



**T.C.**

**HİTİT ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PDLC FİLM TABANLI IŞIK FİLTRELEME KONTROL SİSTEMİ  
TASARIMI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Soner Muhammed TURAN**

**Çorum - 2024**



# **PDLC FİLM TABANLI IŞIK FİLTRELEME KONTROL SİSTEMİ TASARIMI**

**Soner Muhammed TURAN**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**TEZ DANIŞMANI**

**Dr. Öğr. Üyesi Serkan DİŞLİTAŞ**

**Çorum 2024**

Soner Muhammed TURAN tarafından hazırlanan “PDLC Film Tabanlı Işık Filtreleme Kontrol Sistemi Tasarımı” adlı tez çalışması 24/04/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Timuçin Emre TABARU

.....

Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi Serkan DIŞLITAŞ

.....

Üye (Danışman)

Doç. Dr. Murat Alparslan GÜNGÖR

.....

Üye

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve ..... sayılı kararı ile Soner Muhammed TURAN'ın Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Prof. Dr. Osman ÇUBUK

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Soner Muhammed TURAN

# PDLC FİLM TABANLI IŞIK FİLTRELEME KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

Soner Muhammed TURAN

ORCID: 0009-0004-3936-7181

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

Nisan 2024

## ÖZET

Doğal ve yapay ışık kaynaklarına maruz kalmanın canlı ve cansız varlıklar üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Diğer taraftan iklimlendirme, yalıtım, tedavi gibi amaçlarla ışığın sınırlandırılması gereken durumlar da sözkonusudur. Bu nedenle ışığın ihtiyaca göre kontrollü bir şekilde kullanılması bakımından iletimi, yalıtımı ve filtreleme işlemleri oldukça önemlidir. Polimer Dağılımlı Sıvı Kristal (Polymer Dispersed Liquid Crystal-PDLC) filmler sahip oldukları hızlı anahtarlanabilme, geçirgenliğinin kolaylıkla ayarlanabilmesi gibi çeşitli avantajlarından dolayı özellikle ışık yalıtımı ve perdeleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, PDLC film tabanlı ışık filtrelemesine yönelik bir kontrol sistemi tasarımı yapılmış ve performansı incelenmiştir. Geliştirilen sistemin donanımı kontrol birimi, ölçüm birimi, güç birimi, kullanıcı arabirimi ve PDLC film düzeneğinden oluşmaktadır. Mikrodenetleyici kartın kullanıldığı kontrol biriminde görünür (VIS), kızılötesi (IR) ve morötesi (UV) ışık filtreleme ayarlarına bağlı olarak sistem için gerekli olan veri toplama ve kontrol işlemleri yürütülmektedir. Güç biriminde PDLC film için gerekli olan besleme, tasarlanan mikrodenetleyici tabanlı ayarlanabilir DC-AC evirici ile sağlanmaktadır. Ölçüm birimi ile VIS, IR ve UV ışık seviyesi ölçülerek kontrol için gerekli geribildirimler elde edilmektedir. Kullanıcı arabirimi olarak OLED ekran ve butonlar kullanılmıştır. Çalışmada 15 cm x 20 cm ebatlarında PDLC film kullanılarak bir düzenek oluşturulmuştur. Geliştirilen sistemin işleyişine yönelik gömülü sistem yazılımı ise Arduino C dilinde kodlanmıştır. Tasarlanan sistemin performansının incelenmesine yönelik deneysel çalışmalar kapsamında, kontrol sistemi ile PDLC film çeşitli enerji formlarında sürülerek ışık filtreleme etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak; sistemde PDLC film gücünün otomatik olarak kontrol edilip ışık geçirgenliğinin değiştirilebilmesi suretiyle, uygulanan 0-30  $V_{rms}$  arası farklı AC gerilim değerleri için görünür ışık geçirgenliği (VLT) oranının %5,1 ile %73,5 arasında,

kızılötesi ışık geçirgenliği (IRT) oranının %9,6 ile %82,4 arasında ve morötesi ışık geçirgenliği (UVT) oranının %0 ile %0,2 arasında ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede PDLC film ile ayarlanan ışık geçirgenliğine bağlı olarak filtreleme işleminin belli oranda yapılabildiği görülmüştür.

**Anahtar Kavramlar** : PDLC Film, Işık Filtreleme, Işık Spektrumu, Gömülü Sistem, Mikrodenetleyici

**Bilim Kodu** : 92417, 93429



# DESIGN OF PDLC FILM-BASED LIGHT FILTERING CONTROL SYSTEM

Soner Muhammed TURAN

ORCID: 0009-0004-3936-7181

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

Master of Science Thesis

April 2024

## ABSTRACT

It is known that exposure to natural and artificial light sources has positive and negative effects on living and non-living entities. On the other hand, there are situations where light needs to be limited for purposes such as air conditioning, insulation, and treatment. Therefore, the transmission, insulation, and filtering processes are crucial for the controlled use of light according to need. Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC) films are widely used in light insulation and shading applications due to their various advantages such as fast switching and easily adjustable transparency. In this thesis study, a control system for PDLC film-based light filtering is designed and its performance is examined. The hardware of the developed system consists of control unit, measurement unit, power unit, user interface and PDLC film assembly. In the control unit where the microcontroller card is used, the data collection and control operations required for the system are carried out depending on the visible (VIS), infrared (IR) and ultraviolet (UV) light filtering settings. In the power unit, the supply required for the PDLC film is provided by the designed microcontroller-based adjustable DC-AC inverter. The necessary feedback for control is obtained by measuring VIS, IR and UV light levels with the measurement unit. OLED display and buttons are used as the user interface. In the study, a setup is created using PDLC film with dimensions of 15 cm x 20 cm. The embedded system software for the operation of the developed system is coded in Arduino C language. Within the scope of experimental studies to examine the performance of the designed system, the light filtering effect is examined by applying PDLC film in various energy forms with the control system. Consequently, by automatically controlling the power of the PDLC film system and adjusting its transparency, the visible light transmission (VLT) ratio could be set between 5.1% and 73.5%, the infrared light transmission (IRT) ratio between 9.6% and 82.4%, and the ultraviolet light transmission (UVT) ratio between 0% and 0.2% for applied AC voltage values

ranging from 0 to 30 Vrms. Thus, it has been observed that filtering can be performed to a certain extent depending on the light transmission adjusted by the PDLC film.

**Key Terms** : PDLC Film, Light Filtering, Light Spectrum, Embedded System, Microcontroller

**Science Code** : 92417, 93429



## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca ilgi ve bilimsel katkılarıyla beni yönlendiren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Serkan DİŞLİTAŞ'a ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eőime ve oğluma teőekkürlerimi sunarım.

Soner Muhammed TURAN



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
RESİMLER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
GİRİŞ.....	1

### 1. BÖLÜM

#### IŞIK

1.1. Işık Temel Kavramları .....	3
1.1.1. Morötesi (UV) ışık .....	6
1.1.2. Görünür (VIS) ışık .....	7
1.1.3. Kızılötesi (IR) ışık .....	8
1.2. UV İndeks .....	8
1.3. Işığın Olumlu ve Olumsuz Etkileri.....	10
1.4. Işık Ölçüm Yöntemleri .....	11

## 2. BÖLÜM

### POLİMER DAĞILIMLI SIVI KRİSTAL (PDLC) FİMLER

	Sayfa
2.1. PDLC Filmler ve Çalışma Prensipleri .....	12
2.2. PDLC Filmlerin Kullanım Alanları .....	16

## 3. BÖLÜM

### TASARLANAN SİSTEM

3.1. Sistemin Genel Yapısı.....	18
3.2. Sistem Donanımı.....	19
3.2.1. Filtreleme kontrol sistemi .....	20
3.2.2. Veri toplama ve kontrol birimi .....	20
3.2.3. DC/AC evirici.....	21
3.2.4. Filtreleme platformu.....	22
3.2.5. Kullanıcı arabirimi .....	23
3.3. Sistem Yazılımı .....	25

## 4. BÖLÜM

### ANALİZ VE BULGULAR

4.1. Deneysel Düzenek.....	27
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>33</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>34</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>38</b>
<b>EK-1 .....</b>	<b>39</b>

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 1.1.</b> Aydınlatma ile ilgili temel kavramlar .....	<b>4</b>
<b>Tablo 1.2.</b> UV ışığın alt kategorileri ve temel özellikleri .....	<b>7</b>
<b>Tablo 1.3.</b> Görünür ışık renginin dalga boyuna göre sınıflandırılması .....	<b>8</b>
<b>Tablo 1.4.</b> Kategorilere göre UVI değerleri ve etkileri .....	<b>9</b>
<b>Tablo 3.1.</b> Tasarlanan sistemin genel karakteristik özellikleri .....	<b>19</b>
<b>Tablo 3.2.</b> Arduino Nano mikrodenetleyici kartı teknik özellikleri.....	<b>21</b>
<b>Tablo 3.3.</b> SI1145 sensör modülü özellikleri .....	<b>23</b>
<b>Tablo 3.4.</b> OLED LCD modül özellikleri .....	<b>25</b>
<b>Tablo 4.1.</b> PDLC filme uygulanan 0-30 $V_{rms}$ arası farklı AC gerilim değerleri için tranmisyon metreden ölçülen VLT, IRT ve UVT oranları.....	<b>29</b>
<b>Tablo 4.2.</b> PDLC filme uygulanan 0-30 $V_{rms}$ arası farklı AC gerilim değerleri için aydınlık seviyesi filtreleme oranları (PDLC film yokken ortam aydınlık seviyesi 250 lx) .....	<b>31</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum içerisinde ışığın sınıflandırılması .....	3
Şekil 1.2. Bir nesnenin ışık kaynağına bağlı olarak görülmesinde etkili olan faktörler arasındaki ilişkisi .....	4
Şekil 1.3. Aydınlık düzeyinin uzaklık ile ilişkisi (Barnett, 2013) .....	5
Şekil 1.4. Işığın yansımaları .....	5
Şekil 1.5. Işığın iletilmesi .....	6
Şekil 1.6. Morötesi ışığın dalga boyuna göre sınıflandırılması .....	6
Şekil 1.7. Kızılötesi ışığın dalga boyuna göre sınıflandırılması .....	8
Şekil 2.1. Klasik PDLC filmlerin çalışma prensibi .....	14
Şekil 2.2. PDLC film çeşitleri: (a) yapışkansız (b) kendinden yapışkanlı (c) akıllı cam .....	15
Şekil 3.1. Tasarlanan sistemin genel blok şeması .....	19
Şekil 3.2. UVI, VIS ve IR filtrelemesine yönelik kapalı çevrim kontrol sistemi .....	20
Şekil 3.3. Mikrodenetleyici tabanlı DC/AC evirici devresi .....	22
Şekil 3.4. $V_i$ analog giriş gerilimine bağlı filtreleme oranı değişimi .....	24
Şekil 3.5. VIS ışık filtreleme için mikrodenetleyici akış şeması .....	26
Şekil 4.1. Deneysel düzenek: (a) genel görünüm (b) blok gösterim .....	27
Şekil 4.2. PDLC filme uygulanan AC gerilime bağlı VLT / IRT / UVT oranları .....	30
Şekil 4.3. Uygulanan AC gerilime bağlı PDLC film ışık filtreleme oranları .....	30
Şekil 4.4. Uygulanan AC gerilime bağlı PDLC film aydınlık seviyesi filtreleme oranları .....	32

## RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
<b>Resim 2.1.</b> PDLC film örnekleri: (a) Çeşitli renkte PDLC filmler (b) PDLC filmlerli camlar (c) PDLC film güç Açık/Kapalı işletimi.....	<b>12</b>
<b>Resim 2.2.</b> PDLC film uygulama alanları.....	<b>17</b>
<b>Resim 3.1.</b> Tasarlanan sistemin genel görünümü.....	<b>18</b>
<b>Resim 3.2</b> Arduino Nano mikrodenetleyici kartı.....	<b>21</b>
<b>Resim 3.3.</b> SI1145 sensör modülü.....	<b>22</b>
<b>Resim 3.4.</b> OLED LCD modülü.....	<b>24</b>
<b>Resim 3.5.</b> UVI kontrol sistemi ekran alıntısı.....	<b>25</b>
<b>Resim 4.1.</b> Uygulanan farklı AC gerilim seviyeleri için PDLC film görüntüleri.....	<b>28</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

E	Aydınlık Düzeyi (lx)
e	Ölçüm Hatası (nm)
f	Frekans (Hz)
I	Akım Şiddeti (A)
L	Parıltı / Parlaklık / Lüminans (cd/m <sup>2</sup> )
m	Ölçüm Değeri (nm)
sp	Ayar/Referans Değeri (nm)
V	Gerilim / Potansiyel Fark (V)
$\Phi$	Işık Akısı (lm)
$\lambda$	Işık Dalga Boyu (m)

### Kısaltmalar

A	Amper (Akım Şiddeti Birimi)
AC	Alternatif Akım (Alternative Current)
cd	Kandela (Işık Şiddeti Birimi)
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
EEPROM	Elektrikle Silinebilir Programlanabilir Sadece Okunabilir Bellek (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
EUV	Aşırı Ultraviyole Işın (Extreme Ultraviolet)
g	Gram
GPIO	Genel Amaçlı Giriş- Çıkış (General Purpose Input-Output)
ICSP	Devre Üzerinde Seri Programlama (In-Circuit Serial Programming)

I <sup>2</sup> C	Entegre Devreler Arası (IIC/I <sup>2</sup> C- Inter-Integrated Circuit)
IESNA	Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Derneği (Illuminating Engineering Society of North America)
IR	Kızılötesi (Infrared)
IRR	Kızılötesi Işık Reddetme (Infrared Rejection)
IRT	Kızılötesi Işık Geçirgenliği (Infrared Transmittance)
ITO	İndiyum Kalay Oksit (Indium Tin Oxide)
KB	Kilobayt (Kilobyte)
LC	Likit Kristal (Liquid Crystal)
mA	Miliamper
mm	Milimetre
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MOSFET	Metal Oksit Yarı iletken Alan Etkili Transistör (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
NIR	Yakın Kızılötesi (Near Infrared)
nm	Nanometre
NPN	Transistör Tipi (Negatif - Pozitif - Negatif)
OLED	Organik Işık Yayan Diyot (Organic Light Emitting Diode)
PDLC	Polimer Dağılımlı Likit Kristal (Polymer Dispersed Liquid Crystal)
PWM	Puls Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
RMS	Kare Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square)
SPI	Seri Çevresel Arabirim (Serial Peripheral Interface)
SRAM	Statik Rastgele Erişimli Bellek (Static Random Access Memory)
UART	Evrensel Asenkron Alıcı/Verici (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı

USB	Evrensel Seri Veriyolu (Universal Serial Bus)
UV	Morötesi / Ultraviyole (Ultraviolet)
UVA	Ultraviyole A Bölgesi
UVB	Ultraviyole B Bölgesi
UVC	Ultraviyole C Bölgesi
UVI	Ultraviyole İndeks (Ultraviolet Index)
UVR	Ultraviyole Işık Reddetme (Ultraviolet Rejection)
UVT	Ultraviyole Işık Geçirgenliği (Ultraviolet Transmittance)
V	Volt (Gerilim/Potansiyel Fark Birimi)
VIS	Görünür Işık (Visible Light)
VLR	Görünür Işık Yansıtma (Visible Light Reflectance)
VLT	Görünür Işık Geçirgenliği (Visible Light Transmittance)
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization)

## GİRİŞ

Doğal ve yapay ışık kaynaklarının canlı ve cansız varlıklar üzerine olumlu ve olumsuz çeşitli etkilerinin olduğu bilinmektedir. Güneş kaynaklı yeryüzüne ulaşan morötesi (UV) ışınlar özellikle kansere neden olan cilt ve göz hastalıkları, yanık, yaşlanma vb. sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir. Diğer taraftan sağlık açısından vücudun D vitaminini sentezlenebilmesi için insanların belirli bir süre güneş ışığına maruz kalması gerekmektedir. Ayrıca özellikle tedavi, dezenfeksiyon, yalıtım, iklimlendirme gibi konularda ışığın kontrollü bir şekilde tatbik edilmesine yönelik yararlı uygulamalar da mevcuttur. Bu açıdan ışığın ihtiyaca göre kontrollü bir şekilde elde edilmesi, gerektiğinde engellenmesi veya filtrelenerek aydınlatma ve ısı etkilerinin azaltılması gibi durumlar söz konusu olabilmektedir (Demircioğlu ve Yılmaz, 2005; Amerikan Kanser Topluluğu, 2019).

Cam günümüze kadar uzanan süreçte birçok teknolojik gelişmeler yaşamıştır. Bunların en önemlilerinden biri, camı malzemeye elektrik, ışık ya da ısı gibi bir potansiyel uygulandığında ışık geçirgenliği özelliklerinin değiştiği, akıllı ya da değişebilir cam olarak adlandırılan malzeme grubunun hayatımıza girmesidir. Böylesi camlar UV ve kızıl ötesi (IR) ışık engelleme özellikleri sayesinde hem sağlıklı hem de ekonomiktirler (Açıksarı, 2018). Akıllı camlara bir elektrik alanı uygulandığında reaksiyon gösterir; görünür modülasyonu modüle ederek güneş radyasyonunu ve termal geçirgenliği kontrol edebilirler (Casini, 2018). PDLC akıllı camlara da elektrokromik sistemlerdeki gibi elektrik uygulandığında optik özelliklerinde değişim görülmektedir (Wong, 2014).

Uygulanan alternatif akım (AC) seviyesine bağlı olarak ışık geçirgenliğinin ayarlanmasıyla opak veya transparan görünüm alan Polimer Dağılımlı Sıvı Kristal (Polymer Dispersed Liquid Crystal - PDLC) filmlerin sahip oldukları esnek yapıları, hızlı anahtarlanabilme özellikleri, geçirgenliklerinin kolaylıkla ayarlanabilmesi, düşük güç tüketimleri, kontrollerinin elle, uzaktan veya otomatik olarak yapılabilmesi gibi çeşitli avantajlarından dolayı özellikle ısı ve ışık yalıtımı, perdeleme, gizlilik, güvenlik ve genel konforun artırılmasına yönelik uygulama alanları her geçen gün hızla yaygınlaşmaktadır (Güçlü, 2019).

Literatür araştırmasına göre; PDLC filmlerin üretimi, optik ve elektriksel özelliklerinin iyileştirilmesi, farklı teknolojilere uyarlanması amacıyla çeşitli alanlarda yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Iluyemi, 2022). İslam ve arkadaşları, akıllı cam uygulamalarına yönelik olarak kullanılan PDLC filmlerin kalınlık, boyut gibi fiziksel özelliklerine bağlı elektriksel ve optik özelliklerini incelemişlerdir (İslam vd., 2023-B). Hemadia ve arkadaşları ise çalışmalarında, PDLC cam sisteminin iç mekânda optik ve termal performansı incelemişlerdir (Hemaida vd., 2020). Shi ve arkadaşları çalışmalarında, polimerizasyona bağlı faz ayırma (PIPS) işlemi ile prepolimer, sıvı kristal ve fosfor yüklü retiküler nanofiber filmlerin karışımından PDLC filmler hazırlamışlardır. Farklı oranlarda monomer tipleri ve sıvı kristal içerikli numunelerin

mikroyapı ve elektro-optik eğrileri karşılaştırılarak, polimer ağının boşluk boyutunun PDLC filmlerinin elektro-optik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir (Shi vd., 2022).

