



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Görünür ışık haberleşme sistemleri için karartma kontrol biti kullanılarak geliştirilmiş bir iletim yönteminin analizi

## *Analysis of an improved transmission method by using the dimming control bit for visible light communication systems*

*Yazarlar (Authors): Kubilay Muhammed SÜNNETCİ<sup>1</sup>, Mehmet SÖNMEZ<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-3500-5640*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-6025-3734*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Sünnetçi K. M., Sönmez M. "Görünür ışık haberleşme sistemleri için karartma kontrol biti kullanılarak geliştirilmiş bir iletim yönteminin analizi", *Politeknik Dergisi*, 24(4): 1365-1377, (2021).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.708426

# Görünür Işık Haberleşme Sistemleri İçin Karartma Kontrol Biti Kullanılarak Geliştirilmiş Bir İletim Yönteminin Analizi

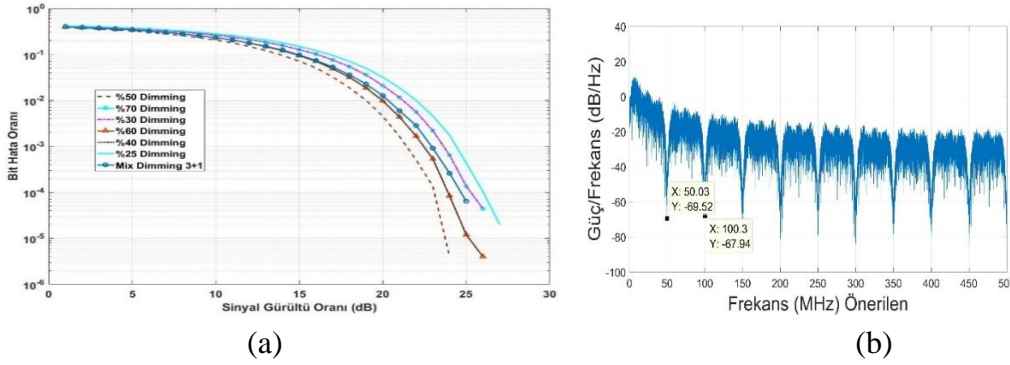
## Analysis of An Improved Transmission Method by Using the Dimming Control Bit for Visible Light Communication Systems

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Spektral verimliliğin artırılması / Increasing the spectral efficiency
- ❖ Bit hata oranı performansı için benzetim sonuçları / Simulation results for bit error rate (BER) performance
- ❖ Önerilen sistemin güvenilir görüntü iletiminde kullanılması / Using the proposed system in reliable image transmission process

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Önerilen sistemin, bit hata oranı performansının ve bant genişliği verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Sonuçlar verilen şekilde görülmektedir / It's aimed to increase the BER performance and bandwidth ediciency of the proposed system.



Şekil. Önerilen sistem ve geleneksel sistemin bit hata performansları ve spektral verimlilik açısından karşılaştırılması / Figure. Comparison of the proposed and traditional system in terms of BER performance and spectral efficiency

### Amaç (Aim)

Çalışmanın amacı, önerilen sistemin bit hata oranı performansının ve bant genişliği verimliliğinin artırılmasıdır. / The aim of the study is that it's increased in proposed system in terms of BER performance and bandwidth efficiency.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Yapılan çalışmanın detaylı teorik yapısı oluşturulmuştur ve bilgisayar ortamında benzetim sonuçları alınmıştır. / In the study, detailed theoretical structure has been established and simulation results have obtained in computer environment.

### Özgünlük (Originality)

Önerilen sistemin bant genişliği verimliliğinin artırılması ve kriptoloji işleminde kullanılması / Increasing the bandwidth efficiency of the proposed system and using it in the cryptology process.

### Bulgular (Findings)

Karartma kontrol biti sayesinde, önerilen sistemin güvenli görüntü iletiminde kullanılabileceği ve bant genişliği verimliliğini artırabileceği öngörülmüştür. / Thanks to the dimming control bit, it has envisaged that proposed system can be used for secure image transmission and can be increased the bandwidth efficiency.

### Sonuç (Conclusion)

Önerilen mimarinin bit hata oranı performansı, %25, %75, %30, %70 karartma seviyeli sinyallerinkinden daha iyidir. Ayrıca bant genişliği verimliliği %25-%30-%60-%70-%75 karartma seviyeli sinyallerden daha iyi çıkmaktadır. / The BER performance of the proposed architecture is better than 25%, 75%, 30%, 70% dimming level signals. Besides, bandwidth efficiency is better than 25%, 30%, 60%, 70%, 75% dimming level signals.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Görünür Işık Haberleşme Sistemleri için Karartma Kontrol Biti Kullanılarak Geliştirilmiş Bir İletim Yönteminin Analizi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Kubilay Muhammed SÜNNETÇİ\*, Mehmet SÖNMEZ**

Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye  
(Geliş/Received : 24.03.2020 ; Kabul/Accepted : 29.05.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 01.06.2020)

## ÖZ

Yapılan çalışmada Görünür Işık Haberleşme (Visible Light Communication, VLC) sistemleri için, değiştirilebilir karartma seviyeli darbe konum modülasyonu (Variable Pulse Position Modulation, VPPM) tekniğinin sinyal özellikleri kullanılarak yeni bir iletim şeması önerilmiştir. Geleneksel sistem bir bilgi biti ile bir sinyali kodlarken, önerilen sistem dört bilgi biti ile üç farklı sinyali kodlamaktadır. Bu çalışmada, karartma seviyesi kontrol biti olarak adlandırılan bit sayesinde, geleneksel sisteme göre daha iyi spektral verimliliğe sahip bir sinyal üreten modülatörün geliştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen modülatör dört adet bilgi biti ile sırasıyla %25-%50-%75 veya %75-%50-%25 karartma seviyeli sinyalleri üretmektedir. %25 ve %75 karartma seviyeli sinyallerin kontrolü, karartma seviyesi kontrol biti ile sağlanmıştır. Benzetim sonuçlarından, önerilen yapının %40, %50 ve %60 karartma seviyeli sinyallerin haricindeki sinyallere (%25, %30, %70 ve %75) göre, hem bit hata oranı hem de spektral verimlilik açısından daha iyi bir performans verdiği görülmüştür. Ayrıca önerilen yapıda karartma seviyesi kontrol bitinin %25 ve %75 karartma seviyeli sinyallerin konumunu kodlaması nedeniyle, önerilen yöntem güvenli görüntü iletişimine uygulanmıştır. Uygulamada geleneksel yapıda alıcı tarafta kullanılan demodülatörün karartma seviyesi bilgisi %100 olarak kabul edilmiş olmasına rağmen, geleneksel sistem karartma kontrol bitlerini çözemediği için, bilgi bitlerini %25 eksik olarak elde etmiştir. Ayrıca, hem önerilen alıcı hem de önerilen verici için ayrıntılı bir teorik altyapı oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bit hata oranı, değiştirilebilir darbe konum modülasyonu, görüntü iletimi, görünür ışık haberleşmesi, karartma seviyesi.

## Analysis of An Improved Transmission Method by Using the Dimming Control Bit for Visible Light Communication Systems

### ABSTRACT

In the study, a new transmission scheme has been proposed for visible light communication (VLC) systems using the signal features of variable pulse position modulation (VPPM) technique. The proposed system encodes three different signals according to four information bits while the traditional system encodes one signal by one information bit. In this study, it is aimed to develop a modulator to produce a signal which has a better spectral efficiency than the traditional system thanks to a bit that is called as dimming level control bit. By using four message bits, the proposed modulator generates the signals of which dimming levels are %25-%50-%75 or %75-%50-%25, respectively. The dimming level control bit provides the controlling of 25% and 75% dimming level signals. From the simulation results, it has been observed that proposed structure has performed better compared to signal (25%, 30%, 70% and 75%) with respect to both bit error rate and spectral efficiency instead of 40%, 50% and 60% dimming signals. Moreover, the proposed method has been applied to secure image communication since the dimming level control bit encodes the position of 25% and 75% dimming levels in the proposed structure. For traditional system, the message bits are obtained as 25% missing due to the fact that the system can not decode dimming control bits, although the dimming level knowledge of the demodulator at receiver side has been considered as 100%. In addition, a detailed theoretical infrastructure has been established for both the proposed receiver and transmitter.

**Keywords:** Bit error rate, variable pulse position modulation, image transmission, visible light communication, dimming level.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son zamanlarda, mobil cihazlar ve kablosuz servislerde meydana gelen talep artışı, radyo frekans tabanlı teknolojileri oldukça popüler hale getirmiş bulunmaktadır. Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi,

iletişim kalitesinin hızlı bir şekilde artmasını sağlarken, radyo frekans (Radio Frequency, RF) bantlarının da hızlı bir şekilde dolmasına neden olarak, RF tabanlı sistemlerde kullanıcılara tahsis edilen bantın sınırlarını zorlamaktadır. Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişimine devam ettiği göz önünde bulundurulursa, gelecek nesil haberleşme sistemlerinde kullanıcılara bant tahsis etmenin oldukça zor olduğu görülmektedir [1-2]. Wi-Fi

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : kubilaysunnetci@osmaniye.edu.tr

spektrum çöküşü olarak adlandırılan bu durumun çözülmesi için, yeni teknolojiler arasında görünür ışık haberleşme sistemleri büyük bir potansiyele sahiptir.

Ayrıca görünür ışık haberleşme sistemleri, veri iletimi için herhangi bir lisans kaynağına ihtiyaç duymamaktadır [3]. Görünür ışık spektrumuna olan ilginin artması nedeniyle de Li-Fi teknolojisi üzerine olan araştırmalar da hızlı bir şekilde gelişmeye devam etmektedir [4].

