



## VPAPM İLETİM YÖNTEMİNİN BER PERFORMANSI

Süleyman BÖREKOĞLU<sup>1</sup>, Mehmet SÖNMEZ<sup>1\*</sup>,

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
VLC, VPAPM, Karartma Seviyesi.	Görünür ışık haberleşme sistemleri aynı anda hem aydınlanma hem de veri iletimi sağladığından karartma seviyesinin ayarlanması önemli görülmektedir. Karartma seviyesini ayarlamak için modülasyon tabanlı yöntemlerden birisi olan değişken darbe konum modülasyonu yöntemi tercih edilmektedir. Sinyalin görev periyodunun değiştirilmesine ek olarak analog olarak güç seviyesinin değiştirilmesi karartma seviyesini değiştiren yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada değişken darbe genlik konum modülasyonu (VPAPM: Variable Pulse Amplitude Position Modulation) yönteminin BER (BER: Bit Error Rate) performansı alıcı-verici arasındaki mesafe dikkate alınarak incelenmiştir. BER performansının incelenmesine ek olarak, sıralı düşük veya yüksek güç yayılımının yapılması durumunda hedef karartma seviyesine göre gerçek karartma seviyesinin değişimi değerlendirilmiştir. Ayrıca, sıralı düşük veya yüksek güç seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER ile ortalama güç seviyesi için hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre sıralı yüksek güç seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER performansı hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER performansına göre daha iyi bir sonuç veriyorken, sıralı düşük güç seviyesinde yapılan iletimlerin hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlere göre daha düşük BER performansı verdiği görülmüştür.

## BER PERFORMANCE OF VPAPM TRANSMISSION METHOD

Keywords	Abstract
VLC, VPAPM, Dimming Level.	Since visible light communication systems provide both illumination and data transmission at the same time, it is important to adjust the dimming level. In order to adjust the dimming level, the variable pulse position modulation, which is one of the modulation-based methods, is preferred. In addition to changing the duty cycle of the signal, changing the power level by using analog method is one of the methods to change the dimming level. In this work, the Bit Error Rate (BER) performance of the variable pulse amplitude position modulation (VPAPM) method has been investigated by considering the distance between the receiver and the transmitter. In addition to investigation of BER, the change of the actual dimming level according to the target dimming level was evaluated in case of sequential low or high power spread. Moreover, a comparison is achieved between the bit error rate obtained in sequential low or high power transmissions and the bit error rate obtained in transmissions at target dimming level for average power level. According to the comparison results, the bit error rate performance obtained in sequential high power transmissions gives a better result than the bit error rate performance obtained in the transmissions made at the target dimming level, while the bit error rate performance of the transmissions made at the sequential low power level is lower than the transmissions made at the target dimming level. performance has been observed.

### Alıntı / Cite

Börekoğlu S., Sönmez M., (2023). VPAPM İletim Yönteminin BER Performansı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1554-1567.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Börekoğlu, 0000-0003-4933-686X  
M. Sönmez, 0000-0002-6025-3734

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.02.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	21.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.11.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

\* İlgili yazar /Corresponding author: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr, +90-328-827-1000

## BER PERFORMANCE OF VPAPM TRANSMISSION METHOD

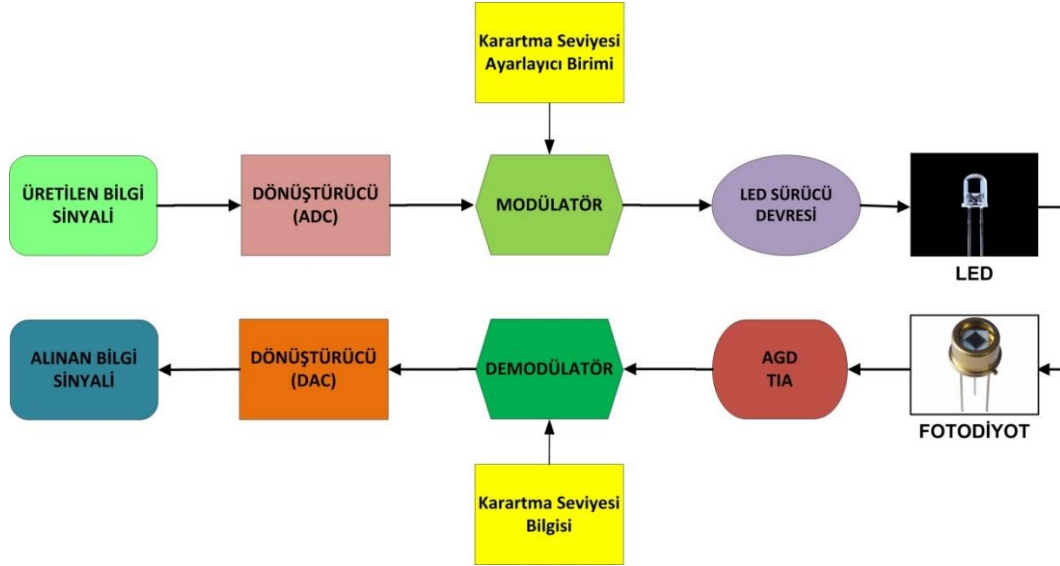
Süleyman Börekoğlu<sup>1,†</sup>, Mehmet Sönmez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata University, Electrical and Electronics Engineering

### Highlights

- 2-2-VPAPM and 4-2-VPAPM signals have been investigated in terms of Bit Error Rate performance.
- The comparison results are obtained in cases where the target dimming level cannot be provided due to unbalanced data bit distribution.
- It has been investigated indoor power distribution of VPAPM transmission scheme under unbalanced data bit distribution

### Graphical Abstract



Şekil./Figure. Temel Bir Görünür Işık Haberleşme Sistemi (A Basic Visible Light Communication System)

### Purpose and Scope

It is aim to investigate the bit error rate performance of Variable Pulse Amplitude Position Modulation (VPAPM) method. Addition to this, a comparison is achieved between the bit error rate obtained in sequential low or high power transmissions and the bit error rate obtained in transmissions at target dimming level for average power level.

### Design/methodology/approach

The results have been obtained under the unbalanced power distribution. We investigate how to change the target dimming level fort his condition.

### Findings

It is shown from simulation results that the bit error rate performance obtained in sequential high power transmissions gives a better result than the bit error rate performance obtained in the transmissions made at the target dimming level.

### Research limitations/implications (if applicable)

It is not applicable.

### Practical implications (if applicable)

It is not applicable.

### Social Implications (if applicable)

It is not applicable.

### Originality

We have invetigated bit error rate performance of VPAPM transmission method under the unbalanced power distrubiton. Addition to this, we investigated whether the target dimming level is provided.

<sup>†</sup> İlgili yazar /Corresponding author: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr, +90-328-827-1000

## 1. Giriş (Introduction)

Radyo Frekans (RF: Radio Frequency) tabanlı kablosuz haberleşme sistemleri; düşük güç tüketimi (Israr vd., 2022), geniş kapsama alanı (Shahjalal vd., 2022), çok yüksek kullanıcı desteğinin sağlanması (Chavhan, 2022) gibi birçok avantaja sahiptir. Ancak büyük veri uygulamalarındaki artış ve dijital iletişim araçlarındaki yaygınlaşma ile birlikte yüksek veri hızlarının desteklenebilmesi ve aynı anda daha fazla kullanıcıya veri paylaşımının sunulabilmesi problemleri, RF sistemler için çözülmesi beklenen sorunlar arasında görülmektedir (Stergiou ve Psannis, 2022; Shankar vd., 2021). Bu nedenle araştırmacılar, mevcut haberleşme sistemlerinin yerini alabilecek veya bu haberleşme sistemlerine destek olabilecek teknolojiler üzerine çalışmalara devam etmektedirler (Mohsan vd., 2022). Yapılan çalışmalar incelendiğinde mevcut olan sistemin yerini alabilecek yeni teknolojilerin önerilmesi ile birlikte hibrit çalışabilen sistemlerin geliştirilmesi öncelikli hedef olarak görülmektedir (Vats vd., 2022; Jarchlo vd., 2022). Bu nedenle son zamanlarda yapılan çalışmalarda araştırmacılar, RF/Optik entegrasyonuna odaklanmıştır (Mohsan vd., 2022; Vats vd., 2022; Jarchlo vd., 2022). Bu doğrultuda optik kablosuz haberleşme teknolojilerinden birisi olan ve son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından ilgi odağı olan Görünür Işık Haberleşmesinin (VLC: Visible Light Communication), RF haberleşme ile birlikte veya bağımsız olarak yüksek veri hızlarını destekleyebilmesi beklenmektedir (Matheus vd., 2019).