Islam ve arkadaşları, bir çalışmalarında ise Umman'da elektrokromik (EC) ve PDLC tabanlı akıllı anahtarlanabilir camların kullanımına bağlı bina enerji analizi üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, PDLC filmler için IoT tabanlı akıllı, düşük maliyetli ve verimli bir kontrolör geliştirilerek çeşitli ortam sensörlerine bağlı olarak PDLC film geçirgenliklerinin otomatik ve kablosuz bir şekilde ayarlanabilmeleri sağlanmıştır (Islam vd., 2023-A).

Literatürde uygulamaya yönelik olarak PDLC film tabanlı çeşitli sistem tasarımları da mevcuttur. Abosaq ve arkadaşları, tasarladıkları PDLC filmleri içeren mikrodenetleyici tabanlı bir minyatür sera sistemi ile güneş ışığı miktarını kontrol ederek bitki gelişimini incelenmiştir (Abosaq vd., 2023). Pantoja ve arkadaşları, PDLC filmler ile hologram görüntünün iyileştirilmesine yönelik yaptıkları deneysel çalışmalarda, çeşitli geçirgenlik seviyelerine göre hologram görüntünün piksel yoğunluğunun değiştiğini, bazı geçirgenlik seviyelerinde görüntünün netliğinin artırdığını tespit etmişlerdir (Pantoja, 2015). Bir diğer çalışmada ise, Park ve Hong tasarladıkları sistemle PDLC filmin ışık filtrelemesi üzerine çalışmıştır. Tasarlanan sistemde güneş ışınlarını algılamak için programlanabilir bir Arduino ışık sensörü kullanılmıştır. PDLC filme 60 Hz frekansa sahip 100 V AC gerilim uygulanmış ve tasarlanan düzenek, sistemin geleneksel cam ile karşılaştırıldığında %39 enerji tasarrufu sağlamış; kaydedilen UV ışığı %98'e kadar ve kaydedilen yakın kızılötesi (NIR) ışığı %12 ile %38 arasında bloke etmiştir (Park & Hong, 2009). Keyoonwong ve arkadaşları ise çalışmalarında, PDLC film ile ışık filtreleme için farklı gerilim seviyelerinin güç tüketimine bağlı olarak ışık iletim hızını etkilediği sonucuna ulaşmışlardır (Keyoonwong vd., 2018).

Bu tez çalışmasında, PDLC film teknolojisi kullanılarak VIS, IR ve UV filtrelemesine yönelik mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol sistemi tasarımı yapılmış ve performansı incelenmiştir. Tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Tezin giriş bölümünde, ışınlarının zararlı etkileri ve bu etkileri engellemek için yapılan çalışmalar ile ilgili literatür bilgisi verilmiştir. Tezin birinci bölümünde, ışık temel kavramları konusunda bilgiler verilmiştir. Tezin ikinci bölümünde, PDLC film ile ilgili temel bilgiler verilmiş, çalışma prensibi anlatılmış ve uygulama alanlarına değinilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde, tasarlanan ve gerçekleştirilen ışık filtrelemesi yapan gömülü sistem donanım ve yazılım yönüyle anlatılmıştır. Tezin dördüncü bölümünde, gerçekleştirilen sistemin deneysel analizi yapılarak performansı incelenmiştir. Tezin sonuç bölümünde, tasarlanan sistemin genel bir değerlendirilmesi yapılarak kullanılabilirliği ve geliştirilebilirliği hakkında bilgiler verilmiştir.

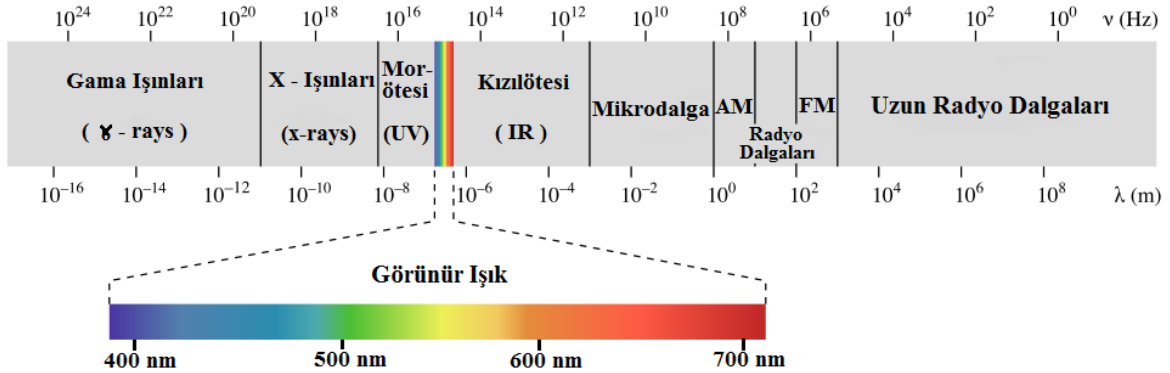
# 1. BÖLÜM

## IŞIK

### 1.1. Işık Temel Kavramları

Işık, elektromanyetik radyasyonun bir türüdür ve farklı dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgaların yayılmasıyla oluşur. Elektromanyetik dalgalar ise elektrik ve manyetik alanların dalga biçiminde yayılmasıyla oluşur. Bu dalgalar, boşlukta yaklaşık ışık hızı ile ilerlerler. Işık dalgalarının frekansı, bir saniyedeki tam döngü sayısını ifade eder ve Hertz (Hz) birimiyle ölçülür. Daha yüksek frekanslı ışık, daha kısa dalga boylarına sahipken, daha düşük frekanslı ışık, daha uzun dalga boylarına sahiptir. Işık dalgalarının dalga boyu, bir dalganın bir tam döngü yapmak için kullandığı uzaklığı ifade eder ve genellikle metre (m) olarak ölçülür. Frekans ve dalga boyu arasında ters bir ilişki vardır. Yüksek frekanslı ışık kısa dalga boylarına sahipken, düşük frekanslı ışık uzun dalga boylarına sahiptir. (Onaygil, 2000; Ünal, 2014; Özkaya, 2011).

Şekil 1.1'de elektromanyetik spektrum içerisinde ışığın dalga boyuna göre sınıflandırılması görülmektedir. Spektrum içerisinde ışığın en küçük dalga boyundan en büyük dalga boyuna doğru gama ışınları, X-ışınları, görünür ışık, kızılötesi, mikrodalga, radyo ve uzun radyo dalgaları şeklinde sıralandığı görülmektedir.



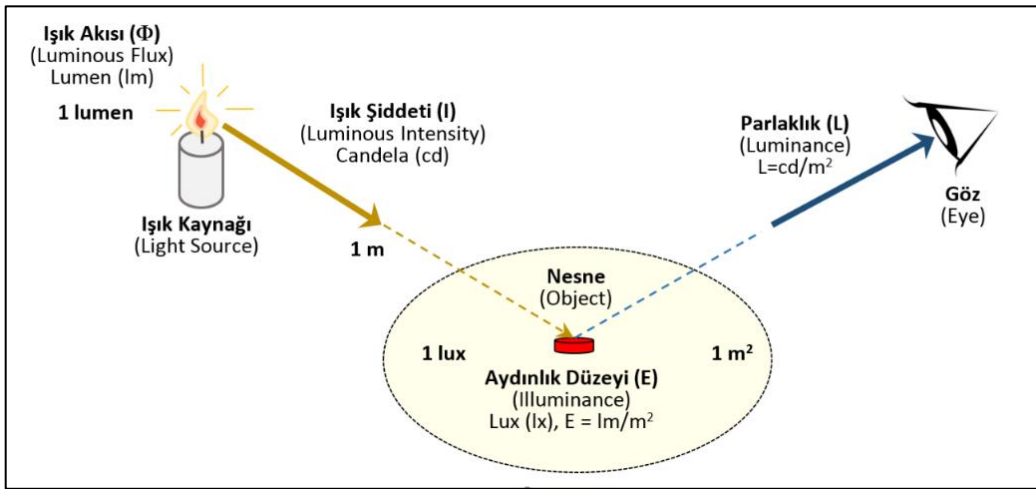
Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum içerisinde ışığın sınıflandırılması

Uluslararası Aydınlatma Komisyonuna (CIE) göre; aydınlatma, çevre veya bir nesnenin gereği gibi görülebilmesi için ışık uygulanmasıdır (IESNA, 2000). Aydınlatma, görme ihtiyacını karşılayan ışığın ortamdaki dağılımını kontrol eden ve görme konforuna bağlı olarak ışık verimini yükseltmeyi amaçlayan bilim dalı haline gelmiştir (Demirdeş, 1993). Aydınlatma ile ilgili temel kavramlar Tablo 1.1'de verilmiştir (Onaygil, 2000; Ünal, 2014; Özkaya vd., 2011).

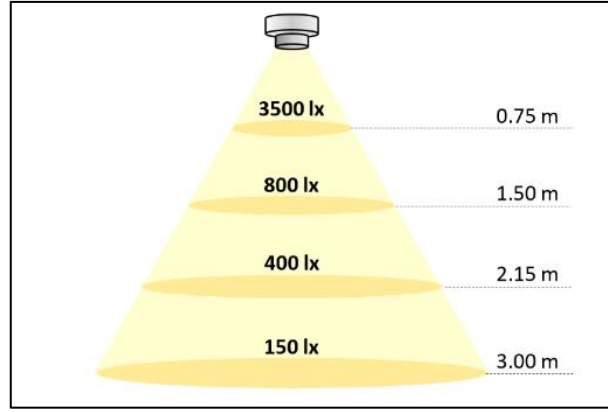
**Tablo 1.1.** Aydınlatma ile ilgili temel kavramlar

Terim	Sembol	Birim	Açıklama
Işık Şiddeti	I	cd	Bir ışık kaynağından belirli bir açıda yayılan görünebilir ışık miktarıdır.
Işık Akısı	$\Phi$	lm	Bir ışık kaynağından 1 saniyede yayılan ışık miktarıdır.
Aydınlık Düzeyi	E	lx	Bir yüzeyin birim alanına düşen ışık akısı miktarıdır.
Parıltı/Parlaklık	L	cd/m <sup>2</sup>	Belirli bir doğrultuda aydınlatılan yüzeye ait birim alana düşen ışık şiddetidir. Yüzeyin algılanan parlaklığını verir.
Işık Dalga Boyu	$\lambda$	m	Işığın birim frekanstaki hızını ifade eder.

Şekil 1.2’de bir nesnenin ışık kaynağına bağlı olarak görülmesinde etkili olan ışık şiddeti, aydınlık düzeyi gibi çeşitli faktörler arasındaki ilişkisi görülmektedir (Onaygil, 2000; Ünal, 2014; Özkaya vd., 2011). Aydınlik düzeyi, ışık kaynağından gelen ışık akısının yüzeye olan açısına ve yüzeyin ışık kaynağından uzaklığına bağlıdır (Şekil 1.3). Bir ışık kaynağına aynı mesafe ve açıda bulunan iki farklı yüzeyden koyu renkli olan, açık renkli olana göre daha az aydınlık düzeyine sahiptir (Aydoğduoğlu, 2021).

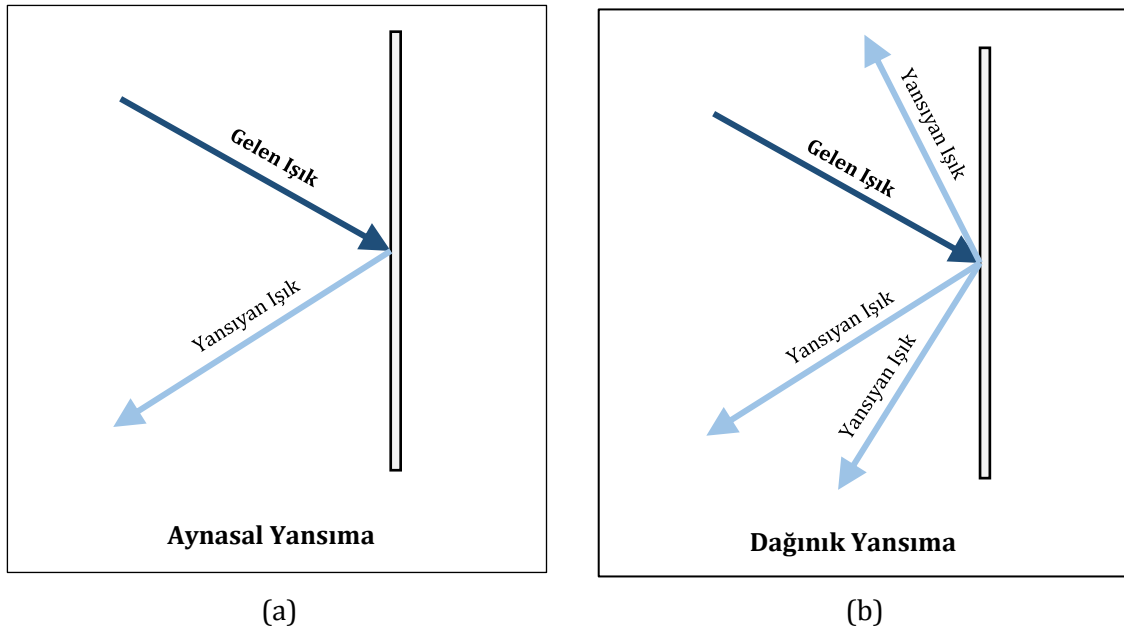


**Şekil 1.2.** Bir nesnenin ışık kaynağına bağlı olarak görülmesinde etkili olan faktörler arasındaki ilişkisi

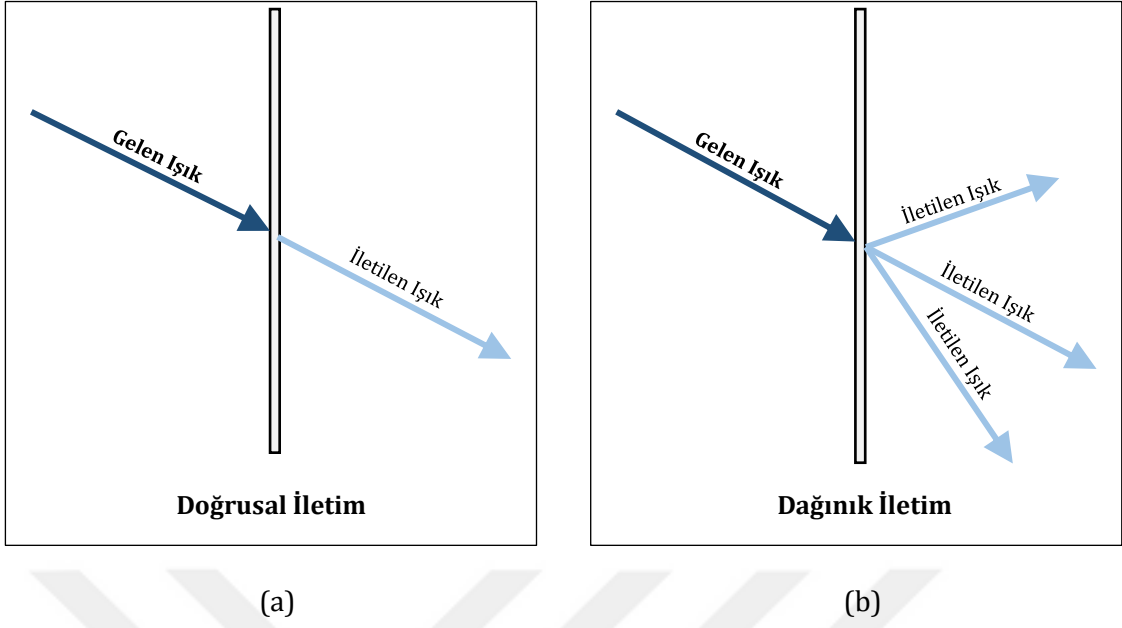


**Şekil 1.3.** Aydınlık düzeyinin uzaklık ile ilişkisi (Barnett, 2013)

Işık, bir yüzeye çarptığında yüzeyin yapısına ve ışığın frekansına bağlı olarak bir kısmı iletilir, bir kısmı yansıtılır, bir kısmı emilir ve bir kısmı saçılabilir. Hiçbir şey tamamen şeffaf değildir. Her yüzey (kara cisim hariç) ışığı yansıtır ancak bu yansıma yüzeyin türüne göre değişiklik gösterir (Yılmaz, 2020). Şekil 1.4'te görüldüğü gibi ışığın yansıması aynasal ve dağınık olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Aynasal yansımada ışık geldiği açıda yansyarak doğrusal hat boyunca hareketine devam ederken, dağınık yansımada ışık farklı açılarda yansyarak hareketine devam eder. Şekil 1.5'te görüldüğü gibi ışığın iletilmesi doğrusal ve dağınık olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Doğrusal iletimde ışık, doğrusal hat boyunca iletim hareketine devam ederken, dağınık iletimde ışık farklı açılarda iletim hareketine devam etmektedir.



**Şekil 1.4.** Işığın yansıması: (a) aynasal yansımaya (b) dağınık yansımaya

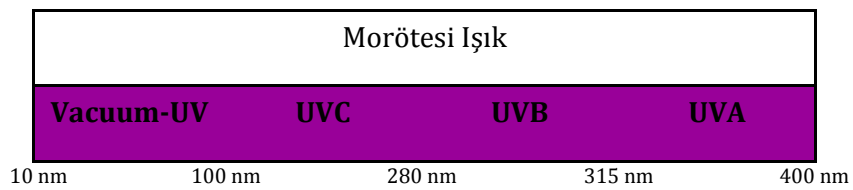


**Şekil 1.5.** Işığın iletilmesi: (a) doğrusal iletim (b) dağınık iletim

Nesnelerin optik özelliklerinin belirlenmesinde geçirgenliğe bağlı olarak ışığın iletimi, emilimi ve yansıtılması önemli bir unsurdur. Bu açıdan VIS, IR ve UV ışık spektrumları için görünür ışık geçirgenliği (VLT), kızılötesi ışık geçirgenliği (IRT), morötesi ışık geçirgenliği (UVT), görünür ışık yansıtma (VLR), kızılötesi ışık reddetme (IRR) ve morötesi ışık reddetme (UVR) parametreleri dikkate alınarak nesnelerin optik özellikleri değerlendirilir (Islam vd., 2023-B; Linshang, 2023).

