



M-CSK moduled flip-OFDM communication systems in visible light communications

Meral Tekin^{1*}, Asuman Savaşçıhabeş¹, Özgür Ertuğ²

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Nuh Naci Yazgan University, 38170, Kocasinan, Kayseri, Türkiye

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Gazi University, 06570, Maltepe, Ankara, Türkiye

Highlights:

- This article demonstrates a new design method for optical wireless communication systems.
- The proposed method introduces a new concept called M-CSK modulated Flip OFDM.
- With coded and uncoded forms of the proposed system, the advantage of the study is SNR gain in terms of bit-error-rate

Keywords:

- Color shift keying
- Flicker mitigating
- Flip-OFDM
- Visible light communication
- Optical waveform design

Article Info:

Research Article

Received: 23.09.2021

Accepted: 05.11.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.999817

Correspondence:

Author: Meral Tekin

e-mail:

meraltek23@gmail.com

phone: +90 352 324 0000

Graphical/Tabular Abstract

In this study, a new method combined with Flip-OFDM's flicker-free M-CSK modulation form is proposed and used for optical wireless communication systems under different coded and uncoded scenarios. The performance results in terms of bit-error-rate of the proposed M-CSK Flip-OFDM method, which is shown in Figure A, is obtained in comparison with the classical VLC-OFDM system and Flip-OFDM system. What makes the study interesting is that with the proposed technique, approximately 2.5dB more SNR gain than Flip-OFDM and approximately 10.5 dB more SNR gain than classical OFDM was obtained for the 10^{-5} BER level. In addition, it has been revealed that the proposed CSK-Flip OFDM system provides approximately 13dB to 17dB SNR gain with RS coding, compared to the non-coding system of QAM-OFDM and QAM-Flip-OFDM systems.

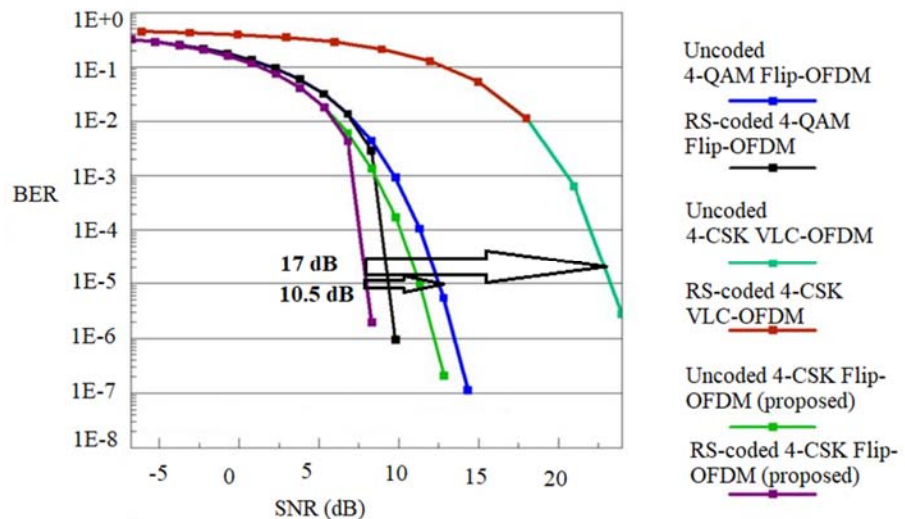


Figure A. BER results of coded and uncoded waveforms over Flat Fading Optical LOS channel

Purpose:

The aim of this study is to design a novel optical communication system, which are alternatives to RF wireless communication systems, have been used as a solution to insufficient bandwidth difficulties.

Theory and Methods:

In this study, we propose M-CSK-Flip-OFDM system for optical wireless communication systems. The performance of the proposed scheme is compared with both the Flip-OFDM and classical OFDM systems in terms of bit error rate performance criteria using RS and CC coding.

Results:

The simulation results clearly show that the presented M-CSK Flip-OFDM method achieves good performance at high SNR values in the AWGN and optical LOS channel, and in addition, the BER performance is improved by applying RS and CC channel coding techniques.

Conclusion:

With the proposed technique, achieving 2.5dB more SNR gain than Flip-OFDM and 10.5dB more gain than classical OFDM.



M-CSK-Flip-OFDM sistemlerinin RS ve CC kodlama altında BER ve PAPR analizlerinin incelenmesi

Meral Tekin^{1*}, Asuman Savaşçıhabeş¹, Özgür Ertuğ²

¹Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38170, Kocasinan, Kayseri, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06570, Maltepe, Ankara, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- M-CSK-Flip-OFDM sistemleri tasarımı
- Reed-solomon kodlayıcılar
- Katlamalı (konvolüsyonel) kodlayıcılar

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 23.09.2021

Kabul: 05.11.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.999817

Anahtar Kelimeler:

CSK modülasyonu,
Flip-OFDM,
görünür ışık haberleşmesi,
optik dalgaformu

ÖZ

Bu makalede, OFDM'nin optik kablosuz iletişim sistemleri için verimli bir tek kutuplu versiyonu olan Flip-OFDM dalga biçiminde titreşim sorunu olmadan M-seviye renk kaydırmalı anahtarlama (M-CSK) modülasyonunun kullanılması önerilmiştir. Önerilen şemanın performansı, bit-hata oranı (BER) ve tepe ortalama güç oranı (PAPR) kriterlerine dayalı M-QAM modülasyonlu Flip-OFDM ve M-CSK modülasyonlu VLC OFDM yöntemleri ile karşılaştırılır. BER performansı da önce kodlanmamış önerilen şema, ardından iki kanallı kodlama teknikleri, yani Reed-Solomon (RS) kanal kodlayıcı ve Evrişimli Kodlar (CC) kullanılarak iki kanal, yani AWGN ve optik LOS kanalı kullanılarak analiz edilmiştir. Tüm kanal kodlama teknikleri, QAM modülasyonu kullanılarak gerçekleştirilir. Benzetim sonuçları, önerilen M-CSK Flip-OFDM yönteminin hem AWGN kanalı hem de optik LOS kanalı için yüksek SNR değerlerinde iyi performans elde ettiğini ve ayrıca RS ve CC uygulanarak BER performansının da iyileştirildiğini göstermektedir.

