



**MÜZECİLİKTE, VİTRİN İÇERİSİNDE SERGİLENEN ESERLERİN
NİTELİKLERİNE GÖRE OTOMATİK AYARLANABİLEN AYDINLATMA
SİSTEMİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin Fatih KURT

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANSTEZİ

MÜZECİLİKTE, VİTRİN İÇERİSİNDE SERGİLENEN
ESERLERİN NİTELİKLERİNE GÖRE OTOMATİK
AYARLANABİLEN AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI

Yasin Fatih KURT

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ TEKNOLOJİ
ANABİLİM DALI

MAYIS 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Yasin Fatih KURT tarafından hazırlanan “Müzecilikte, Vitrin İçerisinde Sergilenen Eserlerin Niteliklerine Göre Otomatik Ayarlanabilen Aydınlatma Sistemi Tasarımı” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 20.05.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Süreyya KOCABEY
Sağlık Bilimleri Üniversitesi / Hamidiye Sağlık Hizmetleri
Meslek Yüksekokulu

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN
Sağlık Bilimleri Üniversitesi / Hamidiye Sağlık Hizmetleri
Meslek Yüksekokulu

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YUMURTACI
Afyon Kocatepe Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

20/05/2024

Yasin Fatih KURT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MÜZECİLİKTE, VİTRİN İÇERİSİNDE SERGİLENEN ESERLERİN NİTELİKLERİNE GÖRE OTOMATİK AYARLANABİLEN AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI

Yasin Fatih KURT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Teknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

Günümüzde müze vitrinlerinde aydınlatma tasarımı yapılırken birçok sistem gelişmiş güzel tasarlanmaktadır. Eser üzerindeki aydınlık düzeyi, parlaklık, gölgeleme, ışığın geliş doğrultusu gibi birçok unsur göz ardı edilmektedir. Bu durum eser üzerindeki boyanın solması, kaplamaların deforme olması gibi fiziksel olumsuzlukların yanında kamaşma, eserin şeklinin ve gerçek renginin iyi algılanamaması gibi görsel konforu etkileyen birçok olumsuzluğu beraberinde getirmektedir. Tüm bunlar müze vitrin aydınlatmalarında istenmeyen durumlardır. Her eser için doğru aydınlatma değeri belirlenip, esere özgü aydınlatma yapılması tüm bu olumsuzlukların azaltılmasında önemlidir. Bu çalışmada, klasik aydınlatma yöntemlerinden farklı olarak müze içi vitrin aydınlatmasında kullanılmak üzere akıllı aydınlatma armatürü tasarımı yapılmıştır. Bu sistemde; tasarlanan aydınlatma armatürü, vitrin içerisine yerleştirilen elektro ray üzerine konumlandırılmıştır. Vitrin içerisine yerleştirilen eserlerin ışık rengi ve aydınlık düzeyi bilgileri tasarlanan el terminaline girilmiştir. El terminali üzerinde aydınlatma seviyesi ve ışık rengi algılayıcıları bulunmaktadır. Kablosuz geri beslemeli bir sistem ile aydınlatma istenilen referans değere getirilmiştir. Bu sayede eserler üzerindeki fazla parlaklığın ve renk solmasının önüne geçilebilecek bir aydınlatma armatürü oluşturulmuştur.

2023, xi + 86 sayfa

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, Ayar, Led, Lüksmetre, Işık Renk, Müzecilik.

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**IN MUSEUM, AUTOMATICALLY ADJUSTABLE LIGHTING SYSTEM DESIGN
ACCORDING TO THE QUALITIES OF THE WORKS DISPLAYED IN THE
SHOWCASE**

Yasin Fatih KURT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronical Engineering Technology

Supervisor: Asst. Prof. Mustafa ŞAHİN

Today, when designing lighting in museum displays, many systems are designed haphazardly. Many elements such as the level of illumination on the work, glare, shading, and the direction of light arrival are ignored. This situation brings with it physical negativities such as fading of the paint on the work, deformation of the coatings, as well as many negativities that affect visual comfort, such as glare and the inability to perceive the shape and true color of the work well. All of these are undesirable situations in museum showcase lighting. Determining the correct lighting value for each work and providing lighting specific to the work is important in reducing all these negativities. In this study, unlike classical lighting methods, a smart lighting fixture was designed to be used in museum showcase lighting. In this system; The designed lighting fixture is positioned on the electrail placed inside the showcase. The light color and illumination level information of the works placed in the showcase were entered into the designed handheld terminal. There are illumination level and light color sensors on the handheld terminal. The illumination was brought to the desired reference value with a wireless feedback system. In this way, a lighting fixture was created that can prevent excessive glare and color fading on the works.

2023, xi + 86 pages

Keywords: Lighting, Adjustment, Led, Luxmeter, Light Color, Museum.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN'e, konu seçimine karar vermeme yardımcı olan Arkeolog (M.A) Cemal Baykal AYDINBEK'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşim Aylin KURT'a, çocuklarım Kerem KURT ve Duru KURT'a teşekkür ederim.

Yasin Fatih KURT
Afyonkarahisar2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	5
2.1 Aydınlatmanın Tarihçesi.....	5
2.2 Işık Nedir?.....	6
2.3 Aydınlatma Nedir?.....	7
2.4 Aydınlatma Türleri	8
2.4.1 Amacına Göre Aydınlatma Türleri	9
2.4.2 Yerine Göre Aydınlatma Türleri	10
2.4.2.1 İç Ortam Aydınlatması (Dahili Aydınlatma).....	10
2.4.2.2 Dış Ortam Aydınlatması (Harici Aydınlatma)	10
2.4.3 Işık Kaynağına Göre Aydınlatma Türleri.....	10
2.4.3.1 Doğal Aydınlatma.....	10
2.4.3.2 Yapay Aydınlatma.....	12
2.4.3.2.1 Çalışma Prensiplerine Göre Yapay Aydınlatma	12
2.4.3.2.2 Hareket Kabiliyetlerine Göre Yapay Aydınlatma.....	14
2.4.3.2.3 Işık Doğrultularına Göre Yapay Aydınlatma.....	15
2.5 Aydınlatma İle İlgili Büyüklükler (Fotometrik Büyüklükler)	16

2.5.1 Işıık Şiddeti.....	17
2.5.2 Işıık Akısı	17
2.5.3 Aydınlık Düzeyi	17
2.5.4 Parıltı	19
2.5.5 Kamaşma.....	19
2.5.5 Işıık Verimi	19
2.5.6 Işıık Rengi	20
2.5.7 Işıık Renk Sıcaklığı	20
2.6 Müzelerde Eser Aydınlatma Konforu.....	21
2.7 Müze Kavramı	24
2.7.1 Müzelerde Sergilenen Eser Tipleri.....	25
2.7.2 Müzelerde Sergilenen Eserlerin Yapıları ve Renk Çeşitleri	26
2.7.3 Müzelerde Sergileme Yöntemleri	27
3. MATERYAL ve METOT.....	29
3.1 Sistem Tasarımı	30
3.2 Donanım Tasarımı	34
3.2.1 Armatür Tasarımı	34
3.2.1.1 Devre Şeması Tasarımı.....	35
3.2.1.2 Baskı Devre Tasarımı	37
3.2.2 El Terminali Tasarımı	39
3.2.2.1 Devre Şeması Tasarımı.....	41
3.2.2.2 Baskı Devre Tasarımı	42
3.3 3D Model Tasarımı	44
3.4 Yazılım Tasarımı	45
3.4.1.1 Buton Kontrol Yazılımı.....	47
3.4.1.2 Led Kontrol Yazılımı.....	48

3.4.1.3 Wifi Haberleşme Yazılımı.....	54
3.4.2 El Terminali Yazılımı	57
3.4.2.1 LCD Kontrol Yazılımı.....	57
3.4.2.2 Sensör Algılama Yazılımı	59
3.4.2.3 Batarya Seviye Kontrolü Yazılımı	60
3.4.2.4 Orta Teker Kontrol Yazılımı	61
3.4.2.5 Wifi Haberleşme Yazılımı.....	63
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	67
5. SONUÇ.....	76
6. KAYNAKLAR	78
7. ÖZGEÇMİŞ	86

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

K	(Kelvin)	Işık rengi birimi
V	(Volt)	Gerilim birimi
A	(Amper)	Akım birimi
mA	(Mili amper)	0,001A değer
W	(Watt)	Güç birimi
F	(Farad)	Kapasite birimi
uF	(Mikro farad)	0,001F değer
nF	(Nano farad)	0,000001F değer
Ω	(Ohm)	Direnç birimi
K Ω	(Kilo ohm)	1000R değer

Kısaltmalar

PID	(Proportional İntegral Derivative) Oransal, integral ve türevsel denetleyici
LED	(Light Emitting Diode) Işık yayan diyot
PWM	(Pulse Width Modulation) Darbe genişlik modülasyonu
PCB	(Printed Circuite Board) Baskılı devre kartı
SMD	(Surface Mount Technology) Yüzey montaj devre elemanı
MCU	(Micro Controller Unit) Mikro denetleyici modülü
BMS	(Battery Management System) Batarya yönetim sistemi
AC	(Alternating Current) Alternatif akım
DC	(Direct Current) Doğru akım
GND	(Ground) Toprak
VCC	(Collector Supply Voltage) Besleme voltajı
3D	(3 Dimention) 3 boyutlu
RGB	(Red Green Blue) Kırmızı, Yeşil, Mavi
OLED	(Organic Light Emitting Diode) Organik ışık yayan diyod
LCD	(Liquid Crystal Display) Sıvı kristal ekran
USB	(Universal Serial Bus) Evrensel seri veriyolu
WiFi	(Wireless Fidelity) Kablosuz bağlantı
ADC	(Analog Digital Converter) Analog sayısal dönüştürücü
I2C	(Inter Integrated Circuite) Entegre devreler arası haberleşme

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Bolu Müzesi taş eserler vitrini	3
Şekil 2.1 Elektromanyetik dalga'nın gösterimi	6
Şekil 2.2 Görünür ışık elektromanyetik spektrum aralığı	7
Şekil 2.3 Aydınlatma türleri Şeması	8
Şekil 2.4 Notre-Dame de Chartres Katedrali'nin güney gül penceresi	11
Şekil 2.5 Doğal aydınlatmadaki farklı ışıklık tipleri	11
Şekil 2.6 Akkor filamanlı lamba	13
Şekil 2.7 Sodyum buharlı lamba.....	13
Şekil 2.8 Işık doğrultusuna göre aydınlatma tipleri.....	15
Şekil 2.9 Aydınlatmanın temel kavramları.....	16
Şekil 2.10 Aydınlanma düzeyi ve mesafe ilişkisi	18
Şekil 2.11 Işık ölçümünde temel birimler	19
Şekil 2.12 Gün doğumundan gün batımına kadar ışık renkleri	20
Şekil 2.13 Işık rengi kartelâsı	21
Şekil 2.14 Kruithof eğrisi	22
Şekil 2.15 Açık hava sergisi(a), vitrin içi sergisi(b), kaide üzeri iç mekan sergisi(c).....	28
Şekil 3.1 Sıva altı led spot (a), led spotun vitrin içi kullanımı (b).....	30
Şekil 3.2 Elektro ray (a), elektro ray üzerinde ray spotların görünümü (b)	31
Şekil 3.3 Vitrin uygulaması (a), vitrin içi sistemin çalışması(b)	31
Şekil 3.4 PID kontrol yapısı (a), İki renk led kullanımı (b).....	33
Şekil 3.5 Tasarlanan sistemin geri beslemeli çalışma şeması	33
Şekil 3.6 Tasarlanan ray spot armatürün yan görünümü (a), tasarlanan ray spot armatürün elektro ray ile yan görünümü(b), tasarlanan ray spotarmatürün elektro ray üzerinde farklı açıdan görünümü (c).....	34

Şekil 3.7 Regülatör bölümü şeması (a), buton bağlantı çeşitleri şeması (b)	35
Şekil 3.8 Tasarımda kullanılan buton bağlantı şeması	36
Şekil 3.9 Gün ışığı rengi ledlerin izoleli kontrol şeması(a), beyaz renk ledlerin izoleli kontrol şeması (b).....	37
Şekil 3.10 PCB çizimi ve ölçüleri (a), PCB'nin 3D görünümü (b), PCB'nin üretilmiş hali (c)	38
Şekil 3.11 PCB üretilmiş ve dizgisi yapılmış hali (a), PCB üretilmiş ve dizgisi yapılmış arka görünümü (b).....	38
Şekil 3.12 Led kartının armatüre monte edilmiş hali (a), armatürün iç kısmı ESP'nin yerleştirilmiş halinin görünümü (b), ESP'nin izoleli ve izolesiz görünümü (c)	39
Şekil 3.13 Işık aydınlık seviyesini ve rengi algılayıcı sensör TCS34725 (a), ESP8266 D1 Mini işlemci modülü (b), 128x64 piksel OLED ekran (c)	39
Şekil 3.14 Bilgisayar faresi orta tekerleği görünümü (a), orta tekerleğin iç görünümü (b).....	40
Şekil 3.15 18650 paketinde 2500mAh kapasitede lityum-ion pil (a), pilin paket yapısı ve ölçüleri (b)	41
Şekil 3.16 Pil şarj ve akım koruma BMS modülü TP4056	41
Şekil 3.17 İşlemci modülü bağlantı şeması (a), ışık sensör modülü bağlantı şeması (b), Kontrol tekerleği bağlantı şeması (c), OLED LCD bağlantı şeması (d). .	42
Şekil 3.18 Devrenin delikli pertinaks üzerine yerleştirilerek çalışır hale getirilmesi (a), devre elemanlarının yerleşimine karar verilmesi (b).....	42
Şekil 3.19 Delikli pertinaks üzerine monte edilen devrenin 3D baskı içerisine yerleştirilmesi (a), devre 3D kutuya yerleştirilen devrenin görünümü (b).	43
Şekil 3.20 El terminali devre 3D görünümü.....	43
Şekil 3.21 El terminali PCB çizimi (a), PCB üst görünümü (b), PCB alt görünümü (c), Devre üst görünümü (d), devre alt görünümü (e), devre yan görünümü (f).....	44

Şekil 3.22 El terminali 1. tasarım 3D çizimi (a), el terminali 2. tasarım 3D çizimi (b), El terminali 2. tasarım devre kartı ile birlikte 3D çizimi (c).....	44
Şekil 3.23 El terminali ön görünüm (a), el terminali alt görünüm (b), el terminali çalışır haldeki görünümü (c).	45
Şekil 3.24 Yazılım diyagramı.....	46
Şekil 4.1 Aydınlatma test düzeneği	67
Şekil 4.2 Aydınlik düzeyi hedef-gerçekleşme grafiği	71
Şekil 4.3 Işık renk sıcaklığı hedef-gerçekleşme grafiği	71
Şekil 4.4 Müze vitrini test ortamı (a), Canon marka fotoğraf makinesi (b ve c).....	72
Şekil 4.5 Vitrin içine yerleştirilen benzer iki heykelin ölçümleri.....	72
Şekil 4.6 Özdeş ışık akıları ile aydınlatma(a), heykel tepe yüzeylerinde özdeş aydınlık düzeyi aydınlatması (b).....	73
Şekil 4.7 Heykeller üzerinde aydınlık düzeylerinin belirtilmiş halleri.....	74
Şekil 4.8 Fotoğraf makinesinin kısık ışık değerlerinde aynı ölçümlere ait farklı açıdan fotoğrafları	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Thomson tablosu	23
Çizelge 2.2 Eserler hammaddelerinin ışığa duyarlılıklarına bağlı önerilen aydınlatma sınır değerleri.....	23
Çizelge 3.1 Orta teker kontrol sinyali.....	62
Çizelge 4.1 Hedef ve gerçekleşme tablosu.....	68
Çizelge 4.2 Gerçekleşen aydınlık düzeyi tablosu.....	69
Çizelge 4.3 Gerçekleşen ışık rengi sıcaklığı.....	70
Çizelge 4.4 Şekil 4.5’deki aydınlatma ışık değerleri.....	73
Çizelge 4.5 Şekil 4.8’deki aydınlatma ışık değerleri.....	74

1.GİRİŞ

Işığın malzemenin renginde solma ve malzeme yüzeyindeki bozulma şeklinde verdiği kötü etki bilinmektedir. Renklerin malzeme üzerindeki kalıcılığı konusunda ilk çalışmalar 19. yüzyılda başlamış ve 20. yüzyıl boyunca araştırmacılar malzeme üzerindeki rengin solma oranını ölçmeye ve malzemenin bozulma oranını yavaşlatmaya yönelik kullanılabilecek teknikler sunmaya çalışmışlardır. Cuttle (1996) bir araştırmasında müzelerde sergilenen eserlerin aydınlatma nedeniyle fiziksel ve kimyasal olarak hasara uğradığını ortaya koymuştur. Eserlere yönlendirilen ışık kaynakları, farklı oranlarda; mor ötesi (Ultraviolet Radiation), görünür (Visible Radiation), ısı (Infrared Radiation) yayımlamaktadırlar. Bu nedenle zararlar hemen algılanamasa da, aydınlatma sebebi ile eserlerde ciddi bozulmalar meydana gelmektedir (Can ve Altuncu 2021). Bu ve benzeri nedenler sonucunda malzemenin deforme olmaması için Druzik ve Eshoj (2007) cisim aydınlatmasında ışığın kontrollü verilmesi gerektiğini çalışmalarında ortaya koymuşlardır.

Malzeme üzerinde zamanla aşınma renk solması gibi durumların istenmediği önemli yerlerden biri müzelerdir. Müzeler eserlerin sergilemesini, korunmasını ve eser hakkında ziyaretçileri eğitmeyi amaçlamaktadır (Berns 2011). Eserlerin sergilenmesinde ve depolanmasında ortam koşulları çok önemlidir. Ortam sıcaklığı, nemi, hava sirkülasyonu ve aydınlatmanın malzeme üzerinde etkisi büyüktür. Bu nedenle müze depolarında genellikle havalandırma, nem alma cihazları ve sıcaklık-nem sensörleri bulundurulmaktadır. Sergi salonlarında ise bunlara ek olarak aydınlatma faktörü vardır. Müzelerde aydınlatma, ziyaretçilerin sergilenen objeleri iyi algılamaları, görsel konfor sağlanması ve oda yönelimleri açısından önemlidir. Bu sebeple müze salonları aydınlatmanın önemi büyüktür fakat aydınlatmanın zararlı etkilerinden de kaçınılacak şekilde doğru ışık değerlerinde yapılması gerekmektedir.

Müzelerin özellikle ilgilendiği konular; gerçek rengin fark edilebilmesi, nesnelerin üç boyutlu algılanması ve parlamasının önlenmesidir (Graaf vd. 2014). Aydınlatma yöntemleri, parlaklık kontrastına, vitrin yansımalarına, karmaşık mekânsal parlaklık dağılımına ve yoğun parlamaya yol açarak görsel etkiyi ciddi şekilde etkiler (Dang vd. 2023). Bir müzede izleyenin esere dokunma olasılığı oldukça düşüktür. Bu nedenle

eserlerin biçim, renk ve dokuları ancak aydınlatma ile gösterilebilir. Genel olarak müze aydınlatmasında, nicelikle (nesnenin korunması ve görünmesi) ve nitelikle (görsel olarak nesnenin tüm özelliklerinin net ve doğru biçimde algılanması) ilgili değerlerin sağlanması koşulu vardır (Kurtay vd. 2003). Mağaza vitrinlerinde nesnelerin ön plana çıkartılması için olabildiğince yüksek aydınlık düzeyinde ışık kaynakları kullanılırken, müze vitrinlerinde eserin ön plana çıkartılması değil iyi algılanması ve eserin zarar görmeyecek tipte ve seviyede ışık kaynağı kullanımına dikkat edilir (Akgün 2018). Galloway (2009) tezinde müze aydınlatma tasarımının başarısı, eser üzerindeki rengin ziyaretçilere doğru aktarılması ile karşılanabileceğinden bahsetmektedir.

Müzelerde vitrin içi eserlerin aydınlatılması için vitrin içi eser sayısına göre çok sayıda aydınlatma armatürü kullanılmaktadır. Bu aydınlatma armatürleri tamamen özdeş yapıda olup tüm ışık değerleri sabit ve aynıdır. Vitrin içerisindeki eserin boyutlarına, renklerine veya kaplamasına göre farklı ışık değerlerine sahip değildir. Bu şekilde yapılan aydınlatmada yan yana bulunan eserlerin yüksekliklerinin farklı olması aydınlatma armatürü ile eser arasındaki mesafeyi değiştirir. Eser üzerindeki aydınlık düzeyi mesafeyle ters orantılı olduğundan mesafe azaldıkça bu değer artar ve yan yana duran eserler arasında kamaşmaya neden olur. Bu ziyaretçinin gözünden görsel konforun sağlanamaması ile sonuçlanır. Başka bir açıdan eser üzerindeki renklerin veya malzeme yapısının da farklı olmasından kaynaklı eserin gerçek renginin ortaya konulabilmesi için doğru ışık renk sıcaklığı değeri ile aydınlatılması gerekmektedir. Tüm bu durumlar ele alındığında her eser için farklı bir aydınlatma değeri belirlenmesi ihtiyacı sözkonusudur. Bundan yola çıkarak her eserin farklı aydınlatılabilmesi içinde bir akıllı aydınlatma sistemi önerilmiştir. Şekil 1.1 de yanlış aydınlatılan müze vitrini örneği verilmiştir. Her eserin üzerindeki aydınlık düzeyi farklı olduğundan kamaşmalar ve karanlıkta kalmalar sözkonusudur.



Şekil 1.1 Bolu Müzesi taş eserler vitrini (oklar kamaşmaları göstermektedir)

Uygulamada konuya esas çalışmalar az sayıda olduğundan literatürde benzer konuya sahip bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Hurlbert ve Cuttle (2019) yaptıkları araştırmada müzelerde sergilenen tablo eserlerin yanlış ışık değerlerine maruz kalmasından kaynaklı renklerinde solmalar olabileceğine ulaşılmıştır. Bu renk solmasını ortadan kaldırmak için akıllı aydınlatma sisteminin müzelerde uygulanması gerekliliği incelenmiştir. Akıllı aydınlatma sistemi için de bir öneri getirilmiştir. Her tablo için ışık değeri belirlenecek, sonra her tablonun yanına bir ışık algılayıcı sensör konulacak son olarak da akıllı aydınlatma armatürünün bu sensöre göre ışık değerinin sabit tutulması ile tablo renkleri solmaktan korunmuş olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Kalani M.J. ve Kalani M. (2022) çalışmalarında günün farklı saatlerinde farklı renk sıcaklık değerinde yanan sokak aydınlatmalarının, insan üzerindeki duygusal ve biyolojik etkileri incelenmiştir. Aydınlatma armatürü üzerindeki 2700K ve 6500K değerindeki iki led grupları mosfetler ile PWM tekniği kullanarak kontrol edilmiştir. Bu sayede ara renk sıcaklık değerlerine ulaşıldığı ortaya konulmuştur.

Chung vd. (2017) yaptıkları çalışmada üç ana ışık renginin (kırmızı, yeşil, mavi) karıştırılarak yeni dalga boylarında renkler elde edilmesini incelenmiştir. Tek led

üzerinde üç farklı rengin PWM yoluyla aydınlık düzeyini kısıp açarak ara renklere ulaşmıştır.

Şener vd. (2008) tarafından müzelerde aydınlatmadan kaynaklı eser rengindeki bozulmaların önüne geçebilmek için bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada en yüksek lüks değerine sahip aydınlatma armatürlerinin karartılabilir özellikte olanları seçilerek maksimum sınır içerisinde tutulması gerektiği bilgisine ulaşılmıştır. Buradaki uygulamada ölçümler lüksmetreden alınan bilgiye bakarak aydınlatma armatürü kablolu kumandadan el ile ayarlanması şeklinde yapılmaktadır.

Galloway (2009) tezinde ray spot armatürlerinin yan yana dizilerek duvar boyama şeklinde hep birlikte aydınlatma sağlanmasını temel almıştır. Bu çalışmada ray spotların renk sıcaklığı ve aydınlatma düzeyleri sabit tutulmuş olup düzlemsel bir aydınlatma yapılması üzerinde durulmuştur.

Şahin vd. (2016) yaptıkları çalışmada aydınlatma armatürlerinin zamanla ışık şiddetlerinin azalabileceğini belirtmişlerdir. Bu durumun yapay sinir ağları yöntemiyle tahmin edilebilir olduğu ve bakım sürelerini daha gerçekçi olarak tahmin edilebileceği ifade edilmiştir. Bu sayede doğru zamanlarda bakım yapılarak sürekli aynı aydınlatmanın sağlanabildiği ortaya koyulmuştur. Kocabey ve Ekren (2014) ise bakım kontrolleri için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı müzelerde vitrin içerisinde sergilenen eserler için, istenilen aydınlık düzeyi ve ışık renk sıcaklığı değerini sağlayabilecek bir aydınlatma armatürü tasarlanmasıdır.

