



SU ALTINDA GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞMESİ

Seden Gizem ATAĞAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ALTINDA GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞMESİ

Seden Gizem ATAKAN
0000-0002-3014-3657

Doç. Dr. Umut AYDEMİR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
OPTİK ve FOTONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SU ALTINDA GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞMESİ

Seden Gizem ATAKAN

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Optik ve Fotonik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Umut Aydemir

Günümüzde su altında haberleşme için yüksek maliyetli ve çevresel donanımlara bağlı çözümler kullanılmaktadır. Öte yandan, görünür ışık ile iletişim (VLC) yeni nesil iletişim teknolojilerinden olup elektromanyetik spektrumun görünür bölgesindeki ışığı kullanarak veri iletimini amaçlayan bir teknolojidir. Radyo Frekans (RF) teknolojisinin su altı ortamda yetersiz olmasından dolayı en önemli rakibi olan VLC teknolojisi veri iletimi açısından çok daha avantajlıdır. Bu çalışmada tasarlanan VLC sisteminde ışığın doğrusal yönlülük özelliği kullanılarak sadece hedeflenen alıcı ile iletişim gerçekleştirilmektedir. Gizli bir faz kaydırmalı anahtarlama yöntemi ile verinin şifrelendiği, VLC ile veri gönderimi gizlilik protokolü üzerine çalışmalar yapılmıştır. Haberleşme, tasarlanan verici ve alıcı devreler ile gizli anahtarlama kodlaması kullanılarak çift-yönlü veri iletimi gerçekleştirilebilecek mikroişlemci aracılığıyla sağlanmaktadır. Su altı ortamında RF ve optik haberleşmeyi ayıran en önemli fark su ortamının RF tarafından iletken olarak algılanırken, VLC için dielektrik olarak algılanmasıdır. Çalışmanın odak noktası olan su ortamı için önerilen protokol, deneysel olarak farklı tuzlu derişimlere sahip su altı ortam şartlarında, alıcı – verici arası farklı yönlendirme açılarında, veri paketi teslim oranı ve gecikme süresi başarımları ölçümleri dikkate alınarak test edilmiştir. Yapılan testler bir SCD sensör ile karakterize edilmiş ve simülasyonları sağlanarak motor kontrolü ve sesli uyarı ikaz sistemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada VLC'nin su altı haberleşme performansı 1 metrelik bir akvaryumda farklı derişimlerde tuz konsantrasyonu için deneysel olarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görünür ışık haberleşmesi, su altı haberleşmesi, optik, fotonik.

2022, xiii + 76 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

VISIBLE LIGHT COMMUNICATION WITH UNDERWATER COMMUNICATION

Seden Gizem Atakan

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Optical and Photonics Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Umut Aydemir

Today, high-cost and peripheral solutions are used for underwater communication. On the other hand, visible light communication (VLC) is one of the new generation communication technologies and aims to transmit data using light in the visible region of the electromagnetic spectrum. Due to the inadequacy of Radio Frequency (RF) technology in the underwater environment, VLC technology, which is its most important competitor, is much more advantageous in terms of data transmission. In the VLC system designed in this study, communication is carried out only with the targeted receiver by using the linear directionality of the light. Studies have been done on data transmission confidentiality protocol with VLC, in which data is encrypted with a secret phase shift keying method. Communication is provided by the designed transmitter and receiver circuits and the microprocessor, which can perform bidirectional data transmission using secret keying coding. The most important difference that separates RF and optical communication in the underwater environment is that the water environment is perceived as a conductor by RF, while it is perceived as a dielectric for VLC. The proposed protocol for the aquatic environment, which is the focus of the study, has been experimentally tested in underwater environments with different saline concentrations, at different routing angles between the receiver and transmitter, considering the data packet delivery rate and latency performance measurements. The tests performed were characterized by an SCD sensor and it was aimed to develop a motor control and audible warning system by providing simulations. In this study, the underwater communication performance of VLC is discussed experimentally for different concentrations of salt in a 1 meter aquarium.

Keywords: Visible light communication, underwater communication, optics, photonics.

2022, xiii + 76 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman yol gösteren, desteğini hiç esirgemeyen çok değerli danışmanım Doç. Dr. Umut Aydemir' e çok teşekkür ederim.

İş hayatım ile okul hayatım arasındaki dengeyi sağlamama yardımcı olan yöneticilerime ve bana destek olan iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan değerli ailem ve desteğini esirgemeyen, aynı zamanda meslektaşım olan eşime çok teşekkürlerimi sunarım.

Seden Gizem ATAKAN

19/05/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Görünür Işık Haberleşmesi.....	4
2.2.Görünür Işık Haberleşmesi Kullanım Alanları ve Uygulamaları	5
2.3. Görünür Işık Haberleşmesi Su Altı Uygulamaları.....	7
2.4. Elektromanyetik Spektrum.....	9
2.5. Işık Yayan Diyotlar (LED).....	12
2.6. Işığa Bağımlı Direnç Sensörü (LDR- Light Dependent Resistor).....	15
2.7. Modülasyon	16
2.8. Arduino UNO	18
2.9. Bosch SCD Sensör	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. VLC Sistemin Tasarımı.....	24
3.2. Donanım	25
3.3. Alıcı-Verici Sisteminin Hava Ortamında Optimizasyonu.....	28
3.4. VLC Verici Tasarımı.....	32
3.5. VLC Alıcı Tasarımı.....	34
3.6. Yazılım.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
5. SONUÇ.....	52
KAYNAKLAR.....	54
EKLER.....	57
EK 2 Alıcı Devre Yazılımı.....	58
EK 3 Verici Devre Yazılımı.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	76

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
bps	Bit/s
cm ²	Santimetrekare
db	Desibel
Gbps	Saniye Başına Gigabit
Hz	Hertz
Lux	Lümen/metrekar
m ²	Metrekare
Mbps	Saniye Başına Megabit
Nm	Nanometre
THz	Terahertz

Kısaltmalar	Açıklama
DC	Doğru Akım
IoT	Nesnelerin İnterneti
LED	Işık Yayan Diyot
NLOS	Görüş Hattı Olmayan
OOK	Başla Dur Anahtarlama
PPM	Darbe Konum Modülasyonu
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
RGB	Kırmızı- Yeşil- Mavi
VLC	Görünür Işık Haberleşmesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. VLC anlatan temsili görüntü.....	4
Şekil 2. 2. Elektromanyetik Spektrum	10
Şekil 2. 3. Görünür ışık bölgesindeki renklerin dalga boyuna ayrılması.....	11
Şekil 2. 4. Elektromanyetik spektrum kızılötesi bölge aralığı	12
Şekil 2. 5. Işık yayan diyot yarıiletken yapısı (H. Özbek, 2020)	13
Şekil 2. 6. Elektrolüminesans olayı (Aybar, 2019).....	14
Şekil 2. 7. LDR ışık şiddeti – direnç ilişkisi.....	15
Şekil 2. 8. Modülasyon işlemi	16
Şekil 2. 9. Modülasyon türleri	17
Şekil 2. 10. Arduino UNO board giriş – çıkış pinleri	19
Şekil 2. 14. Bosch SCD sensör kullanarak ölçülebilen özellikler	20
Şekil 2. 15. Bosch SCD sensör görünüşü.....	21
Şekil 2. 16. Bosch SCD sensör ile alınan ölçüm sonuç sayfası.....	23
Şekil 3. 1. İki mikrodenetleyici arasında Proteus ile veri aktarımı.....	26
Şekil 3. 2. İki Arduino arasındaki veri iletişiminin devre şeması	28
Şekil 3. 3. Alıcı – verici konumlandırılmasına göre ışık görüşleri.....	29
Şekil 3. 4. Algoritma sonucu ile iki Arduino arasındaki iletişimin simülasyon şeması .	30
Şekil 3. 5. Donanım başlangıç kurulum görseli	30
Şekil 3. 6. Alıcı verici devresindeki dizi karakterlerinin sonuç tabloları.....	31
Şekil 3. 7. Hardware ile ışık kontrolüne bağlı haberleşme ekranları simülasyonu	31
Şekil 3. 8. İletim mekanizmasının akış şeması.....	33
Şekil 3. 9. Tasarlanan verici devresi kullanılan LED çipleri	33
Şekil 3. 10. Akış şeması alıcı mekanizması	34
Şekil 4. 1. Tasarlanan su altı VLC sistemi	37
Şekil 4. 2. Tasarlanan verici devresi	38
Şekil 4. 3. Verici ölçümlerinde kullanılan Bosch SCD sensör.....	38
Şekil 4. 4. Veri akış şeması sonuç öngörüsü	40
Şekil 4. 5. Yönlendirilmiş ışık kaynağı ile saf su kullanarak kurulan ölçüm düzeneği..	41
Şekil 4. 6. ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan deney düzeneği.....	42
Şekil 4. 7. ANSYS SPEOS ile tasarlanan deney düzeneğinin alıcı sensör ölçüm sonuç ekranı.....	42
Şekil 4. 8. ANSYS SPEOS'ta tasarlanan deney düzeneğinin ışık yolları gösterimi	43
Şekil 4. 9. Alıcı – verici arası kayıp mekanizması	43

Şekil 4. 10. Farklı tuzlu su konsantrasyonuna sahip su altı ortamlarında verici optimizasyonu.....	47
Şekil 4. 11. ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan saf su (yönlendirilmemiş, 125 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile) deney düzeneği	48
Şekil 4. 12. ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan saf su (yönlendirilmemiş, 250 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile) deney düzeneği	49
Şekil 4. 13. ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan saf su (yönlendirilmemiş, 375 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile) deney düzeneği	50



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. LED’lerin yapıldığı yarıiletken malzemeye göre özellikleri	14
Çizelge 2.2. Arduino UNO board teknik özellikleri.....	20
Çizelge 2.3. Bosch SCD sensörün bazı özellikleri	22
Çizelge 2.4. Bosch SCD ışık sensörü özellikleri.....	23
Çizelge 4.1. VLC ve DSRC karşılaştırma tablosu.....	36
Çizelge 4.2. Yönlendirilmiş ışık kaynağı ile saf suda verici devresi.....	45
Çizelge 4.3. Yönlendirilmiş ışık kaynağı ile %10 derişimli tuzlu suda verici devresi...	46
Çizelge 4.4. Yönlendirilmiş ışık kaynağı ile %20 derişimli tuzlu suda verici devresi...	47
Çizelge 4.5. Yönlendirilmemiş, 125 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile saf suda verici devresi.....	48
Çizelge 4.6. Yönlendirilmemiş, 250 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile saf suda verici devresi.....	49
Çizelge 4.7. Yönlendirilmemiş, 375 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile saf suda verici devresi.....	50

1. GİRİŞ

Uzayda en hızlı yayılan dalga türü olarak bilinen ışık, dalga boyu ve frekans gibi iki önemli parametreye sahiptir. Bir dalganın frekansı ile dalga boyunun çarpımı , uzaydaki yayılım hızını vermekte olup, ışık için yayılma hızı yaklaşık 300.000 km/sn'dir. Işık ışınlarının frekans veya dalga boylarına bağlı enerjilerinin sıralanması ile ışık tayfı elde edilmektedir. İnsan gözü tarafından algılanabilen ışığın dalga boyu yaklaşık 400-800 nanometre arasındadır ve ışık tayfında bu aralık “görünür ışık bölgesi” olarak adlandırılmaktadır. Görünür ışık bölgesindeki dalga boyları kullanılarak gerçekleştirilen optik haberleşme türüne “Görünür Işık Haberleşmesi (Visible Light Communication, VLC)” denilmektedir.

Günümüzde küresel iletişim ihtiyacının artmasıyla artan bilgi transferi ihtiyacı, teknolojiye kablosuz haberleşme ve veri iletimi gibi birçok yenilik yaşanmasına imkan sağlamıştır. Radyo frekans teknolojisinin alternatifi olan VLC, bazı uygulama alanlarında tamamlayıcı bir haberleşme aracı olarak yer almaktadır. (Akanegawa, 2001) (Jovicic, 2013) Görünür ışık haberleşmesi de bu bağlamda önemli bir iletişim aracı niteliğindedir.

Görünür ışık haberleşme teknolojisi, görünür bölgede ışık yayan diyotlar (Light Emission Diode, LED) kullanarak ışığın şiddetini veya rengini, insan gözünün fark edemeyeceği hızda değiştirerek kablosuz veri iletimini gerçekleştirmektedir. (Nakagawa, 2007) Aydınlatma teknolojilerinde akkor lambalar ve floresan lambaların yerine geçmeye başlayan ışık yayan diyotlar (LED); uzun ömürlü olması, civa içermemesi, hızlı anahtarlama gibi özelliklerinden dolayı daha tercih edilir olmaktadır. Işık ile haberleşmede, anlamlı veriler elde edebilmek amacıyla ışığın modüle edilmesi gerekmektedir. Veriler, her ışık kaynağında modüle edilebilmektedir fakat LED gibi ışık kaynakları yüksek veri hızlarını iletebilmektedir. (Haigh, 2013) Hızlı anahtarlama özelliği sayesinde veri sinyali ile LED ışığı modüle edilerek, LED aydınlatma yüksek hızlı kablosuz vericilere dönüştürülebilmektedir. Son yıllarda artan enerji verimliliği farkındalığı LED tabanlı aydınlatma elemanlarının kullanımını yaygınlaştırmış ve VLC teknolojisinin gelişmesine büyük ivme kazandırmıştır.

Radyo Frekansı (RF), elektromanyetik spektrumda 3 kHz - 300 GHz aralığında yer almaktadır. Haberleşmede kullanılan yüksek veri oranının bu bant aralığını doldurmak üzere olması, RF tabanlı haberleşmeye alternatif bir teknolojiye ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Alternatif haberleşme yöntemlerine bakıldığında elektromanyetik spektrumun 430 THz-750THz aralığında yer alan görünür bölge haberleşmesi (VLC), belirli bir zaman aralığında veri iletiminin sonsuz genişliğe sahip olmasından dolayı en iyi alternatiftir. (Ertuna, 2016) Aynı zamanda elektromanyetik girişime neden olmamakta ve radyo frekansı girişiminden etkilenmemektedir (JEITA, 2004). Görünür ışık haberleşmesi için kullanılan alıcı ve verici elemanların düşük maliyetli ve kolay ulaşılabilir olması da görünür ışık haberleşmesi kullanımı için diğer bir tercih sebebidir. Görünür ışık bölgesindeki dalgalar, duvar gibi engellerden geçemediğinden bağlantı ağını sınırlamakta gibi görünse de veri güvenliği ele alındığında güçlü bir üstünlük sağlamaktadır.

Diğer haberleşme sistemlerine kıyasla (UV ve kızılötesi ışınlar, Bluetooth, WI-FI v.b.) sağladığı avantajların fazlalığıyla yaygınlaşan VLC, geleceğin haberleşme teknolojisi olarak nitelendirilmektedir. İç mekanlarda konum belirleme, kimlik saptama gibi çözüm bekleyen sorunlar için önemli bir uygulama alanı sunmaktadır (Jung, 2011) (Liu X. M., 2008). Ayrıca, gelişen LED teknolojisi ile üretilen daha güçlü ışık üreten LEDler üretilmektedir. Ayrıca bu LED'ler pahalı olmayan devre elemanları ile sürülebildiği için VLC vericisi olarak kolaylıkla kullanılabilir.

VLC, RF dalgalarının kullanılmadığı hastane, su altı gibi yerlerde de bir çok çözüm sağlayacak bir haberleşme yöntemidir. Su altında haberleşmenin de bir ihtiyaç sayıldığı günümüzde VLC uygulaması, su altı haberleşmesinin en kolay yapılacağı yöntemlerden biri olmaktadır.

Bu uygulamada uygun maliyet ve yüksek veri hızları elde edecek VLC tabanlı su altı haberleşme sisteminin prototipi ortaya konmuş ve performansının araştırılmıştır. Sistem tasarlanırken farklı güçlerde beyaz güçlü LEDlerden alınan güçlü optik sinyal bir sürücü devresi ile şifreleme ve modülasyon gerçekleştirilmiştir. Ardından hava veya tuzlu su

ortamından iletilen optik bilgi paketi bir alıcı ve ona bağılı bir mikroişlemci ile çözümlerek su altı haberleşme sağlanmıştır. Tuzlu suyun derişimi artarken VLC performansı doğru orantılı değışmektedir. Gelişen güçlü LED, mikroişlemci ve algılayıcı teknolojileri ile VLC teknolojisi başta su altı olmak üzere farklı alanlarda güvenli bir haberleşmeye olanak tanıyabilecektir.



2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Görünür Işık Haberleşmesi

Radyo frekans (RF) teknolojisinin en önemli alternatifi olan VLC teknolojisi, RF teknolojisinin kullanımının sınırlandığı yerlerde en önemli tamamlayıcı haberleşme teknolojisi olarak kullanılabilmektedir. Görünür ışık haberleşme teknolojisinin temeli, görünür bölgede ışık yayan LED'ler kullanarak ışık şiddeti veya rengini insan gözünün fark edemeyeceği hızda değiştirerek kablosuz veri iletimini gerçekleştirmeye dayanır. Şekil 2.1.'de VLC'yi anlatan temsili görüntü yer almaktadır.



Şekil 2. 1. VLC anlatan temsili görüntü

Günümüzde akkor lambalar ve floresanlar gibi diğer aydınlatma kaynaklarının yerini almaya başlayan LED'ler, hızlı anahtarlanabilmelerinden dolayı bu teknoloji için tercih edilmektedirler. LED'lerin yaygınlaşma hızı göz önüne alındığında, VLC teknolojisi geleceğin haberleşme teknolojisi olabilme yolunda ilerlemektedir. RF teknolojisi ile kıyaslandığında bant genişliği, iletim hızı gibi önemli avantajlara sahip olması da VLC teknolojisini tercih edilir kılmaktadır.

VLC haberleşmede anlamlı veriler elde edebilmek için ışığı modüle etmek gerekmektedir. Hızlı anahtarlama özelliğine sahip olmasından dolayı VLC sistemlerinde kullanılan LED ışığı ve veri sinyali modüle edilerek, yüksek hızlı veri iletimi gerçekleştirilebilmektedir. VLC teknolojisinde kullanılan alıcı ve verici elemanların kolay ulaşılabilir ve düşük maliyetli ürünler olması da bu teknolojiyi tercih edilir kılan bir diğer etkidir.

Aynı zamanda VLC teknolojisi, elektromanyetik girişime neden olmamakta ve radyo frekansı girişiminden etkilenmemektedir.

