

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GÖRÜNÜR IŞIK İLE HABERLEŞME VE SİSTEM TASARIMI

ALP DORUK ERTUNA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KONTROL VE OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MUHARREM MERCİMEK**

İSTANBUL, 2016

T.C. YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖRÜNÜR IŞIK İLE HABERLEŞME VE SİSTEM TASARIMI

Alp Doruk Ertuna tarafından hazırlanan tez çalışması 28.01.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Muharrem MERCİMEK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Halit PASTACI

Haliç Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Muharrem MERCİMEK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Levent UCUN

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tezimle ilgili tüm süreçlerde benden yardımlarını esirgemeyen ve beni araştırmam kapsamında en iyi şekilde yönlendiren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Muharrem MERCİMEK'e teşekkür ederim.

Ocak, 2016

Alp Doruk ERTUNA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
GÖRÜNÜR IŞIK İLE HABERLEŞME	3
2.1 Giriş	3
2.2 Görünür Işık ile Haberleşmenin Kullanım Alanları.....	6
2.3 Sistem Tasarım Aşamaları	10
BÖLÜM 3	
SİSTEMDE KULLANILACAK ELEMANLAR VE SİSTEM ARAYÜZÜ	12
3.1 Led Yapısı ve Çalışma Prensibi	12
3.2 Fotodiyot Yapısı ve Çalışma Prensibi	13
3.3 Mikrokontrolör.....	15

3.4	Güç Kaynağı.....	17	
3.5	Arduino Programlama.....	17	
3.5.1	Mesaj Gönderme Formatı.....	18	
3.5.2	Seri Port Ekranı	19	
3.6	C# V.L.C İletim Arayüzü	21	
3.7	C# V.L.C. Alıcı Arayüzü.....	22	
BÖLÜM 4			
DENEYLER.....			25
BÖLÜM 5			
SONUÇ VE ÖNERİLER			37
KAYNAKLAR.....			39
ÖZGEÇMİŞ			41

SİMGE LİSTESİ

C#	Nesne Yönelimli Programlama Dili
C	Yapısal Programlama Dili
GHz	Gigahertz
I_R	Reverse Current
I_V	Luminous Intensity
THz	Terahertz
V_R	Zaman aralığının sonu
λ_d	Dominant Wavelength
$\Delta\lambda$	Spectral Line Half-Width
Θ	Viewing Angle
V_{out}	Çıkış Gerilimi
V_{in}	Giriş Gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

EMI/RFI	Electromagnetic Interference or Radio Frequency Interference (Elektromanyetik Girişim veya Radyo Frekans Girişimi)
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
ICT	Information and Communication Technology (Bilgi ve Haberleşme Teknolojisi)
JEITA	Japan Electronics and Information Technology Industries Association (Japon Elektronik ve Enformasyon Teknolojisi Endüstri Ortaklığı)
ISM	Industrial Scientific Medical band (Sanayi, bilimsel ve tıbbi cihaz bantı)
MRI	Magnetic Resonance Imaging (Manyetik Rezonans Görüntüleme)
QoS	Quality of Service (Ağ İletişimi Hizmet Kalitesi)
VLCC	Visible Light Communication Consortium (Görünür Işık ile Haberleşme Konsorsiyumu)
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Dünya Çapında Geniş Bant İnternet Erişimi Teknolojisi)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Akıllı binalarda Görünür Işık ile Haberleşmenin cihazlar üzerinden haberleşmesine örnek kullanımı.....	6
Şekil 2. 2 Ulaşım uygulamalarında Görünür Işık ile Haberleşmelerini sağlayan araçların birbiri arasında iletişimini gösteren kullanımı	7
Şekil 2. 3 Güvenlik uygulamalarında Görünür Işık ile Haberleşmenin aynı alan içinde olan kişilerin veri aktarımını gösteren kullanımı.....	8
Şekil 2. 4 Sağlık uygulamalarında Görünür Işık ile Haberleşmenin hastanede, ameliyathane gibi cihazların hassas olması gereken yerlerde kullanımı	9
Şekil 2. 5 Kapalı ortamlarda yer bulma Görünür Işık ile Haberleşme kullanımı.....	9
Şekil 2. 6 Su altı uygulamalarında kullanıcıların birbiriyle haberleşmelerine alternatif kullanımı.....	10
Şekil 2. 7 Görünür Işık ile Haberleşme blok diyagramı.....	11
Şekil 3. 1 LTL2T3TGK6 LED için bağıl yoğunluk-dalga boyu grafiği.....	13
Şekil 3. 2 Temel kutuplama ve fotodiyotun yapısı	14
Şekil 3. 3 MTD5052N fotodiyot duyarlılık-dalga boyu grafiği	15
Şekil 3. 4 Arduino bağlantı pinleri ve Ardunio Uno'nun üstten görünümü	17
Şekil 3. 5 Arduino program arayüzü	19
Şekil 3. 6 Test mesajı seri port görünümü.....	20
Şekil 3. 7 C# V.L.C veri gönderme arayüzü	22
Şekil 3. 8 C# V.L.C alıcı arayüzü	24
Şekil 4. 1 Üretilen sinyalin gönderme ve iletim blok şeması.....	25
Şekil 4. 2 Laboratuvar ortamında test aşaması	26
Şekil 4. 3 Osiloskop ekranında gönderilen ve alınan sinyaller	27
Şekil 4. 4 Mesafeye göre çıkış gerilimi.....	28
Şekil 4. 5 Alıcı devresi	31
Şekil 4. 6 Gönderici PWM çıkışı.....	32
Şekil 4. 7 Alıcı devrenin BJT ile kuvvetlendirildikten sonraki çıkış.....	33
Şekil 4. 8 Arada saydam bir cisim varken mesafeye göre çıkış gerilimi	35
Şekil 4. 9 Arada başka bir ışık kaynağı varken mesafeye göre çıkış gerilimi	35

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Görünür Işık ile Haberleşme ve Radyo Frekansı karakteristiklerinin karşılaştırılması.....	5
Çizelge 3.1 LED için parlaklık-gerilim-akım-bant genişliği	13
Çizelge 4. 1 Görünür Işık ile Haberleşme deney sonuçları	28
Çizelge 4. 2 Arada nesne varken-başka ışık kaynağı varken Görünür Işık ile Haberleşme deney sonuçları.....	34

GÖRÜNÜR IŞIK İLE HABERLEŞME VE SİSTEM TASARIMI

Alp Doruk ERTUNA

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Muharrem MERCİMEK

Günlük hayatımızda haberleşme kavramının yerinin çok önemli olduğu düşünülmektedir. Gelişen teknolojiyle kablosuz haberleşmeye ihtiyaç günden güne artarken sınırlı bant genişliği nedeniyle kullanılan kablosuz haberleşme teknolojilerine alternatif teknolojilere ihtiyaç artmaktadır. Görünür Işık ile Haberleşme sistemleri kablosuz haberleşme teknolojileri alanında yararlı olabilir.

Radyo dalgalarının frekans aralığı 3kHz -300GHz olup, görünür ışığın frekans aralığı ise 430THz-750THz arasında değişmektedir. Görünür Işık ile Veri İletimi, diğer haberleşme sistemlerine göre belirli bir zaman aralığında sonsuz genişliğe (430THz-750THz) sahiptir. Sayısal sinyal olarak 500Mbps gibi yüksek transfer hızına ulaşılabilir. Görünür ışık, radyo dalgalarının aksine duvardan geçemez ve bu özelliği sistemin daha güvenilir olmasını sağlar.

Görünür Işık ile Haberleşme metodu Enerji tüketimini düşürerek verimli bir haberleşme olanağı sunması açısından geleceğin haberleşme teknolojileri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Kablosuz haberleşmede daha yeşil çözüm arayışları özellikle Japonya tarafından başlatılmıştır. Bu kapsamda geliştirilen Görünür Işık ile Haberleşme, gelişme aşamasında olan ve mevcut diğer haberleşme teknolojilerine oranla daha az enerji tüketim potansiyeline sahiptir. Endüstride, bilimde ve medikal bantta

(Industrial Scientific Medical Band), radyo frekans spektrumun (Radio Frequency) aksine maliyet etkin ve henüz lisanslandırılmamış bant genişliği ile haberleşme olanağı sunan bir teknolojidir.

Işık kaynağı hayatın her yerinde kullanılır. Bu sebeple Görünür Işık ile Veri İletiminin uygulama alanı çok fazladır. Hastahaneler, restoranlar, havaalanları, trafik lambaları Görünür Işık ile Haberleşme yönteminin ilk akala gelen uygulama alanlarıdır.

Bu projede Görünür Işık ile Veri İletiminin avantajlarını gösteren çalışmalar ve güvenlik alanında önemi vurgulandı. İstenen bant genişliğine sahip LED ve fotodiyot gibi devre elemanlarının seçimi, çalışma mantığı ve mikrokontrolör programlaması gibi adımlar izleyerek veri iletmeye çalışıldı.

Anahtar Kelimeler: Görünür Işık ile Haberleşme, Görünür Işık ile Veri İletimi, LED, görünür ışık, fotodiyot

VISIBLE LIGHT COMMUNICATION AND SYSTEM DESIGN

Alp Doruk ERTUNA

Department of Control and Automation Engineering

M.Sc. Thesis

Advisor: Asst. Prof. Dr. Muharrem MERCİMEK

Communication concept is thought to be very important in our daily lives. Requirements for wireless communication with developing technology are increasing day by day. On the other hand, technologies used for wireless communication have limited bandwidth. Therefore we need alternative wireless communication systems. Visible Light Communication (VLC) has been developed as an alternative to the existing wireless communication systems.

Radio waves has a frequency ranging from 3kHz to 300GHz. The operating range of VLC systems is the visible light band of the electromagnetic spectrum: 430THz to 750THz. Visible light transmission has a wider bandwidth than other communication systems. Transmission speed can be reached up to 500Mbps. Unlike radio waves, visible light can not penetrate walls, and this feature allows the system to be more reliable.

Reducing energy consumption in wireless communications to construct a green wireless communication network Visible Light Communication (VLC) will play an important role between wireless communication systems in future. Searching more green solutions in wireless communication is improved especially by Japan. Although, this technology is still in its infant stages, visible light communication is considered to be a green communication alternative depending on its developing stage which can be used instead of RF communication .

Light source is used about anywhere in daily life, so VLC has potential to enhance communication area. The aims are to transmit data and to design system by using visible light in this project. To improve visible light communication system is other target. Data is transmitted by following the steps of such as selecting of circuit components, working logic and microcontroller programming.

Keywords: Visible Light Communication, visible light, LED, data transferring via visible light, photodiode

1.1 Literatür Özeti

Görünür Işık ile Haberleşme sistemlerinin güvenlik ve birçok uygulama alanında katkı sağlayabileceği incelenmiştir. Özellikle güvenlik alanındaki uygulanması ön plana çıkarılmıştır. Konuyla ilgili güncel makalelerde Görünür Işık ile Veri İletimi hakkında bilgiler toplanıp sistemin çalışma prensibi üzerinde durulmuştur. Sistemin çalışma mantığından yola çıkılarak hangi alanlarda kullanılabileceği hakkında incelemeler ve saptamalarda bulunulmuştur. İncelenen makaleler birbirleriyle ve ilgili haberleşme ve elektronik kitaplarıyla karşılaştırılıp sistemin çalışma prensibi formülize edilmiştir. Konu içeriği tez kapsamına alınmadan önce verilerin akademik açıdan geçerlilikleri araştırılarak, kaynağın güvenilirliği saptandıktan sonra tez çalışmamızda yapılan deneylerden elde sonuçlar ile birlikte doğrulanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezde amaç; Görünür Işık ile Haberleşmedeki potansiyeli anlamak sınırsız bant genişliğini kullanarak radyo frekansı gibi teknolojilere farklı bir bakış açısı geliştirmektir. Bant genişliği; iletim ortamının ya da haberleşme kanalının kapasitesini belirtmekle birlikte bu bant genişliğinin sınırsız olması kullanılacak haberleşme kanalının kapasitesinin bir limiti olmadığını gösterir. Oda içerisinde iletim gerçekleştirmek, geleceğe dönük ev içerisinde interneti ışıktan kullanmamızı sağlar. Bu şekilde de hem ışık hemde veri iletimi için tek bir kaynak kullanarak enerji tasarrufu yapılabilir.

Enerji verimli Görünür Işık ile Yeşil Haberleşme sistemlerinin potansiyeli incelenmiş ve günümüzde sistem tasarımında kullanılan LED teknolojileri ve uygulanan modülasyon türleri hakkında bilgi verilmiştir. Yüksek hızda haberleşme sağlayan görünür ışıkla haberleşme (Visible Light Communication) uygulama teknikleri üzerinde durularak, enerji tüketimini optimize ederek Gb/s hızına ulaşan Görünür Işık ile Haberleşme sistemlerinde karşılaşılan sorunlar ve çözümlerine yönelik öneriler tartışılmıştır.

1.3 Hipotez

LED'in direkt modülasyonu ile enerji verimliliği de dikkate alınarak daha yüksek veri hızları elde edilmesi konusundaki çalışmaların sürdürülmesi ve bu konunun birçok perspektiften araştırılması gerektiği deneylerle değerlendirilmektedir. Kısaca, Görünür Işık ile Haberleşme sistemlerinde veri hızını artırırken kullanım alanlarının artırılabilceği ve elektronik elemanlar ile optimize ederek daha hızlı daha işlevsel bir sistem tasarımı yapılmasının gerekliliği belirtilmektedir.

GÖRÜNÜR IŞIK İLE HABERLEŞME VE SİSTEM TASARIMI

2.1 Giriş

Yeşil haberleşme, aydınlatma ve haberleşmeyi düşük enerji tüketimi ile sağlayan önemli bir teknolojidir. Günümüzde küresel toplam enerji tüketimi konusu mercekaltına alınmış ciddi bir sorundur. Enerji verimliliği son zamanlarda işletme giderlerinin düşürülmesi ve özellikle karbon yayılımının azaltılması dikkate alındığında araştırmacılar için önemli bir hedef haline gelmiştir ve enerji etkinliğini artırmak için aydınlatma ve haberleşme alanlarında önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Enerji-etkin politikalar artırılarak yürürlüğe koyulmadığı takdirde, aydınlatma bağlantılı yıllık karbondioksit yayılımının 2030 yılı itibariyle neredeyse 3 gigatona ulaşması öngörülmektedir[1].