Görünür ışık haberleşme sistemlerinin araştırmacılar tarafından yoğun bir çalışma konusu olması nedeniyle, birçok veri iletim yöntemi bu teknoloji için, uygulanmaya başlanmıştır. Aç-Kapa Anahtarlama tekniği, basit yapısı sayesinde, en temel modülasyon yöntemlerinden birisidir. Ancak, hareketli bir kullanıcı için kullanılması durumunda alıcı tarafta bir eşik değeri tahmin yönteminin kullanılması gereklidir. Darbe konum modülasyonu (Pulse Position Modulation, PPM), aç kapa anahtarlama (On Off Keying, OOK) yöntemi için, tanımlanan eşik değeri hesaplama yöntemine ihtiyaç duyulmadan bilgi bitlerinin tahminini gerçekleştirmektedir. Hareketli kullanıcılar için oldukça verimli çalışması nedeniyle, PPM yöntemi geliştirilerek, PPM tabanlı birçok iletim şeması önerilmiştir. Bu yöntemlerden birisi VPPM olarak literatürde yer almaktadır. Yapılan bir çalışmada VPPM yöntemi; Değiştirilebilir karartma seviyeli aç-kapa anahtarlama (Variable On Off Keying, VOOK) ve çoklu darbe konum modülasyonu (Multiple Pulse Position Modulation, MPPM) yöntemleri ile normalize edilmiş güç ve spektral verimliliği açısından incelenmiştir [5]. Yapılan çalışmada benzetim sonuçlarından ve teorik analizden, VOOK yönteminin spektral verimlilik açısından performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak, gerekli olan güç bakımından VOOK ve VPPM yöntemlerinin eşit performansta olduğu görülmüştür. MPPM yönteminin ise diğer tekniklere göre hem normalize edilmiş güç hem de spektral verimliliği açısından daha iyi bir performans verdiği görülmüştür. Yapılan bir başka çalışmada ise yeni bir yöntem geliştirilerek hem farklı renklerde ışık yayan diyotların (Light Emitting Diode, LED) kullanılması hem de VPPM yönteminin kullanılması sağlanmıştır. Önerilen yöntem sayesinde hem renklerin hem de karartma seviyelerinin kontrol edilmesi sağlanmıştır [6].

Hibrit bir modülasyon yöntemi olan Değiştirilebilir Darbe Genlik ve Konum Modülasyonunun (Variable Pulse Amplitude and Position Modulation, VPAPM) önerildiği bir çalışmada; PPM, darbe genlik modülasyonu (Pulse Amplitude Modulation, PAM) ve darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation, PWM) yöntemlerinin kullanılmasıyla çoklu veri iletiminin sağlanması amaçlanmıştır. Önerilen yöntem  $M=2$  için bant genişliği verimliliği açısından VOOK ile aynı performansta çalışırken, VPPM yöntemine göre daha iyi bir performans vermektedir. VPAPM daha yüksek dereceli iletimlerinde ise bant genişliği verimliliğinin diğer modülasyon yöntemlerine göre arttığı izlenmiştir [7]. VPPM yönteminin donanımsal bir tasarımında, gönderilen gücü artırmak amacıyla akım

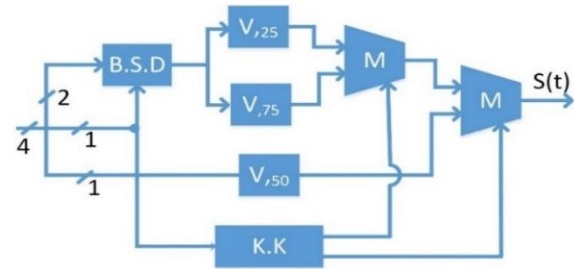
kontrollü bir LED verici devresi tasarlanmıştır. Tasarlanan devrede veri iletim oranı yaklaşık olarak 2.2kb/s olarak elde edilmiş olup, devre çok çıkışlı LED mimarisi olarak tasarlanmıştır [8]. Bir başka çalışmada ise VPPM'in farklı veri hızlarındaki performansı izlenmiştir. Çalışmada LED karartma seviyesi, %10 ve %90 aralığında değiştirilerek sistemin performansı dağınık kanallar üzerinde analiz edilmiştir [9].

Bu çalışmada, görünür ışık haberleşme sistemleri için, farklı değiştirilebilir karartma seviyeleri kullanılarak yeni bir iletim protokolü öne sürülmüştür. Karartma kontrol bitinin iletimi farklı karartma seviyeli sinyallerin konumu değiştirilerek sağlanmıştır. Önerilen sistem ile geleneksel VPPM sisteminin, bit hata oranı ve güç spektral yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Önerilen sistem hem spektral verimlilik hem de bit hata oranı açısından, %25-%30-%60-%70-%75 karartma seviyeli geleneksel VPPM tabanlı sistemlere göre daha iyi bir performans vermiştir. Ayrıca önerilen sistemin görünür ışık haberleşme sistemlerinde güvenli görüntü iletimine de uygulanabilir olduğu görülmüştür.

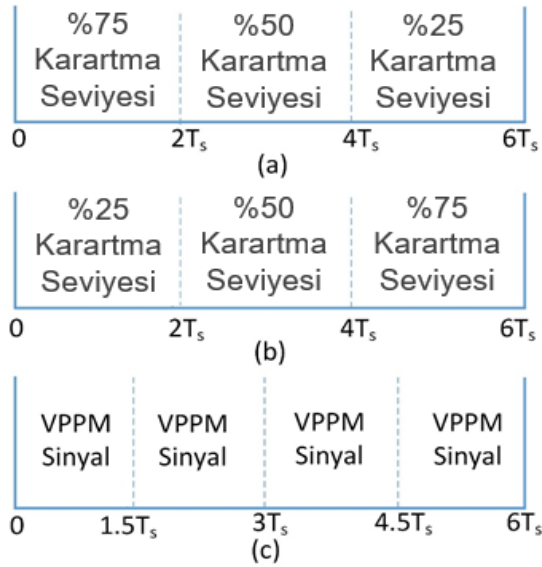
## 2. ÖNERİLEN SİSTEM İÇİN VERİCİ BİRİM (TRANSMITTER UNIT FOR THE PROPOSED SYSTEM)

Herhangi bir modülasyon yöntemi için en önemli parametreler; güç tüketimi, gönderilen ve alınan veriler arasındaki farklar ve veri hızı olarak sıralanabilir. Yapılan çalışmada, önerilecek sistem ile geleneksel sistem arasındaki karşılaştırmalar, veri iletim oranı ve spektral verimlilik üzerine yapılmıştır. Bit periyodu süresi  $2T_s$  olan bir geleneksel sistem,  $8T_s$  süresince dört (4) adet kodlanmış VPPM sinyali göndermektedir [9]. Ancak önerilen sistemde  $6T_s$ 'lik sürede 4 adet bilgi sinyalinin iletimi, üç (3) adet kodlanmış VPPM sinyali ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem ile modülasyonlu sinyalin spektral verimliliği artırılarak kullanılan haberleşme kanalının daha verimli kullanılması amaçlanmaktadır.

Önerilen sistemin, 4 bilgi biti kullanılarak kodlanmış olan üç periyodluk ancak toplam periyod süresi geleneksel sistem ile eşit ve  $6T_s$  olan modülasyonlu sinyal, bilgi bitlerinden bir (1) tanesinin farklı karartma seviyelerinin gücünü kodlamasıyla üretilmektedir. Kodlama aşamasında kullanılacak olan karartma seviyeleri, %25 ve %75 karartma seviyeleridir. Önerilen sistemin blok diyagramı Şekil-1'de görüldüğü gibidir.

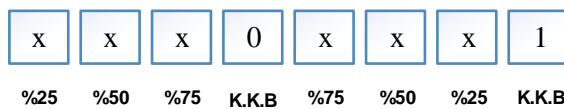


Şekil 1. Önerilen sistem için modülatör blok diyagramı (The modulator block diagram for the proposed system)



**Şekil 2.** Önerilen iletim şeması ve geleneksel VPPM yöntemi için modülasyonlu sinyallerin zamana göre değişimi. (a)  $d_{4n}=1$  için önerilen iletim şeması (b)  $d_{4n}=0$  için önerilen iletim şeması (c) Geleneksel VPPM şeması (The changing of modulated signals with respect to time for proposed transmission scheme and traditional VPPM (a)The proposed transmission system for  $d_{4n}=1$  (b) The proposed transmission system for  $d_{4n}=0$  (c) Traditional VPPM scheme)

Şekil 1'de B.S.D ve K.K sırasıyla Bit Sıra Düzenleyici ve Karartma seviyesi Kontrol bloğu olarak tanımlanmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi B.S.D bloğu bir bit ile kontrol edilirken girişine iki bit uygulanmıştır. Ayrıca B.S.D bloğunu kontrol eden bit K.K bloğunun kontrol sinyalini üretmesinde kullanılmaktadır. Bu bit iletilecek olan sinyalin karartma seviyesini kodlamaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada bu bit karartma seviyesi kontrol biti olarak adlandırılmaktadır. Aynı zamanda, üç bit periyodu süresinde %25 ve %75 karartma seviyeli sinyallerin, hangi bit periyodları içerisinde iletmesi gerektiğini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Önerilen tasarımda %50 karartma seviyeli sinyal ikinci bit iletim periyodunda iletilmektedir. Önerilen şema ile geleneksel sistemin çıkış sinyallerinin zamana göre değişimi Şekil-2'de görüldüğü gibidir.