M-CSK moduled flip-OFDM communication systems in visible light communications

HIGHLIGHTS

- M-CSK-Flip-OFDM sistemleri tasarımı
- Reed-solomon kodlayıcılar
- Katlamalı (konvolüsyonel) kodlayıcılar

Article Info

Research Article

Received: 23.09.2021

Accepted: 05.11.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.999817

Keywords:

CSK modulation,
Flip-OFDM,
visible light communication,
optical waveform

ABSTRACT

In this paper, it is proposed to use M-level color shift keying (M-CSK) modulation without vibration problem in Flip-OFDM waveform, which is an efficient unipolar version of OFDM for optical wireless communication systems. The performance of the proposed scheme is compared with the M-QAM modulated Flip-OFDM and M-CSK-modulated VLC OFDM methods based on the criteria of bit-error-rate (BER) and peak average power ratio (PAPR). The BER performance has also been analyzed, firstly by using uncoded proposed scheme then two channel coding techniques i.e. Reed-Solomon (RS) channel encoder and Convolutional Codes (CC) by using two channels i.e. AWGN and optical LOS channel. The entire channel coding techniques is carried out using QAM modulation. The simulation results show that, the proposed M-CSK Flip-OFDM method achieves good performance at high SNR values for both AWGN channel and optical LOS channel and also with applying RS and CC, the BER performance is also improved.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *meraltekin23@gmail.com, ahables@nny.edu.tr, ertug@gazi.edu.tr /
Tel: +90 352 324 0000

1. Giriş (Introduction)

Teknolojinin hızla gelişmesiyle yüksek hızda kablosuz iletişim sistemlerine olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Son zamanlarda radyo frekansı (RF) iletişimin kontrolsüz radyasyon, bant genişliğinin sınırlı olması ve spektrum krizi ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, bu sistemler pahalıdır ve düşük ila orta veri hızlarına sahiptir. Optik kablosuz iletişim (OWC), RF iletişiminin sınırlamalarına çözüm sunan optik kablosuz haberleşme teknolojisidir [1]. Elektromanyetik spektrum optik bantta lisanslanmadığı için sistem maliyeti daha azdır. OWC, özellikle radyo frekansı sistemlerinin kullanılmadığı ortamlarda yüksek hızlı iç mekan uygulamaları için cazip bir iletişim türüdür. Bir optik kablosuz iletişim türü olan görünür ışık iletişimi (VLC), görünür bantta 380-780 nm aralığında çalışır. VLC sistemleri, ışık yayan diyotların (LED) yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte popülerlik kazanmıştır [2].

Ortogonal frekans bölme (OFDM), veri hızı artırımına olanak sağlayan çok taşıyıcı modülasyon tekniğidir. OFDM'de iletim, alt taşıyıcılar yardımıyla farklı frekanslar kullanılarak gerçekleştirildiği için tüm vericiler aynı anda iletim yaparsa bile bu bilgiler birbirine karışmaz. OWC sistemlerinde doğrudan algılamalı yoğunluk modülasyonu (IM/DD) kullanıldığı için iletilen veri tek kutuplu olmalıdır, buna karşın klasik OFDM'de sinyal pozitif ve negatif semboller içerdiğinden çift kutuplu olmaktadır [1, 3].

Tek kutuplu iletişim sistemlerinde, bilgi, sadece gerçek ve pozitif sinyalleri kullanarak optik taşıyıcı üzerinden iletilir. Tek kutuplu iletişim sistemlerinin, optik iletişim, genlik modülasyonlu RF kablosuz iletişim ve tek bir kablo üzerinden temel bant dijital iletişim gibi yaygın örnekleri bulunur. Gönderilen işaretin vericiden alıcıya birçok yoldan ulaşmasına neden olan çok yollu sönmüleme, semboller arası girişime (ISI) sebep olabilir ve tek kutuplu iletişim sistemlerinin performansını düşürebilir. Bu bozucu etkiyi azaltmak için tek kutuplu OFDM kullanılabilir. DC taraflı optik OFDM (DCO-OFDM) ve asimetrik olarak kırılmış optik OFDM (ACO-OFDM), en yaygın tek kutuplu OFDM tekniğidir. Bu iki tek kutuplu OFDM tekniğine alternatif olarak

Flip OFDM önerilmiştir. Fakat performansı hala analiz edilmemiştir ve diğer tek kutuplu OFDM teknikleriyle karşılaştırılmamıştır. Flip-OFDM tekniğinde sinyalin negatif ve pozitif bileşenleri, gönderilen bilgi sembollerinin hermityen simetri özelliği korunarak üretilen gerçek bipolar OFDM sembolünden çıkarılır. Negatif kısımların polaritesi, OFDM sembolünde hem pozitif hem negatif kısımların iletilmesinden önce tersine çevrilir. İletilen sinyal her zaman pozitif olduğu için Flip OFDM, tek kutuplu iletişim için kullanılabilir ve DCO OFDM ve ACO OFDM'ye alternatif olan tek kutuplu bir OFDM tekniğidir [1-4].

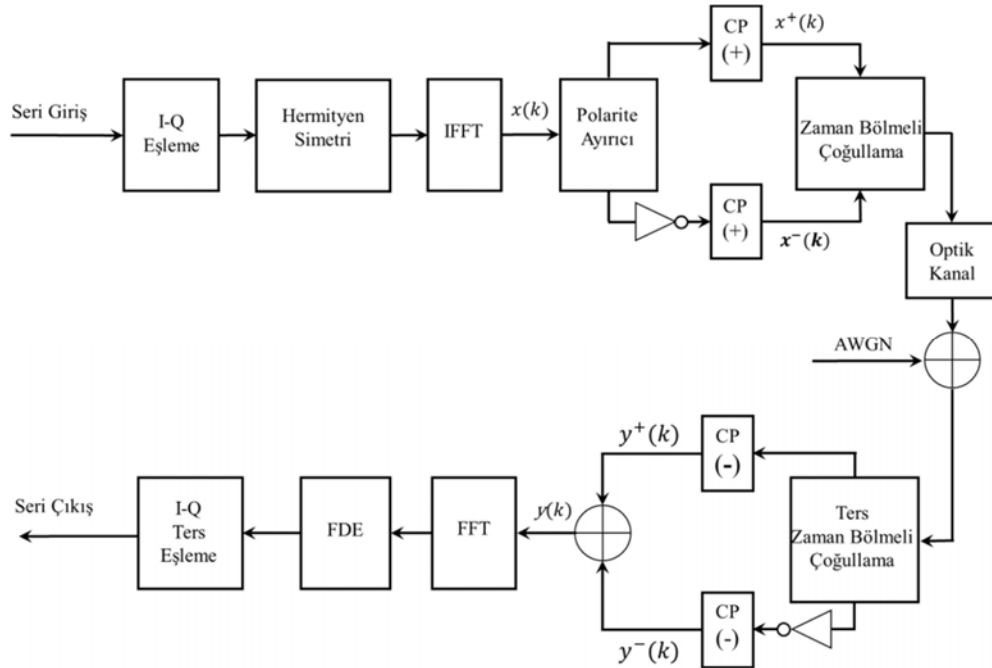
Bu çalışmada, 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK modülasyonunun kullanıldığı Flip OFDM ve VLC-OFDM ile 4-QAM, 8-QAM ve 16-QAM modülasyonunun kullanıldığı Flip OFDM sistemlerinin performansı bit hata oranı (BER) ve tepe ortalama güç oranı (PAPR) performans ölçütleri üzerinden incelenmektedir.