2.LİTERATÜR BİLGİLERİ

Uygulamada, müzelerde vitrin içerisinde çoğunlukla birden fazla eser sergilenmektedir. Bu eserlerin aydınlatması yapılırken eser sayısına göre bir veya daha fazla ve tek tip aydınlatma elemanları kullanılmaktadır. Farklı özelliklerdeki eserler üzerinde tek tip aydınlatma elemanının kullanımı ise görsel açıdan başta parıltı ve kamaşma olmak üzere bir takım olumsuzlukları beraberinde getirmektedir. Bu da eserlerin tam manası ile algılanmasına engel olmaktadır. Bu bağlamda çalışmada, müzelerde vitrin içerisindeki eserlerin kendi yapı ve özelliklerine uygun olarak aydınlatılabilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında tasarımı yapılan aydınlatma sistemi, el terminali ve akıllı aydınlatma armatüründen oluşmaktadır. Esere özgü aydınlık düzeyi ve ışık renk sıcaklığı değerleri referans olarak el terminaline girilir. Aydınlatma armatürü ve el terminali kablosuz olarak haberleşme sağlar. El terminali üzerindeki sensörler yardımıyla eserin üst tepe noktasında tutulan el terminali ışık değerlerini sürekli olarak ölçer ve aydınlatma armatürü referans bilgisi ile ölçülen değer eşleşene kadar üzerindeki iki farklı ışık renk sıcaklığındaki led grubunun ışık akılarını değiştirir. Bu sayede eser üzerinde esere özgü aydınlatma değerleri gerçekleştirilmiş olur.

Yukarıdaki bilgiler göz önünde bulundurulduğunda çalışma “Aydınlatma” ve “Müzecilik” olmak üzere iki temel kavramdan oluşmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın bu bölümünde öncelikle aydınlatma kavramı sonrasında müzecilik kavramı detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.1 Aydınlatmanın Tarihçesi

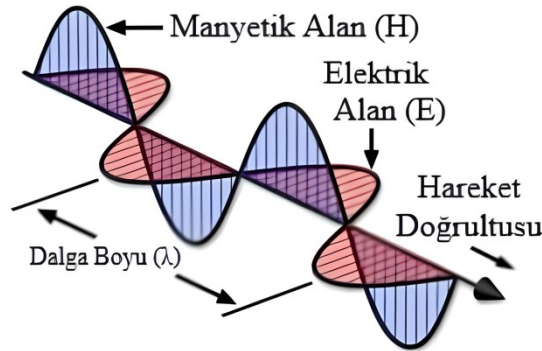
Aydınlatma, ışık kaynağı kullanarak karanlıkta görüşü sağlamaktır. Aydınlatmanın tarihi, ateşin keşfiyle başlar. Ateşin bulunmasıyla alev ve meşaleler ilk aydınlatma araçlarıdır. Sonraki dönemlerde yağlı bezler yakıldı, fitiller keşfedildi ve mum gibi aydınlatmalar geliştirilmiştir (Alvisi 2023). Antik dönem Roma’da, sokak aydınlatması olarak gaz lambaları kullanılmıştır (Coşkun 2022). 19. Yüzyılda elektrikli aydınlatmaların kullanımına başlanmıştır. 1879 yılında Thomas Edison ilk elektrikli ampulü tasarlamıştır (Özdemir 2016). 20. yüzyılın ilk zamanlarında halojen ve floresan

lambalar icat edilmiştir ve bu aydınlatmada başka dönüm noktasıdır. Günümüzde, LED aydınlatma armatürlerinin kullanımı giderek artmaktadır (Rüstemli ve Avcil 2018).

2.2 Işık Nedir?

Doğrusal dalgalar hâlinde yayılan elektromanyetik radyasyonlara ışık denmektedir. Işık, dalga ve foton teorileriyle açıklanır. Bu teoriler birbirilerini tamamlamaktadır (Şahin 2014).

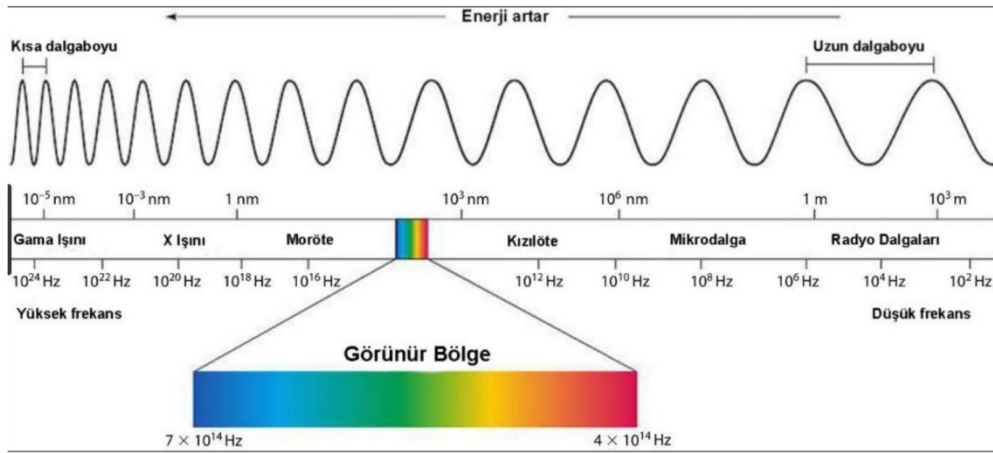
Işık, insan gözünün algılayabildiği (görünür ışık) elektromanyetik radyasyonun bir türüdür. Görünür ışık dalgalarının boyu yaklaşık 380nm ile 750nm arasında (şekil 2.2) değişmektedir (Şahin 2014). Elektrik alan ve manyetik alanların birlikte oluşturduğu enerji taşıyan dalgaya elektromanyetik radyasyon denir. Dalga boyu ve frekansı ters orantılıdır. Dalga boyu küçüldükçe frekans büyür ve enerji artar. Elektromanyetik radyasyonun dalga boyundan farklı olarak; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, X ışınları ve gama ışınları türleride vardır (Boyce 2022). Görünür ışık dalga boyları 700 nm - 380 nm arasında olup farklı renkler olarak görülür. Kırmızı renk en uzun dalga boyuna sahiptir ve en düşük enerjiye sahiptir. Mor ise en kısa dalga boyu ve en yüksek enerjiye sahiptir (Kınık ve Öztürk 2017).



Şekil 2.1 Elektromanyetik dalganın gösterimi (Kaya ve Çiftçi 2018)

Elektrik ve manyetik alan arasında Denklem (2.1) deki ilişki vardır.

$$E = B \cdot c \quad (2.1)$$



Şekil 2.2 Görünür ışık elektromanyetik spektrum aralığı (Döner ve İçier 2017)

2.3 Aydınlatma Nedir?

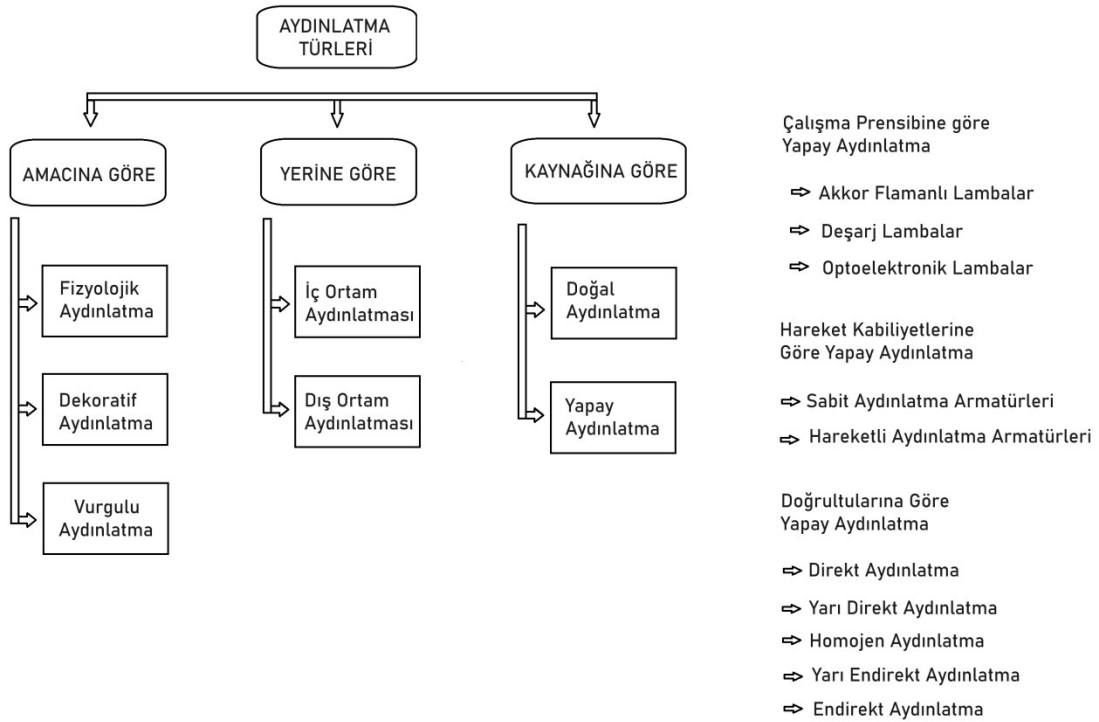
Aydınlatma, ışık kullanımı ile ortamın ve nesnelerin görünür hale getirilmesidir. Doğal olarak veya insan yapımı ile elde edilen ışık kaynaklarıyla gerçekleştirilebilir. Güneş ışığının yetersiz kaldığı durumlarda elektrikli yapay ışıklar kullanılır (Yılmaz 2020). Aydınlatma, farklı amaçlarda kullanılabilir. Estetik veya işlevsel etki verebilir. Aydınlatma, ışığın yapısal özelliklerine göre farklılık gösterir. Aydınlatma tasarımı yapılırken işleve göre uygun ışık kaynağı ve armatür mekanizması seçilir (Demir vd. 2020).

Aydınlatma, en basit haliyle, bir işlevin görülebilmesi için gerekli aydınlık düzeyinin sağlanmasıdır (Şahin vd. 2014). İnsanlar algılamanın yaklaşık %85'ini görme duyuları aracılığıyla sağlarlar (Kurşun ve Kızılöz 2017). Görme ihtiyacına cevap veren, görme konforunu ve verimliliği arttıran ve aynı zamanda aydınlatılan yerin mimari özelliklerini de vurgulayan özel bir teknik olarak da tanımlanabilir (Şahin vd. 2014). Yapıların ve cisimlerin anlamlandırılmasında önemli etkisi olan ışık, kişinin beğenme duygusunu artıracak algılamaya da neden olmaktadır (Turgay ve Altuncu 2011). Günümüzde aydınlatma sadece görme ile ilgilenmemektedir. İş verimliliği ve görsel konforu artırma amacı da taşımaya başlamıştır (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

Tarihte birçok bilim insanı ve filozof ışığın özelliklerini incelemiştir. Doğrusal ve büyük hızlarda ışık kaynağından her yöne doğru yayılan tanecikler olarak kabul görmüştür. Zamanla ise tanecikler değil dalgalar şeklinde ışığın yayıldığı fikri benimsenmiştir (Gözükızıl 2021). Bu fikir dalga teorisi olarak da bilinir. 1900’lü yılların başlarında ise bu iki fikrinde doğru olduğu, ışığın tanecikli olarak dalgalar halinde yayılım gösterdiği kabul edilmiştir. Günümüzde ise ışık hem tanecik (foton) hem de elektromanyetik dalga özellik yapısında olduğu kabul edilir.

Işık, doğal olabildiği gibi yapay olarak da üretilebilmektedir. Foton adı verilen küçük ve kütesiz enerji paketlerinden oluşur. Işık kaynağından çıkan foton boşlukta 300.000km/s hızla yayılır. Bu hıza ulaşabilen başka bir tanecik yoktur (Varol ve Yağimli 2008).

2.4 Aydınlatma Türleri



Şekil 2.3 Aydınlatma türleri şeması (Şahin 2014)

2.4.1 Amacına Göre Aydınlatma Türleri

İyi görme olayının ve görsel konforun sağlanması için uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Bu amaca göre aydınlatma, aşağıdaki gibi üçe ayrılır;

- **Fizyolojik Aydınlatma**

Bu aydınlatma türü; nesnelerin şekil ve renk gibi detayları ayrıntısı ile hızlı ve yorulmadan görebilmek amacıyla yapılır. Yani bu aydınlatma türünde kamaşma gibi gözün görme yeteneğini bozan durumlardan uzak durulmalıdır. Aydınlatmanın estetik etkisi önemsizdir (Toylan 2008). Genellikle ameliyat salonları, ofis, okul, yol ve tünel gibi görsel performansın yani her şeyi olduğu gibi görmenin birinci koşul olduğu yerlerde kullanılmalıdır (Lamp 83 dergisi 2003).

- **Dekoratif Aydınlatma**

Bu aydınlatma türünde; nesneleri, tüm detayları ve özellikleri ile birlikte estetik yönden göstermeye çalışmak, insanlar üzerinde daha fazla estetik etkiler uyandırmaktır. Bu türde estetik tasarım ön plandadır. İşlevsellik yönünden iyi görme koşulları sağlandığında aydınlatma ile elde edilen ışık kaynağı sayesinde görsellik sağlanır. Kullanım alanları; oteller, gece kulübü, konut ve farklı işleve sahip mekânlardır (Sakarya 1997).

- **Vurgulu Aydınlatma**

Bu aydınlatma türünde amaç, iç mekân içinde ışık ve aydınlatma şekli ile dikkati istenilen yöne çekerek yani vurgulayarak yapılan bölgesel aydınlatma türüdür. Vurgulu aydınlatma sayesinde, nesneler vurgulanır, gösterilir ve kullanıcıların bakması, dikkatin çekilmesi ve etkilenmesi sağlanır (Menek 2009). Sahne aydınlatmalarında sanatçıların üzerine yapılan aydınlatmayı, simge niteliğindeki yapıların (tarihi eserlerin) veya heykellerin ışıklandırılması gibi örnekler de verilebilir (Lamp 83 dergisi 2003).

2.4.2 Yerine Göre Aydınlatma Türleri

Uygulamanın yapılacağı yere göre aydınlatma çeşitleri iç mekân aydınlatması ve dış mekân aydınlatması olarak olmak üzere iki grupta ele alınabilir.

2.4.2.1 İç Ortam Aydınlatması (Dahili Aydınlatma)

Tamamı veya bir kısmı kapalı olan ev, iş yeri, ofis, depo, kafe, restoran gibi birbirinden farklı mekânların aydınlatılması iç ortam aydınlatmasının konusudur. Bu aydınlatma türünde duvarlar ve tavan ışığı yansıtma ile çalışma alanına ışık gönderirler. İç mekân aydınlatmasında kullanım tercihine ve ihtiyaca göre birbirinden farklı aydınlatma çeşitleri ile uygulamalar yapılabilir (Çavlan 2023, Şahin 2014)

2.4.2.2 Dış Ortam Aydınlatması (Harici Aydınlatma)

Park, bahçe, sokak, yol, spor alanları, gar, rıhtım, meydan, havaalanı gibi açık alanların aydınlatılması dış ortam aydınlatması olarak adlandırılır. Bu aydınlatma türünde genellikle direkt ışık kaynağı kullanılır. Aydınlatılacak alanın büyüklüğüne göre genel aydınlatma ya da vurgulanması istenen alanlara göre bölgesel aydınlatma yöntemiyle armatürler uygulanabilir (Çavlan 2023, Şahin 2014)

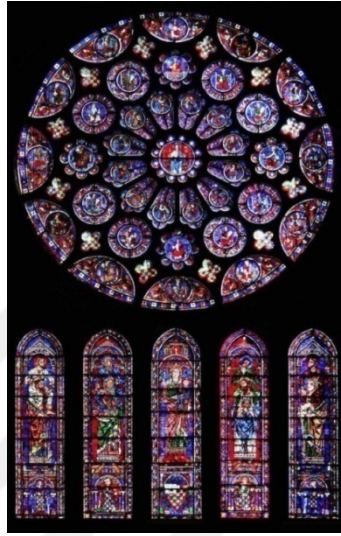
2.4.3 Işık Kaynağına Göre Aydınlatma Türleri

Işık kaynakları sınıflandırmaları ışığın üretmesi yönünden farklı şekillerde ele alınmaktadır.

2.4.3.1 Doğal Aydınlatma

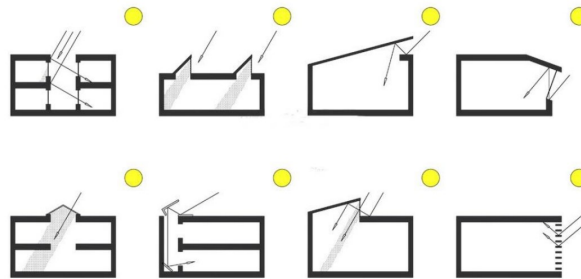
Doğal aydınlatmadan kasıt gün ışığıdır, yani doğal aydınlatmanın asıl kaynağı güneştir. Güneşin doğuşundan batışına kadar var olan ışık “gün ışığı” olarak adlandırılır. Güneş ışığının şiddeti rengi, hava şartlarına göre değişse de, aydınlatma efektlerinin değerlendirilmesinde ana kriter olmuştur (Entwistle 2000).

Doğal aydınlatma yoluyla, olağan dışı ve ilginç görünümler elde etmek mümkündür. Türk ve batı mimarisinde, özellikle dinsel yapılarda görülen vitray pencereler, mekana değişik renkte ışıkların girmesini sağlayarak, olağandışı ve mistik bir atmosferin yaratılmasına katkı sağlar (Şekil 2.4). Ayrıca, bu renkli ışınlar mekânda bulunan bütün yüzeylerin renklerini birbirlerine yaklaştırarak, baskınbir görünüm oluşturarak, mekâna armoni getirirler (Ulas 2002).



Şekil 2.4 Notre-Dame de Chartres Katedrali'nin güney gül penceresi (Yılmaz 2024)

Teknolojik aydınlatma elemanlarının yanında fiziksel ve ruhsal açıdan daha sağlıklı olması ve enerji maliyetini düşürmesi gibi temel faktörlerden dolayı, “doğal aydınlatma” yani gün ışığından maksimum yararlanma eğilimi öne çıkmaktadır. Doğal aydınlatma en çok çatı ışıklıklarıyla gerçekleştirilir. Şekil 2.5 de örneklerinin de gösterildiği gibi eğimli pencereler ve sürekli açıklıklar, yatay çatı açıklıklarıdır ve ışığın kontrollü şekilde yapı içine alınmasında aktif rol oynar.



Şekil 2.5 Doğal aydınlatmadaki farklı ışıklık tipleri (Köymen 2020)

Gün ışığının rengi, ufka yakın bölgede turuncu, öğlen beyaz görülür. Güneşin doğuşu ve batışında 1800 K, öğlen ise 5000-5800 K renk sıcaklığına sahiptir. Güneş ışınları atmosferi geçtikten sonra yeryüzünde yatay düzlemde 100.000 lüks civarı bir aydınlık düzeyi oluştururken, bulutsuz havalarda 60.000 lüksün üzerine çıkmaktadır. Gün boyunca güneşin yeryüzünde yaptığı en fazla aydınlık düzeyi dağılımı güneşin öğlen düzleminde yer aldığı zamandır (Hidayetoğlu 2010).

2.4.3.2 Yapay Aydınlatma

Yapay aydınlatma, insan tarafından bulunan (1854 Heinrich) ve geliştirilen (1879 Edison), gün ışığının olmadığında, doğal ışığın yetersiz kaldığında yapay ışık kaynağı kullanılarak yapılan aydınlatmadır. Yapay aydınlatma, kullanıcıların günün her saatinde görme ihtiyacını karşılaması için ortaya çıkan bir kavramdır. Bu kavram yeni gelişen teknoloji ile birlikte ihtiyaçları karşılamaya başlamıştır (Ataç 2013). Günümüzde yapay aydınlatma genellikle elektrikli ışık kaynakları ile gerçekleştirilir. Lamba ışığı ile enerjiye dönüşen ışık, birincil ışık kaynağıdır. Aydınlatılacak olan bölgenin niteliğine göre seçimi yapılacak olan aydınlatma şekilleri, farklı türdeki ışık kaynaklarının kullanımıyla gerçekleşir. Yapay ışık kaynakları, iç mimarinin bir parçası olarak mekânın uygulama esasına ve fonksiyonel özelliklerine göre mekânın iç yüzeylerinde ve boşluklarında yer alabilir (Göker 2002).

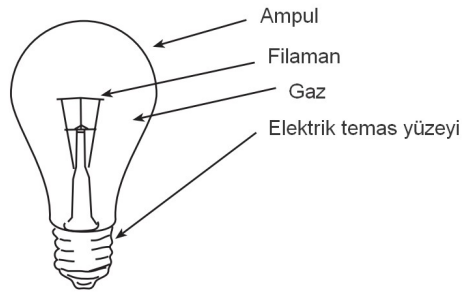
A. Çalışma Prensiplerine Göre Yapay Aydınlatma

Işık kaynağı yapay olan lambalar yapay aydınlatma tasarımında kullanılır. Yapay aydınlatma tasarımında kullanılan aydınlatma elemanları çalışma prensiplerine göre üç grupta incelenebilir.

I. Akkor Flamanlı Lambalar

Akkor filamanlı lambalar, akkor telli ampul ve halojen lambalar olmak üzere ikiye ayrılır. Akkor telli lambalar (Şekil 2.6) sarı ve pembemsi ışık verir ve elektrikli bir ışık kaynağıdır. Sık yakılıp söndürülebilir. Diğer lambalara göre daha doğal ışık verir.

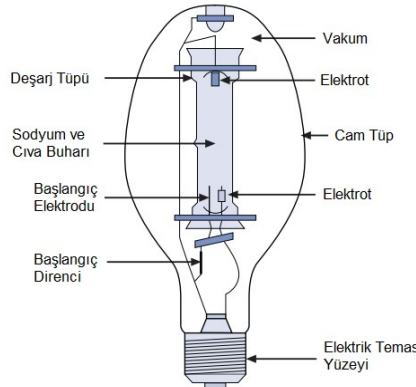
Renksel geriverim sınıfı $R_a=100$ 'dür. Renk sıcaklığı 2400 K ve 3000 K aralığındadır. Noktasal ışık kaynağı olan akkor lambalarının tayfları sürekli ve düzgündür (Aktaş 2012). Halojen lambalar, tungsten filaman ve halojen gazlarla dolu, yüksek sıcaklığa dayanıklı kuvarslarla kaplı bir kapsüldür. Akkor telli lambadan daha yüksek etkinlikte ışık üretir. Halojen gazı tungstenin buharlaşmasını yavaşlatır. Filamanın ömründe uzamış olur. 2700 K renk sıcaklığına sahiptir. Parlak ve göz alıcı bir ışık kalitesi sunar. Bu sayede objeler daha parlak ve üç boyutlu görünür (Şahin vd. 2014). Işığın Renksel geriverimi $R_a=100$ 'dür.



Şekil 2.6 Akkor flamanlı lamba (Taylor, 2000)

II. Deşarj Lambalar

Deşarj lambalar, gazı hapseden bir tüpte yer alan iki elektron, elektrik yardımıyla balast ile ark oluşturulması sonucunda ışık üretir (Şekil 2.7). Cıva buharlı ve sodyum buharlı olmak üzere iki çeşidi vardır.



Şekil 2.7 Sodyum buharlı lamba (Taylor 2000)

Cıva buharlı lambalar alçak basınçlı ve floresan lambalar olmak üzere ikiye ayrılır. Yüksek basınçlı lambalar cıva buharlı ve metal halide lambalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

III. Opto Elektronik Lambalar

Opto elektronik lamba türü olarak LED aydınlatmalar incelenmiştir. LED, kelimesinin İngilizcede “Light Emitting Diode” kelimelerinin baş harflerinden oluşur ve “ışık yayan diyot” anlamına gelir. Aydınlatma sektöründe flamansız yapay ışık kaynağı olarak bilinen opto elektronikte en fazla tercih edilen aydınlatma türüdür. Çalışma prensibi bakımından neredeyse hiç ısı üretmez yarı iletken malzemedir. Elektronikte doğrultucu ve kırpıcı olarak görev yapan diyotun ışık yayan versiyonudur. Ledin ışık üretimi belirli bir gerilim değerinde led içerisinde bulunan elektronların hareket etmesiyle meydana gelmektedir. Bu olaya elektrolüminans denir. Bu tip lambaların üretmiş oldukları ışık, diğer aydınlatma aygıtlarında olduğu gibi termik veya kimyasal işlemler sonucunda meydana gelmemektedir (Erol ve Canbolat 2011). Yapısında bulunan yarı iletken malzeme sayesinde LED’den yayılan ışınlar spektrumu belirler (Aktaş 2012). Az enerji tüketimi, ısı yayamama özelliği ve birçok ışık renk sıcaklığında üretilebilmesi aydınlatma sektöründe çok kullanılmaya başlamasına neden olmuştur.

B. Hareket Kabiliyetlerine Göre Yapay Aydınlatma

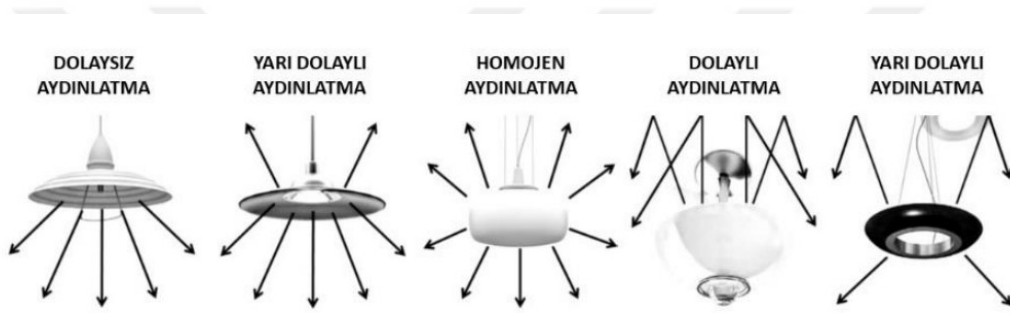
İç mekânda kullanılacakları konuma göre yapay aydınlatmalar sabit ve hareketli olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Sabit aydınlatma armatürleri, gömme, sıva üstü, aplik ya da sarkıt şeklinde tavana veya duvara monte edilmiş, başka bir yere taşınmayan armatürlerdir. Kısıtlı da olsa bazılarında ışığın yönü değişebilir yapıdadır (Ateş 2004).