**Şekil 3.** Karartma kontrol biti durumuna göre, iletilen veri paketleri için karartma seviyeleri (Dimming levels for packets of transmitted data according to dimming control bit condition)

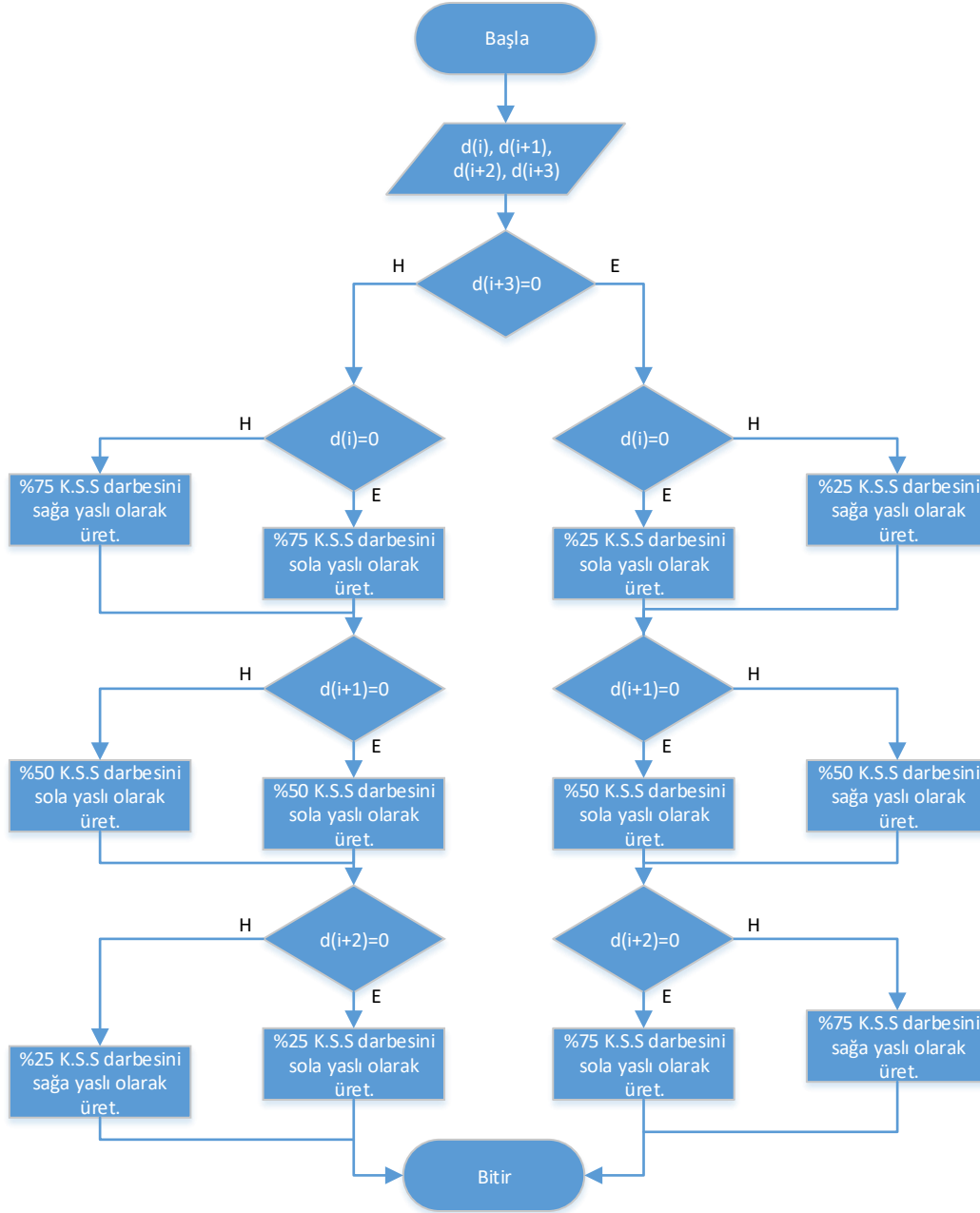
Şekil 2'de VPPM yöntemi için, sinyallerin zamana göre değişimleri verilmektedir. Şekil 2.a ve Şekil 2.b'de önerilen sistemin, üretilen sinyaller için zaman eksenini

üzerindeki değişimleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, karartma seviyesi kontrol bitinin durumu, birinci ve üçüncü periyottaki sinyaller için, iletilecek optik gücün durumunu belirlemektedir. Şekil 2.c'de ise geleneksel sistem için sinyal durumları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi aynı sürede iki teknikte de dört (4) bilgi sinyali iletilyorken, önerilen sistemde aynı sürede üç (3) adet farklı sinyal gönderilmektedir.

Şekil 3'te iletilen iki grup verilerinin, karartma kontrol bitleri ile iletimi gösterilmiştir. Ayrıca şekilde K.K.B, karartma kontrol biti olarak ifade edilmiştir. Paket verilerin mantıksal 0 ya da mantıksal 1 olma durumları, karartma kontrol biti durumunu etkilemediğinden dolayı, paket verileri "x" olarak gösterilmiştir. Şekil 3'te gösterildiği gibi, karartma kontrol bitinin mantıksal '0' olduğu durumda, paket verilerin birincisi %25 karartma seviyeli, ikincisi %50 karartma seviyeli, üçüncüsü ise %75 karartma seviyeli sinyal ile iletilmektedir. Karartma kontrol bitinin mantıksal '1' olması durumunda ise, iletilecek olan üçlü paket veriler için, ilk sinyalin %75 karartma seviyesine, ikinci sinyalin %50 karartma seviyesine, üçüncü sinyalin ise %25 karartma seviyesine sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 1'de, şekil 2 için bir doğruluk tablosu verilmiştir. Çizelgede sinyal sırası  $d_{4n}$  (karartma seviyesi kontrol biti) bitinin durum değişikliği için, sinyal sırasındaki değişim verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi,  $d_{4n}$  değişimi %50 karartma seviyeli sinyalin konumunu etkilememektedir. Çizelgeden, karartma kontrol bitinin 0 olması durumunda, birinci sinyalin %25, ikinci sinyalin %50, üçüncü sinyalin %75 karartma seviyelerine sahip olduğu görülmektedir. Karartma kontrol bitinin 1 olduğu durumda ise, sırasıyla birinci ikinci ve üçüncü verilerin %75-%50-%25 karartma seviyelerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca paket halindeki üç verinin bit durumu (0-1), karartma kontrol bitini etkilememektedir.

**Çizelge 1.** Veri bitlerine göre iletilecek olan sinyal için doğruluk tablosu (The truth table for transmitted signal according to data bits)

$d_{4n-3}$	$d_{4n-2}$	$d_{4n-1}$	$d_{4n}$	Sinyal Sırası
0	x	0	0	$V_{25,0}-V_{50,x}-V_{75,0}$
0	x	0	1	$V_{75,0}-V_{50,x}-V_{25,0}$
0	x	1	0	$V_{25,0}-V_{50,x}-V_{75,1}$
0	x	1	1	$V_{75,0}-V_{50,x}-V_{25,1}$
1	x	0	0	$V_{25,1}-V_{50,x}-V_{75,0}$
1	x	0	1	$V_{75,1}-V_{50,x}-V_{25,0}$
1	x	1	0	$V_{25,1}-V_{50,x}-V_{75,1}$
1	x	1	1	$V_{75,1}-V_{50,x}-V_{25,1}$



Şekil 4. Önerilen sistem için modülör akış diyagramı (The flow diagram of modulator for the proposed system)

Şekil 4'te verilen akış diyagramında, önerilen sistemin modülasyon aşaması gösterilmiştir. Dördüncü verilere göre, sinyallerin karartma seviyelerinin nasıl değiştiği, akış diyagramında ki verilere işlenmiştir.  $d(i)$  ve  $d(i+2)$  karşılaştırma yapılan karartma seviyeli sinyalleri ifade etmektedir. Önerilen sistemde bu iki sinyalin ya %25 ya da %75 karartma seviyesine sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca bu iki veri, karşılaştırma işleminde kullanılmaktadır.  $d(i+1)$  ifadesi ise ikinci sırada gönderilecek olan veriyi temsil etmektedir.

$d(i+3)$  ifadesi her üç bitte iletilmesi planlanan karartma kontrol bitini ifade etmektedir. K.S.S, karartma seviyeli sinyal olarak ifade edilmektedir. Ayrıca paket verilerinin mantıksal 0 ya da 1 olması durumlarına göre, sinyal

darbelerinin sağa ya da sola yaslı olarak üretilmesi gerektiği gösterilmiştir. Her bir kademe geçişi arasında bulunan paket içerisindeki veri sinyallerinin, ayrı ayrı toplanması gerektiği gibi, modülasyon aşamasının sonunda, gelen her üçlü paket veri toplanarak ana sinyal elde edilmesi gerekmektedir.

## 2.1 ÖNERİLEN VERİCİNİN TEORİK ANALİZİ (THEORETICAL ANALYSIS OF THE PROPOSED TRANSMITTER)

Bu bölümde önerilen verici için teorik analiz gerçekleştirilerek, yeni iletim şemasının matematiksel ifadeleri elde edilmiştir. Oluşturulan matematiksel analiz yöntemleri, sistemin pratik uygulanmasına altyapı

oluşturmaktadır. Bu nedenle önerilen yöntemin teorik analizi bu çalışmada oldukça büyük bir öneme sahiptir [5]- [10]. Geleneksel %a karartma seviyeli VPPM modülasyonlu sinyal için, ifade edilen açıklama Eşitlik 1'de verildiği gibidir. Sinyalin 0 ve

$$VPPM(t) = V_m \sum_{k=1}^N \left[ \Pi \left( \frac{t - (2k - (2 - x))T_s}{x \cdot 2T_s} \right) (1 - d_k(t)) + \Pi \left( \frac{t - (2k - x)T_s}{x \cdot 2T_s} \right) (d_k(t)) \right] \quad (1)$$

Eşitlik 1'de,  $d_k(t)$  sinyali bilgi bitlerinin mantıksal seviyesini, N iletilen veri sayısını göstermektedir. Sinyal darbesinin sağa ya da sola yaslı olması durumu, x ve (2-x) ile sağlanmaktadır. Eşitlikte k ve  $V_m$  değerleri sırasıyla, VPPM sinyalin sırasını ve LED'i süren sinyalin genliğini ifade etmektedir. Ayrıca denklem 1'de  $2T_s$  bir bit periyodunu ifade etmektedir. Önerilen sistem de ise; karartma kontrol bitinin mantıksal '1' veya mantıksal '0' olması nedeniyle, sistemin 2 ayrı durumda incelenmesi gerekmektedir.

Durum 1.

