



**HİBRİT (DOĞAL VE YAPAY) AYDINLATMA
SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI
VE ÖRNEK BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mertcan KARLIDAĞ

Danışman

Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

ANA BİLİM DALI

Haziran 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİBRİT (DOĞAL VE YAPAY) AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEK BİR UYGULAMA

Mertcan KARLIDAĞ

Danışman

Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI

Haziran 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Mertcan KARLIDAĞ tarafından hazırlanan “Hibrit (Doğal ve Yapay) Aydınlatma Sistemlerinin Araştırılması ve Örnek Bir Uygulama” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23 / 06 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yenilenebilir Enerji Sistemleri Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Başkan : Prof. Dr. Engin ÇETİN
Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih SERTTAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fakültesi

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

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
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.

23 /06 /2023

Mertcan KARLIDAĞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİBRİT (DOĞAL VE YAPAY) AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEK BİR UYGULAMA

Mertcan KARLIDAĞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Enerji taleplerinde yaşanan artış, elektrikli araçların yaygınlaşması, iklim krizi, enerji kaynaklarının günden güne azalmasından dolayı alternatif kaynaklardan verimli bir şekilde yararlanmak ve harcanmakta olan enerjiden tasarruf edilebilmesi adına yeni uygulamaların gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Aydınlatma tarafından harcanmakta olan enerjinin azaltılabilmesi için, doğal kaynaklardan yararlanılması büyük bir önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında, yapay ve doğal aydınlatma sistemlerinin bir arada kullanılabilme olanakları araştırılmıştır. Oluşturulan bir sistem üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Farklı şartlar altında, kullanılabilecek olan aydınlatma teknikleri, kontrol metotları araştırılmıştır. Güneş ışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sisteminin farklı hava koşullarında verim değerleri kayıt altına alınmış, hibrit aydınlatma sistemlerinin kontrol edebilmesini sağlayan bir otomatik kontrol sistemi tasarlanmış ve elle kontrol metotları sayesinde kişiden kişiye ve yapılacak iş durumuna bağlı olarak farklılık göstermekte olan aydınlık şiddeti değerlerinin istenilen değerlerde tutulabilmesini sağlayan bir prototip geliştirilmiştir. Son olarak geliştirilen prototipe ait detaylar ve prototip üzerinde gerçekleştirilen test sonuçları sunularak tartışılmıştır.

2023, xi + 88 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güneş takip sistemleri, Hibrit aydınlatma sistemleri, Yapay aydınlatma, Doğal aydınlatma, Yenilenebilir enerji

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE HYBRID (NATURAL AND ARTIFICIAL) LIGHTING SYSTEMS AND A CASE STUDY

Mertcan KARLIDAĞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Renewable Energy Systems Main Science

Supervisor: Prof. Fatih Onur HOCAOĞLU

Due to the increase in energy demands, the spread of electric vehicles, the climate crisis, and the decrease in energy resources day by day, the necessity of new applications in order to benefit from alternative sources efficiently and to save energy is emerging. In order to reduce the energy consumed by lighting, it is of great importance to benefit from natural resources. In this thesis, the possibilities of using artificial and natural lighting systems together were investigated. Experiments were carried out on a created system. Lighting techniques and control methods that can be used under different conditions have been investigated. The efficiency values of the fiber optic lighting system with daylight concentrator were recorded in different weather conditions, an automatic control system has been designed that enables hybrid lighting systems to be controlled and a prototype has been developed that enables the luminous intensity values, which differ from person to person and depending on the work to be done, to be kept at desired values thanks to manual control methods. Finally, the details of the developed prototype and the test results performed on the prototype were presented and discussed.

2023, xi + 88 pages

Keywords: Artificial lighting, Hybrid lighting systems, Natural lighting, Renewable energy, Solar tracking systems.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU'na, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Mertcan KARLIDAĞ
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	i
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Literatürde Yapılmış Olan Çalışmalar	4
2.2 Güneş Enerjisinin Ülkemiz’de Var Olan Enerji Potansiyeli	10
2.3 Güneşten Yayılmakta Olan Işınlımların Dünya Yüzeyine Ulaşması	11
2.3.1 Doğrudan Güneş Işınımı	13
2.3.2 Yayılı Güneş Işınımı	13
2.3.3 Yansıtılmış Güneş Işınımı.....	13
2.4 Solar Panel Sistemlerinin Çalışma Prensibi.....	14
2.5 Solar Panel Çeşitleri.....	16
2.5.1 Monokristal ve Polikristal Solar Paneller	17
2.5.2 İnce Film Güneş Panelleri	18
2.6 Batarya Sistemleri.....	18
2.6.1 Kurşun Asit Batarya Yapıları.....	20
2.6.2 Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) Batarya Yapıları.....	20
2.6.3 Nikel Metal Hidrit (Ni-MH) Yapıları	21
2.6.4 Jel Batarya Yapıları.....	22
2.7 Aydınlatma Türleri	23
2.7.1 Doğal Aydınlatma	23
2.7.2 Yapay Aydınlatma	23
2.8 Güneş Işığı ile Aydınlatma Sistemleri	24
2.8.1 Pencere Yapıları	25

