



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Kısa Mesafeli Kablosuz Haberleşmelerde Li-Fi Teknolojisi Kullanımı

Implementation of Li-Fi Technology in Short-Range Wireless Communications

Yazar(lar) (Author(s)): Hamdi YILMAZ¹, Ayhan GÜLTEKİN²

¹ ORCID ID: 0000-0002-1119-5486

² ORCID ID: 0000-0003-4311-4780

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yılmaz H., Gültekin A., "Kısa Mesafeli Kablosuz Haberleşmelerde Li-Fi Teknolojisi Kullanımı ", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(3): 176-186, (2024).

DOI: 10.46578/humder.1575031



Kısa Mesafeli Kablosuz Haberleşmelerde Li-Fi Teknolojisi Kullanımı

Hamdi YILMAZ¹, Ayhan GÜLTEKİN^{2,*}

^{1,2}Kocaeli Üniversitesi, Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı, 41001, İzmit/KOCAELİ

Öz

Li-Fi (Light Fidelity), görünür ışık spektrumunu kullanarak veri iletimini, Wi-Fi (Wireless Fidelity) teknolojisine göre daha hızlı gerçekleştiren kablosuz haberleşme teknolojisidir. Li-Fi, Wi-Fi teknolojisindeki yetersiz bant genişliği ve frekans kapasitesi gibi sorunlara önemli oranda çözüm getirmektedir. Li-Fi, radyo dalgaları yerine ışık dalgalarını kullanır. Li-Fi teknolojisinde, LED (Light Emitting Diode)'lerin çok hızlı bir biçimde kapanıp açılması ve üzerine düşen sinyalleri ışığa çevirmesi ile veri iletimi gerçekleştirilir. Li-Fi'nin daha fazla bant genişliği sunmasındaki önemli etkenlerden birisi de Li-Fi içerisinde görünür ışık kaynağı ile ultraviyole ve kızılötesi ışık dalgalarının da kullanılabilmesidir. Bu çalışmada, her iki tarafta Li-Fi devreleri kullanılan bilgisayarlar arasında ışık dalgaları ile kısa mesafede kablosuz veri iletişimi gerçekleştirilmiştir. Veri aktarımı için hem XMODEM hem de ZMODEM dosya transfer protokolleri uygulanmıştır. Farklı baud hızlarında ve farklı büyüklüklerde dosya transferleri için XMODEM ve ZMODEM protokolleri kullanılarak performans analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda alınan sonuçlara göre, Li-Fi uygulaması içerisinde kullanılan ZMODEM protokolünün, XMODEM protokolüne göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 28/10/2024

Yayın: 31/12/2024

Anahtar Kelimeler

Görünür Işık İletişimi,
Kablosuz Veri İletimi,
Li-Fi,
Xmodem,
Zmodem

Keywords

Li-Fi,
Visible Light
Communication,
Wireless Data
Transmission,
Xmodem,
Zmodem

Implementation of Li-Fi Technology in Short-Range Wireless Communications

Abstract

Li-Fi (Light Fidelity) is a wireless communication technology that uses the visible light spectrum to transmit data faster than Wi-Fi (Wireless Fidelity). Li-Fi solves problems such as insufficient bandwidth and frequency capacity in Wi-Fi technology. Li-Fi uses light waves rather than radio waves. Data transmission in Li-Fi technology occurs by rapidly switching on and off the LEDs (Light Emitting Diodes) and converting the signals received into light. One of the critical factors enabling Li-Fi to offer wider bandwidth is its ability to use ultraviolet and infrared light waves in addition to visible light. In this study, wireless data communication between computers was carried out using light waves through Li-Fi circuits on both sides. Both XMODEM and ZMODEM file transfer protocols were applied for data transfer. Performance analyses were conducted for file transfers of various sizes and at different baud rates using XMODEM and ZMODEM protocols. The study's findings revealed that the ZMODEM protocol utilized in the Li-Fi application demonstrated more efficiency than the XMODEM protocol.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz dünyasında kablosuz haberleşme ile iletişim kuran cihaz sayısı ve bu cihazların talep ettiği bant genişliği miktarı önemli oranda artmıştır. Yaygın bir kullanım alanı olan Wi-Fi teknolojisi bu talebi karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Wi-Fi, alt yapısı itibarı ile radyo dalgalarını kullanmaktadır. Radyo dalgalarının frekans spektrumu sınırlı olduğundan, aynı kaynak üzerinden paylaşım yapan cihaz ve uygulamalar arasında haberleşme sorunları oluşabilmektedir. Özellikle bant genişliği ve kapasite sorunlarına yeni ve güçlü bir alternatif geliştirmek için bilim dünyasında çok yönlü araştırmalar

*İletişim yazarı, e-mail: ayhan.gultekin@kocaeli.edu.tr

yapılmaktadır. Bu alternatiflerden birisi de Görünür Işık İletişimi (VLC -Visible Light Communication)'dir. Edinburg Üniversitesi'nden Alman fizikçi Prof. Harold Haas tarafından 2011 yılında VLC tabanlı Li-Fi teknolojisi tanıtılmıştır [1].

Li-Fi veri iletimi için insan gözüyle fark edilmeyecek kadar hızlı bir şekilde açılıp kapanan LED ışık kaynaklarını kullanmaktadır. Li-Fi, VLC altyapısını kullanarak çok yüksek oranda bant genişliği ve kapasite imkânı sunmaktadır. Li-Fi veri iletişimde ışık dalgaları kullandığı için iletişimde elektromanyetik dalgalardan etkilenmez.