İletilen karartma kontrol biti 1 ise,

$$e_n(t) = d_{4n} = 1, \quad n \in Z^+ \quad (2)$$

Karartma kontrol bitinin 1 olduğu durumun ifadesi, eşitlik 2'de verilmiştir.  $d_{4n}$  veri bitleri bu durumda mantıksal '1' durumundadır. Bir bit periyodu eşitlik 1'de de verildiği gibi,  $2T_s$  olarak ifade edilirse, bu durumda  $T_s(6n-6)$  ile  $T_s(6n-4)$  zaman aralığında %75 karartma seviyeli sinyal iletilmektedir. Eşitlik 3'te iletilecek olan sinyalin ifadesi verilmektedir.

$$f_{1n}(t) = \begin{cases} V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 5.25)T_s}{1.5T_s} \right), |d_{4n-3} = 0 \\ V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 4.75)T_s}{1.5T_s} \right), |d_{4n-3} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Eşitlik 1'de de görüldüğü gibi, %75 karartma seviyeli bir sinyal için,  $2T_s$  bit periyoduna sahip olan kare dalga sinyalinin, doluluk süresi  $1.5T_s$  olmalıdır. Ayrıca eşitlik 1'de verildiği gibi, kare dalganın merkez noktası mantıksal '1' ve  $T_s(6n-6)$  ile  $T_s(6n-4)$  arasındaki sinyal için, kare dalganın başlangıç noktasına, genişliğinin yarısı eklenerek belirlenmektedir. Eşitlik 1'de k yerine  $(6n-4)$ , x yerine 0.75 ve  $d_{4n-3}=d_k$  yerine de 0 yazılırsa  $T_s(6n-5.25)$  elde ediliyorken,  $d_k$  yerine 1 yazılırsa  $T_s(6n-4.75)$  elde edilmektedir. Verilen  $f_{1n}(t)$  sinyali, 3 periyotluk ve  $T_s(6n)$  ile  $T_s(6n-6)$  zaman aralığındaki sinyalin bir parçası olan  $T_s(6n-6)$  ile  $T_s(6n-4)$  aralığındaki sinyali ifade etmektedir.

Benzer şekilde,  $T_s(6n-4)$  ile  $T_s(6n-2)$  zaman aralığında iletilen VPPM sinyalin karartma seviyesi %50 olmalıdır. Bu nedenle eşitlik 1'de k yerine  $(6n-2)$ , x yerine 0.5 ve  $d_{4n-2}=d_k$  yerine de 0 yazılırsa,  $T_s(6n-3.5)$  elde ediliyorken  $d_k$  yerine 1 yazılırsa  $T_s(6n-2.5)$  elde edilmektedir. Bu durum eşitlik 4'te verildiği gibidir.

1 olma durumlarına göre,  $d_k(t)$  ve  $(1-d_k(t))$  çarpanları kullanılmaktadır. Karartma seviyesinin %a olması durumunda, eşitlikte verilen x değeri karartma seviyesinin yani a değerinin yüzde birini göstermektedir (Karartma seviyesinin %70 olması durumunda x değeri 0.7'dir).

$$g_{1n}(t) = \begin{cases} V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 3.5)T_s}{T_s} \right), |d_{4n-2} = 0 \\ V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 2.5)T_s}{T_s} \right), |d_{4n-2} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

Eşitlikte  $g_{1n}$  sinyali, %50 karartma seviyeli sinyalleri göstermektedir. Bu sinyal 3 periyotluk ve  $T_s(6n)$  ile  $T_s(6n-6)$  aralığında değişen sinyalin,  $T_s(6n-4)$  ile  $T_s(6n-2)$  aralığındaki değişimini vermektedir. Son olarak %25 karartma seviyeli sinyalin üretimi sağlanarak,  $T_s(6n)$  ile  $T_s(6n-6)$  aralığındaki sinyalin üretimi gerçekleştirilmiş olur. %25 karartma seviyeli sinyalin ifadesi eşitlik 5'te verildiği gibidir.

$$h_{1n}(t) = \begin{cases} V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 1.75)T_s}{0.5T_s} \right), |d_{4n-1} = 0 \\ V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 0.25)T_s}{0.5T_s} \right), |d_{4n-1} = 1 \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlik 1'de, k yerine  $(6n)$ , x yerine 0.25 yazılarak ve  $d_{4n-1}=d_k$  şeklinde seçilerek  $h_{1n}(t)$  sinyali elde edilmektedir.

$$A_n(t) = \sum_{n=1}^N (f_{1n}(t) + g_{1n}(t) + h_{1n}(t)) \quad (6)$$

Eşitlik 3-5'de verilen ifadelerden elde edilen sinyallerin zaman düzleminde toplanmasıyla önerilen VPPM yöntemi için üretilen sinyalin açıklaması elde edilebilmektedir. Elde edilen toplam sinyal, Eşitlik 6'da da görüldüğü gibi  $A_n(t)$  sinyalidir. Karartma kontrol bitinin durumuna (1 veya 0 olması) göre,  $f_{1n}(t)$  ve  $h_{1n}(t)$  sinyallerinin yerleri değiştirilerek,  $A_n(t)$  sinyalinin yapısı da değiştirilmektedir. Eşitlik 6'da verilen sinyal, kontrol bitinin 1 olduğu durum için geçerlidir.

Durum 2.

Eğer iletilen karartma kontrol biti 0 ise,

$$e_n(t) = d_{4n} = 0, \quad n \in Z^+ \quad (7)$$

Eşitlik 7'de karartma kontrol bitinin 0 olduğu durum gösterilmektedir. Durum 1'in aksine, gönderilen veriler sırasıyla %25-%50-%75 karartma seviyesine sahip olmaktadır. Her karartma kontrol biti ( $d_{4n}$ ) için, gönderilen üçlü paket verilerini oluşturan birinci ve üçüncü zaman periyotlarında kullanılan sinyaller, karartma seviyelerine karar vermektedirler.

Karartma kontrol bitinin 0 olduğu durumda, sırasıyla %25-%50 ve %75 karartma seviyeli sinyaller gönderileceğinden dolayı, verilen Durum 2 için de her bir sinyal için ayrı ayrı fonksiyonlar tanımlanmıştır.  $f_{2n}(t)$  fonksiyonu %25 karartma seviyesine sahip sinyal darbesini,  $g_{2n}(t)$  fonksiyonu %50 karartma seviyesine sahip sinyal darbesini,  $h_{2n}(t)$  fonksiyonu %75 karartma seviyesine sahip sinyal darbesini veri durumuna göre modellemektedir. Verilen eşitliklerde darbelerin konumunun ve genişliğinin tespiti Durum 1’de olduğu gibi, Eşitlik 1’den faydalanılarak elde edilmiştir.  $f_{2n}(t)$ ,  $g_{2n}(t)$  ve  $h_{2n}(t)$  fonksiyonları eşitlik 8, 9 ve 10’da verilmiştir.

$$f_{2n}(t) = \begin{cases} V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 5.75)T_s}{0.5T_s} \right), |d_{4n-3} = 0 \\ V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 4.25)T_s}{0.5T_s} \right), |d_{4n-3} = 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$g_{2n}(t) = \begin{cases} V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 3.5)T_s}{T_s} \right), |d_{4n-2} = 0 \\ V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 2.5)T_s}{T_s} \right), |d_{4n-2} = 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$h_{2n}(t) = \begin{cases} V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 1.25)T_s}{1.5T_s} \right), |d_{4n-1} = 0 \\ V_m \Pi \left( \frac{t - (6n - 0.75)T_s}{1.5T_s} \right), |d_{4n-1} = 1 \end{cases} \quad (10)$$

Eşitlik 8, %25 karartma seviyeli sinyali üretmek için kullanılan modelken, Eşitlik 10 ise %75 karartma seviyeli sinyali üretmek için kullanılan ifadedir. Eşitlik 9’da verilen değerler ise %50 karartma seviyesine sahip sinyalin konumunu ve darbenin genişliğini vermektedir. Eşitliklerde  $f_{2n}(t)$ ,  $g_{2n}(t)$  ve  $h_{2n}(t)$  sırasıyla %25, %50 ve %75 karartma seviyeli sinyalleri göstermektedir. Ayrıca, karartma kontrol bitinin 0 olduğu durumda, zaman düzleminde toplanarak iletilecek olan  $B_n(t)$  sinyalini, oluşturmaktadırlar.  $B_n(t)$  sinyali Eşitlik 11’de verildiği gibidir.

$$B_n(t) = \sum_{n=1}^N (f_{2n}(t) + g_{2n}(t) + h_{2n}(t)) \quad (11)$$

Gönderilen sinyal olan  $s(t)$ , bulunan iki fonksiyonun toplamına eşittir ve eşitlik 12’de verilmektedir. Karartma kontrol bitinin 0 ve 1 olması durumlarına göre,  $A_n(t)$  ve  $B_n(t)$  fonksiyonları karartma kontrol biti ile çarpılmaktadır. Karartma kontrol bitinin 0 olduğu durumda  $A_n(t)$  fonksiyonunun, karartma kontrol bitinin 1 olması durumunda ise  $B_n(t)$  fonksiyonunun etkisiz olduğu Eşitlik 12’den görülmektedir.

$$s(t) = \sum_{n=1}^N A_n(t) \cdot [d_{4n}] + B_n(t) \cdot [1 - d_{4n}] \quad (12)$$

### 3. ÖNERİLEN SİSTEM İÇİN ALICI BİRİM (RECEIVER UNIT FOR THE PROPOSED SYSTEM)

Önerilen sistem farklı bir iletim şeması olması ve bilgi bitlerinin sinyalleri kodlama yönteminin değişiklikler içermesi nedeniyle, alıcı birimde yeni tasarımların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu bölümde önerilen iletim şeması ile yeni bir alıcı mimarisi için matematiksel açıklamalara yer verilmiştir. Önerilen sistem için tasarlanan blok şema Şekil 5’te verildiği gibidir. Şekil 5’te önerilen sistem için alıcı birim tasarımı gösterilmiştir. K bloğu, karşılaştırma işlemini gerçekleştiren bloğu temsil etmektedir ve  $n$  ( $n \in \mathbb{N}$ ) ifadesi bit sırasını belirlemek için kullanılan bir doğal sayıdır. Modüle edilmiş gürültülü sinyallerden iletilecek olan bitlerin, sırasıyla  $d_{4n-3}$ ,  $d_{4n-2}$ ,  $d_{4n-1}$  ve karartma kontrol bitinin  $d_{4n}$  olduğu görülmektedir. Önerilen sistemde kullanılmış olan maske sinyallerinin karartma seviyesi sırasıyla %25, %50 ve %25’dir. Karartma kontrol bitinin durumuna göre, 1. ya da 3. iletilen bitlerden birisinin %75 karartma seviyesine sahip olmasına rağmen, önerilen mimaride her iki durum için de %25 karartma seviyeli maske sinyali kullanılmıştır. Şekilde karartma kontrol biti ( $d_{4n}$ ) tahmini için, maske sinyallerini kullanmayan bir optik güç karşılaştırma devresi verilmiştir.

