kaynağının pozisyonu optimizasyon probleminde olası çözümler anlamına gelmektedir. Yiyecek kaynağının nektar miktarı ise bu çözümün ne kadar kaliteli bir çözüm olduğunu gösterir. Bir koloni de üç grup arı bulunmaktadır: işçi arılar, gözcü arılar ve kaşif arılar. Bir popülasyondaki işçi arıların ve gözcü arıların sayıları çözüm sayısına eşittir. ABC algoritmasının ilk adımında, çözüm uzayında rastgele yerlere işçi arıları ve gözcü arıları yerleştirir. Burada işçi ve gözcü arıların sayıları SN ile temsil edilir ve çözüm sayısı x_i ($i = 1, 2, \dots, SN$) ile gösterilir. Başlangıç adımından sonra popülasyonun yerleri (problemin olası çözümleri) her bir çevrimde işçi, gözcü ve kaşif arılar tarafından tayin edilir. Bir işçi arı pozisyonunu önceki çevrimlerde elde ettiği bilgiyi kullanarak değiştirir ve en fazla nektar miktarına sahip olan yiyecek kaynağını bulmaya çalışır. Yeni bulduğu yiyecek kaynağının nektar miktarı önceki yiyecek kaynağından fazla ise hafızasında yeni bulduğu yiyecek kaynağını tutar öncekini hafızasından siler aksi takdirde hafızasında bir önceki yiyecek kaynağını tutar. En fazla nektar miktarına sahip olan yiyecek kaynağını bulma, PTS ile PAPR düşürülmesi probleminde alt-blokların fazlarını değiştirmek için kullanılan

uygun faz ağırlıklandırma vektörlerinin bulunması anlamına gelmektedir. İşçi arılar arama işlemini bitirdikten sonra yiyecek kaynağındaki nektar miktarını gözcü arılar ile paylaşır. Bir gözcü arı, işçi arılarda aldığı bilgilere göre nektar miktarlarını değerlendirir ve yeni bir yiyecek kaynağını nektar miktarını tahmin ederek belirler. Bu durumda gözcü arılar yeni yiyecek kaynağına hareket ederler ve bu yiyecek kaynağının nektar miktarını kontrol ederler. Yeni bulunan yiyecek kaynağının nektar miktarı hafızasında tuttuğu yiyecek kaynağının nektar miktarından fazla ise öncekini hafızasından siler. PTS ile PAPR düşürülmesi probleminde ise bu olay yeni bulunan faz ağırlıklandırma vektörünün bir öncekinden daha iyi sonuç verdiği anlamına gelir. İşçi ve gözcü arılardan sonra kaşif arılar devreye girer. Yiyecek kaynağında bulunan nektar miktarlarının yeterli olup olmadığına karar verilir, eğer nektar miktarı yeterli ise bu yiyecek kaynağını dikkate alınır, eğer nektar miktarı yeterli değil ise kaşif arılar yeni çiçeklerin aranması için rastgele gönderilirler. Bu adımlar daha önceden belirlenen maksimum çevrim sayısına ulaşıncaya kadar veya bulunan çözümün yeterli olduğuna karar verilinceye kadar devam eder. Algoritmanın temel adımları ise şu şekildedir:

Başlangıç

TEKRARLA

- İşçi arıları kaynaklara gönder ve nektar miktarlarını hesapla
- Gözcü arıları kaynaklara gönder ve nektar miktarlarını hesapla
- Rastgele yeni kaynaklar bulmaları için kaşif arıları gönder
- O ana kadarki en iyi kaynağı hafızada tut

DURDURMA KRİTERİ SAĞLANANA KADAR

Özetle her bir çevrim üç adımdan oluşmaktadır: işçi ve gözcü arıların kaynaklara gönderilmesi, gidilen kaynakların nektar miktarlarının hesaplanması, kaşif arının belirlenerek yeni bir kaynağa rastgele konumlanması. Gözcü arılar rulet tekerleği prensibine göre gidecekleri yiyecek kaynaklarını belirlemektedirler. Her popülasyonda rastgele araştırma yapan kaşif arılar bulunmaktadır. Bu arılar yiyecek ararken herhangi bir ön bilgi kullanmamakta, tamamen rastgele araştırma yapmaktadırlar. Dolayısıyla arama maliyetleri düşüktür ve buldukları kaynağın ortalama nektar miktarı değeri düşüktür. Zengin nektar kaynağına sahip keşfedilmemiş yiyecek kaynakları bulmaları da olasıdır. ABC algoritmasında işçi arılardan bir tanesi seçilerek kaşif arı olmaktadır.

Bu seçme işlemi “limit” parametresine göre yapılmaktadır. Bir kaynağı ifade eden çözüm belli sayıdaki deneme ile geliştirilememişse bu kaynak olası çözümler içerisinde çıkarılır ve bu kaynağa gidip gelen işçi arı kaşif arı haline gelir. Kaynağın olası çözümler içerisinde çıkarılması için belirlenmiş deneme sayısı “limit” parametresi ile belirlenmektedir. Detaylı bir arama sürecinde keşif ve keşfedilenden faydalanma aynı anda gerçekleşmelidir. ABC algoritmasında gözcü ve işçi arılar keşfedilen kaynaklardan yararlanma işleminde, kaşif arılar ise keşif sürecinde görev alırlar. Gerçek arılarda taşıma hızı, koloninin bir kaynağı bulması ve onu kovana getirmesi ile belirlenirken, yapay arılar da ise bulunan çözümün kalite değeri yani uygunluğu ile belirlenir. ABC algoritmasında, arıların amacı E/T oranı ile ifade edilen birim zamanda yuvaya getirilen yiyecek miktarını belirten enerji fonksiyonunu maksimize etmektir. Bir maksimizasyon probleminde amaç fonksiyonunun $F(\theta_i)$, $\theta_i \in R^p$, maksimize edilmesi işlemi gerçekleşir. Burada θ_i , i. kaynağın pozisyonunu ifade eder. $F(\theta_i)$ bu nektar miktarına karşılık gelir ve $E(\theta_i)$ ile orantılıdır. c çevrim sayısı ve S kovan etrafındaki nektar kaynağı sayısı olmak üzere $P(c) = \{\theta_i(c) \mid i = 1, 2, \dots, S\}$ tüm kaynakların pozisyon bilgilerini içeren nektar kaynağı popülasyonudur. Daha önce belirtildiği gibi gözcü arıların bir kaynağı seçmeleri $F(\theta)$ değerine bağlıdır. Kaynağın nektar miktarı ne kadar fazla olursa, bu kaynağı bir gözcü arı tarafından seçilme olasılığı o kadar fazla olmaktadır. Yani θ_i pozisyonundaki bir kaynağın seçilme olasılığı aşağıdaki şekildedir.

$$P_i = \frac{F(\theta_i)}{\sum_{k=1}^S F(\theta_k)} \quad (3.4)$$

Gözcü arı, il olarak işçi arıların dansını izler ve (3.4) eşitliğindeki olasılık değeri ile θ_i konumundaki kaynağı seçer, daha sonra bu kaynağın komşuluğunda bir kaynak belirler ve bu kaynağın nektarını almaya başlar. Yani θ_i civarındaki kaynaklar arasında bir kıyaslama yapar. Seçilen komşuya ait pozisyon bilgisi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\theta_i(c+1) = \theta_i(c) \pm \phi_i(c) \quad (3.5)$$

$\Phi_i(c)$, θ_i komşuluğunda daha fazla nektara sahip bir kaynak bulabilmek için kullanılan, rastgele üretilen adım büyüklüğüdür. $\Phi_i(c)$, k i' den farklı rastgele üretilen popülasyondaki bir çözüme ait indis olmak üzere $\theta_i(c)$ ve $\theta_k(c)$ çözümlerinin bazı bölümlerinin farkının alınması ile hesaplanır. $\theta_i(c+1)$ e ait nektar miktarı $F(\theta_i(c+1))$, $\theta_i(c)$ konumundaki kaynağa ait nektar miktarından daha fazla ise arı kovana giderek bu bilgisini diğerleri ile paylaşır ve yeni pozisyon olarak $\theta_i(c+1)$ aklında tutar, aksi durumda $\theta_i(c)$ yi hafızasında saklamaya devam eder. i θ konumundaki nektar kaynağı “limit” parametresi sayısınca gelişmemiş ise θ_i deki kaynak terk edilir ve o kaynağın arısı kaşif arı haline gelerek rastgele araştırma yapar, yeni bulduğu kaynak θ_i ye atanır.

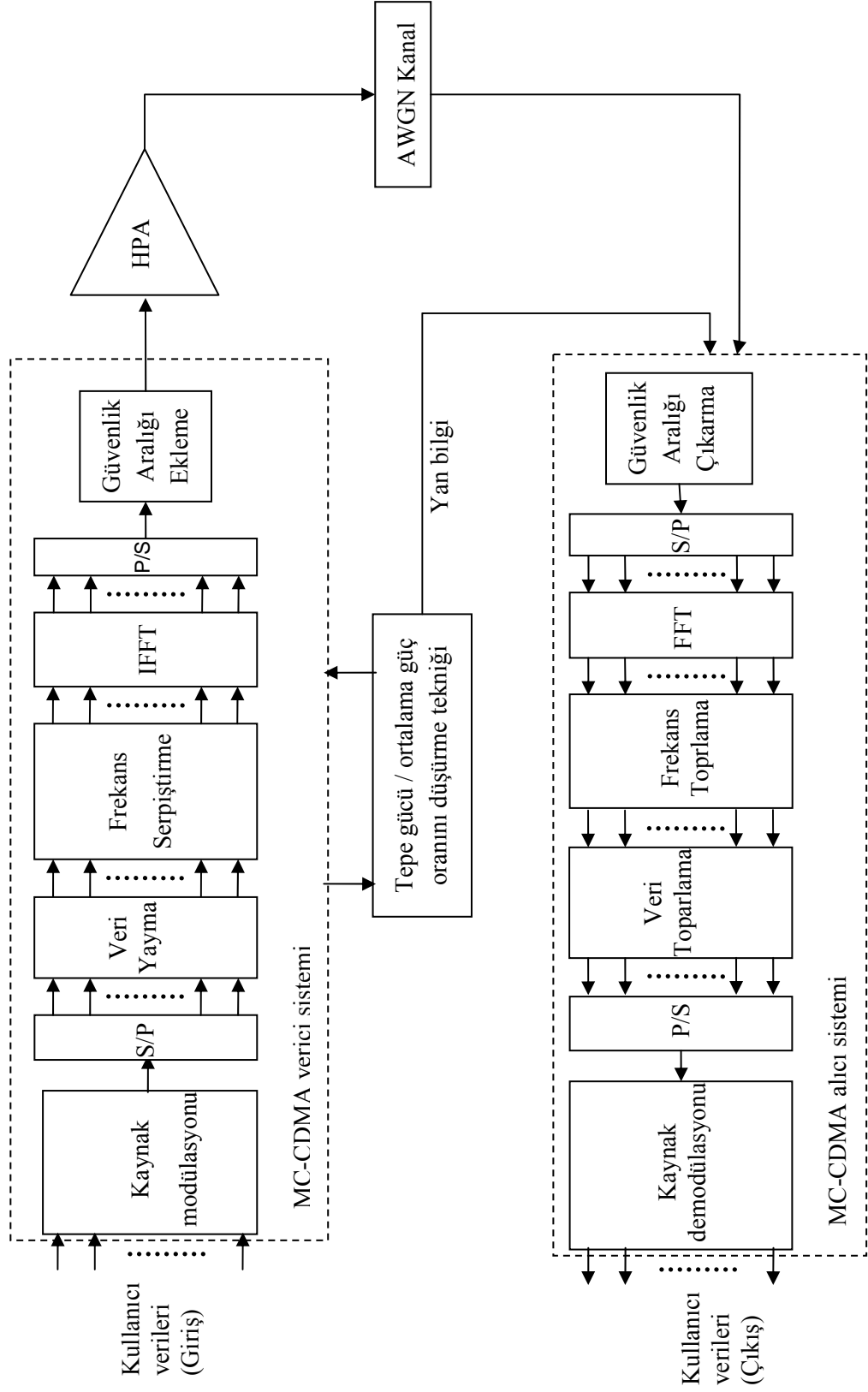
4. BÖLÜM

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

4.1. Giriş

Bu bölümde, çok taşıyıcılı kod bölmeli çoklu erişim (multi carrier code division multiple Access-MC-CDMA) sistemlerinin değişik sistem parametrelerindeki performansı, tepe gücü/ortalama güç oranı (peak-to-average power ratio-PAPR) düşürme tekniklerinin sistem performansına etkileri ve yüksek güç kuvvetlendiricisinin (high power Amplifier-HPA) sistem performansına etkileri incelenmiştir. Simülasyonlarda sistem performansları iki kritere göre değerlendirilmiştir. Birinci kriter, Şekil 5.1’de görüldüğü üzere sistemin girişine uygulanan ve kullanıcılardan gelen veri bitlerinin sistem çıkışında elde edilen veri bitleri ile karşılaştırıldığı Bit Hata Oranı (bit error ratio-BER)-işaret gürültü oranı (signal-to-noise-SNR) değişimidir. İkinci kriter ise PAPR değerinin tümleyici kümülatif dağılım fonksiyonu (complementary cumulative distribution function-CCDF) ile değişimini gösteren PAPR-CCDF grafikleridir. Simülasyonlarda kullanılan sistem modeli Şekil 4.1’de görülmektedir. Sistemde, ilk olarak kullanıcılardan gelen veri bitleri, kaynak modülasyonuna tabi tutulmaktadır. Veriler Seri/paralel dönüştürücüden sonra Yayma kodları yardımı ile frekans ekseninde yayılırlar. Bu işlemin temel olarak iki faydası vardır. Birincisi veriler, haberleşme kanalından kaynaklanan ve sadece dar bir frekans bandında meydana gelen bozucu etkilerden çok fazla etkilenmemiş olurlar. İkincisi frekans ekseninde yayılan veriler daha az güç değerlerinde (kanal gürültüsü seviyesinde) iletilirler. Bu ise yayma kodlarına sahip olmayan diğer kişilerin iletilen verileri çözmemesine neden olur, dolayısıyla frekans ekseninde yayma, güvenliğin önemli olduğu durumlar için çok etkilidir. Frekans ekseninde yayılan veriler daha sonra frekans serpiştirme işlemine tabi tutulur. Bu sayede frekans ekseninde yan yana olan veriler frekans ekseninin değişik bölgelerine gönderilirler. Bu sayede haberleşme kanalının sadece belirli bir bandındaki

