

Yeni Bir VOOK Modülâtör Mimarîsinin Tasarımı

Mehmet SÖNMEZ^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 80010, Osmaniye

¹<http://orcid.org/0000-0002-6025-3734>

*Sorumlu yazar: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 15.01.2022

Kabul tarihi: 28.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Demodülâtör

FPGA

Modülâtör

VLC

VOOK

ÖZ

Görünür ışık haberleşme (VLC: Visible light communication) sistemlerinin gelişimi, optik kablosuz sistemlere olan ilginin artmasını sağlamıştır. Bu nedenle yapılan çalışmada karartma kontrolü sağlayan Değişken Aç-Kapa Anahtarlama (VOOK: Variable On-Off Keying) yöntemi için sayısal devre tabanlı bir mimari önerilmiştir. Özellikle literatürde ilk kez olarak, VOOK sinyalinin üretilmesi için bir adaptif verici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geleneksel sistemde kod sözcüklerinin değiştirilmesi durumunda, karartma seviyesi bilgilerinin yer aldığı sabit saklayıcıların tamamının değiştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bazı bloklar giriş bit sayısının değişikliği nedeniyle yeniden tasarlanmalıdır. Ancak önerilen sistemde, karartma seviyesinin değişimi için sisteme sadece karartma seviyesi bilgisi girilerek üretilen VOOK sinyalinin karartma seviyesi kontrol edilebilmektedir. Ayrıca VLC-VOOK sistemler için bir alıcı tasarımı geliştirilmiştir. Önerilen tasarımlar FPGA (Field Programmable Gate Arrays: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) derleyicisi Quartus programında oluşturulmuştur. Çalışmada VOOK yönteminin hata performans analizini gerçekleştirebilmek için bir gürültü üretici sisteme entegre edilmiş olup, bir Bit Hata Oranı (BER: Bit Error Rate) hesaplayıcısı sisteme uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları; %30, %40 ve %50 karartma seviyeli VOOK sinyaller için bir karşılaştırma içermektedir. Yapılan donanımsal tasarım, gerçek zamanlı FPGA uygulamaları için simülasyon tabanlı bir model oluşturmaktadır.

Design of a New VOOK Modulator Architecture

Research Article

Article History:

Received: 15.01.2022

Accepted: 28.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Demodulator

FPGA

Modulator

VLC

VOOK

ABSTRACT

The improving Visible light communication (VLC) systems have led to an increased interest in optical wireless systems. Therefore, in this paper a digital circuit-based architecture is proposed for the Variable On-Off Keying (VOOK) method, which provides dimming control. Especially, for the first time in the literature an adaptive transmitter design has been improved to generate the VOOK signal. It must be changed the constant registers which include the dimming level information when the codewords are modified in the traditional system. Addition to this, some blocks must be rearranged due to the changing of input bit number. However, in the proposed system the dimming level of the VOOK signal can be controlled by applying only the dimming level information to the system to change the dimming level. Moreover, it is improved a receiver design for VLC-VOOK systems. The algorithms in this paper have been designed on FPGA (Field Programmable Gate Arrays) compiler Quartus. To obtain an error performance analysis of VOOK method, it is integrated a noise generator on the system. A BER analyzer is applied on the system. The simulation results consist of performance comparison among the VOOK signals with the dimming levels of 30%, 40% and 50%. This hardware design can be considered as a simulation based model.

To Cite: Sönmez M. Yeni Bir VOOK Modülâtör Mimarîsinin Tasarımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1230-1243.

1. Giriş

Son zamanlarda kullanıcılar arasında büyük veri paylaşımının yaygınlaşmasıyla birlikte, yetersiz kalan radyo frekans bantlarının eksikliğinin giderilmesi için optik kablosuz sistemler büyük ilgi görmektedir (Shukla ve ark., 2022). Özellikle son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından ilgi odağı olan Görünür ışık haberleşme sistemleri, optik iletişim ağları üzerinden veri paylaşımı gerçekleştirmek için 6G (Sixth Generation: 6. Nesil) haberleşme sistemleri ile entegre bir şekilde çalışmaya aday bir iletişim sistemi olarak ortaya çıkmaktadır (Guo ve ark., 2021). Bu nedenle literatürde VLC ile ilgili tanımlanan birçok problem bulunmakta olup, belirlenen problemlerin çözümüne yönelik çalışmaların mevcut olduğu görülmektedir. Özellikle VLC sistemlerde, karartma kontrolünün sağlanması (Belli ve ark. 2022; Guo ve ark., 2020), titreşim sorunları (vd Zwaag ve ark., 2019), sinyaller arası girişim etkileri (Miramirkhani ve ark, 2021), yapay ışık ve güneş ışığı engelleme modelleri (Yahia ve ark, 2021), oda içi gezgin kullanıcıyı destekleme (Zhang ve ark, 2020), dış ortam araç-araç haberleşmesi (Narmanlıoğlu ve ark, 2018) ve VLC'nin biyomedikal uygulamaları (Chaudhary ve ark, 2021) gibi güncel konular üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Görünür ışık haberleşme sistemlerinde veri iletiminin sağlanması genel olarak darbe konum modülasyonu veya genlik modülasyonu yöntemleri ile sağlanmaktadır (Lee ve Park, 2011). Konum ve genlik yöntemleri kullanılarak verinin iletimi optik haberleşme sistemleri için uzun yıllar öncesinden günümüze kadar kullanılan yöntemlerdir. Ancak kullanıcıların VLC sistemlerini kullanırken değişken ışık seviyelerine ihtiyaç duymaları konum ve genlik yöntemleri ile veri iletimini sağlayan PPM (Darbe Konum Modülasyonu: Pulse Position Modulation) ve PAM (Pulse Amplitude Modulation: Darbe Genlik Modülasyonu) yöntemlerinin modifikasyona uğramasına neden olmuştur. Öncelikli olarak ikili ilettime izin veren 2-PPM ve OOK yöntemlerine PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu: Pulse Width Modulation) tekniğinin uygulanmasıyla VPPM (Değişken PPM: Variable PPM) ve VOOK (Değişken OOK: Variable OOK) iletim şemaları önerilmiştir (Raj ve ark, 2021). Önerilen şemalar karartma seviyesini değiştirmek için sinyalin görev periyodunu değiştirmektedir. İlerleyen yıllarda daha yüksek veri iletiminin sağlanması amacıyla sarmal bir yapıya sahip olan M-VPPM yöntemi literatürde önerilmiştir. M-VPPM yöntemi hedef karartma seviyesini yakalayabilmek için iletilecek olan bilgi bitlerinin değerine göre sarmal bir yapı oluşturabilmektedir (Yoo ve ark, 2015).