Benzetimlerde M-CSK modülasyonunu kullanan Flip-OFDM haberleşme sistem modeli Bölüm 2'de detaylı olarak açıklanmıştır. Bölüm 3'te benzetim sonuçları monte-carlo analizleri ile elde edilmiş ve karşılaştırılabilir olarak sunulmuştur. Bölüm 4'te ise önerilen M-CSK Flip OFDM sisteminin AWGN ve optik LOS kanalda analiz edilen benzetim sonuçları ele alınarak kodlamalı ve kodlamasız senaryolarda bit-hata-oranı ve PAPR cinsinden performansları değerlendirilmiştir.

2. Sistem Modeli (System Model)

M-CSK modülasyonunun kullanıldığı sistem modeli Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1'de yer alan Flip-OFDM OWC sisteminde göndericide rastgele üretilen seri giriş bilgi bitleri M-CSK Modülatör bloğunda bir taşıyıcıyla iletilerek modüle edilmektedir. Gönderilen veri IFFT çıkışında Hermityen simetrisi alınarak reel değerlere dönüştürülmektedir. Modüle edilen veriler tarafından oluşturulan $T_s = T_{sym}/N$ süreli simge vektörleri kullanılır. Frekans ekseninde modüle edilmiş veri $[X = X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ yapısındadır ve bu yapı 0 (DC)



Şekil 1. M-CSK modülasyonlu flip modelinin blok şeması (Block diagram of M-CSK modulated flip model)

ve $N/2$ indisli alt taşıyıcıların sıfıra eşitlenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Hermityen simetrik yapısının frekans bölgesi eşdeğeri Eş. 1'de tanımlanmaktadır:

$$X[k] = \begin{cases} 0, & \text{eğer } k = 0 \\ X[k], & \text{eğer } k = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{2}\right) - 1 \\ X^*[N - k], & \text{eğer } k = \left(\frac{N}{2}\right) + 1, \left(\frac{N}{2}\right) + 2, \dots, N \\ 0, & \text{eğer } k = \frac{N}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Burada (*), karmaşık eşlenik işlemi göstermektedir.

FFT çıkışında ise elde edilen çift kutuplu sinyal Eş. 2 ifadesindeki gibi hesaplanır.

$$x(k) = x^+(k) + x^-(k) \quad (2)$$

Burada, $x^+(k)$ sinyalin pozitif kısmını ve $x^-(k)$ da negatif kısmını temsil eder. Yeniden tek kutuplu sinyal elde etmek için Eş. 3 ve Eş. 4 kullanılmaktadır:

$$x^+(k) = \begin{cases} x(k), & x(k) \geq 0 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3)$$

$$x^-(k) = \begin{cases} x(k), & x(k) < 0 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4)$$

Sinyalin pozitif ve negatif kısmı kullanılarak sistem modelinde yer alan M-CSK demodülatör çıkışı için karar sinyali üretilerek BER ve PAPR analizleri yapılmaktadır.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Benzetim analizi üç bölümden oluşmaktadır. Birinci kısımda AWGN benzetim sonuçlarını, ikinci kısımda Tablo 1'deki çok yollu optik iç ortam kanal dürtü cevabı (Optical Channel Impulse Response, OCIR) değerlerinden düz sönmülemeli LOS kanal benzetimleri ve ilerleyen bölümde yer alan PAPR benzetimleri yapılmaktadır. Tüm benzetim sonuçlarında M-CSK modülasyonları için Flip-OFDM ve klasik VLC-

OFDM dalga formları ile M-QAM modülasyonunu kullanan Flip-OFDM [6] dalga formu karşılaştırılmaktadır. Tüm yöntemlerde 64 alt taşıyıcı ve 128 noktalı FFT kullanılmıştır.

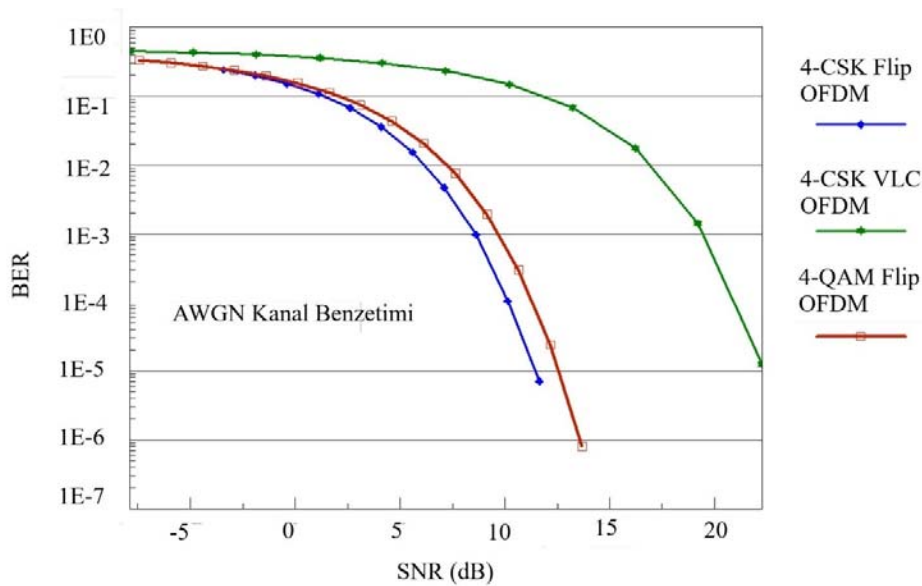
Tablo 1. 5-dallı optik kanal dürtü yanıtı [5]
(5-tap optical channel impulse response)

Dal Numarası	Optik Kanal Dürtü Yanıtı
0	4,825E-5
1	6,030E-5
2	7,068E-5
3	7,673E-5
4	7,714E-5

