

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE RENK
KAYDIRMALI ANAHTARLAMA TEKNİĞİNİN UYGULANMASI**

Hasan Ziya DİNÇ

Yüksek Lisans Tezi

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2023

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE RENK
KAYDIRMALI ANAHTARLAMA TEKİNİĞİNİN UYGULANMASI**

Tez Yazarı
Hasan Ziya DİNÇ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EROL

TEMMUZ 2023
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Görünür Işık Haberleşme Sistemlerinde Renk Kaydırmalı Anahtarlama Tekniğinin Uygulanması
Yazarı:	Hasan Ziya DİNÇ
İlk Teslim Tarihi:	09.06.2023
Savunma Tarihi:	11.07.2023

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EROL Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza Onayladım
Başkan:	Dr. Öğr. Üyesi Sencer ÜNAL Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Ali ARSERİM Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Görünür Işık Haberleşme Sistemlerinde Renk Kaydırmalı Anahtarlama Tekniğinin Uygulanması” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

11.07.2023

Hasan Ziya DİNÇ



ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında bilgisi, birikimi ve teknik desteğiyle beni en iyi şekilde yönlendiren danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Yavuz EROL' a ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Hasan Ziya DİNÇ

ELAZIĞ, 2023



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Görünür Işık Haberleşmesi Kavramı	1
1.2. Tezin Kapsamı.....	3
1.3. Literatür Taraması.....	3
2. Lİ-Fİ TEKNOLOJİSİNDE MODÜLASYON TEKNİKLERİ.....	7
2.1. Tek Taşıyıcı Modülasyonu (SCM).....	7
2.2. Çoklu Taşıyıcı Modülasyonu (MCM).....	8
2.3. Renk Alanı Modülasyonu.....	9
3. RENK UZAYI.....	11
3.1. RGB Renk Uzayı.....	11
3.2. HSV Renk Uzayı.....	14
4. PANEL TEKNOLOJİSİ.....	15
5. MATERYAL VE METOT.....	17
5.1. Haberleşme Sisteminin Genel Yapısı	17
5.2. Verici Tasarımı.....	20
5.3. Alıcı Tasarımı	24
5.3.1. Görüntü İşleme Algoritması	27
6. TESTLER VE BULGULAR.....	30
6.1. Verici Devre Optimizasyonu.....	33
6.2. Alıcı Devre Optimizasyonu.....	36
6.3. Renk Uzayının Haberleşme Performansına Etkileri	39
6.4. Spektrum Verim Analizi	43
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	44
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Görünür Işık Haberleşme Sistemlerinde Renk Kaydırmalı Anahtarlama Tekniğinin Uygulanması

Hasan Ziya DİNÇ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Temmuz 2023, Sayfa: xii + 46

Bu tez çalışmasında görünür ışık haberleşme sistemlerinde karşılaşılan sorunlara yeni yöntem ve tekniklerle çözümler sunulmuştur. Görünür ışık haberleşme sistemlerinde derin öğrenme, yapay sinir ağları vb. teknolojilerin kullanılmasına referans olacak çalışmalar yapılmıştır. Mobil telefonun kamerası alıcı olarak, bilgisayara bağlı LCD monitör ise verici olarak kullanılmıştır. Kod çözme işleminin renk uzayları ile yapılmasının haberleşme performansına etkisi incelenmiştir. Haberleşme sisteminde yazılımlar Python dili ile hazırlanmıştır. Görüntü işleme tekniği ile görünür ışık haberleşmesinde sorun teşkil eden gürültü sorununun alternatif çözüm sunulmuştur. Haberleşmede alıcı-verici mesafesinin veri iletim hızına etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görünür Işık Haberleşmesi, Renk Kaydırmalı Anahtarlama, Mobil Kamera

ABSTRACT

Application Of Color Shift Keying Technique In Visible Light Communication Systems

Hasan Ziya DİNÇ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Defence Technologies

July 2023, Pages: xii + 46

In this thesis, solutions to the problems encountered in visible light communication systems are presented with new methods and techniques. Deep learning in visible light communication systems, artificial neural networks, etc. Studies have been carried out to reference the use of technologies. The camera of the mobile phone was used as the receiver, and the LCD monitor connected to the computer was used as the transmitter. The effect of decoding with color spaces on communication performance has been investigated. The software in the communication system is prepared in Python language. An alternative solution to the problem of daylight, which is a problem in visible light communication with image processing technique, is presented. The effects of the transmitter-receiver distance on the data transmission rate in communication were investigated.

Keywords: Visible Light Communication, Color Shift Keying, Mobile Camera

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Radyo frekansı (RF) spektrumu	2
Şekil 2.1. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) 1931 XY için kromatik diyagram	9
Şekil 2.2. Li-Fi'de CSK modülasyonu için genel blok diyagram	10
Şekil 3.1. Yağın olarak kullanılan Renk Uzaylarının sınıflandırılması.....	11
Şekil 3.2. RGB renk uzayının 3 boyutlu matris olarak gösterilmesi	12
Şekil 3.3. RGB renk uzayının 5 farklı noktadan alınan değerleri	13
Şekil 3.4. HSV renk uzayının silindirik biçimde gösterilmesi	14
Şekil 4.1. LCD ekranın tam karanlık ortamda RGB değerleri.....	15
Şekil 4.2. LCD ekranın renk geçiş yanıtı.....	16
Şekil 5.1. Haberleşme sisteminin genel görünümü.....	18
Şekil 5.2. Uygulama kapsamı.....	19
Şekil 5.3. Haberleşme sisteminin blok şeması.....	19
Şekil 5.4. Bileşenler	20
Şekil 5.5. Python ile tasarlanmış verici-mobil uygulamalar	21
Şekil 5.6. LCD Panel için 1 pikselin beyaz renk çıktısı.....	22
Şekil 5.7. Monitör ekranda oluşturulan 16 kanal.....	22
Şekil 5.8. Verici monitörün kanal koordinatları.....	23
Şekil 5.9. Monitör verici blok şeması	23
Şekil 5.10. Alıcı ünite ekipmanları.....	24
Şekil 5.11. Alıcı ünite piksel değerlerinin Canvas'a yazılmış hali	25
Şekil 5.12. Alıcı blok şeması.....	26
Şekil 5.13. Ön testte kullanılan bileşenler	26
Şekil 5.14. Alıcı için tasarlanan genel algoritma	27
Şekil 5.15. Görüntü İşleme ile maskeleme.....	28
Şekil 5.16. Alıcıda yeniden boyutlandırılmış görüntünün kanal koordinatları.....	29
Şekil 6.1. Test sisteminin blok şeması.....	30
Şekil 6.2. OpenCv ile görüntü alma	31
Şekil 6.3. Alıcı Devre Python Yazılımı.....	31
Şekil 6.4. Canvas seri monitörde hata mesajı.....	32
Şekil 6.5. Canvas seri monitörde çözülmüş dekode edilmiş bitler	33
Şekil 6.6. Monitör Açısı	34

Şekil 6.7. Verici kanalların boyut ve renk değerleri	35
Şekil 6.8. Lamba ile aydınlatılmış ortam.....	37
Şekil 6.9. Gün ışığı ile aydınlatılmış ortam.....	38
Şekil 6.10. Hatalı bit sayısı	41
Şekil 6.11. Renk uzayları için kod çözme algoritması.....	43



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 6.1. RGB renk uzayı için hatalı bit sayıları.....	39
Tablo 6.2. HSV renk uzayı için hatalı bit sayıları	40



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

f	: Frekans
Mbps	: Bir saniyedeki megabit sayısı
Gbps	: Bir saniyedeki gigabit sayısı
GHz	: Gigahertz
m	: Metre
cm	: Santimetre
Hz	: Hertz
GB	: Gigabayt

Kısaltmalar

CIGS	: Bakır İndiyum Galyum Diselenit (Cu(InGe)Se_2)
LED	: Işık yayan diyot
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
Li-Fi	: Light Fidelity
RF	: Radyo Frekansı
VLC	: Visible Light Communication
OOK	: On-Off Keying
CCD	: Charge Coupled Device
CMOS	: Complimentary Metal Oxide Semiconductor
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
PPM	: Pulse-Position Modulation
UI	: Kullanıcı arayüzü
VPPM	: Variable Pulse-Position Modulation
MEA	: Hareketli ortalama algoritması
BER	: Bit Error Rate
RGB	: Red-Green-Blue
BGR	: Blue-Green-Red
HSV	: Hue-Saturation-Value
SCM	: Tek taşıyıcı modülasyonu
MCM	: Çok taşıyıcı modülasyonu
PAM	: Pulse-Amplitude Modulation
PD	: Boya duyarlı güneş pilleri
ISI	: Semboller arası girişim
PWM	: Pulse-Width Modulation
FSK	: Frequency-Shift Keying Modulation
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
SE	: Spektrum verimliliği
DCO-OFDM	: DC biased optical OFDM
ACO-OFDM	: Asymmetrically clipped optical OFDM
ADO-OFDM	: Asymmetrically clipped-DC biased optical OFDM
CSK	: Color Shift Keying

CIM	: Compact Intensity Modulation
LCD	: Liquid Crystal Display
OLED	: Organik light-emitting diode
HDMI	: High Definition Multimedia Interface
TN	: Twisted Nematic
ASCII	: American Standart Code for Information Interchange
QR	: Quick Response
NFC	: Near Field Communication



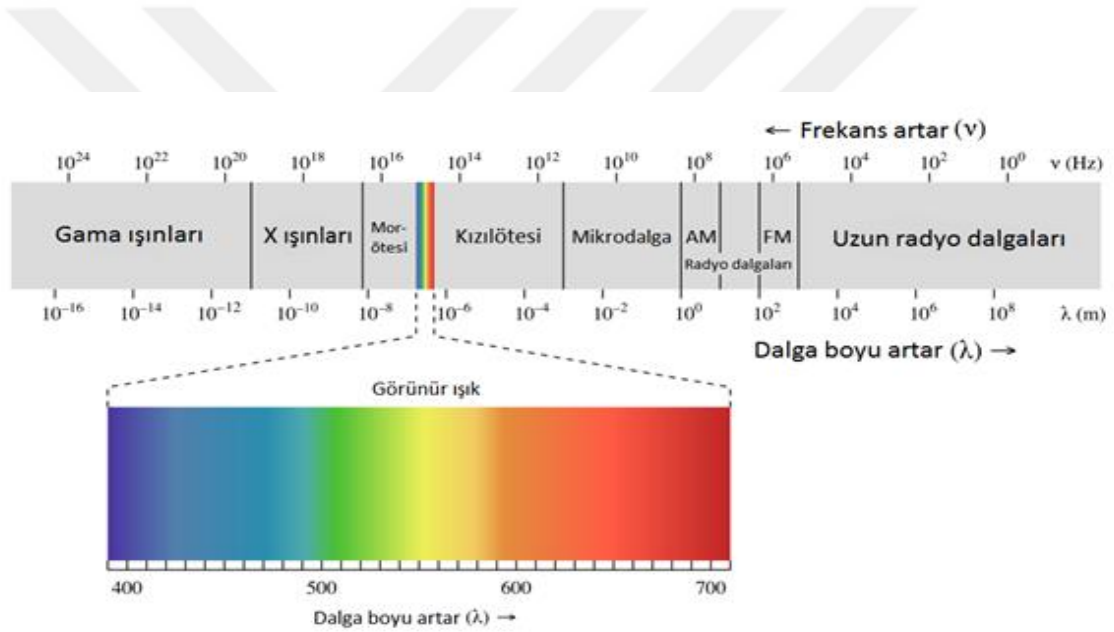
1. GİRİŞ

1.1. Görünür Işık Haberleşmesi Kavramı

Günümüzde internet kullanım yoğunluğu hızla artmaktadır. Bilim insanları bu yoğunluğu kaldıracak yeni yöntemler araştırmaktadır. İnternet kullanımının çoğu kablosuz olarak yapılmaktadır. İletişimin geleceğinin daha sağlıklı, güvenilir ve verimli olması için mevcut Wi-Fi teknolojisi yeterli değildir. 5G teknolojisi gibi alanlar, kanal sayısının yetersiz olması, internet hızının istenen düzeyde olmaması, enerji veriminin az olması, elektromanyetik kirlilik, nesnelerin interneti için veri hızının düşük olması, radyo frekansının kullanımının kısıtlı olduğu yerlerde haberleşme sıkıntısı yaşanması gibi nedenler bilim insanlarını arayışa sokmuştur. Bu sorunların düzeltilmesi için bazı çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin spektrum kullanımını iyileştirmek için uzamsal kaynakları araştırmak, derin öğrenme modeli ile spektrum kullanılabilirliğini düzenlemek vb. birçok çalışma yürütülmektedir. Fakat 5G, nesnelerin interneti, hızla artan cihaz sayısı gibi nedenlerden dolayı yapılan çalışmalar bir noktaya kadar iyileştirme sağlamıştır. Bu nedenle kablosuz haberleşmede 10 GHz'in üzerindeki radyo spektrumu incelemeye alınmıştır. Radyo Frekans (RF) spektrumunun tüm spektrumun yalnızca bir kısmını oluşturduğu bilinmektedir. Bahsi geçen bu sorunlara karşı çözüm olarak önerilen yöntemlerden birisi görünür ışık haberleşme teknolojisidir. Görünür ışık teknolojisinin istenen hız, kanal kapasitesi, güvenlik, çevre dostu olması vb. özellikleri sağladığı deneysel olarak gözlemlenmiştir. Birçok alanda önceki teknolojilerden üstün olmasıyla savunma teknolojisinin de dikkatini çekmiş ve araştırmaların konusu olmuştur. Wi-Fi teknolojisinin yerini alması öngörülen görünür ışık haberleşme teknolojisi; Wi-Fi'ye uygulanan modülasyon yöntemlerine uyumlu olması görünür ışık haberleşmesinin modülasyon teknikleri hakkında araştırma kolaylığı sağlamıştır. Derin öğrenme ile Wi-Fi haberleşme sisteminin birçok problemi hızlı bir şekilde çözülmüştür. Derin öğrenme klasik yöntemleri yakalanmış veya geride bırakmıştır. Buradan yola çıkılarak görünür ışık teknolojisi için de ilerleyen süreçte derin sinir ağlarının kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

5G hücresel haberleşmesinin erişimini sağlayan potansiyel teknolojilerden biri olarak kabul edilen Görünür Işık Haberleşmesi (VLC), kablosuz haberleşmenin çift yönlü, ultra geniş bantlı, enerji açısından verimli ve yüksek hızlı bir araçtır. Şekil 1.1'de RF spektrumun tüm spektrum yalnızca bir kısmını oluşturduğu görülmektedir. VLC, kızılötesi, yakın-ultraviyole, görünür spektruma yakın bir aralığı 400-800 THz frekans aralığında görünür ışık yardımıyla elektromanyetik spektrumun bir parçası olan ışığı kullanır. RF dalgalarının yerine iletim kaynağı olarak diyot (LED) kullanılması birçok ekstra özelliğin yanı sıra radyo frekansının bant genişliği sınırlamalarına da çözüm getirmektedir. Li-Fi olarak da bilinen görünür ışık haberleşmesi, RF

haberleşmesine mükemmel eşlik eder hatta onunla değiştirilebilir, bu da Li-Fi'nin geleceğini daha ucuz ve güvenilir bir çözüm olarak parlak hale getirir. Yüksek frekans kullanımı nedeniyle haberleşme daha kısa bir mesafede yapılır ve iletim yolundaki engellere karşı hassastır. Bununla birlikte, Wi-Fi'nin olduğu yerlerde hizmet sunmasını sağlayan sıfır elektromanyetik parazit dahil birçok avantajı vardır. Ayrıca ışık duvarlardan geçemediği için daha güvenilir haberleşme sağlar. Görünür ışık haberleşmesi, geleceğin kablosuz haberleşme ağlarını gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan teknoloji boşluğunu doldurmak için hem endüstri hem de akademi tarafından uygulanabilir bir çözüm olarak kabul edilmiştir. VLC sistemleri, binaların içindeki mevcut aydınlatma altyapısı kullanılarak geliştirilebilir ve kısa mesafeli uygulamalar için sağlam bir veri bağlantısı sağlayabilir. VLC, eşzamanlı aydınlatma ve veri haberleşmesi için aynı anda çalıştırılabilir.



Şekil 1.1. Radyo frekansı (RF) spektrumu [1]

Verilerin verici tarafından iletilmesi amacıyla LED'in ışığının hızlı titremesi veya aç-kapa anahtarlama (OOK) konsepti yaygın olarak kullanılır. LED'lerin titreme hızı, gözlenmeyecek şekilde ayarlanır. LED'ler, yarı iletken diyottaki enerji seviyeleri değiştiğinde ışık yayar. Enerjideki bu değişiklik, ışık olarak yayılan fotonlar üretir. Yayılan ışığın dalga boyu, enerji seviyelerindeki farka ve LED çipini oluşturmak için kullanılan yarı iletken malzemenin tipine bağlıdır. LED'ler tipik olarak 100.000 saatten fazla olan uzun kullanım ömürlerinden ödün vermeden titreşime, darbelere ve ortam koşullarına dayanıklıdır.