Li-Fi, güvenlik yönünden Wi-Fi kullanılmasının sakıncalı olduğu çok farklı alanlarda kullanılabilir. Tehlikeli kimyasal üretim yapan sanayi tesislerinde, uçaklarda, madenlerde, hastanelerde ve sualtı araştırmaları gibi daha birçok alanda Li-Fi teknolojisinden faydalanılması mümkündür. Li-Fi, güvenlik, kapasite, kullanılabilirlik, alt yapı maliyeti ve özellikle hız açısından Wi-Fi'ye göre önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak ışığın doğası gereği duvar gibi engelleri aşamaması, ışık kaynağı ile alıcı cihaz arasında doğrudan görüş alanının olma zorunluluğu, güneş ışığı ve diğer doğal kaynaklardan gelen ışıkların iletişimde parazit oluşturabilmesi ve ışık şiddetinin yetersiz olduğu ortamlarda iletişimde sorun çıkması gibi durumlar, Li-Fi kullanımı için dezavantaj oluşturmaktadır. Li-Fi'nin Wi-Fi'ye göre çok daha fazla hızlarda veri iletimi sağlaması sebebiyle Li-Fi teknolojisini geliştirmek, yaygınlaştırmak ve dezavantajlı durumlarına çözüm getirebilmek için yoğun bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Tablo 1'de Li-Fi ve Wi-Fi'nin detaylı karşılaştırmasına yer verilmiştir.

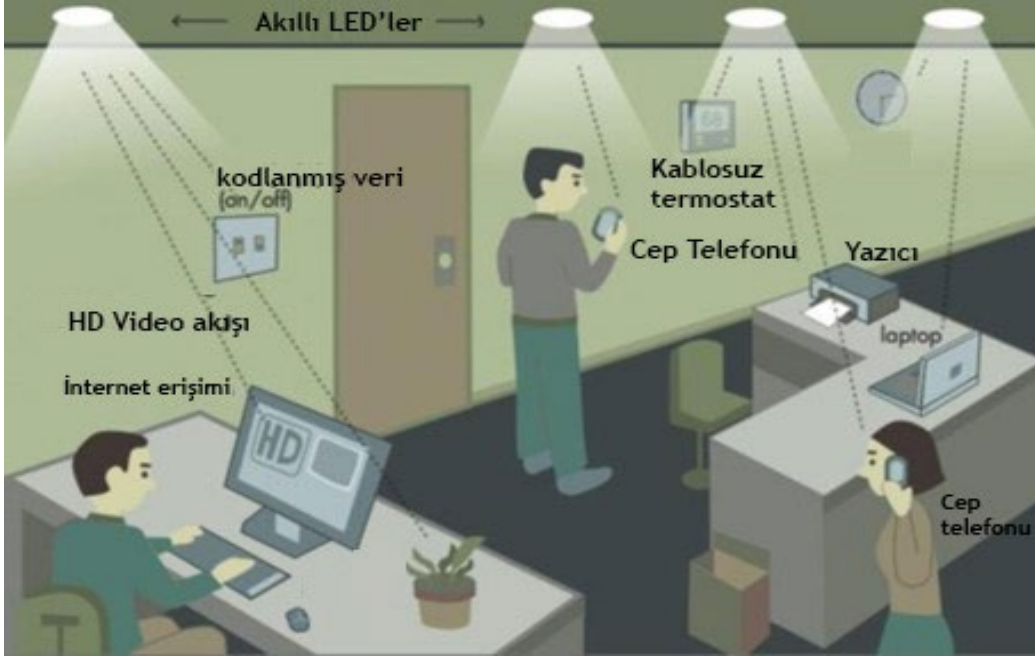
Tablo 1. Li-Fi ve Wi-Fi karşılaştırılması [1]

Özellik	Li-Fi	Wi-Fi
Kapasite	Radyo dalgalarından 10000 kat daha geniş spektrum	Radyo dalgaları, elektromanyetik spektrumun yalnızca küçük bir bölümünü oluşturmaktadır.
Verimlilik	LED'ler daha az enerji tüketir ve bu yüzden daha verimlidir.	Baz istasyonları yüksek enerji tüketmektedir. O yüzden enerjinin çoğu bu istasyonları soğutmak için kullanılmaktadır. O yüzden verimlilik daha düşüktür.
Kullanılabilirlik	LED ampullerin olduğu her yerde kullanılabilir.	Radyo dalgalarının zararlı etkilerinden dolayı sınırlı kullanım sunmaktadır.
Güvenlik	Işığın duvarlardan geçememesinden dolayı daha fazla güvenlidir.	Radyo dalgaları, dışardan bağlanma imkânı sunmasından dolayı daha az güvenlidir.
Geliştirme Yılı	2011	2009 (802.11n)
Hız	>10 Gbps	~ 150 Mbps
Mesafe	10 m	250 m
IEEE Standardı	802.15.7	802.11n
Spektrum Aralığı	384 THz - 789 THz	3 Hz – 3000 GHz
İletişim	VLC tabanlı	RF tabanlı
Yönlendirici	Ledler	Access Points
Altyapı Maliyeti	Düşük	Yüksek
Girişim	Yok	Radyo dalgaları ile girişimde bulunabilir.
Güç Tüketimi	Düşük	Yüksek
Çevresel Etki	Düşük	Orta

1.1. Li-fi Nedir?

Li-Fi, televizyon yayınları ve Wi-Fi haberleşmesinde kullanılan radyo dalgalarından yaklaşık olarak 10.000 kat fazla iletim kapasitesi sunan ve insan gözünün fark edemeyeceği kadar hızlı açılıp kapanan LED'lerden yayılan ışık dalgaları ile iletim sağlayan bir kablolu haberleşme teknolojisidir. Li-Fi teknolojisi 2011 yılında TED (Technology, Entertainment, Design) Global Konferansı'nda, Alman fizikçisi Prof. Harald Haas tarafından bir LED ile 10 Mbps hızında video iletimi gerçekleştirilerek tanıtılmıştır. Li-Fi, VLC altyapısını kullanarak yüksek hız ve bant genişliğinde veri iletimi sağlamaktadır. Li-Fi, veri iletimi için ışık kullanan kablolu haberleşme teknolojisidir [2]. Li-Fi sistemlerde performans analizlerinin ölçümü için