Maske sinyalleri,  $C(t)$   $D(t)$  sinyalleri parçalı olarak  $C_1(t)$ ,  $C_2(t)$ ,  $C_3(t)$ ,  $D_1(t)$ ,  $D_2(t)$  ve  $D_3(t)$  sinyalleri şeklinde ifade edilmiştir. Eşitlik 13 15 ve 17’de  $C(t)$  sinyalinin parçalı sinyalleri,  $2T_s$  periyotlar halinde verilmiştir.

$$C_1(t) = \begin{cases} V_m | 6T_s * i < t < 6T_s * i + 2T_s * 0.25 \\ 0 | 6T_s * i + 2T_s * 0.25 < t < 6T_s * i + 2T_s \end{cases} \quad (13)$$

$$D_1(t) = \begin{cases} 0 | 6T_s * i < t < 6T_s * i + 2T_s * 0.75 \\ V_m | 6T_s * i + 2T_s * 0.75 < t < 6T_s * i + 2T_s \end{cases} \quad (14)$$

$$C_2(t) = \begin{cases} V_m | 6T_s * i + 2T_s < t < 6T_s * i + 3T_s \\ 0 | 6T_s * i + 3T_s < t < 6T_s * i + 4T_s \end{cases} \quad (15)$$

$$D_2(t) = \begin{cases} 0 | 6T_s * i + 2T_s < t < 6T_s * i + 3T_s \\ V_m | 6T_s * i + 3T_s < t < 6T_s * i + 4T_s \end{cases} \quad (16)$$

$$C_3(t) = \begin{cases} V_m | 6T_s * i + 4T_s < t < 6T_s * i + (4T_s + 2T_s * 0.25) \\ 0 | 6T_s * i + (4T_s + 2T_s * 0.25) < t < 6T_s * i + 6T_s \end{cases} \quad (17)$$

$$D_3(t) = \begin{cases} 0 | 6T_s * i + 4T_s < t < 6T_s * i + (4T_s + 2T_s * 0.75) \\ V_m | 6T_s * i + (4T_s + 2T_s * 0.75) < t < 6T_s * i + 6T_s \end{cases} \quad (18)$$

$$C(t) = \sum_{i=0}^{\infty} C_1(t) + C_2(t) + C_3(t) \quad (19)$$

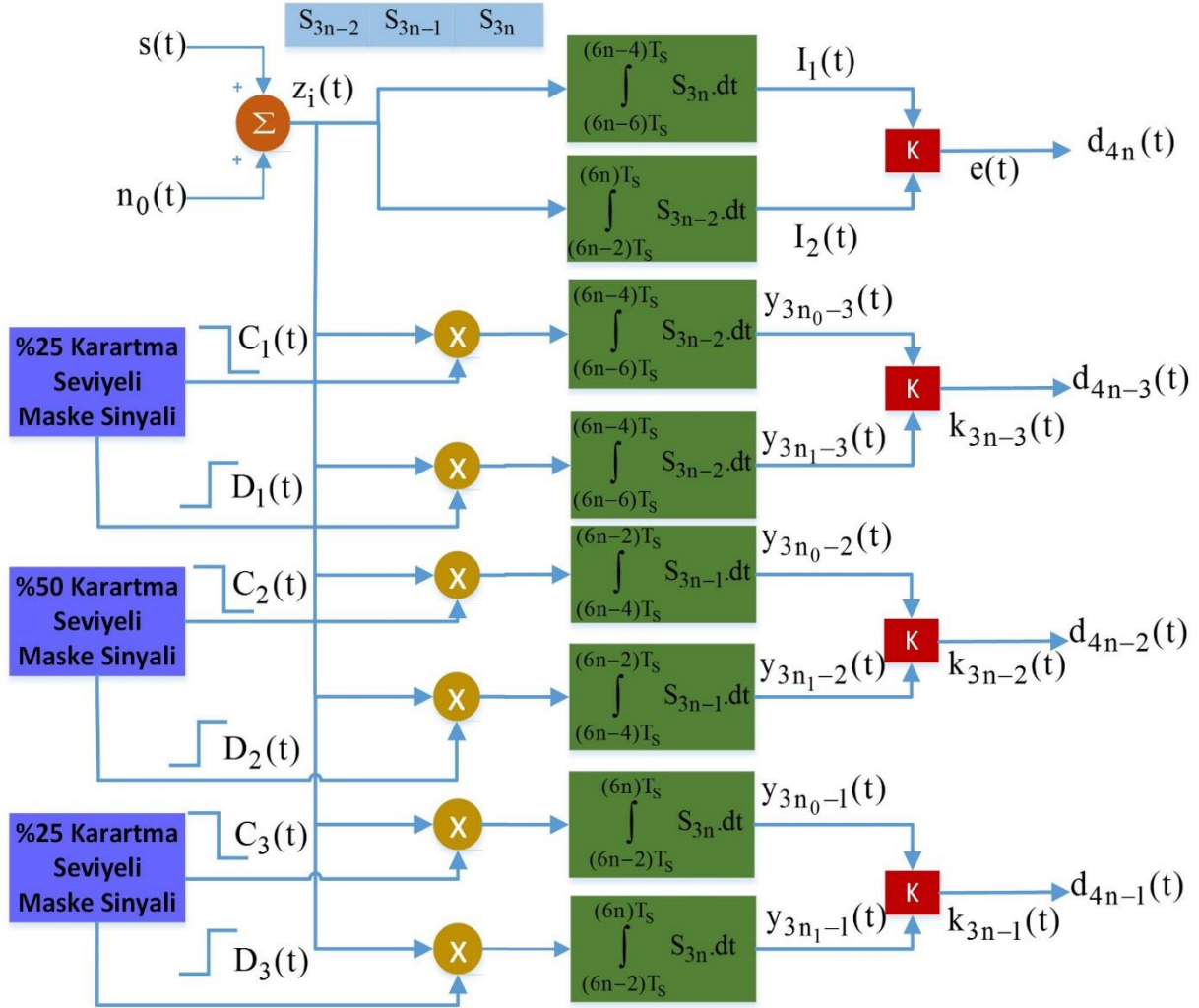
$$D(t) = \sum_{i=0}^{\infty} D_1(t) + D_2(t) + D_3(t) \quad (20)$$

Eşitliklerde görüldüğü gibi eşitlik 13-14; %25 karartma seviyeli, eşitlik 15-16; %50 karartma seviyeli ve eşitlik 17-18’de %75 karartma seviyeli sinyali demodüle etmek

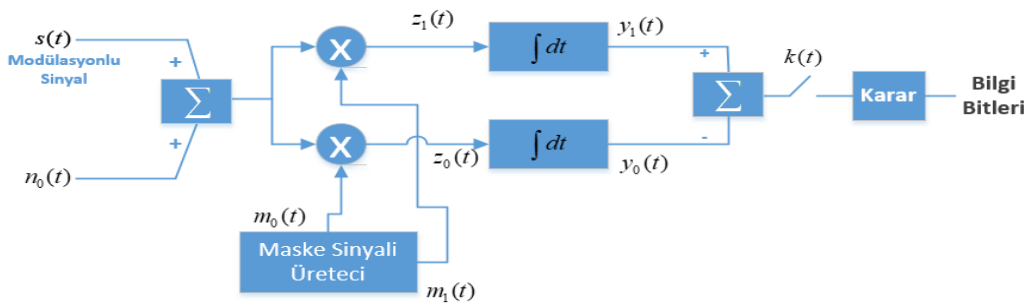


için kullanılmaktadır. Eşitlik 13-14 ve Eşitlik 17-18 daha önce ifade edildiği gibi, %75 karartma seviyeli sinyalleri çözmek için de kullanılabilir olduğundan dolayı, eşitliklerde sadece %25 karartma seviyeli sinyalin demodülasyonu

için kullanılan sinyaller olarak verilmiştirler. Eşitlik 19-20 gelen modülasyonlu sinyal ile çarpım devresine uygulanan sinyallerin toplamını göstermektedir.