gürültüden meydana gelen burst hatanın etkileri en aza indirilmiş olunur. Bu işlemlerden sonra verilerin taşınacağı alt-taşıyıcıların oluşturulduğu ters hızlı fourier dönüşümü (inverse fast fourier transform-IFFT) işlemine tabi tutulurlar. Alt-taşıyıcılar birbirine ortogondur (dikdir). Bu sayede herhangi bir alt-taşıyıcının yan bandı diğer alt-taşıyıcıların ana bantlarında bir bozucu etki göstermez. IFFT işleminin sağladığı diğer bir fayda ise mevcut frekans bandının verimli bir şekilde kullanılmasına izin vermesidir. Alt-taşıyıcılar da oluşturulduktan sonra temel bir MC-CDMA işareti oluşmuş olur. Sinyallere güvenlik aralığı eklenerek semboller arası girişim'in (inter-symbol interference-ISI) bozucu etkileri azaltılmış olunur. Temel bir MC-CDMA sinyalinin PAPR değeri yüksektir ve bu değerin yüksek olmasından dolayı sistemin performansı düşmektedir. PAPR değerini düşürmek için Şekil 4,1'de görüldüğü gibi PAPR düşürme tekniğı MC-CDMA verici sistemi ile paralel olarak çalışmaktadır. Simülasyon sonuçlarında literatürde bulunan PAPR düşürme teknikleri ile birlikte yapay arı kolonisi (artificial bee colony-ABC) tabanlı kısmi iletim dizisi (partial transmit sequence-PTS) optimizasyon tekniğı ve yapay sinir ağıları (YSA) tabanlı ton ekleme (tone injection-TI) optimizasyon tekniğı kullanılarak performansları incelenmiştir. PAPR düşürme tekniğı uygulanan MC-CDMA işareti, haberleşme kanalından iletilmeden hemen önce HPA aracılığı ile kuvvetlendirilir. Simülasyonlarda HPA modellerinden biri olan katı-hal güç kuvvetlendirici (solid state power Amplifier-SSPA) kullanılmış ve sistem üzerindeki etkileri değişik parametreler için incelenmiştir. SSPA tarafından kuvvetlendirilen sinyaller, sistem alıcı kısmına iletmek için haberleşme kanalına verilirler. Simülasyonlarda, sinyallerin bir haberleşme kanalı türü olan toplanabilir beyaz gaussian gürültü (additive white gaussian noise -AWGN) kanalından iletilmesi durumundaki sistem performansı incelenmiştir. Sistem alıcı kısmı Şekil 4.1'de görüleceğı üzere verici kısmında yapılan işlemlerin sırasıyla tersi yapılmaktadır. İlk olarak güvenlik aralığı çıkarılmakta, seri veri paralel bilgiye dönüştürülerek hızlı fourier dönüşümü (fast fourier transform-FFT) yapılan sinyaller frekans serpiştirme işleminin tersi olan frekans toplama işleminden geçirilirler. Daha sonra yayma kodlarının yardımı ile toparlanan sinyaller kaynak demodülasyonu ile bit dizilerine dönüştürülür.



Şekil 4.1. Simülasyonlarda kullanılan sistem modeli.

4.2. Simülasyon Sonuçları

4.2.1. Sistem Parametrelerinin MC-CDMA Sistemi için PAPR-CCDF ve BER-SNR Performanslarına Etkisi

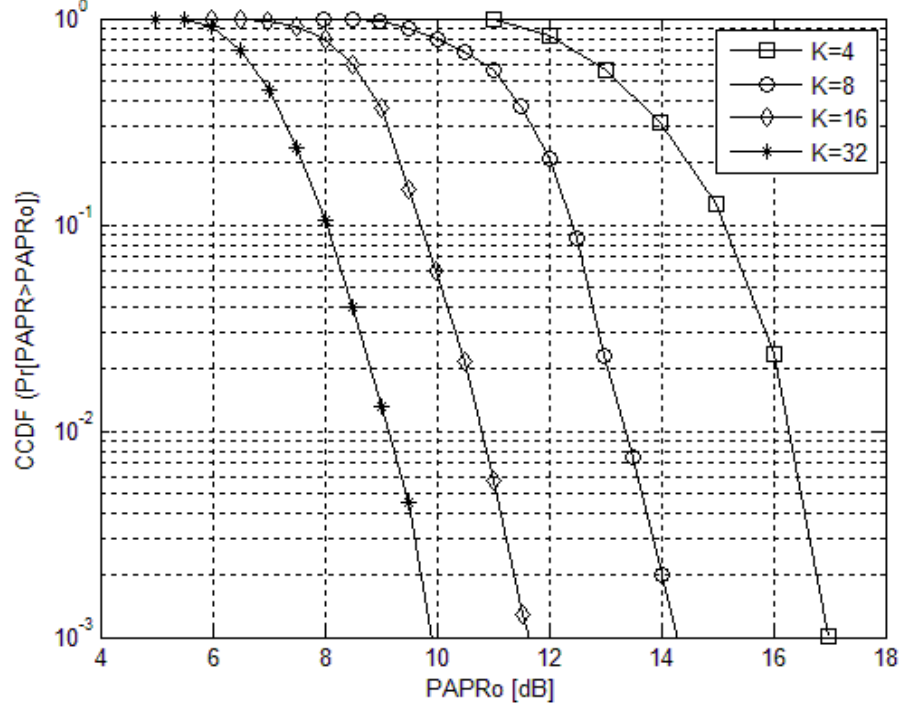
Bu bölümde simülasyonlarda kullanılan sistem parametrelerinin, temel MC-CDMA sistemi için PAPR-CCDF ve BER-SNR performanslarına etkileri incelenmiştir. Simülasyonlarda kullanılan sistem parametreleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Sistem parametreleri belirlenirken literatürde kullanılan parametre değerleri dikkate alınmıştır. Bu bölümde ÇT-KBÇE sistemi için PAPR-CCDF performansı incelenirken herhangi bir PAPR düşürme tekniği uygulanmamıştır. Yine aynı şekilde MC-CDMA sistemi için BER-SNR performansı incelenirken SSPA yerine lineer kuvvetlendirici kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Simülasyonlarda kullanılan sistem parametreleri

Sembol	Parametre	Değer
	Modülasyon tipi	QPSK, QAM
K	Kullanıcı sayısı	4, 8, 16, 32
N	Alt-taşıyıcı sayısı	32, 64, 128, 256
	Yayma kodu	Wals Hadamard, Golay, Gold
J	Yayma faktörü	8, 16, 32
	Kuvvetlendirici	SSPA
IBO	Input back-off	0, 3, 6 [dB]
p	Düzleştirme faktörü	0.5, 2
L	Aşırı örnekleme faktörü	4
	Kanal	AWGN

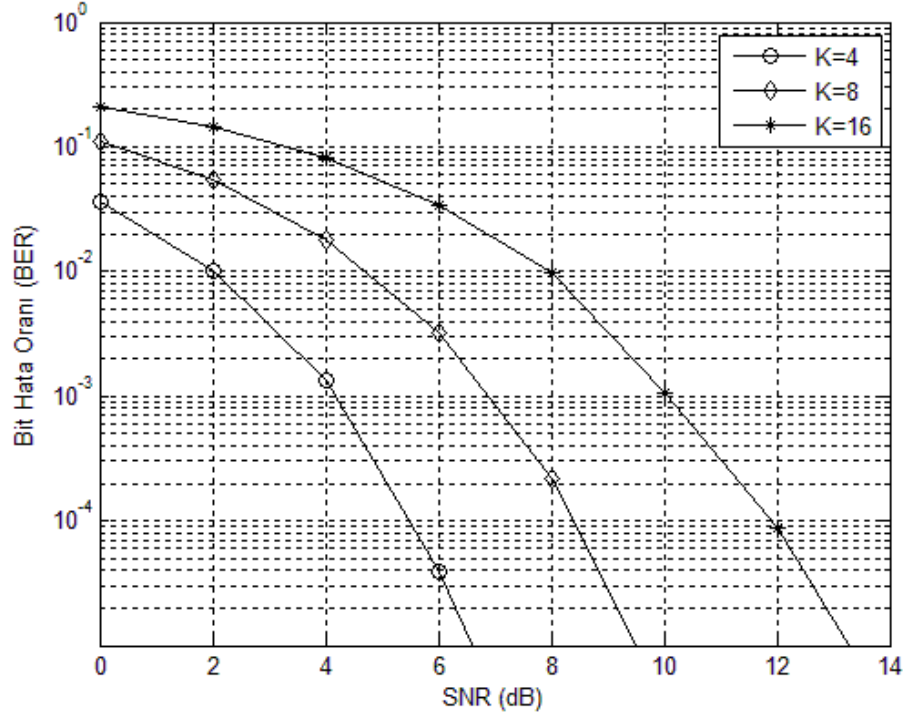
Şekil 4.2’de 4, 8, 16 ve 32 adet aktif kullanıcıya sahip MC-CDMA sisteminin PAPR-CCDF değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.2 grafiği için sistem parametreleri Wlash-Hadamard yayma kodu, alt-taşıyıcı sayısı 128 yayma faktörü 16 ve modülasyon tipi QPSK olarak belirlenmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi kullanıcı sayısı arttıkça MC-

CDMA sinyallerinin PAPR değeri düşmektedir. Kullanıcı sayısının 4 olduğu durumda sinyallerin PAPR değeri 17 dB iken kullanıcı sayısının 32 olduğu durumda PAPR değeri yaklaşık olarak 10 dB olarak görülmektedir.



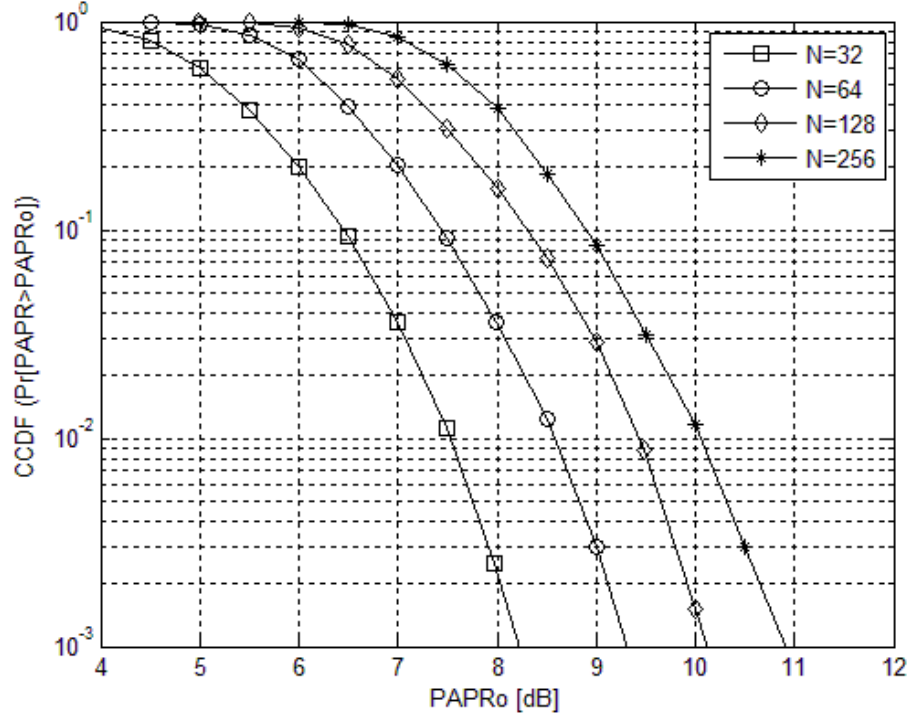
Şekil 4.2. Farklı kullanıcı sayılarındaki ÇT-KBÇE sisteminin PAPR-CCDF değişimi.