### 1.1.1. Morötesi (UV) ışık

Morötesi (UV - ultraviyole) ışık, elektromanyetik spektrumun 10 nm - 400 nm dalga boyları arasında yer alan elektromanyetik radyasyondur. Şekil 1.4'te insan gözü tarafından algılanamayan UV ışığın dalga boyuna göre sınıflandırılması görülmektedir (Youssef, 2011). Diğer elektromanyetik dalgalar gibi fotonlardan oluşan UV ışığın temel özellikleri ise Tablo 1.1'de verilmiştir (NASA, 2016).



**Şekil 1.6.** Morötesi ışığın dalga boyuna göre sınıflandırılması

**Tablo 1.2.** UV ışığın alt kategorileri ve temel özellikleri

UV Sınıf	Dalga Boyu (nm)	Açıklama
UVA	315 - 400	<ul style="list-style-type: none"><li>• Daha düşük enerjili olan UVA ışığı, güneş ışığındaki UV bileşeninin büyük bir kısmını oluşturur.</li><li>• Cildimizdeki deri hücrelerini etkileyebilir ve cilt yaşlanmasına yol açabilir.</li></ul>
UVB	260 - 315	<ul style="list-style-type: none"><li>• Daha yüksek enerjili olan UVB ışığı, güneşin zararlı etkileriyle ilişkilendirilir. Cilt kanseri, güneş yanığı DNA ve diğer hücrel hasar riskini artırır.</li><li>• UVB ışınlarının yaklaşık yüzde 95'i Dünya atmosferindeki ozon tarafından emilir.</li></ul>
UVC	100 - 260	<ul style="list-style-type: none"><li>• UVC ışını, atmosfer tarafından emilir ve yeryüzüne ulaşamaz.</li><li>• Yüksek enerjili olduğu için mikrop ve virüslerin sterilizasyonu amaçlı olarak kullanılabilir (Youssef, 2011).</li></ul>
EUV	10 - 100	<ul style="list-style-type: none"><li>• EUV radyasyonu üst atmosferi iyonize ederek iyonosferi oluşturur.</li><li>• Dünya'nın termosferi esas olarak Güneş'ten gelen EUV dalgaları ile ısıtılır.</li><li>• Güneş EUV dalgaları atmosfere nüfuz edemediğinden, bilim insanları EUV'yi roketler ve uydular kullanarak ölçmektedir. (Donald, 2001)</li></ul>

### 1.1.2. Görünür (VIS) ışık

Elektromanyetik spektrumun insanlar tarafından çıplak gözle görülebilen 380 nm ile 780 nm arasındaki kısmına görünür (VIS- Visible) ışık denir. Bu dalga boyları, gözlerimiz tarafından algılanabilen renkleri oluşturur. Daha kısa dalga boylarına sahip olan ışık mavi ve mor renkte, daha uzun dalga boylarına sahip olan ışık ise kırmızı ve turuncu renkte görünür. Görünür ışığın farklı dalga boylarına sahip bölümleri farklı renkleri oluşturur (Onaygil, 2000). Görünür ışık renginin dalga boyuna göre sınıflandırılması Tablo 1.2'de verilmiştir (Craig, 2006).

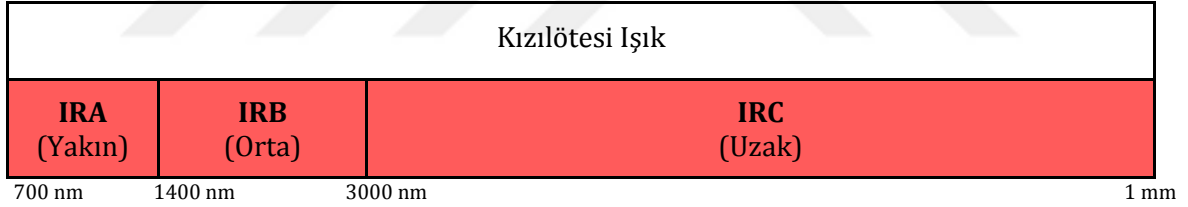
**Tablo 1.3.** Görünür ışık renginin dalga boyuna göre sınıflandırılması

Dalga Boyu Aralığı (nm)	Işık Renk Türü
400- 450	Mavi
450- 495	Mor (Lavanta) / Maviye Yakın Mor
495- 570	Yeşil
570- 590	Sarı
590- 620	Turuncu
620- 700	Kırmızı

### 1.1.3. Kızılötesi (IR) ışık

Kızılötesi (IR- infrared) ışık, elektromanyetik spektrumda görünür ışığın altında ve mikrodalga radyasyonun üstünde yer alır. IR ışık, yaklaşık 700 nm ile 1 mm arası dalga boylarını içerir (George, 1993).

Şekil 1.5'te görüldüğü gibi Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), IR ışınımının yakın (IRA), orta (IRB) ve uzak (IRC) olmak üzere üç temel banta ayrılmasını teklif etmiştir (Henderson, 2007).








**Şekil 1.7.** Kızılötesi ışığın dalga boyuna göre sınıflandırılması

### 1.2. UV İndeks (UVI)

UV indeksi (UVI), güneş tarafından yayılarak yeryüzüne ulaşan ve insan sağlığını olumsuz olarak etkileyebilecek UV radyasyon seviyesini bildiren tüm dünya tarafından kabul edilen uluslararası bir standart ölçüm göstergesidir. UV indeksi 1994 yılında Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından geliştirilerek kabul edilmiştir (Heckman, 2019). Meteoroloji Genel Müdürlüğüne (MGM) göre; UV İndeks; gün içerisinde, güneş tam tepede iken yer yüzeyine ulaşması beklenen ve insan sağlığına zararlı olabilecek UV radyasyon miktarının, 0'dan 15'e kadar uzanan bir ölçek üzerinde sınıflandırılmasıdır. Bu ölçeklendirmeye göre 1 UVI = 0.025 W/m<sup>2</sup> olarak ifade edilmektedir. Tablo 1.3'te 1 ile 11+ arasında düşük, orta, yüksek, çok yüksek ve aşırı yüksek olarak kategorilere ayrılan UVI değerleri ve etkileri verilmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü,

2023). UVI hem UVA hem de UVB kullanarak güneş yoğunluğunun bir ölçüsünü vermektedir. UV radyasyon seviyesi gün içerisinde güneşin konumuna göre farklılık göstermektedir ve güneş ışınlarının dünyaya tam dik geldiği saat 12.00-14.00 saatleri arasında maksimum seviyeye ulaşmaktadır. UVI değeri, ekvatora yakınlık durumu, güneşin mevsim ve saata bağlı gökyüzündeki yüksekliği ve açısı, bulutluluk oranı, rakım ve bulunulan enlemdeki ozon seviyesine göre hesaplanmaktadır (U.S. EPA, 2023).

**Tablo 1.4.** Kategorilere göre UVI değerleri ve etkileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

UV İndeks	Kategori	Açıklama
	<b>Düşük (Low)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Güneş UV ışınlarının zararı asgari düzeydedir.</li> <li>İnsanlar 10.00-16.00 saatleri arasında yaklaşık 60 dakika yanmadan güneşte kalabilir.</li> </ul>
	<b>Orta (Medium)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Güneş UV ışınlarının düşük risk olasılığını işaret eder.</li> <li>İnsanlar yaklaşık 20 dakika zarar görmeksizin güneşte kalabilir.</li> <li>Şapka ve güneş gözlüğü gibi temel korunma araçları kullanılması önerilir</li> </ul>
	<b>Yüksek (High)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Orta şiddette UV radyasyonu temsil eder.</li> <li>En fazla 15 dakika güneşte kalınabilir.</li> <li>Şapka, gözlük, krem gibi önlemler alınması şiddetle önerilir.</li> </ul>
	<b>Çok Yüksek (Very High)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oldukça yüksek UV radyasyonu temsil eder.</li> <li>En fazla 10 dakika güneş altında kalınmalıdır.</li> <li>Şapka ve güneş gözlüğü gibi temel korunma araçları kullanılmalıdır.</li> </ul>
	<b>Aşırı Yüksek (Extreme)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UV radyasyonun canlılar üzerindeki en yüksek risklerini işaret etmektedir.</li> <li>En fazla 5 dakika güneş altında kalınmalıdır.</li> <li>Güneşe çıkılması durumunda krem, şapka, şemsiye vb. önlemler alınmalıdır.</li> </ul>

### 1.3. Işığın Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Işığın çeşitli ortamlardan geçerken veya yüzeylere çarparken oluşturduğu etkiler birçok alanda farklı şekillerde gözlemlenebilir. Bu etkilerin olumlu ve olumsuz birçok etkisi bulunmaktadır.

Hayati derecede öneme sahip olan ışığın enerji kaynağı olması, görme yetisi sağlaması, sağlığa olan etkisi gibi birçok olumlu etkisi bulunmaktadır (Bayram, 2009):

- Işık, görsel algımızın temel kaynağıdır ve bize çevremizi görmemizi sağlar. Görme duyusu, bilgi almanın ve çevresel tehlikeleri tespit etmenin temel bir yoludur.
- Güneş, temel bir ışık kaynağıdır ve Dünya'ya ulaşan güneş ışığı, fotosentezle bitkilerin enerji üretmesini sağlar. Ayrıca güneş enerjisi, elektrik ve ısınma için kullanılabilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır (Bayram, 2009).
- Işık, insanların duygu durumunu, enerji seviyelerini ve uyku düzenini etkileyebilir. Doğal gün ışığı, insanların serotonin seviyelerini artırabilir ve mevsimsel duygu durum bozukluklarının önlenmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, yapay ışık kaynakları, tıp alanında teşhis ve tedavi amacıyla da kullanılır. Daha çok gün ışığına maruz kalan hastalar, daha az stres yaşıyor ve daha az ilaç kullanımı oluyor (Jeffrey, 2005). Güneş kaynaklı morötesi ışık ile deride sentez edilen D vitamini özellikle kas ve iskelet sistemi sağlığı açısından çok önemlidir (Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, 2022).
- Işık, optik fiber teknolojisi sayesinde iletişimde kullanılır. Işık sinyalleri, yüksek hızda ve yüksek kapasitede veri iletimine olanak tanır ve internet, telefon ve televizyon gibi haberleşme hizmetlerinde önemli bir rol oynar (Senior, 1985).
- Ayrıca ışık enerjisi; fotoğrafçılık, sanat, tarım, güvenlik, arkeoloji gibi hayatın her alanında ihtiyaç duyduğumuz temel kaynaklardan biridir (Uzun, 2014).

Işığın yanlış kullanımı veya aşırı maruz kalınması durumunda, özellikle insanların fiziksel sağlığına ve çevreye olumsuz yönde etkileri de mevcuttur:

- Uzun süreli bilgisayar kullanımı, yapay ışık kaynaklarından gelen aşırı parlaklık ve düşük kalitedeki aydınlatma, göz yorgunluğu, göz kuruluğu ve baş ağrısı gibi sorunlara neden olabilir. Gözlerde ise başlangıçta enfeksiyona (konjunktivit, keratit) yol açarken ilerleyen dönemde katarakt gelişme riskini artırmaktadır (Medicana Sağlık Grubu, 2017).
- Özellikle uzun süreli güneş ışığına maruz kalmanın bağışıklık sistemi üzerinde de olumsuz etkisi bulunmaktadır. Yeryüzüne ulaşan ultraviyole ışınlarından, insan ve diğer canlıların sağlığı açısından en tehlikeli olanı UVB'dir. Güneşe veya parlak ışık kaynaklarına doğrudan bakma, retinada kalıcı hasarlara ve görme kaybına neden olabilir. Ayrıca uzun süreli loş veya yetersiz aydınlatma altında çalışmak, insanları halsiz ve yorgun hissettirebilir ve stres seviyelerini artırabilir (Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, 2022).

- Güneş ışığına aşırı maruz kalma, ciltte erken yaşlanma, güneş yanıkları ve cilt kanseri riskini artırabilir. UV ışınları, ciltte deoksiribo nükleik asit (DNA) hasarına neden olabilir ve sağlıklı cilt değişikliklerine yol açabilir. Güneşin cildin erken yaşlanması ve deri kanserlerindeki en önemli etken olduğu konusu tartışılmaz. Genel olarak, güneşten yayılan morötesi ışınlarına maruz kalmak (UVA veya UVB) erken deri yaşlanması belirtilerinin %90' nından sorumludur ve bu etkilerin çoğu 20 yaşında başlar. En tehlikeli cilt kanseri olan melanoma ise yaşamın erken dönemlerindeki yoğun güneş ışığı alımına bağlanabilir. UVA ve UVB ışınlarının her ikisi de genetik zarara, kırışıklıklara, enfeksiyonlara karşı bağışıklık azalmasına, deri yaşlanmasına ve kansere neden olur (Medicana Sağlık Grubu, 2017).

#### **1.4. Işık Ölçüm Yöntemleri**

Işık ölçüm yöntemleri, çeşitli alanlarda ışığın yoğunluğunu, spektrumunu veya diğer özelliklerini ölçmek için kullanılan tekniklerdir. Bu yöntemler, bilimsel araştırmalardan endüstriyel uygulamalara kadar çeşitli alanlarda kullanılır.

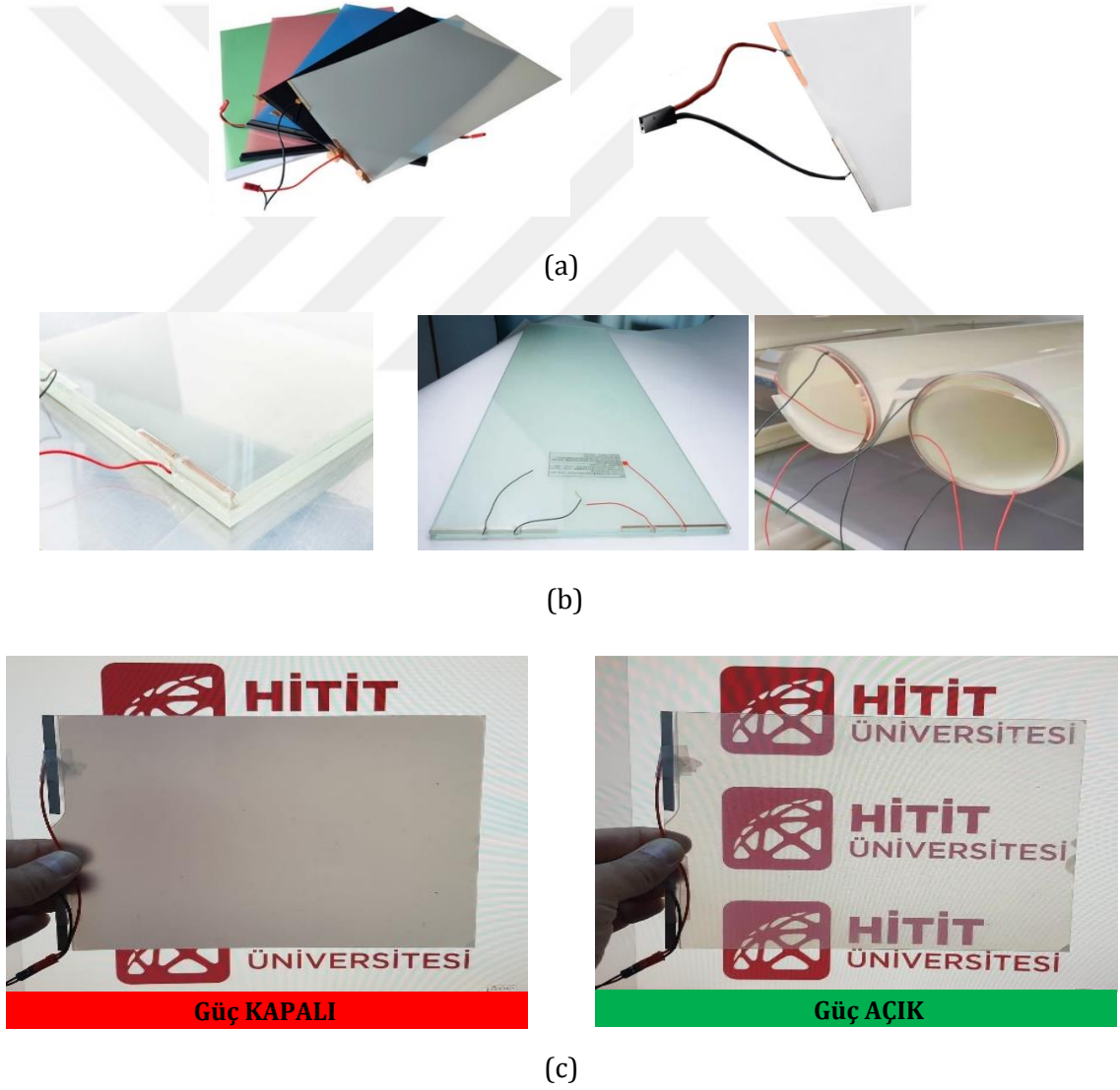
Işık ölçüm uygulamalarında yaygın olarak kullanılan UV ışıkölçer, fotometri, radyometri gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. UV sensörler yardımıyla 260 nm ile 400 nm dalga değerleri arasındaki UVA ve UVB ışıklarının ölçümleri yapılabilmektedir.

## 2. BÖLÜM

### POLİMER DAĞILIMLI SIVI KRİSTAL (PDLC) FİLMLER

#### 2.1. PDLC Filmler ve Çalışma Prensipleri

PDLC filmler, uygulanan alternatif akım (AC) seviyesine bağlı olarak ışık geçirgenliği ayarlanarak opak veya transparan görünüm alan, temel olarak polimer matriste dağılmış mikron boyutlu likit kristal molekül dizilerinden oluşan üç boyutlu yapılardır. PDLC filmler, yaygın kullanım alanları nedeniyle opaklık değişimine bağlı olarak nüfuz eden ışık miktarının kontrol edilebildiği en popüler akıllı cam teknolojilerinden biridir (Lamontagne, 2019; Hakemi, 2019). Resim 2.1'de çeşitli ebatlarda PDLC film örnekleri görülmektedir.