Modülasyon yöntemlerinin kullanımı ile uygulamalarda birçok problem ortaya çıkmaktadır. En önemli problemlerden biri LED (Işık Yayan Diyot: Light Emitting Diode)'in lineer olmayan çalışma durumunda alıcının Bit Hata Oranı (BER: Bit Error Rate) performansını önemli ölçüde düşürmesidir (Chen ve ark, 2019). Özellikle yüksek hızlı VLC sistemlerde LED'in non-lineer çalışma durumunun oluşturduğu etkiyi düşürmek için geleneksel olarak dengeleyiciler kullanılmaktadır (Ge ve ark, 2020). Yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı çalışmalarda yapay ışık etkisi düşürülebilmesi için dengeleyici tasarımı gerçekleştirildiği görülmektedir (Jain ve ark, 2020). Özellikle geleneksel sistemlerin karmaşık yapısını düşürmek ve optimum bir dengeleyici sistemin tasarımı için akıllı yöntemler tercih edilmektedir (Chen ve ark, 2021).

VLC sistemleri teorik olarak birçok açıdan incelenmesinin yanı sıra, literatürde uygulanabilir pratik sistemlerin de tasarımının gerçekleştirildiği görülmektedir. Temel uygulanabilir sistemler olarak OOK ve PPM yöntemlerinin pratik tasarımı birçok çalışmada göz önüne alınmıştır. Özellikle OOK yöntemleri için ortam ışığının engellenmesi ve gezgin kullanıcılar için adaptif eşik değer yöntemlerinin geliştirilmesi incelenen önemli konular arasında olmuştur (Pham ve ark, 2017; Li ve ark, 2017). Ayrıca FPGA tabanlı bir VPPM yönteminin geliştirilmesi, adaptif olarak uygulanabilir kararlı kontrollü VLC sistemlerin tasarımının büyük ölçüde önemli olduğunu göstermektedir (Jeong ve ark, 2014). Temel sistemlerin yanında çok seviyeli veri iletimi gerçekleştiren modülasyon yöntemleri için de uygulanabilir sistemler geliştirilmiştir. Özellikle SVM (Support Vector Machine: Destek Vektör Makinesi) gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak seviye tahmini yapan OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation: Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama) tabanlı bir SPAM (Superposed Pulse Amplitude Modulation) alıcı mimarisinin tasarımı, makine öğrenmesi yöntemlerinin VLC sistemlerde seviye tahmininde kullanılabilir olduğunu göstermiştir (Yuan ve ark, 2017).

Yapılan çalışmalara ek olarak FPGA, VLC sistemlerde birçok alanda kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde güvenli bir haberleşme sisteminin tasarımında Xilinx AX545 FPGA kartı üzerinde, NOMA (Non-orthogonal Multiple Access: Dikgen-Olmayan Çoklu Erişim) VLC sistemi için PAPR'ın (peak-to-average power ratio: tepe/ortalama güç oranı) düşürülmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan çoklu erişim sistemine, 128 noktalı FFT (Fast Fourier Transform: Hızlı Fourier Dönüşümü) ve 4-QAM (Quadrature Amplitude Modulation: Dördün Genlik Modülasyonu) algoritmaları entegre edilmiştir (Wu ve ark, 2021). Farklı bir OFDM uygulamasında literatürde ilk kez ASK-CE-OFDM (Amplitude Shift Keying-Constant Envelope-Orthogonal Frequency Division Multiplexing: Genlik Kaydırmalı Anahtarlamalı Sabit Genlikli Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama) yönteminin gerçek zamanlı bir uygulaması Xilinx Kintex-7 KC705 FPGA kartı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre 3.5m mesafede, 2-ASK sinyalin ve CE-OFDM sinyalin BER performanslarının gerçek zamanlı sistemler için başarılı olduğu görülmektedir (Lu ve ark, 2019). Bu çalışmalar ile birlikte 2020 yılında VC707 Xilinx FPGA kartı üzerinde bir OFDM-NOMA sistemi tasarlanarak ev içi veri iletişimi için deneysel bir heterojen ağ yapısı kurulmuştur (Shi ve ark, 2020). 2018 yılında yapılan bir çalışmada, yüksek veri hızlarında LED ve foto-alıcı kaynaklı olan sinyal bozulmalarını önlemek için FPGA tabanlı alıcı-verici sisteme bir ön-bozulma önleyici bir dalga şekillendirici entegre edilmiştir. OOK yöntemi üzerinde başarımlı izlenen dalga şekillendiricili sistem 262 Mb/s hızında veri iletimini 5m veri iletim mesafesinde 1.0×10^{-6} BER performansında gerçekleştirmiştir (Xu ve ark, 2018).

Literatürde FPGA kartı üzerinde birçok VLC deneysel uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kararlı kontrollü yöntemlerden birisi olan ve çok yaygın kullanılan VPPM yöntemi için de verimli çalışan bir FPGA tabanlı VPPM şeması önerilmiştir (Jeong ve ark, 2014). Ancak adaptif bir FPGA-VOOK sisteminin tasarımı literatürde şu an için bir boşluk olarak görülmektedir. Bu nedenle yapılan

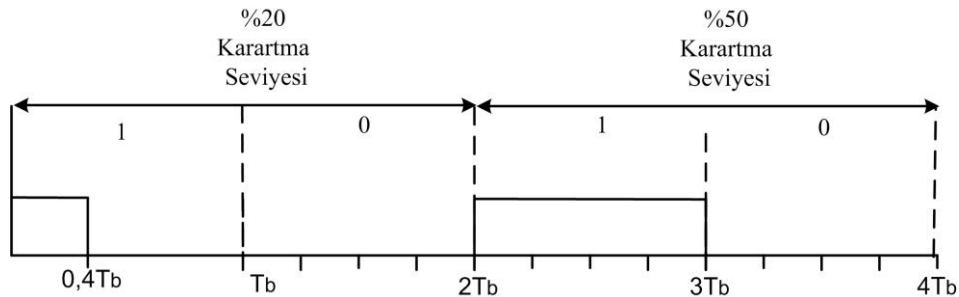
çalışmada karartma seviyesi bilgisi girilerek doğrudan VOOK sinyali üreten bir adaptif verici modeli önerilmiştir. Önerilen modelin doğruluğu FPGA derleyicisi Quartus programında test edilmiştir. Ayrıca adaptif modülatör çıkışından alınan sinyalin demodülasyonu için de bir alıcı sistem tasarlanmıştır. Test sonuçlarına göre önerilen verici sistem başarılı bir şekilde VOOK sinyalini üretmekte olup demodülatör mimarisi alınan sinyalden bilgi bitlerini yeniden tahmin edebilmektedir. Yapılan çalışmada farklı karartma seviyeli sinyallerin BER analizini gerçekleştirebilmek için fotodiyot kaynaklı gürültüyü temsil etmek için bir gürültü üretici ve BER hesaplayıcısı sisteme entegre edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında %30, %40 ve %50 karartma seviyeli VOOK sinyalleri için performans analizi gerçekleştirilmiştir.

2. VOOK Yöntemi

VOOK yöntemi OOK yöntemine PWM yönteminin uygulanması ile elde edilmiş bir iletim yöntemidir. OOK yönteminde olduğu gibi VOOK yöntemi de ikilik düzeyde veri iletimine imkan sağlamaktadır. Tablo-1’de, üretilecek olan VOOK sinyalinin farklı karartma seviyelerinde olması gereken slot değerleri verilmiştir. Tabloda ' d ' değeri veri bitinin durumuna göre değişmektedir. Eğer gönderilecek olan bit '1' ise d değeri de '1' olacaktır. Diğer durumda d değeri, '0' olmaktadır. Şekil-1’de is farklı karartma seviyelerinde bulunan VOOK sinyallerine örnek olarak zamana göre bir sinyal değişimi verilmiştir. Tabloda %20 karartma seviyesini sağlayabilmek için toplam 20 adet slot değerinden 8 tanesi d değerini alırken 12 slot değeri '0' değerindedir.