I

VLC sistemleri hem aydınlanma hem de veri iletimini aynı anda kullanıcılara sunması nedeniyle, bu sistemler için karartma seviyesinin kontrolü oldukça önemlidir. Bu doğrultuda literatürde yapılan çalışmalarda VLC sistemlerinde LED karartma seviyesinin ayarlanması için birçok yöntem geliştirilmiştir (Yun vd., 2020; Guo vd., 2021; Deng vd., 2019). Yöntemlerin başında Telafi Sembolleri (CS: Compensation Symbols) yöntemi ile OOK sinyalinin uzunluğunda değişiklikler yapılarak sinyal ortalamasından hedef bir karartma seviyesinin ayarlanması amaçlanmıştır (Feng vd., 2015). CS yönteminin yanında hem analog (Genliğin doğrudan artırılması) hem de sayısal yöntemler ile (Genlik sabit, görev periyodunun değiştirilmesi) LED karartma kontrolünün sağlandığı görülmektedir (Zafar vd., 2015; Karunatilaka vd., 2015). LED'i süren akımın genliği ile karartma seviyesinin ayarlanması analog karartma yöntemi olarak adlandırılırken, akımın görev periyodu veya doluluk oranı değiştirilerek gerçekleştirilen karartma yöntemi sayısal karartma tekniği olarak tanımlanmaktadır (Zafar vd., 2015; Karunatilaka vd., 2015). Ayrıca bu yöntemleri uygulayabilmek için modülasyon tabanlı veya kodlama tabanlı teknikler literatürde önerilmiştir (Zafar vd., 2015a). Akım genliğinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilen analog karartma yöntemleri, sürekli akım azaltma (CCR: Continuous Current Reduction) tekniği ile başarılmaktadır (Gu vd., 2006; Dyble vd., 2005). Analog karartma yöntemleri ile birlikte sayısal karartma teknikleri de literatürde yaygın olarak tercih edilen yöntemlerdir. Sayısal karartma yöntemlerinin temel amacı, LED elemanını süren akımın görev periyodunun değişiminin sağlanmasıyla sinyalin karartma seviyesinin değiştirmektir (Lee ve Park, 2011). Bu nedenle bu sayısal karartma yöntemleri darbe genişlik modülasyonu (PWM: Pulse Width Modulation) tekniği ile hibrid olarak çalışmaktadır. Sayısal karartma yöntemi kullanılarak PWM ile hibrid çalışan en temel karartılabilen iletişim yöntemleri VPPM (Variable Pulse Position Modulation: Değişken Darbe Konum Modülasyonu) ve VOOK (Variable On-Off-Keying: Değişken Aç-Kapa Anahtarlama) teknikleridir (Lee ve Park, 2011; Raj vd., 2021; Yoo ve Jung, 2013). Uygulanacak hedef karartma seviyesi, kullanılacak gerekli bant genişliğinde değişiklikler göstermekte olup, karartma seviyesine göre sistemlerin bit hata oranlarında farklılıklar oluşturmaktadır. VPPM yöntemi literatürde biraz daha geliştirilerek çok seviyeli iletim yapan M-VPPM yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır (Yoo vd., 2015). Literatürde önerilen diğer bir yöntem de PAPM (Darbe Genlik Konum Modülasyonu: Pulse Amplitude Position Modulation) yöntemi olup (Yi ve Lee, 2014), bu yöntemin karartma seviyesi değişimini sağlanması için bu iletim şemasına PWM yöntemi uygulanmıştır (Wang vd., 2013). Önerilen VPAPM (Variable Pulse Amplitude and Position Modulation: Değişken Darbe Genlik ve Konum Modülasyonu) yönteminin karartma seviyesi, iletilen sinyalin farklı güç seviyelerinde üretilmesiyle ve sinyalin görev periyodunun değiştirilmesiyle sağlanmıştır. Simülasyon sonuçlarından önerilen sistemin ürettiği modülasyonlu sinyalin bant genişliğinin geleneksel VPPM sinyaline göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada dengeli olmayan hedef karartma seviyeli VPAPM sinyalleri için BER performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bulgulara göre hedef karartma seviyesinin üzerinde iletim yapıldığında elde edilen BER performansının, hedef karartma seviyesinin altında iletim yapıldığında gözlemlenen BER performansına göre daha iyi olduğu görülmüştür.

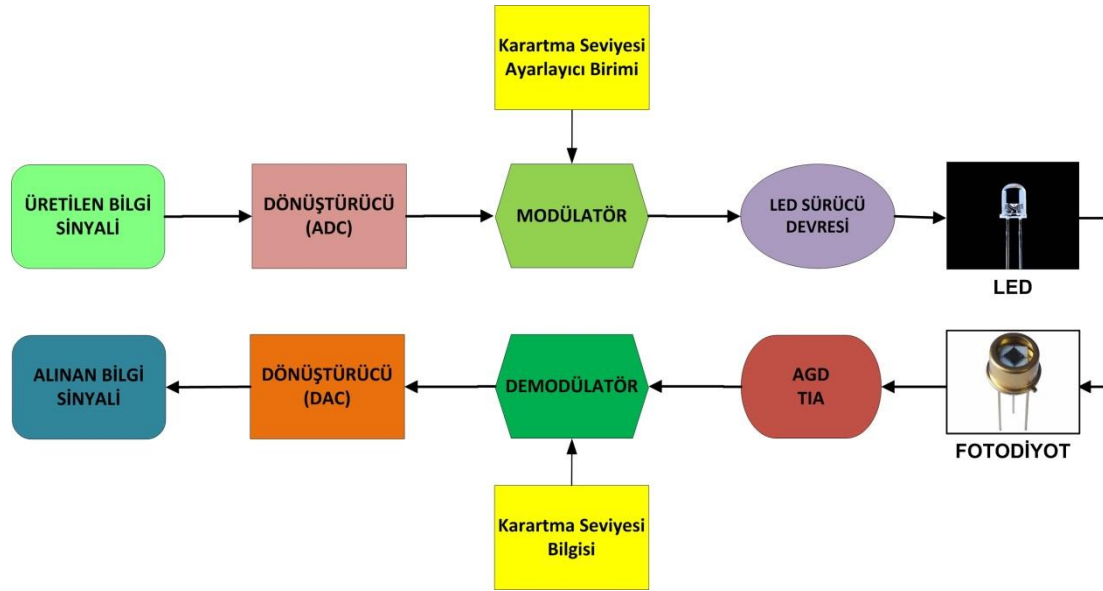
## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Görünür ışık haberleşme sistemleri temel olarak, verici tarafta bir ışık yayan diyot (LED: Light Emitting Diode) ve alıcı tarafta ışığı algılayan bir fotodiyotun kullanılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Alıcı verici arasındaki mesafenin ve veri iletim oranı performansının artırılması amacıyla Lazer Diyot (Laser Diode:LD) da verici tarafta kullanılmaktadır (Zafar vd., 2017).

Temel bir VLC sistem yapısı Şekil 1’de görüldüğü gibi verici taraf modülatörden, ışık yayıcıdan (LED) ve ışık yayıcı için bir sürücü devreden oluşmaktadır. Alıcı birim ise ışık algılayıcı olarak bir optik dedektörden, akım gerilim dönüştürücüden, yükselteç ve demodülatörden oluşmaktadır. Verilen VLC sistemi Tek-girişli Tek-Çıkışlı (Single Input Single Output: SISO) bir haberleşme yapısıdır. Verilen blok diyagramda karartma seviyesi biriminden uygulanan hedef karartma seviyesine göre LED sürücü devresi karartma seviyesinin ayarlanmasını sağlamaktadır. Ayrıca modülatör bloğu çıkışından üretilen sinyal hedef karartma seviyesi bilgisine ve bilgi sinyalinin durumuna göre elde edilmektedir. Alıcıda ise optik dedektör tarafından algılanan ışık, optik dedektör çıkışında akım üreterek demodülatör devresine uygulanmaktadır. Optik dedektör şekilden de görüldüğü gibi algıladığı ışık sayesinde bir akım üretmekte ve üretilen akım bir akım-gerilim dönüştürücüsü ile demodülatör girişinde gerilim değerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca akım-gerilim dönüştürücü ile sinyal seviyesi kuvvetlendirilerek, dönüştürücü çıkışından kuvvetlendirilmiş sinyal elde edilmektedir.

VLC sistemlerinde kanal parametrelerinin incelenmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Lambertian dağılımı dikkate alınarak kanalın DC kazancı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 1. Temel bir VLC sistemi (A basic VLC system)

Lambertian dağılımı, dikkate alınarak elde edilen kanalın DC kazancı alıcı ve verici arasındaki mesafenin karesi ile orantılı olarak değişmektedir. Alıcı tarafta alınan gücün değişmesindeki en önemli etkenlerden birisi olduğundan, sistemin BER performansını izleyebilmek için kullanılan bir parametredir.

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A_r}{2\pi D_k^2} \cos^m(\varphi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, & \psi > \Psi_c \end{cases} \quad (1)$$

Denklem (1)’de;  $m$ ,  $A_r$ ,  $D_k$  ve sırasıyla Lambertian derecesi, foto algılayıcının fiziksel alanı, alıcı-verici arasındaki mesafe ve görüş alanı genişliği olarak tanımlanmaktadır.  $T_s$ ,  $g$  ve  $\psi$  değişkenleri ise sırasıyla optik filtre, yoğunlaştırıcı kazançları ve geliş açısı olarak ifade edilmektedir (Komine ve Nakagawa, 2004). Eğer iletilen güç  $P_t$  ile ifade edilirse alınan güç Denklem (2)’de verildiği gibi gösterilebilir (Wang vd., 2012).

$$P_r = H(0)P_t \quad (2)$$

Denklemden  $P_r$  alınan gücü göstermektedir. Alınan güç hesaplaması, oda içi haberleşme sistemleri için yansımalar ihmal edilerek gerçekleştirilmiştir. Diğer bir ifade ile sadece doğrudan yol düşünülerek alıcı taraftan algılanan optik güç seviyesidir. Çok yönlü yayılım için kanal dürtü yanıtı Denklem (3)’te verildiği gibi ifade edilebilir (Raj vd., 2020).

$$h(t) = \sum_{i=1}^{NLED} \left( h_i^0 + \sum_{k=1}^K h_i^k \right) \quad (3)$$

Eşitlikte  $NLED$  toplam LED sayısını göstermektedir. Ayrıca yansıma olduğunu belirtmek için  $K \geq 1$  şartı sağlanmalıdır (Raj vd., 2020).