2.2.Görünür Işık Haberleşmesi Kullanım Alanları ve Uygulamaları

VLC teknolojisi, RF dalgasının kullanılmadığı alanlarda rahatlıkla kullanılabilir olduğundan günümüz teknolojisinde çok önemli bir tamamlayıcı haberleşme sistemi niteliğindedir. Veri aktarımı ihtiyacının gün geçtikçe artmasıyla beraber veri iletimi için geliştirilen alternatif haberleşme yöntemlerinden biridir.

Hastane gibi MRI tarayıcılarının kullanıldığı yerlerde elektromanyetik girişimin engellenmesi için kablosuz iletişim (WI-FI) kullanılması yasaktır. Sağlık uygulamalarının kullanılması gereken bu mekânlarda veri iletimi gerçekleştirilmesi için, elektromanyetik girişim oluşturmayan VLC kullanılması haberleşmeyi sağlayacak en önemli uygulamadır. Hasta bilgileri VLC aracılığıyla hızlı bir şekilde doktor bilgisayarlarına aktarılabilir. (Hong, 2008)

Konum belirleme uygulamaları için GPS sinyallerinin kullanılmaması da veri aktarımı için VLC kullanımını akla getirmektedir. Navigasyon tabanlı uygulamaların artmasıyla konum belirleme ihtiyacı da paralel olarak artmıştır. Geniş alanlara sahip kapalı mekanlarda insanların birbirlerine veya başka bir nesneye ulaşması VLC ile sağlanabilmektedir. İç mekan sistemleri koordinat sistemi, hedef konumu ve konumlandırma algoritması gibi 3 etmenden oluşmaktadır. (Yasir, 2015) GPS yerini alan VLC de en yakın LED ışık kaynağı ile konum belirleme işlemi yapılabilmektedir. (Liu, 2008) Otomatik nesne konum bilgisi sağladığından depolardaki ve hastanelerdeki ürün

ve ekipmanlar, yangın gibi afetler sırasında itfaiye görevlilerine yer tespiti imkanı sunması vb. uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilecektir. (Liu H. D., 2007) Akıllı aydınlatmaların kullanıldığı kapalı ortamlarda, aydınlatmalar VLC için de kullanılacağından güç tüketiminden de tasarruf sağlanmış olacaktır. (Grubor, 2008)

Elektromanyetik girişim, uydu sinyallerinin ulaşmasını engelleyebileceğinden ve yer kuleleri ile iletişimi bozabileceğinden uçaklarda da özellikle kalkış ve iniş esnasında tehlike yaratmaktadır. Bu sebeple elektronik cihazların çoğunun kullanımı ulusal yasalar ile sınırlandırılmıştır. Uçaklarda yolcu koltuklarının üzerinde bulunan aydınlatmalar sayesinde VLC ile kablosuz haberleşme sağlanarak yolcuların veri aktarımı yapması da mümkün görülen bir teknolojidir. (Chan, 2012)

VLC, alıcı ve verici kaynakların maliyetinin az olması, hali hazırda kullanılan aydınlatmaların iletişim kaynağı sağlaması ve güç tüketiminin azlığı gibi birçok sebepten dolayı tercih sebebidir. Gün geçtikçe kullanımı artan görünür ışık ile haberleşme sadece kapalı ortamlar için sınırlandırılmamalıdır. Verici ve alıcı arasındaki görüş hattının sağlanması, herhangi bir nesne ile ışık iletiminin kesilmemesi koşulları sağlandığında VLC, dış ortamlar için de yüksek hızlı veri aktarımı yapan bir haberleşme sistemi olacaktır. (A. M, 2016)

Birçok araçta kullanılmakta olan LED tabanlı dış aydınlatma elemanları, uygun fotodiyot ve uygun altyapı sağlanarak VLC uygulamaları için olanaklı hale dönüştürülebilir. Trafik kazalarının önlenmesi, ulaşımın düzenini sağlamak için araçların iletişimi önemlidir ve dış mekanlarda VLC kullanılarak bu iletişim sağlanabilmektedir. (A. M, 2016) Trafik altyapısından araca (I2V-V2I) ve araçtan araca (V2V) haberleşme VLC ile gerçekleştirilerek trafik sıkışıklığı, kazaların bilgisi vb bilgiler aktarılacak ve akıllı ulaşım sistemleri oluşturulabilecektir.

Radyo frekans dalgalarının su altında ilerledikçe zayıflaması nedeniyle RF haberleşme su altı ortamlarında yetersiz kalmaktadır. (Wang, 2016) Ayrıca yoğun elektrik iletkenliğine sahip su ortamında radyo dalgaları kullanılamamaktadır. VLC haberleşme, su altında sinyal zayıflaması ve elektromanyetik girişimin üstesinden gelerek veri iletiminin önünü

açacak bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda görülmektedir ki su altı ortamında, görünür ışık dalgaları kullanılarak tasarlanan VLC sistemlerinde orta ve kısa mesafeler için yüksek veri hızları elde edilmiştir. (Chizari, 2017) Su altı VLC optik kablosuz iletişim sistemlerinde genellikle su altında en çok ilerleyebilen 470 nm dalga boyuna sahip mavi ışık kullanılmaktadır.

Güvenli bilgi aktarımının esas olduğu askeri uygulamalarda, RF dalgaları erişilebilir olduğundan güvenlik zaafiyeti oluşmaktadır. Görünür ışığın duvarları aşamayacak olmasından dolayı VLC sistemi ile haberleşmede, kapalı ortam içerisindeki konuşmaların dinlenmesi ve veri aktarımının kapalı alan dışına çıkması olanaksızdır. (Park, 2012) Dolayısıyla VLC sistemleri askeri uygulamalar için de tercih sebebi olmaktadır.

2.3. Görünür Işık Haberleşmesi Su Altı Uygulamaları

Optik kablosuz iletişim, lazer veya LED ışık kaynakları kullanılarak görünür ışık, kızılötesi veya ultraviyole ile taşınan sinyallerin kılavuz olmadan iletimini sağlayan optik haberleşme yöntemidir (H.Nouri, 2014) (Z. Ghassemloooy, Sept. 2015). Yüksek bant genişliğine ve düşük maliyete sahip bir haberleşme sistemi olması son yıllarda büyük ilgi görmesini sağlamıştır. Su altı haberleşme sistemleri üzerine bilimsel bilgi eksikliği olmasından dolayı optik sistemler üzerine çalışmalar karasal alanda daha yaygındır (Z. Zeng, 2017).

1960'lı yılların başında Duntley tarafından yapılan keşifle spektrumun mavi ve yeşil ışığa karşılık gelen dalga boyu aralığında (450 nm – 550 nm) optik sinyallerin su altında iletilmesinin mümkün olduğu anlaşılmıştır (Duntley, Feb. 1963.). Gilbert ve ark. deneysel olarak bu bulguları doğrulamıştır (G. D. Gilbert, 1966). Özellikle askeri uygulamalarda su altı optik iletişim sistemleri geliştirilerek ilk ticari optik kablosuz sistemler ortaya çıkmıştır ([Online], 2016) (The Ambalux Site, 2016).

2018 yılında çift yönlü sualtı görünür ışık iletişimi (BiUVLC) farklı dalga boylarında denenerek yeşil ve mavi ışık için en iyi performansta iletişim sağlandığı, kırmızı ışığın ise en kötü performansa sahip olduğu ortaya konmuştur (Arsyad Ramadhan Darlis, 2018).

Su altı çevre izleme, okyanus kirlilik kontrolü, kıyı güvenliği, petrol ve gaz saha araştırması gibi birçok denizcilik faaliyeti su altı veri iletimini içerdiğinden su altında kablosuz iletişim önemli bir noktaya gelmiştir. Tüm bu haberleşme gereklilikleri göz önünde bulundurulduğunda su altı iletimi için haberleşme sistemleri arayışı, mevcut haberleşme sistemlerinin karşılaştırılması ve alternatif haberleşme yöntemi düşünülmesi kaçınılmaz hale gelmiştir.

Su altı ortamında optik haberleşme ile en yaygın kablosuz haberleşme yöntemi olan RF haberleşmeyi karşılaştırdığımızda en önemli fark; ortamın taşıyıcı sinyaller tarafından nasıl algılandığı olarak karşımıza çıkar. Optik dalgalar için su altı ortamı dielektrik olarak algılanırken, RF dalgaları tarafından iletken olarak algılanır (C. M. Gussen, 2016). İletken ortamda elektromanyetik dalgalar dielektrik ortama göre daha fazla zayıflamaya uğradıklarından optik iletim daha avantajlı hale gelmektedir.

Radyo frekans dalgalarının su altında ilerledikçe zayıflaması nedeniyle RF haberleşme su altı ortamlarında yetersiz kalmaktadır. (Wang, 2016). Deniz suyundaki tuz, RF dalgaları için iletken bir kanal oluşturduğundan dalga yayılımı çok düşük frekanslarda (30 – 300 Hz) ve çok düşük mesafeler (1-5 m) ile sınırlı kalmaktadır (Akyildiz, January 2009). Bu kısa mesafelerde iletimi sağlayabilmek için bile çok büyük antenler, maliyetli alıcı – vericiler gerekmektedir.

VLC haberleşme, su altında sinyal zayıflaması ve elektromanyetik girişimin üstesinden gelerek veri iletiminin önünü açacak bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda görülmektedir ki su altı ortamında, görünür ışık dalgaları kullanılarak tasarlanan VLC sistemlerinde orta ve kısa mesafeler için yüksek veri hızları elde edilmiştir. (Chizari, 2017)

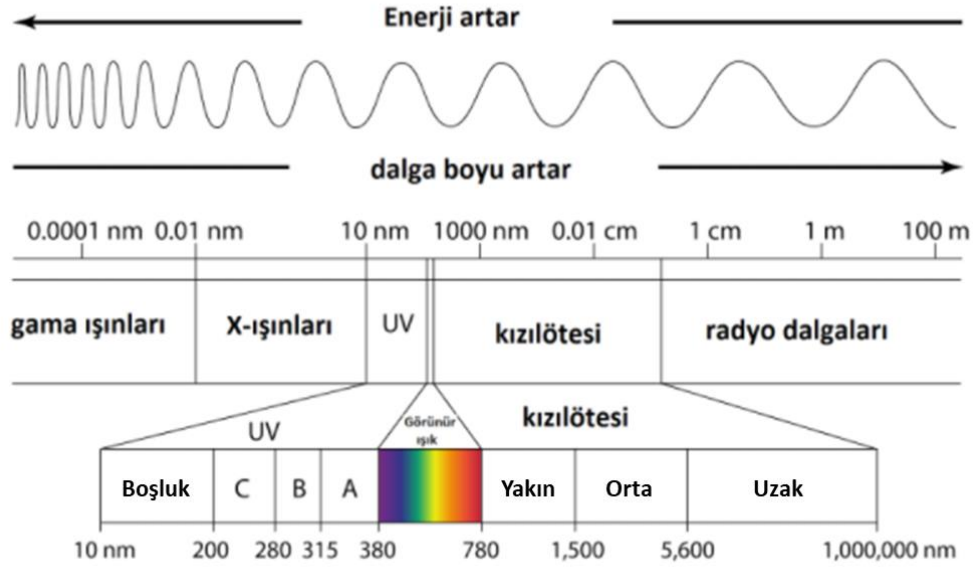
2020’de yapılan çalışmada modülasyon üzerinde durularak UVLC performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir (Peng Zou, 2020) .

2022’de yapılan çalışmada ise optik sinyal yayılım sorunlarıyla başa çıkabilmek adına son gelişmeler kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve yol gösterici olarak sunulmuştur (Mohammad Furqan Ali, 2022).

RF ile UVLC haberleşme sisteminin iletimini etkileyen en önemli parametrelerden biri olan su altı kanal ortamı ve yapılan çalışmalar göz önüne alındığında bu tez çalışmasında kanal ortamı odak noktası olmuştur. Farklı su altı kanal ortamları değerlendirilerek sağlıklı haberleşme sağlanacak en uygun ve düşük maliyetli alıcı- verici sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan alıcı – verici sistemi deneysel olarak test edilerek sonuçları sunulmaktadır.

2.4. Elektromanyetik Spektrum

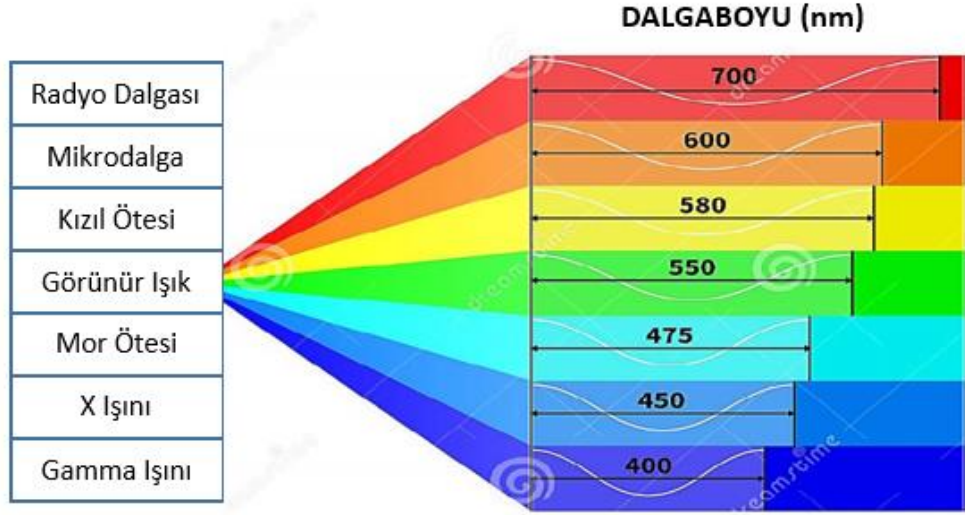
Elektrik ve manyetik alanların enine hareketi “elektromanyetik dalga” olarak tanımlanmaktadır. (Maxwell, 1865) (Genç, 2007) Işık ışınlarının elektromanyetik dalga yapısı J.C. Maxwell tarafından keşfedilmiştir. (Sengupta, 2003) Elektromanyetik dalgalar çok geniş bir dalga boyu aralığına sahiptir ve bu dalga boyu aralığı “elektromanyetik spektrum” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.4.’te elektromanyetik spektrum gösterilmektedir.



Şekil 2. 2. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrumun 400-700 nm dalga boyu aralığına sahip olan bölge “görünür bölge” olarak tanımlanmaktadır. Elektromanyetik spektrumda çok küçük bir yer kaplayan görünür bölge, ilk kez Isaac Newton tarafından gözlemlenmiştir. (Barstow, 2005) (Hunt, 2000)

Newton’un, güneş ışığını önce küçük bir yarık arasından, sonra cam bir prizmadan geçirmesi sonucu ışık kırılarak yedi renge ayrılmıştır. Bunun doğadaki örneği gökkuşağıdır. Işık ışınları atmosferden geçerken, havadaki su damlacıkları tarafından kırılarak dalga boylarına ayrılır ve yedi renge ayrılarak gökkuşağını oluşturur. Şekil 2.5.’te görünür ışık bölgesindeki 7 rengin dalga boyu değerleri verilmiştir.



Şekil 2. 3. Görünür ışık bölgesindeki renklerin dalga boyuna ayrılması

Elektromanyetik spektrumdaki dalgaların farklı bölgelerde yer almasının sebebi dalga boyu ve frekanslarının farklılık göstermesidir. Dalga frekansının farklı olması, dalgaların enerjilerinin de farklı olmasını sağlar. Enerjinin frekansa bağlılığı ;

$$E = h\nu \quad (2.1)$$

Eşitliği ile gösterilmektedir. E enerji, h planck sabiti ve ν frekansı ifade eder.

Dalga boyunun frekansa bağlılığı ;

$$\lambda \nu = c \quad (2.2)$$

Eşitliği ile gösterilir. λ dalgaboyu, ν frekansı ve c ışık hızını ifade eder. Işık hızı değişmediğinden, dalga boyu ile dalga frekansı ters orantılı olarak değişmektedir.

Buradan yola çıkarak enerjinin ve dalgaboyu arasındaki ilişki:

$$E = h \cdot C / \lambda \quad (2.3)$$

Eşitliği ile ifade edilir. (Taylor, 1996)

Formülden de görüleceği üzere enerji; dalgaboyu ile ters, frekans ile doğru orantılı olarak değişmektedir. (Daniels, 2010)

Günümüzde ışık ile haberleşme genellikle kızılötesi bölgedeki dalgaları kullanarak gerçekleştirilmektedir. Elektromanyetik spektrumda görünür bölge ile mikrodalga arasındaki bölge “kızılötesi (IR) bölge” olarak adlandırılır. Kızılötesi bölge kendi içerisinde 5 kısma ayrılarak tanımlanır. $0.75 - 1.4 \mu\text{m}$; yakın kızılötesi (NIR), $1.4 - 3 \mu\text{m}$; kısa dalga kızılötesi (SWIR), $3 - 8 \mu\text{m}$; orta dalga kızılötesi (MWIR), $8 - 15 \mu\text{m}$; uzun dalga kızılötesi (LWIR), $15 - 1000 \mu\text{m}$; uzak kızılötesi (FIR) olarak tanımlanır. Şekil 2.6.’da kızılötesi bölgenin aralıkları verilmektedir.



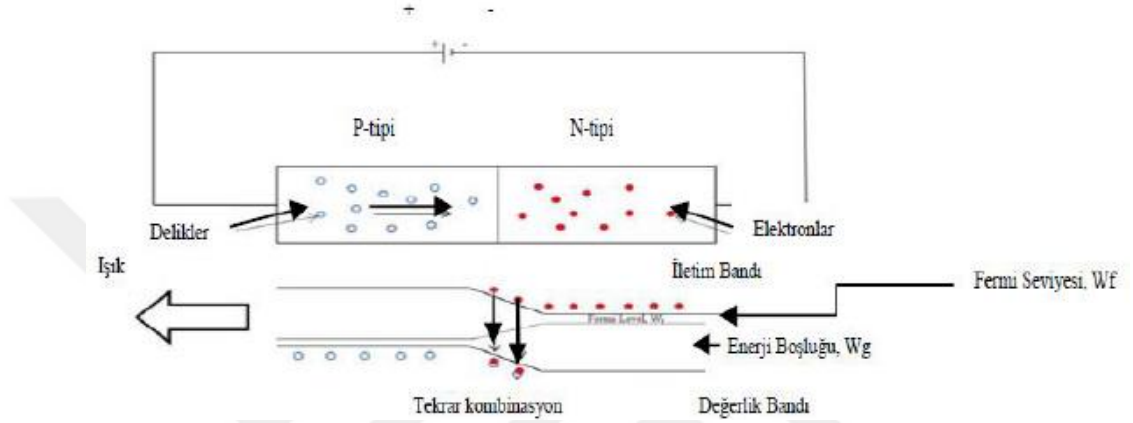
Şekil 2. 4. Elektromanyetik spektrum kızılötesi bölge aralığı

Bu tez çalışmasında görünür ışık haberleşmesi yapılacağı için elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi ele alınmaktadır. Görünür bölge çok dar bir dalga boyu aralığına sahiptir.