Tablo 1. Karartma Seviyesi (δ)’ne göre VOOK Kod dizisi (Lee ve Park, 2011).

δ	Kod dizisi (VOOK)
0	00000000000000000000
0.1	dddd0000000000000000
0.2	ddddddd0000000000000
0.3	dddddddddd0000000000
0.4	dddddddddddddd0000
0.5	dddddddddddddddd
0.6	ddddddddddddddd1111
0.7	ddddddddddd11111111
0.8	ddddddd111111111111
0.9	ddd1111111111111111
1	11111111111111111111



Şekil 1. %20 ve %50 karartma seviyesine örnek bir VOOK sinyal

Bilgi biti '1' olursa Şekil-1'den de görüldüğü gibi toplam bit sayısının 8/20 (0.4) katı kadar slot '1' değerinde olmalıdır. Dolayısıyla bir bit periyodu T_b ile gösterilirse, $0.4 T_b$ süresince sinyal, '1' seviyesinde tutulmakta olup geri kalan $0.6 T_b$ süresince, '0' seviyesindedir. %50 karartma seviyesi için ise şekilden de görüldüğü gibi geleneksel OOK yöntemi olarak veri iletiminin gerçekleştiği görülmektedir. VLC sistemlerinde kapalı ortamda ışığın yayılımını incelemek için Lambertian dağılım modeli referans alınmaktadır. Lambertian dağılımına göre kanalın DC kazancı Eşitlik 1'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

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

Eşitlik 1'de; m , A_r , D_k ve Ψ_c sırasıyla Lambertian derecesi, foto algılayıcının fiziksel alanı, alıcı-verici arasındaki mesafe ve görüş alanı genişliği olarak ifade edilmektedir. T_s ve g sırasıyla optik filtre ve yoğunlaştırıcı kazançları olarak tanımlanmaktadır (Komine ve Nakagawa, 2004; Wang ve ark, 2018). Eğer iletilen güç P_t ile ifade edilirse alınan güç Denklem (2)'de verildiği gibi gösterilebilir (Wang ve ark, 2012).

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

Denklemden P_r alınan gücü göstermektedir. Sinyal optik algılayıcı tarafından algılandıktan sonra fotodiyot tarafından bir sinyal oluşturulacaktır. Fotodiyot tarafından alınan sinyal $s(t)$ ile gösterilirse, sinyal gücü Denklem (1) ve (2)'ye bağlı olarak değişmektedir. Eğer fotodiyot kaynaklı gürültü $n(t)$ ile ifade edilirse fotodiyot çıkışında oluşacak sinyalin ifadesi Denklem (3)'te verildiği gibidir.

$$y(t) = s(t) + n(t) \quad (3)$$

Verilen ifadede $y(t)$, fotodiyot tarafından alınan VOOK sinyal olarak ifade edilebilir. Demodülasyon aşaması için Tablo 1'de verilen kod dizilerinden d ile ifade edilen slotların durumu dikkate alınarak bilgi bitleri tahmin edilebilmektedir. Ancak tablo incelendiğinde δ ve $(1-\delta)$ karartma seviyeleri için aynı sınırları içeren bir demodülatörün kullanılabilir olduğu görülmektedir. Bu nedenle genel bir form, δ ve $(1-\delta)$ değerlerinin birlikte dikkate alınmasıyla oluşturulmaktadır. Denklem-4 VOOK sinyalleri için alınan sinyalin integralini veren ifadeleri içermektedir.

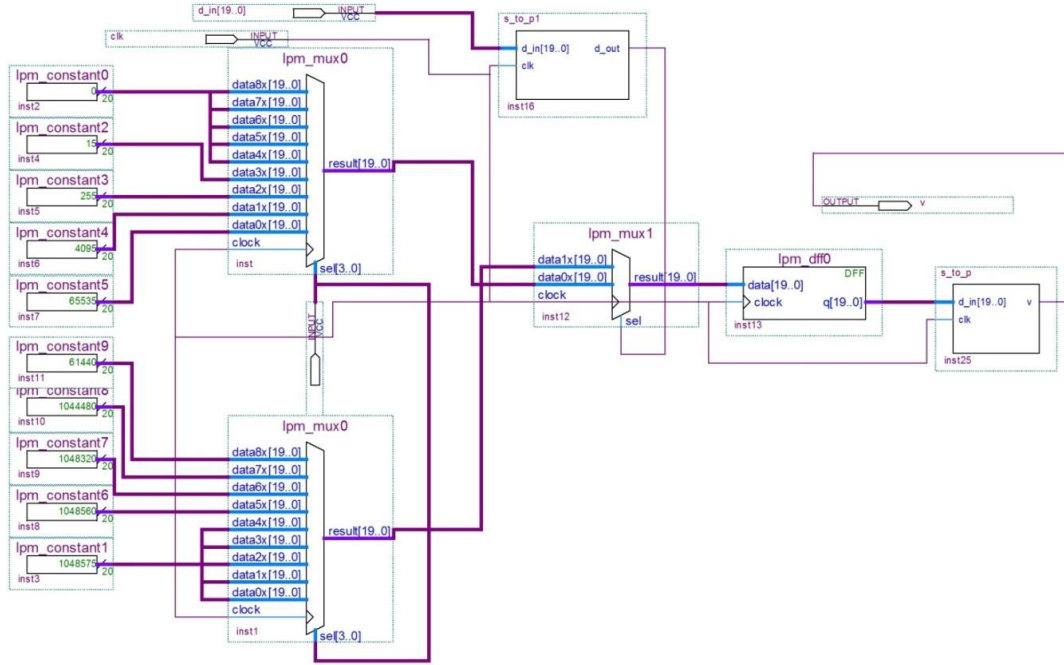
$$I(t) = \int_0^{2\delta T_b} y(t) dt \quad \text{Eğer } \delta \leq 0.5$$

$$I(t) = \int_0^{2(1-\delta)T_b} y(t) dt \quad \text{Eğer } 0.5 < \delta \quad (4)$$