Hareketli aydınlatma armatürleri, raylı ve modüler sistemlerde hareketli yapılan aydınlatmadır. Armatürlerin konumları değiştirilebilirken ışık kaynağı da istenilen her yöne çevrilebilir. Spot: hareketli aydınlatma armatürlerinden en çok kullanılan

aydınlatma elemanıdır. Farklı açılarda kullanılır. Duvar yıkayıcı, genellikle tavan yüzeyine monte edilen modüler ya da raylı spotlarda kullanılır. Armatür rayın üzerinde hareket eder (Ateş 2004).

Işık doğrultularına göre yapay aydınlatma armatürleri, armatürden çıkan aydınlatılacak yüzeyine doğrudan veya tavan yüzeyinden yansıyarak gelen ışık ile adlandırılan armatürlerdir. Bu kapsamda aydınlatma yöntemleri beş başlık altında incelenebilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Işık doğrultusuna göre aydınlatma tipleri (Yenidoğan 2017)

Direkt aydınlatma, armatürden çıkan ışık akısının %90-100 oranında doğrudan çalışma düzlemine yollar. Işık ile çalışma alanı arasında herhangi bir gereç bulunmaz. Bu yüzden ışık kaynağı göz tarafından direkt olarak algılanır ve kullanıcıda kamaşma problemi ortaya çıkar (Apikoğlu 2014).

Yarı direkt aydınlatma, armatürden çıkan ışık akısının %60-90 arasında direkt olarak çalışma düzlemine yollanan ve bir bölümünün çevreye ve tavana yayılan ışık ile elde edilen aydınlatma yöntemidir. Direkt aydınlatmaya göre ışığın çevreye ve yukarıya yayılması gölgelerin yumuşamasını sağlarken kamaşmayı azaltır (Özkum 2011).

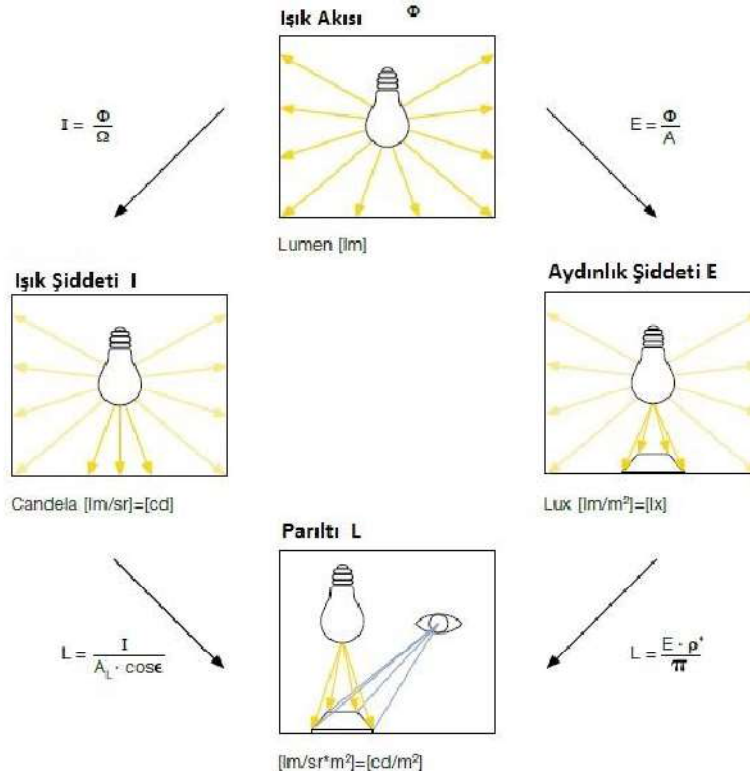
Homojen aydınlatma, armatürden çıkan ışık akısı %40-60 oranında doğrudan çalışma yüzeyine gönderilirken, %40-60 oranında ise tüm çevreye yayılır. Ortama homojen bir şekilde yayılan ışık tavan ve duvarlardan yansıyarak gelir. Konutlarda en fazla kullanılan aydınlatma biçimlerinden biridir (Göker 2002).

Yarı endirekt aydınlatma, armatürden çıkan ışık akısının büyük bir bölümü %60-90 tavana, bir bölümü de %10-40 doğrudan çalışma yüzeyine yönelir. Bu yüzden yansıma ve kamaşma olayı azdır. Gözlerde bir rahatsızlık meydana gelmez (Ateş 2004).

Endirekt aydınlatma, ışık akısının %10'u doğrudan çalışma düzlemine, %90-100 oranında ise tavan yüzeyine yollanan aydınlatma yöntemidir. Bu aydınlatma yönteminde aydınlatma armatüründen çıkan ışık akısının tamamı tavan ve duvarlardan gelirken yüzeylerden gelen aydınlık düzeyi eşittir. Aydınlık eşit geldiği için yansıma, kamaşma ve gölgeler oluşmamaktadır (Ateş 2004).

2.5 Aydınlatma İle İlgili Büyüklükler (Fotometrik Büyüklükler)

Aydınlatmanın doğru uygulanabilmesi için kullanılan ışık kaynaklarına ait temel kavramların bilinmesi gerekmektedir. Işık kaynaklarının performanslarının öğrenilebildiği Şekil 2.9'daki bu kavramların çoğu fotometrik ölçümler ile elde edilmektedir (Şahin 2014).



Şekil 2.9 Aydınlatmanın temel kavramları (Demiröz, 2019)

2.5.1 Işık Şiddeti

Işık Şiddeti, noktasal ışık kaynakları için tanımlanır ve doğrultuya bağlı bir büyüklüktür. Işık kaynağından belli doğrultuda çıkan ışık yoğunluğuna ışık şiddeti denir. Işık şiddeti (I) simgesiyle gösterilir. Denklem (2.2) ile hesaplanır.

$$I = \frac{\phi}{4\pi} \quad (2.2)$$

Noktasal bir ışık kaynağının belirli bir doğrultuda birim uzay açısı içinden yayılan ışık akısının, uzay açısına bölümü olarak tanımlanır (Ertik 2012). Birimi kandela'dır ve (cd) ile gösterilir. Yarıçapı (1m) olan bir kürenin iç yüzeyine düşen ışık akısı oranıdır. Genlik olarak da açıklanan şiddet, insan gözünde parlaklık olarak algılanır (Hidayetoğlu 2010).

2.5.2 Işık Akısı

Normal gözün aydınlık görmesine ait spektral duyarlık eğrisine göre ışık olarak değerlendirilen enerji akısıdır. Birim zamanda kaynaktan her yöne yayılan toplam ışık miktarına **ışık akısı** denir. Işık akısı Φ harfi ile gösterilir. Birimi "**lümen**"dir. Bir yüzeyin ışık akısı, yüzeyde toplanan toplam ışık miktarıdır. 1 metre yarıçaplı kürenin merkezindeki 1 cd ışık şiddetine sahip kaynaktan çıkan ışığın kürenin yüzeyinin 1m^2 'lık bölümünde oluşturduğu ışık akısına 1 lümen denir. Işık akısı sadece ışık şiddetine bağlıdır. Yüzeyin büyüklüğü ışık miktarını etkilemez. Açık bir yüzeyde ışık şiddetine, ışığın geliş açısına, kaynak ile arasındaki mesafeye bağlı olarak ışık akısı değişir (Onaygil 2016). Denklem (2.3) de ılık akısı eşitliği verilmiştir.

$$\phi = 4\pi I \quad (2.3)$$

2.5.3 Aydınlanma Düzeyi

Birim alanına birim zamanda gelen ışık akısı miktarına **aydınlık düzeyi** denir. E sembolü ile gösterilen aydınlanma şiddetinin birimi **lükstür** ve **lx** sembolü ile gösterilir.

Kaynaktan çıkan ışınlar yüzeye farklı açılar ile çarptığı için yüzeydeki aydınlanma şiddeti ortalama olarak hesaplanabilir. Yüzeyde oluşan ortalama aydınlanma şiddeti Denklem (2.4) deki eşitlikle hesaplanır.

$$E_{ort} = \frac{\phi}{A} \quad (2.4)$$

Bu bağıntı, aynı zamanda ışığın yayılma doğrultusuna dik yüzeyin herhangi bir noktasında oluşan aydınlanma şiddetini (Denklem (2.5)) ifade eder (Durna 2018).

$$E = \frac{\phi}{A} = \frac{Im}{m^2} = Ix \quad (2.5)$$

Işık kaynağından uzaklaşıldıkça, yüzeyin aydınlık düzeyi ışık kaynağı ile yüzey arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Denklem (2.6) ile eşitliği gösterilen bu ilişki Şekil 2.10' de gösterilmiştir.

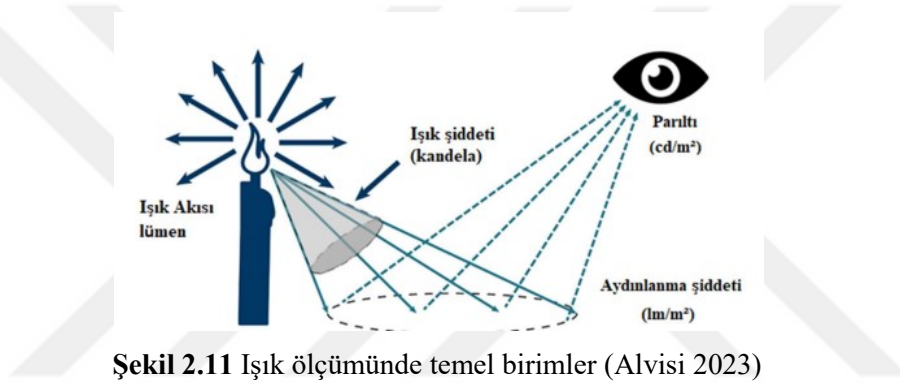


Şekil 2.10 Aydınlanma düzeyi ve mesafe ilişkisi (Alvisi 2023)

$$E = \frac{\phi}{4\pi r^2} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2} \quad (2.6)$$

2.5.4 Parıltı

Belirli bir yönde yansıtılan metrekare başına ışık şiddetine parıltı denir. Parıltının simgesi (L) harfidir. SI birimi (cd/m^2) metrekare başına kandela olarak tanımlanır. Yüzey parlaklığı, ışığın yüzeye ulaştığı yön, bakıldığı yön ve yüzeyin kendisinin yansıtma özellikleri gibi aydınlatmanın bağımsız olduğu tüm niceliklere bağlıdır. İnsan gözü ile algılanabilen tek fotometrik büyüklük parıltıdır. Bu da doğrultuya bağlı olarak değişir (Kocabey 2008). Işık şiddeti, ışık akısı, aydınlanma şiddeti ve parıltı arasında değişik birimler kullanılmaktadır. Bu birimlerin her biri farklı bir ölçüm kriterine sahiptir. Aşağıdaki Şekil 2.11’de bu birimlerin aralarındaki bağlantılar gösterilmektedir.



2.5.5 Kamaşma

Bir hacimde, ışıklılık değerlerinde oluşan aşırı karışıklık sonucu görsel algılamada yaşanan rahatsızlığa kamaşma denir. Kamaşmaya neden olan ışık kaynağının büyüklüğü, konumu ve parıltısı kamaşma miktarını etkiler. Kamaşma görsel konforsuzluk yarattığı gibi fazla olması durumunda görme olayını engelleyebilir (Descottes 2011). CIE tarafından önerilen UGR (Unified Glare Rating) yöntemiyle kamaşmanın miktarı belirlenir.

2.5.5 Işık Verimi (Etkinlik Faktörü)

Işık verimi, ışık kaynağının ışığı ne kadar iyi ve verimli bir şekilde ürettiğini belirtir. Diğer bir deyişle ışık akısının elektrik gücüne oranıdır. Bu nedenle Uluslararası

Birimler Sisteminde (SI) watt başına lümen (lm/W) olarak ölçülür. Denklem (2.7) da Işık verimi eşitliği verilmiştir.

$$n = \frac{\phi}{P} = \frac{lm}{w} \quad (2.7)$$

2.5.6 Işık Rengi

Beyaz ışık, renkli bir objeye çarptığında, obje spektrumun bazı renklerini emer, buna karşılık bir tanesini de yansıtır. Örneğin, kırmızı bir obje, kırmızı dışındaki renkleri emer sadece kırmızıyı yansıtır. Bu yüzden bizler beyaz ışık altında bu nesneyi kırmızı görürüz (Entwistle 2000)

2.5.7 Işık Renk Sıcaklığı

Spektral duyarlılık eğrisine göre bir ışık kaynağı 380nm ve 780nm aralıklarında dalga boylarını içeriyorsa ışınım renkli olarak görülebilir (Şahin vd. 2016). Tanımsal olarak, belli bir sıcaklıktaki siyah cismin ışıma rengi ile aynı renk koordinatlarına sahip bir ışık kaynağının sıcaklığı, **Renk Sıcaklığı** olarak adlandırılmaktadır. Birimi **Kelvin**'dir 'K' ile gösterilir. Aydınlatılacak eserin özellikleri, işlevi ve rengine göre uygun renk sıcaklığı seçilmelidir. Şekil 2.12'de güneşin doğuşundan batışına kadar olan ışık renk sıcaklığı gösterilmektedir. Şekil 2.13'de ise ışık renk sıcaklığının kelvin olarak değerini ve rengini belirten kartela yer almaktadır.



Şekil 2.12 Gün doğumundan gün batımına kadar ışık renkleri (Küçük 2023)



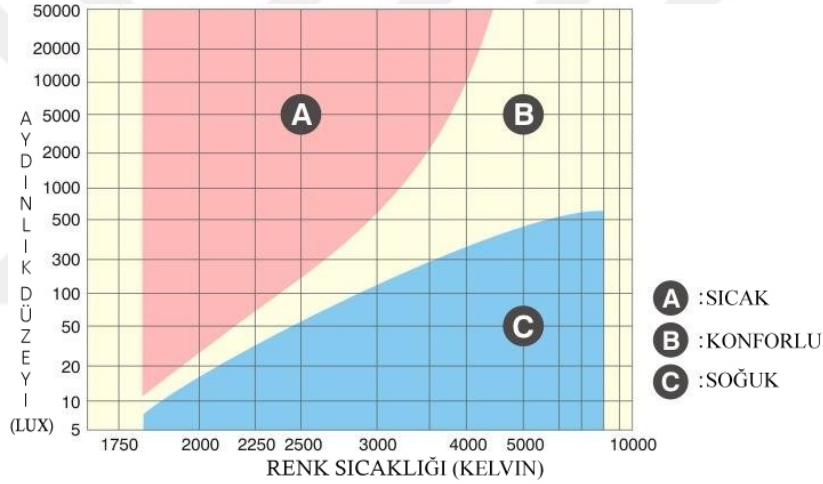
Şekil 2.13 Işık rengi kartelâsı (İnt. Kyn. 1)

Piyasada bulunan aydınlatma armatürleri özelliklerinde ışık renk sıcaklığı kelvin cinsinden değeri yazmakla birlikte sıcak beyaz, soğuk beyaz, gün ışığı gibi kavramlarla da ifade edilmektedir. Şekil 2.11’de günün 24 saatine ait ışık renk sıcaklıkları görünmektedir. Fakat piyasada gün ışığı rengi güneşin tepede olduğu vakit ile batış vaktinin ortasında bulunan vaktindeki renk sıcaklığı kastedilmektedir. Soğuk beyaz 5500K-6500K aralığında, gün ışığı 4000K-5000K, sıcak beyaz 2700K-3200K aralığında bulunmaktadır (İnt. Kyn. 4). Türkiye’de bulunan müzelerde aydınlatma armatürü seçimi yapılırken genellikle gün ışığı rengi tercih edilmektedir. Fakat gün ışığı rengi tercih edilmesine rağmen ışık renk sıcaklığı değeri belirtilmemektedir. Bu da karışıklığa neden olmaktadır. Kimi aydınlatma armatürleri 5000 K değerinde iken kimi aydınlatma armatürleride 3600 K olarak seçilmektedir. Bu şekilde farklı aydınlatma rengine sahip armatürler aynı yerde kullanılabilir.

2.6 Müzelerde Eser Aydınlatma Konforu

Aydınlatılacak eserin biçimsel, dokusal, renksel ve boyutsal gibi özellikleri aydınlığın niteliğini belirleyen unsurlardır. Bu nedenle aydınlık düzeyinin belirlenmesinde nesnenin bütün özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir (Sirel 1997). Kruithof (1941) aydınlatılacak eserler için eser tipine ve renk yoğunluğuna göre zararlı olmayacak en yüksek aydınlatma seviyesi kruithof eğrisinde belirtmiştir. Bu eğri literatürdeki birçok makalede de kabul görmüş ve kullanılmıştır. Işık kaynağının renk sıcaklığına bağlı olarak renklerin gerçek değerinin algılanmasını ayarlamak mümkündür. Alman araştırmacı Kruithof 1941 yılında ışık renk sıcaklığı ve aydınlık

düzeyi arasındaki ilişkiyi araştırmış, farklı aydınlık düzeylerinde, farklı ışık renk sıcaklıklarındaki mekânlarda kişisel izlenimleri değerlendirmiş ve çalışmaları sonucunda Şekil 2.14'deki “Kruithof Eğrisi” ni yayınlamıştır. Şekil 2.14'deki grafikte bulunan kırmızı alandaki (A) değerlerde seçilen aydınlatmaarmatürü ile yüksek aydınlık düzeyinde ve düşük ışık renk sıcaklığında aydınlatma söz konusu olduğunda Kruithof görsel algılamayı “sıcak” olarak adlandırmıştır. Mavi alandaki (C) değerlerde seçilen aydınlatma armatürü ile düşük aydınlık düzeyinde ve yüksek ışık renk sıcaklığında aydınlatma söz konusu olduğunda Kruithof görsel algılamayı “soğuk” olarak adlandırmıştır. Bu iki alan arasında kalan (B) kısmı ise “konforlu” olarak değerlendirmiştir.



Şekil 2.14 Kruithof eğrisi (Kruithof 1941)

Müzelerde Eser Aydınlatması

Thomson (1961) müzelerde bulunan eserlerin aydınlatması konusunda araştırmalar yapmıştır. Çizelge 2.1'de Thomson (1961) tarafından müzelerde sergilenen ışığa duyarlı objeler için belirli aydınlık düzeyi ve bu düzeylere göre kullanılacak belirli renk sıcaklığına sahip ışık kaynakları önerilmiştir.

Çizelge 2.1 Thomson tablosu (Thomson 1961)

Işığa Duyarlılık Düzeyi	Önerilen Aydınlatma	Önerilen Aydınlık Düzeyi
Işığa duyarsız objeler (taş, metal vb.)	Günüşiği yaklaşık 4200K ya da 6500K floresan ışığı	Özel önem arz eden objeler haricinde 300 lüks aşılması nadiren gereklidir.
Sulu ve yağlı boya ihtiva eden objeler	Günüşiği, tungsten lamba, yaklaşık 4200K de floresan ışığı	150 lüks den fazla olmamalı
Işığa çok duyarlı tekstil, dokuma vb. objeler	Tercihen tungsten flamanlı lambalar	50 lüksden fazla olmamalı mümkünse 50 lüksden az

Şener ve Yener (2008) yaptıkları çalışmada, müzede sergilenen eserlerin yapıldığı hammaddelerin, kaplamalarının ve üzerlerindeki boyaların zarar görebilecekleri aydınlatma değerlerini araştırmışlardır. Eserlerin zarar görmemesi için kullanılabilecek en yüksek aydınlık düzeyleri ve bu değerler altında ışığa maruz kalma süreleri Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Eserler hammaddelerinin ışığa duyarlılıklarına bağlı önerilen aydınlatma sınır değerleri (Şener ve Yener 2008)

Kategori	Tanım	İzin Verilen Aydınlık Düzeyi Üst Sınırı (lx)	İzin Verilen Işığa Maruz Kalma Üst Sınırı (lx saat/yıl)
Işığa karşı duyarsız nesneler	Taş, mermer, metal, seramik, cam, değerli taşlar vs	Limitsiz (300-500 lm/m ²)	Limitsiz
Düşük duyarlılığa sahip nesneler	Yağlı boya, tutkallı boyalar, doğal deri, ahşap, boynuz, kemik, fildişi, ahşap, laklar, bazı plastikler, tutkallı boyalar vs.	200 (150-180 lm/ m ²)	600 000
Orta duyarlılığa sahip nesneler	Eski kumaşlar, suluboyalar, eski halılar, baskı ve çizimler, pullar, el yazıları, minyatürler, duvar kağıtları, doğa bilimi örnekleri	50 (50 lm/ m ²)	150 000
Yüksek duyarlılığa sahip nesneler	İpek, eski el yazıları, orta çağ resim kitapları, bazı uçucu boyalar, gazete kağıdı	50 (30 lm/ m ²)	15 000

Bu bilgiler ışığında müze vitrinlerinde yer alan eserlerin piyasadaki mevcut aydınlatma armatürleriyle esere uygun ışık ve renk değerinde aydınlatılması mümkün olmamaktadır.

Yapılan tez çalışmasında müzelerde vitrin içi eserlerin aydınlatılmasına yönelik akıllı aydınlatma sistemi tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımda müze vitrin içi eserlerinin yapısal özelliklerine göre ışık değerlerinin belirlenmesi de gerekmektedir. Çalışmanın bu kısmında müzede sergilenen eserler hakkında genel yapısal özellikler belirtilmiştir. Eserlerin yapıldığı hammaddeler, renkleri ve parlaklığı gibi detaylar esere özgü referans ışık değeri belirlemede önem arz etmektedir.

2.7 Müze Kavramı

“Müze” kavramı; tarihi, bilimsel, sanatsal veya kültürel açıdan ilgi çekici nesnelerin depolandığı ve sergilendiği bir binayı kast etmektedir (Bülent ve Zeynep 2020). Müzeler, insanlığın geçmişine ait materyalleri, bunların bulunduğu çevreyi araştırır ve korur. Elde edilenleri halka sunarak halkı eğitmeyi, eğlendirmeyi, geliştirmeyi amaçlar. Müzeler, toplumun hizmetinde sürekli ve kalıcı olan, kâr amacı gütmeyen kurumlardır. Müzelerin işlevleri toplama, belgeleme (arşivleme), sergileme, koruma (bakım-onarım), eğitim, araştırma ve iletişimden oluşur.

Toplama işlevi; müzelerin koleksiyon yönetim politikaları doğrultusunda şekillenir. Müzeler koleksiyonlarını belirledikleri politika doğrultusunda oluştururlar ve müzeye edinecekleri nesneleri bu politikaya göre seçerler. Nesne satın alma; bağış ve değişim yoluyla edinilir (Ayaokur 2014).

Belgeleme işlevi; eserleri belgeleme, kaydetme, arşivleme, araştırma ve sistemli olarak sıralamadan oluşur (Denizci ve Mirza 2012).

Sergileme işlevi; müzelerdeki eserlerin insanlarla buluşmasıdır. Kültürel değer taşıyan unsurlardan oluşan bir bütünü halkın beğenisinin yükseltilmesi ve eğitimi için eserler sürekli sergilenmektedir (Okan 2018).

Koruma işlevi; müzedeki nesnelerin bakımının yapılması ve gelecek kuşaklara aktarma sorumluluğunun yerine getirilebilmesi için uygun koşullarda muhafaza ve konservasyon işlemleri, nesneler için uygun depolama sistemlerinin kurulmasını kapsar. Koruma

işlevi aynı zamanda sadece fiziksel olarak nesne üzerinde gerçekleşmez; nesnenin bilgisinin bilgi teknolojisinden faydalanarak gelecek kuşaklara aktarılması için yapılacak çalışmaları da içerir. İnsanlığın ortak mirasını elinde bulunduran müzeler sadece bu miras eserlerinin kendilerini değil, eserlerin bilgisini de gelecek kuşaklara aktarmakla yükümlüdürler (Ayaokur 2014).

Eğitim işlevi; müzelerin insanlara ilgi çekici ve özgür bir öğrenme ortamı sağlamasını içerir. Öğrenme sadece kitap veya okul ile sınırlı değildir. Bugün müzeler okul ve toplumla iş birliği yaparak “duvarsız sınıf ” ın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Müzede eğitim kapsamında; oyunlar, dramalar, atölye çalışmaları, tartışma oturumları vb. etkinlikler de yapılabilir. Müzeler, eserleri barındırma ve gelecek kuşaklara aktarma, sanat ve eğitim kurumu olmanın yanında kütüphaneleri, sergileri, toplantıları, çok işlevli salon ve atölyeleri, açık alanları ile hoşça vakit geçiren, eğlendirirken öğreten mekânlardır (Denizci ve Mirza 2012).

Araştırma işlevi; müzeye giren birçok nesne bulunduğu mekân ya da ortamdaki koparılmış olduğundan, öncelikle nesnenin geldiği kaynağın tespitini, sonra nesnenin kendisini belirlemeyi içerir. Araştırmada nesnenin kendisi kadar, geride kalmış diğer kültürel öğelerin de araştırılması ve anlaşılması gerekir (Ayaokur 2014).

İletişim işlevi; insanlığın ortak mirasının müze eğitimi, yayınlar, sergiler, sanal uygulamalar gibi pek çok farklı etkinlikle topluma sunulmasını kapsamaktadır. Bir başka deyişle, müzenin sahip olduğu bilginin yayılmasıdır. Pek çok müze iletişim politikaları kapsamında iletişim kanallarını belirler. Kullanılacak iletişim teknolojilerini ve iletişim biçimlerini belirleyen iletişim politikaları hedef kitlelerin eğitim durumlarına, yaşlarına ve fiziksel özelliklerine göre değişmektedir (Ayaokur 2014).