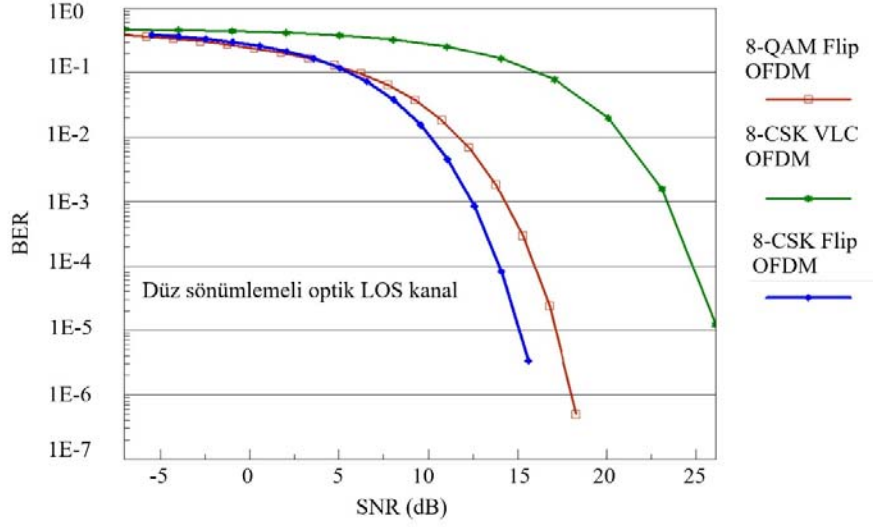
3.1. AWGN Kanal Benzetim Analizi (AWGN Channel Simulations)

Benzetim çalışmalarında öncelikle, M-CSK modüli klasik VLC-OFDM, M-QAM modüli Flip-OFDM [2] ve M-CSK modüli Flip-OFDM dalga formlarının AWGN kanalda SNR'a karşı BER performansları analiz edilmiştir. 1000 Monte Carlo ile ilgili dalga formlarında 1000 paket veri kullanılmıştır. Şekil 2'de bu çalışmada kullanılan dalga formlarının AWGN kanalda 4-CSK ve 4-QAM modülasyonu için bit hata oranı analizleri yapılmış ve karşılaştırılabilir olarak sunulmuştur. Şekil 2 incelendiği zaman, önerilen 4-CSK Flip-OFDM tekniğinin en iyi sonucu verdiği ve $1E-5$ BER seviyesi için klasik 4-CSK-VLC-OFDM'e karşı yaklaşık 10,5 dB SNR ve 4-QAM-Flip-OFDM'e karşı da yaklaşık 1 dB SNR iyileştirmesi sağladığı görülmektedir. Şekil 3'te bu çalışmada kullanılan dalga formlarının AWGN kanalda 8-CSK ve 8-QAM modülasyonu için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir. Şekil 3 incelendiği zaman, önerilen 8-CSK Flip-OFDM tekniğinin her iki yöntemi de geçerek $1E-4$ BER seviyesi için 8-CSK-VLC-OFDM'e karşı başarımlı farkı korunmaktadır. Öte yandan 8-QAM-Flip-OFDM'e karşı da yaklaşık 2,5 dB SNR iyileştirmesi sağladığı görülmektedir.

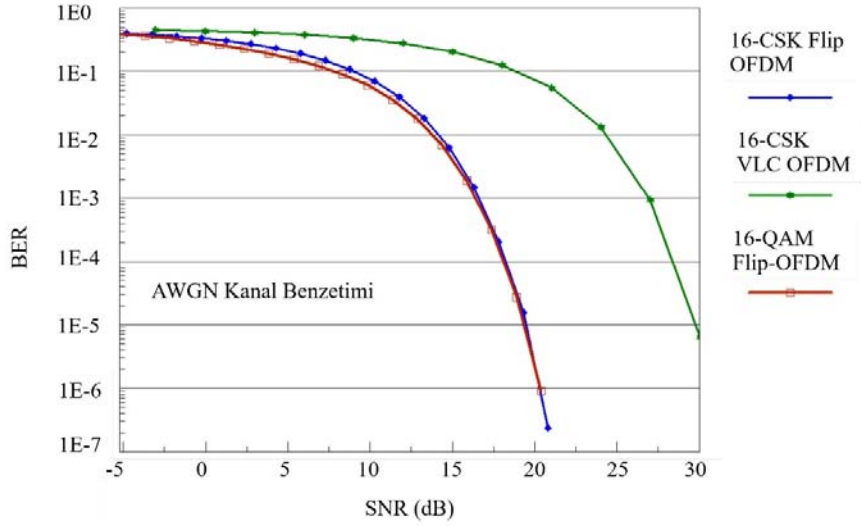
Şekil 4'te bu çalışmada dikkate alınan dalga formlarının AWGN kanalda 16-CSK ve 16-QAM modülasyonu için SNR'a karşı BER değişimi gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiği zaman, önerilen 16-CSK Flip-OFDM ile 16-CSK VLC-OFDM yöntemleri arasındaki başarımlı farkı korunmaktadır. Ancak, önerilen 16-CSK Flip-OFDM ile 16-QAM Flip-OFDM dalga formlarının yaklaşık olarak aynı performansı sağladığı görülmektedir.



Şekil 2. Önerilen 4-CSK Flip-OFDM yöntemi ile klasik yöntemlerin BER karşılaştırması
(BER performances for proposed 4-CSK Flip-OFDM method in comparison with classical methods)



Şekil 3. Önerilen 8-CSK Flip-OFDM yönetimi ile klasik yöntemlerin BER karşılaştırması (BER performances for proposed 8-CSK Flip-OFDM method in comparison with classical methods)



Şekil 4. Önerilen 16-CSK Flip-OFDM yönetimi ile klasik yöntemlerin BER karşılaştırması (BER performances for proposed 16-CSK Flip-OFDM method in comparison with classical methods)

3.2. Düz Sönümlü Optik LOS Kanal Benzetim Sonuçları (Flat Fading Optical LOS Channel Simulation Results)

Analizlerin ikinci bölümünde Tablo 1'de yer alan kanal cevabı değerlerinden düz sönümlü LOS kanal parametrelerinden tek dalın dürtü cevabı kullanılmıştır. Analizler 1000 Monte Carlo için 1000 veri paketi ile tamamlanmıştır.

Şekil 5'te ilgili yöntemlerin düz sönümlü optik LOS kanalda 4-CSK ve 4-QAM modülasyonu için elde edilen bit hata oranı analizleri verilmiştir. Şekil 5'e bakıldığında, Tablo 1'de yer alan kanal cevabı değerlerinden düz sönümlü optik LOS kanal parametrelerinden tek dalın dürtü cevabı kullanılmıştır. AWGN kanal ile LOS kanalın benzer sonuçlar verildiği görülmüştür. Bunun sebebi, düz sönümlü LOS kanallarda [5] vericiyle alıcının birbirlerini görmesi ve aralarında kısa mesafe kullanılmasıdır. Şekil 6'da ilgili sistemlerin düz sönümlü optik LOS kanalda 8-CSK ve 8-QAM modülasyonu için elde edilen bit hata oranı değişimi verilmiştir.