**Resim 2.1.** PDLC film örnekleri: (a) Çeşitli renkte PDLC filmler (b) PDLC filmlili camlar (c) PDLC film güç Açık/Kapalı işletimi

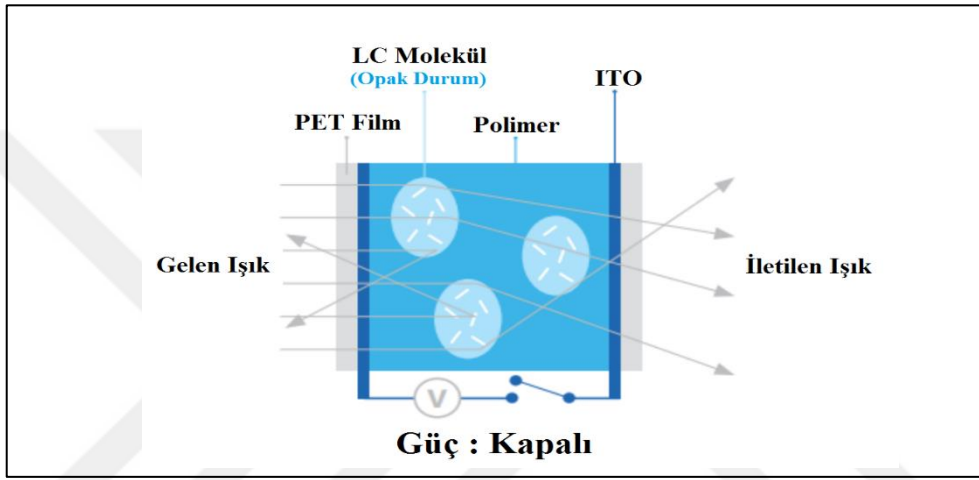
Şekil 2.1’de görüldüğü gibi PDLC filmlerin yapısı çeşitli katmanlardan oluşmaktadır. En iç katmanda polimer matris yer almaktadır. Polimer matrisler ise mikro boyutlu likit kristal (LC) damlacıklarla dolu delikleri içermektedir (Nasir, 2020). LC damlacıkların yönüne bağlı olarak, gelen ışık (incident light) ya film boyunca nüfus edilir ya da yansıtılır. LC damlacıklar ve polimer matris homojen bir solüsyon yapı oluşturmak için karışık haldedir. Bu homojen solüsyon yapı iki ince tabaka (ITO- Indium Tin Oxide) arasında sandviç şeklinde tutulur. ITO tabakaları elektrot olarak görev yaptığından, bir gerilim uygulandığında elektrik akımının polimer solüsyona iletilmesini sağlar. Bu işlem elektrik alanı yönüne bağlı olarak LC damlacıkların yeniden yönlendirilmesine neden olur. PDLC filmin en dışında ise hasar görmesini önlemek için koruyucu bir katman yer almaktadır (Kumar, 2021).

Şekil 2.1’de uygulanan AC gücün açık ve kapalı olmasına göre PDLC filmlerin çalışma prensibi görülmektedir. PDLC filmin opaklığı, film içerisindeki LC’lerin hizalanmasına bağlı olarak değişmektedir (Saeed, 2020). Normalde PDLC filme herhangi bir AC gerilim uygulanmadığında, LC’ler rastgele bir şekilde konumlanarak ışık geçişine engel olurlar ve neticede filmde opak bir görünüm elde edilir (Şekil 2.1.(a)). PDLC filme bir AC gerilim uygulandığında ise LC’ler meydana gelen elektrik alanı yönüne bağlı olarak hizalanarak ışık geçişine müsaade ederler ve neticede filmde transparan bir görünüm elde edilir (Şekil 2.1.(b)). Uygulanan AC gerilim seviyesine göre PDLC filmin transparanlığı değişebilmektedir (Zhou, 2019).

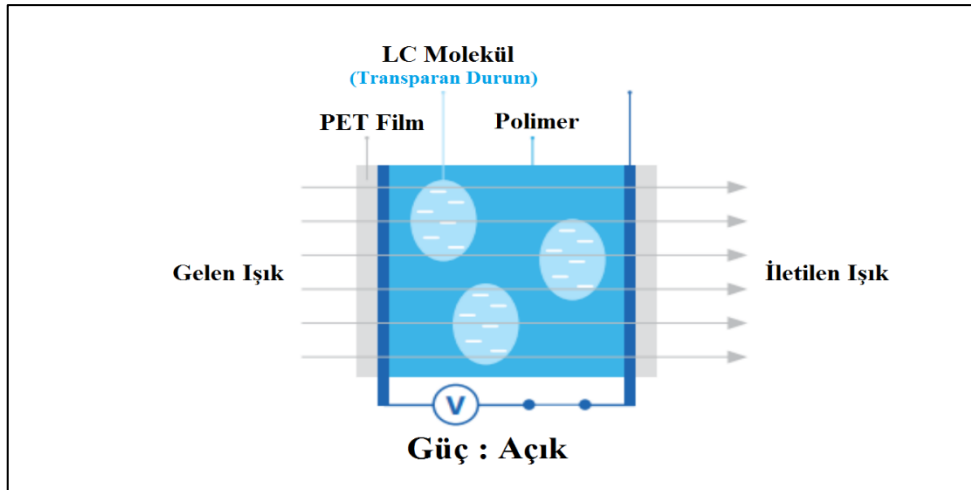
PDLC filmlerin temel yapısal özellikleri şu şekilde açıklanabilir:

- PDLC filmlerin işletilebilmesi için AC güç kaynağı gereklidir. AC gerilim PDLC film içerisindeki LC’lerin yeniden yönlendirilmesini sağlar (Ghost, 2018).
- PDLC filmin güç tüketimi şebeke frekansı 50 Hz için yaklaşık  $5 \text{ W/m}^2$  iken, 20 Hz gibi daha düşük frekanslarda geçirgenlikteki değişim önemli ölçüde azalmadan yaklaşık  $2.5 \text{ W/m}^2$  seviyelerine düşürülebilmektedir. Uygulamada klasik olarak 65 V AC gerilim ile çalışan ortalama  $5 \text{ W/m}^2$  güç tüketimine sahip PDLC filmlerin yanı sıra 24 V AC gibi düşük gerilim ile çalışan ortalama  $1 \text{ W/m}^2$  güç tüketimine sahip yeni nesil PDLC filmler de mevcuttur. Hem daha güvenli oldukları hem de daha düşük güç tüketimine sahip oldukları için özellikle düşük gerilim ile çalışan PDLC filmlerin kullanımı önerilmektedir (Deshmukh, 2015).
- PDLC filmlerin ışık geçirgenliği uygulanan AC gerilim seviyesine bağlı olarak arttıkça artar. Ancak PDLC filmin zarar görme riskini artırmadan ve ömrünü kısaltmadan normal bir şekilde çalışması için uygulanan gerilimin eşik değerini geçmemesi önerilir. Ayrıca PDLC filmi daha yüksek gerilim değerlerinde çalıştırmak görünür güç tüketiminin artmasına sebep olur (Islam vd., 2023-A; Shi, 2022).
- PDLC filmlerin milisaniye mertebelerinde hızlı anahtarlanabilme, düşük güç tüketimi gibi çekici özellikleri mevcuttur (Zhou, 2019).

- PDLC filmlerin direnç ve kapasitesi uygulanan AC gerilim ve frekansa bağlıdır. PDLC filme uygulanan AC gerilim frekans değişiminin ışık geçirgenliğine fazla bir etkisinin bulunmadığı bilinmektedir (Deshmukh, 2015).
- PDLC film kalınlığı arttıkça görünür VLT değerinin azaldığı görülür. Bunun sebebi kalınlığa bağlı olarak film içerisindeki LC damlacık sayısının artması sonucu meydana gelen saçılmanın artmasıdır (Reddy, 2016). Ayrıca PDLC film kalınlığı arttıkça IRR oranı da artmaktadır (He vd., 2023). Diğer taraftan PDLC film kalınlığının UVR değerleri üzerinde ise önemsiz bir etkisi bulunmaktadır (Hemaida, 2020).



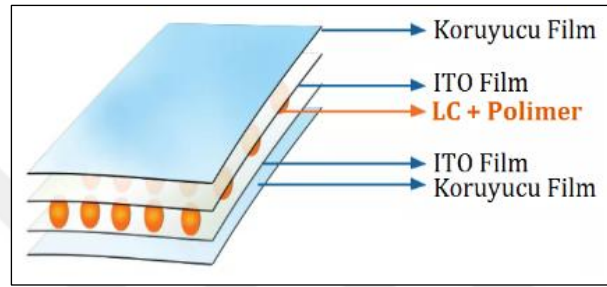
(a)



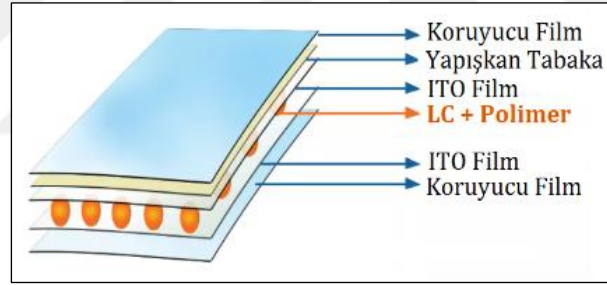
(b)

**Şekil 2.1.** Klasik PDLC filmlerin çalışma prensibi: (a) güç kapalı (b) güç açık

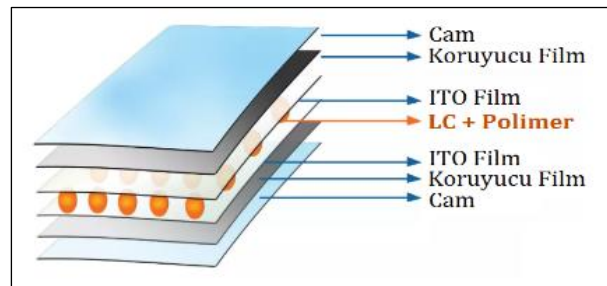
PDLC filmler kullanıma bağı olarak yapışkansı, kendinden yapışkanlı ve camlı olmak üzere farklı renk ve ebatlarda üretilebilmektedir. Şekil 2.2'de yapışkansı, kendinden yapışkanlı ve camlı PDLC film yapıları görülmektedir. Ancak renk durumuna göre PDLC filmlerin ışık geçirgenlik durumları değişmektedir. Genel olarak beyaz renkli PDLC filmlerin gücün Açık veya Kapalı olma durumuna bakılmaksızın ışık geçirgenlikleri en yüksek iken siyah renkli PDLC filmlerin ise ışık geçirgenlikleri en düşüktür. Pembe, gri, yeşil ve mavi gibi diğer renklerin ise ışık geçirgenliği beyaz ve siyah rengin ışık geçirgenlikleri arasında yer almaktadır (Magic-Film, 2024).



(a)



(b)



(c)

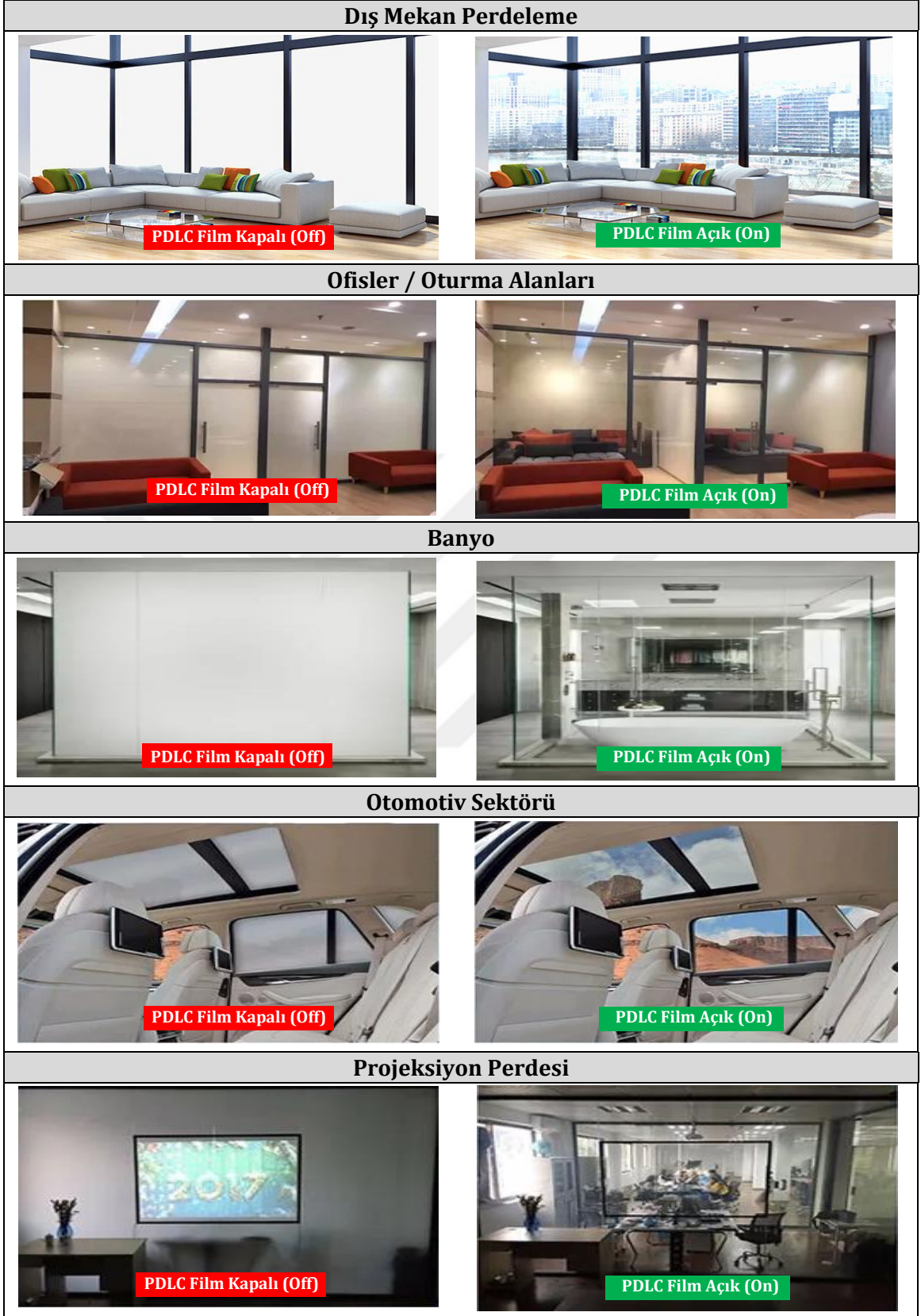
**Şekil 2.2.** PDLC film çeşitleri: (a) yapışkansı (b) kendinden yapışkanlı (c) akıllı cam

## 2.2. PDLC Filmlerin Kullanım Alanları

PDLC filmler, özellikle enerji tasarrufu, gizlilik kontrolü ve güneş ışığının yönetimi gibi uygulamalarda kullanılır. Resim 2.1’de PDLC film kullanım alanları örneklenmiştir. Elektrikle kontrol edilebilen bu filmler, cam yüzeylerin görünürlüğüne isteğe bağlı olarak ayarlayabilme özelliği sunar ve bu nedenle gelişen teknolojiye kullanımı hızla artmaktadır.

PDLC filmlerin ayarlanabilir ışık geçirgenlik özellikleri sebebiyle birçok kullanım alanı mevcuttur. Bu alanlardan bazıları şunlardır (Continuingeducation, 2014):

- **Akıllı Cam Sistemleri:** PDLC filmler, cam yüzeylerdeki opaklık ve saydamlığı kontrol ederek akıllı cam sistemleri oluşturur. Böylece pencere camları, cam bölmeler ve cam duvarlar, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir. Bu, gizlilik sağlama, güneş ışığının yönetimi ve enerji tasarrufu için özellikle akıllı binalarda kullanılır.
- **Otomotiv Sektörü:** Araç içi camlarda PDLC filmler, sürücülerin ve yolcuların gizliliğini korumak ve güneş ışığını yönetmek için kullanılır. Ayrıca, araç camlarında görüntü veya bilgi projeksiyonunu kontrol etmek amacıyla da kullanılabilir.
- **Ofis Alanları:** PDLC filmler, ofis içinde cam bölmeler ve bölme duvarları için gizlilik sağlamak amacıyla tercih edilir. Toplantı odalarında veya ofislerde kullanılarak iç mekanların esnek ve işlevsel bir şekilde düzenlenmesini sağlar.
- **Perakende ve Reklam:** Mağaza vitrinlerinde ve reklam panolarında PDLC filmler, içeriği görüntüleme veya gizleme yeteneği sayesinde dikkat çekici ve etkileyici görsel efektler oluşturmak için kullanılır.
- **Sağlık Sektörü:** PDLC filmler, hastane camları veya muayene odalarında gizlilik sağlamak için kullanılabilir. Aynı zamanda görüntüleme cihazları ve optik sistemlerde de kullanım potansiyeli vardır.
- **Eğitim ve Sunum Alanları:** Eğitim salonları veya toplantı odalarında, PDLC filmler projeksiyon ekranları oluşturmak veya içeriği gizlemek amacıyla kullanılabilir.
- **Eğlence ve Tasarım:** Müze sergileri, sergi alanları, sanat galerileri ve eğlence tesislerinde PDLC filmler, iç mekânın ambiyansını ve kullanıcı deneyimini artırmak için kullanılabilir.
- **Üretim Tesisleri:** PDLC filmler zararlı ışınları engelleme özellikleri sayesinde kaynak maskelerinde ve yüksek ışık saçan üretim tesislerinde insan sağlığını korumak amacıyla kullanılabilir.



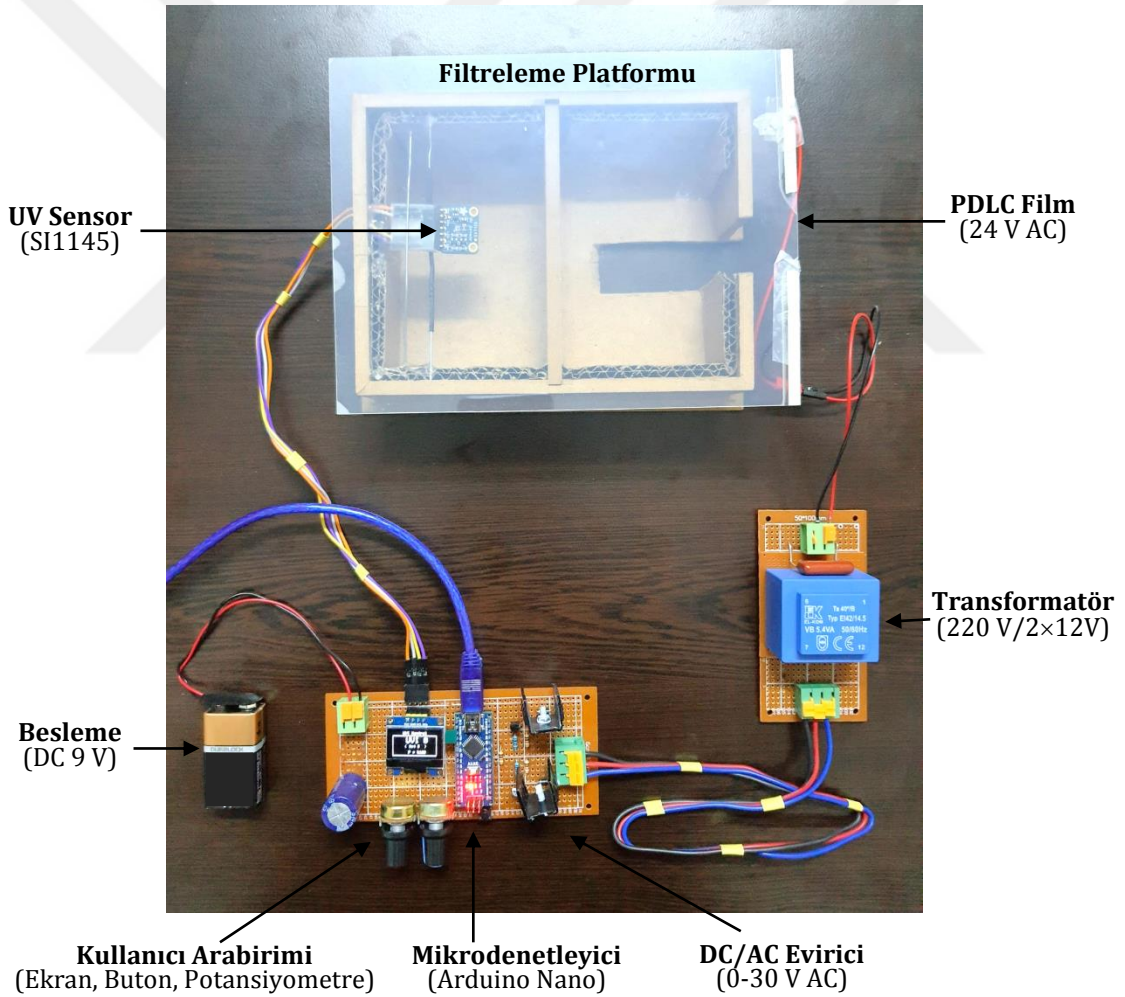
Resim 2.2. PDLC film uygulama alanları

### 3. BÖLÜM

#### TASARLANAN SİSTEM

##### 3.1. Sistemin Genel Yapısı

Bu tez çalışması kapsamında, ışık filtrelemesinin PDLC filmler kullanılarak kontrol edilmesine yönelik deneysel çalışmalar yapmak amacıyla Resim 3.1’de görülen mikrodenetleyici tabanlı bir gömülü sistem tasarlanmıştır. Mikrodenetleyici tabanlı ışık filtreleme sisteminde sensör yardımıyla gerekli ölçümler yapılarak istenen VIS, IR ve UV değerlerinin elde edilmesi amacıyla PDLC film için gerekli AC güç kontrolü yapılmaktadır. Tasarlanan sistemin genel karakteristik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.