Şekil 5. Önerilen iletim şeması için demodülatör blok diyagramı (The demodulator block diagram for proposed transmission scheme)



Şekil 6. Geleneksel sistem için demodülatör blok diyagramı (The demodulator block diagram for traditional system)

Şekil 6'da karartma seviyeli sinyaller, geleneksel demodülatör mimarisi ile çözülebiliyorken, yüksek optik güçlü sinyalin algılanabilmesi için sisteme bir optik güç algılayıcı entegre edilmiştir. Verilen şekilde,  $m_0(t)$  ve  $m_1(t)$  sinyalleri maske sinyallerini,  $y_0(t)$  ve  $y_1(t)$  ise integral çıkışlarını göstermektedir. Optik algılayıcı fotodiyot çıkışından sinyali aldıktan sonra, maske

sinyaller ile çarpılmaktadır. Önerilen yöntemde %25, %50 ve %75 karartma seviyeli sinyallerinin demodülasyonu için, benzer demodülatörler kullanılmış olup, karartma seviyesi farklılığı nedeniyle sadece maske sinyalleri birbirinden farklı olarak seçilmiştir. Demodülasyon işlemi için gelen sinyallerin maske sinyaller ile çarpılması gerekmektedir.

$$y_{n_0}(t) = \int_{(6n-6)T_s}^{6nT_s} z_i(t) * D(t).dt = \int_{(6n-6)T_s}^{6nT_s} [s_i(t) + n_i(t)] * D(t).dt \quad (21)$$

$$y_{n_1}(t) = \int_{(6n-6)T_s}^{6nT_s} z_i(t) * C(t).dt = \int_{(6n-6)T_s}^{6nT_s} [s_i(t) + n_i(t)] * C(t).dt \quad (22)$$

$$k_{3n-3}(t) = y_{3n_1-3}(t) - y_{3n_0-3}(t) = \int_{(6n-6)T_s}^{(6n-4)T_s} z_1(t) * D_1(t).dt - \int_{(6n-6)T_s}^{(6n-4)T_s} z_1(t) * C_1(t).dt \quad (23)$$

$$k_{3n-2}(t) = y_{3n_1-2}(t) - y_{3n_0-2}(t) = \int_{(6n-4)T_s}^{(6n-2)T_s} z_2(t) * D_2(t).dt - \int_{(6n-4)T_s}^{(6n-2)T_s} z_2(t) * C_2(t).dt \quad (24)$$

$$k_{3n-1}(t) = y_{3n_1-1}(t) - y_{3n_0-1}(t) = \int_{(6n-2)T_s}^{(6n)T_s} z_3(t) * D_3(t).dt - \int_{(6n-2)T_s}^{(6n)T_s} z_3(t) * C_3(t).dt \quad (25)$$

$$d_{4n-3}(t); d_{4n-2}(t); d_{4n-1}(t) = \begin{cases} 0, & |k_{3n-3}(t); k_{3n-2}(t); k_{3n-1}(t) < 0 \\ 1, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (26)$$

$C_1(t)$  ve  $C_3(t)$  sinyalleri, şekil 5'te verilen %25 karartma seviyeli maske sinyallerinden üst kollardan çarpım devresine uygulanan sinyalleri gösteriyorken,  $C_2(t)$  ise şekilde verilen %50 karartma seviyeli maske sinyalinden yine üst koldan çarpım devresine giren sinyali ifade etmektedir. Benzer şekilde,  $D_1(t)$ ,  $D_2(t)$  ve  $D_3(t)$  sinyalleri, Şekil 5'te verilen alt kollardan çarpım devresine uygulanan maske sinyallerini göstermektedir.  $D(t)$  sinyali de demodülasyon sürecinin ifade edilebilmesi için kullanılan ve  $D_1(t)$ ,  $D_2(t)$  ve  $D_3(t)$  sinyallerinin toplanmasıyla elde edilen sinyaldir.

İntegratör çıkışındaki sinyaller  $y_{n_0}(t)$  ve  $y_{n_1}(t)$  ve gürültü eklenmiş modülasyonlu sinyal  $z_i(t)$  olarak tanımlanırsa, ifade, Eşitlik 21 ve 22'de görüldüğü gibidir [11-12].

Eşitlik 21 ve 22'de,  $n_i(t)$ , sinyali fotodiyot kaynaklı gürültü sinyali ve  $s_i(t)$ , modülasyonlu sinyal olarak tanımlanabilir. Eşitliklerde  $6T_s$ , 3 bit periyodunu ve üç sinyalin bir paketini oluşturduğu düşünüldüğünde,  $n$  de paket numarasını vermektedir.  $n$ , paket numarası pozitif tam sayıları göstermektedir ( $n \in \mathbb{Z}^+$ ). İntegratör çıkışındaki sinyaller bir karar devresi yardımıyla karşılaştırılarak, bilgi bitlerinin tahmini gerçekleştirilmektedir. İntegratör çıkış sinyalleri  $y(t)$ , Eşitlik 23, 24 ve 25'de görüldüğü gibi çıkarılarak bir karar eşliğinden geçirilecektir [12].

Eşitlik 23, 24 ve 25'te  $k(t)$ , karar devresinde karar eşliği ile karşılaştırılan değeri ifade etmektedir.  $z_1(t)$ ,  $z_2(t)$  ve  $z_3(t)$ , Eşitlik 22'de tanımlanan gürültü eklenmiş modülasyonlu sinyal olarak tanımlanmaktadır. PPM yönteminde karar devresinde kullanılan eşik değeri

sıfır (0) olduğu için,  $k(t)$  değeri kullanılarak tahmin edilen bilgi bitleri Eşitlik 26'da verildiği gibidir.

Eşitlik 26'da,  $d_{4n}(t)$ , bilgi bitlerini gösteriyorken,  $n$  alt indisi, üçlü paketin sıra numarasını göstermektedir. Üç (3) bilgi sinyalinin, üç (3) adet sinyal ile gönderilmesi nedeniyle, eşitlikten görüldüğü gibi üç (3) integratör çıkış değeri için eşik değeri karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem için 4. bitin mantıksal değeri Eşitlik 27, 28 ve 29'da verilen ifadeler ile tahmin edilmektedir.

$$I_1(t) = \int_{(6n-6)T_s}^{(6n-4)T_s} [s(t) + n(t)].dt \quad (27)$$

$$I_2(t) = \int_{(6n-2)T_s}^{6nT_s} [s(t) + n(t)].dt \quad (28)$$

$$d_{4n}(t) = e(t) = \begin{cases} 1, & |I_1(t) > I_2(t) \\ 0, & |I_1(t) < I_2(t) \end{cases} \quad (29)$$

Eşitliklerde  $I_1$  ve  $I_2$  sırasıyla, her gelen paketin birinci ve üçüncü slotları için elde edilen optik sinyallerin gücü olarak tanımlanabilir. Sinyalin karartma seviyesinin düşürülmesi durumunda alınan integral değeri azalırken, artması durumunda integral değeri artmaktadır. Bu nedenle %25 ve %75 karartma seviyelerinin tahmini eşitlik 29 ile sağlanabilmektedir. Ayrıca, %25 ve %75 karartma seviyeli sinyallerin, kıyaslama için kullanılmasının en önemli sebebi, sinyaller arasında var olan öklid mesafesidir [13]. Bu nedenle, %40 - %60 ya da %30 - %70 karartma seviyeli sinyallere gürültü eklendiğinde, bit hata oranı

performansı düşmektedir. Birinci ve üçüncü slotta konumlanmış karartma seviyeleri belirlenerek karartma kontrol biti (e(t)) tahmin edilebilmektedir.

#### 4. ÖNERİLEN SİSTEM VE GELENEKSEL SİSTEMİN GÜÇ ANALİZ KARŞILAŞTIRMASI (POWER ANALYSIS COMPARISON OF THE PROPOSED SYSTEM AND TRADITIONAL SYSTEM)

Bir sinyalin ortalama sinyal gücü eşitlik 30'da ki gibi ifade edilir [14].

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T s(t).dt \quad (30)$$

Kullanılan ortalama güç ifadesinde T sinyal periyodunu göstermektedir. Geleneksel sistem ve önerilen sistem, eşitlik 30'a göre kıyaslanırsa çizelge-2'de görülen veriler elde edilmektedir.

Aynı şartlar altında farklı karartma seviyeli sinyallerin ortalama sinyal gücü için, %30 ve %40 karartma seviyeli sinyaller haricinde, karartma seviyesi arttıkça en avantajlı sistem, önerilen sistem olmuştur. Geleneksel sistemde bir sinyal periyodu 60 örnek ile ifade ediliyorken, önerilen sistemde bir sinyal periyodu 80 örnek olarak ifade edilmiştir. %50 karartma seviyeli bir sinyal için, 60 örneklili bir sinyal periyodunun yarısı kadar sinyal darbesi bulundurmaktadır. Dört periyod boyunca toplam 240 örneğin yarısında sinyal darbesi bulunduğu görülmektedir. Bu karartma seviyesinin ortalama sinyal gücü P olarak belirlendiği çizelge 2'de gösterilmektedir. Önerilen sistemde 240 örnek için, %25 oranı için 20, %50 oranı için 40, %75 oranı için 60 toplamda 120 örnekte sinyal darbesi bulunmaktadır. Bu nedenle önerilen sistemin ortalama sinyal gücü de P olmaktadır.

**Çizelge 2.** Önerilen sistem ile geleneksel sistemlerin güç analizi karşılaştırması (Power analysis comparison of the proposed system and traditional systems)

Kullanılan Sistem	Ortalama Sinyal Gücü	İletilen Veri Bit Sayısı	Periyot
Önerilen Mimari	P	4	6T <sub>s</sub>
%70 Karartma Seviyesi	1.4P	4	6T <sub>s</sub>
%60 Karartma Seviyesi	1.2P	4	6T <sub>s</sub>
%50 Karartma Seviyesi	P	4	6T <sub>s</sub>
%40 Karartma Seviyesi	0.8P	4	6T <sub>s</sub>
%30 Karartma Seviyesi	0.6P	4	6T <sub>s</sub>

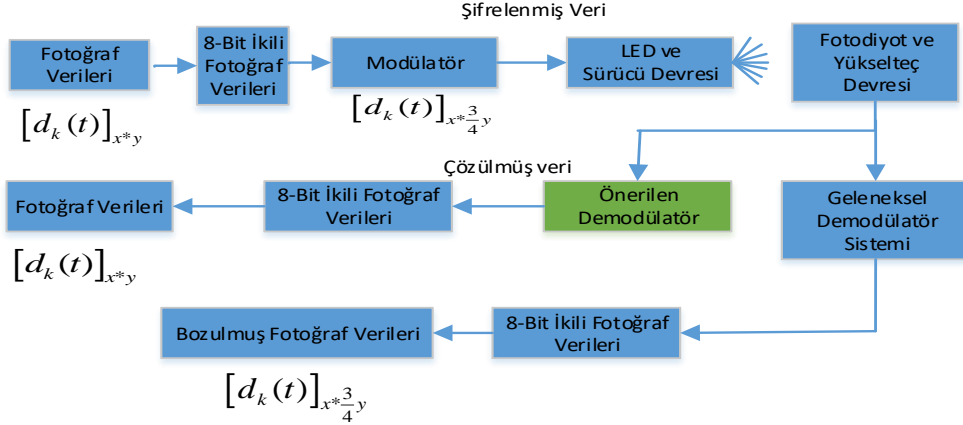
Geleneksel ve önerilen verici sistemlerin ortalama sinyal güçlerine göre karşılaştırılması çizelge 2'de

gösterilmektedir. Önerilen sistemin ortalama sinyal gücü, %50 karartma seviyeli sinyal ile aynı çıkmaktadır. Önerilen sistem için, %25-%50-%75 karartma seviyeli sinyallerin ardışık olarak kullanılmaları nedeniyle, %50 karartma seviyeli sinyal için geçerli olan ortalama sinyal gücü ile önerilen sistemin ortalama sinyal gücü ifade edilebilmektedir.

