

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**Lİ-Fİ SİSTEMİNDE VERİ İLETİMİNE ÇOKLU YOL
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Mohammed Raheem M. Shareef ALZUHAIRI

Danışman

Prof. Dr. Malcolm CLARKE

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

MOHAMMED RAHEEM M. SHAREEF ALZUHAIRI tarafından, Prof. Dr. Malcolm CLARKE danışmanlığında hazırlanan “Lİ-Fİ SİSTEMİNDE VERİ İLETİMİNE ÇOKLU YOL ETKİSİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından .04.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Malcolm CLARKE		<input type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Serap KARAGÖL		<input type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Gaye Yeşim TAFLAN		<input type="checkbox"/>
	Samsun Üniversitesi		Kabul
	Uçak Bakım ve Onarım Bölümü		<input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza

... /04/ 2021

Mohammed Raheem M. Shareef ALZUHAIRI

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Lİ-Fİ SİSTEMİNDE VERİ İLETİMİNE ÇOKLU YOL ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 10/01/2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 10

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

İmza

... /04/2021

Prof. Dr. Malcolm CLARKE

ÖZET

Lİ-Fİ SİSTEMİNDE VERİ İLETİMİNE ÇOKLU YOL ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mohammed Raheem M. Shareef ALZUHAIRI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Nisan/2021

Danışman: Prof. Dr. Malcolm CLARKE

Bu tezde, Li-Fi sisteminde çoklu yolun veri iletimi üzerindeki etkileri iki şekilde incelenmiştir: MATLAB programı ile simülasyon ve Li-Fi sistemi tasarımı. İlk bölümde, verici ve alıcı arasında çoklu pozisyonlarda dört durum için sinyali gönderme ve alma durumu için parametreler hesaplanmıştır. Deneyler için tipik bir ortamı temsil eden bir oda belirlenmiştir ve görüş hattı (LOS) ve yansıyan sinyalleri (NLOS) takip eden sinyallerin etkisini belirlemek için simülasyon için MATLAB kullanılmıştır. LOS sinyali ile odanın dört duvarından yansıyan sinyaller arasındaki zaman gecikmesi, her bir durum için darbe süresi oranı ve bunun yapılabileceği maksimum veri hızı hesaplanarak belirlenmiştir. Bu simülasyonların sonuçları, Li-Fi sisteminin zaman gecikmesi, alınan sinyalin genliği, darbe süresi ve performansına etkisi üzerinden yansıyan sinyallerin alınan sinyali nasıl etkilediğini açıklamıştır. Maksimum OOK veri hızı veren bir sürede bir darbe yapılabilir. Verici ve alıcının en iyi konumu, maksimum veri hızı 105.93Mb/sn olan odanın merkezinde idi. İkinci bölüm, verici bölümündeki ana elemanları STM32F429 mikrokontrolör, transistör ve LED'ler ve alıcı bölümünde fototransistör ve OP-AMP AD848 elemanları kullanılarak Li-Fi sisteminin verici ve alıcısının tasarımıdır. Verici ve alıcı için sinyaller ölçülmüştür; yansıyan sinyallerin (NLOS) etkisini incelemek için iki ayna kullanılmıştır. Bu deneyin sonuçları, yansıyan sinyallerin (NLOS) alınan sinyalin genliğini artırarak alınan sinyali nasıl etkilediğini açıklamıştır.

Nisan 2021, 102 sayfa

Anahtar Sözcükler: Li-Fi sistemi, Görünür Işık İletişimi, Çok yollu etki, OOK modülasyonu, Işık Yayan Diyot, Foto dedektör, Görüş Hattı Olmayan.

ABSTRACT

STUDY AND ANALYSIS THE MULTIPATH EFFECT OF THE DATA TRANSMISSION OVER LI-FI SYSTEM

Mohammed Raheem M. Shareef ALZUHAIRI

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical - Electronics Engineering

Master, April 2021

Supervisor: Prof. Dr. Malcolm CLARKE

This thesis describes the effects of the multipath on data transmission over the Li-Fi system by two ways: they were by simulation by MATLAB program and design the Li-Fi system. First way was by calculating parameters for four cases of the sending and receiving signals between the transmitter and receiver in multiple positions. We set a room that represents a typical environment for our experiments, and use MATLAB for simulation to determine the effect of signals following direct line of sight (LOS) and reflected signals, or non-line of sight (NLOS). We determined the time delay between the LOS signal and the reflected signals from the four walls of the room with calculating the pulse duration rate for each case and maximum data rate that we can make it. The results of this simulation explained how the reflected signals affect the received signal by effected on the time delay, amplitude voltage of received signal, pulse duration and impact of the performance of the Li-Fi system. The LOS signal takes precedence over all reflected signals, but the last reflected signal causes extra time. So we could make a pulse in duration that giving maximum data rate of OOK. The best position of the transmitter and the receiver were in the center of the room that we can make maximum data rate 105.93 Mb/s. The second way was by design the transmitter and the receiver of the Li-Fi system by using the main elements in the transmitter section as the microcontroller STM32F429IDISCOVERY, transistor, LEDs and used the elements; phototransistor and OP-AMP AD848 in the receiver section,. The signals for the transmitter and the receiver were measured; we used two mirrors to study the effect of the reflected signals (NLOS). The results of this experiment explained how the reflected signals (NLOS) affect on the received signal through increasing the amplitude voltage received signal.

April 2021, 102 pages

Keywords: Li-Fi system, Visible Light Communication, Multipath effect, OOK modulation, Light Emmiting Diode, Photo detector, Non-Line Of Site.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında gösterdiği önemli rehberlik için danışmanım Prof. Dr.Malcolm CLARKE'a içten teşekkür ederim. Bilim alanında ondan çok şey öğrendim. Tez tartışmasındaki emeği için Dr. Öğr. Üyesi Serap KARAGÖL'e, Dr. Öğr. Üyesi Gaye Yeşim TAFLAN'a ve Doç. Dr. Hülya GÖKALP CLARKE'a çok teşekkürler. Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL'e teşekkür ediyorum.

Kendimi şanslı görüyorum çünkü benim hanımım, aileme ve tüm arkadaşlarım beni destekledi ve destekleri için özellikle arkadaşlarım Muhammed Al-Obaidi ve Muhammed Sufyan'a teşekkür etmek istiyorum.

Mohammed ALZUHAIRI

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. Li-Fi Sistemi.....	3
1.1.1. Li-Fi Nedir?.....	3
1.1.2. Li-Fi'nin Avantajları	3
1.1.3. Li-Fi'nin Dezavantajları	4
1.1.4. Li-Fi Sisteminin Uygulamaları	4
1.1.5. Li-Fi ve Wi-Fi.....	7
1.2. Çalışma Prensipleri.....	8
1.2.1. Li-Fi Sistemi Nasıl Çalışır?	9
1.2.2. Temel Blok Şeması.....	9
1.2.3. Ana Bileşenler.....	10
1.3. Çoklu Yol Etkisi	14
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. MATLAB ile Simülasyon.....	22
3.2. Li-Fi Sisteminin Tasarımı	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
4.1. MATLAB Programı ile Simülasyon Sonuçları	25
4.1.1. Durum 1: Verici ve Alıcının Konumları (2, 1, 3) ve (2, 1, 0).....	25
4.1.2. Durum 2: Verici ve Alıcının Konumları (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 3)....	38
4.1.3. Durum 3: Verici ve Alıcının Konumları (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0).....	46
4.1.4. Durum 4: Verici ve Alıcının Konumları (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0).....	52
4.2. Li-Fi Sisteminin Tasarımının Sonuçları	59
4.2.1. Verici Devresinin Tasarımı.....	59
4.2.2. Alıcı Devresinin Tasarımı.....	60
4.2.3. Verici Bölümünün Sonuçları ve Tartışması.....	63

5. SONUÇLAR	70
6. GELECEK ÇALIŞMALAR.....	72
7. KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

C	Light Speed / Işık Hızı
V	Voltage / Gerilim
R	Reflection Coefficient / Yansıma Faktörü
Δt	Time Delay /Zaman Gecikmesi

KISALTMALAR

AC	Alternating Current / Alternatif Akım
ACO	Asymmetrically Clipped Optical / Asimetrik Olarak Kırpılmış Optik
ADC	Analog to Digital Convertor / Analog-Dijital Dönüştürücü
ADR	Angle Diversity Receiver / Açık Çeşitlilik Alıcısı
AP	Access Point / Erişim Noktası
ASK	Amplitude Shift Keying / Genlik Kaydırmalı Anahtarlama
AWGN	Additive White Gaussian Noise / Toplamsal Beyaz Gauss Gürültü
BER	Bit Error Rate / Bit Hata Oranı
BPSK	Binary Phase Shift Keying / İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama
C2C	Car to Car / Araçtan Araca
CB	Complementary Bipolar / Tamamlayıcı Bipolar
CIR	Channel Impulse Response / Kanal Dürtü Yanıtı
DAC	Digital to Analog Convertor / Dijital Analog Dönüştürücü
DC	Direct Current / Doğru Akım
FOV	Field of View / Görüş Alanı
FSO	Free Space Optical / Boş Alan Optik
FPGA	Field Programmable Gate Array / Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi
I2V	Infrastructure to Vehicle / Araçtan Altyapıya
ICSP	In-Circuit Serial Programming / Devre İçi Seri Programlama
I-TDMA	Index-Time Division Multiplexing Access / İndeks-Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
LED	Light Emitting Diode / Işık Yayan Diyot
Li-Fi	Light- Fidelity / Işık Duyarlılık
LOS	Line of Sight / Görüş Hattı

LQFP	Low Profile Quad Flat Package / Düşük Profilli Dörtlü Düz Paket
LTF	Light-To-Frequency Converter / Işık-Frekans Dönüştürücü
MATLAB	MATrix LABoratory / MATrix LABoratory
MDR	Multidirectional Receiver / Çok Yönlü Alıcı
NLOS	Non Line of Sight / Görüş Hattı Olmayan
OC	Over Current / Aşırı Akım
OOK	On-Off Keying / Başla-Dur Anahtarlama
OTs	Operation Theaters / Ameliyathaneler
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Dik Frekans Bölmeli Çoğullama
OP-AMP	Operational Amplifier / İşlemsel Yükselteç
OWC	Optical Wireless Communication / Optik Kablosuz Haberleşme
PD	Photodiode / Fotodiyot
PDF	Probability Density Function / Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
PIN	Positive Intrinsic Negative / Pozitif Has Negatif
PSK	Phase Shift Keying / Faz Kaydırmalı Anahtarlama
PR	Pyramid Receiver / Piramit Alıcı
PPM	Pulse Position Modulation / Darbe Konumu Modülasyonu
PWM	Pulse Width Modulation / Darbe Genişlik Modülasyonu
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying / Kareli Faz Kaydırmalı Anahtarlama
RF	Radio Frequency / Radyo Frekansı
ROV	Remotely Operated Underwater Vehicle / Uzaktan Kontrollü Su Altı Aracı
RSSI	Received Signal Strength Indicator / Alınan Sinyal Gücü Göstergesi
SC-LPPM	Sub Carrier Pulse Position Modulation / Alt Taşıyıcı Darbe Konum Modülasyonu
SINR	Signal to Interference Plus Noise Ratio / Sinyal-Girişim Artı Gürültü Oranı
SM	Spatial Modulation / Uzaysal Modülasyon
SNR	Signal to Noise Ratio / Sinyal Gürültü Oranı
SDRAM	Synchronous Dynamic Random-Access Memory / Eşzamanlı Dinamik Rastgele Erişimli Bellek
ST-MEMS	STMicroelectronics-Micro Electro Mechanical Systems /

	STMicroelectronics-Mikro Elektro Mekanik Sistemler
TCM	Trellis Coded Modulation / Kafes Kodlu Modülasyon
USB	Universal Serial Bus / Evrensel Seri Veriyolu
UE	User Equipment / Kullanıcı Ekipmanı
VLC	Visible Light Communication / Görünür Işıqla Haberleşme
V2V	Vehicle to Vehicle / Araçlar Araca
Wi-Fi	Wireless Fidelity / Kablosuz Uygunluk

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Li-Fi ortamı.....	5
Şekil 1.2. Su altı sisteminin optik iletişimi	5
Şekil 1.3. Uçak koltuğu ışığı.....	6
Şekil 1.4. Görme engelliler için iç mekan navigasyon sistemi	7
Şekil 1.5. Li-Fi ve Wi-Fi frekansları.....	8
Şekil 1.6. Li-Fi sisteminin temel blok şeması.....	9
Şekil 1.7. Bir LED'in sembolü	10
Şekil 1.8. OSRAM LED	11
Şekil 1.9. Fotodiyot sembolü	11
Şekil 1.10. Fotodiyot.....	11
Şekil 1.11. PN bağlantı diyotu	12
Şekil 1.12. Arduino türleri	13
Şekil 1.13. STM 32F429IDISCOVERY	13
Şekil 1.14. Çoklu yol etkisi.....	15
Şekil 3.1. Tezin metodolojisi	22
Şekil 3.2. MATLAB ile simülasyon	23
Şekil 3.3. Li-Fi sisteminin tasarımı.....	24
Şekil 4.1. Durum 1, verici konumu (2, 1, 3) ve alıcı konumu (2, 1, 0).....	25
Şekil 4.2. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in verici sinyali	26
Şekil 4.3. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in LOS sinyali	27
Şekil 4.4. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in ilk yansıyan sinyali	27
Şekil 4.5. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in ikinci yansıyan sinyali	28

Şekil 4.6. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in üçüncü yansıyan sinyali	29
Şekil 4.7. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in dördüncü yansıyan sinyali	30
Şekil 4.8. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in toplam yansıyan sinyalleri	31
Şekil 4.9. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in alıcı sinyali	31
Şekil 4.10. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi	31
Şekil 4.11. Eşik etkisi ile verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in alıcı sinyali	33
Şekil 4.12. OOK'nin maksimum veri hızını ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in verici sinyali	34
Şekil 4.13. OOK'ni maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in LOS sinyali	35
Şekil 4.14. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in toplam yansıyan sinyalleri	35
Şekil 4.15. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında 1 durumdaki alıcı sinyali.	35
Şekil 4.16. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için durum 1'in (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında yansıyan sinyallerinin çoklu yol etkisi	36
Şekil 4.17. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için eşikli (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumundaki durum 1'in alıcı sinyali	36
Şekil 4.18. Durum 2, verici ve alıcı konumları (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0)	38
Şekil 4.19. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in verici sinyali	39
Şekil 4.20. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in LOS sinyali	39
Şekil 4.21. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in ilk yansıyan sinyali	40
Şekil 4.22. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in ikinci yansıyan sinyali	40

Şekil 4.23. Verici ve alıcının (2.5, 2.5 , 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in üçüncü yansıyan sinyali	410
Şekil 4.24. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in dördüncü yansıyan sinyali.....	41
Şekil 4.25. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in toplam yansıyan sinyalleri.....	41
Şekil 4.26. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in alıcı sinyali	421
Şekil 4.27. Verici ve alıcının(2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi.....	42
Şekil 4.28. Eşik etkisi ile verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'inalıcı sinyali	43
Şekil 4.29. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in verici sinyali.....	43
Şekil 4.30. OOK'ni maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in LOS sinyali	44
Şekil 4.31. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'in toplam yansıyan sinyalleri.....	44
Şekil 4.32. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında 2 durumdaki alıcı sinyali	44
Şekil 4.33. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için durum 2'in (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında yansıyan sinyallerinin çoklu yol etkisi.....	45
Şekil 4.34. Durum 3, verici ve alıcı konumları (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0).....	47
Şekil 4.35. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün verici sinyali	48
Şekil 4.36. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün LOS sinyali	48
Şekil 4.37. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün ilk yansıyan sinyali	49
Şekil 4.38. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün ikinci yansıyan sinyali.....	49
Şekil 4.39. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün üçüncü yansıyan sinyali	49

Şekil 4.40. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün dördüncü yansıyan sinyali.....	50
Şekil 4.41. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün toplam yansıyan sinyalleri	50
Şekil 4.42. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün alıcı sinyali	50
Şekil 4.43. Verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi.....	51
Şekil 4.44. Eşik etkisi ile verici ve alıcının (1, 2,5, 3) ve (1, 2,5, 0) konumlarında durum 3'ün alıcı sinyali.....	51
Şekil 4.45. Durum 4, verici ve alıcı kon Şekil 4.45. Durum 4, verici ve alıcı konumları (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0).....	53
Şekil 4.46. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün verici sinyali	54
Şekil 4.47. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün LOS sinyali.....	54
Şekil 4.48. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün ilk yansıyan sinyali.....	55
Şekil 4.49. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün ikinci yansıyan sinyali	55
Şekil 4.50. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün üçüncü yansıyan sinyali	55
Şekil 4.51. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün dördüncü yansıyan sinyali.....	56
Şekil 4.52. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün toplam yansıyan sinyalleri.....	56
Şekil 4.53. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün alıcı sinyali	56
Şekil 4.54. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0)konumlarında durum 4'ün dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi	57
Şekil 4.55. Eşik etkisi ile verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün alıcı sinyali.....	57
Şekil 4.56. Verici devresinin tasarımı	60

Şekil 4.57. Alıcı devresinin tasarımı	62
Şekil 4.58. NLOS1 ve NLOS2'yi elde etmek için kullanılan yapı	63
Şekil 4.59. STM32F429IDISCOVERY kartı ve yapılandırması.....	64
Şekil 4.60. STM32F429IDISCOVERY kartının saat yapılandırması	64
Şekil 4.61. STM32F429'un PA5'inde oluşturulan sinyal ve alıcı tarafında çıkış sinyali	65
Şekil 4.62. P1 noktasında LOS sinyali ve ve iletilen çıkış sinyali.....	65
Şekil 4.63. P1 noktasında NLOS1 sinyali ve iletilen çıkış sinyali.....	66
Şekil 4.64. P1 noktasında NLOS 2 sinyali ve iletilen çıkış sinyali.....	66
Şekil 4.65. P1 noktasındaki sinyaller (LOS, NLOS 1 ve NLOS 2) ve gönderilen sinyal çıkışı.....	67
Şekil 4.66. P2 noktasında LOS sinyali ve gönderilen sinyal çıkışı.....	67
Şekil 4.67. P2 noktasında NLOS1 sinyali ve gönderilen sinyal çıkışı.....	68
Şekil 4.68. P2 noktasında NLOS2 sinyali ve gönderilen sinyal çıkışı.....	68
Şekil 4.69. P2 noktasında LOS, NLOS1 ve NLOS2 sinyalleri ve gönderilen sinyal çıkışı	69

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Li-Fi ve Wi-Fi özellikleri	8
Tablo 4.1. Durum 1'in yansıma mesafeleri	32
Tablo 4.2. Durum 1'in zaman gecikmesi	33
Tablo 4.3. Durum 1'in darbe süresinin değerleri	34
Tablo 4.4. Durum 1'in genlik değerleri	34
Tablo 4.5. Durum 2'nin yansıma mesafeleri	38
Tablo 4.6. Durum 2'nin zaman gecikmesi	38
Tablo 4.7. Durum 2'nin darbe süresinin değerleri	39
Tablo 4.8. Durum 2'nin genlik değerleri	39
Tablo 4.9. Durum 3'ün yansıma mesafeleri	47
Tablo 4.10. Durum 3'ün zaman gecikmesi	47
Tablo 4.11. Durum 3'ün darbe süresinin değerleri	47
Tablo 4.12. Durum 3'ün genlik değerleri	48
Tablo 4.13. Durum 4'ün yansıma mesafeleri	53
Tablo 4.14. Durum 4'ün zaman gecikmesi	53
Tablo 4.15. Durum 4'ün darbe süresinin değerleri	53
Tablo 4.16. Durum 4'ün genlik değerleri	53
Tablo 4.17. Simulasyonun alınan darbe süresi ve genlik değeri verileri	59

1. GİRİŞ

İletişim alanındaki gelişmeler devam etmektedir, ancak radyo frekansları için kaynakların sınırlandırılması nedeniyle özellikle kablosuz sistem için sürekli geliştirmeye ihtiyaç vardır; frekans bantlarının mevcudiyeti azalmaktadır, bu nedenle bu konuya uygun çözümler bulmak için kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Artık, yüksek hızlı iletim için ışığın kullanımına ilgi var.

Araştırmacılar ve bilim insanları, kullanıcıların gelecekteki iletişim ihtiyaçlarını karşılamak için daha gelişmiş teknolojiler bulmaya çalışmışlardır. Optik kablosuz iletişim uzmanı Alman bilim insanı Profesör Harald Haas, Temmuz 2011'de Li-Fi olarak bilinen yeni bir teknolojiyi tanıtmıştır. Çiçek açan bir çiçeğin videosunu göndermek için bir LED (Işık Yayan Diyot) ampulü kullanmış ve ardından bir ekranda göstermiştir. Sinyal işleme teknolojisine sahip LED ampulün nasıl yüksek çözünürlüklü bir videoyu bir bilgisayara aktarabildiği açıklanmış ve bir LED ampul, dört bilgisayara net bir bağlantı sağlamak için yeterli olacağını gösterilmiştir.

Bu tekniğin temel fikri, ışık yoğunluğunu insan gözünün algılayabileceğinden daha hızlı değiştirerek verilerin LED aydınlatma yoluyla iletilebilmesidir. Şu anda büyük ölçüde veri aktarımı için kullanılmayan elektromanyetik spektrumun (görünür spektrum) bir bölümü kullanılır. Li-Fi, yüksek hızlı bir sinyali iletmek için sinyal işleme teknolojisine sahip bir LED ampul kullanılır ve tek bir LED ampulün birden fazla alıcıya net bağlantı sağlamak için yeterli olacağı gösterilebilir.

Li-Fi sistemi, veri iletimi alanında büyük bir faydaya sahiptir, ancak aynı zamanda sinyali doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen çevre faktörlerden etkilenir. En önemli faktör, Li-Fi sistemi üzerinden veri aktarım hızını sınırlayan çoklu yol etkisidir. Objeler, tavan, zemin ve duvar yansımaları (iç ortamın fiziksel özellikleri) Li-Fi sistemini etkilediği için bu zorluğun incelenmesi ve olumsuz etkilerin azaltılması gerekmektedir.

Bu tez beş bölümden oluşmakta olup, birinci bölüm Li-Fi sisteminin avantajları, dezavantajları ve uygulamaları ile giriş kısmını içermektedir. İkinci bölüm literatür incelemesidir. Üçüncü bölüm materyal ve yöntemlerdir. Dördüncü bölüm bulgular ve tartışmadır. Bu kısım iki bölüme ayrılmıştır, ilk bölüm deneyler için tipik bir ortamı temsil eden bir odadaki verici ve alıcı konumları için dört durumun simülasyonunu içerir ve yansıma mesafeleri, zaman gecikmesi, darbe süresi

hesaplanmıştır. İkinci bölüm Li-Fi sisteminin verici ve alıcısının tasarımını ve alıcı sinyali üzerindeki çok yollu etkiyi içermektedir. Beşinci bölümde ise çalışmanın sonuçları yer almaktadır.

1.1. Li-Fi Sistemi

1.1.1. Li-Fi Nedir?

Li-Fi, iki kelimenin kısaltmasıdır: Işık ve Duyarlılık. Kısa menzilli kablosuz iletişim sistemi için yeni bir teknoloji olarak tanımlanabilir. Işık yoluyla LED'ler aracılığıyla veri iletimi için çok uygundur.

Li-Fi teknolojisi görünür ışık iletişimine (VLC) bağlı olduğu için radyo frekansı kısmı yerine hala büyük ölçüde kullanılmayan elektromanyetik spektrumun bir parçası olan görünür ışığı kullanır.

Li-Fi sistemi üç ana bileşenden oluşur: Işık Yayan Diyot (LED), Fotodiyot (PD) ve sinyal işleme. Modülasyon ve başla-dur anahtarlama (OOK) kullanılabilir, LED açık olduğunda 1 gönderir ve kapalı olduğunda 0 gönderir.

1.1.2. Li-Fi'nin Avantajları

Li-Fi teknolojisi, ışık yayan diyota dayanmaktadır. Veriler her türlü ışıkla iletilebilir. Bu nedenle yüksek veri aktarım hızı ile film, oyun ve müzik çok kısa sürede indirilebilir. Li-Fi'nin avantajları şu şekilde özetlenebilir:

Düşük maliyet: Li-Fi sisteminde kullanılan LED'lerin ve diğer dijital elemanların maliyeti, mikrodalga teknolojisi kullanan ekipmanlara göre çok ucuzdur (Sharma, vd., 2014).

Düşük enerji: LED aydınlatma çok etkilidir ve veri aktarımı ek güç gerektirmez çünkü ampullerin güç tüketimi için çok az güç gerektirir.

Çevre: Li-Fi teknolojisi farklı ortamlarda çalışabilir. Su altında kablosuz veri aktarımı, Li-Fi teknolojisi ile mümkündür, ancak bu özelliğin radyo frekanslarıyla kullanılması çok zordur (Singh, vd., 2014).

Bant genişliği kapasitesi: Tavan lambaları, araba lambaları, sokak lambaları vb. her türlü yapay ışığı üreten cihazlar, kablosuz bağlantı noktası olarak kullanılabilir. Bu nedenle herhangi bir ışığın VLC'yi kullanarak İnternet'i sağlaması bize yardımcı olacaktır. Maliyet düşürülür ise, Li-Fi teknolojisinin bant genişliği ve referanslara göre görünür ışık spektrumu, radyo frekansı spektrumundan 10.000 kat daha fazladır (Bhut, vd., 2014).

Veri yoğunluğu: Elektromanyetik dalgalar (radyo dalgaları) gibi yayılma eğilimi göstermediğinden ve girişime neden olmadığından dolayı görünür ışık dar bir alanda muhafaza edilebilir. Bundan dolayı Li-Fi sistemi, Wi-Fi sistemiyle karşılaştırıldığında yaklaşık 1000 kat daha fazla veri yoğunluğu elde edilebilir (Sharma, vd., 2014).

Yüksek hız: Yüksek bant genişliği, düşük girişim ve yüksek yoğunluklu optik çıkış nedeniyle veri hızları 500 Mbps veya dakikada 30 GB'den fazla olabilir ve bu veri hızı Wi-Fi sistemi ile karşılaştırıldığında çok yüksektir. (Harshitha, vd., 2012).

Güvenlik: Li-Fi, insanlar ve kuşlar veya herhangi bir organizma üzerinde bir yan etkiye sahip değildir, bu nedenle radyo dalgalarının etkisi olarak elektronik devrelere tehlikeli bir şekilde müdahale etmez, iletişim ortamı olarak kullanımıyla ilgili herhangi bir sağlık endişesi yoktur (Khandal, ve Jain, 2014).

Yüksek güvenlik: Li-Fi sinyali dinlemek çok zordur çünkü ışık sinyali duvarlardan geçemez, bu nedenle verileri taşıyan ışığın yolu takip edilemez ve eşleştirme olarak ek güvenlik eklemeye gerek yoktur. Bluetooth gibi kablosuz frekans bağlantıları için eşleştirme olarak ek güvenlik eklemeye gerek yoktur (Singh, vd., 2014).

1.1.3. Li-Fi'nin Dezavantajları

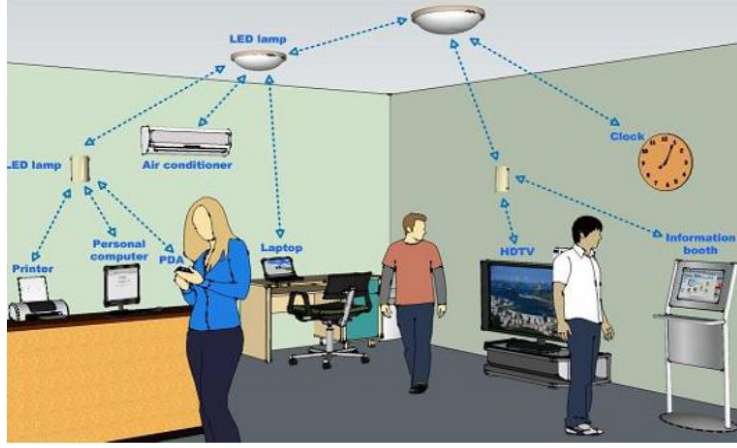
Işık nesnelerin içinden geçemez. Li-Fi'nin karşılaştığı ana zorluk, alıcı sinyalinin vericiye nasıl yeniden gönderileceğidir. Lambalar ve güneş ışığı gibi harici aydınlatma kaynakları iletilen sinyale etki eder. Eksiksiz bir veri ağı oluşturmak için Li-Fi teknolojisi kullanılırsa, ilk kurulum maliyeti yüksek olur.

1.1.4. Li-Fi Sisteminin Uygulamaları

Li-Fi uygulamaları sınırsızdır, bu bölümde bu teknolojinin bazı uygulamaları açıklanacaktır.

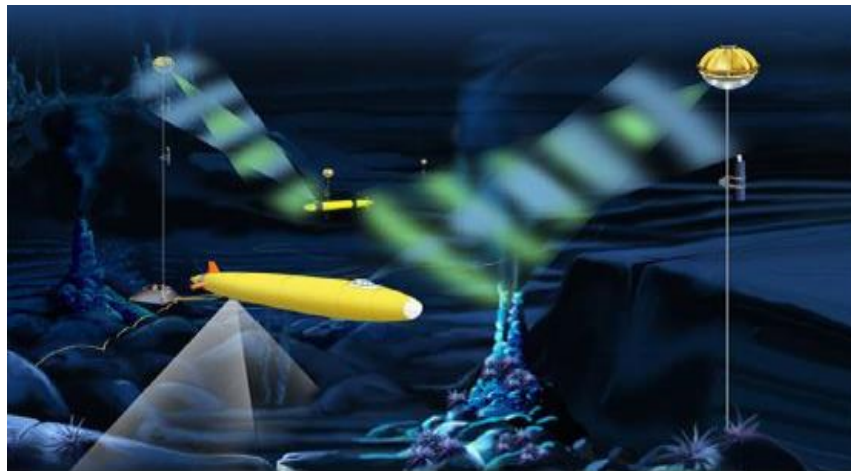
Li-Fi ile yaşam: LED aydınlatmanın gelişmesi ile birlikte Li-Fi teknolojisini çok çeşitli LED ortamlarına entegre etme fırsatına sahip olunmuştur. Örneğin, tavan lambaları, araba lambaları ve sokak lambaları gibi herhangi bir aydınlatma ekipmanı maliyetini düşürmemize yardımcı olmak için kablosuz bağlantı noktası olarak kullanılabilir. Bu teknoloji özellikle İnternet uygulamaları için uygundur; Li-Fi

sistemiyle sadece birkaç dakika içinde oyun ve film indirilebilir (Bhut, vd., 2014). Şekil 1.1, dizüstü bilgisayarlar, PC'ler, tablet bilgisayarlar ve diğerleri için LED'lerin veri iletişim cihazı olarak kullanıldığı Li-Fi teknolojisine sahip ortamı göstermektedir.



Şekil 1.1. Li-Fi ortamı

Sualtı iletişimi: Li-Fi, Wi-Fi'nin tamamen devre dışı bırakıldığında su altında çalışabilir, çünkü içindeki güçlü sinyallerin emilmesi nedeniyle RF sinyallerinin suda kullanılması pratik değildir. Li-Fi, kısa bir iletişim çözümü sağlar. Denizaltılar, lambalarını birbirleriyle bağlantı kurmak, verileri bağımsız olarak işlemek ve sonuçlarını periyodik olarak su altı araçlarında (ROV) yüzeye göndermek için kullanabilirler. ROV, uzaktan çalıştırılan ve kontrol edilebilen su altı aracıdır; bu nedenle Li-Fi askeri operasyonlarda çalışabilir (Sharma, vd., 2014). Sualtı sisteminin optik iletişimi Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Su altı sisteminin optik iletişimi

Trafik yönetimi: Trafik ışıkları, diğer araçların durumu veya yolun koşulları hakkında bilgi sağlamak için verici ve alıcı olarak kullanılabilir. Arabalar ayrıca birbirleriyle haberleşebilir ve bilgi paylaşarak kazaları önleyebilir. Örneğin, LED tabanlı ön ve arka farlar diğer otomobiller çok yakın olduğunda sürücülerini uyarmak için kullanılabilir (Bhut, vd., 2014).

