

**T.C.  
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇOK TAŞIYICILI HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE  
PAPR AZALTMA TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
İsmail Serkan ÇETİNER**

**Danışman  
Doç. Dr. Ali ÖZEN**

**Haziran 2021  
KAYSERİ**



**T.C.  
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇOK TAŞIYICILI HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE  
PAPR AZALTMA TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
İsmail Serkan ÇETİNER**

**Danışman  
Doç. Dr. Ali ÖZEN**

**Haziran 2021  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

İsmail Serkan ÇETİNER

İmza



## YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Çok Taşıyıcılı Haberleşme Sistemlerinde PAPR Azaltma Tekniklerinin İncelenmesi”  
adlı Yüksek Lisans Tezi Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Yönergesi’  
ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan  
İsmail Serkan ÇETİNER  
İmza

Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ali ÖZEN  
İmza

## YÜKSEK LİSANS BİTİRME TEZİ KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Ali ÖZEN danışmanlığında İsmail Serkan ÇETİNER tarafından hazırlanan “Çok Taşıyıcılı Haberleşme Sistemlerinde PAPR Azaltma Tekniklerinin İncelenmesi” adlı bu çalışma, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

05 / 07 / 2021

### JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Ali ÖZEN .....

Üye : Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Asuman SAVAŞÇIHABEŞ .....

### ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr. Serhan YAMAÇLI  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Bu tezi yazmamda yardımcı olan ve benden desteğini esirgemeyen eden değerli danışman hocam Doç. Dr. Ali ÖZEN' e ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İsmail Serkan ÇETİNER

Kayseri, Haziran 2021



# ÇOK TAŞIYICILI HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE PAPR AZALTMA TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

İsmail Serkan ÇETİNER

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2021

Danışman: Doç. Dr. Ali ÖZEN

## ÖZET

Yüksek tepe-ortalama güç oranı (PAPR), günümüzde kullanılan kablosuz haberleşme sistemlerinin en büyük dezavantajlarından biridir. Birçok standart tarafından kabul gören Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) sistemi de bu dezavantaja sahiptir. Literatürde bu sistemlerin yüksek PAPR değerlerini düşürmek için genlik kırpma ve filtreleme, kısmi iletim dizisi (PTS) teknikleri gibi birçok teknik önerilmiştir.

Bu tez çalışmasında, genlik kırpma (AC) ve PTS teknikleri incelenmektedir. Çok taşıyıcılı haberleşme sistemlerinin PAPR problemine bir çözüm olarak PTS tekniği ile AC tekniğinin birleştirilmesi ve sunulan yeni nesil dalga formlarına uygulanması literatürde ilk defa bu tez çalışmasında önerilmektedir. Önerilen yöntem literatürde OFDM 'e alternatif olarak sunulan yeni nesil dalga formlarından Sıfır Sonlu Ayırık Fourier Dönüşümü-yayılmalı OFDM (ZT DFT-s OFDM), Sıfır Sonlu Ayırık Kosinüs Dönüşümü Yayılımlı OFDM (ZT-DCT-s OFDM) ve Sıfır Sonlu Ayırık Sinüs Dönüşümü Yayılımlı OFDM (ZT-DST-s OFDM) dalga formlarına uygulanmıştır ve sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen PTS-AC yönteminin başarımını bit hata oranı (BER) ve PAPR performans ölçütleri üzerinden doğrulamak için bilgisayar ortamında simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlardan, tezde önerilen tekniğin BER performansından ödün vermeden dalga formlarının orijinal versiyonlarına karşı 6 dB kadar PAPR iyileştirmesi sağladığı gözlenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** PAPR, PAPR Azaltma, Dalga Formu Tasarımı, PTS, Genlik Kırpma, OFDM, ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM, ZT DST-s OFDM, 6G ve ötesi.

# INVESTIGATION OF PAPR REDUCTION TECHNIQUES IN MULTI-CARRIER COMMUNICATION SYSTEMS

İsmail Serkan ÇETİNER

Nuh Naci Yazgan University, Graduate School of Sciences

Electrical and Electronics Engineering Master of Science Thesis, June 2021

Supervisor: Assoc. Prof. Ali ÖZEN

## ABSTRACT

High peak-to-average power ratio (PAPR) is one of the biggest disadvantages of wireless communications used today. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) system that accepted by many standards, also has this disadvantage. In the literature, many techniques such as amplitude clipping and filtering, partial transmission array (PTS) techniques have been proposed to reduce PAPR values of these OFDM communication systems.

In this thesis, amplitude clipping (AC) and PTS techniques are examined. Combining PTS technique and AC technique for solving to the PAPR disadvantage of multi-carrier communication systems and implementation to suggested next generation waveforms is suggested for the first time in the literature in this thesis work. The suggested technique has been implemented to the next generation waveforms such as Zero-Tail Discrete Fourier Transform spread OFDM (ZT DFT-s OFDM), Zero Tail Discrete Cosine Transform spread OFDM (ZT DCT-s OFDM), Zero Tail Discrete Sine Transform spread OFDM (ZT DST-s OFDM) presented as an alternative to OFDM in the literature and the results have been obtained. To verify the achievement of the suggested PTS-AC technique over the bit error rate (BER) and PAPR performance criteria, computer simulation studies have been executed. From the acquired outcomes, it shows the suggested technique provides nearly 6 dB of PAPR improvement over the original versions of the waveforms without sacrificing BER performance.

**Keywords:** PAPR, PAPR Reduction, Waveform Design, PTS, Amplitude Clipping, OFDM, ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM, ZT DST-s OFDM, 6G and beyond.

# İÇİNDEKİLER

## ÇOK TAŞIYICILI HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE PAPR AZALTMA TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR VE SEMBOLLER.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xvii

### 1.BÖLÜM: GİRİŞ

#### 2.BÖLÜM: KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ

2.1. Giriş .....	5
2.2. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) .....	5
2.3. Yeni Nesil Dalga Formları .....	9
2.3.1. Sıfır Sonlu Ayrık Fourier Dönüşümü Yayılmalı OFDM (ZT DFT-s OFDM) .....	10
2.3.2. Sıfır Sonlu Ayrık Kosinüs Dönüşümü Yayılmalı OFDM (ZT-DCT-s OFDM) .....	11
2.3.3. Sıfır Sonlu Ayrık Sinüs Dönüşümü Yayılmalı OFDM (ZT-DST-s OFDM).. .....	12
2.3.4. Unique Word OFDM (UW OFDM).....	13

#### 3.BÖLÜM: KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE TEPE ORTALAMA GÜÇ ORANI (PAPR)

3.1. Giriş .....	15
3.2. Kablosuz Haberleşme Sistemlerinin PAPR Hesabı .....	16

<b>3.3. PAPR Azaltma Teknikleri</b> .....	17
<b>3.3.1. İşaret Bozma Teknikleri</b> .....	18
<b>3.3.2. Kodlama ve Serpiştirme Teknikleri</b> .....	19
<b>3.3.3. Olasılıksal Teknikler</b> .....	20
<b>3.3.4. Önerilen PTS-AC Tekniği</b> .....	22

#### **4.BÖLÜM: SİMULASYON ÇALIŞMALARI**

<b>4.1. Giriş</b> .....	24
<b>4.2. Simülasyon Ortamı ve Parametreleri</b> .....	24
<b>4.2.1. Toplanır Beyaz Gauss Gürültülü (AWGN) Kanal</b> .....	25
<b>4.2.2. Düz Rayleigh Sönümlmeli Kanal</b> .....	26
<b>4.3. Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Azaltma</b> .....	28
<b>4.3.1. Genlik Kırpma Tekniğinin PAPR Sonuçları</b> .....	29
<b>4.3.2. Genlik Kırpma (AC) Tekniği BER Sonuçları</b> .....	34
<b>4.4. PTS Tekniği ile PAPR Azaltma</b> .....	36
<b>4.4.1. PTS Tekniği PAPR Sonuçları</b> .....	37
<b>4.4.2. PTS Tekniği BER Sonuçları</b> .....	41
<b>4.5. Önerilen PTS-AC Tekniği ile PAPR Azaltma</b> .....	42
<b>4.5.1. Önerilen PTS-AC Tekniği ile Elde Edilen PAPR Sonuçları</b> .....	43
<b>4.5.2. Önerilen PTS-AC Tekniği ile Elde Edilen BER Sonuçları</b> .....	63

#### **5.BÖLÜM: SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	71
<b>KAYNAKÇA</b> .....	72
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	78

## KISALTMALAR VE SEMBOLLER

### KISALTMALAR

1G	: Birinci Nesil
2G	: İkinci Nesil
3G	: Üçüncü Nesil
4G	: Dördüncü Nesil
5G	: Beşinci Nesil
AWGN	: Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü
BER	: Bit Hata Oranı
CCDF	: Tamamlayıcı Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
CFO	: Taşıyıcı Frekans Kayması (Carrier Frequency Offset)
CP	: Periyodik Önek (Cyclic Prefix)
DFT	: Ayrık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform)
DFT-s OFDM	: Ayrık Fourier Dönüşümü Yayılmalı OFDM (DFT-spread OFDM)
FBMC	: Çok Taşıyıcılı Filtre Bankası (Filter Bank Multicarrier)
FDE	: Frekans Bölgesi Denkleştirici (Frequency Domain Equalizer)
FDM	: Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplexing)
F-OFDM	: Filtrelenmiş OFDM (Filtered OFDM)
GFDM	: Genelleştirilmiş Frekans Bölmeli Çoğullama (Generalized FDM)
GI	: Koruma Aralığı (Guard Interval)
HPA	: Yüksek Güç Kuvvetlendiricisi (High Power Amplifier)
IBO	: Giriş Geri Noktası (Input Back-Off)
ICI	: Taşıyıcılar Arası Girişim (Inter Carrier Interference)
IDFT	: Ters Ayrık Fourier Dönüşümü (Inverse Discrete Fourier Transform)
IFFT	: Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (Inverse Fast Fourier Transform)
ISI	: Simgeler Arası Girişim (Inter Symbol Interference)
IWHT	: Ters Walsh-Hadamard Dönüşümü (Inverse Wals-Hadamard Transform)
LOS	: Direkt Görüş Hattı (Line of Sight)
LTE	: Uzun Süreli Evrim (Long Term Evolution)
NLOS	: Direkt Görüş Hattı Olmayan (Non Line of Sight)

OFDM	: Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama
OOBE	: Bant Dışı Yayılım
PAPR	: Tepe-Ortalama Güç Oranı
PTS	: Kısmi İletim Dizisi (Partial Transmit Sequence)
RF	: Radyo Frekansı (Radio Frequency)
SLM	: Seçilmiş Haritalama (Selected Mapping)
SNR	: Sinyal-Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)
TDL	: Dallı Gecikme Hattı (Tapped Delay Line)
UFMC	: Evrensel Filtreli Çok Taşıyıcı (Universal Filtered Multi Carrier)
UW	: Benzersiz Kelime (Unique Word)
UW OFDM	: Benzersiz Kelime OFDM (Unique Word OFDM)
WHT	: Walsh-Hadamard Dönüşümü (Walsh-Hadamard Transform)
WiMAX	: Mikrodalga Erişimi İçin Evrensel Uyumluluk
ZT DFT-s OFDM	: Sıfır Sonlu Ayrık Fourier Dönüşümü Yayılmalı OFDM
ZT DCT-s OFDM	: Sıfır Sonlu Ayrık Kosinüs Dönüşümü Yayılmalı OFDM
ZT DST-s OFDM	: Sıfır Sonlu Ayrık Sinüs Dönüşümü Yayılmalı OFDM

## SEMBOLLER

$X$	: İletilecek giriş işareti
$X_k$	: İletilecek karmaşık QAM veya PSK sembolleri
$k$	: İletilen OFDM sembolünün ve alt-taşıyıcıların indisi
$N$	: Alt-taşıyıcı sayısı
$e^{j2\pi k\Delta f t}$	: $k$ . alt-taşıyıcı
$T$	: OFDM işaretinin süresi
$B$	: OFDM sinyalinin toplam bant genişliği
$\Delta f$	: Alt-taşıyıcılar arasındaki frekans aralığı
$x$	: OFDM işareti
$N_{ZH}$	: ZT DFT-s OFDM işaretinin başına eklenecek sıfır vektör uzunluğu
$N_{ZT}$	: ZT DFT-s OFDM işaretinin kuyruğuna eklenecek sıfır vektör uzunluğu
$n$	: Beyaz Gauss gürültülü işaret
$y$	: Alıcıda elde edilen işaret
$\max[\cdot]$	: OFDM işaretinin tepe gücü
$E[\cdot]$	: OFDM işaretinin ortalama gücü
$A$	: Genlik kırpma için eşik değeri
$\beta$	: Genlik kırpma için eşik değerini belirleyen katsayı
$e^{j\phi}$	: Genliği kırılan sembolün fazı
$b$	: Faz çarpanı
$b_i$	: Faz faktörü
$U$	: SLM için rastgele faz dizisi sayısı
$V$	: PTS için alt blok sayısı
$W$	: Faz faktörü sayısı
$dB$	: Desibel
$\theta_i$	: $N$ ışınlı Rayleigh modelde $i$ . ışın için varış açısı
$I_k$	: Eş evreli bileşen
$Q_k$	: Dik evreli bileşen

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Hücre sel haberleşme sistemlerinin tarihçesi.....	2
Şekil 2.1 (a) FDM sisteminin bant genişliği, (b) OFDM sisteminin bant genişliği.....	5
Şekil 2.2 Birbirlerine dik olan OFDM alt-taşıyıcılarının: (a) Zaman bölgesi görüntüleri, (b) Frekans bölgesi görüntüleri.....	6
Şekil 2.3 OFDM sisteminin verici-alıcı blok şeması.....	8
Şekil 2.4 OFDM sisteminin paket yapısı.....	8
Şekil 2.5 ZT DFT-s OFDM sisteminin alıcı-verici blok şeması.....	10
Şekil 2.6 ZT DFT-s OFDM sisteminin paket yapısı.....	11
Şekil 2.7 : ZT DCT-s OFDM şemasının verici-alıcı blok şeması.....	11
Şekil 2.8: ZT-DST-s OFDM dalga şeklinin verici-alıcı blok şeması.....	12
Şekil 2.9 UW OFDM dalga şeklinin alıcı-verici yapısı.....	13
Şekil 2.10 UW OFDM sisteminin paket yapısı.....	14
Şekil 3.1 HPA'ların temel çalışma noktası [20].	15
Şekil 3.2 Yüksek tepe değerine sebep olan alt-taşıyıcılar [20].	16
Şekil 3.3 Genlik kırpma tekniğinin haberleşme yapısı.....	18
Şekil 3.4 PTS tekniğinin blok şeması.....	21
Şekil 3.5: Önerilen PTS-AC tekniği kullanılan haberleşme sistemine ait verici-alıcı yapısı.....	22
Şekil 4.1 AWGN kanal yapısı.....	25
Şekil 4.2 Çok yollu yayılma ortamı [64].	26
Şekil 4.3 8 ve 16 ışınlı Rayleigh modeller.....	27
Şekil 4.4 Gelecek nesil dalga biçimlerine genlik kırpma tekniğinin uygulanması.....	29
Şekil 4.5: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	30
Şekil 4.6: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.7: 16-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	32
Şekil 4.8: 64-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	33
Şekil 4.9: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması.....	34

Şekil 4.10: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	35
Şekil 4.11 PTS tekniğinin yeni nesil dalga formlarına uygulanması.....	36
Şekil 4.12: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.13: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.14: 16-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	39
Şekil 4.15: 64-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	40
Şekil 4.16 : BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	41
Şekil 4.17: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	41
Şekil 4.18: Önerilen PTS-AC tekniğinin kullanılmış olduğu haberleşme sisteminin verici-alıcı blok diagramı .....	42
Şekil 4.19: BPSK modülasyonu için klasik OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	43
Şekil 4.20 : 4-QAM modülasyonu için geleneksel OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	44
Şekil 4.21: 16-QAM modülasyonu için geleneksel OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	45
Şekil 4.22: 64-QAM modülasyonu için geleneksel OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	46
Şekil 4.23: BPSK modülasyonu için ZT-DFT-S OFDM dalga formundaki PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	47
Şekil 4.24: 4-QAM modülasyonu için ZT-DFT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	48
Şekil 4.25: 16-QAM modülasyonu için ZT-DFT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	49
Şekil 4.26: 64-QAM modülasyonu için ZT-DFT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	50

Şekil 4.27: BPSK modülasyonu için ZT-DCT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	51
Şekil 4.28: 4-QAM modülasyonu için ZT-DCT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	52
Şekil 4.29: 16-QAM modülasyonu için ZT-DCT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.30: 64-QAM modülasyonu için ZT-DCT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.31: BPSK modülasyonu için ZT-DST-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	55
Şekil 4.32: 4-QAM modülasyonu için ZT-DST-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	56
Şekil 4.33: 16-QAM modülasyonu için ZT-DST-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	57
Şekil 4.34: 64-QAM modülasyonu için ZT-DST-S dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması .....	58
Şekil 4.35: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.36: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.37: 16-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.38: 64-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.39: BPSK modülasyonu için klasik OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	63
Şekil 4.40: 4-QAM modülasyonu için klasik OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	64
Şekil 4.41: BPSK modülasyonu için klasik ZT-DFT-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	65
Şekil 4.42: 4-QAM modülasyonu için ZT-DFT-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması	65

Şekil 4.43: BPSK modülasyonu için klasik ZT-DCT-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	66
Şekil 4.44: 4QAM modülasyonu için klasik ZT-DCT-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	67
Şekil 4.45: BPSK modülasyonu için klasik ZT-DST-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	68
Şekil 4.46: 4QAM modülasyonu için klasik ZT-DST-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	68
Şekil 4.47: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	69
Şekil 4.48: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması .....	70

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1 5G ve ötesine önerilen dalga formlarının performans karşılaştırması [7] [9] ..	9
Tablo 4.1 Simulasyon Çalışmalarında kullanılan ortak parametreler.....	24

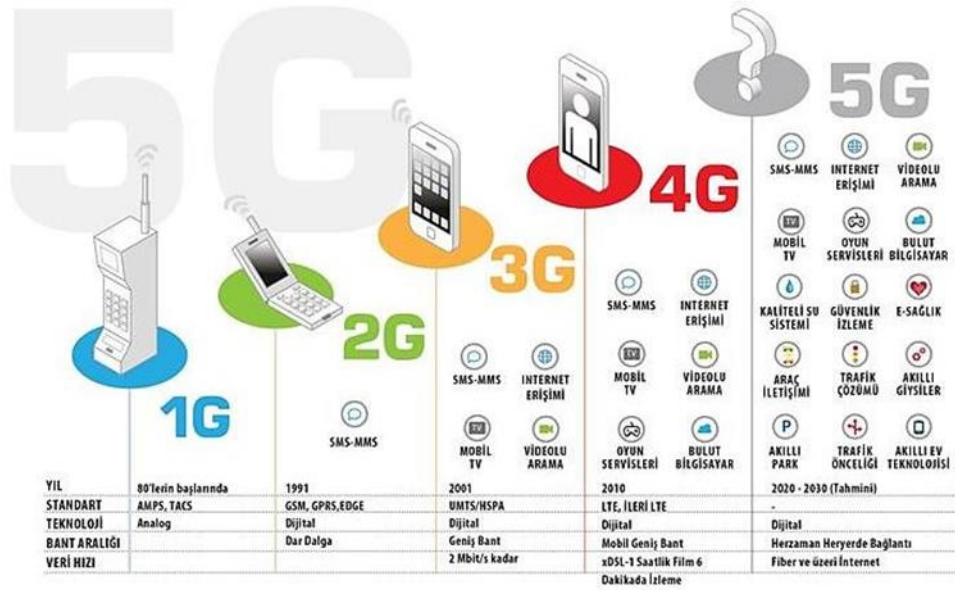


## 1. BÖLÜM: GİRİŞ

İnsanların gittikçe artan iletişim ihtiyacı karşısında haberleşme teknolojileri alanında sürekli yenilikler yapılmaktadır. Ses çıkararak ve konuşarak iletişim kurmayla başlayan bu serüven duman, güvercin ve davul gibi enteresan yöntemlerle devam etti. Daha sonra radyo dalgalarının keşfi, bilgisayar çağı ve kablolu telefonun icadı gibi önemli gelişmelerle büyük ilerleme kaydetti. Bu ilerlemeler ve yarı iletken alanındaki gelişmeler günümüzdeki haberleşme teknolojilerinin inanılmaz bir hızla gelişmesinin temelini oluşturdu. Bu gelişmelerin arasında insanların işlerini kolaylaştıran kablosuz haberleşme deneyimi, Guglielmo Marconi' nin 1897 yılında geliştirmiş olduğu kablosuz telgraf ile başladı [1]. Kablosuz iletişim alanındaki bu gelişmeler birçok alanda kablolu sistemlere olan ihtiyacı ortadan kaldırdı ve insanların yaşantılarında önemli değişikliklere sebep oldu. Telefon görüşmelerinin hareketli ve kablosuz olarak yapılması bu önemli gelişmelerden biridir. Cep telefonu ile mobil iletişimin yani hücreli haberleşmenin güncel olarak ilk adımları birinci nesil (1G) teknolojisi ile atılmış oldu. Takip eden süreçte ikinci (2G), üçüncü (3G), dördüncü (4G) ve beşinci (5G) nesil teknolojileri gelişti [2].

1G teknolojisinde sadece ses verisi iletilmekteydi. Devam eden süreçte 2G teknolojisine geçildi. 2G sistemlerinde sayısal modülasyon teknikleri kullanıldı. 1G'ye göre daha geniş frekans aralığına sahip olan bu teknolojiye, sesle birlikte mesaj verisi de iletebiliyordu. Bu sistemin de yetersiz kalmasının ardından 3G teknolojisi devreye girdi. 3G teknolojisinde yeni kodlama ve modülasyon teknikleri kullanıldı ve bant genişliği artırıldı. Bu sayede daha yüksek veri hızları elde edildi ve insanlar akıllı telefonlarıyla internete bağlanarak birbirleriyle konuşabildiler ya da video izleyebildiler. Fakat cep telefonu kullanımının yaygınlaşmasına bağlı olarak veri kullanım ihtiyacının artması 3G'nin de yetersiz kalmasına sebep oldu. 3G'nin yetersiz kaldığı kapsama alanı ve veri hızı gibi problemleri çözmek için 4G teknolojisi geliştirildi. Standartları yazan

3GPP [2], 4G teknolojisini Uzun Süreli Evrim (LTE) [3] [4] olarak, IEEE ise Mikrodalga Erişimi İçin Evrensel Uyumluluk (WiMAX) [4] [5] [6] olarak duyurdular. WiMAX ve LTE, farklı frekans bantlarını kullanabilme esnekliği, yüksek bant genişliği ve çoklu anten teknolojilerine uygun ve sönümlenmelere karşı etkili olan Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) dalga şeklinin ve erişiminin tercih edilmesi sebebiyle kullanıcılara yüksek performanslı bir iletişim deneyimi sunmuştur [4]. Ancak bu yüksek hızlı deneyimin yanında bazı problemler de vardı. Yüksek sinyal-gürültü oranı (SNR) gereksinimi, taşıyıcı frekans kaymasına (CFO) karşı duyarlılık, yüksek tepe-ortalama güç oranı (PAPR) ve yüksek hızlarda hareketliliğe karşı gösterdiği kötü performans bunlardan bazılarıdır. Teknolojinin hızla ilerlemesi ve insanların sosyal hayatlarında mobil iletişime önemli ölçüde yer vermelerinin yanı sıra insanların hayatlarına giren, insanlarla ve diğer nesnelere iletişim ihtiyacı duyan cihazların artması sebebiyle 4G teknolojisi de yetersiz kaldı ve 5G için çalışmalara başlandı. 5G teknolojisi için çok geniş kapsamlı bir kullanım alanı planlanıyor. Sadece insanlar arasında iletişim değil, insandan makineye, makinadan insana ve makinadan makineye gibi kullanım alanları da 5G'ye dahil edilmek isteniyor. Bu sebeple bu inanılmaz büyük veri trafiğini kaldırabilecek ve önceki sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldıracak 5G teknolojisi için çalışmalar başladı. Günümüzde henüz 5G için standartlaşan bir sistem bulunmamakta [7] [8]. 1G'den 5G'ye kadar hücresel haberleşme sistemlerinin tarihçesi Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Hücresel haberleşme sistemlerinin tarihçesi

Yüksek PAPR, yüksek güç kuvvetlendirici (HPA), sayısal/analog dönüştürücü (DAC) ve analog/sayısal dönüştürücü (ADC) gibi doğrusal olmayan elemanların kullanılmasından dolayı haberleşme sistemlerinin performanslarını olumsuz yönde etkilemektedir. Çok taşıyıcılı haberleşme sistemlerindeki bu olumsuzluk; HPA'nın doğrusal kuvvetlendirme bölgesinin çok yüksek olmasıyla, DAC ve ADC'nin adım büyüklüklerinin çok hızlı uyarlanabilir olması ile çözülebilir. Bu çözümler ise çok taşıyıcılı haberleşmeyi kullanan sistemlerin tasarlanmalarındaki zorluklarla birlikte maliyet ve karmaşıklıklarının da artmasına sebep olmaktadır. Yüksek PAPR değerinin sebep olduğu olumsuzlukları HPA, DAC ve ADC gibi elemanların tasarımındaki değişiklikler yerine, yazılımsal olarak geliştirilebilen çeşitli algoritmalar yardımı ile giderilebilir. Bu algoritmaların temel amacı yüksek PAPR değerini düşürerek yukarıda açıklanan HPA, DAC ve ADC gibi elemanların işaretler üzerindeki bozucu etkilerini en aza indirmektir.

5G için OFDM dalga formunun yetersiz kalacağı ve bu yüksek hızlı veri trafiğine yanıt veremeyeceği düşünülmektedir. Bu yüzden, yüksek frekanslarda, spektral verimliliği yüksek, MIMO sistemler ile uyumlu, düşük PAPR değerlerine sahip, bant dışı yayılım (OOBE) değeri düşük ve karmaşası az dalga formu arayışları sürmektedir [9]. Literatüre ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM, ZT DST-s OFDM [10], UW OFDM [11], ve FBMC [12] gibi birçok dalga formu önerilmiştir ancak bu dalga formlarından hiçbiri henüz 5G için kabul görmemiştir.

Yüksek bant verimliliğine sahip çok yollu sönmülemeye karşı dayanıklı gelecek nesil haberleşme sistemlerinde yüksek PAPR değeri çok önemli bir dezavantajdır ve mutlaka düşürülmesi gerekmektedir. Çok taşıyıcılı kablosuz haberleşme sistemlerinde PAPR değerini düşürmek için literatürde birçok yöntem önerilmiştir [13] [14] [15]. Bu yöntemler işaret bozma, kodlama ve serpiştirme ve olasılıksal yöntemler olarak üç ana grupta toplanmaktadır.

Bu çalışmada, PAPR' ı azaltmak için literatürde üzerinde en çok çalışılan olasılıksal yöntemlerden kısmi iletim dizisi (PTS) ile işaret bozma tekniklerinden genlik kırpma (AC) yönteminin birleştirilmesi (PTS-AC) önerilmektedir. Önerilen PTS-AC yönteminin OFDM dalga formuna alternatif yeni nesil dalga formlarından ZT DFT-s OFDM, ZT DST-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ve dalga formları üzerindeki performansını doğrulamak için bilgisayar ortamında simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışma OFDM dalga formunun PAPR' ını düşürmek için literatürde ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-

s OFDM ve ZT DST-s OFDM dalga formlarında, PTS-AC tekniğinin kullanılarak OFDM dalga formundaki PAPR değerini azaltmak için yapılan ilk çalışmadır.



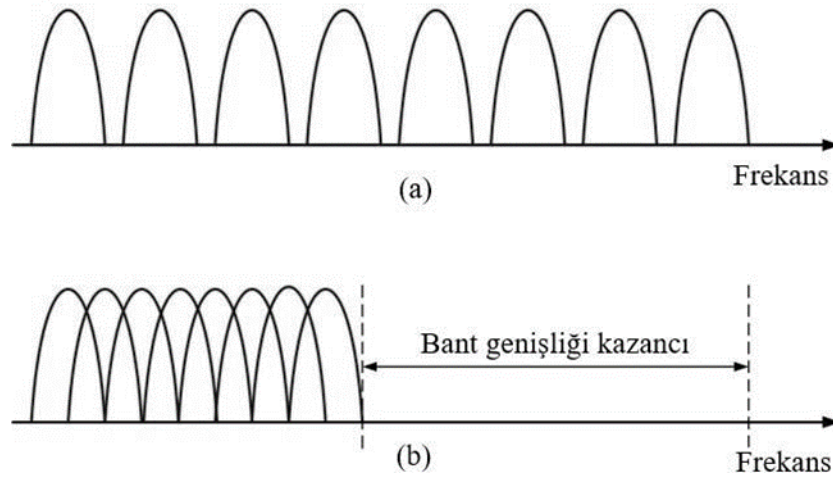
## 2. BÖLÜM: KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ

### 2.1. Giriş

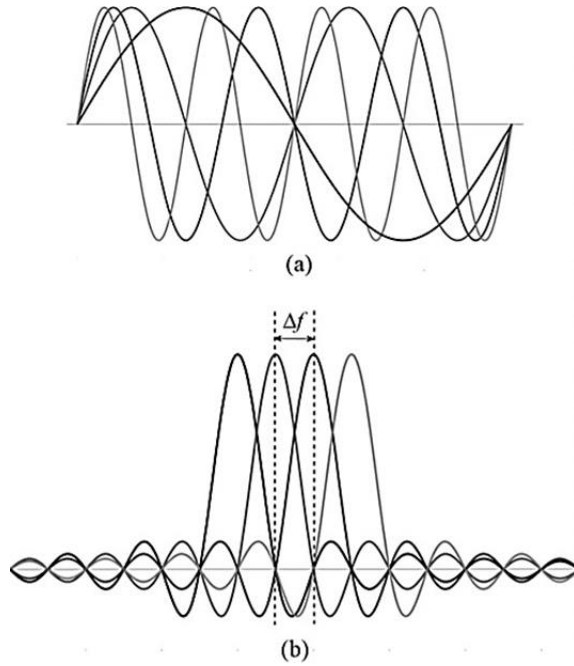
Bu bölümde, bu tez çalışması kapsamında ele alınan kablosuz haberleşme sistemlerinden, LTE sisteminde kullanılan klasik OFDM ve 5G için önerilmiş dalga formları arasında dikkat çeken ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ve ZT DST-s OFDM dalga formlarının yapıları ve çalışma şekilleri incelenmekte ve PAPR azaltma amaçlı olarak yeni bir yöntem sunulmaktadır.

### 2.2. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)

OFDM [16] [17] [18] [19], alt-taşıyıcıları birbirlerine dik, frekans bandında düzgün dağılıma sahip ve bu alt-taşıyıcıların birbirleriyle kısmen örtüşmesine izin verilen çok taşıyıcılı bir dalga formudur. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi alt-taşıyıcıların birbirlerine dik olması ve taşıyıcı spektrumlarının birbiri üzerine binmesi sayesinde iletim kapasitesi artmakta ve Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM) sistemine kıyasla bant genişliği daha verimli bir biçimde kullanılmaktadır.



İlk geliştirilen OFDM sistemlerindeki birbirlerine dik alt-taşıyıcılar yerel osilatörler vasıtasıyla üretilmekteydi. Ancak bu yöntem sistemin pahalı ve daha karmaşık olmasına sebep olmaktaydı. Bu problem ayrık Fourier dönüşümü (DFT) tekniğinin günümüzde elektronik devreler sayesinde kolay bir biçimde gerçekleştirilebilmesi sayesinde ortadan kalktı [20]. OFDM' in çalışma prensibi, yıllar önce Joseph Fourier' in [21] herhangi bir karmaşık sinyal, her birinin belli bir frekansı olan sinüzoidallerin toplamı şeklinde yazılabilir şeklinde ifade ettiği ve günümüzde Fourier Dönüşümü olarak bilinen eşitliğe dayanmaktadır. OFDM sistemindeki alt-taşıyıcılar, farklı frekans bileşenleri olan sinüzoidaller olarak kabul edilebilir. Frekans bölgesinde bulunan alt-taşıyıcılar, ters ayrık Fourier dönüşümü (IDFT) sayesinde zaman bölgesinde bulunan tek bir sinyale dönüştürülür ve vericiden gönderilir. Bu sayede vericiden tek bir sinyal gönderip sınırlı sayıda bilgi taşımak yerine, bu bilgiyi parçalara bölüp, dar bantlı alt-taşıyıcılara yerleştirip paralel ve daha hızlı iletmek mümkündür. Buradaki tek şart, alt-taşıyıcı sinyallerinin birbirine dik olmasıdır. Zaman ve frekans bölgesindeki dikgen OFDM işaretlerinin temsili görüntüleri Şekil 2.2'de verilmiştir. Birbirlerine dik olan alt-taşıyıcılar sayesinde komşu sinyaller birbirine girişim yapmaz ve semboller arası girişimi (ISI) azaltır. Ayrıca OFDM sisteminde kullanılan periyodik önek (CP) adı verilen bir koruma zamanı sayesinde ISI problemi neredeyse tamamen ortadan kaldırılır.



Şekil 2.2 Birbirlerine dik olan OFDM alt-taşıyıcılarının: (a) Zaman bölgesi görüntüleri, (b) Frekans bölgesi görüntüleri

N tane alt-taşıyıcıdan oluşan bir OFDM sisteminde giriş verisi Eşitlik (2.1)'deki gibi olur.