Alıcı olarak kullanılan fotodiyot ise ışığın elektrik akımına dönüştürülmesine yardımcı olan bir cihazdır. Bu, yarı iletken malzemeden yapılmıştır ve bir p-n bağlantısı içerir, ters ön gerilimde çalışmak üzere tasarlanmıştır. Yüzey alanının artmasıyla birlikte, fotodiyotların kalıcı yanıt

süreleri vardır. Fotodiyotların, fotovoltaiik mod ve fotoiletken mod olmak üzere iki ayrı çalışma modu vardır. Fotovoltaiik modda, ışıktaki güvenilirlik doğrusal değildir ve elde edilen dinamik aralık oldukça küçüktür ve fotovoltaiik modda da en yüksek hız elde edilemez. Fotoiletken modda, ışık üzerinde çok doğrusaldır ve zıt voltajın ışık üzerinde önemli bir etkisi yoktur, ancak karanlık akım üzerinde zayıf bir etkisi vardır. Fotodiyotlar, elektronik endüstrisinde, özellikle dedektörlerde ve geniş bant genişliğine sahip optik telekomünikasyon sistemlerinde kapsamlı bir şekilde kullanılmaktadır. Alıcı olarak kullanılan diğer bir yöntem ise görüntü sensörüdür. Görüntü sensörü, optik bir görüntüyü elektronik sinyale dönüştüren elektronik, ışığa duyarlı bir cihazdır. Milyonlarca fotodiyottan oluşurlar ve dijital görüntüleme ekipmanlarında görüntü alıcısı olarak kullanılırlar. Bir görüntü sensörü, fotonların etkisine tepki verme konusunda yetkindir, böylece onları bir elektrik akımına dönüştürerek daha sonra bir analog-dijital dönüştürücüye aktarılır. Görüntü sensörleri, kamera modüllerinde ve diğer görüntüleme cihazlarında yaygın olarak kullanılır. Şu anda, en yaygın görüntü sensörleri, dijital şarj bağlantılı cihaz (CCD) veya tamamlayıcı metal oksit yarı iletken (CMOS) aktif piksel sensörleridir. Bir kamerada, bir foto elektronik görüntü sensörü, lensten geçen ışığı değişen boyutlarda fotodiyot başına yüklere dönüştürür.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışmasında alıcı olarak mobil kamera ve verici olarak ise bilgisayar monitörünün görünür ışık haberleşmesine etkileri incelenmiştir. Haberleşme sisteminin verici kısmı telefon ve bilgisayar ekranlarındaki parlaklığı ayarlayan sensör ile aynı yapıda olmasından dolayı bilgisayar monitörü seçilmiştir. Python programlama ile birlikte yüklenen grafik arayüzü kütüphanesi Tkinter ile verici tasarlanmıştır. Alıcı kısım ise telefon olarak seçilmiştir. Pydroid derleyicisi telefona yüklenmiş ve Python kodları ile telefon kamerasına erişim sağlanmıştır. Alınan veriler kamerası alıcı olarak seçilen telefonda işlenerek anlamlı hale getirilmiştir. Gündüz haberleşmesinde ortam ışığının etkileri görüntü işleme tekniği ile giderilmiştir. Görüntü işlemenin haberleşmeye etkileri incelenmiştir. Ayrıca derin öğrenme ile Li-Fi teknolojisinin uyumlu hale getirilmesi için önemli bulgulara değinilmiştir.

1.3. Literatür Taraması

2011 TED Talk'ta Edinburgh Üniversitesi'nden Profesör Harald Hass tarafından “Li-Fi” görünür ışık teknolojisi açıklanmış ve konu dünya çapında büyük ilgi görmüştür. Harald Hass'ın konuşması sonrasında birçok teknik gelişmeler yaşanmıştır. Optik haberleşmede pozitif sinyallerin kullanılması bu sistemler için kullanılabilecek olası modülasyon tekniklerini de büyük oranda sınırlamaktadır. Bu konuyla ilgili literatürde ve mevcut IEEE 802.15.7 standardında

bulunan modülasyonlar tek-taşıyıcılı sistemlerden aç-kapa anahtarlama (OOK) ve darbe-konum modülasyonu (PPM) tekniklerinin kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu tür haberleşme yöntemlerinin yüksek bant verimliliklerine ve yüksek veri hızlarına ulaşmaları mümkün olamamıştır.

Li-Fi konsorsiyumu ışığı algılamak için hem emitörler hem de fotodiyotlar olarak kırmızı, yeşil ve mavi LED'lerin kullanımını göstermiştir. 110 Mbps hızında veri gönderip alabilen bir sistem oluşturulmuştur. Tek yönlü aktarım ile 155 Mbps hıza ulaşılmıştır. Ancak bu hızlara normal LED'ler ile ulaşılmıştır. Konsorsiyum, yalnızca 5 mili-watt optik çıkış gücünde çalışırken ve alıcı uçta yüksek bant genişlikli fotodiyotlardan yararlanırken 4 Gbps'ye yakın veri hızları sağlayabilen daha iyi bir LED geliştirilmiştir. Mesafeyi artırmak amacıyla basit bir lens kullanılarak, 1,1 Gbps hızlarda 10 metre mesafeye veri gönderebilmiştir. Daha yakın zamanlarda, Oxford Üniversitesi'ndeki araştırmacılar laboratuvar ortamında 224 Gbps'lik çift yönlü hızlara ulaşmak için Li-Fi kullanmış ve 18 filmin (her biri 1,5 GB) bir saniye içerisinde indirilmiştir [2].

Literatürdeki önemli bir çalışmada, donanım sistemi android telefona yazılmış uygulama ile sağlanmıştır. İkili verilerin taşıyıcısı olarak android cihazın flaş ışığı kullanılmıştır. Flaş ışıkları, beslenen aktarım verilerine göre açılır ve kapanır. Sinyalin alınması için ortam sensörü kullanılır. Bu sensör ışığın varlığını algılar. Bu, mobil ekranın parlaklığını ayarlamak için kullanılan sensörle aynıdır. Ortam ışığının yoğunluğunu algılayan bu sensör, sensörden elde edilen sürekli değerleri belirli bir eşikten geçirerek alınan sembolün “0” mı yoksa “1” mi olduğuna karar verir. Cep telefonlarının çoğu ortam sensörüne sahiptir. Verici Bölümü; iletim verileri kullanıcı tarafından uygulama UI (Kullanıcı Arayüzü) aracılığıyla beslenir, beslenen veriler Java'da (8.1) yapılan asenkron iş parçacığına aktarılır. İş parçacığı alınan verileri ikili forma dönüştürür ve oluşan ikili koda göre flaş ışığı on/off anahtarlama şemasına göre tetiklenir, yani flaş “1” iletimi için açılır ve “0 iletimi için kapalı kalır. Alıcı Bölümü, biri ön plan ve diğeri arka plan iş olmak üzere iki iş parçacığı içerir. Ön plan, ortam sensörünü çalıştırır ve verileri alır. Alımın başlatıldığını algıladığında, her iki iş parçacığı tarafından paylaşılan bir değişkeni değiştirir. Değişkende değişiklik algılandığında, arka plan iş parçacığı eylemdedir ve verilerin kodunu çözmeye başlar. Yapılan projede 20cm kadar mesaj verilerini kusursuz şekilde aldığı belirtilmiştir. Daha iyi bir proje için ise alıcı olarak kamera önerilmiş, verici olarak ise telefon ekranı önerilmiştir. Bunun sebebi, çalışmanın seri haberleşme ile yapılmasından dolayı hızın yavaşlamasıdır [3].

Başka bir çalışmada ise IEEE VLC standardında mevcut olan iki modülasyonun (renk kaydırmalı anahtarlama, değişken darbe konumu modülasyonu (VPPM)) bir kombinasyonu sunulmuştur. Önerilen kombinasyon, VPPM modülasyonundan gelen yükselen kenarları kullanarak alıcı üzerindeki senkronizasyonu basitleştirir. Ayrıca, bu sistem, senkronizasyon şeması içinde iki ek veri bitinin iletilmesine izin verir. Bir VPPM şemasının kullanılması,

modülasyonun spektral verimliliğinde bir azalmaya neden olmasına rağmen, bu gerçek senkronizasyonu basitleştirir ve güç tüketimini azaltır. Ayrıca, CMOS sensörlerinin basit bir sinyal işleme tekniğinden sonra özellikle eşdeğer sinyal gürültü oranını artırdığı kanıtlanmıştır. Bu artış, bit hata oranında bir azalmaya neden olarak sistem performansını artırır. Son olarak, önerilen sistem ayrıca, karartma gerçekleştirmek için hedef rengin yavaş varyasyonlarına ve darbe genişliğinde bir varyasyona da izin verir [4]. İlgili çalışma ve literatür araştırması, renk kaydırmalı anahtarlamamanın dezavantajlarını gidermek için diğer modülasyon yöntemleriyle hibrit tasarlandığında, renk kaydırmalı anahtarlama tekniğinin iyileştirildiğini göstermiştir.

Optik kamera tabanlı görünür ışık haberleşme teknolojisi için büyük umutlar sağlayan başka bir araştırmada ise verici olarak araç arka farları, alıcı olarak ise optik kamera kullanılmıştır. Alıcı kısımda görüntü işleme yöntemiyle bit hata oranı ölçülmüştür. Aracın hareketli olması ve kötü hava koşullarında yapılan ölçümlerde 10-20m arasında ölçümler başarılı şekilde yapılmıştır [5].

Günümüzde, Tamamlayıcı-Metal-Oksit-Yarı İletken (CMOS) kamera ile donatılmış cep telefonu zaten yaygındır ve bu da VLC'nin popüleritesine katkıda bulunmaktadır. Bu konuyla ilgili bir araştırmada sıfıra dönülmeyen OKK modülasyon yöntemi kullanılarak verici LED olarak seçilmiştir. Alıcı ise telefon kamerası olarak seçilmiştir. İletişim mesafesi 100 cm olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Açık ve koyu şeritlerin farklı genişlikleri farklı parlaklık bilgilerine sahip olduğundan, sinyali demodüle etmek için görüntünün parlaklık bilgileri kullanılmıştır. Görüntünün gri tonlamalı değerlerini (parlaklık bilgisi) elde etmek için, yakalanan renkli görüntüler grileştirilmiştir. 0 ve 255 gri tonlama değeri sırasıyla tamamen karanlığı ve tamamen parlaklığı temsil eder. Sinyal demodülasyon işleminde uygun bir sütun matrisi elde etmek gerekir. Uygun bir sütun matrisi elde etmek için her satırdaki gri tonlama değerleri azalan düzende sıralanır. Geçerli alanın iki sınır sütun matrisinin konumu belirlenir. Geçerli alandaki parlak ve koyu şeritler yüksek kontrasta sahiptir. İki sınır sütun matrisinin konumuna göre, sinyal demodülasyonu için seçilen sütun matrisinin konumunu elde edebilir ve demodülasyon yapılır. Yapılan deneyin sonucunda hareketli üs ortalaması algoritmasının (MEA) görünür ışık haberleşmesinin hem BER performansında hem de hızında iyileştirme yaptığı görülmüştür [6].

Verici ve alıcı olarak sınırlı olarak 8*8 RGB LED dizisi ve Samsung Galaxy S9 akıllı telefon kamerası kullanılan başka bir uygulamada ise RGB LED dizisi arduino ile modüle edilmiştir. Modülasyon yöntemi olarak ise aç-kapa (OOK) modülasyonu kullanılmıştır. Kamera pozlama ayarlarının etkisini araştırmak için deney sistemi kurulmuştur. Deney sonucunda deklanşör hızının artmasıyla çiçeklenme bozulmasının sistemi olumsuz etkilediği rapor edilmiştir. Çiçeklenme etkisi, kamera merceğinden geçen ışığın daha uzun süre geçmesi ve dolayısıyla gelen fotonların sayısının artmasıdır. Bundan dolayı fotonlar yayılmaya başlar ve komşu piksellerdeki fotonlarla birleşerek çiçeklenme etkisine neden olur. Bu etkinin giderilmesi için farklı

modülasyon tekniklerinin kullanılması önerilmiştir [7]. VLC kanalı üzerinden video iletimi için uygulama ve fiziksel katmanlardan oluşan bir projede ise 6.42 Mbps veri hızı elde edilmiştir [8]. Nesnelerin internetinde görünür ışık haberleşmesini kullanan bir çalışmada [9], alıcıya gelen verilerin yapay sinir ağları ile hangi sensöre ait olduğu tahmin edilip senkronizasyonda hızlı davranması sağlanmıştır. Yapay sinir ağları haberleşmede Wi-Fi teknolojisi için kullanılsa da [10] henüz yaygın değildir.



2. Li-Fi TEKNOLOJİSİNDE MODÜLASYON TEKNİKLERİ

Bilginin bir noktadan başka bir noktaya fiziksel ortam ile iletilmesine haberleşme denir. Kanal ise bu fiziksel ortama denir. Örnek olarak metal kablolar, fiber kablolar, hava vb. kanallar gösterilebilir. Sinyal üzerinde en önemli bozucu etkiler kanallarda oluşur. Bu bozucu etkiler gürültü, sönümlenme, girişim vb. olabilir. Bu bozucu etkileri ortadan kaldırmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Ve genel olarak matematiksel formüller ile bilgi taşıyan sinyalin bozucu etkilerden korunmasını amaçlamaktadır.

Li-Fi elektromanyetik radyasyona da dayandığı için RF haberleşmesinde kullanılan modülasyon teknikleri Li-Fi için de uygundur. Fakat bunun için birkaç düzenlemeye ihtiyaç duyar. Ayrıca görünür ışığın kullanılmasından dolayı kendine has bazı modülasyon formatları da kullanır.

Herhangi bir haberleşmenin özündeki teknik, ilgili ortamın farklı özelliklerinden yararlanmayı esas alır. Bu özellikler, kanal boyunca bilgi göndermek için modüle edilir ve demodüle edilir. Bu bölüm, Li-Fi'de kullanılan, bazıları RF benzerlerinden uyarlanmış ve bazıları doğasına özgü olan modülasyon tekniklerini açıklamaktadır. Li-Fi altındaki modülasyon teknikleri, Tek Taşıyıcı Modülasyon (SCM), Çoklu Taşıyıcı Modülasyon (MCM) ve Li-Fi Spesifik Renk Bazlı Modülasyon olarak sınıflandırılır.

2.1. Tek Taşıyıcı Modülasyonu (SCM)

Tek taşıyıcı modülasyonunda, tek bir kanal kullanılarak iletilen bilgilerdir. Li-Fi için yaygın olarak kullanılan SCM, açma-kapama anahtarlama (OOK), darbe konumu modülasyonu (PPM) ve darbe genlik modülasyonu (PAM) olarak sınıflandırılır.

Li-Fi sistemlerinde, verilerin verici tarafından iletilmesi amacıyla LED'in ışığının hızlı titremesi veya aç-kapa anahtarlama (OOK) konsepti kullanıldığında LED'lerin titreme hızı, gözlenmeyecek şekilde ayarlanır. LED sırasıyla 1 ve 0 için açık ve kapalı konuma getirilir. Pozitif darbelerin periyodu negatiflerin periyoduyla aynı olması için Manchester kodlamasını kullanır, ancak bu iletim için gereken bant genişliğini ikiye katlar. Fotodedektörler (PD'ler) Li-Fi sistemin alıcı tarafında açık-kapalı durumunu ikili dijital verilere dönüştürerek alınan sinyali algılamak için kullanılır. Bununla birlikte, yüksek hızlı veri iletiminde, tek taşıyıcı modülasyon (SCM), VLC kanallarının frekans seçicisinin neden olduğu semboller arası girişimden (ISI) zarar görür. ISI sayesinde, VLC kanalının ISI etkisini nötralize etmek için SCM ile birlikte karmaşık bir kanal ekolayzerine ihtiyaç duyulacaktır, bu da LED'lerin bant genişliğine bir sınırlama ekleyecektir. Beyaz LED'in tepkime süresi yavaş olmasına karşın bu modülasyonun uygulanması basit ve kolaydır.

OOK ile karşılaştırıldığında, PPM güç açısından daha verimlidir ancak daha düşük bir spektral verimliliğe sahiptir. PPM'de sembol süresi sabit tutulur ve belirli sayıda yuvaya bölünür. Sembol, belirli bir yuvada bir darbenin varlığına bağlı olarak çözülür. Değişken darbe konumu modülasyonu (VPPM) olarak adlandırılan bir PPM çeşidi, belirli bir parlaklık seviyesine göre sinyal darbelerinin genişliğini değiştirerek karartma desteği sağlayabilir. Karartma için darbe genişlik modülasyonu (PWM) yöntemlerini kullanarak karartma için daha iyi veri hızı ve uygulanabilirlik gösterir. VPPM, PPM ve PWM'nin bir kombinasyonu olmasının yanında VLC için standart modülasyon tekniğidir [11, 12].

Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK), taşıyıcı sinyalin frekansları değiştirilerek temsil edilir. İki farklı değeri (0 ve 1) iletmeden önce, iki farklı frekansın olması gerekir.

2.2. Çoklu Taşıyıcı Modülasyonu (MCM)

SCM teknikleri, daha hızlı veri iletiminde karmaşık eşitleme yöntemleri gereksinim duyar. Öte yandan, ortogonal frekans bölmeli çoğullama (OFDM) gibi MCM teknikleri, LED modülasyon bant genişliği ve VLC spektral verimini (SE) artırmak için ve kanal dağılımı ile başa çıkmak için VLC ile entegre edilmektedir.