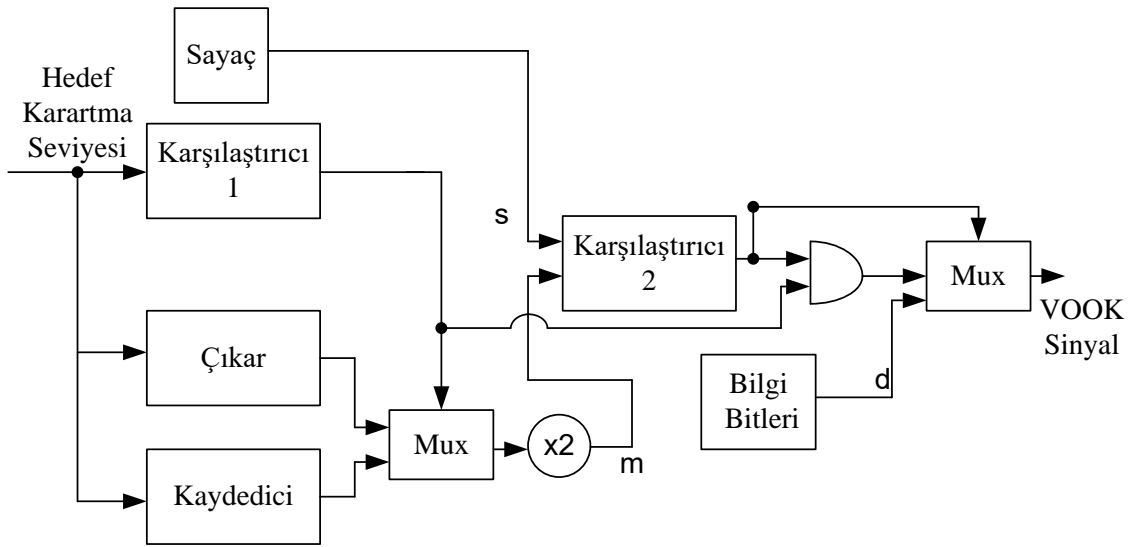
Bir eşik değeri kullanılarak alıcı tarafta bilgi bitlerinin durumu algılanabilmektedir. Eşik değeri temelli çalışan bu modülasyon yöntemleri için en büyük dezavantaj, bir eşik değeri tahmin eden sisteme veya adaptif bir alıcı şemaya ihtiyaç olmasıdır. Genellikle literatürde akıllı yöntemler kullanılarak eşik değeri tahmini veya seviye tahmini gerçekleştirilebilmektedir.

3. VOOK Sinyali Üretim Yöntemleri

Bu bölümde VOOK sinyalinin üretimi için kullanılan mimariler verilmektedir. Şekil-2’de geleneksel bir yöntem verilmiştir.



Şekil 2. Geleneksel VOOK mimarisi (Jeong ve ark, 2014)



Şekil 3. Önerilen VOOK Modülör Şeması

Geleneksel VOOK yönteminde Tablo-1’de verilen karartma seviyeleri bir kaydedici yardımıyla tutulur ve mux bloğu girişlerine aktarılmaktadır. Her mux bloğu karartma seviyesi bilgisi kullanılarak sel[3..0] girişlerinden kontrol edilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi mux girişlerinin her birisi 20 bitlik olmak üzere toplamda 10 adettir. İki girişli olan mux bloğu ise d_out bilgi bitlerinin sel (seçici pin) girişine uygulanmasıyla '0' veya '1' bilgi bitlerinin durumuna göre data0 veya data1 girişlerinden birisini seçecektir. İki girişli mux çıkışı bir kaydediciye uygulanarak iletilecek veri bitleri ve *constant* saklayıcılarında kaydedilmiş değerlerin senkronize bir şekilde çalışması sağlanmıştır. s_to_p bloğu ise paralelden-seriye dönüşüm işlemini gerçekleştirmektedir.

Şekil-3’te ise önerilen VOOK mimarisi verilmektedir. Önerilen mimari adaptif bir mimari olup doğrudan karartma seviyesinin kullanıcı tarafından girilmesi yeterli olmaktadır. Bu nedenle geleneksel mimarilere göre daha düşük karmaşık yapıya sahip olmaktadır.

Önerilen VOOK mimarisi için teorik bir alt yapı Denklem-5 ve Denklem-9 sırasında verilmektedir. Denklem-5’te m değeri için bir ifade görülmektedir.

$$\begin{aligned} m &= 2\delta & \text{Eğer } \delta \leq 0.5 \\ m &= 2(T - \delta) & \text{Eğer } 0.5 < \delta \end{aligned} \quad (5)$$

Denklem 5’te görüldüğü gibi karartma seviyesinin iki farklı durumu için iki farklı m değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan m değeri ve karşılaştırıcı-1 çıkışına göre VOOK sinyalinin doluluk oranı belirlenebilmektedir. Karartma seviyesi δ değerinin 0.5 ve altında olma durumu öncelikli olarak incelenirse,

Durum-1 $\delta \leq 0.5$

$$vook = '0' \quad \begin{cases} \text{Eğer } d = 0 \\ \text{Eğer } d = 1 \text{ ve } m \leq s \end{cases} \quad (6)$$

$$vook = '1' \quad \text{Eğer } d = 1 \text{ ve } m > s \quad (7)$$

Durum-1’de verilen ifadeler incelendiğinde karartma seviyesinin %50 ve altındaki seviyeler için bir karar oluşturulduğu görülmektedir. Bir diğer durum ise VOOK sinyalinin üretiminin %50 karartma seviyesinin üzerinde olması durumudur.

Durum-2 $0.5 < \delta$

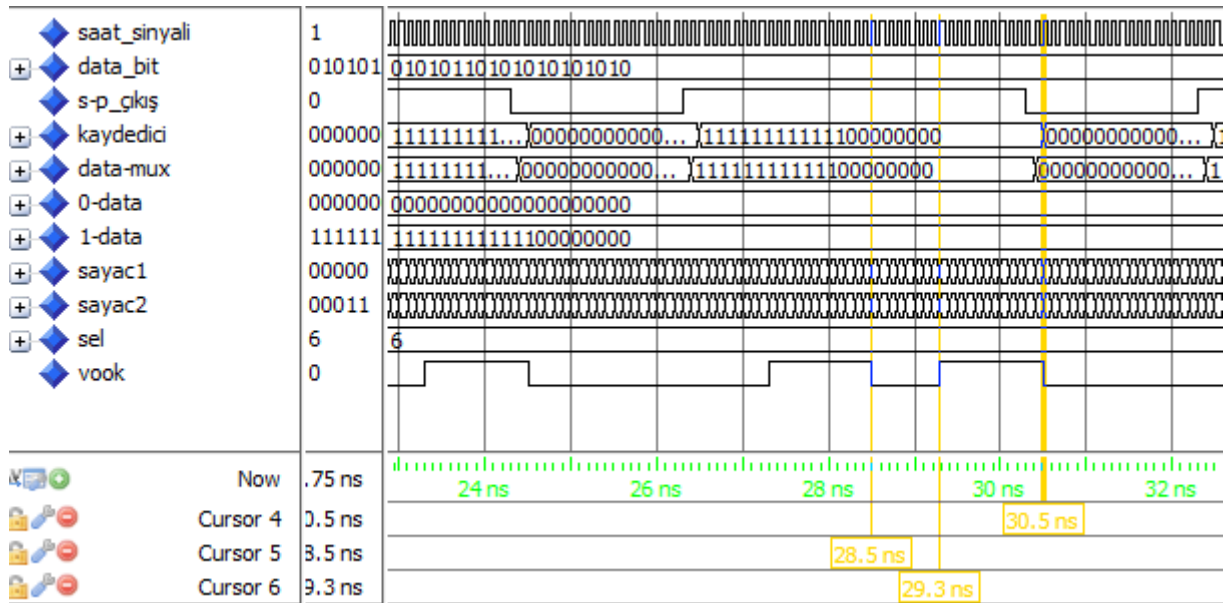
$$vook = '1' \quad \begin{cases} \text{Eğer } d = 1 \\ \text{Eğer } d = 0 \text{ ve } m \leq s \end{cases} \quad (8)$$