Önceden tahmin edilemeyen derecede büyüyen küresel servis ihtiyacı, bilgi ve haberleşme teknolojisini (Information and Communication Technology) de zorlayarak hızla gelişmeye devam etmektedir. ICT'nin hızla gelişmesi servis kalitesini garanti (Quality of Service) etmek amacıyla kablosuz ağ iletiminde aşırı derecede enerji tüketimine neden olmaktadır.

Veri hızı ve güvenilirliği kısıt olarak değerlendirildiğinde ICT sistemlerini optimize ederek, enerji tüketimini azaltmanın, küresel sera etkisi gaz yayılımları için önemli bir çözüm olacağı ve çevreye-duyarlı haberleşme imkanı sağlayacağı değerlendirilmektedir [2]. Görünür Işık ile Haberleşmenin enerji tüketimi ve sera gazıyla ilişkisi diğer

haberleşme yolları göz önüne alındığında avantaj sayabileceğimiz özelliklerinden biridir diyebiliriz. Örneğin Yargıtayda çalışan bazı çalışanlara kanser teşhisi konulması üzerine Yargıtay binasının çatısında bulunan baz istasyonu kaldırıldı. Yargıtay Başkanlığı ile özel bir telekomünikasyon firması arasında 2003'te imzalanan protokolle Yargıtay binasının 3 noktasına baz istasyonu yerleştirilmişti. Baz istasyonlarının, çalışanlar üstünde negatif etki yarattığı iddiaları üzerine başkanlık bu konu üzerinde gerekli çalışmaları başlatmıştır. Baz istasyonuna odası yakın olan bir Yargıtay üyesine "ilik kanseri" teşhisi konulması üzerine, 26 Eylül'de 3 baz istasyonu kaldırıldı. Bunun gibi zararları gösterilmiş diğer haberleşme sistemlerine göre avantajlıdır.

Görünür Işık ile Haberleşme (Visible Light Communication) üzerine yapılan araştırmalar ilk olarak Japonya'da başlatılmıştır. Görünür Işık ile Haberleşme Konsorsiyumu (VLCC) [3] 2003 yılında başlıca Japon şirketleri arasında, Japonların kendi Görünür Işık ile Haberleşme teknolojilerini standardize ederek, farklı protokollerin ve uygulamaların parçalara ayrılmasını önlemek ve sistemin ekonomik kullanımını artırmak için Görünür Işık ile Haberleşme konusunda kamusal farkındalığı yükseltmek amacıyla kurulmuştur. Böylece Japon şirketleri, kolay erişilebilir yüksek hızlı, biyolojik açıdan zararsız görünür ışıkla haberleşme sistemlerinin gelişim, test ve araştırma süreçlerini 2007 yılında yayınlanan "Görünür Işık ile Haberleşme Sistem Standardı" ve "Görünür Işık ID Sistem Standardı" adı verilen ulusal standartlarla standardize etmiştir. Japon Elektronik ve Enformasyon Teknolojisi Endüstri Ortaklığı (JEITA) bu standartları sırasıyla JEITA CP-1221 ve JEITA CP-1222 olarak adlandırarak kabul etmiştir [4,5].

Casio, Eurescom, France Telecom, NEC Corporation, Orange, Panasonic, Samsung, Sharp, Siemens AG, Telefonica, Toshiba, Roma Üniversitesi, Dortmund Üniversitesi, Ilmenau Üniversitesi, Athena Üniversitesi, Kaliforniya Üniversitesi, ve Oxford Üniversitesi [6,7] gibi bir çok üniversite, kurum ve organizasyon tarafından tartışılan başlıca araştırma konusudur.

Çizelge 2. 1 Görünür Işık ile Haberleşme ve Radyo Frekansı karakteristiklerinin karşılaştırılması [8].

Özellik		VLC	RF
Bantgenişliği		Sınırsız 400nm-700nm	Düzenlenmiş BW sınırlı
EMI		Hayır	Yüksek
Görüş Açışı		Evet	Hayır
Standart		Başlangıç (IG-VLC)	Olgunlaşmış
Tehlike		Hayır	Evet
Mobil cihazdan Mobil cihaza	Görünürlük(Güvenlik) Güç Tüketimi Mesafe	Evet Bağıl olarak düşük Kısa	Hayır Orta Orta
Infra'dan mobil Cihaza	Görünürlük(Güvenlik) Ötesi Mobilite Kapsama alanı	Evet LED aydınlatma Sınırlı Dar	Hayır Erişim noktası Evet Geniş

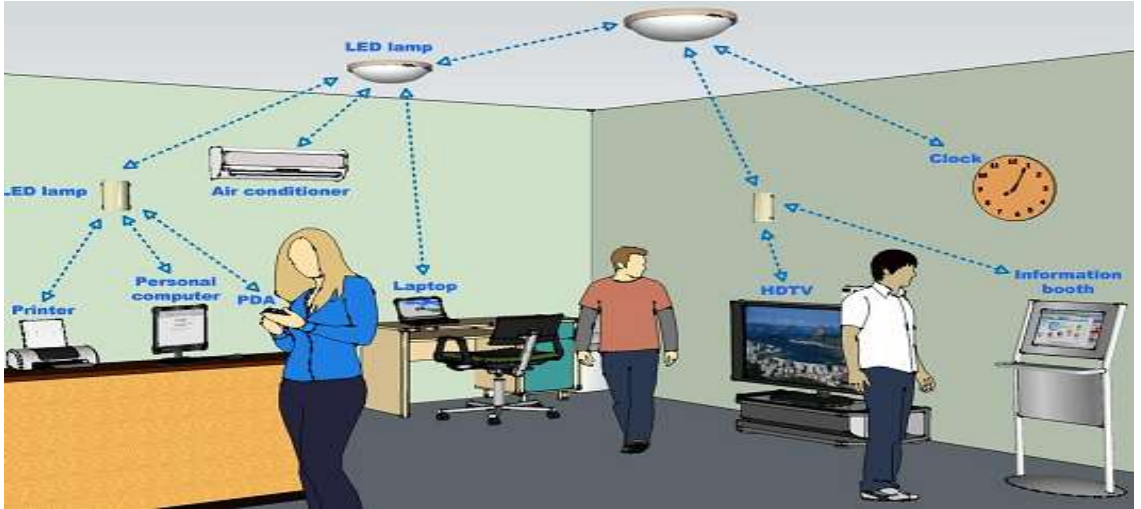
Görünür Işık ile Haberleşme potansiyel olarak yüksek veri hızı avantajına sahip, sağlığa zararı olmayan, güvenli, maliyet etkin, erişim kolaylığı sağlayan, neredeyse sonsuz bant genişliğine sahip, serbest ve henüz düzenlenmemiş kanal olanağı bulunan, sinyal izolasyon özelliğine sahip, elektromanyetik ışımaya neden olmayan, Elektromanyetik Girişim veya Radyo Frekans Girişimi (Electromagnetic Interference or Radio Frequency Interference)'ne neden olmayan, kompakt yapısı ile veri iletiminde daha az güç

harcayan yeni nesil bir teknolojidir. Ayrıca haberleşme için radyo dalgalarını kullanan Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity), Bluetooth, Mikrodalga Erişim İçin Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (Worldwide Interoperability for Microwave Access) vs. gibi diğer geleneksel kablosuz teknolojilerle karşılaştırıldığında, kanal karakteristikleri üzerindeki etkisi diğer bir avantajdır.

2.2 Görünür Işık ile Haberleşmenin Kullanım Alanları

Görünür Işık ile Haberleşme sistemlerinin günümüzde çoğu alanda kullanılması beklenmektedir. Sonsuz bant genişliği özelliği ve RF teknolojisinin sağlık açısından verdiği zarar ile bazı sistem elemanlarının RF ile çalışmaması durumları görünür ışıkla haberleşme sistemlerinin hedef kullanım alanlarını belirleyen başlıca faktörlerdendir.

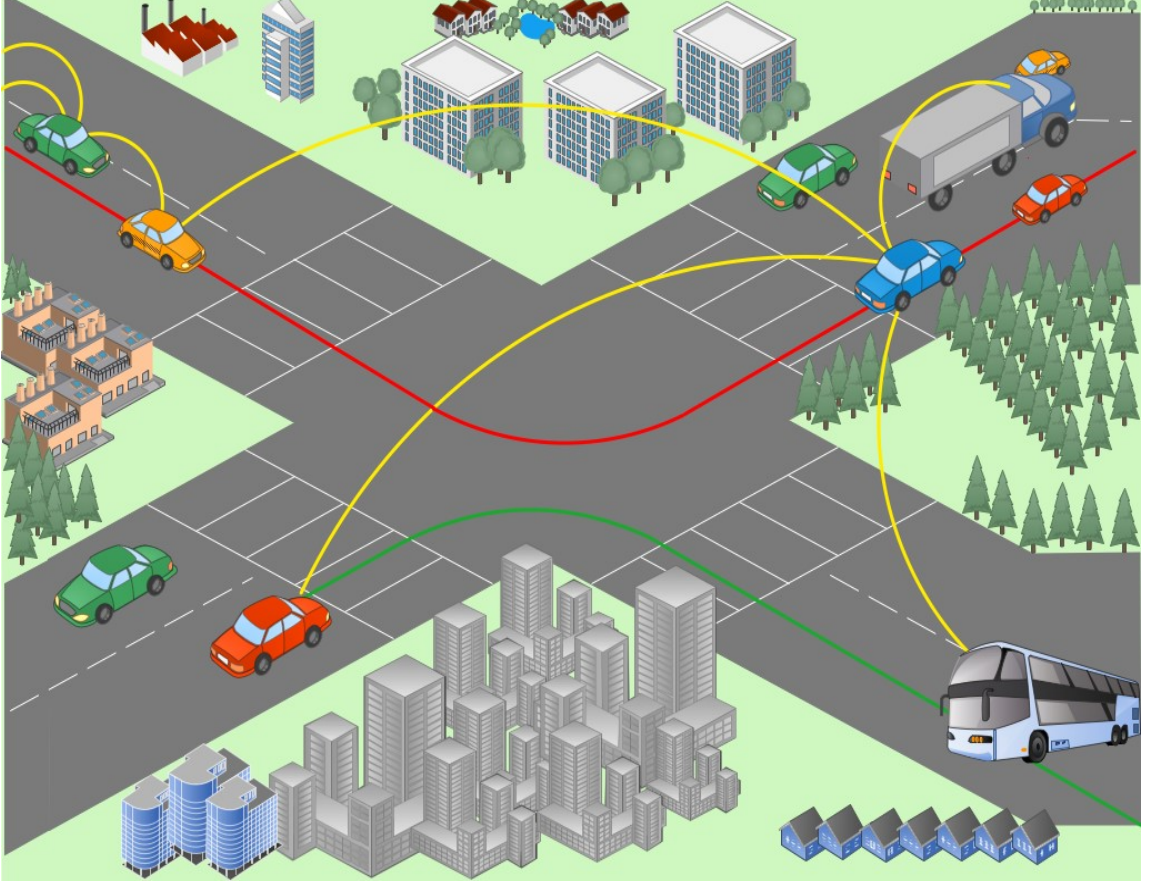
Akıllı binalarda kullanımı; aydınlatmanın kontrolü ile sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilip kablo ve enerji tasarrufu yapılmasında kolaylıklar sağlar. Şekil 2. 1'de örnek olarak bir gösterim bulunmaktadır.



Şekil 2. 1 Akıllı binalarda Görünür Işık ile Haberleşmenin cihazlar üzerinden haberleşmesine örnek kullanımı

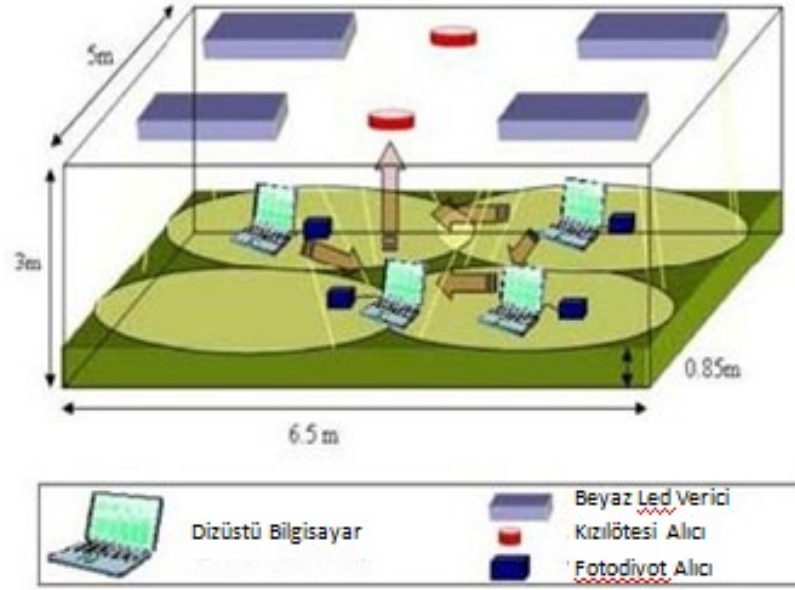
Ulaşım uygulamalarına bakıldığında birçok arabada zaten LED lambalar bulunur. Bu LED lambalara uygun fotodiyotlar ve uygun altyapı sağlandığı zaman büyük uygulamalar için bir fırsata dönüştürülebilir. Haberleşme altyapısını daha sağlıklı ve daha hızlı bir hale

dönüştürecek sistem, ulaşımda yaşanan sıkıntılara, kazalara, trafik sıkışıklığına ve vakit kaybına karşı çözüm olarak kullanılabilir. Bu yüzden trafik tabelaları, trafik ışıkları ve sokak lambalarının LED teknolojisine yatkınlığı kaçınılmazdır. Şekil 2.2’de örnek olarak bir gösterim bulunmaktadır.



Şekil 2. 2 Ulaşım uygulamalarında Görünür Işık ile Haberleşmelerini sağlayan araçların birbiri arasında iletişimini gösteren kullanım

Güvenlik uygulamalarında kullanımı için; hızlı ve güvenli bir şekilde veri göndermek tüm sistemler için gerekli bir şarttır. Görünür ışık, duvarın diğer tarafından geçmemesi özelliği ile büyük bir güvenlik avantajı sağlar. Şekil 2. 3’te örnek olarak bir gösterim bulunmaktadır.