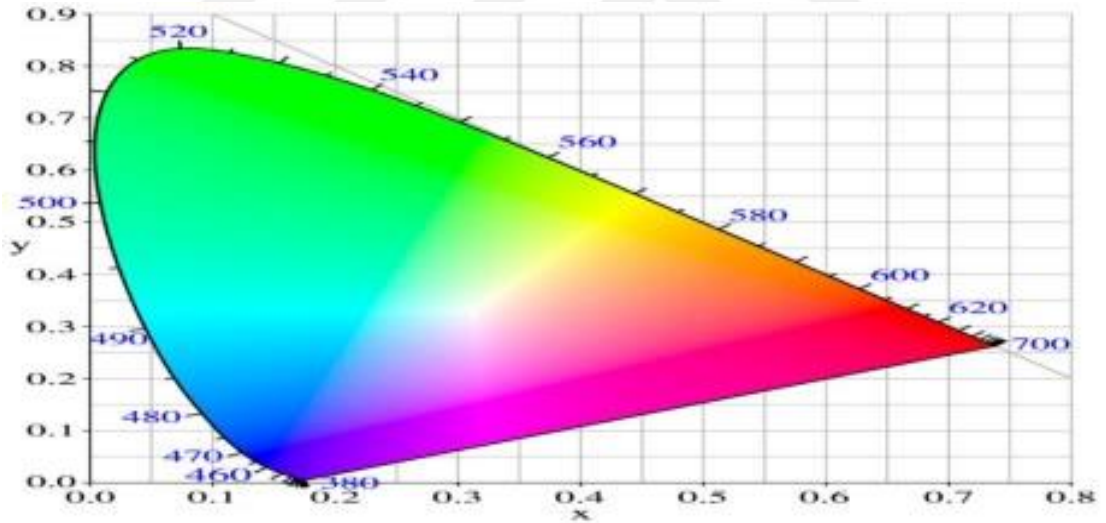
Kullanılan yöntemlere bağlı olarak, avantajları ve dezavantajları ile birçok modülasyon yöntemi kullanılmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan DC taraflı Optik-OFDM, DC yanlılığı, bir çıkış, tek kutuplu, zaman alanlı OFDM gerçekleştirmek için kullanılır. DC sapma noktası, LED'in V-L özelliğine bağlıdır. Yüksek DC yanlılığı, ideal LED'in V-L özelliği nedeniyle OFDM dalga biçiminin bir sonucu olarak bir miktar bozulma da ekler. Asimetrik Olarak Kırılmış Optik OFDM (ACO-OFDM) ise orijinal OFDM çerçevesinin çift alt taşıyıcıları atlanır ve bilgi yalnızca tek alt taşıyıcıya eklenir. Bu, negatif örneğin herhangi bir bozulma olmadan geçmesine izin veren bir simetri yaratır. Ancak kullanılabilir bant genişliğini DCO-OFDM'ye kıyasla yarı yarıya azaltır. Asimetrik Olarak Kırılmış DC taraflı Optik OFDM (ADO-OFDM), uygulanabilirlik açısından en iyi ACO-OFDM ve DCO-OFDM kombinasyonudur. Çift alt taşıyıcılara DCO-OFDM uygular ve tek alt taşıyıcılar ACO-OFDM kullanılarak modüle edilir. Bu, veri iletimi için çift ve tek alt taşıyıcıların kullanımını sağlar. Hesaplama karmaşıklığına neden olsada DCO-OFDM'ye kıyasla daha iyi güç verimliliği ve ACO-OFDM'ye kıyasla daha iyi bant genişliği sağlar [11, 12].

2.3. Renk Alanı Modülasyonu

Renk, bit kodlaması sırasında ekstra boyut elde etmek için yararlanılabilen ışığın benzersiz özelliklerinden biridir, böylece renk alanı modülasyon tekniklerini, optik kablosuz haberleşmeye özgü hale getirir. LED'in kromatik özelliklerine dayanan bir modülasyon teknikleri sınıfı sunulmaktadır.

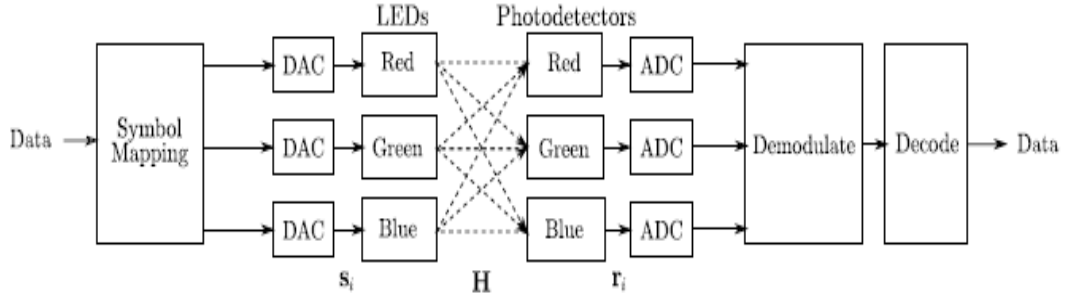
Görünür ışık haberleşmesi, Renk Kaydırmalı Anahtarlama (CSK) adı verilen özel bir modülasyon yöntemi kullanılır. CSK, diğer modülasyon şemalarında düşük olan veri hızını iyileştirmek için IEEE 802.15.7'de önerilmiştir. Sarı fosfor ve mavi LED'ler kullanılarak beyaz ışık üretilerek anahtarlama kapasitesi yavaşlar. Sonuç olarak, beyaz ışık üretmenin alternatif bir yolu, yeşil, mavi ve kırmızı olmak üzere üç ayrı LED'in kullanılmasıdır. CSK'daki modülasyon, bir RGB LED kaynağındaki üç rengin yoğunluğu kullanılarak gerçekleştirilir. Hızlı açılıp kapanma özelliğinden dolayı LED'ler görünür ışık haberleşmesi için uygun ışık kaynaklarıdır. Şekil 2.1'de x ve y eksenini, rengin kromatikliğini belirler. Kromatiklik, parlaklığından bağımsız olarak bir rengin kalitesinin nesnel bir özelliğidir.



Şekil 2.1. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) 1931 XY için kromatik diyagram [13]

Çıktı renginin genel yoğunluğunu sabit tutmak için birden çok renk kombinasyonu kullanılabilir. Her renkli LED veriyi iletir ve iletilecek sembole bağlı olarak bağımsız olarak kontrol edilir. Alıcı tarafında, rengi algılamak için foto diyottan önce kromatik filtreler kullanılır ve ilgili sinyal bit kümesine demodüle edilir. Bununla birlikte semboller arasındaki mesafenin, minimum semboller arası girişim ile maksimum optimizasyonunu gerektirir. CSK modülasyonu, yüksek hız oranları için işlevsel olsa da daha düşük iletim hızı gereksinimleri olan bazı senaryolarda, analog dijital dönüştürücüye dayalı bir mimari kullanmak, daha karmaşık ve pahalı

olduğundan büyük boyutlu bir çözümle sonuçlanır. Şekil 2.2’de CSK modülasyonu için genel blok diyagramı gösterilmiştir.

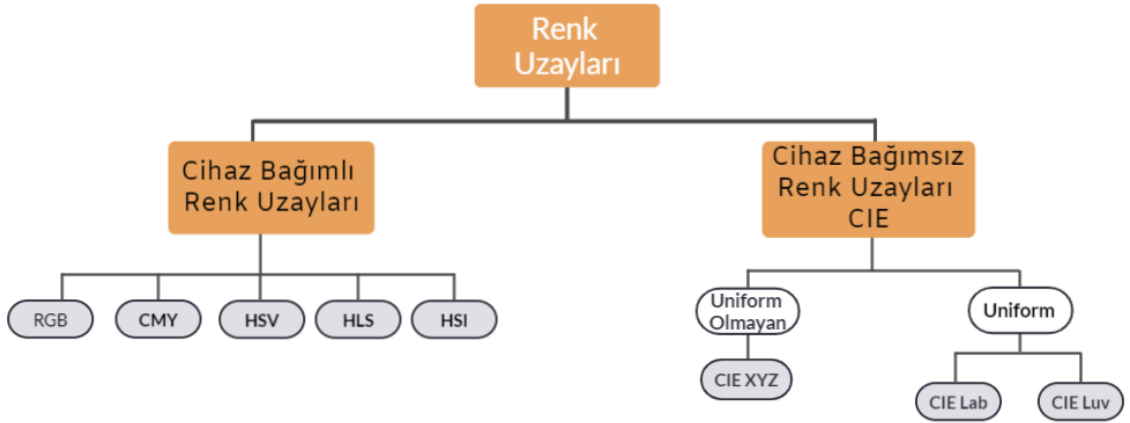


Şekil 2.2. Li-Fi’de CSK modülasyonu için genel blok diyagram [14]

Bir başka renk tabanlı modülasyon Renk Yoğunluğu Modülasyonu (CIM), verimli aydınlatma ve karartma elde etmek için ve CSK’nın karmaşıklığının üstesinden gelmek için önerilmiştir. Sabit bir ortalama iletim gücünü koruyarak, titreşimsiz aydınlatma gereksinimini karşılayan CSK için sabit güç kısıtlaması gereksinimine alternatif oluşturur. Ancak, renklerin ayrılmasıyla ilgili renk alanı modülasyonundaki maliyet ve karmaşıklık nedeniyle, OFDM’ye kıyasla alıcılar için belirli bir tasarım standardı eksikliği vardır. Bu nedenle, verimli modülasyon tekniklerini tasarlamak için çalışmalar yapılmaktadır.

3. RENK UZAYI

Geniş spektrum aralığına sahip görünür ışık spektrumunda birçok renk bulunmaktadır. Bu renkleri dijital ortamda yorumlayabilmek için birçok matematiksel işlem gerekmektedir. Bu matematiksel formüller renklerin tamamını temsil edecek şekilde oluşturulur. Matematiksel formüllerin standartlaştırılmasıyla renk uzayı kavramı oluşmuştur. Grassmann yasasına göre renk uzayını oluşturabilmek için 3 değişken gerekmektedir. Renk uzayının dijital ortamda istenen metrikleri sağlaması için çeşitli renk uzayları oluşturulmuştur. Renk uzayları cihaz bağımlı renk uzayları ve cihaz bağımsız renk uzayları olarak ikiye ayrılır. Cihazların teknik özelliklerine göre üretilen renk uzaylarına cihaz bağımlı renk uzayları denir. Cihazların teknik özelliklerinden bağımsız olarak CIE tarafından oluşturulan ve bütün renkleri kapsayan renk uzaylarına ise cihaz bağımsız renk uzayları denir. Şekil 3.1’de yaygın olarak kullanılan renk uzaylarının sınıflandırılması gösterilmiştir. Python-Opencv başlıca BGR, RGB, GRAY, HLS, HSV, LAB, LUV, XYZ, YUV vb. birçok renk uzayını görüntü işleme tekniklerinde kullanır.

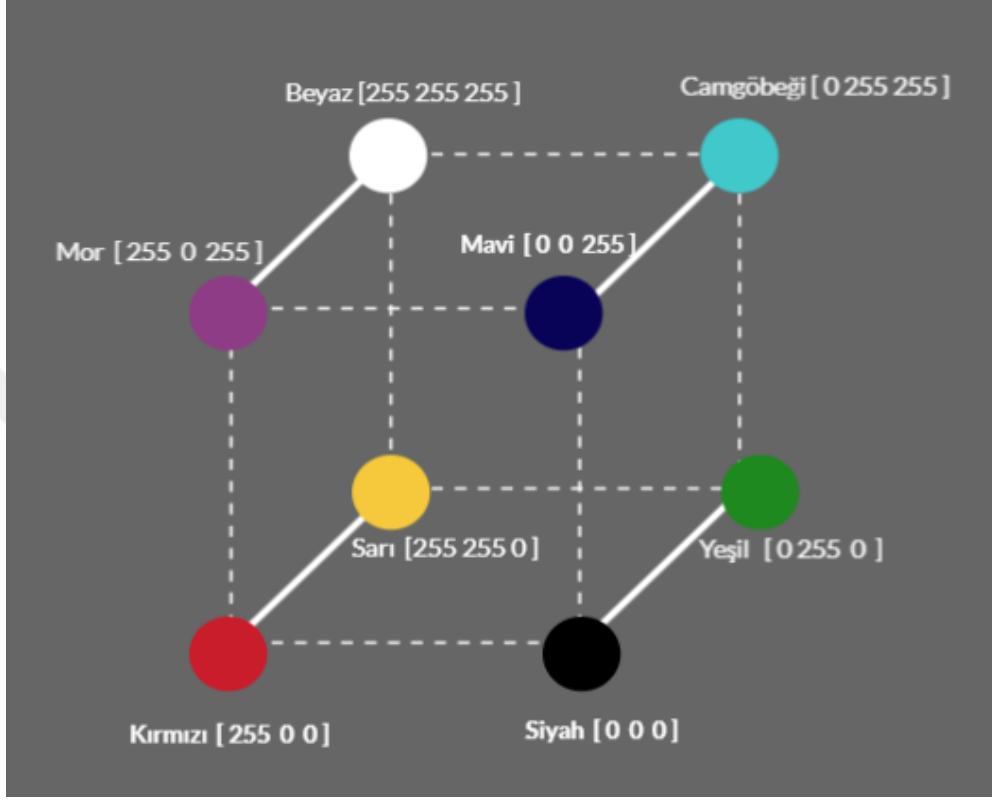


Şekil 3.1. Yaygın olarak kullanılan Renk Uzaylarının sınıflandırılması

3.1. RGB Renk Uzayı

Red-Green-Blue (RGB) renk uzayı şekildeki gibi kırmızı, yeşil ve mavi renklerin XYZ renk koordinatlarının küp içine yerleştirilmiş 3B hali olarak tasvir edilebilir. İstenen rengi elde edebilmek için bu üç ana rengin belirli değerlerde doğrusal olarak karışımı sağlanır. Koordinatın orijin değeri siyahtır. En yüksek kırmızı, mavi ve yeşil değeri ise beyazı belirtmektedir. Görüntü işlemede en çok kullanılan renk uzayıdır. Herhangi bir pikselin değeri [Kırmızı, Yeşil, Mavi] olarak dijital ortamda 0 ile 255 arasında bir değere atanır. Örneğin beyazın dijital RGB değeri [255, 255, 255] olarak belirlenir. Her renk 8 bit ve her piksel 24 bit ile temsil edilir. RGB renk

uzayında $256 * 256 * 256$ olacak şekilde 16,7 milyon farklı renk elde edilebilir. Şekil 3.2’de RGB renk uzayının matris biçimi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. RGB renk uzayının 3 boyutlu matris olarak gösterilmesi [15]

RGB renk uzayı bilgisayar monitörleri ve yazıcılar gibi cihazlarda kullanılır. Cihaz bağımlı renk uzayları farklı cihazlarda farklı değerler alabilir. Bu durum tezde kullanılan sistem üzerinden örneklendirilmiştir. Şekil 3.3’de bir cep telefonu kamerasıyla izlenen dizüstü bilgisayar monitörü ve masaüstü LCD ekran görülmektedir. Ekranlarda farklı koordinatlara yerleştirilmiş 5 siyah daire yer almaktadır. Bu dairelerin merkezinde beyaz piksel bulunmaktadır. İdeal durumda bu beyaz pikseller için renk bilgisinin [255, 255, 255] şeklinde olması gerekir. Şekil 3.3a’da bir cep telefonu kamerası ve özel bir yazılım aracılığıyla dizüstü bilgisayar ekranı belirli bir mesafeden izlendiğinde tespit edilen renk değerlerinin [236, 245, 255], [226, 245, 258], [241, 253, 255], [223, 233, 243], [221, 231, 239] şeklinde farklı değerler aldığı görülmektedir. Benzer şekilde masaüstü monitör uzaktan izlendiğinde bu değerlerin Şekil 3.3b’de görüldüğü gibi [235, 240, 236], [238, 240, 237], [239, 247, 240], [223, 225, 224], [225, 227, 226] şeklinde olduğu ve önceki değerlerden daha farklı renk bilgisi elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlar RGB renk uzayının farklı cihazlarda farklı değerler alabildiğini göstermektedir.



a) Dizüstü bilgisayar için örnek değerler



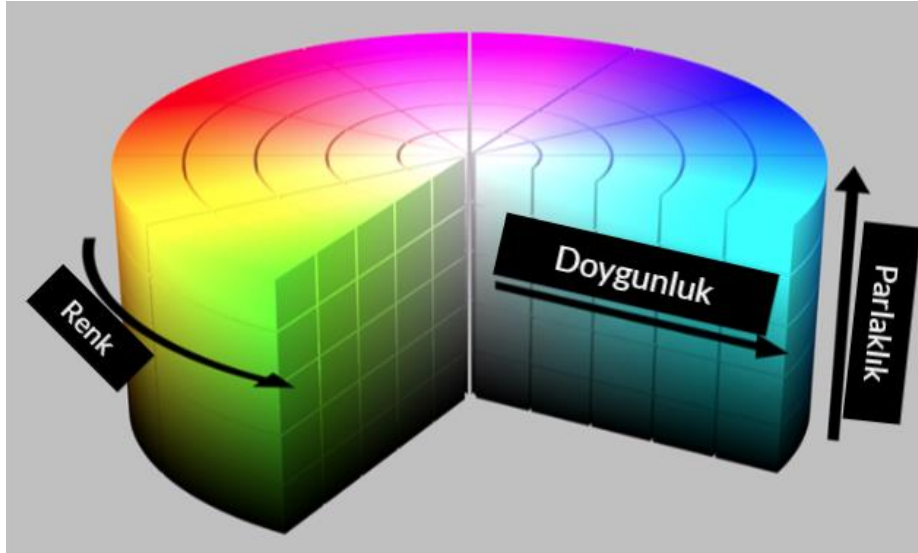
b) Masaüstü LCD ekran için örnek değerler

Şekil 3.3. RGB renk uzayının 5 farklı noktadan alınan değerleri

3.2. HSV Renk Uzayı

HSV renk uzayı Hue, Saturation ve Value terimlerinin baş harfleri kullanılarak isimlendirilmiştir. İnsan görüşüne yakın bir renk uzayı elde etmek için tasarlanmıştır. Hue terimi rengin aslını, saturation terimi rengin doygunluğunu, value terimi ise rengin parlaklığını temsil ederken doğrusal olmayan silindirik artış gösterebilir. Doygunluğun artması rengin daha canlı bir görünüme sahip olmasına neden olurken azalması ise rengin gri tonlarda görünmesine neden olur. Renkler parlaklık arttıkça beyaza yakınlaşırken azalmasıyla siyah tona yakınlaşır.