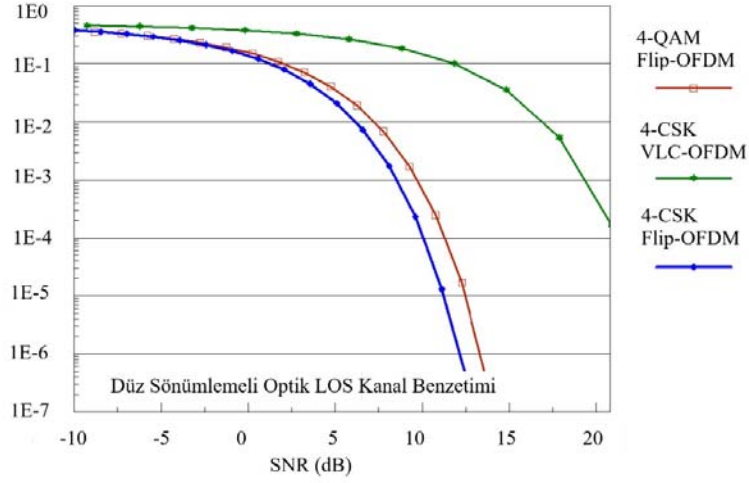
Şekil 6 incelendiğinde, 8-CSK Flip OFDM sistemi ile, klasik metotlara göre (8-CSK OFDM) ve 8-QAM Flip OFDM'e göre daha düşük hata oranları elde edildiği gözlenmektedir.

3.3. Kodlama (Coding)

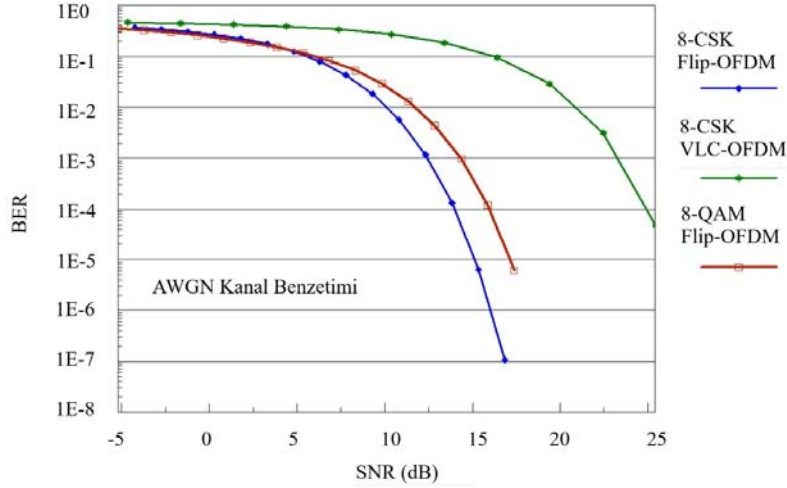
Önerilen yöntemin temel amacı, farklı kodlama teknikleri kullanarak BER performansını belirlemektir. Benzetim çalışmalarında konvolüsyon kodlanmış (CC) ve Reed Solomon kodlanmış (RS) sonuçlar, kodlamasız kanal sonuçları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

3.3.1. Konvolüsyon kodlama (Convolution coding)

Evrişim kodları üç kesin parametre ile temsil edilir, yani (n, k, L) burada n , kodlayıcıda üretilen ve alınan bitlerin sayısına karşılık gelir ve k , kodlayıcıya giden bilgi bitlerinin sayısına karşılık gelir ve L , bellek sayısını temsil eder. Kod oranı $R=k/n$ olarak verilmiştir. Genel olarak, n , 2 ila 10 ve k , 1 ila 8 arasında değişir. Evrişim kodu



Şekil 5. Önerilen 4-CSK Flip-OFDM yönetimi ile klasik yöntemlerin BER karşılaştırması (BER performances for proposed 4-CSK Flip-OFDM method in comparison with classical methods)



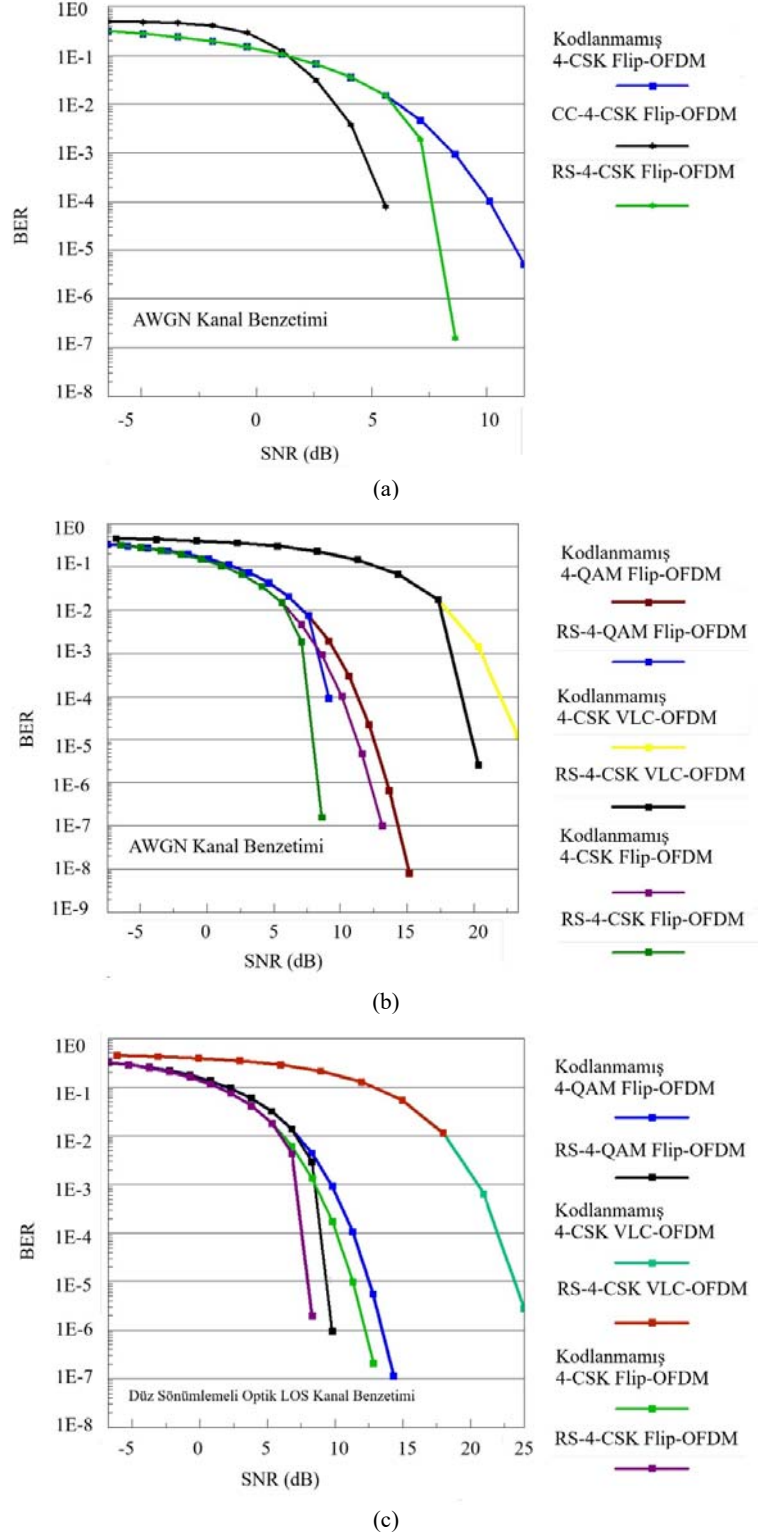
Şekil 6. Önerilen 8-CSK Flip-OFDM yönetimi ile klasik yöntemlerin BER karşılaştırması (BER performances for proposed 8-CSK Flip-OFDM method in comparison with classical methods)