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0, \mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_{N-1} \quad (2.1)$$

OFDM işareti  $x(t)$  ise Eşitlik (2.2)'deki gibi tanımlanır.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{jk2\pi\Delta ft}, \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.2)$$

Burada;

- $X_k$  : İletilecek olan karmaşık QAM veya PSK sembollerini,
- $k$  : İletilen OFDM sembolünün ve alt-taşıyıcıların indisini,
- $N$  : Alt-taşıyıcı sayısını,
- $\Delta f$  : Alt-taşıyıcılar arasındaki frekans aralığını,
- $e^{jk2\pi\Delta ft}$  :  $k$ . alt-taşıyıcıyı
- $T$  : OFDM işaretinin süresini ifade etmektedir.

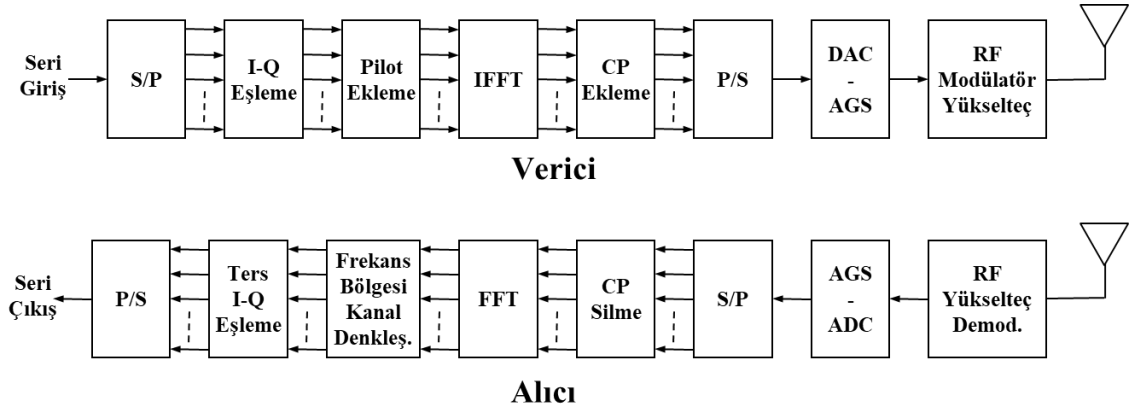
Alt-taşıyıcılar arasındaki dikgenlik, Eşitlik (2.3)'te verilen koşulun sağlanması durumunda meydana gelmektedir.

$$\Delta f = \frac{B}{N} = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Burada  $B$ , OFDM sinyalinin toplam bant genişliğidir. Eşitlik (2.2) verilen sürekli zaman işareti IDFT işlemi için ayrık zamanlı işarete dönüştürülmelidir. IDFT işlemi hesaplama karmaşası yüksek olduğu için günümüzde OFDM sistemlerinde IDFT işlemi yerine ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) kullanılmaktadır. Ayrık zamanlı  $x[n]$  işareti aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilebilir:

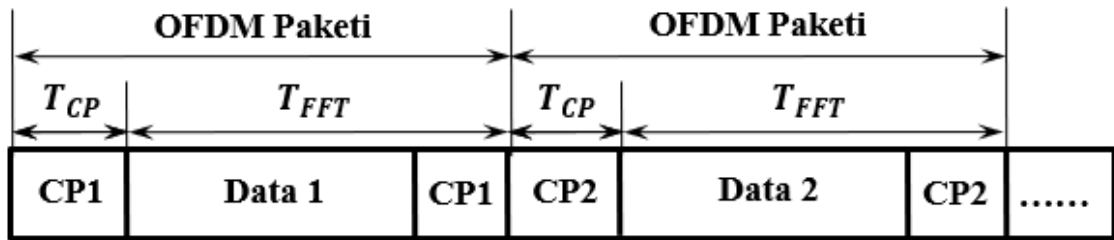
$$x[n] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{j2\pi kn}{N}} = \text{IFFT}\{X\}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (2.4)$$

Şekil 2.3'te FFT tabanlı bir OFDM sisteminin verici-alıcı blok şeması görülmektedir.



Şekil 2.3 OFDM sisteminin verici-alıcı blok şeması

Verici tarafta önce seri giriş verisi paralel verilere dönüştürülür. Daha sonra I-Q eşleme bloğunda PSK ya da QAM modülasyonu yapılır. Daha sonra standarda göre pilot alt- taşıyıcılar eklenir. Pilot alt-taşıyıcılar eklendikten sonra oluşan paket IFFT işlemine tabi tutulur. IFFT işlemi yapıldıktan sonra, CP ekleme işlemi yapılır. Oluşan OFDM işaretinin dörtte biri ya da standartta belirlenen kadarı koruma aralığı (GI) olarak işaretin son kısmından baş kısmına eklenir. Bu koruma aralığı, sinyali ISI etkisine karşı korur. Koruma aralığı eklendikten sonra OFDM paketi artık hazır haldedir. OFDM sisteminin temel paket yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir. Paralel/seri dönüşümü yapılır ve işaret sayısal/analog dönüşümüne (DAC) tabi tutulur. Dönüştürülen analog işaretler, taşıyıcı frekansına yükseltilir ve kanala verilmek için son adım olan yüksek güç kuvvetlendiricisi tarafından kuvvetlendirilir ve kanala verilir [20].



Şekil 2.4 OFDM sisteminin paket yapısı

Sistemin alıcı tarafında ise gerekli kanal kestirimi ve kanal denkleştirme işlemleri yapılır. Verici tarafta uygulanan işlemlerin tersi uygulanarak gönderilen veriler elde edilir.

### 2.3. Yeni Nesil Dalga Formları

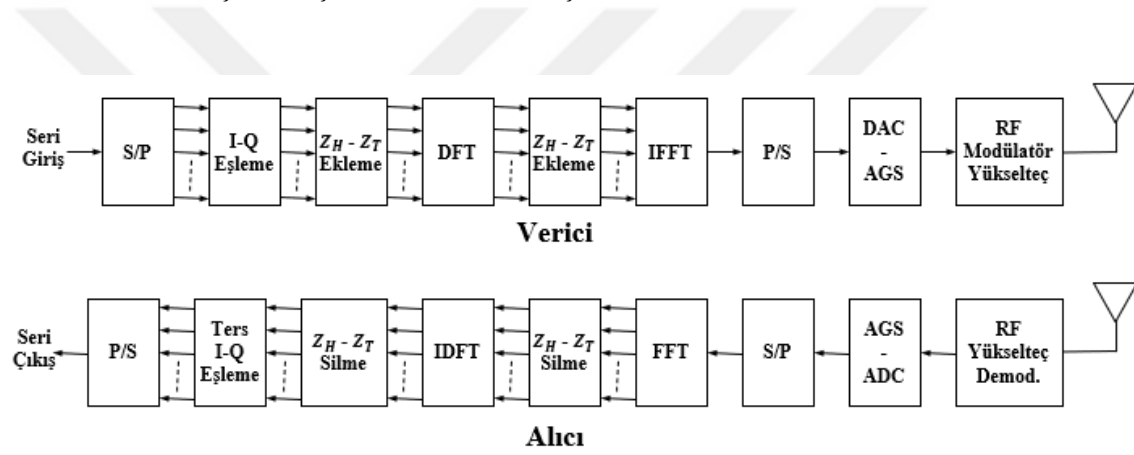
OFDM, yansımalarından kaynaklı çok yol (multipath) etkisine karşı başarılı, bant genişliğini verimli kullanabilen, ISI ve frekans seçici sönmüleme etkilerine karşı dayanıklı ve düşük gecikme hızına sahip başarılı bir sistemdir. Bu ve daha birçok avantajı sayesinde çoğu standartta kendine yer bulmayı başarmıştır. Ancak bu avantajların yanı sıra OFDM' in gelecekteki haberleşme sistemlerinde kullanılmasını engelleyen bazı büyük dezavantajları vardır. OFDM sistemleri verici ile alıcı arasındaki zaman ile frekansın senkron olmasına oldukça duyarlıdır. Pratikte kusursuz olmayan çalışma frekansları, alıcıda yanlış noktalarda örnekleme yapılmasına sebep olur. Bu durum literatürde taşıyıcı frekans kayması (CFO) olarak bilinir. CFO, taşıyıcılar arası girişime (ICI) sebep olur. Ayrıca hareketlilikten kaynaklanan Doppler etkisi de yine taşıyıcılarda frekans kaymasına sebep olabilir. PAPR problemi de OFDM sisteminin bir diğer büyük dezavantajıdır. Yüksek PAPR, HPA, DAC ve ADC gibi doğrusal olmayan elemanların iletilecek olan veriyi bozmalarına sebep olmaktadır. İşte bu sebeplerden dolayı OFDM sisteminin, 5G ve ötesi haberleşme sistemlerinde gereken ihtiyaca cevap veremeyeceği düşünülmektedir. 5G ve ötesi için yeni nesil dalga formu tasarımları devam etmektedir. Literatüre 5G için Sıfır Sonlu OFDM (ZT OFDM) [22], ZT DFT-s OFDM [10], UW OFDM [11], Çok Taşıyıcılı Filtre Bankası (FBMC) [12], Evrensel Filtreli Çok Taşıyıcı Yöntemi (UFMC) [23], Genelleştirilmiş Frekans Bölmeli Çoğullama (GFDM) [24] ve Filtrelenmiş OFDM (F-OFDM) [25] gibi birçok dalga formu önerilmiştir ancak bu dalga formlarından hiçbiri henüz 5G için kabul görmemiştir. Bu çalışmada ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ve ZT DST-s OFDM dalga formları ele alınmıştır. Önerilen dalga formlarının karşılaştırılması Tablo 2.1'de verilmiştir. Tabloda kullanılan "Açık" ifadesi, sonucun belirlenmesi için detaylı analiz ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu belirtmektedir.

Tablo 2.1 5G ve ötesine önerilen dalga formlarının performans karşılaştırması [7] [9]

	OFDM	ZT DFT-s OFDM	UW OFDM	FBMC	UFMC	GFDM
Spektral verimlilik	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
PAPR	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Bant-Dışı Yayılım	Yüksek	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Orta
MIMO Uyumluluğu	Yüksek	Açık	Açık	Düşük	Yüksek	Düşük
Hesaplama Karmaşası	Düşük	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek

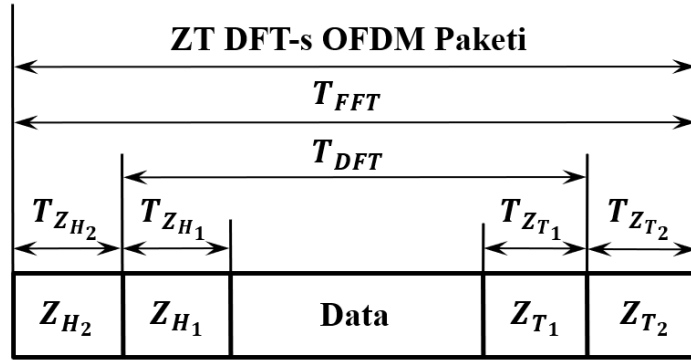
### 2.3.1. Sıfır Sonlu Ayrık Fourier Dönüşümü Yayılmalı OFDM (ZT DFT-s OFDM)

CP temelli klasik OFDM sisteminde, CP'nin ISI ile mücadelede etkin bir rol aldığı bilinmektedir. Ancak CP, spektral verimliliği düşürmekte ve iletim esnasında ekstra enerji tüketmektedir. Literatürde CP kullanımını için verimli sistemler geliştirme çalışmaları yapılmıştır [9] [26] [27]. ZT DFT-s OFDM sistemi [10] [29], geleneksel CP tabanlı DFT-s OFDM ve OFDM sistemlerine alternatif olarak sıfır sonlu bir DFT-s OFDM sistemidir. Bu sistemde CP yerine düşük güçteki bir ön ek olan sıfır kuyruk kullanılmaktadır. Bu yöntem [22] ve [30] numaralı çalışmalarda CP'yi sıfırlarla değiştiren sıfır-doldurmalı yaklaşımlar gibi değildir. Bunun yerine alıcı taraftaki alt taşıyıcıların dikliğini koruyan bir çözüm hedeflenmiştir. ZT DFT-s OFDM sisteminin verici-alıcı blok şeması Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 ZT DFT-s OFDM sisteminin alıcı-verici blok şeması

Verici tarafta önce seri giriş verisi paralel verilere dönüştürülür. Daha sonra I-Q eşleme bloğunda PSK ya da QAM modülasyonu yapılır. Modüle edilmiş verilerin başına ve kuyruğuna değişken uzunluklara sahip sıfır vektörler eklenir. Kuyruk uzunluğu, kanalın gecikmeli yayılmasından daha uzun olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu nedenle bir sonraki sembole yapılan girişimin gücü düşüktür. Daha sonra DFT işlemi uygulanır. DFT işlemi uygulanan verinin başına ve kuyruğuna tekrar değişken uzunluklara sahip sıfır vektörler eklenir. Daha sonra veri, IFFT işlemine tabi tutulur. Bu adımdan sonra ZT DFT-s OFDM paketi hazırır. ZT DFT-s OFDM paket yapısı Şekil 2.6'da verilmiştir. Pakete diğer adımlar da uygulanarak yükseltilir ve vericiden gönderilir. Her sembole eklenen sıfır vektörler alıcıda periyodikliği sağlar. Bu nedenle ZT DFT-s OFDM sisteminde tek dallı frekans bölgesi denkleştirici (FDE) kullanılabilir [9] [10] [29].

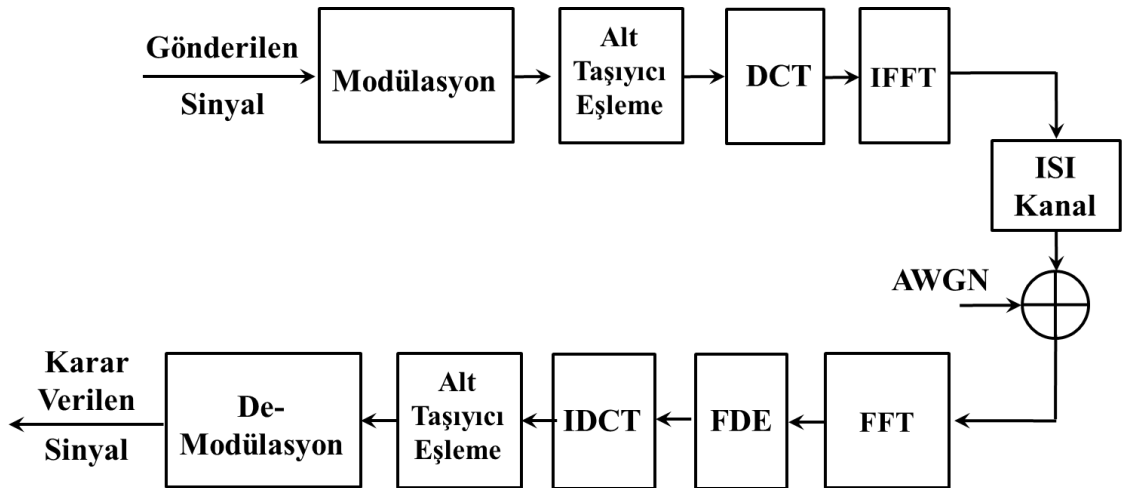


Şekil 2.6 ZT DFT-s OFDM sisteminin paket yapısı.

Sistemin alıcı tarafında ise gerekli kanal kestirimi ve kanal denkleştirme işlemleri yapılır. Verici tarafta uygulanan işlemlerin tersi uygulanarak gönderilen veriler elde edilir.

### 2.3.2. Sıfır Sonlu Ayrık Kosinüs Dönüşümü Yayılımlı OFDM (ZT-DCT-s OFDM)

6G ve sonrası haberleşmelerinde kullanılması için dalga şekli araştırma-inceleme arayışlarına farklı bir yaklaşım için sunulan ZT DCT-s OFDM dalga şeklinin uygulandığı iletişim sistemindeki alıcı ve vericiden oluşan blok yapısı Şekil 2.7’de verilmektedir.



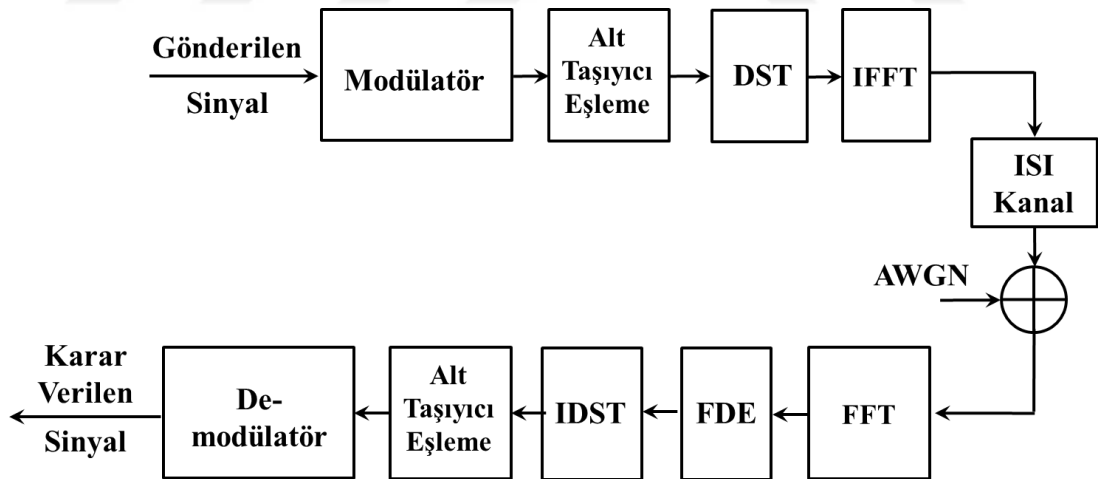
Şekil 2.7 : ZT DCT-s OFDM şemasının verici-alıcı blok şeması

Bu teknikte ZT DFT-S OFDM sistemi içindeki DFT işlemi yerine DCT işlemi kullanılmaktadır. Şekil 2.7’de verici ve alıcı yapısı gösterilen teknikte rastsal veriler oluşturulup her bir taşıyıcıyla iletilecek bit adedine göre sınıflandırılıp modülasyonundan

sonra alt taşıyıcı eşleştirmesi uygulanmaktadır. Alt taşıyıcı eşleştirmesi uygulanan verilerin önüne ve bitimine sıfır dizileri koyularak DCT tekniğiyle gönderilmektedir. Yayılan verilerin sonra tekrardan önüne ve bitimine sıfır dizileri koyularak IFFT dönüşümü uygulanıp ZT DCT-S OFDM veri blokları üretilmiştir. Üretilmiş olan semboller sigmeler arasında girişime uygun kanaldan gönderilip AWGN ile deforme edildikten sonra alıcıya gelmektedir. Alıcıya gelen deforme olmuş veriler hızlı Fourier dönüşümü (FFT) işlemi sonrasında FDE yani frekans bölgesi kanal denkleştirici ile düzeltilmesi ardından verici tarafında uygulanan yöntemler tersten tekrar yapılarak BER, PAPR ve band dışı yayılım (OOBE) gibi istenilen başarımların hesaplanması gerekmektedir.

### 2.3.3. Sıfır Sonlu Ayrık Sinüs Dönüşümü Yayılmalı OFDM (ZT-DST-s OFDM)

Data hızlarının 1000 katına kadar fazlalaşması, aşırı düşük gecikme zamanı, enerji, spektrum ve maliyetteki verimlilik gibi 5G'nin istediklerini elde etmede çok büyük önem arz etmekte olan dalga biçimi inceleme ve geliştirmede kullanılan yöntemlere alternatif olarak sunulan ZT DST-s OFDM dalga şeklinin uygulandığı iletişim yönteminin verici alıcı yapısı Şekil 2.8'de verilmektedir.



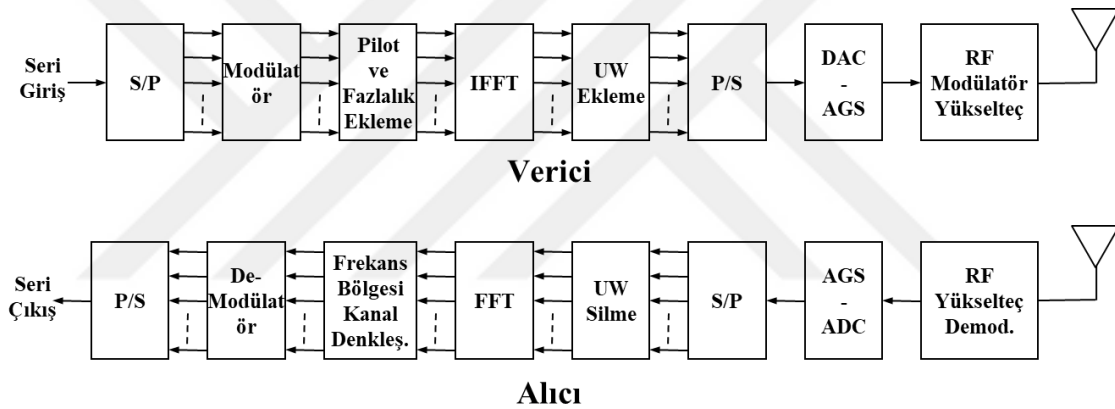
Şekil 2.8: ZT-DST-s OFDM dalga şeklinin verici-alıcı blok şeması

Bu teknikte ZT DFT-S OFDM sistemi içindeki DFT işlemi ve DST işlemi birbiri ile yer değiştirmektedir. Şekil 2.8'de verici alıcı yapısı gösterilen sunulan teknikte rastsal veriler üretilip her bir taşıyıcıyla iletilecek bit adedine göre sınıflandırılıp modüle edilip sonrasında da alt-taşıyıcı eşleştirmesi uygulanmaktadır. Alt-taşıyıcı eşleştirmesi uygulanan paketin önüne ve arkasına sıfır bitleri ilave edilerek DST dönüşümüyle

saçılmaktadır. Saçılmış verilerin tekrardan önüne ve arkasına sıfır bitleri ilave edilerek IFFT dönüşümü uygulanıp ZT DST-s OFDM veri blokları oluşturulmaktadır. Üretilmiş olan paketler simgeler arası girişime açık kanaldan gönderilip AWGN ile bozulmaya uğradıktan sonra alıcıya gelmektedir. Alıcıya deforme olmuş biçimde ulaşan veriler FFT işleminden sonra FDE ile onarıldıktan sonra verici tarafında gerçekleştirilen yöntemlerin tersi uygulanarak BER, PAPR gibi istenen performans metrikleri hesaplanmaktadır.

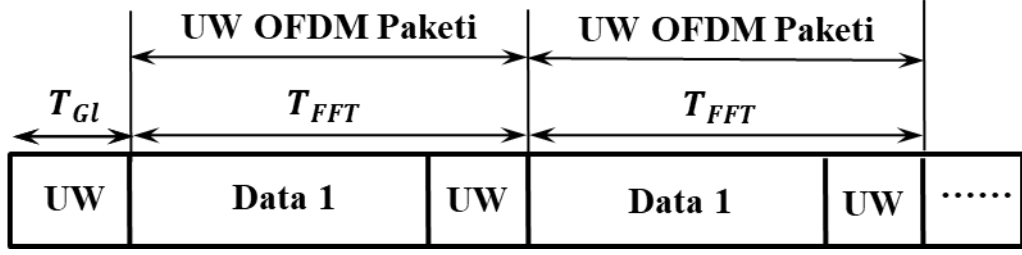
### 2.3.4. Unique Word OFDM (UW OFDM)

UW OFDM sistemi, CP tabanlı OFDM sistemine alternatif bir CP yapısı önermektedir. [11] [31]. UW OFDM sisteminde koruma aralığı, rasgele oluşturulan CP yerine bilinen benzersiz bir dizi (UW) ile doldurulur. Şekil 2.9’da UW OFDM sisteminin alıcı-verici blok şeması verilmiştir.



Şekil 2.9 UW OFDM dalga şeklinin alıcı-verici yapısı

Verici tarafta önce seri giriş verisi paralel verilere dönüştürülür. Daha sonra I-Q eşleme bloğunda PSK ya da QAM modülasyonu yapılır. Modülasyon işleminden sonra veri paketine pilot ve fazlalık alt-taşıyıcılar eklenir. Bu adımdan sonra veri IFFT işlemine tabi tutulur. Daha sonra bilinen UW dizileri zaman bölgesinde bu veri paketinin sonuna eklenir. Oluşan UW OFDM paketi, başında yine UW dizisi bulunan iletim paketine eklenerek devam edilir. UW OFDM sisteminin paket yapısı Şekil 2.10’da verilmiştir. Sistemin alıcı tarafında ise gerekli kanal kestirimi ve kanal denkleştirme işlemleri yapılır. Verici tarafta uygulanan işlemlerin tersi uygulanarak gönderilen veriler elde edilir.



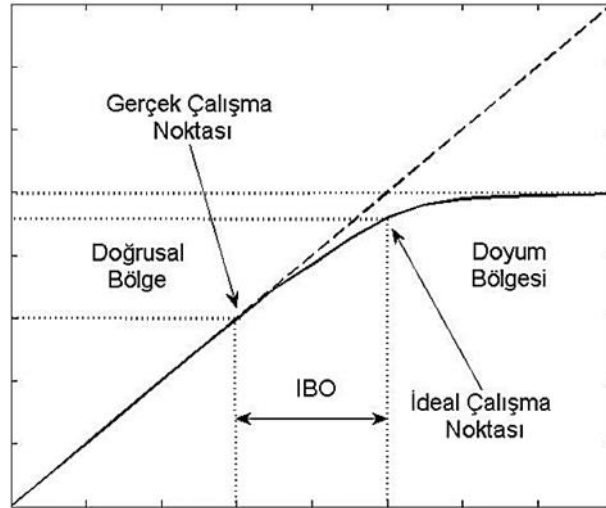
Şekil 2.10 UW OFDM sisteminin paket yapısı.

UW, FFT aralığının bir parçasıdır. Bu sayede alıcı tarafta frekans bölgesinde BER iyileştirmesi yapmak için korelasyonda kullanılabilir. Bu diziler CP ile aynı avantajı sağlar. ISI' e karşı etkilidir. UW önceden bilinen diziler olması dolayısıyla, zaman-frekans eşlemesi ve kanal kestiriminde yararlanılabilmektedir. CP'li OFDM sistemiyle kıyaslırsak UW OFDM' de OOBE daha düşüktür. Fakat UW OFDM hesap karmaşası da daha yüksektir [11] [32] [33].

### 3. BÖLÜM: KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE TEPE ORTALAMA GÜÇ ORANI (PAPR)

#### 3.1. Giriş

Günümüz karmaşık kablosuz iletişim dünyasında, radyo frekansı (RF) yüksek güç yükseltici (HPA), havadan veya kablodan bir sinyal göndermeden önce güçteki son yükseltmeyi yapar. HPA, girişine uygulanan sinyali, şeklini ve frekansını bozmadan sadece genliğini artırarak çıkışa aktarır. HPA'lar doğrusal bir çalışma aralığında çalışmak zorundadır. Şekil 3.1'de genel olarak HPA'ların çalışma aralığı verilmiştir. Temelde HPA doğrusallığı, bir HPA'nın bozulma olmadan bir sinyali ne kadar iyi yükseltebildiğidir. Doğrusallık, sinyalin genliğindeki bilgileri kodlayan herhangi bir modülasyon şemasını kullanan sistemler için önemlidir [34] [35].

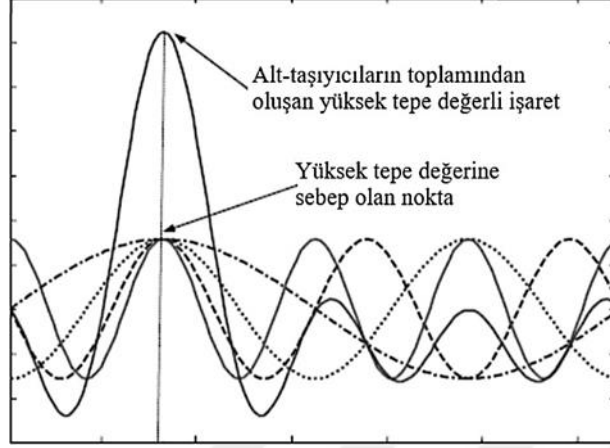


Şekil 3.1 HPA'ların temel çalışma noktası [20].

HPA doğrusal olmayan bir bölgede çalıştığında işaret HPA tarafından kırılabilir. Bunun önüne geçmek ve HPA'yı verimli bir şekilde kullanılabilmesi için HPA'nın doyum bölgesine yakın bir noktada çalıştırılması gerekmektedir. Aksi takdirde işaret kırılır ve

buna bağı olarak da bant içi ve bant dışı yayılımlar meydana gelir.

OFDM gibi çok taşıyıcılı sistemlerin işaretleri Şekil 3.2’de görüldüğü gibi yüksek tepe değerlerine ulaşabilmektedir.



Şekil 3.2 Yüksek tepe değerine sebep olan alt-taşıyıcılar [20].

PAPR, bir iletim paketindeki bir örnek olarak en yüksek gücü ile bu paketin ortalama gücüne oranıdır [36]. Yüksek tepe değeri, yüksek PAPR’ a sebep olmaktadır. Bu durum HPA’nın çok kolay bir şekilde doyum bölgesine geçmesine sebep olmaktadır. Doyuma ulaşmış bir HPA ise giriş gücü arttığı halde çıkış gücünde aynı oranda bir artış olmaz ve belli bir noktadan sonra giriş gücü değiştirilse bile çıkış gücünde değişiklik olmaz [37]. Kablosuz iletişim sistemleri için HPA’nın doğrusal çalışma modundan uzaklaşması demek, bozulmaların oluşması demektir [38] [39]. Bu olumsuzluğu giderebilmek için HPA’nın çalışma noktasının doğrusal bölgeye kaydırılması gerekmektedir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi bu kaydırma işlemi giriş geri noktası (IBO) ile gerçekleştirilir [40]. IBO, giriş gücüne göre çıkışta maksimum güç üreten giriş seviye aralığıdır. Giriş işaretinin doyum seviyesine geçmesini önlemek için IBO değerinin en azından PAPR değerine eşit olması gerekmektedir [20].

Bu bölümde çok taşıyıcılı modülasyon sistemlerinin en büyük ve önemli eksilerinden biri olan yüksek tepe-ortalama güç oranı (PAPR) problemi, PAPR hesaplaması ve PAPR azaltma için literatüre sunulan bazı teknikler incelenmektedir.

### 3.2. Kablosuz Haberleşme Sistemlerinin PAPR Hesabı

N tane alt-taşıyıcıdan oluşan bir OFDM şemasında temel bant giriş verisi Eşitlik (2.1)’deki gibi verilmişti. OFDM işareti  $x(t)$  ise, Eşitlik (2.2)’deki gibi ifade edilmişti.  $x(t)$  işaretinin tepe gücü Eşitlik (3.1)’deki gibi hesaplanabilir.

$$P_{max}(x(t)) = \max |x(t)|^2 \quad (3.1)$$

Burada  $\max[\cdot]$ , işaretin tepe gücünü ifade etmektedir. Bu OFDM işaretinin ortalama gücü ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$P_{av}(X) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} E[|X_k|^2] \quad (3.2)$$

Burada  $E[\cdot]$  işaretin beklenen değerini ifade etmektedir.  $x(t)$  OFDM işaretinin  $dB$  cinsinden PAPR'ı bu eşitliklerle birlikte Eşitlik (3.3) ile hesaplanır.

$$PAPR_{dB} = 10 \log \frac{P_{max}(x(t))}{P_{av}(X)} \quad (3.3)$$

PAPR değerleri, PAPR'ın tamamlayıcı kümülatif dağılım fonksiyonu (CCDF) ile hesaplanmaktadır.  $PAPR_0 > 0$  referans değeri düşünüldüğünde,  $PAPR_{dB}$ 'nin referans seviyesinden daha yüksek olma ihtimali CCDF ile tanımlanır ve aşağıdaki Denklem (3.4) ile ifade edilir:

$$CCDF(PAPR_0) = \Pr \{PAPR_{dB} > PAPR_0\} \quad (3.4)$$

### 3.3. PAPR Azaltma Teknikleri

PAPR azaltma için literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler işaret bozma teknikleri, kodlama ve serpiştirme teknikleri ve olasılıksal teknikler olarak üç ana grupta toplanmaktadır [41] [20].

İşaret bozma teknikleri, genlik kırpma [42] [43], kırpma ve filtreleme [44], tepe pencereleme [45], tepe çıkarma [46] ve sıkıştırma-genleştirme [47] [48] olarak literatüre sunulmuştur. Bu teknikler işaretlerin genliklerinde değişiklik yaptığı için bant içi ve bant dışı yayılmalar meydana gelebilmektedir. Bu sorunu çözmek için de çalışmalar yapılmıştır [49] [50].

Kodlama ve serpiştirme tekniklerinde ise amaç, kodlama ya da serpiştirmeden sonra en düşük PAPR değerini sağlayan kodlama ya da serpiştirme kelimelerini bulmaktır. Bu işlemlerden sonra en düşük PAPR'a sahip olan paket gönderilir. Bazı durumlarda bulunan kod kelimeleri vericiden yan bilgi olarak iletilmek zorundadır.

Kodlama ve serpiştirme teknikleri PAPR düşürmeye ek olarak hata sezme ve hata düzeltme ile sistemin BER performansının da artması sağlanmaktadır [41] [20] [51] [52].