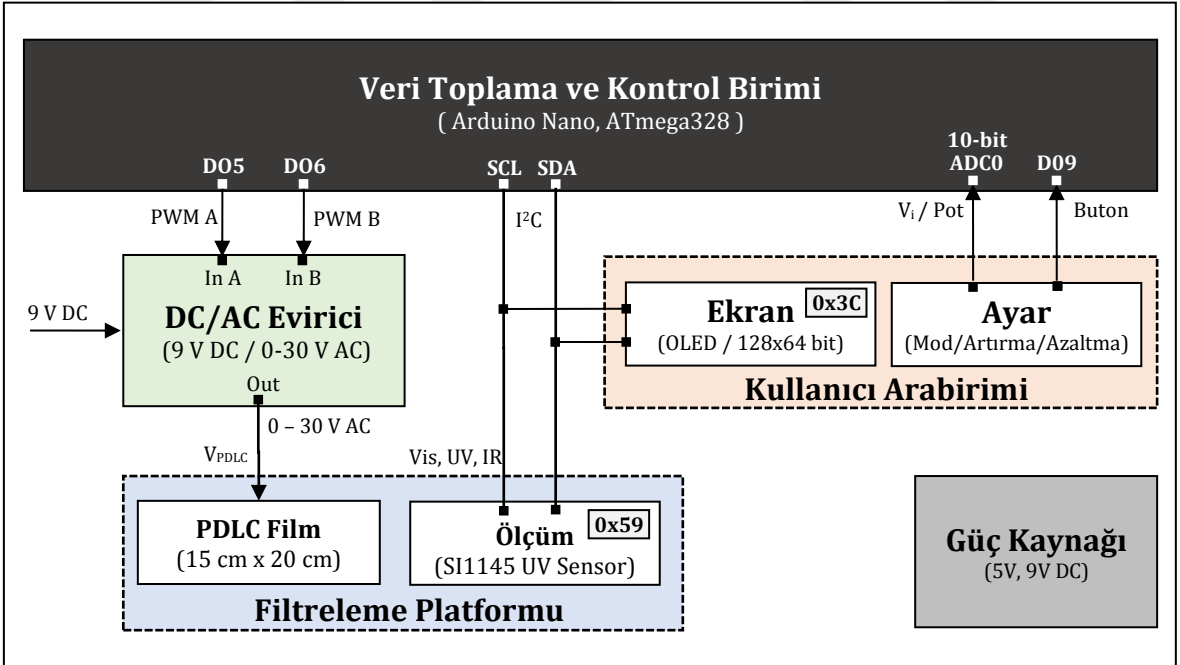
Resim 3.1. Tasarlanan sistemin genel görünümü

**Tablo 3.1.** Tasarlanan sistemin genel karakteristik özellikleri

Karakteristik	Özellik
Uygulama Alanı	VIS / IR / UV Filtreleme
Çalışma Yöntemi	PDLC film ışık geçirgenlik kontrolü ile ortam VIS / IR / UV filtrelemesi
Kontrolör	Arduino Nano Mikrodenetleyici / Arduino C
Kullanıcı Arabirimi	OLED Ekran, Buton ve Ayarlı Direnç
PDLC Film	Ebat : 15 cm × 20 cm Kalınlık : 0.38 mm Renk : Gri Gerilimi : 24 V AC Güç : 5W / m <sup>2</sup>
DC-AC Evirici	9V DC / 0-30 V AC

### 3.2. Sistem Donanımı

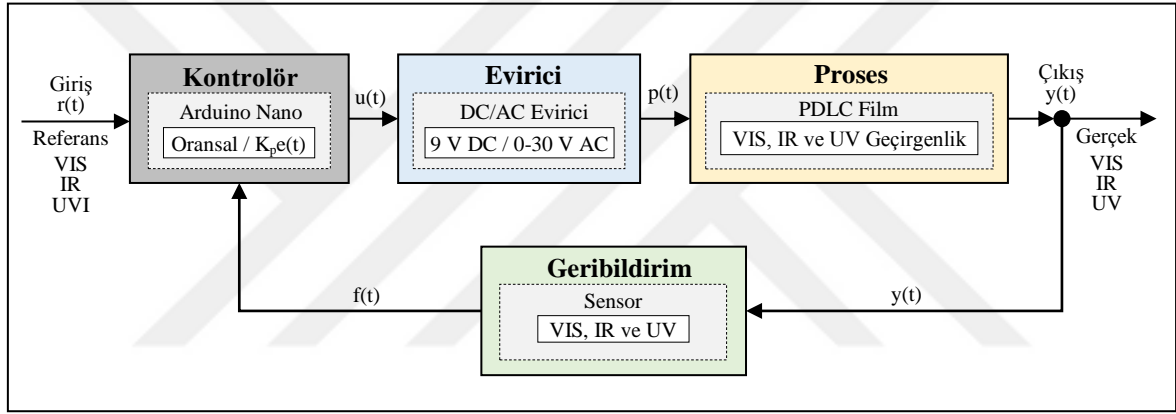
Tasarlanan sistemin genel blok şeması Şekil 3.1’de görülmektedir. Sistem temel olarak veri toplama ve kontrol birimi, DC/AC evirici, filtreleme platformu, kullanıcı arabirimi ve güç beslemelerinden oluşmaktadır.



**Şekil 3.1.** Tasarlanan sistemin genel blok şeması

### 3.2.1. Filtreleme kontrol sistemi

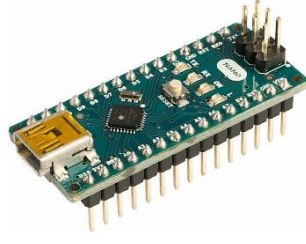
Filtreleme kontrol sisteminin temeli, uygulanan AC güç ile PDLC filmin ışık geçirgenliğinin değiştirilerek ortama iletilen VIS, IR ve UV seviyesinin kısıtlanması prensibine dayanmaktadır. Şekil 3.2’de mikrodenetleyici tabanlı VIS, IR ve UV filtrelemesine yönelik kapalı çevrim kontrol sistemi blok şeması görülmektedir. Filtreleme kontrol sistemde proses elemanı olarak opaklığı değiştirilen PDLC filmin yanı sıra kontrolör olarak Arduino Nano mikrodenetleyici kartı, aktüatör olarak çıkışı 0-30V ayarlanabilir DC/AC evirici ve geribildirim elde edilmesi için ise SI1145 UV sensör kullanılmaktadır. Kapalı çevrime özgü geribildirim ile hataya bağlı gerekli düzeltmeler yapılarak DC/AC evirici üzerinden PDLC film AC gücünün seviyesi ayarlanmaktadır ve bu şekilde sistemde VIS, IR ve UV seviyesi istenilen değerde elde edilebilmektedir.



Şekil 3.2. VIS, IR ve UV filtrelemesine yönelik kapalı çevrim kontrol sistemi

### 3.2.2. Veri toplama ve kontrol birimi

Tasarlanan sistemde veri toplama ve kontrol amacıyla Resim 3.2’de görülen ve teknik özellikleri Tablo 3.2’de verilen Arduino Nano mikrodenetleyici kartı kullanılmaktadır (Arduino Nano, 2023). Veri toplama ve kontrol biriminde VIS, IR ve UV ışık filtreleme ayarlarına bağlı olarak sistem için gerekli olan sensör ölçümleri, PDLC film için gerekli olan AC gücün sağlanmasına yönelik olarak DC/AC evirici için gerekli olan sinüs sinyalinin üretilerek pozitif ve negatif alternansları için ayrı ayrı D5 ve D6 PWM çıkışlardan verilmesi ve kullanıcı arabirimine yönelik ayarların buton ve ayarlı direnç yardımıyla alınması ve elde edilen verilerin I<sup>2</sup>C yöntemiyle OLED ekrana verilmesi işlemleri yürütülmektedir.



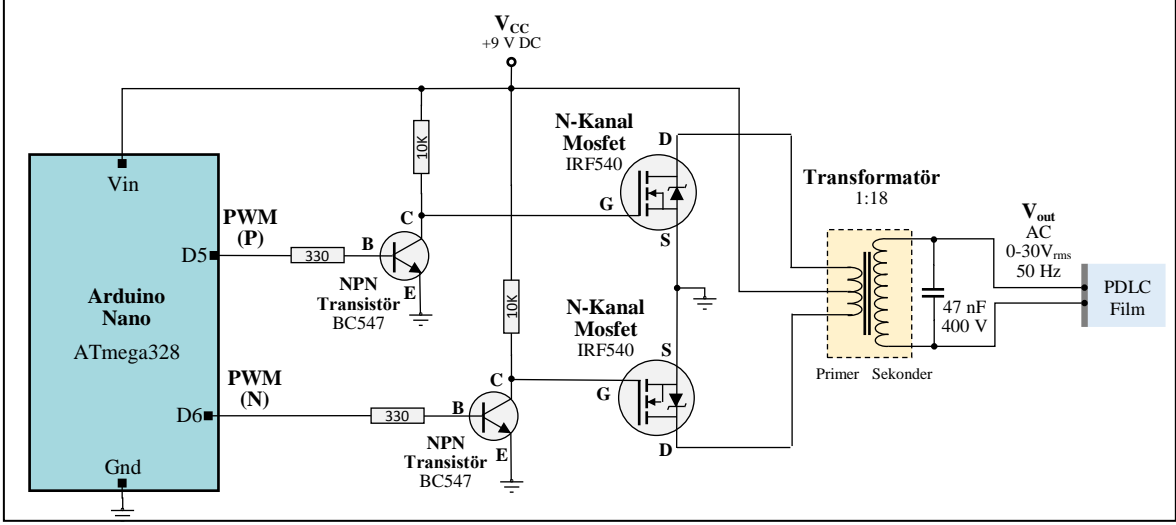
**Resim 3.2.** Arduino Nano mikrodnetleyici kartı

**Tablo 3.2.** Arduino Nano mikrodnetleyici kartı teknik özellikleri

Mikrodnetleyici	ATmega328p 8-bit		
Mimari	AVR		
Saat Frekeansı	16 MHz		
Voltaj	Çalışma V.	: 5 V	
	Giriş V.	: 7 ~ 12 V ( Limit 6 ~ 20 V )	
Pin Başına DC Akım	5.5 V	: 40 mA	
	3.3 V	: 50 mA	
Giriş/Çıkış Pinleri	Dijital	: 22 adet	(6 adet PWM)
	Analog	: 8 adet	(sadece giriş)
LED_BUILTIN pin	13 nolu pin		
Bellek	FLASH	: 32 KB	
	SRAM	: 2 KB	
	EEPROM	: 1 KB	
İletişim Protokolleri	UART, SPI ve I <sup>2</sup> C		
Programlama	USB (Mini-B USB), ICSP, Bootloader (STK500 protokolü)		
Ebat	18 mm x 45 mm		
Ağırlık	7 g		

### 3.2.3. DC/AC evirici

Tasarlanan sistemde PDLC film için gerekli olan AC güç ayarlanabilir mikrodnetleyici tabanlı DC/AC evirici ile sağlanmaktadır (Şekil 3.3). Mikrodnetleyici tabanlı olarak geliştirilen DC/AC eviricinin temeli, mikrodnetleyicide üretilen sinüs sinyalinin MOSFET tabanlı olarak transformatörün primer sargısına akım yönü değiştirilerek uygulanması sonucu sekonder sargıdan transformatörün dönüşüm oranına göre bir AC değerin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır.



**Şekil 3.3.** Mikrodenetleyici tabanlı DC/AC evirici devresi

Mikrodenetleyicide üretilen sinüs sinyalinin pozitif ve negatif alternanslarına ilişkin PWM sinyalleri sırasıyla D5 ve D6 çıkışlarından verilmektedir. Bu çıkışlardan alınan PWM sinyalleri kullanılarak transistörler üzerinden ilgili MOSFET'lerin sürülmesi sayesinde akım yönünün değiştirilerek transformatörün primer sargısına uygulanması sağlanmaktadır. Transformatörde, primer sargıya belirli bir frekans ve genlikte akım yönü değiştirilerek uygulanan DC kaynağa bağlı olarak sekonder sargıdan transformatör dönüşüm oranına göre bir AC değeri elde edilir. Bu amaçla transformatör primer sargısının orta ucuna 9 V DC beslemenin (+) ucu doğrudan bağlıdır. Diğer taraftan transistörler üzerinden MOSFET tabanlı olarak sürülen primer sargıda, DC akımın orta uca göre diğer iki uçtan sırayla devresini tamamlaması sağlanır.

### 3.2.4. Filtreleme platformu

Çalışmada 15 cm x 20 cm ebatlarında ve 0.3 mm kalınlığında 24 V AC gerilim ile çalışan bir PDLC film kullanılarak bir düzenek oluşturulmuştur. Ölçüm birimi ile VIS, IR ve UV ışık seviyesi ölçülerek kontrol için gerekli geribildirimler elde edilmektedir. Bu amaçla sistemde mikrodenetleyici ile I<sup>2</sup>C yöntemiyle haberleşen SI1145 sensör modülü kullanılmıştır (Resim 3.3). SI1145 sensör modülü temel özellikleri Tablo 3.3.'te verilmiştir.



**Resim 3.3.** SI1145 sensör modülü

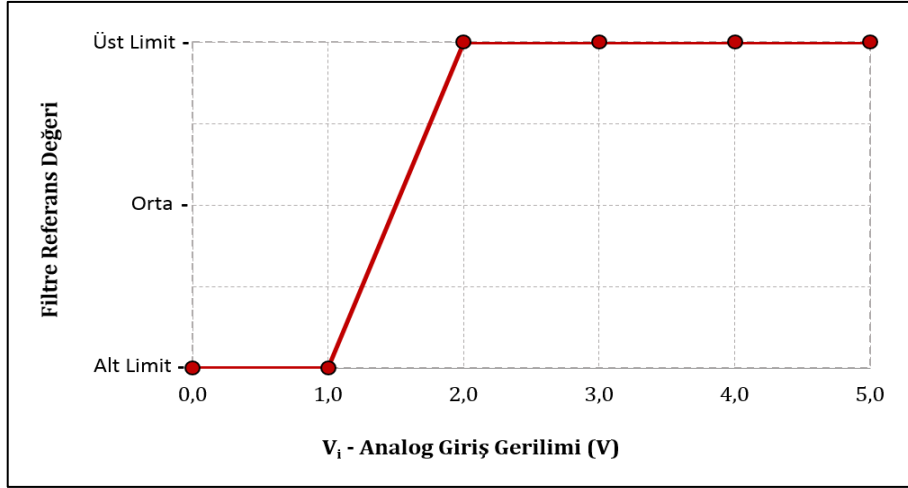
**Tablo 3.3.** SI1145 sensör modülü özellikleri

Algılama	Görünür (VIS) İnfrared (IR) Ultraviyole İndex (UVI) Mesafe (Proximity)
Görülebilir ışık algılama aralığı	400 nm - 800 nm (merkez 530)
Kızılötesi algılama aralığı	550 nm - 1000 nm (merkez 800)
Çalışma Voltajı	3-5 V DC
Haberleşme protokolü	I <sup>2</sup> C (Inter-Integrated Circuit) I <sup>2</sup> C Adres : 0x60
Modül Boyutu	20 mm x 18 mm x 2 mm
Ağırlık	≅ 1.4 g

### 3.2.5. Kullanıcı arabirimi

Tasarlanan kontrol sistemi kullanıcı arabiriminde görüntüleme amacıyla OLED LCD ekran, kontrol modunun değiştirilmesi bir buton ve referans değişkenin ayarlanması amacıyla da bir potansiyometreden oluşmaktadır. Ayrıca referans değişken ayarı için potansiyometreden farklı olarak analog girişe referans giriş gerilimi ( $V_i$ ) doğrudan da uygulanabilmektedir.

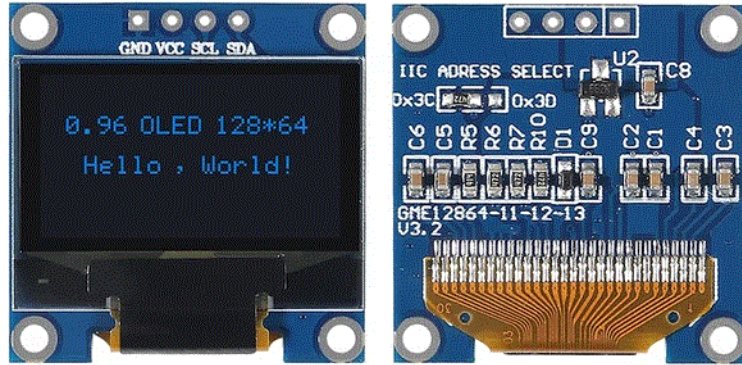
Tasarlanan sistemde istenen referans ışık filtreleme oranına göre çıkışın kontrol edilmesi amacıyla mikrodenetleyicinin 10-bit çözünürlüklü ADC 0 analog girişi kullanılmıştır. Şekil 3.4'te analog girişe uygulanan  $V_i$  gerilimine bağlı olarak sistemde uygulanacak ışık filtreleme oranının değişimi görülmektedir. Analog giriş üzerindeki parazitlerin engellenmesi amacıyla 1.0 V alt eşik gerilimi kullanılmıştır. Burada 1.0 V ile 2.0 V arası 10 mV'luk hassasiyetle analog giriş gerilimine karşılık  $VIS_{sp}$ ,  $IR_{sp}$  ve  $UVI_{sp}$  ışık filtreleme referans değerlerinin minimum ve maksimum arasında ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Buna göre  $VIS_{sp}$  için referans değeri VIS ışık spektrumu için geçerli aralığı olan 380 nm ile 780 nm aralığında ayarlanabilmektedir.