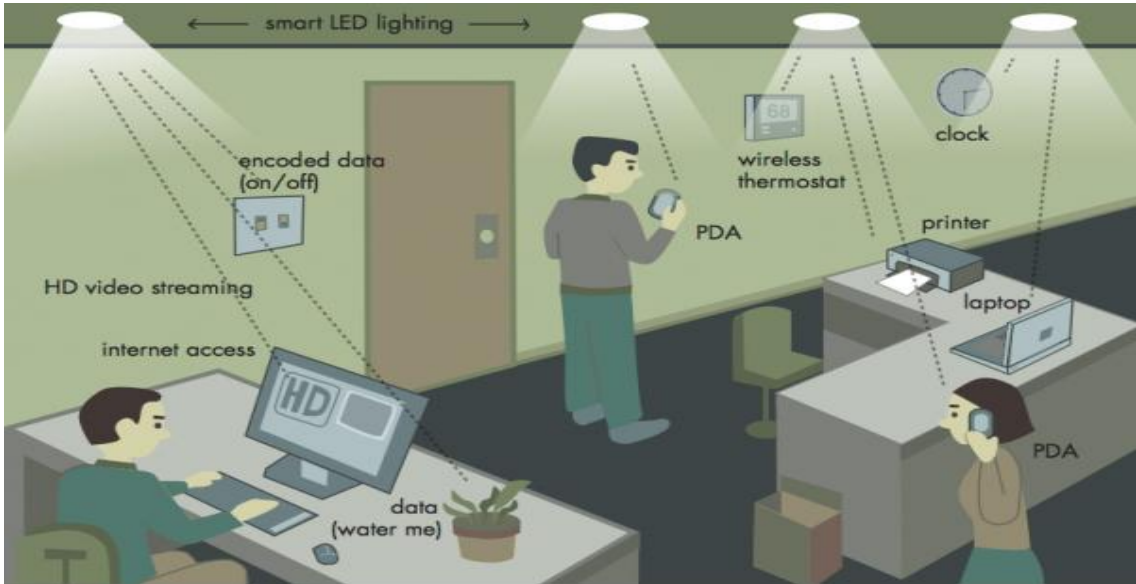
Şekil 2. 3 Güvenlik uygulamalarında Görünür Işık ile Haberleşmenin aynı alan içinde olan kişilerin veri aktarımını gösteren kullanımı

Sağlık uygulamalarında, hastanelerde özellikle elektromanyetik girişime maruz kalacak MRI tarayıcıların olduğu yerlerde cep telefonları ve kablosuz internet (Wi-Fi) uygulamaları istenmemektedir. Bu duruma alternatif olarak görünür ışıkla haberleşme teknolojisi kullanıldığında elektromanyetik girişim oluşturmayacağından MRI tarayıcıları olumsuz etkilenmemektedir. Hastanın odasından alınacak her bilgi hemşire ve doktor bilgisayarlarına hızlı bir şekilde gönderilip hastane içindeki iletişimin hızlı ve kesintisiz bir şekilde yapılması sağlanmaktadır [9]. Şekil 2. 4'te örnek olarak bir gösterim bulunmaktadır.



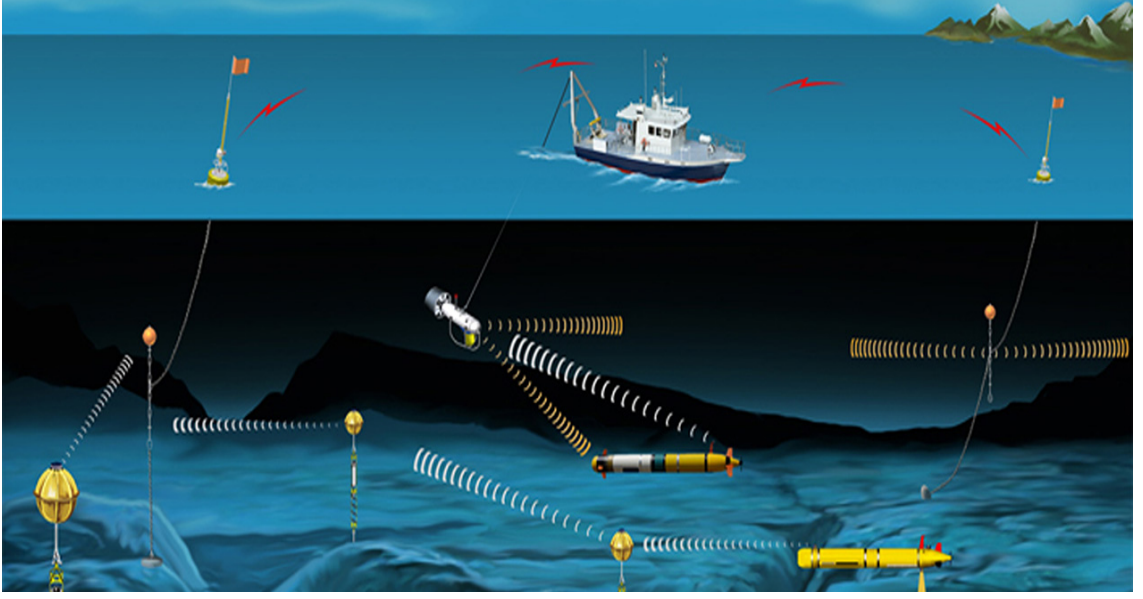
Şekil 2. 4 Sağlık uygulamalarında Görünür Işık ile Haberleşmenin hastanede, ameliyathane gibi cihazların hassas olması gereken yerlerde kullanımı

Kapalı ortamlarda konum belirleme için GPS sinyalleri kullanılamamaktadır. Gelişen mimarilerde büyük bir alana sahip olan alışveriş merkezleri, konferans, sergi salonları ve müzelerde insanların birbirlerini veya başka bir nesneyi bulmaları için Görünür Işık ile Haberleşme teknolojisi kullanılmaktadır. Bu sayede en yakın baz istasyonu ile yer belirleme mantığına dayanan en yakın LED kaynağı ile yer belirleme işlemi yapılabilmektedir [10], [11]. Şekil 2.5'te örnek olarak bir gösterim bulunmaktadır.



Şekil 2. 5 Kapalı ortamlarda yer bulma Görünür Işık ile Haberleşme kullanımı

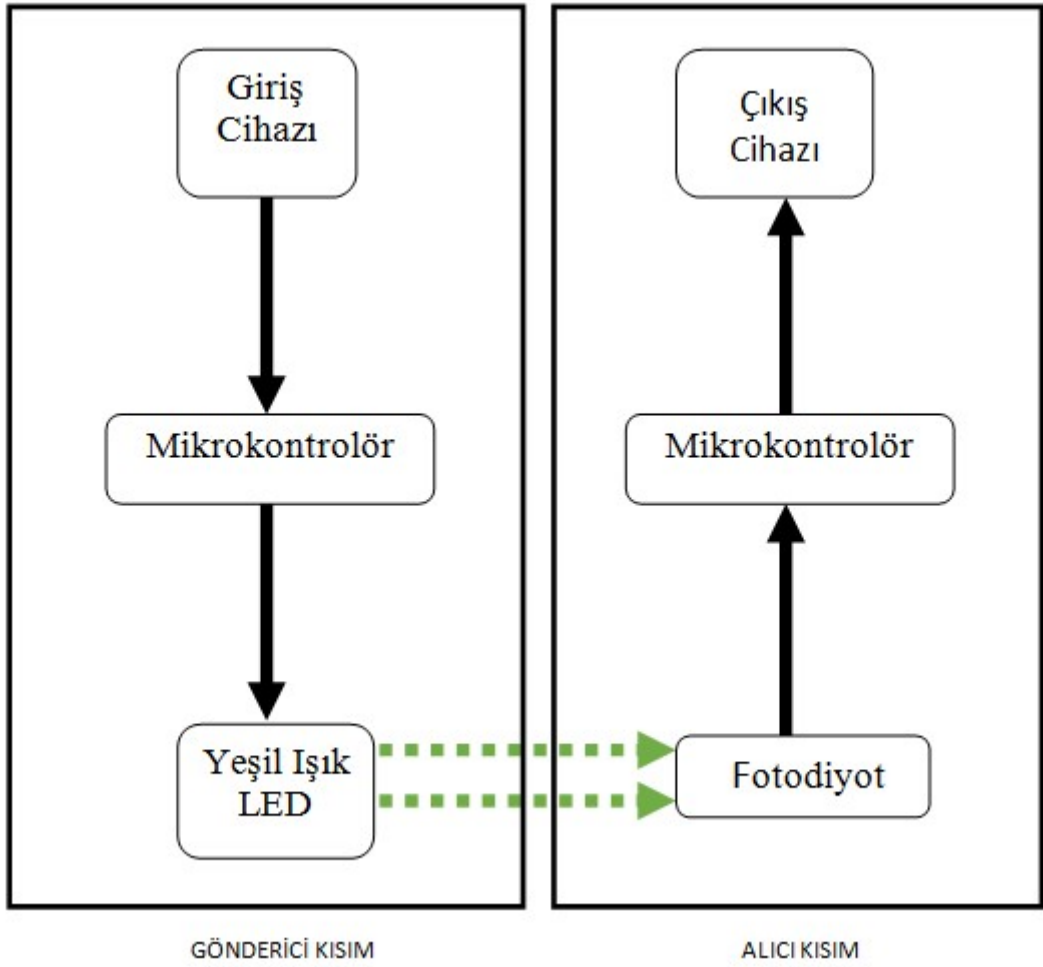
Su altı uygulamalarında, radyo dalgaları yoğun elektrik iletkenliği olan su ortamında kullanılamayacağı için görünür ışık bu duruma alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Görünür ışık izgesinde yeşil ışık kullanıldığı zaman 30 m menzilde iletişim sağlanmıştır[12]. Ayrıca Görünür Işık ile Haberleşme, su altı akustiği uygulamaları için de kullanılmaktadır [13], [14], [15]. Şekil 2.6'da örnek olarak bir gösterim bulunmaktadır.



Şekil 2. 6 Su altı uygulamalarında kullanıcıların birbiriyle haberleşmelerine alternatif kullanımı

2.3 Sistem Tasarım Aşamaları

Sistem verici ve alıcı kısım olmak üzere iki bölümden oluşuyor. Verici kısımda; giriş cihazı, mikrokontrolör, BJT ve LED'ler bulunur. Giriş cihazı, gönderilmek istenen verinin girildiği cihazdır. Mikrokontrolör bilginin kodlama aracılığıyla 1 ve 0'lara dönüştürüldüğü elektronik elemandır. BJT sinyalin kuvvetlendirildiği elektronik elemandır. İstenilen oranda BJT sinyali kuvvetlendirebilir fakat pratikte lineer olmayan sistemlere sahip olduğumuz için on kat kuvvetlendirme üstünde bir kuvvetlendirme yapılamamaktadır. LED'ler ise çok hızlı bir şekilde yanıp sönerak bilgiyi iletir. Şekil 2.7'de örnek olarak bir gösterim bulunmaktadır.



Şekil 2. 7 Görünür Işık ile Haberleşme blok diyagramı

Alıcı kısım fotodiyot, mikrokontrolör, çıkış cihazından oluşur. LED'lerin yanıp sönmesini algılayan fotodiyotlar aldığı bilgiyi mikrokontrolöre iletir. Mikrokontrolörün alınan bilgiye daha doğru karar vermesi için alınan bilgi BJT ile kuvvetlendirilir. Daha sonra mikrokontrolöre iletilir. Bitlerden oluşan sinyal kodları, mikrokontrolörde çözülerek çıkış cihazına aktarılır. Çıkış cihazı, iletilen sinyalin görüntülediği elemandır (LCD, hoparlör, bilgisayar, cep telefonu vb.).

SİSTEMDE KULLANILACAK ELEMANLAR VE SİSTEM ARAYÜZÜ

3.1 LED Yapısı ve Çalışma Prensibi

Işık yayan diodlar PN eklemli yarı iletkenler kullanılarak üretilmektedir. LED bir PN eklemli yarıiletken olarak, ileri kutuplandığında enerjisini fotonlar şeklinde açığa çıkararak ışık yaymaktadır [16]. Bu etki elektrolüminesans olarak adlandırılmaktadır.

LED'in çalışma prensibini kısaca açıklayacak olursak; N-tip ve P-tip malzemelerin birleştirilmesi ile, Fermi seviyeler (W_f) hizalanır ve dışarıdan bir gerilim uygulanmasa da enerji bariyeri üretirler. Yapısında iki enerji bandı mevcuttur, iletim bandı ve değerlik bandı, bu bantlar W_g genişliğinde yasak bir bölge ile birbirinden ayrılırlar. İletim bandında, atomlara bağlı olmayan elektronlar serbest olarak hareket ederler [16].

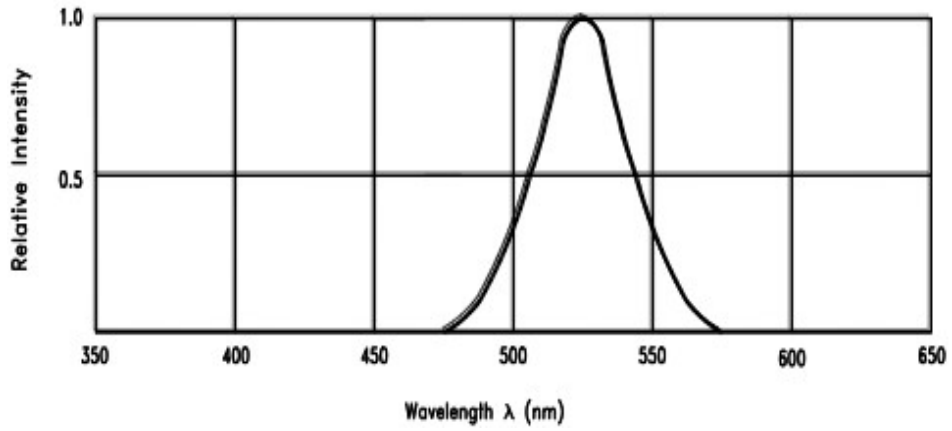
Başlangıçta yalnızca zayıf kuvvetli kırmızı ışık verebiliyorlardı ama günümüzde LED'ler Görünür ışık, Morötesi, Kızılötesi gibi çeşitli dalga boylarında, yüksek parlaklıkta ışık verebiliyor.