$$vook = '0' \quad \text{Eğer } d = 0 \text{ ve } m > s \quad (9)$$

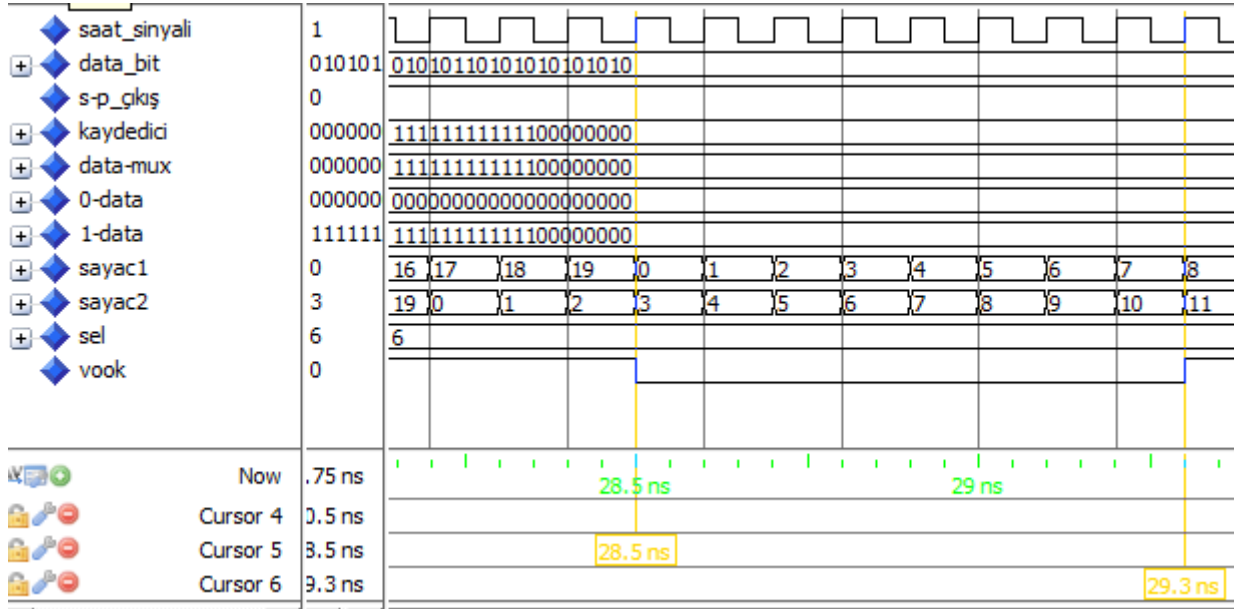
Durum-2'de ise karartma seviyesinin %50'nin altında olma durumu incelenmiştir. Şekil-2'de önerilen mimari için elde edilen ifadeler kullanılarak algoritmanın çalışması verilebilmektedir. Hedef karartma seviyesinin uygulandığı karşılaştırıcı, karartma seviyesi oranının %50 seviyesinin üzerinde veya %50 seviyesi ve altında olup olmadığını kontrol etmek için kullanılmıştır. Toplam slot sayısına göre hedef karartma seviyesi olarak girilen değeri '0' ve '1' iletimi için kullanılacak sinyallerin üretimi için kullanılmaktadır. Bir sayaç kullanılarak hedef karartma seviyesini elde edene kadar karşılaştırıcı çıkışının kontrolü sağlanmaktadır. Karşılaştırıcıların *and* anahtarı üzerinden işleme alındığı görülmektedir. Bunun nedeni karartma seviyesinin 0.5 üzerinde olması durumunda '0' bilgi bitinin bazı slotları da dolu olarak üretilmesi gerekliliğidir. 0.5 karartma seviyesi ve altında ise karşılaştırıcı-1, '0' seviyesinde olduğundan sayaç mux çıkışındaki değerin iki katından daha büyük olsa dahi karşılaştırıcı-2'nin çıkışı mantıksal '0' seviyesinde tutulacaktır. 0.5 karartma seviyesi altında ise Karşılaştırıcı-2, '1' bilgi sinyalinin iletilme durumunda bazı slotların boş olarak üretilmesini sağlamaktadır. Son aşamada kullanılan mux bloğu çıkışından VOOK sinyali başarılı bir şekilde üretilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

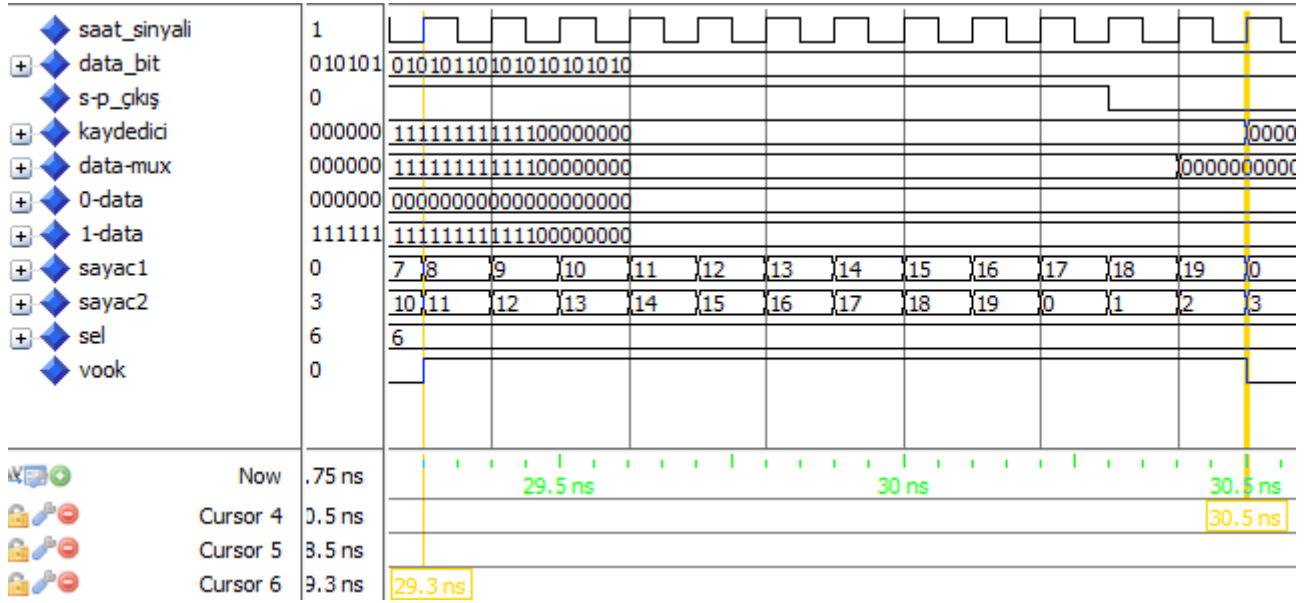
Bu bölümde hem önerilen adaptif yöntem hem de geleneksel yöntem için Quartus programında elde edilen simülasyon sonuçları verilmektedir. Elde edilen Simülasyon sonuçlarında kullanılan etiketler geleneksel ve önerilen sistemlerde sunulan blokların çıkışlarına göre etiketlenmiştir. Şekil-4'te geleneksel sistem için elde edilen simülasyon sonuçları verilmektedir.