#### 5. ÖNERİLEN SİSTEMİN GÖRÜNTÜ İLETİMİNDE ŞİFRELEME İÇİN KULLANILMASI (USING THE PROPOSED SYSTEM FOR ENCRYPTION IN IMAGE TRANSMISSION)

Bu bölümde, önerilen sistem ile bir fotoğraf verisinin güvenilir bir şekilde iletimi açıklanmıştır. Şekil 7'de önerilen sistemin kriptoloji işlemine uygulanabilirliği gösterilmiştir. Geleneksel çözücü sisteme sahip olan bir demodülatör, alıcı tarafta karartma kontrol bitlerini çözemez. Gönderilen fotoğraf verilerinin, görünür ışık haberleşmesi ile iletilmesi nedeniyle verilerin ikilik (binary) tabana dönüştürülmesi gerekmektedir [15]. Dönüştürülen fotoğraf verileri, her dört elemanda bir, bir veri kaybeder. Önerilen mimari ile anlamsız verilerin birleştirilmesi sonucunda ikilik tabanda olan fotoğraf verileri elde edilir. Sonuç olarak fotoğraf verileri onluk tabanda kullanılacağından dolayı, var olan ikilik tabandaki verilerin onluk tabana dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüştürme blokları (ikilik tabana), dönüştürme işlemlerinin sonucunda elde edilen fotoğraf verileri ve bozulmuş fotoğraf verileri (onluk taban) şekil 7'de gösterilmiştir.

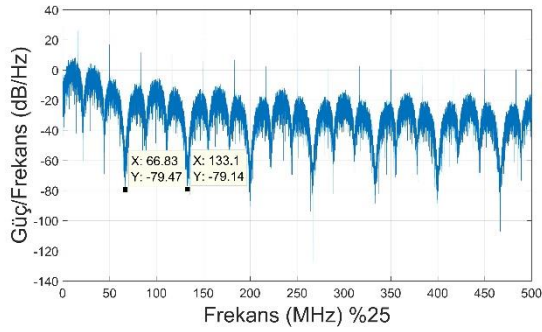
Gönderilen verilerin karartma seviyeleri karşılaştırılarak, karartma kontrol bitlerinin belirlenmesi sebebiyle, VPPM tabanlı önerilen sistemin mimarisi kullanılmadığında, alıcı tarafta anlamlı veriler gözlenemez. Ayrıca, çözülen verilerde kayıp olması nedeniyle fotoğraf boyutları da küçülmektedir. Şekil 7'de, x ve y fotoğraf matris boyutlarını göstermektedir. Önerilen sistemde her üç veride bir, karartma kontrol biti gönderilmesi nedeniyle, fotoğraftaki sütun sayısı  $\frac{y}{4}$  kadar artmaktadır. Önerilen sistemde, LED - LED sürücü devresi ve fotodiyot ile fotodiyottan elde edilen sinyal değerini yükseltmek amacıyla kullanılan yükselteç devresi bulunmaktadır. Önerilen sisteme ve geleneksel sisteme gönderilen veri,  $[d_k(t)]_{x \times \frac{y}{4}}$  fonksiyonu ile gösterilmektedir.  $[d_k(t)]_{x \times y}$  uzunluğundaki görüntü verilerine şifreleme işlemi uygulandıktan sonra, veriler gönderilmiştir. Her iki sisteme de gönderilen veri sayıları eşittir. Alıcı tarafına verilerin dörtte üçü iletilmektedir. Geleneksel sistemde, karartma kontrol verileri çözülüp ve bu veriler hakkında yorum yapılamayacağından dolayı, veri uzunluğu %75 olarak algılanabilmektedir. Önerilen sistemde her üç bitte bir karartma kontrol biti üretilmesi nedeniyle, ilaveten %25 daha fazla veri elde edilmiş olacaktır. Her iki sistemde de elde edilen veri fonksiyonları için, görüntüye dönüştürüldükleri takdirde farklı sonuçlar elde edilmiştir.



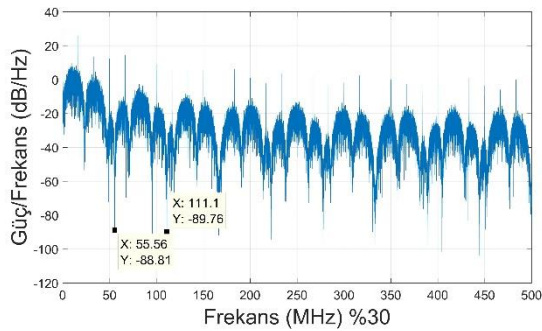
Şekil 7. Önerilen tasarım ile şifrelenmiş görüntü iletiminin gerçekleştirilmesi (With the proposed design realization of encrypted image transmission)

## 6. NÜMERİK SONUÇLAR (NUMERICAL RESULTS)

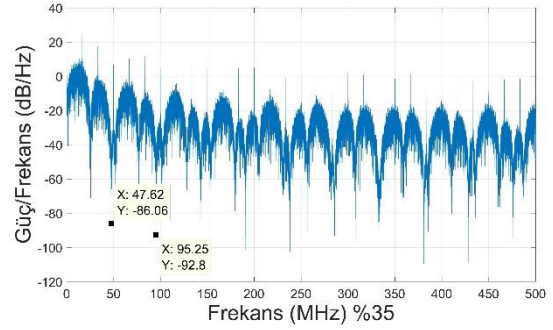
Şekil 8’de, sinyallerin karartma seviyelerine göre, güç spektral yoğunluğu grafikleri gösterilmiştir. Şekil 8’de, %40 ve %50 karartma seviyeli sinyallerin ve önerilen sistemin güç spektral yoğunluk grafikleri incelendiğinde, önerilen sistemin bant genişliliği verimliliği, %40 ve %50 karartma seviyeli sinyallerin bant genişliliği verimliliğinden daha kötü, fakat diğer karartma seviyeli sinyaller için, önerilen sistemin bant genişliliği verimliliğinin, %25-%30-%60-%70-%75 karartma seviyeli sinyallerden daha iyi olduğu görülmektedir.



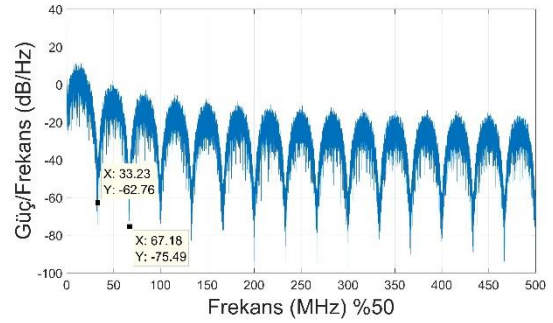
(a)



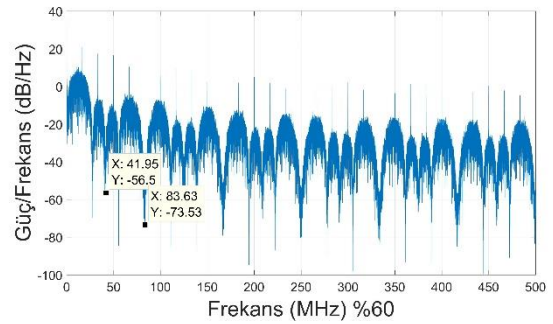
(b)



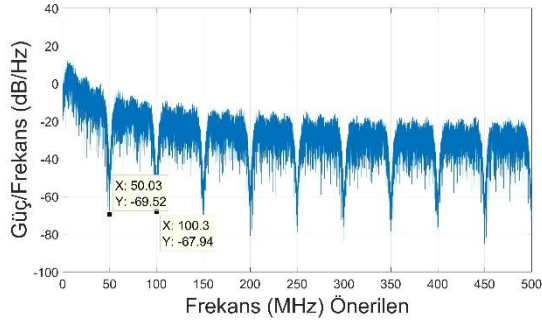
(c)



(d)

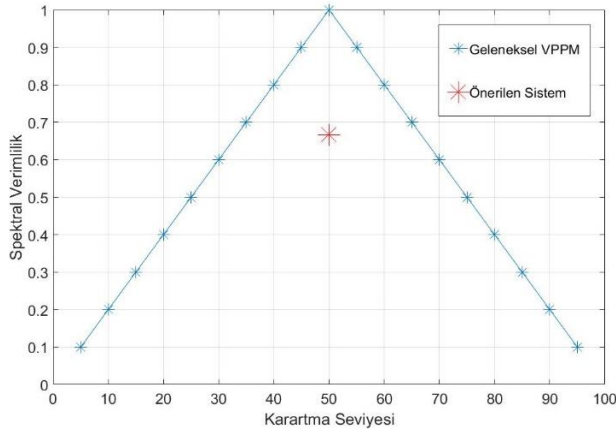


(e)

