



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

---

### Li-Fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı

*Wireless Communication System Design Using Li-Fi Technology*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Kaan Duran KURT<sup>1</sup>, Fatih Ahmet ŞENEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0001-8618-424X

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0003-1918-7277

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kurt K.D., Şenel F.A., “Li-fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 116-121, (2023).

**DOI:** 10.46578/humder.1276133

**Li-Fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı**Kaan Duran KURT<sup>1</sup>, Fatih Ahmet ŞENEL<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 32260, Merkez/Isparta**Öz**

Kablosuz yüksek hızlı internet bağlantısı denildiğinde birçok kişinin aklına Wi-Fi, 4.5G ve 5G teknolojileri gelmektedir. Bu teknolojilerden çok daha hızlı ve güvenli olduğu belirtilen günlük hayatımızda aydınlatma için kullandığımız led teknolojisini kullanarak veri transferi sağlayan Li-Fi teknolojisi, gelecekte popüler olabilecek teknolojilerin başında gelmektedir. Kablosuz olarak veri iletimi ve haberleşmede kullanılan Wi-Fi sistemi radyo frekansları kullanılarak çalışan bir çalışma prensibine sahiptir. Wi-Fi'da kullanılan radyo sinyalleri iletişimi radyo devreleri, antenler ve karmaşık alıcılar gerektirirken, Li-Fi uzaktan kumanda üniteleri gibi çok daha basit olan düşük maliyetli kızılötesi iletişim cihazlarında kullanılanlara benzer doğrudan modülasyon yöntemlerini kullanır. Bu çalışmada, ev ve işyerlerinde yoğun bir şekilde kablosuz internet erişimi için kullanılan Wi-Fi teknolojisini yerini alması beklenen Li-Fi teknolojisini çalıştırılabileceği bir gömülü sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu gömülü sistem ile kablosuz olarak veri transfer işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Wi-Fi teknolojisinin olmadığı alan olan su altında da Li-Fi teknolojisi kullanılarak veri aktarımı gerçekleştirilmiştir.

**Makale Bilgisi**Başvuru: 03/04/2023  
Yayın: 31/08/2023**Anahtar Kelimeler**Li-Fi,  
Wi-Fi,  
Kablosuz Bağlantı,  
VLC**Keywords**Li-Fi,  
Wi-Fi,  
Wireless Connection,  
VLC**Wireless Communication System Design Using Li-Fi Technology****Abstract**

When it comes to wireless high-speed internet connection, many people think of Wi-Fi, 4.5G and 5G technologies. Li-Fi technology, which provides data transfer using the LED technology we use for lighting in our daily lives, which is much faster and safer than these technologies, is one of the technologies that may be popular in the future. The Wi-Fi system, which is used for wireless data transmission and communication, has a working principle using radio frequencies. While the communication of radio signals used in Wi-Fi requires radio circuits, antennas and complex receivers, Li-Fi uses direct modulation methods similar to those used in low-cost infrared communication devices, which are much simpler, such as remote control units. In this study, an embedded system is designed to run Li-Fi technology, which is expected to replace Wi-Fi technology, which is widely used for wireless internet access in homes and workplaces. With this designed embedded system, wireless data transfer is realized. In addition, data transfer was realized using Li-Fi technology under water, which is an area where Wi-Fi technology is not available.

**1. GİRİŞ (INTRODUCTION)**

Bilindiği üzere Wi-Fi (Wireless Fidelity) veriyi cihazlara aktarmak için radyo sinyallerini kullanmaktadır. Şu an Wi-Fi dünyada internet sağlayıcılarının neredeyse yarısı tarafından kullanılmaktadır [1]. İnternet kullanan insan ve nesnelerin sayısı arttıkça, bu yoğunluk nasıl 2.4 GHz frekansında yığılmalar olduğunu ve sinyal kirliliğinin problem olduğunu bizlere gösterdiyse, gün gelecek Wi-Fi'daki 5 GHz bandı da bu yoğunluğa yetemeyecek ve bu noktada gelecekte Li-Fi (Light fidelity) teknolojisini devreye girme durumu olabilecektir. Radyo sinyalleri ile iletişim için radyo devreleri, antenler ve karmaşık alıcılar gerektirirken, Li-Fi uzaktan kumanda üniteleri gibi çok daha basit olan düşük maliyetli kızılötesi iletişim cihazlarında kullanılanlara benzer doğrudan modülasyon yöntemlerini kullanmaktadır. Led ampuller yüksek yoğunluklara sahiptir ve bu nedenle çok büyük veri hızına ulaşabilirler. Li-Fi bildiğimiz led ampulleri üzerinden kablosuz yüksek hızda internet sunmayı planlamaktadır. Araştırmalara göre, Li-Fi, Wi-Fi'a