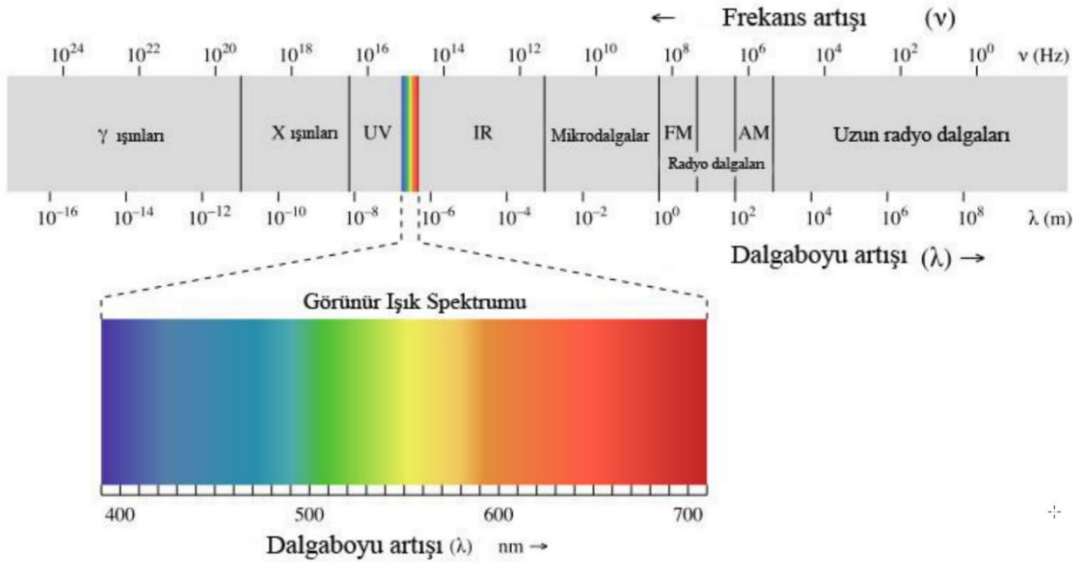
non-return-to-zero (NRZ), return-to-zero (RZ) ve on-off keying (OOK) gibi farklı modülasyon şemaları farklı parametrelerle birlikte kullanılabilir [3][4]. Farklı teknolojiler kullanılarak Li-Fi uygulaması yapılabilmektedir. Kurt ve Şenel gömülü sistemler üzerinden Li-Fi kullanılarak kablosuz veri iletimi uygulaması yapmışlardır [5]. Li-Fi ile veri iletimi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Li-Fi [1]

1.2. Görünür Işık İletişim

VLC, veri iletişimi için kullanılan ve genel olarak radyo frekanslı kablosuz veri haberleşmesine alternatif olarak geliştirilmiştir [6]. VLC veri aktarımı için LED ışık kaynakları kullanılır böylece ışık hızında veri iletimi yapılabilmesi sağlanır. VLC'nin temel çalışma mantığı, LED'lerin insan gözünün fark edemeyeceği kadar hızlı kapanıp açılmasıyla verinin iletilmesi ve alıcı tarafında fotodetektörler veya kamera sensörleri ile bu verinin alınmasıdır. VLC'nin iletişim için kullandığı frekans aralığı ve dalga boyu Şekil 2’de gösterilmiştir. VLC 380 nm ile 780 nm arasındaki dalga boylarında görünür ışık kullanmaktadır. Bu dalga boyları 384 THz ile 789 THz frekans aralığında bulunur. Farklı tipteki LED ışık kaynaklarına göre bant genişliği değerleri değişmektedir [7].



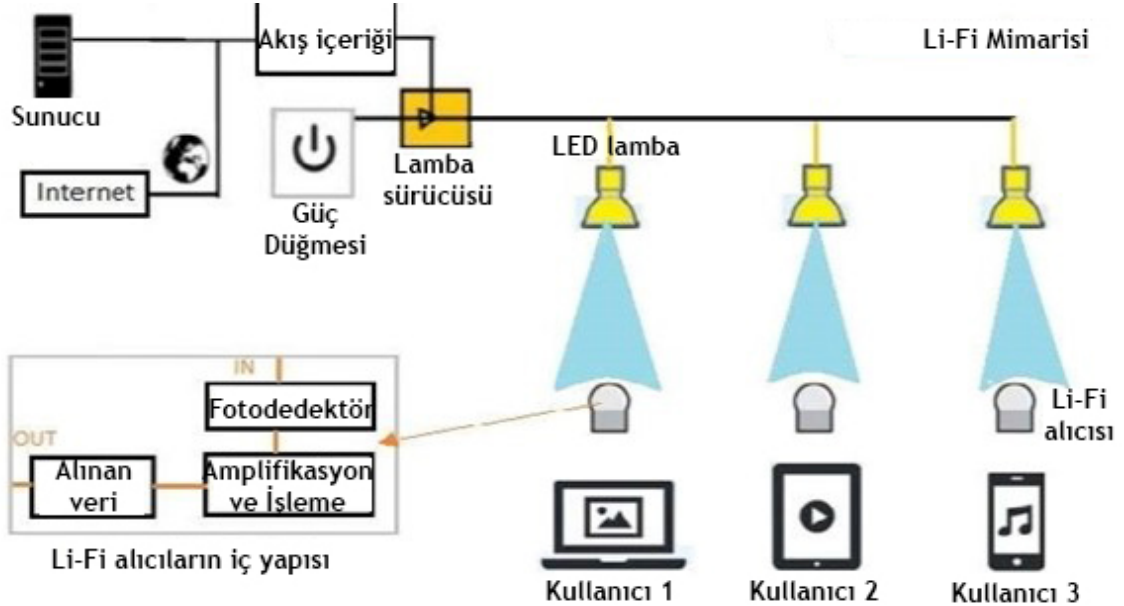
Şekil 2. Görünür ışığın elektromanyetik spektrumdaki yeri [8]

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal

Li-Fi uygulamalarında temel olarak aşağıda belirtilen bileşenler bulunur.