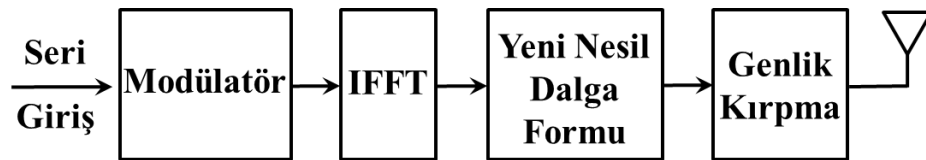
Olasılıksal yöntemler ise literatürde en çok çalışma yapılan ve en verimli yöntemlerdir. SLM, PTS gibi olasılıksal yöntemlerin çoğunda [41] [53] [54] işaretlerin sadece fazlarında değişiklik yapılırken, TI gibi bazı yöntemlerde [55] [56] ise işaretlerin fazlarının yanı sıra genliklerinde de değişiklik yapılır. İşaretler üzerinde yapılan değişikliklerden sonra bilgi kaybı meydana gelmez [41] [20].

Günümüzde yeni nesil haberleşme teknolojileri için PAPR azaltma çalışmaları hala devam etmektedir. BER performansından ödün vermeden, maliyeti olumsuz olarak etkilemeyecek şekilde PAPR' ı önemli oranda azaltmak için yeni yöntemler geliştirilmektedir.

### 3.3.1. İşaret Bozma Teknikleri

#### 3.3.1.1. Genlik Kırpma (AC) Tekniği

Genlik kırpma tekniğinin çalışma prensibi, yüksek PAPR' a sebebiyet veren büyük genlikteki alt taşıyıcıların genliklerinin belirlemiş olduğumuz eşik değerinden yüksek olması durumunda duruma kırılması işlemine dayanır [42] [57]. Geleneksel OFDM ve gelecek nesil OFDM dalga şekillerinde IFFT kullanılarak datalar zaman domeninde karmaşık işarete dönüştürülür. Genlik kırpma yöntemi, bu işaretlerin genlik büyüklüklerini kontrol edilerek gerçekleştirilir. Genlik kırpma yöntemi bitimi ardından işaretler vericiye iletilir. Bu teknikte alıcı kısmında ölçünlü de-modülasyon yöntemlerinin haricinde başka bir yapılması gereken yoktur. Genlik kırpma yöntemi aşağıda Şekil 3.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.3 Genlik kırpma tekniğinin haberleşme yapısı

Şekil 3.3'te sunulan vericide, rastsal üretilmiş olan ardışıl giriş verileri I-Q Eşleme bloğunda modülasyonundan sonra elde edilen datalar IFFT Bloğunda ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra Yeni Nesil Dalga Formu Bloğunda istenilen dalga formu paketleri oluşturulmaktadır. Üretilen dalga formu veri

paketleri Genlik Kırpma Bloğunda genlik kırpma işlemine tabi tutulur. Burada belirlenen eşik genliği üzerinde kalan alt taşıyıcı genlikler eşik genliğine eşitlenerek tekrar oluşturulur. Bununla beraber genliği kırılmış datalar elde edilmiş olur. Sonra bu yöntemle üretilen dalga formu paketleri frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanal üzerinden iletilir ve AWGN ile bozularak alıcıya ulaşır.

Genlik kırpmanın eşik genliği  $A$ , eşitlik (3.5) deki gibi tanımlanır:

$$A = \beta \max[|X|] \quad (3.5)$$

Buradaki  $\beta$ , genlik kırma için eşik genliğini belirleyen katsayıdır. OFDM simgesinin maksimum genliği  $\beta$  ile çarpılıp sonrasında genlik kırpma yöntemi için gerekli eşik genliği bulunur. Eşik genliğinin bulunması ardından OFDM işaretindeki alt-taşıyıcı genlikler, Denklem (3.6) ile kontrol edilir ardından Denklem (3.5)'te hesaplanmış olan  $A$  eşik değerini geçen alt taşıyıcıların büyüklükleri hesaplanmış olan eşığe eşitlenerek tekrar oluşturulur.

$$X_k^e = \begin{cases} X_k, & |X_k| \leq A \\ Ae^{j\theta}, & |X_k| > A \end{cases} \quad (3.6)$$

Burada  $X^c$  kırpma yöntemine tabi tutulmuş simgeyi,  $e^{j\theta}$  ise bu simgenin fazını göstermektedir. Kırpma yöntemi sırasında işaretlerin fazlarında bir değişiklik yapılmaz. Kırpma yöntemlerinden sonra OFDM simgesi  $X^c = [X_0^c, X_1^c, \dots, X_{0N-1}^c]$  olarak tekrar üretilir ve vericiye iletilir.

### 3.3.2. Kodlama ve Serpiştirme Teknikleri

#### 3.3.2.1. Kodlama Teknikleri

Doğrusal blok kodlama, Golay kodlama ve Turbo kodlama gibi haberleşme sistemlerinde hata sezme ve hata düzeltme için kullanılan bazı kodlama teknikleri PAPR düşürme içinde kullanılabilir. Kodlama tekniğinde amaç en düşük PAPR değerini sağlayan kod kelimesinin bulunmasıdır.  $b = [b_0, b_1, \dots, b_{N-1}]$  şeklinde bir diziden oluşan kod kelimesinde  $b_i \in \{+1, -1\}$  faz faktörü olarak adlandırılır.  $N$  tane alt taşıyıcıya sahip bir sistemde en düşük PAPR değerini elde etmek için  $b_N = 2N$  alternatif kod kelimesinin oluşturulması gerekmektedir. Bu durum sistemin karmaşıklığını artırmaktadır [20].

### 3.3.2.2. Serpiştirme Teknikleri

Serpiştirme, hata düzeltme kodlarını geliştirmek için kullanılmıştır ve seri çekim hatalarını (bir sırada ya da gruplar halinde meydana gelen hatalar) da düzeltebilecek şekilde tasarlanmıştır. Çoğu hata düzeltme kodu, rastgele hataları yani birbirinden bağımsız dış gürültüden kaynaklanan hataları düzeltmek için tasarlanmıştır [58]. Serpiştirme prensibi, ODFM modülatörü üzerinden iletilmeden önce, eşlenmiş sembollerin daha fazla kod kelimesine basit bir şekilde bölünmesine dayanır. Serpiştirme tekniği, bu özelliklerinin yanı sıra PAPR azaltma içinde kullanılır. PAPR azaltmak için, vericiye birkaç çeşit serpiştirme uygulanır. IFFT işleminden sonra aralarındaki en küçük PAPR değerli işaret iletilecek şekilde seçilir. Bu tekniğin en büyük avantajı, kodlama teknikleri veya PTS tekniği gibi tekniklerle karşılaştırıldığında düşük karmaşıklığa sahip olmasıdır. Bununla birlikte serpiştirme tekniğinin en büyük dezavantajı, kod çözme işlemini alıcıda gerçekleştirmek için kullanılan serpiştirme hakkında bilgi iletimine ihtiyaç durmasıdır. Ayrıca PAPR'ın en iyi şekilde azaltılması için serpiştirici boyutunu artıran ve veri hızını düşüren çok sayıda serpiştirme olasılığına ihtiyaç vardır [59].

### 3.3.3. Olasılıksal Teknikler

#### 3.3.3.1. Kısmi İletim Dizisi (PTS) Tekniği

N tane alt taşıyıcıdan oluşan bir OFDM sisteminde temel bant verisi  $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]$  şeklinde olur. OFDM sembolü  $s(t)$  ise

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{jk2\pi\Delta f t}, \quad 0 \leq t \leq T \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $\Delta f = 1/T$  alt taşıyıcıların aralıklarını ve  $X_k$  ise temelbant datayı göstermektedir.  $s(t)$  'nin tepe gücü;

$$P_{max}(s(t)) = \max |s(t)|^2 \quad (3.8)$$

denkleminde elde edilir. Bu OFDM simgesinin ortalama gücü de;

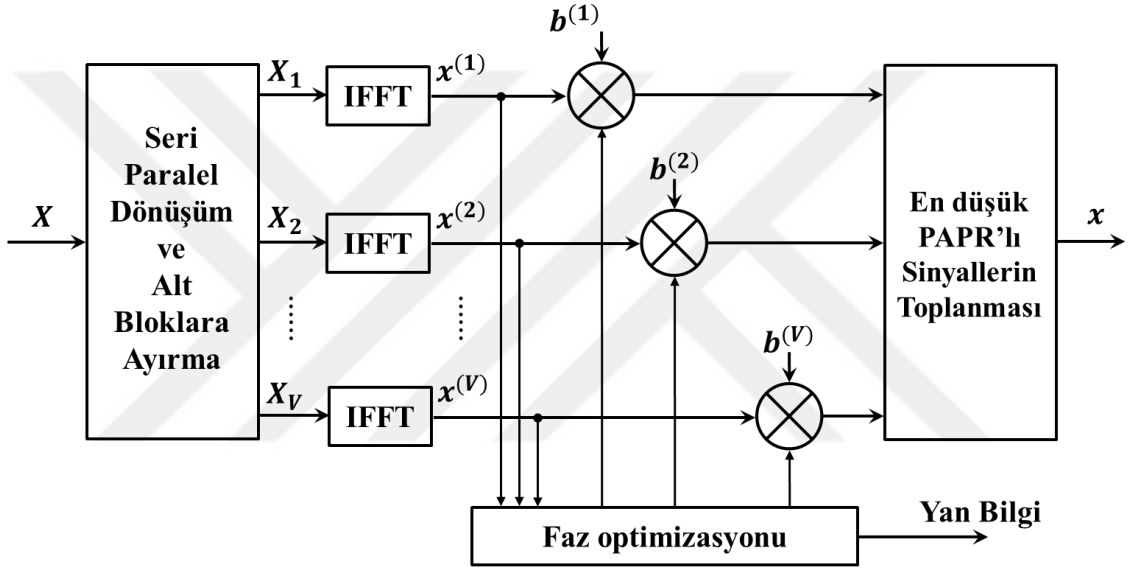
$$P_{av}(s(t)) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} E[|s(t)|^2], \quad 0 \leq t \leq T \quad (3.9)$$

eşitliğinden hesaplanır.  $s(t)$  OFDM sembolünün PAPR'ı bu eşitliklerle birlikte;

$$PAPR_{dB} = 10 \log\left(\frac{P_{max}(s(t))}{P_{av}(s(t))}\right) \quad (3.10)$$

şeklinde hesaplanır.

Olasılıksal bir teknik olan PTS tekniği, giriş işaretini alt bloklara bölerek ve sembollerin fazlarında değişiklik yaparak PAPR azalma yapar [41] [54] [20]. PTS tekniğinin blok şeması Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 PTS tekniğinin blok şeması

PTS yönteminde ilk olarak Eşitlik (2.1)'de verilen giriş işareti, rastgele ya da bir algoritmaya göre dağıtılarak  $V$  adet alt bloğa ayrılır. Bu aşamada  $X$  giriş işareti Eşitlik (3.11)'deki gibi yazılabilir.

$$X = \sum_{v=0}^{V-1} X^v \quad (3.11)$$

Her bir alt bloğa IFFT işlemi uygulandıktan sonra her bir veri elemanının faz açısı Eşitlik (3.12)'deki  $b^v$  faz çarpanı ile değiştirilir.

$$\mathbf{b}^v = [b_0, b_1, b_2, \dots, b_{v-1}], \quad v = 1, 2, 3, \dots, V - 1 \quad (3.12)$$

Faz çarpanları genellikle  $\{1, -1, j, -j\}$  elemanlarından oluşmuş rasgele dizilerdir. PTS yönteminde son adım ise faz değişimi yapılan alt blokların tekrar bir araya getirilmesidir.

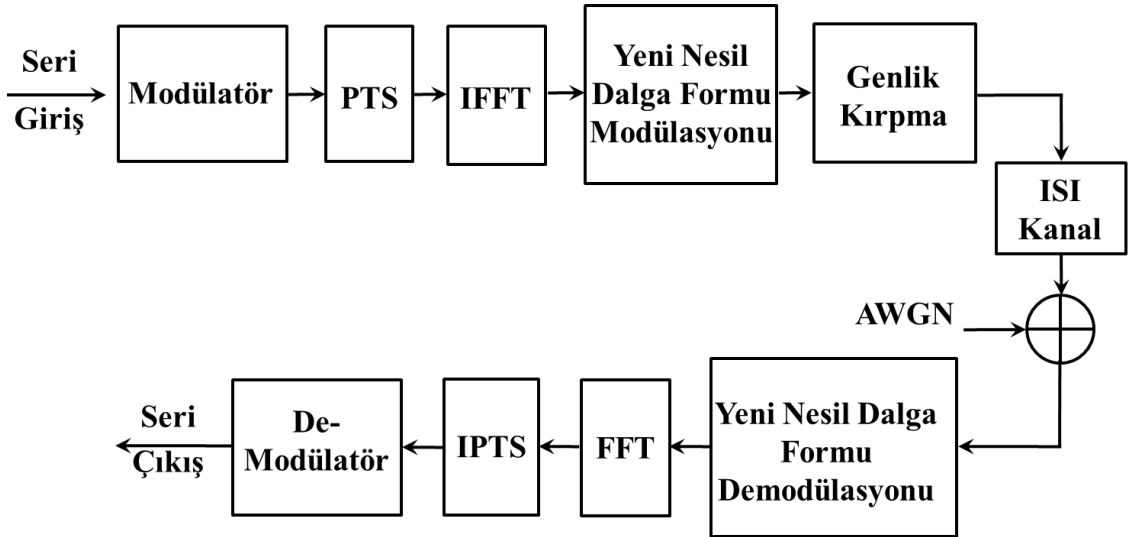
PTS sonucu oluşan işaret Eşitlik (3.13)'daki gibi ifade edilebilir.

$$\tilde{x}[n] = \sum_{v=0}^{V-1} b^v \text{IFFT}\{X^v\}, \quad 0 \leq n \leq V - 1 \quad (3.13)$$

PTS yönteminde en düşük PAPR değerini sağlayan faz çarpanı, sistemin alıcı kısmına yan bilgi olarak iletilmesi gerekmektedir. PTS yönteminde ideal faz çarpanı bulunması sırasında çözüm uzayının boyutu  $W^{V-1}$  olmaktadır. Burada  $W$ , alternatif faz çarpanı sayısıdır.  $b^v \in \{+1, -1, j, -j\}$  için  $W = 4$  olmaktadır.

### 3.3.4. Önerilen PTS-AC Tekniği

Önerilen PTS-AC yönteminin kullanıldığı çok taşıyıcılı kablosuz haberleşme sisteminin verici ve alıcı yapısının blok diyagramı verilmektedir.



Şekil 3.5: Önerilen PTS-AC tekniği kullanılan haberleşme sistemine ait verici-alıcı yapısı

Şekil 3.5'te sunulan sistemin vericide, rastsal üretilmiş olan ardışıl giriş verileri I-Q Eşleme bloğunda modülasyonundan sonra PTS işlemine tabi tutulur. Ardından PTS Bloğu çıkışından elde edilen datalar IFFT Bloğunda ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT)

işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra Yeni Nesil Dalga Formu Bloğunda istenilen dalga formu paketleri oluşturulmaktadır. Üretilen dalga formu veri paketleri Genlik Kırpma Bloğunda genlik kırpma işlemine tabi tutulur. Sonra önerilen yöntemle üretilen dalga formu paketleri frekans seçici Rayleigh sönümlmeli kanal üzerinden iletilir ve AWGN ile bozularak alıcıya ulaşır.

Alıcıda da vericide yapılmış olan işlemlerin tersleri yapılarak bozulmuş bilgi sinyalleri uygun denkleştirme yöntemleri kullanılarak düzeltilir. Daha sonra Yeni Nesil Dalga Formu Demodülasyonu Bloğunda çıkışında çözümlenen dalga formları FFT ve ters PTS (IPTS) işlemlerine tabi tutulur. Ardından IPTS sisteminin sonucunda elde edilmiş olan Ters I-Q Eşleme yapısında demodülasyon işlemleri uygulanır. Daha sonra da çıkışta elde edilen datalardan yararlanarak BER, PAPR gibi istenen performans ölçütleri hesaplanabilir.

## 4. BÖLÜM: SİMULASYON ÇALIŞMALARI

### 4.1. Giriş

Bu bölümde OFDM gibi çok taşıyıcılı haberleşme sistemlerinin büyük bir dezavantajı olan yüksek PAPR problemine çözüm olarak literatüre sunulan genlik kırpma (AC), PTS ve ilk defa bu tez çalışmasında önerilen PTS-AC teknikleri, 5G için kuvvetli adaylar olan ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ve ZT DST-s OFDM dalga formlarına uygulanarak toplanır beyaz Gauss gürültülü (AWGN) kanal ortamında bilgisayar simülasyonu çalışmaları yapılmıştır. Sistemde doğrusal güç yükseltici kullanıldığı kabul edilmektedir.

### 4.2. Simülasyon Ortamı ve Parametreleri

Simülasyon çalışmalarında Tablo 4.1’de verilen ortak parametreler kullanılmıştır. Simülasyon çalışmaları MATLAB 2018b uygulaması üzerinde yapılmıştır.

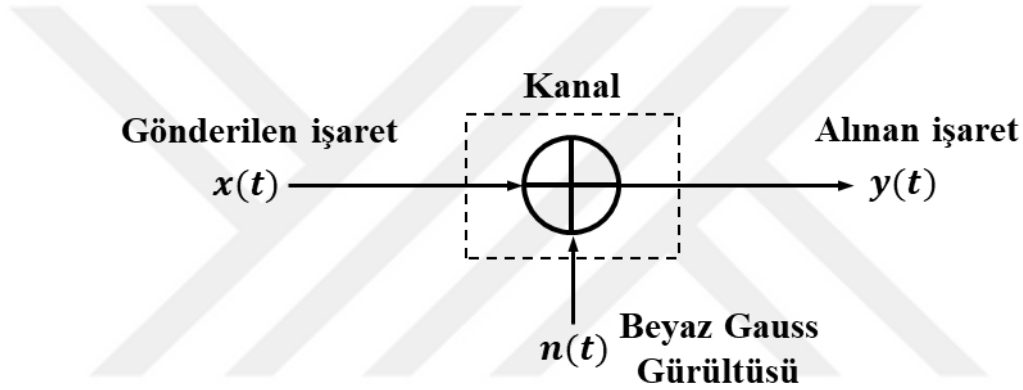
Tablo 4.1 Simülasyon Çalışmalarında kullanılan ortak parametreler

Parametre	Değer
Alt-taşıyıcı sayısı	$N = 192$
FFT boyutu	256
İletilen OFDM paket sayısı	1000
Monte-Carlo döngü sayısı	1000
Modülasyon	BPSK, 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM
Kanal tipi	AWGN
Genlik kırpma eşik katsayıları	$\beta = 0.6$
PTS için faz faktörleri	$b \in \{1, -1, j, -j\}$
PTS için alt blok sayısı	$V = 4$

Yapılan çalışmalarda seçilmiş olan dalga formları için 192 alt taşıyıcı ile BPSK, 4-QAM, 16-QAM ve 64-QAM modülasyonlarında çalışmalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

#### 4.2.1. Toplanır Beyaz Gauss Gürültülü (AWGN) Kanal

AWGN kanal yapısı, ideal radyo kanalı yapısıdır. Kablosuz iletişim sistemlerinde, alıcı tarafta bulunan elektronik ekipmanlarda akan akıma bağlı olarak bir termal gürültü meydana gelir. Bu termal gürültü, bozucu bir etki yaparak alınan sinyali etkiler. Bu termal gürültü incelendiği zaman, oluşan gürültü işaretlerinin genliklerinin Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip olduğu görülmüştür. Kanalda işarete sadece beyaz Gauss gürültüsü eklenmektedir. Bu gürültüye beyaz gürültü denmesinin sebebi ise, görünür spektrumdaki tüm frekanslardan oluşan beyaz renk gibi, beyaz gürültü de tüm frekans bandında eşit bir güce sahip olmasıdır [60]. Şekil 4.1'de AWGN kanal yapısı verilmektedir.



Şekil 4.1 AWGN kanal yapısı.

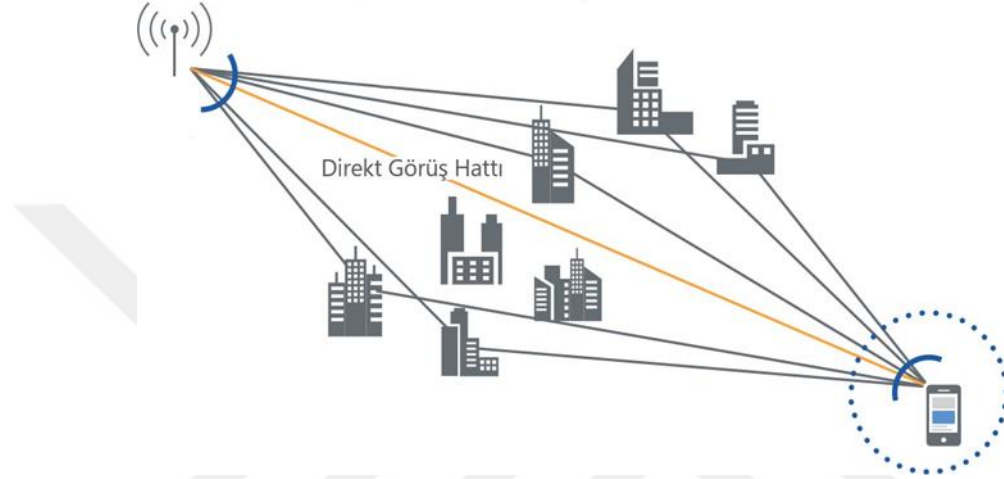
Burada  $x(t)$  gönderilen işareti,  $n(t)$  güç spektral yoğunluğu  $N/2$  olan beyaz Gauss gürültüsünü ve  $y(t)$  ise alınan işareti temsil etmektedir. Alınan işaret  $y(t)$ ,  $h(t) = \delta(t)$  eşitliği ile Eşitlik (4.1)'deki gibi yazılabilir.

$$y(t) = x(t) * h(t) + n(t) = x(t) + n(t) \quad (4.1)$$

AWGN kanalının genelde sabit olduğu ve davranışının zamana bağlı olarak değişmiyor olduğu kabul edilmektedir. Bundan dolayı AWGN kanal, gezgin radyodaki kanalın davranışını uygun olarak modelleyememektedir. Reel dünyadaki gezgin hücreli radyo ağlarında karşılaşılmakta olan kanal, çok fazla yolun birleşimidir. Bu davranış, çok yönlü yayılım şeklinde isimlendirilir. İletişim sistemlerinde kullanılmakta olan çok yönlü kanal yapısı, AWGN kanal yapısından daha zor olan bir kanal modelidir [61] [62].

#### 4.2.2. Düz Rayleigh Sönümlmeli Kanal

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi vericiden yayılan işaret kanal üstünde birden fazla şekilde alıcı antene ulaşılabilir. Antenlerin direkt birbirlerini gördükleri yolun dışında etraftaki yapılardan, bitkilerden vs. farklı noktalardan yansıyan dalgalarla beraber işaretin gecikmiş versiyonları da alıcıya ulaşabilir. Bu sinyallerin birbirinden değişik yollardan, değişik gecikme süreleriyle ve değişik faz açılarına sahip şekilde alıcıya gelmeleri “çok yollu yayılım” şeklinde adlandırılmaktadır [63].

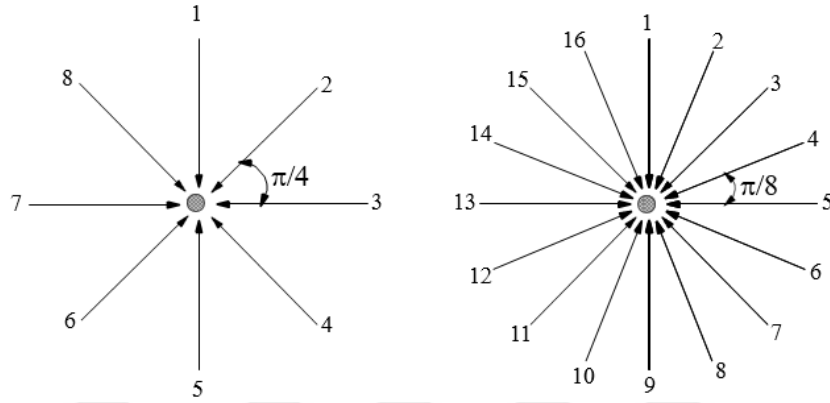


Şekil 4.2 Çok yollu yayılma ortamı [64].

Bir radyo sinyali, vericiden alıcıya bir dizi farklı yoldan geçerek ulaşır. Bu durumda en belirgin yol direkt görüş hattı (LOS) yoludur. Bununla birlikte kanalda bina, ağaç vb. nesnelere çarpan sinyal, kırılma, yansıma vb. durumlara maruz kalabilir. Alıcıya ulaşan sinyaller, birçok yoldan alıcıya ulaşmış ve çeşitli durumlara maruz kalarak fazları değişmiş sinyallerdir. Alıcıda elde edilen sinyal, çok yollu kanaldan gelen sinyallerin bir birleşimidir. Genellikle vericinin ya da alıcının hareketli olmaları, yol uzunluklarını değiştirerek sinyal seviyesinin ve fazının değişmesine sebep olacaktır [65] [61].

Verici ile alıcının birbirini göremediği durumda, yani direk görüş yokken (NLOS), alınan sinyalin genliğindeki değişimler Rayleigh dağılım fonksiyonu ile tanımlanabilir ve bu tür kanallar “Rayleigh kanal” olarak adlandırılır [66]. Çok yollu yayılımda alıcıya ulaşan işaretin çeşitli nesnelere yansıyarak, kırınım ve saçınımına uğrayarak gelen, birbirinden bağımsız ve birbirine özdeş dalgaların toplamından oluştuğu kabul edilmektedir [63]. Bu işaretlerin genliklerinin eşit, varış açılarının ise  $0 - 2\pi$  arasında düzgün dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Her biri bir rastlantı değişkeni olarak kabul edilen bu işaretlerin toplamı, merkezi limit teoremine göre,  $N \rightarrow \infty$

durumunda Gauss olasılık yoğunluk dağılımına sahip olur [67]. Fakat uygulamada sonsuz sayıda ışın almak mümkün olmadığından, Şekil 4.3'te verilen 8 veya 16 ışınlı modeller kullanılmaktadır [68]. 6'dan çok ışın alınarak yapılan benzetimle elde edilen dağılım ile gerçek dağılım arasındaki hata oldukça küçüktür [63].



Şekil 4.3 8 ve 16 ışınlı Rayleigh modeller.

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi,  $N$  ışınlı modelde  $i$ . ışın için varış açısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir:

$$\theta_i = \frac{2\pi(i-1)}{N}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.2)$$

Kanal modelinin eş evreli  $I$  ve dik evreli  $Q$  bileşenleri matematiksel olarak Eşitlik (4.3) ve Eşitlik (4.4)'te verildiği gibi ifade edilebilir.

$$I_k = \sum_{i=1}^N A \cos\left[a_i + \frac{2\pi v k T_s}{\lambda} \cos\theta_i\right] \quad (4.3)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^N A \sin\left[a_i + \frac{2\pi v k T_s}{\lambda} \cos\theta_i\right] \quad (4.4)$$

Burada,  $T_s$  örnekleme periyodunu,  $v$  kullanıcı hızını,  $k$  simülasyon adım indeksini,  $a_i$   $i$ . ışının başlangıç varış açısını ve  $\lambda$  ise taşıyıcı dalga boyunu göstermektedir. Kanalın katsayısı da

$$h(kT_s) = I_k + jQ_k \quad (4.5)$$

olarak elde edilir. Elde edilen bu model dar bantlı bir kanalı modellemek için yeterli olmasına rağmen, geniş bantlı kanalı modellemek için yeterli değildir. Geniş bantlı kanalın doğrusal bir filtre olarak dikkate alınması gerekmektedir [67] [69]. Doğrusal filtrenin her bir katsayısı, dar bantlı kanal katsayısının hesaplandığı gibi hesaplanır.

İletişim kanalı, dallı gecikme hattı (TDL) süzgeç yapısı ile temsil edilebilir [70]. TDL süzgeç yapısının her farklı katsayıları dar bantlı kanal katsayısı gibi tanımlanırken, bu katsayıların büyüklükleri kanalın gecikme profilinin ne şekilde olacağını tanımlamaktadır [68]. Üstel azalan yoğunluk fonksiyonu

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{b} e^{-\frac{(x-a)}{b}}, & x > a \\ 0, & x < a \end{cases} \quad (4.6)$$

ile, Laplacian yoğunluk fonksiyonu

$$f_x(x) = a e^{-\frac{|x-m|}{b}} \quad (4.7)$$

le ve Gaussian yoğunluk fonksiyonu ise

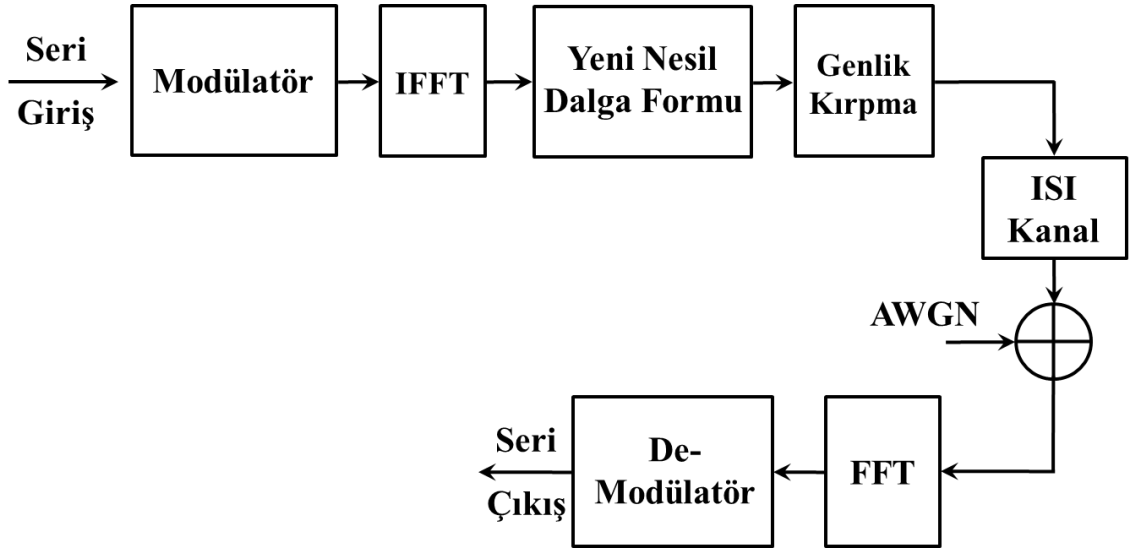
$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{(x-a_x)^2}{b}} \quad (4.8)$$

ile verilmektedir [71].

### 4.3. Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Azaltma

Genlik kırpma tekniğinin yeni nesil dalga şekillerine uygulanmasının özeti Şekil 4.4'te verilmiştir.

Sistemde genlik kırma tekniğinin yeni nesil dalga formlarına uygulandığı alıcı ve verici yapısı görülmektedir. ISI kanalından öncesi verici, kanal ve AWGN gürültünün eklenmesi işlemi haberleşme kanalı, sonrası da alıcı yapısının özeti.



Şekil 4.4 Gelecek nesil dalga biçimlerine genlik kırpma tekniğinin uygulanması.

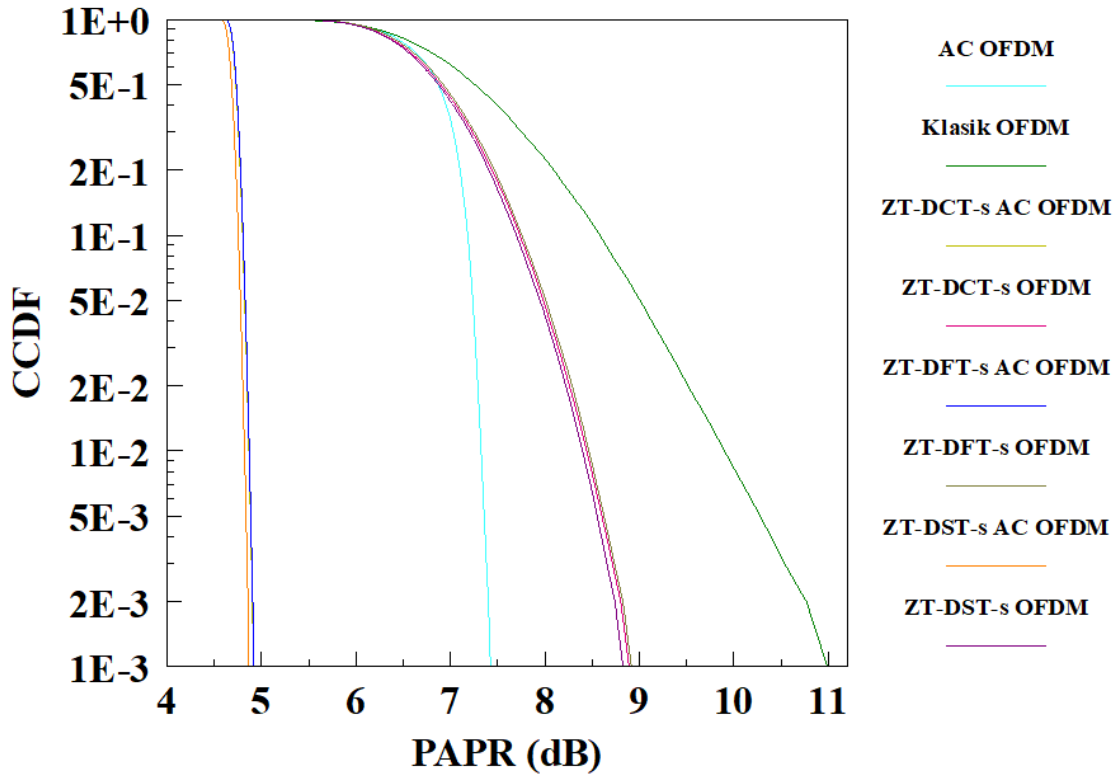
Rastgele üretilen veriler Modülör bloğunda ilgili modülasyon ile modüle edilir. IFFT ve Yeni Nesil Dalga Formu bloğunda ZT-DST-s OFDM, ZT DFT-s OFDM ZT DCT-s OFDM veya dalga formları üretilir. Veriler vericiye verilmeden önce Genlik Kırpma bloğunda genlikler kontrol edilip kırılır ve vericiye verilir. Alıcı tarafta normal demodülasyondan başka bir işlem yapılmasına gerek yoktur.