\*İletişim yazarı, e-mail: fatihsenel@sdu.edu.tr

oranla 1000 kat daha fazla veri yoğunluğuna ulaşabilir [2] çünkü Li-Fi sinyalleri, daha dağınık olan radyo sinyallerinin aksine küçük bir bölgede toplanmaktadır. Wi-Fi, geniş bir kapsama alanına sahip ve radyo sinyalleri duvarı da geçerek, hedefine ulaşabilmekteyken, Li-Fi ise daha dar bir alanda, alıcı verici mantığıyla çalışan bir sistemdir. Böylece hem daha güvenli hem de daha hızlı bir teknoloji olmaktadır. Tabii Wi-Fi'ya göre kapsama alanı ve çeşitlilik noktasında da dezavantajlı konumdadır.

Literatürde yapılan çalışmaların genelinde Li-Fi sistem tasarımının yanı sıra, Li-Fi'nin çeşitli yollarla veri aktarımı yapması üzerine araştırmalar yapılmıştır. LED ışığını kullanarak oluşturulan bu teknoloji, mevcut altyapıya büyük değişiklikler yapmaya gerek kalmadan, entegre edilmesiyle endüstriyel kullanımlarda kendine yer edinebilir ve böylece Li-Fi sistemi evlerde insanların günlük yaşantısında kullanıma girebilecektir. Bu durum sayesinde nesnelere interneti çağına geçilmesine olanak sağlanacaktır [3].

Aydemir yaptığı çalışmada, su altında haberleşebilecek bir sistem geliştirmişlerdir. Görünür ışık bölgesindeki iletişimi kullandıkları çalışmalarında akvaryum içinde bir test düzeneği geliştirmişlerdir. Su altında başarılı bir şekilde Li-Fi teknolojisi ile haberleşme işlemini gerçekleştirebilmişlerdir [4]. Al-Rubaye Arduino Uno, GPS modülü, sensörler gibi Li-Fi sistem malzemelerini kullanarak otomobiller arası iletişimi sağlayan bir sistem tasarımı yapmışlardır. Küçük boyutlu bu prototipin geliştirilerek, yüksek verimli cihazlar kullanılması ile araçlarla yapılan yolculukların daha güvenli olabilmesi için çeşitli sorunlara çözüm yolları bulunabileceği durumlar ortaya konulmuştur [5].

Başka bir çalışmada, Gordon ve Danquah, Li-Fi teknolojisinin farklı mesafelerde kullanımı, aydınlatma cihazlarının ve yerel internet bağlantısı olan uç nokta alıcı-vericilerin açılma yerleşimlerinin değerlendirilmesini araştırmışlardır. Bu çalışmadaki amaç, Li-Fi'deki mesafe veya açılma konumlandırmanın hızları etkileyip etkilemediğinin tespit edilmesidir [6]. Nada ise yaptığı çalışmada, yol kaybı yani ışık kaynağına uzaklık, iletişim dünyasındaki önemli etkilerden biri olduğu için, yol kaybı yayılma modelini temsil eden bir prototip tasarlamıştır. LED kullanılarak '1' ve '0' bitlerinin gönderilmesi için, ASK (amplitude shift keying) modülasyon tekniği yani veri iletiminde verinin daha çok yol katetebilen yüksek frekanslı dalgalar üzerine bindirilme yöntemi kullanılarak bir Li-Fi iletişim sistemi prototipi tasarlanmıştır [7].