**Şekil 3.4.**  $V_i$  analog giriş gerilimine bağlı filtreleme oranı değişimi

Sisteme yönelik Kontrol Modunun yanı sıra ayarlanan ve ölçülen VIS/IR/UVI değerlerinin görüntülenmesi amacıyla mikrodenetleyici ile I<sup>2</sup>C yöntemiyle haberleşen 128x64 bit çözünürlüğe sahip OLED LCD ekran kullanılmıştır (Şekil 3.4.). OLED LCD modül özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Sistemde VIS, IR ve UVI kontrol işlem modunun seçilmesi amacıyla mikrodenetleyici D2 pinine Pull-Down olarak bağlantılı bir buton kullanılmıştır. Ayrıca kontrol işlemine yönelik referans (setpoint) değerlerin ayarlanabilmesi amacıyla mikrodenetleyici A0 analog girişine 100 K potansiyometre bağlanmıştır.



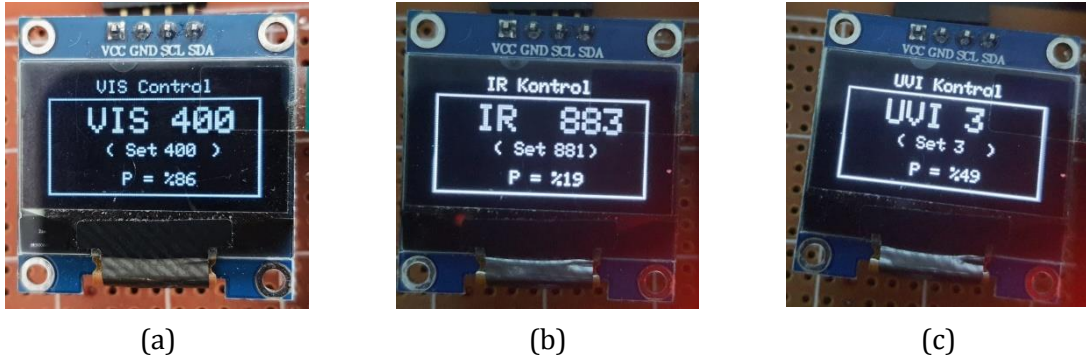
**Resim 3.4.** OLED LCD modülü

**Tablo 3.4.** OLED LCD modül özellikleri

Ekran Tipi	OLED (Organic Light Emitting Diode)
Çözünürlük	128 x 64
Çalışma Voltajı	3-5 V DC
Haberleşme protokolü	I <sup>2</sup> C (Inter-Integrated Circuit)
Ekran Boyutu	0.96 inç
Modül Boyutu	27mm x 27mm x 4mm
Ağırlık	≅ 8 g

### 3.3. Sistem Yazılımı

Geliştirilen mikrodenetleyici tabanlı gömülü sistemin yazılımı Arduino C dilinde kodlanmıştır. Resim 3.5'te geliştirilen gömülü yazılımın sisteme yönelik örnek ekran alıntıları görülmektedir. Tasarlanan OLED ekran üzerinde ortam için arzu edilen VIS/IR/UVI referans değeri ( $VIS_{sp}$ ,  $IR_{sp}$ ,  $UVI_{sp}$ ), ölçülen VIS/IR/UVI değeri ( $VIS_m$ ,  $IR_m$ ,  $UVI_m$ ) ve PDLC filme uygulanan güç (P) değeri gerçek zamanlı olarak gösterilmektedir. Sistemde ayarlanan VIS, IR ve UVI referans değerlerinin kalıcı olması amacıyla mikrodenetleyici EEPROM'unun sırasıyla 100, 101 ve 102 numaralı adresleri kullanılmıştır. Gömülü sistem yazılımı kaynak kodları Ek-1'de verilmiştir.

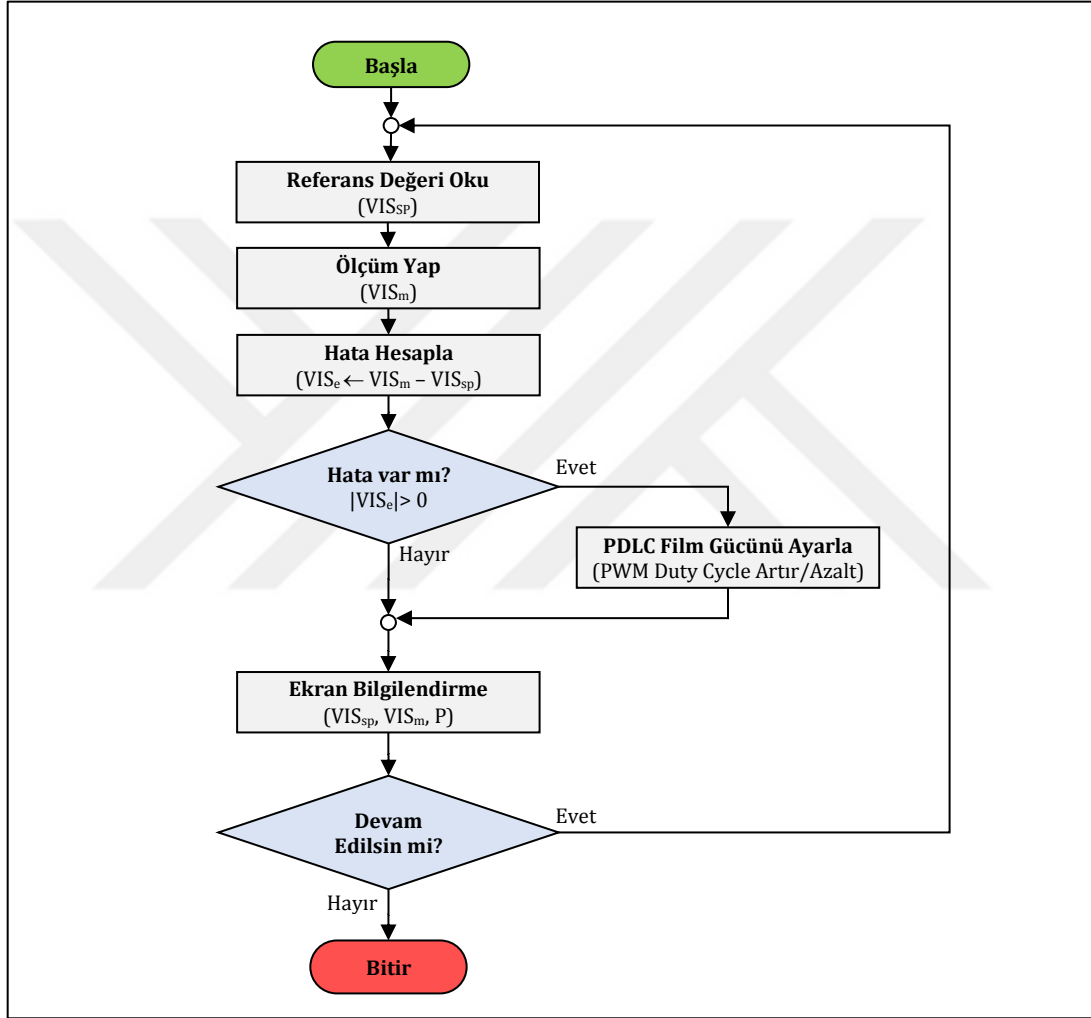


**Resim 3.5.** PDLC film ışık kontrol sistemi ekran alıntıları: (a) VIS (b) IR (c) UVI

Şekil 3.5'te VIS ışık kontrolü için gömülü sistem yazılımı algoritmasının işleyişine yönelik akış şeması yer almaktadır. Sistemde kapalı çevrim kontrol sistemi yöntemiyle ortam VIS değerinin arzu edilen maksimum referans değerinde tutulması sağlanmaktadır. VIS ışık kontrolü amacıyla kullanılan bu algoritma benzer şekilde IR ve UVI kontrolü için de uyarlanmıştır.

Geliştirilen algoritmada sistemin çalıştırılmasıyla birlikte; öncelikle kullanıcı arabirimi üzerinden 380-780 nm aralığında ayarlanabilen ortam için arzu edilen VIS referans değeri

( $VIS_{sp}$ ) alınmaktadır. Diğer taraftan UV sensör yardımıyla gerçek ortam VIS ölçüm değeri ( $VIS_m$ ) ölçümü gerçekleştirilmektedir. Sonraki aşamada VIS hata değeri ( $VIS_e$ ) hesaplanarak, elde edilen hata sonucuna göre PDLC film gücü (P) PWM ile oransal olarak ayarlanarak ortamda arzu edilen VIS değerinin elde edilmesi sağlanmaktadır. Kontrol süreci  $VIS_{sp}$ ,  $VIS_m$  ve P değerlerinin ekrana verilmesinin ardından sistem sonlandırılıncaya kadar bir çevrim içerisinde devam etmektedir.



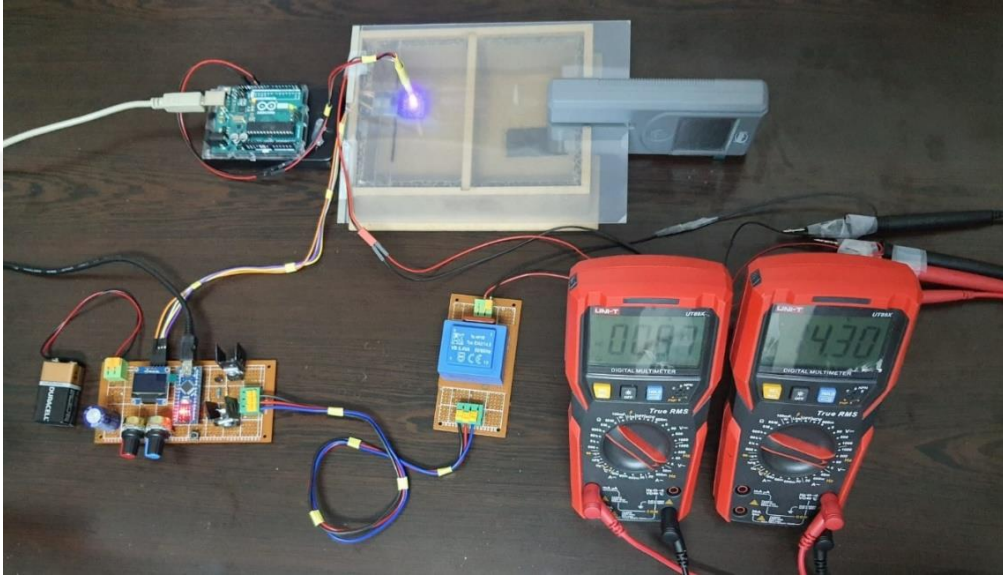
**Şekil 3.5.** VIS ışık filtreleme için mikrodnetleyici akış şeması

## 4. BÖLÜM

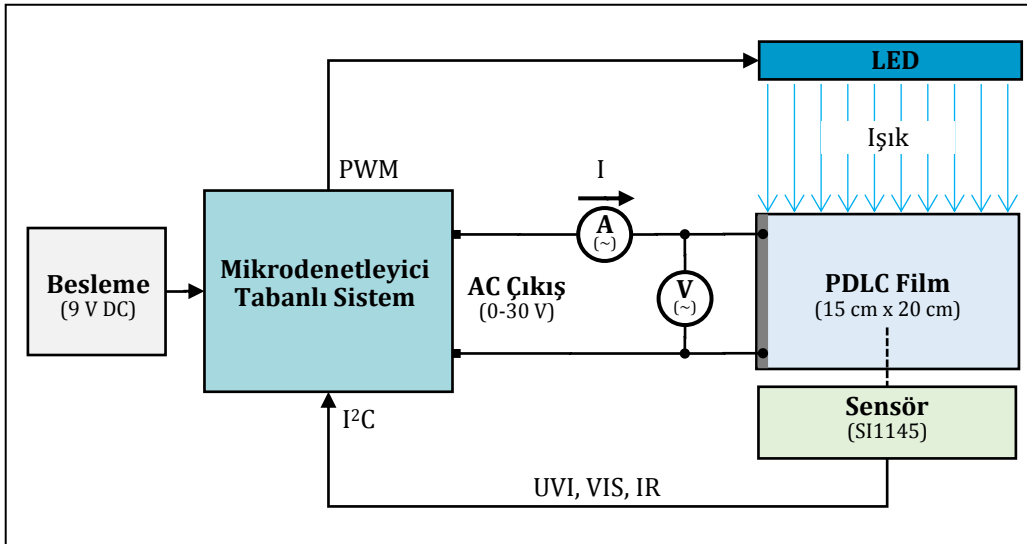
### ANALİZ VE BULGULAR

#### 4.1. Deneysel Düzenek

Tasarlanan sistemin elektriksel ve optik özelliklerinin incelenerek performansının test edilmesine yönelik deneysel çalışmalar yapmak üzere Şekil 4.1'de görülen düzenek oluşturulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 4.1. Deneysel düzenek: (a) genel görünüm (b) blok gösterim

Deneysel düzenekte PDLC filmin optik parametrelerinin doğrudan ölçümü için LS163A transmisyon metre ve harici olarak platforma yönelik aydınlık düzeyinin ölçülmesi amacıyla LX-1330B model dijital lüksmetre kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında AC akım ve gerilim ölçümleri true RMS dijital multimetre ile gerçekleştirilmiştir. Filtreleme platformu için 15 cm x 20 cm ebatında, 0.38 mm kalınlığında, gri renkli, 24 V AC ile çalışan ve düşük güçlü (>5 W/m<sup>2</sup>) bir PDLC film kullanılmıştır. PDLC filmin multimetre ile ölçülen elektriksel direncinin maksimum 2 MΩ civarında olduğu ve kapasitif özellik taşıdığı görülmüştür. Filtreleme platformuna farklı seviyede ışık değerleri uygulayabilmek için de çeşitli dalga boylarında DC ile çalışan LED diyotlar kullanılmıştır.

Geliştirilen sisteme yönelik ayarlanabilir AC besleme için tasarlanan mikrodenetleyici tabanlı DC/AC evirici ile PDLC filme istenen gücün sağlanması için gerekli 50 Hz frekanslı 0-30 AC gerilim değerleri 1 V çözünürlükle elde edilmiştir.

Tasarlanan sistemin performansının incelenmesine yönelik deneysel çalışmalar kapsamında, öncelikle uygulanan farklı AC gerilim değerleri için düzenekte yer alan PDLC filmin optik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Bu doğrultuda öncelikle PDLC filme uygulanan 0 V, 12 V ve 24 V AC farklı gerilim değerleri için elde edilen transparanlık durumları Resim 4.1.'de görülmektedir. AC gerilim değeri arttıkça PDLC film transparanlığındaki artış gözle görülebilmektedir.

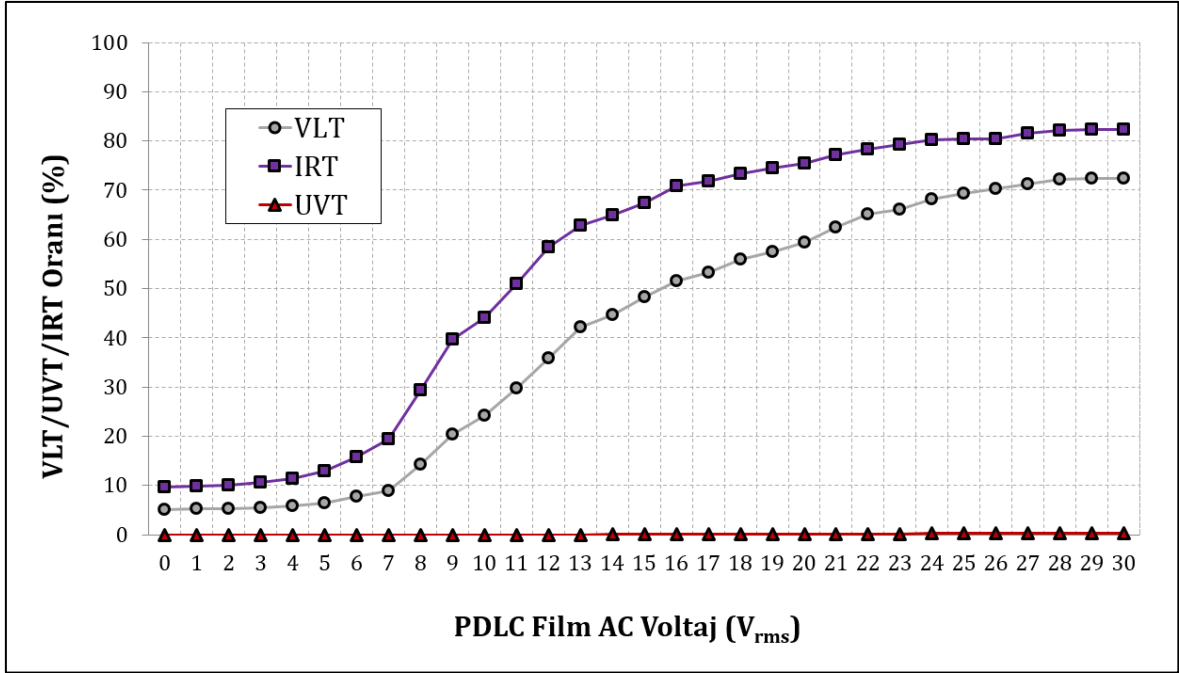


**Resim 4.1.** Uygulanan farklı AC gerilim seviyeleri için PDLC film görünüşleri

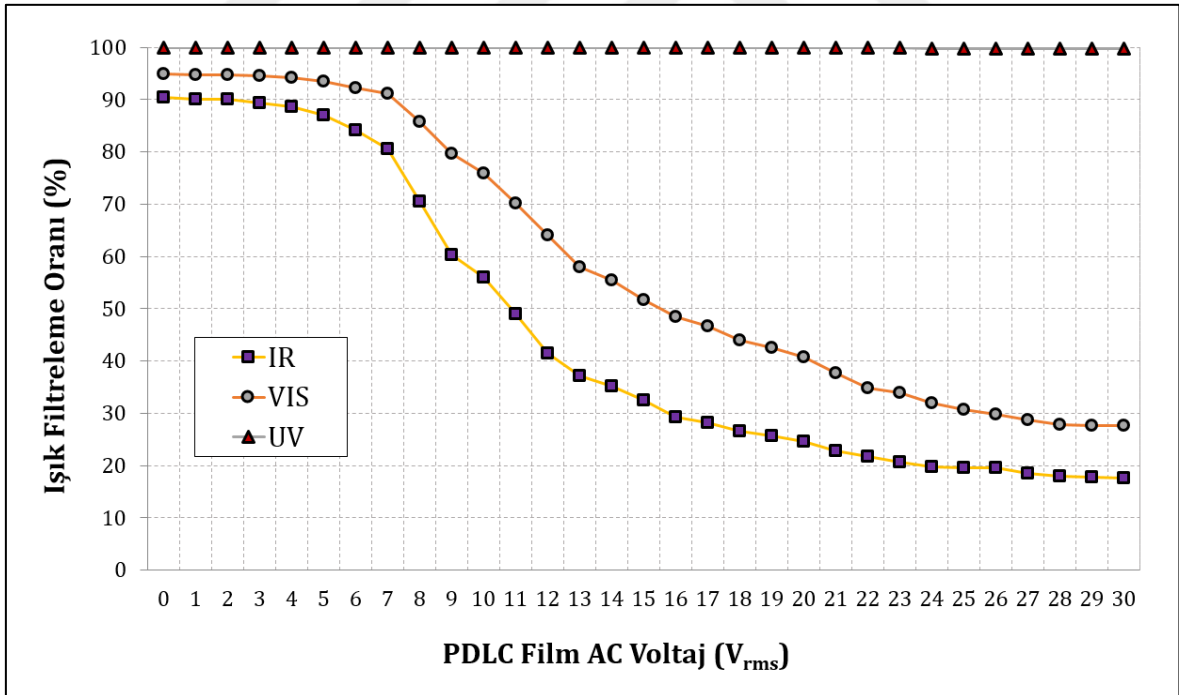
Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında PDLC filme uygulanan 0-30 V<sub>rms</sub> arası farklı AC gerilim değerleri için transmisyon metreden ölçülen VLT, IRT ve UVT oranları Tablo 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.2'de ise bu VLT, IRT ve UVT oranlarının güce bağlı değişimi grafik olarak görülmektedir. Uygulanan AC gerilime bağlı PDLC film ışık filtreleme oranları ise Şekil 4.3'teki gibi elde edilmiştir. PDLC filme uygulanan güce bağlı olarak VLT ve IRT oranlarındaki değişimin UVT'ye göre oldukça fazla olduğu gözlenmiştir. PDLC film için VLT oranının %5,1 ile %73,5 arasında, IRT oranının %9,6 ile %82,4 arasında ve UVT oranının da %0 ile %0,2 arasında ayarlanabildiği anlaşılmıştır.