(a)



(b)

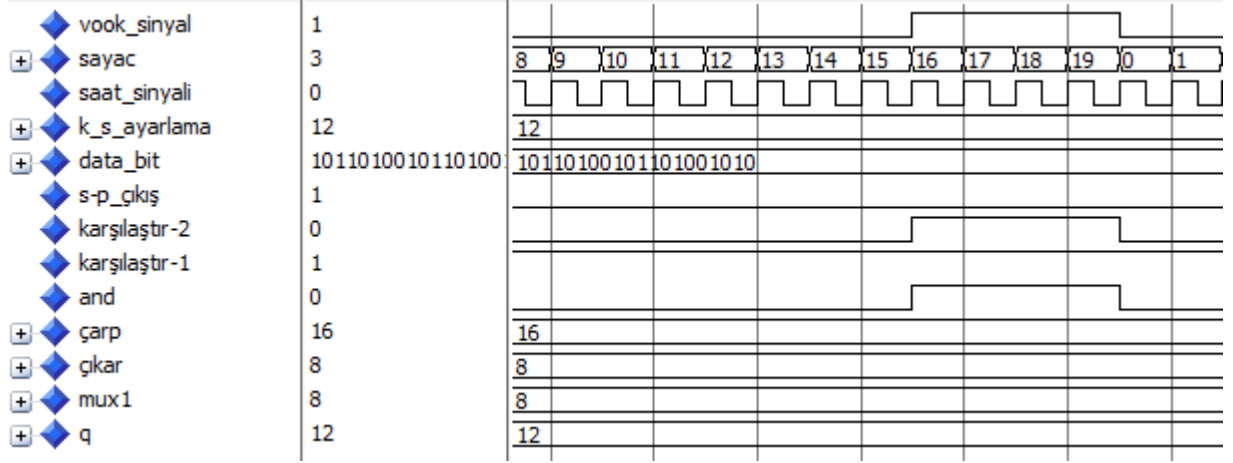


(c)

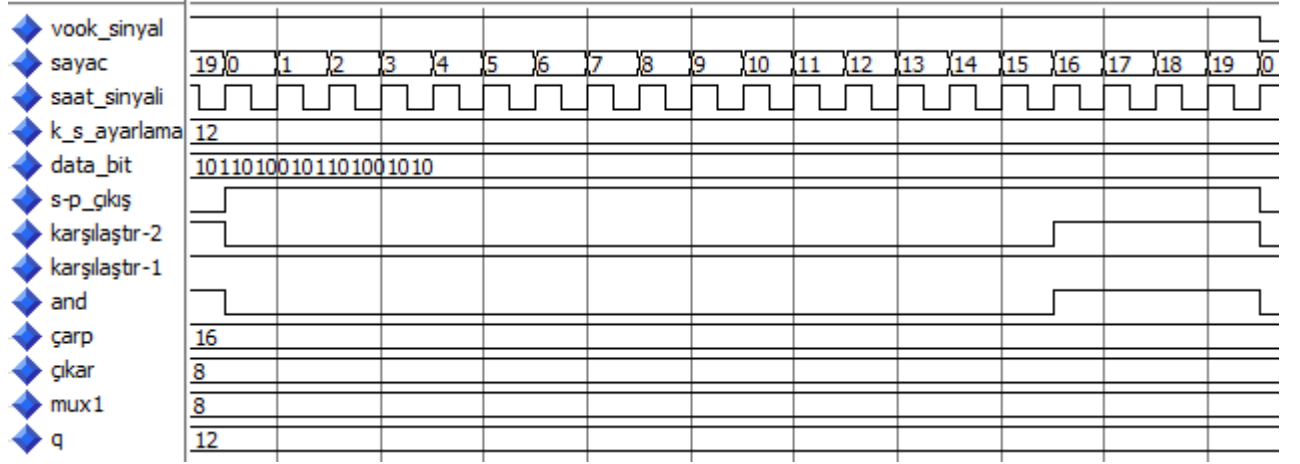
Şekil 4. Geleneksel VOOK sistem için elde edilen sonuçlar. (a) Alınan sonuçların zaman düzleminde geniş ölçek gösterimi (b) Sıfır sinyali için ayrıntılı gösterim (c) Bir sinyali için ayrıntılı gösterim

Şekil-4'te sel, hedef karartma seviyesi kontrol girişi 6 olarak girilmiştir. Tablo-1'e göre $\delta=0.9$ için mux bloğunun sıfır numaralı girişi kullanılıyorsa $\delta=0.3$ için de 6 numaralı giriş kullanılmaktadır. Bu veriler doğrultusunda toplam 20 slot değerinden 8 tanesi sıfır 12 tanesi de iletilecek olan bilgi bitinin değerini almaktadır. Verilen örnekte 0.1 ns periyodunda saat sinyali (saat_sinyal) kullanılmıştır. Ayrıca 28.5 ns-29.3 ns aralığı da toplamda 0.8 ns olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle 1 bilgi biti iletileceği zaman 8 adet slot değerinin sıfır olduğu Şekil 4-b'den görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.c'den, '1' bilgi biti için toplam '1' seviyesindeki slot sayısı 12 olup 29.3 ns-30.5 ns aralığında 1.2 ns'lik bir süre olarak hesaplanmaktadır. Şekil 4'te data_bit ve s-p_cikis ise gelen bilgi paketi ve paralelden seriye dönüştürücü olarak ifade edilmektedir. 0-data ve 1-data değerleri hedef karartma seviyesinin

kontrol edildiği mux bloklarının çıkışından alınan değerlerdir. Ayrıca *data_mux* ve kaydedici çıkışları ise bilgi sinyalinin uygulandığı mux bloğu çıkışı ve kaydedici çıkışları olarak ifade edilmektedir. Şekil 5'te önerilen sistem için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



(a)

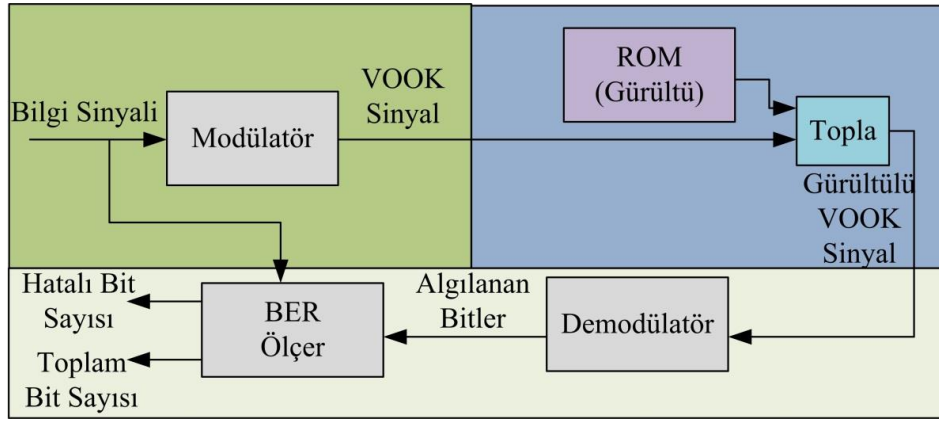


(b)