2.5. Işık Yayan Diyotlar (LED)

Temelinin ışık yayan diyotlar (LED) kullanarak görünür ışık ile kısa menzilli iletişim sağlamak olan görünür ışık haberleşmesi, yüksek hızda veri transferini insan gözüne zarar vermeden yapan yeni bir haberleşme teknolojisidir. (Komine, 2004) Hem çevre dostu hem de sürdürülebilir olan LED teknolojisinin gelişmesiyle, görünür haberleşmenin gelecekte daha da yaygınlaşmasına imkan sağlayacağı öngörülmektedir. (Cossu, 2012)

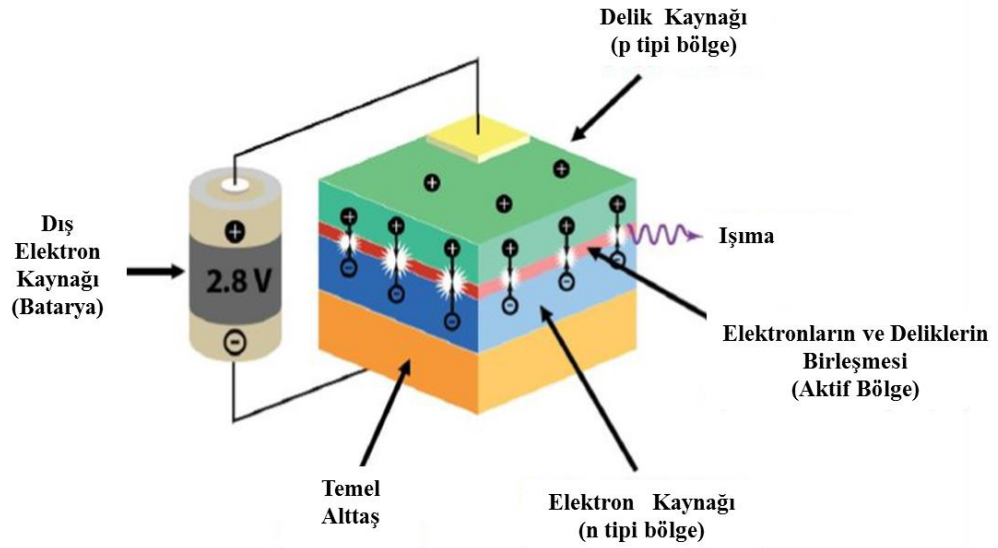
LED'ler P-N eklemli yarı iletkenler kullanılarak üretilen, elektrik enerjisini ışığa dönüştüren elektronik devre elemanlarıdır. P ve N eklemleri vakum sistemlerinde büyütülüp, mikrofabrikasyonu yapılan bir LED, doğru ön gerilim altında yarıiletkenin yasak enerji aralığına göre dışarıya ışık verirler. Şekil 2.7.'de bir LED'in yapısı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. 5. Işık yayan diyot yarıiletken yapısı (H. Özbek, 2020)

İletim bandı ve değerlik bandı olmak üzere iki enerji bandından oluşurlar. İletim bandında serbest elektronlar hareket halindedir. Değerlik bandında birbirine bağlı olmayan pozitif yüklü delikler bulunmaktadır. Değerlik ve iletim bandının yasak bir bölge ile birbirinden ayrılması, N bölgesindeki serbest elektronların enerji uygulanmadıkça yasak bölgeyi aşamamasını sağlar.

Yeterli enerji (eV) uygulandığında serbest elektron yasak bölgeyi aşarak düşük enerji seviyesine atlar ve bir delik ile birleşerek enerjisinin foton şeklinde açığa çıkmasını sağlar. (Palais, 1988) Bu durum elektrolüminesans olarak adlandırılır. (Palais, 1988) Şekil 2.8.'de elektrolüminesans olayı gösterilmiştir.



Şekil 2. 6. Elektrolüminesans olayı (Aybar, 2019)

LED'ler çoğunlukla Galyum-Arsenik (GaAs), Galyum Arsenik- Fosfat(GaAsP) veya Galyum Fosfat (GaP)'dan yapılmaktadır. Çizelge 2.1.'de üretimde kullanılan yarıiletkenlere göre özellikler verilmiştir.

Çizelge 2.0.1. LED'lerin yapıldığı yarıiletken malzemeye göre özellikleri (Atalay, 2019)

Yarı İletken Malzeme	Dalgaboyu	Renk	Vf @ 20mA
GaAs	850-940 nm	Kızılötesi	1.2 V
GaAsP	630-660 nm	Kırmızı	1.8 V
GaAsP	605-620 nm	Amber	2.0 V
GaAsP	585-595 nm	Sarı	2.2 V
AlGaP	550-570 nm	Yeşil	3.5 V
InGaN	430-505 nm	Mavi	3.6 V

LED'ler ışıma kombinasyonları için farklı bant aralıklarına sahiptirler, bu özellikleri onların diğer diyotlardan ayrılmasını sağlar. (Şenyer, 2016) Zayıf kuvvetli kırmızı ışık

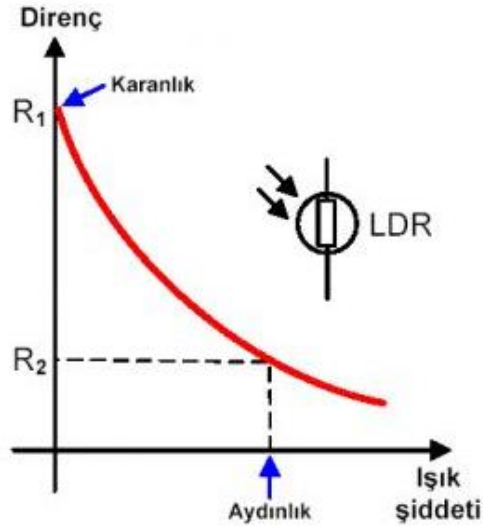
yayacak şekilde tasarlanan LED'ler, gelişmesiyle spektrumun görünür ışık, mor ötesi, kızılötesi bandında ve yüksek parlaklıkta ışık verecek hale gelmiştir.

Hızlı anahtarlama özelliğine sahip olmaları, yani hızlı açılıp kapanabilmeleri, LEDlerin veri iletiminde kullanılmasının tercih edilmesini sağlamaktadır.

2.6. Işığa Bağımlı Direnç Sensörü (LDR- Light Dependent Resistor)

LDR, diğer adıyla fotodirenç, yapısında genellikle yarı iletken kadminyum sülfür (CdS) ve kurşun sülfat (PbSO₄) kullanılan , ışığa duyarlı bir devre elemanlarıdır.

Üzerine düşen ışık şiddetiyle ters orantılı olarak direnç değışikliğı gösterirler. Yani üzerine düşen ışık şiddeti arttıkça direnç değeri azalma gösterir. Işık şiddeti ve direnç arasındaki bu orantı lineer değildir. Şekil 2.11.'de LDR'lerde ışık şiddeti ve direnç gösterilmiştir.



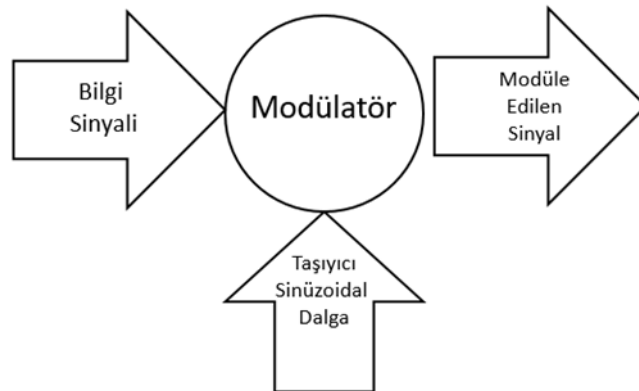
Şekil 2. 7. LDR ışık şiddeti – direnç ilişkisi

Üzerine düşen ışık şiddetine göre direnç değışikliğı gösterdiğinden anahtarlama görevi görmektedir. Bu nedenle optik projelerde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bir sistemde LDR kullanılması o devrenin ışığa duyarlı bir tepki oluşturacağını ve ışık seviyesinin kontrol edildiğini gösterir. Ortamdaki ışık kontrolünü sağlar ve elektrik devresini tetikler. LDR sensörler aynı zamanda pasif sensörlerdir.

LDR'ler fotoiletkenlik prensibine göre çalışmaktadır. Kullanım alanını özetlemek gerekirse LDR'ler, devredeki yükleri, ışığın yoğunluğuna bağılı olarak kontrol etmemiz gerektiğinde kullanılabileceğimiz devre elemanlarıdır. Bu projede suya dayanıklı LDR kullanılmıştır.

2.7. Modülasyon

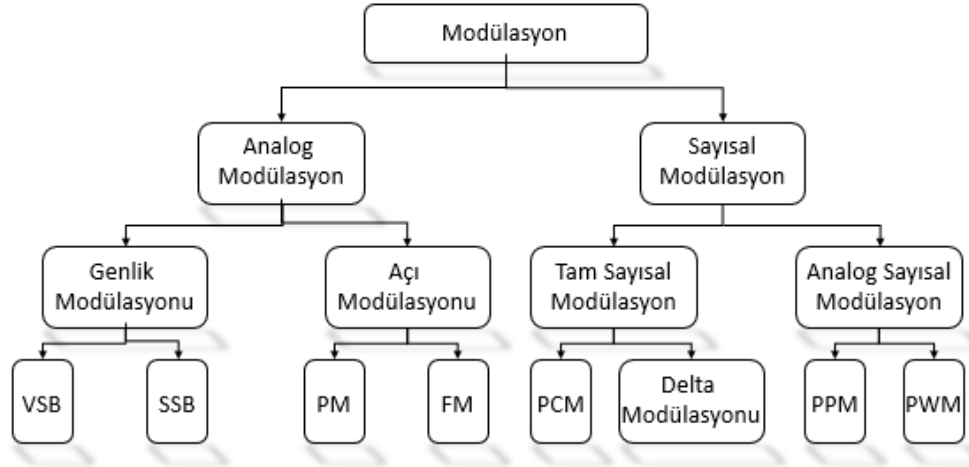
Modülasyon, iletilmek istenen bilgi sinyalinin bir taşıyıcı sinyal üzerine bindirilerek iletilmesi işlemidir. (Ugweje, 2000) Frekansı düşük olan bilgi sinyali, frekansı daha yüksek olan bir taşıyıcı sinyal yardımıyla iletilir. Bilgi sinyaline göre, parametrelerinden bir yada fazlasının değıştirildiğı sinyale, modüledi sinyal denilmektedir. Şekil 2.13.'te modülasyon işlemini anlatan şema yer almaktadır.



Şekil 2. 8. Modülasyon işlemi

Kablolu haberleşme sistemlerinde kanal fiber kablo veya bakır kablo iken, VLC gibi optik sistemlerde kanal havadır. Kablolu haberleşmede bilgi sinyali elektrik sinyali olarak fiber veya bakır kablo teli üzerinden iletilmektedir. Kablosuz haberleşme sistemlerinde ise bilgi sinyalinin radyo dalgaları veya ışık ile aktarılması gerekmektedir. Kablosuz haberleşme sistemlerinde bilgi sinyalinin modüle edilerek kanala uygun hale getirilmesi gerekmektedir. (ÖZTÜRK, 2016) Modüle edilen bilgi sinyalinde bozucu etkiler azalacağından verici – alıcı arasındaki haberleşme daha sağlıklı olacaktır. Yani modülasyon işlemi bilginin alıcıya en verimli şekilde ulaşmasını sağlar ve bu nedenden dolayı VLC sistemleri için önemli bir parametredir.

Modülasyon; analog modülasyon ve sayısal modülasyon olmak üzere 2 temel başlığa ayrılır. Şekil 2.14.’te analog ve sayısal modülasyonun kendi içinde türlerine ayrılması gösterilmiştir.



Şekil 2. 9. Modülasyon türleri

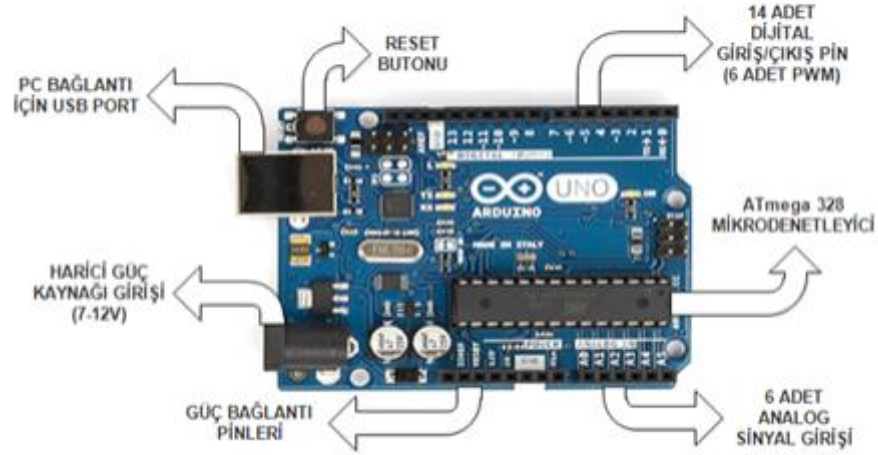
Bu tez çalışmasında tasarlanan VLC sisteminde “Darbe Genlik Modülasyonu (PWM)” kullanılmıştır. Temel olarak çıkışta elde edilmek istenilen sinyalin bant genişliğini (frekans düzenlemesi olarak da düşünülebilir) ve dalga biçimini belirlemek amacıyla kullanılan yöntem “darbe genişlik modülasyonu” denir. Bu yöntem iki durumlu dijital sinyalleri kullanarak analog bir ortama değer oluşturmaya yarar.

Modülasyon işlemi genel olarak bilgi sinyalinin modüle edilerek taşıyıcı bir sinüzoidal dalga üzerine bindirilmesi esasına dayanır. VLC sistemlerinde verici olarak kullanılan LED ışığı, bilginin optik sinyale dönüştürülmesi vasıtasıyla verici görevi görmektedir. LED ışığına dönüştürülen bilgi sinyali insan gözü tarafından algılanamayacak ve aydınlatma görevini de kaybetmeyecek şekilde modüle edilmelidir. VLC sistemlerinde demodülasyon işlemi, modüle edilen sinyalin anlamlandırılması işlemidir ve alıcıda kullanılan elemanın doğrudan algılaması ile ilişkilendirilmiştir.

VLC sistemlerinde kanal olarak hava kullanılması modülasyon işleminin gerekliliğini göstermektedir. Bilgi sinyali taşıyan ışığın havada katettiği yol arttıkça sinyal kalitesi düşmektedir. Aynı zamanda dış ortamlar için tasarlanan VLC sistemlerinde, ortamda bulunan doğal ve yapay ışık kaynakları da sisteme gürültü olarak yansımaktadır. Sistem tasarımında tüm bu etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm bunlardan yola çıkarak, bir VLC sisteminin performansı çevre koşullarına, veri hızına, kullanılan tekniklere göre oldukça değişkenlik gösterebileceğinden, doğru modülasyonun yapılması da oldukça önemli hale gelmektedir. Kullanılacak modülasyon türü belirlenirken, sistemin değişken kanal davranışlarından olumsuz etkilenmemesine de dikkat edilmelidir. (A. Yeşilkaya, 2018)

2.8. Arduino UNO

Arduino, elektronik donanım ve yazılım temeline sahip bir geliştirme platformudur ve kullanıldığı bir çok projenin beyni niteliğindedir. Motor, LED, buzzer gibi bir çok elektronik devre elemanı Arduino ile kontrol edilebilmektedir. 14 adet çıkış pini bulunduran Arduino Uno, tek devrede 14 farklı elektronik komponenti kontrol edebilme imkanı sunduğundan oldukça kolaylaştırıcı ve kullanılabiliridir. Bu dijital çıkış pimlerinden 5 tanesi PWM çıkışıdır. 6 adet analog girişe sahiptir, bundan dolayı analog giriş sinyali alabildiğimiz sensörler için kullanılmaktadır. Standart boyutlarda bir kontrol kartı olan Arduino ile en basitten, en komplekse bir çok devre rahatlıkla oluşturulabilmektedir. Şekil 2.15.'te Arduino UNO giriş – çıkış pinleri görseli yer almaktadır.



Şekil 2. 10. Arduino UNO board giriş – çıkış pinleri

Arduino, RX ve TX pinleri sayesinde seri haberleşme uygulamalarında kullanılmaktadır. ATMEGA16U2, USB-seri dönüştürücü de bilgisayarda sanal bir seri port açarak Atmega328 ile bilgisayar arasında haberleşmeyi sağlar. Arduino IDE içerisinde yer alan seri monitör ile Arduino ile bilgisayar arasında metin temelli bilgilerin gönderilip alınmasını sağlar. Arduino ile bilgisayar arasında USB üzerinden bir haberleşme olduğunda Arduino üzerindeki RX ve TX yazan LED'ler yanar. Arduino Uno'da normalde bir tane seri port bulunmaktadır fakat "SoftwareSerial" kütüphanesi kullanılarak bu sayı yazılımsal olarak arttırılabilir.

Atmega328 ayrıca I2C ve SPI portları da sağlamaktadır. Arduino IDE içerisinde yer alan Wire kütüphanesi I2C kullanımını, SPI kütüphanesi de SPI haberleşmesini sağlamak için kullanılır.

Arduino Uno da diğer tüm Arduino'lar gibi Arduino IDE ile programlanır. Arduino Uno üzerinden bulunan resetlenebilir sigorta, bilgisayarınızın USB portunu kısa devrelerden veya aşırı akım tüketimi durumlarından korumaktadır. Kart, USB portu üzerinden 500mA'den fazla akım çektiğinde otomatik olarak USB'den aldığı gücü koruma amacıyla kesmektedir. Fazla akım durumu veya kısa devre ortadan kaldırıldığında sigorta normal

konuma döner ve tekrar bağlantı kurulur. Çizelge 2.2.'de Arduino UNO Board bazı teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Arduino UNO board teknik özellikleri

Mikrokontrolör	ATMega328P
Çalışma Voltajı	5 V
Giriş Voltajı (önerilen)	7 - 12 V
Giriş Voltajı (limit)	6 - 20 V
Dijital I/O Pinleri	14
PWM Dijital I/O Pinleri	6
Analog Giriş Pinleri	6
I/O Pin Başına DC Akım	20 mA
3.3V Pin için DC Akım	50 mA
Bellek	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Hız	16 MHz
Uzunluk	68.6 mm
Genişlik	53.4 mm
Ağırlık	25g

2.9. Bosch SCD Sensör

Bosch SCD sensörü; ivme, manyetik alanlar, sıcaklık, ışık gibi bir çok şeyi ölçmeye yarayan çok sensörlü bir IoT cihazıdır. (Şekil 2.16.)