**Tablo 4.1.** PDLC filme uygulanan 0-30  $V_{rms}$  arası farklı AC gerilim değerleri için tranmisyon metreden ölçülen VLT, IRT ve UVT oranları

$V_{PDLC}$ ( $V_{rms}$ )	VLT (%)	IRT (%)	UVT (%)
0	5,1	9,6	0
1	5,2	9,9	0
2	5,3	10	0
3	5,4	10,6	0
4	5,8	11,4	0
5	6,5	13	0
6	7,7	15,8	0
7	8,9	19,5	0
8	14,2	29,4	0
9	20,3	39,7	0
10	24,1	44,1	0
11	29,8	51	0
12	35,9	58,5	0
13	42,1	62,9	0
14	44,6	64,9	0,1
15	48,3	67,5	0,1
16	51,5	70,8	0,1
17	53,3	71,8	0,1
18	56	73,4	0,1
19	57,5	74,4	0,1
20	59,3	75,5	0,1
21	62,4	77,2	0,1
22	65,2	78,3	0,1
23	66,1	79,3	0,1
24	68,1	80,3	0,2
25	69,3	80,4	0,2
26	70,3	80,4	0,2
27	71,3	81,5	0,2
28	72,1	82,1	0,2
29	72,3	82,3	0,2
30	72,4	82,4	0,2



Şekil 4.2. PDLC filme uygulanan AC gerilime bağlı VLT / IRT / UVT oranları

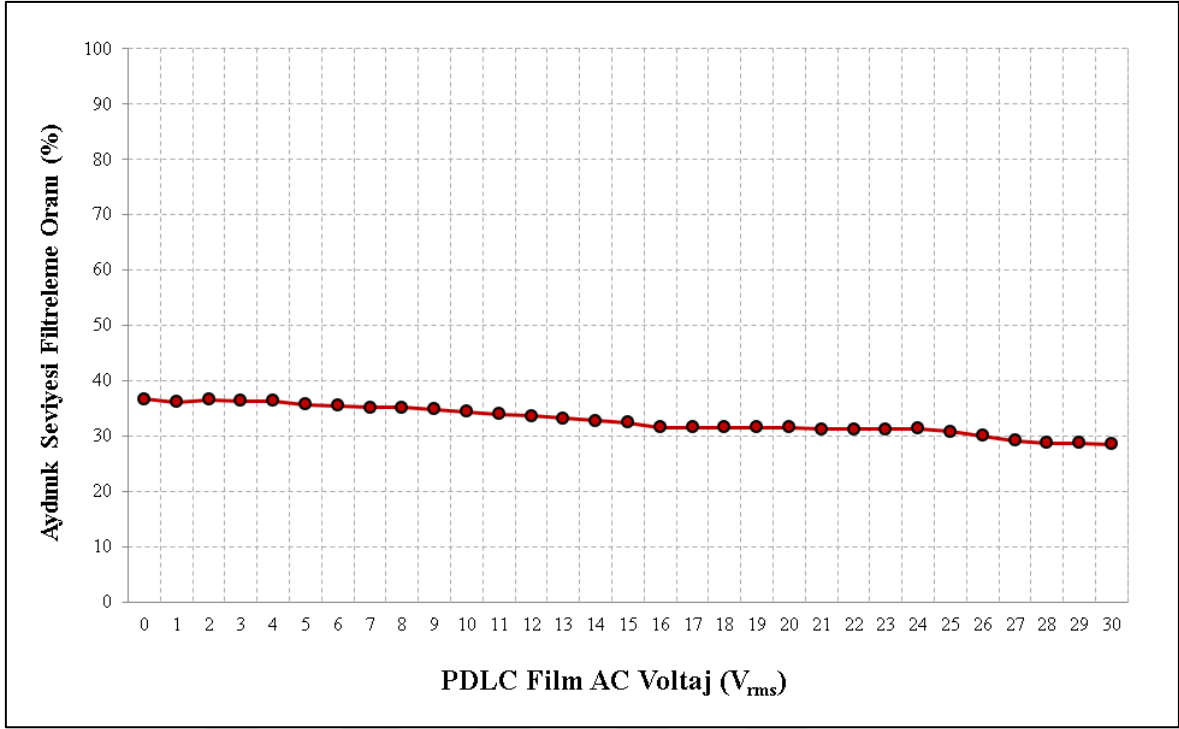


Şekil 4.3. Uygulanan AC gerilime bağlı PDLC film ışık filtreleme oranları

Deneysel çalışmanın üçüncü aşamasında, uygulanan farklı AC gerilim değerleri için PDLC filmin aydınlık seviyesi filtreleme performansı incelenmiştir. Bu amaçla platformda PDLC filmin 1.5 cm altına konumlandırılan lüksmetre ile PDLC film varken ve yokken lx birimde aydınlık seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen aydınlık seviyesi ölçüm değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.3’te ise PDLC filme uygulanan farklı AC gerilim değerleri için aydınlık seviyesi filtreleme oranı değişimleri görülmektedir. Düzenekte PDLC film kullanılmadan ortamda ölçülen aydınlık seviyesi 250 lx iken, PDLC filmin kullanılmasına bağlı olarak uygulanan 0-30  $V_{rms}$  arası farklı AC gerilim değerleri için aydınlık seviyesi filtreleme oranının yaklaşık %37 ile %28 arasında değiştirilebildiği görülmüştür.

**Tablo 4.2.** PDLC filme uygulanan 0-30  $V_{rms}$  arası farklı AC gerilim değerleri için aydınlık seviyesi filtreleme oranları (PDLC film yokken ortam aydınlık seviyesi 250 lx)

$V_{PDLC}$ ( $V_{rms}$ )	E (lx)	Filtreleme Oranı (%)	$V_{PDLC}$ ( $V_{rms}$ )	E (lx)	Filtreleme Oranı (%)
0	158	36,73	16	171	31,60
1	160	36,19	17	171	31,60
2	159	36,53	18	171	31,60
3	159	36,41	19	171	31,60
4	159	36,42	20	171	31,60
5	161	35,76	21	172	31,20
6	161	35,54	22	172	31,20
7	162	35,20	23	172	31,20
8	162	35,13	24	172	31,33
9	163	34,80	25	173	30,80
10	164	34,40	26	175	30,00
11	165	34,00	27	177	29,20
12	166	33,60	28	178	28,80
13	167	33,20	29	178	28,80
14	168	32,80	30	179	28,48
15	169	32,40			



**Şekil 4.4.** Uygulanan AC gerilime bağlı PDLC film aydınlık seviyesi filtreleme oranları

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, PDLC filmler için ışık filtrelemesine yönelik mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistem üzerinden arzu edilen maksimum VIS, IR veya UVI referans değerine bağlı PDLC film AC çalışma geriliminin otomatik olarak ayarlanması suretiyle ortam VIS, IR ve UVI değerlerinin filtrelenmesi sağlanmaktadır.

Tasarlanan sistemde mikrodenetleyicinin analog girişi üzerinden istenen referans ışık filtreleme değerine göre PDLC filmin güç kontrolü yapılmaktadır. Mikrodenetleyici analog giriş üzerindeki parazitlerin engellenmesi amacıyla 10-bit çözünürlüklü analog girişi için alt eşik ve üst eşik gerilimi kullanılmıştır. 1.0 V ile 2.0 V arası 10 mV'luk hassasiyetle analog giriş gerilimine karşılık  $VIS_{sp}$ ,  $IR_{sp}$  ve  $UVI_{sp}$  değerlerinin minimum ve maksimum arasında ayarlanabilmesi sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında tasarlanan sistemin performansının belirlenmesi amacıyla elektriksel ve optik özelliklerin ölçülerek gerekli incelemelerin yapılabileceği bir deneysel düzenek oluşturulmuştur. PDLC filme uygulanan 0-30  $V_{rms}$  arası farklı AC gerilim değerleri için tranmisyon metreden ölçülen VLT oranının %5,1 ile %73,5 arasında, IRT oranının %9,6 ile %82,4 arasında ve UVT oranının da %0 ile %0,2 arasında ayarlanabildiği görülmüştür. PDLC filme uygulanan güce bağlı olarak VLT ve IRT oranlarındaki değişimin UVT'ye göre oldukça fazla olduğu gözlenmiştir. PDLC filmin %99'un üzerinde UV filtreleme yaptığı anlaşılmıştır.

Tasarlanan sisteme yönelik PDLC film düzeneğinde uygulanan 0-30  $V_{rms}$  arası farklı AC gerilim değerleri için aydınlık seviyesi filtreleme oranının ortam aydınlık seviyesi 250 lx iken yaklaşık %37 ile %28 arasında değiştirilebildiği görülmüştür. Bu durumda PDLC film ile ortam aydınlık düzeyinin kısmen de olsa ayarlanabileceği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, geliştirilen gömülü sistemde PDLC film besleme geriliminin 0-30 V AC arasında otomatik olarak kontrol edilip transparanlığının ayarlanması suretiyle, ayarlanan ışık geçirgenliğine bağlı olarak doğal veya yapay kaynaklarına yönelik ışık filtreleme işleminin hızlı ve pratik bir şekilde yapılabildiği anlaşılmıştır. Gelecek çalışmalar kapsamında, PDLC filme uygulanacak AC besleme geriliminin sinüs, kare, testere vb. dalga formlarına ve frekansına bağlı olarak optik performans özelliklerine etkisi araştırılabilir. Ayrıca PDLC film VIS, IR ve UVI ışık geçirgenliğinin ayarlanması ve kontrolünün geliştirilecek mobil uygulama üzerinden uzaktan yapılabilmesi yönünde çeşitli çalışmalar da yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Abdulmohsin H., Aritra G., Senthilarasu, S., Tapas M. (2020). Evaluation of thermal performance for a smart switchable adaptive polymer dispersed liquid crystal (PDLC) glazing. *Solar Energy* 195-2020/185-193
- Abosaq, A., Belahrith, A., Aldosari, A., Alzahrani, A. (2023). Smart Solar Greenhouse Based PLDC. In *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Smart Grid, Paris, France, 4-7*.
- Açıksarı, C. ve Karasu, B., (2018). Akıllı Camlar ve Teknolojik Gelişimleri, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2); 437-457
- Amerikan Kanser Topluluğu. (2019). *Ultraviolet (UV) Radiation*. Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023. <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/uv-radiation.html>
- Arduino Nano, (2023). Arduino web sayfası. Erişim Tarihi: 01 Haziran 2023. <https://www.arduino.cc>
- Aydoğduoğlu, O. (2021). *Enerji Verimliliği Sağlamada Akıllı Aydınlatma Sistemi Uygulaması Manisa Celal Bayar Üniversitesi Rektörlük Binası Örneği*, (Yüksek Lisans Tezi), Manisa: Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayram, F. (2009). *Işık ve Aydınlatma: Işığın Televizyon ve Sinemada İşlevsel Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme*. Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi.
- Casini, M. (2018). *Active Dynamic Windows for Buildings A Review*. 119, 923-934.
- Coates D. (1993). *Normal and Reverse Mode Polymer Dispersed Liquid Crystal Devices*, 14 (2), 94-103.
- Continuingeducation (2014). *Smart Glass Applications with Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC) Technology*. Erişim Tarihi: 25 Eylül 2023. [continuingeducation.bnpmmedia.com/courses/glass-apps/smart-glass-applications-with-polymer-dispersed-liquid-crystal-pdlc-technology/3/](https://continuingeducation.bnpmmedia.com/courses/glass-apps/smart-glass-applications-with-polymer-dispersed-liquid-crystal-pdlc-technology/3/)
- Craig F. B., Eugene E. C. (2006). *Fundamentals of Atmospheric Radiation: An Introduction with 400 Problems*. Physics Textbook.
- Demircioğlu, N., Yılmaz, H. (2005). *Işık Kirliliği, Ortaya Çıkardığı Sorunlar ve Çözüm Önerileri*. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi. 36 (1), 117-123.
- Deshmukh, R., Katariya A., (2015). Novel techniques of PDLC film preparation furnishing manifold properties in a single device. *Liquid Crystals*.
- Duran, K., Perinçek, D.S., Körlü, E.A., Bahtiyari, İ. (2007). *Ultraviyole Teknolojisi*. *Tekstil ve Konfeksiyon*. 4/207
- Erdemli, M.İ. (2018). *Elektrokromik Kaplamalı Camın Farklı İklim Bölgelerine Göre Enerji Performansı Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.
- Fioletov, V., Kerr, B.J., Fergusson, A. (2010). *The UV Index: Definition, Distribution and Factors Affecting It*. *Canadian Journal Of Public Health*. 101(4): I5-I9.
- Fiore B., Nicoletta, P., Giuseppe C., Cupelli, D. (2005). Electrochromic Polymer-Dispersed Liquid-Crystal Film: A New Bifunctional Device. 15, 995-999
- George J., Zissis. (1993). *The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, Vol. 1: Sources of Radiation*.
- Ghosh, A., Mallick, T.K., (2018). *Evaluation of optical properties and protection factors of a PDLC switchable glazing for low energy building integration*. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 176, 391-396.
- Güçlü, T., Cüce, E., Besir, A. (2019). *Enerji Verimli Binalar İçin Sürdürülebilir Ve Çevre Dostu Pencere Ve Cam Teknolojileri: Son Gelişmeler Ve Uygulamalar*. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. Cilt 24, Sayı 3.

- Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi. (2022). *Güneş Işığının Zararlı Etkilerinden Korunmak İçin Temel Öneriler. Halk Sağlığı Anabilim Dalı Toplum İçin Bilgilendirme Dizisi, 2022/2023-69*. Erişim Tarihi: 08 Ekim 2023. [https://halksagligi.hacettepe.edu.tr/duyurular/halkayonelik/gunes\\_2023.pdf](https://halksagligi.hacettepe.edu.tr/duyurular/halkayonelik/gunes_2023.pdf)
- Hakemi, H., Pinshow O., Gal-Fuss D. (2019). *Evaluation of Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC) for Passive Rear Projection Screen Application*. Recent Progress in Materials. volume 1, issue 3.
- He, Z., Yu, P.; Gao, J., Ma, C., Xu, J., Duan, W., Zhao, Y., Miao, Z. (2023). *An Energy-Efficient and Low-Driving-Voltage Flexible Smart Window Enhanced by POSS and CsxWO3*. Energy Mater.250, 112096.
- Heckman, J.C., Liang, K., Riley, M. (2019). *Awareness, Understanding, Use, And Impact of The UV Index: A Systematic Review of Over Two Decades of International Research*. Preventive Medicine, 123, 71–83
- Hemaida, A., Ghosh, A., Sundaram, S., Mallick, T.K. (2020). *Evaluation of Thermal Performance for a Smart Switchable Adaptive Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC) Glazing*. Sol. Energy, 195, 185–193.
- Henderson, R. (2007). *Wavelength Considerations*. Instituts für Umform- und Hochleistungs.
- IESNA, (2000). Light and Optics. Rea, M.S. (Ed.), *The Illuminating Engineering Society of North America Lighting Handbook*. New York: Illuminating Engineering Press.
- Iluyemi C.D., Nundy, S., Shaik, S., TahirA., Ghosh, A. (2022). *Building energy analysis using EC and PDLC based smart switchable window in Oman*. Solar Energy 237-301–312.
- Islam, S.M., Chan K.Y., Azmi S.A., Pang W.L., Wong S.K. (2023-A). *Internet of things-enabled smart controller for polymer dispersed liquid crystals films*. Vol. 13, No. 4, pp. 4708~4720.
- Islam, S.M., Chan K.Y., Thien, H.S.G., Low, P.L., Lee, C.L., Wong, S.K., Noor, E.E., Wen-Cheun, B., Neng Ng, Z. (2023-B). *Performances of Polymer-Dispersed Liquid Crystal Films for Smart Glass Applications*. Polymers. 15, 3420.
- Jeffrey V., Malch (2005). *Psychosomatic Medicine*. 67: 157-163 2005
- Jelle, B.P., Gustavsen, A., Nilsen, T.N., Jacobsen, T. (2007). *Solar material protection factor (SMPF) and solar skin protection factor (SSPF) for window panes and otherglass structures in buildings*. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 91, 342–354.
- Jesus, A., Sousa, E., Cruz, M.T., Cidade, H., Sousa J.M., Almeida I.F. (2022). *UV Filters: Challenges and Prospects*. 15, 263.
- Keyoonwong, W., Khan-ngern, W., Ruxsri, P. T. V., Raksasataya, V. (2018). *PDLC film's energy consumption and performance for light filtration system*. 2018 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology & International Conference on Information and Communication Technology for Embedded Systems.
- Kumar, S., Kang, D., Nguyen, V.H., Nasir, N.; Hong, H., Kim, M., Nguyen, D.C., Lee, Y., Lee, N., Seo, Y. (2021). *Application of Titanium-Carbide MXene-Based Transparent Conducting Electrodes in Flexible Smart Windows*. ACS Appl. Mater. Interfaces. 13, 40976–40985.
- Lamontagne, B., Fong, N.R., Song, I.-H., Ma, P., Barrios, P., Poitras, D. (2019). *Review of Microshutters for Switchable Glass*. J. Micro/Nanolithogr. MEMS MOEMS 2019, 18, 040901.
- Linshang, (2023). *LS163/LS163A Transmission Meter User Manual V2.0*. Linshang Web Sayfası. Erişim Tarihi: 21 Kasım 2023. <https://images.linshangtech.com/user-manual/LS163 LS163A User Manual V2.0.pdf>
- Luccini, E., Facundo O., Lell J., Nollas F., Gerardo C., Wolfram E. (2023). *The UV Index color palette revisited*. Journal of Photochemistry and Photobiology. 15-100180
- Lu, J.T., Ilyas, E. (2022). *An Overview of Ultraviolet-Protective Clothing*. 14(7).