Şekil 4.3'de 4, 8, 16 ve 32 adet aktif kullanıcıya sahip MC-CDMA sisteminin BER-SNR değişimi AWGN kanal tipi için verilmektedir. Şekil 4.3'de parametre değerleri Walsh-Hadamard yayma kodu, alt-taşıyısı sayısı 128 yayma faktörü 16 ve modülasyon tipi QPSK olarak belirlenmiştir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi kullanıcı sayısı arttıkça sistemin performansı düşmektedir. Bunun sebebi ise kullanıcı sayısı arttıkça aynı frekans bandında ve aynı zaman diliminde MC-CDMA sisteminde iletilen verilerin sayısı artmakta ve bu da verilerin alıcıda çözülme ihtimalini daha da azalmaktadır. Örneğin 10^{-2} BER değerine ulaşmak için kullanıcı sayısının 4 olduğu durumda SNR değerinin 2 dB olması gerekirken kullanıcı sayısının 16 olduğu durumda SNR değerinin 8 dB olması gerekmektedir. 10^{-5} BER değerine ulaşmak için kullanıcı sayısının 4 olduğu durumda SNR değerinin yaklaşık 6,5 dB olması gerekirken kullanıcı sayısının 16 olduğu durumda SNR değerinin 13 dB olması gerekmektedir.



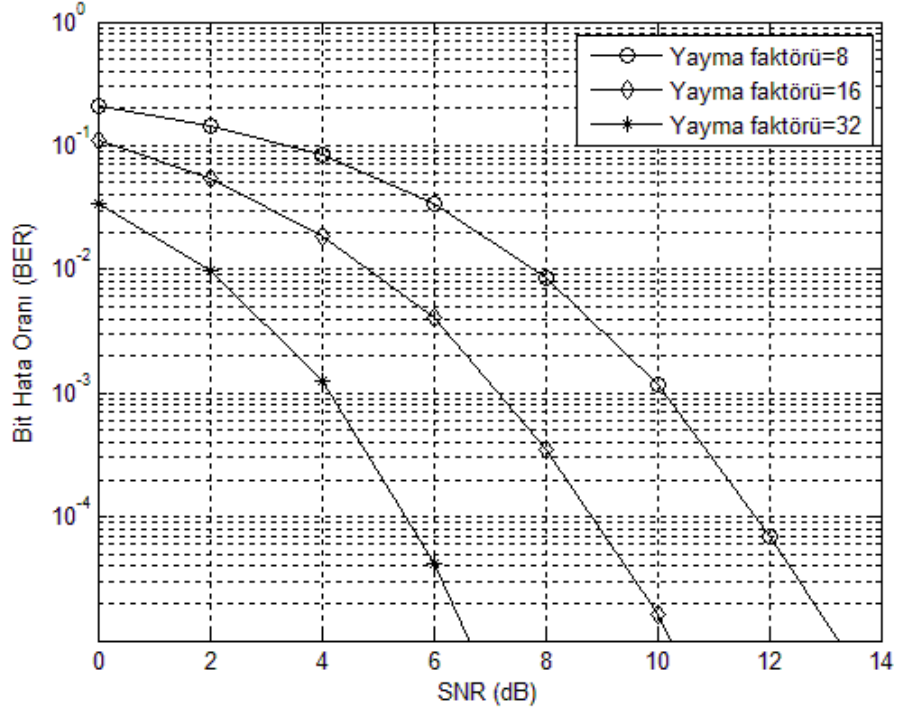
Şekil 4.3. Farklı kullanıcı sayılarına sahip MC-CDMA sistemi için AWGN kanal tipinde SNR'ye göre BER değişimi.

Şekil 4.4'de alt-taşıyıcı sayısının MC-CDMA işaretleri için PAPR-CCDF değişimi verilmektedir. Şekil 4.4'de parametre değerleri Walsh-Hadamard yayma kodu, kullanıcı sayısı 16 yayma faktörü 16 ve modülasyon tipi de QPSK olarak belirlenmiştir. Şekil 4.4'de görüleceği gibi alt-taşıyıcı sayısı arttıkça sinyallerin PAPR değeri de artmaktadır. Örneğin Alt-taşıyıcı sayısının 32 olduğu durum için CCDF değerinin 10^{-1} olması için PAPR değerinin 6,5 dB olması gerekirken alt-taşıyıcı sayısının 256 olduğu durum için CCDF değerinin 10^{-1} olması için PAPR değerinin yaklaşık olarak 9 dB olması gerekmektedir. Aynı şekilde alt-taşıyıcı sayısının 32 olduğu durum için CCDF değerinin 10^{-5} olması için PAPR değerinin 8,2 dB olması gerekirken alt-taşıyıcı sayısının 256 olduğu durum için CCDF değerinin 10^{-1} olması için PAPR değerinin yaklaşık olarak 11 dB olması gerekmektedir.



Şekil 4.4. Farklı alt-taşıyıcı sayılarındaki MC-CDMA sisteminin PAPR-CCDF değişimi

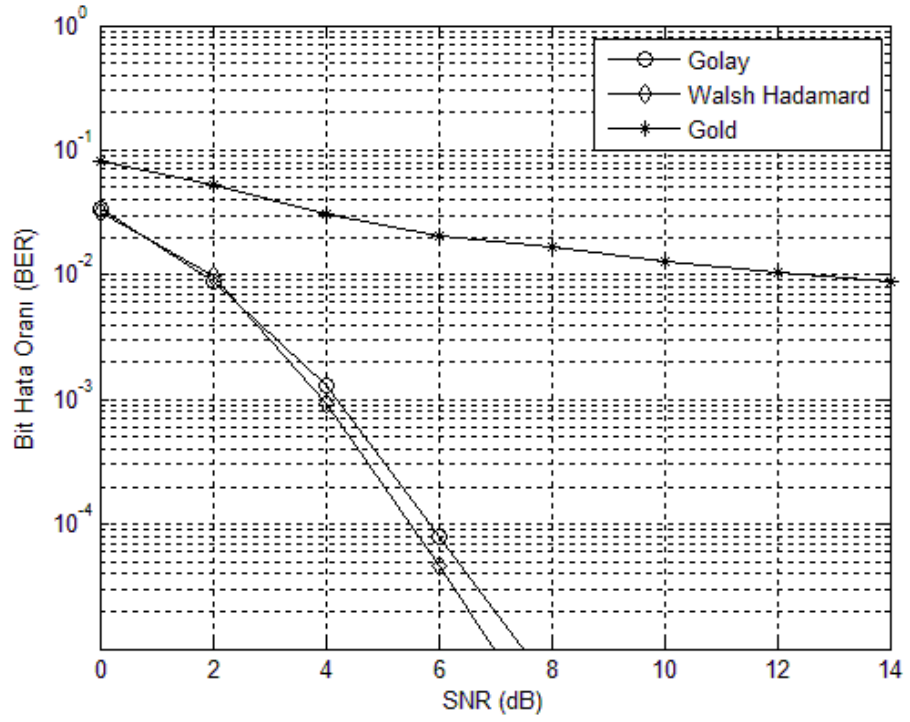
Şekil 4.5’de farklı yayma faktörleri (spreading factor-SF) için MC-CDMA sisteminin BER- SNR değişimi verilmektedir. Şekil 4.5’de parametre değerleri Walsh-Hadamard yayma kodu, kullanıcı sayısı 16 alt-taşıyıcı sayısı 128 ve modülasyon tipi QPSK olarak belirlenmiştir. Şekil 4.5’de görüleceği gibi yayma uzunluğu arttıkça sistemin BER-SNR performansı artmaktadır. MC-CDMA sistemlerinde kullanıcılardan gelen ve iletilecek olan verilerin boyutu belirli şartlara bağlıdır. Bunlardan bir tanesi de yayma faktörüdür. İletilecek olan veri boyutu alt-taşıyıcı sayısının yayma faktörüne oranı şeklinde belirlenir. Sabit alt-taşıyıcı sayısı için SF’nin artması bir çevrim (frame) için daha az sayıda kullanıcı verisinin iletilmesi anlamına gelir. Bir çevrimde diğer sistem parametreleri sabit kalması koşulu ile iletilen veri sayısı azaldıkça sistemin BER-SNR performansı artmaktadır. Örneğin 10^{-2} BER değerine ulaşmak için yayma faktörünün 32 olduğu durumda SNR değerinin 2 dB olması gerekirken yayma faktörünün 8 olduğu durumda SNR değerinin 8 dB olması gerekmektedir. 10^{-5} BER değerine ulaşmak için yayma faktörünün 32 olduğu durumda SNR değerinin yaklaşık 6,5 dB olması gerekirken yayma faktörünün 8 olduğu durumda SNR değerinin 13 dB olması gerekmektedir.



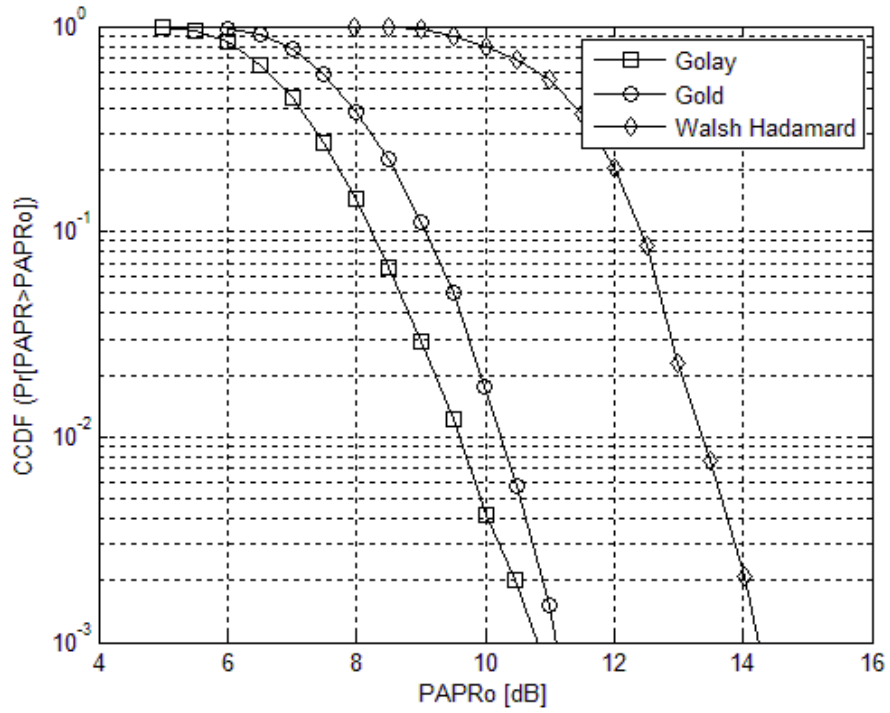
Şekil 4.5. Farklı yayma faktörlerini kullanan MC-CDMA sistemi için AWGN kanal tipinde SNR'ye göre BER değişimi.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 yayma kodlarının MC-CDMA sistemi için PAPR-CCDF ve BER-SNR performanslarına etkisi görülmektedir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de parametre değerleri Walsh-Hadamard, Golay ve Gold yayma kodları, kullanıcı sayısı 16, alt-taşıyıcı sayısı 128, modülasyon tipi QPSK ve yayma faktörleri Walsh-Hadamard ve Golay kodları için 32, Gold kodu için 31 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi Walsh-Hadamard yayma kodu Golay ve Gold yayma kodlarının kullanıldığı durumdan daha iyi performans göstermektedir. Bu üç yayma kodundan Gold yayma kodu kullanıldığı durumda en kötü sistem performansı elde edilmiştir. Bundan dolayı da literatürde ve simülasyon çalışmalarında Walsh-Hadamard yayma kodu kullanılmıştır.