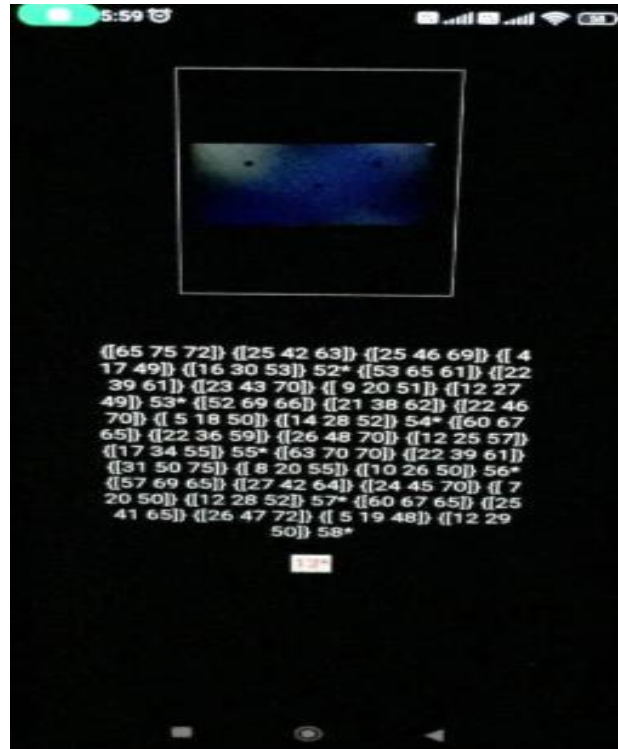
Opencv kütüphanesi HSV_FULL modülünü kullanıma sunmuştur. Her terim için 0 – 255 arasında değer atayarak daha gelişmiş görüntü işleme algoritmalarına olanak sağlar. HSV renk uzayı için diğer programlama dillerinde oluşturulmuş modüllerde hue terimi 0 – 255 arası değer alırken saturation ve value terimleri ise 0 – 100 arasında değerler alır. HSV_FULL modülünde siyah renkte doygunluk ve renk, 0 ile 255 arasında değer alırken parlaklık değeri 0 kabul edilir. Böylece siyahı ve beyazı ayırt etmek için sadece parlaklık değerine bakılması yeterlidir. Renklerin ayırt edilebilmesi için ise hue teriminin aldığı değere bakılarak RGB renk uzayından daha kolay bir algoritma sağlar. Ayrıca maskeleyme işleminin yapılması RGB renk uzayına göre daha kolaydır. Böylece çiçeklenme etkisini daha kolay azaltabiliriz. Tüm bu avantajlarına karşın HSV renk uzayı cihaz bağımlı renk uzayı olduğu için değerler cihazdan cihaza değerleri değişmektedir. Şekil 3.4'te HSV renk uzayının silindir yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.4. HSV renk uzayının silindir biçimde gösterilmesi [16]

4. PANEL TEKNOLOJİSİ

En yaygın panel teknolojisi sıvı kristal ekran anlamına gelen LCD, düz panel görüntüleme teknolojisidir. Telefonlarda, televizyonlarda ve bilgisayar monitörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. LCD panellerde piksellere sürekli aydınlatma sağlayan arka ışık kaynağı bulunmaktadır. Arka ışık kaynağı olarak ışık yayan diyot veya soğuk katot floresan lambalar kullanılır. Sürekli ışığa maruz kalan bu pikseller kırmızı, yeşil ve mavi alt piksellere sahiptir. Renk kalitesi, ekran tepkime süresi ve ekran görüş açısı için ayrı ayrı LCD teknolojileri geliştirilmiş olsa da ilerleyen süreçte ekran yenileme, renk kalitesi, ekran görüş açısı gibi metrikler LCD teknolojilerinin hepsinde ortak standart haline gelmiştir. Fakat geliştirilen LCD teknolojileri için sürekli arka ışık kaynağı sorun olarak devam etmektedir. Tüm alt piksellerin açık olmasıyla beyaz, kapalı olmasıyla siyah renk elde edilmesi beklenir. Fakat sürekli arka ışığa maruz kalmasından dolayı alt piksellerde tam siyah renk elde edilememektedir. Buda görüntü işleme çalışmalarında sorun teşkil etmektedir. Şekil 4.1'de LCD ekranların sürekli arka aydınlatmasının bozucu etkisi gösterilmiştir. Tam karanlık ortamda siyah ekrandan alınan değerlerin $[0, 0, 0]$ olması gerekirken alıcı telefonda bu değerlerin LCD ekranın sürekli arka aydınlatması sebebiyle bozulmaya uğradığı görülmektedir.



Şekil 4.1. LCD ekranın tam karanlık ortamda RGB değerleri

Sürekli arka ışık kaynağıyla aydınlatılan LCD ekran teknolojisinin Li-Fi teknolojisi için önemli bir dezavantajı ise Şekil 4.2a’da sarı renk için ve Şekil 4.2b’de kırmızı renk için LCD ekranın renk geçişlerine verdiği tepkime yanıtı gösterilmiştir.



Şekil 4.2. LCD ekranın renk geçiş yanıtı

LCD ekranların arkadan aydınlatma yöntemine alternatif olarak geliştirilen organik ışık yayan diyot (OLED), en önemli panel teknolojilerinin arasında yer alır. Organik ışık yayan diyot teknolojisinde her piksel birbirinden bağımsız olarak aydınlatılır. Böylece istenen tam siyah renklerin yanında siyahtan beyaza beyazdan siyaha renk geçişleri çok hızlı olmaktadır. Arkadan aydınlatma yöntemine kıyasla ortalama 30 kat daha hızlı renk geçişi sağlanmaktadır. Ayrıca renkler RGB renk uzayının cihazdan beklediği kontrastını sağlamaktadır. Sürekli arka aydınlatmalı yöntemi evdeki perdeyi aç-kapa yaparak odayı aydınlatmaya çalışmaya benzetebiliriz. Her piksel için ayrı ayrı aydınlatma yöntemi olan OLED teknolojisini ise odadaki lambayı aç-kapa yaparak odanın aydınlatılmasını sağlamaya benzetebiliriz.

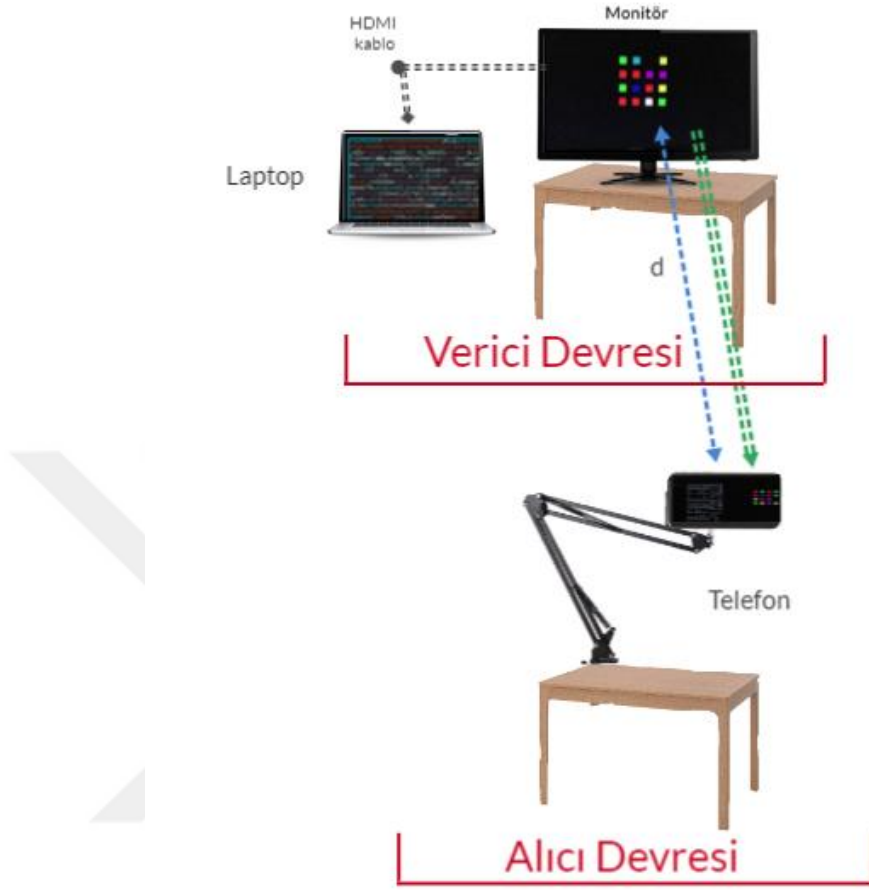
5. MATERYAL VE METOT

5.1. Haberleşme Sisteminin Genel Yapısı

Bu tez çalışmasında tasarlanan görünür ışık haberleşme sisteminde alıcı ve verici olarak iki bölüm bulunmaktadır. Alıcı kısmında Redmi Note Pro 9 telefonu kullanılmaktadır. Verici kısmında ise ASUS laptop bilgisayar ve bu bilgisayara yüksek çözünürlüklü çoklu ortam arayüzü HDMI (High Definition Multimedia Interface) kablo ile bağlı ASUS monitör kullanılmaktadır. Verici olarak kullanılan dizüstü bilgisayarda çift platform (Cross-Platform) uygulama geliştirme yazılımı kullanılmıştır. Çift platform ile yazılan uygulama IOS, Android, Windows, Linux, MacOSx, Raspberry pi vb. işletim sistemlerinde çalışmak üzere tek bir yazılımın yeterli olmasına olanak sağlayan uygulama geliştirme platformudur. Çift platformlar için birçok yazılım dili desteklense de bu tez kapsamında Python dili ile birlikte gelen Tkinter grafik arayüz kütüphanesini kullanıyoruz. Tkinter grafik arayüz kütüphanesi, mobil cihazlarda Pydroid derleyicisiyle çalışmaya olanak sağlayan özelliklere sahip olmasının yanında açık kaynak kodlu OpenCV ile uyumludur. OpenCV görüntü işleme uygulamalarında esnek kullanım alanı sağlar. Ayrıca derin öğrenme uygulamalarında da sıkça kullanılır. Bu yüzden alıcı olarak kullanılan telefona Pydroid derleyicisi yüklenmiştir. Yüklenen Pydroid derleyicisi sayesinde vericiden gönderilen veriler telefonun kamerasından alınarak alıcı telefonda görüntü işleme teknikleri ile anlamlı veriye dönüştürülmüştür. Böylece telefona ayrıca bir bilgisayar bağlanmasına gerek kalmamıştır. Önceki telefon kamerasının kullanıldığı araştırmalarda kameradan alınan görüntü, telefona bağlı bilgisayarlarda işlenerek anlamlı verilere dönüştürülürdü. Bu tez çalışmasında veriler alıcı telefonda işlenerek anlamlı verilere dönüştürüldü. Sistemin avantajı mevcut teknolojiye adapte edilmeye çalışılan Li-Fi haberleşme sistemleri için esnek bir araştırma ortamı sunmasıdır.

Tezde vericide belirlenen 16 kanaldan gönderilen verilerin renk derinliği ile resim, ses, metin dosyaları olarak alıcı devresine iletilmesi hedeflenmektedir. Alıcı ve verici kısımlar düz bir zemin üzerinde bulunmaktadır. Verici monitör ve alıcı kameranın aynı yükseklikte ve birbirlerine paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir.

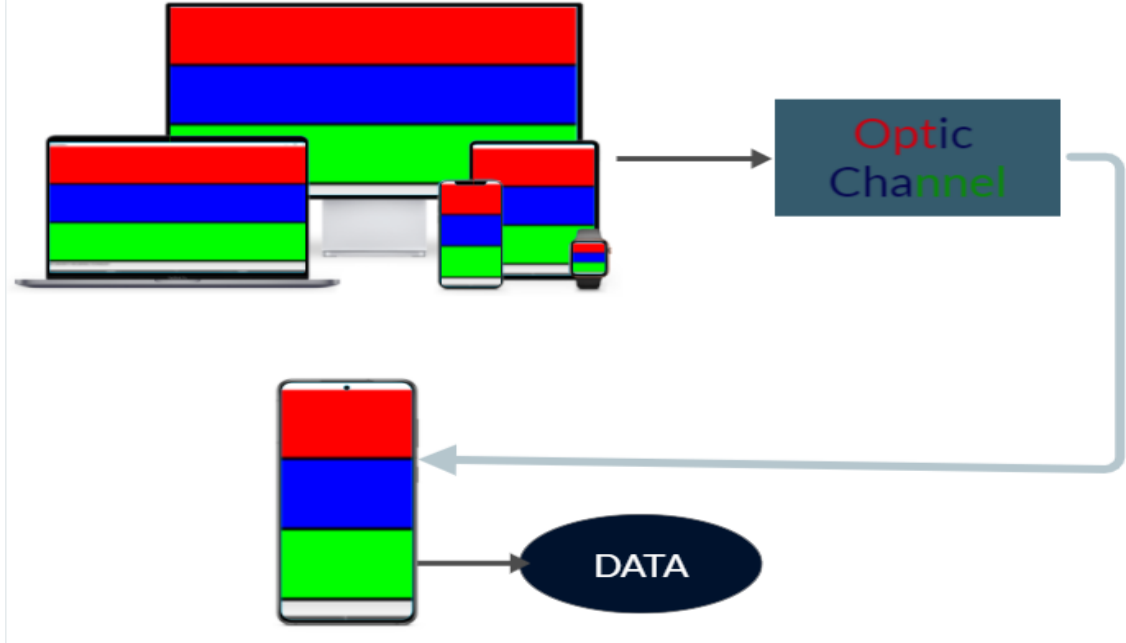
Tasarlanan haberleşme sistemin genel görünümü Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Haberleşme sisteminin genel görünümü

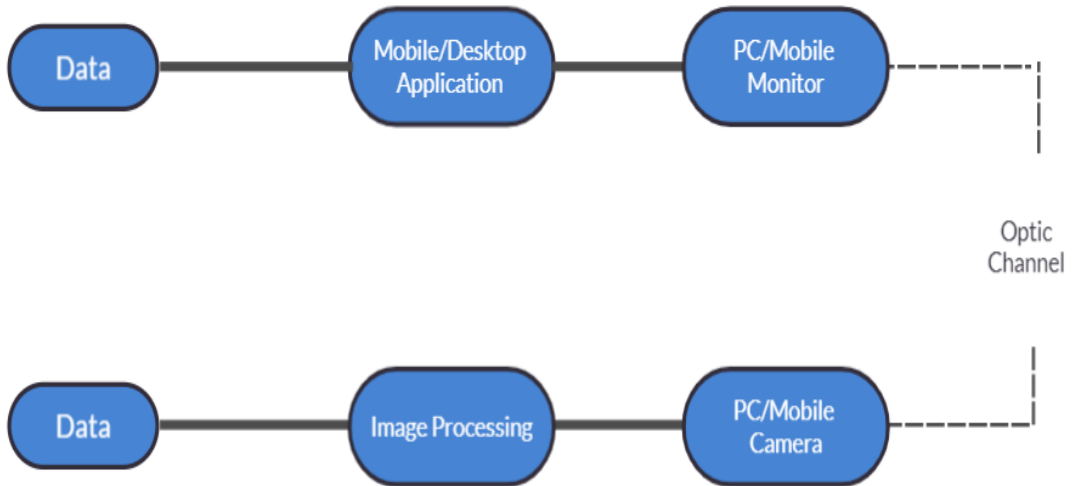
Verici devresinde ASUS bilgisayar monitörü kullanılmış olsa da bilgisayar monitörü yerine; tablet ekranı, telefon ekranı, uygulama yüklenen dijital saatlerin ekranı da kullanılabilir. ASUS monitörün panel tipi LCD’dir. Verici tarafında parlaklık, doygunluk gibi ayarlar yapılabilmektedir. Fakat bu metrikler görüntü işleme ile alıcı kısımda da ayarlanabilmektedir.

Şekil 5.2’de tasarlanan haberleşme sisteminin kullanılabileceği teknolojiler gösterilmiştir.