genellikle (n, k, N) parametreleriyle belirtilir, burada $N = k(L-1)$ ve N , kısıtlama uzunluğuna karşılık gelir ve kodlayıcı belleğindeki herhangi bir sayıda bilgi bit akışından etkilenebileceği için n sayıda çıkış bit akışı olarak tanımlanır. Convolution kodunda, Viterbi algoritması, 4 veya 16 gibi iki farklı duruma sahip bir kafes yapısı gösterimi ile kod çözme amacıyla kullanılır. Kod çözme işlemi, hem sabit karar kod çözme hem de yumuşak karar kod çözme ile gerçekleştirilir. 0 veya 1 ikili değerleri, sabit kod çözme tarafından kullanılırken, gerçek değerler yumuşak kod çözme amacıyla kullanılır [7, 8].

3.3.2. Reed solomon kodlama (Reed solomon coding)

İkili olmayan BHC kodları (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Kodları) olarak tanımlanmış Reed Solomon kodları lineer döngüsel kodlar olarak da tanımlanır ve yeni bir hata düzeltme kod sınıfı olarak bilinir [9]. Bunlar genellikle (n, k, t) olarak belirtilir; burada n , maksimum $n = q-1$ olan blok uzunluğuna eşittir, q , Galois alanındaki bileşenlerin sayısını temsil eder ($q=2^m$ olduğunda GF q), burada t , sembole karşılık gelir. Mesaj sembolü $k=n-2t$, sembol sayısının iletimini tanımlar Burada "2t" taraf sembollerinin sayısına karşılık gelir [9]. Burada kod çözme, hem sert hem de yumuşak kod çözme ile

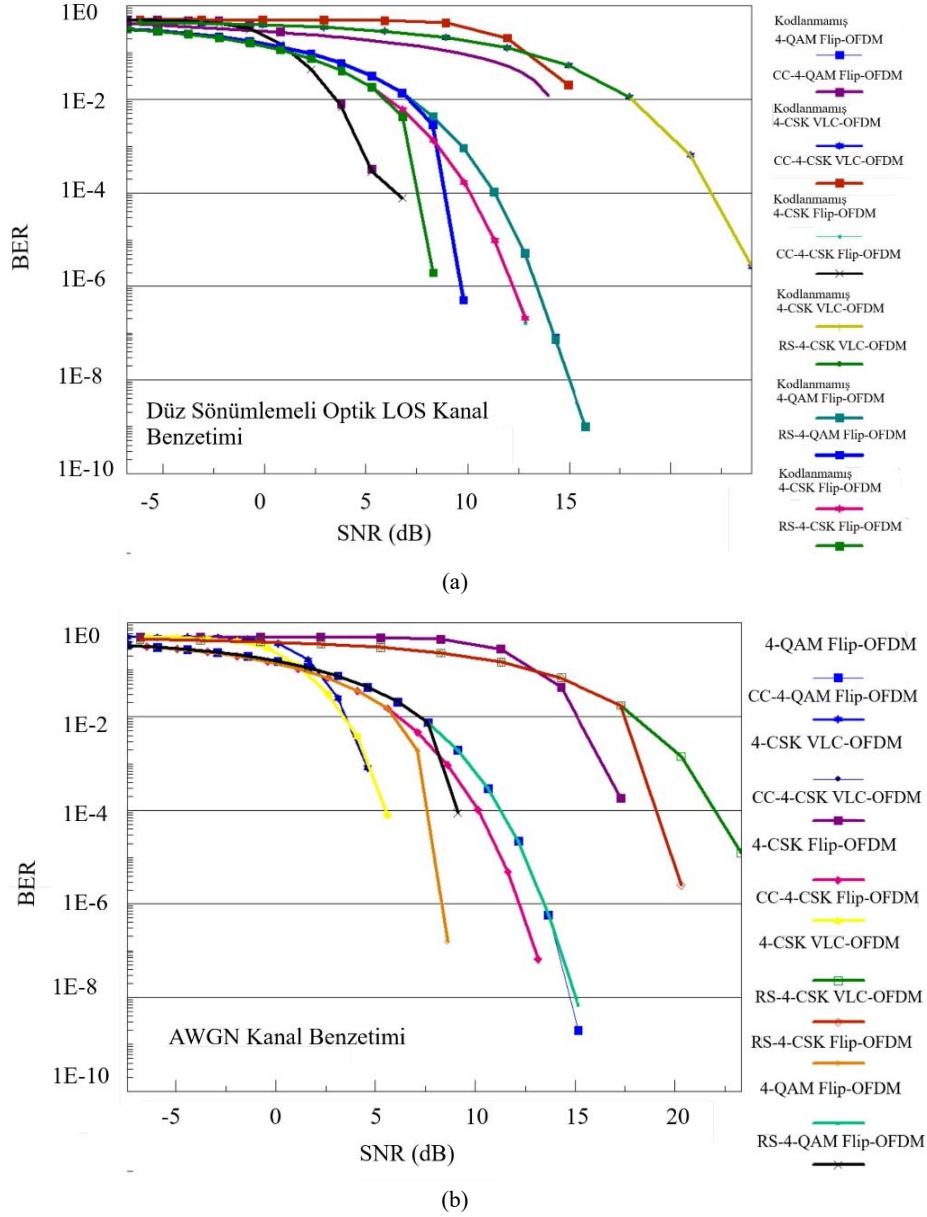
gerçekleştirilir. Yumuşak kod çözme, sert kod çözmeye kıyasla kod çözme işleminin performansını artırır. Kod çözme işleminde, yumuşak kod çözme ve alınan sembollerde herhangi bir hata olup olmadığını düzeltmek için Berlekamp algoritması kullanılır. Reed Solomon kodları yani RS (31, 29) ve RS (31, 27) değerlendirilir. Alıcı taraftaki verileri kurtarmak için yapıya bir kelime senkronizasyonu dahil edilmiştir. RS koduna göre, kod çözücündeki hata düzeltme gücü (t) , $s=29$ bit uzunluk için $t=1$ sembolünü ve 27 bit uzunluk için $t=2$ sembolünü düzeltebilir [10]. Konvolüsyon kodlamada (CC), kafes yapısı ile kod çözme amacıyla Viterbi algoritması kullanılmıştır. CSK demodülasyonunda ise 0 veya 1 ikili değerleri, sabit kod çözme tarafından kullanılmıştır. CC kodlama yapıldığında incelenen dalga formu, RS kodlamasında viterbi bitlerinden daha fazla veri içermesi nedeniyle, yapılan analiz sonuçlarında RS kodlamasına yakın BER iyileştirmesi sağlanmıştır. Şekil 7b ve Şekil 7c sırasıyla AWGN kanalında ve Flat kanalda Flip-OFDM ve CSK-OFDM için BER performansını göstermektedir. 10^{-5} BER tabanı dikkate alındığında, AWGN kanalında yaklaşık 13dB, Flat kanalda ise yaklaşık 17dB SNR kazancına ulaşılmaktadır. Genel olarak kodlanmış ve kodlanmamış sistem sonuçları sırasıyla artan modülasyon order ($M=4$ ve $M=8$) için Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 7. Kodlanmamış ve kodlanmış AWGN kanalda (a) AWGN kanalda 4-QAM modülasyonu ile (b) Düz Sönümlenmeli Optik LOS kanalda(c) BER analiz sonuçları (Coded and uncoded BER results over AWGN channel (a) 4-QAM modulation over AWGN channel (b) and Flat Fading over Optical LOS channel(c) performance results)