Şekil 4.7'de ise yayma kodlarının MC-CDMA sistemi işaretlerinin PAPR-CCDF etkisi görülmektedir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi en iyi performansı Golay yayma kodunu kullanan sistem verirken en kötü sonucu ise Walsh-Hadamard yayma kodunu kullanan sistem vermektedir.

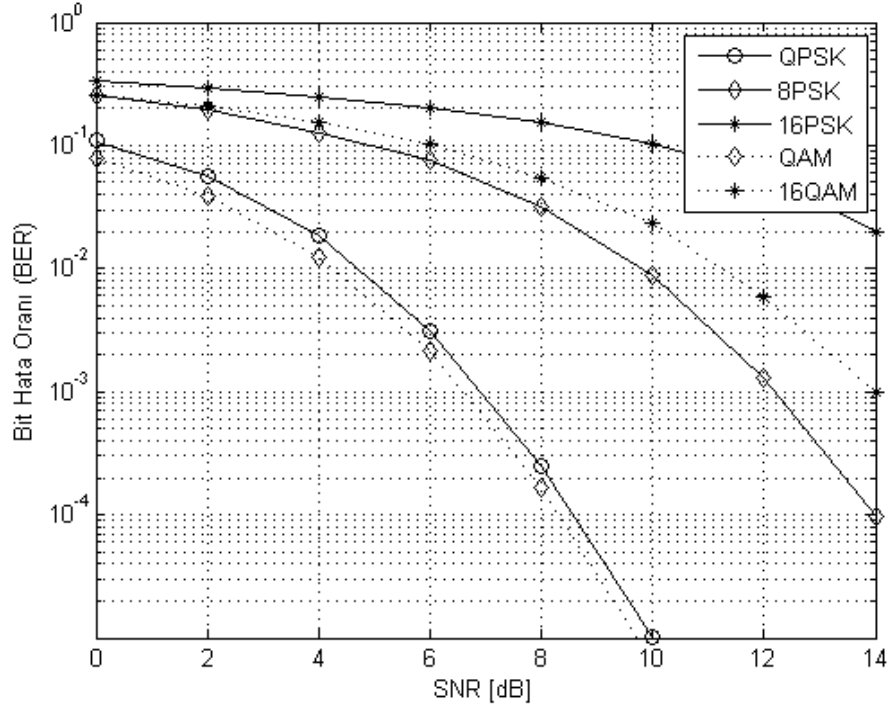


Şekil 4.6. Farklı yayma kodlarını kullanan MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.



Şekil 4.7. Farklı yayma kodlarını kullanan MC-CDMA sisteminde PAPR-CCDF değişimi.

Şekil 4.8’de MC-CDMA sisteminde kullanılan değişik tipteki modülasyon türleri için SNR’ye göre BER değişimi görülmektedir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi bu modülasyon türlerinden en iyi iki performansı dördün genlik modülasyonu (Quadrature amplitude modulation-QAM) ve dördün faz kaydırmalı anahtarlama (Quadrature phase-shift keying-QPSK) modülasyon türleri göstermektedir. Çünkü QAM ve QPSK modülasyonlarında bir sembol 2 bit ile temsil edilirken 16PSK ve 16QAM modülasyon türlerinde bir sembol 4 bit ile temsil edilmektedir. Bundan dolayı literatürde ve simülasyonlarda QAM ve QPSK modülasyon türleri daha çok kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Değişik modülasyon tipleri kullanan MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR’ye göre BER değişimi.

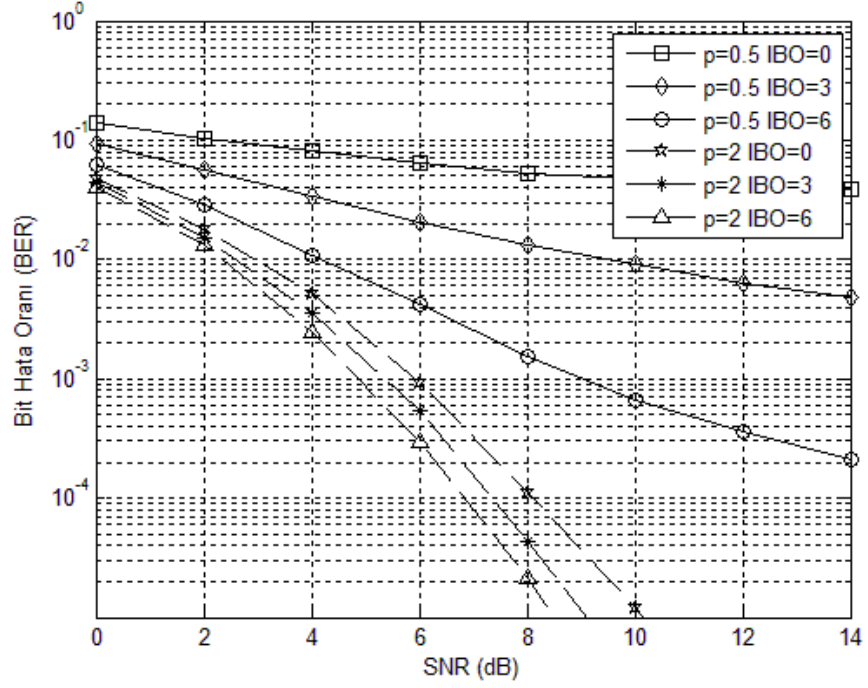
4.2.2. Yüksek Güç Kuvvetlendiricinin (HPA), AWGN kanal Tipinde MC-CDMA Sistemi Üzerine Etkisi

Şekil 4.9, Şekil 5.10 ve Şekil 4.11’de simülasyon çalışmalarında kullanılan ve HPA’nın bir türü olan SSPA kuvvetlendiricinin MC-CDMA sistemi üzerindeki BER-SNR performansı görülmektedir. MC-CDMA sistemi tarafından elde edilen işaretler haberleşme kanalına verilmeden önce HPA tarafından kuvvetlendirilirler. İşaretler üzerinde doğrusal olmama etkisi olan HPA’lar özellikle yüksek PAPR’a sahip

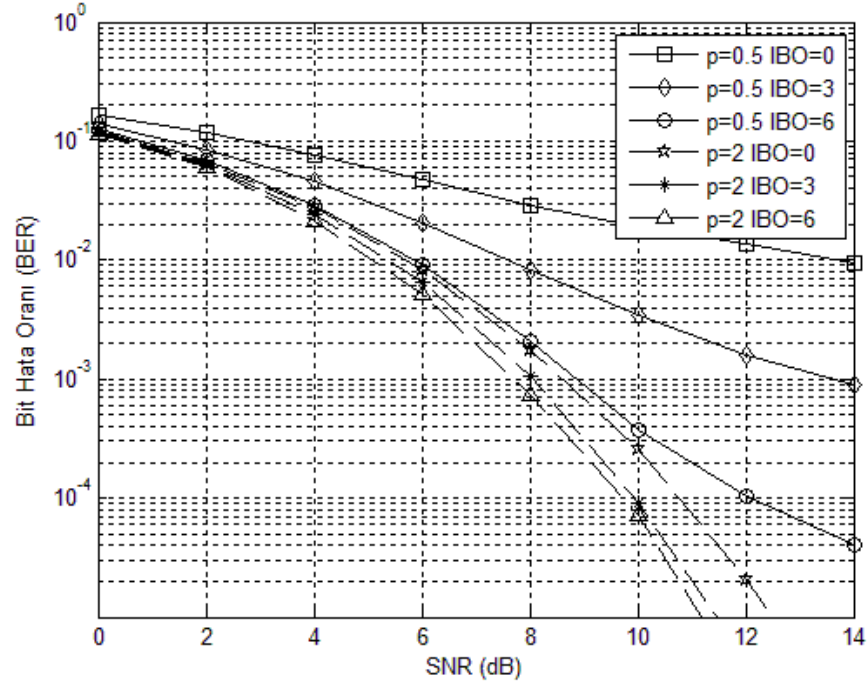
işaretlerin aşırı derecede bozulmalarına neden olarak sistemin performansını düşürmektedir. Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de sırasıyla 8, 16 ve 32 kullanıcıya sahip MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması durumundaki BER-SNR grafikleri görülmektedir. Sistem parametre değerleri Walsh-Hadamard yayma kodu, kullanıcı sayısı 16, alt-taşıyıcı sayısı 128, yayma faktörü 16 ve modülasyon tipi QPSK olarak belirlenmiştir. SSPA türü amplifikatörlerde temel olarak iki kontrol parametresi vardır. Bunlar daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi IBO (input back-off) ve düzgünlük faktörü (smoothness factor) p ’dir. Bu iki parametre SSPA’nın çalışma noktasını belirler. Yüksek IBO ve p değerleri SSPA’nın doğrusal bölgede çalıştığını gösterirken düşük IBO ve p değerleri SSPA’nın doğrusal olmayan bölgede çalıştığını gösterir. SSPA doğrusal bölgeye yakın noktalarda çalışır ise sinyallerin bozulması az olacaktır. Buna karşın SSPA doğrusal olmayan bölgede çalışır ise işaretlerin bozulması daha fazla olur. Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de görüldüğü gibi SSPA’nın parametre değerleri MC-CDMA sisteminin performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

Şekil 4.9’da 8 kullanıcıya sahip MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR’ye göre BER değişimi SSPA kullanıldığı durumda verilmektedir. İlk olarak $p = 0.5$ olduğu durum dikkate alınır; IBO = 0 olduğunda sistem en kötü BER-SNR performansını göstermektedir. IBO = 6 olduğunda ise BER değerinin 10^{-5} olması için SNR’nin yaklaşık 9 dB olması gerekir. $p = 2$ olduğu durum dikkate alınır; IBO = 6 olduğunda sistem en iyi BER-SNR performansını göstermektedir. IBO = 6 olduğunda BER değerinin 10^{-5} olması için SNR’nin yaklaşık 8,5 dB olması gerekir.

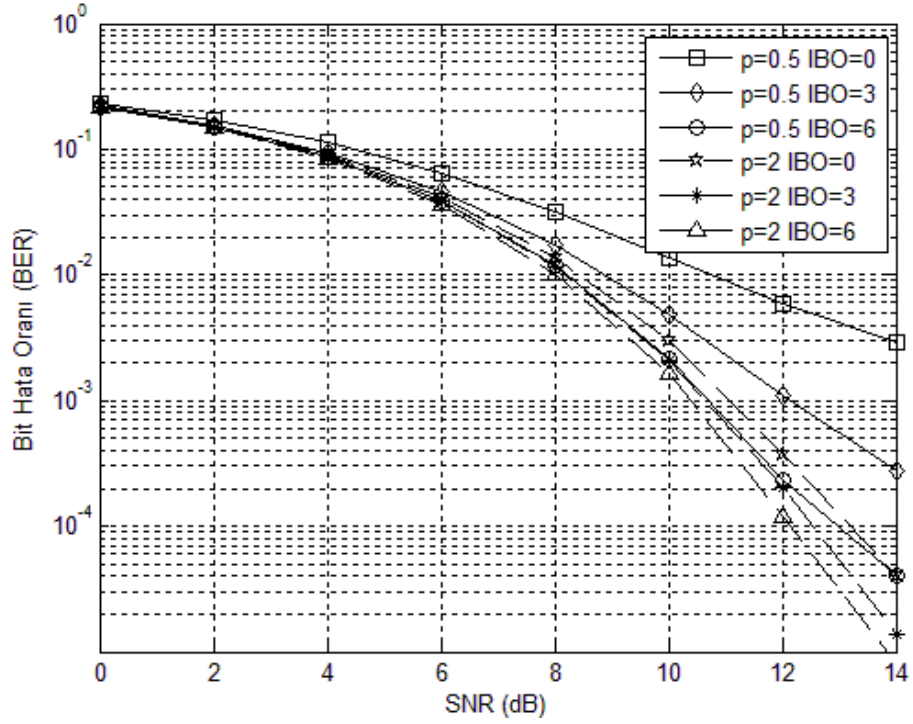
Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de görüldüğü gibi kullanıcı sayısı arttıkça sistemin BER-SNR performansı düşmektedir. En iyi MC-CDMA sistem performansını veren SSPA parametre değerleri olan $p = 2$ ve IBO = 6 durumu ele alınsın. 8 kullanıcı bir sistem için, sistemin BER değerinin 10^{-5} olması için SNR’nin yaklaşık 8,5 dB olması gerekir. 16 kullanıcı bir sistem için, sistemin BER değerinin 10^{-5} olması için SNR’nin yaklaşık 11 dB olması gerekir. 32 kullanıcı bir sistem için, sistemin BER değerinin 10^{-5} olması için SNR’nin yaklaşık 14 dB olması gerekir.



Şekil 4.9. SSPA'nın 8 kullanıcılı MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.



Şekil 4.10. SSPA'nın 16 kullanıcılı MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.