Şekil 2. 11. Bosch SCD sensör kullanarak ölçülebilen özellikler

Kolay kuruluma sahip olması, durum izleme ve kestirimci bakım gibi endüstriyel güçlendirme uygulamaları için çok kullanışlı olmasını sağlar. Şekil 2.17.'de Bosch SCD sensörün gösterimi verilmiştir.



Şekil 2. 12. Bosch SCD sensör görünüşü

Sağlam bir gövdeye ve kompakt bir tasarıma sahiptir. Kullanıcı cihazı yapılandırarak çok çeşitli durumları ele almak amacıyla kullanabilmektedir. Çizelge 2.3.'te cihazın bazı özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 2.3. Bosch SCD sensörün bazı özellikleri

	Özellik	Değer
AYGIT ÖZELLİKLERİ	Güç	Şarj Edilemez, CR2450 3V Li/MnO ₂ , 490mAh
	Örnekleme Aralığı (Hz)	İvme : 400, 800, 1600, 3200, 6400
		Manyetometre: 10
		Sıcaklık : 0.05
		Işık : 1.25 , 10
	Bellek Kapasitesi	1 MB
	Çevresel	Konut, ticari, hafif endüstriyel ve endüstriyel
HABERLEŞME	Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-20 °C ... +85 °C
	Nem Aralığı	0%rH ... 100%rH
	Bluetooth Düşük Enerji	BLE 4.2
	Haberleşme Aralığı	40 m'ye kadar (dış etkilere bağlı olarak)

SCD, ham verileri kendi belleğine kaydedecek şekilde yapılandırabilmektedir. Kaydedilen bu veriler akıllı telefon uygulaması veya bir ağ geçidi tarafından indirilebilir. Aynı zamanda SCD verileri BLE aracılığıyla aktarabilmektedir. Kullanıcı akıllı telefon uygulamasında oturum açtığı anda scd, yerel bellek dolana veya oturum kullanıcı tarafından durdurulana kadar verileri günlüğe kaydetmeye devam eder. Yerel belleğin dolması SCD ayarlarına bağlı değişir.

Kullanıcı, veri almak için SCD'deki her sensörü etkinleştirebilmekte veya devre dışı bırakabilmektedir. Aynı zamanda verileri kaydetmek için her sensör için kullanıcı tarafından farklı örnekleme oranları belirlenebilir. Eğer verileri görselleştirecek uygulamaya aktarmak isteniyorsa SCD sabit bir örnekleme hızı kullanır.

SCD tarafından ölçülen tüm değerler günlüğe aktarılır. Günlük dosyalarının adı, SCD'nin adı ve verilerin indirildiği tarih bilgisini içerir. Günlük dosyasında cihaz, sensörler ve ayarlar hakkında farklı bilgiler içeren bir başlık bölümü bulunmaktadır. Kullanıcı tarafından aktif edilen her sensör için ölçüm aralığı ve yine kullanıcı tarafından ayarlanan örnekleme hızı ve ölçüm birimi de bu dosyalarda yer almaktadır. Şekil 2.18.'de sensör tarafından alınan ölçüm sonuç ekranına yer verilmiştir.

	A	B	C	D	E	F
Başlık Bölümü	1	Bosch Connected Devices and Solutions				
	2	SCD Log File in csv Format Generated by: SCD App version 1.4.0				
	3	Connected SCD Firmware Version: v1.3.0				
	4	Accelerometer Measurement Range: +/-200g				
	5	Accelerometer Sampling Rate: 3200Hz				
	6	Accelerometer Unit: g				
	7	Magnetometer Measurement Range: +/-1300 μ T (x and y-Axis); +/-2500 μ T (z-Axis)				
	8	Magnetometer Sampling Rate: 10Hz				
	9	Magnetometer Unit: Micro Tesla (μ T)				
	10	Light Measurement Range: 0 - 188000 lux				
	11	Light Sampling Rate: 10Hz				
	12	Light Unit: lux				
	13	Temperature Measurement Range: -20 °C to +85 °C				
	14	Temperature Sampling Rate: 0.067Hz				
	15	Temperature Units: Degree Celcius (°C)				
Veri Bölümü	16					
	17	Measurement Type	Unix TimeStamp (ms)	Data / x_axis	y_axis	z_axis
	18	Light	1595510802	3985.9		
	19	Temperature	1595510808	27.1		
	20	Magnetometer	1595510814	-22	-4	40
	21	Light	1595510870	3985.9		
	22	Magnetometer	1595510889	-22	-3	40
	23	Light	1595510970	4032		
	24	Magnetometer	1595510989	-23	-4	40

Şekil 2. 13. Bosch SCD sensör ile alınan ölçüm sonuç sayfası

Aynı zamanda kullanıcı uygulamada akışı etkinleştirebilmekte, bağlantıyı kesebilmekte ve SCD'nin bir veya daha fazla sensörü için eşik değerleri tanımlayabilmektedir. Eşik değeri tanımlama işlemi “ayarlar” simgesinden kolaylıkla yapılabilir. İlgili ölçüm sinyali eşik değerini her geçtiğinde bir olay üretilir ve BLE aracılığıyla sinyal verilir. Uygulama eşik ihlallerini kırmızı renkli değerler ile göstermektedir. Kullanıcı bağlantıyı kesse dahi SCD eşik izlemeye devam edecektir. Bir eşik ihlali tespit edildiğinde SCD'ye bağlanmadan, reklam mesajında bile bu görülebilir. Eşik değerlerini kaldırma işlemi “eşikleri sıfırla” simgesi ile kolaylıkla yapılabilir. Çizelge 2.4.'te tez çalışmasında ışık ölçümü için kullanılan ışık sensörünün bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bosch SCD ışık sensörü özellikleri

Sensör	Ölçüm Aralığı	Tolerans	Çözünürlük	Birim
Işık Sensörü	0 ... 188000 Lux	+/- 15%	1	lux

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. VLC Sistemin Tasarımı

VLC sistemlerinin temeli yarıiletken LED ve fotodiyot kullanımına dayanmaktadır. VLC sistemleri verici, kanal ve alıcı kısım olmak üzere üç ana bölümden oluşur. Işık kaynağı olarak kullanılan LED aydınlatma elemanı olarak kullanılmasının yanı sıra, VLC devrelerinde verici görevi görmektedir. Verici kısım; mikrokontroller, BJT ve LED'lerden oluşmaktadır. Bu kısımda kullanılan mikrokontroller, gönderilen bilginin 1 ve 0'lara dönüştürüldüğü elektronik elemandır. BJT kullanılarak sinyal kuvvetlendirilir. Bilgi taşıyan akım sinyalleri, LED veya LED dizisini çalıştırır ve sinyalleri optik güce dönüştürür. (Siddique, 2019) LED'lerin çok hızlı bir şekilde yanıp sönmeleri ile bilgi iletilir. VLC devrelerinde ortam; alıcı ve verici arasında kanal görevi görmektedir. Alıcı kısımda fotodiyot, mikrokontroller, çıkış cihazı bulunur. Fotodiyotlar ışığı elektrik akımına dönüştüren devre elemanlarıdır. LED'lerin yanıp sönmelerini algılayan fotodiyot sayesinde bilgi alınır. Alınan bilgi BJT kullanılarak kuvvetlendirilir ve mikrokontrollere iletilir. 1 ve 0'lardan oluşan bilgi mikrokontroller sayesinde çözülerek LCD, hoparlör, bilgisayar v.b. çıkış cihazına aktarılır.

Aktarılan bilgiler neticesinde;

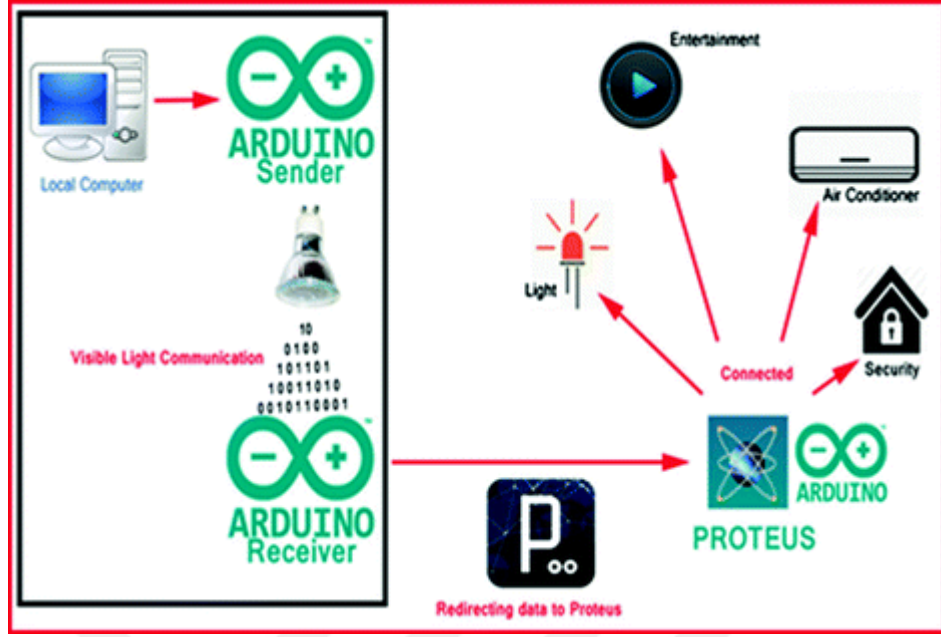
- Alınan bilgi paketleri frekans darbesi olarak anlamlandırılır.
- Anlamlandırılan bilgi paketleri, kategorilere ayrıştırılıp mesafe ve sinyal darbesine bağlı olarak durum algoritması oluşturulur. (Sistemde kanal yani çevresel etmenler sabit tutulmuştur.)
- Durum algoritması sonucu mesafenin ve frekansın darbe sayısına bağlı olarak ikaz sistemi geliştirilir.
- İkaz sistemi sonucunda verici, alıcıyı tetikleyerek DC motor için ivme ve hız algoritması çalıştırılır.
- Sistem verici ve alıcı devrenin haricinde ikaz sistemi, DC motor kontrolü ve acil durum sesli uyarı algoritması içermektedir.

Yukarıdaki maddelerden anlaşılacağı üzere tasarlanan VLC sistemi genel hatlarıyla alıcı, verici ve kontrol amaçlı algoritmik bir yapıya sahip uyarı kontrol mekanizmasından oluşmaktadır. Ayrıntılı olarak tezin alt başlıklarında bahsedilecektir.

3.2. Donanım

Tasarlanan VLC sisteminde kontrol edilen ASCII karakterlerini, LED ve LDR aracılığıyla aktarmak için mikrodenetleyici içeren iki Arduino geliştirme kartı arasındaki VLC bağlantısı göz önünde bulundurulmuştur. İki mikrodenetleyici arasında veri aktarımı gerçekleştirebilmek için, Proteus ve ISIS simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda veri aktarımı teorik olarak sağlanmıştır.

Veri aktarımını gerçekleştirmek için, Şekil 3.1.'de gösterilen yapıyı uygulayabilecek bir mimari üzerinden ilerlenmiştir. Şekil 3.1'deki şema, iki arduino arasındaki haberleşmeyi gecikmesiz ve çevresel şartlardan etkilenmeyecek şekilde oluşturulmuştur ve akış kutucuklarında açıkça belirtilmiştir. Bu bölüm ARES ve ISIS te simüle edilmekle kalmayıp, fizibilitesi sağlanmış ve uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.



Şekil 3. 1. İki mikrodnetleyici arasında Proteus ile veri aktarımı

Şekil 3.1.'de gösterilen diğer işlevler bu sistemin çok farklı amaçlarla kullanılabileceğini göstermektedir. Cihazların açık ve kapalı olması durumu için de ayrı bir data karakter dizini oluşturulmuş ve bir ID ye atanmıştır. Sonrasında yerel bir bilgisayar üzerinden seri port haberleşmesi kullanılarak Arduino'ya 8 bitlik bir karakter dizini olarak gönderilmiştir. Arduino gelen bu bilgileri bir LED ışık kaynağı üzerinden almakta ve fotodiyot (LDR) ile anlamlandırmaktadır.

Arduino, basit bir mikro denetleyici kartına ve işleme dilini uygulayan bir geliştirme ortamına dayanan açık kaynaklı bir fiziksel bilgi işlem platformudur. Başlangıçta temel elektronik devre tasarımcılarının prototip oluşturmasını hedeflemektedir. Elektronik prototipleme genel olarak bir sistemin anlamlandırılması için önemli bir rol oynamaktadır.

Arduino mikrodnetleyici ise geliştirme ve araştırma için açık kaynaklı bir elektronik karma donanım ve yazılım platformudur. Arduino'nun programlama dili, basitleştirilmiş bir C/C++ sürümüne dayanmaktadır. Arduino ile en basitten, en komplekse bir çok devre rahatlıkla oluşturulabilmektedir. Motor, LED, buzzer gibi bir çok elektronik devre elemanı Arduino ile kontrol edilebilmektedir.

Tezimde, Atmega 328 tabanlı bir mikrodenetleyici kartı olan Arduino UNO kullanılmaktadır. 16 MHz seramik rezonatör, 14 adet dijital giriş/çıkış pini (6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir), 6 adet analog girişler, bir ICSP (devre içi seri programlama) başlığı, bir güç girişi, bir USB bağlantısı ve bir sıfırlama düğmesi içermektedir. Arduino kartı; herhangi bir uygulama için mikro denetleyiciyi destekler. Başlamak için bir USB kablusuyla bilgisayara bağlamanız veya AC'den DC'ye adaptör veya pille çalıştırmanız yeterlidir. Böylece tüm ön koşullar sağlanmış olur. Analog pinler 1024 bit okuma ve 256 bit dijital yazma özelliğine sahiptir.

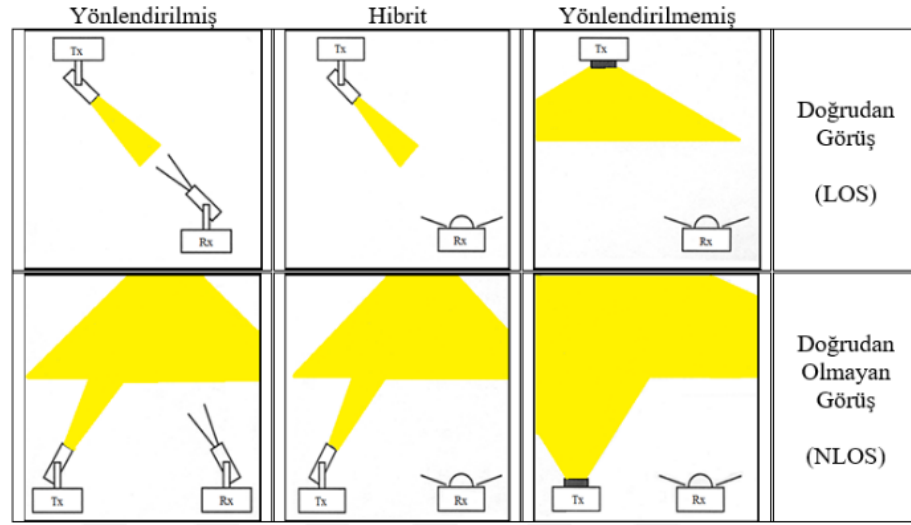
Proteus, bilgisayar destekli tasarım, şematik yakalama, mikrodenetleyici simülasyonu ve baskılı devre kartı (PCB) yerleşim tasarımı için Labcenter Electronics tarafından geliştirilen bir yazılım paketidir.

ISIS (Akıllı Şematik Giriş Sistemi); Microchip PIC, Atmel AVR (ATmega8, ATmega32 veya ATtiny2313), vb. gibi programlanabilir IC'leri simüle etmeye yarayan şematik bir yakalama aracı olarak kullanılmıştır. Bileşen kitaplığı, 6000 Prospective Simulation ile yaklaşık 10.000 devre bileşenine ilişkin yöntemler ile değerlendirilmiştir. VSM (Sanal Sistem Modellemesi); doğrudan ISIS ortamında bir grafik SPICE devre simülasyonu ve animasyonu sağlamak amaçlı kullanılmıştır.

ARES (Gelişmiş Yönlendirme ve Düzenleme Yazılımı); PCB üzerine devre elemanlarını basit olarak yerleştirmek için kullanılmış ve tüm devre elemanları basit bir şekilde kütüphaneden çekilerek çizim kolaylığı sağlanmıştır.

ISIS, bir etkileşimli sistem seviyesi simülatörü olan PROTEUS VSM için geliştirme ortamı sağlamaktadır. Karışık mod devre simülasyonunu, etkileşimli bileşen modellerini ve mikroişlemci modellerini birleştirerek eksiksiz bir şekilde mikro denetleyici tabanlı tasarımın simülasyonunun oluşturulmasını sağlamaktadır.