Sinyal optik algılayıcı tarafından algılandıktan sonra fotodiyot tarafından bir sinyal oluşturulacaktır ve oluşturulan sinyalin ifadesi Denklem (4)'te verildiği gibi ifade edilmektedir (Wang vd., 2012).

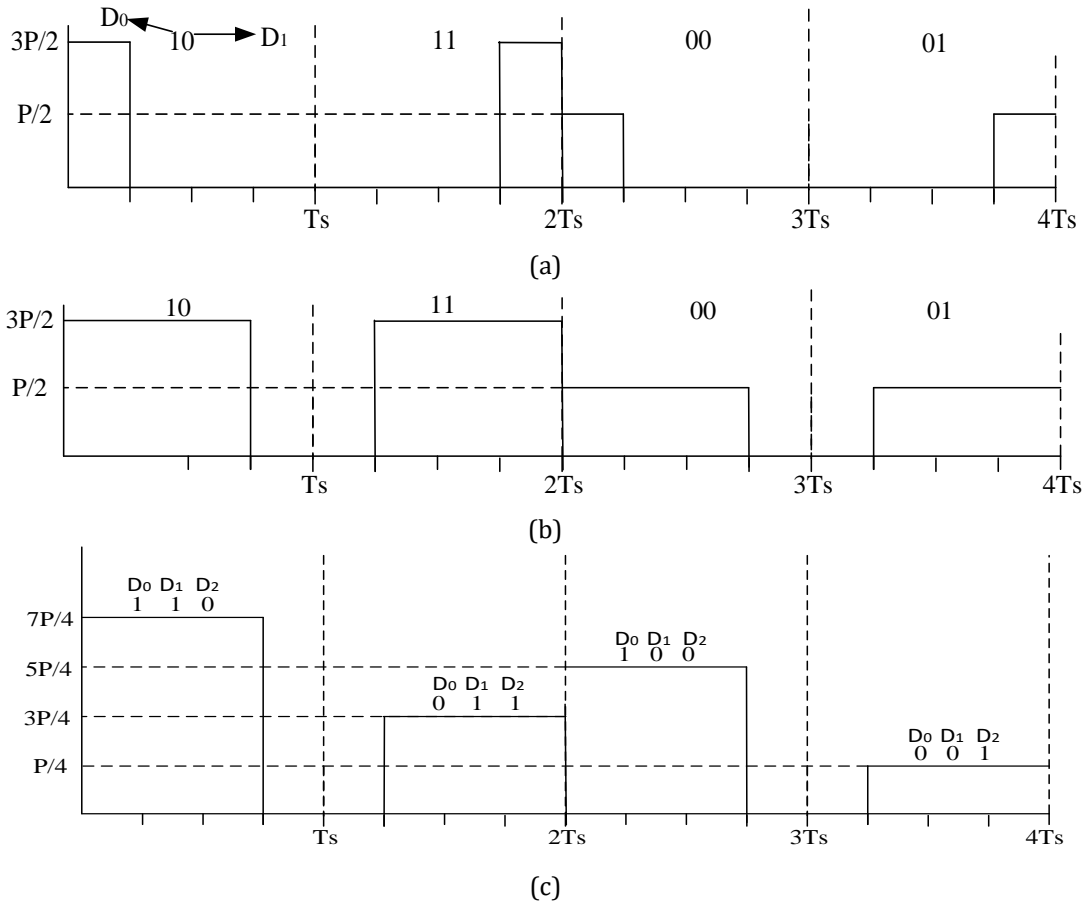
$$y(t) = RP_r M_{index} f(t) + n(t) \quad (4)$$

Denklem (4)'te  $M_{index}$ ,  $f(t)$  ve  $R$  sırasıyla modülasyon indeksi, normalize edilmiş modülasyon sinyali ve fotodiyot duyarlılığı olarak tanımlanmaktadır (Wang vd., 2012).

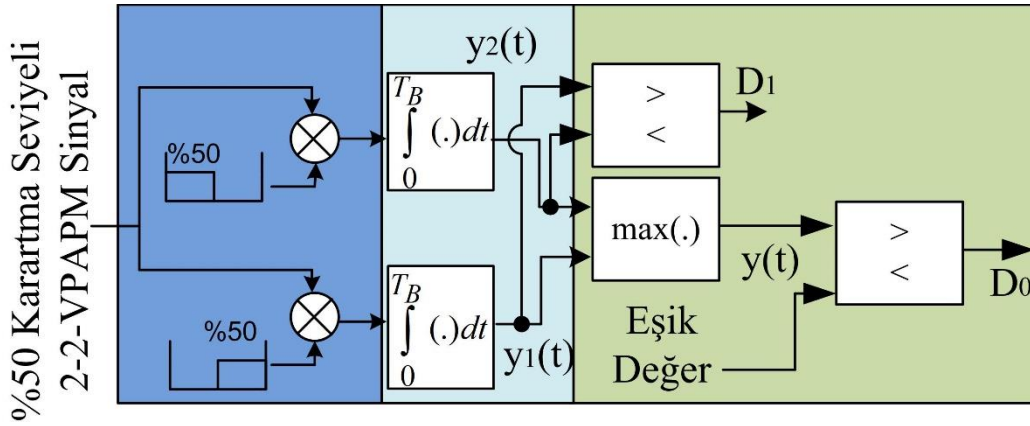
Şekil 2.a ve Şekil 2.b'de yer alan VPAPM sinyalinde  $D_0$  biti sinyallerin güç seviyesini ifade etmektedir.  $D_1$  biti ise sinyallerin konumunu belirtmektedir.  $D_1$  biti 0 ise sinyal sol yuvaya konumlandırılmakta, 1 ise sinyal sağ yarım yuvada konumlandırılmaktadır. VPAPM iletim yönteminin karartma seviyesini hesaplayabilmek için öncelikli olarak Şekil 2.a görünen yüksek ve düşük seviyeli sinyallerin ortalaması alınmaktadır. Elde edilen bu ortalama değer bir periyotluk sinyalin  $\frac{3}{4}$ 'ü dolu olduğu için  $\frac{3}{4}$  ile çarpılması sonucu %75 karartma seviyesi olduğu düşünülmektedir (Yi ve Lee, 2014). Aşağıda verilen genel ifade şekillerdeki sinyallerin karartma seviyesini hesaplamak için kullanılabilir.

$$d = \frac{P_{Toplam}}{(M * n)P} * (\text{doluluk oranı}) \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde  $P_{toplam}$  olası bütün sembollerin iletimi için kullanılacak sinyallerin güçlerinin toplamıdır.  $M*n$  değeri de olası sinyal sayısını vermektedir. Dolayısıyla verilen denklemden bir ortalama alınarak karartma seviyesi  $d$  değerinin hesaplanmasının gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Ayrıca doluluk oranı da bütün sinyaller için eşit olmaktadır.



**Şekil 2.** M-n-VPAPM sinyalinin zamana göre değişimi a) %25 karartma seviyesi altında 2-2-VPAPM b) %75 karartma seviyesi altında 2-2-VPAPM c) %75 karartma seviyesi altında 4-2-VPAPM (The changing of M-n-VPAPM signal according to time a) 2-2-VPAPM under 25% dimming level b) a) 2-2-VPAPM under 50% dimming level c) a) 2-2-VPAPM under 75% dimming level)



**Şekil 3.** 2-2-VPAPM iletim şeması için bir alıcı mimarisi (A receiver architecture for the 2-2-VPAPM transmission scheme) (Börekoğlu ve Sönmez, 2022)

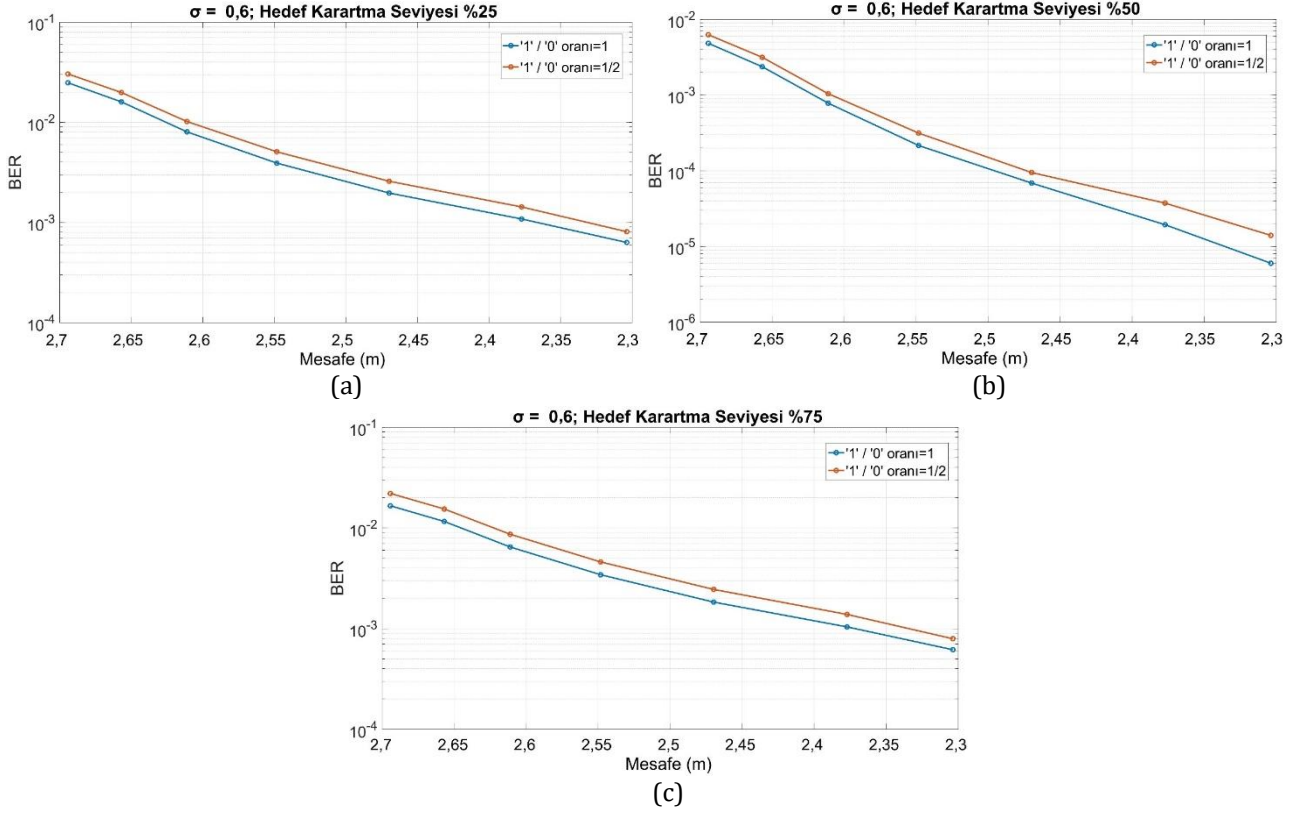
VPAPM iletim şeması için genel bir form aşağıdaki denklemde verildiği gibi ifade edilebilmektedir