2.7.1 Müzelerde Sergilenen Eser Tipleri

Müzeler; bilim, sanat, folklor ve antika eşyalar gibi çeşitli konularda toplanmış eserlerin sunulabileceği veya doğa tarihi, etnografya ve havacılık gibi tek bir konuyu içeren eserleri sergileyebilen kurumlardır. Bu kapsamda müzelerdeki eserler materyal olarak

çeşitli hammaddelerden oluşmuşlardır. Bunları genel olarak sanatsal eserler ve gündelik kullanım malzemeleri olarak sınıflandırabiliriz. Ayrıca mermer heykeller, steller, mezar taşları, pişmiş toprak kap-kacaklar, kemik veya diğten yapılmış süs eşyaları, altın, gümüş ve bunun gibi madenlerden yapılmış takılar, elbiseler, halılar ve bunların üretim tezgâh ve aletleri, resimler, savaş alet ve silahları olarak da sınıflandırma yapılabilir (Özcan ve Çağlar 2020).

2.7.2 Müzelerde Sergilenen Eserlerin Yapıları ve Renk Çeşitleri

El yapımı serler hammaddelerine göre; taş eserler, seramik eserler, metal eserler, kemik ve diğ, ahşap, tekstil ve deri, cam eserler olarak sınıflandırılabilirler (Kılıçarslan ve Cansız 2021).

Taş eserler (mermer, kuvars, sleks, obsidyen vb.) grubuna stel ve mezar taşı ile mermer heykel örnek olarak verilebilir. Kuvars ve obsidyen malzemeler; süs eşyaları, vazo, kutu gibi malzemelerde kaplama olarak kullanılmaktadır. Arkeolojik eserlerde genellikle mermer beyaz, bej ve gri tonlarındadır. Saf kuvars genellikle gri ve beyaz renktedir. Ancak sarı, yeşil, mavi ve turuncu renklerde de doğada bulunmaktadır. Çakmak taşı veya diğeri adıyla sleks; koyu gri, siyah, yeşil, beyaz ve kahverengi tonlarında olup camsı ve mumlu görünümündedir. Obsidyen ise volkan camı olarak da geçer ve çoğunlukla siyah olmakla beraber mavi, sarı, yeşil ve kırmızı renkleri de vardır. Bu taş ve mermer eserlerinin doğal renklerinin yanı sıra patine adı verilen ve toprak altında kaldıkça değişim gösteren bir eskime rengide gözlemlenir (Özdoğan 2019).

Seramik eserlerin (pişmiş toprak) süsleme amaçlı veya ana tanrıça gibi dini amaçlı olanları olduğu gibi gündelik kullanım kapları, testiler, sahanlar, bardaklar, güveçler gibi örnekleri de bulunmaktadır. Pişmiş toprak ya da terracotta eserler çoğunlukla kahverengi kırmızı arası tonlardadır. Bunlar doğal rengidir. Ancak bu eserler çoğunlukla üzerleri perdahlanarak ve boyanarak üretildiğinden siyah, beyaz, sarı, kırmızı, gri gibi renkleri ve tonlarını üzerlerinde bulundurlar (Özdoğan 2019).

Metal eserler (altın, gümüş, demir, bronz, bakır vb.), savaş aletleri, tarım aletleri

marangoz el aletleri olabileceği gibi süs eşyası olarak bilezik gerdanlık taç gibi de kullanılmaktadır. Tüm bronz eserler kahverengidir. Demir gri renkte olup toprak altında bozulma ile beraber kırmızı renklere döner. Bakır kırmızımsı kahverengidir. Ancak bu metal eserlerin (altın hariç) toprak altında kalma sürelerine bağlı olarak üzerlerinde patine oluşup renk değişimi yaşanmaktadır. Altın eser sarıdır. Gümüş eserler ise gridir (Özdoğan 2019).

Kemik ve diş eserler (çeşitli hayvan kemikleri ve fildişleri vb.), takı gibi süs eşyası olarak kullanılmasının yanı sıra delikli iğne, tarak üretiminde de kullanılmıştır. Ayrıca mızrak ucu ve hançer gibi avcılık aletlerinde de görülmektedir. Genellikle kemik ve dişler soluk beyaz ve tonlarındadır (Özdoğan 2019).

Ahşap eserler (çeşitli bitkisel hammaddeler) daha çok yapı ve eşya grubu olarak kullanılmıştır. Ahşap yapı süslemeleri, mobilya, müzik aletleri, tekne, tarım aletleri olarak kullanılmıştır. Genellikle ahşap malzemeler tiplerine göre kendilerine özgü ham ahşap rengiveya üzeri boyalı olarak bulunmaktadır (Özdoğan 2019).

Tekstil ve deri grubu malzemeler daha ziyade giyim kuşam amacıyla kullanılmıştır. Elbise parçaları, ayakkabı ve sandaletler, zırh, halı ve kilimlerde kullanılmıştır. Genellikle dokuma kumaş boyandığı kök boya renginde ve toprak altında kalması nedeniyle soluk renklerde çıkartılır. Deri kendi renginde kahve, siyah veya kırmızı tonlarında olmakla beraber boyanması durumunda her renkte olabilmektedir (Özdoğan 2019).

Cam eserler genellikle ışık geçiren yapıda olmaları nedeniyle süsleme için kullanılan eserlerdir. Üzerileri boyalı olarak pencere, kadeh, şişe örnek verilebilir (Özdoğan 2019).

2.7.3 Müzelerde Sergileme Yöntemleri

Müzelerde sergileme yöntemleri genel hatlarıyla bina içi ve bina dışı olarak planlanır. Genellikle müze binası içine sığmayan büyük taş eserler heykeller bina dışında yer alır. Müze binası içinde ise sergileme vitrin içi ve vitrin dışı olmak üzere planlanır (Şekil-

2.15). Ayrıca sergilemede en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesi kronolojik sergidir (Aykut 2017). Buna şöyle örnek vermek mümkündür. Örneğin bir arkeoloji müzesinde müzenin ziyaretçilerinin başlangıç yaptığı ilk bölüm tarih olarak en eski bölüm olup ziyaretçi ilerledikçe dönemler yakın tarihe doğru gider. Yani paleolitik (yontma taş çağı) – neolitik (yeni taş çağı) – kalkolitik (bakır taş çağı) – bronz çağı (tunç çağı) – demir çağı – hellenistik çağı – Roma çağı – Bizans çağı – Selçuklu ve Osmanlı olarak ziyaretçi turunu tamamlar. Ayrıca tek bir dönemi veya bir kaç dönemi kapsayan özel müzeler bulunmakta olup bunlar çoğunlukla arkeolojik kazı yapılan alanların yakınında olan öğrenim yeri müzeleridir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.15 Açık hava sergisi(a), vitrin içi sergisi(b), kaide üzeri iç mekan sergisi(c)

3.MATERYAL VE METOT

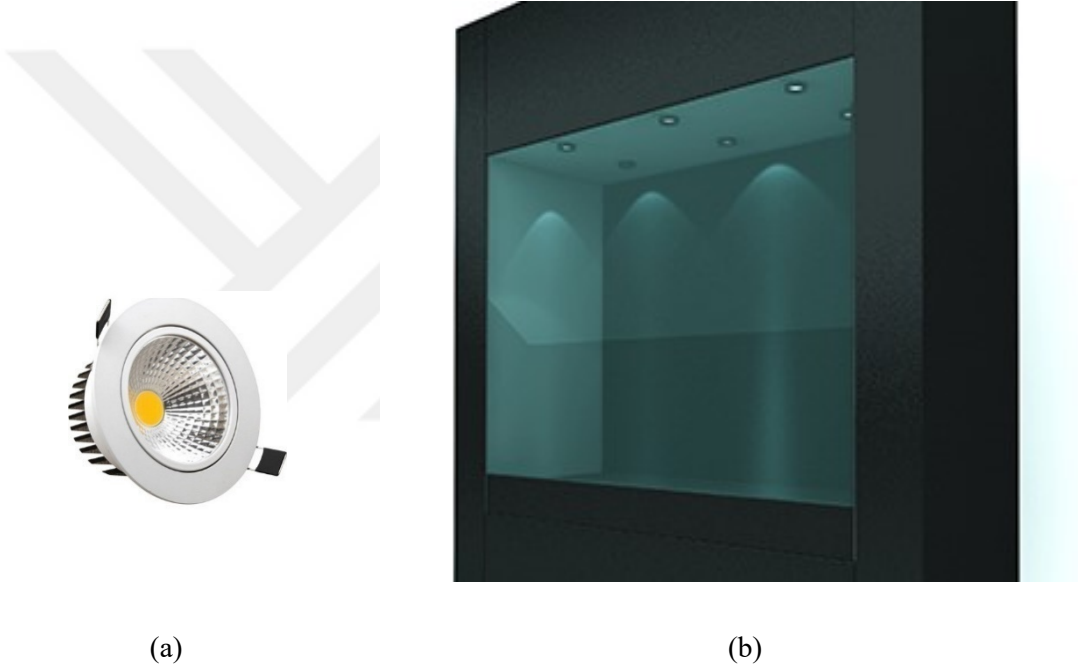
Bir müze salonu tasarlanırken eserlerin konumlandırılacağı yerler eser tiplerine, boyutlarına ve kronolojisine göre belirlenir. Daha sonra eserlerin kaide üzerindemi vitrin içerisinde mi yoksa duvara monteli şekildemi sergileneceğine karar verilir. Sonraki aşamada ise aydınlatma sistemi tasarlanır. Bu tasarımların başından sonuna kadar tüm onaylar Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından verilir. Tasarımı yapan yüklenici firma her aşamada Bakanlık bünyesindeki kontrollük teşkilatından onay alır. Aydınlatma tasarımı yapılırken kontrollük teşkilatının tek bir kriteri vardır. Aydınlatma armatürlerinin gün ışığı renginde olması istenir. Eserlerin yüzeyindeki aydınlık düzeyi ve ışık renk sıcaklığı değerleri ayrıntılı olarak verilmez. Bu sebeple her eserin yüzeyindeki aydınlık düzeyi farklı olacaktır. Bunun en büyük sebebi her eserin boyutlarının ve aydınlatma armatürüne olan uzaklığının farklı olmasıdır. Bu mesafe arttıkça aydınlık düzeyi değeri azalmaktadır. Aynı vitrin içerisindeki eserlerinin boyutlarının farklı olacağı gibi her eserin altında farklı yüksekliklerde kaidelerinde konulabilmesi söz konusudur. Eserlerin yüzeylerindeki farklı aydınlık düzeyleri bazı eserler üzerinde fazla parlıtya ve kamaşmaya neden olmakta ve görsel konforu bozmaktadır.

Aydınlatma armatürlerinin gün ışığı renginde istenmesi ve piyasada gün ışığı renk aralığının3800-5000K değer aralığında her değerde bulunması sebebiyle vitrin içi, kaide üzeri ve duvarda asılı eserlerin aydınlatma armatürlerinin ışık renk sıcaklık değeri birbirinden farklı olabilmektedir.

Bu çalışmada müze vitrin içi akıllı aydınlatma armatürü tasarlanmıştır. Tasarımın özelliği aydınlatılacak eseri yüzeyinde istenilen aydınlık düzeyi ve ışık renk sıcaklığı değeri sağlanabilmesidir. Bu bilgiler tasarlanan el terminaline girilir ve aydınlatma armatürü ile haberleşerek aydınlatma armatürünün istenilen referans değerine gelmesi sağlanır.

3.1 Sistem Tasarımı

Müze vitrinlerinin içerisinde genellikle sıva altı gömme tip led spot ve elektroray üzerine monte edilen rayspot olmak üzere iki tip aydınlatma montaj sistemi kullanılır. Birincisi Şekil 3.1 (a)'da gösterilen sıva altı (gömme tip) spot armatürdür. Vitrin içerisinde ışık kaynağının gizlenmesi için genellikle bu armatürler müzelerde kullanılmaktadır. Farklı güçlerde ve ışık renklerinde üretimi vardır. Başlık kısmı hareket ettirilebilir özelliktedir. Böylece esere yönlendirilerek eser üzerine ışık düşürülmesi sağlanır.



Şekil 3.1 Sıva altı led spot (a), led spotun vitrin içi kullanımı (b)

Şekil 3.1 (a)'daki görselde led spot gösterilmektedir. Şekil 3.1 (b)'de ise bu spotların müze vitrini içerisine konumlandırılmış hali gösterilmiştir.

Kullanılan ikinci yöntem olan ray spot armatürler (Şekil-3.2) farklı güç ve renklerde üretilmektedir. Yapısı gereği ışık yönünü değiştirebilmek için hareketli başlığa sahiptir. Bazı modellerde ışığı odaklayabilmek için yakınlaştırma (zoom) özelliği de barındırmaktadır. Vitrin içerisinde eser değişikliği veya sayıda değişiklik söz konusu

olduğunda bu sistem daha kullanışlıdır. Hem bu sebepten hemde yakınlaştırma özellikli yapısından dolayı tasarımda bu armatür tipi uygun bulunmuştur.



(a)

(b)

Şekil 3.2 Elektro ray (a), elektro ray üzerinde ray spotların görünümü (b)

Şekil 3.2(a)'da bulunan elektro ray, içerisinde tek fazlı elektrik şeritleri bulundurmaktadır. İçerisine takılan armatürün ayakları buraya temas ederek enerjilenmektedir. Şekil 3.2 (b)'de ise armatürlerin elektro ray üzerine yerleştirilmiş halde verilmiştir.



(a)



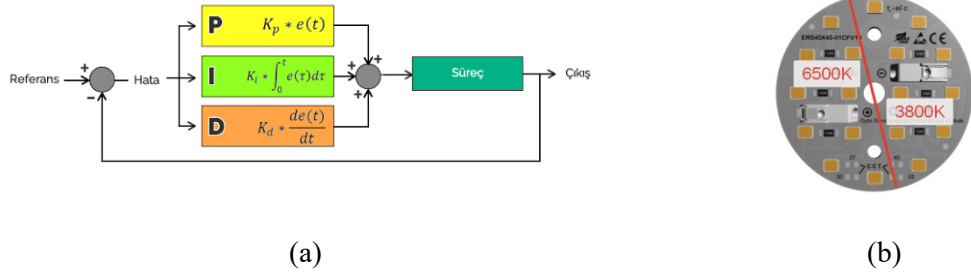
(b)

Şekil 3.3 Vitrin uygulaması (a), vitrin içi sistemin çalışması(b)

Tasarım genel hatlarıyla Şekil 3.3 (a)'da gösterildiği gibi bir vitrin içerisine monteli elektro ray, ray üzerinde tasarımı yapılan ray spot ve Şekil 3.3 (b)'deki gibi ışık ölçümlerini yapan el terminalinden oluşmaktadır.

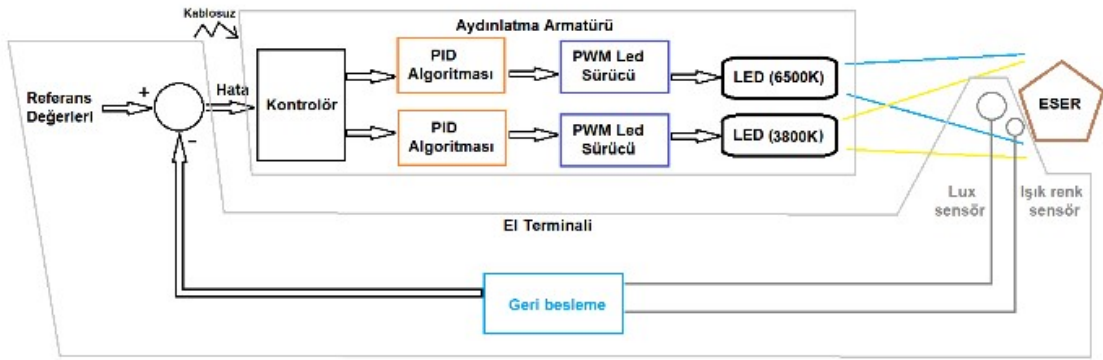
El terminaline aydınlatma seviyesi ve ışık rengi verileri referans olarak girilecektir. El terminalin üzerindeki ışık sensörü eserin üst kısmına gelecek şekilde konumlandırılacaktır. Daha sonra el terminali aydınlatma armatürü ile haberleşerek armatürden çıkan ışık değeri referans değerlerine eşitlenene kadar ayarlama yapılacaktır. Eşitlenme sonrası eser üzerine düşmesi gerekli ışık değerleri sağlanmış olacaktır.

El terminali ve aydınlatma armatürü içerisinde bulunan ESP8266 işlemci modülleri sayesinde iki cihaz birbirleri ile wifi üzerinden kablosuz haberleşmektedir. Singhve Saikia (2016), Rosli vd. (2018) makalelerinde de bu wifi haberleşme protokolü yöntemiyle veri transferi gerçekleştirilmektedir. Bu wifi kabiliyetine sahip işlemci, tarımda akıllı sulama sistemleri içinde Thakare ve Bhagat (2018) tarafından kullanılmıştır. İlk aşamada vitrin içerisindeki ayarlama yapmak istenilen esere özgü aydınlatma verileri el terminaline referans verisi olarak girilir. Sonra eseri aydınlatan aydınlatma armatürü üzerindeki butona basılır. El terminali menüsünden cihazlar eşleştirilir. El terminali üzerindeki sensörden alınan veriler işlenerek referans verisi ile karşılaştırılır ve aradaki farkı azaltıcı yönde PID kontrollü bilgi Şekil 3.4 (a)'da gösterildiği gibi armatüre gönderilmektedir. Kler vd. (2018), Kevin vd. (2016) makalelerinde PID kontrollü sinyali benzer amaçla kullanmışlardır. Alınan yeni ışık bilgiye göre armatür üzerindeki iki led grubu Şekil 3.4 (b)'deki gibi (6500K- soğuk beyaz, 3800K-sıcak beyaz veya gün ışığı) ayrı ayrı PWM sinyalleri ile kontrol edilir. Svilainis (2008) yaptığı çalışmada led gruplarını PWM sinyali ile karartma mantığına göre istenilen aydınlık düzeyine getirmiştir. Senol vd. (2016) PWM ile farklı renklerdeki ledleri karartma işlemi ile bitkiler üzerindeki işlevleri incelenmiştir. Farklı ışık renkleri için PWM sinyali birkaç farklı renk led sürmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.4 PID kontrol yapısı (a), iki renk led kullanımı (b)

Şekil 3.4 (a)'da PID kontrol şeması gösterilmektedir. Burada süreç kısmında PWM ile led grupları sürülmektedir. Şekil 3.4 (b)'de basit olarak 3800K ve 6500K ışık renk sıcaklığında iki grup led in gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.5 Tasarlanan sistemin geri beslemeli çalışma şeması

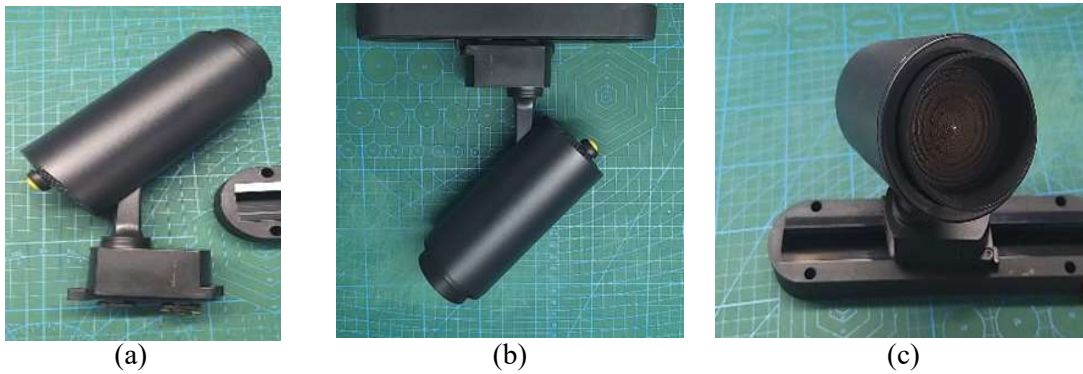
Şekil 3.5'de Şekil 3.4 (a)'yı da içinde barındıran sistemin çalışma şeması bulunmaktadır. Referans değerleri el terminaline girildikten sonra eser üzerindeki aydınlatma değeri ölçülerek bu referans bilgisi ile karşılaştırılmaktadır. Bu işlem sonrasında hata bilgisi kablosuz olarak aydınlatma armatürüne aktarılmaktadır. Aydınlatma armatürü üzerindeki işlemci iki ayrı ışık renk sıcaklığındaki led gruplarını kontrol etmek için ayrı ayrı PID algoritması kullanarak çıkışta PWM sinyaline dönüştürülür. Bu PWM sinyali led gruplarını kontrol ederek eser üzerine düşen aydınlatma değerlerini değiştirir. Bu işlem döngü halinde ölçülen değer ile referans değerler eşitlenene kadar devam eder. Hata bilgisi sıfır olduğunda işlem sonlanır ve terminal – aydınlatma armatürü bağlantısı kesilir.

3.2 Donanım Tasarımı

Sistem için aydınlatma armatürü ve el terminali olmak üzere 2 cihaz tasarımı söz konusudur. El terminali için tek devre gerekirken aydınlatma armatürü için 2 ayrı kart gerekmektedir. Bunlardan biri 220VAC-12VDC dönüştürücü diğeri ise ledlerin ve kontrol kısmının bulunduğu led kontrol kartıdır. Ray spot ve ray piyasadan hazır olarak alınıp iç devreleri kendi tasarladıklarımızla değiştirilmiştir. Bu sayede mekanik aksam tasarımı sürecine girilmemiştir. Ray spot armatürlerin ledleri genellikle seri bağlı olarak led sayısına bağlı 24V ila 96V arası dc gerilim ile çalışmaktadır. Bu nedenle tasarımda kullanmak için alınan armatürün ac-dc güç modülü iptal edilmiş ve yerine 220VAC-12VDC 2000mA lik güç modülü takılmıştır. Bu sayede donanım olarak sadece 2 kart tasarlanmıştır.

3.2.1 Armatür Tasarımı

Armatüre ait devre tasarımı için ray spotun iç yapısı Şekil 3.6’de incelenmişve gerekli ölçüler alınmıştır. Ray spotun içine sığabilecek şekilde tasarlanacak PCB’nin (Baskı devre tasarımı) maksimum dış ölçüleri belirlenmiştir. Sonra çizim programında devre şeması hazırlanmıştır. Son olarak ise PCB çizilmiştir.

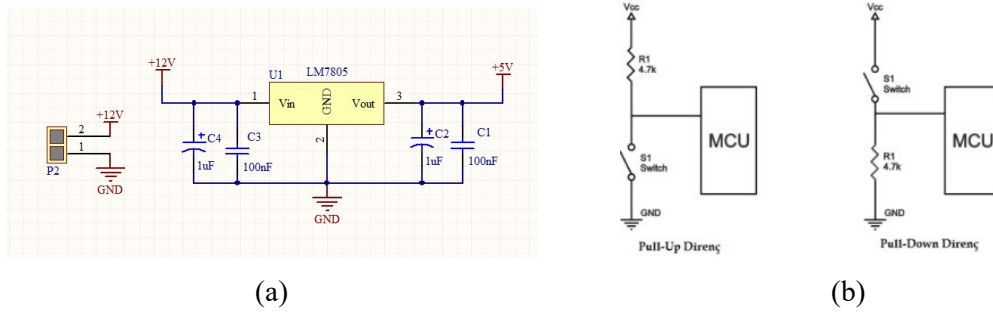


Şekil 3.6 Tasarlanan ray spot armatürün yan görünümü (a), tasarlanan ray spot armatürün elektro ray ile yan görünümü(b), tasarlanan ray spotarmatürün elektro ray üzerinde farklı açıdan görünümü (c).

Aydınlatma armatürünün içerisinde mevcut bulunan ledler ve devreler çıkartılmış, arkasına buton yerleştirilmiştir. Vitrin içerisinde genelde birden çok aydınlatma armatürü bulunmaktadır. Tek el terminali ile ayar yapıldığından ayar yapılacak aydınlatma armatürünün el terminali ile eşleşebilmesi için aydınlatma armatürü arkasındaki buton kullanılmaktadır.

3.2.1.1 Devre Şeması Tasarımı

Devre şeması tasarımı yapılırken sonrasında hazırlanacak olan PCB den bağımsız olarak hazırlanır. Armatürde PCB'nin oturacağı alan, kullanılacak ESP8266 işlemci modülünden daha küçük olduğundan modül konnektör ile PCB den ayrı yerde konumlandırılacak şekilde tasarlanmıştır. AC-DC modülünden gelen 12VDC girişi bağlantısı ve 5V regülatör devresi Şekil 3.7 (a)'daki gibidir. 5V regülatör olarak LM7805 entegresinin SMD (yüzey montaj) olanı kullanılmıştır. Kullanılan tüm entegre ve pasif komponentler SMD olarak seçilmiştir. Pasif malzemeler boyut olarak 603 pakettir.



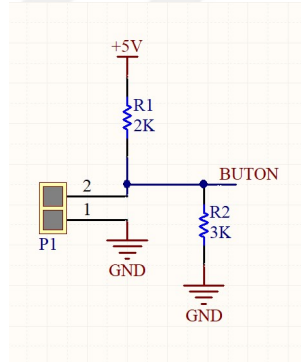
Şekil 3.7 Regülatör bölümü şeması (a), buton bağlantı çeşitleri şeması (b)

Şekil 3.7 (a)'daki regülatörün giriş ve çıkışına bağlanan kapasiteler enerji dalgalanmalarını sönmölemek için kullanılır. İdeal gürültü engelleme ve frekans sönmölemesi için enerjinin geliş yönünden itibaren 10uF – 1uF – 100nF – 10nF – 1nF olmak üzere 5 adet kapasite kullanılması uygun olup uF düzeyindekilerin elektrolitik olması gerekmektedir. Bu sistem gerilim hassasiyeti yüksek olan işlemci sensör

devrelerinde önem arz etmekte olup basit giriş çıkış modülü tasarımlarında iki kapasite yeterlidir. Bu nedenle tasarımda 2 adet kapasiteli sistem kurulmuştur.