Havayolu: Cep telefonu sinyallerinin uçakların kullandığı navigasyon ve kontrol sinyalleri ile karışmasını önlemek için uçaklarda cep telefonları kapatılmaktadır. Li-Fi, radyo frekansını etkilemediği için uçaklarda güvenle kullanılabilir. Li-Fi teknolojisinin verileri ışığa bağlı olduğundan, uçaktaki koltukların üzerindeki ışıklar Şekil 1.3'te gösterildiği gibi bir kablosuz bağlantı noktası olarak kullanılabilir (Bhut, vd., 2014).



Şekil 1.3. Uçak koltuğu ışığı

Tıbbi uygulamalar: Li-Fi sistemi, tıbbi cihazlar üzerinde olumsuz etki oluşturan RF sinyalinin kullanımına izin verilmeyen hastanelerde ve tıbbi ortamlarda kullanılabilir. Ameliyathaneler (OTs) Wi-Fi kullanımına izin vermez çünkü Wi-Fi sinyali izleme ekipmanıyla etkileşime girebilir ve bu da hasta için tehlikeli olabilir (Sharma, vd., 2014).

Görme engelliler için iç mekan navigasyon sistemi: İç mekan navigasyonu özellikle görme engelliler için vazgeçilmezdir. Şekil 1.4'te gösterildiği gibi görme engelliler için bir navigasyon sistemi önerilebilir. LED, bir akıllı telefona ve görünür ışık alıcısına konum verilerini içeren görünür bir ışık yayar. Akıllı telefon, en uygun yolu hesaplar ve bir kulaklık aracılığıyla görme engelliler ile konuşur (Lai, vd., 2014).



Şekil 1.4. Görme engelliler için iç mekan navigasyon sistemi (Lai, vd., 2014)

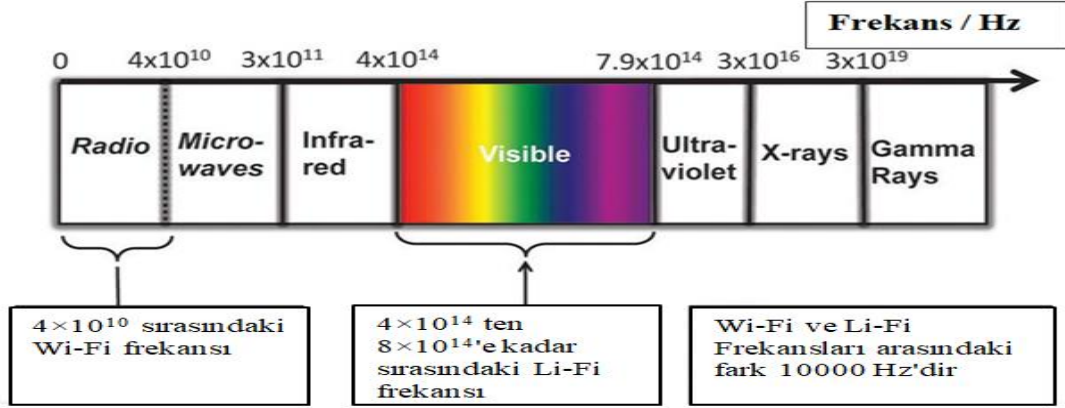
Afet yönetimi: Li-Fi, deprem gibi afet zamanlarında iletişim kurmak için kullanılabilir. Metro istasyonları ve tüneller gibi acil iletişimin mümkün olmadığı yerlerde Li-Fi acil iletişim için alternatif olarak kullanılabilir ve bu yerlerde Li-Fi'nin çalışması için hiçbir engel yoktur (Sharma, vd., 2014).

Hassas alanlar veya tehlikeli ortamlarda: Li-Fi sistemi, petrokimya tesisleri ve madenler gibi ortamlarda güvenli bir bağlantı sağlamak için kullanılabilir, çünkü başka bir cihazla elektromanyetik girişime neden olmaz. Bu nedenle, diğer frekansların tehlikeli olabileceği kimyasal tesislerde veya petrol tesislerinde kullanılabilir (Singh, vd., 2014). Örneğin, nükleer santraller hızlı ve birbirine bağlı veri sistemleri gerektiren ağ güvenliğine ve istasyon sıcaklık izlemesine ihtiyaç duyar. Li-Fi, bu hassas konumların tüm alanlarına güvenli bir bağlantı sağlayabilirken, Wi-Fi sistemi ve diğer kablosuz iletişim türleri, elektrik santrallerinin etrafındaki hassas alanlar için zararlıdır (Raunak, vd., 2014).

1.1.5. Li-Fi ve Wi-Fi

Li-Fi (Light Fidelity), Işık ve Duyarlılık kelimelerinin kısaltmasıdır, Wi-Fi ise yüksek hızlı İnternet ve kablosuz bağlantılar sağlamak için radyo dalgalarını kullanan ve günümüzde yaygın olarak kullanılan bir kablosuz ağ teknolojisinin adıdır. Şekil 1.5'de Li-Fi ve Wi-Fi kablosuz iletişimde kullanılan frekanslar gösterilmiştir. Li-Fi, yüksek hızda kablosuz iletişim için görünür ışığı kullanmaktadır ve kablosuz iletişimde girişim sorunlarını en aza indirmenin gerekli olduğu küçük alanlarda yüksek hızda veri aktarmak için uygundur. Wi-Fi ve Li-Fi teknolojileri, birbirini tamamlayıcı teknolojiler olarak kullanılabilir. Li-Fi ve Wi-Fi arasındaki

frekans farklılıkları Şekil 1.5’de gösterilmiştir. Li-Fi ve Wi-Fi arasındaki farklar Tablo 1.1’de verilmiştir (Hass, vd., 2015).



Şekil 1.5. Li-Fi ve Wi-Fi frekansları (Hass, vd., 2015)

Tablo 1.1. Li-Fi ve Wi-Fi özellikleri

Özellik	Li-Fi	Wi-Fi
İşlem	Li-Fi, LED ampuller kullanarak ışıkla birlikte veri gönderir	Wi-Fi, Wi-Fi yönlendirici kullanarak radyo dalgalarıyla veri gönderir
Girişim	Radyo frekans dalgalarına benzer bir girişim sorunu yoktur	Girişim sorunları var
Veri aktarım hızı	Yaklaşık 1 Gbps	WLAN-11n 150 Mbps sunar, yaklaşık 1-2 Gbps kullanılarak elde edilebilir Wi-Gig / Giga-IR
Frekans	Telsizin 10000 kat frekans spektrumu	2.4 GHz, 4.9 GHz ve 5GHz
Veri yoğunluğu	Yüksek yoğunluklu ortamda çalışır	Daha az yoğunluklu ortamda çalışır
Kapsama mesafesi	Yaklaşık 10 metre	Yaklaşık 32 m (WLAN 802.11b / 11g), iletim gücü ve anten tipine göre değişiklik gösterir

1.2. Çalışma Prensibi

1.2.1. Li-Fi Sistemi Nasıl Çalışır?

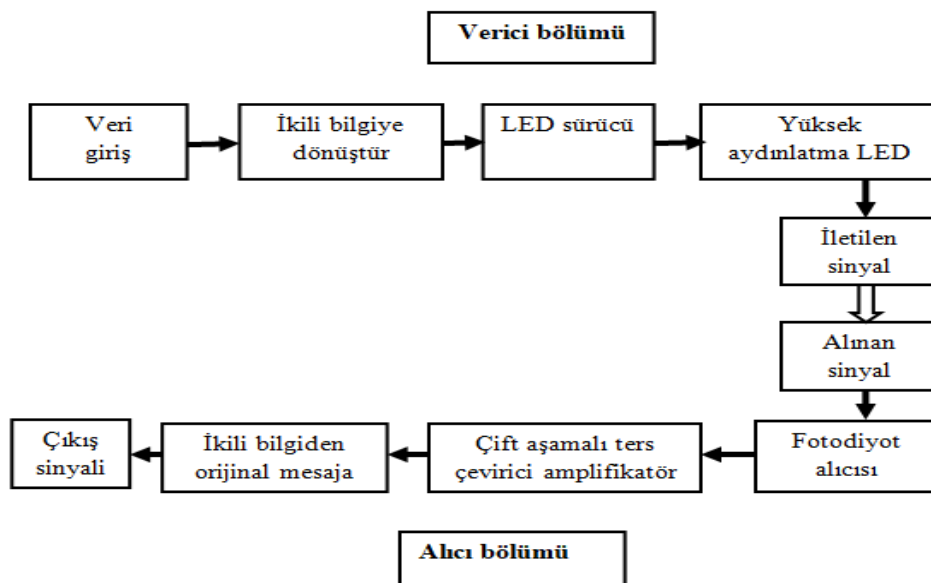
Li-Fi sisteminin ana fikri, verilerin taşıyıcı olarak kullanılan ışık tarafından iletilmesidir. Veriler alıcı tarafından alınır ve ışık sinyalinden elektrik sinyaline dönüştürülür. Bu işlemi yapmak için ana bileşenler LED'ler, fotodiyot ve sinyal işlemcisidir.

1.2.2. Temel Blok Şeması

Şekil 1.6'da gösterildiği gibi bir Li-Fi sisteminin temel blok diyagramı iki bölümden oluşur (Kahn ve Barry,1997):

1. Verici bölümü
2. Alıcı bölümü

Verici bölümünde, iletilecek sinyal ADC (Analog-Dijital Dönüştürücü) kullanılarak sayısalı dönüştürülür ve ardından sinyal işlemcisi tarafından kontrol edilen LED sürücü devresine gönderilir. LED sürücüsü başla-dur anahtarlama (On-Off Keying) modülasyonu ile çalışır (Kahn ve Barry,1997). Bundan sonra, LED yüksek hızda yanıp söner ve verileri kablosuz kanal üzerinden darbeler biçiminde gönderir. Alıcı bölümünde, bu darbeler bir ışık algılayıcısı tarafından alınır ve elektrik sinyallerine dönüştürülür; elektrik sinyalleri bir amplifikatör aracılığıyla ve daha sonra bir karşılaştırıcı tarafından tekrar ikili verilere dönüştürülür.



Şekil 1.6. Li-Fi sisteminin temel blok şeması

Kullanıcılar tek bir LED veya birçok LED ile ağa bağlanarak verilere erişebilir. Mikro denetleyici devresi, fotodiyot ve LED gibi ana öğelere ek olarak, başka öğeler de vardır, örneğin:

- 1- Bant geçiren süzgeç kullanılarak farklı frekanslarda gelen sinyaller bastırılabilir.
- 2- Optik bir süzgeç kullanılarak, diğer dalga boylarının ışık sinyalleri bastırılabilir.
- 3- Işık yoğunluğu düşük olduğunda ışığı odaklamak için lensler kullanılabilir (Kahn ve Barry,1997).

1.2.3. Ana Bileşenler

Bir Li-Fi sistemi tasarlamada kullanılan ana bileşenler şunlardır: LED'ler, fotodiyot ve sinyal işlemcisi.

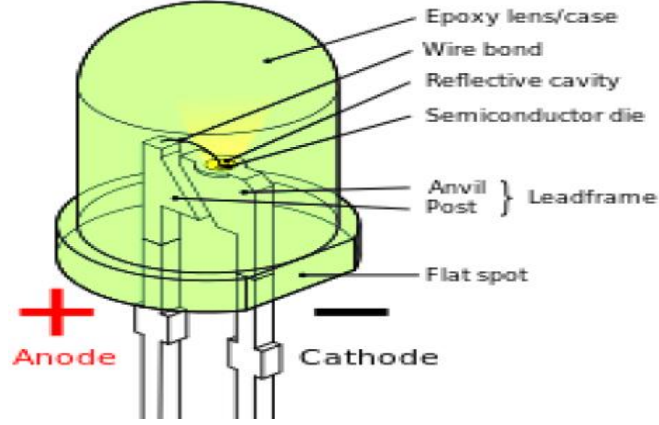
1- LED (Işık Yayan Diyot)

LED'ler elektrik enerjisini ışığa dönüştüren özel bir diyot türüdür. LED'in sembolü Şekil 1.7'de gösterilmiştir. Kısacası LED, küçük bir ampulü andırır. Ancak LED, aydınlatma için diğerleriyle karşılaştırıldığında çok daha az enerji tüketir ve bu da LED'leri mobil ekipman ve diğer düşük güç uygulamaları için ideal hale getirir.



Şekil 1.7. Bir LED'in sembolü

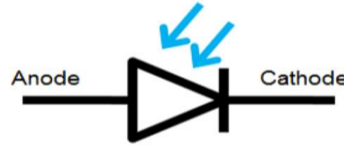
LED'in iki ucu vardır. Pozitif ucu anot olarak bilinir ve bunun için olan bacak daha uzundur. Diğer uca katot denir ve negatif kısmı temsil eder. Akım anottan katoda akar ve bunun tersi olamaz. LED'deki enerji seviyeleri değiştiğinde ışık LED'den yayılır. Fotonlar, enerjinin bu değişimiyle üretilir. Mikrodenetleyici ile çalışmaya uygun olan LED OSRAM LED'dir (bkz. Şekil 1.8). LED'in çalışması, maksimum gerilim çıkışı, maksimum akım çıkışı ve mikrodenetleyicinin maksimum frekansına bağlıdır (Badamasi, 2014). Li-Fi, aşağı bağlantı vericisi için LED ampuller kullanır. Açıkça sayısal 1 gönderecek ve kapalıysa sayısal 0 göndereceğiz. LED'ler çok hızlı açılıp kapatılabilir, bu da hızlı veri iletimi sağlar.



Şekil 1.8. OSRAM LED

2- Fotodiyot

Bir fotodiyot, ışık enerjisini elektrik akımına dönüştüren bir PN-bağlantı diyotudur. Işık detektörü, foto detektör ve foto sensör olarak da adlandırılır. Lensler ve optik filtrelerden oluşur. Ters akım şeklinde çalışır, yani fotodiyotun P tarafı pilin negatif tarafına ve N tarafı pilin pozitif tarafına bağlanır. Bazı fotodiyotlar LED'lere benzer. İki terminalleri vardır. Daha kısa olan bacak katot ve daha uzun olan bacak anot olarak adlandırılır. Fotodiyot sembolü Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Fotodiyot sembolü

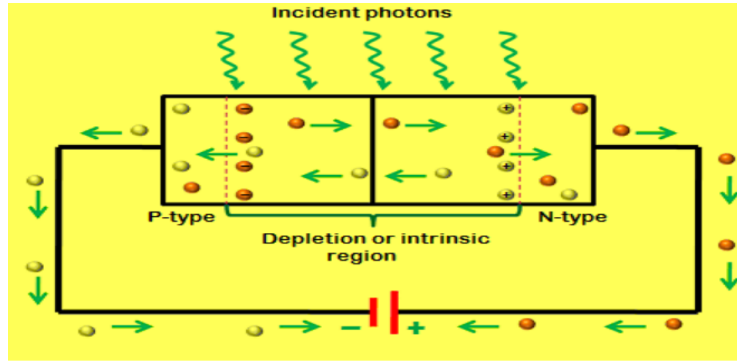
Birçok fotodiyot türü vardır ve bunlar aynı temel ilke ile çalışırlar. Fotodiyot türleri, işlevlerine ve yapısına göre şu şekilde sınıflandırılabilir: PN fotodiyot, PIN fotodiyot, Schottky fotodiyot ve Çiğ fotodiyotu (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Fotodiyot

Çalışma prensibi şöyledir; büyük enerjisi olan bir fotonun diyotla çarpışması durumunda, bir kaç elektron deliği oluşur, eğer emilim tüketim alanı eklem

noktasında olursa, taşıyıcılar eklem noktasından var olan elektrik alanı tarafından çıkarılır. Bu nedenle bölgedeki elektronlar katoda geçer ve delikler anoda geçer, böylece foto akım oluşur (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. PN bağlantı diyotu

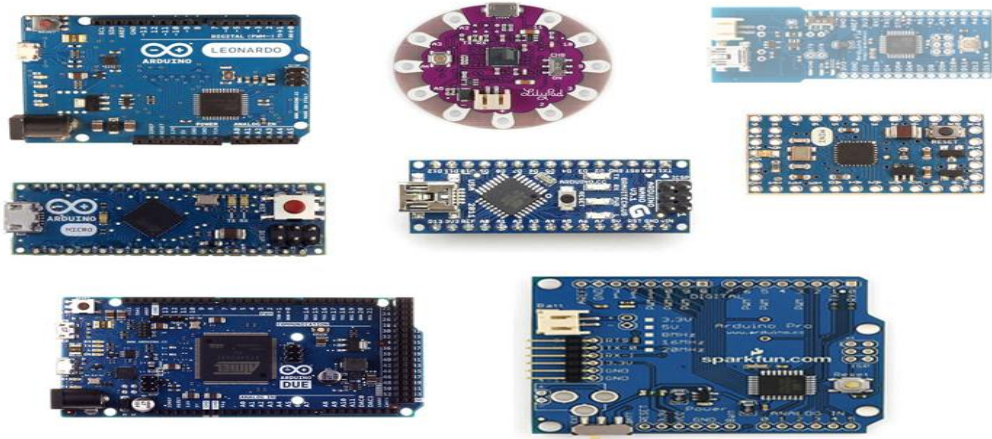
3- Sinyal işlemci

Veriler LED'ler tarafından ışık sinyali olarak iletilir, fotodiyotlar tarafından alınır ve sayısal ikili değerleri (binary) elde etmek için bir dijital-analog dönüştürücü (DAC) gereklidir. Öte yandan, fotodiyotlar ile alınan analog sinyali ikili bir biçime dönüştürmek için bir analog-sayısal dönüştürücüye (ADC) ihtiyaç duyulur. Bunların tümü bir mikrodenetleyici ile gerçekleştirilir. Mikrodenetleyici aynı zamanda analog bölüm ile bilgisayar arasındaki arayüzdür. Mikrodenetleyicilerin birçok türü sinyal işleme için kullanılır. Bu çalışmada Li-Fi sistemini tasarlamak için Arduino ve STMicroelectronics kullanılmıştır.

a) Arduino

Arduino, bilgisayara USB ile bağlanabilen küçük bir mikrodenetleyici kartıdır. Mikrofonlar, röleler, sensörler, hoparlörler, lazer diyotlar gibi harici elektronik cihazlara bağlanabilen birçok bağlantı soketi vardır. Bilgisayardan USB bağlantısıyla veya 9V pil ile çalıştırılabilirler. Bilgisayar tarafından kontrol edilebilir veya bağımsız çalışacak şekilde programlanabilirler.

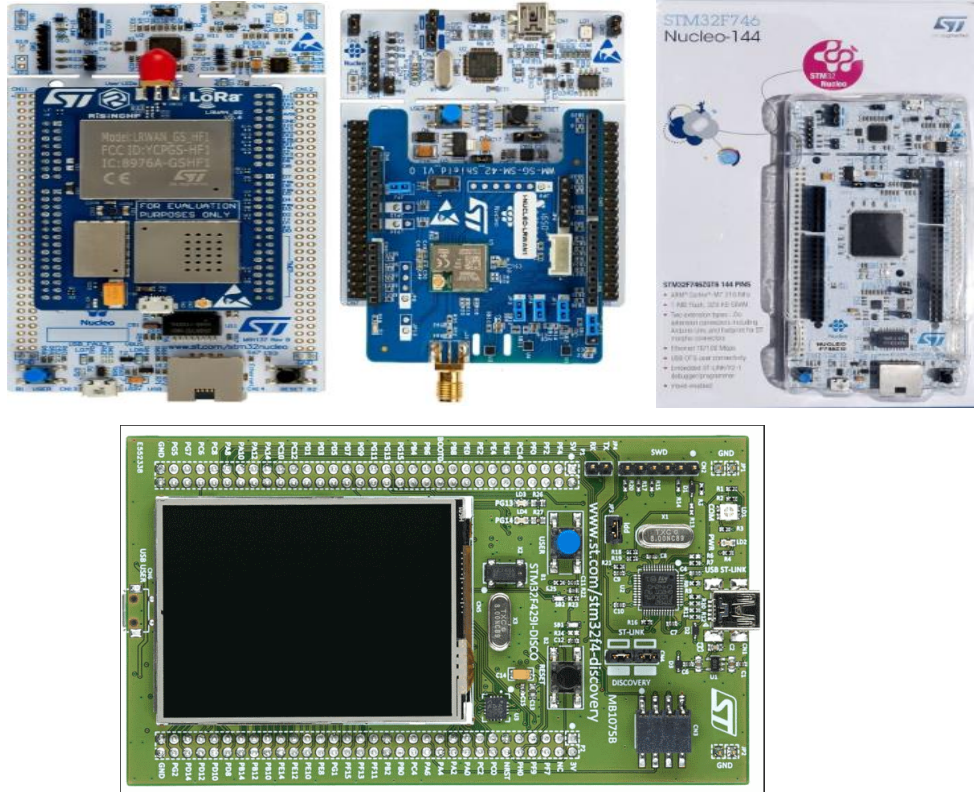
Arduino Uno, Arduino türlerinden biridir, seri iletişim, kristal osilatör ve gerilim regülatörü gibi diğer bileşenlerden oluşur. Şekil 1.12'de gösterildiği gibi 14 dijital giriş/çıkış ucu, 6 analog giriş ucu, bir ICSP (Devre İçi Seri Programlama) başlığı, sıfırlama düğmesi ve bir USB bağlantısı vardır. On dördüncü uçlar giriş veya çıkış pinleri olarak kullanılabilir. Her uç 5V'de çalışır ve 40mA devreye verir veya alır. Bu 14 pinden bazılarının ise özel işlevleri vardır (Bawa ve Patil, 2013).



Şekil 1.12. Arduino türleri

b) STMicroelectronics

Mikrodenetleyicinin bir başka türü de STMicroelectronics'tir. Şekil 1.13'te gösterildiği gibi bu mikrodenetleyicinin birçok çeşidi vardır. Veri aktarım hızının yüksek olmasında dolayı Arduino'ya göre daha çok tercih edilir (STlife, 2020).



Şekil 1.13. STM 32F429IDISCOVERY

STM 32F429IDISCOVERY'nin özellikleri:

- 1- LQFP144 paketinde 2 Mbyte Flash bellek, 256 Kbyte RAM içeren STM32F429ZIT6 mikrodenetleyici
- 2- USB
- 3- Kart güç kaynağı: USB veri yolu üzerinden veya harici 3V veya 5V besleme gerilimi
- 4- 64-Mbit SDRAM
- 5- Altı LED:
 - USB iletişimi için LD1 (kırmızı / yeşil)
 - 3.3 V güç açık için LD2 (kırmızı)
 - İki kullanıcı LED'i: LD3 (yeşil), LD4 (kırmızı)
 - İki USB OTG LED'i: LD5 (yeşil) VBUS ve LD6 (kırmızı) OC (aşırı akım)
- 6- İki düğme (kullanıcı ve sıfırlama)

Geliştirme araç zincirleri:

- 1- IAR EWARM (IAR Embedded Workbench)
- 2- Keil MDK-ARM™
- 3- GCC- tabanlı IDE'ler (free AC6: SW4STM32, Atollic TrueSTUDIO...)
- 4- ARM mbed™ online
- 5- Eski standart kütüphaneleri kullanmak için STM32CubeF4 paketinin bir parçası veya STSW-STM32138 gibi çeşitli örnekler içeren kapsamlı ücretsiz yazılım

1.3. Çoklu Yol Etkisi

Yeni bir konum planlandığında, iletilen sinyal üzerindeki önemli etkisi nedeniyle yansıma, kırınım, saçılma ve çoklu yolun etkisi dikkate alınmalıdır.

Yansıma

Yansımalar, bir dalga pürüzsüz bir yüzeye çarptığında meydana gelir; örneğin, duvarların ve binaların yüzeyinden meydana gelir.

Kırınım (Gölgeleme)

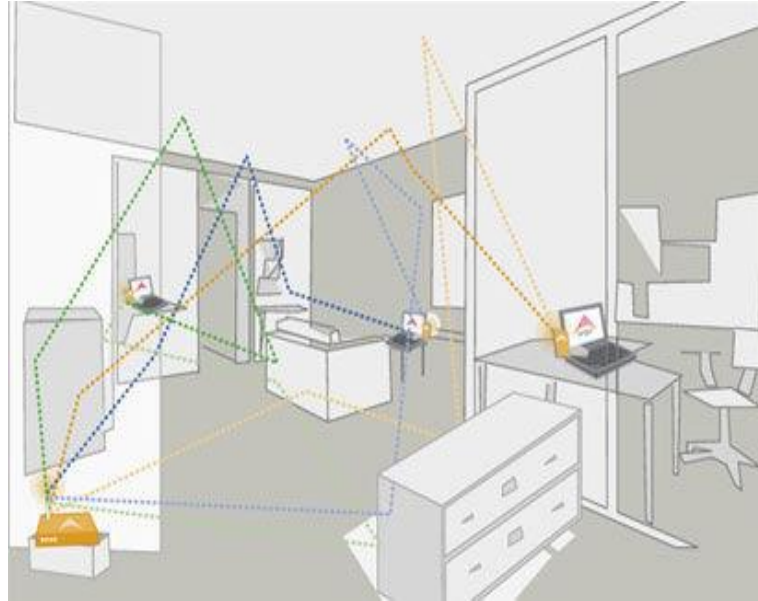
Kırınım, büyük boyutları ve keskin düzensizlikleri (kenarları) olan bir nesne tarafından engellendiğinde meydana gelir. "Dalgacıklar" gölgeli bölgeye doğru yayılır. Engelin etrafındaki dalgaların bükülmesine neden olur.

Saçılma

Saçılma, bir dalga bir nesneye çarptığında, yansıyan enerjinin birçok yöne yayılmasına veya "saçılmasına" neden olduğunda meydana gelir. Sokak lambaları, tabelalar ve yapraklar gibi küçük nesnelere saçılmaya neden olur.

Çoklu yol

Çoklu yol, çoklu dalgalar tarafından oluşturulur. Yayılma mekanizmaları nedeniyle çoklu dalgalar alıcıya ulaşır. Çok yönlü yayılma, sinyalde büyük ve hızlı dalgalanmalara ve kısa bir mesafe veya süre boyunca sinyal gücünde hızlı değişikliklere neden olur. Dolayısıyla, zaman dağılımına Şekil 1.14 'te gösterildiği gibi çok yönlü gecikmeler neden olur.



Şekil 1.14. Çoklu yol etkisi

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Li-Fi sistemi üzerinden veri aktarımının çoklu yol etkisinin incelenmesi ve analiz edilmesi araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Araştırmacılar Li-Fi sistem tasarımının yanı sıra, Li-Fi'nin çoklu yollar ve veri aktarımı üzerine araştırmalar yapmışlardır. Aşağıda bu çalışmalar özetlenmiştir:

Araştırmacılar Muhammad Shahin Uddin ve diğerleri, Si foto-detektörü gibi bir VLC alıcısının foto duyarlılık özelliklerinin dalga boyu varyasyonuna bağlı olduğunu açıklamıştır. Bu makalede çok renkli kanallarda alıcının performans değişimini sınırlamak için bir azaltma tekniği önerilmiştir. Farklı renk kanalları için bir simülasyon ile birlikte SNR, BER, çıkış akımı, alınan güç ve kesinti olasılığı gösterilmiştir (Uddin, vd., 2011).

Pengfei Luo ve diğerleri farklı iletişim geometrileri altında sistem performansını tahmin etmeyi amaçlayan araçtan araca (C2C) görünür ışık iletişimleri için matematiksel bir model sunmuşlardır. Pazar ağırlıklı bir far huzmesi modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada hem LOS hem de NLOS bağlantıları, sistem bit hata oranı performansı dikkate alınmıştır. Sonuçlar, arabada yol yüzeyinin 0.2-0.4m yukarısına bir foto diyot (PD) yerleştirilerek, iletişim kapsama aralığının 2 Mbps veri hızında 20 m'ye kadar uzatılabileceği gösterilmiştir (Luo., vd., 2014).

Mingsong Chen ve diğerleri, LED'e dayalı görünür ışık iletişiminin gerçek zamanlı video iletimi hakkında bir makale önermişlerdir. Alan programlanabilir kapı dizisi (FPGA) donanımına bağlı olarak, RS kanal kodlaması VLC sistemine uygulanır. Sinyalin hatasız kararını karşılamak için VLC sisteminin alıcısına bir darbe pozisyonu karar algoritması uygulanır. Sinyalin hızlı geniş bant modülasyonunu bilmek için LED sürücü ile ADC devresini kullanılmıştır. Sonuçlar, darbe pozisyonu karar algoritması ve Reed-Solomon kodekinin birleşik uygulamasının, sistem sinyali hatasını azaltabileceğini ve gerçek zamanlı ve güvenilir sinyal iletimini karşılayabileceği açıklanmıştır (Chen, vd., 2017).

Bir çalışmada, aydınlatma kontrolü ve görünür ışık iletişimi ile çift amaçlı bir LED sürücü kullanılmıştır. Doğrusal olmayan I – V karakteristiklerinden dolayı LED'ler, sabit akım kaynakları tarafından çalıştırılır. Önerilen, ortalama akım mod kontrolü kullanan bir kapasitör olmadan bir DC-DC gerilim azaltan dönüştürücü tarafından sabit bir akım kaynağı tanımlanmıştır. VLC, LED dizisine paralel olarak bir

şönt anahtarı kullanılarak değişken darbe pozisyon modülasyon şeması aracılığıyla uygulanır. Geleneksel LED sürücüleri tipik olarak, düşük frekanslarda (<20 kHz) darbe genişlik modülasyonu (PWM) karartma ile aydınlatma kontrolü gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Yüksek frekanslı LED dizisi modeli kullanılarak önerilen çift amaçlı LED sürücüsünün ayrıntılı kontrolü ve modellemesi tartışılmıştır (Modempalli, vd., 2015).

Başka bir çalışmada, ortamın şekli ve özellikleri bilindiğinde iç ortamlarda çoklu yolun etkisini belirlemek için bir model önerilmiştir. Amaç ışık iletişimindeki olumsuz etkileri ve optik sinyalleri kullanırken bu fenomenden kaynaklanan iç mekan konumlandırma hatalarını mümkün olduğunca çözmek için çok yollu sinyal oluşumunu modellemektir. İzlendiği metodoloji şu şekildedir: çok yollu olguyu analiz etmek, teorik bir yaklaşım oluşturmak ve kanalın, vericinin ve alıcının davranışını karakterize etmek için farklı modeller önermek. Kanal birim vuruş yanıtı ve alınan sinyal gücü, önerilen farklı algoritmalarla elde edilmiştir (De-La-Llana-Calvo, vd., 2017).

Andres Alexander Rodríguez-Fonseca, RF, Li-Fi hibrit ağlarda QoS parametrelerinin oluşturulmasının gerekli olduğu senaryoları değerlendiren bir makale sunmuşlardır. Amaç, bu teknolojinin özellikle hizmetler için eklenen iyileştirme olanaklarını gerçek zamanlı olarak belirlemektir (Fonseca, vd., 2017).

Diğer bir çalışmada, dijital verileri iletebilen Arduino kullanılarak bir Li-Fi alıcı-verici tasarlanması amaçlanmıştır. Donanım, Eagle CAD (sürüm 7.1.0) aracı ve Proteus tasarım aracı (sürüm 8) kullanılarak tasarlanmıştır. Yazılım kodlaması Java (sürüm 8) kullanılarak yapılmıştır. Görünür ışık spektrumundaki verileri iletmek için LED'ler kullanılır. Alıcı-vericide metin, görüntü ve video sinyallerinin başarılı iletimi ve alımı gerçekleştirilmiştir (Goswami, vd., 2017).