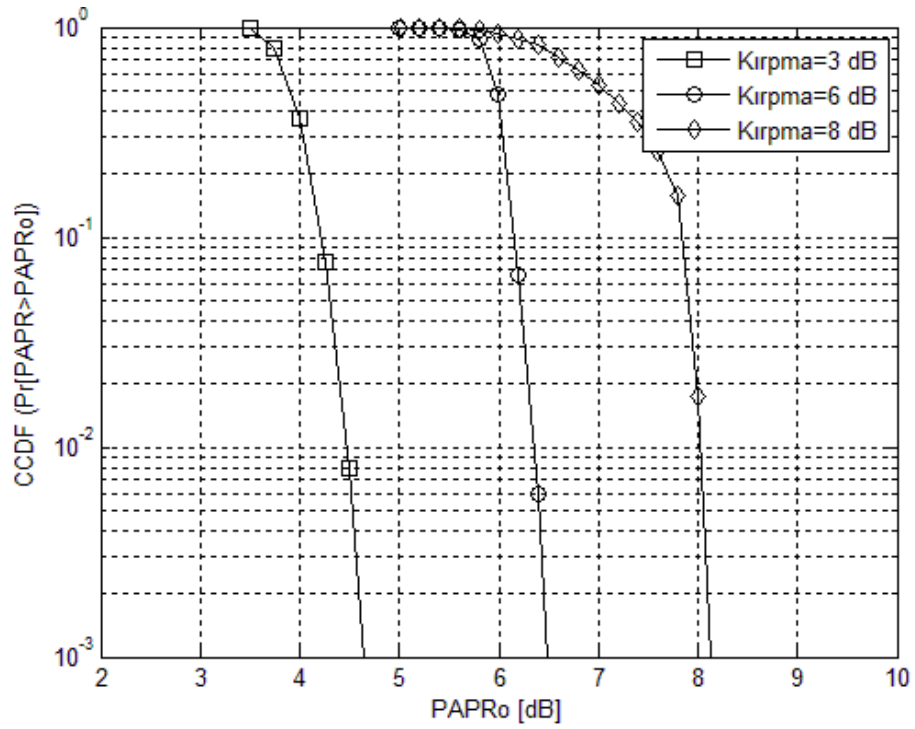


Şekil 4.11. SSPA'nın 32 kullanıcı MC-CDMA sisteminde AWGN kanal için SNR'ye göre BER değişimi.

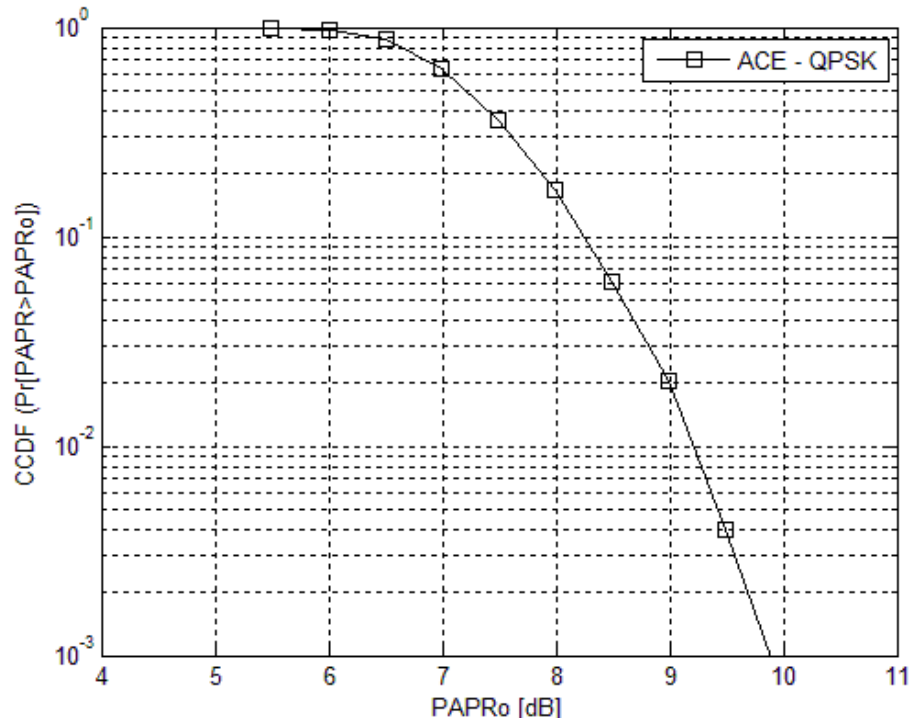
4.2.3. Klasik PAPR Düşürme Tekniklerinin Performanslarının Değerlendirilmesi

Klasik PAPR düşürme tekniklerinden literatürde yer alan kırpma (clipping), ton ekleme (tone injection (TI)), aktif yıldız kümesi genişletme (active constellation extension (ACE)), seçici eşleme (selective mapping (SLM)) ve kısmi iletim dizisi (partial transmit sequence (PTS)) yöntemleri incelenmiştir. Bu bölümde kullanılan sistem parametre değerleri Walsh-Hadamard yayma kodu, kullanıcı sayısı 16, alt-taşıyıcı sayısı 128, yayma faktörü 16 ve modülasyon tipi QPSK olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.12'de PAPR düşürme tekniklerinden uygulanması en kolay olan kırpma tekniğinin PAPR-CCDF değişimi görülmektedir. Şekil 4.12'de Kırpma = 3 dB değeri için 10^{-3} CCDF değerinde MC-CDMA işaretlerinin PAPR değeri yaklaşık olarak 4.7 dB olmaktadır. Kırpma = 8 dB değeri için 10^{-3} CCDF değerinde sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 8.2 dB olmaktadır. Kırpma yönteminde sinyallerin belirli bir güçten sonraki değerleri atıldığı için sinyallerdeki bilgi kaybı çok fazla olmaktadır. Bu yüzden Kırpma yöntemi pratik uygulamalarda kullanışlı olmamaktadır.



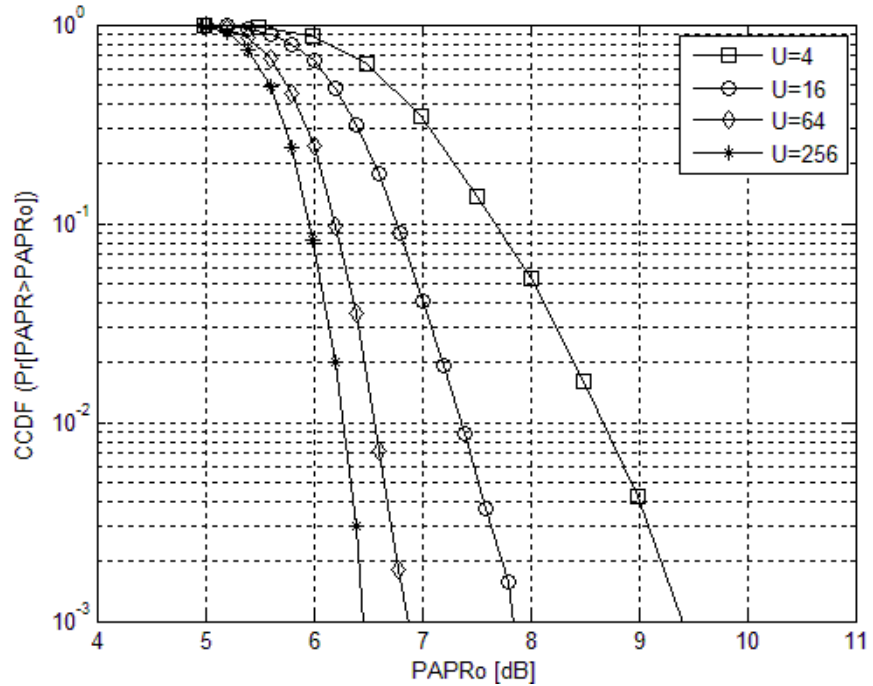
Şekil 4.12. Kırpma metodu ile 3, 6 ve 8 dB tepe gücüne oranla kırpma uygulandığında MC-CDMA sistemi için PAPR-CCDF değişimi.



Şekil 4.13. ACE metodunun MC-CDMA işareti için PAPR-CCDF değişimi.

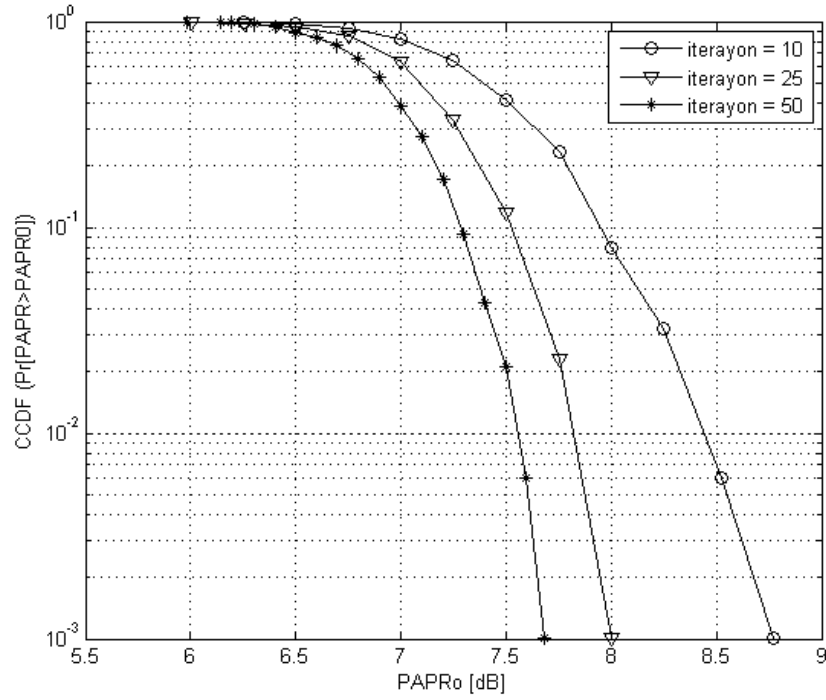
Şekil 4.13’de PAPR düşürme tekniklerinden ACE yönteminin sistem performansı üzerindeki PAPR-CCDF etkisi görülmektedir. ACE tekniğinde kullanılan veri modülasyon tipine göre işaretlerin genişleme aralığı belirlenir. Bu yöntemde işaretler genişlediğinden dolayı daha büyük bir güce sahip olurlar bu da işaretlerin daha fazla güçle iletilmesine neden olur, ama bu da sistemin BER-SNR performansını artırır. Şekil 4.13’de 10^{-3} CCDF değerinde sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 10 dB olmaktadır.

Şekil 4.14’de Seçici eşleme (SLM) yöntemiyle MC-CDMA işaretlerinin PAPR değerinin düşürülmesinin sonuçları görülmektedir. Şekil 4.14’de SLM metodu için MC-CDMA işaretinin kopyalanma sayısı olarak 4, 16, 64 ve 256 belirlenmiştir ve her bir kopyalama sinyallerin değişik faz döndürme katsayıları ile çarpılacağı anlamına gelmektedir. Kopyalanma sayısı en az olan $U = 4$ değeri en kötü PAPR-CCDF performansını göstermektedir. Bu değer için 10^{-3} CCDF değerine sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 9,5 dB olmaktadır. Kopyalanma sayısı en fazla olan $U = 256$ değeri en iyi PAPR-CCDF performansını göstermektedir. Bu değer için 10^{-3} CCDF değerine sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 6,5 dB olmaktadır.



Şekil 4.14. SLM metodunun MC-CDMA işaretlerinin değişik kopyalama sayılarındaki PAPR-CCDF değişimi.