Ayrıca ISIS, gerçek zamanlı etkileşimli simülasyon için bir platform ve her projeye ilişkili kaynak ve nesne kodunu yönetmek için bir sistem sağlamaktadır. Özetle,

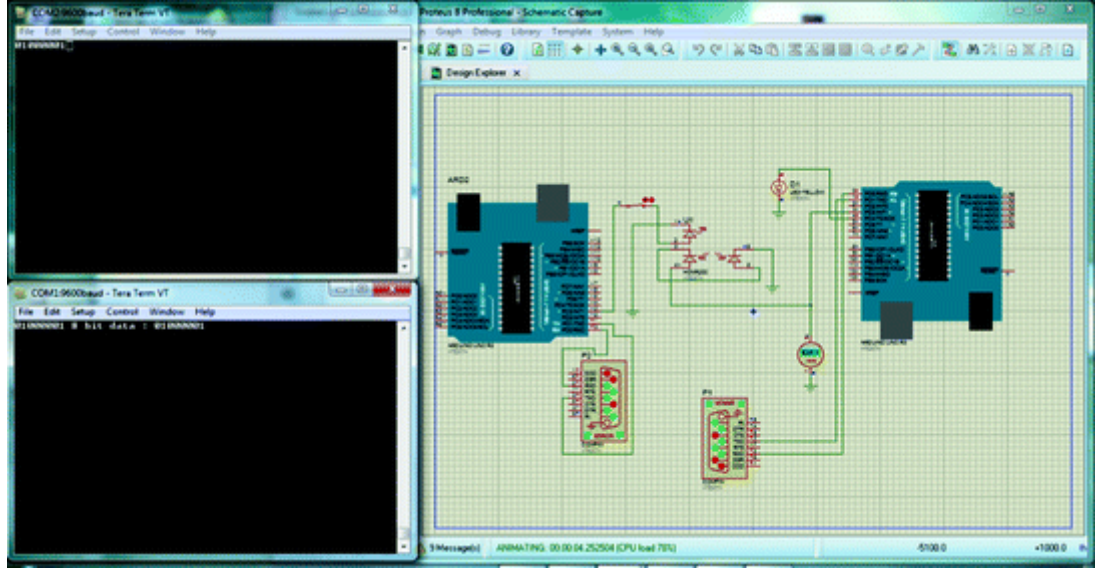


Şekil 3. 3. Alıcı – verici konumlandırılmasına göre ışık görüşleri

İletişim ve kontrol süreci, yerel bir bilgisayardan karakter gönderilmesiyle başlamaktadır. Yerel bilgisayar daha sonra Arduino ile iletişim kurmaktadır, böylece LED ışığı bit karakteri göndermektedir. Modüle edilmiş ışık daha sonra ışığa duyarlı eleman tarafından algılanmaktadır. Işık şeklinde alınan veriler yine alıcı Arduino tarafından demodüle edilir. Arduino daha sonra demodüle edilmiş verileri işleme IDE'sine göndermektedir. Alıcı Arduino'dan veri almaktadır ve Proteus simülasyon ortamına yönlendirebilecek şekilde özel bir işleme taslağı yazılmaktadır. Koşullandırılan Arduino sonrasında işleme taslağından gelen verileri dinlemekte ve verilere buna göre yanıt vermektedir.

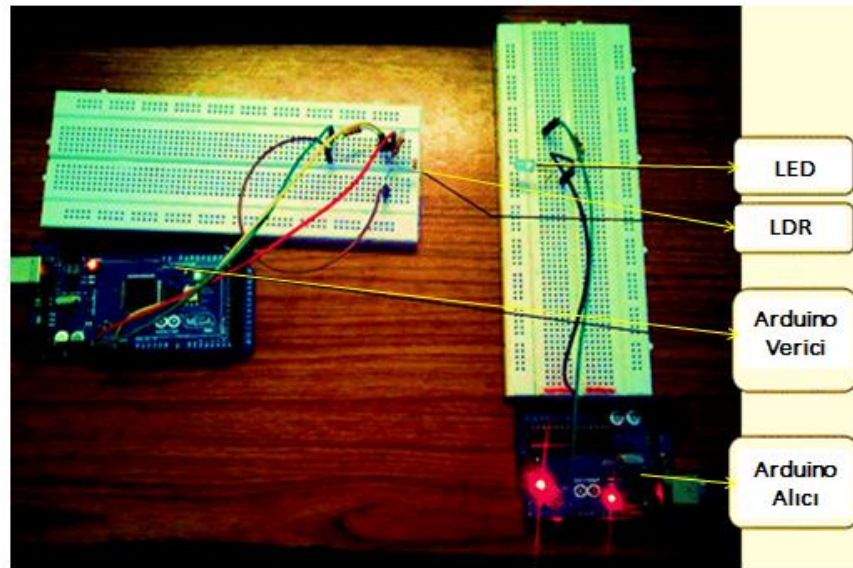
Proteus ortamında sanal cihazların olmaması nedeniyle, DC motor yerine bir fan ve diğer bazı cihazlar LED'ler olarak simüle edilmiştir. Bu devrede LED yakmak için 'L', kapatmak için 'K' karakteri atanmıştır. Benzer şekilde, buzzerı açmak için 'F' ve fanı kapatmak için 'G' komutu kullanılmıştır. Tüm bu iletişim işlemleri kısa mesafeli görünür ışık iletişimi ile yapılmaktadır.

Şekil 3.4'te görünür ışık iletişiminin simülasyonu görülmektedir.

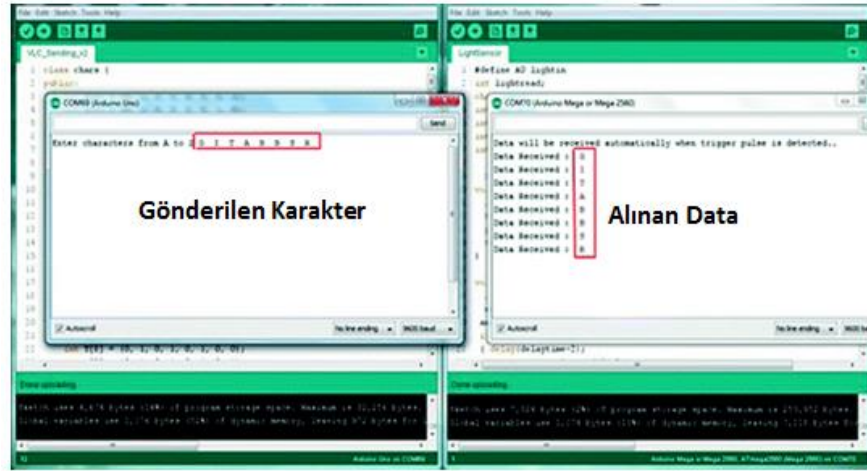


Şekil 3. 4. Algoritma sonucu ile iki Arduino arasındaki iletişimin simülasyon şeması

Şekil 3.4’te VLC sisteminde iki Arduino kartı kullanarak donanım aracılığıyla iletişim sürecinin uygulanması gösterilmektedir. Şekil 3.5.’te gösterildiği gibi alıcı bağlantı noktasında alınan verilerin aynısı olarak işaretlenebilir.

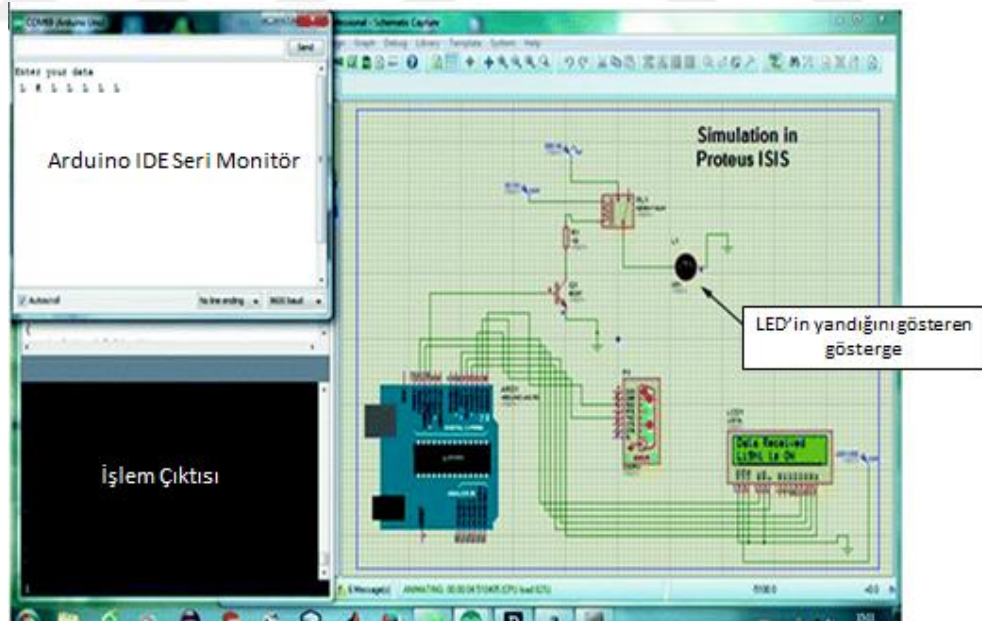


Şekil 3. 5. Donanım başlangıç kurulum görseli



Şekil 3. 6. Alıcı verici devresindeki dizi karakterlerinin sonuç tabloları

Şekil 3.6.'da gösterildiği gibi, Arduino seri monitörü, bir uyarı ikaz sistemi kontrol etmek için gerekli karakter dizinini göndermek için kullanılır ve çıktı, işlem çıktı penceresinde, sonuç Proteus Penceresinde gösterilir. Burada 'L', lambadaki ve ayrıca DISPLAY 'deki gösterge ile işaretlenebilen ışığı kontrol etmek için kullanılmaktadır. (Şekil 3.7.)



Şekil 3. 7. Hardware ile ışık kontrolüne bağlı haberleşme ekranları simülasyonu

3.4. VLC Verici Tasarımı

Verici devre, verileri Arduino UNO yazılım kartından görünür ışık kullanarak gönderebilmek için LEDlerden oluşur. LED'in anodu Arduino'nun dijital çıkışına (pin 3) bağlanır ve LED'in katodu Arduino'nun toprak terminaline bağlanır. Verici Arduino, veri gönderebilmek için ASCII karakterlerini ikili binary kombinasyonun dönüştürür ve veri iletimi için LED'i açıp kapar. Ancak verileri göndermeden önce alıcı ile senkronizasyonu sağlayabilmek için (1, 0) tetik bitleri gönderir. İletim mekanizması aşağıdaki gibi verilmiştir:

- Giriş bekleniyor: ASCII kodu (tek karakter veya çoklu karakter) şeklinde veri aktarımı yapılacağı zaman klavyede istenilen tuşa basıldıktan sonra 'ENTER' tuşuna basılmalıdır.
- Verilerin saklanması: ENTER tuşuna basıldıktan sonra tüm veriler programda tanımlanan bir değişkende saklanır.
- Tetik Bitlerinin Gönderilmesi: Hem vericiyi hem de alıcıyı senkronize etmek için, gerçek verilerle birlikte iki tetik biti (1 & 0) gönderilir.
- Bilgilerin Gönderilmesi: Daha sonra programda tüm verileri görünür ışık ile göndermek için zamana göre çok hızlı bir şekilde LED 1 için yanar ve 0 için söner (Şekil 3.8.).



Şekil 3. 8. İletim mekanizmasının akış şeması

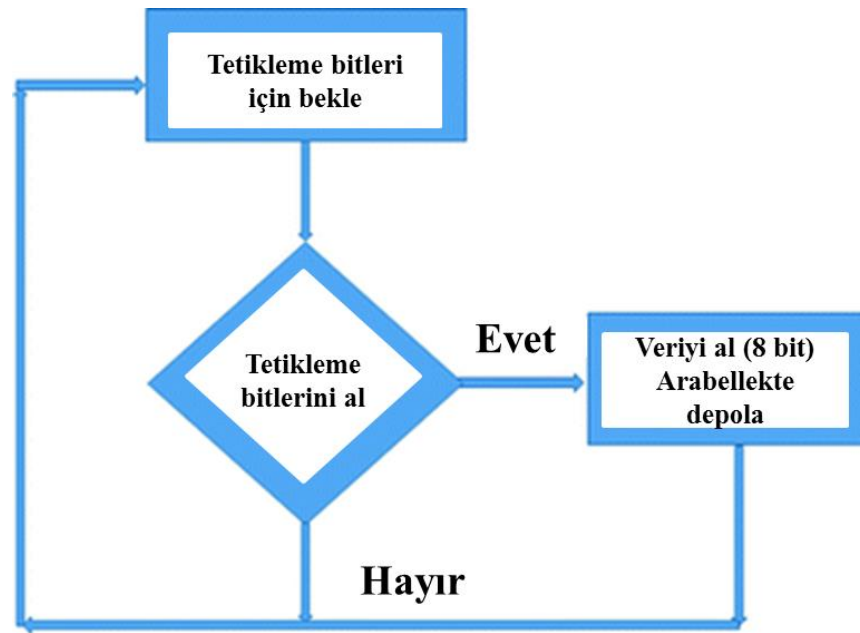


Şekil 3. 9. Tasarlanan verici devresi kullanılan LED çipleri

3.5. VLC Alıcı Tasarımı

Alıcı devresi, kuvvetlendirici bir transistör BC547, suya dayanıklı LDR, 10 k direnç ve transistörün kutuplanması için kullanılan 1 k direnç ile tasarlanmıştır. Verici devrenin çıkışı bir direnç kullanılarak Arduinonun analog giriş pini olan A0'a bağlanır. Alıcı devre, vericiden iletilen verileri çözerek ve ikili kombinasyon için eşdeğer ASCII karakterini göstermektedir. Alıcı mekanizması aşağıdaki gibi verilmiştir:

- A0'dan alınan veriler, verici devreden LDR'ye düşen ışık şiddetine bağlıdır ve alıcı devre istenilen çıkışı elde etmek için buna göre kalibre edilir.
- Alıcı Arduino, yalnızca tetik bitlerini aldığı anda etkinleştirilecek şekilde programlanmıştır, böylece ortam ışığına yanıt vermez ve şifrelenmiş olur, bu da sinyal alımını otomatik hale getirir.
- Ek olarak alıcı Arduino, verici tarafından iletilen sinyalin kodunu çözecek şekilde programlanmıştır, öncelikle tetik bitlerini alır ve aldığı tetik biti verilerini tanır, sonrasında çıktı kullanıcıya gösterilmektedir (Şekil 3.9.).



Şekil 3. 10. Akış şeması alıcı mekanizması

3.6. Yazılım

Deneylerde kullanılan alıcı ve verici devre yazılım kodları sırasıyla Ek-1 ve Ek-2’de sunulmuştur.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmamda, su altında veri iletiminin VLC ile yapıldığı, gizli bir anahtar ile verinin şifrelendiği ışık veri gönderim gizlilik protokolü üzerine yoğunlaşmıştır. Farklı su altı ortamlarında, 1 metre mesafede konumlandırılan alıcılar ve vericiler, çift-yönlü VLC ile haberleşebileceklerdir. Oluşturulan farklı derişimlere sahip su altı ortamı deney senaryosu ile farklı alıcı - verici arası uzaklıklarda, veri paketi teslim oranı ve gecikme süresi başarımları ölçümleri dikkate alınarak VLC protokol uygunluğu test edilmiştir. DSRC ve VLC önemli özellikleri karşılaştırılmalı ele alınmıştır. DSRC' ye karşın VLC, yön bağımsal, 25-50 metre arası kısa mesafelerde, düşük maliyet ve ücretsiz frekans bandında çalışmaktadır. Bu sebepten dolayı su altı iletişim yöntemlerinden birinin VLC olması kaçınılmazdır. Çünkü su altı haberleşmesinde RF dalgaları yetersiz kalmakta ve kullanılan cihazların maliyeti çok fazla olmaktadır. Bosch SCD sensörden alınan veriler ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiş ve neticesinde kullanılması gereken ışık düzeneği ideal olarak saptanmıştır. Ardından donanım mekanizması oluşturulmuş ve yazılım ile kontrol algoritması oluşturularak uyarı sistemi geliştirilmiştir. IDE kodlarıyla özel olarak 8 bitlik yapılar oluşturulmuş ve paketler ile hem güvenli hem de kararlı bir dizin oluşturularak tam bir kontrol mekanizması oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1. VLC ve DSRC karşılaştırma tablosu

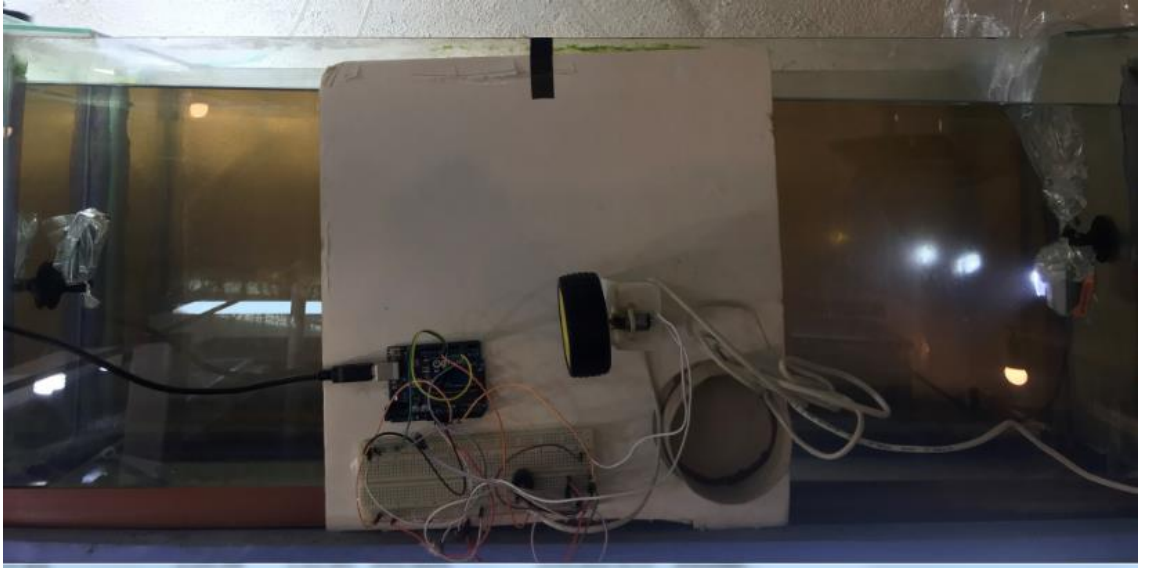
Özellik	VLC	DSRC
İletişim Senaryosu	Genellikle Doğrusal Görüş (LoS)	LoS ve Doğrusal olmayan Görüş (NLoS)
İletim Alanı	Kısa Erim ve Yön Bağımsal	Uzun Erim ve Genellikle Tümyönlü
Frekans Bandı	400 - 790 THz	5.8 - 5.9 GHz
Lisans	Ücretsiz	Gerekli
Kapsama Alanı	Dar	Geniş
Maliyet	Düşük	Yüksek
Hareketlilik Hassasiyeti	Orta	Yüksek
Hava Durumu Duyarlılık	Hassas	Dayanıklı
Ortam Işığ Hassasiyeti	Hassas	Etkilenmez

VLC sistemlerinde var olan LED lambalar insan gözünün fark edemeyeceği düzeyde hızlı bir şekilde açıp kapanarak gerek bina içi, gerekse bina dışı iletişim ve aydınlanma sağlanmaktadır. VLC, ışık doğrusal yönlülük ve dar alan özelliği

ile olası güvenlik saldırılarından daha az etkilenmektedir. VLC güvenlik saldırısı, güçlü bir ışık kaynağının alıcı üniteye tutulması ile gerçekleştirilebilmektedir. DSRC de olası saldırıdan kapsama alanında bulunan alıcıların etkilenmesine karşın, VLC’ de sadece tek bir bağlantı etkilenmektedir. VLC ve DSRC kıyaslama tablosuna Çizelge 4.1.’ de değinilmiştir.