$$x(t) = nAP \sum_{k=0}^{n-1} c_k p \left( t - \frac{kT}{n} \right) \quad (6)$$

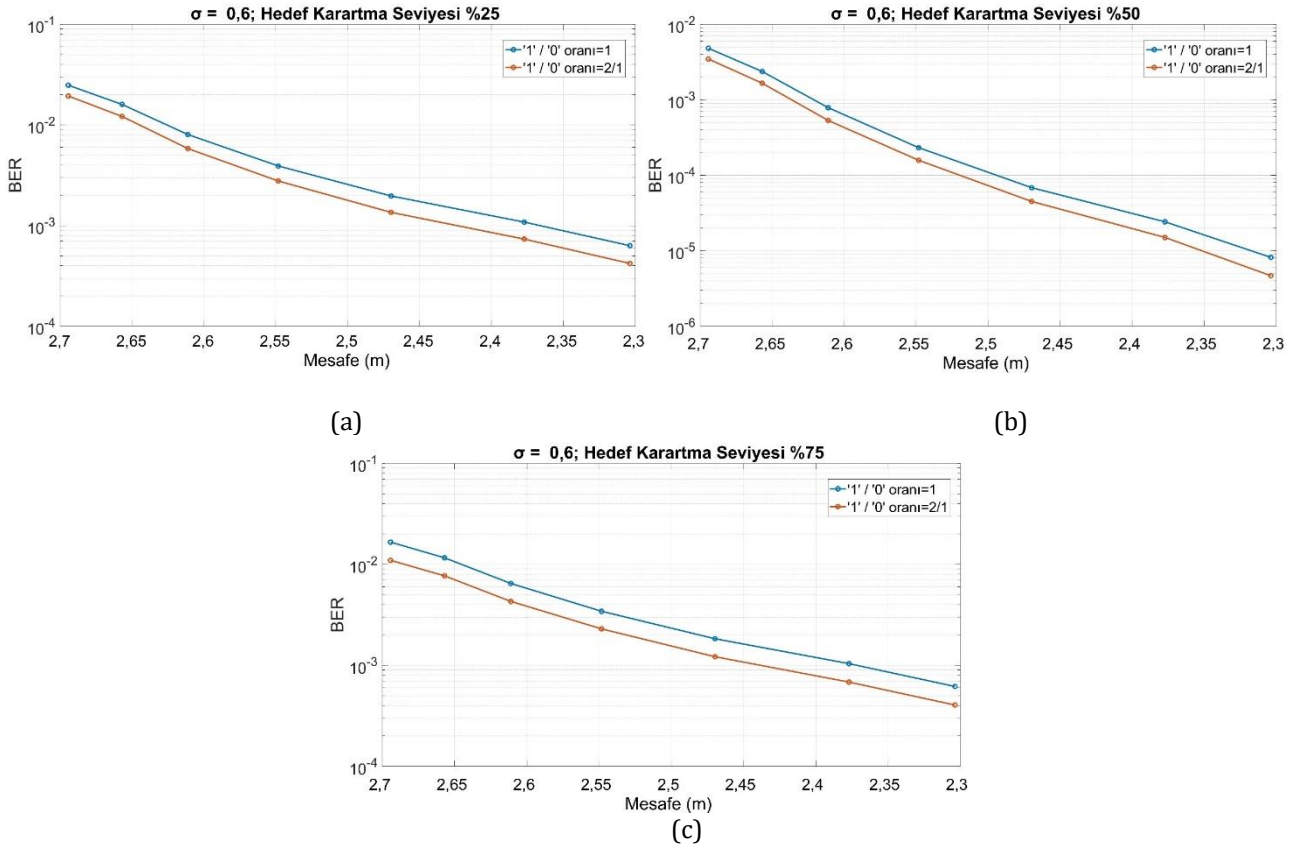
Şekil 3'de verilen geliştirilmiş demodülatör yapısı, M-2-VPAPM sinyallerinin çözülmesi için örnek bir mimari olarak düşünülebilir. İlk aşamada, darbenin konumunu tespit etmek için alınan sinyal bir maskeleyme sinyali ile çarpılır. Daha sonra sinyal,  $y_1(t)$  ve  $y_2(t)$  çıktılarını üreten entegratör bloklarından geçirilir. Son aşamada, her iki sinyal de bir karşılaştırıcıya uygulanır. Konum biti olarak adlandırılan ilk bit, karşılaştırma bloğunun çıkışında elde edilmektedir. Şekil 3'de gösterildiği gibi  $D_0$  olarak nitelendirilen veri bitini kodlamak için  $P/2$  ve  $3P/2$  dahil olmak üzere iki seviye oluşturulur.  $D_0$  seviyesini belirlemek için M-2-VPAPM için bir eşik değerinin gerekli olduğu görülmektedir. Bu nedenle, her iki iletim seviyesinin ortalama değeri olarak ayarlanabilen uygun bir eşik değeri  $D_0$  bitinin algılanması için kullanılmaktadır. Kullanıcının hareketli olması durumunda, bu durum alıcı gücünün dinamik seviyelerde olmasına neden olduğundan, alıcı sisteme uyarlanabilir bir algılama eşiği yöntemi uygulanmalıdır. Alınan  $x(t)$  sinyali optik dedektör nedeniyle üretilen gürültü sinyaline eklenir.

### 3. Simülasyon Sonuçları (Simulation Results)

Yapılan tez çalışmasının amaçlarından birisi dengeli olmayan 0 ve 1 dağılımında M-n-VPAPM iletim yönteminin BER performansının analiz edilmesidir. M ve n değerlerinin 2 olması doğrultusunda 2-2-VPAPM iletim yöntemi için Matlab programı kullanılarak elde edilen performans sonuçları Şekil 4 ve 5'te verilmektedir. Şekillerde verilen '1'/0' oranı  $3P/2$  gücünde gönderilen sinyal sayısının  $P/2$  gücünde gönderilen sinyal sayısına oranına eşittir. Bu durum Şekil 2.a ve Şekil 2.b'de verilen  $D_0$  bitinin 1 ve 0 gelme sayıları ile ifade edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları gürültünün standart sapması  $\sigma = 0,6$  için elde edilmiş olup, hedef karartma seviyeleri sırasıyla %25, %50 ve %75 olarak seçilmiştir. %100 dolu olan bir darbenin alıcı tarafta P gücünde bir etki oluşturduğu düşünülürse, hedef karartma seviyesi %25 olan bir sistem için alıcı tarafta  $0,25P$  gücünde bir sinyal alınmaktadır. Şekil 4.a' da verilen '1'/0' =  $1/2$  oranı,  $D_0$  bitinin mantıksal '1' seviyesinde olma sayısının mantıksal '0' seviyesinde olma sayısına oranı olarak düşünülmektedir. Mavi çizgi ile performansı verilen sistem için herhangi bir mesafede alınan normalize edilmiş güç  $0,25P$  iken, kırmızı renkli çizgi ile performansı verilen sistem için alınan normalize edilmiş güç yaklaşık olarak  $0,208P$  seviyesindedir. Şekil 4.b ve Şekil 4.c'de '1'/0' =  $1/2$  oranı olan sistemler için normalize edilmiş güç değerleri sırasıyla  $0,417P$  ve  $0,625P$  olarak hesaplanmaktadır. Ancak '1'/0' =  $1/1$  olan genel bir sistem için bu değerler %50 hedef karartma seviyesi için  $0,5P$  ve %75 hedef karartma seviyesi için  $0,75P$  olmalıdır.