Düşük enerji tüketimi, uzun ömrü, sağlamlığı, küçük boyutu ve hızlı açılıp kapanabilmesi gibi geleneksel ışık kaynaklarına göre bir dizi avantajı vardır.

Bizim sistemimizde LED kullanmamızın sebepleri:

- Hızlı açılıp kapanması (Veri transferine uygundur.)
- Yüksek parlaklık değerlerine sahip olması
- Düşük gerilimlerle çalışabilmesi
- Görünür ışık bandında olması

Projede kullanılacak LTL2T3TGK6 model LED'in bağıl yoğunluk-dalgaboyu grafiği Şekil 3.1'de ve değişken değerleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 LTL2T3TGK6 LED için bağıl yoğunluk-dalgaboyu grafiği

Çizelge 3.1 LED için parlaklık-gerilim-akım-bant genişliği

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Condition
Luminous Intensity	I_v	1900	4500	9300	mcd	$I_F=20\text{mA}$
Viewing Angle	$2\theta_{1/2}$		30		deg	
Dominant Wavelength	λ_d	514	525		nm	
Spectral Line Half Width	$\Delta\lambda$		35		nm	
Forward Voltage	V_F		3,5		V	$I_F=20\text{mA}$
Reverse Current	I_R					$V_R= 5V$

3.2 Fotodiyot Yapısı ve Çalışma Prensibi

Fotodiyot, tıkama yönündeki akımı ışıkla kontrol edilen bir yarı iletken elemandır. Üzerine düşen ışığın şiddetiyle orantılı olarak iletkenliği değişen diyottur.

Fotodiyot, üzerine düşen ışıkla orantılı voltaj üretir. Ancak bu özelliği yerine genellikle uygulamada ters polaritede beslenir ve sızıntı akımının ışıkla orantılı değişmesi özelliğinden yararlanır. Pozometrelerde, hırsız alarm sistemlerinde, tv, müzik seti gibi

uzaktan kumanda aletlerinde otomatik açılır kapanır kapı sistemlerinde, otomatik çalışan gece lambalarında ışık algılayıcısı olarak kullanılmaktadır.

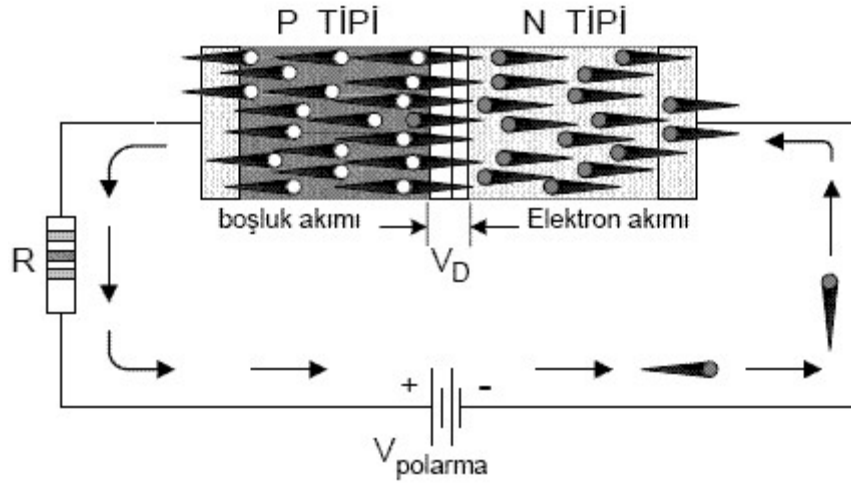
Işığın girebilmesi için katot bölgesine açılan şeffaf bir pencere bulunmaktadır. Fotodiyot, tıkama yönünde devreye bağlanır. Karanlıkta tıkama yönünde 1 mikroamper civarında, küçük değerli bir akım akar. Fotodiyotun katot kısmına ışık düşürülünce, tıkama yönündeki akım ışıkla orantılı olarak artar. İdeal olarak karanlıkta açık devre ve aydınlıkta kısa devre gibi kabul edilebilir. Fotodiyotların uygulama alanları fotodirençlere benzer.

Fotodiyoda tıkama yönünde bir gerilim uygulandığı zaman bir fotoiletken eleman ve iletim yönünde gerilim olduğu zaman ise fotovoltajik eleman özelliğindedir. Çeşitli ölçü ve kontrol düzenlerinde fotodiyotun bu iki özelliğinden faydalanılmaktadır.

Fotodiyotun cevap zamanı, fotodirençten daha hızlıdır. Dolayısıyla, fotodiyotlar ışık değişimleri hızlı olan yüksek frekanslı uygulamalarda kullanılır.

Fotodiyod, foto-iletim olarak adlandırılan prensip ile çalışmaktadır. Bir çeşit fotodedektördür ve üzerine gelen ışığı akıma veya voltaja çevirebilmektedir [16,17].

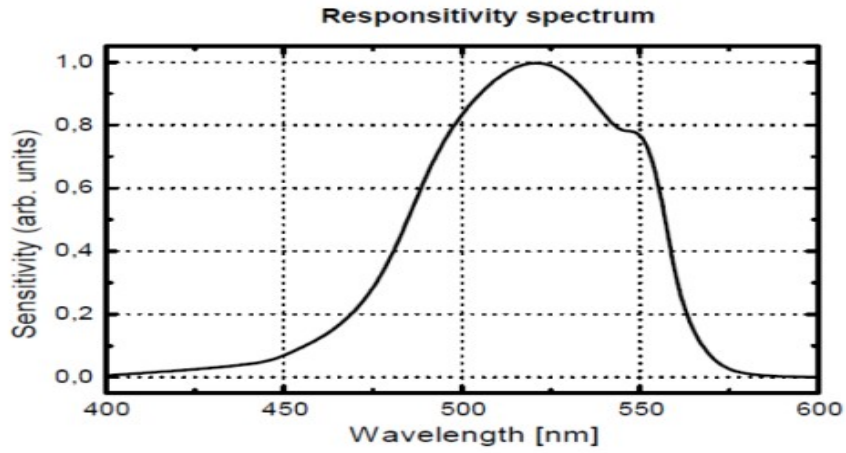
Temel kutuplama ve fotodiyotun yapısı şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Temel kutuplama ve fotodiyotun yapısı [16].

Fotodiodun çalışma modları kısaca; foto-voltaik mod ve foto-iletim modu olarak tanımlanmaktadır. Fotodioda dışarıdan bir voltaj uygulanmadığında foto-voltaik modda çalışmaktadır, bu modda üretilen foto-akım sabittir ve aynı zamanda üzerine gelen ışığın seviyesine doğrusal olarak bağımlıdır [16].

Fotodirenç yerine fotodiyot kullanmanın sebebi yüksek frekanstaki ışık değişimlerini algılayabilmesidir. Projede kullanılacak MTD5052N model fotodiyotun dalga boyuna göre duyarlılığı şekil 3.3'te grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3. 3 MTD5052N Fotodiyot duyarlılık-dalgaboyu grafiği

3.3 Mikrokontrolör

Bir mikrodenetleyici mikrokontrolör ve μC olarakta adlandırılır. Bir mikroişlemcinin, MİB, hafıza ve giriş -çıkışlar, kristal osilatör, zamanlayıcılar, seri ve analog giriş çıkışlar, programlanabilir hafıza gibi bileşenlerle tek bir tümleşik devre üzerinde üretilmiş halidir.

Kısıtlı miktarda olmakla birlikte, yeterince hafıza birimlerine ve giriş-çıkış uçlarına sahip olmaları sayesinde tek başlarına çalışabildikleri gibi, donanımı oluşturan diğer elektronik devrelerle irtibat kurabilir, uygulamanın gerektirdiği fonksiyonları gerçekleştirebilirler. Üzerlerinde analog-dijital çevirici gibi tümleşik devreler barındırmaları sayesinde algılayıcılardan her türlü verinin toplanması ve işlenmesinde

kullanılabilmektedirler. Boyutu küçük ve düşük maliyetli olmaları gömülü uygulamalarda tercih edilmelerini sağlamaktadır.

Ayrıca mikrodenetleyiciler sıradan mikroişlemcilerle nazaran aşağıda listelenen 4 temel avantajları sayesinde elektronik sanayinde günümüzde oldukça büyük bir uygulama alanına sahiptirler:

- Oldukça küçük boyutludurlar.
- Çok düşük güç tüketimine sahiptirler.
- Düşük maliyetlidirler.
- Yüksek performansa sahiptirler.

En basit elektronik saatlerden otomatik çamaşır makinelerine, robotlardan fotoğraf makinelerine, LCD monitörlerden biyomedikal cihazlara ve endüstriyel otomasyondan elektronik bilet uygulamalarına kadar pek çok elektronik uygulamada mikrodenetleyiciler kullanım alanı bulmuşlardır.

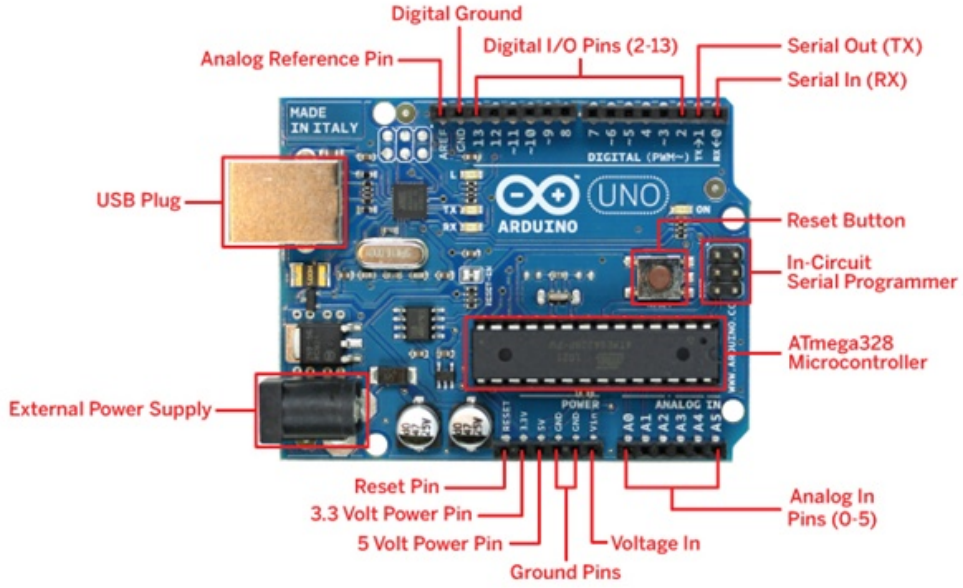
Projede Atmega328 işlemcili Arduino Uno tercih edildi.

Projede kullanılan mikrokontrolör seçilme sebepleri:

- Üzerindeki giriş çıkışların proje için yeterli olması
- ADC bağlantısı sayesinde alınan sinyale karar verebilmesi (ek herhangi bir ADC devresine ihtiyacın kalmaması)
- Programlama için harici bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmaması

Kullanılan mikrokontrolörün kısa tanımı:

14 dijital giriş/çıkış pini bulunur, bunlardan 6'sı PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 6 analog giriş pinine sahiptir. 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, 2.1mm güç girişi, ICSP başlığı ve reset butonu vardır. Mikroişlemciyi destekleyecek herşeye sahiptir. Çalıştırmak için DC 7~12V güç kaynağına bağlamak yeterlidir. Arduino Uno'nun üstten görünümü şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 Arduino bağlantı pinleri ve Arduino Uno'nun üstten görünümü

3.4 Güç Kaynağı

Projede hem gönderici hem de alıcı tarafta güç kaynağına ihtiyaç vardır. Devrenin stabil çalışması için mikrokontrolöre 3,3 V gerilim gelmesi gerekiyor. Mikrokontrolöre gerilimi veren voltaj regülatörü 4,75V ile 12V arasındaki beslemelerde 3.3V gerilim üretir. Devrenin girişine 4,75V ile 12V arası bir gerilim uygulamak gerekiyor. Bu yüzden iki adet 3,7V luk Li-Po şarjlı pil kullanılacak. LED dizisinin beslemesi de bu Li-Po pillerden karşılanacaktır.

Li-Po pillerin herbirinin kapasitesi 3500mAh'dir. Kullanılacak sistemde 2 adet mikrokontrolörlü devrenin güç tüketimi 300mW, Led dizisinin güç tüketimi 120mW'tır. Kullanılacak sistemin komple güç tüketimi gözönüne alındığında, Li-Po pillerin sistemi uzun bir süre ayakta tutacak enerjiyi karşılamaya yeterlidir.

3.5 Arduino Programlama

Arduinolara program yazmak, derlemek, derlenmiş kodları mikrokontrolöre aktarmak, mikrokontrolördeki yazılımı çalıştırmak ve yazılan kodlardaki hataları ayıklamak için

Arduinonun kendi arayüzü kullanıldı.Arduino programı standart C programlamasına çok benzeyen çalışma prensibine sahiptir.