Abdelmoujoud Assabir, görüş alanı ve yansımaların optik kablosuz kanal üzerindeki etkilerine dair bir çalışma sunmuştur. Bu çalışmada asıl amaç, hem FOV (görüş alanı) hem de kanal birim vuruş yanıtı (CIR) üzerindeki yansımaları farklı yol LOS ve NLOS ile (4m, 4m, 2.5m) bir oda boyutu kullanarak incelemektir (Abdelmoujoud, vd., 2017).

Başka bir çalışmada, iç mekan görünür ışık konumlandırma sistemi için LOS-NLOS fikirlendirme algoritması incelenmiştir. Bu çalışmada, çoklu yol

normalizasyon sinyali girişim artı gürültü oranı (SINR) olarak karakterize edilmiştir. Ardından, SINR'yi hesaplayabilen ve çoklu yolun etkisini ortadan kaldıracı LOS-NLOS tanımlama algoritması önerilmiştir. Simülasyon sonucuna göre, konumlandırma doğruluğu köşe bölgesinde 7cm ve 20cm'ye ulaşmıştır (Huang, vd., 2017).

PIN (pozitif iç negatif) fotodiyotlar ve ADC, tespit edilen sinyaller üzerindeki verileri almak için yaygın olarak VLC alıcılarında kullanılır. Bu çalışmada, ışıktan frekansa dönüştürücü (LTF) tabanlı bir VLC alıcısı önerilmektedir. LTF'yi karakterize etmiş ve giriş optik gücü ve çıktı periyodik sinyalinin frekansı açısından sinyal-gürültü oranı (SNR) tahmini için bir denklem türetilmiştir. Sonuçlar, LTF dönüştürücünün periyodik sinyalinin, 6.2cm'lik bir mesafede maksimum 600 kHz'lik bir çıkış frekansına sahip olduğunu göstermiştir ve 150kbps'lik bir bit hızının, bir başla-dur anahtarlama (OOK) modülasyon formatı ile elde edilebileceğini ve OWC amaçları için LTF dönüştürücünün avantajlarını ve sınırlamalarını tartışmıştır (Martínez Ciro, vd., 2018).

Diğer bir çalışmada, farklı modülasyon tekniklerinin ve parametrelerinin analiz edildiği MATLAB simülasyonlarında gerçekleştirilen uygulama süreci açıklanmıştır. Üstte birçok LED kullanılmış ve LED'den yayılan ışık nedeniyle odadaki aydınlatma parametreleri belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan modülasyon teknikleri OOK anahtarlama modülasyonudur. Veri oranları LOS ve NLOS olarak iki yöntemle tahmin edilmiştir. Veri hızlarının aydınlatma ve mesafeye etkisi de araştırılmıştır. Analiz, daha iyi LED dizisini belirlemek için tek bir LED'in ve birden çok LED dizisinin performans ölçümleri arasında gerçekleşmiştir (Khatibi ve Nitish, 2018).

Yun-yue Hua ve diğerleri, ışık yoğunluğunu yansıtan bir gerilim sinyali elde etmek için üç LED kullanmış ve fotoelektrik sensör Po188'i kullanarak fotoelektrik dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, yükseltici devresi ve filtre devresi aracılığıyla elde edilen gerilim sinyalini okumak için STM32 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır ve uçaklardaki sensörün pozisyonunu belirlemek için üç taraflı konumlandırma metodu kullanıldı ve bu metot sayesinde STM32 mikro denetleyicisi amplifikatör devresi ve filtre devresi aracılığıyla elde edilen gerilim sinyalini okumada gerçekleştirildi (Yun, vd., 2018).

Nazmi A. Mohammed ve diğerleri, gerçek hayattaki (yani yaygın) bir senaryoda darbe pozisyon modülasyonuna (PPM) dayanan farklı bir güç tasarrufu ve

nispeten basit tasarımlı görünür ışık iletişim sisteminin performansını araştırmışlardır. Hem iletişim hem de aydınlatma performansı için matematiksel arka plan, görüş hattı olmayan (NLOS) ortamda Alt Taşıyıcı Darbe Konum Modülasyonu (SC-LPPM) şeması için geliştirilmiştir. Daha sonra, çeşitli sistem/çevresel parametreler altında SC-LPPM performansı için entegre bir görüntü sağlamak için bir değerlendirme çalışması gerçekleştirilmiştir. NLOS bileşenlerinin eklenmesinin toplam alınan gücü artırdığı sonucuna varırlar, ancak yine de LOS bileşeni hakimdir. Tipik bir odanın köşelerinde, NLOS bileşenleri dahil edildiğinde alınan optik güç %120 oranında artarken, oda merkezinde optik güç yalnızca %12 oranında artmıştır (Mohammed, vd., 2018).

Bir çalışmada, akıllı LiFi AP'lerde dinamik çoklu erişim seçimleri (DMAS) için yeni bir çapraz katman tasarım çerçevesi geliştirilmiştir. Geliştirilen çerçeve LiFi attocell sistem düzeyinde çalışıyordu ve toplam veri hızı, ortalama kesinti olasılığı açısından çeşitli sistem gereksinimlerini karşılayacak şekilde yapılandırılabilir. Elde edilen sonuçlar, DMAS'ın, tek bir MA şemasının statik konfigürasyonuna kıyasla sistem gereksinimlerinin daha iyi karşılanmasını sağlayarak çok kullanıcılı kaynak tüm konumlar için etkili bir çözüm sunulduğu gösterilmiştir (Abumarshoud, vd., 2019).

Başka bir çalışmada, ışık duyarlılığına uygunluk (LiFi) şemaları için güç açısından verimli iletişim ve karartma kontrolü sağlamak için hibrit DC eğilimli simetrik olarak kırılmış darbe genliği modülasyonlu bir OFDM (HDAP-OFDM) olarak adlandırılan hibrit (OFDM) bir modülasyon önerilmiştir. Önerilen HDAP-OFDM, üç OFDM formatının bir kombinasyonudur: DC eğilimli optik OFDM (DCO-OFDM), asimetrik olarak kırılmış optik OFDM (ACO-OFDM) ve darbe genliği modülasyonlu ayırık çok tonlu (PAM-DMT). HDAP-OFDM'de, düşük endeksli alt taşıyıcılar DCO-OFDM'yi taşıırken, geri kalan daha yüksek alt taşıyıcılar tek endeksli alt taşıyıcılarda ACO-OFDM'yi ve çift endeksli alt taşıyıcılarda PAM-DMT'yi taşımıştır (Islam ve Rubaiy, 2019).

Diğer bir çalışmada, 40 katılımcının deneysel ölçümlerine dayanan cihaz oryantasyonu için yeni bir model önerilmiştir. Kutup açısının olasılık yoğunluk fonksiyonunun (PDF) bir Laplace (statik kullanıcılar için) veya bir Gauss (mobil kullanıcılar için) dağılımına dayalı olarak modellenebileceği gösterilmiştir. Buna ek olarak, OWC kanallarında görüş hattı (LOS) kanal kazancının açıklanmasına

dayanan geliş açısının kosinüsünün PDF'si için kapalı formulu bir ifade elde edilmiştir. LOS kanal kazancının istatistikleri hesaplanır ve kullanıcı ekipmanının (UE) rastgele oryantasyonu rastgele bir işlem olarak modellenir. Rastgele oryantasyonun OWC sistemlerinin sinyal-gürültü oranı performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Soltani, vd., 2019).

Rui Bian ve diğerleri, şu anda piyasada olmayan LED'lerle 15.73Gb/sn görünür ışık iletişimini sunmuştur. Dalga boyu bölmeli çoğaltma, görünür ışık spektrumundaki dört dalga boyunu etkili bir şekilde modüle etmek için kullanılmıştır. Işık kaynağı olarak ticari olarak temin edilebilen dört adet tek renkli düşük maliyetli ışık yayan diyotlar (LED'ler) seçilir. Bu, yüksek veri hızlı iletişim için VLC'nin uygulanabilirliğini ve hazır olduğunu onaylar. Uyarlanabilir bit yüklemeli dik frekans bölmeli çoğullama (OFDM) kullanılır. Mevcut bileşenlere sahip sistem karakterize edilir ve LED sürüş noktaları ve OFDM sinyali tepeden tepeye ölçeklendirme faktörü gibi parametreleri optimize edilir. Literatür taramalarına göre bu LED tabanlı VLC sistemleri için şimdiye kadar bildirilen en yüksek veri hızıdır (Bian, vd., 2019).

Hanaa Abumarshoud ve diğerleri, endeks zaman bölmeli çoklu erişim olarak adlandırılan yeni bir zaman düzlemi tabanlı çoklu erişim şeması önermişlerdir. Sonuçlar, I-TDMA'nın, minimum ek donanım ve hesaplama karmaşıklığı ile iki kullanıcı bir senaryoda sıradan TDMA'ya kıyasla önemli spektral verimlilik artışı sağladığı gösterilmiştir (Abumarshoud, vd., 2019).

Zhihong Zeng ve diğerleri, LiFi hücresele ağlarda açılı çeşitliliği alıcısı (ADR) için optimum görüş alanını (FOV) araştırmışlardır. ADR'nin görünürlük olasılığı ve görünür alanı tanımlanmıştır. Kanal kazancını maksimize etmek için bir optimizasyon problemi formüle edilmiş ve bir ADR üzerine monte edilmiş fotodiyotların (PD'ler) FOV'unun alt sınırı belirlenmiştir. Sonuçlar, FOV en aza indirildiğinde veri hızının maksimize edildiğini ve en yüksek veri hızına ulaşan piramit alıcısının (PR) yapısının, her biri 30 derecelik bir FOV ile 6 PD'den oluşan yapı olduğunu açıklanmıştır (Zhihong, vd., 2019).

Diyan Dinev ve diğerleri, Li-Fi teknolojisini kullanarak bilgi aktarımına dayalı olarak yazarın geliştirdiği prototip ile diğer mevcut LiFi cihazları arasında gerçekleştirilen analiz hakkında bilgiler sunmuşlardır (Dinev, vd., 2019).

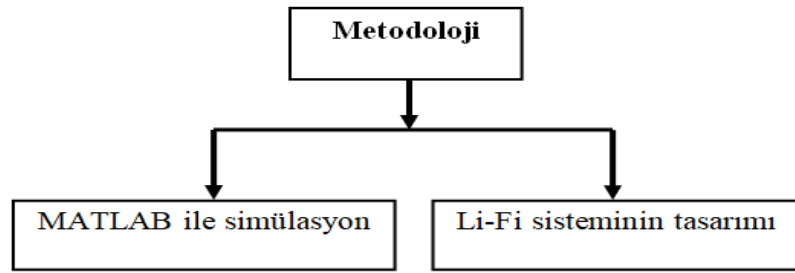
Bu çalışma ile diğer çalışmaların karşılaştırılması

Bu çalışma ile literatürde bulunan diğer çalışmalar arasındaki farklar şu şekilde özetlenebilir:

- 1- Diğer çalışmalar genellikle sadece çoklu yol etkisini göstermek için simülasyonu veya Li-Fi sistemi tasarımını içerirken, bu çalışma simülasyon ve uygulamanın her ikisini de içermektedir.
- 2- Çoklu yolun alınan sinyal üzerindeki etkisinin incelenmesinde daha basit, daha kapsamlı ve daha doğru yöntemler benimsenmiştir. Bir üçgenin geometrik özellikleri, LOS ve NLOS sinyallerinin uzunluklarını, zaman gecikmesini, darbe süresini ve gerilim sinyalinin genliğini belirlemek için referans noktasından mesafeleri ölçmek için kullanılmıştır.
- 3- (Nagabhairava Nitish 2018) araştırmasında kullanılan simülasyonların çoğu alınan sinyalin tamamen bulunmasına dayanmaktadır. Yani LOS ve NLOS sinyalleri ayrı ayrı görünmemektedir, bu nedenle LOS olmadığında ve NLOS sinyali kaldığında biçiminde ifade edilemiyordu. Bu çalışmada ise alınan her sinyal diğer sinyallerden ayrı olarak bulunabilir ve bu sinyalin gerilim değeri ve veri hızı üzerindeki etkisi incelenebilir.
- 4- Bu çalışmada MATLAB'da oluşturulan kod için, sadece odanın boyut parametrelerinin girilmesi ve verici ve alıcı konumlarının ayarlanması gerekmektedir. Sonuçlar incelendiğinde kayda değer bir olasılık ve doğruluk elde edildiği görülmektedir.
- 5- Bu tez çalışmasında, yüksek hızda veri hızı üretebilen ve performansı Arduino'dan daha iyi olan mikrodenetleyici STM32F429IDISCOVERY kullanılmıştır.
- 6- Bu çalışma, alıcı sinyali üzerindeki yan etkiye rağmen çoklu yol etkisinden nasıl maksimum ölçüde yararlanılabileceğini açıklamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tezi yürütme yöntemimiz iki kısımdan oluşur; birinci kısım MATLAB programı ile simülasyon ve ikinci kısım ise Li-Fi sisteminin tasarımıdır. Bu simülasyonların ve deneylerin amacı, yansıyan sinyallerin alınan sinyalin zaman gecikmesi, alınan sinyalin genliği, darbe süresi üzerinde nasıl etkilendiğini, Li-Fi sisteminin maksimum OOK veri hızı içinde nasıl bir darbe oluşturabileceğini açıklamaktır. Bu nedenle amaç, LOS'un zaman gecikmesi ile yol kaybına bağlı olarak yansıyan sinyallerin maksimum zaman gecikmesini bulmaktır. Şekil 3.1 bu tezin metodolojisini göstermektedir.



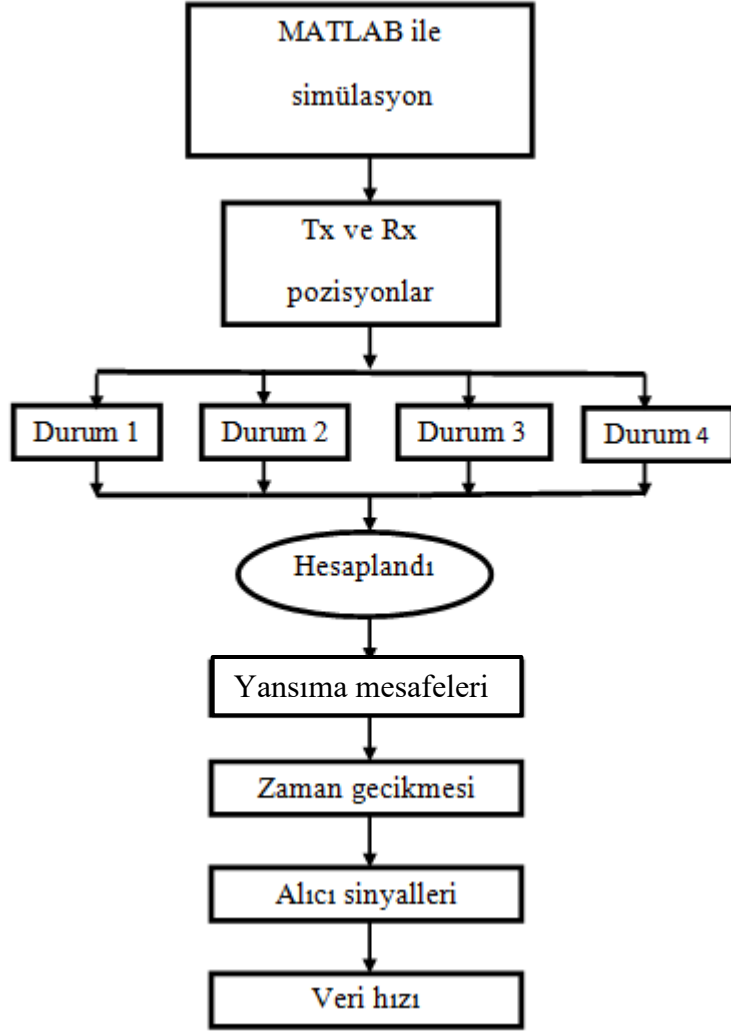
Şekil 3.1. Tezin metodolojisi

3.1. MATLAB ile Simülasyon

Bu kısımda, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, verici ve alıcı konumlarına bağlı olarak dört durum oluşturulmuştur. Verici konumu alıcı konumuna diktir. Oluşturulan dört durum için konumlar aşağıda verilmiştir:

- 1- Durum 1, verici ve alıcı konumları $(2, 1, 3)$ ve $(2, 1, 0)$ 'dır.
- 2- Durum 2, verici ve alıcı konumları $(2.5, 2.5, 3)$ ve $(2.5, 2.5, 0)$ 'dır.
- 3- Durum 3, verici ve alıcı konumları $(2, 2.5, 3)$ ve $(2, 2.5, 0)$ 'dır.
- 4- Durum 4, verici ve alıcı konumları $(1.5, 2.5, 3)$ ve $(1.5, 2.5, 0)$ 'dır.

Durumlara göre yansıma mesafeleri, zaman gecikmesi, alınan sinyaller ve darbe süresi hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. MATLAB ile simülasyon

3.2. Li-Fi Sisteminin Tasarımı

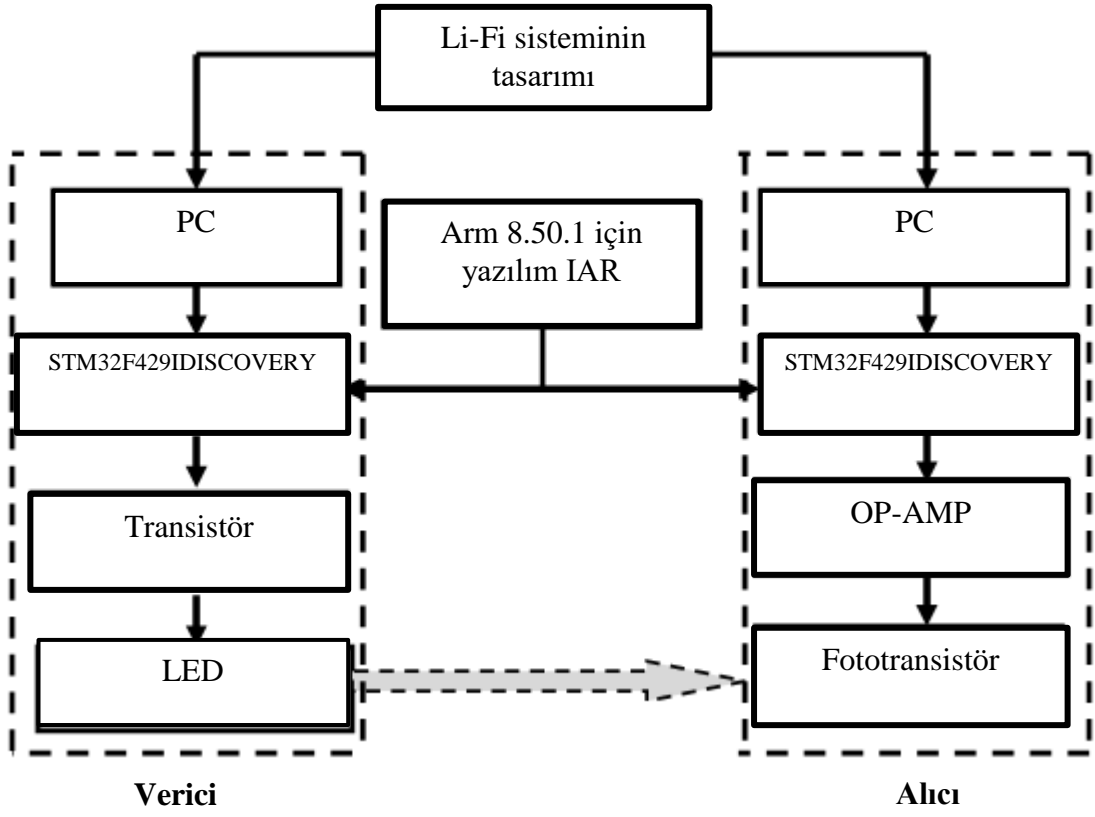
Li-Fi sistemi, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi verici ve alıcı bölümlerinden oluşur. Verici bölümünün ana bileşenleri şunlardır:

- 1- Mikrodenetleyici (STM32F429 IDISCOVERY)
- 2- Transistör
- 3- LED'ler

Alıcı bölümünün ana bileşenleri şunlardır:

- 1- Mikrodenetleyici (STM32F429 IDISCOVERY)
- 2- OP-AMP
- 3- Fototransistör

Yazılım, STM32CubeMX tarafından IAR Embedded Workbench IDE-Arm 8.50.1 ile kullanılır.



Şekil 3.3. Li-Fi sisteminin tasarımı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

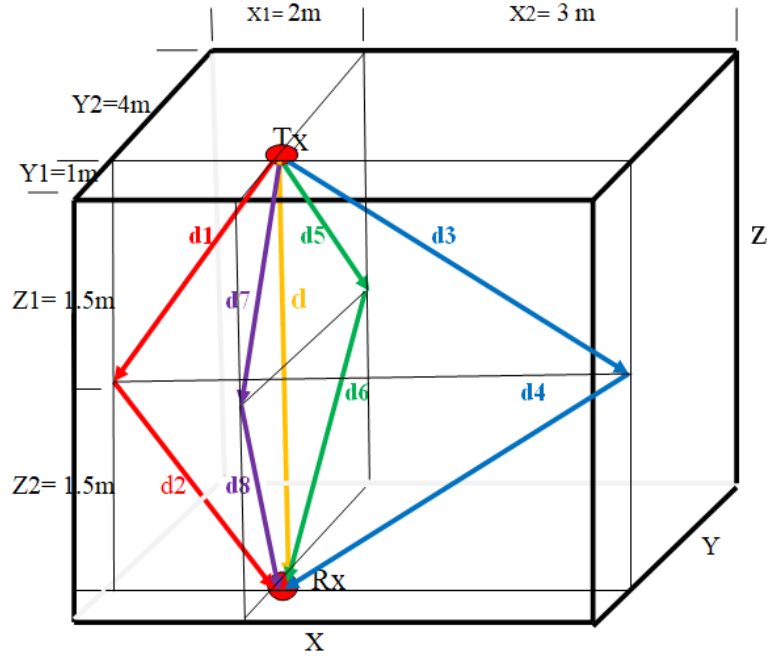
4.1. MATLAB Programı ile Simülasyon Sonuçları

Bu simülasyonda verici, alıcıya dikdir. Verici ve alıcı konumlarına göre MATLAB programı ile her bir durumun aşağıdaki parametreleri hesaplanmıştır.

- 1- Verici ve alıcı arasındaki uzaklık
- 2- LOS ve NLOS sinyallerinin zaman gecikmesi
- 3- Yansımalar (alınan sinyalin genliğini etkiler)
- 4- Alınan sinyallerin toplam darbe süresi
- 5- Maksimum veri hızı
- 6- En kötü durumun değerleri

4.1.1. Durum 1: Verici ve Alıcının Konumları (2, 1, 3) ve (2, 1, 0)

Verici (2, 1, 3) ve alıcı (2, 1, 0) pozisyonlarında, verici ve alıcı konumları sol duvar etrafında 2m, ön duvar etrafında 1m ve oda boyutları (uzunluk, genişlik ve yükseklik) (5m, 5m ve 3m) dir. Yansıtılan sinyal, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, vericiden duvarlara ve duvarlardan alıcıya olan mesafelere bağlıdır.

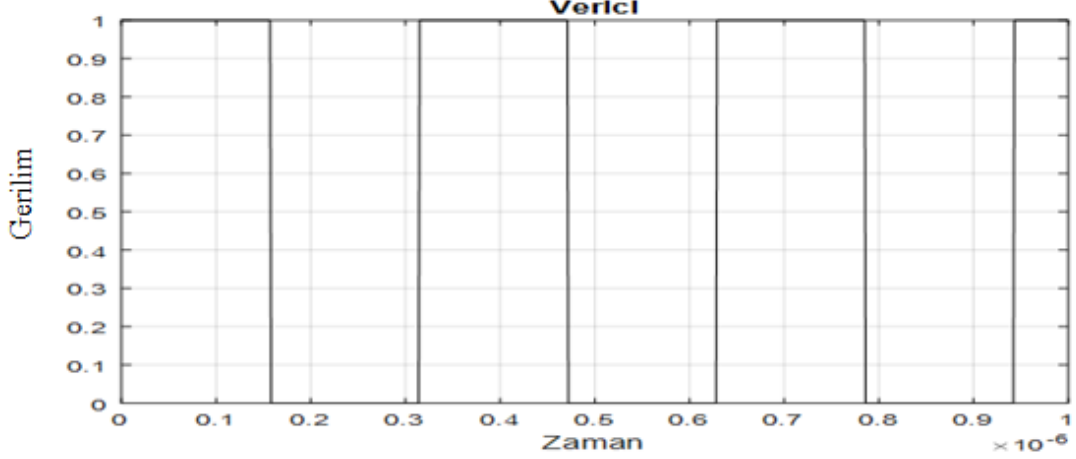


Şekil 4.1. Durum 1, verici konumu (2, 1, 3) ve alıcı konumu (2, 1, 0)

MATLAB kullanılarak bir darbe dalgası $m(t)$ üretilir.

$$m(t) = 1V \text{ veya } 0$$

MATLAB kodu kullanılarak verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in verici sinyali (Şekil 4.2) elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in verici sinyali

Alıcı tarafında, Denklem 4.1'e göre LOS sinyali $Y_{\text{los}}(t)$ olacaktır (Tran, vd., 2019).

$$Y_{\text{los}}(t) = \frac{m(t - \Delta t_{\text{los}})}{d_{\text{los}}^2} \quad (4.1)$$

Burada d_{los} , verici ve alıcı arasındaki mesafe ve Δt_{los} , LOS sinyalinin zaman gecikmesidir:

$$\Delta t_{\text{los}} = \frac{d_{\text{los}}}{c}$$

c ışık hızıdır ($c = 3 \times 10^8$ m/s).

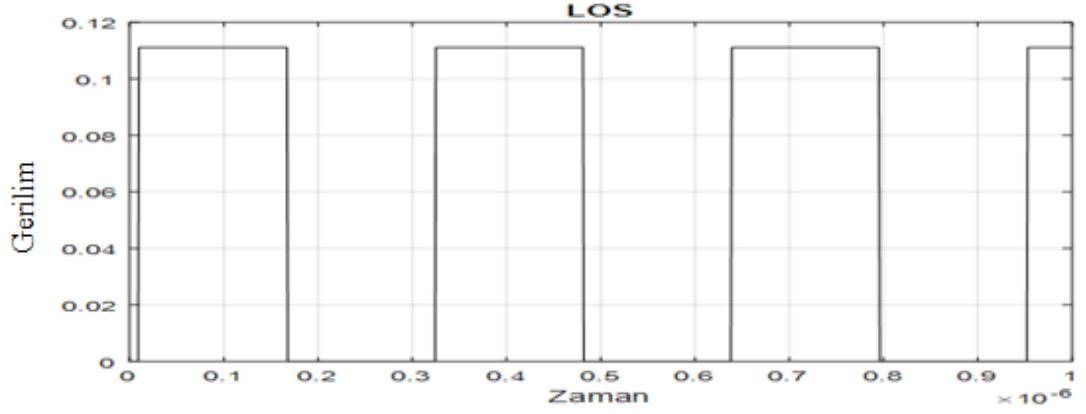
Oda boyutlarından, LOS için verici ve alıcı arasındaki mesafe bulunur.

$$d_{\text{los}} = 3\text{m}$$

Sonra, Δt_{los} hesaplanır:

$$\Delta t_{\text{los}} = \frac{3\text{m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 10^{-8} \text{ s}$$

MATLAB kodu kullanılarak verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in LOS sinyali (Şekil 4.3) elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in LOS sinyali

İlk yansıyan sinyali hesaplamak için

$$d_1 = \sqrt{X_1^2 + Z_1^2}$$

$$d_2 = d_1$$

formülleri kullanılır. Toplam ilk yansıma mesafesi:

$$d_{ref1} = d_1 + d_2$$

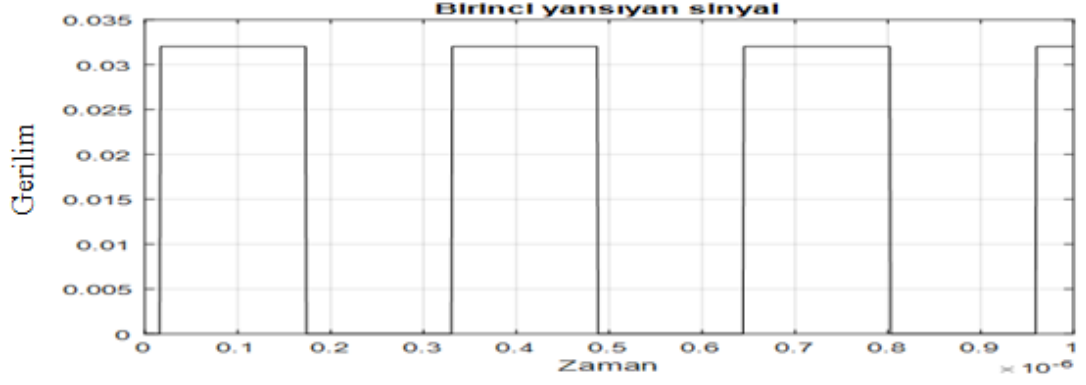
olur. Birinci yansıyan sinyalin zaman gecikmesi aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$\Delta t_1 = \frac{d_{ref1}}{c}$$

Denklemler 4.2'ye göre R yansıma faktörü iken ($R=0.8$), ilk yansıyan sinyal aşağıdaki gibi olacaktır (Tran, vd., 2019):

$$Y_{ref1}(t) = \frac{R \times m(t - \Delta t_1)}{d_{ref1}^2} \quad (4.2)$$

MATLAB kodu kullanılarak verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in ilk yansıyan sinyali (Şekil 4.4) elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in ilk yansıyan sinyali

Yansıyan ikinci sinyalin mesafeleri şunlardır:

$$d_3 = d_1 = \sqrt{X_2^2 + Z_1^2}$$

$$d_4 = d_3$$

Yansıyan ikinci sinyalin toplam mesafesi

$$d_{ref2} = d_3 + d_4$$

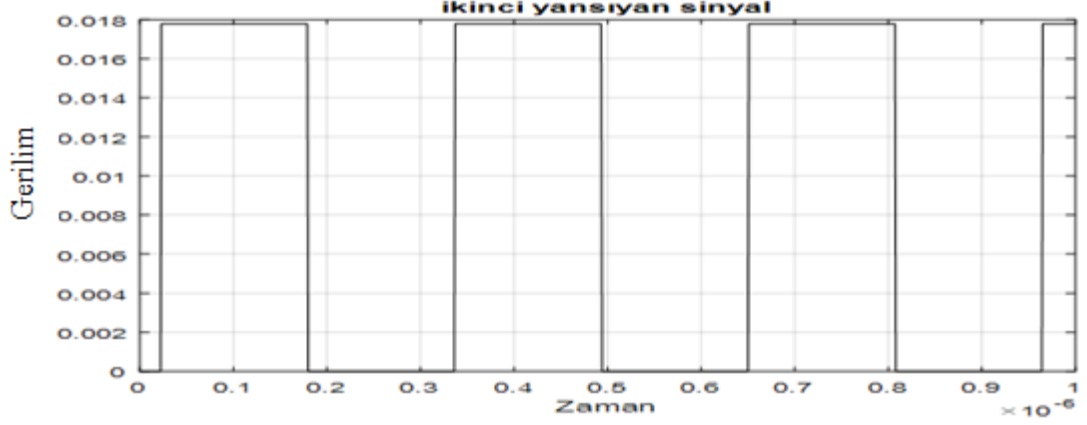
olur. İkinci yansıyan sinyalin zaman gecikmesi

$$\Delta t_2 = \frac{d_{ref2}}{c}$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Bu durumda, yansıyan ikinci sinyal aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Y_{ref2}(t) = \frac{R \times m(t - \Delta t_2)}{d_{ref2}^2}$$

MATLAB kodu kullanılarak verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in ikinci yansıyan sinyali (Şekil 4.5) elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in ikinci yansıyan sinyali

Üçüncü yansıyan sinyalin mesafeleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_5 = \sqrt{Y_2^2 + Z_1^2}$$

$$d_6 = d_5$$

$$d_{ref3} = d_5 + d_6$$

Bu durumda, üçüncü yansıyan sinyalin zaman gecikmesi

$$\Delta t_3 = \frac{d_{ref3}}{c}$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Üçüncü yansıyan sinyal

$$Y_{ref3}(t) = \frac{R \times m(t - \Delta t_3)}{d_{ref3}^2}$$

biçiminde hesaplanır. MATLAB kodu kullanılarak verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in üçüncü yansıyan sinyali (Şekil 4.6) elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in üçüncü yansıyan sinyali

Dördüncü yansıyan sinyalin mesafeleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_7 = \sqrt{Y_1^2 + Z_1^2}$$

$$d_8 = d_7$$

$$d_{ref4} = d_7 + d_8$$

Bu sinyalin zaman gecikmesi

$$\Delta t_4 = \frac{d_{ref4}}{c}$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Dördüncü yansıyan sinyal aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$Y_{ref4}(t) = \frac{R \times m(t - \Delta t_4)}{d_{ref4}^2}$$

MATLAB kodu kullanılarak verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in dördüncü yansıyan sinyali (Şekil 4.7) elde edilmiştir.