Bu aşamada çalışmaya Reed–Solomon code (RS) ile Convolutional Code(CC) eklenmiş olup, elde edilen sonuçlar daha önce yapılan BER analizlerinde olduğu gibi $M=4$ ve $M=8$ için M-CSK-FLIP-OFDM başarımlarında kodlanmamış dalgaformu başarımları ile

karşılaştırılmaktadır. Şekil 8 ve Şekil 9'da verilen sonuçlar incelendiğinde, M-CSK Flip-OFDM'nin Reed Solomon kanal kodlu şema ile BER hesaplamasının, kodlanmamış sistemlere kıyasla daha iyi SNR kazancı sağladığı açıktır. RS kanal kodlayıcı kullanımı ise



Şekil 8. 10000 monte-carlo iterasyon için, Düz Sönümlmeli Optik Los kanal (a) ve AWGN kanal (b) için 4-QAM ve 4-CSK modülasyon BER sonuçları, (BER results using 10000 monte-carlo run for Flat channel(a) and AWGN channel(b) with 4-QAM and 4-CSK modulations)

Şekil 9a'da görüldüğü üzere, önerilen yöntemin performansını daha iyileştirmiş ve kodlamasız sistemlere göre artan modülasyon derecesinde dahi 8-QAM modülasyonunda kodlamasız dalga formu ile karşılaştırıldığında 10^{-4} hata tabanında 10dB SNR kazancı sağlamıştır.

4. PAPR Simülasyon Sonuçları (PAPR Simulation Results)

Bu aşamada benzetim çalışmaları VLC-OFDM, Flip-OFDM [6] ve önerilen metota ait PAPR sonuçları karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçları ilgili 1000 sembol için 16-CSK ve 16-QAM modülasyonları kullanılarak elde edilmiştir (Eş. 5).

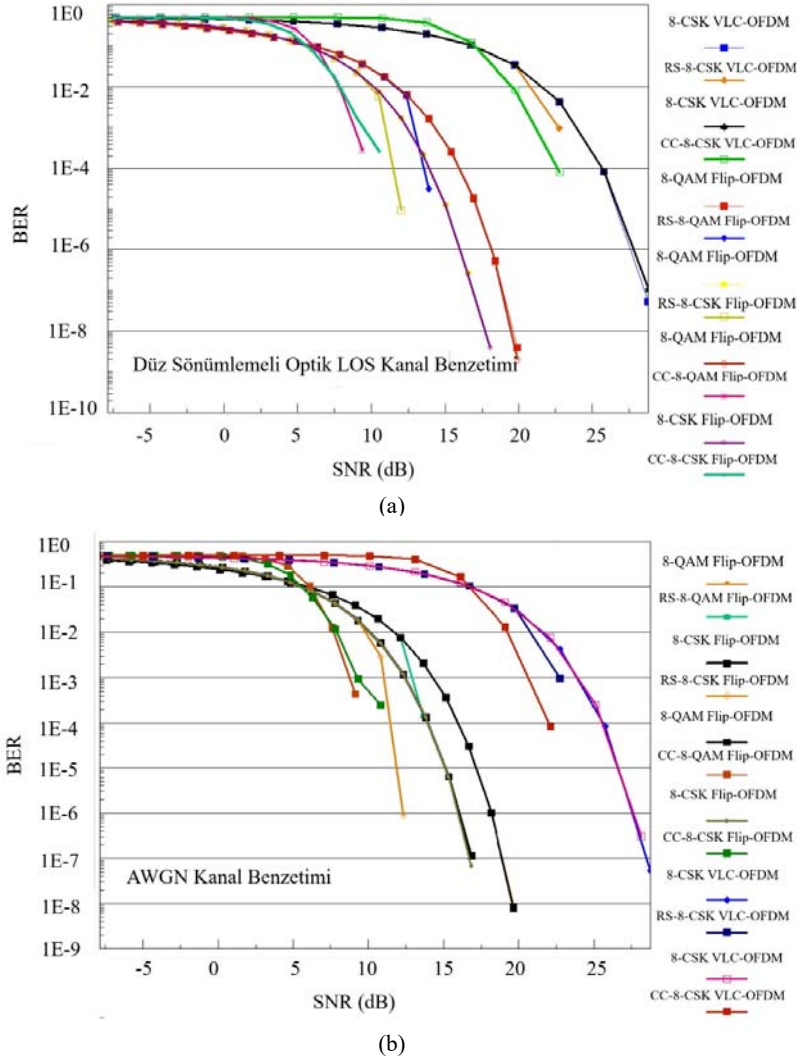
$$PAPR_{dB} = 10 \log_{10} \left[\frac{\max |Z(t)|^2}{E[|Z(t)|^2]} \right] \quad (5)$$