3.5.1 Mesaj Gönderme Formatı

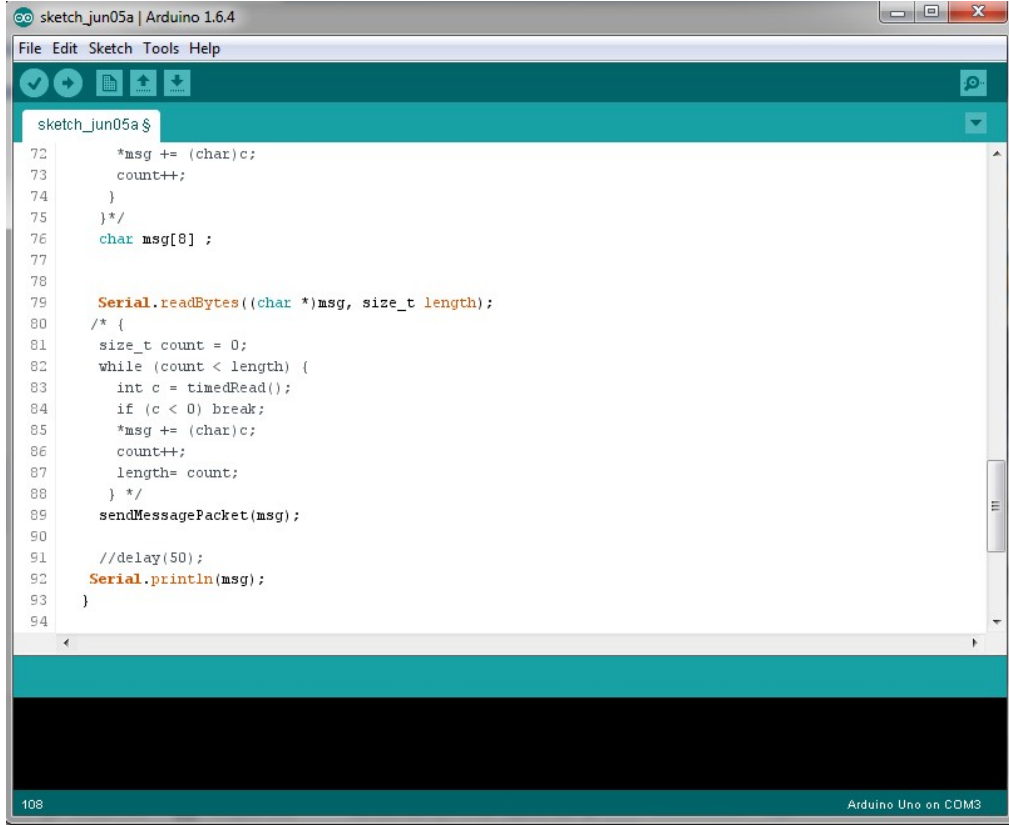
Arduino programlamada göndermek istenilen mesajın başına başlama biti,sonuna da bitirme biti ekleyerek gönderildi. Bitirme bitinden sonra da mesajın içeriğinin tam olup olmadığını kontrol eden fonksiyon yazıldı. Veri göndermek için bu format veya benzeri bir format kullanılmak zorunda kalınıldı. Çünkü gönderilen verinin alıcı kısımda karar vermesi için başlama ve bitirme biti ile mesaj gönderilir.

Mesaj formatı şu şekildedir:

<STX><Mesaj><ETX><Kontrol>

- <STX>: Başlama biti, <Mesaj>:Göndermek istenilen mesaj
- <ETX>: Bitirme biti, < Kontrol>:Gönderilen mesajın tam olup olmadığını kontrol eder.

Arduino program arayüzü şekil 3.5'te gösterilmiştir.

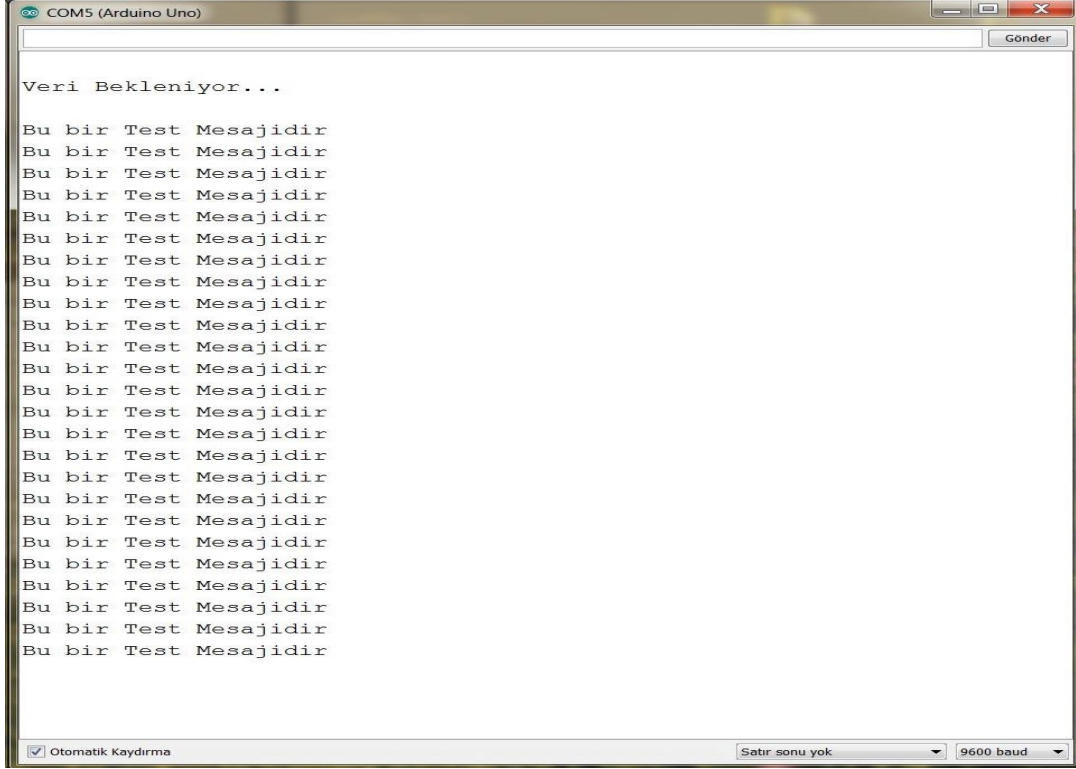


Şekil 3. 5 Arduino Program Arayüzü

3.5.2 Seri Port Ekranı

Arduino da gönderilen ya da alınan verileri görüntülemek için Seri Monitörü kullanılır. Üstte bulunan text'e yazılan ifadeleri "Send" butonuyla arduino'ya gönderilebilir. Sağ alt köşede bulunan 9600 baud haberleşme hızı ile ilgilidir. Arduino'ya yazılan baud rate oranı ile burada seçili olan hızın aynı olması gerekir. Aksi takdirde iletişim bozulur ve verileri ekranda düzgün görüntüleyemeyiz. Arduino programının içine kurulan "Bu bir Test Mesajdır" verisi gönderildi ve alıcı sistemin seri portunda görüntülendi.

Şekil 3.6'da "Bu bir Test Mesajdır" verisi gösterilmiştir.



Şekil 3. 6 Test mesajı seri port görünümü

C#, yazılım sektörü içerisinde en sık kullanılan iki yazılım dili olan C ve C++ etkileşimi ile türetilmiştir. Ayrıca C#, ortak platformlarda taşınabilir bir (portable language) programlama dili olan Java ile pek çok açıdan benzerlik taşımaktadır. En büyük özelliği ise .Net Framework platformu için hazırlanmış tamamen nesne yönelimli bir yazılım dilidir. Yani nesnelere önceden sınıflar halinde yazılır. Programcıya sadece o nesneyi sürüklemek ve sonrasında nesneyi amaca uygun çalıştıracak kod satırlarını yazmak kalır.

Windows Form uygulamaları, bilgisayar programları geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Microsoft Visual Studio programında arayüz oluşturmak için kullanılan Windows Forms Application seçeneği ile yeni bir windows uygulama penceresi açılarak program geliştirmeye başlanabilir. Ayrıca Windows Form uygulaması içinde grafiksel olarak daha gelişmiş çalışmalar yapmak da mümkün hale getirilmiştir. Daha güçlü grafiksel arayüzler için Windows Forms Application ile uygulama geliştirmek gerekmektedir.

Veri gönderimi ve alımını program üzerinden yapmak için C# Windows Form uygulaması tasarlandı.

3.6 C# V.L.C (Görünür Işık ile Haberleşme) İletim Arayüz

C# tabanlı olarak hazırlanan GUI (General User Interference) programda; Arduino ve bilgisayarın haberleşmesini (Programın arkaplanında) ve aldığı bilgilerin ekranda gösterilmesi sağlandı. Arayüzde sade ve kullanışlı olması bakımından çok fazla butona yer verilmedi. Arduino ile haberleşmede kullanılan bazı parametreleri default olarak ayarlandı (Parity, tek seferde kaç bit veri gönderip alacağı vb.) Butonların kullanımları şu şekildedir:

Bağlantı Noktası seçeneği: Arduino'nun bağlandığı seri portu gösterir. Birden fazla arduino bağlıysa kullanılmak istenen arduino seçilir.

İletişim hızı seçeneği: 4800, 9600 ve 115200 gibi seri port iletişim hızı seçeneklerini içerir. Arduino bağlandıktan sonra default olarak 115200 seçeneği seçili çıkar (Bizim projemizde arduino 115200'e ayarlı olduğu için kolaylık olsun diye böyle yapıldı.) Farklı bir hızda kullanılması istenirse soldaki çubuğa tıklanarak seçilebilir.

Bağlantıyı Aç Butonu: Arduino bilgisayara bağlı iken arduinonun bilgisayar üzerinde bu programla konuşmasını sağlar. Program açık ve arduino bağlıyken sadece bu buton kullanılabilir vaziyettedir. Çünkü bağlantı açılmazsa programın diğer işlevleri kullanılamaz.

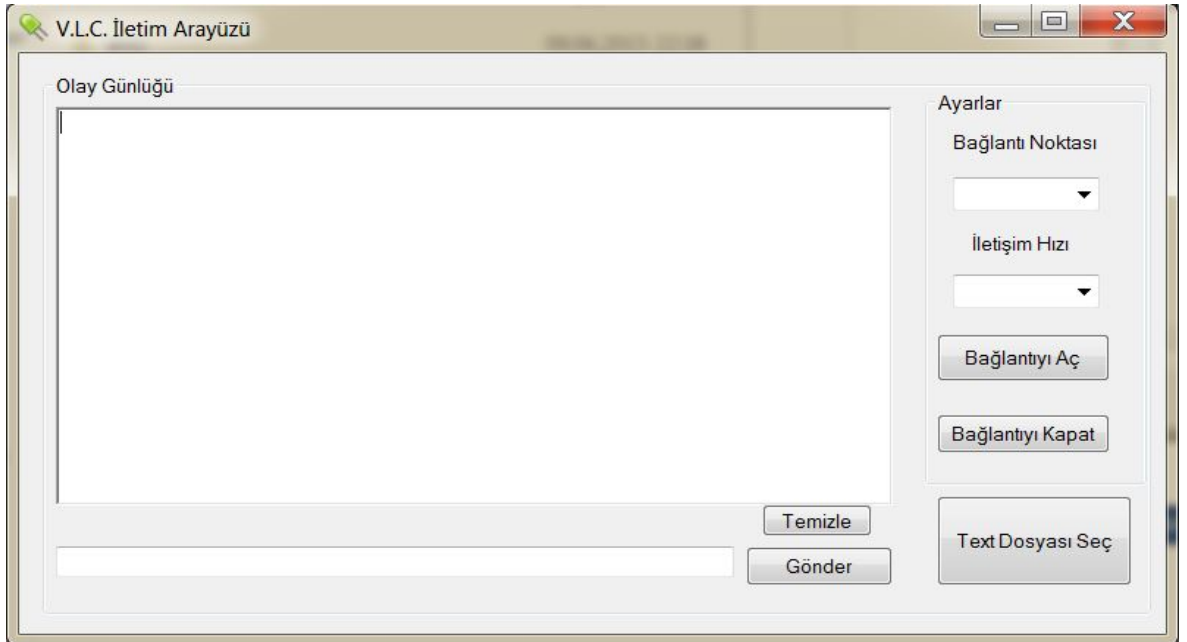
Bağlantıyı Kapat Butonu: Arduino bilgisayar üzerinde başka bir programda kullanmak veya yapılacak işlemler bittiğinde arduinoyu bilgisayardan çıkarmak için bu buton kullanılır.

Text Dosyası Seç Butonu: Arduino aracılığıyla herhangi bir text dosyasının içeriğini göndermek için bu butonu tıklatılıp açılan pencereden göndermek istenilen text dosyası seçilir.

Temizle Butonu: Olay Günlüğündeki verileri sıfırlamak tekrar temiz bir ekrandan başlamak için bu buton kullanılır.

Gönder Butonu: Butonun solunda bulunan kutucuğa yazılan verileri göndermek için bu butonu kullanılır.

Hazır olarak mikroişlemcinin içine gömülen veri gönderildikten sonra seri porttan veri göndermek için C# programı kullanıldı. Programın içeriğinde Bağlantı Noktası seçeneği Arduino'nun bağlandığı seri portu gösterir. İletişim hızında 4800, 9600 ve 115200 gibi seri port iletişim hızı seçeneklerini içerir. Arduino'yu bilgisayara USB'den bağladıktan sonra Bağlantı Aç seçeneği ile seri port açılır. Yazı verisi için "Gönder" butonuna veri girilir. Jpeg, Png vb türlerde dosya göndermek için "Dosya Seç" butonu kullanıldı. Şekil 3.7'de iletim arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 3. 7 C# V.L.C Veri Gönderme Arayüzü

3.7 C# V.L.C (Görünür Işık ile Haberleşme) Alıcı Arayüzü

Alıcı programında göndericide olduğu gibi, Arduino ile bilgisayarın konuşmasını (arkaplanda) ve aldığı verilerin kullanıcıya gösterilmesini sağlar. Programımızdan genel olarak bahsedecek olursak Arduinodan gelen veri kullanıcının anlayacağı türden (1ve 0 lar) değildir ve bunu kullanıcının anlayacağı türde (yazıya) çevirip ekranda göstermeye yarar. Butonların kullanımları şu şekildedir:

Bağlantı Noktası seçeneği: Arduino'nun bağlandığı seri portu gösterir. Birden fazla Arduino bağlıysa kullanılmak istenen Arduino seçilir.

İletişim hızı seçeneği: 4800, 9600 ve 115200 gibi seri port iletişim hızı seçeneklerini içerir. Arduinoyu bağladıktan sonra default olarak 115200 seçeneği seçili çıkar (projede arduino 115200 e ayarlı olduğu için kolaylık olsun diye bu şekilde seçilebilir). Farklı bir hızda kullanılmak istenirse soldaki çubuğa tıklayarak seçilebilir.