Bu çalışmada kırpma eşik katsayısı  $\beta = 0.6$  olarak seçilmiştir.

#### 4.3.1. Genlik Kırpma Tekniğinin PAPR Sonuçları

Tekniğin BPSK modülasyonu için PAPR başarımları Şekil 4.5'te, 4-QAM modülasyonu için PAPR başarımları Şekil 4.6'da, 16-QAM modülasyonu için PAPR başarımları Şekil 4.7'de ve 64-QAM modülasyonu için PAPR başarımları Şekil 4.8'de verilmektedir.

Şekil 4.5'de BPSK modülasyonunda genlik kırpma tekniğinin geleneksel OFDM, ZT-DST-s OFDM, ZT DFT-s OFDM ve ZT DCT-s OFDM dalga formları için PAPR başarımları sonuçları ve verilen dalga formlarının orijinal PAPR başarımları sonuçları verilmiştir.



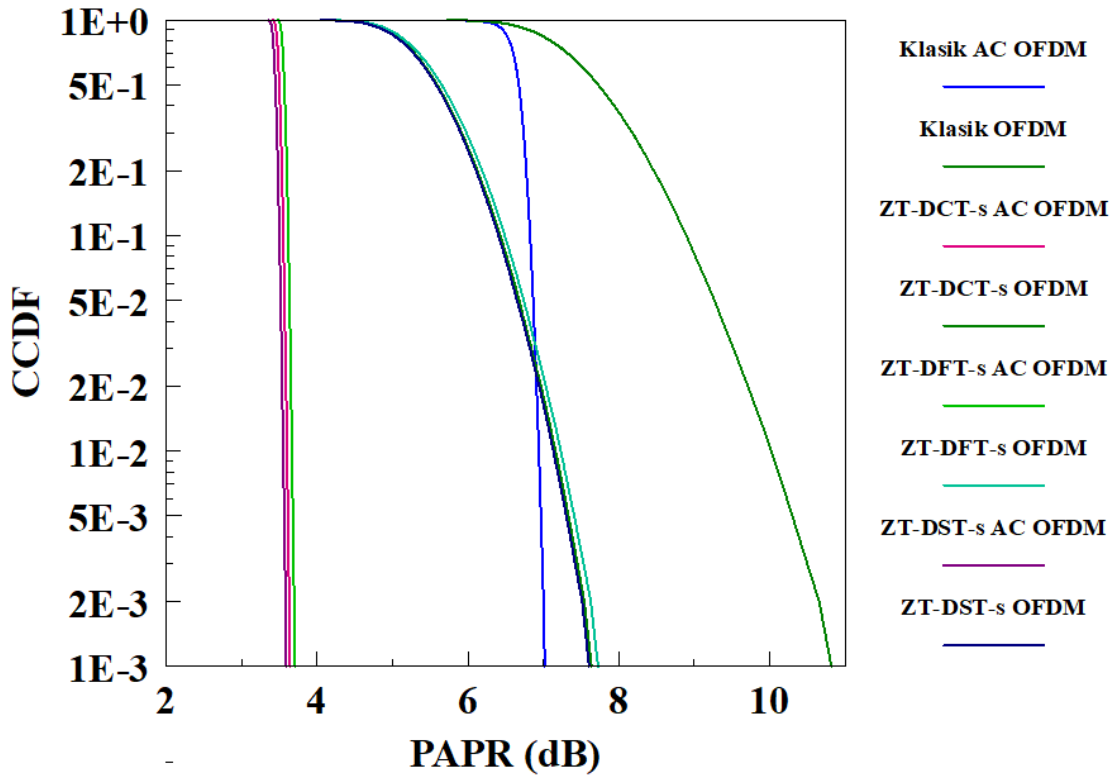
Şekil 4.5: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.5 incelendiğinde, genlik kırpma tekniğinin dalga şekillerinin PAPR performanslarını iyi derecede iyileştirdiği görülmektedir. BPSK modülasyonunda,  $\beta = 0.6$  için geleneksel OFDM şemasında 3.5 dB kadar PAPR iyileştirmesi sağlandığı, ZT-DFT-S OFDM sisteminde yaklaşık olarak 4 dB PAPR iyileştirmesi sağlandığı, ZT-DCT-S OFDM sisteminde yaklaşık olarak 4 dB PAPR iyileştirmesi sağlandığı ve ZT-DST-S OFDM sistemlerinde de yaklaşık olarak 4 dB PAPR iyileştirmesi sağlandığı görülmektedir.

4 farklı dalga biçimine uygulanmış olan Genlik kırpma tekniği, BPSK modülasyonunda her dalga biçiminde iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir. BPSK modülasyonunda PAPR azaltma etkisi geleneksel OFDM dalga biçiminde 3.5 dB kadarken diğer dalga biçimlerinin hepsinde yaklaşık sonuçlar vermiştir.

Şekil 4.6'da 4-QAM modülasyonunda genlik kırpma tekniğinin geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için

PAPR başarımları sonuçları ve verilen dalga formlarının orijinal PAPR başarımları verilmiştir.



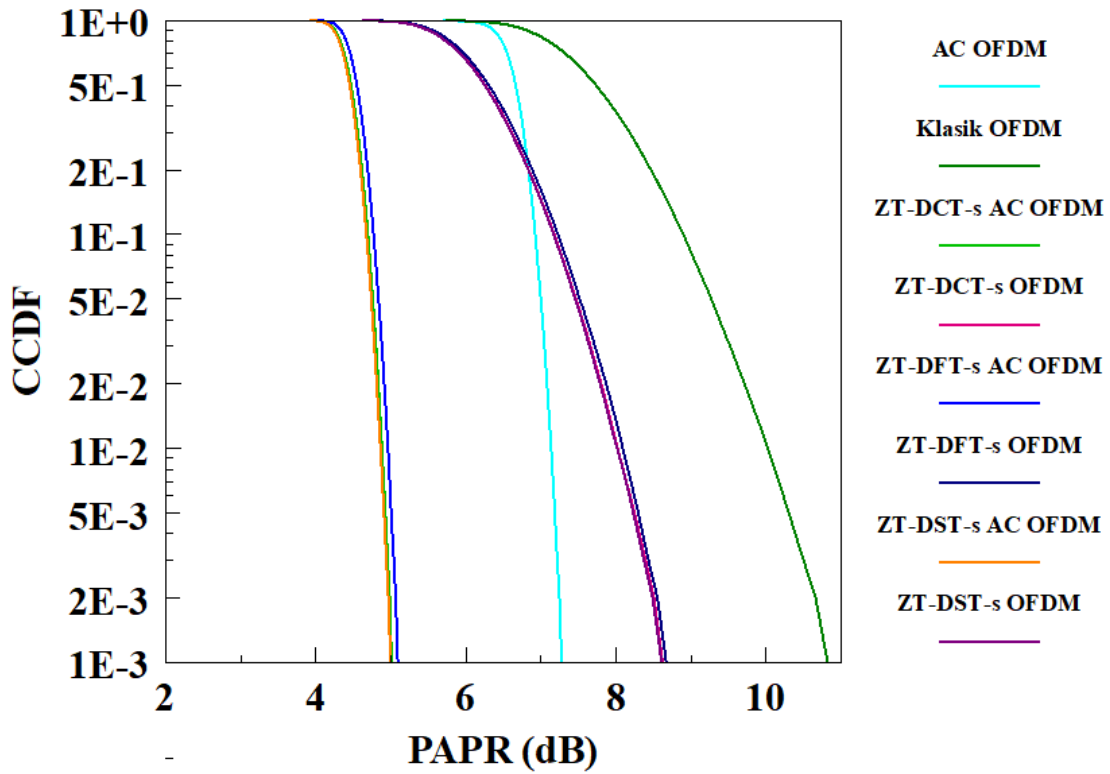
Şekil 4.6: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.6 incelendiğinde, genlik kırpma tekniğinin dalga şekillerinin PAPR performanslarını iyi derecede iyileştirdiği görülmektedir. Genlik kırpma katsayısı artırıldıkça PAPR iyileşmektedir. Fakat BER sonuçlarında negatif etki ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden katsayı BER sonucunu negatif etkilemeyecek şekilde en iyi PAPR sonucunu veren değer olarak seçilmelidir. BER performansında kötü sonuç elde etmemek için,  $\beta$  en uygun olarak, 0.6 seçilmiştir. 4-QAM modülasyonunda,  $\beta = 0.6$  için klasik OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB PAPR iyileştirmesi sağlandığı, ZT-DFT-S OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB PAPR iyileştirmesi sağlandığı, ZT-DCT-S OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB PAPR iyileştirmesi sağlandığı ve ZT-DST-S OFDM sisteminde de yaklaşık 4 dB civarında PAPR iyileştirmesi sağlandığı görülmektedir.

4 farklı dalga biçimine uygulanmış olan Genlik kırpma tekniği, 4-QAM modülasyonunda her dalga biçiminde iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma

yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.7’de 16-QAM modülasyonunda genlik kırpma tekniğinin geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için PAPR başarımı sonuçları ve verilen dalga formlarının orijinal PAPR başarım sonuçları verilmiştir.



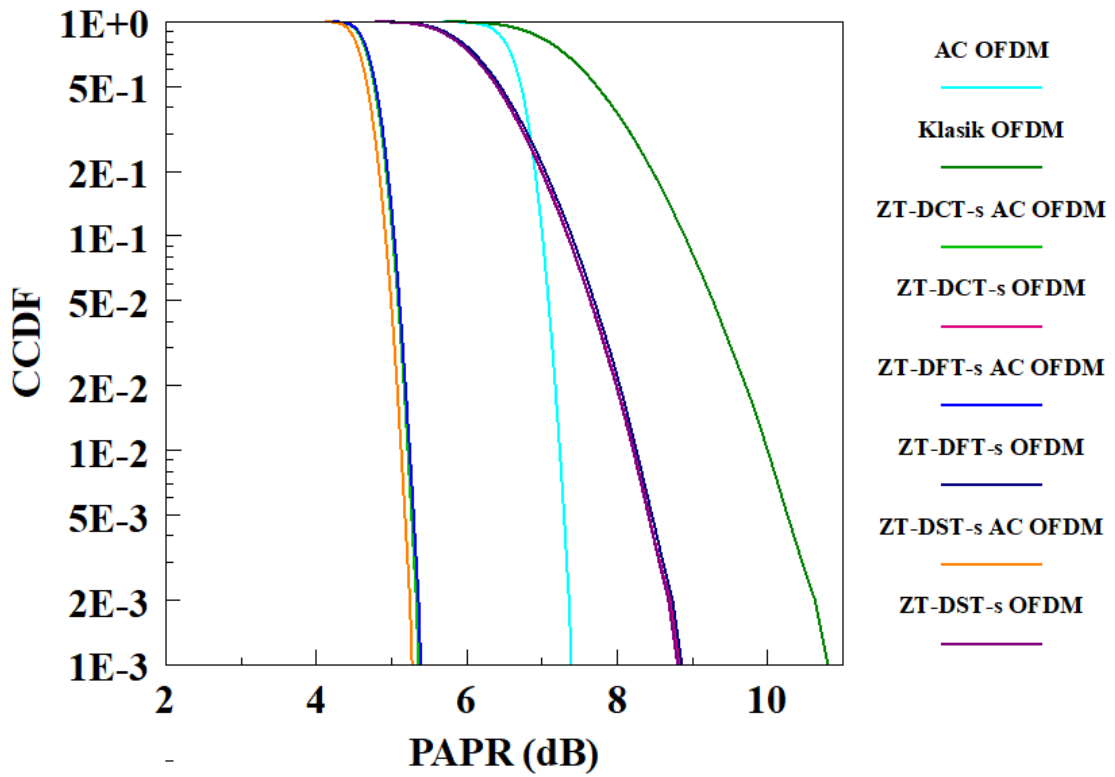
Şekil 4.7: 16-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.7 incelendiğinde, genlik kırpma tekniğinin dalga şekillerinin PAPR performanslarını iyi derecede iyileştirdiği görülmektedir. Genlik kırpma katsayısı artırıldıkça PAPR iyileşmektedir. Fakat BER sonuçlarında negatif etki ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden katsayı BER sonucunu negatif etkilemeyecek şekilde en iyi PAPR sonucunu veren değer olarak seçilmelidir. BER performansında kötü sonuç elde etmemek için,  $\beta$  en uygun olarak, 0.6 seçilmiştir. 16-QAM modülasyonunda,  $\beta = 0.6$  için klasik OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB civarında PAPR iyileştirmesi sağlandığı, ZT-DFT-S OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB civarında PAPR iyileştirmesi sağlandığı, ZT-DCT-S OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB civarında PAPR iyileştirmesi sağlandığı ve

ZT-DST-S OFDM sisteminde de yaklaşık 4 dB civarında PAPR iyileştirmesi sağlandığı görülmektedir.

4 farklı dalga biçimine uygulanmış olan Genlik kırpma tekniği, 16-QAM modülasyonunda her dalga biçiminde iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.8'de 64-QAM modülasyonunda genlik kırpma tekniğinin geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için PAPR başarımları sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.8: 64-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.8 incelendiğinde, genlik kırpma tekniğinin dalga şekillerinin PAPR performanslarını iyi derecede iyileştirdiği görülmektedir. Genlik kırpma katsayısı artırıldıkça PAPR iyileşmektedir. Fakat BER sonuçlarında negatif etki ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden katsayı BER sonucunu negatif etkilemeyecek şekilde en iyi PAPR sonucunu veren değer olarak seçilmelidir. BER performansında kötü sonuç elde etmemek için,  $\beta$  en uygun olarak, 0.6 seçilmiştir. 16-QAM modülasyonunda,  $\beta = 0.6$  için

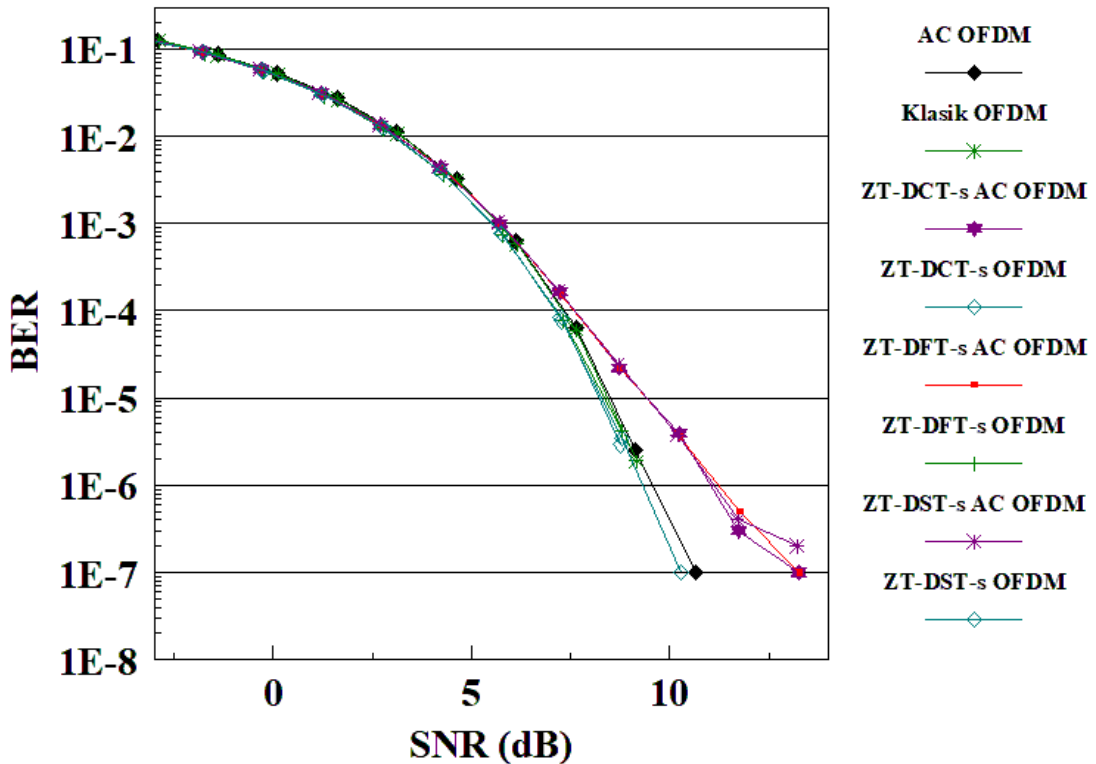
klasik OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB iyileştirmesi sağlandığı, ZT-DFT-S OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB iyileştirmesi sağlandığı, ZT-DCT-S OFDM sisteminde yaklaşık 4 dB iyileştirmesi sağlandığı ve ZT-DST-S OFDM sisteminde de yaklaşık 4 dB civarında PAPR iyileştirmesi sağlandığı görülmektedir.

4 farklı dalga biçimine uygulanmış olan Genlik kırpma tekniği, 16-QAM modülasyonunda her dalga biçiminde iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

#### 4.3.2. Genlik Kırpma (AC) Tekniği BER Sonuçları

BPSK ve 4-QAM modülasyonları için BER başarımları sonuçları AWGN kanal için sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10 'de verilmektedir.

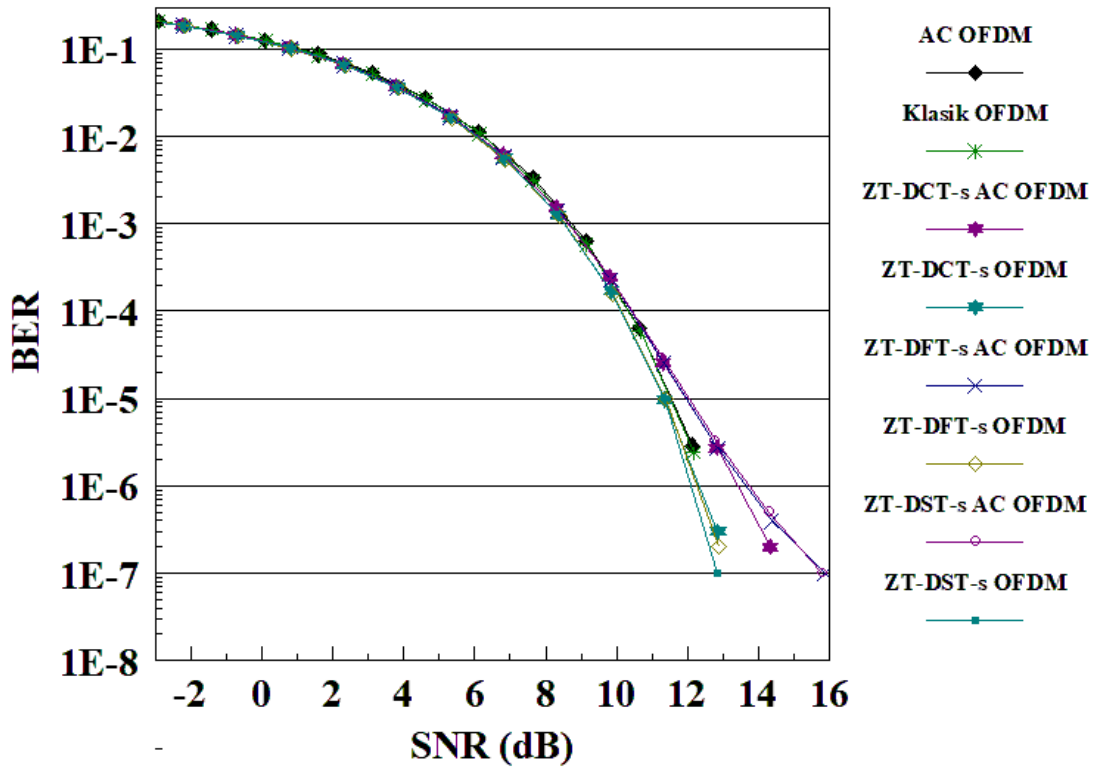
Şekil 4.9'da BPSK modülasyonunda OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları ve AWGN kanal için BER başarımları sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.9: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

Genlik kırpma katsayısı yüksek genlikli dalgaları elimine etmesinden dolayı yüksek güç oranını da düşürmüş olmaktadır yani artırıldıkça PAPR' ı iyileştirmektedir. Fakat BER sonuçlarında negatif etki ortaya çıkmaktadır. BER performansında kötü sonuç elde etmeden en iyi PAPR sonucunu almak için,  $\beta$  en uygun olarak, 0.6 seçilmiştir.

Şekil 4.10'da 4-QAM modülasyonunda OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları ve AWGN kanal için BER başarımları verilmiştir.

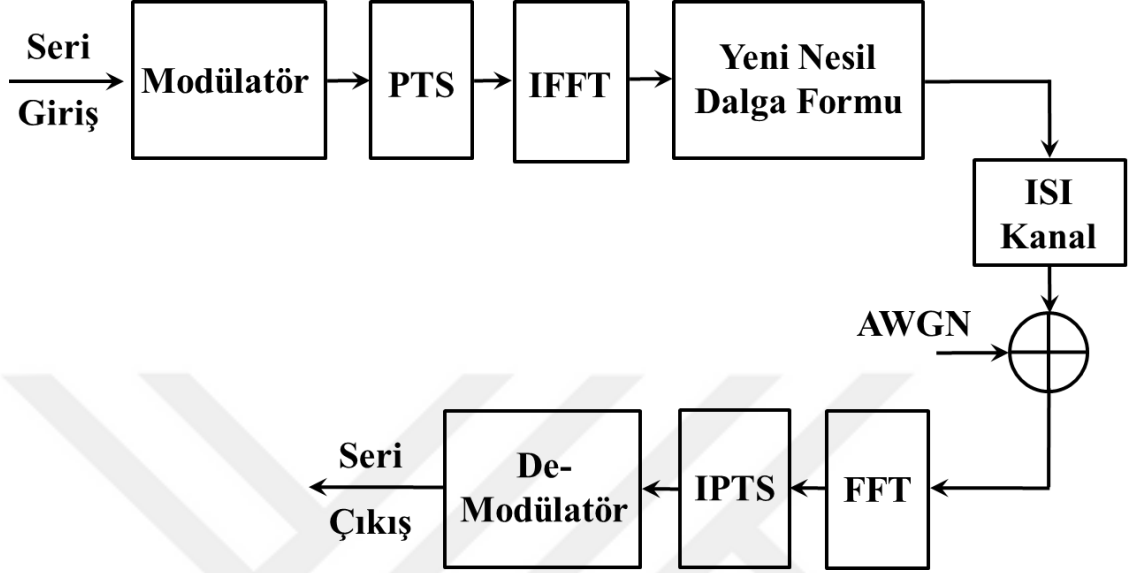


Şekil 4.10: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının Genlik Kırpma Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.9 ve 4.10 incelendiği zaman, AWGN kanalda  $\beta = 0.6$  kırpma sabiti kullanıldığında geleneksel OFDM' in BER performansı tüm modülasyon türlerinde kırpma yöntemi uygulanmamış BER performanslarıyla yaklaşık olarak aynıdır. Bu da seçilen  $\beta$  katsayısı ile Genlik kırpma yönteminin etkili bir PAPR azaltma yöntemi olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, 1E-4 BER seviyesinin altına inildikçe kırpılmış dalga formlarının performansları ile orijinal versiyonlarının performansları arasında fark olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4.4. PTS Tekniği ile PAPR Azaltma

PTS tekniğinin yeni nesil dalga formlarına uygulanmasının özeti Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.11 PTS tekniğinin yeni nesil dalga formlarına uygulanması

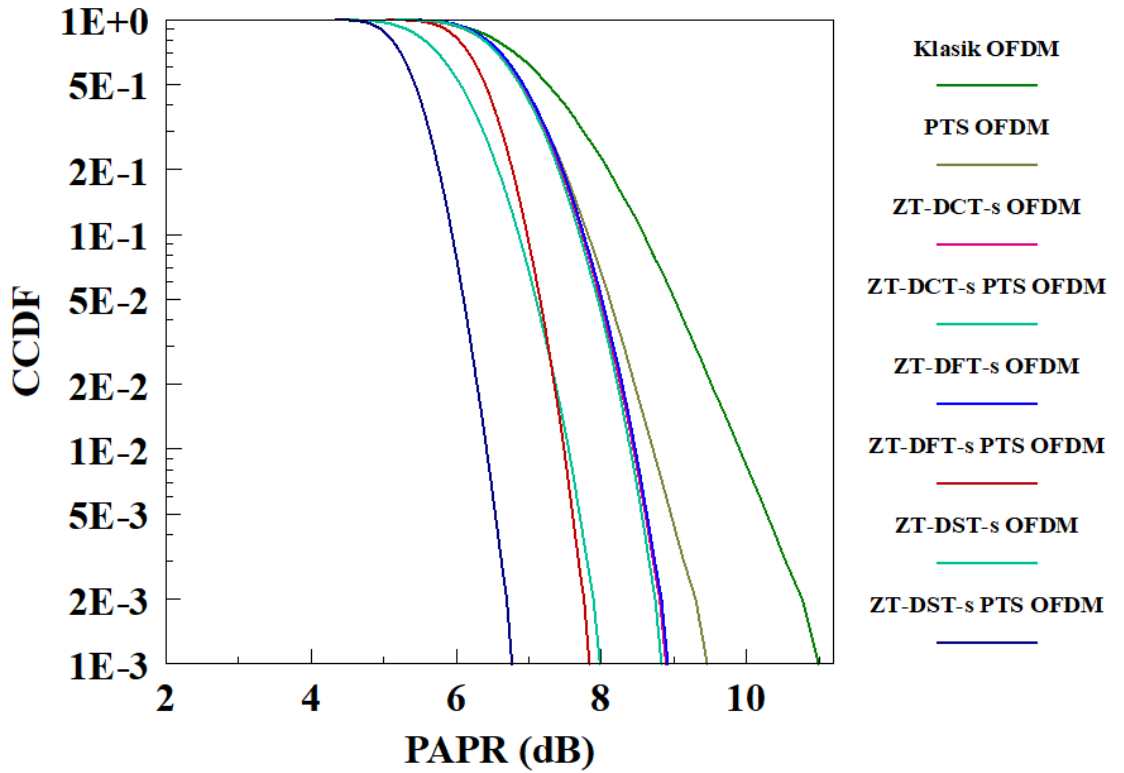
Rastgele üretilen veriler I-Q Eşleme bloğunda ilgili modülasyon ile modüle edilir. PTS yöntemi bu modüle edilmiş sembollere uygulanır. İşaret  $V$  kadar alt bloğa ayrılır ve her alt bloğa IFFT işlemi uygulanır  $b^v$  faz faktörü ile fazları değiştirilir. Ardından alt bloklar kontrol edilerek en düşük PAPR' a sahip alt blok bulunur. Vericiye gönderilmeden önce düşük PAPR' lı alt bloklar tekrar toplanır ve vericiye verilir. İlgili faz çarpanları da yan bilgi olarak iletilir. IFFT ve Yeni Nesil Dalga Formu bloğunda ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ya da ZT DST-s OFDM dalga formları üretilir. Alıcı tarafta üretilen dalga formları çözülür ve FFT işleminden sonra, IPTS bloğunda yan bilgi olarak alınan faz çarpanları ile sembollerin fazları eski haline getirilir. Ardından demodülasyon yapılır.

Bu çalışmada  $V = 4$  alt blok kullanılmıştır ve faz dizilerinin alıcı tarafta bilindiği kabul edilmiştir. Sistemde PTS yönteminin PAPR azaltmada etkisinin artırılabilmesi için alt blok sayısı artırılabilir. Gelecek çalışmalarda farklı alt blok sayılarıyla çalışmalar yapılarak daha iyi sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır.

#### 4.4.1. PTS Tekniği PAPR Sonuçları

BPSK modülasyonu için PTS tekniğinin PAPR başarım sonucu Şekilde 4.12’de, 4-QAM modülasyonu için PTS tekniğinin PAPR başarım sonucu Şekilde 4.13’te, 16-QAM modülasyonu için PTS tekniğinin PAPR başarım sonucu Şekilde 4.14’te ve 64-QAM modülasyonu için PTS tekniğinin PAPR başarım sonucu Şekil 4.15’te verilmiştir.

Şekil 4.12’de BPSK modülasyonunda geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için PTS tekniği PAPR başarımı sonuçları ve orijinal dalga formu PAPR başarım sonuçları verilmiştir.

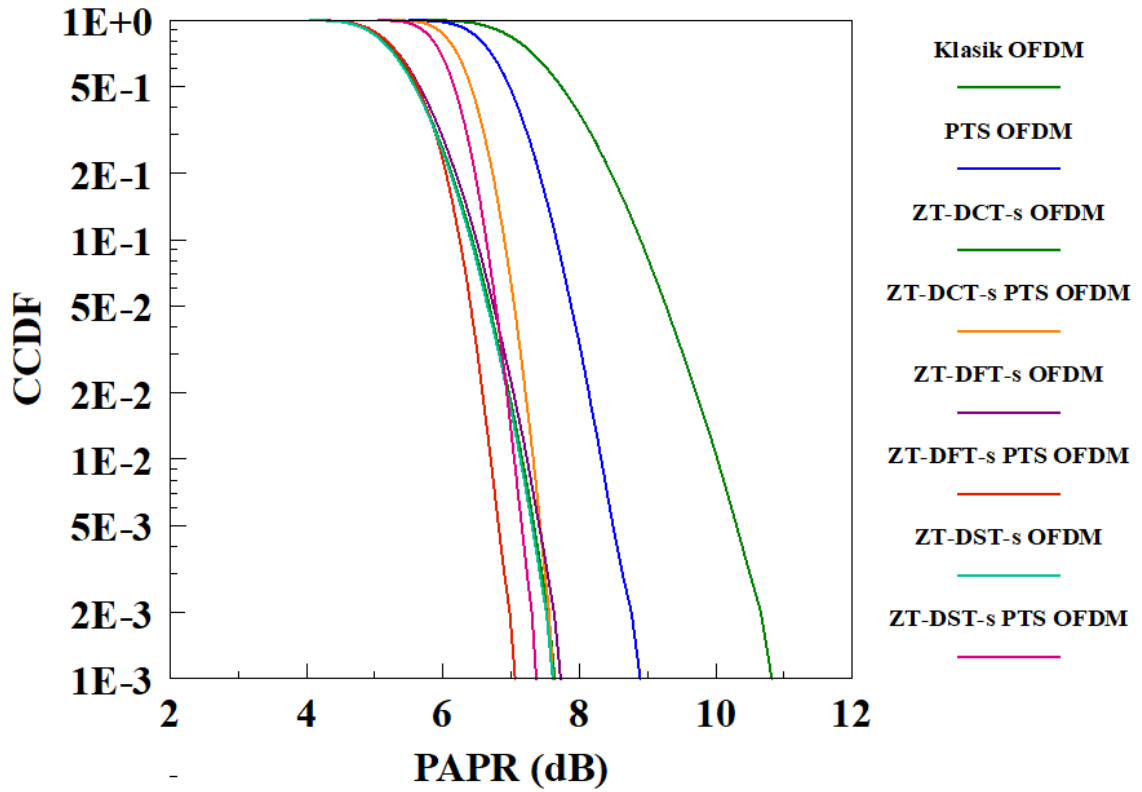


Şekil 4.12: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.12 incelendiği zaman PTS tekniğinin dalga Şekillerinin PAPR performansını iyileştirdiği görülmektedir. BPSK modülasyonunda, geleneksel OFDM Şemasında 1.5 dB kadar, ZT-DFT-S OFDM sisteminde 1.2 dB kadar, ZT-DCT-S OFDM sisteminde yaklaşık 1dB kadar ve ZT-DST-S OFDM sisteminde de 2.2 dB kadar PAPR iyileştirmesi kazanıldığı anlaşılmaktadır. BPSK modülasyonu için en iyi kazancın ve başarımın ZT-DST-S OFDM dalga formu ile elde edildiği anlaşılmaktadır.

4 farklı dalga biçimine uygulanmış olan PTS tekniği, BPSK modülasyonunda her dalga biçiminde iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.13'de 4-QAM modülasyonunda geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için PTS tekniği PAPR başarımları ve orijinal dalga formu PAPR başarımları verilmiştir.