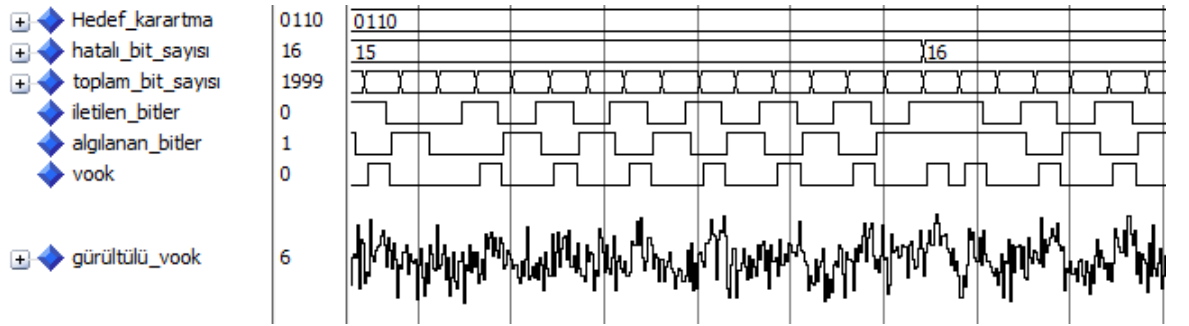
Şekil 5. Önerilen VOOK Modülatör Şeması için Simülasyon Sonuçları. (a) '0' Bilgi biti için alınan sonuçlar. (b) '1' Bilgi biti için alınan sonuçlar

Şekil 5'te *k_s_ayarlama*, hedef karartma seviyesini göstermektedir. Verilen simülasyonda 12 olarak seçilmiş olup, Tablo-1'de verilen değerlere göre $\delta=0.6$ olarak elde edilmektedir. Simülasyon sonucunda *data_bit*, *s-p_çıkış* ve *saat_sinyali* sinyalleri gelen bilgi paketi, paralelden seriye dönüştürücü çıkışı ve saat sinyali olarak ifade edilmektedir. Simülasyon ortamı ile pratik ortam arasında yapılacak bir karşılaştırmaya göre, simülasyonun aksine pratik ortamda kullanılacak saat sinyali frekansının tasarlanan sistem tarafından desteklenebiliyor olması gerekmektedir.

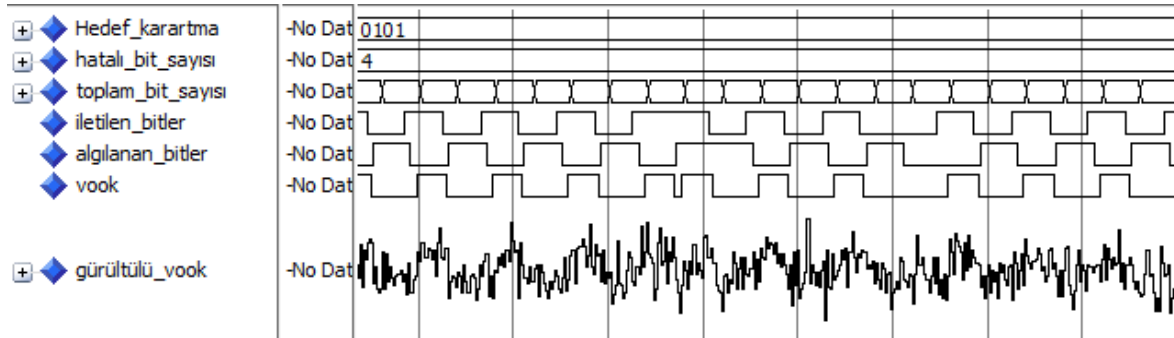
VOOK yönteminin karartma seviyeleri arasındaki BER performansını donanımsal-simülasyon destekli olarak analiz edebilmek için bir gürültü ekleme mimarisi oluşturulmuştur. Oluşturulan mimariye göre gürültü sinyali bir ROM içerisinde kaydedilerek, iletilen VOOK sinyaline eklenmiştir. Bu aşamada fotodiyot ve LED kaynaklı simgeler arası girişime neden olan sinyal bozulmaları ihmal edilmiştir. Demodülatör tarafında optimum eşik değeri kullanılarak bilgi bitlerinin tahmin edilmesi sağlanmıştır.



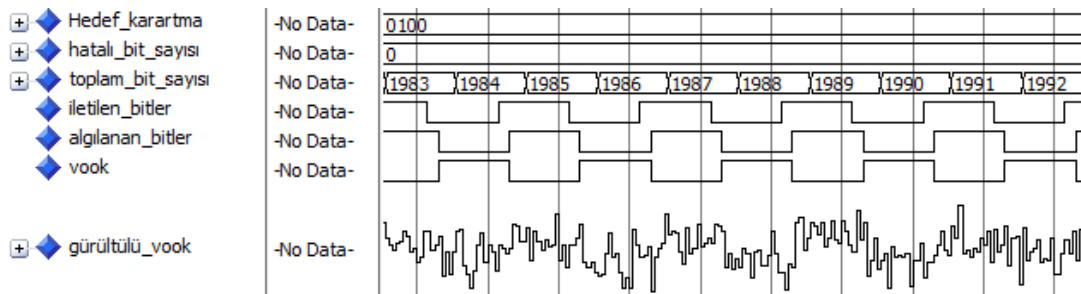
Şekil 6. Farklı karartma seviyeli VOOK sinyallerinin BER performansını analizi için tasarlanan devre şeması



(a)



(b)



(c)

Şekil 7. Farklı karartma seviyeli VOOK sinyallerin BER performansı. (a) Karartma seviyesi $\delta=0.3$. (b) Karartma seviyesi $\delta=0.4$. (c) Karartma seviyesi $\delta=0.5$.

Şekil 6’da görüldüğü gibi gürültü kaynağı olarak bir ROM kullanılmış olup, gelen VOOK sinyal ile gürültü toplanarak demodülatör girişine uygulanmıştır. Şekilde verilen gürültü fotodiyot kaynaklı oluşan gürültü olarak dikkate alınmaktadır. Şekil-6’da verilen sistem için alınan simülasyon sonuçları Şekil-7’de verildiği gibidir. Verilen simülasyon sonuçlarına göre toplam iletilen bit sayısı yaklaşık olarak 2000 adettir. Bu BER analizi yapabilmek için yetersiz bir bit sayısıdır. Bu aşamada sadece BER performansı ölçülebilen bir sistemin simülasyon sonuçları verilmiştir. Şekilde farklı hedef karartma seviyeleri için ölçülen hatalı bit sayısının farklı olduğu görülmektedir. Özellikle %50 karartma seviyeli sinyal için alınan 2000 bitin tamamı doğru olarak algılanmıştır. %30 karartma seviyeli VOOK sinyal için 16 bit ve %40 karartma seviyeli VOOK sinyal için de 4 bit hatalı olarak algılanmıştır. Hatalı algılanan bitlerin sayısı karşılaştırıldığında, tasarlanan BER ölçer sistemin doğru bir şekilde sistem performansını analiz edebildiği de görülmektedir