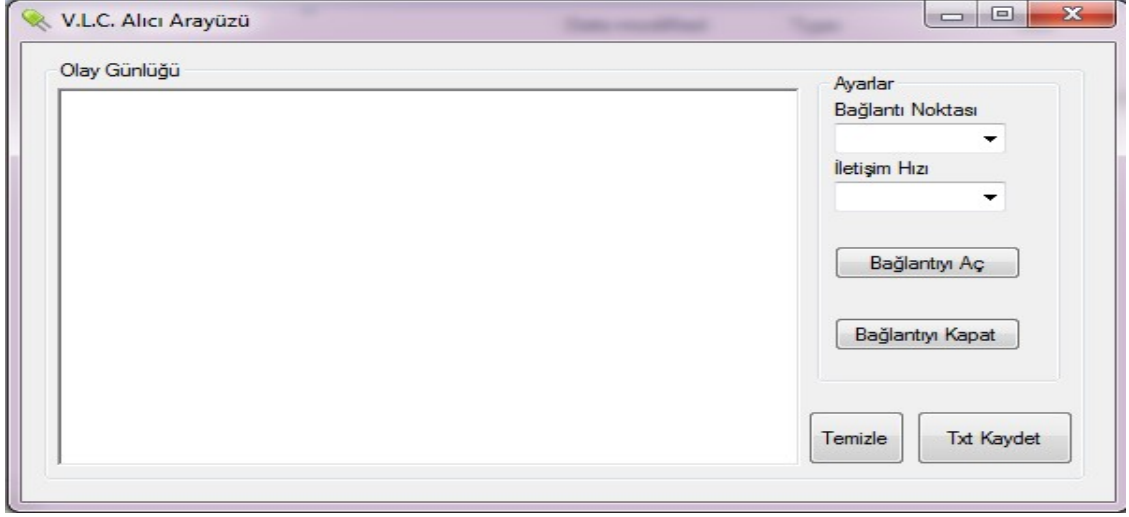
Bağlantıyı Aç Butonu: Arduino bilgisayara bağlı iken Arduinonun bilgisayar üzerinde bu programla konuşmasını sağlar. Program açık ve Arduinobağlıyken sadece bu buton kullanılabilir vaziyettedir. Çünkü bağlantı açılmazsa programın diğer işlevleri kullanılamaz.

Bağlantıyı Kapat Butonu: Arduino bilgisayar üzerinde başka bir programda kullanmak veya işlem bittiğinde Arduino'yu bilgisayardan çıkarmak için bu buton kullanılır.

Text Kaydet Butonu: Arduino aracılığıyla herhangi bir text dosyasının içeriği alındığında bu içeriği tekrar bir text dosyasına dönüştürmek veya Olay Günlüğündeki verileri text dosyası halinde depolamak için kullanılır.

Temizle Butonu: Olay Günlüğündeki verileri sıfırlamak tekrar temiz bir ekrandan başlamak için bu buton kullanılır.

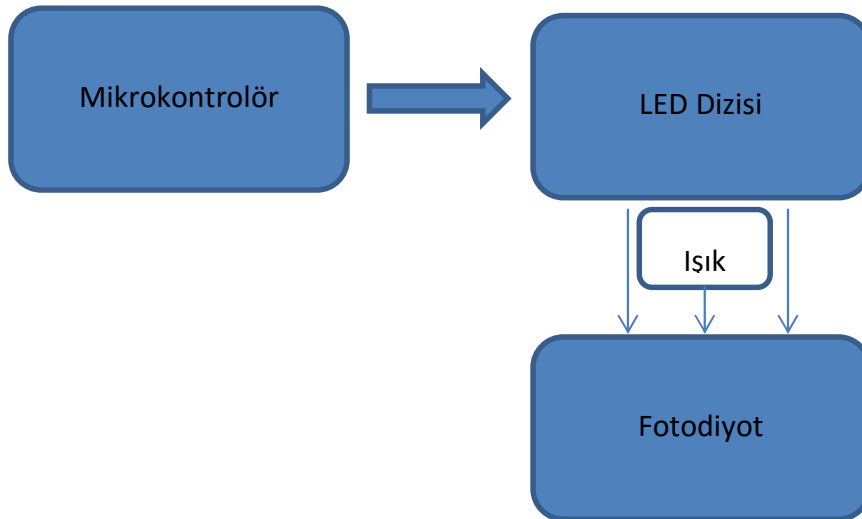
Gönderilen veriyi ekrana yazdırmak için kullanılgörünür ışıkla haberleşme Alıcı Arayüzü şekilde gösterilmiştir. İletim arayüzüne benzer seçenekler yer alır.İletim arayüzünden farklı olarak alınan veriyi kaydetmek için "Kaydet" butonu eklenildi. Alıcı arayüzü şekil 3.8'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 8 C# V.L.C Alıcı Arayüzü

4.1. DeneYler

Görünür Işık ile Veri İletimi projesinin diğeri veri iletimlerinden farkı veriyi ışık ile iletme kısmıdır. Öncelikle ışıkla verinin nasıl iletilebileceğine yönelik araştırmalar ve deneyler yapıldı. Veriyi karşıya göndermek için LED, karşıda veriyi almak için Fotodiyot kullanmaya karar verildi. Şekil 4. 1’de akış şeması verilmiştir.

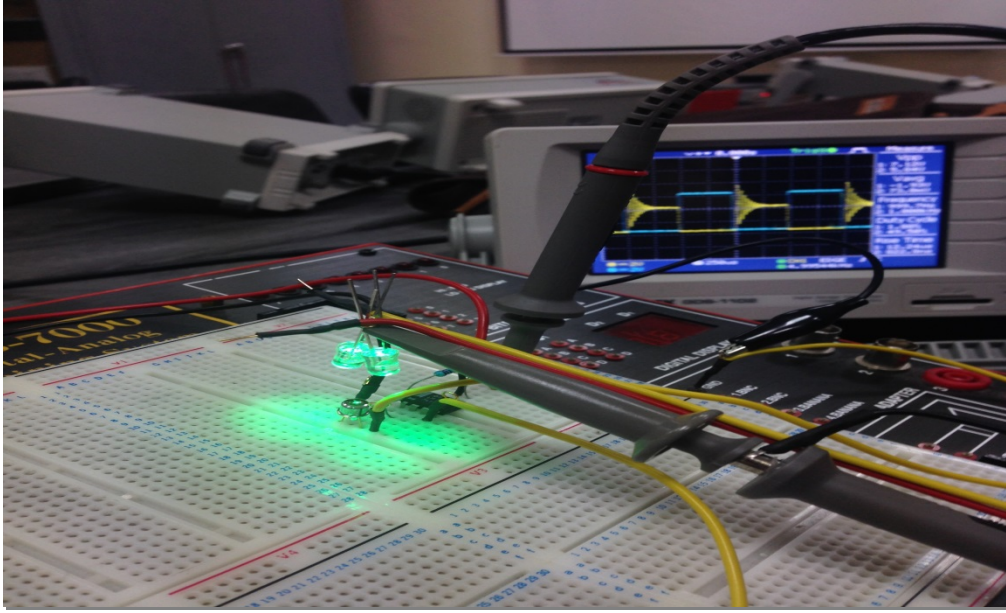


Şekil 4. 1 Üretilen sinyalin gönderme ve iletim blok şeması

LED 'den gönderilen bilgiyi fotodiyotun alabilmesi için LED'in çalıştığı dalga boyuna hassas olan bir fotodiyot kullanılmalıdır.

Bu sebeple uygun LED ve fotodiyot bulunabilmesi için datasheet'lere bakıldı. Hem ekonomik hemde verimli olacağı düşünülen LTL2T3TGK6 Model LED ve MTD5052N model fotodiyot kullanmaya karar verildi. Verimlilik hesabı ise ortamda çok bulunmadığından yeşil ışık seçildi. Dalga boyu 525nm yeşil LED'e maksimum hassasiyeti olup diğer dalga boylarına daha az duyarlı olan fotodiyot seçilmiştir.

Fonksiyon jeneratöründen üretilen kare sinyali LED'ler aracılığıyla fotodiyota 10 cm mesafede sabitleyerek alınan sinyal osiloskop ekranında görüntülendi. Şekil 4. 2'de yapılan deney ortamı ve devre gösterilmiştir.



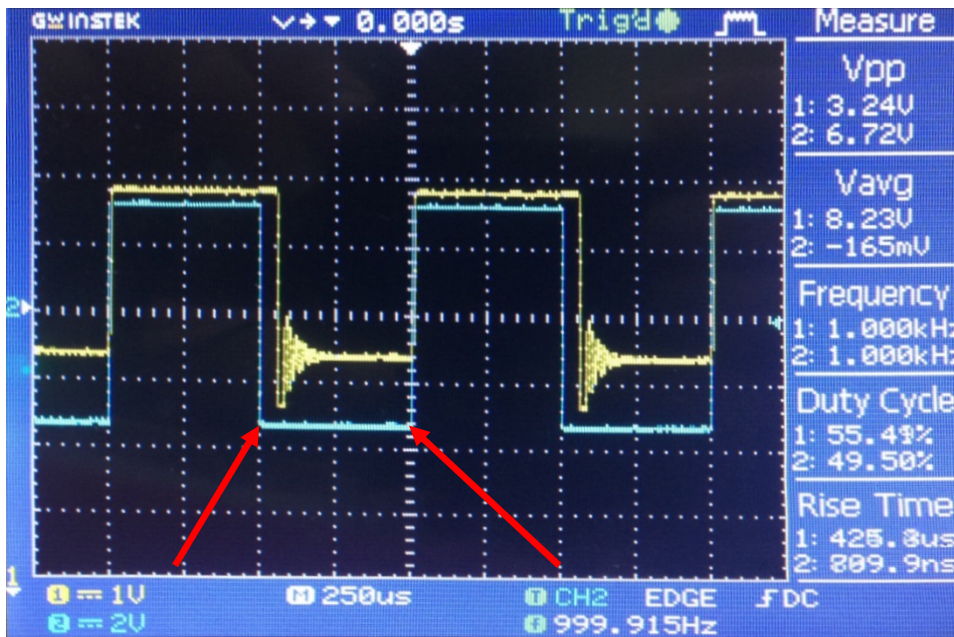
Şekil 4. 2 Laboratuvar Ortamında Test Aşaması

En düşük mesafe için ayarlanmış devrenin hali Şekil 4. 2'de görülmektedir.

Mesafe arttıkça alınan sinyalimiz mesafenin karesi şeklinde azaldı.

$$P(x) = \frac{F_0 k}{(2x)^2} = \frac{F_0 k}{4x^2} = \frac{\alpha}{x^2} \quad (1)$$

Kullanılan denklem Çizelge 4. 1'den sonra detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Mesafeyi artırdıkça alınan sinyaldeki zayıflama sadece LED'den gelen ışığa bağlı olarak değişmiyordu, çevredeki ışık kaynakları da alınan sinyalimizin bozulmasında büyük etkendi. Gün ışığında yaptığımız deneylerde zayıflama çok daha fazla oldu. Araya farklı renkte bir ışık kaynağı koymamız alınan veriyi çok fazla etkilemedi çünkü fotodiyotumuz yeşil ışığa çok duyarlıydı. LED ve fotodiyot arasına yeşil ışıkta bir kaynak bağladığımızda ise mantıklı bir veri elde edemedik. Bunu kablosuz haberleşmedeki Jammer'lara benzetilebilir.



LED'lerden gönderilen kare dalga

Fotodiyottan alınan veri

Şekil 4. 3 Osiloskop ekranında gönderilen ve alınan sinyaller

Giriş Gerilimi (V): LED'in bacakları arasında ölçülen gerilim değeri giriş gerilimi olarak adlandırılır. LED'in parlaklığını artırabilmek için daha yüksek değerde gerilim uygulanması gerekmektedir. Uygulanabilecek gerilimin maksimum değeri ise LED'in data sheet'inde 7V olarak belirtildiği için 7V'a yakın olan 6.72V gerilim uygulandı.

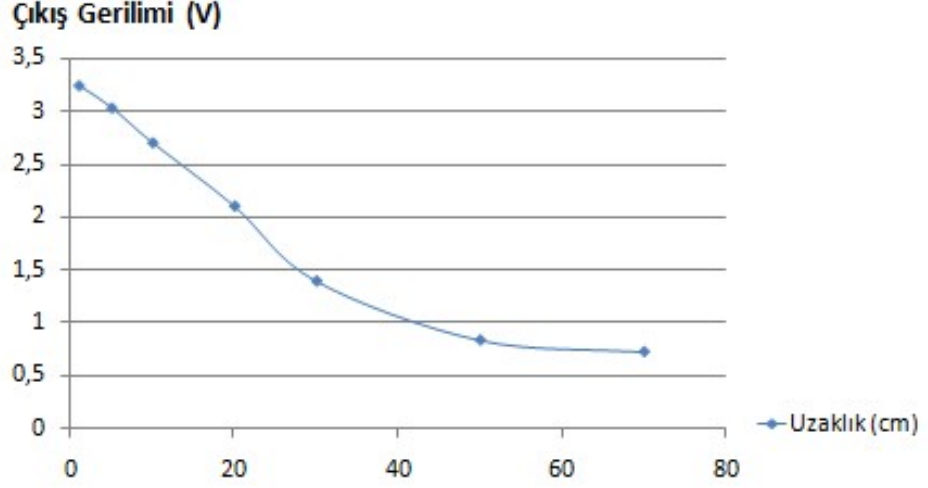
Çıkış Gerilimi(V): LED'e uygulanan gerilimin alıcı tarafta bulunan fotodiyot üzerinde oluşturduğu gerilim çıkış gerilimi olarak adlandırılır. LED verici kısımda yani bilgiyi gönderen kısımdır. Çünkü ışık kaynağı olarak kullanıldığı için fotonlar aracılığıyla

haberleşme sağlanmaktadır. Fotodiyotun alıcı kısımda olmasının sebebi ise gönderilen fotonlar fotodiyot üzerinden alınmasından kaynaklıdır. Bu sebeple fotodiyot alıcı kısım olmaktadır. Fotodiyot tarafından alınan çıkış gerilimi olarak adlandırılan gerilimin bilgiyi değerlendirebilmesi için minimum olarak 0.6V değerinde olması gerekmektedir. Bunun sebebi ise fotodiyotun aktif hale gelebilmesi için gerekli olan gerilim miktarı değerinin 0.6V olmasıdır. Bu yüzden deneylerde 0.6V gerilime kadar karşılık gelen mesafeyi artırarak deney gerçekleştirilmiştir. Mesafeyle oluşan çıkış gerilimi ters orantılı olduğundan mesafe arttıkça çıkışta oluşan gerilim azalmıştır. Bunun sebebi ise LED'lerden çıkan fotonların mesafe arttıkça daha çok etrafa saçılması, bu yüzden de fotodiyota düşen miktarın azalmasından kaynaklıydı. Çizelge 4.1'de deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Görünür Işık ile Haberleşme Deney Sonuçları

Mesafe(cm)	Giriş Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi (V)	Frekans (kHz)
1 cm	6,72V	3,24V	1
5 cm	6,72V	3,03V	1
10 cm	6,72V	2,7V	1
20 cm	6,72V	2,1V	1
30 cm	6,72V	1,39V	1
50 cm	6,72V	0,83V	1
70 cm	6,72V	0,72V	1

Deney sonuçlarına ait sabit giriş gerilimi ve frekansta; mesafe değerlerine karşılık olarak oluşan çıkış gerilimleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. 4 Mesafeye göre çıkış gerilimi

Giriş gerilimi 6.72V olarak verilmektedir. Bunun sebebi LED'den geçebilecek akım miktarı maksimum 7V olduğundan dolayı böyle bir değer alınmıştır. Frekans 1kHz olarak ayarlandıktan sonra hesaplamalar yapılmaktadır. Deney belirli bir beyaz ışıklı ortamda gerçekleştirildi. Deneyde kullanılan özel seçilmiş yeşil LED'ler bu etkiyi minimize etmek için seçilmiştir. Nedeni ise yeşil rengin projede gerçekleştirilecek ortamlarda (genelde kapalı ortam) yeşil rengin yoğunluğunun az olması ve fotodiyot/Led uyumunun başka renklere bu kadar yakın olmamasındandır.