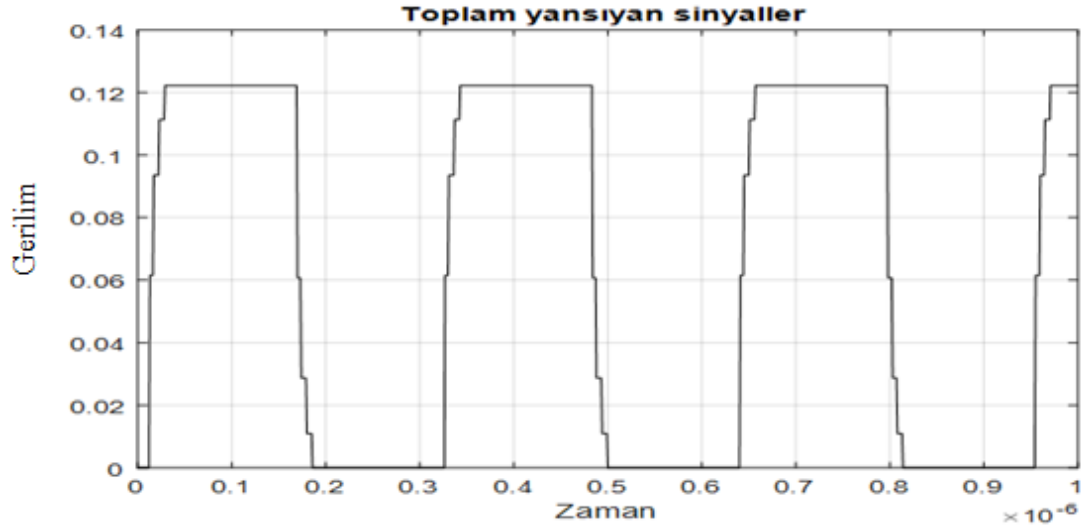


Şekil 4.7. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in dördüncü yansıyan sinyali

Toplam yansıyan sinyaller

$$Y_{ref}(t) = Y_{ref1}(t) + Y_{ref2}(t) + Y_{ref3}(t) + Y_{ref4}(t)$$

olur. MATLAB kodu kullanılarak verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in toplam yansıyan sinyalleri (Şekil 4.8) elde edilmiştir.

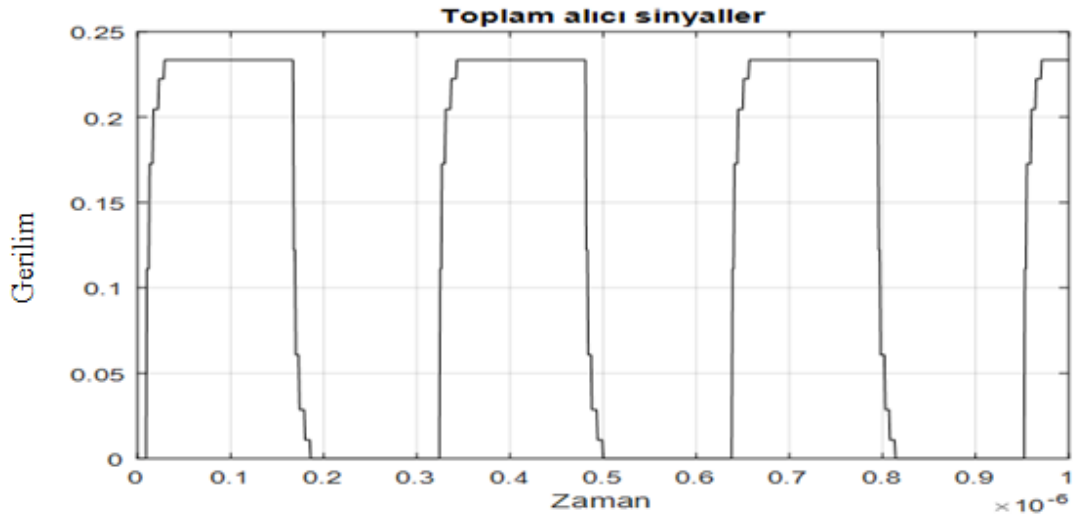


Şekil 4.8. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in toplam yansıyan sinyalleri

Toplam alıcı sinyalleri Denklem 4.3'teki gibi yazılır (Tran, vd., 2019):

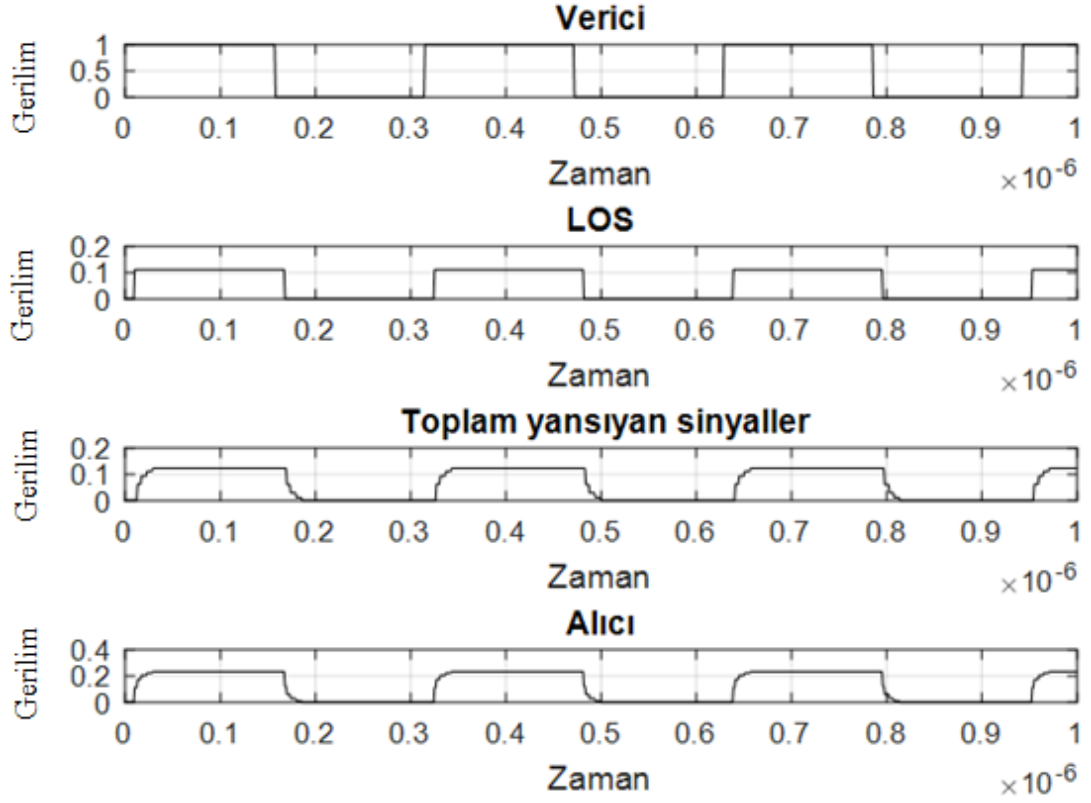
$$Y_{rec}(t) = Y_{ref}(t) + Y_{los}(t) \quad (4.3)$$

MATLAB kodu kullanılarak verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in toplam alıcı sinyalleri (Şekil 4.9) elde edilmiştir.



Şekil 4.9. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in alıcı sinyali

MATLAB kodu kullanılarak Şekil 4.10'da verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi

Alınan sinyalin en düşük gerilim değeri (0.011V) seçilerek eşik sinyali hesaplanmıştır ve Şekil 4.11'de gösterildiği gibi alınan sinyal için sıfırdan büyük en düşük gerilim değerini seçmeye dayalı bir MATLAB kodu oluşturulmuştur.



Şekil 4.11. Eşik etkisi ile verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'inalıcı sinyali

Dört yansıma etkisi ile alınan sinyallerin genlik değerinin nasıl değiştiği ve zamanın geciktiği açıklanmıştır. MATLAB kodundan aşağıdaki sonuçları alınmıştır (Tablo 4.1- 4.4). Tablo 4.1 durum 1'in yansıma mesafelerini, Tablo 4.2 durum1'in LOS ve NLOS zaman gecikmelerini göstermektedir.

Tablo 4.1. Durum 1'in yansıma mesafeleri

(yol 1) d_{ref1} , m	(yol 2) d_{ref2} , m	(yol 3) d_{ref3} , m	(yol 4) d_{ref4} , m
5	6.7082	8.544	3.6056

Tablo 4.2. Durum1'in zaman gecikmesi

Δt_{los} , ns	Δt_1 , ns	Δt_2 , ns	Δt_3 , ns	Δt_4 , ns
10	16.67	22.36	28.48	12.02

Toplam alınan sinyallerin darbe süresi (D_{rec}) MATLAB programı kullanılarak Şekil 4.10'dan hesaplanabilir. Ekte, Şekil 4.9 ve 4.11'de gösterildiği gibi, alınan sinyal için sıfırdan büyük olan en düşük gerilim değerini seçmeye dayalı bir kod oluşturularak eşik sinyali hesaplanabilir. Tablo 4.3'te gösterildiği gibi maksimum OOK veri hızını oluşturmak için minimum darbe süresi (D_{min}) belirlenmeye çalışılır.

$$D_{min} = \Delta t_{max} - \Delta t_{los}$$

Burada D_{min} minimum darbe süresi olduğunda, Δt_{max} , yansıtılan sinyalin maksimum zaman gecikmesi ve Δt_{los} , LOS sinyalinin zaman gecikmesidir. OOK'den yapmaya çalışılan maksimum veri hızı:

$$R_{max} = 1 / D_{min}$$

R_{max} maksimum veri hızıdır. Tablo 4.3 durum 1'in darbe sürelerini göstermektedir, burada; D_{tr} vericinin darbe süresi, D_{rec} alınan toplam sinyallerin darbe süresi ve D_{min} maksimum veri hızı oluşturmak için belirlemeye çalışılan minimum darbe süresidir.

Tablo 4.3. Durum 1'in darbe süresinin değerleri

D_{tr} , ns	D_{rec} , ns	D_{min} , ns
158	175.5	18.48

Çok yolla sınırlandırıldığında belirlemeye çalışılan OOK sisteminin maksimum veri hızı (R_{max}) aşağıdaki gibi bulunur:

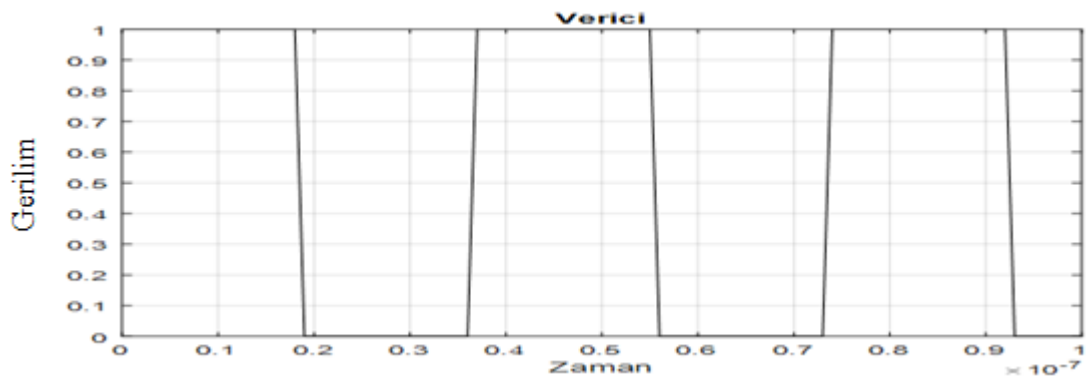
$$R_{max} = 1 / D_{min} = 1 / 18.48ns = 54.11Mbps$$

Tablo 4.4 durum 1'in genlik değerleri göstermektedir.

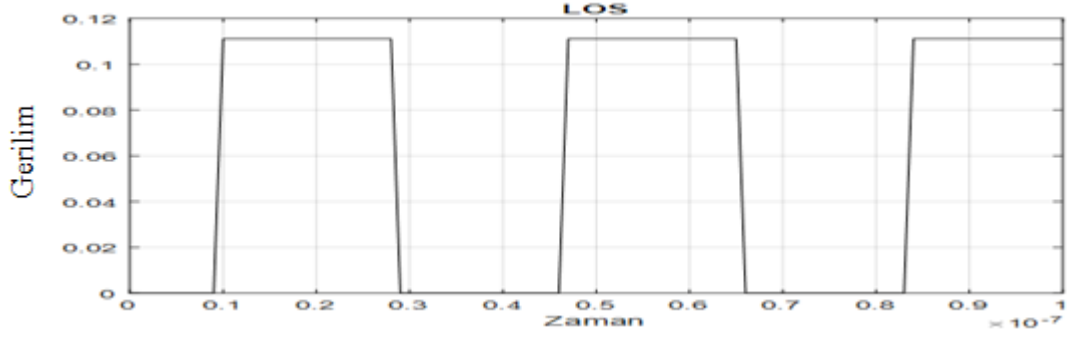
Tablo 4.4. Durum 1'in genlik değerleri

Sinyaller	Gerilim	Gerilim	Gerilim
Verici sinyali $m(t)$, V	1	1	0
LOS sinyal Y_{los} , V	0	0.1111	0
İlk yansıyan sinyal Y_{ref1} , V	0	0.032	0
İkinci yansıyan sinyal Y_{ref2} , V	0	0.0178	0
Üçüncü yansıyan sinyal Y_{ref3} , V	0	0.011	0
Dördüncü yansıyan sinyal Y_{ref4} , V	0	0.0615	0
Toplam yansıyan sinyal Y_{ref} , V	0	0.1223	0
Toplam alınan signal Y_{rec} , V	0	0.2334	0

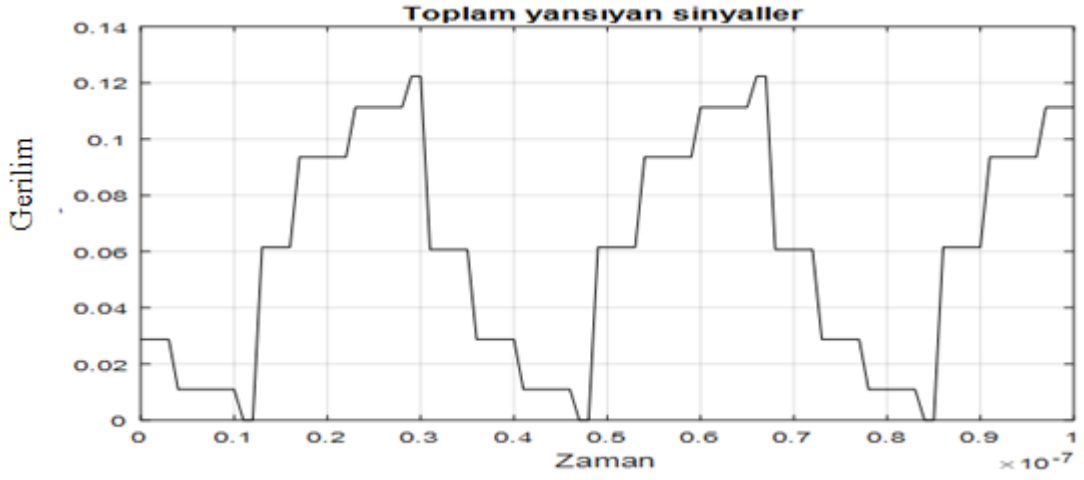
Şekiller 4.12- 4.17'de, durum 1 için maksimum OOK veri hızının belirlenmeye çalışılmasını göstermektedir.



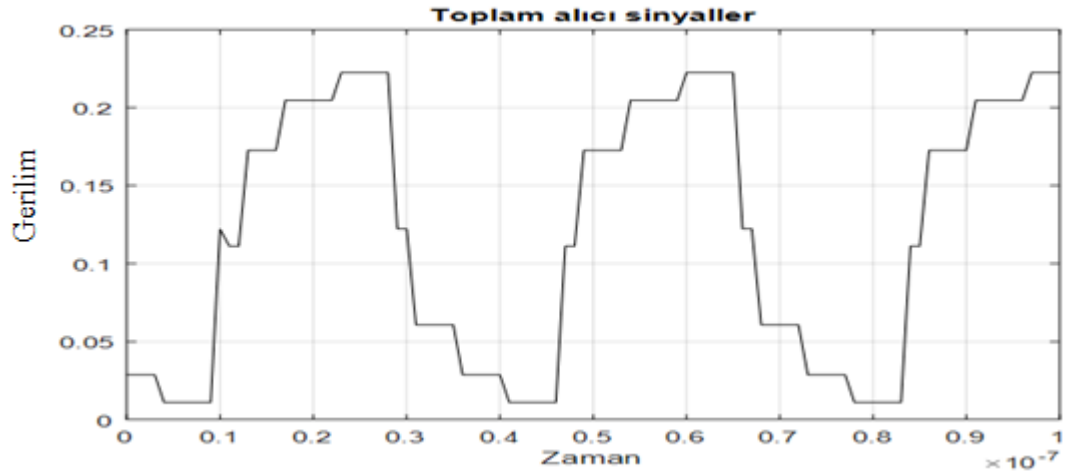
Şekil 4.12. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in verici sinyali



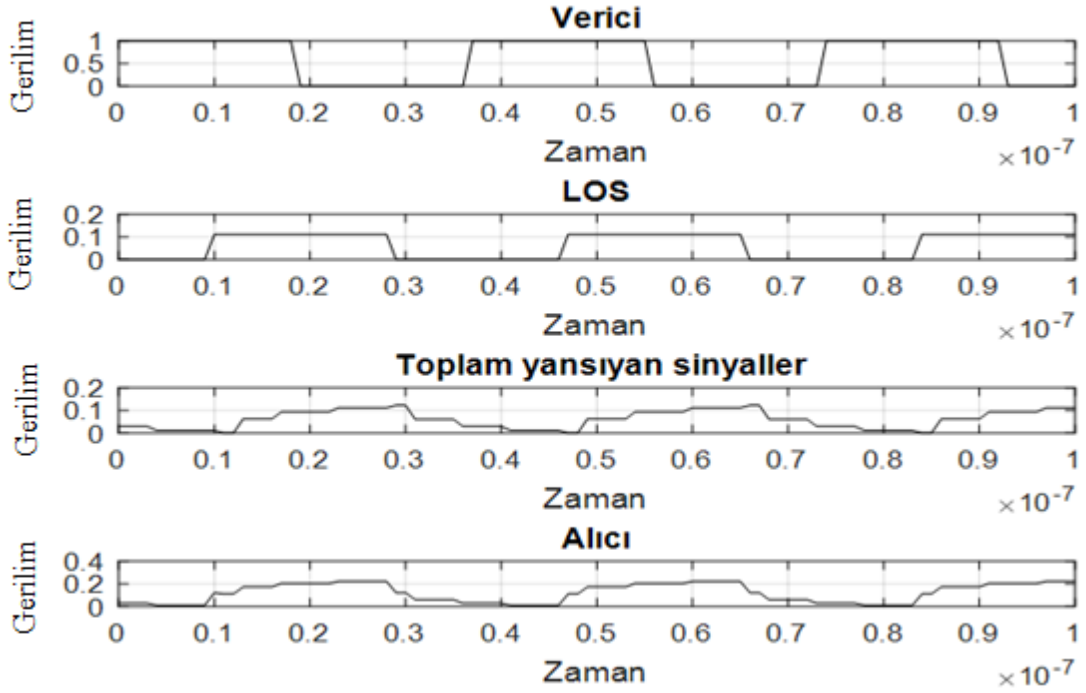
Şekil 4.13. OOK'ni maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in LOS sinyali



Şekil 4.14. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında durum 1'in toplam yansıyan sinyalleri



Şekil 4.15. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için verici ve alıcının (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında 1 durumundaki alıcı sinyali



Şekil 4.16. OOK'nin maksimum verici hızını belirlemek için durum 1'in (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumlarında yansıyan sinyallerinin çoklu yol etkisi



Şekil 4.17. OOK'nin maksimum veri hızını belirlemek için eşikli (2, 1, 3) ve (2, 1, 0) konumundaki durum 1'in alıcı sinyali

Durum 1'i tartışmak için, bu simülasyonun sinyal analizi aşağıdaki özellikler kullanılarak yapılmıştır:

- 1- Üçgenin geometrik özellikleri kullanılarak verici ile alıcı arasındaki mesafelerin hesaplanması
- 2- Duvarlardan yansıyan sinyallerin yansıma noktalarının bulunması

Alınan sinyalin genlik değerleri, verici ve alıcının konumları değiştiğinde onlar da değişir, alınan sinyal, LOS sinyalinin ve dört duvarın (NLOS) yansıyan sinyallerinin toplamının bir sonucudur, dolayısıyla herhangi bir yansıyan sinyal alınan sinyalin genlik değerini artıracaktır, bu nedenle yansıyan sinyaller bir zaman gecikmesine neden olur ve bu zaman gecikmesi, alınan toplam sinyallerin darbe süresinin artmasına neden olur.

Veri darbe süresi, alınan sinyalin açık olduğu zaman periyodu süresine bağlıdır, periyot süresi, LOS'un başlangıç noktası ile alıcıya ulaşan son yansıyan sinyal noktası arasındadır.

Şekillerin 4.2- 4.12 ve tabloların 4.2- 4.4 sonuçlarına göre aşağıdakiler elde edilmiştir:

1- Yansıyan sinyaller, alınan sinyalin genlik değerinin artmasına neden olmuştur.

$$Y_{\text{los}} = 0.1111V \text{ (LOS sinyali)}$$

$$Y_{\text{ref}} = 0.1223V \text{ (Yansıyan sinyaller)}$$

$$Y_{\text{rec}} = 0.2334V \text{ (Alınan sinyal)}$$

2- LOS sinyalinin darbe süresi, verici sinyalinin süresiyle aynıdır (158ns) ve bu, darbe süresi dikkate alındığında, sinyali iletmek için en iyi durumu temsil eder.

3- Yansıyan sinyallerin mesafeleri bir zaman gecikmesine neden olmuş ve bu gecikme, alınan sinyalin darbe süresini arttırmıştır.

$$D_{\text{rec}} = 175.5ns \text{ (Alınan sinyallerin darbe süresi)}$$

Vericinin darbe süresi,

$$D_{\text{tr}} = 158ns$$

O zaman iki darbe süresi arasındaki farkı $D_{\text{rec}} - D_{\text{tr}} = 17.5ns$ olur.

4- Burada önemli olan parametre, darbenin uzama miktarıdır, bu darbe hızını sınırladığı için, '1' bitene kadar bir sonraki '0' gönderilmemelidir. Burada LOS sinyali 10ns sonra gelir, ancak yolların maksimum zaman gecikmesi olan Δt_3 'ün NLOS'u 28.48ns'den sonra gelir, bu da ~10ns fazladan bir süredir. Bu, 18.48ns'ye eşit sürede bir darbe yapılabileceği anlamına gelir.

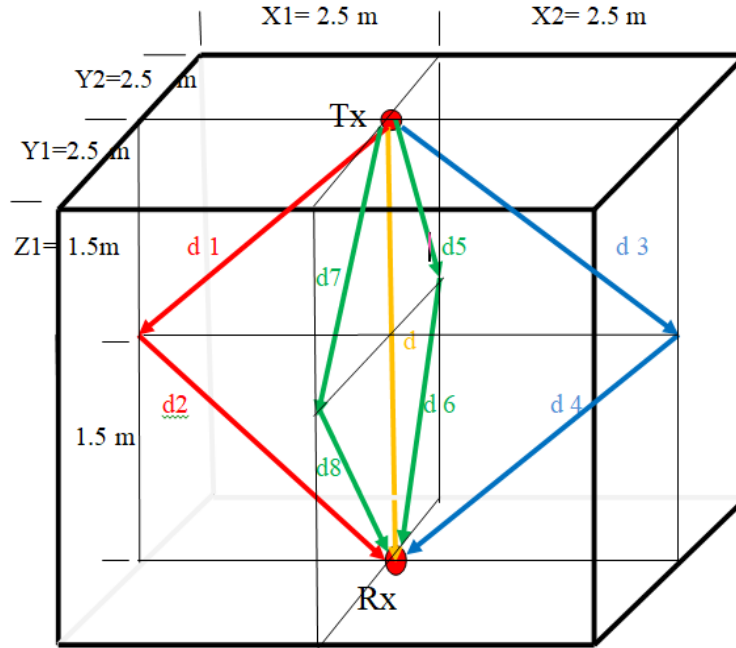
$$\Delta t_3 - \Delta t_{\text{los}} = 28.48\text{ns} - 10\text{ns} = 18.48\text{ns}$$

Durum 1 süresince 18.48ns'lik bir darbe yapıldığında ve bu darbe alıcıya gönderildiğinde, LOS sinyalinin bir değeri 10ns'den sonra gelecek ve alıcı 28.48ns'den sonra LOS sinyalinin değeri sıfır olacaktır. Buradan 18.48ns'den daha az bir darbe süresi yapılamayacağı anlamı çıkar, bu da sadece sıfırdan farklı bir değer alındığı anlamına gelir. Bu değer, aşağıdaki değerlere göre maksimum (R_{max}) 54.11Mbps OOK veri hızını vermektedir;

$$R_{\text{max}} = 1/D_{\text{min}} = 1/18.48\text{ns} = 54.11\text{Mbps}$$

4.1.2. Durum 2: Verici ve Alıcının Konumları (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0)

Şekil 4.18'de gösterildiği gibi boyutları (5m, 5m, 3m) olan odada verici ve alıcının konumları (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) şeklindedir.



Şekil 4.18. Durum 2, verici ve alıcı konumları (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0)

Koordinatlar değiştirilerek MATLAB program kodu kullanılarak Tablo 4.5 – 4.8 ve Şekil 4.19 - 4.28 elde edilmiştir.

Tablo 4.5. Durum 2'nin yansıma mesafeleri

(yol 1) d_{ref1} , m	(yol 2) d_{ref2} , m	(yol 3) d_{ref3} , m	(yol 4) d_{ref4} , m
5.831	5.831	5.831	5.831

Tablo 4.6. Durum 2'nin zaman gecikmesi

$\Delta t_{los}, ns$	$\Delta t_1, ns$	$\Delta t_2, ns$	$\Delta t_3, ns$	$\Delta t_4, ns$
10	19.44	19.44	19.44	19.44

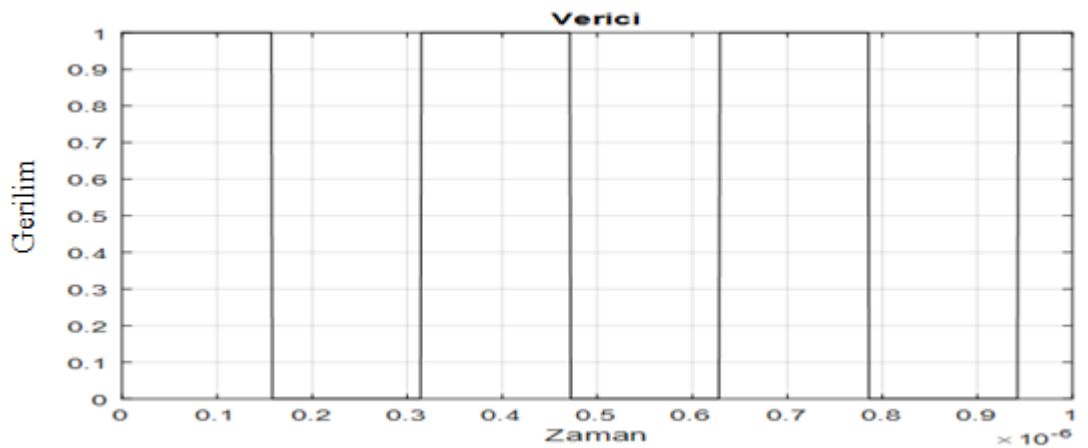
Tablo 4.7. Durum 2'nin darbe süresinin değerleri

D_{tr}, ns	D_{rec}, ns	D_{max}, ns
6.3291	6.006	105.93

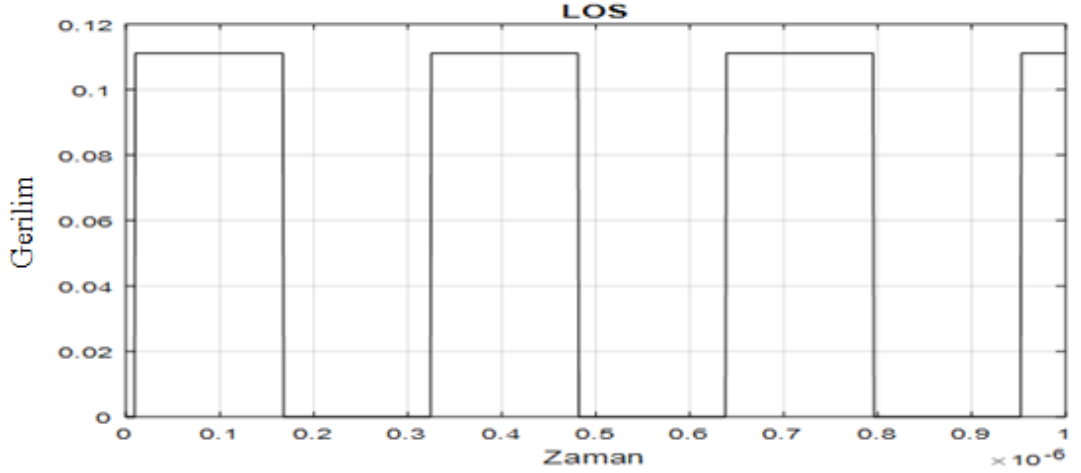
Tablo 4.8. Durum 2'nin genlik değerleri

Sinyaller	Gerilim	Gerilim	Gerilim
Verici sinyali $m(t), V$	1	1	0
LOS sinyal Y_{los}, V	0	0.1111	0
İlk yansıyan sinyal Y_{ref1}, V	0	0.0235	0
İkinci yansıyan sinyal Y_{ref2}, V	0	0.0235	0
Üçüncü yansıyan sinyal Y_{ref3}, V	0	0.0235	0
Dördüncü yansıyan sinyal Y_{ref4}, V	0	0.0235	0
Toplam yansıyan sinyal Y_{ref}, V	0	0.0941	0
Toplam alınan signal Y_{rec}, V	0	0.2052	0

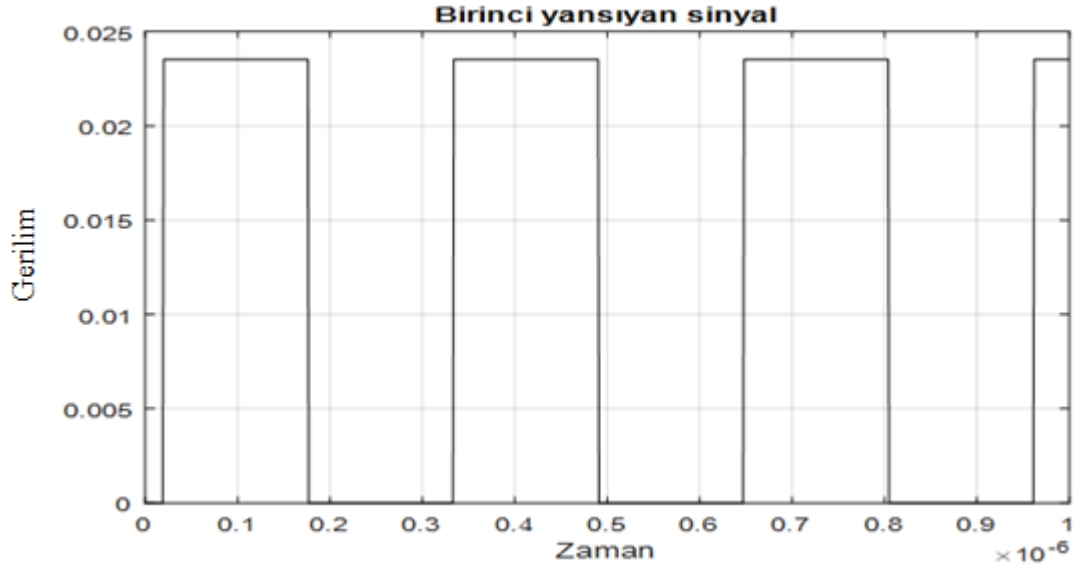
Alınan sinyallerin eşik gerilimi, Şekil 4.28' de gösterildiği gibi 0.09V'dir.