5. Sonuç

Yapılan çalışmada literatürde ilk kez bir VOOK iletim yöntemi için FPGA tabanlı bir sayısal algoritma önerilmiştir. Önerilen yöntem geleneksel yöntem ile karşılaştırıldığında, kod sözcüklerinin değiştirilmesi durumunda geleneksel VOOK mimaride verilen giriş mux bloklarının girişindeki sabit değerler ile mux bloğunun giriş sayısı değişikliğine gerek olmadan karartma seviyesinin değiştirilebilmesine izin veren bir adaptif şema içermektedir. Önerilen adaptif şemanın teorik analizi gerçekleştirilmiş olup, bilgi bitlerinin algılanabilmesi için bir demodülatör tasarımı verici mimariye entegre edilmiştir. Donanımsal olarak farklı karartma seviyeli sinyallerin BER analizi karşılaştırması yapılabilmesi için bir BER hesaplayıcı ve gürültü üretici sisteme uygulanmıştır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda adaptif eşik değeri tahmin yöntemlerinin farklı karartma seviyeli OOK sinyaller için uygulanarak, mobil kullanıcılar için veri iletiminin sağlanması gerçekleştirilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Belli R., Runge C., Portugheis J., Finamore W. A capacity-approaching coding scheme for M-PAM VLC systems with dimming control. *Optics Communications* 2022; 127891.
- Chaudhary S., Tang X., Wei X. Experimental demonstration of 62.5 Mbps VLC link for healthcare infrastructures by incorporating limiting amplifier as an amplification scheme. *Microelectronics Journal* 2021; 108: 104971.
- Chen C., Deng X., Yang Y., Du P., Yang H., Zhao L. LED nonlinearity estimation and compensation in VLC systems using probabilistic Bayesian learning. *Applied Sciences* 2019; 9(13): 2711.

- Chen H., Niu W., Zhao Y., Zhang J., Chi N., Li Z. Adaptive deep-learning equalizer based on constellation partitioning scheme with reduced computational complexity in UVLC system. *Optics Express* 2021; 29(14): 21773-21782.
- Ge P., Wang J., Ling X., Liang X., Tian Y., Zhao C. Achievable rate analysis for post-and pre-equalization in DCO-OFDM VLC with limited dynamic range. *Optics Communications* 2020; 476: 126277.
- Guo H., Zhou X., Liu J., Zhang Y. Vehicular intelligence in 6G: Networking, communications, and computing. *Vehicular Communications* 2021; 33: 100399.
- Guo JN., Zhang J., Zhang YY., Li L., Zuo Y., Chen, RH. Multilevel transmission scheme based on parity check codes for VLC with dimming control. *Optics Communications* 2020; 467: 125733.
- Jain S., Mitra R., Bhatia V. On BER analysis of nonlinear VLC systems under ambient light and imperfect/outdated CSI. *OSA Continuum* 2020; 3(11): 3125-3140.
- Jeong JD., Lim SK., Jang IS., Kim MS., Kang TG., Chong JW. Novel architecture for efficient implementation of dimmable VPPM in VLC lightings. *ETRI Journal* 2014; 36(6): 905-912.
- Komine T., Nakagawa M. Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights. *IEEE transactions on Consumer Electronics* 2004; 50(1): 100-107.
- Lee K., Park H. Modulations for visible light communications with dimming control. *IEEE Photonics Technology Letters* 2011; 23(16): 1136-1138.
- Li S., Pandharipande A., Willems FM. Adaptive visible light communication LED receiver. 2017 IEEE sensors, 29 Ekim-1 Kasım 2017, 1-3, Glasgow, İskoçya.
- Lu M., Xiao S., Zhang L., Zheng L., Fang J., Huang T., Hu W. Real-time VLC system integrated with positioning beacon transmission based on 2ASK-CE-OFDM coding. *Optics Communications* 2019; 452: 252-257.
- Miramirkhani F., Karbalayghareh M., Mitra R. Least minimum symbol error rate based post-distortion for adaptive mobile VLC transmission with receiver selection. *Physical Communication* 2021; 47: 101353.
- Narmanlioglu O., Turan B., Ergen SC., Uysal M. Cooperative MIMO-OFDM based inter-vehicular visible light communication using brake lights, *Computer Communications* 2018; 120: 138-146.
- Pham QN., Rachim VP., An J., Chung WY. Ambient light rejection using a novel average voltage tracking in visible light communication system. *Applied Sciences* 2017; 7(7): 1-9.
- Raj R., Jaiswal S., Dixit A. Dimming-based modulation schemes for visible light communication: spectral analysis and ISI mitigation. *IEEE Open Journal of the Communications Society* 2021; 2: 1777-1798.
- Shi J., Hong Y., Deng R., He J., Chen LK. Real-time software-reconfigurable hybrid in-house access with OFDM-NOMA. *IEEE Photonics Technology Letters* 2020; 32(7): 379-382.

- Shukla NK, Mayet AM., Vats A., Aggarwal M., Raja RK., Verma R., Muqet MA. High speed integrated RF-VLC data communication system: Performance constraints and capacity considerations *Physical Communication* 2022; 50: 101492.
- vd Zwaag KM., Neves JL., Rocha HR., Segatto ME., Silva JA. Adaptation to the LEDs flicker requirement in visible light communication systems through CE-OFDM signals. *Optics Communications* 2019; 441: 14-20.
- Wang JY., Liu C., Wang JB., Wu Y., Lin M., Cheng J. Physical-layer security for indoor visible light communications: Secrecy capacity analysis, *IEEE Transactions on Communications* 2018; 66(12): 6423-6436.
- Wang Z., Zhong WD., Yu C., Chen J., Francois CPS., Chen W. Performance of dimming control scheme in visible light communication system. *Optics Express* 2012; 20(17): 18861-18868.
- Wu Y., Hu Y., Wan Z., Wang T., Sun Y., Qianwu Z. Joint security enhancement and PAPR mitigation for OFDM-NOMA VLC systems. *Optics Communications* 2021; 127719.
- Xu W., Zhang M., Han D., Ghassemlooy Z., Luo P., Zhang Y. Real-time 262-Mb/s visible light communication with digital predistortion waveform shaping. *IEEE Photonics Journal* 2018; 10(3): 1-10.
- Yahia S., Meraihi Y., Ramdane-Cherif A., Gabis AB., Acheli D., Guan HA. Survey of channel modeling techniques for visible light communications. *Journal of Network and Computer Applications* 2021; 194: 103206.
- Yoo JH., Kim BW., Jung SY. Modelling and analysis of M-ary variable pulse position modulation for visible light communications. *IET Optoelectronics* 2015; 9(5): 184-190.
- Yuan Y., Zhang M., Luo P., Ghassemlooy Z., Lang L., Wang D., Han D. SVM-based detection in visible light communications. *Optik* 2017; 151: 55-64.
- Zhang Y., Zhu Y., Zhang Y., Wang C. Real-time optimal tracking angles of photodiodes for MC-VLC in indoor mobile scenarios. *Optics Communications* 2020; 469: 125744.