Bizde bu çalışmada, Li-Fi teknolojisi ile haberleşebilecek bir prototip tasarımı gerçekleştirdik. Böylece Li-Fi teknolojisinin uygulanabilirliğini göstermiş olduk. Li-Fi teknolojisi radyo frekanslarının olmadığı su altı gibi [8] alanlarda en fazla ihtiyaç olacaktır. Bu nedenle biz de bu prototipin su altında çalışacak şekilde, kapalı fanus içerisinde su dolu akvaryum içerisine konularak veri aktarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızın özgün yönünü su altında da çalışan bir sistem olması oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde Li-Fi teknolojisinin çalışma prensibi ve Wi-Fi teknolojisi ile farklılıkları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, bu çalışma kapsamında geliştirilen gömülü sistem detaylı olarak açıklanmıştır. Son bölümde ise bu çalışmanın tartışma ve sonuçlarına yer verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Yapılan çalışmada görünür ışık haberleşme (VLC) yöntemi kullanılacaktır. Görünür ışık haberleşme sistemi, LED'ler tarafından üretilen ışığı modüle eden bir vericiden ve ışıktan elektrik sinyaline dönüştürülmüş sinyali almak için kullanılan ışığa duyarlı elemana (foto diyot) sahip bir alıcıdan meydana gelmektedir. Verici ve alıcı bütünleşik bir yapı değil, fiziksel olarak birbirinden ayrıdır, ancak görünür ışık haberleşme kanalı üzerinden birbirlerine bağlanırlar. Şekil 1'de görüldüğü gibi görünür ışık haberleşme sistemleri için görüş hattı yani alıcının ve vericinin birbirini bir şekilde görmesi zorunludur. Li-Fi sistemi verilerin, taşıyıcı olarak ışığın kullanılmasıyla iletilmesidir. Veriler alıcı tarafından alınır ve alıcı ışık sinyalini elektrik sinyaline dönüştürür. Bu işlemi yapmak için ana bileşenler LED'ler, foto diyot ve sinyal işlemcisidir. Verici bölümünde, iletilecek sinyal analog dijital dönüştürücü kullanılarak sayısalaya dönüştürülür ve bu sayısal sinyal, sinyal işlemcisi tarafından kontrol edilen LED sürücü devresine gönderilir. LED sürücüsü başla-dur anahtarlama (On-Off Keying) modülasyonu ile çalışarak, LED'leri yüksek hızda yakıp söndürür. Verileri alıcıya çok hızlı açıp kapatarak darbeler biçiminde gönderir. Alıcı bölümünde, bu darbeler bir ışık algılayıcısı tarafından alınır ve elektrik sinyallerine dönüştürülür; bu sinyaller bir amplifikatör aracılığıyla ve daha sonra bir karşılaştırmacı tarafından tekrar ikili verilere yani sayısalaya dönüştürülür [9].



Şekil 1. Bir görünür ışık haberleşme sisteminin şeması [9]

## 2.1. Görünür ışıkla haberleşme (Visible Light Communication)

Görünür ışık, elektromanyetik spektrumdaki, belirli dalga boylarının dar bir aralığında, insanlar tarafından görülebilen bir ışık parçasıdır. Görünür ışığın yerleşik dalga boyu aralığı yaklaşık 400 ila 700 nanometredir (nm), bu da sırasıyla 668 ila 484 terahertz (THz) frekans aralığına eşittir. Kuantum seviyesinde, görünür ışık da dahil olmak üzere ışığın temel parçacığı foton olarak bilinir. Fotonun aynı anda bir parçacık ve bir dalga olarak davrandığı gösterilmiştir. Kuantum mekaniği araştırmalarında bu, sezgilere aykırı dalga-parçacık ikiliği olgusu olarak anılır. Üstelik foton, bozon kategorisindeki temel bir parçacıktır. Görünür ışık da dahil olmak üzere tüm elektromanyetik radyasyon biçimleri için bir elektromanyetik dalga tarafından yayılan enerji, sürekli olarak fotonlar biçiminde dağılır. Görünür ışığın foton enerjisi 2 ila 2,75 elektron volt (eV) arasında değişir. Bir fotonun enerjisi, elektromanyetik dalganın dalga boyu ile ters orantılıdır [10].