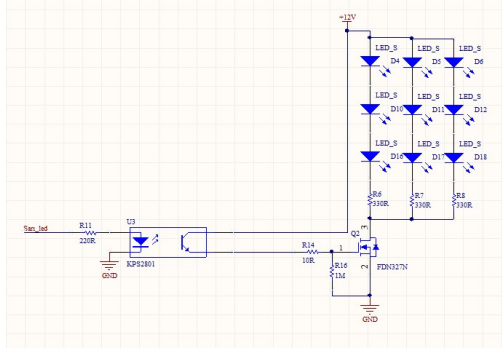
Sistem tasarımı yapılırken vitrin içerisinde bulunan birden fazla armatürün hangisinin el terminali ile eşleşmesi gerektiğinin seçimini yapmak adına her armatüre bir adet buton eklemek gerekti. Literatürde Şekil 3.7 (b)'deki gibi pull-up resistor (yukarı bağlı direç) ve pull-down resistor (aşağı bağlı direnç) olmak üzere iki farklı buton bağlantı yapısı bulunmaktadır. Pull-up devresinde butona basıldığında lojik 0 (GND) sinyali, basılmadığında ise lojik 1 (+Vcc) sinyali işlemcinin ilgili pin (bacağına) ine gitmektedir.

Devrede +Vcc besleme 5V gerilimdedir. ESP8266 işlemcisi 3V giriş çıkışa izin verdiği için buton bağlantısında seri direç ile gerilim bölücü kullanmak gerekmektedir. Bu nedenle buton bağlantısını pull-up yaptıktan sonra seri direnç bölücü vazifesi görebilmek için pull-up direnci 2K GND ile buton arasına da 3K direnç bağlantısı Şekil 3.8'deki gibi yapılmıştır. Bu sayede 5V luk giriş 3V a düşürülmüştür.

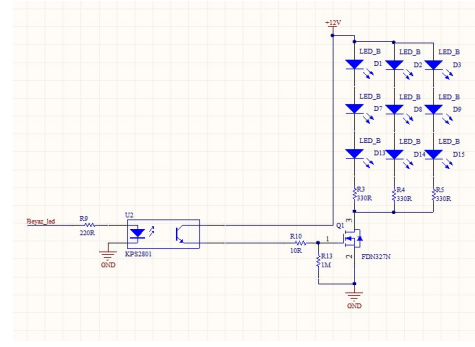


Şekil 3.8 Tasarımda kullanılan buton bağlantı şeması

Sistem için geriye kalan iki farklı led tipinin ayrı ayrı sürülmesidir. Ray spot içerisinde kullanılan 12V dönüştürücü modül için gerilim seviyesi 3.2V olan ledler 3 erli seri olarak bağlanmış ve seri direnç ile akımı sınırlandırılmıştır. 0,5W lık ledlerden Şekil 3.9 (a) ve Şekil 3.9 (b)'deki gibi 9 adet kullanılmış toplamda 3 erli seri ve 3 paralel olmak üzere toplamda 4,5W lık sıcak beyaz renk ve 4,5W lık ise soğuk beyaz renk led sistemi oluşturulmuştur.



(a)



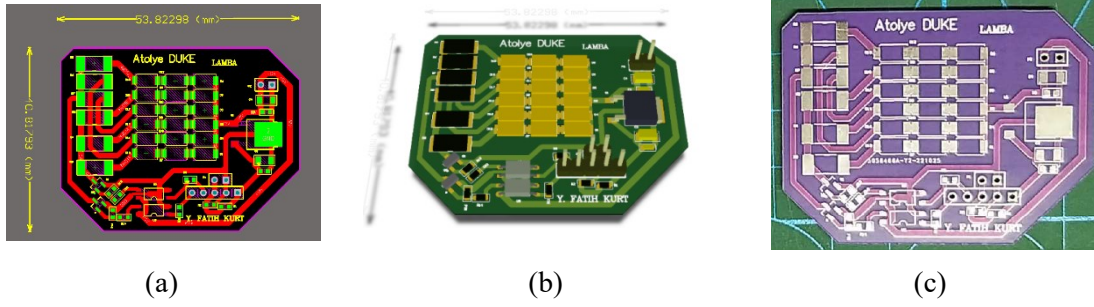
(b)

Şekil 3.9 Gün ışığı rengi ledlerin izoleli kontrol şeması(a), beyaz renk ledlerin izoleli kontrol şeması (b)

Ledlerin kontrolü için akım kapasitesi yüksek olan ve sot-23 SMD pakette olan FDN327N N kanal Mosfet kullanılmıştır. Bu mosfet elektronik bir Pull-up buton gibi çalışmaktadır. Enerjilendirildiğinde pinleri kısa devre olur. Çalışılan gerilim seviyesi 12V olduğundan anahtarlama sırasında işlemcinin olası arızalara karşı korumak adına SMD paket KPS2801 optocoupler ile optik izolasyonu sağlamıştır. Optocoupler olmadan da devre çalışabilmektedir. Tedbir amacı ile eklenmiştir. İşlemci çıkışlarından led kontrolü için PWM sinyalleri gönderilerek led gruplarının aydınlatma seviyeleri ayarlanmaktadır. İki farklı ışık rengine sahip ışık gruplarından birinin aydınlatma seviyesi diğerine göre fazla olunca toplam ışık rengi o grubun ışık rengine yaklaşmaktadır.

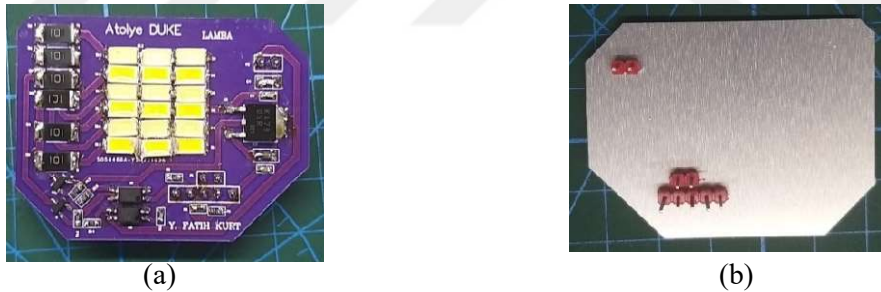
3.2.1.2 Baskı Devre Tasarımı

Baskı devre hazırlığı için malzemeler şemadan PCB kısmına aktarıldı. Malzemelerin boyutları ortaya çıktı. PCB kısmında PCB boyutlarını ayarlamadan önce başta yapılan ray spot ölçümü çizildi. Daha sonra malzeme yerleşimler ledler ortada konumlandırılacak şekilde düzenlendi. Led renklerinin birbirine iyi karışabilmesi adına 3 lü seri sıralı olarak Şekil 3.10'da olduğu gibi dizildi.



Şekil 3.10 PCB çizimi ve ölçüleri (a), PCB'nin 3D görünümü (b), PCB'nin üretilmiş hali (c)

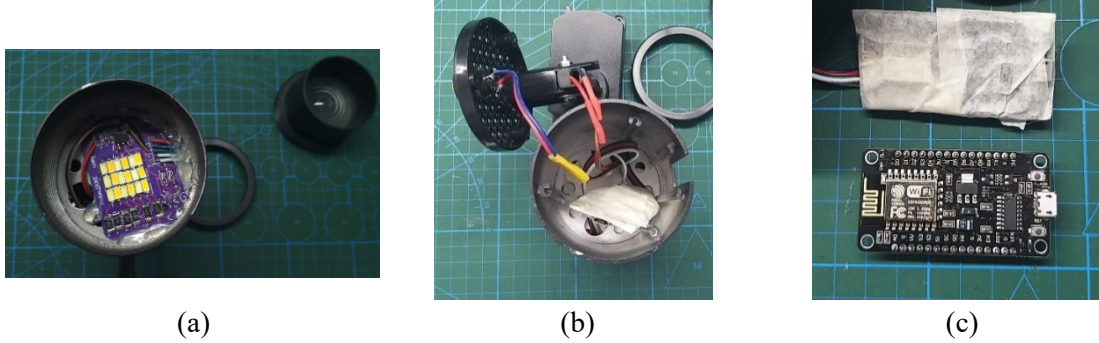
Daha sonra diğer malzemeler uygun yerlere koyularak dış kesim sınırları oluşturuldu. Bağlantı yollarının çizimleri de tamamlandıktan sonra PCB baskı firmasına gönderilmek üzere gerekli dosyalar hazırlandı. PCB çizim programında komponentlerin çizimlerini yaparken 3D görünümlelerinde çizimi yapıldı. Bu sayede malzemelerin dizilmiş halinin görüntüsünü alınabildi. Bu şekilde çalışma yapmak 3D kutulama için malzemenin sensörün geldiği yerlerin veya kart sınırlarını ve vida deliklerini görme açısından önemlidir. 3D çıktısını 3D programına atarak daha sağlıklı bir tasarım yapma imkânı sunmaktadır.



Şekil 3.11 PCB üretilmiş ve dizgisi yapılmış hali (a), PCB üretilmiş ve dizgisi yapılmış arka görünümü (b)

Ledlerin yüksek güçte bir araya getirilmesi ısınma problemlerine yol açmaktadır. Bu sebeple üzerinde led dizili sistemlerin genellikle Şekil 3.11'de gösterildiği gibi alüminyum üzeri pcblerden yapıldığı görülmektedir. Bu sayede soğutma işlemi daha başarılı olmaktadır. Alüminyum PCB nin en büyük sıkıntısı tek katlı kart olma zorunluluğudur. PCB'yi tek katlı ve alt kısmından kablolu kısa devre olmadan çizmek çok zordur. Özellikle çok fazla komponent bulunduran devreler için bu daha da zordur.

Projede alüminyum baskı alınması gereği doğduğundan tek katlı PCB tasarımı yapılmıştır. Şekil 3.11’de basılmış PCB’ler gösterilmektedir.

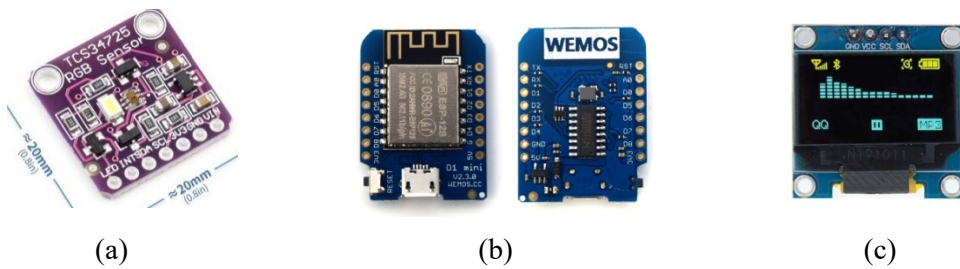


Şekil 3.12 Led kartının armatüre monte edilmiş hali (a), armatürün iç kısmı ESP’nin yerleştirilmiş halinin görünümü (b), ESP’nin izoleli ve izolesiz görünümü (c)

Şekil 3.12 (b) ve (c)’de ESP8266 modülü devreden harici olarak kablo ile konumlandırılacağından dış kısmı bant ile izole edilerek kutu içerisine yerleştirilmiştir.

3.2.2 El Terminali Tasarımı

Tasarımı yapılan sistem gereksinimlerinden biri olan ve tüm ölçüm ve geri beslemeyi sağlayan ekipman el terminalidir. Bu el terminalinin aydınlatma seviyesini ve ışık rengini ölçmesi istenmektedir. Bu nedenle Şekil 3.13 (a)’daki TCS34725 sensörü kullanılmıştır.



Şekil 3.13 Işık aydınlık seviyesini ve rengi algılayıcı sensör TCS34725 (a), ESP8266 D1 Mini işlemci modülü (b), 128x64 piksel OLED ekran (c)

Bu sensör ışığın aydınlık seviyesini (lüks), rengini (K) ve RGB (Red Green Blue) (Kırmızı Yeşil Mavi) yüzdesi cinsinden cisim rengini ölçmektedir. Bizim ihtiyacımız

yalnızca aydınlatma seviyesi ve rengi olduğundan o değerleri kullandık. Utami ve Sudjadi (2020) makalelerinde aynı sensörü kullanıp RGB değerlerine göre 3 adet motor sürmüş ve ölçülen renk değerinin aynı rengini boya karışımı ile elde etmeye çalışmışlardır. Makalede sensörün cisim rengi algılama özelliği kullanılmıştır. Sivachandran vd. (2021) makalelerinde bu sensörü bina aydınlatmalarındaki ışık titremelerini ölçmek için kullanmıştır. Tasarlanan sistemde ışık rengini ve aydınlık seviyesini algılamak için kullanılmıştır. Aynı şekilde Todorova vd. (2022) çalışmalarında rengi ayarlanabilir ışık kaynaklarının istenilen değerde olup olmadığını algılamak için bu sensörü kullanmıştır. Başka bir çalışma yapan Gao vd. (2019) makalelerinde şehirdeki binaların aydınlatmasını gün ışığına göre kısip arttırmak için algılayıcı olarak kullanmıştır. Bir başka makalede ise Ali vd. (2023) cisim rengi algılayarak istifleme ve internet üzerinden haberleşme sisteminde algılayıcı olarak kullanmıştır. El terminalinden istediğimiz diğer görev bu ışık bilgilerini değerlendirmesi ve wifi üzerinden geri besleme yapmasıdır. Bunu sağlamak için ise ray spot üzerinde kullanılan kontrol modülü Şekil 3.13 (b)'deki ESP8266'nın D1 mini modelidir. El terminalinin küçük boyutta olabilmesi için özellikle mini modeli seçilmiştir. El terminali bu işlemleri gerçekleştirirken referans değerlere ihtiyacı vardır. Yani istediğimiz aydınlatma değerlerini terminale gireceğiz ve ölçülen değerle karşılaştırılarak gerekli geri besleme sinyali ışık kaynağına iletilecek. Bunu sağlayabilmek için Şekil 3.13 (c)'de yer alan OLED LCD, bir adet ise tuş takımı gerekmektedir. Burada yine el terminali boyutlarının optimize edilebilmesi için 0,96 inch ekrana sahip 128x64 pixel çözünürlükte I2C haberleşme protokolü ile kontrol edilen OLED LCD ekran kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.14 Bilgisayar faresi orta tekerleği görünümü (a), orta tekerleğin iç görünümü (b)

Tuş takımı yerine ise Şekil 3.14'deki gibi bilgisayar farelerinde kullanılan orta tekerlek uygun bulunmuştur. Bu tekerlek hem menüler arasında gezinti hemde altındaki buton sayesinde seçim yapma imkânı sunmaktadır. Sistemin son ihtiyacı enerji kaynağıdır.



Şekil 3.15 18650 paketinde 2500mAh kapasitede lityum-ion pil (a), pilin paket yapısı ve ölçüleri (b)

El terminalinin ihtiyacı olan enerjiyi 18650 paket Li-ion bataryadan almaktadır. Paket ismi Şekil 3.15 (b)'de gösterildiği gibi pil ölçüsünden gelmektedir.



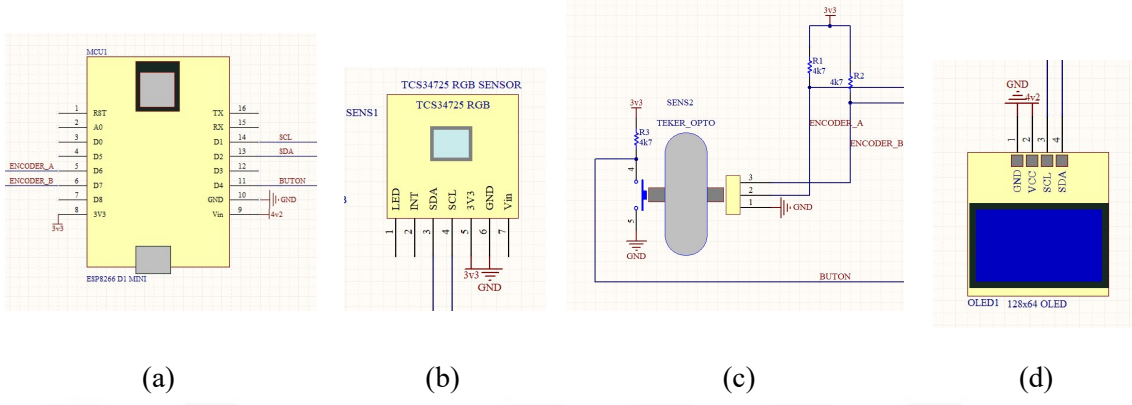
Şekil 3.16 Pil şarj ve akım koruma BMS modülü TP4056

Bu bataryaların hem şarjı hemde kısa devre koruması için Şekil 3.16'da yer alan TP4056 BMS modülü kullanılmıştır. Bu modül hem USB den şarj sırasında 5V luk USB gerilimini 4.2V a indirmekte, hem şarj akımını 1A olarak akım kontrollü şarj işlemi yapmakta hem de kısa devreye karşı koruma yapmaktadır.

3.2.2.1 Devre Şeması Tasarımı

Şema tasarımı yukarıda bahsi geçen modüllerin birleşimi için gerekli bağlantıları oluşturmak için hazırlanmıştır. Sisteme ek olarak batarya şarj durumunu elde edebilmek için gerilim bölücü direnç kullanarak işlemcinin analog girişi ile pil gerilimini ölçme

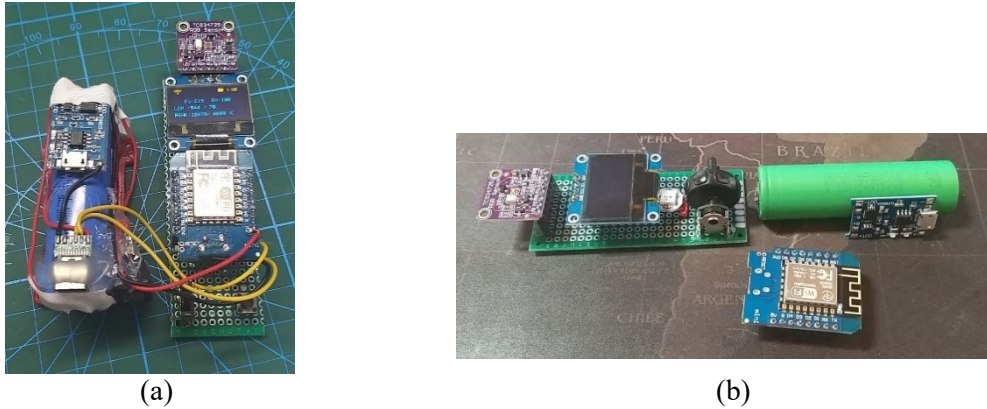
üzerine kuruludur. İşlemci, sensör, LCD ve teker şemaları Şekil 3.17’de gösterilmektedir.



Şekil 3.17 İşlemci modülü bağlantı şeması (a), ışık sensör modülü bağlantı şeması (b), kontrol tekerleği bağlantı şeması (c), OLED LCD bağlantı şeması (d).

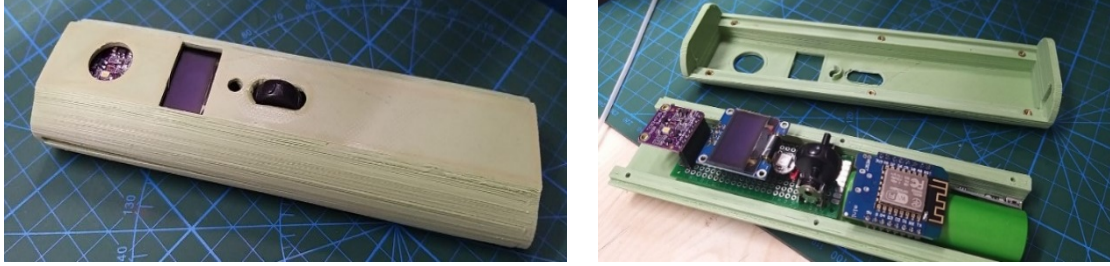
3.2.2.2 Baskı Devre Tasarımı

El terminalinin baskı devresi hazırlanırken herhangi bir hazır kutu olmadığı için baskı devre öncesi delikli pertinaks ile minimum hacim için çalışmalar Şekil 3.18’de gösterildiği gibi yapılmıştır. Minimum hacim çalışması için PCB çizim programında da iyileştirmeler yapılmış ve modüller altlı üstlü yerleştirilerek minimum hacim elde edilmiştir.



Şekil 3.18 Devrenin delikli pertinaks üzerine yerleştirilerek çalışır hale getirilmesi (a), devre elemanlarının yerleşimine karar verilmesi (b)

Şekil 3.18’de delikli pertinaks üzerinde yapılan denemeler ile en ergonomik kullanım yöntemi tespit edilmiştir. Daha sonra kullanılan malzemelerin 3D çizimleri yapılarak kutu tasarımı için altlık oluşturulmuştur. İlk deneme Şekil 3.19’daki gibi yapılmış fakat ergonomik olması için malzemeler birbirine biraz daha yaklaştırılmıştır.

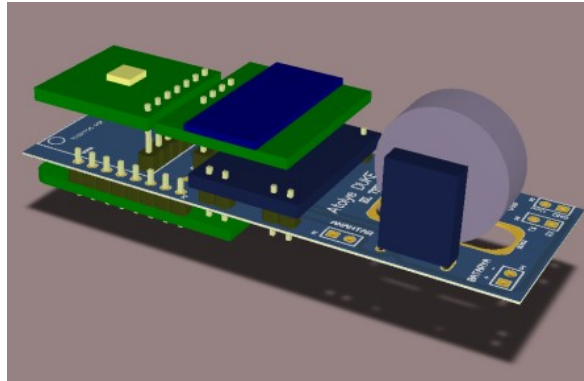


(a)

(b)

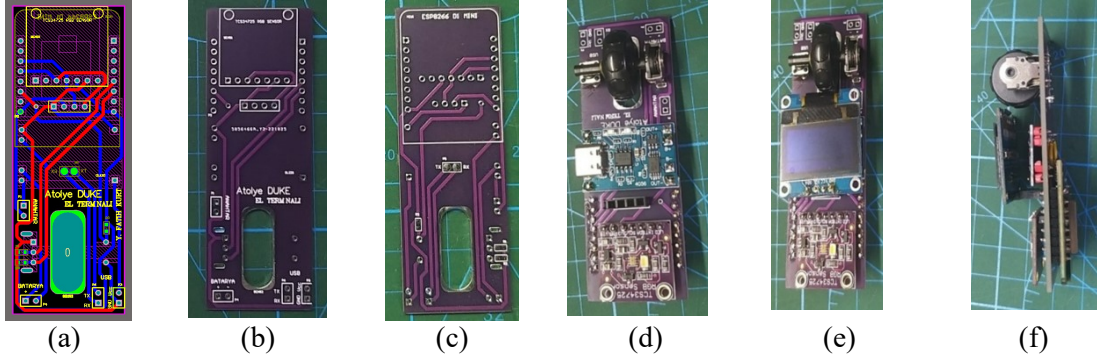
Şekil 3.19 Delikli pertinaks üzerine monte edilen devrenin 3D baskı içerisine yerleştirilmesi (a), devre 3D kutuya yerleştirilen devrenin görünümü (b).

Malzemelerin son yerleşimine göre PCB çizilmiş ve kutulama için 3D çizimi güncellenerek Şekil 3.20’deki son halini almıştır.



Şekil 3.20 El terminali devre 3D görünümü

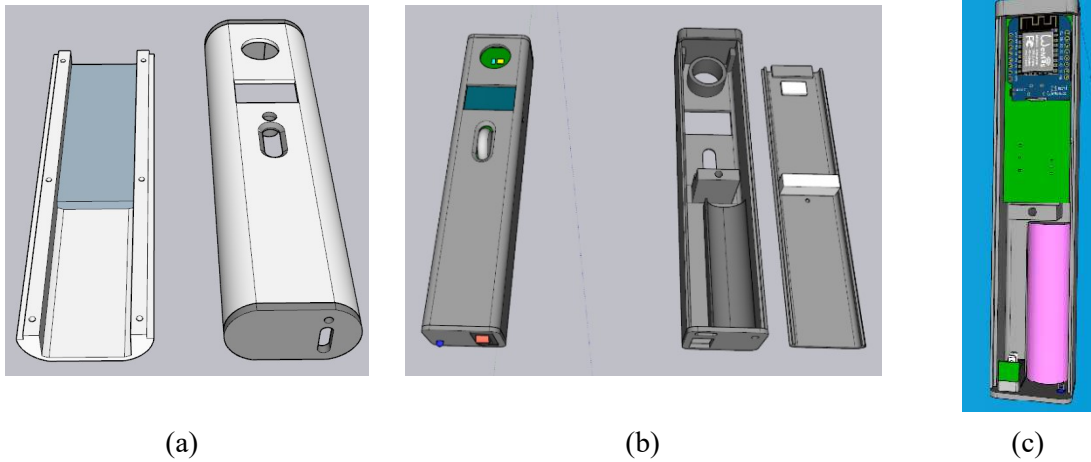
Yapılan PCB çiziminin PCB baskı firması tarafından baskısı üretilmiştir. Şekil 3.21’de PCB’nin baskıdan dizgiye kadar olan görselleri yer almaktadır. Şekil 3.21 (d), (e), (f)’de PCB’nin son halinin yan görünümü yer almaktadır.