Şekil 4. 2-2-VPAPM için farklı seviyelerde iletim (Yüksek Güç seviyesinden yapılan iletimlerin, hedef karartma seviyesine göre yapılan iletimlere göre daha fazla olduğu durum)

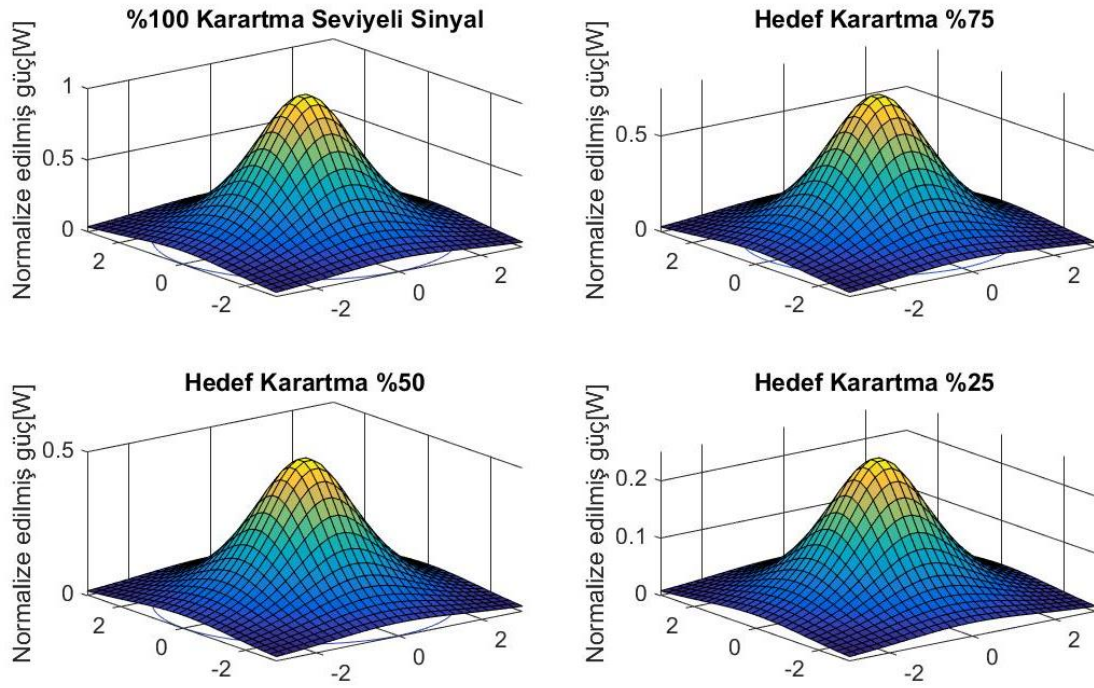


Şekil 5. 2-2-VPAPM için  $D_0$  bitinin 1/0=2/1 durumu altında BER performansı a) %25 hedef karartma seviyeli sinyal b) %50 hedef karartma seviyeli sinyal c) %75 hedef karartma seviyeli sinyal (BER performance of 2-2-VPAPM under 1/0=2/1 of ratio of  $D_0$  bit of cases a) 25% target dimming level b) 50% target dimming level c) 75% target dimming level )



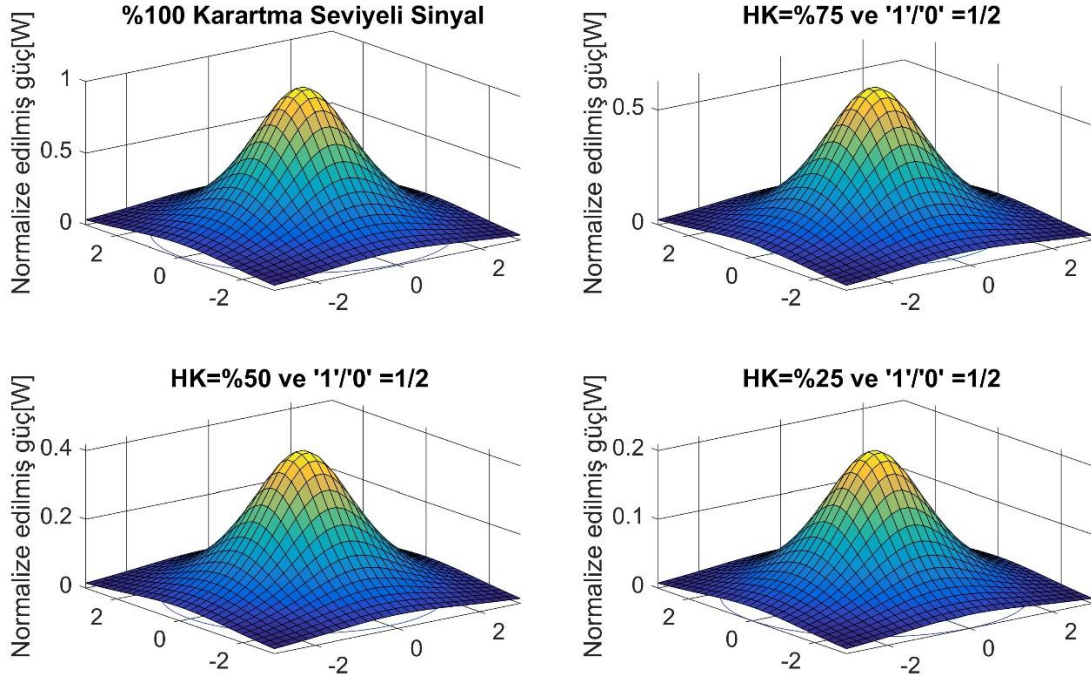
Şekil 5'de ise  $D_0$  bitinin '1'/0' =2/1 oranı için elde edilen sonuçlar  $D_0$  bitinin '1'/0' =1/1 oranı için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Hedef Karartma seviyeleri %25, %50 ve %75 için  $D_0$  bitinin '1'/0' =2/1 oranında elde edilecek karartma seviyeleri sırasıyla yaklaşık olarak %29,1, %58,3 ve %87,5 olacaktır.

Şekil 4 ve Şekil 5 birlikte incelendiğinde hedef karartma seviyesinin üzerindeki karartma seviyelerini veren  $D_0$  bitinin '1'/0' oranı için elde edilen BER sonuçlarının hedef karartma seviyesinin tam sağlanması durumunda elde edilen BER sonuçlarına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak  $D_0$  bitinin '1'/0' oranının hedef karartma seviyesinin altındaki bir karartma seviyesine eşit olacak şekilde VPAPM sinyalinin üretilmesine neden olması durumunda BER performansı, tam hedef karartma seviyesinde sinyal üreten sisteme göre daha düşük olacaktır. Şekil 6 tam hedef karartma seviyesinde üretilen sinyal için oda içi normalize edilmiş güç dağılımını vermektedirken, Şekil 7 ve Şekil 8 ise  $D_0$  bitinin '1'/0' oranına göre hedef karartma seviyesinin üzerinde ve altında karartma seviyelerine sahip olan sinyallerin oda içi güç dağılımını göstermektedir. Şekillerde HK hedef karartma seviyesi olarak tanımlanmaktadır.  $D_0$  bitinin '1'/0' oranındaki artış BER performansında artışa neden oluyorken, Şekil 6, 7 ve 8'e göre de güç verimliliği açısından bir düşüşe neden olmaktadır.

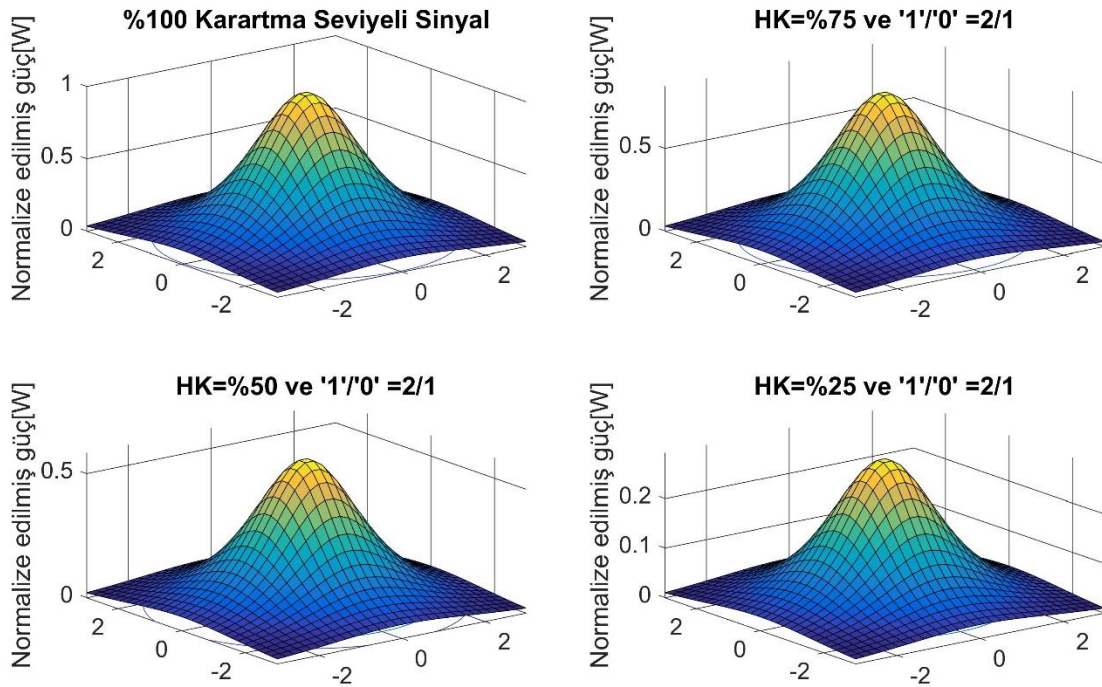


Şekil 6. 2-2-VPAPM için hedef karartma seviyesine göre oda içi normalize edilmiş güç dağılımı. (Indoor normalized power distribution for 2-2-VPAPM versus target dimming level )