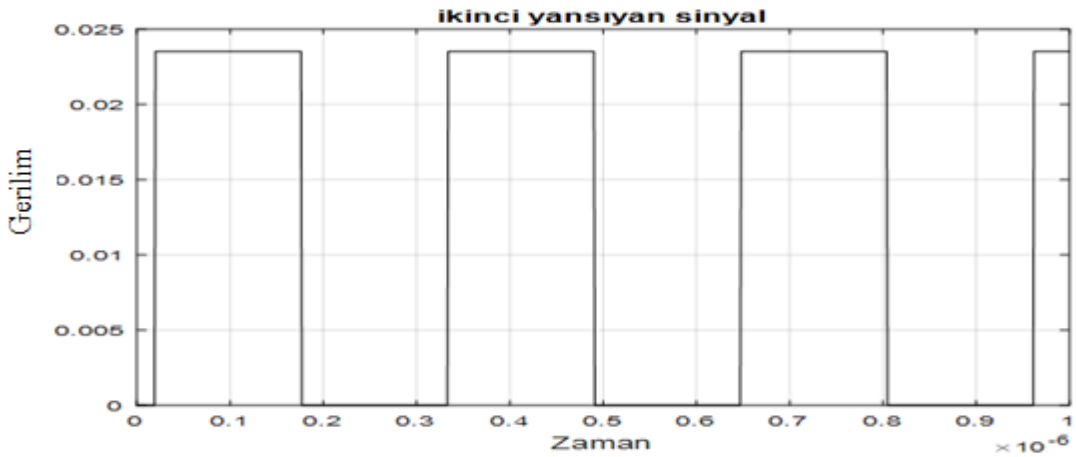
Şekil 4.19. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin verici sinyali



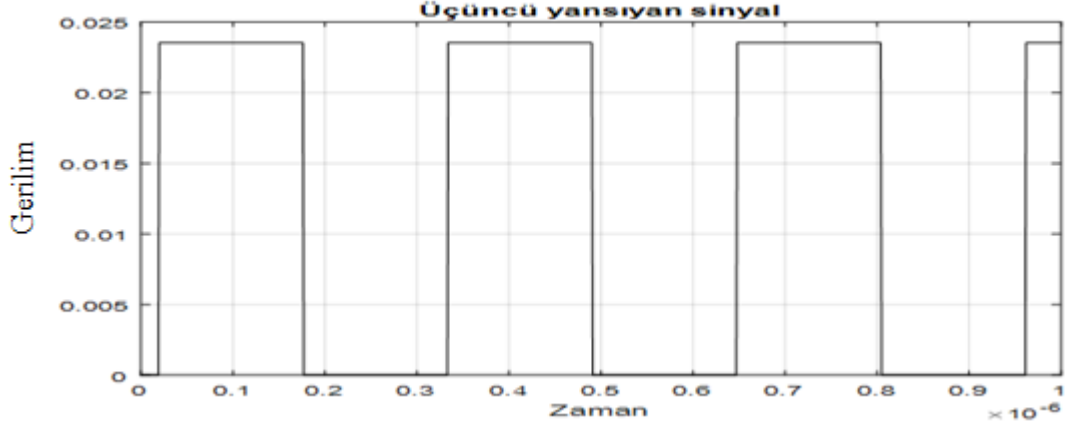
Şekil 4.20. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin LOS sinyali



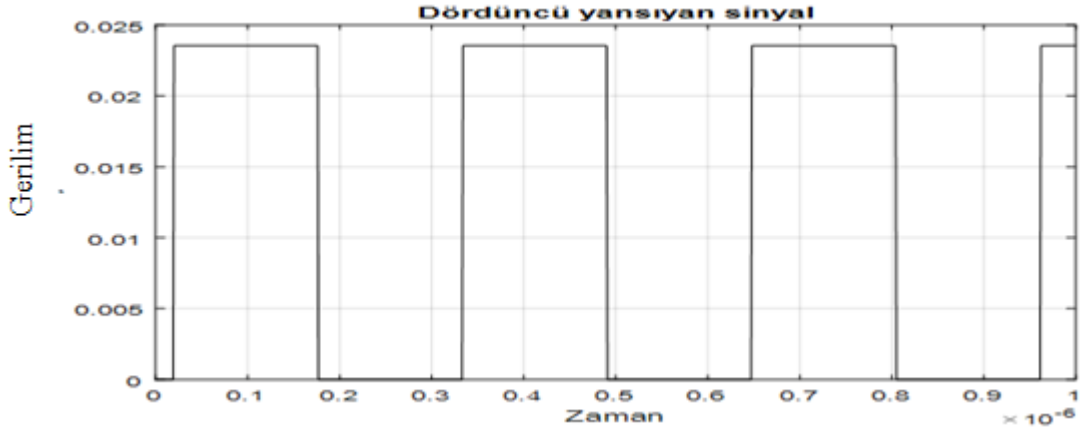
Şekil 4.21. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin ilk yansıyan sinyali



Şekil 4.22. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin ikinci yansıyan sinyali



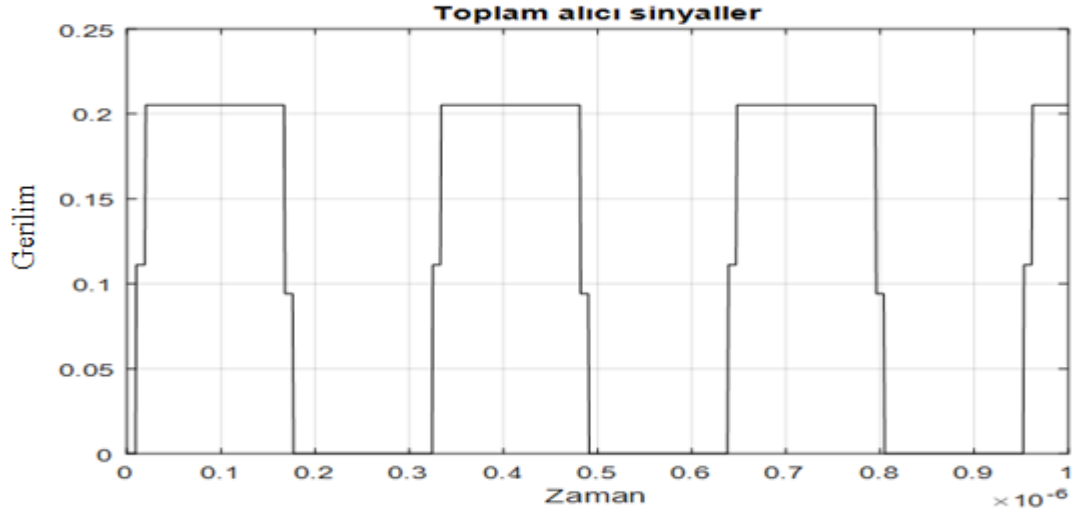
Şekil 4.23. Verici ve alıcının (2.5, 2.5 , 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin üçüncü yansıyan sinyali



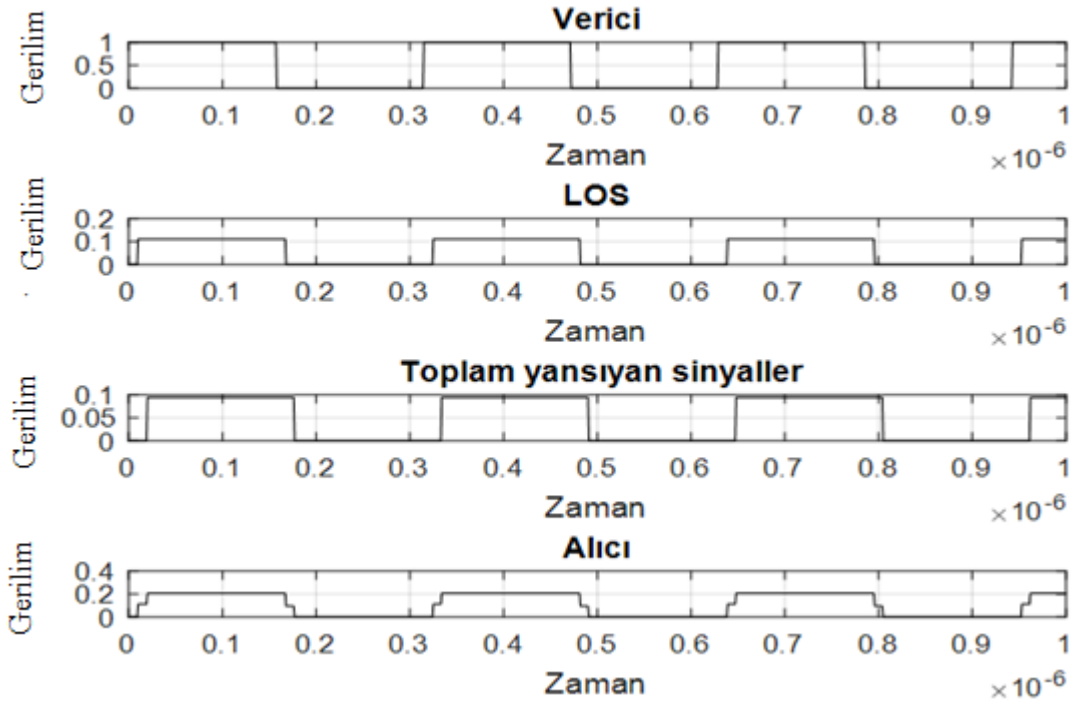
Şekil 4.24. Verici ve alıcının (2.5, 2.5 , 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin dördüncü yansıyan sinyali



Şekil 4.25. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin toplam yansıyan sinyalleri



Şekil 4.26. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin alıcı sinyali

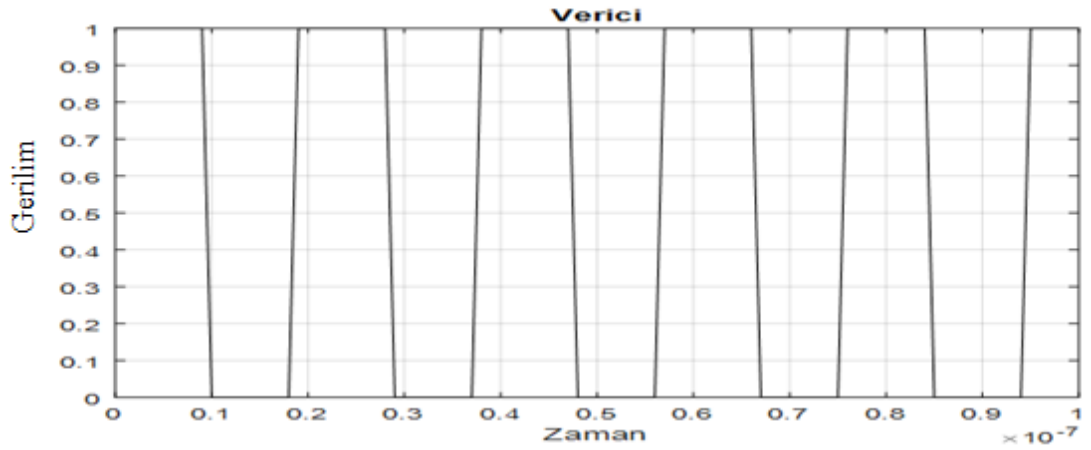


Şekil 4.27. Verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi

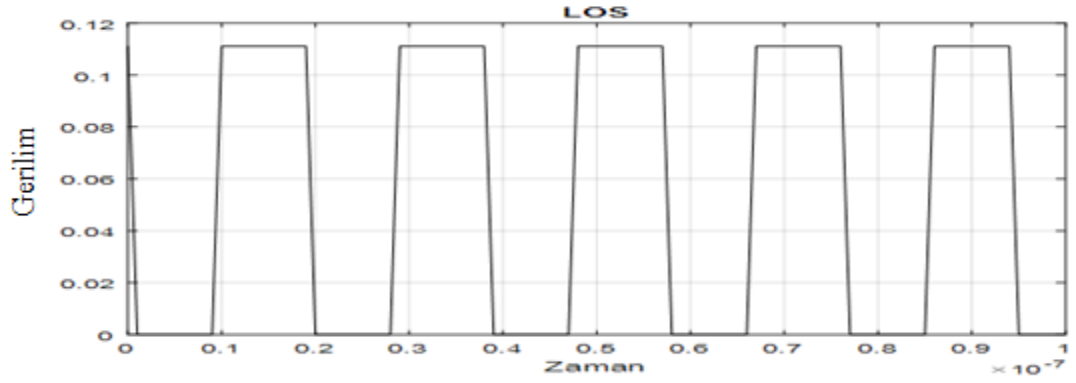


Şekil 4.28. Eşik etkisi ile verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin alıcı sinyali

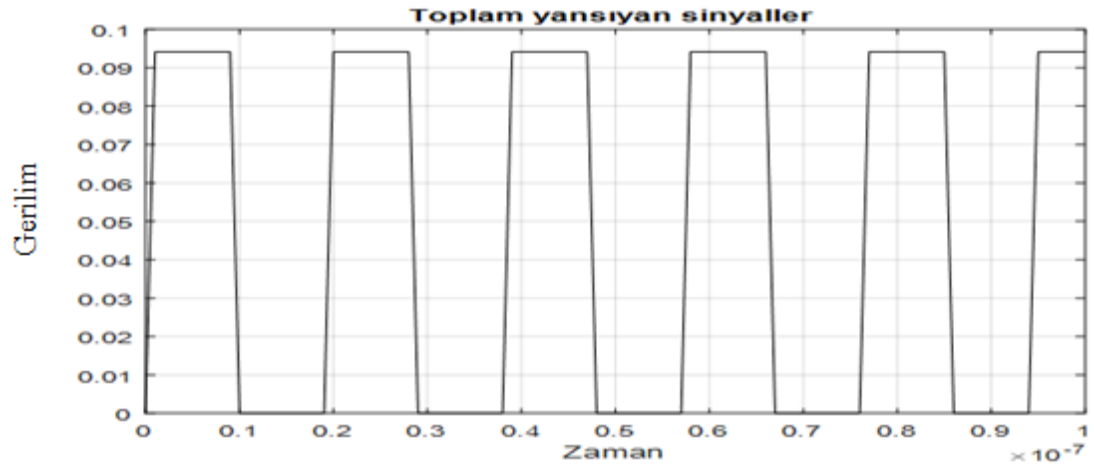
Şekiller (4.29 - 4.33), maksimum veri hızını belirlemeye çalışmanın, durum 2'nin OOK sisteminden yapabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.29. OOK'nin maksimum verici hızını belirlemek için verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin verici sinyali



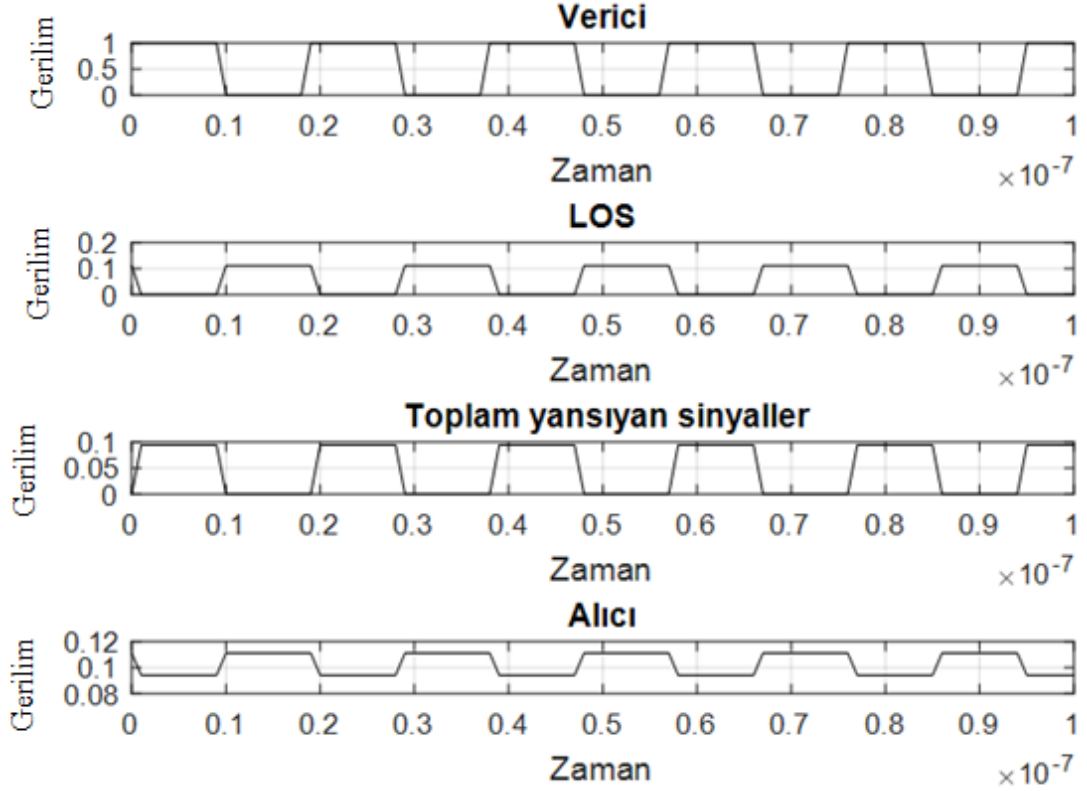
Şekil 4.30. OOK'nin maksimum verici hızını belirlemek için verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin LOS sinyali



Şekil 4.31. OOK'nin maksimum verici hızını belirlemek için verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında durum 2'nin toplam yansıyan sinyalleri



Şekil 4.32. OOK'nin maksimum verici hızını belirlemek için verici ve alıcının (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında 2 durumdaki alıcı sinyali



Şekil 4.33. OOK'nin maksimum verici hızını belirlemek için durum 2'nin (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0) konumlarında yansıyan sinyallerinin çoklu yol etkisi

Alınan sinyalin genlik değerleri, verici ve alıcının konumları değiştirildiğinde değişir, alınan sinyal, LOS sinyalinin ve dört duvarın (NLOS) yansıyan sinyallerinin toplamının bir sonucudur, bu nedenle herhangi bir yansıyan sinyal, alınan sinyalin genlik değerini artıracaktır. Yansıyan sinyaller bir zaman gecikmesine neden olur ve bu zaman gecikmesi, darbe süresinin artmasına neden olur. Darbe süresi, alınan sinyalin açık olduğu zaman periyodu süresine bağlıdır, periyot süresi, LOS'un başlangıç noktası ile alıcıya ulaşan son yansıtılan sinyal noktası arasındadır. Şekillerin 4.19- 4.33 ve tabloların 4.5- 4.8 sonuçlarına göre aşağıdakiler elde edilmiştir:

1- Yansıtılan sinyaller, alınan sinyalin genlik değerinin artmasına neden olmuştur.

$$Y_{\text{los}} = 0.1111V$$

$$Y_{\text{ref}} = 0.0941V$$

$$Y_{\text{rec}} = 0.2052V$$

Alınan sinyallerin eşik gerilimi 0.09V'dir.

2- Yansıyan sinyallerin mesafeleri bir zaman gecikmesine neden olmuş ve bu zaman gecikmesi, alınan toplam sinyallerin darbe süresini artırmıştır.

$$D_{rec} = 166.5ns \quad (\text{Toplam alınan sinyallerin darbe süresi})$$

Vericinin darbe süresi,

$$D_{tr} = 158ns$$

O zaman iki darbe süresi arasındaki farkı $D_{rec} - D_{tr} = 8.5ns$ olur.

3- Burada LOS 10ns sonra gelir, ancak NLOS için Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 ve Δt_4 19.44 ns'dir. Böylece 9.44 ns'ye eşit sürede bir darbe yapılabilir.

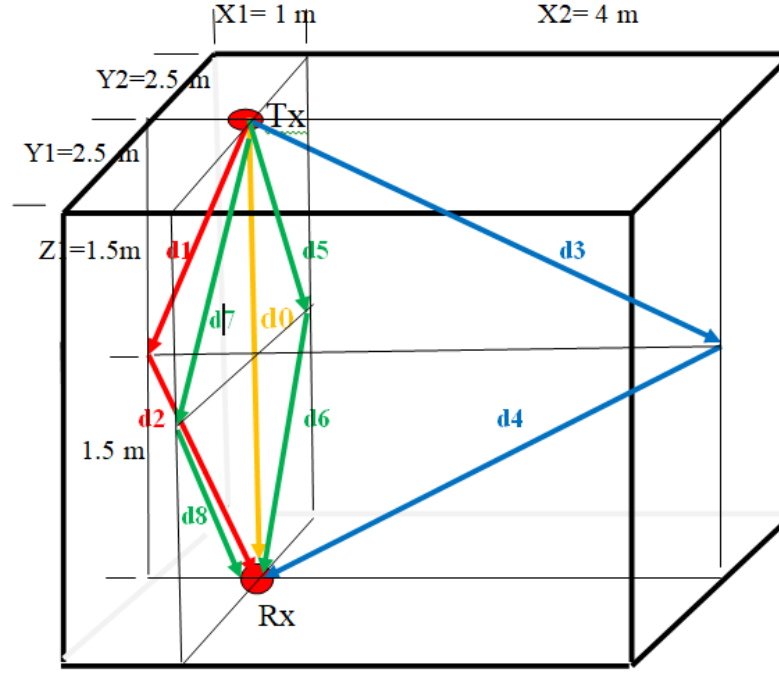
$$\begin{aligned} \Delta t_3 - \Delta t_{los} &= 19.44ns - 10ns \\ &= 9.44ns \end{aligned}$$

Durum 2 süresince 9.44ns'lik bir darbe yapıldığında ve bu darbe alıcıya gönderildiğinde, LOS sinyalinin bir değeri 10ns'den sonra gelecektir. Alıcı 19.44ns'den sonra LOS sinyalinin sıfır değerini almalıdır. Buradan, 9.44ns'den daha az bir darbe süresi yapılamayacağı anlamı çıkar; bu sadece sıfırdan farklı bir değer alındığı anlamına gelir. Bu değer, aşağıdaki değerlere göre maksimum (R_{max}) 105.93Mb/s OOK veri hızını vermektedir:

$$R_{max} = 1/D_{min} = 1/9.44 \text{ ns} = 105.93\text{Mb/s}$$

4.1.3. Durum 3: Verici ve Alıcının Konumları (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0)

Verici ve alıcı konumları, Şekil 4.34'te gösterildiği gibi (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0)'dır (Oda boyutları (5m, 5m, 3m)).



Şekil 4.34. Durum 3, verici ve alıcı konumları (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0)

Verici ve alıcı konumlarının koordinatlarını (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) olarak değiştirilerek MATLAB programının önceki kodu kullanılarak tablolarda 4.9- 4.12 ve Şekillerde 4.35- 4.44 gösterilen sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 4.9. Durum 3'ün yansıma mesafeleri

(yol 1) d_{ref1}, m	(yol 2) d_{ref2}, m	(yol 3) d_{ref3}, m	(yol 4) d_{ref4}, m
3.6056	8.544	5.831	5.831

Tablo 4.10. Durum 3'ün zaman gecikmesi

$\Delta t_{los}, ns$	$\Delta t_1, ns$	$\Delta t_2, ns$	$\Delta t_3, ns$	$\Delta t_4, ns$
10	12.02	28.48	19.44	19.44

Tablo 4.11. Durum 3'ün darbe süresinin değerleri

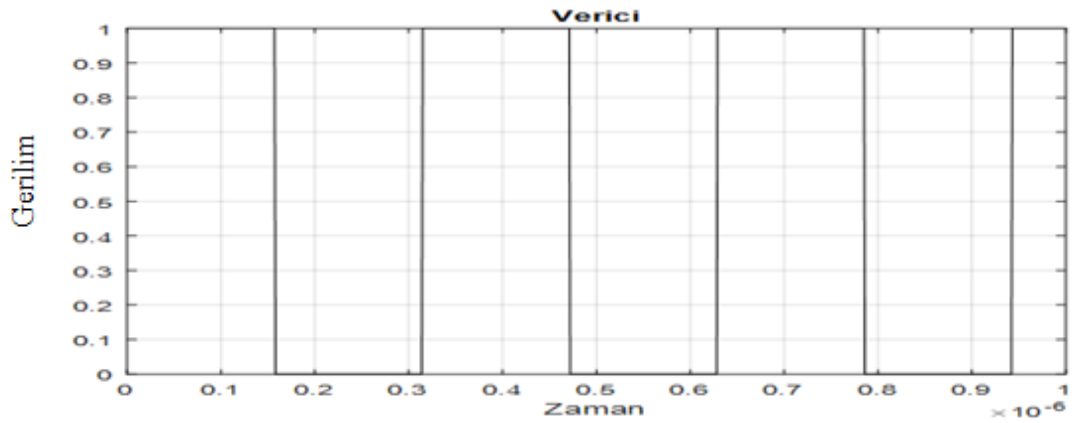
D_{tr}, ns	D_{rec}, ns	D_{min}, ns
158	175.5	18.48

$$R_{max} = 1/D_{min} = 1/18.48 = 54.11 Mb/s$$

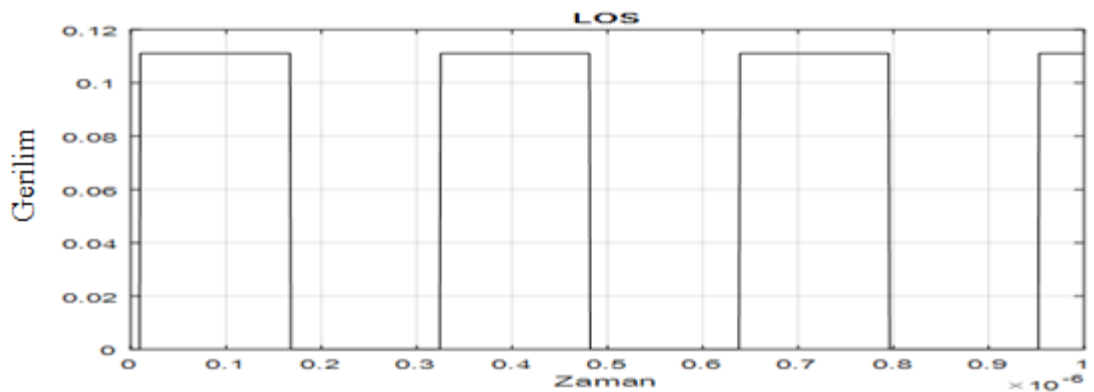
Tablo 4.12. Durum 3'ün genlik değerleri

Sinyaller	Gerilim	Gerilim	Gerilim
Verici sinyali $m(t)$, V	1	1	0
LOS sinyal Y_{los} , V	0	0.1111	0
İlk yansıyan sinyal Y_{ref1} , V	0	0.0615	0
İkinci yansıyan sinyal Y_{ref2} , V	0	0.011	0
Üçüncü yansıyan sinyal Y_{ref3} , V	0	0.0235	0
Dördüncü yansıyan sinyal Y_{ref4} , V	0	0.0235	0
Toplam yansıyan sinyal Y_{ref} , V	0	0.1196	0
Toplam alınan signal Y_{rec} , V	0	0.2307	0

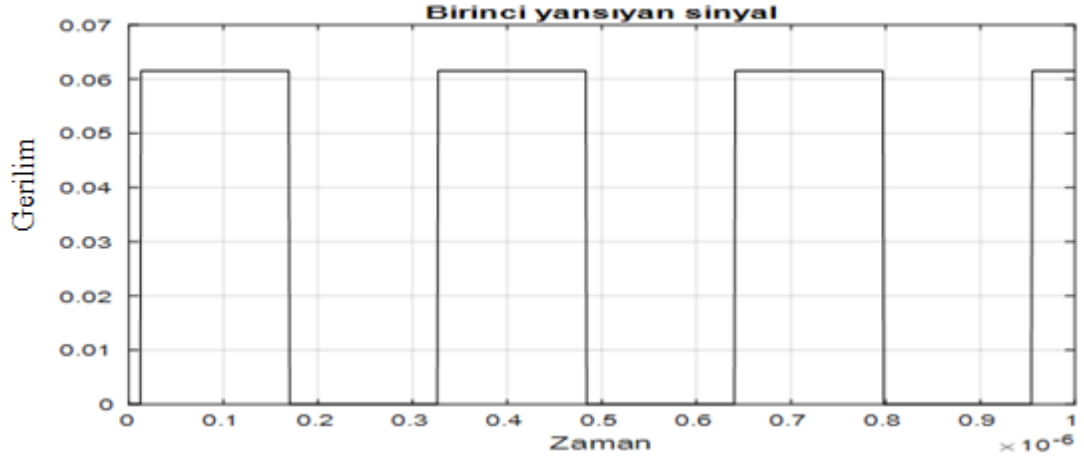
Şekil 4.42 ve 4.44'te gösterildiği gibi alınan sinyalin eşik gerilimi 0.011V'dir.