- LED
- Işık
- Görüş Hattı (LoS – Line of Sight)



Şekil 3. Li-Fi Yapısı [9]

Şekil 3'te genel olarak Li-Fi çalışma mimarisi belirtilmiştir. Buna göre internet veya farklı veri kaynaklarından gelen veri, LED'lerin çok hızlı bir şekilde hızla açılıp kapanması ile ışık dalgalarına dönüştürülür. LED ışık kaynağı, gelen veriyi 1'ler ve 0'lara dönüştürür. LED'in açılma durumu 1 ve kapanma durumu 0'a karşılık gelir ve böylece veri modülasyonu sağlanmış olur. Alıcı tarafında fotodetektörlerle demodülasyon işlemi yapılarak gelen ışık sinyalleri dijital veriye çevrilir. Dijital veriye

çevrilen sinyaller donanım üzerinde bulunan devrelerle işlenerek anlamlı verilere dönüştürülür. Genel olarak Li-Fi için öncelikle bir LED ışık kaynağı, ışığın algılanması ve veri dönüşümünün yapılacağı fotodetektör alıcı cihaz ve verinin LED ışığına uygun olarak modüle edilmesini sağlayan bir cihaz gereksinimi vardır [10]. Yüksek kapasiteli ve düşük karmaşıklık düzeyinde Li-Fi iletişim altyapısının oluşturulması performans açısından önemlidir [11].

Çalışma kapsamında iki bilgisayar arasında geliştirilen Li-Fi devreleri kullanılarak kablosuz veri iletimi gerçekleştirilmiştir. Devrelerde farklı baud hızları kullanılarak metin ve dosya transferi yapılmış, aktarım süreleri karşılaştırılmıştır. TeraTerm programı dosya transferi için kullanılmıştır. Bu program aracılığıyla ZMODEM ve XMODEM protokolleri ile dosya aktarımı gerçekleştirilmiştir. Metin aktarımı ise yazılımın kendi arayüzü üzerinden sağlanmıştır.

XMODEM, alıcı ve verici arasında dosya transferini gerçekleştiren bir protokoldür. Bu protokol, verileri iletmek için paketlere ayırır. Alıcı, her paketi aldığı anda vericiye paketin doğru ulaşıp ulaşmadığını bildirir. Eğer bir paket iletimi sırasında hata oluşursa, alıcı bu paketi tekrar talep eder ve verici aynı paketi yeniden gönderir. Ancak, paket iletimindeki hata düzeltilmezse veya paket kaybolursa dosya aktarımı durdurulur.

Transfer süreci alıcı ile başlatılır. İlk NAK (Not Acknowledge - alınmadı) sinyali alıcı tarafından gönderilene kadar verici herhangi bir veri paketi göndermeye başlamaz. NAK sinyali, alıcının veriye hazır olduğunu belirtir. Eğer alıcının NAK sinyalini göndermesi gecikir veya bir hata meydana gelirse, verici beklemeyi durdurur ve zaman aşımı gerçekleşir. Zaman aşımının ardından dosya aktarım süreci yeniden başlatılır [12].

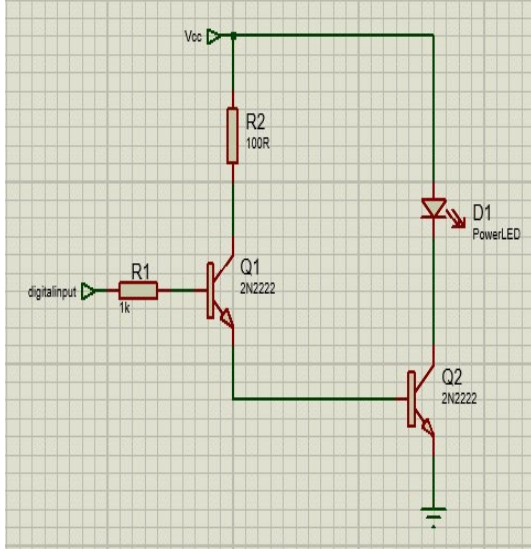
ZMODEM, XMODEM'e kıyasla önemli performans iyileştirmeleri sunan, yeniden başlatılabilir transfer mekanizması ve döngüsel artı denetimi (Cyclic Redundancy Check - CRC) gibi hata tespit yöntemleri içeren bir dosya transfer protokolüdür [13]. ZMODEM, büyük boyutlu paket transferini destekler ve bir bağlantı kesintisi yaşandığında transferin kaldığı yerden devam etmesine olanak tanır. XMODEM'in aksine, ZMODEM'de aktarım gönderici tarafından başlatılır ve her gönderilen paketin ardından ACK (Acknowledge - alındı) sinyali gerekmemektedir. Sadece, aktarımda bir kesinti veya hata meydana geldiğinde NAK sinyali gönderilir. Bu sinyal, hangi paketin aktarılmadığını belirler ve aktarım kaldığı yerden devam eder. Ayrıca, ZMODEM'deki paket numaraları, paketin konumunu da göstermektedir [13].