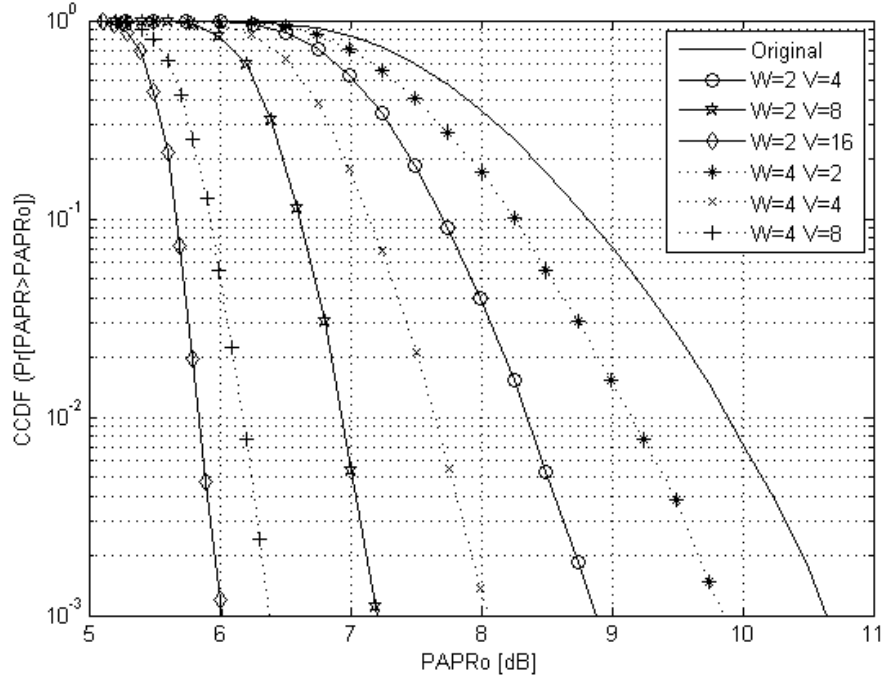
Şekil 4.15’de ton ekleme (TI) yöntemiyle MC-CDMA işaretlerinin PAPR değerinin düşürülmesinin sonuçları QAM modülasyonunu kullanıldığında 10, 25 ve 50 iterasyon için görülmektedir. TI yönteminde karmaşık kullanıcı veri vektörleri genlikleri ve fazları değiştirilerek en optimum PAPR değeri bulunmaya çalışılır. Şekil 4.15’de 10 iterasyon değeri için 10^{-5} CCDF değerine sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 8,75 dB olmaktadır. 50 iterasyon değeri için 10^{-5} CCDF değerine sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 7,7 dB olmaktadır.



Şekil 4.15. Ton ekleme metodunun değişik iterasyonlardaki MC-CDMA sistemi için PAPR-CCDF değişimi.

Literatürde MC-CDMA işaretlerinin PAPR değerini düşürmek için en çok kullanılan yöntem kısmi iletim dizisi (PTS) yöntemidir. Şekil 4.16’da değişik faz çarpanı sayısı (W) ve değişik alt-blok sayısı (V) değerlerinde klasik PTS yönteminin PAPR-CCDF performansı ve MC-CDMA işaretlerinin hiçbir optimizasyon tekniği uygulanmadığı durumdaki PAPR-CCDF değeri görülmektedir. Faz çarpanı sayısı ve alt-blok sayısı arttıkça PTS’nin tepe PAPR düşürümündeki performansı artmaktadır. Bununla birlikte hesaplama karmaşıklığı da artmaktadır. Örneğin faz çarpanı sayısının iki alt-blok sayısının 16 olduğu durumda optimum PAPR düşürümü için PTS

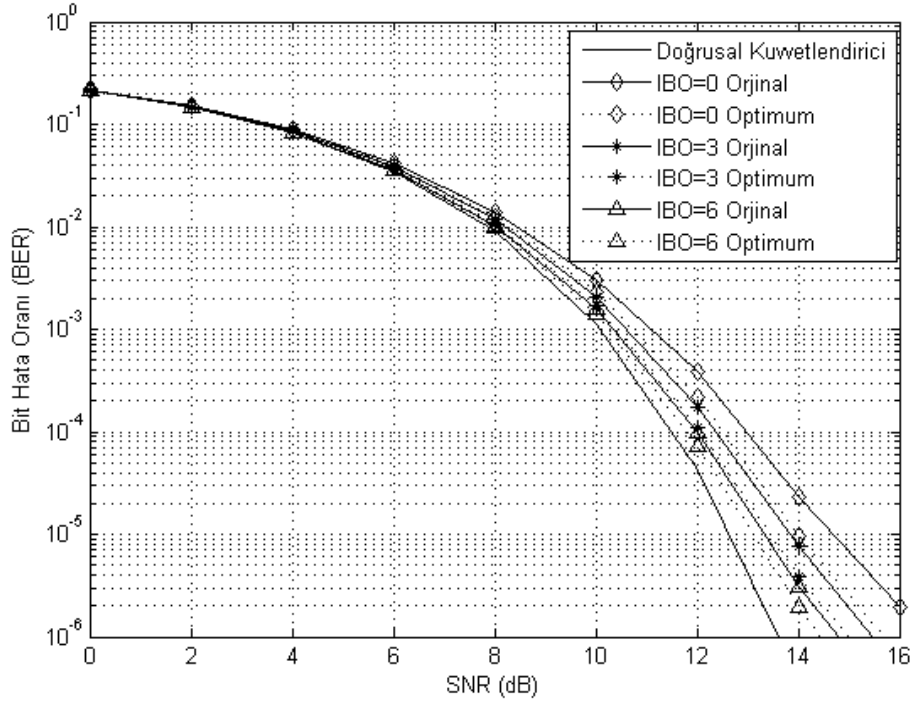
$W^{V-1} = 2^{16-1} = 32768$ iterasyona ihtiyaç duyar. Aynı şekilde faz çarpanı sayısının dört alt-blok sayısının 8 olduğu durumda optimum PAPR düşürümü için PTS $W^{V-1} = 4^8-1 = 16384$ iterasyona ihtiyaç duyar. Şekil 5.16'da MC-CDMA işaretlerinin PTS optimizasyonu kullanılmadığı durum için orijinal ifadesi kullanılmıştır. Bu durumda 10^{-3} CCDF değerine sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 10,6 dB olmaktadır. $V = 4$ durumu için $W=2$ ve $W=4$ değerleri karşılaştırıldığında; $W = 2$ için 10^{-3} CCDF değerine sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 8,9 dB olurken $W = 4$ için 10^{-3} CCDF değerine sinyallerin PAPR değeri yaklaşık olarak 8 dB olmaktadır. $W = 4$ değeri daha iyi sonuç vermesine karşın daha fazla iterasyona ihtiyaç duyar.



Şekil 4.16. Klasik PTS yöntemi için değişik faz çarpanı (W) ve alt-blok (V) sayılarında MC-CDMA işaretlerinin PAPR-CCDF değişimi.

Şekil 4.17'de Klasik PTS yöntemi uygulandığında MC-CDMA işaretlerinin SSPA ve lineer bir kuvvetlendirici kullanılarak iletilmesi durumunda BER-SNR performansı verilmektedir. SSPA parametreleri IBO 0 dB, 3 dB ve 6 dB, p ise 2 olarak alınmıştır. Şekil 4.17'de görüldüğü gibi IBO değeri arttıkça SSPA'nın performansı lineer kuvvetlendiricinin performansına yaklaşmaktadır. IBO değerinin artması SSPA'nın

lineer bölgede çalışmasını sağlar bu durumda MC-CDMA işaretlerinin bozulmalarının minimum seviyede kalmasını sağlar. IBO değerinin azalması SSPA'nın lineer olmayan bölgede çalışmasına neden olur bu da MC-CDMA işaretlerinin daha fazla bozulmaları anlamına gelir ve sistemin BER-SNR performansını düşürür. Şekil 4.17'de orijinal olarak adlandırılan ifade MC-CDMA işaretlerinin hiçbir PAPR düşürümü tekniği uygulanmadığı durum için, optimum olarak adlandırılan ifade ÇT-KBÇE sinyallerinin PTS tekniği uygulandığı durum içindir. PTS parametreleri olarak $W = 2$ ve $V = 16$ kullanılmıştır. Şekil 4.17'de Lineer kuvvetlendirici için SNR değerinin 13,8 dB olması durumunda BER değeri 10^{-3} olmaktadır. SSPA kullandığı durumda ise IBO değeri arttıkça sistemin BER-SNR performansı artmaktadır. IBO = 6 ve optimum durum için sistemin performansı SNR değeri 14,2 dB için BER değeri 10^{-6} olurken lineer kuvvetlendirici kullanılması durumunda SNR değeri 13,8 dB için BER değeri 10^{-6} olmaktadır. Bu iki durum arasında sadece 0,4 dB'lik bir fark vardır. IBO = 0 ve optimum durum ile IBO = 3 ve orijinal durum dikkate alındığında her iki durumun BER SNR performansları hemen hemen aynıdır. Bu da bize PTS optimizasyonun IBO değerinde 3 dB'lik bir kazanç sağladığını göstermektedir.



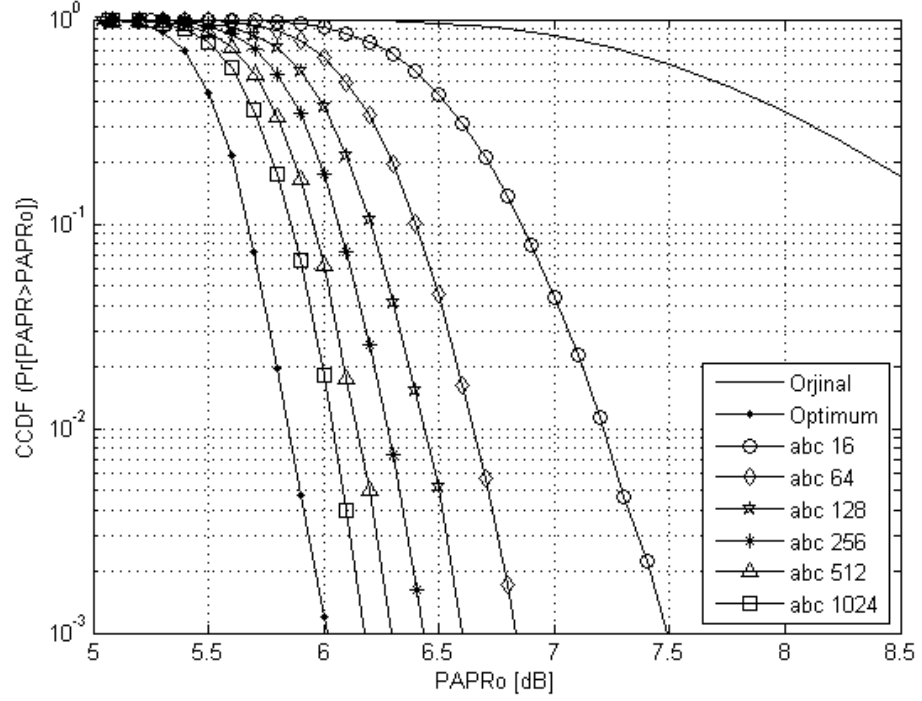
Şekil 4.17. Klasik PTS için MC-CDMA işaretlerinin SSPA kullanılması durumunda AWGN kanal tipinde SNR'ye göre BER değişimi.

4.2.4. PAPR Değerini Düşürmek için Kullanılan Yapay Zeka Tekniklerinin Performanslarının Değerlendirilmesi

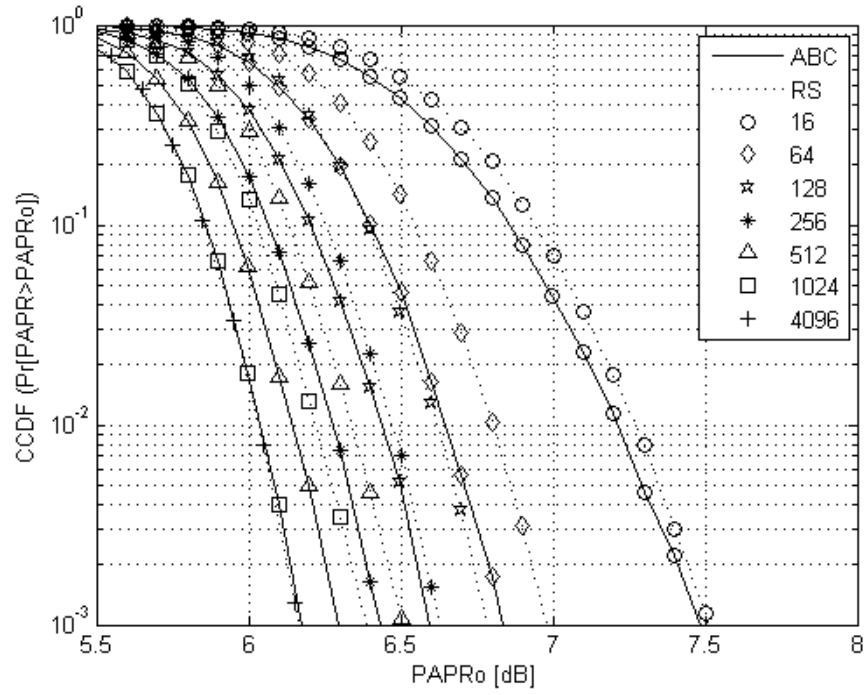
MC-CDMA işaretlerinin PAPR değerini düşürmek için yapay sinir ağları (YSA) ve yapay arı kolonisi (ABC) algoritması kullanılmıştır. Geri yayılım algoritması ile eğitilen YSA ile PAPR düşürülmesinde ton ekleme yöntemi kullanılmıştır. ABC algoritması ile PTS yöntemi kullanılmıştır. Her iki yapay zeka tekniğinde de MC-CDMA işaretlerinin PAPR-CCDF ve BER-SNR performansları incelenmiştir. İlk olarak ABC tabanlı PTS optimizasyonu ile PAPR değerinin düşürülmesi incelenecektir.