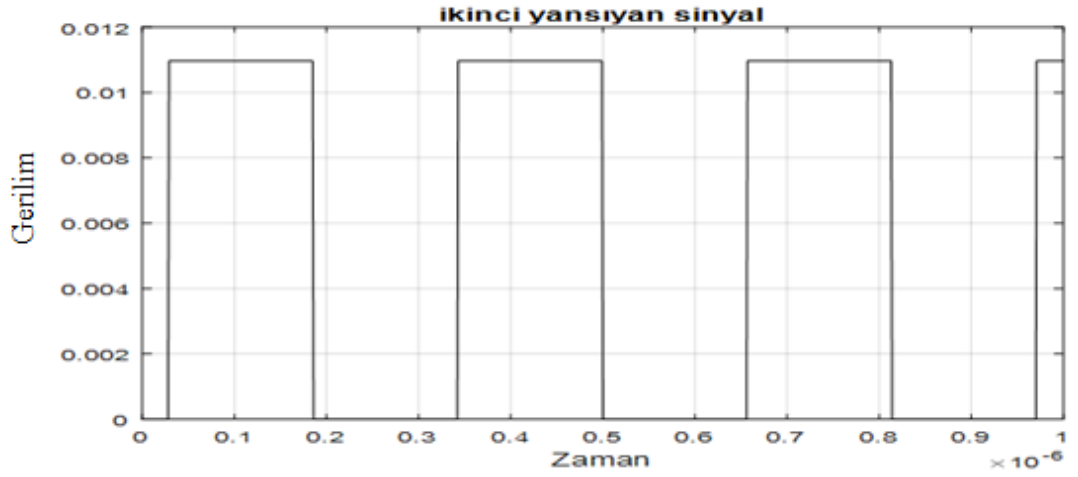
Şekil 4.35. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün verici sinyali



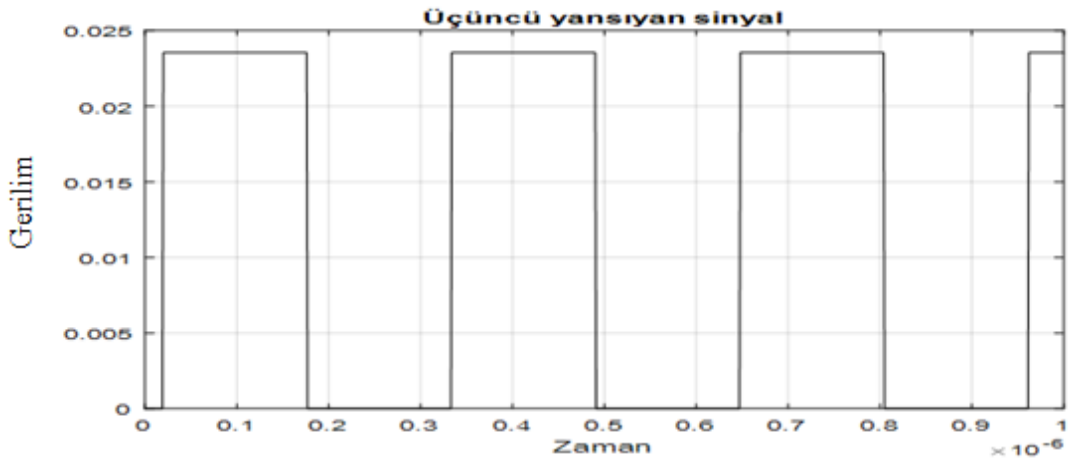
Şekil 4.36. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün LOS sinyali



Şekil 4.37. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün ilk yansıyan sinyali



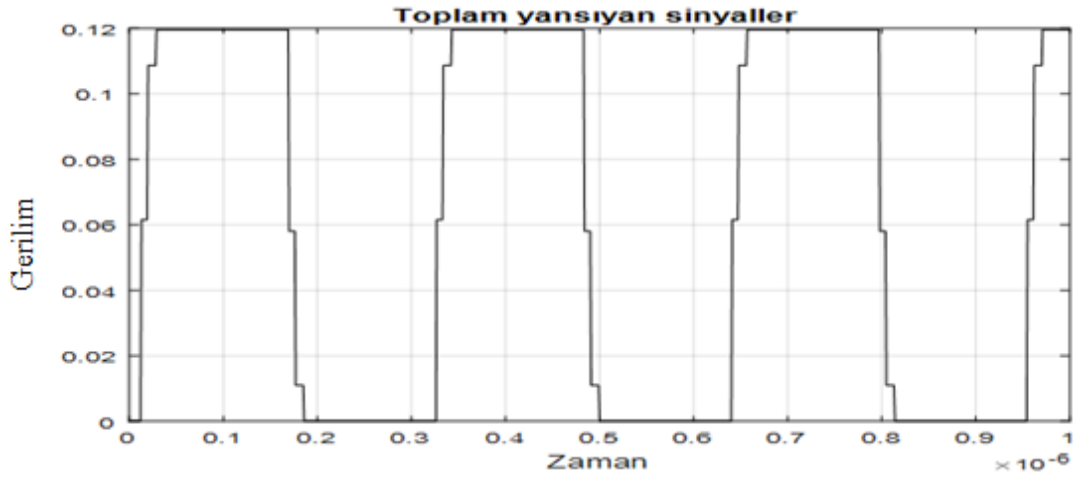
Şekil 4.38. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün ikinci yansıyan sinyali



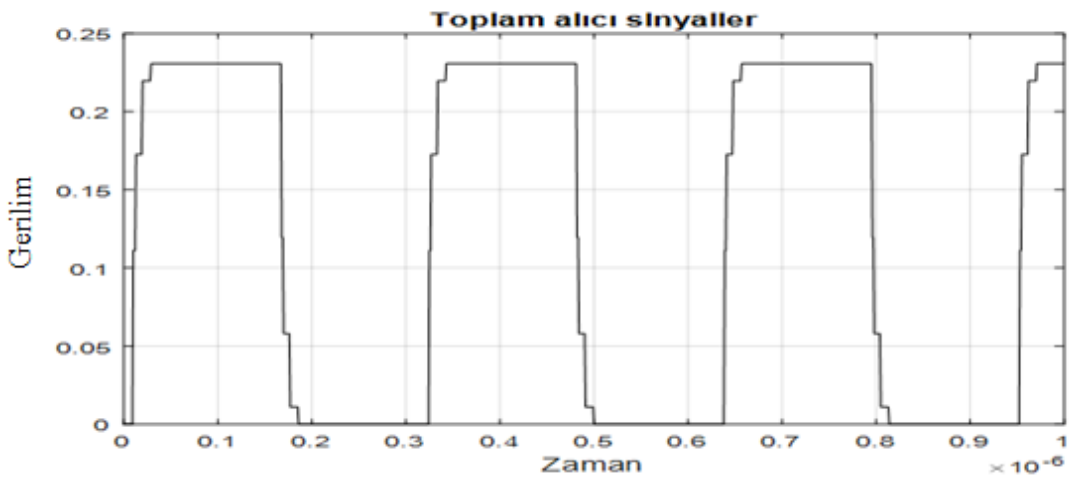
Şekil 4.39. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün üçüncü yansıyan sinyali



Şekil 4.40. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün dördüncü yansıyan sinyali



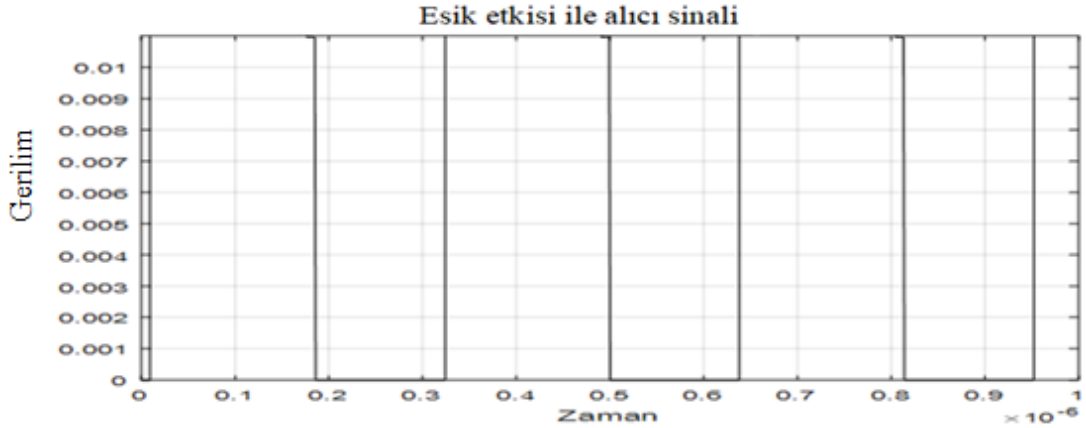
Şekil 4.41. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün toplam yansıyan sinyalleri



Şekil 4.42. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün alıcı sinyali



Şekil 4.43. Verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi



Şekil 4.44. Eşik etkisi ile verici ve alıcının (1, 2.5, 3) ve (1, 2.5, 0) konumlarında durum 3'ün alıcı sinyali

Sinyal analizi, durum 1 ve 2'ye benzer yöntemle yapılmıştır, alınan sinyalin genlik değerleri, verici ve alıcının konumları değiştiğinde değişir, alınan sinyal, LOS sinyalinin ve dört duvarın (NLOS) yansıyan sinyallerinin toplamının bir sonucudur, bu nedenle herhangi bir yansıyan sinyal, alınan sinyalin genlik değerini artıracaktır. Yansıyan sinyaller bir zaman gecikmesine neden olur ve bu zaman gecikmesi, darbe süresinin artmasına neden olur.

Durum 3'e göre Şekiller 4.35 - 4.44 ve Tablolar 4.9 - 4.12'de gösterildiği gibi aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- Yansıtılan sinyaller alınan sinyalin genlik değerinin artmasına neden olur.

$$Y_{\text{los}} = 0.1111V$$

$$Y_{\text{ref}} = 0.1196V$$

$$Y_{\text{rec}} = 0.2307V$$

Alınan sinyallerin eşik gerilimi 0.011V'dir.

2- Yansıtılan sinyallerin mesafeleri bir zaman gecikmesine neden olmuş ve bu zaman gecikmesi, alınan toplam sinyallerin darbe süresinin artmasına neden olmuştur.

$$D_{\text{rec}} = 175.5ns \text{ (alınan toplam sinyallerin darbe süresi)}$$

Vericinin darbe süresi,

$$D_{\text{tr}} = 158ns$$

O zaman iki darbe süresi arasındaki farkı $D_{\text{rec}} - D_{\text{tr}} = 17.5ns$ olur.

3- Burada LOS 10ns sonra gelir, ancak NLOS için Δt_2 28.48ns fazladan bir süredir, yani 18.48 ns uzunluğunda bir darbe yapılabilir.

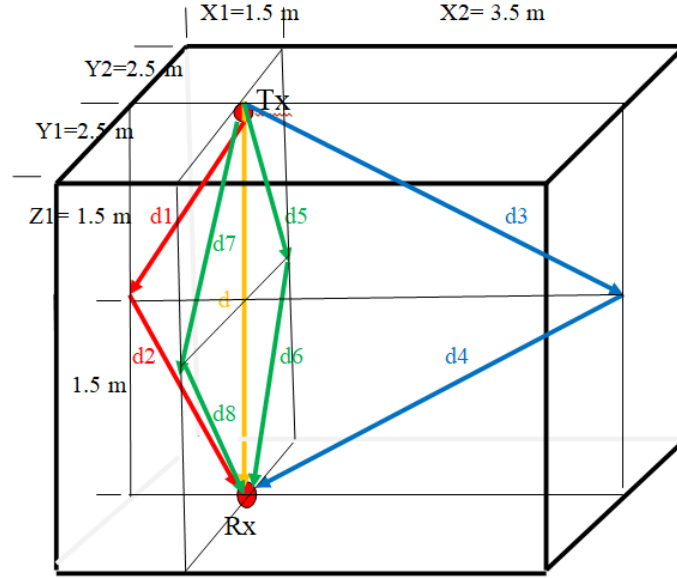
$$\Delta t_2 - \Delta t_{\text{los}} = 28.48ns - 10ns = 18.48ns$$

Yani, 3. durum süresince 18.48 ns'lik bir darbe yapıldığında ve bu darbe alıcıya gönderildiğinde, LOS sinyalinin bir değeri 10ns'den sonra gelecektir. Alıcı 28.48ns'den sonra LOS sinyalinin sıfır değerini almalıdır. Buradan 18.48ns'den daha kısa bir darbe süresi yapılamayacağı anlamı çıkar, bu da sadece sıfırdan farklı bir değer alındığı anlamına gelir. Bu değer maksimum (R_{max}) 54.11Mbps OOK veri hızını vermektedir:

$$R_{\text{max}} = 1 / D_{\text{min}} = 1/18.48ns = 54.11Mb/s.$$

4.1.4. Durum 4: Verici ve Alıcının Konumları (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0)

Verici ve alıcı konumları, Şekil 4.45'de gösterildiği gibi (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0)'dır (oda boyutları (5m, 5m, 3m)).



Şekil 4.45. Durum 4, verici ve alıcı konumları (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0)

Aynı MATLAB kodları kullanılarak koordinatlar $X_1=1.5\text{m}$, $X_2=3.5\text{m}$, $Y_1=2.5\text{m}$ ve $Z_1=1.5\text{m}$ olarak değiştirildiğinde, Tablo 4.13 - 4.16 ve Şekil 4.46 - 4.54'te verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.13. Durum 4'ün yansıma mesafeleri

(yol 1) d_{ref1} , m	(yol 2) d_{ref2} , m	(yol 3) d_{ref3} , m	(yol 4) d_{ref4} , m
4.2426	7.6158	5.831	5.831

Tablo 4.14. Durum 4'ün zaman gecikmesi

Δt_{los} , ns	Δt_1 , ns	Δt_2 , ns	Δt_3 , ns	Δt_4 , ns
10	14.14	25.39	19.44	19.44

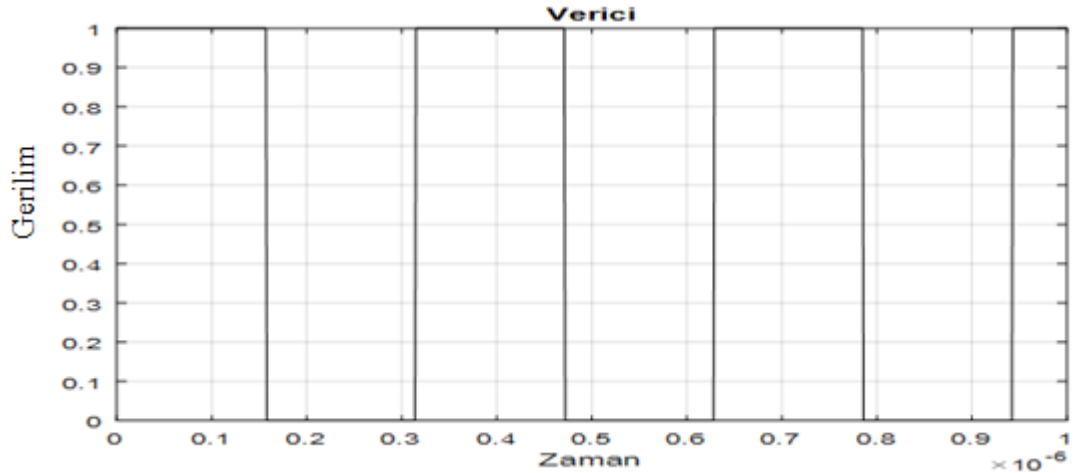
Tablo 4.15. Durum 4'ün darbe süresinin değerleri

D_{tr} , ns	D_{rec} , ns	D_{min} , ns
158	172.398	15.398

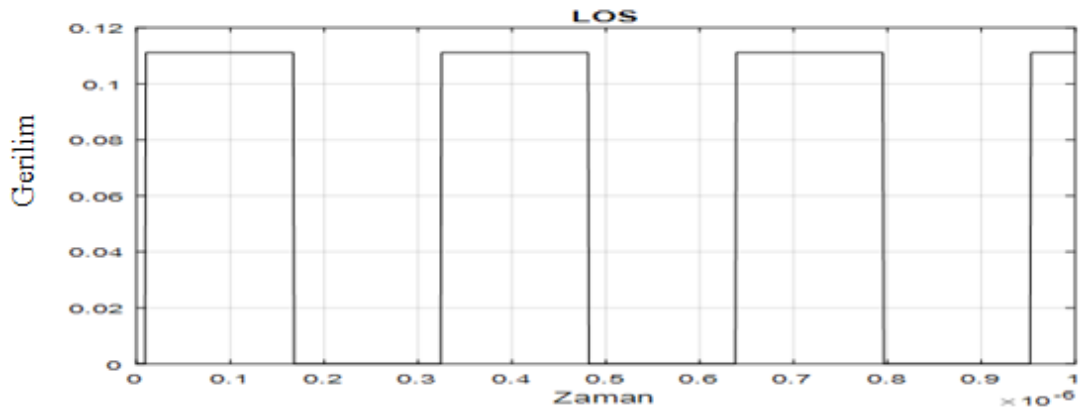
Tablo 4.16. Durum 4'ün genlik değerleri

Sinyaller	Gerilim	Gerilim	Gerilim
Verici sinyali $m(t)$, V	1	1	0
LOS sinyal Y_{los} , V	0	0.1111	0
İlk yansıyan sinyal Y_{ref1} , V	0	0.0444	0
İkinci yansıyan sinyal Y_{ref2} , V	0	0.0138	0
Üçüncü yansıyan sinyal Y_{ref3} , V	0	0.0235	0
Dördüncü yansıyan sinyal Y_{ref4} , V	0	0.0235	0
Toplam yansıyan sinyal Y_{ref} , V	0	0.1053	0
Toplam alınan signal Y_{rec} , V	0	0.2164	0

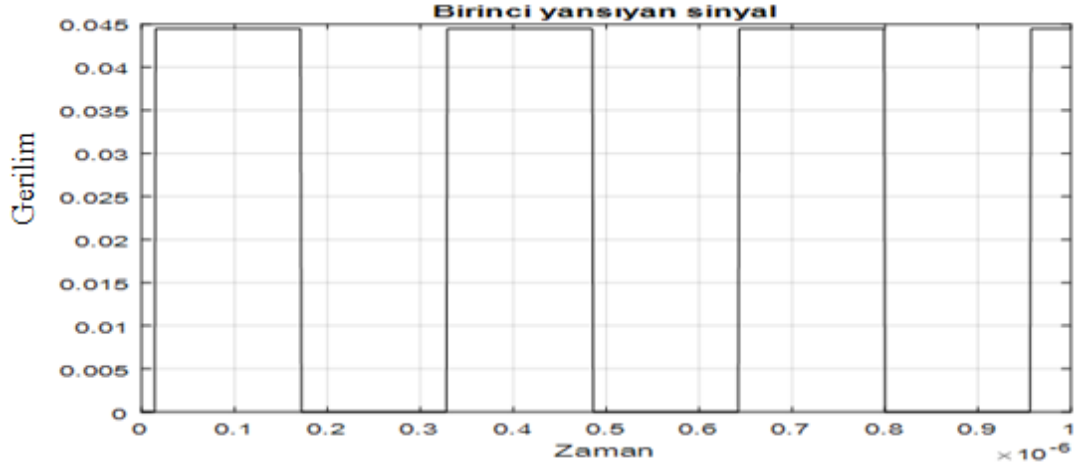
Eşik gerilimi, Şekil 4.53 ve 4.55'te gösterildiği gibi 0.0139V'dir.



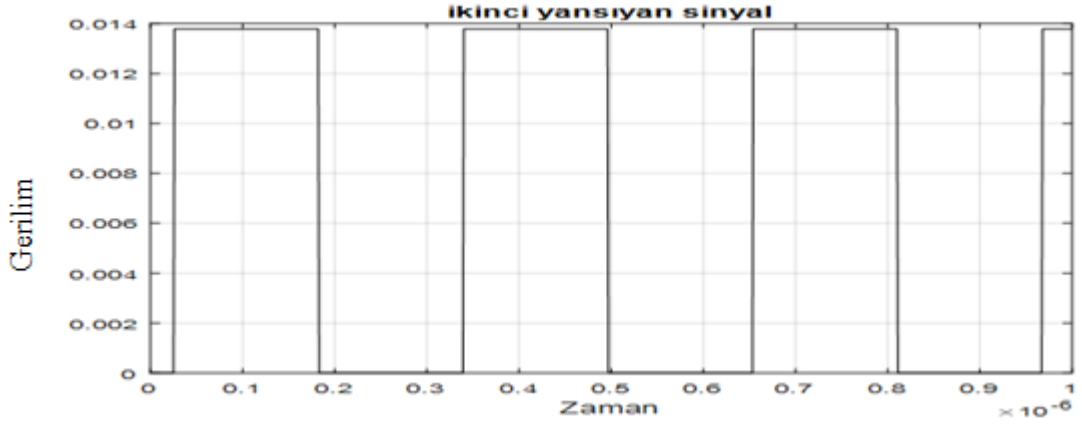
Şekil 4.46. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün verici sinyali



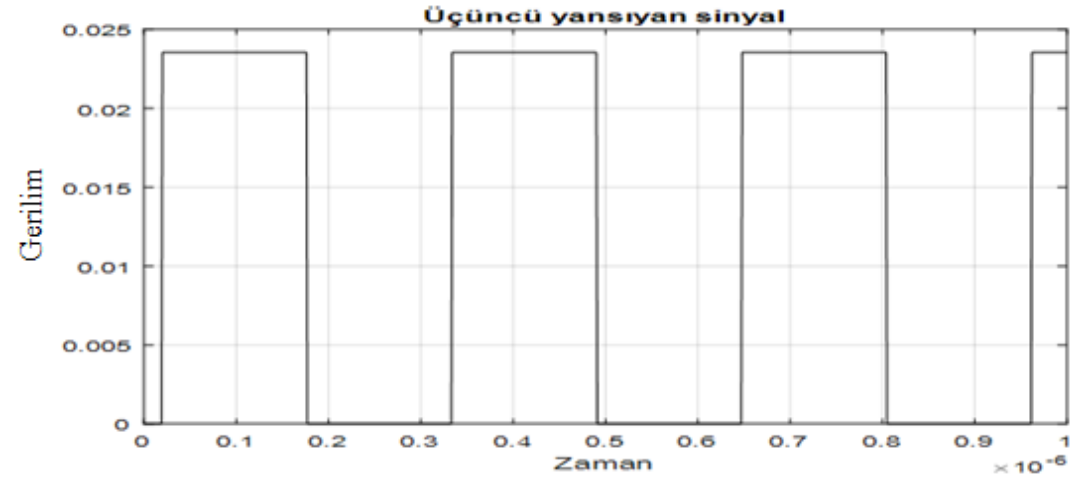
Şekil 4.47. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün LOS sinyali



Şekil 4.48. Verici ve alıcının (1.5, 2.5 , 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün ilk yansıyan sinyali



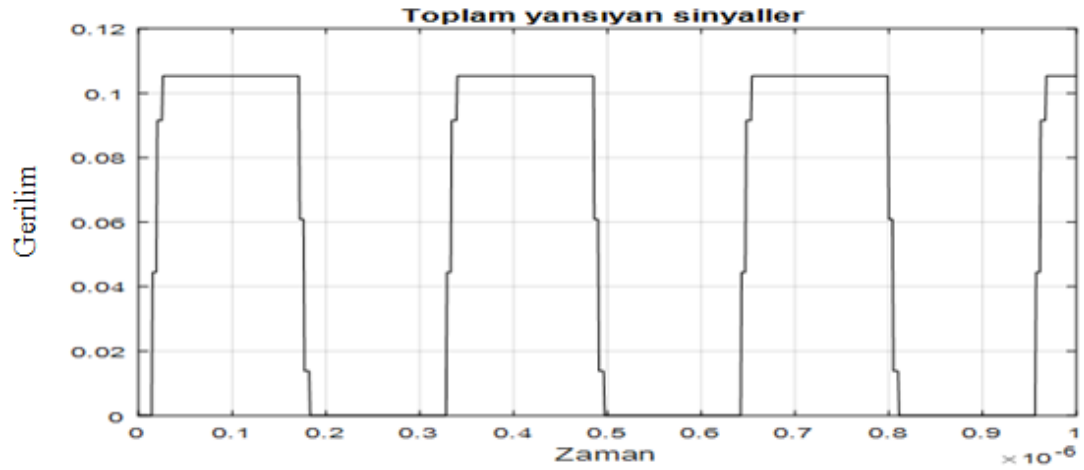
Şekil 4.49. Verici ve alıcının (1.5, 2.5 , 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün ikinci yansıyan sinyali



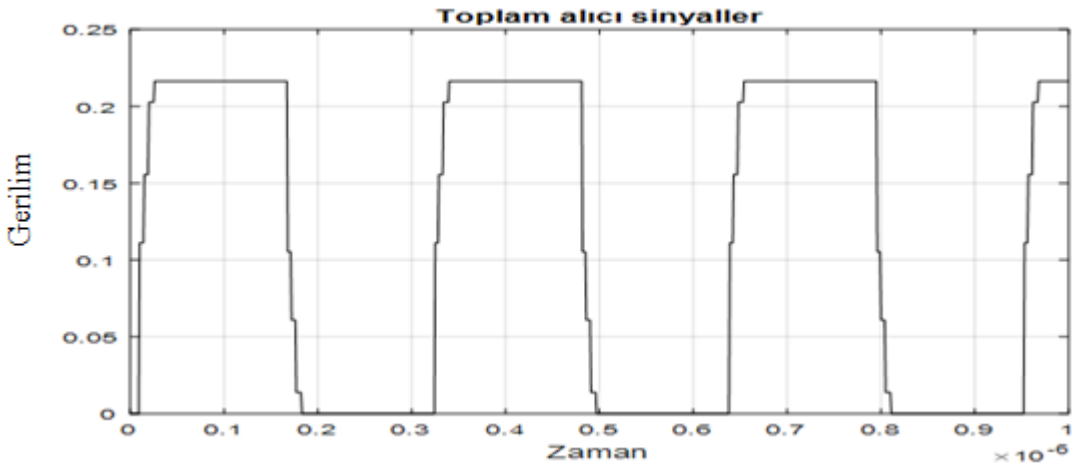
Şekil 4.50. Verici ve alıcının (1.5, 2.5 , 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün üçüncü yansıyan sinyali



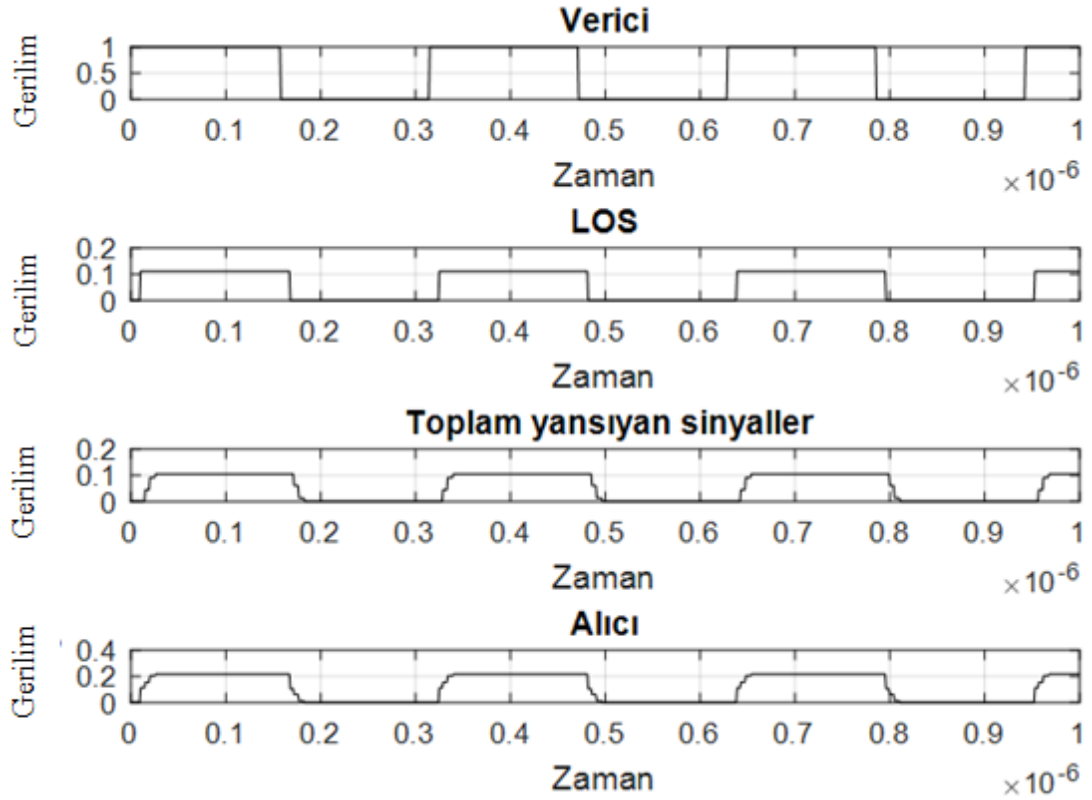
Şekil 4.51. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün dördüncü yansıyan sinyali



Şekil 4.52. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün toplam yansıyan sinyalleri



Şekil 4.53. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün alıcı sinyali



Şekil 4.54. Verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün dört duvarı için yansıyan sinyallerin çoklu yol etkisi



Şekil 4.55. Eşik etkisi ile verici ve alıcının (1.5, 2.5, 3) ve (1.5, 2.5, 0) konumlarında durum 4'ün alıcı sinyali

Bu simülasyonun sinyal analizi, durum 1, 2 ve 3'teki aynı yöntemle yapılmıştır. Alınan sinyalin genlik değerleri, verici ve alıcının pozisyonları değiştiğinde değişir, alınan sinyal bir toplamın sonucudur(LOS sinyalinin ve dört duvarın (NLOS) yansıyan sinyallerinin), bu nedenle herhangi bir yansıyan sinyal, alınan sinyalin genlik değerini artıracaktır. Yansıyan sinyaller bir zaman gecikmesine neden olur ve bu zaman gecikmesi, alınan puls süresinin artmasına neden olur.

Darbe süresi, alınan sinyalin açık olduğu zaman periyodu süresine bağlıdır, periyot süresi, LOS'un başlangıç noktası ile alıcıya ulaşan son yansıyan sinyal noktası arasındadır. Durum 4'ün sonuçlarına göre, aşağıdakileri elde edilmiştir:

1- Yansıyan sinyaller, alınan sinyalin genlik değerinin artmasına neden olmuştur.

$$Y_{I_{os}} = 0.1111V$$

$$Y_{ref} = 0.1053V$$

$$Y_{rec} = 0.2164V$$

Eşik gerilimi 0.0139V'dir.

2- Yansıyan sinyallerin mesafeleri bir zaman gecikmesine neden olmuş ve bu zaman gecikmesi, alınan toplam sinyallerin darbe süresinin artmasına neden olmuştur.

$$D_{rec} = 172.398ns \text{ (alınan toplam sinyallerin darbe süresi)}$$

Vericinin darbe süresi,

$$D_{tr} = 158 \text{ ns}$$

O zaman iki darbe süresi arasındaki farkı $D_{rec} - D_{tr} = 14.398ns$ olur.

3- Burada LOS 10ns sonra gelir, ancak NLOS Δt_1 ve Δt_2 ise 25.39ns fazladan bir süredir, yani 15.39 ns uzunluğunda bir darbe yapılabilir.

$$\Delta t_2 - \Delta t_{los} = 25.39ns - 10ns = 15.39ns$$

Yani, 4. durum süresince 15.39ns'lik bir darbe yapıldığında ve bu darbe alıcıya gönderildiğinde, LOS sinyalinin bir değeri 10ns'den sonra gelecek ve alıcı 25.39ns'den sonra LOS sinyalinin sıfır değerini almalıdır. Buradan, 15.39ns'den daha kısa bir darbe süresi yapılamayacağı anlamı çıkar, bu da sadece sıfırdan farklı bir değer alındığı anlamına gelir. Bu değer maksimum (R_{max}) 64.97Mbps OOK veri hızını vermektedir:

$$R_{max} = 1/D_{min} = 1/15.39ns = 64.97Mb/s.$$

Simülasyonların sonuçlarına göre, tablo 4.17 elde edilmiştir.

Simülasyonların sonuçlarına göre, alınan sinyalin maksimum genlik gerilimi 1 durumdadır ve 0.2334V'dir, çünkü yansıyan sinyallerin mesafesi diğerleriyle karşılaştırıldığında en kısadır. Alınan sinyalin minimum genlik gerilimi 2 durumdadır ve 0.2052V'dir.

Alınan sinyalin maksimum eşik gerilimi durum 2 (0.09V) ve alınan sinyalin minimum eşik gerilimi durum 1 (0.011V) için elde edilmiştir.

LOS sinyalinin darbe süresi, verici sinyalinin darbe süresi ile aynıdır (158ns), bu nedenle maksimum veri hızının en iyi durumu, alınan sinyalin NLOS sinyalleri olmadan olduğu durumdur.

En iyi darbe süresi (D_{rec}), durum 2'den (166.5ns) elde edilmiştir, çünkü alınan sinyalin açıkken periyot süresi minimum zaman periyodudur ve bu, merkezde bulunan alıcıdır. En kötü darbe süresi (D_{rec}) durum 1'den ve 3'ten (175.5ns) elde edilmiştir.

Buradaki önemli parametre, darbenin uzama miktarıdır, bu, darbe hızını sınırladığı için, '1' ölünceye kadar bir sonraki '0' gönderilmemelidir. Burada LOS tüm sinyallerden önce gelir, ancak son yansıyan sinyal fazladan bir süreye neden olur. Böylece, maksimum OOK veri hızı veren bir sürede bir darbe yapılabilir. Bunun yapılabileceği en iyi maksimum veri hızı (R_{max}), durum 2 (105.93Mb/s) ve bunun yapılabileceği en kötü maksimum veri hızı (R_{max}), durum 1 (54.11Mb/s) içindir.