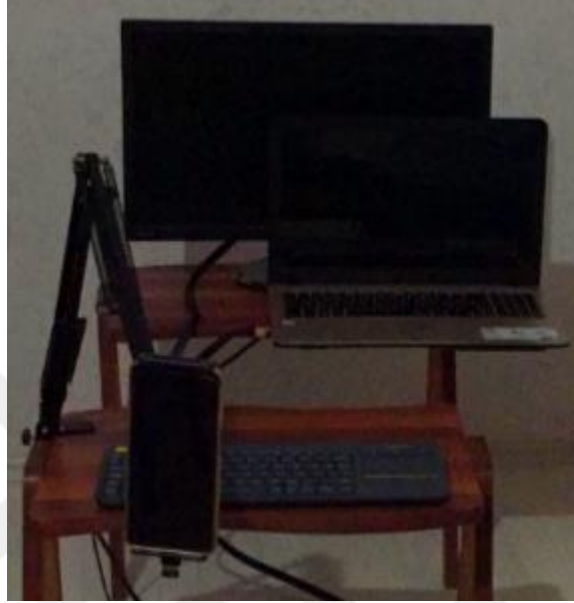
Şekil 5.2. Uygulama kapsamı

Veri paketlerinin izlenmesi için Canvas ile seri monitör oluşturulmuştur. Şekil 5.3’te sistemin blok şeması görünmektedir.



Şekil 5.3. Haberleşme sisteminin blok şeması

Sistemin tasarımında kullanılan dizüstü bilgisayar, monitör, telefon ve HDMI kablodan oluşan bileşenler Şekil 5.4'te görülmektedir. Telefon olarak Redmi Note 9 Pro kullanılmıştır. Dizüstü bilgisayar olarak AsusX540U, monitör olarak ise 21,5 inç ekran AusVP228HE kullanılmıştır.



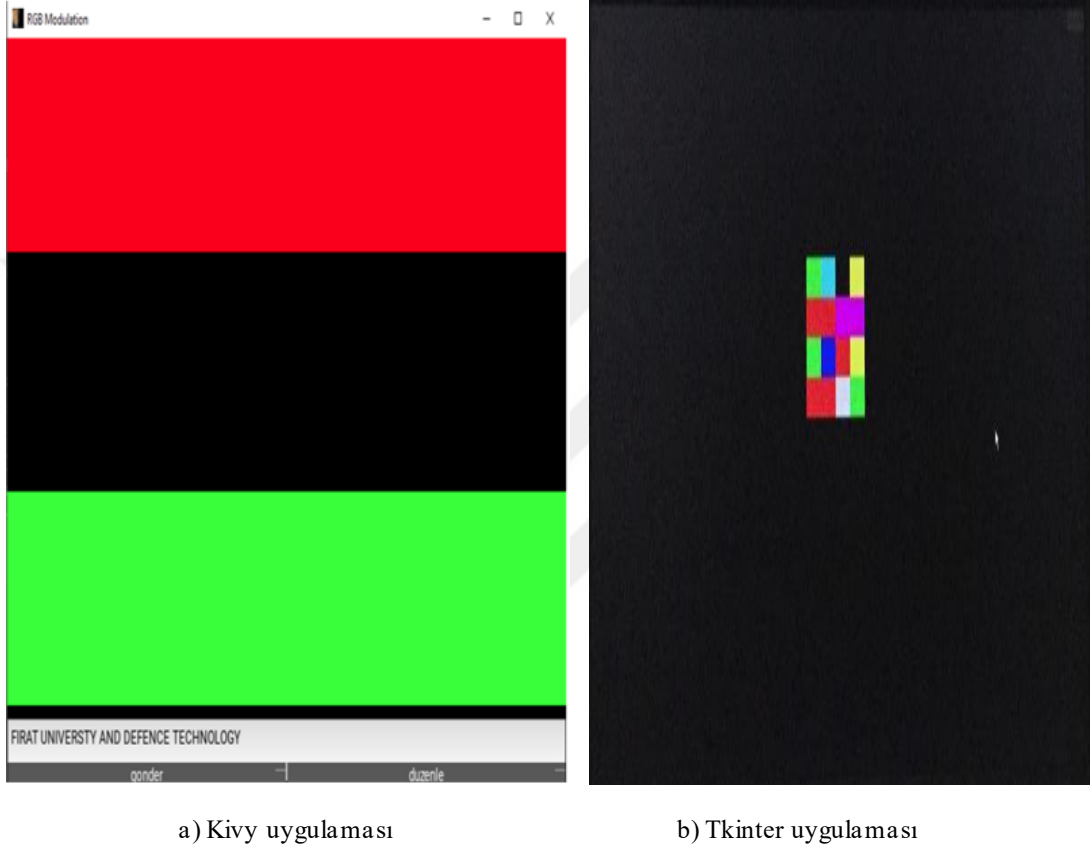
Şekil 5.4. Bileşenler

5.2. Verici Tasarımı

Bu tez araştırmasında kullanılan dizüstü bilgisayar monitörü bükülmüş nematik ekran LED (Twisted Nematic LED) 'tir. LED TN, LCD teknolojisinin ürünüdür. Pikseller LED ile aydınlatılır. TN panel yüksek parlaklık sunsa da enerji tüketimi diğer panel teknolojilerine göre düşüktür. Ekran yenileme hızı diğer panel türlerine göre daha iyi olsa da görüntü açısı, renk kalitesi ve siyah kalitesi diğer panel teknolojilerine göre dezavantajlı durumdadır. Şu an 360hz'lik ekran yenileme hızına sahip monitörler, 120hz-144hz ekran yenileme hızına sahip telefonlar, renk kalitesinden ve görüntü açısında ödün vermeden üretilse de bu tezde kullanılan dizüstü bilgisayar monitörün ekran paneli yenileme hızı 60hz'dir. Tezde kullanılan bilgisayar monitörünün ekranının her pikseli kırmızı, yeşil ve mavi renklerinin kombinasyonlarından oluşmaktadır. Verici monitör RGB renk uzayını kullanır. Verici monitörün mavi ışık filtresi etkin hale getirilebilir. Parlaklık azaltılıp artırılabilir ve kontrastı ayarlanabilir. Bu ayarlama tam siyah rengine yakın değer elde edebilmek için gereklidir.

Verici bölümde kullanılan yazılım diline alternatif birçok programlama dili bulunmaktadır. Verici bölümdeki yazılım öncelikle Python-Kivy ile yazılmış fakat esnek olmaması sebebiyle farklı kütüphaneler araştırılmıştır. Excell Macro ile deneme yazılımı yapılmış fakat Python-

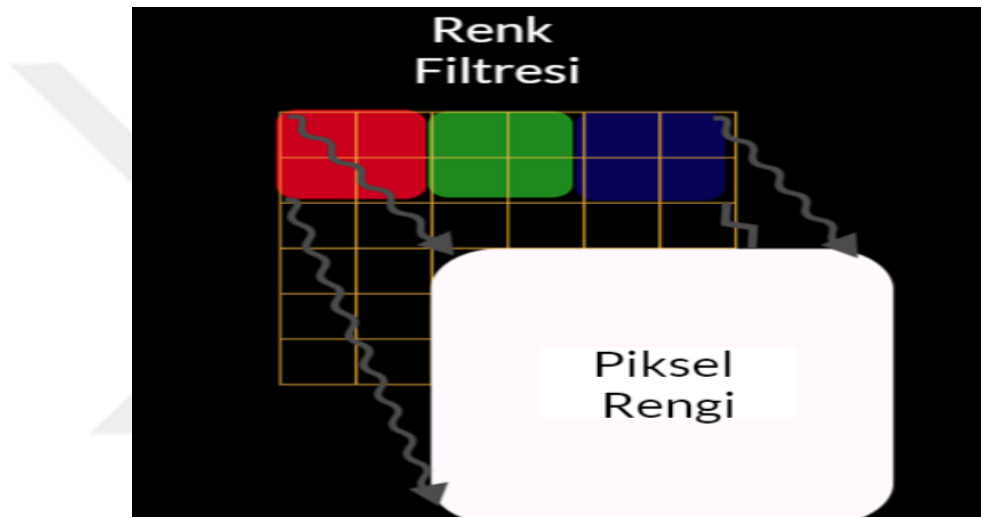
Tkinter en uyumlu uygulama geliştiricisi olarak seçilmiştir. Vericide derleyici olarak PyCharm kullanılmıştır. Şekil 5.5a'da Kivy ve Şekil 5.5b'de Tkinter ile yazılmış uygulama görülmektedir. Vericide kullanılan Python dili ile donanımsal kusurlar giderilmeye çalışılmıştır. LCD monitörlerin ışık sızması sorunu sebebiyle verici monitörün kanal için ayrılan bölümleri her cihaz için ayrı ayrı denenmelidir.



Şekil 5.5. Python ile tasarlanmış verici-mobil uygulamalar

Verici üniteye yazılmış uygulama yazılımı ile ses, resim, video gibi verilerin gönderilmesi amaçlanmaktadır. Veriler renk derinliğine göre kodlanmıştır. Kullanılan renkler, kırmızı, yeşil, mavi ana renkler ve camgöbeği, mor, sarı ara renk olarak belirlenmiştir. Camgöbeği rengi, yeşil ve mavinin karışımından oluşmaktadır. Mor rengi, kırmızı ve mavinin karışımından oluşmaktadır. Sarı rengi ise yeşil ve mavinin karışımından oluşmaktadır. Verici bölümde Numpy ile boş bir dizine 8 renk değerleri atanmıştır. Her pikselin değeri 24 bittir. Örnek olarak piksel isminde boş bir array oluşturalım. Bu boş array için piksel [12,12] = [255, 0, 0] olarak yazarsak x düzleminde 12 sağa ve y düzleminde 12 aşağı gelen pikselin terminalde değeri [255, 0, 0] olarak kırmızı rengini alır. Böylece ekranda istediğimiz bir piksele istediğimiz rengi verebiliriz. Fakat piksel [0:12, 0:12] = [255, 0, 0] yazarsak x düzleminde 0 noktasından 12 noktasına, y düzleminde 0

noktasından 12 noktasına kadar olan bölümler kırmızı rengini alırlar. Bu yöntem ile kanalların boyutlarını, konumlarını, renklerini belirlemiş oluruz. Vericide kırmızı [255, 0, 0] ile '100' değerini alır. Buradan yola çıkarak mavi, [0, 0, 255] ile '001', yeşil [0, 255, 0] ile '010', camgöbeği [0, 255, 255] ile '011', mor [255, 0, 255] ile '101', sarı [255, 255, 0] ile '110', beyaz [255, 255, 255] ile '111', siyah [0,0, 0] ile '000' değerleri atanır. Sarı ile kırmızı karıştırılarak turuncu rengini verebiliriz. Böylece ana renklerle ara renklerin karışımı bize her kanala 4 bitlik anlamlı veri atamamıza olanak sağlasa da bu tez kapsamında 8 renk kullanılmıştır. Fakat teorik olarak tek kanaldan 16.777.216 bitlik veri renk derinliği ile iletilebilir. Şekil 5.6'da [255, 255, 255] değeri için bir pikselin ekran çıktısı gösterilmiştir.



Şekil 5.6. LCD Panel için 1 pikselin beyaz renk çıktısı

Verici ekrandaki kanallar, verilere göre renk değeri olarak optik kanal ile iletir. Şekil 5.7'de 16 kanaldan toplamda 48 bit iletilmektedir. İlk 12 bit sol üstten sağa doğru olacak şekilde sıralanır. Sonraki her 12 bitlik veri için yukarıdan aşağı doğru sıralama yapılır.



Şekil 5.7. Monitör ekranda oluşturulan 16 kanal

Kanalların Python yazılımındaki koordinatları Şekil 5.8'deki gibidir. Verici kanalların piksel boyutları 40*40 seçilmiştir. Her kanalın arasında x ve y koordinatlarında 40 piksel aralık bırakılmıştır. Kanal koordinatları için örneğin kanal 1 (600, 250) en üst-sol orijin olmak üzere x koordinatında 600 noktasından başlanarak ve 40 piksel x koordinatına kadar olan alan ve y koordinatında 250 noktasından başlanarak ve 40 piksel y koordinatına kadar olan alandır. Dolayısıyla kanal 1 [600:641, 250:291] bölgesinde yer almaktadır.

orijin(x,y)	X eksen			
Y eksen	Kanal 1 (600, 250)	Kanal 2 (680, 250)	Kanal 3 (760, 250)	Kanal 4 (840, 250)
	Kanal 5 (600, 330)	Kanal 6 (680, 330)	Kanal 7 (760, 330)	Kanal 8 (840, 330)
	Kanal 9 (600, 410)	Kanal 10 (680, 410)	Kanal 11 (760, 410)	Kanal 12 (840, 410)
	Kanal 13 (600, 490)	Kanal 14 (680, 490)	Kanal 15 (760, 490)	Kanal 16 (840, 490)

Şekil 5.8. Verici monitörün kanal koordinatları

Verici ünitenin blok şeması Şekil 5.9'daki gibidir.



Şekil 5.9. Monitör verici blok şeması

5.3. Alıcı Tasarımı

Alıcı olarak kullanılan telefon USB ile klavyeye bağlanarak kod yazımı kolaylaştırılmıştır. Alıcı telefona Pydroid derleyicisi yüklenmiştir. Python-Tkinter, Pydroid derleyicisinde yüklü olarak gelir. Görüntü işleme için OpenCv kütüphanesi ise uygulama içi satın alınarak yüklenmiştir. Burada OpenCv bilgisayar uygulamalarındaki gibi direk kullanılamadığı için Tkinter' a ihtiyaç duyulmuştur. OpenCv, telefonun şekilde gösterilen 1 numaralı ana kamerası ve ön kamerasını kullanabilmektedir. Diğer 3 kameraya erişim yetkisi bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında Şekil 5.10'daki 1 numaralı kamera kullanılmıştır. Opencv, görüntü işlemede yaygın olarak kullanılan güçlü bir kütüphanedir. Görüntü işleme için Python birçok kütüphane olanağı sunsa da bu tez kapsamında Opencv kütüphanesi kullanılmıştır.

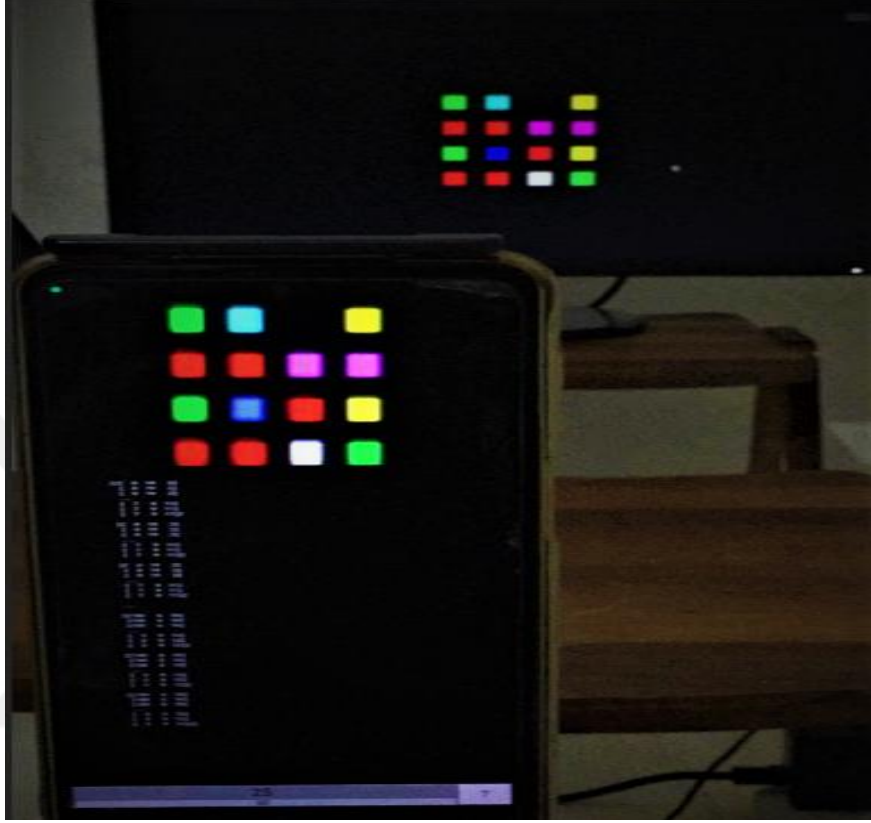


Şekil 5.10. Alıcı ünite ekipmanları

Uygulama çalıştırıldıktan sonra belirlenen süre içinde kamera görüntü almaya başlar. Vericinin mesafesine göre yakınlaştırma işlemi yapılır. Görüntü alma sıklığı vericinin iletim hızına eşitlenir. Başlama biti alındıktan sonra her bir görüntü kaydedilir. Görüntü alma işlemi bittikten sonra görüntü işleme ile kod çözme aşamasına geçilir. Kod çözme aşamasında görüntü işleme teknikleri ile bozulmalar engellenecek şekilde çeşitli algoritmalar ve modüller uygulanır. İstenen iyileştirilmeler yapılarak veriler data haline dönüştürülür. Burada kameradan alınan görüntünün tamamı işlenmez. Canvas' a sadece kanalların olduğu bölüm kırpılarak ve yeniden boyutlandırılarak işlenmekte ve piksel renk değerleri Canvas' a yazılmaktadır. Pydroid,

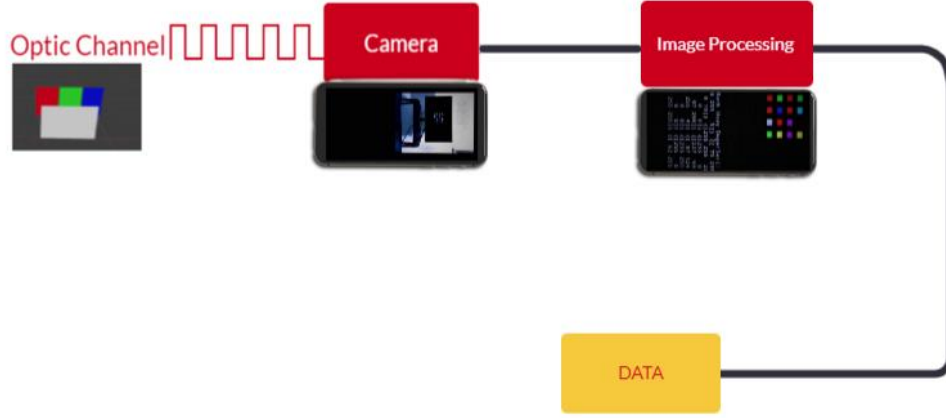
uygulamalar için terminal seçeneği sunmadığından dolayı tez çalışmasında Canvas üzerinde Python dilinde terminal oluşturulmuştur.