Şekil 3.21 El terminali PCB çizimi (a), PCB üst görünümü (b), PCB alt görünümü (c), devre üst görünümü (d), devre alt görünümü (e), devre yan görünümü (f).

3.3 3D Model Tasarımı

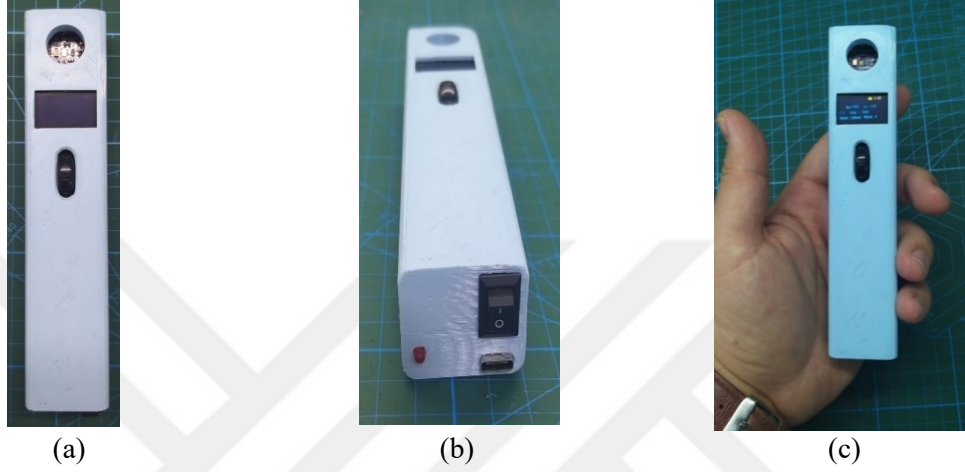
EL terminali PCB si ile paralel olarak tasarlandı. PCB'nin 3D çıktısı çizim programına eklendi ve devre boyutlarına göre sensör, LCD ve tekerlek için boşluklar bırakıldı. İçerisine konulacak batarya, alt kısmına konulacak şarj ledi göstergesi, hem programlama hem de şarj için type-c usb ve açma kapama anahtarı için de gerekli yuvalar oluşturuldu. Model ana kabuk ve arka kapak olmak üzere iki parça halinde tasarlandı.



Şekil 3.22 El terminali 1. tasarım 3D çizimi (a), el terminali 2. tasarım 3D çizimi (b), el terminali 2. tasarım devre kartı ile birlikte 3D çizimi (c).

Arka kapağın takılması için bir tarafına tırnak ortasına da 1 adet vida yuvası eklendi. Tasarım birden çok defa tekrarlandı. 3D baskıları alınarak boyutları ve ele oturumu

açısından ergonomikliği ve buton rahat kullanımı açısından değerlendirildi. Hem sağlamlık bakımından hem de ergonomik olması açısından Şekil 3.22 (b, c) ve Şekil 3.23 deki son hali uygun bulundu. El terminalinin üç boyutlu modelinin ilk tasarımı Şekil 3.22 (a)'da, son tasarımı Şekil 3.22 (b) ve (c) de yer almaktadır. El terminalinin son haline ait görseller Şekil 3.23 de yer almaktadır.

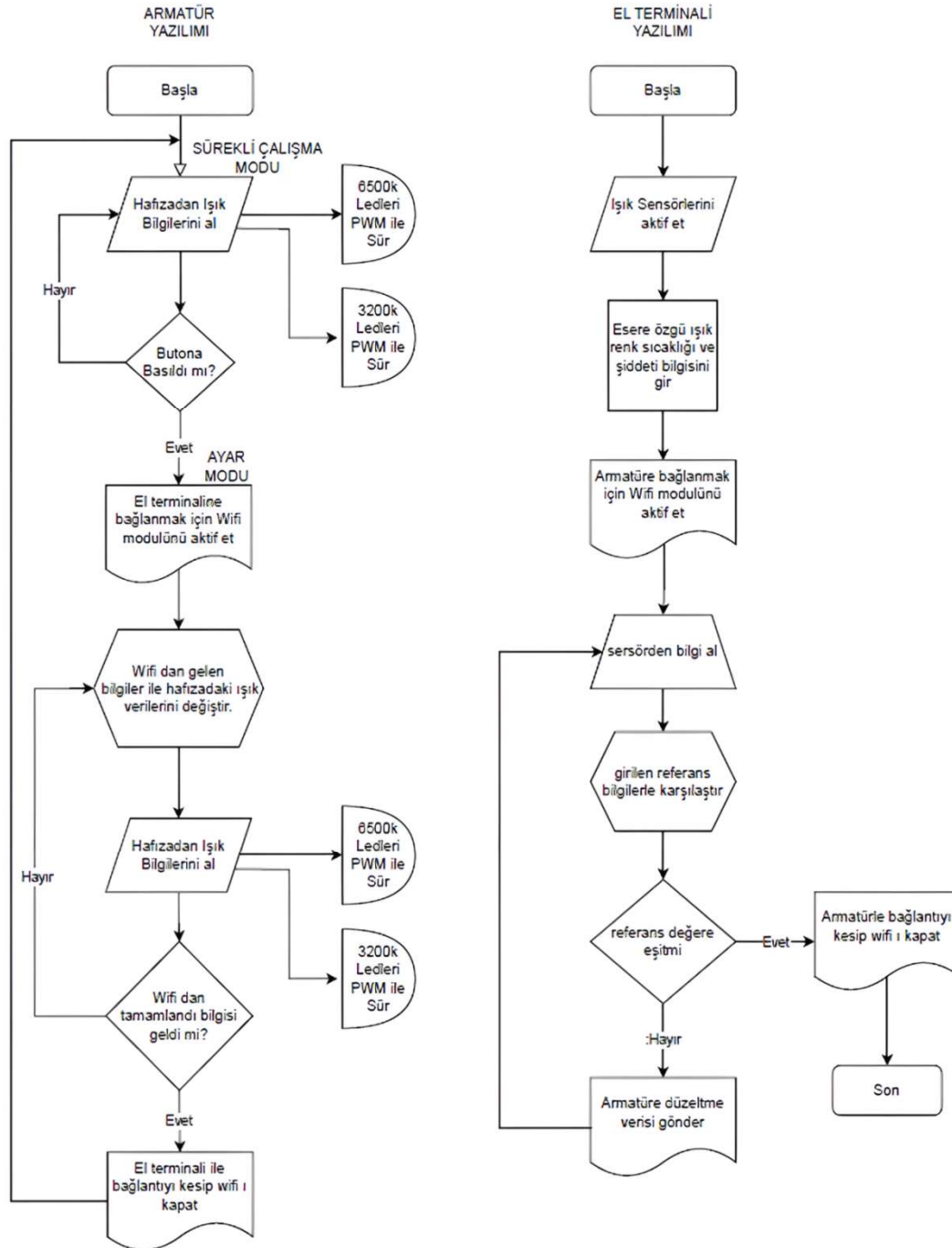


Şekil 3.23 El terminali ön görünüm (a), el terminali alt görünüm (b), el terminali çalışır haldeki görünümü (c).

3.4 Yazılım Tasarımı

Tasarlanan sistemde iki farklı cihaz bulunmaktadır. Biri ışık kaynağı olan aydınlatma armatürü diğeri ise onu kontrol eden el terminali. Yazılım sıralaması özelden genele doğru hazırlanmıştır. Özel olan uç elemanlar, genel olan ise verilerin işlenmesidir. İşlemcilerin programlanması sonrasında çalışmasını kontrol etmek gerekir. Kodlara eklenen seri porta yazma komutları ile bilgilerin kontrolü yapılmıştır. Sırasıyla buton kontrolü, ledlerin PWM ile kontrol algoritmaları, sensör bilgilerinin alınması, LCD ekranına yazı yazma ve şekil çizdirme yazılımları, teker ve butonunun kontrolü ve pil gerilim seviyesi ölçme gibi özel yazılımlar hazırlanmıştır. Sonra bunların birbirleri ile olan ilişkileri her cihaz için yapılmıştır. Daha sonra wifi haberleşme kodları hazırlanmıştır. Son olarak ise sistemin geri besleme sistemi için sıralı fonksiyonlar tanımlanmıştır. Yazılımın düzgün çalıştığı test edildikten sonra ise gerekli iyileştirmeler, LCD arayüzleri, menüler ve kod satır sayısını azaltmak için çeşitli fonksiyonlar ve döngüler hazırlanarak son haline getirilmiştir. Örneğin pil seviye

göstergesi için pil resmi ve % si hazırlanmış, bağlantı kurulunca wifi işareti resmi eklenmiş, referans girme ve ayar menüleri eklenmiş, her işlem için bir fonksiyon tanımlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan kodlar ile hem daha okunaklı hem de daha kullanışlı yazılım ortaya çıkmıştır. Yazılımın genel şeması Şekil 3.24'te gösterilmektedir.



Şekil 3.24 Yazılım diyagramı

3.4.1 Armatür Yazılımı

Aydınlatma armatürü içerisinde işlemci, wifi modül, buton, led kontrol bölümü ve ledlerin yer aldığı bölümler bulunmaktadır. Sistemin çalışma prensibi gereği wifi haberleşmesinin aktif hale getirilmesi için başlangıçta butona basılması gerekmektedir. Aydınlatma armatürü butona bastığında wifi açılmaktadır. El terminali ayarlama menüsüne giriş yaptığı anda butona basılan armatür ile eşleşmektedir. Işık ölçümü yapılarak gerekli hesaplamaların sonucunda ortaya çıkan *led_beyaz* ve *led_günışığı* yüzde değerleri armatüre gönderilmektedir. Armatürün burada yaptığı tek iş veri geldiği sürece gelen veri ile ledlerin parlaklığının ayarlanmasıdır. Bu yazılımda herhangi bir hesaplama yoktur. Özetle butona basılmakta, gelen veri PWM sinyaline çevrilerek ledlere gönderilmekte ve veri sonlanınca değer sabit şekilde kalmaktadır.

3.4.1.1 Buton Kontrol Yazılımı

Programlamada özelden genele doğru işlem yapılmaktadır. O nedenle ilk önce en basit işlem testi ile başlanmıştır. Devre kartı üzerinde pull-up direnç buton bağlantısı kullanılmıştır. Yani butona basıldığında lojik 0 seviyesine düşecektir. Yazılımda her işlem için tanımlamalar gerekmektedir. Giriş çıkış işlemleri için de işlemcinin hangi pinine bağlı olduğu, giriş/çıkış özellik seçimi gibi tanımlamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

#define buton D2 bir değişken atamasıdır. Yazılımın her yerinde buton yazılan yer için aslında D2 kast edilmiş olmaktadır. Bir bakıma etiket tanımlamasıdır. Yani yazılımda buton kontrolü için her seferinde D2 yi hatırlamak gerekmez ve bağlantı değiştirilme durumunda yazılımda sadece *#define buton D2* kısmında değişiklik yapmak yeterli olur.

```
void setup()
{
  pinMode(buton, INPUT_PULLUP);
```

Yukarıdaki kod işlemci pininin giriş olduğu ve pullup bağlantısı içerisinde olduğu tanımlamasıdır. Pinlerin giriş çıkış tanımlaması *setup* kısmında yapılmaktadır. *PinMode*

içerisinde 1. bölüme işlemcinin pin adı yazılır. Değişken tanımlandığı için buraya *buton* yazılmıştır.

Tanımlamalar tamamlandıktan sonra butona basılıp basılmadığının sorgulanması için dijital oku komutu kullanılır;

if (digitalRead(buton)==LOW){ } bu komut, eğer okunan pin değeri lojik 0 ise “{}” parantez içerisindeki işlemin yapılması komutudur.

Buton kontrolü için bu komutlar yeterlidir. Farklı fonksiyonlar için kullanımda *digitalRead(buton)* komutunun eklenmesi yeterlidir.

3.4.1.2 Led Kontrol Yazılımı

Ledlerin ışık şiddetinin değiştirilebilmesi için ledlere verilen enerjinin PWM ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Led devresi girişine lojik-1 sürekli olarak verildiğinde %100 parlaklıkta iken t süresince lojik-1 ve t süresince lojik-0 bilgisini sürekli verildiğinde parlaklık seviyesi yaklaşık %50 olmaktadır. Bu şekilde ara değerleri elde etmek için lojik-1 ve lojik-0 da kalma sürelerini değiştirilmesi gerekmektedir. Bu sisteme genel olarak PWM denilmektedir. Tek bir ledin kontrolü için aşağıdaki yazılım kullanılabilir;

```
digitalWrite(LED_Beyaz, HIGH); //Beyaz ledin pinini lojik-1 yap.  
delay (x); //x kadar milisaniye bekle.  
digitalWrite(LED_Beyaz, LOW); //Beyaz ledin pinini lojik-0 yap.  
delay (100-x); //100-x kadar milisaniye bekle.
```

Yukarıda 100ms lik periyot içerisinde x değeri kadar ms lojik-1 100-x değeri kadar ms lojik-0 da çıkışı beklet anlamına gelmektedir. Buradaki kod yapısını döngü içerisine koyarak sürekli çıkış verilmiş olur. Bu yazılım örnek açıklama olması için yapılmıştır. Ledin parlaklığının artıp azalışını tam olarak görülebilmesi için gözün fark etmeyeceği değer olan 50hz yani 20ms lik periyot içerisinde bu işlemi yapmak gerekmektedir. 100ms lik periyot kullanılırsa ledin hızlı bir şekilde yanıp söndüğü fark edilir. Sistemde “ms” lik gecikme yerine “us” lik gecikme kodu kullanılmıştır. *delayMicroseconds(x);*

fonksiyonu mikrosaniye cinsinden gecikme sağlamaktadır. Armatür devresinde iki ayrı pinden iki ayrı led dizisi kontrol edileceğinden yukarıdaki PWM dizisinde güncelleme yapılmıştır.

```
void PWM_LED(int x, int y)// PWM fonksiyon oluşturulmuştur.
{
    int i; //x ve y bilgisi ledin parlaklık % sidir. Hangisinin küçük olduğuna bakılıp
    gecikmeler onun üzerinden yürütülmektedir.
    if(x<y)
    {
        for(i=0; i<50; i++)
        {
            digitalWrite(LED_Beyaz, HIGH);
            digitalWrite(LED_Gun, HIGH);
            delayMicroseconds(x);
            digitalWrite(LED_Beyaz, LOW);
            delayMicroseconds(y-x);
            digitalWrite(LED_Gun, LOW);
            delayMicroseconds(100-y);
        }
    }
    if(y<x)
    {
        for(i=0; i<50; i++)
        {
            digitalWrite(LED_Beyaz, HIGH);
            digitalWrite(LED_Gun, HIGH);
            delayMicroseconds(y);
            digitalWrite(LED_Gun, LOW);
            delayMicroseconds(x-y);
            digitalWrite(LED_Beyaz, LOW);
            delayMicroseconds(100-x);
        }
    }
}
```

```

    }
}
if(y==x)
{
    for(i=0; i<50; i++)
    {
        digitalWrite(LED_Beyaz, HIGH);
        digitalWrite(LED_Gun, HIGH);
        delayMicroseconds(x);
        digitalWrite(LED_Gun, LOW);
        digitalWrite(LED_Beyaz, LOW);
        delayMicroseconds(100-x);
    }
}

```

İkili ledin kontrolünde bekleme sürelerinin birbiri içerisine gömülmesi gerekmektedir. Bu sayı artmaya başladığında ise yazılım dilinde “zaman kesmesi” adı verilen fonksiyonları kullanmak gerekmektedir. Bu sistemde belirlenen sürelerde kesme bilgisi gelir ve çıkış bilgisi değiştirilir. Genellikle çok ledli veya çok sayıda servo motor bulunduran sistemlerde sinyal oluşturulurken kullanılır. Yukarıdaki yazılıma göre daha karmaşık yapıda olduğundan ve sistemde sadece iki led grubu bulunduğundan tercih edilmemiştir.

Sistemde ledlerin ışık akılarının arttırılıp azaltılması için PWM sinyali kullanılmaktadır. PWM sinyali tek başına sadece ışık akısını ayarlar. Cisim üzerindeki aydınlık düzeyinin ölçülerek ışık akısının ayarlanması döngüsünü hızlı ve kararlı bir şekilde yapmak için ise PID kontrol sistemi kullanılmaktadır. PID algoritması Denklem 3.1’de verilmiştir.

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.1)$$

El terminaline girilen referans değerler ile yine el terminali üzerindeki ışık sensöründen alınan değerler karşılaştırılarak bir hata bilgisi elde edilir. Bu hata bilgisinin hızlı ve

kararlı bir şekilde sifıra yaklaştırılabilmesi için Denklem 3.1’de bulunan K_p , K_i ve K_d katsayıları belirlenerek PWM yazılımında bulunan “x” süresi değeri belirlenir. Aydınlatma armatürü yazılımında “PID_v1.h” hazır kütüphaneden yararlanılmıştır. Basit olarak kütüphanedeki kod öbeğinin kullanımı aşağıda verilmiştir.

```
#include <PID_v1.h>

double Setpoint, Input, Output;

double Kp=2 , Ki=8, Kd=1;

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup()
{
    Input = analogRead(PIN_INPUT);
    Setpoint = 100;
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop()
{
    Input = analogRead(PIN_INPUT);
    myPID.Compute();
    analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
}
```

PID algoritmasının tek led grubu için sisteme adapte edilmiş hali aşağıdaki gibidir.

```
void PWM_LED(int xref, int xolc)
{
    double out;
    double Kp=0.6 , Ki=4.5, Kd=1;
    PID myPID(&xolc, &out, &xref, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}
```

```

int i;
{
    for(i=0; i<50; i++)
    {
        digitalWrite(LED_Beyaz, HIGH);
        delayMicroseconds(out);
        digitalWrite(LED_Beyaz, LOW);
        delayMicroseconds(100-out);
    }
}

```

PID algoritmasının iki led grubu için sisteme adapte edilmiş hali aşağıdaki gibidir.

```

void PWM_LED(int xref, int xolc, int yref, int yolc)
{
    double outx, outy;
    double Kp=0.6 , Ki=4.5, Kd=1;
    PIDx myPID(&xolc, &outx, &xref, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
    PIDy myPID(&yolc, &outy, &yref, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

    myPIDx.SetMode(AUTOMATIC);
    myPIDy.SetMode(AUTOMATIC);

```

int i; //x ve y bilgisi ledin parlaklık % sidir. Hangisinin küçük olduğuna bakılıp gecikmeler onun üzerinden yürütülmektedir.

```

if(outx < outy)
{
    for(i=0; i<50; i++)
    {
        digitalWrite(LED_Beyaz, HIGH);
        digitalWrite(LED_Gun, HIGH);
    }
}

```

```

        delayMicroseconds(outx);
        digitalWrite(LED_Beyaz, LOW);
        delayMicroseconds(outy - outx);
        digitalWrite(LED_Gun, LOW);
        delayMicroseconds(100- outy);
    }
}
if(outy < outx)
{
    for(i=0; i<50; i++)
    {
        digitalWrite(LED_Beyaz, HIGH);
        digitalWrite(LED_Gun, HIGH);
        delayMicroseconds(outy);
        digitalWrite(LED_Gun, LOW);
        delayMicroseconds(outx - outy);
        digitalWrite(LED_Beyaz, LOW);
        delayMicroseconds(100- outx);
    }
}
if(outy== outx)
{
    for(i=0; i<50; i++)
    {
        digitalWrite(LED_Beyaz, HIGH);
        digitalWrite(LED_Gun, HIGH);
        delayMicroseconds(outx);
        digitalWrite(LED_Gun, LOW);
        digitalWrite(LED_Beyaz, LOW);
        delayMicroseconds(100-outx);
    }
}
}

```

3.4.1.3 Wifi Haberleşme Yazılımı

İki cihazın haberleşmesi için ESP8266 işlemci modülü içerisinde bulunan wifi modülü sayesinde kablosuz olarak verileri aktarılabilir. Her cihazın içerisinde bir mac adresi kayıtlıdır. Bunlar kimlik bilgisi olarak kabul edilir. Yazılıma başlamadan önce ESP'lerin mac adreslerinin öğrenilmesi gerekir. Bunun için şu kodlar kullanılmıştır;

```
#include <ESP8266WiFi.h>

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

void loop ()
{
    Serial.print( WiFi.macAddress());
    Serial.println();
    delay(1000);
}
```

Modüle yazılımı attıktan sonra seri port ekranından mac adresini kaydetmek gerekmektedir. Mac adresi öğrenilen her modülün üzerine etiket vasıtasıyla mac adresini üzerine yapıştırmak faydalı olmaktadır. İşlemcinin hazır wifi kodlarına erişebilmek için *ESP8266WiFi.h* ve *espnow.h* kütüphanelerini önce yüklemek sonrada yazılımın içerisine *#include* komutu ile eklemek gerekir.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <espnow.h>
```

Alınacak ve gönderilecek veri yapısı için structure tanımlaması. Diğer kartlar ile aynı yapı olmalıdır. Yani el terminalinde de aynı paketleme yapısı olmalıdır.

```
typedef struct struct_message
```

```

{
    bool istekgonder;
    float LED_By;
    float LED_Gn;
    bool cevap;
} struct_message;

// El terminaline ait kartın mac adresi buraya girilmektedir.
uint8_t alici_macadresesi[] = {0xA0, 0x20, 0xA6, 0x27, 0xBF, 0xB5};

struct_message istekyolla; // İstek göndermek için oluşturduğumuz veri yapısı
struct_message gelenveriler; // gelen verileri almak için oluşturduğumuz veri yapısı
// Veriler gönderildiğinde çalıştıracağımız fonksiyon
void VerilerGonderildiginde(uint8_t *mac_addr, uint8_t sendStatus) {
// Veriler alındığında çalışacak fonksiyon
void VerilerAlindiginda(uint8_t * mac, uint8_t *incomingData, uint8_t len) {
    memcpy(&gelenveriler, incomingData, sizeof(gelenveriler));
//wifi üzerinden gelen veri PWM için kullanılan değişkene atanmaktadır.
    gelenLED_By = gelenveriler.LED_By;
    gelenLED_Gn = gelenveriler.LED_Gn;
    gelencevap = gelenveriler.cevap;
// Cihazı station olarak tanımlayıp başka ağa bağlıysa ağlardan çıkılmaktadır.
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.disconnect();
// ESP-NOW'u başlatılmaktadır.
    if (esp_now_init() != 0)
    {
        Serial.println("ESP NOW Başlatılamadı!!!");
        return;
    }
    esp_now_set_self_role(ESP_NOW_ROLE_COMBO);
// Bu kartın rolü tanımlanmaktadır.. Çift yönlü iletişimde kartlar COMBO olmalıdır.
    esp_now_register_send_cb(VerilerGonderildiginde);

```

```

// Yukarıda tanımlanan ve veri gönderildiğinde çalışacak fonksiyon atılmaktadır.
esp_now_add_peer(alici_macadresi, ESP_NOW_ROLE_COMBO, 1, NULL, 0);
// Bağlanılacak diğer karta bağlantı tanımlanmaktadır.
esp_now_register_recv_cb(VerilerAlındığında);
// Yukarıda tanımlanan ve veri alındığında çalışacak fonksiyona atılmaktadır.

```

Yukarıdaki kod yapısı wifi haberleşme yapılacak tüm ESP modülleri için gerekli yazılımdır. Bunun üzerine veri göndermek için bir fonksiyon vardır. Veri alma işlemi otomatik olarak yapılmaktadır. Armatürün sistemdeki görevi sürekli olarak ledlerin kontrolünü yapmak, ayar için butona basılınca el terminaline istek göndermek ve gelen verileri yeni led kontrol verisi olarak güncellemektir. Bunun için ana döngü yapısının içerisinde bu işlemler yapılmaktadır.

```

void loop()
{

    if (digitalRead(buton)==LOW) //eğer butona basılmışsa

    {
        while(digitalRead(buton)==LOW);
        delay(100);

        istekyolla.istekgonder = 1; //alıcıya istekgonder değişken 1 yapıp gönderilmektedir

        esp_now_send(alici_macadresi, (uint8_t *) &istekyolla, sizeof(istekyolla));
        Serial.println("İstek Gönderilme Denendi");
    }

    PWM_LED(gelenLED_By, gelenLED_Gn); //wifi üzerinden gelen veriler ile
    otomatik değişir

}

```

3.4.2 El Terminali Yazılımı

El terminali armatürün ışık değerlerini ayarlayacağından hangi armatürün butonuna basılarak eşitleme isteği olduğunu görmekte ve o armatürle eşleşme yapmaktadır. Eşleşme sonrası sensörden alınan veriler ile referans verileri karşılaştırmakta ve gerekli led yüzdelerini armatüre iletmektedir. Burada referans verilerinin girişi için LCD ekran ve butonlu teker, ışık bilgilerini almak için sensör, enerji ihtiyacının karşılandığı batarya gibi malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu gereksinimlerin her biri için ayrı yazılım ve algoritmalar gerekmektedir. Tekrar yazılım temeline incek olunursa ilk başta özel yazılımlar daha sonra genel algoritma yazılımları sırasıyla tasarlanmıştır.

3.4.2.1 LCD Kontrol Yazılımı

LCD el terminallerinin genelinde kullanılan bir malzemedir. Sensör verilerinin ve veri akışlarının izlendiği, seçeneklerin belirlendiği bir devre arayüzüdür. Tasarlanan el terminalinde LCD hem referans değerlerinin girişinde, hem ışık ayar döngüsünde, hem şarj göstergesinde hem de bağlantı işaretlerinde kullanılmaktadır. Çoğu modülde olduğu gibi LCD yazılımında da hazır kütüphaneler bulmak mümkündür. El terminali yazılımında *Adafruit_SSD1306.h* kütüphanesi kullanılmıştır. Bu kütüphane önce yazılım programına indirilmiştir. Daha sonra yazılım içerisine “#include” komutu ile eklenmiştir. LCD için bazı değişken tanımlamaları ve hazır komutlar da kullanmak gerekmektedir.