Tablo 4.17. Simulasyonun alınan darbe süresi ve genlik değeri verileri

Sinyaller	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
T_x	(2, 1, 3)	(2.5, 2.5, 3)	(1, 2.5, 3)	(2, 2.5, 3)
R_x	(2, 1, 0)	(2.5, 2.5, 0)	(1, 2.5, 0)	(2, 2.5, 0)
D_{rec} , ns	175.5	166.5	175.5	172.398
D_{min} , ns	18.48	9.44	18.48	15.39
V_{max} , volts	0.2334	0.2052	0.2307	0.2164

4.2. Li-Fi Sisteminin Tasarımının Sonuçları

4.2.1. Verici Devresinin Tasarımı

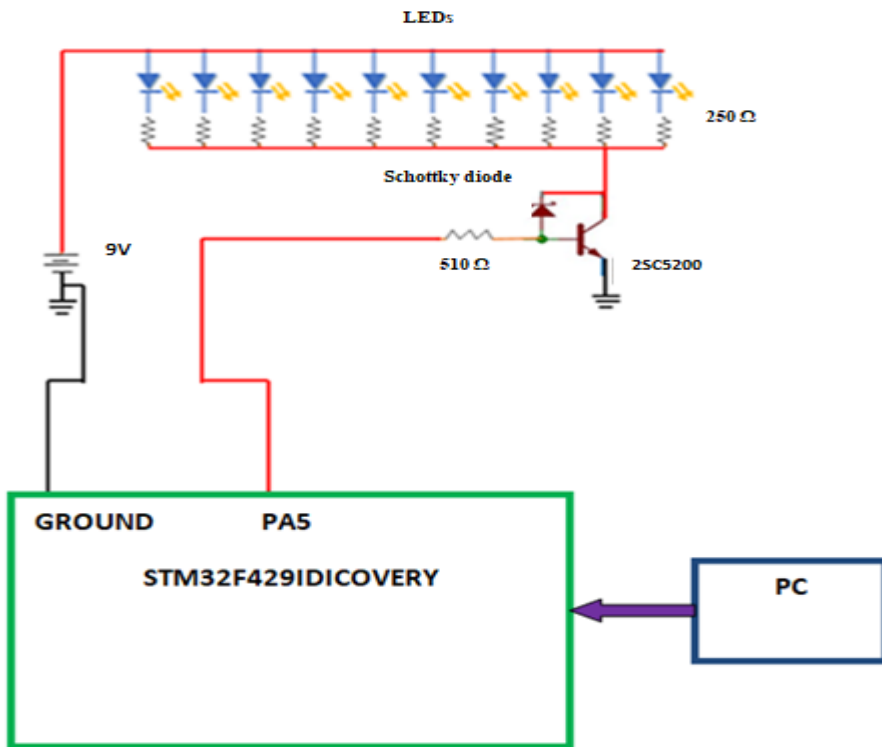
Verici verileri alıcıya gönderir ve diğer taraf verileri işleyebilir ve yorumlayabilir. Işığı iletmek için 10 LED (LW514, 35000 mcd, 15 °, Beyaz, 30mA) kullanılmıştır (Lai, vd., 2019). Beyaz LED'ler, renkli LED'lerden daha fazla akım ve parlaklığı destekliyordu. LED'ler 1V ve 0V iletmek için açılıp kapanacaktır. LED'lere gönderilecek verilerin kaynağı, verici devresinin MCU'su olacaktır. MCU'dan LED'lere giden akım, MCU'dan doğrudan sıfır dirençli yaklaşık 10 LED'e gelen toplam akım için yeterli değildir. Bu sorunu hafifletmek için başka bir güç kaynağına ihtiyaç vardır.

10 LED kullanmanın nedeni, her LED için iyi bir parlaklık çıkışı elde etmektir. 10 LED'den fazla kullanılması halinde her bir LED'in parlaklığı azalacaktır.

Anahtarlama için, 2SC5200 olan ve kollektör üzerindeki sinyali kare dalgadan daha göreceli hale getirmek için transistörün bazı ile kollektörü arasına Schottky diyot bağlayan uygun bir transistör kullanılmıştır, bu prosedür mikrodenetleyiciyle daha uyumludur. 2SC5200 transistör 0.7V veya daha yüksek bir sinyal olduğunda açılır. Transistör açıldığında kollektör ve emetör bağlanır ve pillerden gelen güç LED'lere ulaşır. Yüksek frekansları destekleyen 2SC5200 ile anahtar hızlı bir şekilde açılıp kapanabilir. MCU veri pininden transistörün bazına giden akımı sınırlamak için 510Ω direnç kullanılmıştır. LED'deki akımı sınırlamak için LED doğrultusunda dirençler seçilmiştir (250Ω). LED'de 4V'luk gerilim düşüşü olduğunda, direnç üzerindeki gerilim 5V'tur. Normalde LED 20mA ile çalışacaktır. Yani

$$R = V/I = 5V/20mA = 250\Omega$$

Şekil 4.56, verici devresini gösterir.



Şekil 4.56. Verici devresinin tasarımı

4.2.2. Alıcı Devresinin Tasarımı

Verici tarafından gönderilen ışık, alıcı tarafında bulunan bir fototransistör (TEPT4400) ile akıma dönüştürülür; bu fototransistör, 360 ile 970nm arasında bir spektral bant genişliği aralığına ve ± 30 derece yarı duyarlılık açısına sahiptir (Lai, vd., 2019). Fototransistörler daha hassastır ve bir fotodiyot ile karşılaştırıldığında

çıkışta daha büyük akım sağlar, bu nedenle fototransistörler gürültü bağışıklığından bahsedildiğinde bu tür girişimlere karşı daha fazla bağışıktır (Sinha, 2017).

Mikrodenetleyiciden önce sinyalin dijital ve kararlı olduğundan emin olmak için bir Op-Amp (AD8484JN) kullanılır ve AD8484JN'nin özellikleri (Lai, vd., 2019):

- 1- 175MHz kazanç bant genişliği, 4.8mA, yüksek hız, düşük güçlü monolitik işlemsel yükselteçler.
- 2- AD848, 5V veya daha büyük kapalı döngü kazançları için kararlı olacak şekilde dahili olarak dengelenmiştir. AD848 iyi bir DC performansına sahiptir. $\pm 5V$ kaynaklarla çalışırken, 13V/mV (500 Ω yük ile AD848) açık döngü kazançları ve maksimum 1mV düşük giriş ofset gerilimi sunarlar. Çift kutuplu güç kaynağı kullanımı ortaya çıkan düzensizlikleri ortadan kaldırmıştır.
- 3- Alıcı devresinin son tasarımı, gösterilen fototransistörün TEPT4400 olduğu Şekil 4.57'de gösterilmektedir.
R1 = 5 K Ω , R2 = 1 K Ω , R3 = 820 Ω , R4 = 500 Ω ve Rf = 5 K Ω , tersine çeviren yükselteç için Rf ve R2 ofset sıfırlama için R4 kullanılmıştır çünkü AD848'in giriş gerilimi yüksek hızlı opamplar için çok düşüktür. Yüksek performanslı devreler için, her girişteki empedansı eşleştirerek ön gerilim hatalarını azaltmak için bir R3 direnci kullanılmıştır.
- 4- Giriş akımlarının neden olduğu ofset gerilim hatası, daha büyük olan tarafından azaltılır.
- 5- Ters çeviren yükselteçte gerilim kazancı (A_v) aşağıdaki biçimde yazılır:

$$A_v = - R_f / R_2$$

$$V_o = V_i \times A_v$$

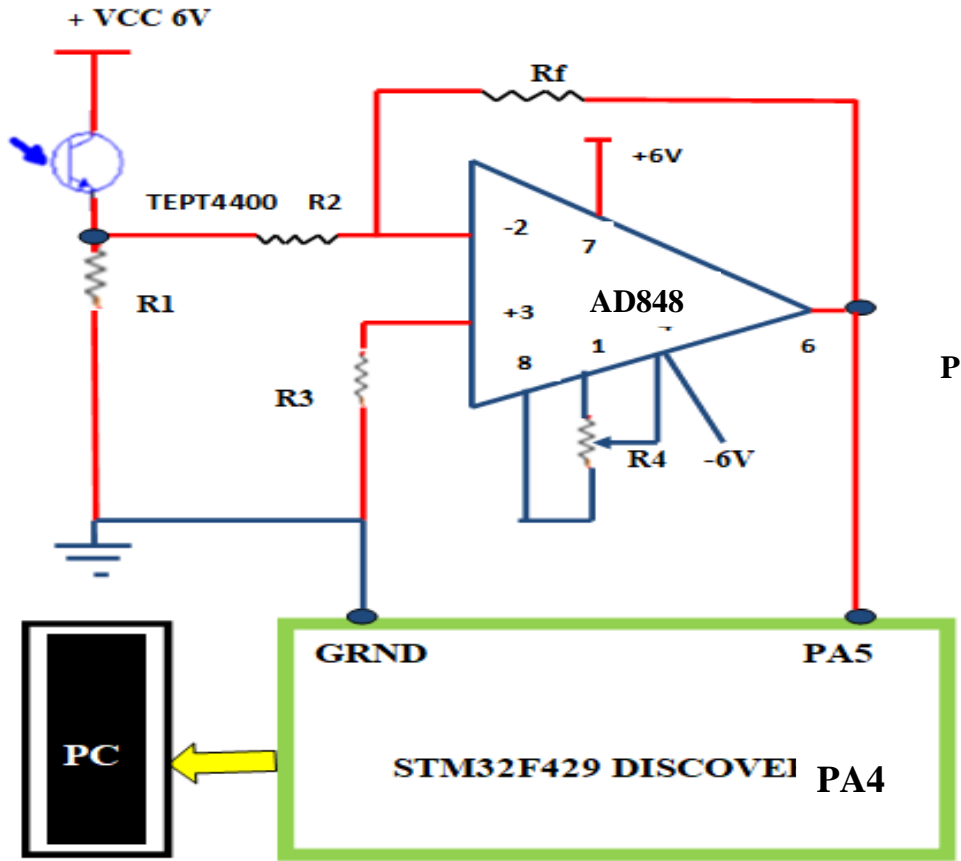


Figure 4. 57. Alıcı devresinin tasarımı

Darbeler verici tarafında üretilir ve Shottky diyotlu transistör kullanılarak OOK modülasyonu kullanılır. Alıcı tarafında fototransistör sinyalleri almış ve İşlemsel yükselteç AD848JN ile yükseltmiş ve sinyalleri STM32F429DISCOVERY'e göndermiştir.

NLOS1 ve NLOS2'yi elde etmek için iki ayna kullanılır, verici ile alıcı arasındaki mesafe Şekil 4.58'de gösterildiği gibi 1m'dir ve zaman gecikmesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_{\text{los}} = 1\text{m (LOS mesafesi)}$$

$$d_{\text{nlos1}} = 2 \times \sqrt{(50)^2 + (8)^2} = 1.0127\text{m (NLOS1 mesafesi)}$$

$$d_{\text{nlos2}} = 2 \times \sqrt{(50)^2 + (10)^2} = 1.0198\text{m (NLOS2 mesafesi)}$$

$$\Delta t_{\text{los}} = d_{\text{los}} / c = 1\text{m} / (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 3.333\text{ns (LOS zaman gecikmesi)}$$

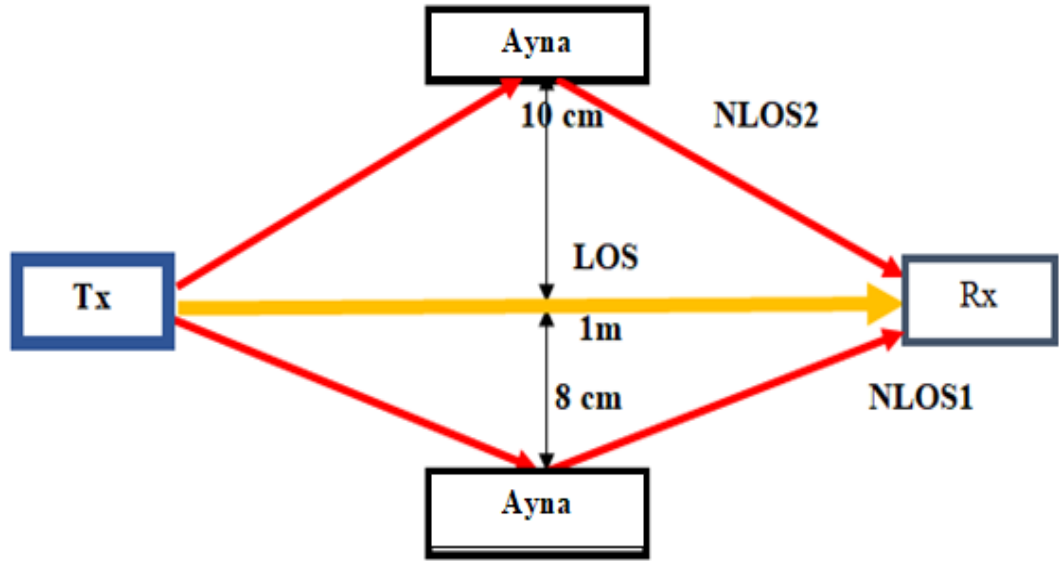
$$\Delta t_1 = d_{\text{nlos1}} / c = 1.0127\text{m} / (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 3.375\text{ns (NLOS1 zaman gecikmesi)}$$

$$\Delta t_2 = d_{\text{nlos2}} / c = 1.0198\text{m} / (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 3.399\text{ns (NLOS2 zaman gecikmesi)}$$

Daha uzun zaman gecikmesi Δt_2 'dir, yapılabilecek maksimum veri hızı aşağıdaki gibi bulunur:

$$\Delta t_2 - \Delta t_{\text{los}} = 3.399\text{ns} - 3.333\text{ns} = 66\text{ps}$$

$$D_{\max} = 1 / 66\text{ps} = 15.15\text{Gbps}$$

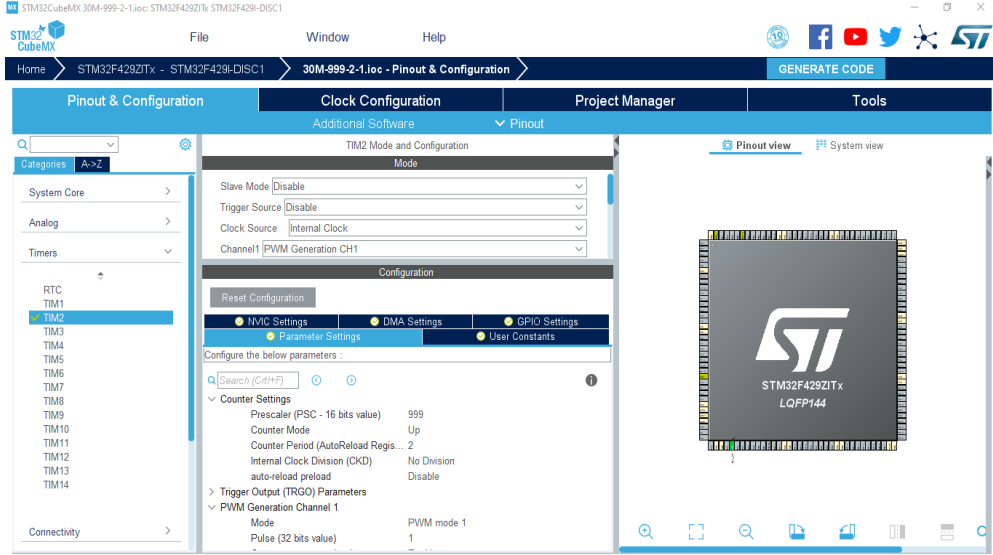


Şekil 4.58. NLOS1 ve NLOS2'yi elde etmek için kullanılan yapı

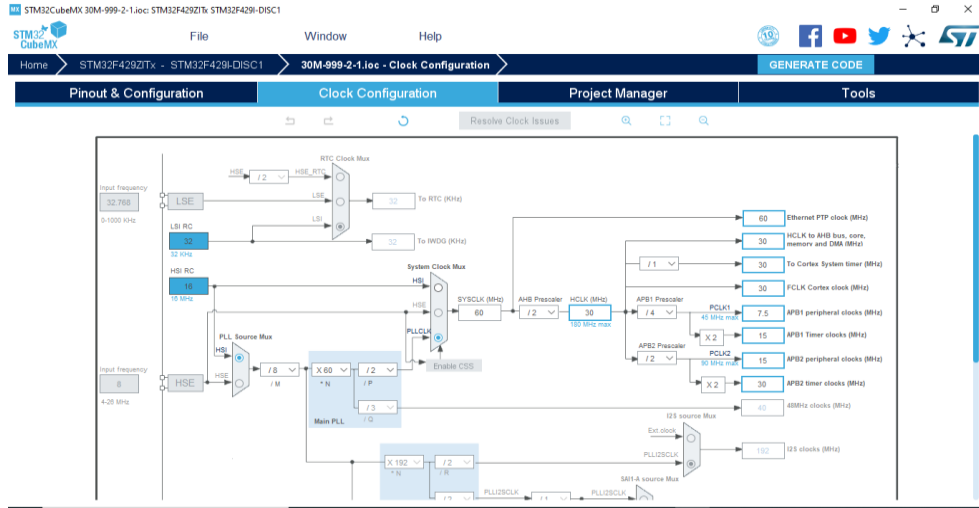
4.2.3. Verici Bölümünün Sonuçları ve Tartışması

STM32F429IDISCOVERY kullanılmıştır ve aşağıdaki gibi yapılandırılmıştır:

- 1- Saat kaynağı için dahili saat seçilmiştir.
- 2- Kanal 1 için PWM Üretimi kullanılmıştır ve Şekil 4.59'da gösterildiği gibi ön ölçekleyici 999, sayaç periyodu 2 ve darbe 1'dir.
- 3- PWM kanal 1 için PA5 pini seçilmiştir.
- 4- Saat konfigürasyonu, Şekil 4.60'da gösterildiği gibi (3MHz) idi.
- 5- ARM için IAR EW kodu üretmek ve aşağıdaki kodu yazmak için kullanılmıştır
HAL_TIM_PWM_Start (& htim2, TIM_CHANNEL_1)
- 6- STM32F429IDISCOVERY pin PA5 üzerindeki sinyal Şekil 4.61'de gösterildiği gibi vericinin çıkışında oluşturulmuş ve kuvvetlendirilmiştir.



Şekil 4.59. STM32F429IDISCOVERY kartı ve yapılandırması



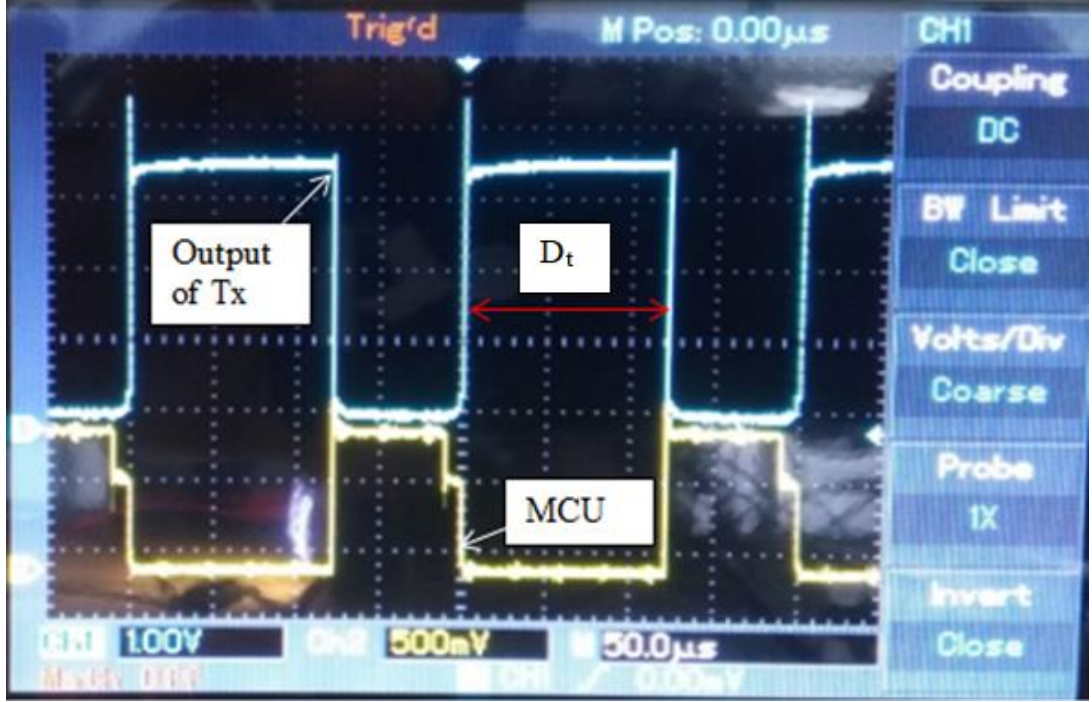
Şekil 4.60. STM32F429IDISCOVERY kartının saat yapılandırması

Şekil 4.61'den, vericinin darbe süresi ve sinyalin genlik değerleri hesaplanmıştır.

$$D_t = 2.4 \times 50 \times 10^{-6} = 120\mu s \text{ (Verici sinyalinin darbe süresi)}$$

$$V_o \text{ (p.p)} = 3.6V \text{ (Çıkış iletim gerilimi)}$$

$$V \text{ (MCU) p.p} = 2 \times 500mV = 1V \text{ (MCU gerilimi)}$$

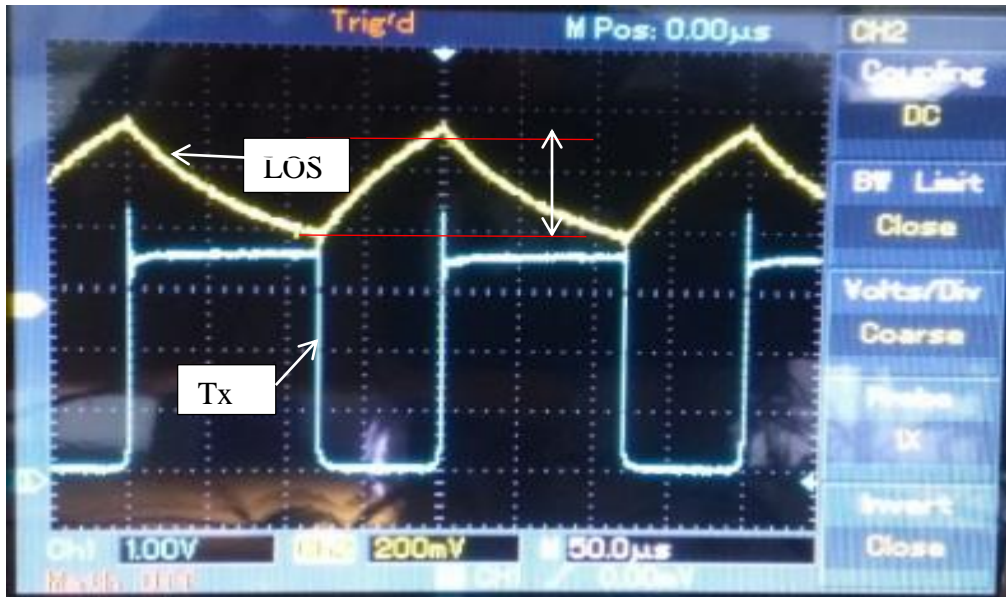


Şekil 4.61. STM32F429'un PA5'inde oluşturulan sinyal ve verici tarafında çıkış sinyali

Alıcı devresinin P1 noktasındaki fototransistör üzerindeki sinyal, Şekil 4.62'de gösterildiği gibi NLOS sinyalleri olmadan LOS durumunda elde edilmiştir. Burada, Tx verici sinyali (mavi çizgi) ve LOS ise alınan sinyali (sarı çizgi) göstermektedir.

$$V(\text{LOS}) = 1.8 \times 200\text{mV}$$

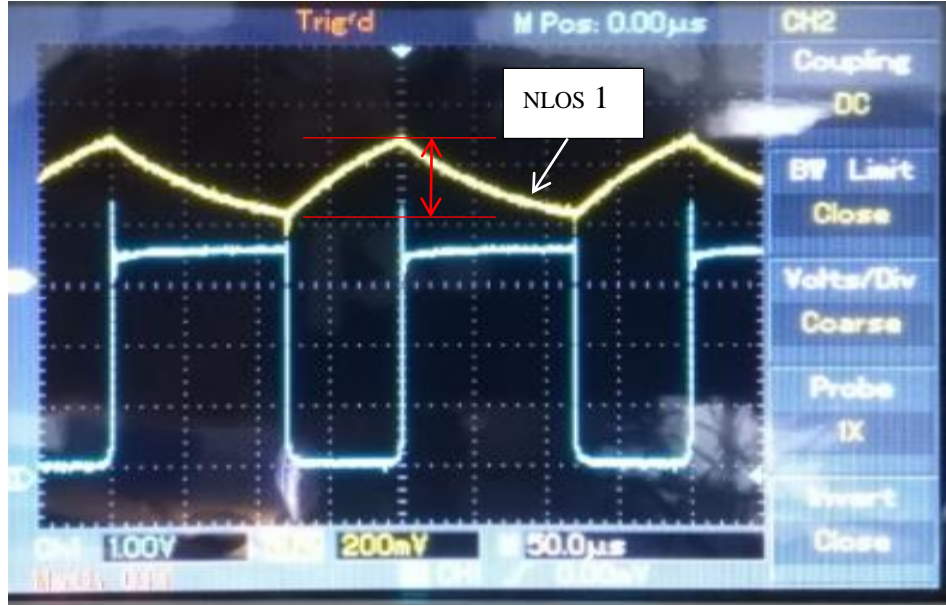
$$= 360\text{mV (LOS sinyali)}$$



Şekil 4.62. P1 noktasında LOS sinyali ve iletilen çıkış sinyali

NLOS 1 sinyali için alıcının P1 noktasındaki sinyal, Şekil 4.63'te gösterildiği gibi LOS sinyali bloke edilerek elde edilmiştir.

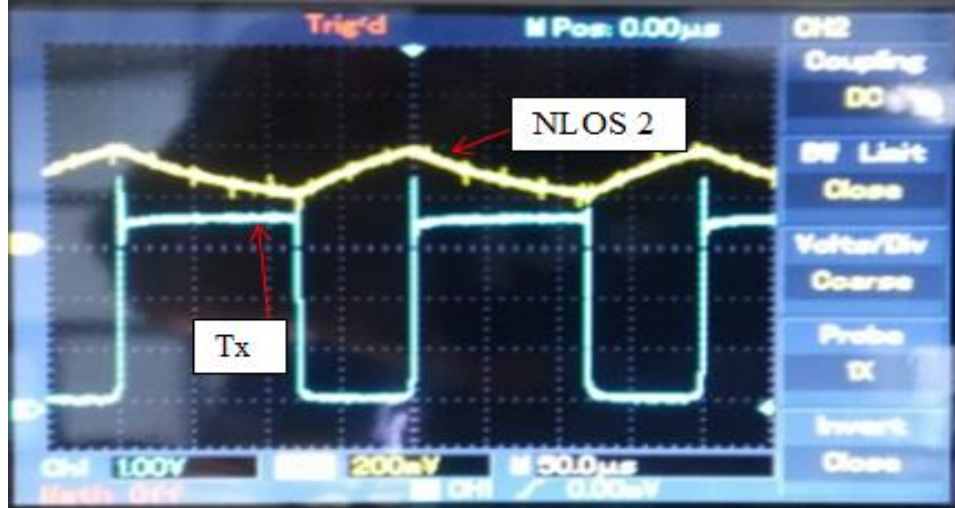
$$V(\text{NLOS1}) = 1.2 \times 200\text{mV} = 240 \text{ mV}$$



Şekil 4.63. P1 noktasında NLOS1 sinyali ve iletilen çıkış sinyali

NLOS 2 sinyali için alıcının P1 noktasındaki sinyal, Şekil 4.64'de gösterildiği gibi LOS ve NLOS 1 sinyalleri bloke edilerek elde edilmiştir.