şekil 5.11’de kanalların olduğu kare matris kırpılarak yansıtılmış ve değerleri yazılmıştır.



şekil 5.11. Alıcı ünite de piksel değerlerinin Canvas’a yazılmış hali

Alıcı kısmın blok şeması Şekil 5.12'deki gibidir. Tez ön araştırmasında kullanılan ekipmanlar Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



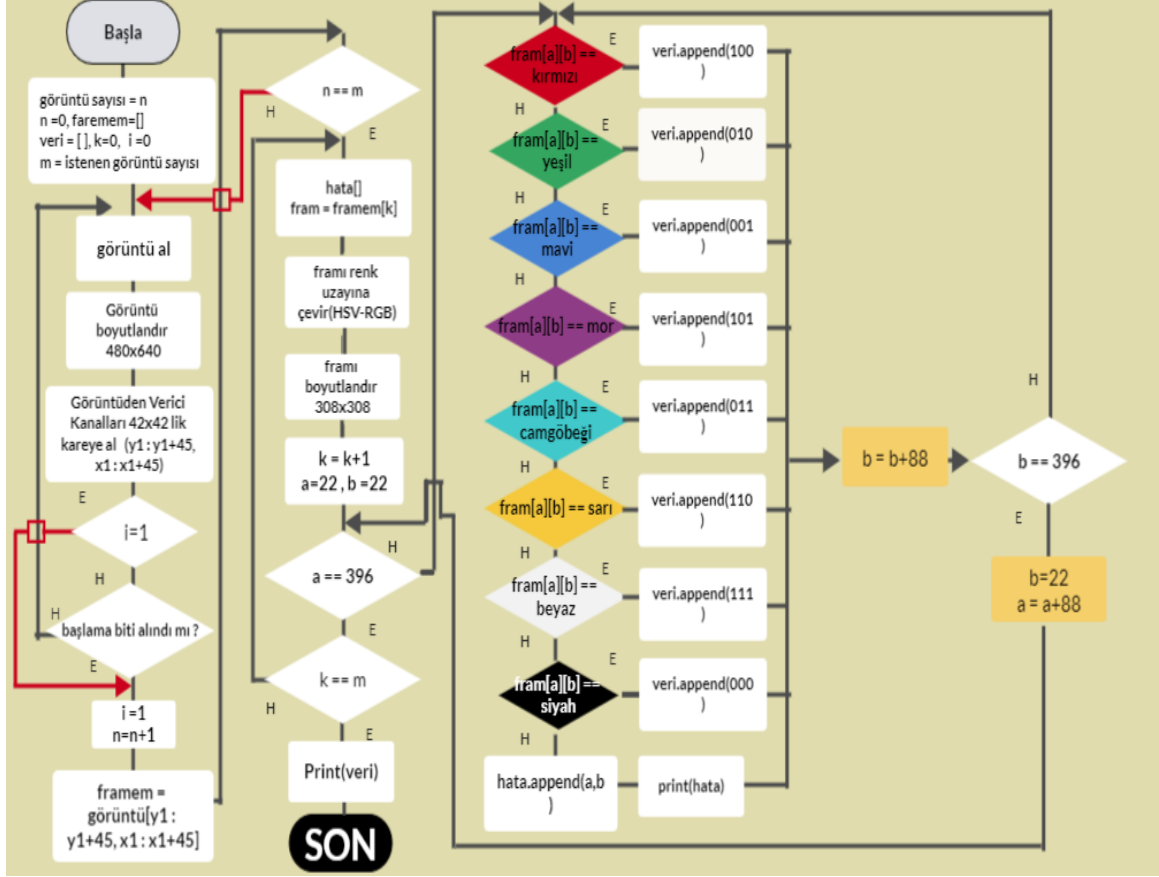
Şekil 5.12. Alıcı blok şeması



Şekil 5.13. Ön testte kullanılan bileşenler

5.3.1. Görüntü İşleme Algoritması

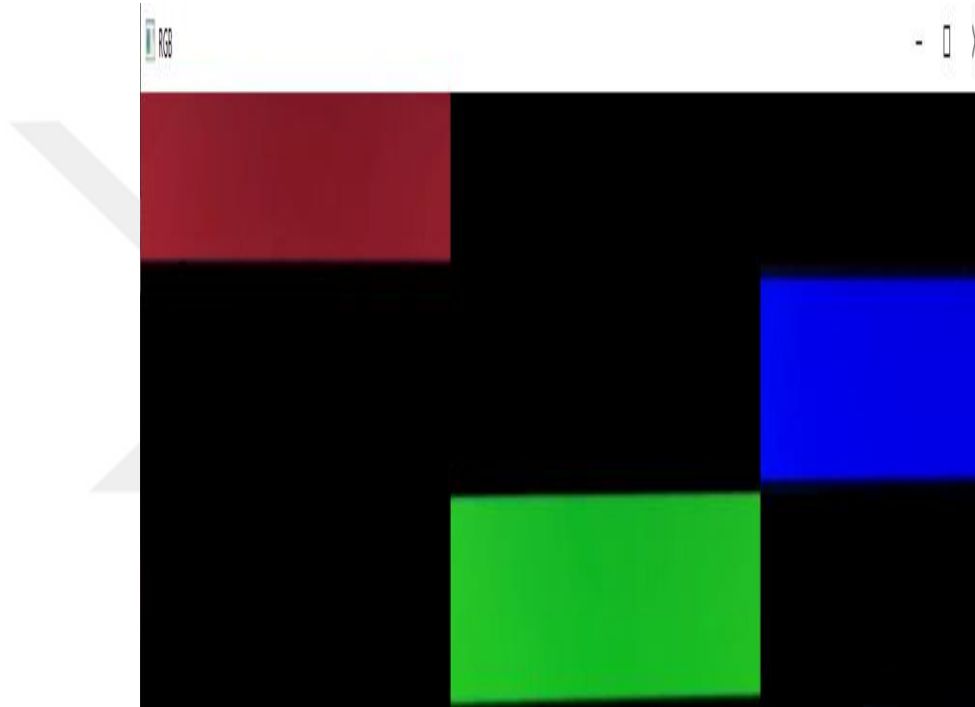
Alıcı için tasarlanan algoritma Şekil 5.14'teki gibidir.



Şekil 5.14. Alıcı için tasarlanan genel algoritma

Uygulama başlatıldığında tanımlamalar kaydedilir. Bu tanımlamaları istediğimizde çağırabilmek için Python-Global modülünü kullanırız. Uygulamada kullanacağımız kameranın indeksini tanımlamamız gerekir aksi halde uygulama görüntü alacağı kamerayı kendisi seçemez. Uygulama pencere.after (5, capture) komutu ile derlendikten 5 msn sonra capture fonksiyonunu çalıştırır. OpenCv, capture fonksiyonu içinde görüntü almaya başlar. Görüntüde önce başlama bitini arar. Başlama bitini bulamazsa belirlenen saniye aralıklarında tekrar görüntü alır ve tekrar başlama bitini arar. Başlama bitini bizim belirlediğimiz koordinatta ararız. Çalışmamızda başlama biti yeşil renk ile belirlenmiştir. Yeşil rengin bit dizilimi, RGB ve BGR renk uzaylarında aynıdır. Alınan her görüntüye görüntü işleme ile 44*44 kare çizilir ve Canvas' a eklenerek ekranda gösterilir. Böylece vericiden gönderilen kanalları kare matrisinin içine alabiliriz. Kare matrisin koordinatları bilindiği için başlama biti alındıktan sonra sadece kare matris kaydedilir. Eğer kamera görüntü alamazsa Canvas' a hata durumu mesaj olarak yazılır. Kaydetme işlemi bittikten sonra kod çözme işlemi için fonksiyon çağırılır. Kod çözme işlemi için hazırlanan fonksiyonda

önce kaydedilen tüm matrisler tek tek çağrılır. Burada önce renk uzayı seçilir. Test için yapılacak tüm görüntü işleme teknikleri burada uygulanır. Karartma, aydınlatma, maskeleme ile çiçeklenme etkisinin giderilmesi, gürültü oranının azaltılması, bulanıklaştırma, boyutlandırma vb. işlemler ihtiyaç duyulduğu taktirde algoritmaya eklenebilir. Maskeleme ile aydınlık ortamda yapılan görüntü işleme ve gürültü azaltma işlemi Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Burada gündüz ışık altında alınan görüntüye maskeleme işlemi, eşik değeri belirtilerek yapılmış ve eşik değeri altındaki görüntüler siyah yapılarak yeni görüntü oluşturulmuştur.



Şekil 5.15. Görüntü İşleme ile maskeleme

Görüntü işleme tekniklerinin uygulanmasından sonra görüntü 308*308 olarak yeniden boyutlandırılır. Boyutlandırılan görüntüde her bir kanalın tam orta noktasından veri okunur. OpenCv' de resmin en üst en sol kısmı bize orijin bölgesini verir. Birinci kanal, 308*308 boyutundaki görüntünün 22 piksel x ekseninde ve 22 piksel y ekseninde bulunmaktadır. Görüntüde y ekseninde 22 ve x ekseni ise 88 piksel arttırılınca (22+88) ikinci kanalın ortasındaki piksel bulunmaktadır.

Şekil 5.16’da kanalların 308*308 boyutundaki görüntüsünde, x ve y koordinatlarının değerleri gösterilmiştir.

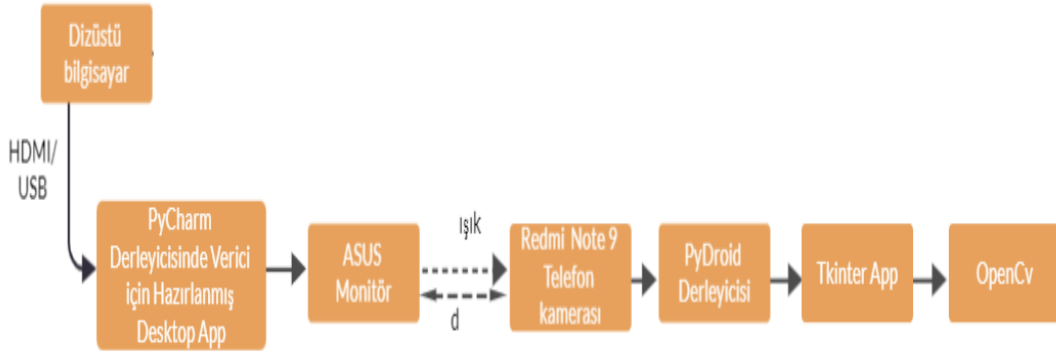
orijin(x,y)	X eksen			
Y eksen	Kanal 1 (22, 22)	Kanal 2 (110, 22)	Kanal 3 (198, 22)	Kanal 4 (286, 22)
	Kanal 5 (22, 110)	Kanal 6 (110, 110)	Kanal 7 (198, 110)	Kanal 8 (286, 110)
	Kanal 9 (22, 198)	Kanal 10 (110, 198)	Kanal 11 (198, 198)	Kanal 12 (286, 198)
	Kanal 13 (22, 286)	Kanal 14 (110, 286)	Kanal 15 (198, 286)	Kanal 16 (286, 286)

Şekil 5.16. Alıcıda yeniden boyutlandırılmış görüntünün kanal koordinatları

Görüntüdeki kanallardan veriler sırayla okunur ve veri adlı listeye eklenir. Eğer veri okunamazsa hata adlı listeye x ve y değerleri kaydedilir. Böylece hangi görüntüde hangi koordinatta hata varsa tespit edilir. Bu tez kapsamında kod çözme aşamasında HSV ve RGB renk uzayının etkisi incelenmiştir. Bu sebeple HSV ve RGB renk uzaylarının gündüz değerleri test aşamasında kaydedilmiştir. Derin öğrenme teze dahil edilmediği için tüm kayıtlar manuel yapılmıştır. Derin öğrenme ile renk değerleri, kanal tahminleri, ortam ışığı vb. otomatik yapılacağı tahmin edilmektedir. Burada RGB ve HSV renk uzayı için iki ayrı fonksiyon yazılmıştır. Her iki kod çözme işlemi alınan verilerde uygulanmıştır. Kanallardan sırayla okunan değerlere göre veri adlı listeye bitler kaydedilir ve her 8 bitlik veri sırayla ASCII tabloya göre anlamlı veriye çevrilir.

6. TESTLER VE BULGULAR

Tasarlanan haberleşme sisteminin performansını analiz etmek amacıyla alıcı devresinde ve verici devresinde testler yapılmıştır. RGB ve HSV renk uzaylarının alıcı-verici arasındaki mesafeye etkileri incelenmiştir. Şekil 6.1’de alıcı-verici test sisteminin blok şemasının görünümü verilmiştir.



Şekil 6.1. Test sisteminin blok şeması

Verici ve alıcı devresinde birçok kod yazılımı yapılmıştır. Bu kodların bazıları aynı işlevi gördüğü için birbirlerine alternatif olarak denenmiştir.

Şekil 6.2’de alıcıda Pydroid derleyicisine yazılmış time.sleep (saniye) ve after (milisaniye, capture) alıcının bekleme süresini belirtmektedir.

```
alicitestcnvsyont...  
/data/user/0/ru.iiec.p...  
52 def capture():  
53     global zaman, i, scl, framem, frame, x, k  
54     #time.sleep(n)  
55     try:  
56         res, frame = cap.read()  
57         if res :  
58             #cv2.circle(frame,(247,280),1,(0,0,0),1)  
59             cv2.rectangle(frame,(242,275),(287,  
60             320),(255,255,255),1)  
61             cropped = frame[minY:maxY,  
62             minX:maxX]  
63             frame = cv2.resize(cropped,(480,640))  
64             cnvsframe=PIL.Image.fromarray(frame)  
65             cnvs.image = PIL.ImageTk.  
66             PhotoImage(cnvsframe)  
67             cnvs.itemconfig(img, image=cnvs.  
68             image)  
69             if frame[280,247,1] >=192 :  
70                 i = 1  
71                 if i == 1 :  
72                     framem.append(frame[276:320,  
73                     243:287])  
74                     k = k + 1  
75                     if k == 50:  
76                         koducox()  
77                         return None  
78                     #cnvs.update()  
79                     cnvs.after(100, capture)  
80     except Exception as exc:  
81         cnvs.itemconfig(msd,text='kamera  
82         goruntu alamiyor',font=("courier", 8, "bold"))
```

Şekil 6.2. OpenCv ile görüntü alma

Görüntünün ekrana verilmesi için Canvas ve Label etiketleri kullanılmıştır. Şekil 6.3 a’da Label ve Şekil 6.3b’de Canvas için kullanılan yazılımlar gösterilmiştir. Seri monitör olarak Canvas seçildiği için görüntüyü ekrana verme işlemi için de Canvas seçilmiştir.

```
40 img = PIL.ImageTk.PhotoImage(image  
41 =PIL.Image.fromarray(frame))  
42 lbimage.imgtk=img  
43 lbimage.configure(image=img)  
62 cnvsframe=PIL.Image.fromarray(frame)  
63 cnvs.image = PIL.ImageTk.  
64 PhotoImage(cnvsframe)  
65 cnvs.itemconfig(img, image=cnvs.  
66 image)
```

a) Label

b) Canvas

Şekil 6.3. Alıcı Devre Python Yazılımı

Veri olarak “Li-Fi:#Test-” adlı karakter dizisi seçilmiştir. Vericideki monitör bu karakter dizisini belirlenen hertz aralığında ekrana vermektedir. Haberleşme süresi için optimizasyon gereklidir. Alıcı kamera ise sürekli başlama bitini aramaktadır. Başlama biti geldiğinde belirlenen süre içinde görüntüleri alır ve “framem” adlı liste türündeki diziye kaydeder. Haberleşme esnasında alıcı tarafında oluşan sorunlar Python’nun hata durumları için kullanıma sunduğu “exc:” adlı diziye kaydedilir. Kamera alım sorunu için Canvas’a yazmasını istediğimiz mesaj “kamera goruntu alamiyor” adlı Türkçe karakter kabul etmeyen mesajdır. Seri monitörde haberleşme sisteminde hata takibi Şekil 6.4’teki gibi yapılmaktadır. Oluşturduğumuz seri monitörde kontrast, renk parlaklığı, ortam ışığı, kanal boyutu, renk derinliği, mesafe vb. metriklerine göre verilerin doğru alınıp alınmadığı gözlenmiştir.



Şekil 6.4. Canvas seri monitörde hata mesajı

Şekil 6.5'te seri monitöre yazılan dekoder edilmiş bitler gösterilmiştir.