```
#define SCREEN_WIDTH 128 // ekran yatay piksel sayısı
#define SCREEN_HEIGHT 64 // ekran dikey piksel sayısı
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);
```

Bu kodlamalar LCD’yi hazır hale getirmektedir. Daha sonra setup kısmında ekran temizleme fonksiyonu girilmektedir.

```
display.clearDisplay();
```

LCD'nin iki farklı kullanım şekli bulunmaktadır. Birincisi hazır karakterleri kullanarak karakterin başlayacağı noktayı belirtmektir. İkincisi ise her piksel için bir matris çıkartıp resim yapmaktır. Birinci yöntem ile sınırlı işlem yapılabilirken ikinci yöntemle farklı simgeler, resimler ve farklı yazı stilleri yapılabilir. Tasarımda iki yöntemde kullanılmıştır. Birinci yöntemde göre veri bilgilerini veya istenilen yazıları ekranda göstermek için aşağıdaki kodları kullanılabilmektedir.

```
display.clearDisplay(); // her yazı değişimi öncesi ekran temizlenmelidir.  
display.setTextSize(1); // yazı fontunu ayarlamak için kullanılır.  
display.setTextColor(WHITE); //renkli ekranlarda renk belirlemek için kullanılır.  
display.setCursor(100,0); //yazının başlangıç noktası belirlenir.  
display.println("Sensor degeri: "); // gösterilecek yazı metni girilir.  
display.println(pil_yuzdesi); // gösterilecek değişken adı girilir.
```

Yukarıda basit olarak gösterildiği şekliyle LCD ekrana her türlü yazı yazdırılabilir. *Cursor* fonksiyonu içerisinde sayı yerine bir değişken atayarak *display.setCursor(x,y);* kayan yazı yapmak da mümkündür.

Bahsedilen ikinci yöntem ise pil ve wifi logoları için kullanılmaktadır.

```
// Pil logosuna ait değişken tanımlamaları ve pil logo matrisi  
#define LOGO_pil_HEIGHT 7  
#define LOGO_pil_WIDTH 16  
static const unsigned char PROGMEM logo_bmp1[] =  
{ 0b00000111, 0b11111100,  
0b00000111, 0b11111100,  
0b00000111, 0b11111111,  
0b00000111, 0b11111111,  
0b00000111, 0b11111111,  
0b00000111, 0b11111100,
```

```

0b000001111, 0b111111100
};
// wifi logosuna ait değişken tanımlamaları ve pil logo matrisi
#define LOGO_wifi_HEIGHT 9
#define LOGO_wifi_WIDTH 16
static const unsigned char PROGMEM logo_bmp2[] =
{ 0b000011111, 0b111110000,
  0b001110000, 0b000011100,
  0b110000000, 0b000000011,
  0b000000111, 0b111100000,
  0b000111000, 0b000111000,
  0b000000000, 0b000000000,
  0b000000011, 0b110000000,
  0b000000000, 0b000000000,
  0b000000001, 0b100000000
};

//Pil için logo gösterme fonksiyonu
display.drawBitmap(79,0,logo_bmp1, LOGO_pil_WIDTH, LOGO_pil_HEIGHT, 1);
//wifi için logo gösterme fonksiyonu
display.drawBitmap(0,0,logo_bmp2,LOGO_wifi_WIDTH, LOGO_wifi_HEIGHT, 1);

```

Matris içerisindeki her 1 değeri ekran üzerinde bir noktayı 0 değeri ise boşluğu simüle etmektedir.

3.4.2.2 Sensör Algılama Yazılımı

Işık sensör modülü olarak TCS34725 modülü kullanılmaktadır. Bu modülün yazılım programında kullanılmak üzere *Adafruit_TCS34725.h* kütüphanesi mevcuttur. Bu kütüphane *#include* kodu ile yazılıma eklenmiştir. Yalnızca aşağıdaki başlangıç komut satırı yazılıma eklenerek sensör çalışmaya hazır hale gelmektedir.

```
Adafruit_TCS34725  
Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_300MS,  
TCS34725_GAIN_1X);
```

Işık ölçümü yapılacağı her zaman 3 satırlık bir kod yazılabileceği gibi tek bir fonksiyon da tanımlanabilmektedir. El terminali yazılımında her süreç için bir fonksiyon tanımlama yapılmıştır. Böylelikle ana döngü sadeleşmiştir. Işık ölçümleri için aşağıdaki fonksiyon tanımlanmıştır.

```
void ISIK_olcum (void)  
{  
    tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c);  
    SICAKLIK_olcum = tcs.calculateColorTemperature(r, g, b);  
    LUX_olcum = tcs.calculateLux(r, g, b);  
}
```

Bu fonksiyon ile ölçümü yaptıktan sonra ışık rengi ve şiddeti birer değişkene atamıştır. Bu sayede referans değerler ile karşılaştırılabilecek veriler elde edilmiştir.

3.4.2.3 Batarya Seviye Kontrolü Yazılımı

Batarya BMS modülü üzerinden şarj ve deşarj olurken tam dolum durumunda modül üzerindeki led rengi değişmektedir. Fakat dolum sırasında veya kullanım zamanı bataryanın % kaçının dolu olduğunu bilmek kullanım için tedbir alınması da yardımcı olmaktadır. Bataryanın tam dolu olduğu anda gerilimi 4,2V olmaktadır. Boşalmaya başladığında ise 2,5V düzeylerine kadar inmektedir. Fakat bu voltaj değeri devre çalışması bakımından sakıncalıdır. Çünkü pil çıkışı devremiz için gerekli olan 3,3V luk Vcc beslemesini sağlamak için regülatör girişine bağlıdır. Regülatör giriş değeri çıkış değerinden yüksek olmak zorundadır. Belirlenen bir alt sınırı %0 değeri olarak kabul etmek gerekmektedir. Bu nedenle %0 değeri için 3,5V değeri uygun bulunmuştur. Sonuç olarak pil yüzdesi gerilim olarak 3,5V-4,2V aralığında tutulacaktır. Gerilim değeri ölçümü, işlemcilerin analog giriş pinleri üzerinden sağlanmaktadır. İşlemcinin

pin giriş ve çıkış voltajları 3V dur. 3,5V ve 4,2V değerlerini ölçebilmek için iki adet direnç ile gerilim bölücü yapılması gerekmektedir. Devremizde 4,2V luk değeri 2V olarak görecekte şekilde dirençler seçilmiştir. İşlemcilerin analog giriş pinleri okunduğunda işlemcinin ADC bit sayısına göre sayısal değeri alınmıştır. İşlemci 10 bitlik bir ADC ye sahip olduğundan en yüksek değeri olan 3V luk analog gerilimin karşılığında işlemci ADC pininden sayısal bilgi olarak 1024 değeri alınmaktadır. Analog değeri almak için *analogRead(sensorPin)* fonksiyonu kullanılmaktadır. Devremiz için bazı hesaplamalar yapılmış ve istenilen gerilim aralıklarını %0 ile %100 arasında tutabilmek için elde edilen fonksiyon aşağıda verilmektedir.

```
void pil_olcum(void){  
    PIL_YUZDESI = (analogRead(sensorPin)-500)*100/190;  
}
```

Pil ölçümü yapılırken lityum iyon pilin tam dolu halindeki gerilimi 4,2V'dur. Boşaldığında ise 3V değerini görmektedir. Devredeki pilin boş hali 3,5V olarak kabul edilerek yazılım tasarımı yapılmıştır. Yazılım pilin 4,2V değeri için %100, 3,5V değeri için ise %0 olarak değeri üretmektedir. İşlemci pinlerine en fazla 3V giriş vermek gerekmektedir. Direnç bölücü ile bu değeri 2V'a düşürülmüştür. Direnç bölücü oranından dolayı pilin tam dolu hali 2V'a, boş hali ise 1,46V'a denk gelmektedir. İşlemci ADC girişindeki 3V değeri için 1024 değerini üretir. Üretilen değerden 500 çıkartıp 1,9'a bölünürse 1,4V giriş değeri 0 değerine, 2V değeri ise 100 değerine karşılık gelmektedir.. Yüzde değeri hesaplandıktan sonra LCD'nin pil logosu yanına % işareti ile birlikte eklenmiştir.

3.4.2.4 Orta Teker Kontrol Yazılımı

Orta teker olarak adlandırılan sensör, bilgisayar faresinin *scroll* adı verilen ortadaki tekerlektir. Bu tekerleğin ortasındaki milin bir ucu sensöre diğer ucu ise butona bağlıdır. Tekerleğe üstten bastırıldığında butona basılmış olur. Buton yazılımı standart pull-up resistor bağlantısı olarak kurulmuştur. *digitalRead(buton)* şeklinde yazılımda

kullanılmaktadır. Tekerlek ise optik encoder olarak çalışmaktadır. Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi iki adet çıkışı vardır.

Çizelge 3.1 Orta teker kontrol sinyali

Scroll_1	Scrool_2
0	0
0	1
1	1
1	0

Bu çıkışlar dijital olarak kontrol edilerek ileri yönlü veya geri yönlü hareketi tespit edilmiş olur. Tasarımda kullanılan algorithmada scroll_1 in eski haline göre değişimine bakılır. Değişti ise scroll_2 nin durumuna bakarak ileri yönlü mü geri yönlümü hareket ettiği öğrenilmiş olur.

```
#define buton D4
#define scroll_1 D6
#define scroll_2 D7
int eski_durum_A;
int durum_A;
int durum_B;
// setup içerisinde -----
pinMode(buton, INPUT_PULLUP); //butonu tanımladık
pinMode(scroll_1, INPUT_PULLUP);
pinMode(scroll_2, INPUT_PULLUP);
// -----
eski_durum_A = digitalRead(scroll_1);
while(digitalRead(buton)==HIGH)
{
    durum_A = digitalRead(scroll_1);
    if(durum_A != eski_durum_A)
    {
```

```

durum_B=digitalRead(scroll_2);
if(durum_B != durum_A)
{
//-----işlemler
}
else
{
//-----işlemler
}
}

eski_durum_A=durum_A;
}

```

3.4.2.5 Wifi Haberleşme Yazılımı

Mac adreslerini aşağıdaki kısa yazılım kodları ile öğrenilen işlemci modüllerinin birbirleri ile wifi üzerinden haberleştiği Armatür yazılımı kısmında anlatılmıştır. Burada kodlar el terminaline göre değiştirilmiştir.

```

#include <ESP8266WiFi.h>
void setup(){
    Serial.begin(115200);
}
void loop (){
    Serial.print( WiFi.macAddress());
    Serial.println();
    delay(1000);
}

```

İşlemcinin hazır wifi kodlarına erişebilmek için *ESP8266WiFi.h* ve *espnw.h* kütüphanelerini önce yüklenmesi sonrada yazılımın içerisine *#include* komutu ile eklenmesi gerekir.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
```

```
#include <espnow.h>
```

Alınacak ve gönderilecek veri yapısı için structure tanımlaması. Diğer kartlar ile aynı yapı olmalıdır. Yani el terminalinde de aynı paketleme yapısı olmalıdır.

```
typedef struct struct_message {  
    bool istekgonder;  
    float LED_By;  
    float LED_Gn;  
    bool cevap;  
} struct_message;  
  
// Armatüre ait kartın mac adresi buraya girilmektedir.  
uint8_t alici_macadresesi[] = {0x48, 0x55, 0x19, 0x14, 0xAA, 0x82};  
struct_message istekyolla; // İstek göndermek için oluşturulan veri yapısı  
struct_message gelenveriler; // gelen verileri almak için oluşturulan veri yapısı  
// Veriler gönderildiğinde çalıştırılacak fonksiyon  
void VerilerGonderildiginde(uint8_t *mac_addr, uint8_t sendStatus) {  
    // Veriler alındığında çalışacak fonksiyon  
    void VerilerAlindiginda(uint8_t * mac, uint8_t *incomingData, uint8_t len) {  
        memcpy(&gelenveriler, incomingData, sizeof(gelenveriler));  
    }  
    //wifi üzerinden gelen veri PWM için kullanılan değişkene atanmıştır.  
    gelenLED_By = gelenveriler.LED_By;  
    gelenLED_Gn = gelenveriler.LED_Gn;  
    gelencevap = gelenveriler.cevap;  
  
    // Cihaz station olarak tanımlayıp başka ağa bağlıysa ağlardan çıkılmıştır  
    WiFi.mode(WIFI_STA);  
    WiFi.disconnect();  
    // ESP-NOW'u başlatılmıştır.  
    if (esp_now_init() != 0) {
```

```

Serial.println("ESP NOW Başlatılamadı!!!");
return;
}
esp_now_set_self_role(ESP_NOW_ROLE_COMBO);
// Bu kartın rolü tanımlanmıştır. Çift yönlü iletişimde kartlar COMBO olmalı
esp_now_register_send_cb(VerilerGonderildiginde);
// Yukarıda tanımlanan ve veri gönderildiğinde çalışacak fonksiyon atanmıştır.
esp_now_add_peer(alici_macadresi, ESP_NOW_ROLE_COMBO, 1, NULL, 0);
// Bağlanılacak diğer karta bağlantı tanımlanmıştır
esp_now_register_recv_cb(VerilerAlindiginda);
// Yukarıda tanımlanan ve veri alındığında çalışacak fonksiyon atanmıştır.

```

Yukarıdaki kod yapısı wifi haberleşme yapılacak tüm ESP modülleri için gerekli yazılımdır. Bunun üzerine veri göndermek için bir fonksiyonu vardır. Veri alma işlemi otomatik olarak yapılmaktadır. El terminalimizin sistemdeki görevi sürekli olarak ışık değerlerini ölçme ve referans değer ile bu değerleri karşılaştırmaktır. Ayrıca armatürden eşleşme sinyali geldiğinde armatür ile eşleşmektedir. Sonra ayarlama menüsü seçildiğinde armatür üzerindeki ledler için gerekli veriyi wifi üzerinden ayarlama tamamlanıncaya kadar sürekli olarak göndermektir. Ayarlama; el terminali üzerindeki sensörlerden alınan ışık verileri ile referans değerler ile aynı olması durumudur. Bu bir kapalı çevrim geri besleme algoritmasıdır. Bunun için *veri_gonder* fonksiyonu içerisinde bu işlemler yapılmıştır.

```

void veri_gonder(void){
    if (alinanistekmesaji) {
        //-----gönderilmek üzere verileri ayarla
        LEDverileri.LED_By = beyaz;
        LEDverileri.LED_Gn = sari;
        LEDverileri.cevap = 1;
        //----- hazırlanan verileri alıcıya gönder
        esp_now_send(alici_macadresi, (uint8_t *) &LEDverileri,sizeof(LEDverileri));
        //-----tekrar kullanmak üzere alinanistekmesaji değişkenini sıfırla
    }
}

```

```
    alinanistekmesaji = false;  
    delay(100);  
}  
}
```

Beyaz ve güneşli rengi yüzdelelerini armatüre aktarmaktadır. Ayrılma bittiğinde el terminali bağlantıyı kesmektedir.



4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Müze vitrinlerinde eserlerin boyutları, yapı malzemeleri, altlarında bulunan kaideler ve renklerine göre özel aydınlatma yapılması gerekmektedir. Yan yana bulunan eser yüzeylerinin tepe noktalarında aydınlık düzeyleri eşit olduğunda fazla aydınlatmadan kaynaklı kamaşmaya neden olmaz. Ayrıca eser malzeme yapısı ve rengine göre de rengin iyi algılanabilmesi için gereken ışık renk sıcaklığı değerinin de istenilen referans değerde olması gerekir. Yapılan çalışmada tasarlanan aydınlatma armatürü bu iki ışık değeri istenilen referans değere getirebilecek kabiliyettedir. Testler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada aydınlatma armatürünün istenilen referans değerlerinde çıktı üretip üretmediğinin karşılaştırılması için yapılmış olup girdi-çıkı arasındaki başarı ölçülmüştür. İkinci aşamada ise müze vitrini içerisinde farklı yüksekliklerdeki iki eser arasındaki aydınlık düzeylerinin incelenmesini ele almaktadır.

İlk Aşama: Kabiliyet Testi

Tasarlanan aydınlatma armatürü ve el terminalinin donanım ve yazılımının doğru bir şekilde çalıştığının anlaşılabilmesi için hedef aydınlatma değerleri el terminaline tek tek girilerek gerçekleşen aydınlatmanın aydınlık düzeyi ve ışık renk sıcaklığı değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 4.1’de gösterildiği gibi test ortamı kurulmuştur (test düzeneğinin net görünebilmesi için ortam aydınlatması açılarak fotoğraflanmıştır).



Şekil 4.1 Aydınlatma test düzeneği

Ortam karanlık olarak ayarlanmış, elektro raya sabitlenmiş tasarım rayspot ile el terminalinin konumlandırıldığı düzlem arasında sabit mesafede gerçekleştirilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 de el terminaline girilen aydınlık düzeyi ve ışık renk sıcaklığı referans (hedef) değerlerine karşılık aydınlatma armatürünün verdiği çıkışlar yer almaktadır. Her dörtlü satır grubunda sabit hedef aydınlık düzeyi değerleri için farklı hedef ışık renk sıcaklığı değerlerine sistemin verdiği çıkışlar ölçülerek yazılmıştır.

Çizelge 4.1 Hedef ve gerçekleşme tablosu

Hedef Aydınlık Düzeyi	Hedef Renk Sıcaklığı	Gerçekleşen Aydınlık Düzeyi	Gerçekleşen Renk Sıcaklığı
100	3400	105	3421
	4000	102	3995
	4600	104	4601
	5200	98	5210
	5800	102	5817
	6400	96	6389
200	3400	202	3403
	4000	200	4040
	4600	202	4580
	5200	206	5204
	5800	199	5823
	6400	198	6425
300	3400	306	3421
	4000	302	3998
	4600	308	4599
	5200	309	5234
	5800	293	5809
	6400	297	6452
400	3400	400	3380
	4000	412	4030
	4600	403	4611
	5200	397	5233
	5800	412	5790
	6400	403	6405

Yazılım algoritmasında aydınlatma armatürü wifi üzerinden gelen hedef değerlerini alarak aydınlatmayı o değere getirmeye çalışmaktadır. Algoritmada sıralama ilk başta iki led grubu da PID kontrollü PWM sinyali ile aydınlatılan yüzeyi istenilen aydınlık düzeyi değerine getirilir. Daha sonra ışık renk sıcaklığını sağlamak için bir led grubunun ışık akısı artırılırken diğer led grubunun azaltılarak ışık renk sıcaklığı hedef değere yaklaştırılır. Hedef değerin %5 toleransı içerisine gelindiğinde ise tekrar aydınlık düzeyi değerine bakılır. Hedef değerin +/-%5 içerisinden çıkmış ise iki led grubunda orantılı olarak ışık akıları artırılır veya azaltılır. Bu şekilde istenen hedef aydınlık düzeyi değerine getirilir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de hedef değerlerine karşılık gelen gerçekleşen değerler gösterilmiştir.

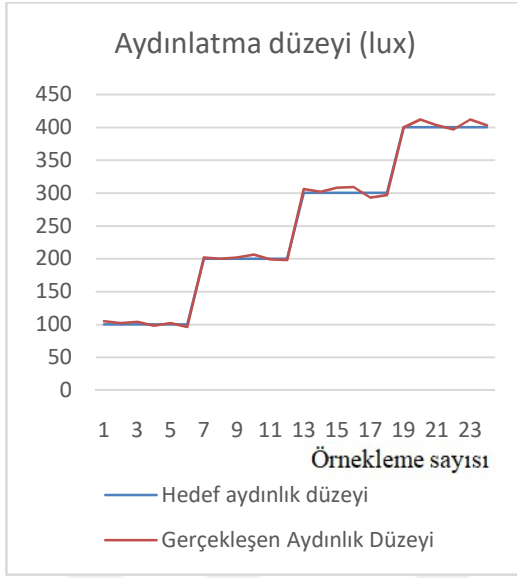
Çizelge 4.2 Gerçekleşen aydınlık düzeyi tablosu

Hedef Aydınlık Düzeyi	Hedef Renk Sıcaklığı	Gerçekleşen Aydınlık Düzeyi
100	3400	105
	4000	102
	4600	104
	5200	98
	5800	102
	6400	96
200	3400	202
	4000	200
	4600	202
	5200	206
	5800	199
	6400	198
300	3400	306
	4000	302
	4600	308
	5200	309
	5800	293
	6400	297
400	3400	400
	4000	412
	4600	403
	5200	397
	5800	412
	6400	403

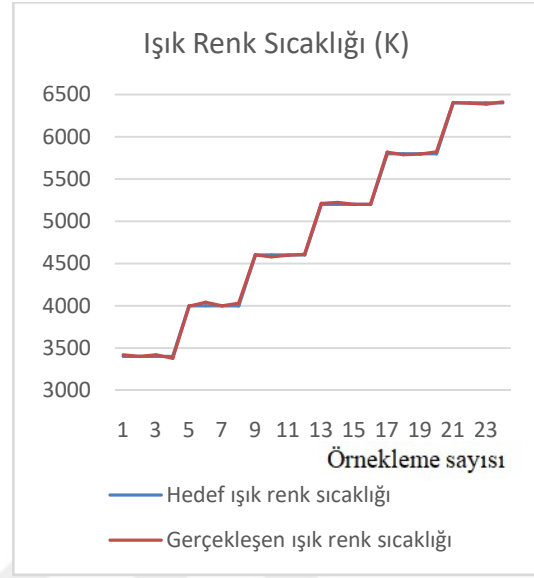
Çizelge 4.3 Gerçekleşen ışık rengi sıcaklığı

Hedef Aydınlık Düzeyi	Hedef Renk Sıcaklığı	Gerçekleşen Renk Sıcaklığı
100	3400	3421
	4000	3995
	4600	4601
	5200	5210
	5800	5817
	6400	6389
200	3400	3403
	4000	4040
	4600	4580
	5200	5204
	5800	5823
	6400	6425
300	3400	3421
	4000	3998
	4600	4599
	5200	5234
	5800	5809
	6400	6452
400	3400	3380
	4000	4030
	4600	4611
	5200	5233
	5800	5790
	6400	6405

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'ün hazırlanma sebebi sistemin giriş verisine karşı çıkış verilerinin karşılaştırılabileceği bir grafik oluşturmaktır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 bu çizelgelerdeki verilerden oluşturulmuştur.



Şekil 4.2 Aydınlatma düzeyi hedef-gerçekleşme grafiği



Şekil 4.3 Işık renk sıcaklığı hedef-gerçekleşme grafiği

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de gösterilen verilere göre tasarlanan sistemin girilen verilere doğru bir şekilde ulaşabildiği anlaşılmaktadır. Gerçekleşen değerlerin %5 tolerans içerisinde tutulmasının nedeni; ışık ölçümlerinin yapıldığı el terminalinin eser üzerinde el ile tutulmasıdır. El ile tutulan ölçüm cihazı elin titremesinden dolayı hassas değerlerde tutulamaz. El terminali sabit olarak yerleştirilmesi durumunda %5 tolerans iptal edilip hedef değerler tam olarak gerçekleştirilebilir. %4 ün altında tolerans bilgisi yazılıma yüklendiğinde eldeki cihaz ışık verileri sürekli değiştiğinden aydınlatma armatürü ayar menüsünden çıkamamaktadır. Her insanda el titreme seviyesi farklı olduğundan tolere edilebilir seviye olan %5 tercih edilmiştir. El titremesi yüksek olan personellerin ayarlama yaparken bipot veya tripot gibi küçük destekler kullanması gerekmektedir.

Tasarlanan aydınlatma sistemi ile vitrin içerisindeki eserlerin gerçek rengini daha doğru bir şekilde algılanıp, eser yüksekliklerinden kaynaklı fazla parıltı ve düşük düzeyde aydınlatmanın önüne geçilerek görsel konforun oluşması için gerekli ışık değerlerini sağlayabilmektedir.

İkinci Aşama: Müze Vitrini İçerisinde Farklı Yükseklikteki İki Heykelin Aydınlatılması Testi

Müze vitrinleri eserlerin ön planda olabilmesi için genellikle koyu renk tasarlanmaktadır. Müzedeki vitrinlere benzer bir vitrin üretilip Şekil 4.4 deki test vitrini oluşturulmuştur. Vitrin içerisine elektroray monte edilmiş ve üzerine iki adet ray spot yerleştirilmiştir. Soldaki rayspot sabit ışık değerlerine sahiptir. Sağdaki rayspot ise tasarlanan ayarlanabilir rayspottur. Işık değerlerinin daha net algılanabilmesi için full-frame sensöre sahip canon 5D mark III DSLR fotoğraf makinesi kullanılmıştır.

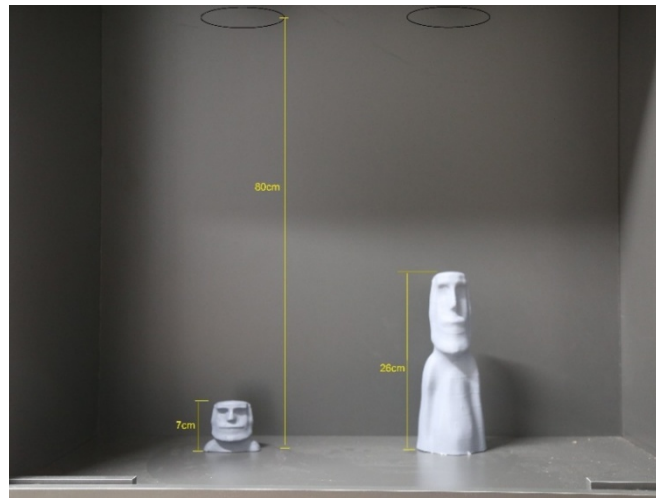


(a)

(b)

(c)

Şekil 4.4 Müze vitrini test ortamı (a), Canon marka fotoğraf makinesi (b ve c)



Şekil 4.5 Vitrin içine yerleştirilen benzer iki heykelin ölçümleri

Vitrin içerisine Şekil-4.5 daki gibi yükseklikleri farklı iki heykel yerleştirilmiştir. Algıyı arttırabilmek için heykellerin Şekilleri benzer ve aynı renktedir. Aydınlatma armatürleri ile vitrin tabanı arasındaki mesafe 80cm dir.