ABC tabanlı PTS optimizasyonunda ÇT-KBÇE sistem parametre değerleri Wlsh-Hadamard yayma kodu, kullanıcı sayısı 16, alt-taşıyıcı sayısı 128, yayma faktörü 16 ve modülasyon tipi QPSK olarak belirlenmiştir. PTS parametreleri $W = 2$ ve $V = 16$ olarak belirlenmiştir. Son olarak SSPA parametreleri $IBO = 0$ dB, 3dB ve 6 dB, $p = 0.5$ ve 2 olarak belirlenmiştir.

şekil 4.18'de MC-CDMA işaretlerinin ABC tabanlı PTS optimizasyonu ile PAPR değeri, hiçbir optimizasyon uygulanmadığı durumdaki PAPR değeri ve klasik PTS için $W = 2$ ve $V = 16$ durumlarındaki PAPR değeri PAPR-CCDF performansı ile görölmektedir. ABC tabanlı PTS optimizasyonda 16, 64, 128, 256, 512 ve 1024 iterasyon uygulandığı durumda PAPR-CCDF değişimi verilmektedir. 16 iterasyon için 10^{-5} CCDF için PAPR değeri 7,5 dB olmaktadır. Bu da orijinal değerden 3 dB'lik bir düşme anlamına gelmektedir. 1024 iterasyon için 10^{-5} CCDF için PAPR değeri 6,2 dB olmaktadır. Bu da optimum değerin 32768 iterasyon sonucunda ulaştığı değerden sadece 0,2 dB daha kötü bir sonuç olmaktadır.



Şekil 4.18. ABC tabanlı PTS algoritması için değişik iterasyonlarda MC-CDMA işaretinin PAPR-CCDF değişimi.



Şekil 4.19. ABC tabanlı PTS optimizasyonu ve rastgele araştırma yöntemini kullanan klasik PTS optimizasyonu için değişik iterasyonlarda PAPR-CCDF değişimi.

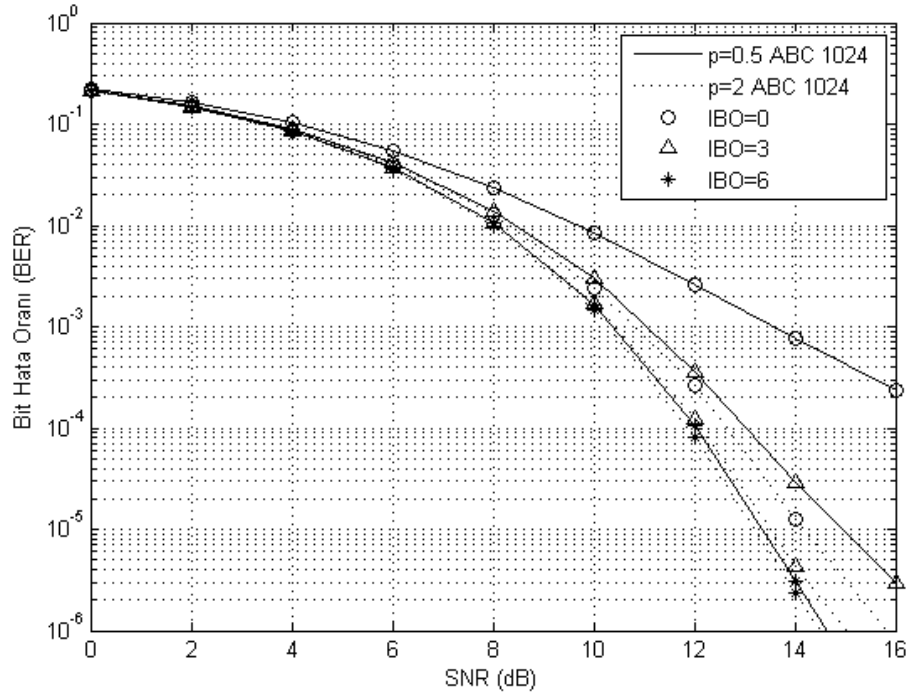
Şekil 4.19’da rastgele araştırma yöntemini kullanan klasik PTS yöntemi ve ABC tabanlı PTS optimizasyonu kullanıldığı durumda 16, 64, 128, 256, 512, 1024 ve 4096 iterasyon için performanslarının karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi ABC tabanlı PTS optimizasyonu 1024 iterasyon ve klasik PTS yöntemi 4096 iterasyon değerlerinde PAPR değerleri aynıdır. Yani ABC tabanlı PTS optimizasyonu sayesinde hesaplama karmaşıklığı dört kat azalmaktadır.

Tablo 4.2’de orijinal, optimum, ABC tabanlı PTS optimizasyonu ve rastgele araştırma yöntemini kullanan klasik PTS optimizasyonu 10^{-3} CCDF değeri için kullandıkları araştırma sayıları ve PAPR değerleri verilmektedir. Orijinal durumda PAPR değerini düşürmek için herhangi bir araştırma yapılmamaktadır ve bu durumda MC-CDMA işaretlerinin 10^{-3} CCDF değerinde PAPR değeri 10,6 dB dir. Optimum durumda klasik PTS’de optimum faz çarpanını bulabilmek için 32768 iterasyona ihtiyaç duyar ve sinyallerinin 10^{-3} CCDF değerinde PAPR değeri 6 dB dir. ABC tabanlı PTS optimizasyonunda MCN maksimum çevrim sayısını, SN arı sayısını ifade etmektedir. $MCN.SN = 256.4 = 1024$ durumunda 10^{-3} CCDF değerinde PAPR değeri 6,2 dB dir ve bu değer rastgele araştırma yöntemini kullanan klasik PTS optimizasyonunda 4096 iterasyon sayısındaki PAPR değeri ile aynıdır. Yani bu iki durum karşılaştırıldığında ABC tabanlı PTS optimizasyonu dört kat daha iyi sonuç vermektedir.

Tablo 4.2. Hesaplama Karmaşıklığı

Metod	Araştırma Sayısı	$\Pr\{PAPR(x) > PAPR_0\} = 10^{-3}$
Orjinal	0	10.6 dB
Optimum	$W^{V-1} = 2^{16-1} = 32768$	6.0 dB
ABC	$MCN.SN = 4.4 = 16$	7.5 dB
ABC	$MCN.SN = 16.4 = 64$	6.8 dB
ABC	$MCN.SN = 256.4 = 1024$	6.2 dB
Rastgele araştırma	16	7.5 dB
Rastgele araştırma	64	7.0 dB
Rastgele araştırma	1024	6.4 dB
Rastgele araştırma	4096	6.2 dB

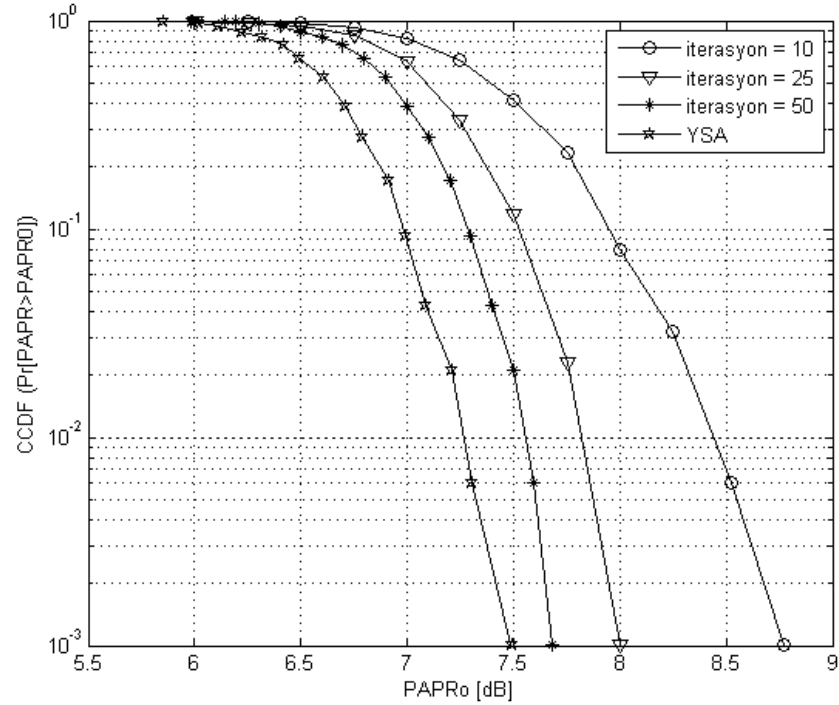
Şekil 4.20’de ABC tabanlı PTS optimizasyonu için MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması durumunda AWGN kanal tipindeki BER-SNR performansı görülmektedir. SSPA parametresi olarak IBO için 0 dB, 3 dB ve 6 dB değerleri ile p için 0.5 ve 2 değerleri kullanılmıştır. Şekil 4.20’de görüldüğü gibi IBO ve p değerlerinin SSPA’nın çalışma noktasını değiştirdiği için MC-CDMA sistemine etkisi büyüktür. $p = 2$ için kesikli çizgilerle ifade edilen simülasyon sonuçlarında IBO’nun değişen değerleri için SNR-BER performansında çok fazla değişiklik görülmemektedir. Bunun sebebi ise $p = 2$ için SSPA giriş işaretlerine karşın hemen hemen doğrusal çıkış vermektedir. $p = 0.5$ için SSPA doğrusal olmayan bölgede çalışmaktadır ve bu yüzden IBO’nun değişen değerleri için BER-SNR performansında çok daha fazla değişiklik olmaktadır. IBO = 0 durumu dikkate alındığında $p = 0.5$ durumunda SNR 14 dB için BER değeri yaklaşık olarak 10^{-5} , $p = 2$ durumunda SNR 14 dB için BER değeri yaklaşık olarak 10^{-6} olmaktadır.



Şekil 4.20. ABC tabanlı PTS algoritması için MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması
ABC tabanlı PTS algoritması için MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması.

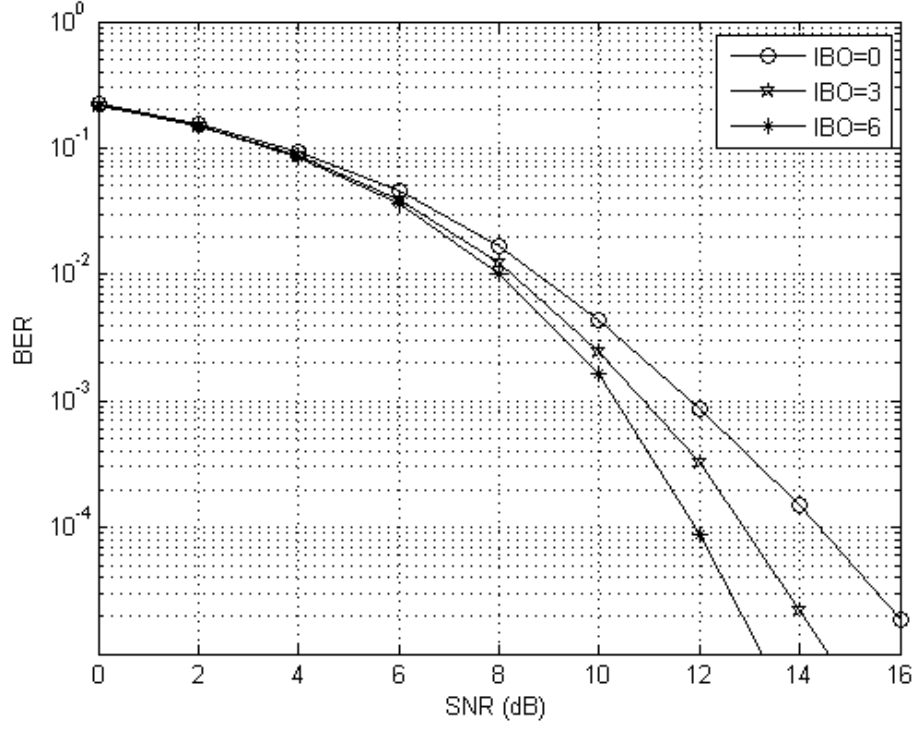
PAPR değerini düşürmek için kullanılan yapay zeka tekniklerinden ikinci olarak, geri yayılım algoritması ile eğitilen YSA'nın kullanıldığı ton ekleme yöntemi ile PAPR optimizasyonu incelenmiştir. MC-CDMA sistem parametre değerleri Walsh-Hadamard yayma kodu, kullanıcı sayısı 16, alt-taşıyıcı sayısı 128, yayma faktörü 32 ve modülasyon tipi QAM olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.21'de geri yayılım algoritması ile eğitilen YSA tabanlı ton ekleme yönteminin PAPR-CCDF değişimi ve klasik ton ekleme yönteminde 10, 25 ve 50 iterasyon için PAPR-CCDF değişimi görülmektedir. YSA eğitimi için, klasik ton ekleme yöntemi ile PAPR düşürülmesinde MC-CDMA programı 1000 çevrim olarak kullanılmıştır. Her bir çevrimde ton ekleme yöntemi 100 iterasyon için PAPR düşürümü yapmıştır. Kullanılan YSA modelinde eğitim süresi zaman almasına rağmen eğitilen YSA daha sonraki veriler için çok kısa zamanda sonuç vermektedir. YSA eğitiminde giriş olarak temel QAM işaretleri normalize edilerek kullanılmıştır. YSA çıktıları ise ton genişletme noktalarıdır.