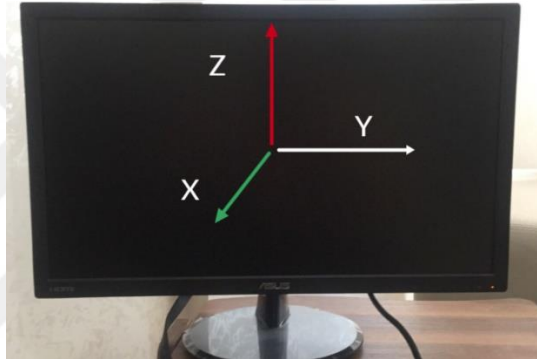
Şekil 6.5. Canvas seri monitörde çözülmüş dekoder edilmiş bitler

6.1. Verici Devre Optimizasyonu

Verici devrenin verileri doğru iletebilmesi için optimizasyona ihtiyaç duyulmuştur. Optimizasyon için yapılan testlerin amacı verici devresinin deney yapılan ortamdan bağımsız olmasını sağlayarak tezin kapsamını arttırmaktır. Böylece odanın herhangi bir noktasından yapılacak deneylerde standart oluşturulmaya çalışılmıştır. Test yapılan odanın aydınlık veya karanlık olmasının, aydınlatılmış ortamda lamba renginin, gün ortasında monitörün pencere

önüne yerleştirildiği taktirde ışığın girişim ve kırınım etkilerinin Li-Fi haberleşmesine etkileri giderilerek doğru veri iletilmesi amaçlanmıştır.

Verici monitörde üretim aşamasında bazı sorunlar oluşabilir. Bunlardan en önemlisi ölü pikseldir. Verici monitörde ölü piksel testi yapılmış ve ölü piksele rastlanmamıştır. Fakat ışık sızması testinde panelin alt kısmından üst kısma doğru ışık sızması olduğu tespit edilmiştir. Panel Şekil 6.6’da gösterilen Z ekseninde ekrana 5 derece açı verilerek haberleşme üzerinde etkisi azaltılmıştır. Verici monitörde yapılan diğer ayarlamalarda ise monitörün parlaklığı $\frac{3}{4}$ oranında azaltılmış, kontrast değeri ve renk doygunluğu en yüksek değere getirilmiştir. Monitörün mavi filtre ayarlarından mavi filtre ayarı en yüksek seviyeye getirilerek donanım kaynaklı sorunlar azaltılmıştır.



Şekil 6.6. Monitör Açısı

Verici monitörün kullanılabilir maksimum piksel sayısı 1920*1080’dir. Fakat ışık sızması, monitör tepkime süresi vb. LCD monitörün donanım kaynaklı sorunlarından dolayı monitör ekranı optimize edilerek kullanılmıştır. Tezin amacı olan maksimum kanal sayısı, maksimum mesafe gibi etkenler göz önüne alınarak kanalların boyutları, kanallar arası mesafe ve kanal sayısı düzenlenmiştir. Burada kanallar arasındaki mesafe alıcıda bozucu etkiye sahip çiçeklenme etkisini optimize etmek için gereklidir. Ayrıca verici arayüzünde otomatik başlık bölümü oluşmaktadır. Oluşturulan bu başlık ışık sızması nedeniyle kanallar üzerinde renk bozulmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı başlık bölümü yazılımla gizlenmiş ve yeni başlık oluşturulmuştur. Başlama komutu için buton oluşturulmuştur. Buton başlık bölümüne entegre edilmiştir. Oluşturulan butonun, aktif renk ve aktif olmayan renk durumları için 2 seçeneği bulunmaktadır. Aktif renk butona tıklandığında bir kez yanıp söner, aktif olmayan renk ise butonun normal durumdaki rengi içindir. Aktif renk beyaz seçilmiştir. Aktif olmayan renk ise koyu gri yapılmıştır. Pencereyi kapatmak için ise ayrı bir buton oluşturulmuş ve başlık bölümünün sol üst kısmına yerleştirilmiştir. Kapama butonunun aktif rengi kırmızı, aktif olmayan

rengi ise koyu kırmızı seçilmiştir. Böylece başlık kısmının oluşturacağı sorunlar optimize edilmiştir.

Kanalların renk düzeyini ve boyutlarını belirlemek için birçok seçenek bulunmaktadır. Bu tez kapsamında oluşturulan kanalların test edilebilmesi için önce butonlar oluşturulmuştur. Oluşturulan butonların aktif renk ve aktif olmayan renk seçenekleri kullanılarak aç - kapa modülasyonu denenmiştir. Butonların arka planda başka kodları çağırması ve istenen renk ayarlarının yapılamaması sebebiyle istenen verim alınamamıştır. Diğer yöntemde ise grafiksel kullanıcı arayüzünde yaygın kullanılan 'label' etiketidir. Labeller boyutlandırılmış ve istenen renk ile doldurulmuştur. Bu yöntemin sürekli label çağırılmasının bozucu etkisi sebebiyle kullanımından vazgeçilmiştir. Başka bir yöntemde de Canvas ve OpenCv'de oluşturulan şekiller kullanılmış ve istenen verim alınamamıştır. Tkinter'in gifleri ve resimleri desteklemesinden yola çıkarak resimler kanallara yerleştirilmiş ve çağırılmıştır. Resim ve giflerin renk ayarı yapılamamasından kaynaklı olarak istenen esnekliği verememiştir. Kanallarda uygulamak istediğimiz boyutların, konumların kolay ayarlanması, kolay çağrılabilir olması gibi metrikleri karşılayabilmesi ve Python-Tkinter ile uyumlu olması sebebiyle NumPy kütüphanesi kullanılmış ve istenen verim elde edilmiştir. NumPy kütüphanesi ile oluşturulan kanallar Canvas üzerine yerleştirilmiştir. NumPy ile oluşturulmuş verici kanallarının boyut ve renk değerleri Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Kanal boyutları 40*40 olarak optimize edilmiştir. Renk değerleri ise 0-255 değerleri arasında seçilmiştir. Yeşil rengin 200 seçilmesinin sebebi monitöre verilen açının bozucu etkisidir. Optimizasyon yapıldıktan sonra verileri üçer bitlik paketler olarak kanallara dağıtılmıştır. İlk 3 bit birinci kanala, son 3 bit ise on altıncı kanala gelecek şekilde ayarlanmıştır. Kanal renkleri 3 bitlik değerlere göre belirlenmektedir.

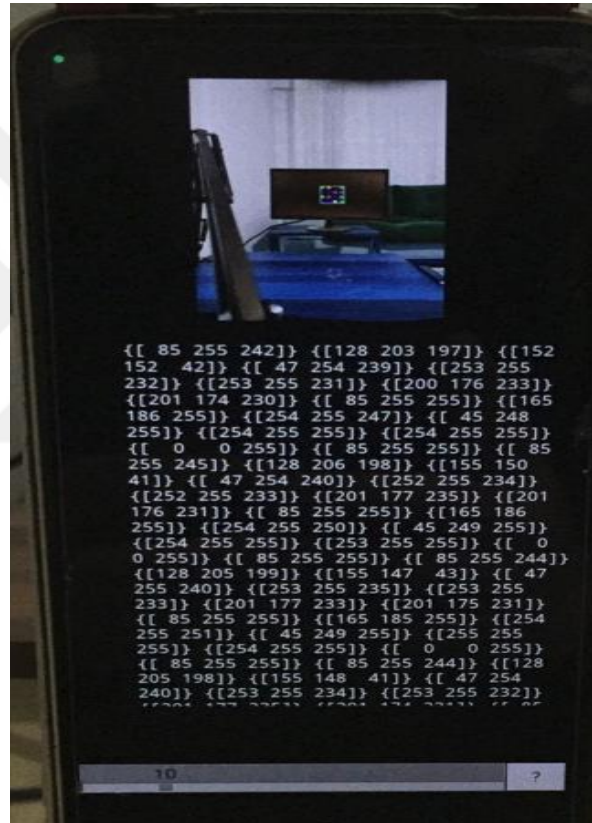
```
arraycyan = np.zeros((40, 40, 3), dtype='uint8')
arraycyan[0:40, 0:40] = [0, 225, 225]
arraypurple = np.zeros((40, 40, 3), dtype='uint8')
arraypurple[0:40, 0:40] = [250, 0, 250]
arrayyellow = np.zeros((40, 40, 3), dtype='uint8')
arrayyellow[0:40, 0:40] = [255, 255, 0]
arrayblue = np.zeros((40, 40, 3), dtype='uint8')
arrayblue[0:40, 0:40] = [0, 0, 225]
arraygreen = np.zeros((40, 40, 3), dtype='uint8')
arraygreen[0:40, 0:40] = [0, 200, 0]
arrayred = np.zeros((40, 40, 3), dtype='uint8')
arrayred[0:40, 0:40] = [255, 0, 0]
arraywhite = np.zeros((40, 40, 3), dtype='uint8')
arraywhite[0:40, 0:40] = [255, 255, 255]
arrayblack = np.zeros((40, 40, 3), dtype='uint8')
arrayblack[0:40, 0:40] = [0, 0, 0]
```

Şekil 6.7. Verici kanalların boyut ve renk değerleri

6.2. Alıcı Devre Optimizasyonu

Doğada hiç renk yoksa bu sıfır olarak temsil edilebilir. Fakat tam renk 255 değeri ile sınırlı değildir. Bu sebeple alıcı devresinde optimizasyon testleri yapılmıştır. Ayrıca CMOS kameraların sürekli kullanımından kaynaklı bozucu etkileri bulunmaktadır. CMOS kamera ısınınca renk değerlerinde bozulmalar meydana gelir. Optimizasyon testlerinin diğer amacı ise vericiyi standart kabul ederek haberleşme sistemini tasarlamaktır. Bu sebeple vericiden, alıcıdan veya ortamdan kaynaklı bozucu etkileri alıcı devresinde düzelterek ileride yapılacak derin öğrenme ile görünür ışık haberleşme çalışmalarını kolaylaştırmak hedeflenmektedir. Alıcı devre yazılımı öncelikle bilgisayarda hazırlanmıştır. Bilgisayarda hazırlanan yazılıma göre usb ile bilgisayara bağlı telefonda görüntü alınır ve görüntüler işlenerek anlamlı verilere dönüştürülür. Bu yöntem ile alıcı ünite ve verici ünite bilgisayara gerektirir. Ayrıca telefonda görüntü alabilmek için ayrı uygulama gerektirir ve bu uygulamalar sınırlı olmaktadır. Görünür ışık haberleşmesinin geliştirilmesine olanak sağlayacak yöntem arayışına girilmiş ve ileride yapılacak çalışmaları kolaylaştırmak için bilgisayar ortamında mobil uygulama yazılmıştır. Yazılan uygulamaların telefonda çalışabilmesi için bilgisayarda derlenmesi gerekmektedir. Derleme işleminin uzun sürmesi ve metriklerde sürekli değişim yapılması gerektiğinde her test için uygulama tekrar yazılıp derlenmesi gerektirir ve bu uygulanabilirlik açısından pek mümkün olmamaktadır. Böylece derleyici telefona yüklenmiş ve uygulama telefonda yazılmaya başlanmıştır. Fakat bilgisayarda direk kullanılabilen OpenCv kodlarına derleyici izin vermediği için derleyicide Tkinter grafiksel arayüz kullanılarak OpenCv kodları çalıştırılmıştır. Yazılımın ilk aşaması kameraya erişmek olmuştur. Kameraya erişim sağlandıktan sonra alınan görüntülerin işlenmesi gerekmektedir. Burada uygulamaya değer birçok algoritma oluşturulabilir. Bu tez çalışmasında alınan her görüntüde kanal konumlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Verici üniteyi optimize ettiğimiz için alıcıdaki optimizasyon verici üniteye göre yapılmıştır. Hangi pikselde verinin olduğunu bulabilmek için görüntüye aynı boyutta ve aynı konumda 2 kare eklenmiştir. Başlama biti bu karenin en üst-sol kısmında aranmaktadır. Bu karenin boyutu tüm kanalları 1 piksel dışardan çevreleyecek şekilde seçilmiştir. İkinci yeşil kare görüntüyü yakınlaştırmadığımız sürece kullanım dışıdır. Görüntüyü yakınlaştırmak için skala kullanılmıştır. Skalanın değerleri 1-50 arasında değişmektedir. 1 maksimum yakınlaştırma seviyesidir. Skaladaki değeri sadece istediğimizde almak için buton tanımlanmıştır. Butona tıklandığında skaladaki değeri alınır. Skaladaki değerler fonksiyona gönderilir. Gönderilen değere göre fonksiyon y1, y2 ve x1, x2 değerlerini gönderir. Gönderilen değerler y1-y2 ve x1-x2 arasında kırılır. Kırılan değer yeniden boyutlandırılır ve görüntü yakınlaştırılmış olur. Bu işlemin alıcıda gecikme etkisini azaltmak için en basit algoritma kullanılmıştır. Burada ikinci kare kırpma işleminden sonra tanımlandığı için birinci karenin konumunda görünür. Birinci kare ise kırpma işleminden önce tanımlandığı için görüntü yakınlaştırılınca karenin boyutu da büyütülmüş olunur. Bu işlem ile kanallar ile

kameranın mesafesi derin öğrenme ile otomatik tespit edilebilir. Çünkü mesafe arttıkça görüntü işlemede renk değerleri kaybolmaktadır. Mesafeye göre morfolojik işlemler yapılarak çiçeklenme etkisi ve kanallar arası girişim otomatik düzeltilebilir. Alınan görüntüde başlama biti alındığında kare bölge oluşturulan listeye kaydedilir. Kaydedilen bu görüntülerde her kanalın piksel için RGB ve HSV renk uzayı değerleri seri monitöre yazılmış ve kaydedilmiştir. Bu işlemler rastgele ortamlarda yapılmış ve ortalama değerlere göre sınır bölgesi oluşturulmuştur. Sınır bölgesi verici ünitenin vermesini beklediğimiz renk değerleri esas alınmıştır. Şekil 6.8’de akşam lamba ile aydınlatılmış odanın test değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Lamba ile aydınlatılmış ortam

Şekil 6.9’da gündüz pencereden gelen ışık önündeki panelden alınan değerler gösterilmiştir. Alınan değerlere göre görüntüye kontrast işleminin uygulanıp uygulanmayacağı belirlenmiştir. Kontrast değerleri 1-3 arasında değerler verilebilir.



Şekil 6.9. Gün ışığı ile aydınlatılmış ortam

Kontrast testlerinden sonra iletim testlerine geçilmiştir.

6.3. Renk Uzayının Haberleşme Performansına Etkileri

Alıcı kısımda kullanılan CMOS kameranın renk uyumu ve renk hassasiyeti üretici firmalara göre değişiklik göstermektedir. Testler sırasında alıcı kamera ile vericiden gelen bitlerin RGB ve HSV renk uzayları kullanılarak kod çözmedeki performansları ortaya konulmuştur.

Testlerde verici ünite 16 kanal kullanılmıştır. Her bir kanal renkler vasıtasıyla 3 bit iletir. Böylelikle verici monitördeki 16 kanal aracılığıyla 48 bitlik veri iletilmiş olur. Sırasıyla ASCII 8 tablosuna göre önce 'Li-Fi:' yazısından oluşan 6 karakter 2'lik tabana çevrilerek 48 bit elde edilmiş ve 16 kanala yerleştirilerek gönderilmiştir. Sonra '#Test-' yazısından oluşan 6 karakter 2'lik tabana çevrilerek 48 bit elde edilmiş ve 16 kanala yerleştirilerek gönderilmiştir. Bu işlem 50 sefer tekrarlanarak 2400 bit gönderilmiştir. Testler gönderilen 2400 bitlik verinin hızına ve mesafesine göre tekrarlanmıştır.

Veri iletim hızı ise 1 Hz için 48 bps, 5 Hz için 240 bps, 10 Hz için 480 bps ve 20 Hz için 960 bps olacak şekilde 120 cm, 220 cm ve 320 cm mesafelerinde ayrı ayrı test edilmiş ve elde edilen hatalı bit sayısı Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de gösterilmiştir. Tablo 6.1'de vericiden iletilen 2400 bitlik verinin alıcı ünite RGB renk uzayı ile kod çözme işleminden elde edilen hatalı bit sayısı gösterilmiştir. Testlerde vericide bulunan 16 kanaldan gönderilen renkler, RGB renk uzayında oluşturulan eşik değerine göre çözülmüştür. Çözülen kodlar grafiksel kullanıcı arayüzünden takip edilerek not edilmiştir.