Li-Fi ile veri iletimi için gönderici bilgisayara USB portu aracılığıyla bağlanan UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) cihazı, bilgisayardan gelen veriyi 1 ve 0'lar şeklinde ikili kod olarak gönderici devreye iletir. Bu süreçte, 1 sinyali geldiğinde 5-volt iletim gerçekleşirken, 0 sinyali geldiğinde iletim kesilir. Bu sayede LED'in yanıp sönmeye sağlanır. UART, hız ayarı yapılabilen ve asenkron haberleşme protokolünü ve seri iletişim alt yapısını kullanan bir donanım bileşenidir. Asenkron terimi, burada gönderici cihazdan alıcı cihaza iletilen bitlerin senkronizasyonu için bir saat sinyalinin kullanılmadığını ifade etmektedir [14].

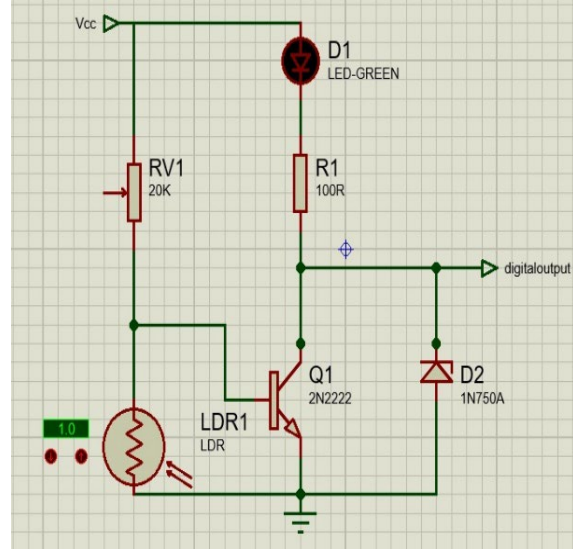
2.2. Metod

Bu çalışmada, bir bilgisayarda kurulan iki sanal makine arasında gerçekleştirilen Li-Fi devreleri aracılığıyla dosya aktarımı gerçekleştirilmiştir. Aktarım işlemi, ortam ışığı koşullarında yapılmıştır. Veri aktarım hızlarının donanımsal farklılıklardan etkilenmemesi için, aynı bilgisayar üzerinde iki ayrı sanal makine kurulmuştur. İlk sanal makine oluşturulduktan sonra klonlanarak ikinci sanal makine elde edilmiştir. Bu sayede donanımsal tutarsızlıkların önüne geçilmiştir.

Uygulama sırasında, Li-Fi devreleri ile dosya aktarımı gerçekleştirmek amacıyla Şekil 4a ve 4b'deki alıcı ve verici devre tasarımları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4a. Gönderici Devre Şeması



Şekil 4b. Alıcı Devre Şeması

Gönderici tarafında;

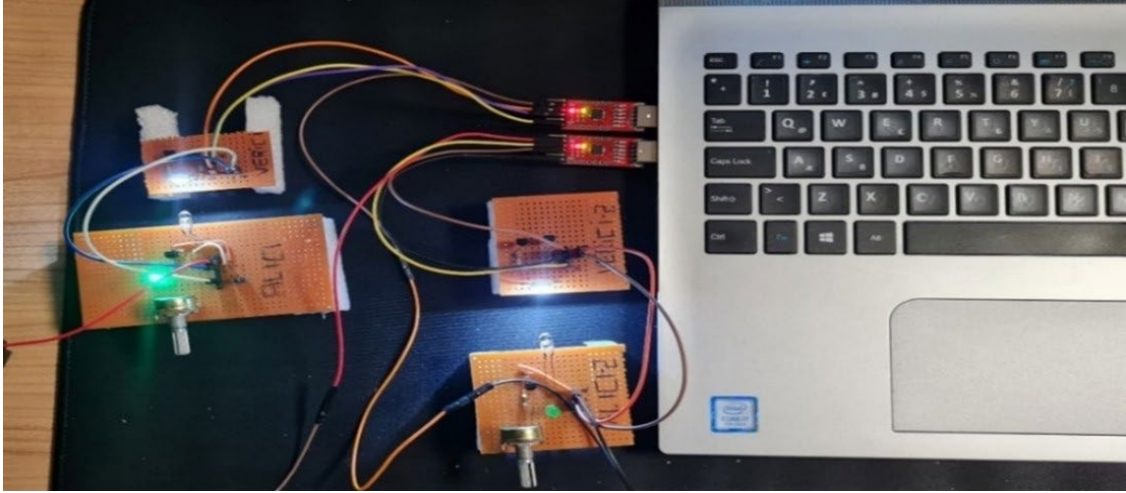
- 1 adet 1K Ω direnç,
- 1 adet 100 Ω direnç,
- 2 adet transistör,
- 1 adet power LED kullanılmıştır.

Alıcı tarafında ise;

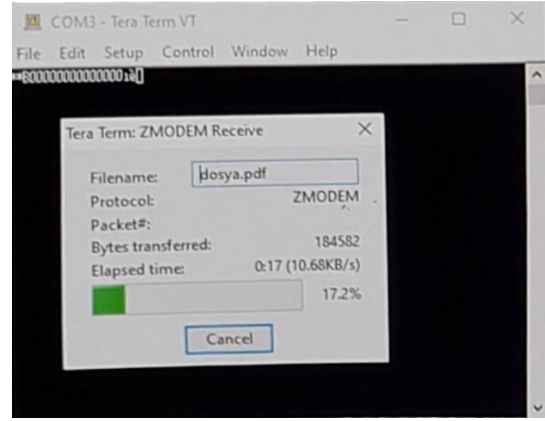
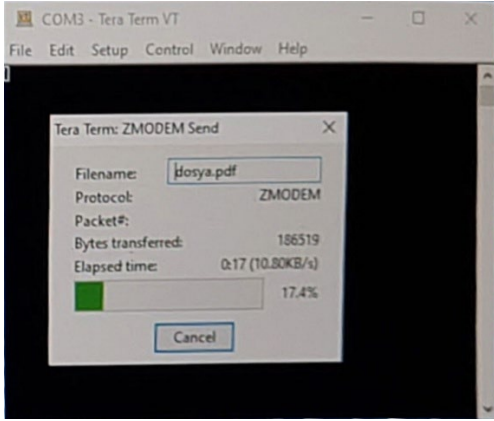
- 1 adet 100 Ω direnç,
- 1 adet 4,7V zener diyot,
- 1 adet transistör,
- 1 adet LDR (Light Dependent Resistor),
- 1 adet 20K Potansiyometre kullanılmıştır.