Şekil 7. 2-2-VPAPM için  $D_0$  bitinin  $1/0=1/2$  durumu altında oda içi normalize edilmiş güç dağılımı (Indoor normalized power distribution for 2-2-VPAPM under  $1/0=1/2$  rate of  $D_0$  bit of cases )



Şekil 8. 2-2-VPAPM için  $D_0$  bitinin  $1/0=2/1$  durumu altında oda içi normalize edilmiş güç dağılımı (Indoor normalized power distribution for 2-2-VPAPM under  $1/0=2/1$  rate of  $D_0$  bit of cases )

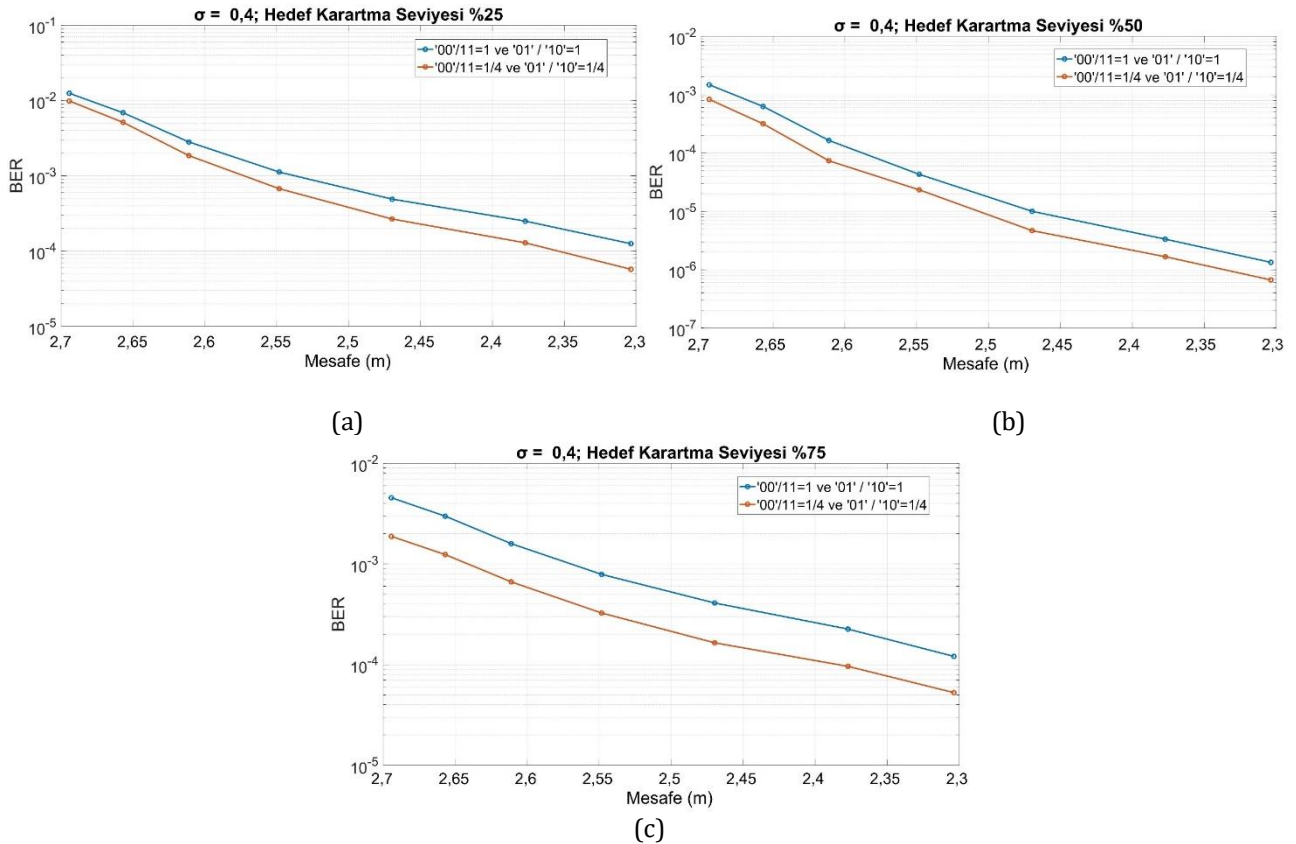
Tablo 1. 2-2-VPAPM için Normalize Edilmiş Güç Değerleri (Normalized Power Values for 2-2-VPAPM)

HK	'1'/0'	NEGD	'1'/0'	NEGD
25	1/2	0,208	2/1	0,291
50	1/2	0,417	2/1	0,583
75	1/2	0,625	2/1	0,875

Şekil 6, oda içi bir VLC sisteminde karartma seviyesine göre güç dağılımını ve en yüksek iletilebilecek güç değerinin 1'e normalize edilmiş şeklini vermektedir. Normalize edilen bu değer en kısa iletim mesafesi dikkate alınarak elde edilmiştir. %100 karartma seviyeli sinyal tam dolu olarak iletilen sinyal olarak düşünülmektedir. %75, %50 ve %25 karartma seviyeli sinyallerin sırasıyla normalize edilmiş güç değerlerinin (NEGD) maksimum değerleri 0,75, 0,50 ve 0,25 olarak elde edilmiştir. Geleneksel sisteme göre ve normalize edilmiş değerlere göre  $D_0$  dengeli olmayan '1'/'0' oranına göre ortalama güç dağılımı da Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmektedir.

Şekil 7'de  $D_0$  bitinin '1'/'0' oranı 1/2 iken, Şekil 8'de bu oran 2/1 olarak alınmıştır.  $D_0$  biti mantıksal '1' seviyesinde olduğunda VPAPM sinyal 3P/2 güç seviyesinde iletiliyorken, '0' seviyesindeyken modülasyonlu sinyal P/2 güç seviyesinde iletilmektedir. Bu nedenle '1'/'0' oranının yüksek olması durumunda iletilecek olan oda içi güç dağılımından da görüldüğü gibi mesafeye göre daha yüksek optik güç sağladığı görülecektir. Bu değerler sırasıyla en kısa iletim mesafesi için 0,291, 0,583 ve 0,875 olarak normalize edilmiştir. Ancak '1'/'0' oranının 1/2 olması durumunda normalize edilen değerler sırasıyla 0,208, 0,417 ve 0,625 olacaktır. Bu nedenle Şekil 7 ve Şekil 8'de verilen güç dağılımı, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen BER performansları ile birlikte incelendiğinden güç verimliliğinde artış olduğu görülmüştürken BER performansında düşüş olduğu izlenmektedir. 2-2-VPAPM için normalize edilmiş güç değerleri sayısal gösterim için Tablo-1'de verilmektedir.

Şekil 9 ve Şekil 10'da 4-2-VPAPM iletim yönteminin dengeli olmayan '00'/'11' ve '01'/'10' oranlarındaki iletim için elde edilen BER performansları verilmektedir. Şekil 3.4.c'de bu iki bit  $D_0$  ve  $D_1$  biti olarak gösterilmektedir.  $D_0$  ve  $D_1$  bitlerinin 00, 01, 10 ve 11 olması durumlarında iletilen 4-2-VPAPM sinyallerin güç seviyeleri sırasıyla P/4, 3P/4, 5P/4 ve 7P/4 olmaktadır. 2-2-VPAPM yönteminde olduğu gibi yüksek güç seviyesinden iletim yapılması ve hedef karartma seviyesinin üzerindeki karartma seviyelerinde elde edilen BER performansı, '00'/'11'=1 ve '01'/'10'=1 oranları için elde edilen BER performansına göre daha yüksek seviyededir. Bu durum Şekil 9.a, Şekil 9.b ve Şekil 9.c'de verilmektedir.