Kullanılan fotodiyot bir fotodetektördür ve yüzeyine gelen optik güçle orantılı olarak elektrik akımı üretmektedir.

Işık şiddetinin uzaklıkla değişimi ifadesini elde etmek için, hedef bir LED'in gönderdiği ışığa dik olarak yerleştirilmiş ve değişik uzaklıklara karşılık fotodetektör gerilimleri ölçülmüştür.

LED'den çıkan ışık boş ortamdan geçerek x kadar uzaklıktaki hedefe çarpmaktadır. Çarpan ışığın k oranındaki bir kısmı geriye yansıtılmaktadır. Hedeften yansıyan ışık boş ortamda tekrar bir x uzaklığını kat ederek fotodiyoda ulaşmaktadır. Eğer hedef kendisine çarpan ışığın şiddetinden bağımsız olarak (x uzaklığından bağımsız olarak her x uzaklığında) k katını yansıtıyorsa ışığın uzaklıkla değişiminin ifadesi denklem (1)'de verilmiştir.

Denklem (1)'de verilen F_0 ; yansıtıcı hedef olmadığı durumda fotodiyotla hedefin aynı doğrultuda birbirine bakacak şekilde yerleştirilmeleri halinde, ışığın, boş ortamdaki geçerken ortamdaki kaynaklanan zayıflamasıdır. Bu ifadedeki α katsayısının değeri ölçülmüştür. Ölçümde, hedef ile fotodiyot çok yakın olurlarsa fotodiyot doymaya girebilmektedir. Yukarıda, iki farklı hedef için elde edilmiş uzaklık-ışık şiddeti değişim eğrisinde en yakın x değerlerinde büyük bir sapma olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, söz konusu uzaklıklarda fotodiyodun doymaya girmesidir. Teorik ifadeler, ölçülmüş olan bir değerden türetildikten sonra, ölçülmüş olan değerlerle nokta nokta çizilmiş olan deneysel sonuçlar aynı grafiğe çizilir. Eğer iki grafik büyük oranda çakışıyorsa teorik ifadenin türetilmesinde kullanılmış olan değer uygun bir değerdir.

Burada LED'in ışık şiddetinin, uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azaldığı

görülmektedir [18]. Yukarıdaki açıklamalardan α katsayısının doğru bulunabilmesi için kullanılacak bir yöntem ortaya çıkmaktadır. x yerine tabii ki

$$V_0' = x \frac{1}{K_2'} \quad (2)$$

Tasarlanan uzaklık ölçer devresinde K_2' katsayısı seçilen direnç değerleri ile denklem (1) oluşturulmuş, böylece çıkışta gözlenen gerilim değerinin doğrudan uzaklık bilgisini vermesi sağlanmıştır.

K_2' katsayısı kuvvetlendiricideki bazı elemanların değerlerine bağlı çarpanlardır.[19]

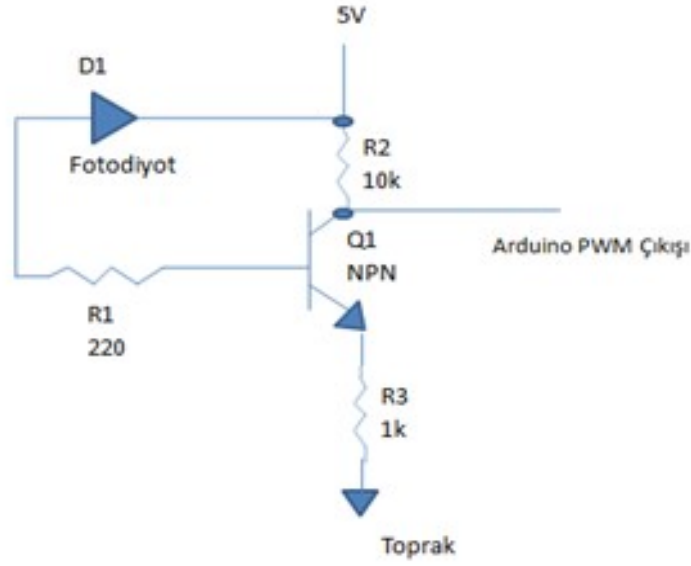
LED'den gönderilen kare dalganın alıcı tarafta nasıl bir değişime sebep olduğunu incelendi. Verici kısım ile alıcı kısım arasındaki mesafeyi kademeli olarak arttırıldı. Aradaki mesafe arttıkça alınan sinyalin zayıfladığı gözlemlenildi.

Bu durumda Led'den bilgi iletimi mümkün ama fotodiyotta alınan veriye karar vermek için ve verici ile alıcı arasındaki mesafeyi arttırmak için Karşılaştırmalı Opamp kullanılmalı ve alınan sinyali mikrokontrolörün karar vereceği seviyeye kadar kuvvetlendirilmelidir.

Veri gönderirken LED'lerin artı ucu Arduino üzerinde Digital 2 pinine diğer ucu ise direk olarak toprağa bağlandı. LED kısmında kuvvetlendirme yapılamayacağı için sade bir devre kuruldu. Kuvvetlendirme yapılamamasının sebepleri ise:

- 1- LED'lere uygulanabilecek maksimum geriliminin LED'in elektronik yapısından dolayı sınırlı olması
- 2- LED'lerin sınırlı gerilim değerinin arduino'dan çıkan gerilime eşit olmasıdır.

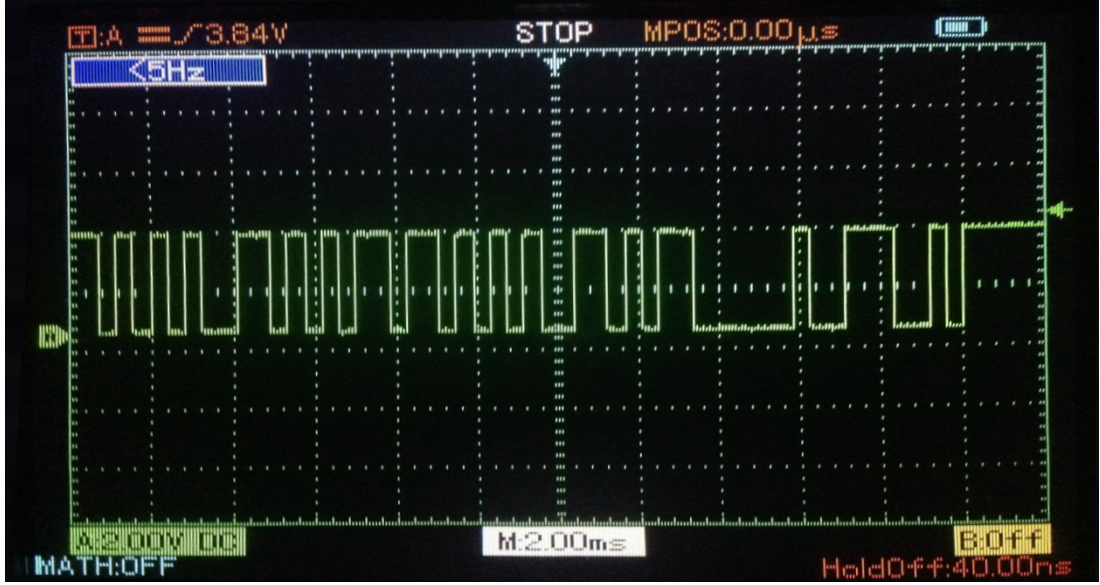
Alıcı kısımda ise veri iletimini daha uzun mesafeden gerçekleştirebilmek için kuvvetlendirici bir devre kullanılması gerekmektedir. Şekil 4. 5'de devre çizim programlarından LT Spice kullanılarak çizilmiş devre gösterilmiştir.



Şekil 4. 5 Alıcı Devresi

Bu devrede herhangi bir ışık yokken fotodiyotun üzerinden akım geçirmeyerek çıkış ucuna bir işaret oluşturmaması için BJT kullanıldı. Yapılan hesaplamalara uygun olan 10k Ω , 1k Ω ve 220 Ω 'luk dirençler şekildeki gibi kullanıldı.

Alınan sinyal BJT ile kuvvetlendirildikten sonra Arduino'ya aktarılır. Osiloskopla yapılan analog ölçüm aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



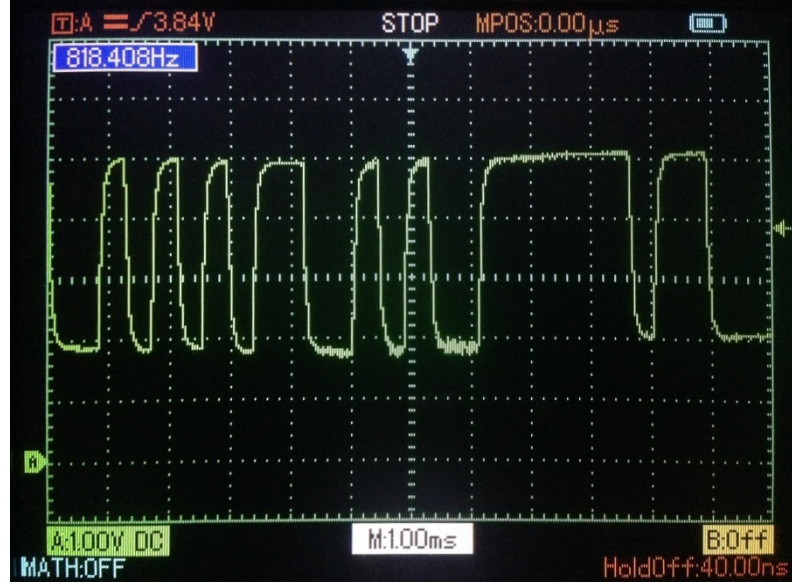
Şekil 4. 6 Gönderici PWM Çıkışı

Veri gönderirken kullanılan iletim kısmındaki Arduino'da dijital 2 pininden gönderilen PWM sinyaller aşağıda şekil 4. 6'da gösterilmiştir.

Alıcı kısımda kullanılan devre şeması Şekil 4.6'da gösterilmiştir. CN741 BJT ve kullanılan dirençler ile anahtarlama devresi olarak transistörün kollektör ucundan alınan çıkış alıcı kısım Arduino'ya bağlanır.

Osiloskop ekranında da görüldüğü üzere kare dalgaların genişlikleri eşit aralıklarla bölünmemiştir. Bu da yapılmak istenen modülasyonun PWM (Sinyal Genişlik Modülasyonu) gerçekleştiğini göstermektedir. Alıcı tarafta da bu PWM sinyallerini Arduino'ya okutmak, demodüle edip bilgilere ulaşmak kalmıştır.

Bu devrenin çıkışında; Şekil 4.6'da görülen sinyalin LED'ler tarafından gönderilmesiyle elde edilen işaret Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4. 7 Alıcı Devrenin BJT ile Kuvvetlendirildikten Sonraki Çıkışı

Şekil 4. 7'de sinyalin tam kare dalga olmadığı görülmektedir, bunun sebebi alınan sinyalde elektronik devreler üzerinde akımın gecikmeli olarak gitmesi, fotodiyotun açılıp kapanma süresinin anlık olmayıp biraz gecikmeli olarak gerçekleşmesindedir.

Çizelge 4.2'de verilen deney sonuçları gösterilmiştir.

Giriş Gerilimi (V): LED'in iki bacağı arasındaki ölçülen gerilim. LED'in parlak yanması için daha yüksek gerilim verilmesi gerekmektedir. Uygulanabilecek üst limit de LED'in datasheet'inde 7V olarak belirtildiği için 6.72V uygulandı.

Çıkış Gerilimi(V): LED'e uygulanan gerilimin alıcı taraftaki fotodiyot üzerinde oluşturduğu gerilimdir. Bu gerilimin alınan bilgiye karar verilebilmesi için en az 0.6V olmalıdır. Bu yüzden deneylerimizi 0.6V gerilime düşene kadar mesafeyi artırarak tekrarlandı. Mesafe arttıkça çıkışta oluşan gerilim azaldı. Bunun sebebi ise LED'lerden çıkan fotonların mesafe arttıkça daha çok etrafa saçılması, bu yüzden de fotodiyota düşen miktarın azalmasından kaynaklıydı.

Devreye uygulanan giriş gerilimi-çıkış gerilimi sabit frekansta ölçülmüştür. Mesafeye göre ters orantılı olarak azaldığı ortadadır. Çıkış Gerilimi (*), araya saydam bir cisim

varken ki ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Saydam cisim 3cm çapında dairesel genişliği 1 cm olan cam parçasıdır.

Çıkış gerilimi (**), ile gösterilen ölçüm sonuçları araya farklı renkte ışık kaynağı konulduğu zaman ki ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Kırmızı ışık olarak kullanılan ışık, Helyum Neon lazer ışınıdır. Dalga boyu 632.8 nm ve kırmızı renkte ışın ortaya çıkarır.