Görünür ışık iletişimi, geleneksel radyo frekansı iletişimini desteklemek ve bu teknolojiyle benzersiz şekilde elde edilebilen yeni kablosuz cihaz kullanım durumlarını mümkün kılmak için üstün teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. LED'lerin VLC'yi etkinleştiren temel özelliği, LED'in birincil aydınlatma işlevini etkilemeden anlamlı veri hızları elde etmeye yetecek kadar yüksek frekanslarda genlik modülasyonuna duyarlılıklarıdır. Birincil aydınlatma işlevselliği etkilenmemektedir çünkü modülasyon frekansı sözde titreşim füzyon eşiğinin üzerinde olduğu sürece insan gözü ışığın genlik modülasyonunu algılayamamaktadır [11].

Görünür ışıkla haberleşme temel olarak alıcı ve verici bölümlerinden oluşmuştur. Verici bölümünün ana bileşenleri şunlardır: Mikro denetleyici, transistör ve Led'lerdir. Alıcı bölümünün ana bileşenleri ise şunlardır: Mikro denetleyici, op-amp, foto transistördür.

Son yıllarda, mobil cihazların ve kablosuz hizmetlerin büyümesi, radyo frekansı tabanlı teknolojiler için büyük bir talep yaratmaktadır. Bu arada, daha ekonomik ve verimli olan LED ampullerin yaygınlaşması nedeniyle de aydınlatma endüstrisi de gelişme sağlamıştır. Bu bağlamda, VLC, mevcut radyo frekansı standartlarını potansiyel olarak tamamlayıcı bir teknoloji olarak hizmet edebilen, ücretsiz bir spektrum ve yüksek veri hızı sunan LED'lere dayalı üstün bir teknolojidir [12].

Li-Fi ve Wi-Fi teknolojileri bazı çalışma alanları için birbirlerine avantajlara ve dezavantajlara sahiptirler. Tablo 1'de her iki teknoloji arasındaki temel farklılıklar sunulmuştur.

Tablo 1'de görüleceği üzere Wi-Fi, geniş bir kapsama alanına sahip ve radyo sinyalleri duvarı da geçerek, hedefine ulaşabilmekteyken, Li-Fi ise daha dar bir alanda, alıcı verici mantığıyla çalışan bir sistemdir. Yani iletişim için ışığın alıcıya ulaşması gerekmektedir. Görülebilir ışığın duvar gibi saydam olmayan katı cisimlerden geçememesi sebebiyle kullanılan Li-Fi teknolojisi iletişimine dışarıdan herhangi bir sızma girişimi gibi dış tehdide karşı korunaklı hale gelmesini sağlamaktadır. Böylece hem daha güvenli hem de daha hızlı bir teknoloji olmaktadır. Tabi Wi-Fi'ye göre kapsama alanı ve çeşitlilik noktasında da dezavantajlı konumdadır. Bu nedenlerden dolayı Li-Fi teknolojisinin çalışması, uygulandığı ortamla sınırlı olduğundan ancak bir yandan da güvenli bir sistem olduğundan askeri alanda kullanımda önem kazanacaktır. Ayrıca hali hazırda kullanılmakta olan Wi-Fi teknolojisi ile hibrit bir çalışma geliştirilerek daha geniş alanda birbirlerini tamamlayıcı bir teknoloji olarak hayatımızda yerlerini alacaklardır.