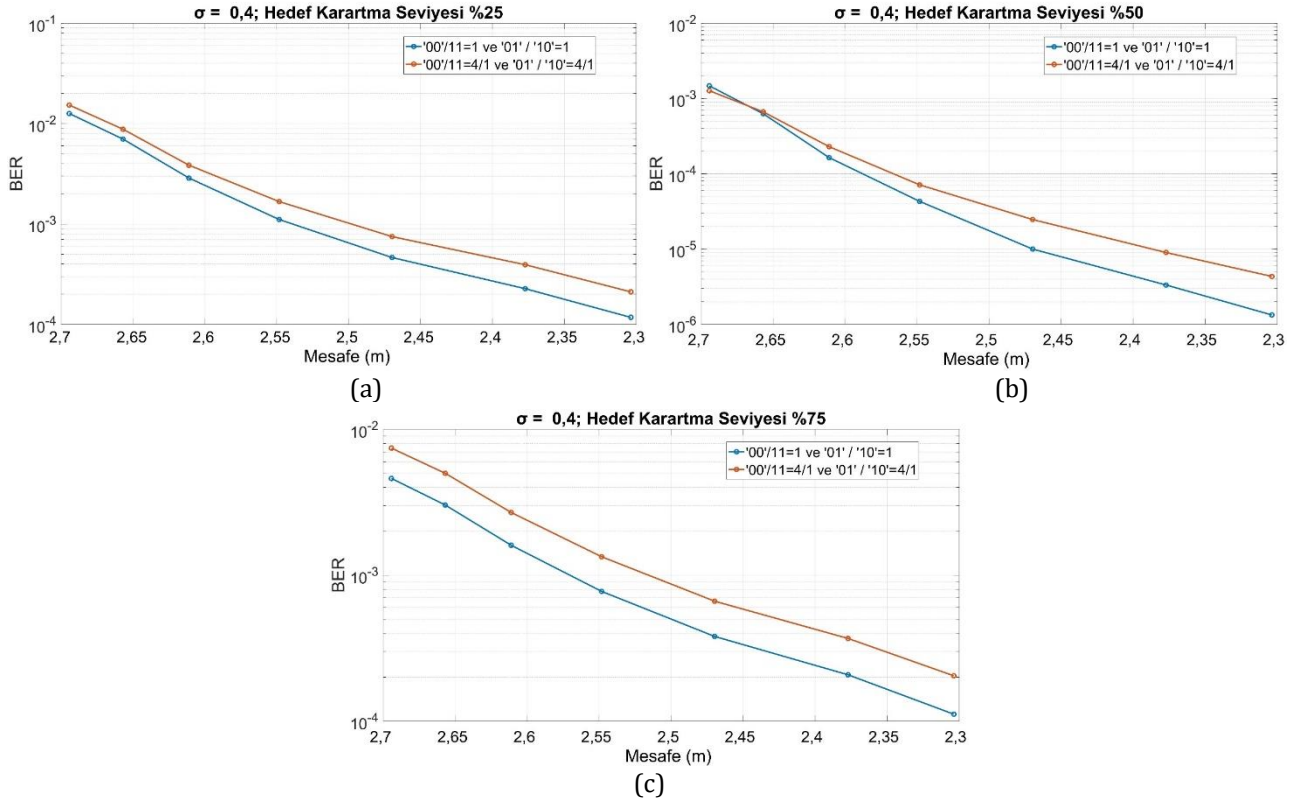


Şekil 9. 4-2-VPAPM için 00/11=1/4 ve 01/10=1/4 durumları altında BER performansı a) %25 hedef karartma seviyeli sinyal b) %50 hedef karartma seviyeli sinyal c) %75 hedef karartma seviyeli sinyal (BER performance of 4-2-VPAPM under 00/11=1/4 ve 01/10=1/4 of cases a) 25% target dimming level b) 50% target dimming level c) 75% target dimming level )

2-2-VPAPM şemasında olduğu gibi daha yüksek seviyede iletim yapan 4-2-VPAPM iletim yönteminde de yüksek ve düşük güç seviyelerden yapılan iletimlerin oranlarında değişiklik yapılarak Şekil 4.10'da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Sırasıyla %25, %50 ve %75 karartma seviyeleri için 0,4 gürültü standart sapma değeri için simülasyon sonuçları Şekil 4.10. a, Şekil 4.10. b ve Şekil 4.10. c'de verilmektedir. Hem Şekil 4.9 hem de Şekil 4.10'da verilen simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi en iyi BER performansı '00'/'11'=1 ve '01'/'10'=1 oranları için %50

karartma seviyesinde alınmaktayken %25 ve %75 karartma seviyelerinde elde edilen BER performansları benzerlik göstermektedir.

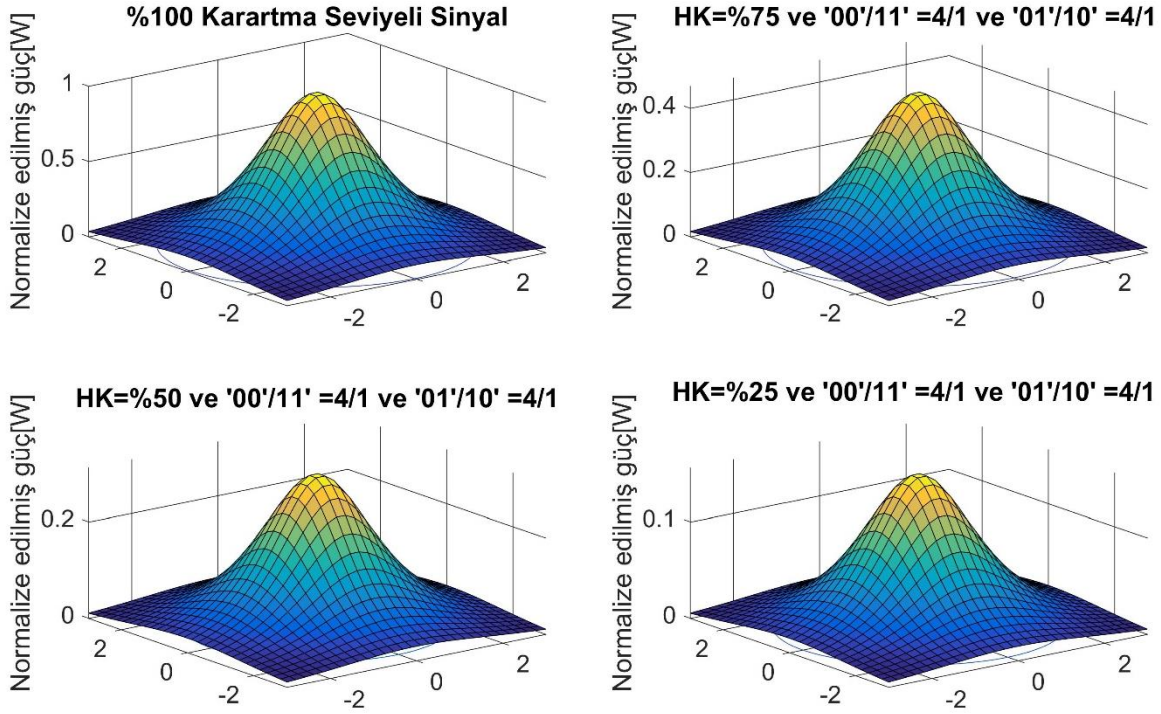
Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi hedef karartma seviyesinde iletilen sinyale göre daha iyi bir BER performansı, dengeli olmayan  $D_0$  ve  $D_1$  bitlerinin '00'/'11' ve '01'/'10' oranlarında elde edilmiştir. '00'/'11'=1/4 ve '01'/'10'=1/4 olması, hedef karartma seviyesine göre daha yüksek karartma seviyeli sinyalin üretimine neden olmaktadır. Ayrıca iletilen sinyallerin ortalama güç seviyeleri %25, %50 ve %75 karartma seviyeleri için sırasıyla 0,325P, 0,650P ve 0,975P olmaktadır. Benzer şekilde Şekil 4.10'da kullanılan '00'/'11'=4 ve '01'/'10'=4 oranı için elde edilen ortalama güç seviyeleri %25, %50 ve %75 karartma seviyelerinde sırasıyla 0,175P, 0,350P ve 0,525P olarak elde edilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi dengeli olmayan  $D_0$  ve  $D_1$  bitlerinin '00'/'11' ve '01'/'10' oranlarının hedef karartma seviyesinin altında bir karartma seviyesine neden olması, BER performansında düşüşe neden olmaktadır.



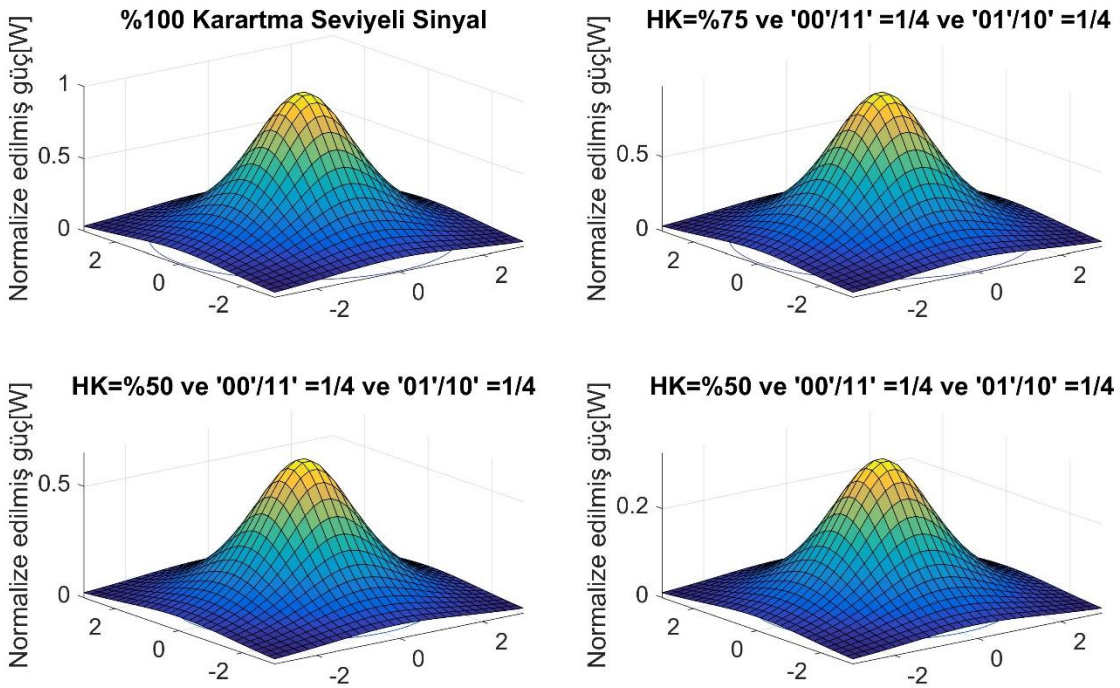
**Şekil 10.** 4-2-VPAPM için 00/11=4/1 ve 01/10=4/1 durumları altında BER performansı a) %25 hedef karartma seviyeli sinyal b) %50 hedef karartma seviyeli sinyal c) %75 hedef karartma seviyeli sinyal (BER performance of 4-2-VPAPM under 00/11=4/1 ve 01/10=4/1 of cases a) 25% target dimming level b) 50% target dimming level c) 75% target dimming level )