Bu açıdan bakıldığında zaman, VLC olası güvenlik saldırılarını önleyebilmek adına umut verici bir iletişim teknolojisidir.

Tasarlanan VLC deney sistemi Şekil 4.1.’de gösterilmiştir. Deneysel sistem alıcı ve verici arasında ışık ile veri iletimi ölçümü için Bosch SCD cihazı ortama entegre edilerek, sisteme bağlı verici ünitesi güçlü LED’den oluşmaktadır. Güçlü LED’ler ile Bosch SCD sensör ve fotodiyot tabanlı alıcı devresi, 1 metrelik akvaryumun karşılıklı iki duvarına sabitlenmiştir (Şekil 4.1.).



Şekil 4. 1. Tasarlanan su altı VLC sistemi

Yapılan deneylerde güçlü LED kullanılmasıdaki sebep, güçlü ledlerin geniş görüş açısı özelliği ve yansımalara karşı dayanıklı yapıya sahip olmasıdır. Şekil 4.2.’de tek çipli

LED'ler kullanarak tasarlanan verici devresi ve kullanılan güçlü LEDler, Şekil 4.3.'te ise verici ölçümlerinde kullanılan Bosch SCD sensör gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. Tasarlanan verici devresi



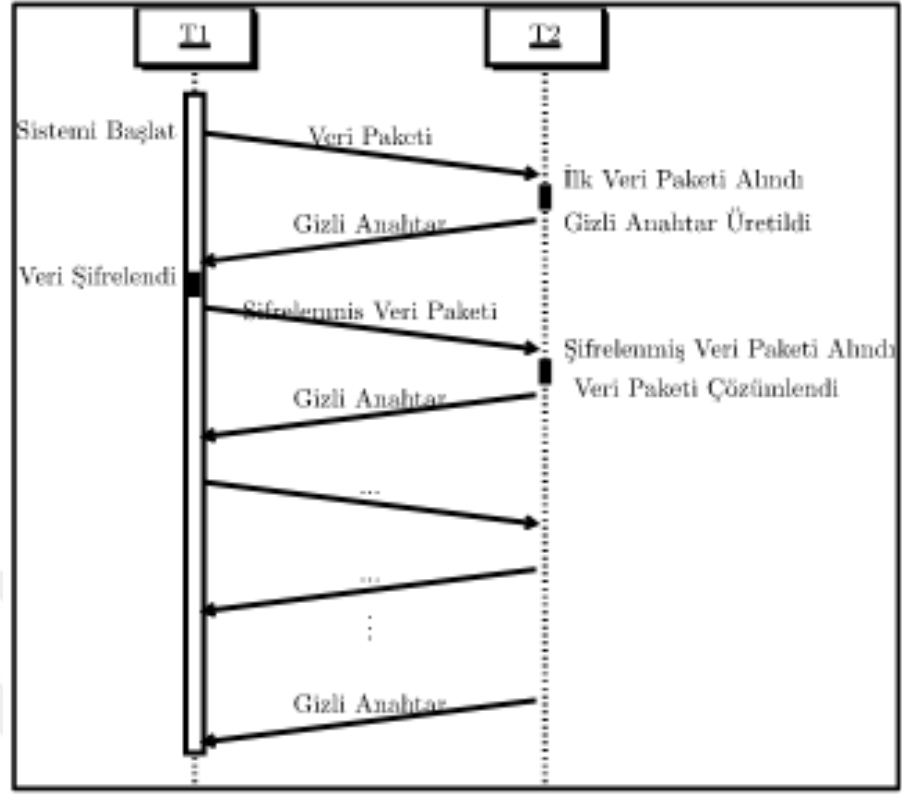
Şekil 4. 3. Verici ölçümlerinde kullanılan Bosch SCD sensör

Bilgi veri paketlerini içeren sistemde hata doğrulama tekniği olarak Manchester kodlaması kullanılmaktadır.

Gerek alıcı devre, gerekse verici devre bilgisayarlara bağlı bulunmakta olup gönderilen ve alınan paketler başarımlı ölçüm amaçlı kaydedilmiştir. Güneş ışığı etkisini en aza indirmek amaçlı deney gece koşullarında gerçekleştirilmiştir. Tüm yapılan deneylerde, 100 paket kod dizini gönderilmiş ve başarımlı ölçümleri gönderilen paketler üzerinden yapılmıştır.

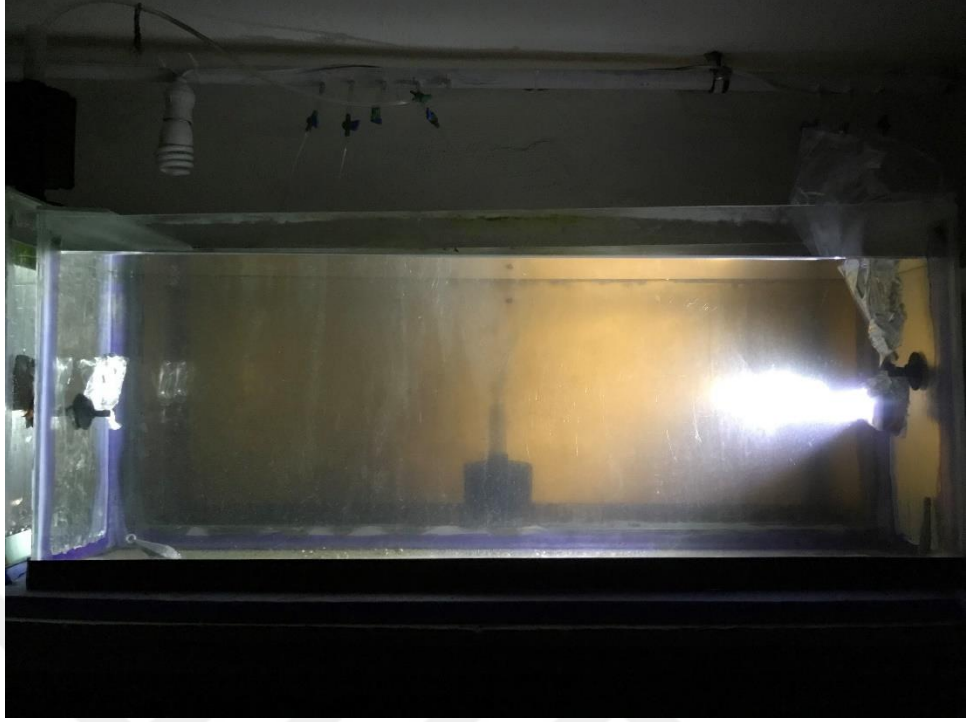
Önerilen VLC görünür ışık ile güvenli iletişim protokolü özellikleri aşağıdaki gibidir;

- 1- Işık doğrusal yönlülüğü özelliği ile sadece hedeflenen alıcı ile iletişim gerçekleşmektedir.
- 2- Şifrelenen verinin gizli anahtar olmaksızın çözümlenemediği, gizli anahtar oluşumu ve paylaşım mekanizması kullanılmaktadır.
- 3- Eş zamanlı, LDR ile gizli anahtar ve VLC ile şifrelenmiş veri iletiminin gerçekleştirildiği, çift yönlü olacak şekilde çalışmaktadır. Şekil 4.4., VLC protokolü aşamalarını göstermektedir. VLC, beş aşamadan oluşmaktadır ve bunlar sırası ile; sistem başlatımı, gizli anahtar oluşturulması, IR ile anahtar paylaşımı, veri şifrelenmesi/çözümlenmesi ve VLC ile şifrelenmiş verinin iletimi şeklindedir.



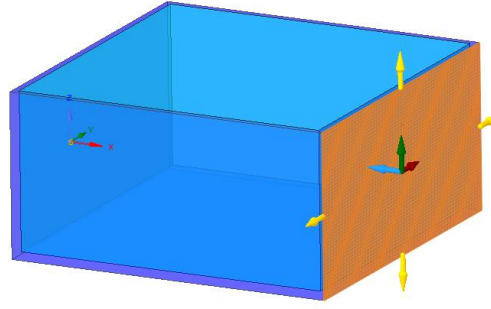
Şekil 4. 4. Veri akış şeması sonuç öngörüsü

VLC, sistem başlatımı ile gerekli donanımları hazır hale getirip, T1 'den gelecek gizli anahtarı beklemeye başlamaktadır. T1 ise alınan ilk veri paketi ile gizli anahtar oluşturmakta ve güçlü LEDler ile T2' e iletmektedir. Bu iletim şekli ile DSRC de kapsama alanında bulunan tüm araçların gizli anahtarı alabildiği senaryoya karşın, sadece T2 gizli anahtarı alabilmektedir. Güçlü LEDlerin' in LoS özelliği bu tarz bir gönderimle dezavantaj olmaktan çıkıp, avantaja dönüşmüştür. Oluşturulan gizli anahtarlar, Manchester kodlaması kullanılarak üretilmektedir. Manchester kodlaması, hızlı bakışimli anahtar üretimi, diğer alternatiflere karşın daha güçlü olması ve henüz bu kodlama sistemine karşın uygulanabilir bir güvenlik saldırısı olmaması gibi özellikleri sebebi ile tercih edilmiştir. Gizli anahtarın LDR ile alınmasıyla T2, aktarılmak istenen veriyi alınan gizli anahtar ile şifreleyip ışık ile göndermektedir. Işık kapsama alanında herhangi bir araç olsa bile şifrelenmiş veri bu araçlar için bir anlam ifade etmemektedir. Verinin gizli anahtar olmaksızın anlamsız olması, DSRC bazlı önemli güvenlik problemi olan kulak misafiri olma sorununu çözmüştür.



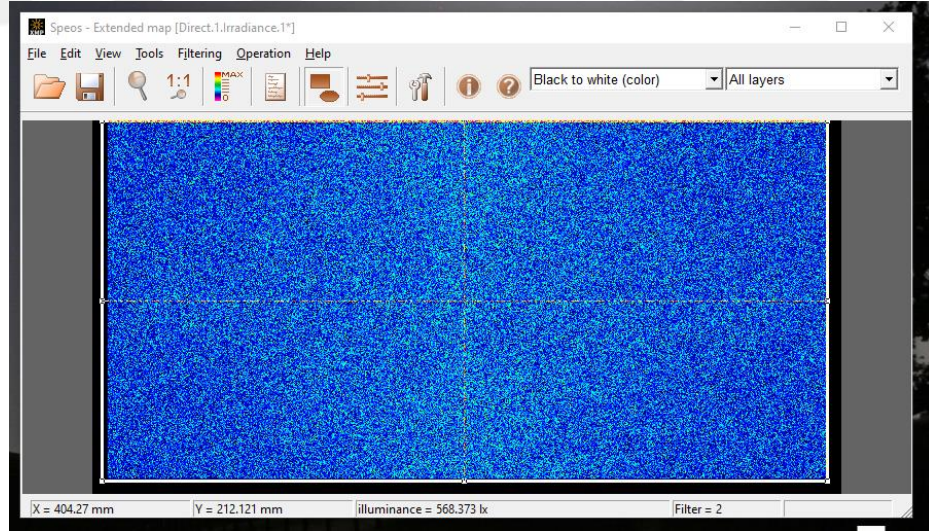
Şekil 4. 5. Yönlendirilmiş ışık kaynağı ile saf su kullanarak kurulan ölçüm düzeneği

Projemizde, öncelikli olarak kaynak teşkil etmesi açısından bir ışık üretici ihtiyacı doğmaktadır. Bunun neticesinde ilk olarak verici devresi 1 LED kullanılarak tasarlanmıştır. 1 x 1 metrelik saf su dolu akvaryumun iki yanına alıcı ve verici devresi sabitlenerek Şekil 4.5.'teki deney düzeneği kurulmuştur. Alıcıya ulaşan lux değeri hem ANSYS simülasyonu ile hem de gerçek zamanlı analizlere dayandırılarak ölçüm sonucu alınmıştır (Şekil 4.5.). Ölçüm esnasında tezimizin materyal ve yöntemler kısmında bahsedilen yönlendirilmiş ışık kaynağı gösterim metodu uygulanmıştır.

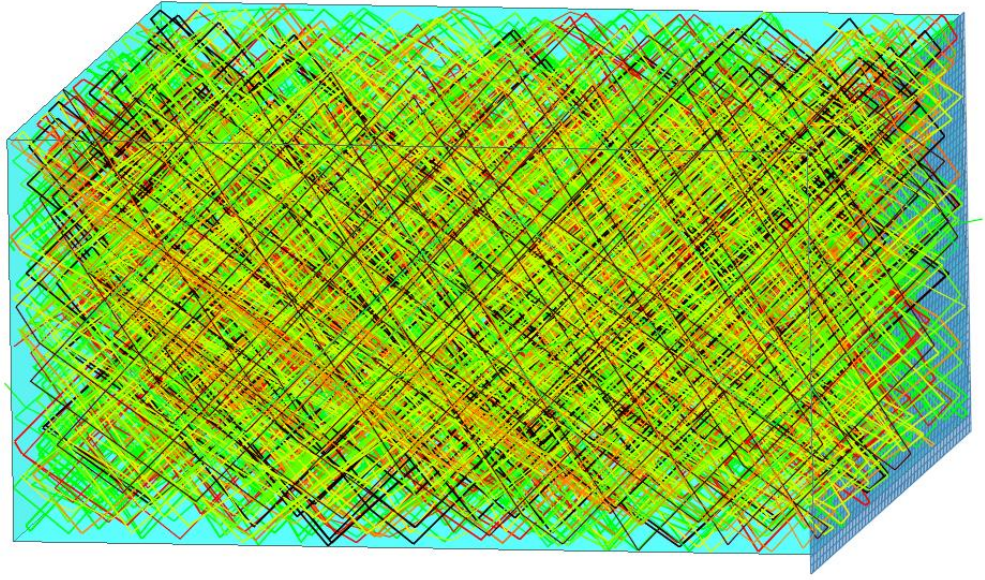


Şekil 4. 6. ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan deney düzeneği

Şekil 4.6’da ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan deney düzeneği gösterilmektedir. Deney simülasyonunda verici devresinde 1 çipli LED kullanılmış ve LED’in lümen değeri 433 lümen olarak girilmiştir. Akvaryumun diğer kenarına yerleştirilen yoğunluk sensörü ile verici devresine aktarılan lux değeri ölçülmesi hedeflenmektedir (Şekil 4.6.).



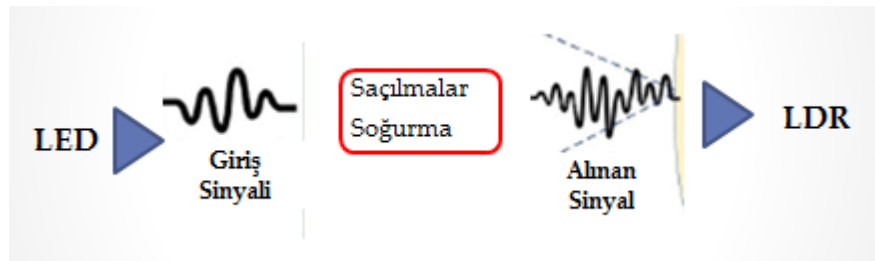
Şekil 4. 7. ANSYS SPEOS ile tasarlanan deney düzeneğinin alıcı sensör ölçüm sonuç ekranı



Şekil 4. 8. ANSYS SPEOS'ta tasarlanan deney düzeneğinin ışık yolları gösterimi

Saf su kullanılarak hazırlanan deney düzeneğinde vericide 1 LED kullanıldığında (yönlendirilmiş), alıcı devresine ortalama 618 lux aktarılabilmektedir. LED'ler çalıştığında yapılarındaki sıcaklığın artması ile verdikleri ışık enerjisinde düşüş yaşanır. Bu simülasyon düzeneğine LED'in lümeninde yaşanan kayıp dahil edilmemiştir.

Deney düzeneği gerçekleştirildiğinde vericiye aktarılan değer 523 lux ölçülmüştür. LED ısındığında oluşan kayıp ve su altı ortamında ışığın maruz kaldığı saçılım ve soğurma göz önüne alındığında bu olası bir sonuçtur (Şekil 4.9.).



Şekil 4. 9. Alıcı – verici arası kayıp mekanizması

1 LED kullanılarak çıkış sağlanmış olsa da, ölçüm aralığı dar bir bantta seyretmiştir. Bu yönüyle gerçek zamanlı bir çalışmaya uygun değildir. Deneyin sonraki adımlarında sağlıklı iletişim sağlayabilecek optimum verici devresi tasarımı devam etmektedir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Yönlendirilmiş ışık kaynağı ile saf suda verici devresi

	Simülasyon Sonucu (lux)	Gerçek Ölçüm Sonucu (lux)
1 LED	618.808	523.8
2 LED	1209.73	968.7
3 LED	1773.56	1418.7
4 LED	2382.55	1906
8 LED	4818.92	3870
12 LED	7207.37	5924
16 LED	9666.25	7749
20 LED	11931.7	9371

Haberleşmenin vericiden bağımsız ışık kaynaklarından etkilenmemesi için lux değer eşiği 7000 lux olarak tanımlanmış, alıcının bu eşik değerinin altında kalan lux değerleri ile haberleşme sağlanmaması üzerine tasarlanmıştır.

Sonuç olarak bu deney senaryosunda 16 ve daha fazla LED kullanılan verici devresi, eşik değeri olan 7000 lux üzerinde ışık şiddeti sağlamış ve sağlıklı haberleşme gerçekleşmiştir (Çizelge 4.2.). Deneyin sonraki aşamalarında sağlıklı ölçümler alabilmek adına 8LED, 12LED, 16LED ve 20LED kullanılan verici devreleri ile devam etmeye karar verilmiştir.

Sonraki adımda yine yönlendirilmiş ışık metodu kullanılarak, akvaryum içerisine %10 derişimli tuzlu su çözeltisi konularak deneyler; 8, 12, 16 ve 20 LED’li verici devreleri için tekrar edilmiştir.

Çizelge 4.3. Yönlendirilmiş ışık kaynağı ile %10 derişimli tuzlu suda verici devresi

	Simülasyon Sonucu (lux)	Gerçek Ölçüm Sonucu (lux)
8 LED	6343.67	4160
12 LED	9528.16	7599
16 LED	12475.4	9829
20 LED	16131.2	12770

Sonuç olarak projemizde %10 tuzlu su çözeltisi için en verimli ölçümler 12 LED ve üzeri için alınmıştır (Çizelge 4.3.). Deney düzeneği sabit tutularak %10 derişimli tuzlu su için tekrarlanan deney, saf sudan farklı olarak 12 LED için de 7000 lux eşik değerini aşarak sağlıklı haberleşme gerçekleşmiştir.