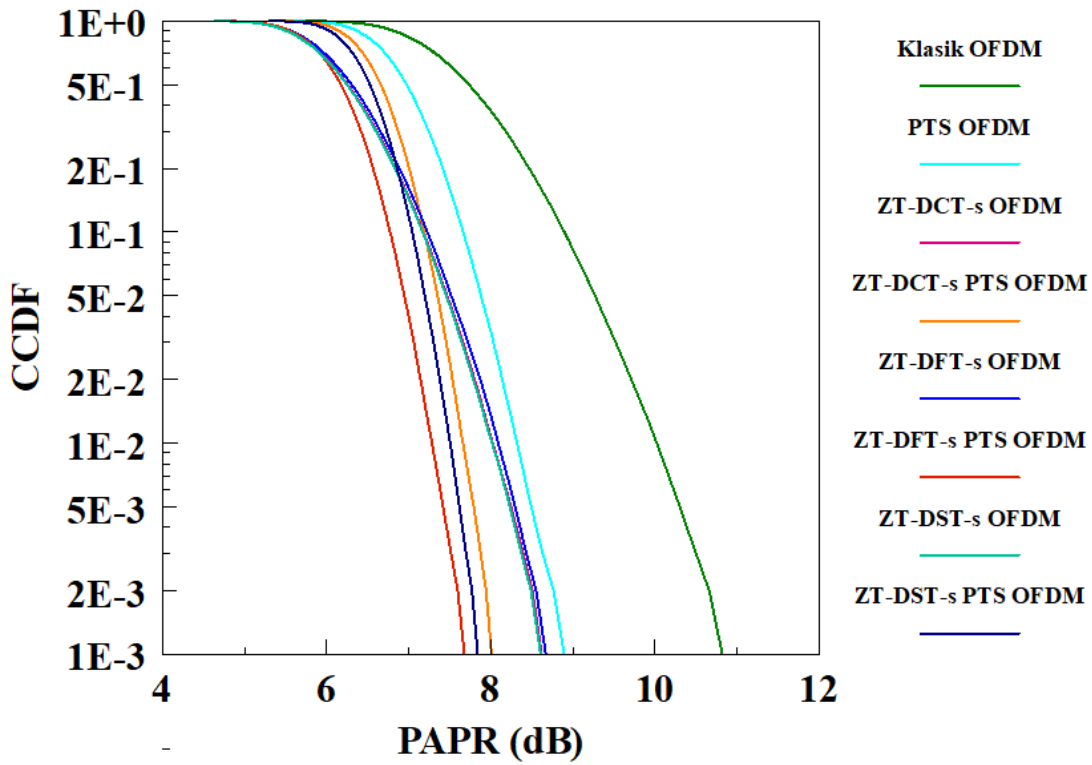
Şekil 4.13: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.13 incelendiği zaman PTS tekniğinin dalga formlarının PAPR başarımlarını iyileştirdiği görülmektedir. 4-QAM modülasyonunda, geleneksel OFDM şemasında 2 dB kadar, ZT-DFT-S OFDM sisteminde 0.8 dB kadar PAPR iyileştirmesi kazanıldığı gözlenmektedir. ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM sistemlerinde yüksek oranda PAPR kazancı sağlamamıştır. 4-QAM modülasyonu için en iyi kazanç ve başarımları ZT-DFT-S OFDM dalga şekli ile elde edilmiştir.

4 farklı dalga biçimine uygulanmış olan PTS tekniği, 4-QAM modülasyonunda her dalga biçiminde iyi etki göstermiş veya kötü etki göstermemiş olup iyi bir PAPR

azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.14'te 16-QAM modülasyonunda geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için PTS tekniği PAPR başarımı sonuçları ve orijinal dalga formu PAPR başarımları verilmiştir.

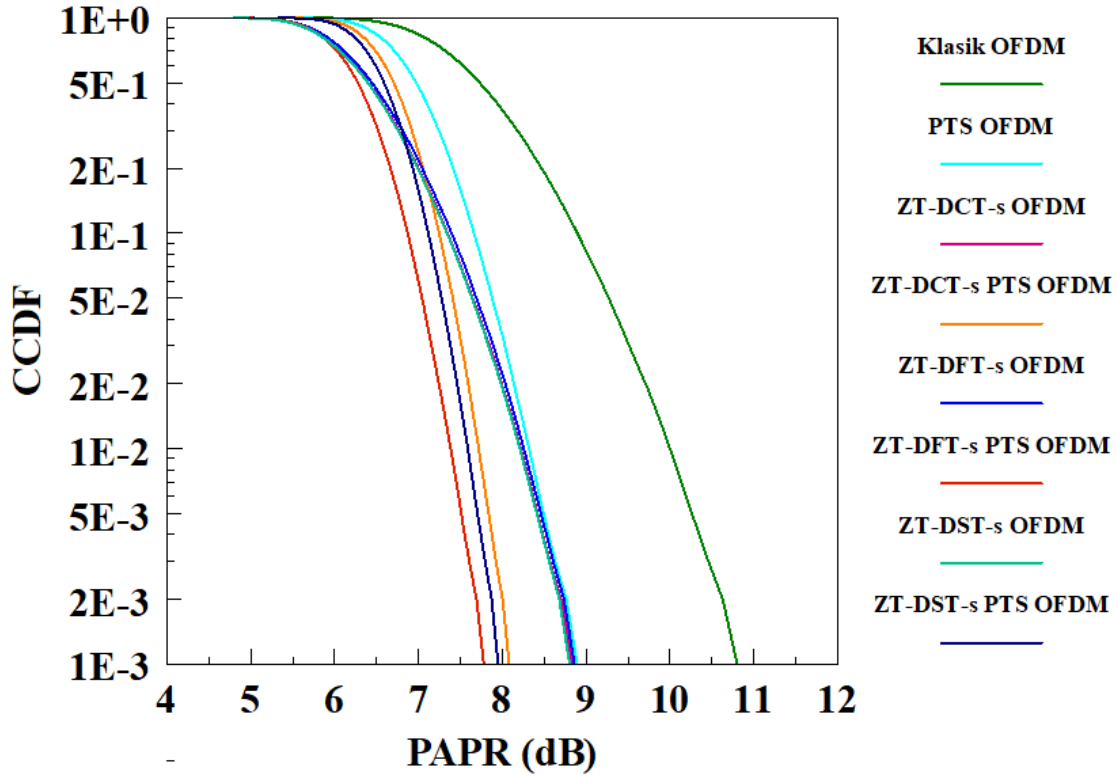


Şekil 4.14: 16-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.14 incelendiği zaman PTS tekniğinin dalga şekillerinin PAPR performansını iyileştirdiği görülmektedir. 16-QAM modülasyonunda, geleneksel OFDM şemasında 1 dB kadar, ZT-DFT-S OFDM sisteminde 1 dB kadar, ZT-DCT-S OFDM sisteminde yaklaşık 1dB kadar ve ZT-DST-S OFDM sisteminde de aynı şekilde 1 dB kadar PAPR iyileştirmesi kazanıldığı anlaşılmaktadır. 16-QAM modülasyonu için en iyi kazancın ve başarımın ZT-DFT-S OFDM dalga formu ile elde edildiği anlaşılmaktadır.

4 farklı dalga biçimine uygulanmış olan PTS tekniği, 16-QAM modülasyonunda her dalga biçiminde iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.15'te 64-QAM modülasyonunda geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için PTS tekniği PAPR başarımları ve orijinal dalga formu PAPR başarımları verilmiştir.



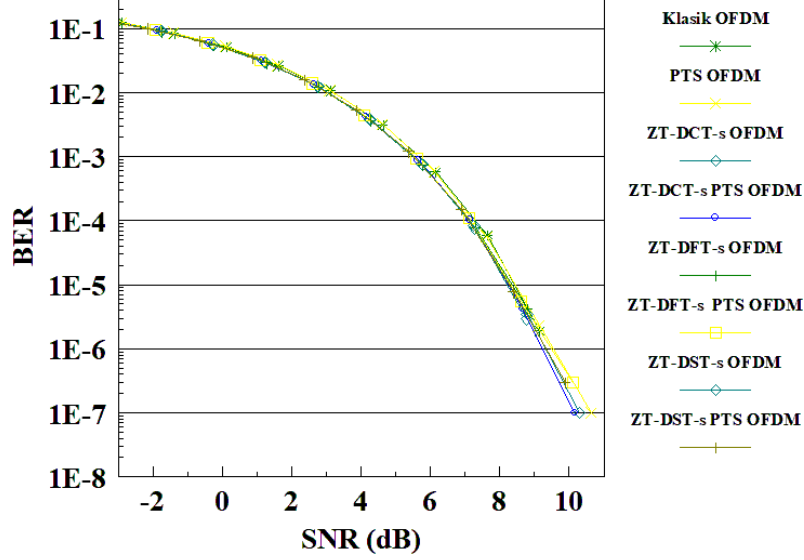
Şekil 4.15: 64-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.15 incelendiği zaman PTS tekniğinin dalga şekillerinin PAPR performansını iyileştirdiği görülmektedir. 64-QAM modülasyonunda, geleneksel OFDM şemasında 2 dB kadar, ZT-DFT-S OFDM sisteminde 1 dB kadar, ZT-DCT-S OFDM sisteminde yaklaşık 1dB kadar ve ZT-DST-S OFDM sisteminde de aynı şekilde 1 dB kadar PAPR iyileştirmesi kazanıldığı anlaşılmaktadır. 64-QAM modülasyonu için en iyi kazancın ve başarımın ZT-DFT-S OFDM dalga formu ile elde edildiği anlaşılmaktadır.

4 farklı dalga biçimine uygulanmış olan PTS tekniği, 64-QAM modülasyonunda her dalga biçiminde iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

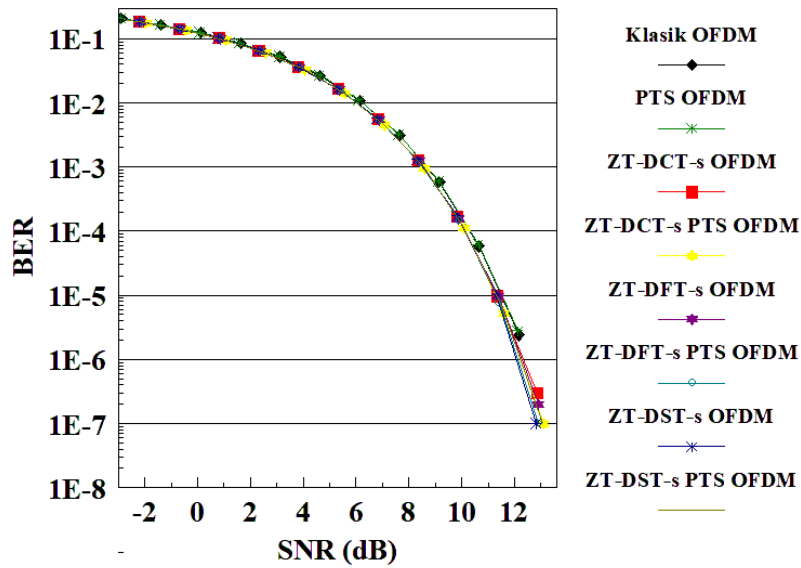
#### 4.4.2. PTS Tekniği BER Sonuçları

BPSK modülasyonunda AWGN kanalda geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için BER başarımı sonuçları Şekil 4.12'de verilmektedir.



Şekil 4.16 : BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımının karşılaştırılması

4-QAM modülasyonunda AWGN kanalda geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları için BER başarımı sonuçları Şekil 4.13'te verilmektedir.

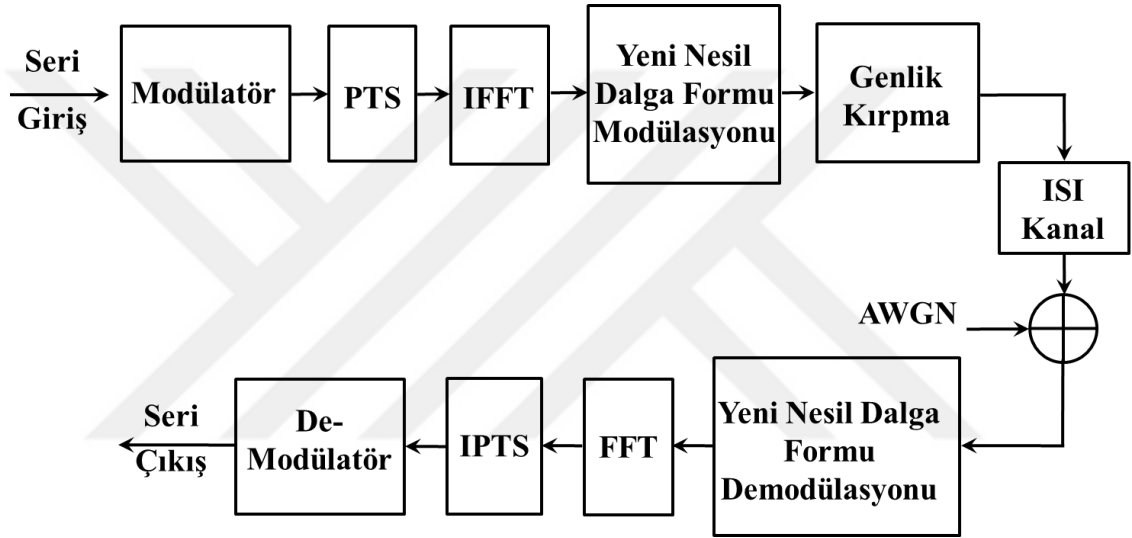


Şekil 4.17: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının PTS Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımının karşılaştırılması

Şekil 4.16 ve 4.17 incelendiği zaman, AWGN kanalda PTS tekniğiyle  $V = 4$  alt blok için geleneksel OFDM, ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ve ZT DST-s OFDM dalga formlarının BER başarımları bütün modülasyonlarda, PTS uygulanmamış BER başarımlarıyla yaklaşık olarak aynı çıkmaktadır. Buradan yapılan çalışmaların PAPR azaltmada etkili bir yöntem olduğu ortaya koyulmuştur.

#### 4.5. Önerilen PTS-AC Tekniği ile PAPR Azaltma

Önerilen PTS-AC tekniğinin yeni nesil dalga formlarına uygulanmasının özeti Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18: Önerilen PTS-AC tekniğinin kullanılmış olduğu haberleşme sisteminin verici-alıcı blok diagramı

Özeti verilmiş olan sistemde rastgele üretilen veriler I-Q Eşleme bloğunda ilgili modülasyon ile modüle edilir. PTS AC yöntemi bu modüle edilmiş sembollere uygulanır. İşaret  $V$  kadar alt bloğa ayrılır ve her alt bloğa IFFT işlemi uygulanır  $b^v$  faz faktörü ile fazları değiştirilir. Ardından alt bloklar kontrol edilerek en düşük PAPR' a sahip alt blok bulunur. Vericiye gönderilmeden önce düşük PAPR' lı alt bloklar tekrar toplanır. Veriler vericiye verilmeden önce Genlik Kırpma bloğunda genlikler kontrol edilip kırılır ve vericiye verilir. İlgili faz çarpanları da yan bilgi olarak iletilir. IFFT ve Yeni Nesil Dalga Formu bloğunda ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ya da ZT DST-s OFDM dalga formları üretilir. Alıcı tarafta üretilen dalga formları çözülür ve FFT işleminden sonra, IPTS bloğunda yan bilgi olarak alınan faz çarpanları ile sembollerin fazları eski haline getirilir. Ardından demodülasyon yapılır.

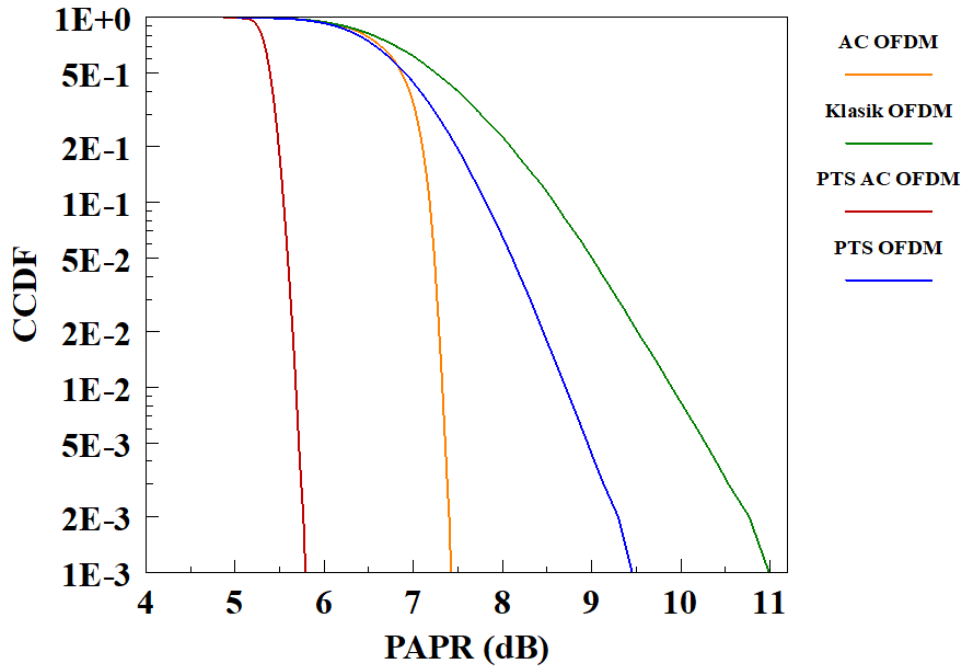
Bu çalışmada  $V = 4$  alt blok kullanılmıştır ve faz dizilerinin alıcı tarafta bilindiği kabul edilmiştir. Sistemde PTS AC yönteminin PAPR azaltmada etkisinin artırılabilmesi için PTS yönteminde kullanılan alt blok sayısı artırılabilir. Gelecek çalışmalarda farklı alt blok sayılarıyla çalışmalar yapılarak daha iyi sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır.

#### 4.5.1. Önerilen PTS-AC Tekniği ile Elde Edilen PAPR Sonuçları

BPSK, 4-QAM, 16-QAM ve 64-QAM modülasyonları için PAPR başarımı geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formları üzerinden elde edilmiştir.

BPSK modülasyonu için AC, PTS ve PTS AC yöntemlerinin PAPR başarımlarının Klasik OFDM dalga formundaki sonuçları şekil 4.19’da, 4-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS AC yöntemlerinin PAPR başarımlarının Klasik OFDM dalga formundaki sonuçları şekil 4.20’de, 16-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS AC yöntemlerinin PAPR başarımlarının Klasik OFDM dalga formundaki sonuçları şekil 4.21’de ve 64-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS AC yöntemlerinin PAPR başarımlarının Klasik OFDM dalga formundaki sonuçları Şekil 4.22’de verilmektedir.

Şekil 4.19’da BPSK modülasyonunda geleneksel OFDM dalga formu için AC, PTS ve PTS AC yöntemlerinin PAPR başarımı sonuçları verilmiştir.

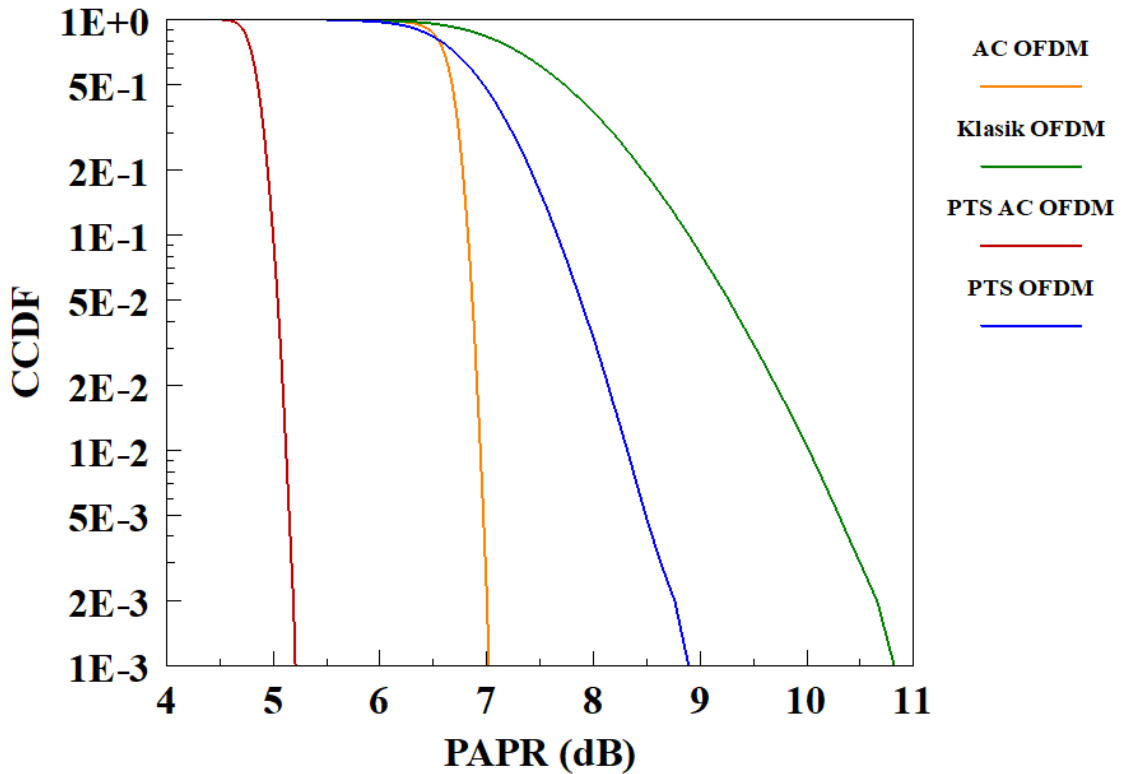


Şekil 4.19: BPSK modülasyonu için klasik OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.19 incelendiğinde, BPSK modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 1.5 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0,6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 3.5 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 5.2 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 4 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 2 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, geleneksel OFDM dalga formuna uygulandığında, BPSK modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.20’de 4-QAM modülasyonunda geleneksel OFDM dalga formu için AC, PTS ve PTS AC yöntemlerinin PAPR başarımı sonuçları verilmiştir.



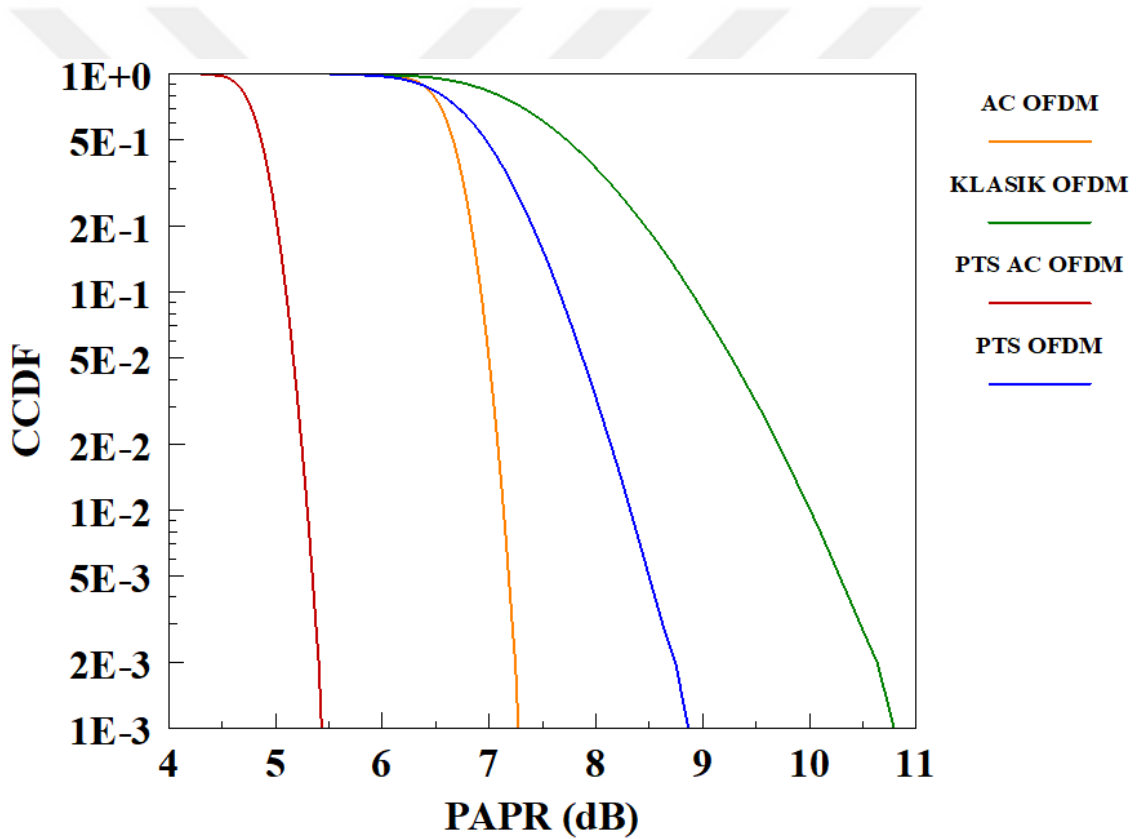
Şekil 4.20 : 4-QAM modülasyonu için geleneksel OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.20 incelendiğinde, 4-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 2 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0,6 seçilerek

yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 2 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, geleneksel OFDM dalga formuna uygulandığında, 4-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.21’de 16-QAM modülasyonunda geleneksel OFDM dalga formu için AC, PTS ve PTS AC yöntemlerinin PAPR başarımı sonuçları verilmiştir.



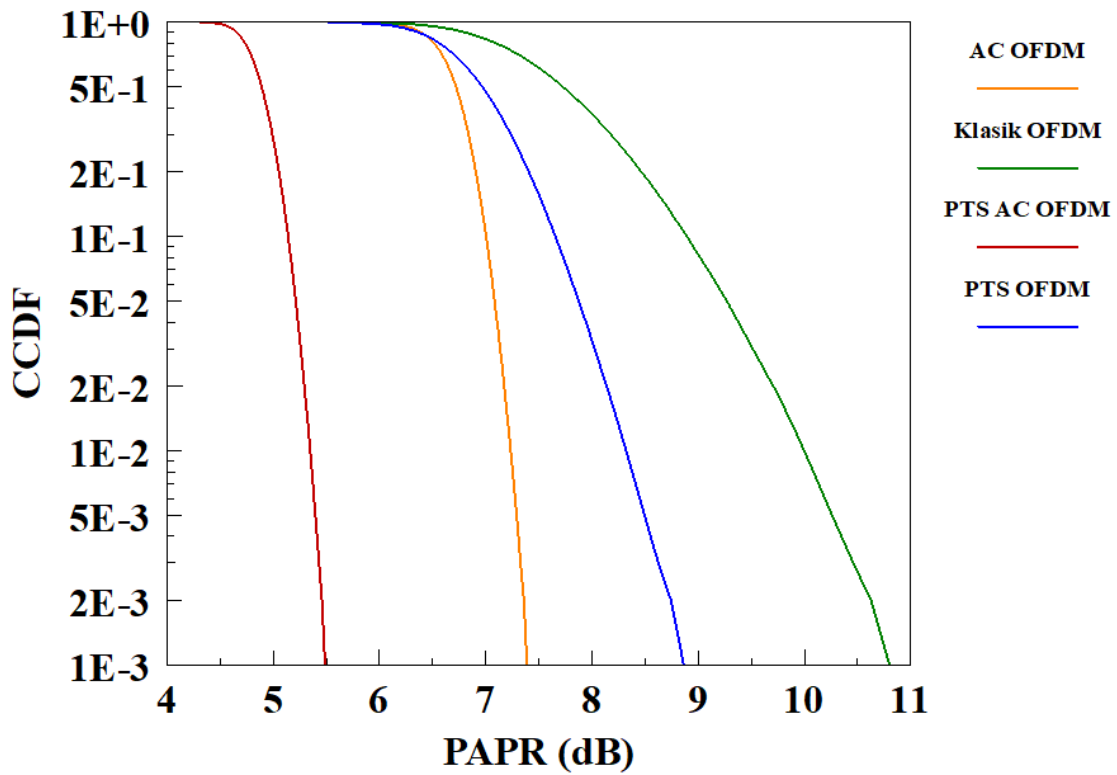
Şekil 4.21: 16-QAM modülasyonu için geleneksel OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.21 incelendiğinde, 16-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 2 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0,6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde

artırdığı, orijinal dalga formuna göre 5.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 2 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, geleneksel OFDM dalga formuna uygulandığında, 16-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.22'de 64-QAM modülasyonunda geleneksel OFDM dalga formu için AC, PTS ve PTS AC yöntemlerinin PAPR başarımını sonuçları verilmiştir.



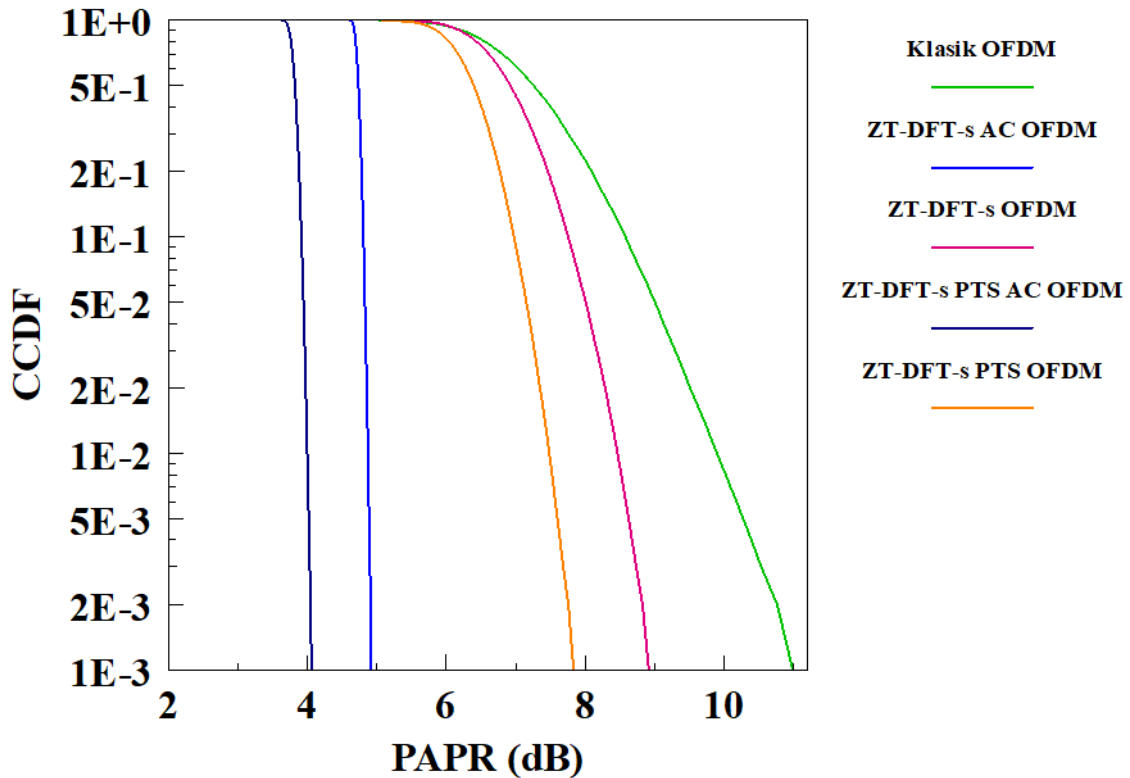
Şekil 4.22: 64-QAM modülasyonu için geleneksel OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.22 incelendiğinde, 64-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 2 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0,6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 3.5 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 5.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 2 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, geleneksel OFDM dalga formuna uygulandığında, 64-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

ZT-DFT-S OFDM’ de BPSK modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.23’te, 4-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.24’te, 16-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.25’te ve 64-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.26’da verilmektedir.

Şekil 4.23’te BPSK modülasyonunda ZT-DFT-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımlarının sonuçları verilmiştir.