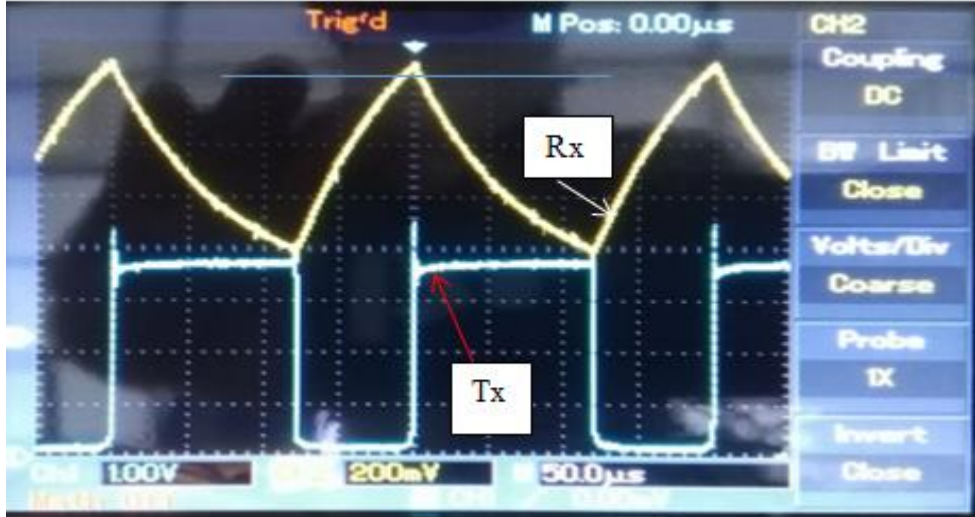
$$V(\text{NLOS2}) = 180\text{mV}$$



Şekil 4.64. P1 noktasında NLOS 2 sinyali ve iletilen çıkış sinyali

Alıcının P1 noktasındaki tüm sinyaller (LOS, NLOS1 ve NLOS2) Şekil 4.65'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

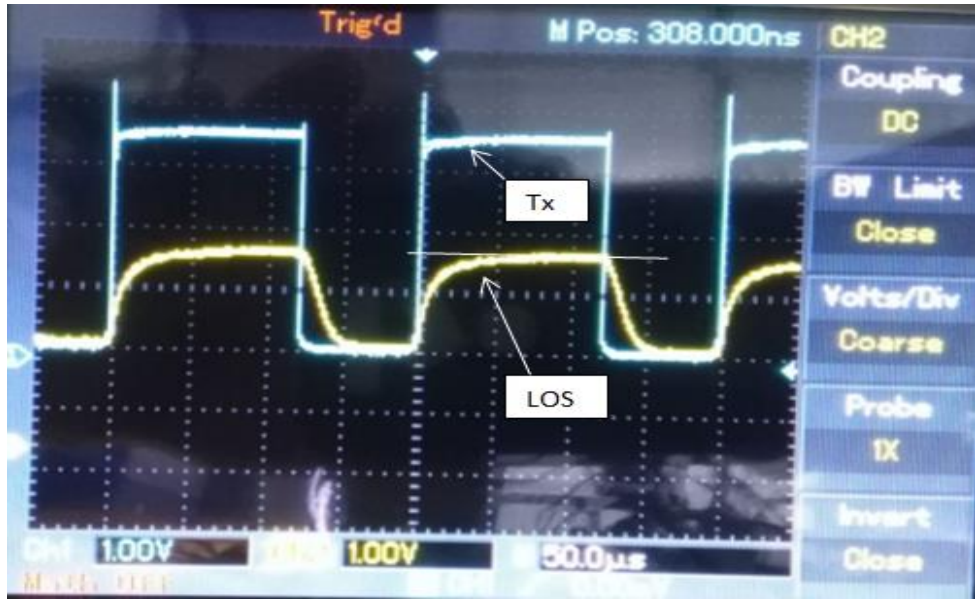
$$V(\text{Rx}) = 3.9 \times 200\text{mV} = 780\text{mV}$$



Şekil 4.65. P1 noktasındaki sinyaller (LOS, NLOS 1 ve NLOS 2) ve gönderilen sinyal çıkışı

LOS sinyali için alıcının OP-AMP'ın 6 numaralı bacağı P2 sinyal, Şekil 4.66'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

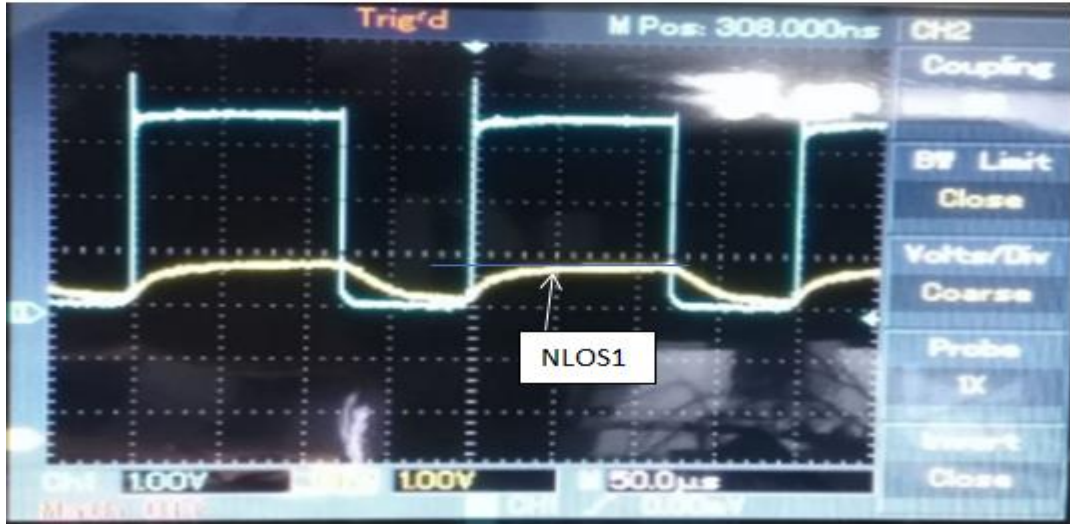
$$V(\text{LOS}) = 1.6\text{V}$$



Şekil 4.66. P2 noktasında LOS sinyali ve gönderilen sinyal çıkışı

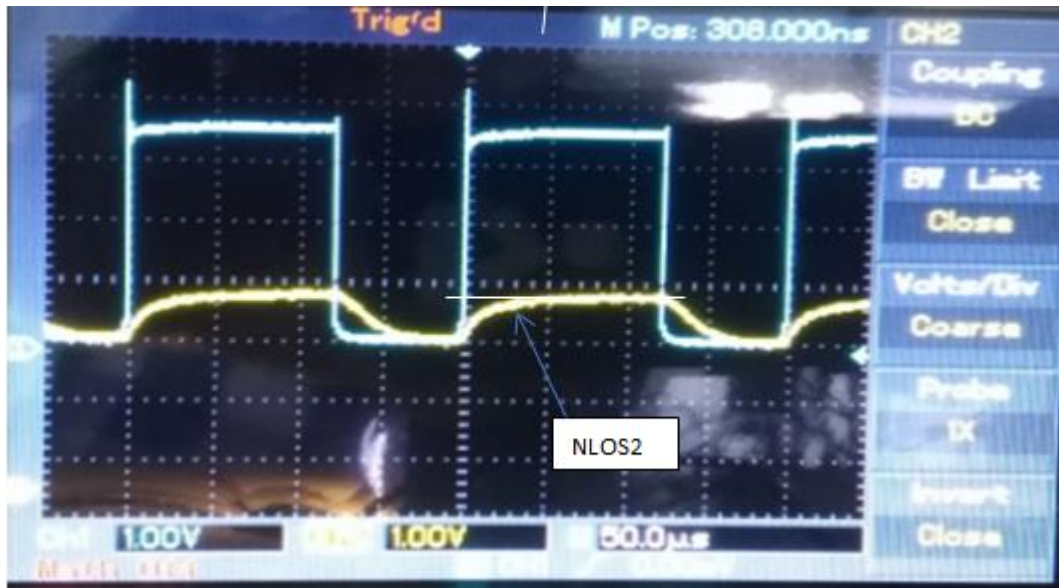
NLOS1 sinyali için alıcının OP-AMP'ın 6 numaralı bacağı P2 sinyal, Şekil 4.67'de gösterildiği gibi LOS sinyali bloke edilerek elde edilmiştir.

$$V(\text{NLOS1}) = 0.8\text{V}$$



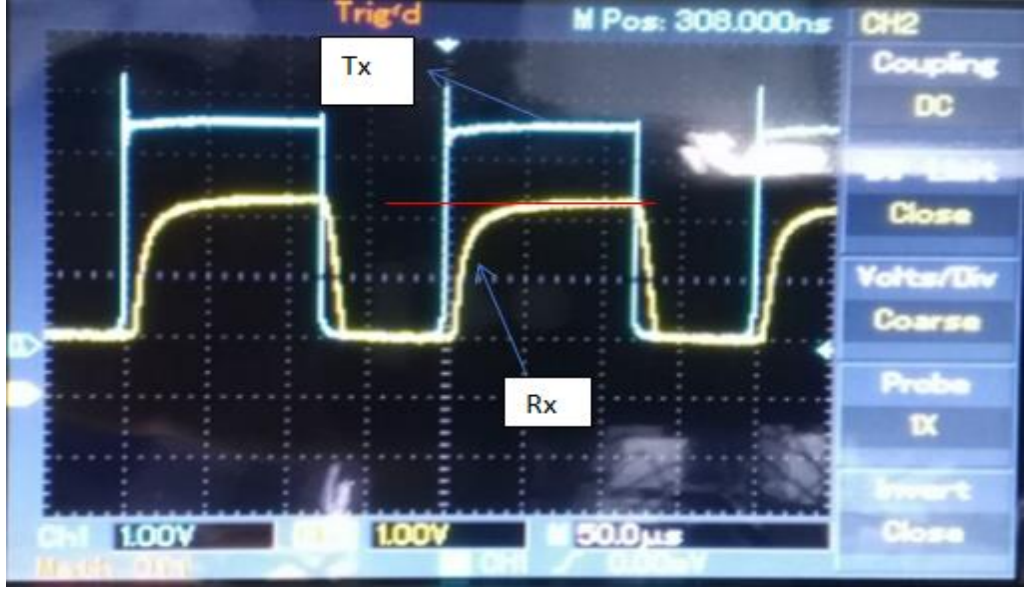
Şekil 4.67. P2 noktasında NLOS1 sinyali ve gönderilen sinyal çıkışı NLOS2 sinyali için alıcının OP-AMP'ın 6 numaralı bacağı P2 sinyal, Şekil 4.68'de gösterildiği gibi LOS ve NLOS1 sinyalleri bloke edilerek elde edilmiştir.

$$V(\text{NLOS2}) = 0.7\text{V}$$



Şekil 4.68. P2 noktasında NLOS2 sinyali ve gönderilen sinyal çıkışı (LOS, NLOS1 ve NLOS2) sinyalleri için alıcının OP-AMP'ın 6 numaralı bacağı P2 sinyal, Şekil 4.69'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

$$V(\text{Rx}) = 2.4\text{V}$$



Şekil 4.69. P2 noktasında LOS, NLOS1 ve NLOS2 sinyalleri ve gönderilen sinyal çıkışı

Genlik değeri, NLOS'un etkisi nedeniyle 1.6V'den 2.4V'ye yükselmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Li-Fi sisteminde çok yol etkisi incelenmiştir. Çalışmanın içeriği, iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım Li-Fi sistemindeki çok yol etkisinin simülasyon ile incelenmesini, ikinci kısım ise Li-Fi sistemin gerçekleşmesini içerir. Simülasyon kısmında vericinin alıcıya dik olduğu 4 farklı durum incelenmiştir.

Simülasyonların sonuçlarına göre, alınan sinyalin maksimum genlik gerilimi 1. durumdadır (verici ve alıcı konumları (2, 1, 3) ve (2, 1, 0)) ve 0.2334V'dir, çünkü yansıtılan sinyallerin mesafesi diğerleriyle karşılaştırıldığında en kısadır. Alınan sinyalin minimum genlik gerilimi 2 durumdadır (verici ve alıcı konumları (2.5, 2.5, 3) ve (2.5, 2.5, 0)) ve 0.2052V'dir.

Alınan sinyalin maksimum eşik gerilimi durum 2 (0.09V) ve alınan sinyalin minimum eşik gerilimi durum 1 (0.011V) için elde edilmiştir.

LOS sinyalinin darbe süresi, verici sinyalinin darbe süresi ile aynıdır (158ns), bu nedenle maksimum veri hızının en iyi durumu, alınan sinyalin NLOS sinyalleri olmadan olduğu durumdur.

En iyi darbe süresi (D_{rec}), durum 2'den (166.5ns) elde edilmiştir, çünkü alınan sinyalin açıkken periyot süresi minimum zaman periyodudur. En kötü darbe süresi (D_{rec}) durum 1'den (175.5ns) elde edilmiştir.

Yansıyan sinyallerin toplam alınan sinyallerin darbe süresini etkilediği sonucuna varılmıştır, çünkü bu ilk ve son alınan sinyale bağlıdır ve bunlar sinyalin açık olduğu zaman dilimini uzatırlar.

Buradaki önemli parametre, darbenin uzama miktarıdır, bu, darbe hızını sınırladığı için, '1' sonlanana kadar bir sonraki '0' gönderilmemelidir. Burada LOS tüm sinyallerden önce gelir, ancak son yansıtılan sinyal fazladan bir süreye neden olur. Böylece, maksimum OOK veri hızı veren bir sürede bir darbe yapılabilir. Bunun yapılabileceği en iyi maksimum veri hızı (R_{max}), durum 2 (105.93Mb/s) ve bunun yapılabileceği en kötü maksimum veri hızı (R_{max}), durum 1 (54.11Mb/s) içindir.

Li-Fi sisteminin deney sonuçlarından anlaşılabilceği gibi, gerilimin değeri NLOS etkisiyle birlikte 1.6V'den 2.4V'ye yükselmiştir.

Daha uzun zaman gecikmesi Δt_2 'dir, OOK sisteminden yapılabilecek maksimum veri hızı ise 15.15Gbps'dir.

Li-Fi sistemi, uygun LED'ler, mikrodenetleyici ve transistör seçilerek alıcı-verici tasarımı ile geliştirilebilir. Çoklu yol, verici ve alıcının uygun pozisyonları seçilerek veri hızı üzerindeki etkisi azaltılabilir ve aynı zamanda genlik değerini artırmak için NLOS sinyalinden faydalanılabilir.

6. GELECEK ÇALIŞMALAR

Li-Fi sistemi, iletişim ve diğer alanlardaki büyük önemine rağmen çok az yatırım yapılan yeni teknolojilerden biridir. Veri aktarmadaki yüksek yetenekleri ve insanlara ve elektronik cihazlara zararlı yan etkilerin olmaması, bu teknolojiyi geliştirmek ve gelecekte engellerin üstesinden gelmek için gelecekteki çalışmalar ve araştırmalar sunmamızı sağlıyor.

Bu tez, Li-Fi sisteminde çoklu yolun veri iletimi üzerindeki etkisinin bir çalışmasını sunmuştur ve bu teknoloji için bir uygulama yapılmıştır. Büyük kapasite ile yüksek hızlı veri iletimi üretebilen mikrodenetleyicileri tasarlayarak Li-Fi sisteminin tasarım açısından geliştirilmesine ve mümkün olan en büyük miktarda verinin aktarılmasına yönelik çalışmaların ileride yapılacağını ve uzmanların optik sinyallerin alınmasında daha doğru sensörler tasarlayacağını umuyoruz.

Çoklu yol, onu güçlendirdiği için alınan sinyalin gücü üzerinde büyük bir etkiye sahiptir, ancak aynı zamanda yansıyan sinyalin alıcıya gelmesi için zaman gecikmesi nedeniyle darbe süresini genişleterek bir bozulma yapar. Bu yüzden verici ve alıcının konumunun seçilmesi tasarımda çok önemlidir bu sistem tasarlanırken bu etkileri dikkate alınmalıdır.

7. KAYNAKLAR

- Abumarshoud, H., H. Alshaer ve H. Haas (2019). "Dynamic Multiple Access Configuration in Intelligent Lifi Attocellular Access Point". *IEEE Access*. 7. 62126-62141.
- Abumarshoud, H. ve H. Haas (2019, May). "Index Time Division Multiple Access (I-TDMA) for LiFi Systems". *89th Vehicular Technology Conference VTC2019-Spring, IEEE, Kuala Lumpur*.
- Arafa, A., E. Panayirci ve H. Vincent Poor (2019). "Relay-Aided Secure Broadcasting for Visible Light Communications". *IEEE Transactions on Communications*. 67(6). 4227-4239.
- Badamasi, Y. A. (2014, October). "The Working Principle of an Arduino". *11th International Conference on Electronics, Computer and Computation, IEEE, Abuja*.
- Bawa, D. ve C. Y. Patil (2013). "Fuzzy control based solar tracker using Arduino Uno". *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. 2(12). 179-187.
- Bhut, J. H., D. N. Parmar ve K.V. Mehta (2014). "LI-FI Technology A Visible Light Communication". *International Journal Of Engineering Development And Research. ISSN: 2321-9939*. 25-28.
- Bian, R., I. Tavakkolnia ve H. Haas (2019). "15.73 Gb/s Visible Light Communication With Off-the-Shelf LED". *Journal of Lightwave Technology*. 37(10). 2418-2424.
- Boukerche, A., H. Oliveira, F. Nakamura ve A. Loureiro (2007). "Localization systems for wireless sensor networks". *IEEE Wireless Communications*. 14 (6). 6-12.
- Chen, C., R. Bian ve H. Haas (2018, May). "Omnidirectional Transmitter and Receiver Design for Wireless Infrared Uplink Transmission in LiFi". *International Conference on Communications Workshops, IEEE, Kansas*.
- Chen, M., J. Guo, X. Xu ve M. Liang (2017). "Real-Time Video Transmission of Visible Light Communication Based on LED". *Int. J. Communications, Network and System Sciences*. 10. 58-68.

- De-La-Llana-Calvo, Á. L. Galilea, A. Vicente, D. Navarro, I. Muñoz, G. Tsirigotis, Miguel, J. I. (2017). "Modeling Infrared Signal Reflections to Characterize Indoor Multipath Propagation". *Sensors*. 17(4). 0-24.
- Dinev, D., V. Aleksieva ve H. Valchanov (2019, June). " Drives and Power Systems of Prototypes Based on Li-Fi Technology ". *International Conference on Electrical Machines*. Bulgaria.
- Engiz, B. K. ve R. Bashir (2019, April). "Implementation of a Speed Control System Using Arduino". *6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, IEEE, Istanbul.
- Fonseca, A. A. R., J. M. P. Durán ve O. J. S. Parra (2017). "Evaluation of QoS in RF/Li-Fi hybrid networks on 5th generation environment". *Scielo*. 26(46). 121-129.
- Goswami, P., ve M. K. Shukla (2017). "Design of a li-fi transceiver". *Wireless Engineering and Technology*. 8(4). 71-86.
- Harshitha, K., A. Chaithra, N.A. Poojitha ve B. Raghavendra (2016). "Li-Fi (Light Fidelity)- The future technology In Wireless communication". *Bonfring International Journal of Software Engineering and Soft Computing*. 6(1). 49-51.
- Haas, H., L. Yin, Y. Wang ve C. Chen (2015). "What is LiFi". *Journal of Lightwave Technology*. 34(6). 1533-1544.
- Hua, Y. N. Zhang, Liu, Z. (2018) . " Research on Indoor Visible Light Positioning System Based on FDM-RSS". *International Conference on Mechanical, Electronic and Information Technology*, Electric Power University Beijing, China.
- Huang, C. ve X. Zhang (2017) "LOS-NLOS identification Algorithm for Indoor Visible Light Positioning System". *20th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, Paris.
- Ichimiya, A. ve P. I. Cohen (2004). "Reflection high-energy electron diffraction". *Cambridge University Press*. UK.
- Islam, R., ve M. Rubaiy (2019). "Hybrid DCO-OFDM, ACO OFDM and PAM-DMT for dimmable LiFi". *Optik*. 180. 939-952.
- Kahn, J.M. ve J. R. Barry (1997). "Wireless Infrared Communications". *Proceedings of the IEEE*, 85(2). 265-298.

- Khadr, M. H., H. A. Fayed, A. A. E. Aziz ve M. H. Aly (2016, July). "Bandwidth Extension of an Enhanced SNR with a higher Light Uniformity of a Phosphorescent White LED Based Visible Light Communication System". *10th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP)*. IEEE. Prague.
- Khandal, D. ve S. Jain (2014). "Li-Fi (Light Fidelity): "The Future Technology in Wireless Communication". *International Journal of Information and Computation Technology*. 4(16). 1687-1694.
- Khatibi, S. N. Nitish, (2018). "Implementation of Visible Light communications For Indoor Applications". *Faculty of Computing, Blekinge Institute of Technology, 371 79 Karlskrona, Sweden*. 9-16
- Lai, L. A. Ambady, M. Bredes, Nguyen, S. (2015). "Visible Light Communication". *Worcester Polytechnic Institut*. 25-37.
- Liu, H., H. Darabi, P. Banerjee ve J. Liu (2007). "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems". *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*. 37(6). 1067-1080.
- Luo, P., Z. Ghassemlooy, H. L. Minh, E. Bentley, A. Burton ve X. Tang (2014, July). "Fundamental analysis of a car to car visible light communication system". *9th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Sign (CSNDSP)*. IEEE. Manchester.
- Martínez, R., F. Giraldo, A. Perez ve M. Rivera (2018). "Characterization of Light-To-Frequency Converter for Visible Light Communication Systems". *Electronics*. 7. 1-11.
- Modepalli, K. ve L. Parsa (2015). "Dual-Purpose Offline LED Driver for Illumination and Visible Light Communication". *IEEE Transactions on industry applications*. 51(1). 406-419.
- Mohammed, N. ve K. Badawi (2018). "Design And Performance Evaluation For A Non-Line Of Sight Vlc Dimmable System Based On Sc-Lppm". *IEEE Access*. 6. 52393-52405.
- Sarkar, A., S., Agarwal ve A., Nath (2015). "Li-fi technology Data transmission through visible light". *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*. 3(6). 1-12.

- Sharma, R. R., Raunak ve A. Sanganal (2014). "Li-Fi Technology Transmission of data through light". *Int.J.Computer Technology and Applications*. 5(1). 150-154.
- Sinha, G. R. (2017). "Optical sensor: Photodiode, phototransistor and photoresistor". *10.13140/RG.2.2.10607.53923*.
- Singh, M., H. Saini ve Sahni, (2014). "Technical Recapitulation on LI-FI". *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 1(1). 26-28.
- Soltani, M. D., A. A. Purwita, Z. Zeng, H. Haas ve M. Safari (2018). "Modeling the Random Orientation of Mobile Devices Measurement, Analysis and LiFi Use Case". *IEEE Transactions on Communications*. 67(3). 2157-2172.
- Soltani, M. D., M. A. Arfaoui, I. Tavakkolnia, A. Ghayeb, M. Safari, C. M. Assi, M. O. Hasna ve H. Haas (2019). "Bidirectional Optical Spatial Modulation for Mobile Users Toward a Practical Design for LiFi Systems". *IEEE Journal on selected areas in communications*. 37(9). 2069-2086.
- STlife.augmented, (2020). <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-df/view/882023/STMICROELECTRONICS/STM32F429xx.html>.
- Tang, Q., S.K.S. Gupta ve L. Schwiebert (2005, August). "BER Performance Analysis of an On-Off Keying Based Minimum Energy Coding for Energy Constrained Wireless Sensor Applications". *IEEE International Conference on Communications*. Seoul.
- Tran, H. ve Ha, C. (2019). "Improved Visible Light-Based Indoor Positioning System Using Machine Learning Classification and Regression". *Applied Sciences*, 9(6), 1048.
- Uddin, M. S., J. S. Cha, J. Y. Kim ve Y. M. Jang (2011). "Mitigation Technique for Receiver Performance Variation of Multi-Color Channels in Visible Light Communication". *Sensors*. 11. 6131-6144.
- Vanderka, A., L. Hajek, J. Latal, J. Vitasek ve P. Koudelka (2014). "Design Simulation and Testing of the OOK NRZ Modulation Format for Free Space Optic Communication in a Simulation Box". *Optics And Optoelectronics*. 12(6). 604-616.
- Zeng, Z., M. Soltani, M. Safari ve Haas, H. (2019, May). "Angle Diversity Receiver in LiFi Cellular Networks". *International Conference on Communications (ICC), IEEE, Shanghai, China*.

EKLER

Durum 1'in MATLAB Kodu

```
B=2e7; % bit/sec
A=1; % amplitude
t=0: 1e-9: 1e-6;
c=3e8;
x1=2;
x2=3;
y1=1;
y2=4;
z1=1.5;
R=0.8; % reflection coefficient
dlos=3; % distance of LOS
d1=sqrt(x1.^2+z1.^2);
d2=d1;
d3= sqrt(x2.^2+z1.^2);
d4=d3;
d5= sqrt(y2.^2+z1.^2);
d6=d5;
d7= sqrt(y1.^2+z1.^2);
d8=d7;
dref1=d1+d2; % distance of reflection 1
dref2=d3+d4; % distance of reflection 2
dref3=d5+d6; % distance of reflection 3
dref4=d7+d8; % distance of reflection 4
dt0=dlos/c; % time delay of LOS
dt1= dref1/c; % time delay of reflection 1
dt2= dref2/c; % time delay of reflection 2
dt3= dref3/c; % time delay of reflection 3
dt4= dref4/c; % time delay of reflection 4
Ttr=0.158*1e-6; % time period of the transmitter
T = (1.855 -0.1)* 1e-7 ; %Time period with threshold effect
Dtr= 1/Ttr; % Data rate of the transmitter
Dmax= 1/T; % max.Data rate
Tr= A/2.* square(B*t)+A/2; % to generate pulse signal
subplot(4,1,1)
plot(t, Tr, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title(' Verici ')
grid on;
LOS= A/(2* dlos.^2)*square(B*(t-dt0))+ A/( 2* dlos.^2);
subplot(4,1,2)
plot(t, LOS, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('LOS')
grid on;
ref1= R/(2* dref1.^2)* square(B*(t-dt1))+R/(2* dref1.^2);
ref2= R/(2* dref2.^2)*square(B*(t-dt2))+ R/(2* dref2.^2);
ref3= R/(2* dref3.^2)*square(B*(t-dt3))+ R/(2* dref3.^2);
ref4= R/(2* dref4.^2)*square(B*(t-dt4))+ R/(2* dref4.^2);
ref=ref1+ref2+ ref3+ ref4;
subplot(4,1,3)
plot(t,ref, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('yansıyan')
grid on;
```

```

Rec=ref +LOS;
subplot(4,1,4)
plot(t, Rec, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Alıcı')
grid on;
% To make the tables we create these codes
disp('Table of distances for reflection 1'), disp('      d1      d2
dref1      ');
disp([d1' ,d2' ,dref1'])
disp('Table of distances for reflection 2'), disp('      d3      d4
dref2      ');
disp([d3' ,d4' ,dref2'])
disp('Table of distances for reflection 3'), disp('      d5      d6
dref3      ');
disp([d5' ,d6' ,dref3'])
disp('Table of distances for reflection 4'), disp('      d7      d8
dref4      ');
disp([d7' ,d8' ,dref4'])
disp('Table of time delay'), disp('      ?t0      ?t1      ?t2
?t3      ?t4      ');
disp([dt0' , dt1' ,dt2' , dt3' , dt4'])
disp('data rate'), disp('      Dmax      ');
disp(Dmax)
disp('Table of the value of the amplitude signals'), disp('      Tr
LOS      ref1      ref2      ref3      ref4      ref      Rec  ');
disp([Tr' ,LOS' ,ref1' ,ref2' ,ref3' ,ref4' ,ref' , Rec'])
% To show the figures in separately view
Tr= A/2.* square(B*t)+A/2;
figure;
plot(t,Tr, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title(' Verici ')
grid on;
LOS= A/(2* dlos.^2)*square(B*(t-dt0))+ A/( 2* dlos.^2);
figure;
plot(t,LOS, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('LOS')
grid on;
ref1= R/(2* dref1.^2)* square(B*(t-dt1))+R/(2* dref1.^2);
figure;
plot(t,ref1, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Birinci yansıyan sinyal')
grid on;
ref2= R/(2* dref2.^2)*square(B*(t-dt2))+ R/(2* dref2.^2);
figure;
plot(t,ref2, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('İkinci yansıyan sinyal')
grid on;
ref3= R/(2* dref3.^2)*square(B*(t-dt3))+ R/(2* dref3.^2);
figure;
plot(t,ref3, 'black')
xlabel(' Zaman ')

```

```

ylabel('Gerilim')
title('Üçüncü yansıyan sinyal')
grid on;
ref4= R/(2* dref4.^2)*square(B*(t-dt4))+ R/(2* dref4.^2);
figure;
plot(t,ref4, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Dördüncü yansıyan sinyal')
grid on;
ref=ref1+ref2+ ref3+ ref4;
figure;
plot(t,ref, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title(' Toplam yansıyan sinyaller ')
grid on;
Rec=ref +LOS;
figure;
plot(t,Rec, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Toplam alıcı sinyaller')
grid on;
% By using threshold
[Recsort]=sort(Rec);
ind0=find(Recsort==0);
ZerosSize=size(ind0,2);
RecSize=size(Rec,2);
CutVal=Recsort(ZerosSize+1);
v=zeros(1,RecSize);
k=1;
for i=1:RecSize
    val=Rec(i);
    if val>=CutVal
        v(i)=Rec(i);
        t1(k)=t(i);
        k=k+1;
    end
end;
figure;
plot(t,v, 'black');
ylim([0 0.009]);
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Eşik etkisi ile alıcı sinyali')
grid on;

```

Maksimum OOK ile durum 1'in MATLAB kodu

```
B=170e6; % bit/sec
A=1; % amplitude
t=0: 1e-9: 1e-7;
c=3e8;
x1=2;
x2=3;
y1=1;
y2=4;
z1=1.5;
R=0.8; % reflection coefficient
dlos=3; % distance of LOS
d1=sqrt(x1.^2+z1.^2);
d2=d1;
d3= sqrt(x2.^2+z1.^2);
d4=d3;
d5= sqrt(y2.^2+z1.^2);
d6=d5;
d7= sqrt(y1.^2+z1.^2);
d8=d7;
dref1=d1+d2; % distance of reflection 1
dref2=d3+d4; % distance of reflection 2
dref3=d5+d6; % distance of reflection 3
dref4=d7+d8; % distance of reflection 4
dt0=dlos/c; % time delay of LOS
dt1= dref1/c; % time delay of reflection 1
dt2= dref2/c; % time delay of reflection 2
dt3= dref3/c; % time delay of reflection 3
dt4= dref4/c; % time delay of reflection 4
Ttr=0.158*1e-6; % time period of the transmitter
T = (1.855 -0.1)* 1e-7 ; %Time period with threshold effect
Dmr= 1/Ttr; % Data rate of the transmitter
Dmax= 1/T; % max.Data rate
Tr= A/2.* square(B*t)+A/2; % to generate pulse signal
subplot(4,1,1)
plot(t, Tr, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Verici')
grid on;
LOS= A/(2* dlos.^2)*square(B*(t-dt0))+ A/( 2* dlos.^2);
subplot(4,1,2)
plot(t, LOS, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('LOS')
grid on;
ref1= R/(2* dref1.^2)* square(B*(t-dt1))+R/(2* dref1.^2);
ref2= R/(2* dref2.^2)*square(B*(t-dt2))+ R/(2* dref2.^2);
ref3= R/(2* dref3.^2)*square(B*(t-dt3))+ R/(2* dref3.^2);
ref4= R/(2* dref4.^2)*square(B*(t-dt4))+ R/(2* dref4.^2);
ref=ref1+ref2+ ref3+ ref4;
subplot(4,1,3)
plot(t,ref, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title(' Toplam yansıyan sinyaller')
grid on;
Rec=ref +LOS;
subplot(4,1,4)
```

```

plot(t, Rec, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Alıcı')
grid on;
% To make the tables we create these codes
disp('Table of distances for reflection 1'), disp('      d1      d2
dref1      ');
disp([d1' ,d2' ,dref1'])
disp('Table of distances for reflection 2'), disp('      d3      d4
dref2      ');
disp([d3' ,d4' ,dref2'])
disp('Table of distances for reflection 3'), disp('      d5      d6
dref3      ');
disp([d5' ,d6' ,dref3'])
disp('Table of distances for reflection 4'), disp('      d7      d8
dref4      ');
disp([d7' ,d8' ,dref4'])
disp('Table of time delay'), disp('      dt0      dt1      dt2
dt3      dt4      ');
disp([dt0' , dt1' ,dt2' , dt3' , dt4'])
disp('data rate'), disp('      Dmax      ');
disp(Dmax)
disp('Table of the value of the amplitude signals'), disp('      Tr
LOS      ref1      ref2      ref3      ref4      ref      Rec      ');
disp([Tr' ,LOS' ,ref1' ,ref2' ,ref3' ,ref4' ,ref' , Rec'])
% To show the figures in separately view
Tr= A/2.* square(B*t)+A/2;
figure;
plot(t,Tr, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Verici')
grid on;
LOS= A/(2* dlos.^2)*square(B*(t-dt0))+ A/( 2* dlos.^2);
figure;
plot(t,LOS, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('LOS')
grid on;
ref1= R/(2* dref1.^2)* square(B*(t-dt1))+R/(2* dref1.^2);
figure;
plot(t,ref1, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Birinci yansıyan sinyal')
grid on;
ref2= R/(2* dref2.^2)*square(B*(t-dt2))+ R/(2* dref2.^2);
figure;
plot(t,ref2, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('ikinci yansıyan sinyal')
grid on;
ref3= R/(2* dref3.^2)*square(B*(t-dt3))+ R/(2* dref3.^2);
figure;
plot(t,ref3, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Üçüncü yansıyan sinyal')

```

```

grid on;
ref4= R/(2* dref4.^2)*square(B*(t-dt4))+ R/(2* dref4.^2);
figure;
plot(t,ref4, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Dördüncü yansıyan sinyal')
grid on;
ref=ref1+ref2+ ref3+ ref4;
figure;
plot(t,ref, 'black')
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Toplam yansıyan sinyaller ')
grid on;
Rec=ref +LOS;
figure;
plot(t,Rec, 'black')
ylim([0 0.25]);
xlabel(' Zaman ')
ylabel('Gerilim')
title('Toplam alıcı sinyaller')
grid on;
% By using threshold
[Recsort]=sort(Rec);
ind0=find(Recsort==0);
ZerosSize=size(ind0,2);
RecSize=size(Rec,2);
CutVal=Recsort(ZerosSize+1);
v=zeros(1,RecSize);
k=1;
for i=1:RecSize
    val=Rec(i);
    if val>=CutVal
        v(i)=Rec(i);
        t1(k)=t(i);
        k=k+1;
    end
end
figure;
plot(t,v, 'black');
ylim([0 0.0109]);
xlabel('Zaman')
ylabel('Gerilim')
title('Eşik etkisi ile alıcı sinyali')
grid on;

```

ÖZGEÇMİŞ



Mohammed Raheem M. Shareef ALZUHAIRI 27.10.1969 tarihinde Irak'ta doğdu. Khanaqeen Lisesi'ni bitirdikten sonra Almustansiriya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 1992 yılında mezun oldu. 2017 yılında OMÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları Elektrik.

İletişim Bilgileri

E mail : mohammedalzuhairi1969@gmail.com

Telefon : 0090 5384114608

Öğrenci No : 17211390

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-3298-0037>

Yayınlanmış Çalışmalar:

Prof. Dr. Malkolm CLARKE and Mohammed ALZUHAIRI "Study and analysis the multipath effect of the data transmission over Li-Fi system,". 2019 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE), IEEE, 294-297, 16-17 April 2019.