- Magic-Film, (2024). Magic-Film Web Sayfası. Erişim Tarihi: 20 Ocak 2024. <https://www.magic-film.com>
- Mahulikar, S., Sonawane H. & Rao, G. (2007). Infrared signature studies of aerospace vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*. 43 (7–8): 218-245.
- Medicana Sağlık Grubu. (2017). *Güneş Işığının Zararlı Etkileri*. Medicana Hastaneleri Web Sayfası. Erişim Tarihi: 05 Ocak 2024. <https://www.medicana.com.tr/haber-detay/3811/gunes-isiginin-zararli-etkileri>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023). Ultraviöle İndeks. MGM Web Sayfası. Erişim Tarihi: 05 Ocak 2024. <https://www.mgm.gov.tr/site/yaridim1.aspx?=UvIndeks>
- Nasir, N., Hong, H., Rehman, M.A., Kumar, S., Seo, Y. (2020). *Polymer-Dispersed Liquid-Crystal-Based Switchable Glazing Fabricated via Vacuum Glass Coupling*. *RSC Adv*, 10, 32225–32231.
- National Aeronautics and Space Administration, Science Mission Directorate. (2010). *Ultraviolet Waves*. NASA Web Sayfası. Erişim Tarihi: 02 Ocak 2024. <https://science.nasa.gov/ems/10/ultravioletwaves/>
- Onaygil, S. (2000). Aydınlatma Aygıt Tasarımı Temel İlkeleri Dersi. Erişim Tarihi: 15 Ekim 2023. [http://web.itu.edu.tr/~onaygil/eut339/isik\\_fotometrik\\_buyuklukler.doc](http://web.itu.edu.tr/~onaygil/eut339/isik_fotometrik_buyuklukler.doc)
- Özkaya, M. ve Tüfekçi, T. (2011). *Aydınlatma Tekniği*, 1. Baskı, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Pantoja, G., Mendivil, E.G., Flores, P.G., Suarez, F., Hendrich, N. (2015). *Use of PDLC Film for Improving Visualization of Contents in Holographic Display under Different Illumination Scenarios*. *Procedia Computer Science*. 75 -151 – 160.
- Park, S., Hong, J.W. (2009). *Polymer dispersed liquid crystal film for variable-transparency glazing*. *Thin Solid Films* 517, 3183–3186.
- Pavia, D., Lampman, G. and Kriz, G. (2001). *Introduction to Spectroscopy, a Guide for Students of Organic Chemistry*. 3rd Edition, Boston, 22-368.
- Penn Çevre Sağlığı ve Radyasyon Güvenliği Ofisi. (2022). *Bilgi Notu: Ultraviöle Radyasyon*. PennEHRS Web Sayfası. Erişim Tarihi: 10 Kasım 2023. <https://ehrs.upenn.edu/health-safety/lab-safety/chemical-hygiene-plan/fact-sheets/fact-sheet-ultraviolet-radiation>.
- Reddy, T.S., Kumar, M.C.S. (2016). *Co-Evaporated SnS Thin Films for Visible Light Photodetector Applications*. *RSC Adv*. 6,95680–95692.
- Saeed, M.H., Zhang, S., Zhou, L., Chen, G., Wang, M., Zhang, L., Yang, D., Yang, H. (2020). *Effects of Rigid Structures Containing (Meth) Acrylate Monomers and Crosslinking Agents with Different Chain Length on the Morphology and Electro-Optical Properties of Polymer-Dispersed Liquid Crystal Films*. *J. Mod. Opt.* 2020, 67, 682–691.
- Senior, J.M. (2009). *Optical Fiber Communications Principles and Practice*. Third Edition.
- Shi, Z., He, Z., Li, C., Miao, Z., Wang, D., Luan, L., Li, Y., Zhao, Y. (2022). *The role of nanomesh fibres loaded with fluorescent materials on the electro-optical performance of PDLC devices*. *Liq. Cryst.* 49, 2037–2050.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2023). *UV İndeks*. EPA Web Sayfası. Erişim Tarihi: 03 Aralık 2023. <https://www.epa.gov/sunsafety>
- Uzun, İ. (2014). *Işığın Fotoğraf Sanatındaki Öneminin İncelenmesi*. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Ünal A. (2014). *Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları*, 2. Baskı, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Yılmaz, E. (2020). *Işık Bir Yüzeye Çarptığında Ne Olur*. Aydınlatma Portalı Web Sayfası. Erişim Tarihi: 19 Ekim 2023. <https://www.aydinlatma.org/isik-bir-yuzeye-carptiginda-ne-olur.html>

Youssef P.N., N. Sheibani ve DM Albert. (2011). *Retinal light toxicity*. 25, 1–14.

Zhou, L., He, Z., Han, C., Zhang, L., Yang, H. (2019). *Switchable Anti-Peeping Film for Liquid Crystal Displays from Polymer Dispersed Liquid Crystals*. *Liq. Cryst.* 46, 718–724.

Wai, T.T., Lwin, K.S., Tun, H.M. (2017). *Design and Implementation of UV Index Measuring System Using LabVIEW*. Issn 2319-8885 Vol.06, issue.15 pages:2942-2947.

Wiley, John. ve Sons. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design*.

Wirunchit, S., Apivitcholchat, C., Chodjarusawad, T., Koetniyom, W. (2018). *The study of UV protection materials*. International Conference on Science and Technology of Emerging Materials. AIP Conf. Proc. 2010, 020024-1–020024 -10.

Wong K. V., Chan R. (2014). *Smart Glass and Its Potential in Energy Savings*. *Journal of Energy Resources Technology*. Vol. 136, 1–6.



## EKLER



## EK-1. Gömülü Sistem Yazılımı (Arduino C)

```
/* -----  
-----  
Program Adı      : prj_Optik_Filtreleme.ino  
Programlama Dili : Arduino C  
Tarih           : 24 Nisan 2024  
Tez Türü        : Yüksek Lisans Tezi  
Tez Adı         : PDLÇ Film Tabanlı Işık Filtreleme Kontrol Sistemi Tasarımı  
Üniversite      : Hitit Üniversitesi  
Enstitü         : Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Ana Bilim Dalı  : Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD  
Öğrenci         : Soner Muhammed TURAN  
Danışman        : Dr.Öğr.Üyesi Serkan DİŞLİTAŞ  
-----  
-----  
*/  
  
// Kütüphaneler -----  
#include <Wire.h>  
#include <Adafruit_GFX.h>  
#include <Adafruit_SH1106.h>           // AdaFruit SH1106 Driver LCDs  
#include <SI1145_WE.h>                 // SI1145 Sensor  
#include <MapFloat.h>  
#include <TimerOne.h>                 // TimerOne Kütüphanesi eklenir.  
  
// Tanımlar -----  
#define OLED_RESET -1  
Adafruit_SH1106 OLED_Ekran(OLED_RESET); // OLED_Ekran nesnesi oluştur  
SI1145_WE sensor_SI1145 = SI1145_WE(); // SI1145 Sensor nesnesi oluşturulur  
// SI1145 Pin Kullanımı (VCC:5V, GND:GND, SCL:A5(SCL),SDA :A4(SDA) )  
  
// Sabit / Değişken Tanımlamaları -----  
const int pin_Control_Mod = 2; // Çalışma MODU değiştirme Pini (A0)  
int Control_Mod = 0; // Çalışma Modu (0-2)  
  
// Inverter Tanımları -----  
int f = 50; // f = 50 Hz;  
long T = 20000; // T=20 ms  
long Ton, Ton_old = 10000; // Initial Ton time (us)  
long Toff = 0; // Initial Toff time (us)  
int P_rate = 0; // Power Rate (%0-100)  
  
const int pin_Positive = 3; // Pozitive Alternance Out Pin  
const int pin_Negative = 5; // Negative Alternance Out Pin  
  
const int pin_sp = A0; // f Pot Input Pin  
const int pin_Ton = A1; // Ton Pot Input Pin  
  
int sp = 19999; // Setpoint Value  
int pv = 19999; // Proses Value  
long e = 0; // P Error Değeri  
int P_out = 0; // P Out Değeri
```

```

// AYARLAR -----
// -----

void setup()
{
  pinMode(pin_Positive, OUTPUT);
  pinMode(pin_Negative, OUTPUT);
  pinMode(pin_Control_Mod, OUTPUT);

  Timer1.attachInterrupt( Timer_Int_Yordami ); // Timer Interrupt Tanımı
  Timer1.initialize(T); // Kesme Tetikleme Süresi T_on = T_off = T/2
  Serial.begin(250000);

  OLED_Ekran.begin(SH1106_SWITCHCAPVCC, 0x3C); // OLED i2c adresi = 0x3C

  // SENSOR
  sensor_SI1145.init();
  sensor_SI1145.setI2CAddress(0x59); // SI1145 i2c adresi = 0x59
  sensor_SI1145.enableHighSignalVisRange();
  sensor_SI1145.enableHighSignalIrRange();
  sensor_SI1145.enableMeasurements(PSALSUV_TYPE, AUTO);

  // Ekran Animasyonu
  Ekran_Animasyon();
}

// -----
// -----

```

```

// ANA PROGRAM ÇEVİRİMİ -----
// -----

void loop()
{
    // Çalışma Modu Öğren
    if (digitalRead(pin_Control_Mod)==HIGH) Control_Mod = ++Control_Mod%3;

    // Menü : Çalışma Modu
    switch (Control_Mod)
    {
        case 0: {          // Read VIS Setpoint Value
            sp      = 10*map(DAC_Read(pin_sp), 205,1023, 38, 78 ) ;
            pv      = sensor_SI1145.getAlsVisData(); // SI1145 Olcumu
            Ton     = P_Control(sp, pv);

            // VIS (P) Kontrol Ton)
            Toff   = (T/2) - Ton;
            P_rate = constrain(Ton/(T/2.0)*100, 0, 100);

            Ekran_Tazele(Control_Mod, sp, pv, P_rate );
            break;
        }

        case 1: {          // Mod : IR Control
            sp      = map(DAC_Read(pin_sp), 205,1023, 0, 1000) ;

            // Read IR Setpoint Value (IR_Set)
            pv      = sensor_SI1145.getAlsIrData();

            // SI1145 Olcumu Yap
            Ton     = P_Control(sp, pv);

            // IR (P) Kontrol (Ton)
            Toff   = (T/2) - Ton;
            P_rate = constrain(Ton/(T/2.0)*100, 0, 100);

            Ekran_Tazele(Control_Mod, sp, pv, P_rate );
            break;
        }
    }
}

```

```

case 2: { // Mod : UVI Control

    // Read UVI Set Value (UVI_Set)
    sp = constrain(map(DAC_Read(pin_sp),205,1023,0,12),0,11);

    // Proses Value - pv_UVI
    pv = round(sensor_SI1145.getUvIndex());

    // UVI (P) Kontrol (Ton)
    Ton = P_Control(sp, pv);
    Toff = (T/2) - Ton;
    P_rate = constrain(Ton/(T/2.0)*100, 0, 100);

    Ekran_Tazele(Control_Mod, sp, pv, P_rate );
    break;
}
}
}

```

```

// Function ( P (Proportional) Control ) -----
int P_Control(double sp, double pv)
{
    e = sp - pv;
    int P_out_old = P_out;

    // Hata Düzeltmesi hesaplanır
    P_out = round(P_out * (1 + (double) e/sp) ); // P Kontrol değeri hesaplanır

    if((P_out == P_out_old) && (e>0) ) P_out -= 100;
    if((P_out == P_out_old) && (e<0) ) P_out += 100;

    // P Out sınırlar içerisinde tutulur (Ton:1-10000)
    P_out = constrain (P_out, 1, 10000);

    Serial.println ( "P_out_old : " + String(P_out_old) );
    return P_out; // P Out değeri geri gönderilir
}

```

```

// Function : Ekran Tazele -----
void Ekran_Tazele(int Control_Mod, int sp, int pv, int P_rate )
{
    // Ekran Temizle
    OLED_Ekran.clearDisplay();

    // Yazı Rengi
    OLED_Ekran.setTextColor(WHITE);

    switch (Control_Mod)
    {
        case 0: {
            // Title
            OLED_Ekran.setTextSize(1);
            OLED_Ekran.setCursor(0,0);
            OLED_Ekran.print("  VIS Control");

            // VIS Proses Value
            OLED_Ekran.setTextSize(2);
            OLED_Ekran.setCursor(25,15);
            OLED_Ekran.print("VIS " +String(pv));

            // VIS Setpoint Value
            OLED_Ekran.setTextSize(1);
            OLED_Ekran.setCursor(35,35);
            OLED_Ekran.print("( Set      )" );
            OLED_Ekran.setTextSize(1);
            OLED_Ekran.setCursor(69,35);
            OLED_Ekran.print( String(sp) );

            break;
        }

        case 1: {
            // Title
            OLED_Ekran.setTextSize(1);
            OLED_Ekran.setCursor(0,0);
            OLED_Ekran.print("  IR Kontrol");

            // IR Proses Value
            OLED_Ekran.setTextSize(2);
            OLED_Ekran.setCursor(25,15);
            OLED_Ekran.print("IR " +String(pv));

            // IR Setpoint Value
            OLED_Ekran.setTextSize(1);
            OLED_Ekran.setCursor(35,35);
            OLED_Ekran.print("( Set      )" );
        }
    }
}

```

```

        OLED_Ekran.setTextSize(1);
        OLED_Ekran.setCursor(70,35);
        OLED_Ekran.print( String(sp) );

        break;
    }

    case 2: {
        // Title
        OLED_Ekran.setTextSize(1);
        OLED_Ekran.setCursor(0,0);
        OLED_Ekran.print("    UVI Kontrol");

        // UVI Proses Value
        OLED_Ekran.setTextSize(2);
        OLED_Ekran.setCursor(27,15);
        OLED_Ekran.print(" UVI " +String(pv));

        if (pv==11) OLED_Ekran.print("+");

        // UVI Setpoint Value
        OLED_Ekran.setTextSize(1);
        OLED_Ekran.setCursor(35,35);
        OLED_Ekran.print("( Set    )" );
        OLED_Ekran.setTextSize(1);
        OLED_Ekran.setCursor(70,35);
        OLED_Ekran.print( String(sp) );

        if (sp==11) OLED_Ekran.print("+");

        break;
    }
}

// Power (Duty Cycle) (%)
OLED_Ekran.setTextSize(1);
OLED_Ekran.setCursor(45,51);
OLED_Ekran.print("P = %"+String(P_rate) );

// Ekran Çerçevesi
OLED_Ekran.drawRect(2,10,120,54,WHITE);

// Ekranı Ver
OLED_Ekran.display();
}

```

```

// Function : Ekran Animasyon -----
void Ekran_Animasyon()
{
    OLED_Ekran.setTextColor(WHITE);

    for (int i=1; i<=5; ++i) {
        OLED_Ekran.clearDisplay();
        for (int dia=0; dia<i*15 ; dia += 5 ) {
            OLED_Ekran.drawCircle (63, 31, dia, WHITE);
            OLED_Ekran.display();
        }
    }

    OLED_Ekran.clearDisplay();
    OLED_Ekran.setTextSize(2);

    OLED_Ekran.setCursor(0,15);
    OLED_Ekran.print("  HiTiT  ");
    OLED_Ekran.display();
    delay(500);

    OLED_Ekran.setCursor(0,35);
    OLED_Ekran.print("UNIVERSITY");
    OLED_Ekran.display();
    delay(2500);
}

// DAC Değerlerini Oku -----
int DAC_Read(int pin_AI)
{
    int AI_sum = 0, Value = 0;

    for (int i=0; i<20 ; ++i) AI_sum += analogRead (pin_AI);

    Value = AI_sum / 20;

    return Value;
}

```

```

// Function : Ekran Animasyon -----
void Ekran_Animasyon()
{
    OLED_Ekran.setTextColor(WHITE);

    for (int i=1; i<=5; ++i) {
        OLED_Ekran.clearDisplay();
        for (int dia=0; dia<i*15 ; dia += 5 ) {
            OLED_Ekran.drawCircle (63, 31, dia, WHITE);
            OLED_Ekran.display();
        }
    }

    OLED_Ekran.clearDisplay();
    OLED_Ekran.setTextSize(2);

    OLED_Ekran.setCursor(0,15);
    OLED_Ekran.print("  HiTiT  ");
    OLED_Ekran.display();
    delay(500);

    OLED_Ekran.setCursor(0,35);
    OLED_Ekran.print("UNIVERSITY");
    OLED_Ekran.display();
    delay(2500);
}

// DAC Değerlerini Oku -----
int DAC_Read(int pin_AI)
{
    int AI_sum = 0, Value = 0;

    for (int i=0; i<20 ; ++i) AI_sum += analogRead (pin_AI);

    Value = AI_sum / 20;

    return Value;
}

```

```
// TIMER INTERRUPT Yordamı (Pulse Değişimi)-----
void Timer_Int_Yordami()
{
  // Pozitif Alternans
  digitalWrite (pin_Positive, HIGH);
  delayMicroseconds (Ton*0.96);          // Ton

  digitalWrite (pin_Positive, LOW);
  delayMicroseconds (Toff*0.96);         // Toff

  // Negatif Alternans
  digitalWrite (pin_Negative, HIGH);
  delayMicroseconds (Ton*0.96);          // Ton

  digitalWrite (pin_Negative, LOW);
  delayMicroseconds (Toff*0.96);         // Toff
}
```