(a)

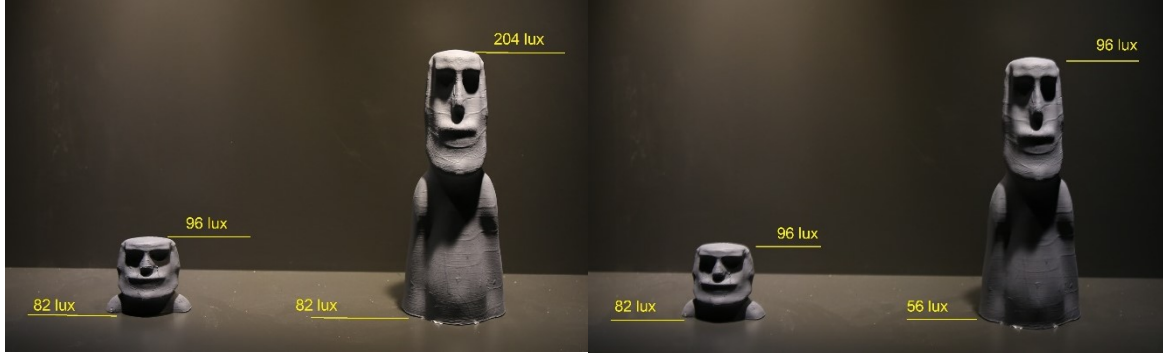
(b)

Şekil 4.6 zdeőt ışık akıları ile aydınlatma(a), heykel tepe yüzeylerinde zdeőt aydınlık düzeyi aydınlatması (b)

Çizelge 4.4 Şekil 4.5’deki aydınlatma ışık değerleri

				Sol aydınlatma	Sağ aydınlatma
Canon 5D Mark III ISO: 200 Estantene: 0,4" Diyafram: 4.0	sol fotoğraf (Şekil 4.6 a)	Aydınlık Düzeyi	Cisim tabanında	82 lüks	82 lüks
			Cisim tepesinde	96 lüks	204 lüks
			ışık Renk Sıcaklığı	2600 K	2600 K
	sağ fotoğraf (Şekil 4.6 b)	Aydınlık Düzeyi	Cisim tabanında	82 lüks	56 lüks
			Cisim tepesinde	96 lüks	96 lüks
			ışık Renk Sıcaklığı	2600 K	2600 K

Şekil 4.6-a da heykellerin aydınlatma armatürleri özdeőtir ve tabanda 82 lüks aydınlık düzeyine sahiptir. Bu haliyle soldaki heyken kısa sağdaki heykel uzun olduğundan zdeőt aydınlatma altında uzun olan heykelin st kısmında kamaőtma olmaktadır. Şekil 4.6-b de ise soldaki aydınlatma değeri sabit kalacak Şekilde sağdaki aydınlatma armatürü heykelin st kısımlarındaki aydınlatma düzeyleri eőt olacak Şekilde (96 lüks) ayarlanmıőtir. Bu sayede heykel tepe noktalarında kamaőtma oluőtmemiőtir.



(a)

(b)

Şekil 4.7 Heykeller üzerinde aydınlık düzeylerinin belirtilmiş halleri (Şekil 4.6 ile aynı fotoğraflardır)

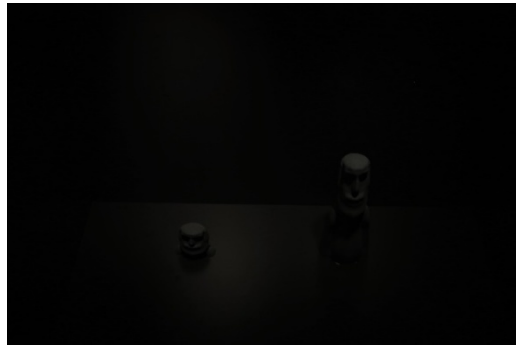
Çizelge 4.5 Şekil 4.8’deki aydınlatma ışık değerleri

				Sol aydınlatma	Sağ aydınlatma
Canon 5D Mark III ISO: 800 Estantene: 1/125 Diyafram: 4.0	Sol fotoğraf (Şekil-4.8a)	Aydınlık Düzeyi	Cisim tabanında	82 lüks	82 lüks
			Cisim tepesinde	96 lüks	204 lüks
			Işık Renk Sıcaklığı	2600 K	2600 K
	Sağ fotoğraf (Şekil-4.8b)	Aydınlık Düzeyi	Cisim tabanında	82 lüks	56 lüks
			Cisim tepesinde	96 lüks	96 lüks
			Işık Renk Sıcaklığı	2600 K	2600 K

Kamaşmanın daha net anlaşılabilmesi için fotoğraf makinesinin ışık değerlerini kısık daha karanlık çekim yapılmış ve ön-üst çapraz açıdan Şekil 4.8-a ve Şekil 4.8-b fotoğrafları çekilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.8 Fotoğraf makinesinin kısık ışık değerlerinde aynı ölçümlere ait farklı açıdan

fotoğrafları

Şekil 4.8-a'nın aydınlatma değerleri Şekil 4.7-a ile aynıdır. Şekil 4.8-b'nin aydınlatma değerleri Şekil 4.7-b ile aynıdır. Sadece üst açıdan ve kısık fotoğraf değerlerinde çekilmiştir. Şekil 4.8-a'nın kısa ve uzun heykel tepe noktaları arasındaki aydınlık düzeyi farkı net görünmekte olup Şekil 4.8-b'de heykellerin tepe noktaları aydınlık düzeyleri eşittir. Bu noktada Şekil 4.8-a'da sağdaki heykel üzerinde kamaşma olduğu görünmektedir. Şekil 4.8-b'de ise bu kamaşma ortadan kalkmıştır.



5.SONUÇ

Bu tezin amacı müzelerde vitrin içerisinde sergilenen eserler için, istenilen aydınlık düzeyi ve ışık renk sıcaklığı değerini sağlayabilecek bir aydınlatma armatürü tasarlanmasıdır. Vitrinde sergilenen eserlerin ziyaretçi tarafından bakıldığında gerçek renklerinin algılanabilmesi ve eserler üzerindeki farklı aydınlık düzeylerinin önüne geçilebilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ışık hassasiyeti olan eserlerin fazla aydınlık düzeyi neticesinde renklerdeki solmanın da önlenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, el terminali ve aydınlatma armatürü tasarımları yapılmıştır. Tasarlanan el terminali aydınlık düzeyi ve ışık renk sıcaklığı referans değerlerinin sisteme girişi için kullanılmıştır. Ayrıca bu el terminali üzerine yerleştirilmiş ışık sensörü bu iki ışık değerini ölçümlemektedir. Yine el terminali üzerindeki wifi özellikli ESP8266 işlemci modülü sayesinde ölçtüğü ışık bilgilerini tasarlanan aydınlatma armatürüne göndermekte ve kapalı çevrim geri besleme sisteminin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Tasarlanan aydınlatma armatürü üzerindeki wifi özellikli ESP8266 işlemci modülü ile el terminalinden aldığı geri besleme bilgisini kendi üzerindeki iki farklı led grubunu kontrol etmek için kullanmaktadır. 6500 K ve 3800 K ışık renk sıcaklığına sahip iki farklı led grubu ışık renk sıcaklığı ara değerlerini elde etmek için kullanılmıştır.

Sistem, mevcut müzelerde bulunan vitrinlere uygulanabilir olabilmesi için rayspot armatürü olarak tasarlanmıştır. Bu sayede vitrin içi ve vitrin dışı sergileme alanlarında kullanılan elektroraylara takılarak kolayca çalıştırılabilir yapıya sahiptir. Elektrorayın montajının kolay olması nedeniyle mevcutta gömme spot kullanılan vitrinlerde de montaj kolaylığına sahiptir.

Sistemin çalışma prensibinde geri besleme veri gönderiminde wifi protokolü kullanılması merkezi sistemden yönetilme kabiliyetinide üzerinde barındırmasına neden olmuştur. Bu sayede müze içindeki tüm aydınlatmaların merkezden kontrol edilmesi, yapay sınır ağları ile veya farklı yöntemlerle birlikte kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Sisteme ek hareket sensörleri kullanılarak tüm aydınlatmanın yalnızca ziyaretçinin yakınlarında aktifliği sağlanabilir ve eserler üzerinde gereksiz aydınlatma

ile renk solmalarının önüne geçilmiş olur, ek olarak da enerji tasarrufu sağlanmış olur.

Yapılan iki tasarımda seri üretime uygun olarak üretilebilir şekilde tasarlanmıştır. Devreler PCB baskı firmasında üretilip dizgi makinesinde dizgisi yapılabilir. Kalıpları enjeksiyon sistemleri ile üretilebilir ve aydınlatma armatürü tasarımı hali hazırda alüminyum malzemeden üretilmektedir. Birçok firma tarafından üretimi yapılabilecek bir üründür. Bu hali ile seri üretime engel bir durum bulunmamaktadır.

Tez konusu müze vitrini olmasına karşın aydınlatmanın bulunduğu her alanda uygulanabilir bir sistemdir. Spor salonları, futbol sahaları veya paten pistleri gibi aydınlatma sistemlerinin yanında doğal aydınlatmanın da bulunduğu yerlerde, doğal aydınlatmanın oluşturduğu aydınlık düzeyine göre aydınlatma armatürlerinin ışık akılarını otomatik olarak azaltarak enerji tasarrufu da sağlayabilir bir sistemdir. Aydınlatılan bölgenin farklı noktalarına el terminali görevini görebilecek sensörler yerleştirilerek düzenli ölçümler yapılabilir ve aydınlık düzeyi sabit kalacak şekilde yapay aydınlatmanın kalibrasyonu yapılabilir. Daha küçük alanlarda ayrıntı ile uğraşan hassas işlerin yapıldığı imalathanelerde (altın işleme tezgahları, hassas montaj atölyeleri vb.), ışık renk sıcaklığı veya aydınlık düzeyinin hassas malzemeye etkisinin yüksek olduğu baskı, boyama ve işleme alanlarında da kullanılabilir bir aydınlatma sistemi tasarlanmıştır.

Bu çalışma sayesinde müzelerde sergilenen eserlerin gerçek renklerinin ziyaretçiler tarafından algılanması sağlanmış, eserlerin üzerindeki farklı aydınlık düzeyleri ortadan kaldırılarak görsel konfor sağlanmıştır. Ayrıca eserlerin renk solmasının da önüne geçilmiştir. Aydınlatması yapılan birçok alanda kullanılabilecek ayarlanabilir aydınlatma sistemi literatüre kazandırılmıştır. Kontrol kolaylığı ve düşük maliyeti açısından ise birçok altyapıda kullanımı olanağı sunulmuştur. Bu sayede prototipte kalmayıp ticarileşmede de birçok alanda kullanılacağı öngörülmektedir.

6.KAYNAKLAR

- Akgün B., 2018, Müze Sergileme Vitrinleri Ve Mağaza Vitrinlerinin Aydınlatma Tekniği Kuralları Açısından Karşılaştırılması, Işık Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İç Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 63s., İstanbul.
- Aktaş, İ., 2012, Dinamik Aydınlatmanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Ali T., Wati A. V., Habibullah, Sardi J., 2023, Pembacaan RGB Warna Terhadap Lima Warna yang Berbeda pada Sensor TCS34725, Jurnal Teknik Elektro Indonesia, 1,84-90.
- Alvisi M. S., 2023 Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatma Kontrolü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi.
- Apikoğlu S., 2014, Ofislerdeki Aydınlatma Koşullarının Görsel Konfor Memnuniyet Ve Ruh Durumu Üzerindeki Etkileri: Twba Binası Örneği, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mekan Tasarımı Yüksek Lisans Tezi.
- Ataç F., 2013, Kütüphanelerde Doğal ve Yapay Aydınlatma Kriterleri: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Kütüphanesinin Okuma Salonlarının İncelenmesi, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, . Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Ateş, A., 2004, Konut Yaşama Mekanlarında Renk Ve Aydınlatma, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Bina Bilgisi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Ayaokur A, 2014, Müzelerde Bilgi Yönetimi: Sadberk Hanım Müzesi örneği, Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 286, Ankara.
- Aykut Z., 2017, Müze Sergilemelerinde İzleyici-Sergi Etkileşimi Bağlamında Mekân Tasarımı, Journal of Interdisciplinary and Intercultural Art, 2, 219-242.

- Berns R.S.,2011, Designing white-light LED lighting for the display of art: A feasibility study, *Color Research and Appicatio*, 36, 324–334.
- Boyce P., 2022, Light, lighting and human health, *Lighting Research & Technology*, 54(2), 101-144.
- Bülent S, Zeynep G Ç, 2020, Müze Kavramı, Süleyman Saim Tekcan ve Imoga-İstanbul Grafik Sanatlar Müzesi, *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 26, 83-99.
- Can M. K., Altuncu D., 2021, Sergileme Mekânlarında Yapay Aydınlatma Uygulamaları, *Journal of Architecture and Life*, 6/2, 673-694.
- Chung K, Sui J., Demory B., Ku P.C., 2017, Color mixing from monolithically integrated InGaN-based light-emitting diodes by local strain engineering, *Applied Physics Letters*, 4, 111.
- Çavlan E., 2023, İç Mekân Aydınlatma Teknikleri Ve Güncel Aydınlatma Teknolojilerinin Kullanım Potansiyellerinin Değerlendirilmesi,Selçuk ÜniversitesiSosyal Bilimler Enstitüsü,İç Mimarlık Ve Çevre Tasarımı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 236.
- Coşkun T. H., 2022, Bizans'ın Cam Işık Kaynakları: Anaia Anıtsal Kilisesinin Aydınlatmasına İlişkin Öngörüler, *Sanat Tarihi Dergisi*, 31/2, 1017-1041.
- Cuttle C., 1996, Damage To Museum Objects Due To Light Exposure, *Lighting Research And Technology*, 28, 1-9.
- Dang R, Gao Z, Hu Z, Cong Y, Sun X, 2023, Glare quantification in Chinese museum exhibition halls based on visual field luminance distribution, *Developments in the Built Environment*, 16, 100237, 2666-1659.
- Demir H., Çıracı G., Kaya R., Ünver Ü., 2020, Aydınlatmada Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Durum Değerlendirmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3.
- Demiröz Y, 2019, Tarihi binaların Yapı Yüzü Aydınlatmasında LED AydınlatmaTeknolojilerinin Kullanılması ve Galata Kulesi ile Kız Kulesi Uygulaması,Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 247s

- Descotes H., 2011, Architectural Lighting: Designing With Light and Space, First Edition, Princeton Architectural Press, New York.
- Denizci A, Mirza H, 2012, Müze Eğitimi 12. Kitapları, ISBN 978-975-11-3629-9.
- Döner D., İçier F., 2017, Gıdaların Elektriksel Yöntemlerle İşlenmesinde Uygulanan Farklı Frekans ve Dalga Şekillerinin Proses Etkinliği Üzerine Etkisi, Academic Food Journal, 470-482.
- Druzik J., Eshoj B., 2007, Museum lighting: its past and future development, Museum Microclimates, 19, 23.11.
- Durna B., 2018, Perez Dış Ortam Gün Işığı Aydınlik Modelinin Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Anfis) Temelinde Geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 151s., İstanbul.
- Entwistle J., 2000, "Designing with light hotels", RotoVision yayınları, Londra (İngiltere).
- Erol Y, Canbolat T, 2011, Aydınlatma Sektöründe Yeni Nesil Power LED Teknolojileri, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 239-241.
- Galloway H.C., 2009, Study of Museum Lighting and Design, Texas State University, honors thesis, 54p., Texas.
- Gao Y., Cheng Y., Zhang H., Zo N., 2019, Measurement, Dynamic illuminance measurement and control used for smart lighting with LED, 139, 380-386.
- Göker K. M., 2002, İç Mimarlık Tasarımda Aydınlatma; İlke-Sistem-Tasarım Bağıntısı, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İç Mimarlık Ana Sanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Gözükızıl D., 2021, Süreklilik Ve Süreksizlik Kavramlarının Bilimdeki Işık Teorileri Olanağında İzlenimci Resim Sanatındaki Karşılıklarının İncelenmesi, Mersin Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Resim Anasanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 106s., Mersin.
- Graaf T. D., Dessouky M., Müller H. F. O., 2014, Sustainable lighting of museum buildings, Renewable Energy, 67, 30-34.

- Hidayetoğlu M. L., 2010, Üniversite Eğitim Planlarının İç Mekanlarında Kullanılan Renk Ve Işığın Mekânsal Algılama Ve Yön Bulma Etkileri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Hurlbert A., Cuttle C., 2019, New Museum Lighting for People and Paintings, The Journal of the Illuminating Engineering Society, 16, 1-5.
- Kalani M.J., Kalani M., 2022, Controlling the correlated color temperature of high CRI light-emitting diodes in response to the time of day as a way of enhancing the well-being of smart city residents, Optics, 270, 169975.
- Kaya A. İ., Çiftçi A., 2018, Bakır Folyo Kaplı Yönlendirilmiş Yonga Levhanın Elektromanyetik Girişimi Soğurma Etkinliği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9, 279-284.
- Kevin M. Lynch, Nicholas Marchuk, Matthew L. Elwin, 2016, Embedded Computing and Mechatronics with the PIC32, PID Feedback Control, 23, 375-785.
- Kılıçarslan H., Cansız F., 2021, El Sanatları Kurslarının Kültürel Mirasımıza Katkısı: Kırşehir Halk Eğitim Merkezi Örneği, Selçuk Üniversitesi sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 46, 142-151.
- Kınık M., Öztürk M. S., 2017, Tipografik Tasarımda Rengin Okunurluğa Etkisi Konusunda Öğrenci Görüşlerinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 37, 327-335.
- Kler D., Sharma P., Rana K.P.S. , Kumar V, 2018, A BSA Tuned Fractional-Order PID Controller for Enhanced MPPT in a Photovoltaic System, Fractional Order Systems, 21, 673-703.
- Küçük S., 2023, Aydınlatma ve Işığın İnsan Yaşam ve Sağlığı Üzerindeki Etkileri, Journal of Medical Sciences, 4, 95-102.
- Ertik A., 2012, Demiryolu Sistemlerinin Enerji Verimliliğine Göre Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 115.
- Kocabay S., Ekren N., 2014, A new approach for examination of performance of interior lighting systems, Energy and Building, 74, 1-7.

- Köymen E., 2020, Geniş İç Açıklıklardaki Yüksek Düzeyli Doğal Aydınlatma Sorununa Parametrik bir Çözümleme: İZÜ Kütüphanesi İç Mekân Gölgeleme Enstalasyonu, *European Journal of Science and Technology*, 19, 904-915.
- Kruithof AA, 1941, Tubular luminescence lamps for general illumination, *Philips Tech Rev.*, 6(3), 65–73.
- Kurşun T., Kızılöz İ. E., 2017, MDF (Orta Yoğunlukta Lif Levha) Fabrikasında Aydınlatma Faktörünün İncelenmesi, *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 2, 1-11.
- Kurtay C., Aybar U., Başkaya A., Aksulu I., 2003, Müzelerde Algılama Ve Aydınlatma Kriterlerinin Analizi: Ankara-Anadolu Medeniyetleri Müzesi Orta Holü, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2, 95-113.
- Lamp 83 Dergisi, “Isık Hayattır”, “Collection” 2003-2006, İstanbul.
- Menek S., 2009, İç Mekânlar İçin Geleneksel Form Ve Desenlerle Tasarlanmış Aydınlatma. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Geleneksel Türk Sanatları Anasanat Dalı, İzmir.
- Okan B., 2018, Günümüz Müzecilik Anlayışındaki Yaklaşımlar Ve Müze Oluşumunu Etkileyen Unsurlar, *Tykhe Sanat ve Tasarım Dergisi*, 4, 215-242.
- Onaygil S., 2016, Aydınlatma Armatürleri (Aygıtlar), *Enerji Verimli Aydınlatma Teknolojileri Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özdemir N., 2016, İmparatorluktan Cumhuriyete Türkiye’de Elektriğin Tarihsel Gelişimi (1850-1938), *Journal Of Ottoman Civilization Studies*, 3, 18-19.
- Özcan U., Çağlar H., 2020, Müzede Aydınlatmanın Kullanıcı ve Eserler Açısından Değerlendirilmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 645-655.
- Özdoğan M., 2019, Hammaddeden Ustalara Tarihöncesi Arkeolojisinde Malzeme (Yontmataş, Sürmetaş, Kemik, Boynuz, Diş, Kil, Çanak, Çömlek), *Arkeoloji ve Sanat Yayınları*, 303s.
- Özkaya M., Tüfekçi T., 2011, *Aydınlatma Tekniği*, Birsan Yayınevi, İstanbul.

- Özkum E., 2011, Doğal Ve Yapay Aydınlatmanın İnsan Psikolojisi Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İçmimarlık Ana Sanat Dalı, İstanbul.
- Rosli R. S., Habaebi M. H., Islam M. R., 2018, Characteristic Analysis of Received Signal Strength Indicator from ESP8266 WiFi Transceiver Module, 7th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE).
- Rustemli S., Avcil S., 2018, Tünel Aydınlatmasında LED Armatür Kullanımı, Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences, 23, 168-181.
- Sakarya İ., 1997, Teknik ve Estetik Yönden Aydınlatmanın, Alışveriş Merkezlerindeki Mekan Tasarımına Etkileri ., MSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Senol R., Kilic S., Tasdelen K., 2016, Pulse timing control for LED plant growth unit and effects on carnation, Computers and Electronics in Agriculture, 123, 125-134.
- Sirel Ş., 1997, Müzelerde ve Bürolarda Aydınlatma, YFU Yayın, İstanbul.
- Singh P., Saikia S., 2016, Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi module, Humanitarian Technology Conference (R10-HTC).
- Sivachandran R. Perumal,* Faizal Baharum, 2021, Simulation, and Quantification of Lighting-Space Flicker Risk Levels Using Low-Cost TCS34725 Colour Sensor and IEEE 1789-2015 Standard, Journal of Daylighting, Measurement, 8, 239-254.
- Svilainis L., 2008, LED PWM dimming linearity investigation, Display Dergisi, 3, 243-249.
- Şahin M., Oğuz Y., Büyüktümtürk F., 2016, ANN-based estimation of time-dependent energy loss in lighting systems, Energy and Building, 116, 455-467.
- Şahin M., Büyüktümtürk F., Oğuz Y., Yalçın P., 2014, Aydınlatma Elemanlarındaki Işık Akısı Azalmalarının Yapay Sinir Ağları İle Tahmini, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 19-36.

- Şahin M, 2014, Farklı Teknik ve Fiziksel Özelliklerdeki Ortamların Bakım Katsayılarının Belirlenmesi ve Aydınlik Düzeylerini Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 283s, İstanbul.
- Şener F., Yener A.K., 2008, Müzelerde Aydınlatma Kriterleri ve İstanbul Deniz Müzesi Örneği, Elektrik Mühendisleri Odası dergisi, 34437.
- Taylor A E, 2000, Illumination Fundamentals, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, 22.
- Thakare S., Bhagat P.H., Arduino-Based Smart Irrigation Using Sensors and ESP8266 WiFi Modüle, 2018. Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS).
- Thomson G., 1961, A New Look at Colour Rendering, Level of Illumination and Protection From Ultraviolet Radiation in Museum Lighting, Studies in Conservation, 6, 49-70.
- Todorova K, Pavlov D., Petrov V., 2022, Uncertainty Budget for Calibration of Sensors for Measurement of Correlated Color Temperature, 14th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), 1-4.
- Toylan H, 2008, Laboratuvar İç Aydınlatmasının Plc ve Bilgisayar Yardımı ile Kontrolü, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 162s, İstanbul.
- Turgay O., Altuncu D., 2011, İç mekânda kullanılan yapay aydınlatmanın kullanıcı açısından etkileri, Cankaya University Journal of Science and Engineering, 1, 167-181.
- Ulas G.B., 2002, İç Mekan Renk Düzenlemeleri, Yüksek Lisans Tezi, MSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Utami M. D., Sudjadi A. A. Z., 2020, Transient, Perancangan Dan Analisa Kinerja Sistem Akuisisi Data Sensor Tcs34725 Dan Pegelian Pompa Motor Dc Pada Alat pencampur Warna, 3, 2685-0206.

Varol S., Yağımlı M., 2008, Optoelektronik ve Fiber Optik Kitabı, Beta Basım Yayın, 132s., İstanbul.

Yenidoğan C., 2017. Gelişmiş Doğal Aydınlatma Sistemlerinin İç Mekânda Kullanımı Açısından İncelenmesi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Yılmaz E., 2020, Aydınlatma nedir?, Aydınlatma portalı,<https://www.aydinlatma.org/aydinlatma-nedir.html> , 15.11.2022.

Yılmaz O., 2024, Işığın Getirdikleri: Gölge, Karanlık, Aydınlık, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Resim Anasanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 72.

İnternet Kaynakları

1. <https://www.licalux.com/renk-sicakligi-kelvin-nedir/> 22.02.2024