LDR ışığa karşı hassas olduğundan dolayı LDR'nin direncini ayarlamak için potansiyometre kullanılmıştır. Potansiyometre, bir voltaj ayarı yaparak LDR'nin direncini ışığın şiddetine göre ayarlaması için devreye eklenmiştir. Zener diyot ise UART cihazını elektriksel bir hasardan korumak için eklenmiştir. Ayrıca potansiyometrenin voltajının tam olup olmadığını belirlemek için de bir yeşil LED eklenmiştir.

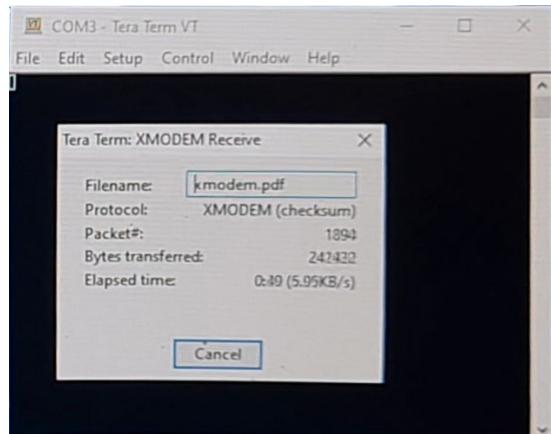
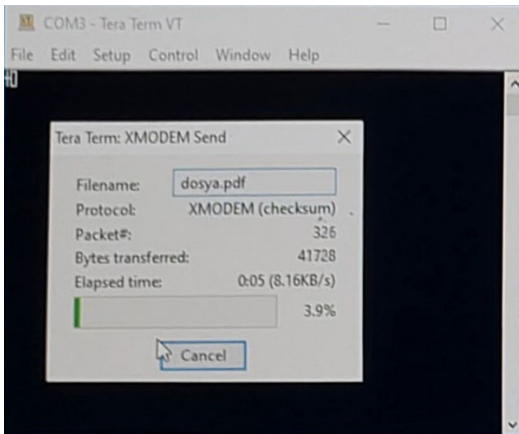
Gönderici tarafında On-Off Keying (OOK) modülasyonu kullanılmıştır. Bu modülasyon ile binary olarak kodlanmış olan veriye göre LED'in yanıp sönmeye sağlanmaktadır. Dosya aktarımının başlatılması için alıcı tarafın "hazır" mesajını iletmesi gerekmektedir. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de devrelerin ve sanal makinelerin dosya aktarım esnasındaki durumları gösterilmiştir.



Şekil 5. Li-Fi Sisteminin Çalışma Anı [15]



Şekil 6. ZMODEM Protokolü ile Dosya Aktarım Anı [15]



Şekil 7. XMODEM Protokolü ile Dosya Aktarım Anı [15]

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Uygulamada, 3 MB, 1 MB ve 660 KB boyutlarındaki dosyalar, Li-Fi düzenekleri kullanılarak hem ZMODEM hem de XMODEM protokolleri ile 38400, 57600 ve 115200 baud hızlarında aktarılmıştır. 115200 baud hızının üzerinde, fotodiyotun performansının yetersiz olduğu gözlemlendiğinden, maksimum

hız olarak 115200 baud kullanılmıştır. Gönderim sonuçlarına ait veriler Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir. XMODEM protokolü ile yapılan dosya aktarımına ait sonuçlar Tablo 3'te yer almaktadır. 115200 baud hızında 8,15 KB/sn, 57600 baud hızında 4,45 KB/sn ve 38400 baud hızında 3,29 KB/sn aktarım hızları elde edilmiştir.

Tablo 4'te ise ZMODEM protokolü ile gerçekleştirilen dosya transferine ait sonuçlar gösterilmektedir. 115200 baud hızında 10,65 KB/sn, 57600 baud hızında 5,45 KB/sn ve 38400 baud hızında 3,65 KB/sn hızlarında dosya aktarımı sağlanmıştır.

Tablo 3. XMODEM ile Dosya Aktarım Verileri [15]

Baud Hızı	Dosya Boyutu		
	3 MB	1 MB	660 KB
115200	8,15 KB/sn 6 dk 30 sn	8,15 KB/sn 2 dk 10 sn	8,15 KB/sn 1 dk 23 sn
57600	4,50 KB/sn 11 dk 24 sn	4,45 KB/sn 4 dk	4,26 KB/sn 2 dk 40 sn
38400	3,29 KB/sn 15 dk 54 sn	3,29 KB/sn 5 dk 25 sn	3,29 KB/sn 3 dk 27 sn

Tablo 4. ZMODEM ile Dosya Aktarım Verileri [15]

Baud Hızı	Dosya Boyutu		
	3 MB	1 MB	660 KB
115200	10,65 KB/sn 4 dk 54 sn	10,65 KB/sn 1 dk 38 sn	10,65 KB/sn 1 dk 08 sn
57600	5,45 KB/sn 9 dk 38 sn	5,45 KB/sn 3 dk 16 sn	5,45 KB/sn 2 dk 04 sn
38400	3,65 KB/sn 14 dk 25 sn	3,65 KB/sn 4 dk 54 sn	3,65 KB/sn 3 dk 06 sn

Tablo 5'te XMODEM ve ZMODEM protokollerinin farklı baud hızlarda karşılaştırma sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5. XMODEM ve ZMODEM Hız Karşılaştırması [15]