**Tablo 1.** Li-Fi ve Wi-Fi arasındaki Farklar [13]

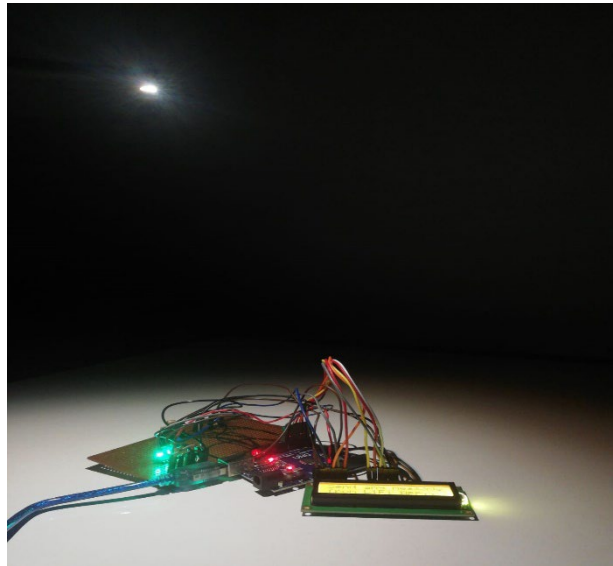
Özellik	Li-Fi	Wi-Fi
İşlem	Işık kullanılarak	Radyo dalgaları ile
Veri Aktarımı	Yaklaşık 1Gbps	WLAN-11n 150 Mbps sunar, Wigig kullanılarak yaklaşık 1-2 Gbps elde edilebilir
Frekans	Telsizim 10000 kat frekans yoğunluklu ortamda çalışabilir	2.4 GHz, 4.9 GHz ve 5GHz
Veri Yoğunluğu	Wi-Fi ye göre yaklaşık 1000 kat yoğun ortamda çalışır	Yoğun ortam çalışabilir
Kapsama Mesafesi	Yaklaşık 10 metre	Yaklaşık 30 metre (anten tipine göre değişiklik gösterebilir)

### 3. DENEYSSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Çalışmanın bu bölümünde, Li-Fi teknolojisi kullanılarak ışık ile veri aktarımı işlemini gerçekleştirebilen bir prototip geliştirilmiştir. Bu prototip ile ışık kullanılarak veri haberleşmesi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2’de gösterilen prototip alıcı ve verici olmak üzere iki bölümden oluşmuştur. Verici bölümünün ana bileşenleri şunlardır: mikro denetleyici, transistör ve LED’lerdir. Alıcı bölümünün ana bileşenleri ise şunlardır: mikro denetleyici, op-amp, foto transistördür. Bu prototip için alıcı devresi tasarlanmış olup verici bölümü için ise cep telefonu kullanılmıştır. Böylece veri gönderimi için cep telefonu içerisindeki LED ve diğer bileşenler kullanılmıştır. Bu cihazlar ve gerekli diğer ek cihazlarla oluşturulan sistemle kablosuz olarak veri aktarımı yapılabilmektedir.

Işıklı gönderilen bilgiyi dijital ekran çıktısı olarak gösterebilen Arduino tabanlı bir Li-Fi iletim sistemi tasarlanmıştır. Bu Li-Fi teknoloji çalışma prensibi temelinde ışıkla veri göndermede kullanılacak LED olarak cep telefonu üzerindeki LED kullanılmıştır. Bu metin verisinin iletiminde sinyallerin başarılı bir şekilde iletimi gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 2.** Li-Fi Prototipi

Alıcı kısmında Arduino Uno kartı ve ona bağlı LDR ışık sensör kartı kullanılmıştır. Kullanılan yazılım temel kelimeleri haberleştirebilecek özelliğindedir. Verici kısmında LifiProject isimli mobil uygulama kullanılmıştır ve akıllı telefonda bu uygulama sayesinde aktarılacak metin yani veri telefon üzerindeki led flash ile gönderilmektedir. LifiProject isimli bu mobil uygulama web üzerinden hazır uygulama olarak cep telefonuna indirilmiş ve bu uygulama sayesinde veri girişi sağlanmıştır. Telefonda uygulama üzerinden girilen veriler, telefonun ledi tarafından gönderilir ve veriler Arduino'ya bağlı olan LDR ışık sensör kartı tarafından algılanıp, Arduino Uno kartında mevcut olan mikrodenetleyici tarafından işlenir. İşlenen veriler hem seri monitörden hem de geliştirilen kart üzerindeki LCD ekrandan kullanıcılara gösterilmektedir. Şekil 3'te örnek olarak verici tarafından gönderilen ve alıcı tarafından algılanan "Teşekkürler" mesajına ait prototip görüntüsü verilmiştir [14]. Bu tasarlanan sistem su altında olmayan radyo frekanslarının yerine kablosuz iletişim olarak kullanıma amacıyla kapalı fanus içerisinde su dolu akvaryum içerisinde de veri aktarımı yapılmış olup ileride bu sistemin geliştirilerek su altındaki çeşitli çalışmalarda kullanılabilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3. Prototip monitöründe çıkan sonuç