Şekil 9 ve Şekil 10'da  $D_0$  ve  $D_1$  bitlerinin dengeli olmayan '00'/'11' ve '01'/'10' oranları için BER performans sonuçları verilmiştir. Bu sonuçların elde edilmesinde kullanılan sinyallerin oda içerisindeki güç dağılımları incelenmiş olup, dağılımlar Şekil 11 ve Şekil 12'de verildiği gibidir. Şekillerden görüldüğü gibi dengeli '00'/'11' ve '01'/'10' oranına sahip ve %100 karartma seviyeli sinyalin güç değeri 1W değerine normalize edilmiştir. Normalize edilmiş bu güç değeri kullanılarak dengeli olmayan '00'/'11' ve '01'/'10' oranındaki sinyaller için de dağılımlar elde edilebilmektedir. '00'/'11'=4 ve '01'/'10'=4 oranlarında elde edilen güç değerleri %25, %50 ve %75 karartma seviyelerinde sırasıyla 0,175P, 0,350P ve 0,525P olarak belirtilmiştir. Bu değerlerde P yerine normalize edilmiş güç değeri yazılarak Şekil 11'de elde edilen sonuçlar incelenebilmektedir. Benzer şekilde '00'/'11'=1/4 ve '01'/'10'=1/4 oranlarında elde edilen güç değerleri %25, %50 ve %75 karartma seviyelerinde sırasıyla 0,325P, 0,650P ve 0,975P olarak elde edilmiştir. 4-2-VPAPM için normalize edilmiş güç değerleri sayısal gösterim için Tablo-1'de verilmekte olup, bu referans değerler için de simülasyon sonuçları Şekil 12'de görüldüğü gibidir.





Şekil 11. 4-2-VPAPM için 00/11=4/1 ve 01/10=4/1 durumları altında oda içi normalize edilmiş güç dağılımı (Indoor normalized power distribution for 4-2-VPAPM under 00/11=4/1 ve 01/10=4/1 of cases)



Şekil 12. 4-2-VPAPM için 00/11=1/4 ve 01/10=1/4 durumları altında oda içi normalize edilmiş güç dağılımı (Indoor normalized power distribution for 4-2-VPAPM under 00/11=1/4 ve 01/10=1/4 of cases)

Tablo 2. 4-2-VPAPM için Normalize Edilmiş Güç Değerleri (Normalized Power Values for 4-2-VPAPM)

HK	'00'/11' ve '01'/10'	NEGD	'00'/11' ve '01'/10'	NEGD
25	4/1	0,175	1/4	0,325
50	4/1	0,350	1/4	0,650
75	4/1	0,525	1/4	0,975

#### 4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada VPAPM yönteminin BER performansı alıcı-verici arasındaki mesafe dikkate alınarak incelenmiştir. BER performansı düşük veya yüksek güç seviyelerinden yapılan iletimlerin eşit olmadığı durumlar için elde edilmiştir. Bu durumda VPAPM iletim şemasının hedef karartma seviyesinden uzaklaştığını göstererek istenilen karartma seviyesinin ayarlanabilmesinin oldukça zor olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni hedef karartma seviyesinin sağlanabilmesi için veri bitlerinin dengeli olarak gelmesi gerektiğinden olduğu görülmüştür. Ayrıca, karşılaştırma sonuçlarına yüksek güç seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER performansı hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER performansına göre daha iyi bir sonuç veriyorken, düşük güç seviyesinde yapılan iletimlerin hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlere göre daha düşük BER performansı verdiği görülmüştür. İleride yapılacak çalışmalarda, bilgi bitlerinden bağımsız olarak hedef karartma seviyesinin tam olarak desteklenebilmesinde kullanılacak bir mimarinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma için destek alınmamıştır.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar (References)

- Börekoğlu, S. Sönmez, M. (2022). Performance Analysis of Dimming Methods in Visible Light Communication Systems . Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences , 8 (3) , 485-493 .
- Chavhan, S., 2022. Shift to 6G: Exploration on trends, vision, requirements, technologies, research, and standardization efforts. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 54, 1-33.
- Deng, K., Wan, Y., Lu, Y., 2019. MPPM based dimming control scheme in visible light communication systems. Optics Communications, 451, 168-173.
- Dyble, M., Narendran, N., Bierman, A., Klein, T., 2005. Impact of dimming white LEDs: chromaticity shifts due to different dimming methods, in Proc. SPIE 5th Int. Conf. Solid State Lighting, 5941, 291-299.
- Feng, L., Hu, R. Q., Wang, J., Xu, P., 2015. Fountain code-based error control scheme for dimmable visible light communication systems. Optics Communications, 347, 20-24.
- Gu, Y., Narendran, N., Dong, T., Wu, H., 2006. Spectral and luminous efficacy change of high-power LEDs under different dimming methods, in Proc. 6th Int. Conf. Solid State Lighting, 6337, 1-7.
- Guo, J. N., Zhang, J., Zhang, Y. Y., Xin, G., Li, L., 2021. Joint multi-LED dimming control scheme based on the additively uniquely decomposable constellation group. Optics Communications, 495, 1-6.
- Israr, A., Yang, Q., Israr, A., 2022. Power consumption analysis of access network in 5G mobile communication infrastructures An analytical quantification model. Pervasive and Mobile Computing, 80, 1-17.
- Jarchlo, E. A., Eso, E., Doroud, H., Siessegger, B., Ghassemlooy, Z., Caire, G., Dressler, F., 2022. Li-Wi: An upper layer hybrid VLC-WiFi network handover solution. Ad Hoc Networks, 124, 1-10.
- Karunatilaka, D., Zafar, F., Kalavally, V., Parthiban, R., 2015. LED based indoor visible light communications: State of the art. IEEE communications surveys & tutorials, 17(3), 1649-1678.
- Komine, T., Nakagawa, M., 2004. Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights. IEEE transactions on Consumer Electronics, 50(1), 100-107.
- Lee K., Park H., 2011. Modulations for visible light communications with dimming control, IEEE Photon. Technol. Lett., 23(16), 1136-1138.
- Matheus, L. E. M., Vieira, A. B., Vieira, L. F. M., Vieira, M. A. M., Gnawali, O., 2019. Visible light communication: concepts, applications and challenges, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 21(4), 3204-3237.
- Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Amjad, H., 2022. Hybrid FSO/RF networks: A review of practical constraints, applications and challenges. Optical Switching and Networking, 47, 1-17.
- Raj, R., Jaiswal, S., Dixit, A., 2020. On the effect of multipath reflections in indoor visible light communication links: Channel characterization and BER analysis. IEEE Access, 8, 190620-190636.
- Raj, R., Jaiswal, S., Dixit, A., 2021. Dimming-based modulation schemes for visible light communication: spectral analysis and ISI mitigation. IEEE Open Journal of the Communications Society, 2, 1777-1798.
- Shahjalal, M., Kim, W., Khalid, W., Moon, S., Khan, M., Liu, S., Jang, Y. M., 2022. Enabling technologies for AI empowered 6G massive radio access networks. ICT Express, Article in Press.
- Shankar, V., Grewal, D., Sunder, S., Fossen, B., Peters, K., Agarwal, A., 2021. Digital marketing communication in global marketplaces: A review of extant research, future directions, and potential approaches. International Journal of research in Marketing, 39(2), 541-565.
- Stergiou, C. L., Psannis, K. E., 2022. Digital Twin Intelligent System for Industrial IoT-based Big Data Management and Analysis in Cloud. Virtual Reality & Intelligent Hardware, 4(4), 279-291.
- Vats, A., Aggarwal, M., Ahuja, S., 2022. Outage and error performance analysis of dual hop hybrid RF-VLC system with wireless energy harvesting. Physical Communication, 55, 1-10.

- Wang, J. Y., Wang, J.B., Chen, M., Song, X., 2013. Dimming scheme analysis for pulse amplitude modulated visible light communications. In 2013 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, 1-6.
- Wang, Z., Zhong, W. D., Yu, C., Chen, J., Francois, C. P. S., Chen, W., 2012. Performance of dimming control scheme in visible light communication system. *Optics express*, 20(17), 18861-18868.
- Yi, L., Lee, S.G., 2014. Performance improvement of dimmable VLC system with variable pulse amplitude and position modulation control scheme. In 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network, 81-85.
- Yoo, J.H., Jung, S.Y., 2013. Modeling and analysis of variable PPM for visible light communications. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013(1), 1-6.
- Yoo, J.H., Kim, B.W., Jung, S.Y., 2015. Modelling and analysis of M-ary variable pulse position modulation for visible light communications. *IET Optoelectronics*, 9(5), 184-190.
- Yun, J., Ryeom, J., 2020. Dimming Correction Scheme considering Luminous Characteristics of R, G, B LEDs in Visible Light Communication. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15, 1759-1768.
- Zafar, F., Kalavally, V., Bakaul, M., Parthiban, R. 2015. Experimental investigation of analog and digital dimming techniques on photometric performance of an indoor Visible Light Communication (VLC) system. In Fourteenth International Conference on Solid State Lighting and LED-based Illumination Systems, 9571, 59-66.
- Zafar, F., Karunatilaka, D., Parthiban, R. 2015a. Dimming schemes for visible light communication: the state of research. *IEEE Wireless Communications*, 22(2), 29-35.
- Zafar, F., Bakaul, M., Parthiban, R. 2017. Laser-Diode-Based Visible Light Communication: Toward Gigabit Class Communication. *IEEE Communications Magazine*, 55(2), 144-151.