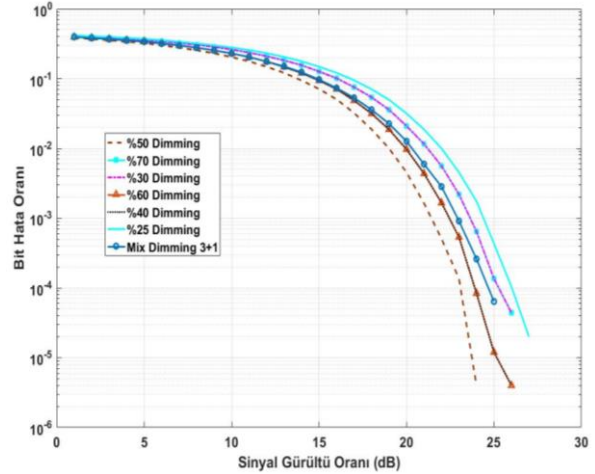


(f)

**Şekil 8.** Geleneksel VPPM sinyalleri ve önerilen sistem için güç spektral yoğunluğu (PSD) analizleri (a)%25 karartma seviyeli sinyal için PSD analizi (b)%30 karartma seviyeli sinyal için PSD analizi (c)%35 karartma seviyeli sinyal için PSD analizi (d)%50 karartma seviyeli sinyal için PSD analizi (e)%60 karartma seviyeli sinyal için PSD analizi (f)önerilen sistem için PSD analizi (Power spectral density (PSD) analysis for traditional VPPM signals and the proposed system (a) PSD analysis for 25% dimming level signal (b) PSD analysis for 30% dimming level signal (c) PSD analysis for 35% dimming level signal (d) PSD analysis for 50% dimming level signal (e) PSD analysis for 60% dimming level signal (f) PSD analysis for the proposed system



**Şekil 9.** Önerilen sistem ve geleneksel VPPM sinyalleri için spektral verimlilik analizi (Spectral efficiency analysis for traditional VPPM signals and the proposed system)



**Şekil 10.** Geleneksel sistem ve önerilen sistem için bit hata oranı performansı (Bit error rate performance for traditional system and the proposed system)

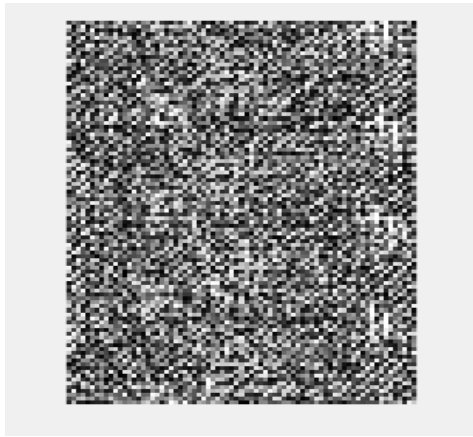
Şekil 9'da görüldüğü gibi, önerilen mimari spektral verimlilik performansı açısından, %35 ve %65 karartma seviyeli sinyallere çok yakın olmakla birlikte, %35 karartma seviyesi altındaki ve %65 karartma seviyesi üzerindeki bütün karartma seviyeli sinyallerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Şekil 10'da farklı karartma seviyeli ve geleneksel çözücü sistemine sahip olan VPPM sinyalleri ile VPPM tabanlı önerilen sistem için, alınan bilgisayar analiz sonuçları verilmiştir. Şekilde, farklı karartma seviyeli ve geleneksel çözücü sistemine sahip olan sistemler ile önerilen sistemin karşılaştırılması yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre, en iyi bit hata oranına sahip olan sinyal, %50 karartma seviyeli sinyaldir. %40-%60 karartma seviyeli sinyallerin bit hata oranı performansları eşittir ve %50 karartma seviyeli sinyalden daha kötü bir bit hata oranı performansına sahiptirler. %30-%70 karartma seviyeli sinyallerin bit hata oranı performansları eşit çıkmaktadır ve %40-%50-%60 karartma seviyeli sinyallerden daha kötü bir bit hata oranı performansı vermektelerdir. Aralarında en kötü bit hata oranı performansına sahip olan sinyal, %25 karartma seviyeli sinyaldir ve bu sinyalin bit hata oranı performansı %75 karartma seviyeli sinyalde aynıdır. Önerilen mimarinin, bit hata oranı performansı, geleneksel mimariler ile kıyaslandığında, %40-%50-%60 karartma seviyeli sinyallere göre daha kötü, %25-%30-%70-%75 karartma seviyeli sinyallere göre daha iyi bir bit hata oranı performansına sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 11’de görüntü iletimi şifreleme işlemi için, benzetim sonuçları gösterilmiştir. Şekil 7’de fotodiyot sonrasında yükselteç devresinden alınan, henüz çözülmemiş veri gösterilmiştir. Önerilen mimarinin kullanılması ve geleneksel sistemin kullanılması olarak çözülmemiş verinin çözülmesi işlemi, şekil 11’de ki (a) ve (b) sonuçlarını vermektedir. Geleneksel sistemde karartma kontrol bitleri olmayacağından dolayı, önerilen sisteme göre modellenmiş görüntü elde edilememektedir. Üçlük paket verileri alan geleneksel sistem, karartma kontrol bitleri hakkında yorum yapamayacağından dolayı, sadece gelen üçlük paket verileri çözebilmektedir. Bu nedenle, önerilen sistem verilerinin, geleneksel sistem ile iletilmesi durumunda şekil 11.(b) elde edilmektedir.



(a)



(b)

**Şekil 11.** Önerilen iletim şemasının görüntü iletiminde kriptoloji işleminde kullanılması (a) Önerilen mimari kullanılarak doğru verilerden elde edilmiş görüntü (b) Önerilen mimari kullanılmayarak karartma kontrol bitlerinin ihmal edildiği görüntü (Using of the proposed transmission scheme in image transmission cryptology (a)image obtained from correct data by using the proposed architecture (b) image in which dimming control bits are omitted without using the proposed architecture)

## 7. SONUÇLAR (RESULTS)

Yapılan çalışmada, darbe konum modülasyonu tabanlı yeni bir iletim şeması önerilmiştir. Önerilen verici sistemin, teorik altyapısı analiz edilmiş olup bilgi bitlerinin yeniden elde edilebilmesi için, geleneksel VPPM demodülatör mimarilerine optik güç karşılaştırıcı şeması entegre edilmiştir. Entegre edilen optik güç karşılaştırıcı, karartma kontrol bitinin tahmini için, %25 ve %75 karartma seviyeli sinyallerin konumunu tahmin etmektedir. Verilen teorik altyapı kullanılarak elde edilen alıcı yapısının, değişen gürlüğü seviyeleri için bit hata oranı performansları elde edilerek, geleneksel sistemler ile karşılaştırılmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlardan, önerilen sistemin, %25, %30, %70 ve %75 karartma seviyeli sinyallere göre hem spektral verimlilik hem de bit hata oranı performansı açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, önerilen yöntemde kullanılan karartma seviyesi kontrol biti sayesinde, bilgi bitleri kodlanarak, görünür ışık haberleşme sistemlerinde güvenilir görüntü iletimi sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. İleride yapılacak olan çalışmalarda, önerilen tekniğin, hem gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmesi hem de yöntemin geliştirilerek çok seviyeli VPPM yöntemine uygulanması planlanmaktadır.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni veya yasal özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS’ CONTRIBUTIONS)

**Kubilay Muhammed SÜNNETCİ:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Mehmet SÖNMEZ:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Yeşilkaya, F. Miramirhani, H. F. Alsan, Ertuğrul Başar, and E. Panayır, “Görünür Işık Kanallarının Modellenmesi ve Optik OFDM Sistemleri için Başarım Analizi Modelling of Visible Light Channels and Performance Analysis for Optical OFDM Systems Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Özyeğin Üniversitesi, İstanbul, Türk,” 1–11.
- [2] C. Albayrak, K. Turk, E. Tugcu, and A. Yazgan, “Seamless rate adaptation for indoor visible light communication without CSI at the transmitter,” *Phys. Commun.*, 40: 101071, (2020).

- [3] M. Durgun and L. Gökrem, "VLC4WoT: Visible Light Communication for Web of Things," 14(4): 1502–1519, (2020).
- [4] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira, and O. Gnawali, "Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, 21(4): 3204–3237, (2019).
- [5] K. Lee and H. Park, "Modulations for visible light communications with dimming control," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 23(16): 1136–1138, (2011).
- [6] K. Choi, Y. Jang, J. Noh, M. C. Ju, and Y. Park, "Visible light communications with color and dimming control by employing VPPM coding," *ICUFN 2012 - 4th Int. Conf. Ubiquitous Futur. Networks, Final Progr.*, 10–12, (2012).
- [7] L. Yi and S. G. Lee, "Performance improvement of dimmable VLC system with variable pulse amplitude and position modulation control scheme," *Proc. - 2014 Int. Conf. Wirel. Commun. Sens. Network, WCSN 2014*, 81–85, (2014).
- [8] M. L. G. Salmento *et al.*, "Application of a flyback converter and variable pulse position modulation for visible light communication," *14th Brazilian Power Electron. Conf. COBEP 2017*, 1–5, (2017).
- [9] J. H. Yoo and S. Y. Jung, "Modeling and analysis of variable PPM for visible light communications," *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, 1: 1–6, (2013).
- [10] J. G. Webster, A. R. Ndjiongue, H. C. Ferreira, and T. M. N. Ngatched, "Visible Light Communications (VLC) Technology," *Wiley Encycl. Electr. Electron. Eng.*, 1–15, (2015).
- [11] J. Noh, S. Lee, J. Kim, M. Ju, and Y. Park, "A dimming controllable VPPM-based VLC system and its implementation," *Opt. Commun.*, 343: 34–37, (2015).
- [12] M. Sönmez, "Simplified and accelerated PPM receivers for VLC systems," *IET Optoelectron.*, 12(1): 36–43, (2018).
- [13] F. Hu, P. Zou, G. Li, W. Yu, and N. Chi, "Enhanced Performance of CAP-Modulated Visible Light Communication System Utilizing Geometric Shaping and Rotation Coding," *IEEE Photonics J.*, 11(5): 1–12, (2019).
- [14] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, 50(1): 100–107, (2004).
- [15] Z. Wang and W. Qiu, "Secure Image Transmission over DFT-precoded OFDM-VLC systems based on Chebyshev Chaos scrambling," *Opt. Commun.*, 397: 84–90, (2017).