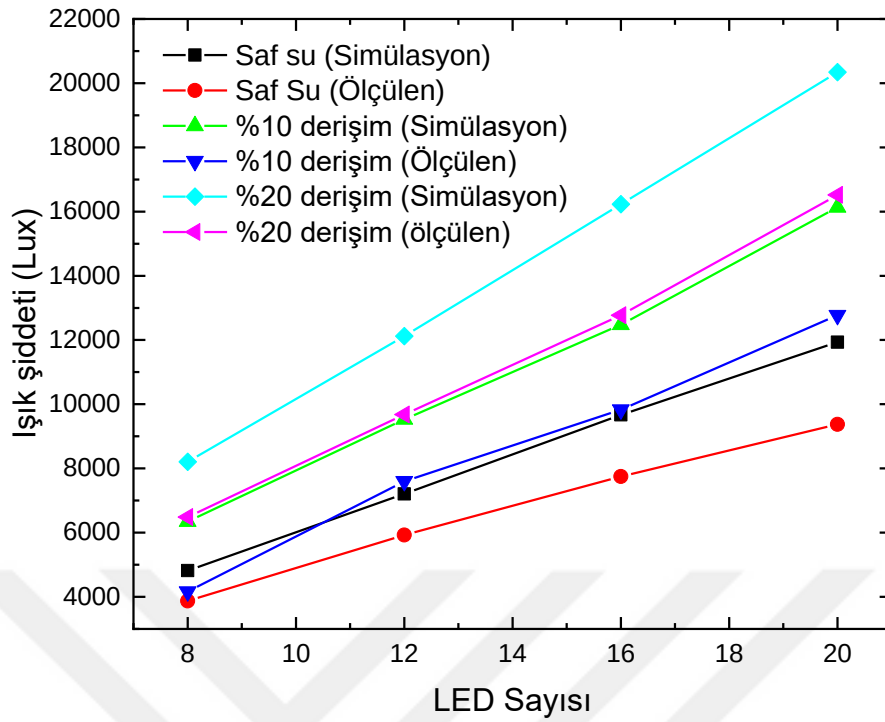
Sonraki adımda yönlendirilmiş ölçüm düzeneğinde akvaryum içerisine %20 tuzlu su çözeltisi konularak deneyler 8, 12, 16 ve 20 LED’li verici devresi için tekrar edilmiştir.

Çizelge 4.4. Yönlendirilmiş ışık kaynağı ile %20 derişimli tuzlu suda verici devresi

	Simölasyon Sonucu (lux)	Gerçek Ölçüm Sonucu (lux)
8 LED	8206.33	6485
12 LED	12120	9678
16 LED	16227	12770
20 LED	20343	16522

%20 tuzlu su çözeltisinde en verimli ölçümler, 12 ve üzeri LED kullanılan verici devresi için alınmıştır.

Tasarlanan alıcı ve verici devresi saf su, %10 derişimli tuzlu su ve %20 derişimli tuzlu su olmak üzere 3 ortamda test edilmiştir. En verimli iletişim kırııcılık indisi en yüksek olan %20 derişimli tuzlu su içerisinde sağlanmıştır (Çizelge 4.4.). Tüm bu denemeler sonucunda tasarlanan devrelerin çalışması teyit edilmiş, şifrelenmiş kod dizinlerini sağlıklı bir şekilde iletebildikleri gözlenmiştir.



Şekil 4. 10. Farklı tuzlu su konsantrasyonuna sahip su altı ortamlarında verici optimizasyonu

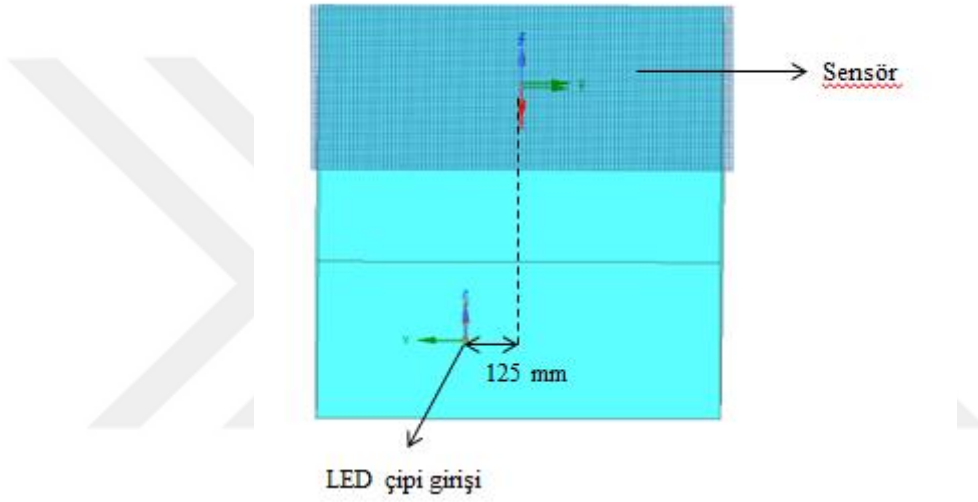
Simülasyon ve deneysel ölçüm sonuçları Şekil 4.10.'da verilmiştir. Tablodaki eğrilere bakıldığında tuzlu suyun derişimi arttıkça kırılma indisinin de arttığı, buna bağlı olarak da iletilen ışık şiddetinin arttığı görülmektedir. Simülasyon ortamında saçılmalar dahil edilmediğinden, simülasyon sonuçları ile deney düzeneğinde ölçülen değerler %20-%25 bandında değişiklik gösterebilmektedir. Saf su baz alınarak yapılan verici optimizasyonu sonucunda saf suda sağlıklı iletişim sağlayan verici devresi, daha yüksek kırılma indisine sahip tuzlu su ortamında çok daha verimli çalışabilmektedir (Şekil 4.10.).

Farklı su kirlilikleri için yapılan araştırmaya (Mohammad Furqan Alı, 2022) ek olarak, bu çalışma farklı tuzluluk derişimlerine sahip su altı ortamlarında veri iletimi için fikir vermektedir.

Kırılma indisi en düşük olan saf su için 12 LED ve fazlası kullanılarak tasarlanan verici devresi 7000 lux eşik değerini aşarak veri iletimi sağlayabilmektedir. Saf sudan daha fazla kırılma indisine sahip olan tuzlu su ortamlarında veri iletimi beklenen üzere sağlıklı bir

şekilde gerçekleşmiştir. Tasarlanan bu sistem 12 ve daha fazla LED kullanarak tasarlanan verici devresi ile su altı ortamında veri iletimine uygundur.

Deneyin diğer aşamasına kırıcılık indisi en düşük olan saf su ile devam edilmiştir. Yönlendirilmiş ışık kaynağı metodu kullanarak veri iletiminin gerçekleştirildiği teyit edilmiştir. Bu aşamada yönlendirilmemiş ışık kaynağı metodu kullanarak, tasarlanan sistemin sağlıklı çalışabilmesi için gerekli mesafe aralığı test edilecektir (Şekil 4.11.).



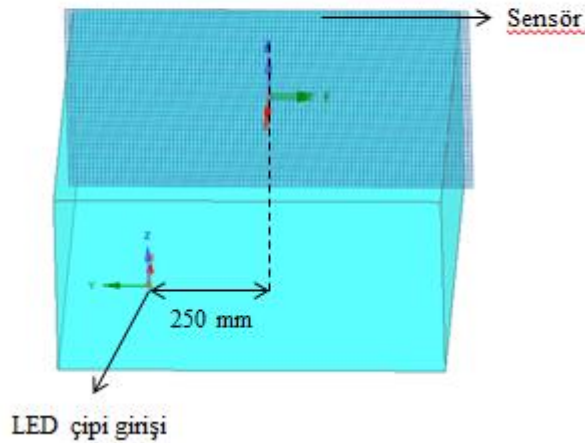
Şekil 4. 11. ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan saf su (yönlendirilmemiş, 125 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile) deney düzeneği

Çizelge 4.5. Yönlendirilmemiş, 125 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile saf suda verici devresi

	Simülasyon Sonucu (lux)	Gerçek Ölçüm Sonucu (lux)
8 LED	4608.5	3698
12 LED	6855.34	5447
16 LED	9242.75	7400
20 LED	11802	9530

Y ekseninde 125 mm kaydırılan ışık kaynağı ile verici devresinde 16 ve daha fazla LED kullanıldığında sağlıklı veri iletimi gerçekleştiği görülmektedir (Çizelge 4.5.). Alıcı ve vericinin karşılıklı tam hizalarda yerleştirildiği deney senaryosundan farklı olarak iletilen ışık şiddeti beklenilen üzere düşmüş, fakat sağlıklı iletişim bozulmamıştır.

Deneyin sonraki aşaması aynı düzende ışık kaynağının 250 mm kaydırılması ile devam etmektedir (Şekil 4.12.).

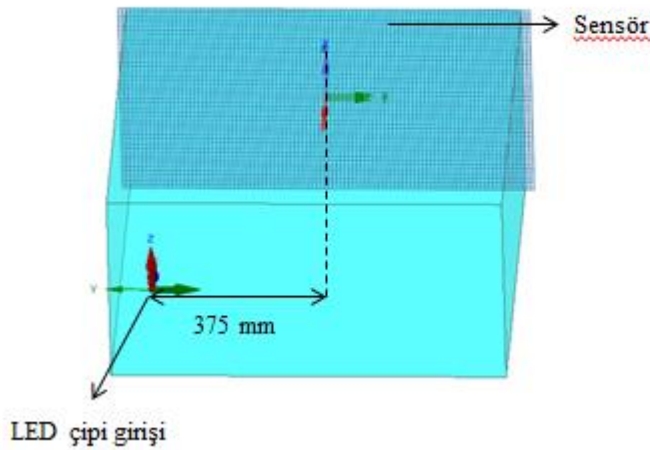


Şekil 4. 12. ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan saf su (yönlendirilmemiş, 250 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile) deney düzeneği

Çizelge 4.6. Yönlendirilmemiş, 250 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile saf suda verici devresi

	Simülasyon Sonucu (lux)	Gerçek Ölçüm Sonucu (lux)
8 LED	4677.27	3699
12 LED	7026.4	5625
16 LED	9302.38	7500
20 LED	11661.6	9326

Sonuç olarak bu düzenekte 16 ve 20 LED ile tasarlanan verici devresi kullanıldığında veri iletiminin gerçekleştiği görülmektedir. Aynı deney düzeneğinde ışık kaynağını y ekseninde 375 mm kaydırarak ölçümler tekrarlanarak deney devam etmiştir (Şekil 4.13.).



Şekil 4. 13. ANSYS SPEOS simülasyon programı ile tasarlanan saf su (yönlendirilmemiş, 375 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile) deney düzeneği

Çizelge 4.7. Yönlendirilmemiş, 375 mm kaydırılmış ışık kaynağı ile saf suda verici devresi

	Simülasyon Sonucu (lux)	Gerçek Ölçüm Sonucu (lux)
8 LED	4628	3725
12 LED	6872.2	5524
16 LED	9360	7500
20 LED	11500.2	9128

Deney düzeneği gerçekleştirildiğinde alıcıya aktarılan değer 7500 lux ölçülmüştür (Çizelge 4.7.). Bu düzende de 16 ve 20 LED’li verici devresi kullanıldığında veri iletimi sıkıntısız şekilde gerçekleşmektedir. 1 metrelik akvaryum içerisinde kurulan deney düzeneğinden alınan ölçümlere göre, alıcı ve verici doğrudan görüş metoduna göre yerleştirildiğinde, konum farketmeksizin 16 ve daha fazla LED kullanılarak tasarlanan verici devresi kullanıldığında sağlıklı iletişim sağlanabilmektedir.

5. SONUÇ

Su altı haberleşesinde optik kablosuz iletişim kullanılması RF haberleşmeye kıyasla yüksek bant genişliği ve düşük maliyete sahip olması açısından avantajlıdır. RF dalgalarının su altı ortamda ilerledikçe zayıflamasından dolayı RF haberleşme su altı ortamında yetersiz kalmaktadır. Deniz suyundaki tuz, RF dalgaları için iletken bir kanal oluşturduğundan dalga yayılımı 30 – 300 GHz arasında ve çok düşük mesafeler (1-5 m) ile sınırlı kalmaktadır. Bunun için en önemli alternatif UVLC teknolojisi olmaktadır. Bu tez çalışmasında su altında haberleşme yöntemlerinden biri olan UVLC teknolojisi ele alınmıştır.

Bu teknolojinin ele alındığı, kaynak gösterilen diğer çalışmalar incelendiğinde su altında haberleşme teknolojilerinden VLC, farklı yönlerden ele alınmış ve çalışma konusu olmuştur. Literatürde görünür ışığın farklı dalga boyları kullanılarak VLC sistemi üzerine araştırmalar yapılmış ve yeşil – mavi ışık dalga boylarında en verimli haberleşme sağlanırken, kırmızı dalga boyu en verimsiz olarak kaydedilmiştir. Bu tez çalışmasında beyaz ışık üzerinde durulmuş ve vericideki LED sayısına göre sistemde kullanılacak en verimli verici devresi tasarımına ulaşmak hedeflenilmiştir. Yine literatürdeki çalışmalara kıyasla verici sistemi geliştirmek adına lazer ışığı kullanımı ele alınmamış, onun yerine LED optimizasyonu üzerine çalışılmıştır.

VLC haberleşmesi ile RF haberleşmesi arasındaki farklar ele alınarak, kanal ortamı üzerinde durulmuştur. Tuzlu deniz ortamını anlamlandırabilmek adına farklı derişimlerde tuzlu su ortamları ve saf su ortamı simüle edilerek ve gerçekleştirilerek en verimli haberleşme koşulları çizelgelenmiştir.

Tasarlanan VLC sisteminde su altında çift yönlü, güçlü LED ve suya dayanımlı LDR ile gizli anahtar ve Arduino ile veri iletimi, olacak şekilde haberleşme sağlanmıştır. Önerilen protokol VLC, deneysel olarak veri paketi teslim oranı ve gecikme süresi başarımlı ölçüm metrikleri hesaba katılarak incelenmiş, uygunluğu test edilmiştir. Deneysel ölçümler, veri gizliliği ve güvenli iletişim gereksinimleri dikkate alındığında doğrusal ışık kaynağı içeren ve özel paket iletişimine bağlı (ilk dört bit şifre, kalan dört bit sayısal veri) VLC sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde aydınlatma fonksiyonlarında LED kullanımının artmasıyla beraber haberleşme sistemi olarak VLC kullanımı kolaylıkla uygulanabilir olabilmektedir. Su altında RF haberleşmenin kullanılamaması ve su altı haberleşme ihtiyacının doğması sebebiyle diğer çözümlere göre çok daha düşük maliyetle uygulanabilmesinden dolayı VLC sisteminin yaygınlaşacağı rahatlıkla söylenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında da görüldüğü gibi, LED ışık kaynakları modüle edilerek VLC sistemi için verici görevi görebilmektedir. Aynı zamanda ışık algılayıcıları alıcı olarak kullanılarak VLC sistem tasarımını gerçek kılacaktır. Doğru sistem ile güvenli veri iletebileceğinin görüldüğü bu tez çalışmasında, gündelik hayatta karşılaşılabilecek daha farklı su altı ortam şartları ve gündüz ışıkları simüle edilerek sistem daha gelişmiş hale getirilebilir.

Tasarlanan VLC sisteminin su altı haberleşmesinde güvenli veri haberleşmesi yapabildiği deneysel sonuçlar ile sunulmuş, daha kompleks sistemlerde kullanılabilir VLC sistemi tasarlanabilmesine fikir oluşturması hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- (JEITA), L. I. (tarih yok). *Liquid crystal materials in LCD panel*.
- [Online], S. I. (2016). The Sonardyne Site: <http://www.sonardyne.com/products/all-products/instruments/1148-bluecomm-underwater-optical-modem.html> adresinden alınmıştır
- A. M, C. e. (2016). Novel DSP Receiver Architecture for Multi-Channel Visible Light Communications in Automotive Applications. *IEEE Sensors Journal*, (s. 3597-3602).
- Akanegawa, M. T. (2001). Basic study on traffic information system using LED traffic lights. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, (s. 197-203).
- Akyildiz, D. P. (January 2009). Overview of networking protocols for underwater wireless communications . in *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 1, (s. 97-102).
- Arsyad Ramadhan Darlis, A. W. (2018). Bidirectional Underwater Visible Light Communication. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, (s. 5203-5214).
- Barstow, M. (2005). Cosmic Fingerprinting: The Key to Understanding the Universe. *TRANSACTIONS-LEICESTER LITERARY AND PHILOSOPHICAL SOCIETY*, 99.
- C. M. Gussen, P. S. (2016). A survey of underwater wireless communication technologies. *J. Commun. Inf. Sys.*, vol. 31, no. 1, (s. 242-255).
- Chan, E. (2012). Wireless optical links for airplane applications. In *2012 IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series* (s. 76-77). IEEE .
- Chizari, A. &. (2017). Performance Analysis of Multi-Hop Underwater Wireless Optical Communication Systems. *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 29, no. 5, (s. 462–465).
- Cossu, G. K. (2012). 3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED. (s. B501-B506). Optics express.
- Daniels, A. (2010). Field guide to infrared systems, detectors, and FPAs, ser.
- Duntley, S. Q. (Feb. 1963.). Light in the sea. *J. Opt. Soc. Amer. A*, vol. 53, (s. 214–233).
- Ertuna, A. D. (2016). Görünür Işık İle Haberleşme ve Sistem Tasarımı (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi,. İstanbul.
- G. D. Gilbert, T. R. (1966). Underwater experiments on the polarization, coherence, and scattering properties of a pulsed blue-green laser. in *Proc. SPIE Underwater Photo Opt. I*, vol. 7, (s. 3). Santa Barbara, CA, USA.
- Genç, B. (2007). Elektromanyetik spektrumun x-ışını ve görünür bölgesinde, ortamlardan yayılan fotonları kaydetmek için spektrometre ve görüntüleme sistemlerinin tasarımı . Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Ghassemlooy, Z. P. (2019). *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC Press.
- Grubor, J. R. (2008). Broadband information broadcasting using LED-based interior lighting. *Journal of Lightwave technology*, (s. 3883-3892).
- H.Nouri, M. U. (2014). Optical Wireless Communication - An Emerging Technology. *16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, (s. 1-7). Graz.
- Haigh, P. A. (2013). 1.4-Mb/s white organic LED transmission system using discrete multitone modulation. *IEEE Photonics Technology Letters* 25(6), (s. 615-618).
- Hong, H. R. (2008). Information illuminating system for healthcare institution. *In 2008 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering* (s. 801-804). IEEE.
- Hunt, T. (2000). Was Newton the first to show that visible light is polychromatic? *Engineering Science & Education Journal*, 185-191.
- Jovicic, A. L. (2013). Visible light communication: opportunities, challenges and the path to market. *IEEE Communications Magazine*, 26 - 32.
- Jung, S. Y. (2011). TDOA-based optical wireless indoor localization using LED ceiling lamps. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, (s. 1592-1597).
- Komine, T. &. (2004). Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights. *IEEE transactions on Consumer Electronics*, (s. 100-107).
- Liu, H. D. (2007). Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, (s. 1067-1080).
- Liu, X. M. (2008). Basic study on indoor location estimation using visible light communication platform. *In 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (s. 2377-2380). IEEE.
- M., A. (2016). Visible light and radio communication for cooperative autonomous driving: applied to vehicle convoy. *PhD thesis*. MINES ParisTech.
- Maxwell, J. C. (1865). VIII. A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, (s. 459-512).
- Mohammad Furqan Ali, D. N. (2022). Recent Trends in Underwater Visible Light Communication (UVLC) Systems. *Digital Object Identifier*.
- Nakagawa, M. (2007). Visible Light Communications. *Proc. CLEO' 07*.
- Organization, W. H. (2015). Global status report on road safety 2015. *World Health Organization*.
- ÖZTÜRK, M. (2016). Optical Power Distribution and OFDM/OFDMA Modulation for Visible Light Communication (Doctoral dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Palais, J. C. (1988). Fiber optic communications. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Park, I. H. (2012). Interference mitigation scheme of visible light communication systems for aircraft wireless applications. *In 2012 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)* (s. 355-356). IEEE.
- Peng Zou, Y. Z. (2020). Underwater visible light communication at 3.24 Gb/s using novel two-dimensional bit allocation. *Optics Express* 11319.
- Sengupta, D. L. (2003). Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the early history of electromagnetic waves. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 13-19.
- Siddique, I. A. (2019). Li-Fi the next generation of wireless communication through visible light communication (VLC) technology. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 30-37.
- Şenyer, D. Ü. (2016). The importance of wireless green communication and the led technology applications of visible light wireless communication. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, (s. 65-79).
- Taylor, J. R. (1996). Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik. Güven Kitap Yayın Dağıtım Ltd.
- The Ambalux Site. (2016). Ambalux: <http://www.ambalux.com/underwater-transceivers.html> adresinden alınmıştır
- Ugweje, O. C. (2000). Modulation and Demodulation Techniques in Communication Systems. *The University of Akron, Ohio, Amerika Birleşik Devletleri*.
- Wang, C. Y. (2016). A long distance underwater visible light communication system with single photon avalanche diode. *IEEE Photonics Journal*, (s. 1-11).
- Yasir, M. H. (2015). Indoor position tracking using visible light. *In 2015 IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall)* (s. 1-5). IEEE.
- YEŞİLKAYA, A. M. (tarih yok). Görünür Işık Kanallarının Modellenmesi ve Optik OFDM Sistemleri için Başarım Analizi/Modelling of Visible Light Channels and Performance Analysis for Optical OFDM Systems. *EMO Bilimsel Dergi*, 18-29.
- Z. Ghassemlooy, S. A. (Sept. 2015). Emerging Optical Wireless Communications-Advances and Challenges . *in IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 33, no. 9. , (s. 1738-1749).
- Z. Zeng, S. F. (2017). A Survey of Underwater Optical Wireless Communications. *in IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 1, (s. 204-238).