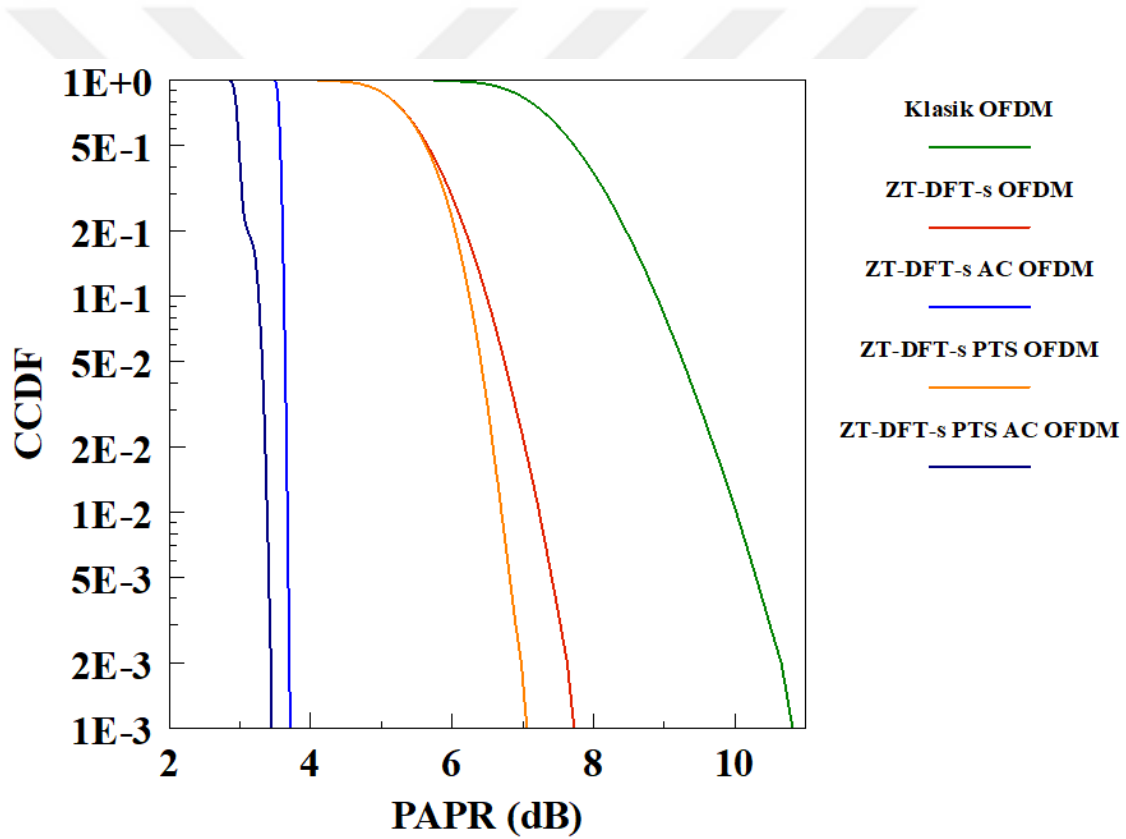
Şekil 4.23: BPSK modülasyonu için ZT-DFT-S OFDM dalga formundaki PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.23 incelendiğinde, BPSK modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 1 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0,6 seçilerek

yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 4 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 1 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DFT-s OFDM dalga formuna uygulandığında, BPSK modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.24'te 4-QAM modülasyonunda ZT-DFT-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



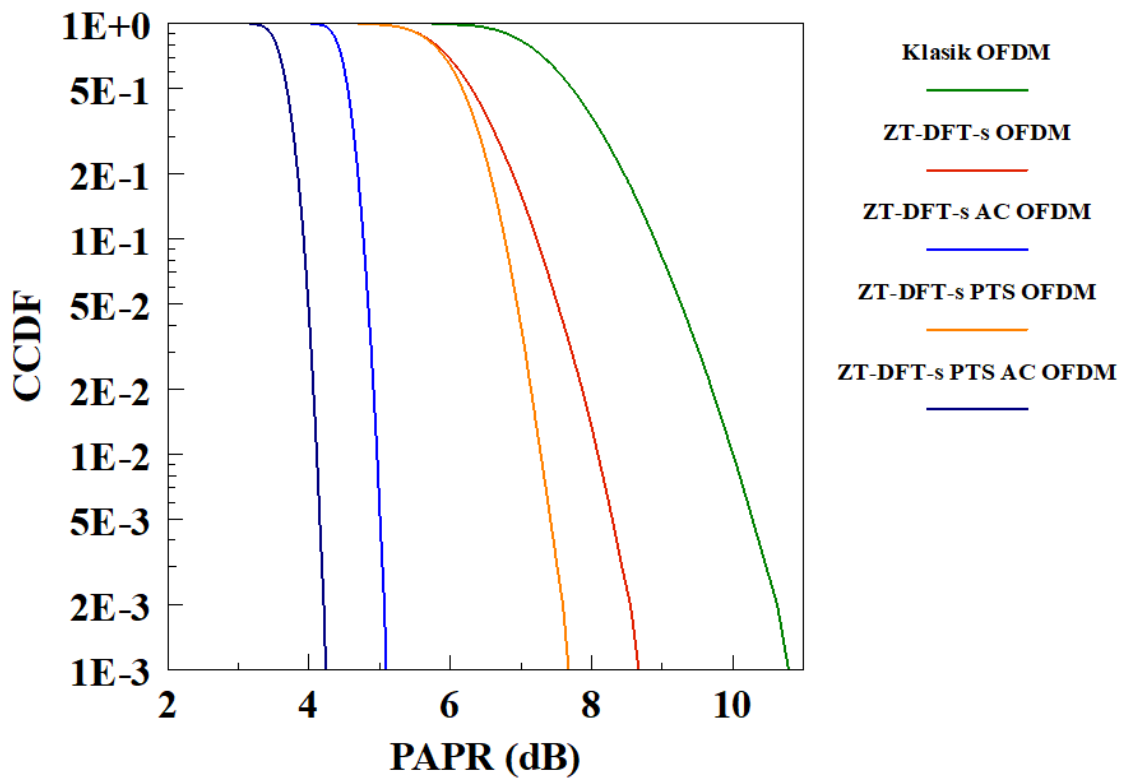
Şekil 4.24: 4-QAM modülasyonu için ZT-DFT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.24 incelendiğinde, 4-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 0.8 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde

artırdığı, orijinal dalga formuna göre 4.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 0.5 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DFT-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 4-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.25'te 16-QAM modülasyonunda ZT-DFT-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.

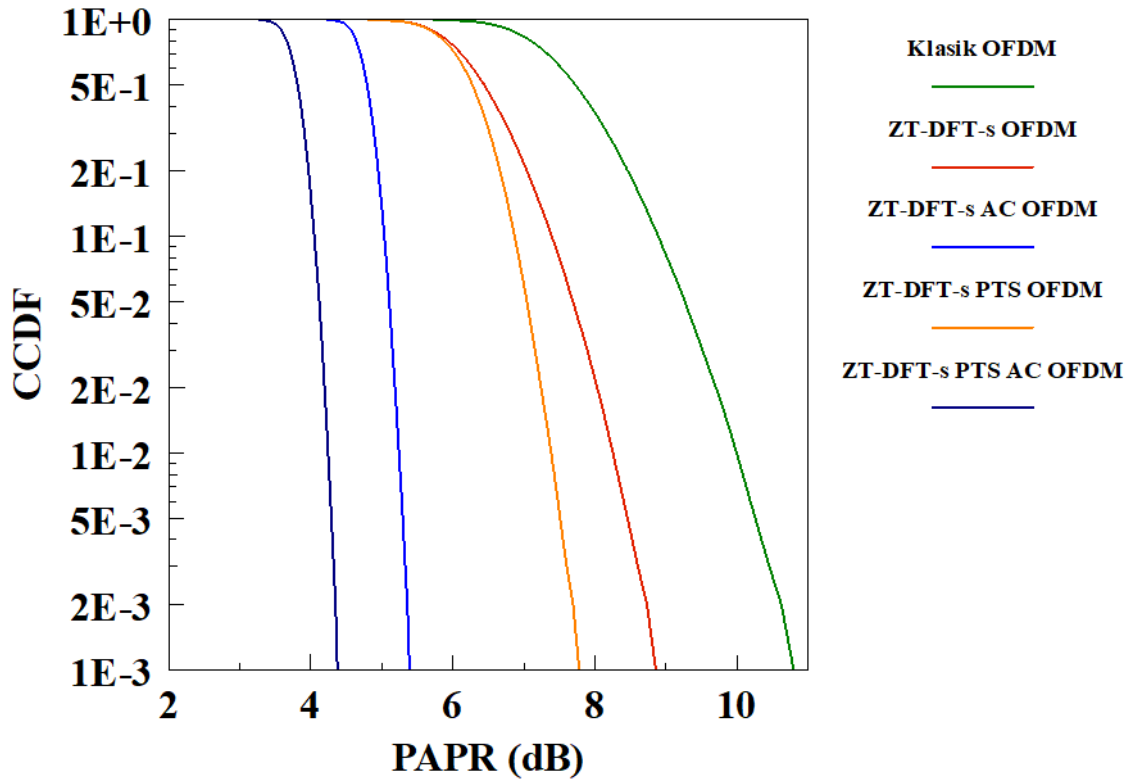


Şekil 4.25: 16-QAM modülasyonu için ZT-DFT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.25 incelendiğinde, 16-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 1 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 1 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DFT-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 16-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.26'da 64-QAM modülasyonunda ZT-DFT-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.26: 64-QAM modülasyonu için ZT-DFT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

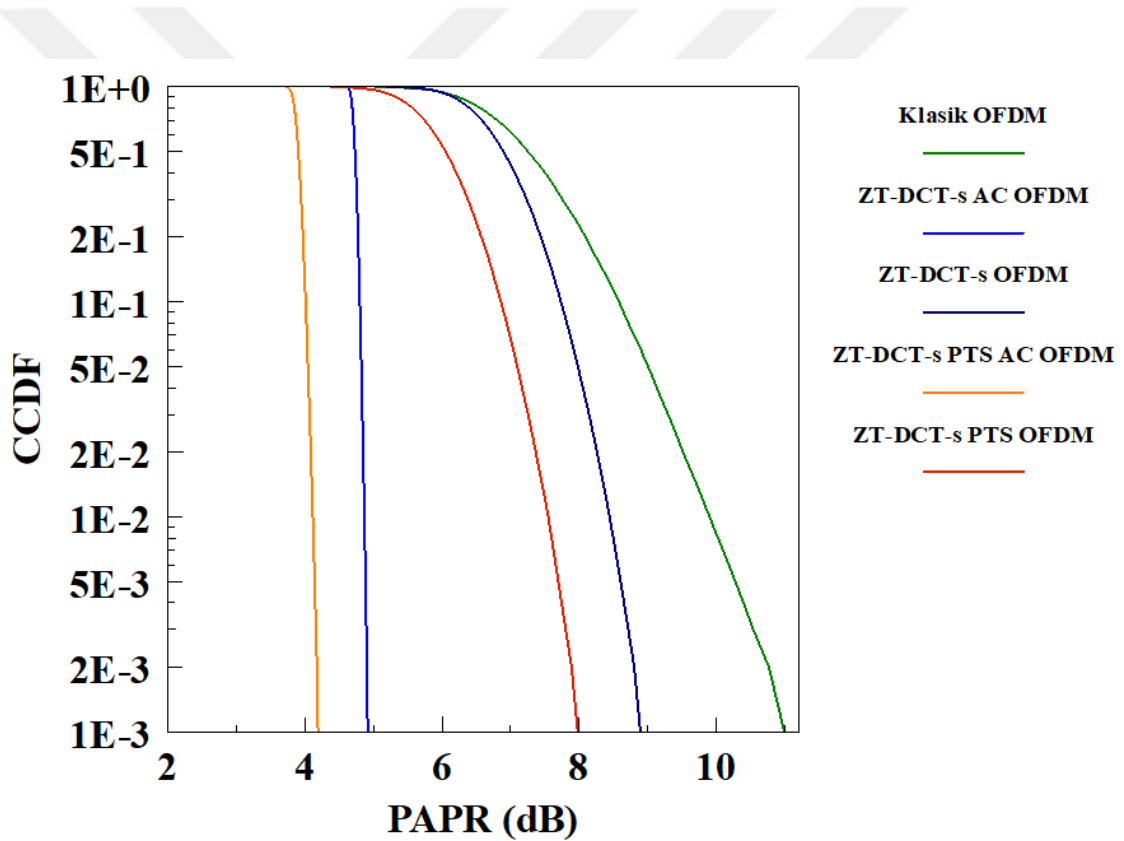
Şekil 4.26 incelendiğinde, 64-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 1 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 1.2 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DFT-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 64-

QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

ZT-DCT-S OFDM' de BPSK modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.27'de, 4-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.28'de, 16-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.29'da ve 64-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.30'da verilmektedir.

Şekil 4.27'de BPSK modülasyonunda ZT-DCT-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımlarının sonuçları verilmiştir.



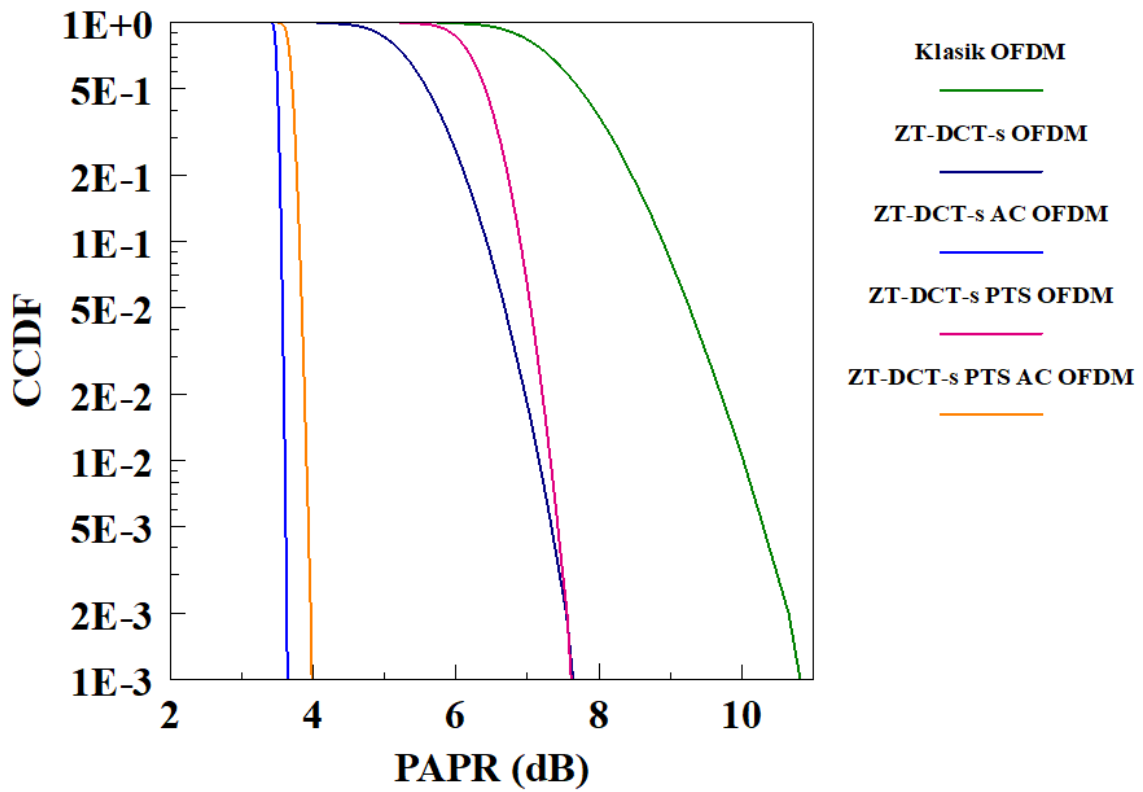
Şekil 4.27: BPSK modülasyonu için ZT-DCT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.27 incelendiğinde, BPSK modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 1 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımlarını önemli ölçüde

artırdığı, orijinal dalga formuna göre 5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 4 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 1 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DCT-s OFDM dalga formuna uygulandığında, BPSK modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.28'de 4-QAM modülasyonunda ZT-DCT-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



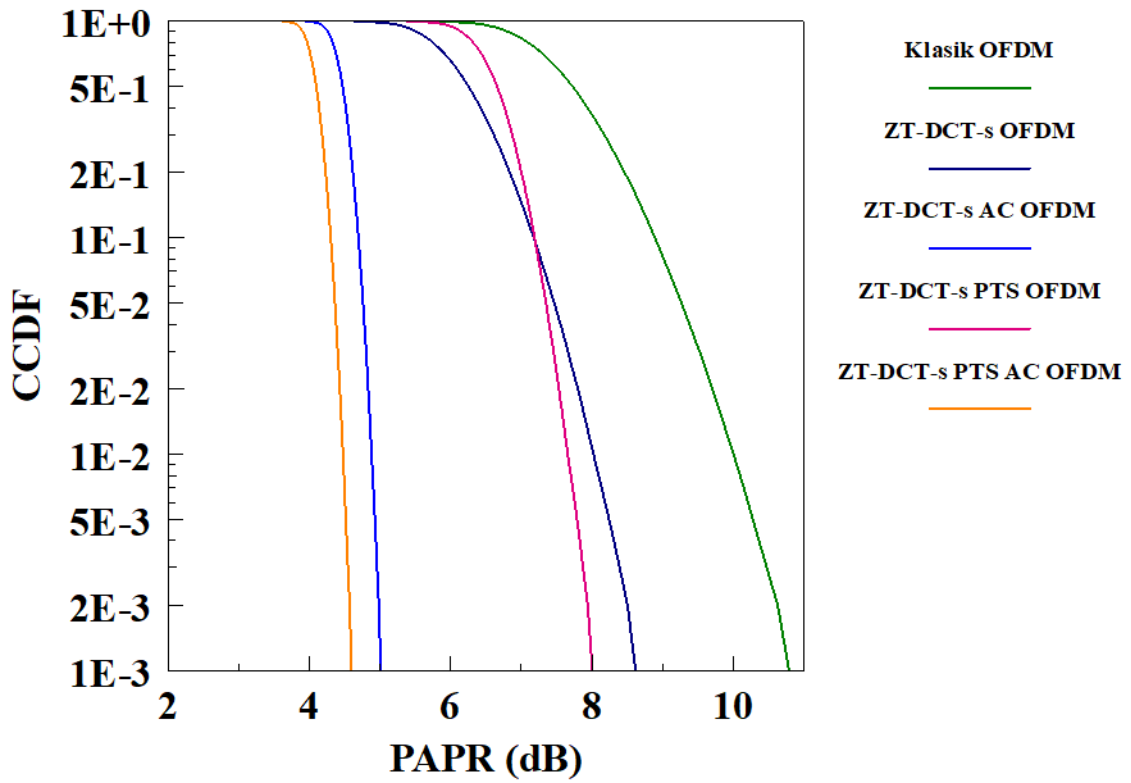
Şekil 4.28: 4-QAM modülasyonu için ZT-DCT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.28 incelendiğinde, 4-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi iyileştirme sağlamamıştır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 3.5 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin PAPR başarımı, orijinal dalga formuna göre 3.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB sağlamış, Önerilen tekniğin AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 0.5 dB kayıp vermiştir. Bunun nedeni, yüksek modülasyon seviyelerinde PTS

yönteminde kullanılan mevcut faz dizilerinin bu çalışmada kullanılan trigonometrik dönüşümlerde uygun olmaması ile açıklanabilir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DCT-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 4-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.29'da 16-QAM modülasyonunda ZT-DCT-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.

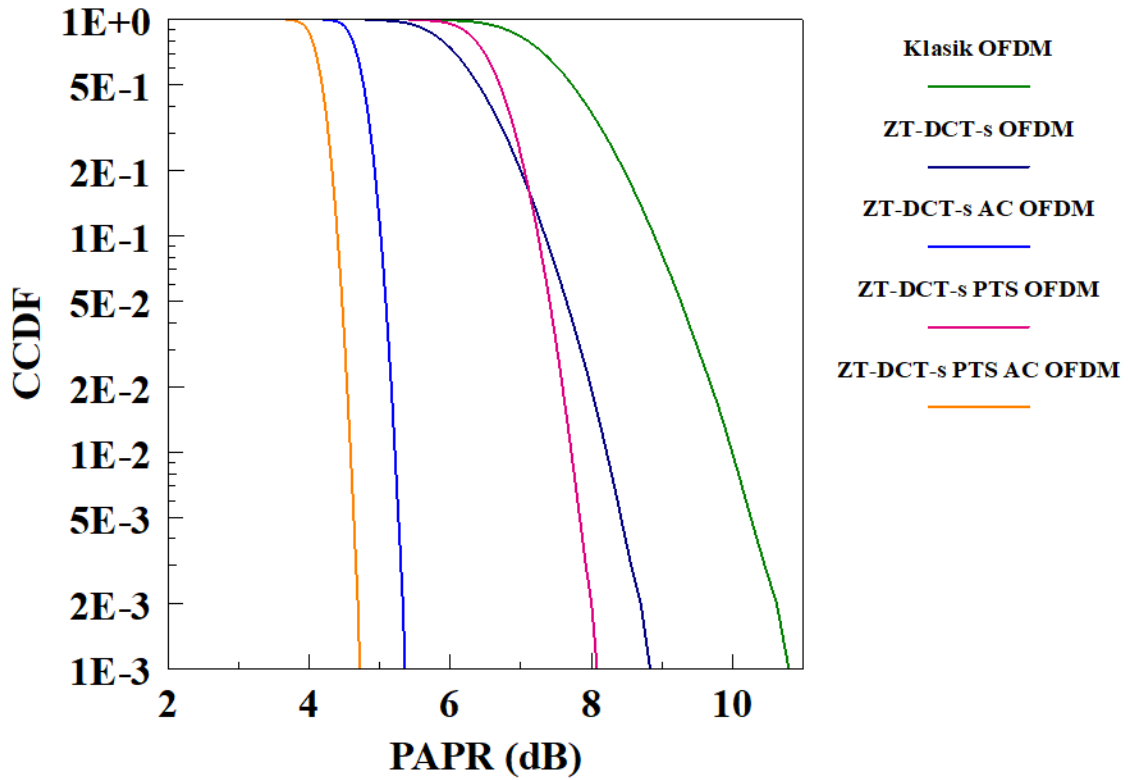


Şekil 4.29: 16-QAM modülasyonu için ZT-DCT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.29 incelendiğinde, 16-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 0.8 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 3.5 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 4.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 0.5 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DCT-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 16-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.30'da 64-QAM modülasyonunda ZT-DCT-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.30: 64-QAM modülasyonu için ZT-DCT-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

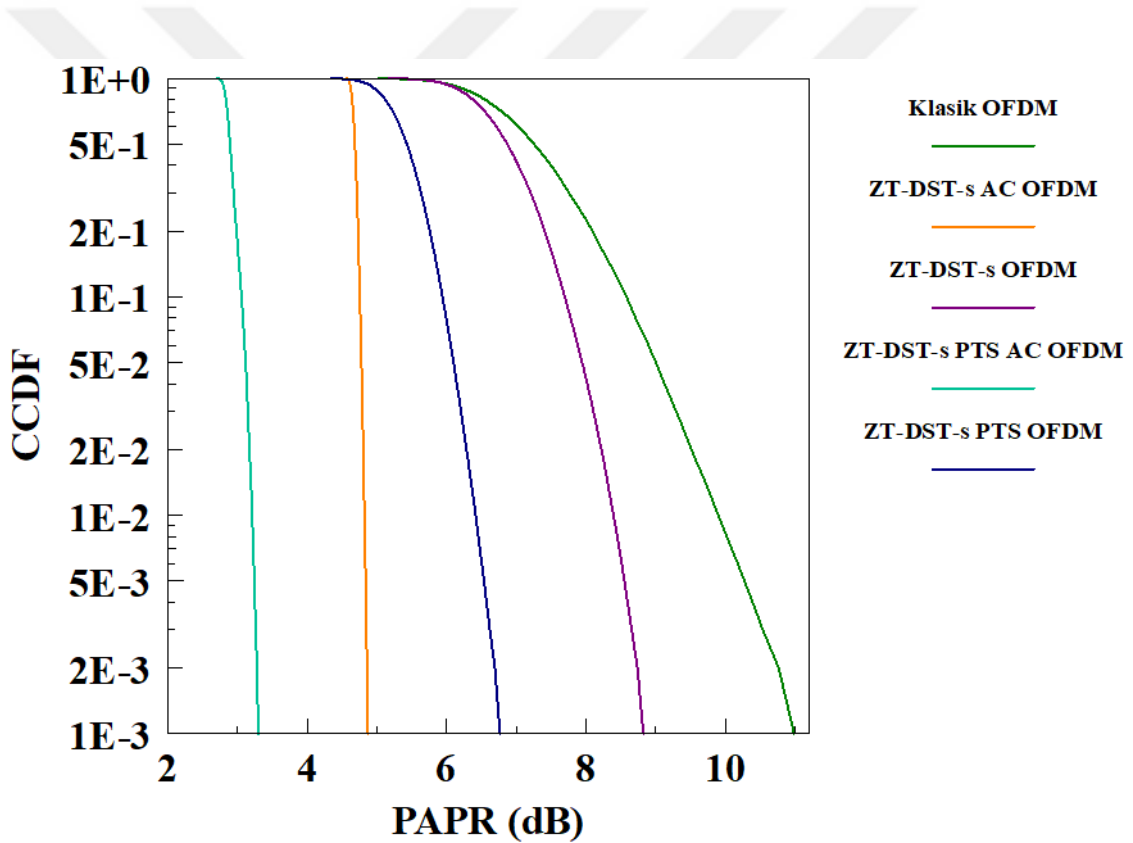
Şekil 4.30 incelendiğinde, 64-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 1 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 3.5 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 4.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 1 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DCT-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 64-

QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

ZT-DST-S OFDM’ de BPSK modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.31’de, 4-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.32’de, 16-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.33’te ve 64-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımları sonuçları Şekil 4.34’te verilmektedir.

Şekil 4.31’de BPSK modülasyonunda ZT-DST-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımlarının sonuçları verilmiştir.



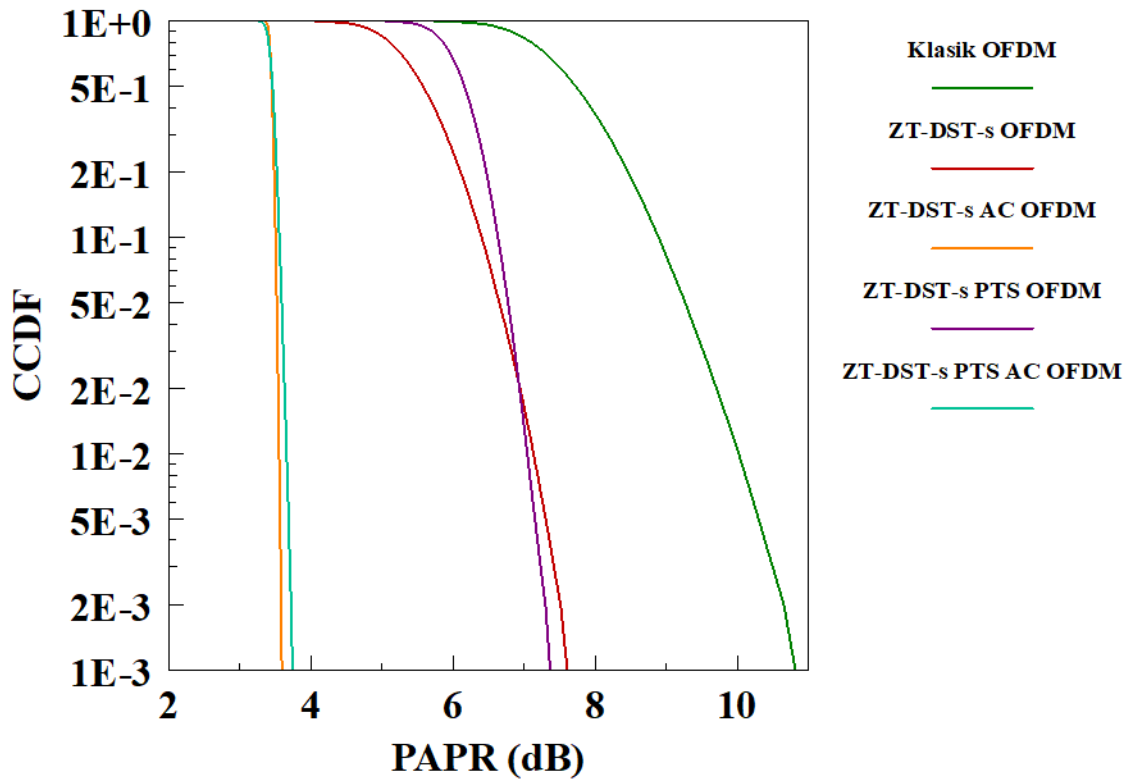
Şekil 4.31: BPSK modülasyonu için ZT-DST-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.31 incelendiğinde, BPSK modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 2 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımlarını önemli ölçüde

artırdığı, orijinal dalga formuna göre 6 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 4 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 2 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DST-s OFDM dalga formuna uygulandığında, BPSK modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.32’de 4-QAM modülasyonunda ZT-DST-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



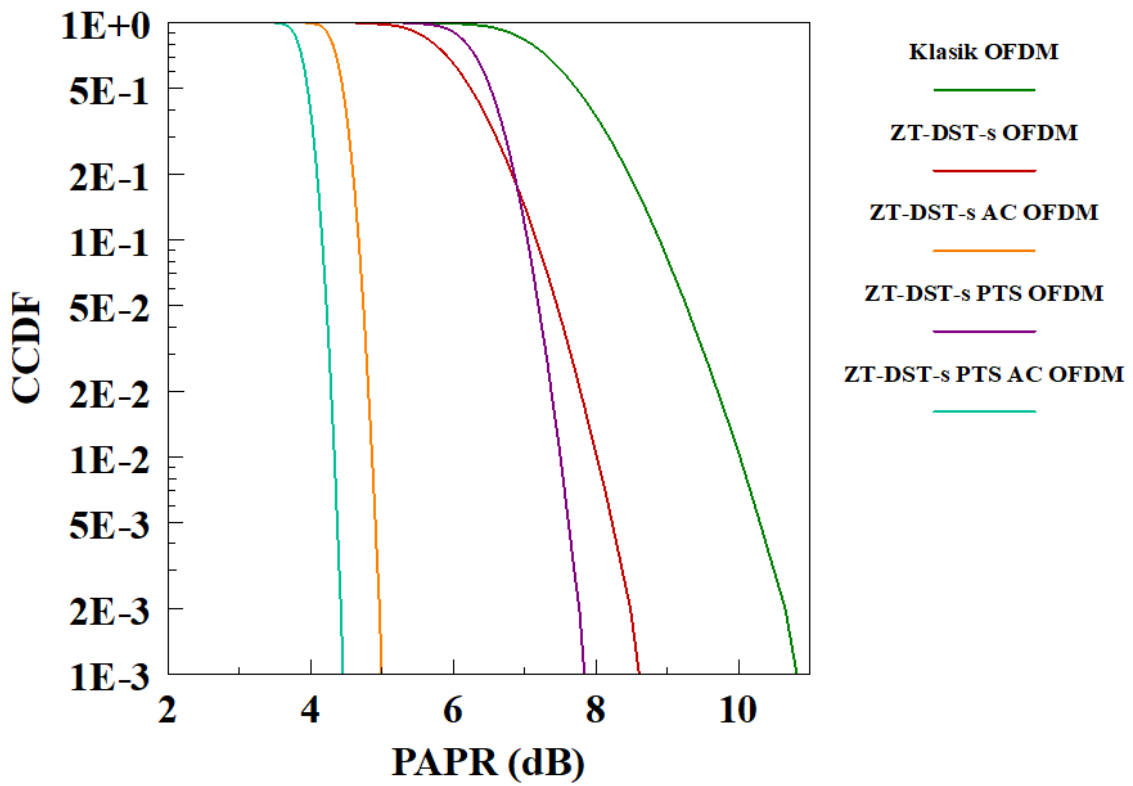
Şekil 4.32: 4-QAM modülasyonu için ZT-DST-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.32 incelendiğinde, 4-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi iyileştirme sağlamamıştır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 3.5 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin, orijinal dalga formuna göre 3.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre de 3.5 dB kadar PAPR iyileştirmesi sağlamış olduğu anlaşılmaktadır. Önerilen yöntem ile AC OFDM yöntemi birbirine çok yakın performanslar vermiştir. Bunun nedeni, yüksek

modülasyon seviyelerinde PTS yönteminde kullanılan mevcut faz dizilerinin bu çalışmada kullanılan trigonometrik dönüşümlerde uygun olmaması ile açıklanabilir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DST-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 4-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.33'te 16-QAM modülasyonunda ZT-DST-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.