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSION)

Kablosuz yüksek hızlı internet bağlantısı denildiğinde birçok kişinin aklına gelen Wi-Fi, 4.5G ve 5G teknolojilerinden çok daha hızlı ve güvenli olduğu belirtilen günlük hayatımızda aydınlatma için kullandığımız LED teknolojisini kullanarak veri transferi sağlayan Li-Fi teknolojisi, kablosuz olarak veri iletimi ve haberleşmede kullanılan Wi-Fi sistemi radyo frekansları kullanılarak çalışan bir çalışma prensibine sahiptir.

Bu çalışmada Li-Fi teknolojisi kullanılarak ışık ile veri iletimi gönderimi yapılmıştır. Yapılan bu prototip ile kablosuz haberleşmede görünür ışıkların kullanılabilmesi gösterilmiştir. Bu çalışmanın daha fazla test ve deney çalışması daha gelişmiş ve iyi cihazlarla yapılarak birçok alanda kullanıma faaliyete geçirilmesi sağlanabilecektir. Özellikle verilerin gizliliğinin büyük önem arz ettiği askeri alanlarda yakın gelecekte tercih edilebilecek bir sistem olabilecektir. Görünür ışık ile veri iletimi verici ve alıcılar arasında net bir görüş hattı gerektirdiğinden çok daha uzak mesafede istenilen hedefle iletişim için lazer gibi tek bir doğrultuda hareket eden ışınlar kullanılabilir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Karadağ, Yıl sonuna kadar dünyanın yarısı çevrim içi olacak. Erişim Tarihi: 21.03.2023 <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/yil-sonuna-kadar-dunyanin-yarisi-cevrir-ici-olacak/691062>, 2016.
- [2] Yaşar Üniversitesi, Li-fi Teknolojisi için Önemli Adım. Erişim Tarihi: 10.06.2023. <https://haber.yasar.edu.tr/basari/li-fi-teknolojisi-icin-onemli-adim.html>, 2020.
- [3] T. C. Küçükylmaz, LiFi nedir? WiFi yerine geçebilir mi. Erişim Tarihi: 21.03.2023. <https://shiftdelete.net/lifi-nedir-wifi-yerine-gecebilir-mi/>, 2021.
- [4] S. G. Atakan, Su Altında Görünür Işık Haberleşmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Bursa, 2022.
- [5] H. Al-Rubaye, Görünür Işık Haberleşmesi ile Araçtan Araca Veri Haberleşmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 47s, Isparta, 2018.
- [6] V. Gordon, P. Danquah, An Experimental Assessment Of Lifi Data Communication. Ghana Journal Of Science, 61 (1), (2020), 73 – 87.
- [7] K. Nada, Performance Analysis of Li-fi Communication System. University of Gavle, Department of Building Engineering, Energy Systems and Sustainability Science, M.Sc. Thesis, 62p, Gavle, 2022.
- [8] A. Thompson, Robots Finally Have a Good Way To Communicate Underwater. Erişim Tarihi: 10.06.2023 <https://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure/a27247/nato-janus-underwater-communication/>, 2017.
- [9] C. Windlin, Visible Light Communication as a Material for Design, KTH Royal Institute of Technology, Degree Project, 12p, Stockholm, 2016.
- [10] L. Prangnell, Visible Light-Based Human Visual System Conceptual Model. Erişim Tarihi: 14.03.2023. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1609/1609.04830.pdf>, 2023.
- [11] A. Jovicic, J. Li, T. Richardson, Visible Light Communication: Opportunities, Challenges and the Path to Market, IEEE Communications Magazine. 0163-6804/13, (2013), 26-32.
- [12] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira, O. Gnawali, Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges. Erişim Tarihi: 14.03.2023. <http://dx.doi.org/10.1109/COMST.2019.2913348>, 2019.
- [13] M. Alzuhairi, Li-Fi Sisteminde Veri İletimine Çoklu Yol Etkisinin İncelenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Samsun, 2021.
- [14] B. A. Baltakesmez, Li-Fi Alıcı ve Verici Sistemi Tasarımı. Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Erzurum, 2021.