EKLER

EK 1 TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

EK 2 ALICI DEVRE YAZILIMI

EK 3 VERİCİ DEVRE YAZILIMI



EK 2 Alıcı Devre Yazılımı

/*

Analog pin 0'da bir analog sensör okuyarak analog girişi gösterir ve dijital pim 13'e bağlı bir ışık yayan diyotu (LED) açıp kapatmak için kullanılır. LED'in açılıp kapanacağı süre şunlara bağlıdır:

analogRead() tarafından elde edilen değerdir.

Devre:

- * Analog giriş 0'a bağlı potansiyometre.
- * Potansiyometrenin merkez pimi analog pime.
- * Bir taraf pimi (ikisinden biri) toprağa.
- * Diğer taraf +5V'a pin.
- * Dijital çıkış 13'e bağlı LED anot (uzun bacak).
- * Zemine bağlı LED katot (kısa bacak).

*/

```
#define SENSOR_PIN A0
int sensorValue = 0;
#define SYNC_SYMBOL 0xD5
#define ETX 0x03
#define STX 0x02
int msg_length = strlen(msg);
int msg_index = 0 ;
#define ACC_LENGTH 16
#define LED_PIN 13
#define SET_LED() PORTB |= (1 << 5)
#define CLR_LED() PORTB &= ~(1 << 5)
unsigned char bit_counter = 0 ;
unsigned short data_word = 0 ;
unsigned char half_bit = 0 ;
```

```

unsigned int signal_mean = 0 ;
unsigned long acc_sum = 0 ;
unsigned int acc_counter = 0 ;
long shift_reg = 0;
int synced = -1 ;
int received_bit = 0 ;
char pin_state = 0 ;
#define WORD_LENGTH 10

```

```

struct myFifo{
    int data [ACC_LENGTH];
    unsigned int fifo_size ;
    unsigned int write_index ;
    unsigned int read_index ;
    unsigned int nb_available ;
};

```

```

struct myFifo samples_fifo ;

```

```

void init_fifo(struct myFifo * pf, unsigned int f_size){
    pf -> fifo_size = f_size ;
    pf -> write_index = 0 ;
    pf -> read_index = 0 ;
    pf -> nb_available = 0 ;
}

```

```

inline char read_fifo(struct myFifo * pf, int * token){
    if(pf->nb_available == 0) return -1 ;

```

```

*token = pf->data[pf->read_index] ;
pf->read_index = pf->read_index + 1;
if(pf->read_index >= pf->fifo_size) pf->read_index = 0 ;
pf->nb_available = pf->nb_available -1 ;
return 0 ;

}

```

```

inline char peek_fifo(struct myFifo * pf, int * token){
    if(pf->nb_available == 0) return -1 ;
    *token = pf->data[pf->read_index] ;
    return 0 ;

}

```

```

inline char write_fifo(struct myFifo * pf, int token){
    if(pf->nb_available >= pf->fifo_size) return -1 ;
    pf->data[pf->write_index] = token ;
    pf->write_index = pf->write_index + 1;
    if(pf->write_index >= pf->fifo_size) pf->write_index = 0 ;
    pf->nb_available = pf->nb_available + 1 ;
    return 0 ;

}

```

```

ISR(TIMER1_COMPA_vect){
    int sensorValue = analogRead(SENSOR_PIN);
    int i = 0;
    acc_sum = acc_sum + sensorValue;
    acc_counter = acc_counter + 1 ;
}

```

```

if(acc_counter >= 32){
    signal_mean = acc_sum / 32 ;
    acc_counter = 0 ;
    acc_sum = 0 ;
}
if(signal_mean > 0){
    write_fifo(&samples_fifo, sensorValue);
}
if(pin_state == 0){
    digitalWrite(12, LOW);
    pin_state = 1 ;
}else{
    digitalWrite(12, HIGH);
    pin_state = 0 ;
}
}

```

```

ISR(TIMER2_COMPA_vect){
    if(bit_counter > 0){
        unsigned char data_bit = (data_word >> (WORD_LENGTH - bit_counter) ) & 0x01 ;
        if(!half_bit){
            if(data_bit){
                CLR_LED();
            }else{
                SET_LED();
            }
            half_bit = 1 ;
        }else{
            if(data_bit){

```

```

        SET_LED();
    }else{
        CLR_LED();
    }
    half_bit = 0 ;
    bit_counter -- ;
}
}else{
    if(!half_bit){
        CLR_LED();
        half_bit = 1 ;
    }else{
        SET_LED();
        half_bit = 0 ;
    }
}

}
}

```

```

void setupTimer1(unsigned char prescaler, unsigned int period){
    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;
    TCNT1 = 0;
    OCR1A = period;
    TCCR1B |= (1 << WGM12);
    switch(prescaler){
        case 0 :
            TCCR1B |= (1 << CS10);

```



```

case 1 :
    TCCR1B |= (1 << CS11);
case 2 :
    TCCR1B |= (1 << CS11) | (1 << CS10);
    break ;
case 3 :
    TCCR1B |= (1 << CS12) ;
    break ;
case 4 :
    TCCR1B |= (1 << CS12) | (1 << CS10);
    break ;
default :
    TCCR1B |= (1 << CS10);
    break ;
}

TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
}

void setupTimer2(unsigned char prescaler, unsigned int period){
    TCCR2A = 0;
    TCCR2B = 0;
    TCNT2 = 0;
    OCR2A = period;
    TCCR2A |= (1 << WGM21);

    switch(prescaler){
        case 0 : TCCR2B |= (1 << CS20);
        case 1 : TCCR2B |= (1 << CS21);
        case 2 : TCCR2B |= (1 << CS21) | (1 << CS20);
    }
}

```

```

        break ;
case 3 : TCCR2B |= (1 << CS22) ;
        break ;
case 4 : TCCR2B |= (1 << CS22) | (1 << CS21);
        break ;
case 5 : TCCR2B |= (1 << CS22) | (1 << CS21) | (1 << CS20);
        break ;
default :
    TCCR2B |= (1 << CS20);
    break ;
}
TIMSK2 |= (1 << OCIE2A);
}

```

```

int detect_symbol(long * data_reg){
    unsigned char bit_val, prev_bit_val = 2 ;
    unsigned int same_counter = 0 ;
    int sample_val ;
    if(samples_fifo.nb_available < 10) return -1 ;
    while(same_counter < 10 ){
        peek_fifo(&samples_fifo, &sample_val);
        bit_val = sample_val > signal_mean ? 1 : 0 ;
        if(bit_val == prev_bit_val){
            read_fifo(&samples_fifo, &sample_val);
            same_counter ++ ;
        }else{

```

```

if(same_counter >= 2 ){
    *data_reg = (*data_reg << 1) | prev_bit_val ;
    if(same_counter >= 5){
        *data_reg = (*data_reg << 1) | prev_bit_val ;
        return 2 ;    }
    return 1 ;
}
read_fifo(&samples_fifo, &sample_val);
same_counter ++ ;
}
prev_bit_val = bit_val ;
}
return -1 ;
}

int send_symbol(unsigned char data){
    if(bit_counter > 0) return -1 ;
    data_word = (data << 1) | 0 | (1 << (WORD_LENGTH-1));
    while(half_bit);
    bit_counter = WORD_LENGTH ;
    return 0 ;
}

```

```

char get_data(long data_reg, char *data){
    char received_data = 0;
    if((data_reg & 0x03) == 0x01){
        if(((data_reg >> 18) & 0x03) == 0x02){
            int i ;

```

```

    received_data = 0 ;
    for(i = 2 ; i < 18 ; i = i + 2){
        received_data = received_data << 1 ;
        if(((data_reg >> i) & 0x03) == 0x01){
            received_data |= 0x01 ;
        }else{
            received_data &= ~0x01 ;
        }
    }
    *data = received_data ;
    return 1 ;
}
else{
    return -1 ;
}
}
else{
    return -1 ;
}
}
return -1 ;
}

void setup() {
    int i;
    init_fifo(&samples_fifo, ACC_LENGTH);
    Serial.begin(115200);
    analogReference(INTERNAL);
    pinMode(13, OUTPUT);
    pinMode(12, OUTPUT);
    cli();//stop interrupts
    setupTimer1(3, 13);
    setupTimer2(4, 52);

```

```

sei();

}

int detect_syn(long reg){
    int i ;
    char data ;
    for(i = 0; i < 8 ; i ++){
        if(get_data(shiftreg>>i, &data) >= 0){
            if((data & 0xFF) == SYNC_SYMBOL){
                Serial.println("\nsynced!");
                return i ;
            }
        }
    }
    return -1 ;
}

void loop() {
    int sym ;
    int i;
    char received_data ;
    if(send_symbol(msg[msg_index]) >= 0){
        msg_index ++ ;
        if(msg_index >= msg_length) msg_index = 0 ;
    }
    //send_symbol(0x04);
    sym = detect_symbol(&shift_reg);

```

```

//if(signal_mean != 0) Serial.println(signal_mean);
if(sym >= 0){
    //Serial.println(shift_reg , BIN);
    if(synced < 0 ){
        sync = detect_sync(shift_reg);
        if(sync >= 0) received_bit = 20 ;
    }else{
        if(received_bit > 0 )received_bit = received_bit - sym ;
        if(received_bit <= 0){
            if(received_bit < 0){
                if(get_data(shift_reg>>(synced+1), &received_data) < 0){
                    synced = -1 ;
                }else{
                    if(received_data == ETX){
                        synced = -1 ;
                    }else{
                        if(received_data != 0x02){
                            Serial.print(received_data);
                        }
                        received_bit = 20 ;
                    }
                }
            }else{
                if(get_data(shift_reg>>synced, &received_data) < 0){
                    synced = -1 ;
                }else{
                    if(received_data == ETX){
                        synced = -1 ;
                    }else{

```

```
if(received_data != 0x02){  
    Serial.print(received_data);  
}  
received_bit = 20 ;  
}}}}}}
```



EK 3 Verici Devre Yazılımı

/*

İletişim 600 bs'ye kadar çıkabilir. (led kalitesine bağlı olabilir.)

Donanım aşağıdaki gibidir:

Mavi led kullanmak direnç gerektirmemelidir, kırmızı veya yeşil için bir tane gerekebilir.

Bir bayt aşağıdaki gibi gönderilir:

Başlat(0) 8bit veri Durdur(1).

Her bit, manchester'da şu şekilde kodlanmıştır:

0 -> 10.

1 -> 01.

Bir veri çerçevesi aşağıdaki gibi biçimlendirilir:

0xAA : alınanın analog değerlerin eşiklenmesi için bir sinyal ortalaması hesaplamasına yardımcı olmak için bir dizi zamandır.

0xD5 : önsözü kırmak için senkronizasyon baytı.

0x02 : STX çerçeve başlangıcı.

N kez Komut sembolleri hariç etkin veri, $N < 32$.

0x03 : ETX çerçeve sonu.

*/

```
#include <TimerOne.h>
```

```
#include <util/atomic.h>
```

```
#define SYMBOL_PERIOD 500
```

```
#define WORD_LENGTH 10
```

```
#define SYNC_SYMBOL 0xD5
```

```
#define ETX 0x03
```

```
#define STX 0x02
```

```
#define SET_LED() PORTB |= (1 << 5)
```

```
#define CLR_LED() PORTB &= ~(1 << 5)
```



```

#define OUT_LED() DDRD |= ((1 << 2) | (1 << 3) | (1 << 4))
#define SET_LED() PORTD |= ((1 << 2) | (1 << 3) | (1 << 4))
#define CLR_LED() PORTD &= ~((1 << 2) | (1 << 3) | (1 << 4))

#define OUT_LED() DDRD |= ((1 << 2))
#define SET_LED() PORTD |= ((1 << 2))
#define CLR_LED() PORTD &= ~((1 << 2))

unsigned char frame_buffer [38] ;
char frame_index = -1;
char frame_size = -1 ;

unsigned char bit_counter = 0 ;
unsigned short data_word = 0 ;
unsigned char half_bit = 0 ;
unsigned long int manchester_data ;

void to_manchester(unsigned char data, unsigned long int * data_manchester){
    unsigned int i ;
    (*data_manchester) = 0x02 ;
    (*data_manchester) = (*data_manchester) << 2 ;
    for(i = 0 ; i < 8; i ++){
        if(data & 0x80) (*data_manchester) |= 0x02 ;
        else (*data_manchester) |= 0x01 ;
        (*data_manchester) = (*data_manchester) << 2 ;
        data = data << 1 ;
    }
    (*data_manchester) |= 0x01 ; }

void emit_half_bit(){
    if(manchester_data & 0x01){
        SET_LED();
    }else{

```

```

        CLR_LED();
    }
    bit_counter -- ;
    manchester_data = (manchester_data >> 1);
    if(bit_counter == 0){
        manchester_data = 0xAAAAAAAA ;
        if(frame_index >= 0 ){
            if(frame_index < frame_size){
                Serial.println(frame_index, DEC);
                Serial.println(frame_buffer[frame_index], HEX);
                to_manchester(frame_buffer[frame_index], &manchester_data);
                frame_index ++ ;
            }else{
                frame_index = -1 ;
                frame_size = -1 ;
            }
        }
        bit_counter = WORD_LENGTH * 2 ;
    }
}

```

```

void init_frame(unsigned char * frame){
    memset(frame, 0xAA, 3);
    frame[3] = SYNC_SYMBOL ;
    frame[4] = STX;
    frame_index = -1 ;
    frame_size = -1 ;
}

```

```

int create_frame(char * data, int data_size, unsigned char * frame){
    memcpy(&(frame[5]), data, data_size);
    frame[5+data_size] = ETX;
    return 1 ;
}

```

```

int write(char * data, int data_size){
    if(frame_index >= 0) return -1 ;
    if(data_size > 32) return -1 ;
    create_frame(data, data_size,frame_buffer);
    ATOMIC_BLOCK(ATOMIC_RESTORESTATE){
        frame_index = 0 ;
        frame_size = data_size + 6 ;
    }
    return 0 ;
}

```

```

int transmitter_available(){
    if(frame_index >= 0) return 0 ;
    return 1 ;
}

```

```

void init_emitter(){
    manchester_data = 0xFFFFFFFF ;
    bit_counter = WORD_LENGTH * 2 ;
}

```

```

void setup() {
    Serial.begin(115200);
}

```

```

OUT_LED();
init_frame(frame_buffer);
init_emitter();
Timer1.initialize(SYMBOL_PERIOD);
Timer1.attachInterrupt(emit_half_bit);
}

```

```

char * msg = "Hello World" ;
char com_buffer [32] ;
char com_buffer_nb_bytes = 0 ;
void loop() {
    #ifdef TRANSMIT_SERIAL
    if(Serial.available() && transmitter_available()){
        char c = Serial.read();
        com_buffer[com_buffer_nb_bytes] = c ;
        com_buffer_nb_bytes ++ ;
        if(com_buffer_nb_bytes >= 32 || c == '\n'){
            if(write(com_buffer, com_buffer_nb_bytes) < 0){
                Serial.println("Transmitter is busy");
            }else{
                com_buffer_nb_bytes = 0 ;
            }
        }
    }
}
delay(10);
#else
static int i = 0 ;
memcpy(com_buffer, msg, 11);

```

```
com_buffer[11] = i + '0' ;  
if(write(com_buffer, 12) < 0){  
    delay(10);  
}else{  
    i ++ ;  
    if(i > 9) i = 0 ;  
}  
#endif  
}
```