Protokol	Baud Hızları		
	115200	57600	38400
ZMODEM	10,65 KB/sn	5,45 KB/sn	3,65 KB/sn
XMODEM	8,15 KB/sn	4,45 KB/sn	3,29 KB/sn

Bu veriler, ZMODEM aktarım protokolünün XMODEM'e kıyasla 115200 baud hızında yaklaşık %30, 57600 baud hızında yaklaşık %20 ve 38400 baud hızında yaklaşık %10 daha hızlı dosya aktarımı yaptığını göstermektedir. Gönderim işlemi sırasında PDF, JPEG, PNG gibi çeşitli dosya türleri kullanılmış ve aktarılan dosyaların herhangi birinde bozulma veya hata meydana gelmemiştir. Sonuç olarak, dosyaların boyutlarının korunduğu ve görüntü içeren dosyalarda herhangi bir bozukluk meydana gelmediği, sadece metin içeren dosyalarda ise eksik harf veya karakter bulunmadığı tespit edilmiştir.

Ayrıca, baud hızları arasındaki oranların, aktarım hızları ile, aktarım süreleri açısından da korunduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, her bir baud hızının aktarım performansı üzerindeki etkisinin tutarlı bir şekilde yansıdığını ve hız arttıkça sürelerin de buna paralel olarak azaldığını göstermektedir. Tablo 6'da bu durum özetlenmiştir. Tablo 6'da yer alan oklar baud hızların artış miktarlarını göstermektedir.

Uygulama içerisinde gerçekleştirilen dosya aktarım işlemleri, Li-Fi devreleri kullanılmadan, yani UART bileşenlerinin doğrudan birbirine bağlanmasıyla tekrar edilmiş ve Tablo 5'te belirtilen aktarım hızlarının doğrudan yapılan bağlantılarda da sağlandığı görülmüştür. Bu durum, Li-Fi kullanılarak yapılan aktarımlarda herhangi bir hız kaybı yaşanmadığı ve kablo bağlantısıyla aynı hızda ve sürede aktarım

gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bu bağlamda, Li-Fi kullanımı, kablo karmaşasını ortadan kaldırarak daha sade ve düzenli bir yapı sunması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Tablo 6. Baud Performans Karşılaştırması

Baud Rate	Aktarım Hızları ve Süreleri
38400 $\xrightarrow{1,5 \text{ kat artış}}$ 57600	3,65 KB/sn $\xrightarrow{\sim 1,5 \text{ kat artış}}$ 5,45 KB/sn
	3 dk 06 sn iken 2 dk 04 sn'ye düşüyor
57600 $\xrightarrow{2x \text{ kat artış}}$ 115200	5,45 KB/sn $\xrightarrow{\sim 2 \text{ kat artış}}$ 10,65 KB/sn
	2 dk 04 sn iken 1 dk 08 sn'ye düşüyor

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmada, aynı donanım üzerinde sanal makinalarla oluşturulan iki bilgisayar üzerinde Li-Fi devreleri kullanılarak metin ve dosya gönderimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Dosya aktarımı ZMODEM ve XMODEM protokolleri ile yapılmıştır. Her iki protokol için sırasıyla 38400, 57600, 115200, baud hızlarında veri aktarım süreleri ve hızları karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre ZMODEM'in, XMODEM'e göre tüm hızlarında daha yüksek aktarım hızı sağladığı tespit edilmiştir. Aynı dosyalar, Li-Fi devreleri kullanılmadan ve iki UART cihazının doğrudan kablolar aracılığıyla bağlanmasıyla tekrar aktarılmıştır. Bu testlerde, Li-Fi düzeneklerindeki hız ve sürelerin benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, Li-Fi kullanımının kablolu aktarım ile karşılaştırıldığında herhangi bir hız veya veri kaybı yaşanmadığını göstermiştir. Ayrıca 115200 baud hızının üstündeki baud hızlarında LDR'nin de yetersiz kaldığı, dolayısıyla dosya aktarımının başlamadığı görülmüştür.

Çalışmada, Li-Fi veri iletişimi için başlangıçta fotodiyot kullanılması planlanmış ancak fotodiyotlardan daha hızlı ve verimli yanıt verebilmesi sebebiyle fotodiyot yerine LDR kullanılmıştır. Li-Fi devrelerinde kullanılan devre elemanlarının uygun maliyetli olması, sistemin toplam maliyetini de düşürmüştür. Çalışmada kullanılan Li-Fi devreleri ile maksimum Kbps seviyelerinde hızlara ulaşılmıştır. Daha yüksek hızlara erişmek, alıcı ve verici arasındaki mesafe, LED yerine LED dizileri veya daha güçlü LED'ler kullanımı, daha hassas fotodedyotör veya fotosel kullanımı ve farklı modülasyon tekniklerinin uygulanması gibi faktörlere bağlıdır. Daha güçlü LED'ler, daha uzak mesafelere veri iletimini mümkün kılabilir. Işık şiddetinin artırılması, bant genişliğini de artıracığından, daha güçlü LED'ler veya LED kümelerinin kullanılmasıyla hız ve süre olarak daha performanslı veri aktarımı sağlanabilecektir.

Çalışmada kullanılan XMODEM ve ZMODEM protokolleri standart olarak farklı teknolojilerde dosya transferi için uzun zamandır kullanılan protokollerdir. Çalışmanın ana amacı, Li-Fi ile kısa mesafeli veri iletişimi uygulamasıdır.