2308

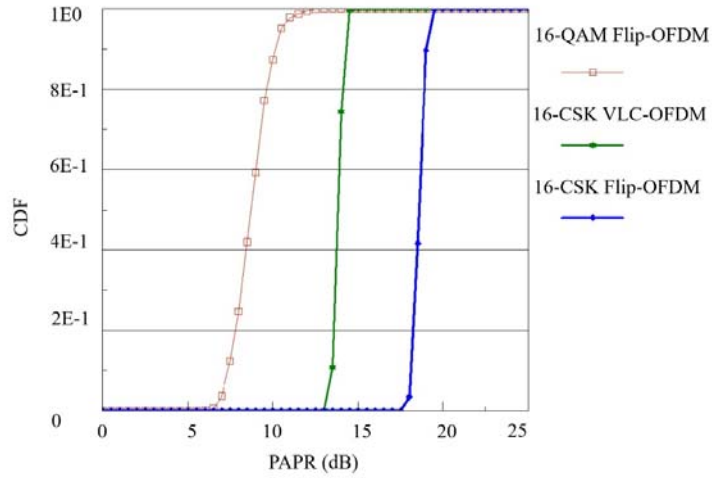
Burada, $Z(t)$ gönderilen sinyal $E[|Z(t)|^2]$ ise istatistiksel ortalamayı göstermektedir. Bu çalışmada, PAPR başarımları, PAPR'ın kümülatif dağılım fonksiyonu (Cumulative Distribution Function, CDF) ile hesaplanmaktadır. $PAPR_0 > 0$ referans seviyesi göz önüne alındığında, $PAPR_{dB}$ 'nin referans değerinden daha yüksek olması olasılığı CDF ile belirlenir ve aşağıda verilen Eş. 6'daki gibi ifade edilir:

$$CDF(PAPR_0) = Pr\{PAPR_{dB} > PAPR_0\} \quad (6)$$

Şekil 10 incelendiğinde, en iyi performansın 16-QAM modülasyonunun kullanıldığı Flip-OFDM ile ve en kötü performansın ise önerilen 16-CSK Flip-OFDM yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan PAPR başarımlarında önerilen tekniğin performansının BER performansı kadar iyi olmadığı gözlenmiştir. Bu durumda ödünleşim problemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 9. 10000 monte-carlo iterasyon için Flat kanalda(a) ve AWGN kanalda(b) 8-QAM ve 8-CSK modülasyonlarında BER analizi sonuçları (BER results for 8-QAM and 8-CSK for Flat channel (a) and AWGN channel(b) using 10000 monte-carlo run)



Şekil 10. Klasik VLC-OFDM, Flip-OFDM ve önerilen M-CSK Flip-OFDM yöntemlerinin PAPR karşılaştırılması (PAPR Comparison of classical VLC-OFDM, Flip-OFDM and proposed M-CSK Flip-OFDM methods)

5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, optik kablosuz iletişim sistemleri için Flip-OFDM'in titreşim problemi olmayan M-CSK modülasyonu ile birleştirilen yeni bir yöntem kullanılmıştır. Önerilen M-CSK Flip-OFDM yöntemi ile klasik VLC-OFDM ve Flip-OFDM [7] yöntemleri BER-SNR ve PAPR performans ölçütleri üzerinden karşılaştırılması yapılmış olup önerilen teknikte 10^{-5} BER seviyesi için Flip-OFDM'den yaklaşık olarak 2,5 dB ve klasik OFDM'den de yaklaşık olarak 10,5 dB daha fazla SNR kazancı elde edilmesi çalışmayı ilgi çekici hale getirmiştir. Önerilen CSK-Flip OFDM sistem, RS kodlama ile, QAM-OFDM ve QAM-FLIP-OFDM sistemlerinden kodlamasız sisteme göre yaklaşık 13dB ile 17dB kadar SNR kazancı sağladığı ortaya konulmuştur. PAPR başarımlarında en iyi performansın 16-QAM modülasyonunun kullanıldığı Flip-OFDM ile ve en kötü performansın ise önerilen 16-CSK Flip-OFDM yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Daha önce literatürde yer alan yöntemlerden [8-11] farklı olarak önerilen yöntem, hem kodlama içermesi hem de BER-SNR performans iyileştirmesi açısından yeni nesil optik iletişim teknolojilerinde umut verici bir yaklaşımdır.

Kaynaklar (References)

1. Bilbay Ö., Cengiz C., Akıllı A. H., Sert S., Özen A., Improving the Performance of Flip OFDM Systems for Visible Light Communication Systems, IEEE 28. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Gaziantep-Türkiye, 1-4, 5-7 Ekim, 2020.
2. Durukan F., Güney B. M., Özen A., Performance Analysis of Color Shift Keying Systems in AWGN and Color Noise Environment, IEEE 27. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Sivas-Türkiye, 1-4, 24-26 Nisan, 2019.
3. IEEE Local ve Metropolitan Alan Ağları Standardı, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6016195>, Eylül 2011, Erişim Tarihi Şubat 16, 2023.
4. Monteiro E., Hranilovic S., Desing and Implementation of Color-Shift Keying for Visible Light Communications, Journal of Lightwave Technology, 32 (10), 2053-2060, 2014.
5. Miramirkhani F., Uysal M., Channel Modeling and Characterization for Visible Light Communications, IEEE Photonics Journal, 7 (6), 1-17, 2015.
6. Rakhi K. J., Jayakumari J., Design of Flip-OFDM System for Optical Wireless Communication, IEEE International Conference on circuits Power and Computing Technologies, Kollam-Hindistan, 1-4, 20-21 Nisan, 2017.
7. Tekin M., Savaşçıhabes A., Ertuğ Ö., M-CSK-Flip OFDM for Visible Light Communication Systems, IEEE 44th International Conf. on Telecommunications and Signal Processing, Brno-Çek Cumhuriyeti, 106-109, 26-28 Temmuz, 2021.
8. Moloi N., Ouahada K., Zhu H., Performance Analysis for Reed Solomon Codes and Bose Chaudhuri-Hocquenghem Codes in Digital Image Watermarking, IEEE Africon Konferansı, Accra-Gana Cumhuriyeti, 1-4, 25-27 Eylül, 2019.
9. Uryvsky L. A., Pieshkin A. M., The Reed-Solomon codes analysis technique on the optimum block codes ground in the channel with white noise, International Conference Radio Electronics & Info Communications Konferansı, Kiev-Ukrayna, 1-3, 11-16 Eylül, 2016.
10. Wicker S. B., Bhargava V. K., Soft Decision Decoding of Reed-Solomon Codes, Reed-Solomon Codes and Their Applications IEEE, Cilt 6, Wiley-IEEE Press, New Jersey, 108-124, 1994.
11. İlkhan M., Canbolat A., Özen A., Experimental Evaluation of Carrier Frequency Offset Tracking Performance in Single Carrier WiMAX (IEEE 802.16-2004) Radio, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 26 (3), 515-521, 2011.