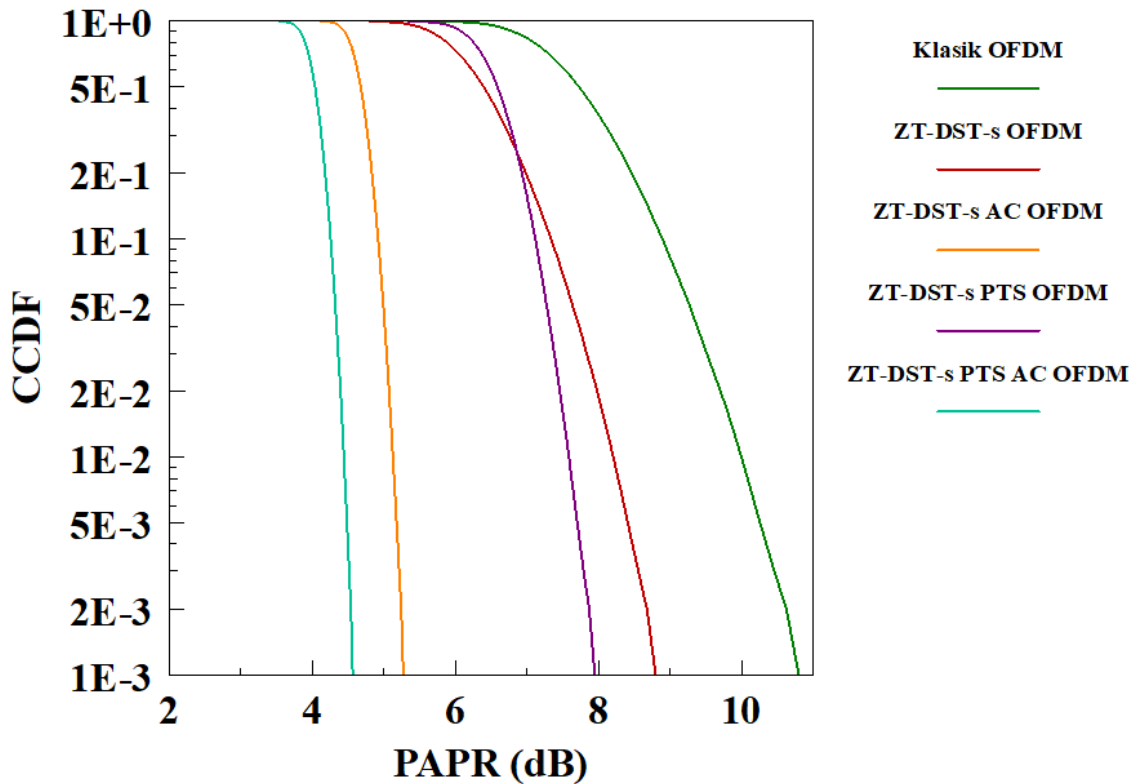


Şekil 4.33: 16-QAM modülasyonu için ZT-DST-S OFDM dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.33 incelendiğinde, 16-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 1 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 4 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 4.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 0.8 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DST-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 16-QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

Şekil 4.34'te 64-QAM modülasyonunda ZT-DST-S OFDM için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.34: 64-QAM modülasyonu için ZT-DST-S dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

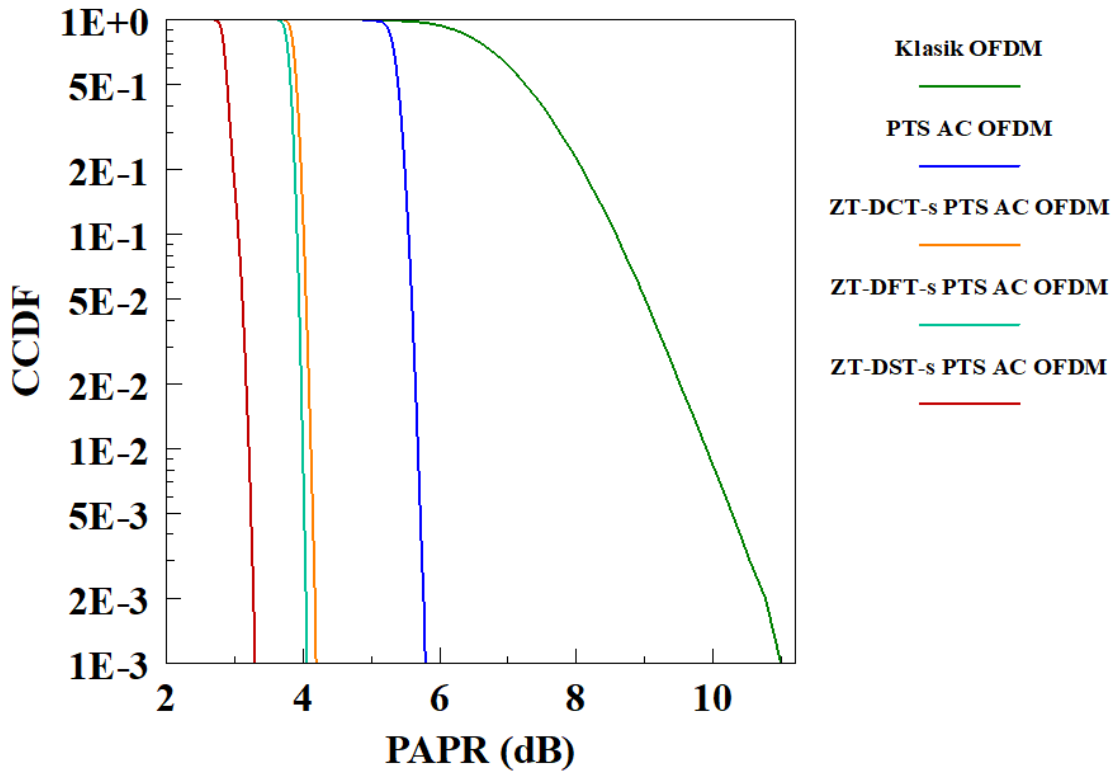
Şekil 4.34 incelendiğinde, 64-QAM modülasyonunda orijinal dalga formuna göre PTS OFDM yöntemi yaklaşık 1 dB iyileştirme sağlamaktadır.  $\beta$  katsayısı 0.6 seçilerek yapılan çalışmada AC OFDM yöntemi yaklaşık 3.5 dB kazanç sağlamaktadır. Görüldüğü üzere PTS-AC tekniğinin Klasik OFDM dalga formunda PAPR başarımını önemli ölçüde artırdığı, orijinal dalga formuna göre 4.5 dB, PTS OFDM yöntemine göre yaklaşık 3.5 dB, AC OFDM yöntemine göre ise yaklaşık 1 dB kazanç sağladığı görülmektedir.

Başarılı olduğu görülen PTS tekniği ve genlik kırpma tekniğinin birleşimi olarak ortaya çıkan PTS-AC yöntemi, ZT-DST-s OFDM dalga formuna uygulandığında, 64-

QAM modülasyonunda iyi etki göstermiş olup iyi bir PAPR azaltma yöntemi olarak kabul edilebilir. Kullanılabilirliğinin netleşmesi için BER performansında da kötü etki göstermemeli veya iyileştirmelidir.

BPSK modülasyonu için PTS-AC yönteminin PAPR başarımının ilgili dalga formlarındaki sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.35'te, 4-QAM modülasyonu için PTS-AC yönteminin PAPR başarımının ilgili dalga formlarındaki sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.36'da, 16-QAM modülasyonu için PTS-AC yönteminin PAPR başarımının ilgili dalga formlarındaki sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.37'de ve 64-QAM modülasyonu için PTS-AC yönteminin PAPR başarımının ilgili dalga formlarındaki sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.38'de verilmektedir.

Şekil 4.35'te BPSK modülasyonunda ilgili dalga formları için PTS-AC yönteminin PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



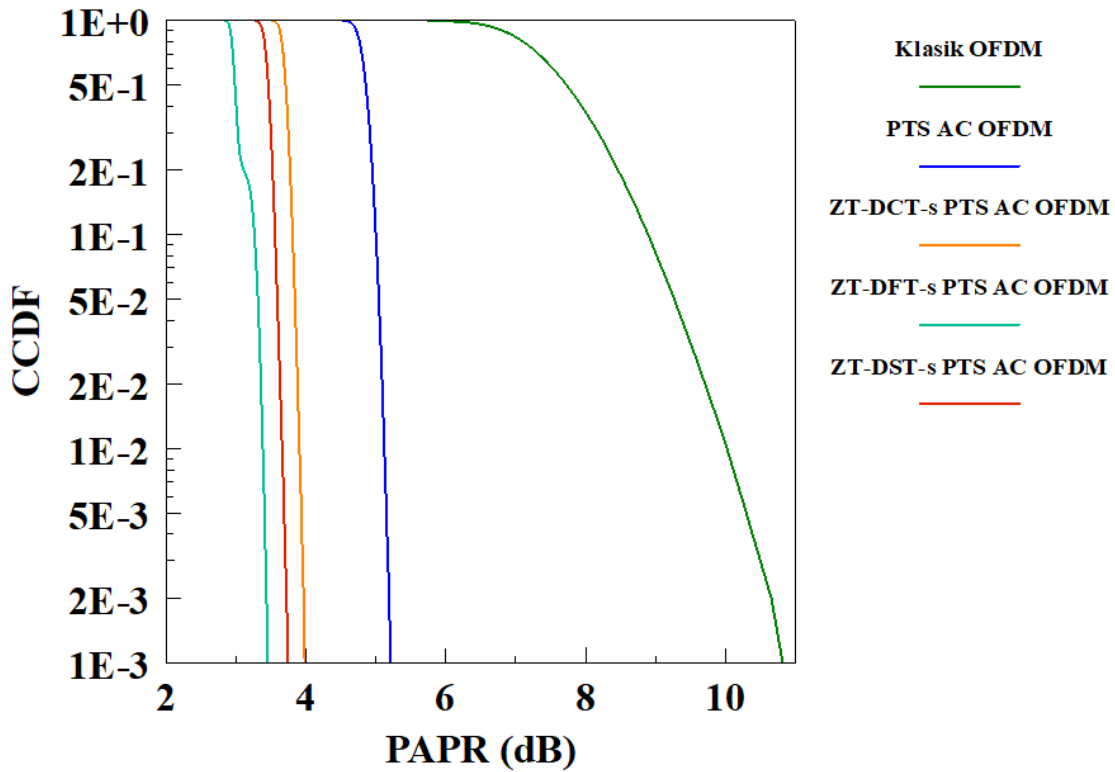
Şekil 4.35: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarının önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.35'teki dalga formlarına ait PTS-AC yöntemi uygulandığında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, PTS-AC yönteminin BPSK modülasyonunda kötüden iyiye

sırayla, geleneksel OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formlarında başarımlarını sağladığı görülmektedir.

PTS-AC yönteminin, 4 farklı dalga formuna uygulanarak orijinal dalga formlarının PAPR performanslarından daha iyi sonuçlar elde edilmiş olan sonuçlar karşılaştırıldığında BPSK modülasyonunda en iyi sonucun ZT-DST-s OFDM dalga formunda elde edildiği görülmüştür.

Şekil 4.36'te 4-QAM modülasyonunda PTS-AC yönteminin ilgili dalga formları için PAPR başarımlarının sonuçları verilmiştir.

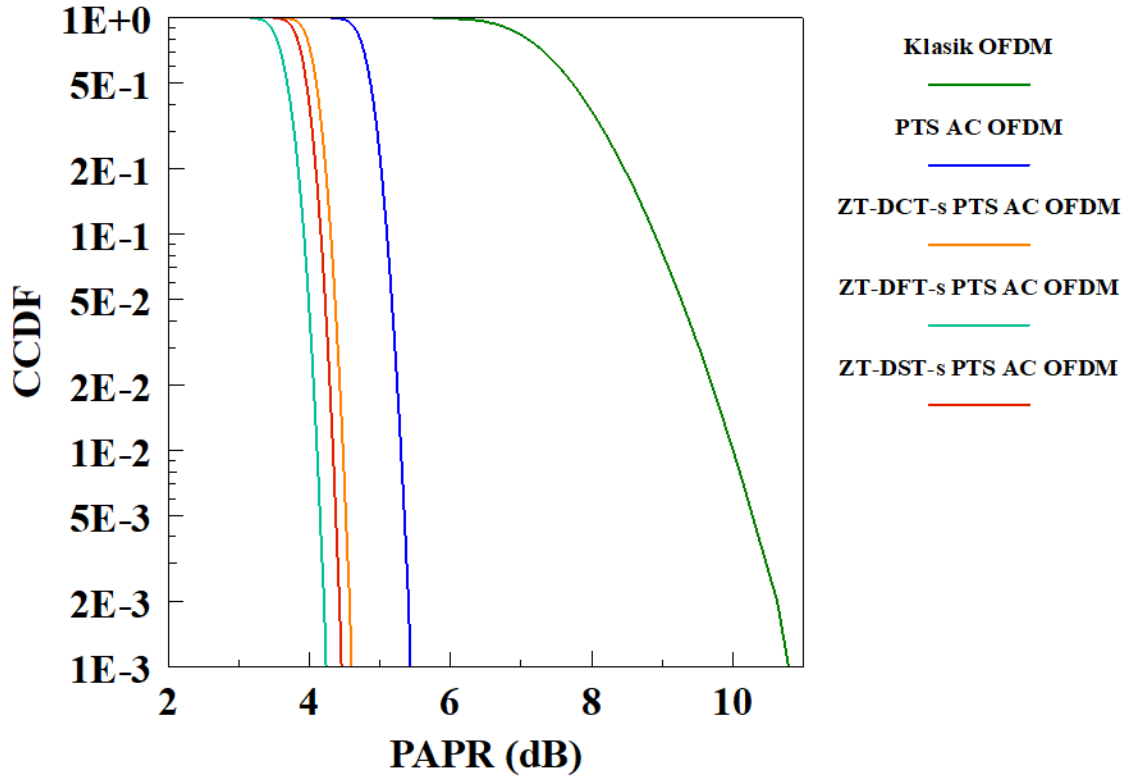


Şekil 4.36: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.36'daki dalga formlarına ait PTS-AC yöntemi uygulandığında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, PTS-AC yönteminin 4-QAM modülasyonunda kötüden iyiye sırayla, Klasik OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formlarında başarımlarını sağladığı görülmektedir. Bu sonucun elde edilmesindeki en büyük etken PTS tekniğinin 4-QAM modülasyonunda trigonometrik dalga formları üzerindeki etkisinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

PTS-AC yönteminin, 4 farklı dalga formuna uygulanarak orijinal dalga formlarının PAPR performanslarından daha iyi sonuçlar elde edilmiş olan sonuçlar karşılaştırıldığında 4-QAM modülasyonunda en iyi sonucun ZT-DFT-s OFDM dalga formunda elde edildiği görülmüştür.

Şekil 4.37’te 16-QAM modülasyonunda PTS-AC yönteminin ilgili dalga formları için PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



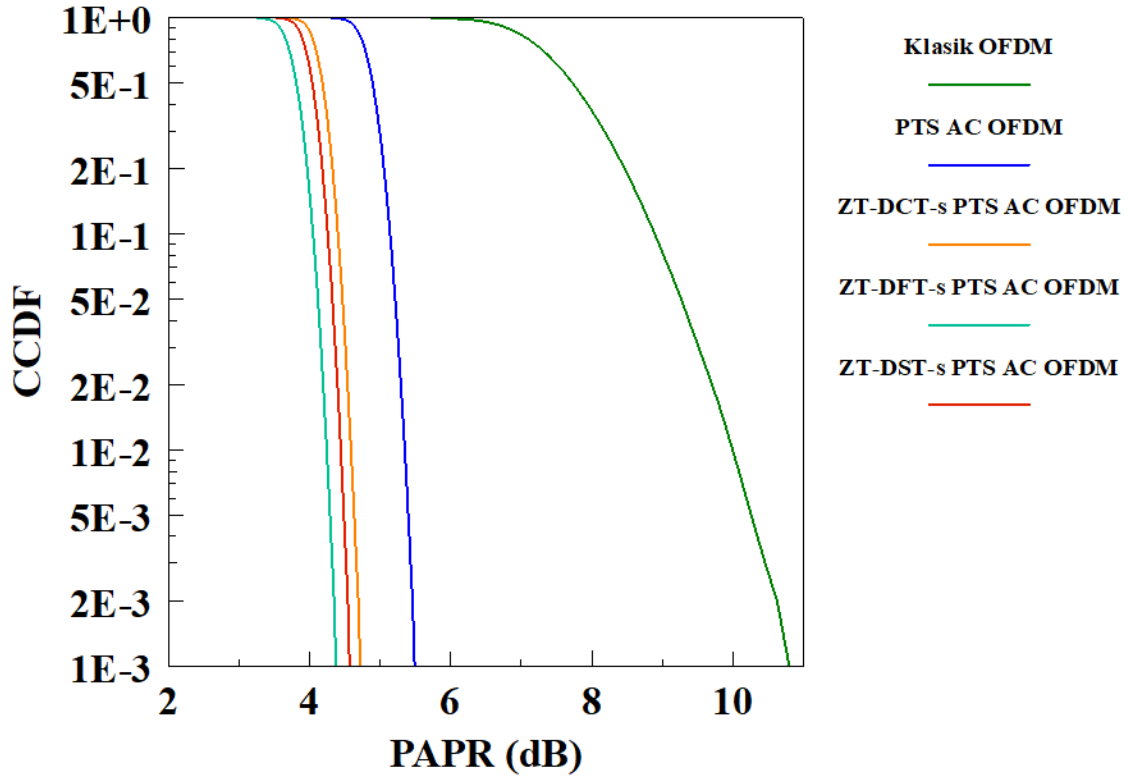
Şekil 4.37: 16-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.37’deki dalga formlarına ait PTS-AC yöntemi uygulandığında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, PTS-AC yönteminin 16-QAM modülasyonunda kötüden iyiye sırayla, Klasik OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formlarında başarımlar sağladığı görülmektedir. Bu sonucun elde edilmesindeki en büyük etken PTS tekniğinin 16-QAM modülasyonunda trigonometrik dalga formları üzerindeki etkisinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

PTS-AC yönteminin, 4 farklı dalga formuna uygulanarak orijinal dalga formlarının PAPR performanslarından daha iyi sonuçlar elde edilmiş olan sonuçlar

karşılaştırıldığında 16-QAM modülasyonunda en iyi sonucun ZT-DFT-s OFDM dalga formunda elde edildiği görülmüştür.

Şekil 4.38’de 64-QAM modülasyonunda PTS-AC yönteminin ilgili dalga formları için PAPR başarımının sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.38: 64-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarının önerilen PTS-AC Tekniği ile elde edilen PAPR Başarımlarının karşılaştırılması

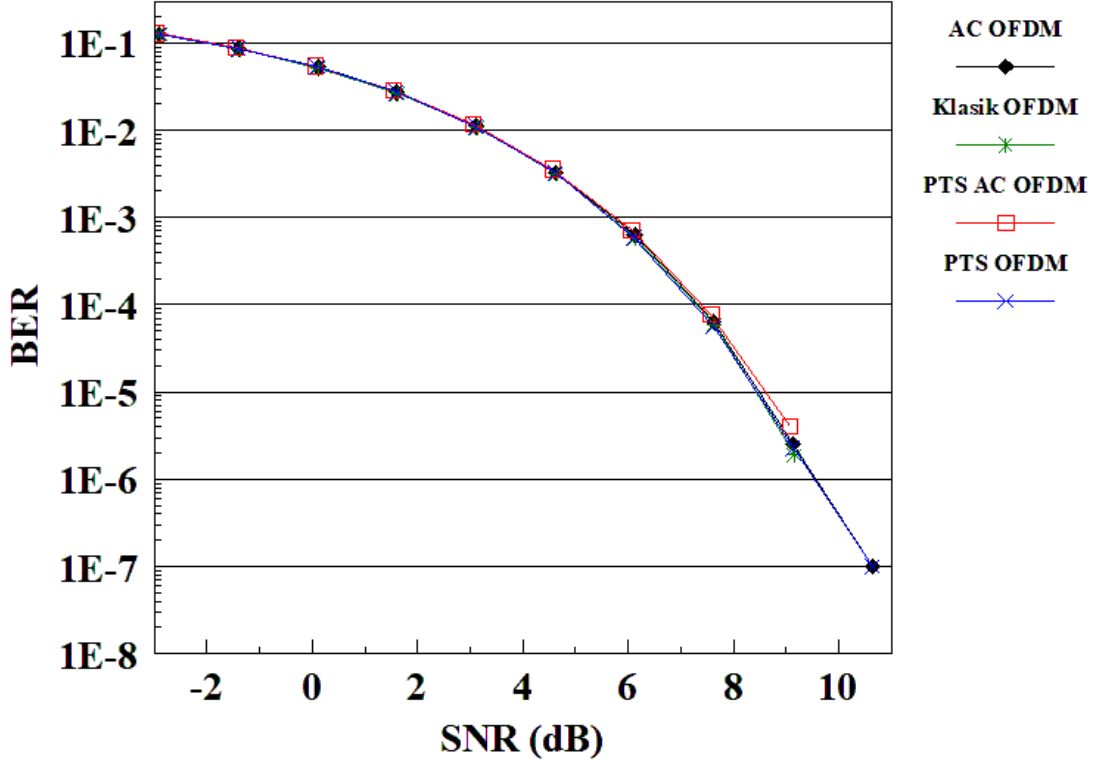
Şekil 4.38’deki dalga formlarına ait PTS-AC yöntemi uygulandığında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, PTS-AC yönteminin 64-QAM modülasyonunda kötüden iyiye sırayla, Klasik OFDM, ZT-DFT-S OFDM, ZT-DCT-S OFDM ve ZT-DST-S OFDM dalga formlarında başarımlarını sağladığı görülmektedir. Bu sonucun elde edilmesindeki en büyük etken PTS tekniğinin 64-QAM modülasyonunda trigonometrik dalga formları üzerindeki etkisinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

PTS-AC yönteminin, 4 farklı dalga formuna uygulanarak orijinal dalga formlarının PAPR performanslarından daha iyi sonuçlar elde edilmiş olan sonuçlar karşılaştırıldığında 64-QAM modülasyonunda en iyi sonucun ZT-DFT-s OFDM dalga formunda elde edildiği görülmüştür.

#### 4.5.2. Önerilen PTS-AC Tekniği ile Elde Edilen BER Sonuçları

BPSK ve 4-QAM modülasyonları için AWGN kanalda BER başarımı geleneksel OFDM, ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ve ZT DST-s OFDM dalga formlarındaki sonuçları elde edilmiştir.

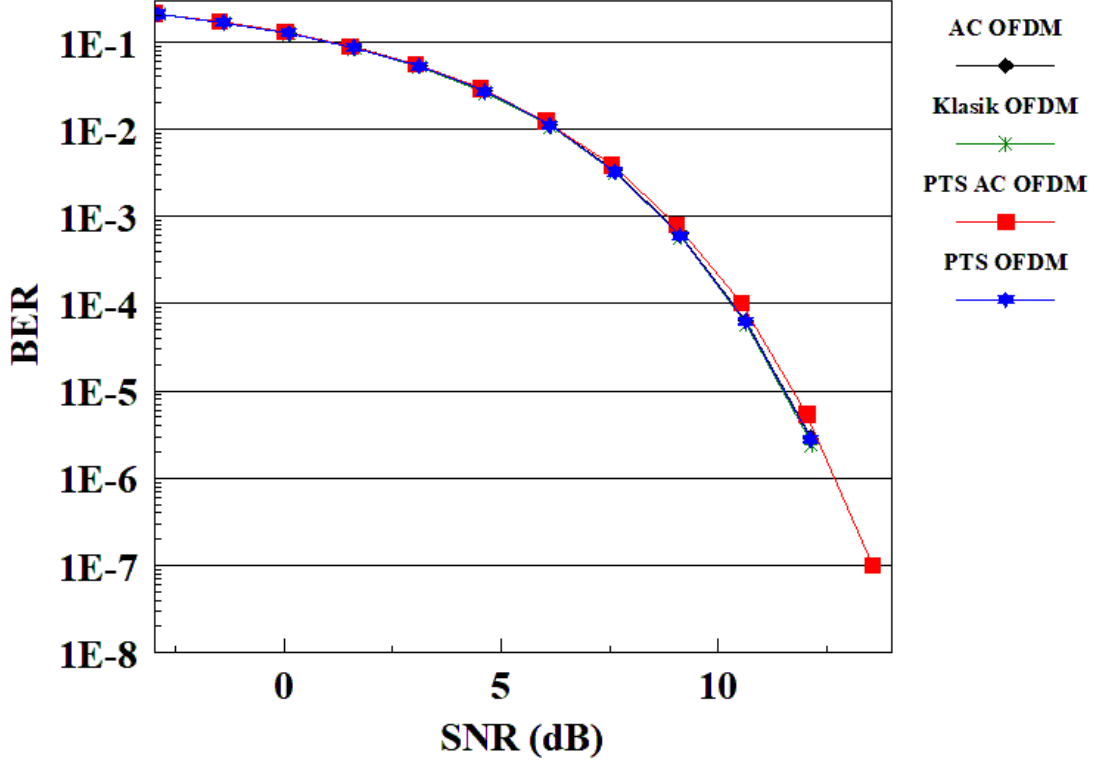
BPSK modülasyonları için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin BER başarımının geleneksel OFDM dalga formundaki sonuçları Şekil 4.39’da verilmektedir.



Şekil 4.39: BPSK modülasyonu için klasik OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.39 incelendiği zaman, AWGN kanalda PTS AC tekniğiyle  $V = 4$  alt blok için klasik OFDM dalga formu için BER başarımları BPSK modülasyonunda, PTS-AC uygulanmamış BER başarımlarıyla neredeyse aynı çıkmaktadır. Bu da PAPR azaltma konusunda başarılı bir performans gösteren PTS AC OFDM tekniğinin BER sonuçlarının da uygun olmasından ötürü PAPR azaltmada etkili bir yöntem olduğunun göstergesidir. Sonuçların daha da iyi çıkarılabilmesi için farklı alt blok sayıları ile performans iyileştirmesi denenebilir.

4-QAM modülasyonları için BER başarımının geleneksel OFDM dalga formundaki sonuçları Şekil 4.40’da verilmektedir.

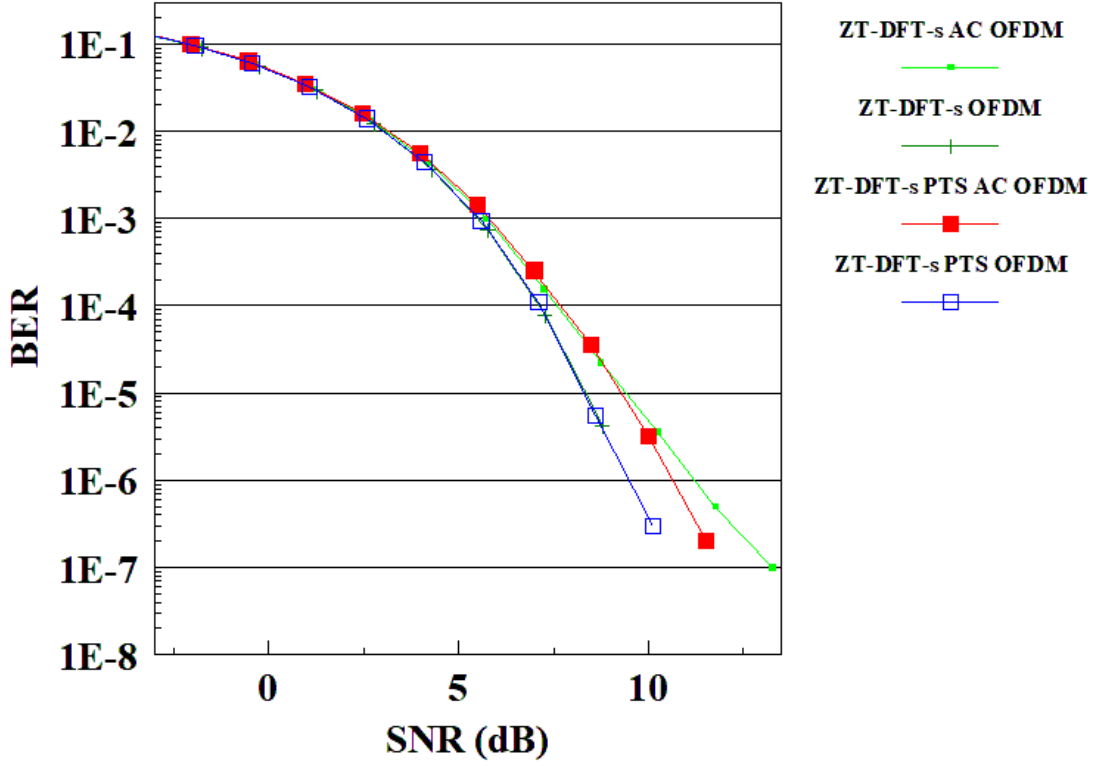


Şekil 4.40: 4-QAM modülasyonu için klasik OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

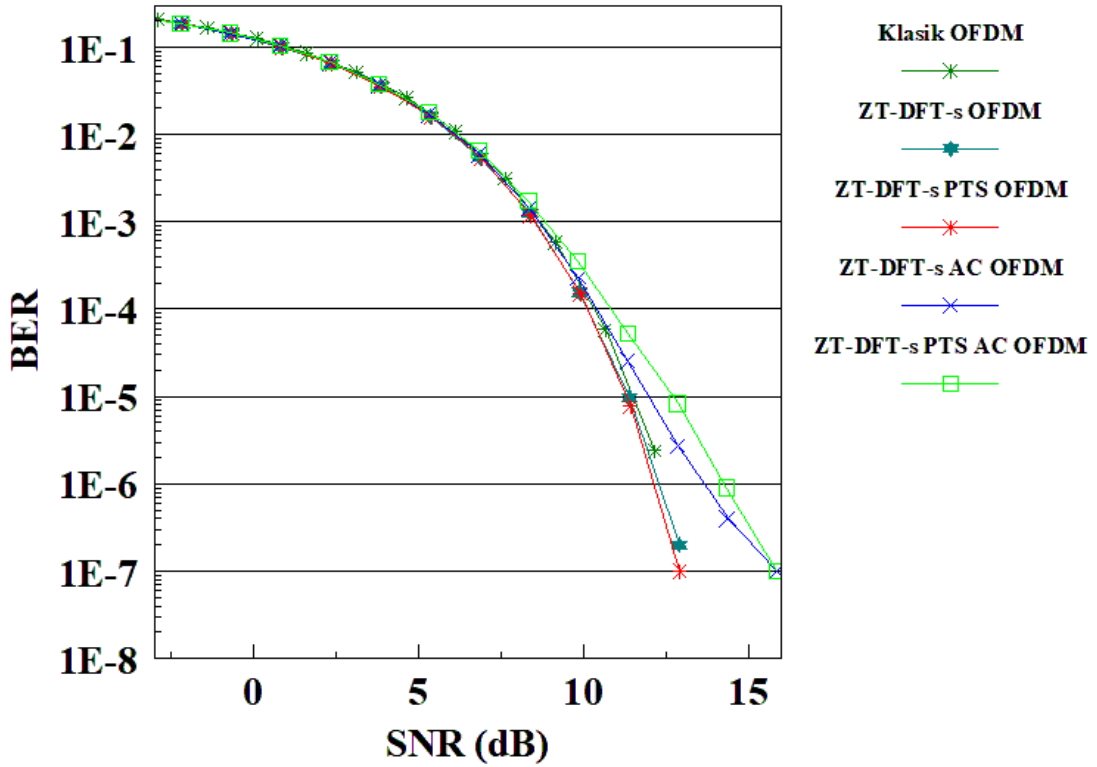
Şekil 4.40 incelendiği zaman, AWGN kanalda PTS AC tekniğiyle  $V = 4$  alt blok için klasik OFDM dalga formu için BER başarımları 4-QAM modülasyonunda, PTS-AC uygulanmamış BER başarımlarıyla neredeyse aynı çıkmaktadır. Bu da PAPR azaltma konusunda başarılı bir performans gösteren PTS AC OFDM tekniğinin BER sonuçlarının da uygun olmasından ötürü PAPR azaltmada etkili bir yöntem olduğunun göstergesidir. Sonuçların daha da iyi çıkarılabilmesi için farklı alt blok sayıları ile performans iyileştirmesi denenebilir.

Geleneksel OFDM dalga formundan elde edilen sonuçlar incelendiğinde PTS-AC yönteminin bu dalga formundaki BER sonuçlarında herhangi bir kötü sonuca sebep vermediği görülmektedir. Bu da PAPR başarımları sağlamış olan PTS-AC yönteminin uygun bir PAPR azaltma yöntemi olduğunu göz önüne koymaktadır.

ZT-DFT-s OFDM dalga formunda BPSK modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yönteminin BER başarımlarının sonuçları Şekil 4.41’de ve 4-QAM modülasyonları için AC, PTS ve PTS-AC yönteminin BER başarımlarının sonuçları Şekil 4.42’de verilmektedir.



Şekil 4.41: BPSK modülasyonu için klasik ZT-DFT-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

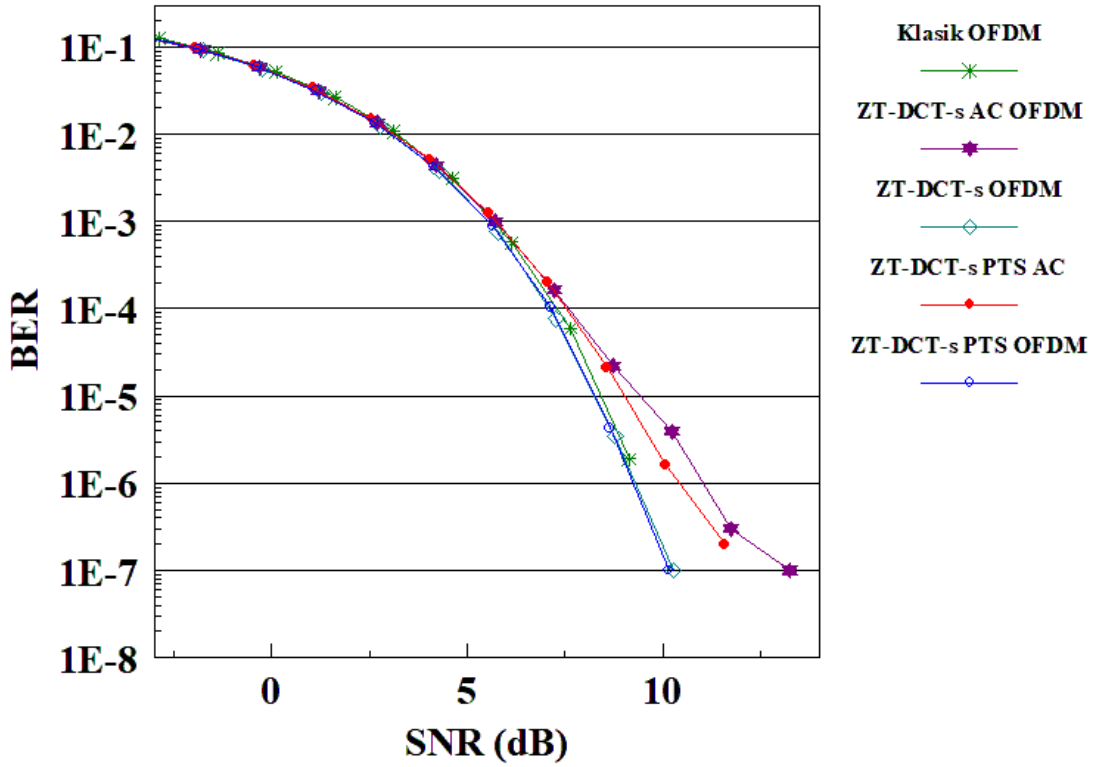


Şekil 4.42: 4-QAM modülasyonu için ZT-DFT-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.41 ve 4.42 incelendiği zaman, AWGN kanalda PTS AC tekniğiyle  $V = 4$  alt blok sayısı için ZT-DFT-s OFDM dalga formu için BER başarımları BPSK ve 4-QAM modülasyonunda, PTS-AC uygulanmamış BER başarımlarıyla neredeyse aynı çıkmaktadır. Bu da PAPR azaltma konusunda başarılı bir performans gösteren PTS AC OFDM tekniğinin BER sonuçlarının da uygun olmasından ötürü PAPR azaltmada etkili bir yöntem olduğunun göstergesidir.