Li-Fi kullanımının yaygınlaşması, LED'lerin kullanım alanlarının genişlemesine yol açabilecektir. Ayrıca, Li-Fi'nin yaygınlaşması, kablosuz haberleşme maliyetlerini en aza indirebilecek ve radyo frekans bant kapasite yetersizliğine bir çözüm sağlayabilecektir. Li-Fi'nin yaygınlaşması, Wi-Fi gibi mevcut kablosuz teknolojileri tamamen ortadan kaldırmayacak ancak Li-Fi'nin artan kullanımı, radyo frekans kullanan teknolojilere olan talebi azaltarak radyo frekans bandının kullanımını önemli ölçüde rahatlatılabilecektir. Işık kullanımının yetersiz olduğu veya iletilmesinin imkânsız olduğu bölgelerde, Wi-Fi ile hibrid bir kullanım da uygulanarak başarıyı daha yüksek çözümler ve daha verimli Li-Fi uygulamaları geliştirilebilir. Li-Fi'nin veri iletişim sürelerini kısaltması, gerçek zamanlı veri akışı olan sistemlerde daha hızlı ve güvenli bağlantı sağlaması, Wi-Fi tabanlı sistemlere göre önemli bir avantaj sağlamaktadır. Li-Fi teknolojisinin en önemli avantajlarından birisi de görünür ışık spektrumunun radyo frekans spektrumundan 10.000 kata kadar daha geniş olmasıdır, bu da daha fazla bant genişliği anlamına gelmektedir. Gelecekteki çalışmalarda belirtilen bu oran, verici ve alıcı arasında kullanılan tüm bileşenlerin teknik dokümanlarda belirtilen değerlerine uygun olarak anahtarlama frekanslarına ve gecikmelerine göre yapılacak maksimum iletim hız hesaplamalarıyla net olarak belirlenebilir. Li-Fi teknolojisinin yaygınlaşması ile gelecekte çok daha güvenli ve hızlı kablosuz haberleşme sistemleri kullanılabilir. Gelecekteki çalışmalarda led yerine led dizileri ya da ticari ledler, LDR yerine güneş pili kullanarak daha yüksek bant genişliği ve hızlara ulaşılabilecek

uygulamalar geliştirilebilir. Çalışmada kullanılan LoS çalışma mantığına uygun olarak gönderici devreden gönderilen ışık farklı alıcı devreler tarafından da alınabilir. Gelecekteki çalışmalarda, LoS üzerinden gönderilecek ethernet çerçevesinde bulunacak kaynak ve hedef MAC adresi bilgisi ile bu sorunun çözümü sağlanabilir ve adresleme mekanizması sayesinde diğer alıcılar ışığı alsa da veriye erişim sağlayamayacaklardır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. A. Hadi, Wireless Communication Tends to Smart Technology Li-Fi and its Comparison with Wi-Fi. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 5:5 (2016) 40–47.
- [2] A. Sarkar, P. S. Agarwal, D. A. Nath, Li-Fi Technology: Data Transmission through Visible Light. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management.*, 3:6 (2015) 1–12.
- [3] B. Aydin, Ç. Duman, Examination of OOK modulation schemes in Li-Fi systems. *Optik (Stuttg.)*, 270 (2022) 169996. doi: 10.1016/j.ijleo.2022.169996.
- [4] D. F. Fonseca, M. S. Mir, S. Iglesias de Frutos, B. G. Guzman, D. Giustiniano, Modulating LiFi for dual operation in the visible and infrared spectra. *Comput. Commun.*, 216 (2024) 251–259. doi: 10.1016/j.comcom.2024.01.005
- [5] K.D. Kurt, F.A. Şenel, Li-fi Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Haberleşme Sistemi Tasarımı, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8:2 (2023) 116-121.
- [6] S. Safaraliev, K. Vahaplar, A. Aybar, Led’li Aydınlatma Armatürleri ile Görünür Işık Haberleşmesi. VI. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 16-19 Ekim, İzmir. 2019.
- [7] C. Liang, L. Jiarong, L. Sicong, Y. Fang, D. Yuhan, S. Jian, Z. Xiao-Ping, D. Wenbo, Integrated sensing, lighting, and communication based on visible light communication: A review. *Digit. Signal Process.*, 145 (2024) 104340. doi: 10.1016/j.dsp.2023.104340.
- [8] R. Karthika, S. Balakrishnan, Wireless Communication using Li-Fi Technology. *SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2:3 (2015) 7-14. <https://doi.org/10.14445/23488549/IJECE-V2I3P107>.
- [9] S. Saranya, B. Ragavi, L.Pavithra, S. Susheel, M. Srivarsha, V. Vishal, Audio Transmission using Visible Light Communication and Li-Fi Technology, 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), (2021). doi: 10.1109/ICICT50816.2021.9358638.
- [10] S. Alfattani, Review of LiFi Technology and Its Future Applications. *J. Opt. Commun.*, 42:1 (2021) 121–132. doi: 10.1515/joc-2018-0025.
- [11] M. G. Al-Hamiri, H. J. Abd, Enhancing the performance of LiFi communication with OSTBC, QAM, and OFDM: High-capacity, low-complexity transceiver design. *Results Opt.*, 16 (2024) 100675. doi: 10.1016/J.RIO.2024.100675.
- [12] S. Biswas, S. Singh, S. K. Kak, Network File Server in Dual Tasking Mode using Xmodem Protocol. *IETE Technical Review*, 8:2 (1991) 90–95. <https://doi.org/10.1080/02564602.1991.11438722>. 1991.
- [13] K. Lee, S. Chanson, A new file transfer protocol for telephone lines. *Proceedings of IEEE Pacific Rim Conference on Communications Computers and Signal Processing*, Victoria, BC, Canada, 2 (1993) 536-548. doi: 10.1109/PACRIM.1993.407303.

- [14] E. Peña, M. G. Legaspi, UART: A Hardware Communication Protocol Understanding Universal Asynchronous Receiver/Transmitter. *AnalogDialogue*, 54:4 (2020).
- [15] H. Yılmaz, Kısa Mesafe Kablosuz Veri Aktarımı İçin Li-Fi Tabanlı İletişim Modülü Tasarımı ve Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2022.