Tablo 6.1. RGB renk uzayı için hatalı bit sayıları

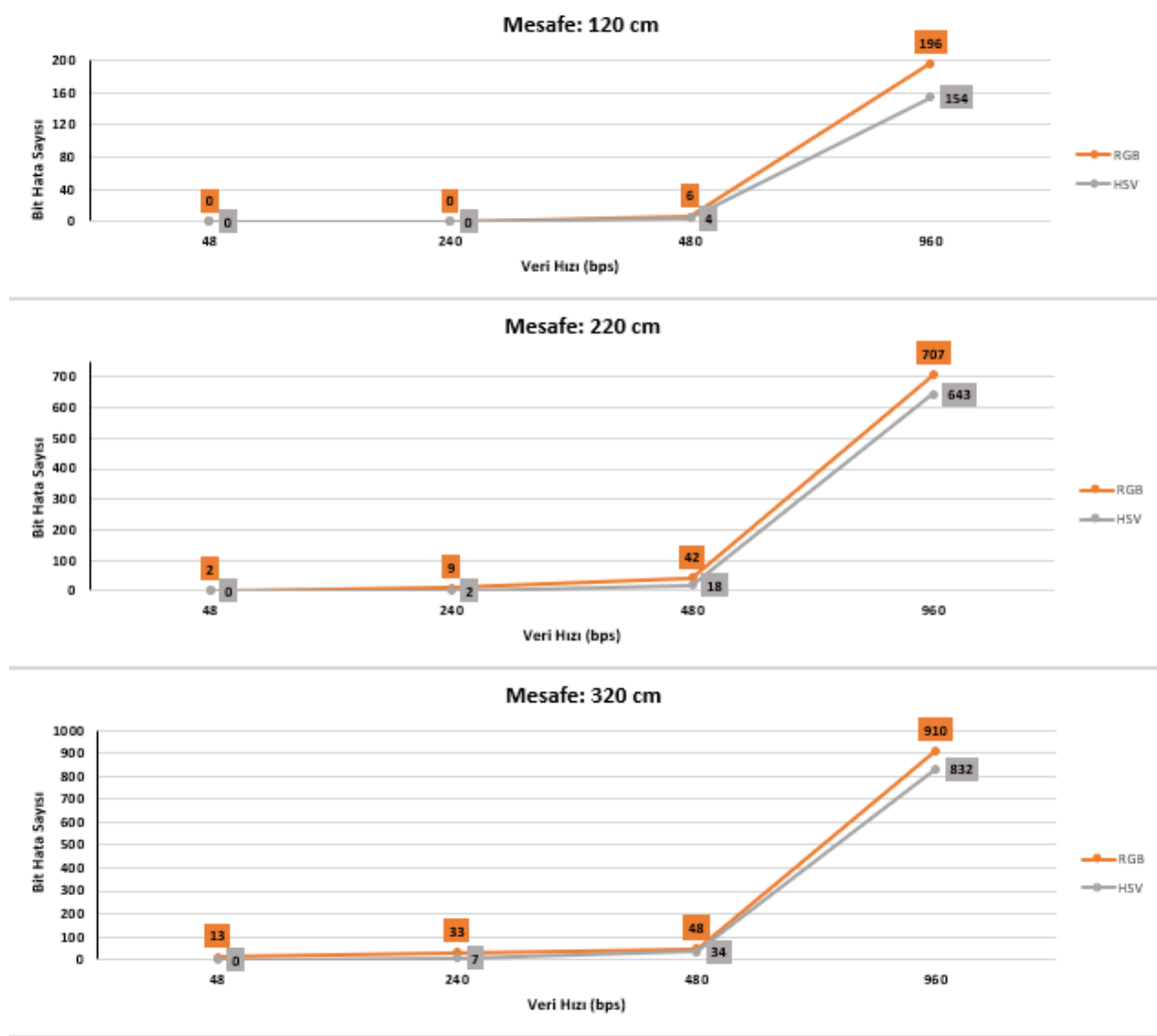
Veri Hızı (bps)	120 (cm)	220 (cm)	320 (cm)
48	0 bit	2 bit	13 bit
240	0 bit	9 bit	33 bit
480	6 bit	42 bit	48 bit
960	196 bit	707 bit	910 bit

Tablo 6.2’de vericiden iletilen 2400 bitlik verinin alıcı üniteye HSV renk uzayı ile kod çözme işleminden elde edilen hatalı bit sayısı gösterilmiştir. Testlerde vericide bulunan 16 kanaldan gönderilen renkler, HSV renk uzayında oluşturulan eşik değerine göre çözülmüştür. Çözülen kodlar grafiksel kullanıcı arayüzünden takip edilerek not edilmiştir.

Tablo 6.2. HSV renk uzayı için hatalı bit sayıları

Veri Hızı (bps)	120 (cm)	220 (cm)	320 (cm)
48	0 bit	0 bit	0 bit
240	0 bit	2 bit	7 bit
480	4 bit	18 bit	34 bit
960	154 bit	643 bit	832 bit

Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’deki değerler kullanılarak renk uzayına göre hata grafiği çizdirilmiştir. Şekil 6.10’da 120 cm, 220 cm ve 320 cm için bit hata değerlerinin değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.10. Hatalı bit sayısı

Verici hızı 20 Hz olduğunda iletim hızı 960 bps olarak değişmekte ve alıcıda bozulmalar hızla artmaktadır. Bunun sebebi alıcı kamera için tasarlanan uygulamanın sınırlarına ulaşılmış olmasıdır. Tablo 6.1’de de gösterildiği gibi renk uzayları yöntemiyle 320 cm mesafeden veriler anlamlı bitlere dönüştürülebilmektedir.

Testlerin yapıldığı ortam oda lambası ile aydınlatılmış olup harici aydınlatma kullanılmamıştır. Test sırasında lambada aç-kapa işlemi yapılmamıştır.

RGB renk uzayında mesafe arttıkça renkler arasındaki kontrast değerleri birbirine yaklaşmakta ve kod çözme aşamasında hata oranı artmaktadır. Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de

görüldüğü gibi iletim hızının artması RGB renk uzayında hata oranını HSV renk uzayına göre daha fazla arttırmıştır. Bunun sebebi kameranın pozlama esnasında oluşturduğu olumsuz etkiler RGB renk uzayında eşik değerini aşmasıdır. HSV renk uzayında ise kod çözme işlemi rengin parlaklığına göre yapılmaz. Parlak kırmızı renk ile sönük kırmızı rengi ayırt etmek HSV renk uzayında daha kolaydır. Pozlama etkisi rengin parlaklığını arttırdıkça RGB renk uzayında tüm bitlerde artış olur, HSV renk uzayında ise sadece parlaklık için ayrılmış bitlerde artış olur. Böylece HSV renk uzayı ortam veya donanımın sebep olduğu olumsuz etkilerden daha az etkilenmiş olur. Test aşamasında kullanılan CMOS kamera ısındıkça renk değerlerini kaybetmektedir. Buda testler aşamasında olumsuz durum oluşturmaktadır. Elde edilen test sonuçların farklı cihazlarda farklı sonuçlar elde edileceği tahmin edilmektedir.



6.4. Spektrum Verim Analizi

Yapılan optimizasyon testlerinde renk uzaylarının haberleşme esnasında kullandığı spektrumun verimliliği not edilmiştir. Şekil 6.11a'da RGB renk uzayının anlamlı veri aradığı spektral aralık gösterilmektedir. RGB renk uzayı eşik değerinin belirlenmesi esnasında alınan değerlere bağlı olarak spektrumda kısıtlama yaşamaktadır. Alıcı ne kadar hassas olursa gürültülere karşı da o kadar hassas olacaktır. Bu gürültü RGB renk uzayı ile kod çözme esnasında hatalara sebebiyet verecektir. Ayrıca RGB renk uzayı vericiden belirli bir standart beklemek zorundadır. İstenen standardı yakalamak ise kodlama aşamasında karmaşıklığa sebebiyet vermekte ve hataların tespit edilmesinde zorluk yaşanmaktadır. Oysa görünür ışık haberleşmesinde spektrum verimliliği önem taşımaktadır. Buda HSV renk uzayı gibi alternatifleri mecbur kılmaktadır. Şekil 6.11b'de görüldüğü gibi HSV renk uzayında kullanılmayan spektrum aralığı oldukça fazladır. Ayrıca renk bulma algoritması daha rahat sağlanmaktadır. Algoritmadaki kolaylık kod çözme işlemini hızlandırmakla kalmaz ayrıca değiştirilebilir olması yeni fikirlere yardımcı olmaktadır.

```
cnvs.itemconfig(img, image=cnvs.image)
time.sleep(0.5)
for m in range(22, 309, 88):
    for n in range(22, 309, 88):
        dogrulamaRGB.append(fram[m][n])
        if fram[m][n][0] <=140 and fram[m][n][1] > 140 and fram[m][n][2] > 140:
            binarimRGB.append('011')
        elif fram[m][n][0] >140 and fram[m][n][1] <= 140 and fram[m][n][2] > 140:
            binarimRGB.append('101')
        elif fram[m][n][0] >140 and fram[m][n][1] > 140 and fram[m][n][2] <= 140:
            binarimRGB.append('110')
        elif fram[m][n][0] <=140 and fram[m][n][1] <= 140 and fram[m][n][2] > 140:
            binarimRGB.append('001')
        elif fram[m][n][0] <=140 and fram[m][n][1] > 140 and fram[m][n][2] <= 140:
            binarimRGB.append('010')
        elif fram[m][n][0] >140 and fram[m][n][1] <= 140 and fram[m][n][2] <= 140:
            binarimRGB.append('100')
        elif fram[m][n][0] <= 150 and fram[m][n][1] > 140 and fram[m][n][2] > 140:
            binarimRGB.append('011')
        elif fram[m][n][0] >140 and fram[m][n][1] > 140 and fram[m][n][2] > 140:
            binarimRGB.append('111')
        elif fram[m][n][0] <=140 and fram[m][n][1] <= 140 and fram[m][n][2] < 140:
            binarimRGB.append('000')
        else:
            hata.append(fram[m][n])

time.sleep(0.2)
for m in range(22, 309, 88):
    for n in range(22, 309, 88):
        dogrulamaHSV.append(fram[m][n])
        if fram[m][n][2] <55:
            #black
            binarimHSV.append('000')
        elif fram[m][n][1] <=55 and fram[m][n][2] >180:
            #white
            binarimHSV.append('111')
        elif fram[m][n][0] <=27:
            #red
            binarimHSV.append('100')
        elif fram[m][n][0] <=55:
            #yellow
            binarimHSV.append('110')
        elif fram[m][n][0] <=95:
            #green
            binarimHSV.append('010')
        elif fram[m][n][0] <=140:
            #cyan
            binarimHSV.append('011')
        elif fram[m][n][0] <=175:
            #blue
            binarimHSV.append('001')
        elif fram[m][n][0] <=220:
            #magenta ya purple
            binarimHSV.append('101')
        else:
            binarimHSV.append('100')
```

a) RGB dekode

b) HSV dekode

Şekil 6.11. Renk uzayları için kod çözme algoritması

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Renk derinliği ve CSK modülasyonunun hibrit olarak kullanıldığı bu tez çalışması görünür ışık haberleşmesi için araştırma ve geliştirme yapan araştırmacılara önceden kullanılmamış bir yöntem sunmaktadır. Kullanılan yöntemin avantajı esnek yapıda olması sebebiyle geliştirilebilir yapıda olmasıdır. Örneğin tez aşamasında kullanılan kanalların sayısı arttırılarak veri iletim hızı arttırılabilir. Ayrıca vericiden tek bir kanal kullanılarak iletim mesafesi arttırılabilir. Tez aşamasında optimizasyon öncesi testlerde 3 kanal kullanılarak 10 metreye kadar veri iletiminin yapılabileceği görülmüştür. Burada veri iletim hızının düşmesi pahasına mesafe arttırılabilir. Tezde kullanılan algoritma güneş ışığı altında birkaç iyileştirmeyle kullanılabilir.

Tezin nihai amacı olan mevcut teknolojiye entegre etme çalışması olumlu sonuçlar vermiştir. Karekod (QR) ve yakın alan iletişimi (NFC) gibi standartlara ek olarak ilerleyen yıllarda telefon üreticileri tarafından kullanılabilir. Görünür ışık haberleşmesinin mucidi olan Profesör Harald Haas görünür ışık haberleşmesi için Li-Fi uyumlu telefon geliştirme çalışması yapmaktadır. Bu tez yapılacak çalışmalara iyi bir alternatif sunmaktadır.

Tez aşamasında birçok donanım kısıtlaması ile karşılaşmış ve bu donanım kısıtlamalara yazılımsal ve optimizasyon çalışmalarla iyileştirilmeler yapılmıştır. Yazılımsal iyileştirilmenin yeterli olmadığı yerlerde ise alıcı ve verici için donanımsal alternatifler belirtilmiştir. Bu donanımsal alternatifler mevcut teknolojiye entegre edilmesi durumunda istenen performansın sağlanacağı tahmin edilmektedir. Örneğin saniyede 1 milyon görüntü alma kapasitesine sahip event kameraların telefonlara entegre edilmesi durumunda yapılan çalışmalar daha iyi noktalara gelecektir. Ayrıca verici monitör olarak OLED ekranların kullanılması tez çalışmasında bozucu ve kısıtlayıcı etmen olan LCD ekranın yanıt süresi ve renk sızması gibi sorunların etmenlerini azaltacaktır. Ayrıca nükleer santraller ve petrokimya endüstrisi gibi Wi-Fi teknolojisinin kullanımının uygun olmadığı yerlerde kullanılması öngörülen Li-Fi teknolojisine alternatif yöntem kazandırılabilir. Örneğin projektör ile ekrana yansıtılan verici kanalları güvenlik kamerası ile iletişim kurabilir. Böylece hem iletim mesafesi arttırılmış hem de güvenli iletişim sağlanmış olur. Bir diğer kullanım alanına örnek olarak jammer kullanan askeri araçlar verilebilir. Bu tez kapsamında alıcı kamera ve verici monitör sayesinde gün ışığında askeri araçların iletişimine alternatif yöntem sunmuş olur.

Son olarak tez çalışmasında yapılan manuel optimizasyon derin öğrenme ile hızlıca yapılabilir. Kanalların tahmini, kanallar arası mesafeye bağlı olarak kanallar arası girişimin oranı, kanal mesafesi tahmin edildikten sonra mesafeye ve ortam ışığına göre otomatik algoritmaları devreye sokarak optimize etme, kod çözme, kodlama vb. birçok çalışmayı kolaylaştırabilir

KAYNAKLAR

- [1] Yaseein Soubhi Hussein and Amresh Chetty Annan (2019). *Li-Fi Technology: High data transmission securely*. J. Phys. Conf. Ser. 1228,1. DOI:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1228/1/012069>
- [2] Cuthbertson, Anthony (2015). LiFi Internet Breakthrough: 224 Gbps Connection Broadcast with an LED bulb, [lifi-internetbreakthrough-224gbps-connection-broadcast-led-bulb-1488204](https://doi.org/10.1109/LPT.2014.2337953)
- [3] U. Pant, P. Gupta, A. Verma, P. Pant, A. Kumar and V. Kumar Jadoun (2020), *Analog/Digital Data Transmission using Li-Fi*, 2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC), pp. 54-58, doi: 10.1109/PARC49193.2020.236557.
- [4] F. A. Delgado Rajó, V. Guerra, J. A. Rabadán Borges, J. R. Torres and R. Pérez-Jiménez (2014), *Color Shift Keying Communication System With a Modified PPM Synchronization Scheme*, in IEEE Photonics Technology Letters, vol. 26, no. 18, pp. 1851-1854, doi: 10.1109/LPT.2014.2337953.
- [5] E. Eso, A. Burton, N. B. Hassan, M. M. Abadi, Z. Ghassemlooy and S. Zvanovec (2019), Experimental Investigation of the Effects of Fog on Optical Camera-based VLC for a Vehicular Environment, *2019 15th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, pp. 1-5, doi: 10.1109/ConTEL.2019.8848552.
- [6] Z. Zhang, T. Zhang, J. Zhou, Y. Lu and Y. Qiao (2018), *Mobile phone Camera Based Visible Light Communication Using Non-Line-of-Sight (NLOS) Link*, 2018 International Conference on Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC), 2, pp. 35-39, doi: 10.1109/ICNIDC.2018.8525559.
- [7] S. R. Teli, S. Zvanovec and Z. Ghassemlooy (2019), *The first tests of smartphone camera exposure effect on optical camera communication links*, 2019 15th International Conference on Telecommunications (ConTEL), pp. 1-6, doi: 10.1109/ConTEL.2019.8848559.
- [8] O. Narmanlioglu, B. Turan, B. Kebapci, S. C. Ergen and M. Uysal (2016), *Poster: On-board camera video transmission over vehicular VLC*, IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), pp. 1-2, doi: 10.1109/VNC.2016.7835950.
- [9] G. Revathi (M.E) et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser.1362 012025
- [10] Yıldırım, M., Sokullu, R. & Pehlivan, S. (2020). Deep Learning for Communication Systems. *European Journal of Science and Technology*, (18), 1012-1025.
- [11] S. K. A. Yaklafl and K. S. Tarmissi (2019), *Multi-Carrier Modulation Techniques for Light Fidelity Technology*, 2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), pp. 70-73, doi: 10.1109/STA.2019.8717202.
- [12] S. Salvi and V. Geetha (2019), From Light to Li-Fi: Research Challenges in Modulation, MIMO, Deployment Strategies and Handover, 2019 International Conference on Data Science and Engineering (ICDSE), pp. 107-119, doi: 10.1109/ICDSE47409.2019.8971475.

- [13] International commission on illumination, May 2019. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Illumination#/media/File:CIExy1931.png, Erişim: 10 Mayıs 2023
- [14] E. Monteiro and S. Hranilovic (2014), *Design and implementation of color-shift keying for visible light communications*, Journal of Lightwave Technology, vol. 32, no. 10, pp. 2053–2060.
- [15] Westland S & Cheung V (2012). *RGB Systems*, in *Handbook of Visual Display Technology*, Chen J, Cranton W and Fihn M (eds.), 147-154, Springer-Verlag
- [16] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9801673>, Erişim: 10 Mayıs 2023



ÖZGEÇMİŞ

Hasan Ziya DİNÇ

[illegible]

■ [REDACTED]
 ■ [REDACTED]
 ■ [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

AKADEMİK FAALİYETLER

Projeler:

- 1. Bitirme Projesi : Arduinio Tabanlı RF Haberleşme Uygulaması Geliştirilmesi**