Şekil 4.21. YSA tabanlı ton ekleme yöntemi ile değişik iterasyonlardaki klasik ton ekleme yönteminin PAPR-CCDF değişimi.

Şekil 4.22’de geri yayılım algoritması ile eğitilen YSA tabanlı ton ekleme yöntemine uygulanması sonucundaki MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması durumundaki BER-SNR performansı verilmektedir. SSPA’da düzeltme faktörü olarak $p = 2$ kullanılmıştır.



Şekil 4.22. YSA tabanlı ton ekleme yöntemi için MC-CDMA sisteminin SSPA kullanılması durumunda AWGN kanal için SNR’ye göre BER değişimi.

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, MC-CDMA sisteminin değişik sistem parametreleri altında AWGN kanal kullanılması durumundaki performansı, MC-CDMA sisteminin en büyük dezavantajlarından biri olan işaretlerin PAPR değerinin düşürülmesi ve sistem performansına etkileri ve MC-CDMA sisteminde işaretlerin kuvvetlendirilmesinde kullanılan HPA'nın sistem performansına etkileri bilgisayar ortamında simüle edilerek incelenmiştir. Klasik PAPR düşürme tekniklerinden literatürde yer alan kırpma, ton ekleme, aktif grup genişletme (ACE), seçici eşleme (SLM) ve kısmi iletim dizisi (PTS) yöntemleri incelenmiştir. Klasik yöntemler dışında yapay zeka yöntemlerinden yapay sinir ağları (YSA) ve son zamanlarda geliştirilen yapay arı kolonisi (ABC) algoritması kullanılarak klasik yöntemler ile karşılaştırılmıştır. YSA, klasik yöntemlerden ton ekleme yöntemine uygulanırken ABC algoritması kısmi iletim dizisi yöntemine uygulanmıştır. Bu çalışmada, HPA olarak SSPA modeli kullanılmış ve farklı parametreler kullanıldığında sistem performansı üzerindeki etkileri AWGN kanal için incelenmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarında, ABC tabanlı PTS yöntemi klasik PTS yöntemine kıyasla çok daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda, PAPR değerini azaltmak için YSA eğitiminde farklı öğrenme algoritmaları kullanılabilir ve YSA ton ekleme yöntemi dışındaki diğer PAPR düşürme yöntemlerinde uygulanabilir. Yeni geliştirilen ABC tabanlı PTS algoritmasının yanı sıra ABC algoritması diğer PAPR düşürme tekniklerine uygulanabilir. Ayrıca literatürde yer alan diğer yapay zeka yöntemleri klasik PAPR düşürme yöntemlerine uygulanabilir.

KAYNAKLAR

1. N. Yee, J. P. Linnartz and G. Fettweis, Multicarrier CDMA in indoor wireless radio networks, Proc. of IEEE PIMRC' 93, pp 109 – 113, Yokohama, Japan, 1993.
2. S. Hara and R. Prasad, Overview of Multicarrier CDMA, IEEE Commun. Mag., vol. 35, no. 12, pp. 126 – 133, Dec. 1997.
3. Chang R.W, Synthesis of Band-Limited Orthogonal Signals for Multichannel Data Transmission, Bell System Tech. J., 45(2), 1775-1796, 1966.
4. Weinstein S. B., Ebert P.M., Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform, IEEE Transactions on Communication Technology, 19(3), 628-634, 1971.
5. Cimini L. J., Analysis and Simulation of Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing, IEEE Transactions on Communications, 42(2), 2908-2914, 1994.
6. Van Nee R., Prasad R., OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, London, Publishers, 2000.
7. Yücek T., Self Interface Handling in OFDM Based Wireless Communication Systems, MSc. Thesis, University of South Florida, U.S.A., 2003.
8. Laurenti N., Implementation Issues in OFDM Systems, Ph.D. Thesis, Ingegneria Elettronica e Delle Telecomunicazioni, Italy, 1995-1998.
9. Sadat A., Mikhael W. B., Fast Fourier Transform For High Speed Wireless Multimedia System, IEEE Transactions on Signal Processing, 65(3), 938-942, 2001.
10. Wan, L., Dubey, V.K., BER Performance of OFDM System Over Frequency Nonselective Fast Ricean Fading Channels, IEEE Communications Letters, 5(1), 19-21, 2001.

11. Banelli P., Cacopardi, S., Theoretical Analysis and Performance of OFDM Signals in Nonlinear AWGN Channels, *IEEE Transactions on Communications*, 48(3), 430-441, 2000.
12. D'Andrea, A.N., Lottici, V., Reggiannini, R., Nonlinear Predistortion of OFDM Signals Over Frequency-Selective Fading Channels, *IEEE Transactions on Communications*, 49(5), 837-843, 2001.
13. R. Prasad., *CDMA For Wireless Personal Communications*, Mobile Communication Series, Artech House Publisher, pp. 7-9, 1996.
14. Duel-Hallen, J. Holtzman, and Z. Zvonar, Multiuser Detection for CDMA Systems, *IEEE Personal Commun.*, pp. 46–58, Apr. 1995.
15. M. Kawabe, T. Kato, A. Kawahashi, T. Sato, and A. Fukasawa, Advanced CDMA Scheme Based on Interference Cancellation, Proc. 43rd Annu. IEEE Vehicular Technology Conf., May 18–20, 1993.
16. C. Tellambura., Computation of the Continuous-Time PAR of an OFDM Signal with BPSK subcarrier, *IEEE Commun Lett.*, Vol. 5, NO. 5, May 2001.
17. R. O'Neill and L. B. Lopes, Envelope Variations and Spectral Splatter in Clipped Multicarrier Signals, Proc. IEEE PIMRC '95, Toronto, Canada, , pp. 71–75. Sept. 1995.
18. X. Li and L. J. Cimini, Jr., Effect of Clipping and Filtering on the Performance of OFDM, *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 5, pp. 131–33, May 1998.
19. J. Armstrong, Peak-to-Average Power Reduction for OFDM by Repeated Clipping and Frequency Domain Filtering, *Elect. Lett.*, vol. 38, no. 8, pp. 246–47, Feb. 2002.
20. E. Jones, T. A. Wilkinson, and S. K. Barton, Block Coding Scheme for Reduction of Peak to Mean Envelope Power Ratio of Multicarrier Transmission Scheme, *Elect. Lett.*, vol. 30, no. 22, pp. 2098–99, Dec. 1994.

21. E. Jones and T. A. Wilkinson, Combined Coding for Error Control and Increased Robustness to System Nonlinearities in OFDM, Proc. IEEE VTC '96, Atlanta, GA , pp. 904–08, Apr. –May 1996.
22. Talasaz, A. H.; Kenari, M. N.; Peak-to-average reduction in MC-CDMA based on using different spreading and despreading codes, 2002 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, vol. 2, pp. 665-668 , 17-21 March 2002.
23. Hathi,N.;Darwazeh, I.; O'Reilly, J.;Peak-to-average power ratio performance comparison of different spreading code allocation strategies for MC-CDMA and MC-DS-CDMA, Electronics Letters, vol. 38 (20), pp. 1219-1220, 2002.
24. Kunseok K.; Kweonhue C.; Sooyoung K. S.; Reduced search for optimum code sets to reduce PAPR in MC-CDMA system, The 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, vol. 1, pp. 135-139, 27-30 Oct. 2002.
25. B. S. Krongold and D. L. Jones, PAR Reduction in OFDM via Active Constellation Extension, IEEE Trans. Broadcast., vol. 49, no. 3, pp. 258–68, Sept. 2003.
26. J. Tellado, Peak to Average Power Reduction for Multicarrier Modulation, Ph.D. dissertation, Stanford Univ., 2000.
27. G. R. Hill, M. Faulkner, J. Singh, Reducing the Peak-to-Average Power Ratio in OFDM by Cyclically Shifting Partial Transmit Sequences, Elect. Lett., vol. 36, no. 6, pp. 560–61, Mar. 2000.
28. P. Van Eetvelt, G. Wade, M. Tomlinson, Peak to Average Power Reduction for OFDM Schemes by Selective Scrambling, Elect. Lett., vol. 32, no. 21, pp. 1963–64, Oct. 1996.
29. D. S. Jayalath, C. Tellambura, “Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of Orthogonal Frequency Division Multiplexing Signal through Bit or Symbol Interleaving,” Elect. Lett., vol. 36, no. 13, pp. 1161–63, June 2000.

30. R. W. Bäuml, R. F. H. Fisher, J. B. Huber, "Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of Multicarrier Modulation by Selected Mapping," *Elect. Lett.*, vol. 32, no. 22, pp. 2056–57, Oct. 1996.
31. Ohkubo, N.; Ohtsuki, T.; A peak to average power ratio reduction of multicarrier CDMA using selected mapping, *IEEE 56th Vehicular Technology Conference*, vol.4, pp.2086-2090,24-28Sept.2002.
32. S. H. Müller, J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combining of partial transmit sequences," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 5, pp. 368–369, Feb. 1997.
33. ———, "A novel peak power reduction scheme for OFDM," in *Proc. Intern. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 1090–1094, 1997.
34. Kang, K. Kim, S.; Ahn, D. Lee, H.J. Efficient PAPR reduction scheme for satellite MC-CDMA systems, *IEE Proc.-Communications*, vol. 152 (5), pp. 697-703, 2005.
35. T. T. Nguyen, L. Lampe, On Partial Transmit Sequences for PAR Reduction in OFDM Systems, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol.7, No. 2, Feb. 2008.
36. Ruangsurat, N.; Rajatheva, R.M.A.P.; An investigation of peak-to-average power ratio in MC-CDMA combined with partial transmit sequence, *IEEE 53th Vehicular Technology Conference*, vol.1, pp. 761-765, 6-9 May 2001.
37. D. Di Zenobio, G. Santella, F. Mazzenga, Adaptive linearization of power amplifier in orthogonal multicarrier schemes, in *IEEE Wireless Comm. System Symp.*, pp. 225–230, Nov. 1995.
38. H. G. Ryu, J. Sok Park, J.Soo Park, Threshold IBO of HPA in the Predistorted OFDM Communication System, in *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 50, no. 4, pp. 425–428 Dec. 2004.

39. D. Y. Park, H. K. Song, A New PAPR Reduction Technique of OFDM System with Nonlinear High Power Amplifier, IEEE Trans on Commun, Vol. 53, No.2, May 2007.
40. D. Karaboga, B. Basturk, A powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, Journal of Global Optimization, Volume:39, Issue:3,pp:459-171, November 2007.
41. D. Karaboga, B. Basturk, On The Performance Of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, Applied Soft Computing, Volume 8, Issue 1, Pages 687-697. January 2008.
42. N. Karaboga, A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters, Journal of the Franklin Institute, 346 (4), 328-348, 2009.
43. D. Karaboga, B. Akay, A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm, Applied Mathematics and Computation, 214, 108-132, 2009.
44. D. Karaboga, An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, Technical Report-TR06, Oct 2005.
45. B. Basturk, Dervis Karaboga, An Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Numeric function Optimization, IEEE Swarm Intelligence Symposium Indianapolis, Indiana, USA. May 12-14, 2006.
46. İmamoğlu E. S., OFDM sistemlerinde tepe gücü/ortalama güç oranını düşürme teknikleri ve bu oranı düşürmek için yapay sinir ağları kullanımı, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, 2003.
47. Hagan. M.T., Demuth, H.B., Beale. M., Neural Network Design, PWS Publishing Company, Boston, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut Yıldırım 1981 yılında Kayseri’de doğdu. Orta öğrenimini Muğla-Milas’ta tamamladı. 1999 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisansa başladı. 2007 yılında Bozok Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı ve halen bu görevi devam ettirmektedir.

Adres : Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
YOZGAT

Telefon : 0354 242 1001 – 2141

e-posta : mahmut.yildirim@bozok.edu.tr