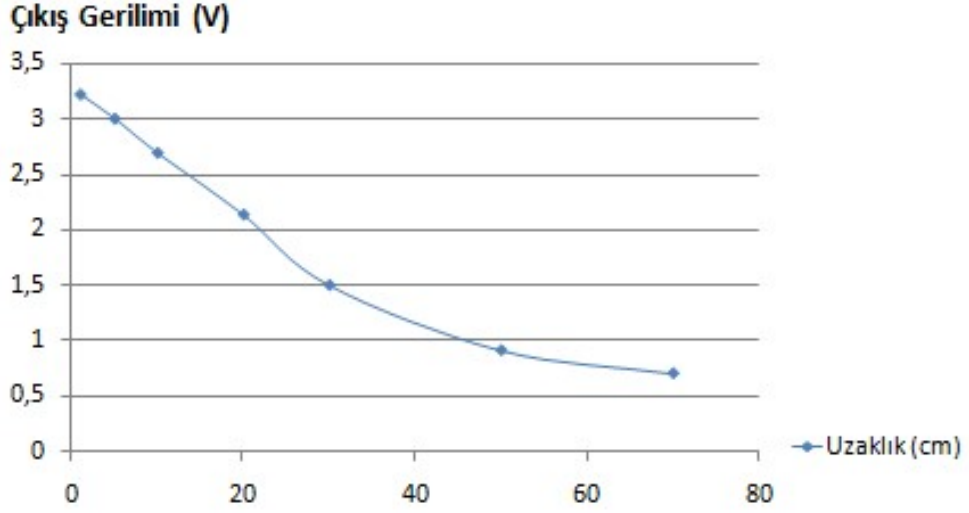
Çizelge 4. 2 Arada nesne varken-başka ışık kaynağı varken Görünür Işık ile Haberleşme deney sonuçları

Mesafe(cm)	Giriş Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi(V) (*)	Çıkış Gerilimi (V)(**)	Frekans (kHz)
1 cm	6,72V	3,24V	3,23	3,24	1
5 cm	6,72V	3,03V	3,01	3,02	1
10 cm	6,72V	2,7V	2,7	2,7	1
20 cm	6,72V	2,1V	2,14	2,08	1
30 cm	6,72V	1,39V	1,5	1,38	1
50 cm	6,72V	0,83V	0,91	0,81	1
70 cm	6,72V	0,72V	0,7	0,62	1

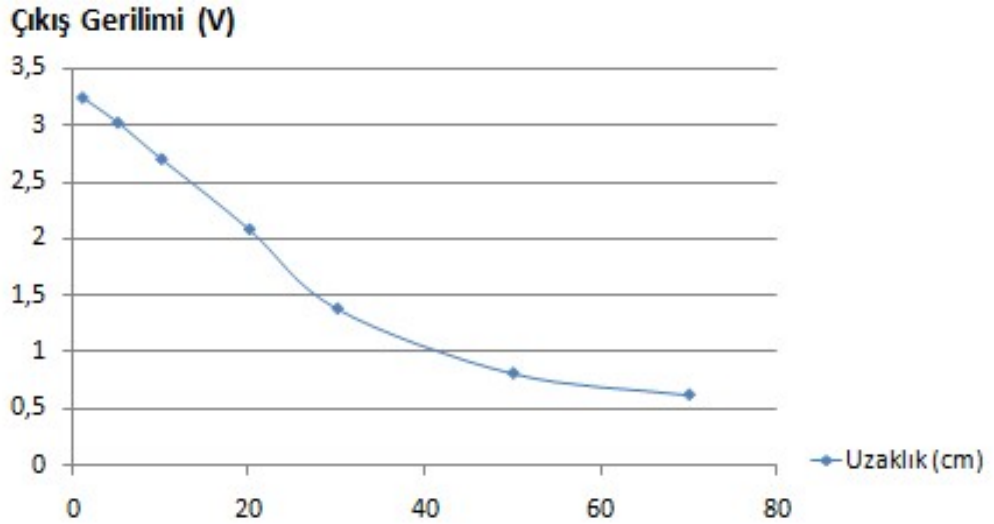
*:Arada Saydam bir engel(Kalın Bir Cam Parçası) varken

** :Araya Farklı Renkte(Kırmızı) Işık Kaynağı Konulduğunda

Bu deney sonuçlarına ait grafikler daha iyi anlaşılması için ayrı ayrı düzenlenip konulmuştur. Ayrı ayrı incelenen çıkış gerilimleri değerleri arasında oluşan farklar grafiklerden sonra yapılan açıklamalarla pekiştirilmiştir.



Şekil 4. 8 Arada saydam bir cisim varken mesafeye göre çıkış gerilimi



Şekil 4. 9 Arada başka bir ışık kaynağı varken mesafeye göre çıkış gerilimi

Giriş Gerilimi (V): LED'in iki bacağı arasındaki ölçülen gerilim. LED'in parlak yanması için daha yüksek gerilim verilmesi gerekmektedir. Uygulayabileceğimiz üst limitde LED' in data sheet'inde 7V olarak belirtildiği için 6.72V uygulandı.

Çıkış Gerilimi(V): LED'e uygulanan gerilimin alıcı taraftaki fotodiyot üzerinde oluşturduğu gerilimdir. Bu gerilimin alınan bilgiye karar verilebilmesi için en az 0.6V olmalıdır. Bu yüzden deneylerimizi 0.6V gerilime düşene kadar mesafeyi artırarak

tekrarlandı. Mesafe arttıkça çıkışta oluşan gerilim azaldı. Bunun sebebi ise LED'lerden çıkan fotonların mesafe arttıkça daha çok etrafa saçılması, bu yüzden de fotodiyota düşen miktarın azalmasından kaynaklıydı.

Tablo 4.2'de ölçülen değerler LED'in bacaklarına uygulanan kare dalganın oluşturduğu tepe (peak) değerleridir(V_p).

Fotodiyot tarafında minimum 0.6V (BJT tetiklenmesi için gerekli) değerine ulaşılmalı ki devre istenilen şekilde çalışabilsin.

LED ve Fotodiyot arasına saydam bir engel konulduğunda sistemimiz beklenildiği gibi çalışmadı. Bunun sebebi ise aradaki cismin ışığı kırmasından kaynaklandı. Kırılan ışık fotodiyotumuza tekrar tekrar aynı bilginin gelmesine sebep oldu, buda sistemin kararlılığını bozdu. Kırılıp tekrar gelen fotonları, fotodiyotumuz asıl bilgi içeren fotonlardan ayıramayıp onları da 1 olarak değerlendirdi. Örneğin gönderdiğimiz bilgi A (Binary: 0100 0001) harfi olsun. Ledler A harfimiz için 0100 0001 olacak şekilde yandı söndü fakat fotodiyotta alınan veriler şu şekilde okundu: 0110 0000 11 yani aldığımız her 1 (Led in yanması) den sonra fotodiyot saydam cisimden yansıyan fotonları da 1 olarak değerlendirdi ve mikrokontrolörün anlamlandıramadığı bir bilgi serisi oluştu. Bu durumu kablosuz haberleşmede elektromanyetik dalgalarımızın farklı yerlerden yansımalarına benzetebiliriz. Bu durumun çözümünde kablosuz haberleşmedikine benzer bir şekilde yapılabilir. Yani alıcı taraftaki arduinoda her bit arasında çok kısa bir bekleme süresi konularak bu sorun çözülebilir. Bu sayede araya saydam bir cisim konulup, ışığı bir noktaya odaklayarak mesafe daha da artırılabilir. Bizim için ilk deney aşamasında dezavantaja benzeyen durum sorunun çözülmesiyle birlikte büyük bir avantaja dönmüş oldu.

Araya farklı renkte bir ışık kaynağı koyduğumuzda ise sistemimizin çalışması aynı şekilde devam etti çünkü yeşile duyarlı olan fotodiyotumuz, kırmızı dalga boyundaki fotonları algılamadı. Bunu kablosuz haberleşmede aynı anda birden fazla frekansta yayın yapıp bunların birbirine karışmamasına benzetebiliriz. Günlük hayatta uygulanması durumunda sistemin kullanılacağı odada normalde bulunmayan veya çok az bulunan renkte bir led ve uyumlu fotodiyot kullanarak sistemimiz daha verimli bir şekilde kullanılabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen teknolojik faaliyetlerle birlikte teknolojiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Günlük yaşamın en önemli ihtiyaçlarından biri de haberleşmedir. Haberleşme sektöründe yaşanan gelişmelerden sonrasında RF sistemlerinin kullanılmadığı yerlerde Görünür Işık ile Haberleşme sistemlerine var olan ihtiyaca potansiyel gözüyle bakılmaktadır.

Bu alanda elde edilecek başarı çevreyle dost, yüksek hızlı, kolay erişilebilir ve maliyet etkin Görünür Işık ile Haberleşme sistemlerinin günlük yaşamızda kullanılmasını sağlayacaktır.

Gelecekte ise önemli ölçüde enerji verimliliği ve bakım kolaylığı sağlayan Görünür Işık ile Haberleşme sistemlerinin büyük ölçekli düşük maliyetli ticari uygulamaları hayata geçirilebilecektir.

Görünür Işık ile Veri İletimi projede aşağıdaki adımları gerçekleştirerek projeyi sonlandırıldı.

- İlk olarak göndermek istenilen bilgileri "1" ve "0" lara dönüştüren, 1'ler için LED'i açıp, 0'lar için LED leri kapatan, alıcı tarafta da belirli bir genliğin üstündeki değerleri 1 ve o değer altındaki gerilimleri 0 kabul eden kodlar yazılarak ayrı ayrı mikrokontrolöre yerleştirildi.
- Seri iletişim birimi Arduino'nun veya buna benzer birçok mikrodenetleyici üzerinde vardır. Seri iletişim bu donanım birimleri ile yapılır. Bu birime UART /

USART denir. İkinci adımda mikrokontrolörün içine yerleştirilen yazı (veri) LED'ler ile gönderip alıcı taraftaki mikrokontrolörden bilgisayar yolu ile okundu. Bunun için alıcı taraftaki mikrokontrolörün UART çıkışından veri bastırılıp bilgisayar ekranında görüntülendi.

- Verici mikrokontrolöre yerleştirilen kod alıcı taraftaki mikrokontrolör yoluyla başka bir bilgisayara gönderildi.

Arduino seri porttan gönderilen veriyi alıcı kısımda Arduino seri porta yazdırıldı.

- Veri göndermek için C# ile gönderici ve alıcı programları yazıldı. C# içinde gönderilen verileri dizilere atarak gönderildi.

- Son olarak veri gönderilen mesafesi arttırıldı.

Tasarımda ideal metod, gönderilecek verinin zaman ortamında kapsanmasıdır ki, budurumda LED'in doğasından kaynaklanan doğrusal olmama sorunundan çözüm metodu daha az etkilenmekte ve genlik ortamındaki performansı (aydınlatma fonksiyonu) etkilenmemektedir. Yüksek hızlı haberleşme yöntemlerini analiz ederken tüm sistem parametrelerinin de hesaba katılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] IEA, (2006). "Lights Labours Lost: Policies for Energy-Efficient Lighting, Energy Efficiency Policy Profiles".
- [2] Kocaoglu, M., Malak, D. ve Akan, Ö. B., "Fundamentals of Green Communications and Computing: Modeling and Simulation", Koc University, Turkey.
- [3] Visible Light Communications Consortium, (2008). www.vlcc.net
- [4] JEITA: CP-1221, (2007). Visible Light Communications System.
- [5] JEITA: CP-1222, (2007). Visible Light ID System.
- [6] Jamieson, I., Visible Light Communication (VLC) Systems, <http://bemri.org/visiblelight-communication.html>, 10.01.2014.
- [7] Ching, L. C., ve Seong T.C., (2010). "Visible Light Communication (VLC) and Its Future Prospective", Wong Hin Yong of Multimedia University and Mazlaini Yahya of TM Innovation Centre,
- [8] Won, E. T., Shin, D., Jung, D. K., Oh, K. J., Bae, T., Kwon, H. C., Cho, C., Son, J., O'Brien, D., Kang, T. G. ve Matsumura, T., "Visible Light Communication : Tutorial" , Company Samsung Electronics Co., LTD, University of Oxford, ETRI (4) VLCC (28 Members),Project: IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs), 9 March 2008.
- [9] Hong, H., Ren, Y. ve Wang, C., Information Illuminating System for Healthcare Institution, ICBBE, The 2nd International Conference , 16-18.05.2008, 801-804.
- [10] Jung, S.Y., Hann, S., ve Park, C.S., (2011). "TDOA-based optical wireless indoor localization using LED ceiling lamps", Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 57(4):1592-1597.

- [11] Liu, X., Makino, H. ve Maeda, Y., "Basic study on indoor location estimation using Visible Light Communication platform, EMBS", 30th Annual International Conference of the IEEE, 20-25 Augustos 2008, 2377-2380.
- [12] Ito, Y., Haruyama, S., ve Nakagawa, M., "Rate-Adaptive Transmission on a Wavelength Dependent Channel for Underwater Wireless Communication using Visible Light LEDs", IEICE technical report, 2006, 127-132.
- [13] Farr, N., Bowen, A., Ware, J., Pontbriand, C. ve Tivey, M., "An integrated, underwater optical / acoustic communications system", OCEANS - IEEE, Sydney , 24-27 Mayıs 2010, 1-6.
- [14] Rust, I.C., ve Asada, H.H., "A dual-use visible light approach to integrated communication and localization of underwater robots with application to nondestructive nuclear reactor inspection", Robotics and Automation IEEE International Conference , 14-18 Mayıs 2012, 2445-2450.
- [15] Hagem, R.M., Thiel, D.V., O'Keefe, S.G., ve Fickenscher, T., "Optical wireless communication for real time swimmers feedback: A review, Communications and Information Technologies" , International Symposium , 2- 5 Ekim 2012, 1080-1085
- [16] J.C., (1988), "Fiber Optic Communications", second edition, Prentice Hall.
- [17] Rischenterprizes, J.R., "Ece 323 term papers: The photodiode", 26 Şubat 2006, <http://www.rischenterprizes.com/Photodiode.pdf>.
- [18] Bhattacharya, P., (1997), "Semiconductor Optoelectronic Devices", Second Edition, Prentice-Hall, U.S.A.
- [19] Özütürk, E., (2006a) LED'in Elektriksel Karakteristiklerinin Optik Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(3), 389-396.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Alp Doruk ERTUNA
Doğum Tarihi ve Yeri :11/04/1988 Kadıköy
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta :aertuna@ford.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kontrol ve Otomasyon Müh.	/Yıldız Teknik Üniversitesi/	2016
Lisans	Mekatronik Müh.	/Bahçeşehir Üniversitesi/	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-2013	Vestel A.Ş.	Üretim Teknolojileri ve Yatırımlar Mühendisi
2013-2015	Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.	Kalıp Proses Mühendisi
2015	Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.	Ürün Geliştirme Müh.