ZT-DFT-s OFDM dalga formundan elde edilen sonuçlar incelendiğinde PTS-AC yönteminin bu dalga formundaki BER sonuçlarında herhangi bir kötü sonuca sebep vermediği görülmektedir. Bu da PAPR başarımları sağlamış olan PTS-AC yönteminin uygun bir PAPR azaltma yöntemi olduğunu göz önüne koymaktadır.

BPSK modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin BER başarımlarının ZT-DCT-s OFDM dalga formundaki sonuçları Şekil 4.43'te verilmektedir.

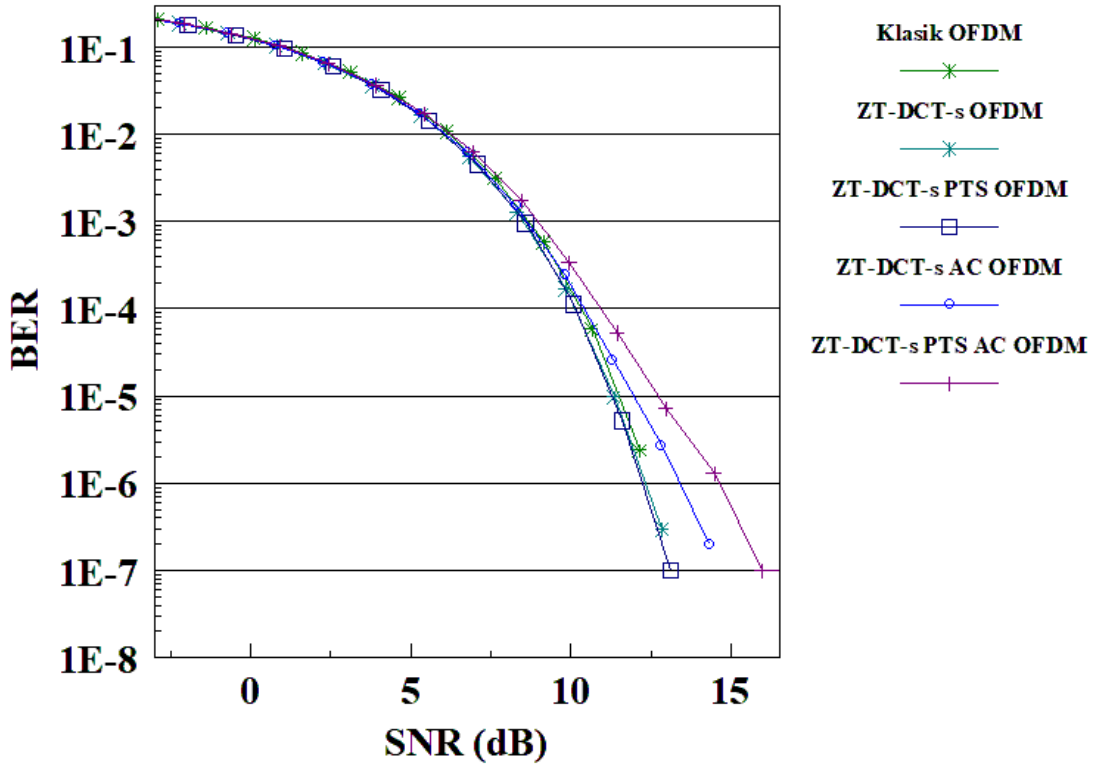


Şekil 4.43: BPSK modülasyonu için klasik ZT-DCT-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.43 incelendiği zaman, AWGN kanalda PTS AC tekniğiyle  $V = 4$  alt blok için ZT-DCT-s OFDM dalga formu için BER başarımları BPSK modülasyonunda, PTS-AC uygulanmamış BER başarımlarıyla neredeyse aynı çıkmaktadır. Bu da PAPR azaltma

konusunda başarılı bir performans gösteren PTS AC OFDM tekniğinin BER sonuçlarının da uygun olmasından ötürü PAPR azaltmada etkili bir yöntem olduğunun göstergesidir. 1E-4 BER seviyesinden sonra arada bir miktar fark olduğu gözlenmektedir.

4-QAM modülasyonu için AC, PTS ve PTS-AC yöntemlerinin BER başarımının ZT-DCT-s OFDM dalga formundaki sonuçları Şekil 4.44'te verilmektedir.

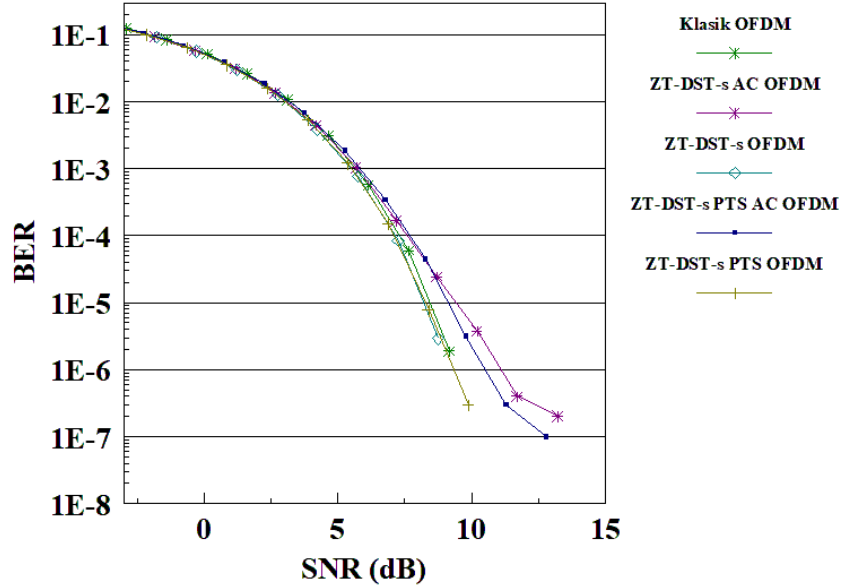


Şekil 4.44: 4QAM modülasyonu için klasik ZT-DCT-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

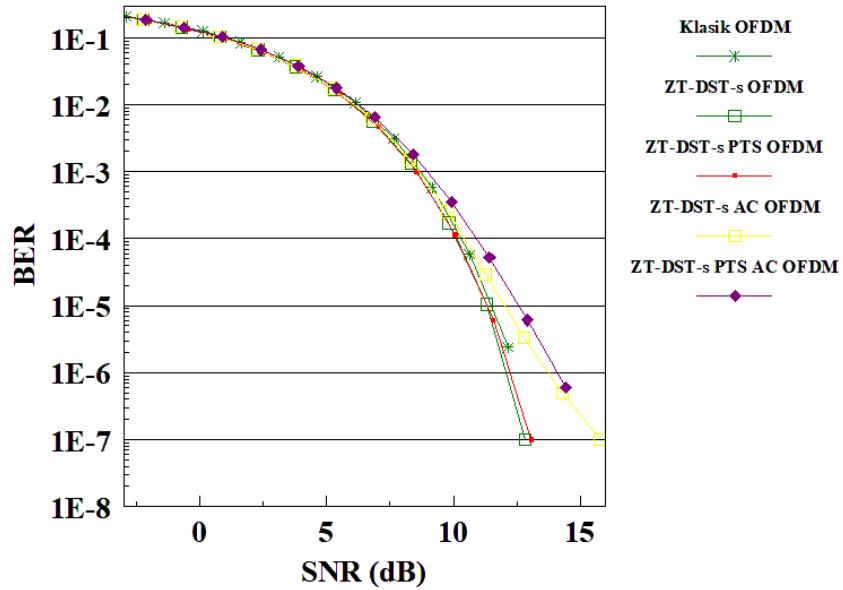
Şekil 4.44 incelendiği zaman, AWGN kanalda PTS AC tekniğiyle  $V = 4$  alt blok için ZT-DCT-s OFDM dalga formu için BER başarımları 4-QAM modülasyonunda, PTS-AC uygulanmamış BER başarımlarıyla neredeyse aynı çıkmaktadır. Bu da PAPR azaltma konusunda başarılı bir performans gösteren PTS AC OFDM tekniğinin BER sonuçlarının da uygun olmasından ötürü PAPR azaltmada etkili bir yöntem olduğunun göstergesidir. 1E-4 BER seviyesinden sonra arada bir miktar fark olduğu gözlenmektedir. Sonuçların daha da iyi çıkarılabilmesi için farklı alt blok sayıları ile performans iyileştirmesi denenebilir.

ZT-DCT-s OFDM dalga formundan elde edilen sonuçlar incelendiğinde PTS-AC yönteminin bu dalga formundaki BER sonuçlarında herhangi bir kötü sonuca sebep vermediği görülmektedir. Bu da PAPR başarımı sağlamış olan PTS-AC yönteminin uygun bir PAPR azaltma yöntemi olduğunu göz önüne koymaktadır.

BPSK ve 4-QAM modülasyonları için BER başarımının ZT-DST-s OFDM dalga formundaki sonuçları sırasıyla Şekil 4.45 ve 4.46’da verilmektedir.



Şekil 4.45: BPSK modülasyonu için klasik ZT-DST-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

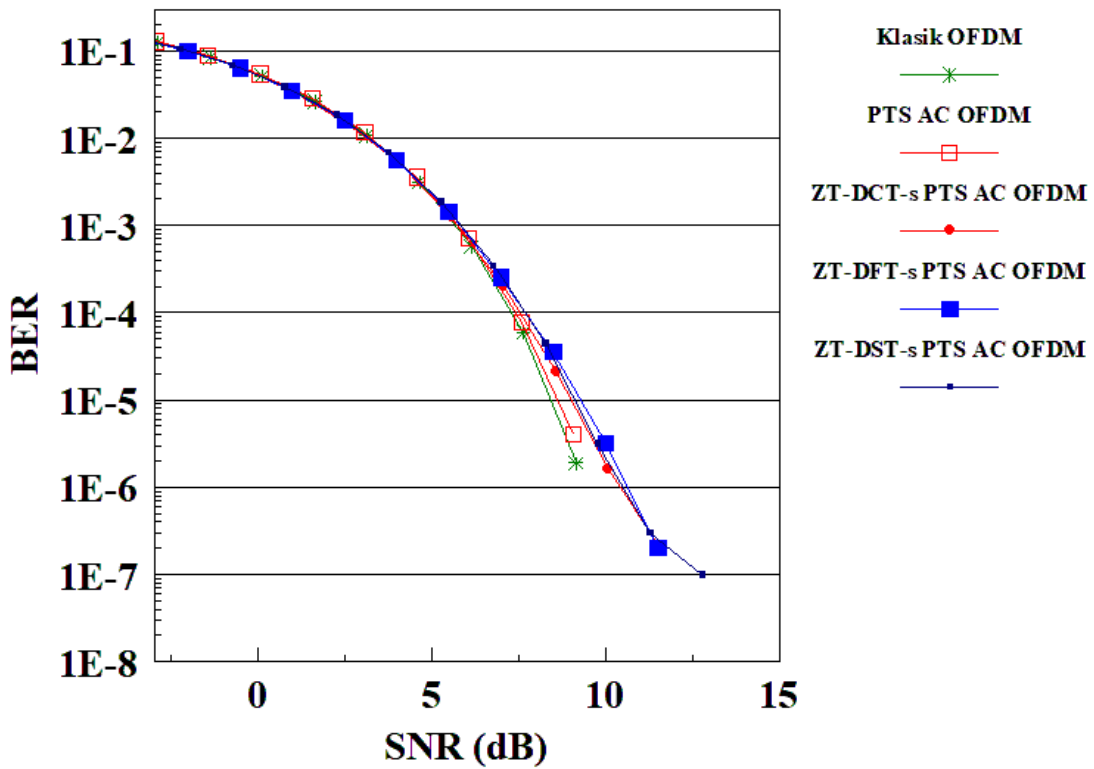


Şekil 4.46: 4QAM modülasyonu için klasik ZT-DST-s OFDM dalga formunda PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.45 ve 4.46 incelendiği zaman, AWGN kanalda PTS AC tekniğiyle  $V = 4$  alt blok için ZT DST-s OFDM dalga formu için BER başarımları bütün modülasyonlarda,  $1E-4$  BER seviyesine kadar PTS uygulanmamış BER başarımlarıyla neredeyse aynı çıkmaktadır. Ancak,  $1E-4$  BER seviyesinden sonra arada bir miktar fark olduğu sonuçlardan anlaşılmaktadır. Bu da PTS AC OFDM tekniğinin PAPR azaltmada etkili bir yöntem olduğunun göstergesidir.

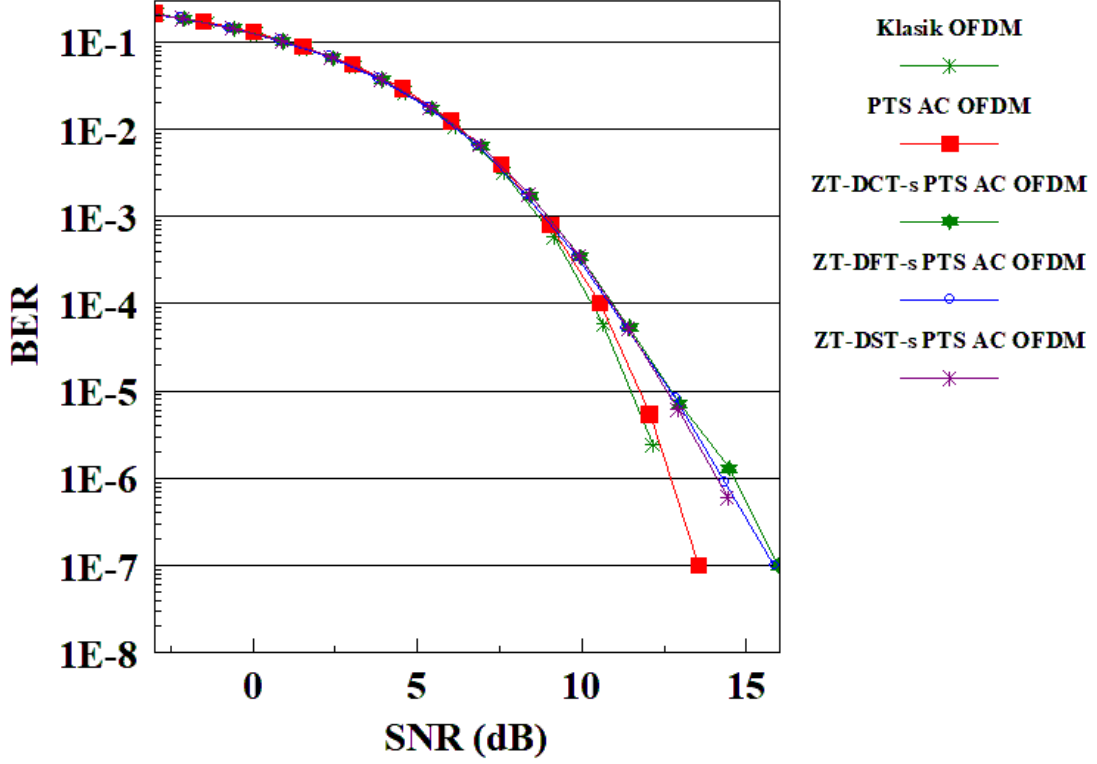
ZT-DST-s OFDM dalga formundan elde edilen sonuçlar incelendiğinde PTS-AC yönteminin bu dalga formundaki BER sonuçlarında herhangi bir kötü sonuca sebep vermediği görülmektedir. Bu da PAPR başarımı sağlamış olan PTS-AC yönteminin uygun bir PAPR azaltma yöntemi olduğunu göz önüne koymaktadır.

BPSK modülasyonu için PTS-AC yönteminin BER başarımının ilgili dalga formlarındaki sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.47’de verilmektedir.



Şekil 4.47: BPSK modülasyonu için ilgili dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

4-QAM modülasyonu için PTS-AC yönteminin BER başarımının ilgili dalga formlarındaki sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 4.48’de verilmektedir.



Şekil 4.48: 4-QAM modülasyonu için ilgili dalga formlarında PTS, AC ve önerilen PTS-AC Tekniği ile AWGN Kanaldaki BER Başarımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.47 ve 4.48 incelendiği zaman, AWGN kanalda PTS AC tekniğiyle  $V = 4$  alt blok için seçilen dalga formları için BER başarımları bütün modülasyonlarda, PTS uygulanmamış BER başarımlarıyla yakın çıkmaktadır. Çıkan sonuçlarda yüksek modülasyonlarda  $1E-4$  BER seviyelerinden sonra minik bozulmalar görülmüş fakat hem çok etkili olmayacağı hem de alt blok sayısı artırılarak giderilebileceği düşünülmektedir. Bu da PTS AC OFDM tekniğinin PAPR azaltmada etkili bir yöntem olduğunun göstergesidir.

## 5. BÖLÜM: SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok taşıyıcılı haberleşme sistemlerindeki en büyük ve önemli sorunlarından biri olan PAPR sorununa bir çözüm olarak PTS-AC metodu önerilmektedir. Önerilen yöntemin OFDM' e alternatif olan gelecek nesil dalga formlarıyla çalıştırılması ilk kez bu tezde yapılmıştır. Önerilen PTS-AC metodu OFDM ve OFDM' e rakip olacak gelecek nesildeki dalga şekillerinin yüksek PAPR problemine iyi bir öneri sunmuştur. Sunulan tekniğin geleneksel OFDM, ZT DFT-s OFDM, ZT DCT-s OFDM ve ZT DST-s OFDM dalga formlarının PAPR başarımını BER performansından ödün vermeden iyileştirdiği simülasyon sonuçlarından görülmüştür. Özellikle, önerilen yöntemle BER performansından ödün vermeden 6 dB PAPR kazancının sağlanması çalışmayı çok cazip hale getirmiştir. Önerilen PTS-AC tekniği ile OFDM ve OFDM' e alternatif dalga formlarıyla birleştirilmesi yönteminin 6G ve ötesi gelecek nesil haberleşme sistemlerinde kolayca kendisine yer edinebileceği anlaşılmaktadır.

Sonraki yapılacak çalışmalarda bu teknikler başka haberleşme sistemleri üzerinde kullanılabilir. Burada bahsi geçen PAPR azaltma teknikleri başka tekniklerle birleştirilerek ya da farklı dönüşümler kullanılarak sistemlerin PAPR ve diğer başarımları artırılabilir. Gelecekteki çalışmalarda, PTS tekniğinde farklı uzunluklu faz dizileri ve farklı uzunluklu blok (V) sayıları kullanılarak yüksek seviyeli modülasyonlarda trigonometrik dönüşümlerin kullanıldığı haberleşme sistemlerinde performansların artırılması planlanmaktadır.

## KAYNAKÇA

- [1] Marconi G, "Guglielmo Marconi", 2020. [Çevrimiçi]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Guglielmo\\_Marconi](https://en.wikipedia.org/wiki/Guglielmo_Marconi).
- [2] Geylani, M., Çıbuk, M., Çınar, H., Ağgün, F., 2016, "**Geçmişten günümüze hücrel haberleşme teknolojilerinin gelişimi**", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 18, Sayı 54.
- [3] "LTE", Erişim Tarihi: 26 Haz 2020, [Çevrimiçi], <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>.
- [4] Fazel, K., Kaiser, S., 2009, **Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems: From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX, 2nd Edition**. New Jersey, John Wiley & Sons.
- [5] "WiMAX General Information about the standard 802.16",2020 Web Sayfası: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma96/1MA96\\_E\\_WiMAX.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma96/1MA96_E_WiMAX.pdf).
- [6] "WiMAX: Diğer Genişbant Telsiz Erişim (GTE) Teknolojileri ile Karşılaştırılması",2020,Web: <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/slug/wimax-diger-genisbant-telsiz-erisim-gte-teknolojileri-ile-karsilastirilmesi.pdf>
- [7] Zaidi, A. A. e. al., 2016, "**Evaluation of waveforms for mobile radio communications above 6 ghz**," 2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), pp. 1-6, Washington, DC, 2016.
- [8] Maraş, M., 2019, "**5. nesil ve ötesi için ofdm'e alternatif yeni dalga formu tasarım çalışmaları**", Kayseri: Lisans Bitirme Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi.
- [9] Elkourdi M., Peköz B., Güvenkaya, E., Arslan, H., 2016, "**Waveform design principles for 5G and beyond**," 2016 IEEE 17th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON) pp. 1-6.
- [10] Berardinelli, G., Tavares, F. M. L., Sørensen, T. B., Mogensen P., Pajukoski K., 2013, "**Zero tail DFT spread OFDM signals**", Proc. IEEE Globecom Workshops, pp. 229-234
- [11] Hofbauer C., Huemer M., Huber J. B., 2010, "**Coded OFDM by unique word prefix**," IEEE International Conference on Communications Systems (ICCS), pp. 426–430.

- [12] Le Foch, B., Alard, M., Berrou, C., 1995 "**Coded orthogonal frequency division multiplex**", Proc. IEEE, vol. 83, no. 6, pp. 982-996.
- [13] Park J, Hong, E., Har, D., "**Low complexity data decoding for SLM based OFDM systems without side information**", 2011, IEEE Communications Letters, vol. 15, no. 6, pp. 611-613.
- [14] Lin, M., Chen, K., Li, S., 2003 "**Turbo coded OFDM system with peak power reduction**", IEEE 58th Vehicular Technology Conference (VTC), pp. 2282–2286, Orlando, USA, October 6-9.
- [15] Wang, Y.C., Luo, Z. Q., 2011 "**Optimized iterative clipping and filtering for PAPR reduction of OFDM signals**", IEEE Transactions on Communications, vol. 59, no. 1, pp. 33-37
- [16] Bingham, J. A. C., 1990, "**Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come,**" in IEEE Communications Magazine, vol. 28, no. 5, pp. 5-14.
- [17] Chang, R.W., Gibby R. A., 1968 "**Theoretical study of performance of an orthogonal multiplexing data transmission scheme**". IEEE Transactions on Communications, vol.
- [18] D'Andrea, A.N., Lottici, V., Reggiannini, R., 2001, "**Nonlinear predistortion of OFDM signals over frequency-selective fading channels**". IEEE Transactions on Communications, vol. 49, no. 5, pp. 837-843.
- [19] Banelli P., Cacopardi, S., 2000, "**Theoretical analysis and performance of OFDM signals in nonlinear AWGN channels**". IEEE Transactions on Communications, vol. 48, no. 3, pp. 430-441.
- [20] Yıldırım, M., 2018 "**Kablosuz haberleşme sistemlerinde zeki optimizasyon teknikleri ile tepe gücü/ortalama güç oranının düşürülmesi**", Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- [21] "Joseph Fourier", 2020 Web: [https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Fourier](https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier).
- [22] Muquet, B., de Courville, M., Duhamel, P., Giannakis, G., Wang, Z., 2002, "**Cyclic prefixing or zero padding for wireless multicarrier transmissions**", IEEE Transactions on Communications, vol. 50, no. 12.
- [23] Vakilian, V., Wild, T., Schaich, F., Brink, S. T., 2013, "**Universal-Filtered multi carrier technique for wireless systems beyond LTE**", Proc. Globecom Workshops 2013, pp. 223-228.

- [24] Fettweis, G., Krondorf, M., Bittner, S., 2009, **“GFDM - generalized frequency division multiplexing,”** in Proc. IEEE 69th Vehicular Technology Conf. VTC, Spring.
- [25] Zhang, X., Jia, M., Chen, L., Ma, J., Qiu, J., 2015, **“Filtered-OFDM—Enabler for flexible waveform in the 5th generation cellular networks”**, Proc. IEEE Global Commun. Conf., pp. 1-6.
- [26] Berardinelli G., 2018, **“Generalized DFT-s-OFDM Waveforms Without Cyclic Prefix,”**
- [27] Aminjavaheri, A., Farhang, A., Rezazadehreyhani, A., Doyle, L. E., Farhang-Boroujeny, B., 2017, **“OFDM Without CP in Massive MIMO,”** in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 16, no. 11, pp. 7619-7633.
- [28] Berardinelli, G., Tavares, F. M. L., Sørensen, T. B., Mogensen, P., Pajukoski K., 2014, **“On the Potential of Zero-Tail DFT-Spread-OFDM in 5G Networks,”** 2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall), Vancouver, BC, pp. 1-6..
- [29] Papadimitriou, P. D., Gheorghiadis, C. N., 2008, **“Zero-padded OFDM with improved performance over multipath channels,”** International Conference in Communications, Circuits, and Systems, pp. 727–731.
- [30] Huemer, M., Hofbauer, C., Huber, J.B., 2010, **“The Potential of Unique Words in OFDM,”** in the Proceedings of the 15th International OFDM-Workshop 2010.
- [31] Huemer, M., Hofbauer, C., Onic, A., Huber, J. B., 2014, **“Design and analysis of UW- OFDM signals,”** in International Journal of Electronics and Communications, vol. 68, no. 10, pp. 958-968.
- [32] Özden M., Ülkü C., Özen, A., 2018, **“An investigation of the effects of different UW sequences on the PAPR performance of UW-OFDM systems,”** 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Izmir..
- [33] Stefanović H., Milić, D., 2015, **“Impact of HPA nonlinearity on downlink signal degradation in satellite communications,”** 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) Belgrade, 2015, pp. 220-223.
- [34] Li, X., Zhang, P., Jiang, L., 2011, **“HPA linearization technique of cascading PAPR reduction and predistortion,”** 2011 4th International Congress on Image and Signal Processing pp. 2818-2821, Shanghai.
- [35] Tek Y. İ., Tuna E. B., Karaerik K., Sinop H., Yaşar S., Avcı B., Aykırı G., Özen A., 2020, **“A Novel PAPR Improvement Approach for the Next Generation Waveforms”**, IEEE 43th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2020, Page(s): 1-5, Milan, Italy.

- [36] Paredes, M. C. P., Grijalva, F., Carvajal-Rodríguez, J., Sarzosa, F., 2017, **"Performance analysis of the effects caused by HPA models on an OFDM signal with high PAPR,"** 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), Salinas, pp. 1-5., 2017.
- [37] "Output Backoff (OPBO) vs Input Backoff (IPBO) in RF Amplifier", 2020, Web: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/output-backoff-vs-input-backoff-RF-amplifier.html>.
- [38] "OBO - Output Backoff Nedir?", 2020, Web: <https://uyduhaberlesme.com/obo-output-back-off-nedir/>
- [39] Heung-Gyoon Ryu, Ju Sok Park, Jin-Soo Park, 2004, **"Threshold IBO of HPA in the predistorted OFDM communication system,"** in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 50, no. 4, pp. 425-428.
- [41] Han, S.H., J.H. Lee, 2005, **"An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission"**, IEEE Wireless Comm., vol. 12, pp. 56-65.
- [42] O'Neill, R., Lopes, L. B., 1995, **"Envelope Variations and Spectral Splatter in Clipped Multicarrier Signals,"** Proc. IEEE PIMRC '95, pp. 71– 75., Toronto, Canada, Sept.
- [43] Tang, B., Qin, K., Mei, H, 2020, **"A Hybrid Approach to Reduce the PAPR of OFDM Signals Using Clipping and Companding"**, IEEE Access, Volume: 8, pp, 18984 – 18994.
- [44] Wang, Y.C., Luo, Z.Q, 2011, **"Optimized iterative clipping and filtering for PAPR reduction of OFDM signals".**, IEEE Transactions on Communications, vol. 59 no. 1, pp. 33-37.
- [45] Chen, G., Ansari, R., Yao, Y., 2009, **"Improved peak windowing for PAPR reduction in OFDM systems"**. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), pp. 1-5., Barcelona, Spain, April 26-29.
- [46] Borjesson, P., Feichtinger, H. G., Grip, N., Isaksson, M., N. Kaiblinger, P. Odling, Persson, L, 1999, **"A low-complexity PAR-reduction method 86 for DMT-VDSL"**, In Proc. 5th International Symposium on Digital Signal Processing for Communications Systems (DSPCS), February 1999, Perth, pp. 164–169.
- [47] Jiang, T., Yang, Y., Song, Y., 2005, **"Companding technique for PAPR reduction in OFDM systems based on an exponential function"**, pp. 2798–2801. In Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM, St. Louis, MO)

- [48] Xiao, H., Jianhua, L., Junli, Z., Chuang, J., Jun, G., 2001 **“Reduction of peak-to-average power ratio of OFDM signals with companding transform”**. Electronics Letters, vol. 37, no. 8, pp. 506-507.
- [49] Li, X., Cimini, L.J., 1998, **“Effect of clipping and filtering on the performance of OFDM”**. IEEE Communications Letters, vol. 2, no. 5, pp. 131-133.
- [50] Armstrong, J., 2002 **“Peak-to-average power reduction for OFDM by repeated clipping and frequency domain filtering”**. Electronic Letters, vol. 38 no. 5, pp. 246- 247.
- [51] H. Ryu, S. Kim, S. Ryu, 2007, **“Interleaving method without side information for the PAPR reduction of OFDM system,”** 2007 International Symposium on Communications and Information Technologies, NSW, pp. 72-76.
- [52] Ahn, H., Shin, Y., Im, S., 2000, **“A block coding scheme for peak to average power ratio reduction in an orthogonal frequency division multiplexing system”**, In Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), pp. 56–60.
- [53] R. Bäuml (Bauml), R. Fischer, J. Huber, 1996, **“Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping”**, Electron. Lett., vol. 32, pp. 2056- 2057.
- [54] Muller, S. H., Huber, J. B., 1997, **“OFDM with reduced peak-to average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences”**. Electronics Letters, vol. 33, no. 5, pp. 368-369.
- [55] Tellado, J., 2000, **“Peak To Average Power Reduction For Multicarrier Modulation”**, Ph.D. Thesis, Stanford University.
- [56] Wattanasuwakull, T., Benjapolakul, W., 2005, **” PAPR reduction for OFDM transmission by using a method of tone reservation and tone injection”**, in Proc. 5th International Conference on Information, Communications and Signal Processing pp. 273-277, Bangkok, Thailand.
- [57] Tek Y. İ., Yaşar S., Sinop H., Karaerik K., Tuna E. B. and A. Özen, 2020, **“PAPR Reduction Method for Next Generation Waveforms”**, IEEE 28th Signal Processing and Communications Applications SIU 2020 Page(s): 1-4.
- [58] "What is Interleaving?", 2020, Web: <https://www.tutorialspoint.com/what-is-interleaving>.
- [59] Aimer, Y., Bouazza, B. S., Bachir, S., & Duvanaud, C., 2018, **“Interleaving technique implementation to reduce PAPR of OFDM Signal in presence of nonlinear**

**amplification with memory effects**". Journal of Telecommunications and Information Technology.

[60] "Additive White Gaussian Noise (AWGN)", 2020, Web: <https://wirelesspi.com/additive-white-gaussian-noise-awgn/>.

[61] Tuğcu E., 2014, "**Kablosuz haberleşme sistemleri için kanal karşılama filtresi tabanlı yeni bir kör kanal denkleştirme yöntemi**", Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.

[62] Yaşar S., 2020, "**Tek Taşıyıcılı Görünür Işık Haberleşmesi için Kör ve Kör Olmayan Denkleştirme Tekniklerinin İncelenmesi**", Nuh Naci Yazgan Üniversitesi.

[63] Nix, A.R., 1993, "**Fundamental Investigation into Short Range High Capacity Mobile Data Transmission**", Ph.D. Thesis, University of Bristol, England.

[64] "Fading Basics: Narrowband, Wideband and Spatial Channels", 2020, Web: <https://www.spirent.cn/gui/~media/fc29acc7f9934903a6cf7dbc809249ae.ashx>.

[65] "Rayleigh Fading", 2020, Web: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/rayleigh-fading.php>.

[66] Rappaport, T.S., 1996, "**Wireless Communications: Principles and Practice**", Prentice Hall, Inc.

[67] Proakis, J.G., 2001, "**Digital Communications**", Fourth Edition, McGraw-Hill Co.

[68] Kaya, İ., 1998, "**A Study of High Performance Equalisation and Pre-Equalisation for High Speed Wireless Data Data Communications**", Ph.D. Thesis, Centre for Communications Research, University of Bristol.

[69] Haykin, S., 1994, "**Communication Systems**", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.

[70] Turin, G.L, Clapp, F.D., Johnston, T.L., Fine S.B. ve lavry, D., 1972, "**A Statistical Model of Urban Multipath Propagation, IEEE Transactions on Vehicular Technology**", vol. 21, no. 1, pp. 1-9.

[71] Peebles P., 1980, "**Probability Random Variables and Random Signal Principles**", McGraw-Hill Book Co.

## TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR

1. CETINER, I, S, DUMLU, B, SAVASCIHABES, A, OZEN, A, 2021, “**A Novel PAPR Reduction Technique Combining the PTS and Clipping Method**” 44th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP) (IEEE Conference Record #52935)