2.8.2 Çatı Işıklıkları	26
2.8.3 Işık Rafı Sistemleri.....	27
2.8.4 Işık Tüpü Sistemleri	27
2.8.5 Fiber Optik Aydınlatma Sistemleri	28
2.9 Aydınlatma Sistemlerinde Enerjiden Tasarruf Edilmesi	29
2.9.1 Ortam Aydınlatmasının Düzgün Bir Şekilde Sağlanması.....	30
2.9.2 Ortam Aydınlatmasının Denetlenmesi ve Kontrolünün Sağlanması	31
2.10 Hibrit Aydınlatma Sistemleri Uygulama Alanları	32
2.10.1 Tünel Aydınlatmaları	32
2.10.2 Yeraltı Otoparkları	34
2.10.3 Yeraltı Evleri.....	35
2.11 Güneşli Aydınlatmalarında Kullanılan Kontrol Sistemleri	35
2.11.1 Varlık Algılayıcı Dedektörlü Kontrol Sistemleri.....	36
2.11.2 Güneşli Algılayıcı Dedektörlü Kontrol Sistemleri	36
2.11.3 Zaman Ayarlı Kontrol Sistemleri.....	37
2.11.4 Hibrit Kontrol Sistemleri.....	37
2.12 Yapay Aydınlatmada Kullanılan Parlaklık Kontrol Metotları.....	37
2.12.1 Darbe Genişlik Modülasyonu ile Kontrol	38
2.12.2 DMX512 ile Kontrol	38
2.12.3 Uzaktan Cihaz Yönetimi	38
2.12.4 Konnex (KNX) ile Kontrol	38
2.12.5 Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü (DALI) Kontrol Sistemi	39
2.13 Güneş Takip Sistemleri.....	39
2.13.1 Elektronik Cihazlar Vasıtasıyla Çalışmasını Sürdüren Güneş Takip Sistemleri	39
2.14 Otomatik Olarak Varlık ve Hareket Algılama Dedektörleri.....	41
2.15 PIR Hareket Dedektörleri	42
2.16 Işığa Duyarlı Direnç (LDR).....	43
3. MATERYAL ve METOT	44
3.1 Kurulacak Olan Sistemin Üç Boyutlu Tasarımı	44
3.2 Prototip Yaşam Alanının Oluşturulması.....	45
3.3 Lamba Parlaklık Kontrolü İçin Tasarlanan Devre Yapısı	45

3.4 Fiber Optik Kablo Demetinin Oluşturulması.....	47
3.5 Odak Noktasının Tespit Edilmesi	47
3.6 Günüşişi Yoğunlaştırıcı Yapının Tasarlanması.....	47
3.7 Güneş Takip Sisteminin Oluşturulması	48
3.8 Oluşturulan Yazılım ve Kurulan Sistemin alışma Prensibi	49
3.9 Bluetooth ile Kontrolü Sağlayacak Olan Mobil Uygulamanın Tasarımı	52
3.10 Sistemin Oluşturulmasında Kullanılan Malzemeler	54
3.10.1 Arduino UNO.....	55
3.10.2 Bluetooth HC-05	55
3.10.3 MG996R Servo Motor	56
3.10.4 Optik Filtre	58
3.10.5 Fiber Optik PMMA Kablo	58
3.10.6 LED Lamba.....	59
3.10.7 Akü.....	59
3.10.8 Solar şarj Regülatörü	60
3.10.9 Güneş Paneli	60
3.10.10 İnvertör (Evirici)	61
3.10.11 Ayarlanabilir Güç Kaynağı	61
3.10.12 Kızılötesi Alıcı Verici Sistemi	62
3.10.13 Fresnel Lens	62
3.10.14 Difüzör	62
3.11 Deney ve Uygulama Aşaması	63
3.12 Maliyet Analizi	66
4. BULGULAR	68
5. ÖNERİLER ve SONUÇ	76
6. KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİş.....	88

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Cd(OH) ₂	Kadmiyum Hidroksit
KOH	Potasyum Hidroksit
H ₂ SO ₄	Sülfirik Asit
m	Metre
mm	Milimetre
Ni-Cd	Nikel-kadmiyum
Ni-MH	Nikel-metal hidrit
Ni(OH) ₂	Nikel Hidroksit
PbO ₄	Kurşun (II) Sülfat
V	Volt
W	Watt
Ni	Nikel
Cd	Kadmiyum

Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım (Alternating Current)
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AKÜ	Akümülatör
DALI	Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü (Digital Addressable Lighting Interface)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
ESTA	Eğlence Hizmetleri ve Teknoloji Derneği (Entertainment Services and Technology Association)
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
IR	Kızılötesi Işın (Infrared)
KNX	Konnex
LCD	Sıvı Kristal Ekran (Liquid Crystal Display)
LDR	Işığa Bağımlı Direnç (Light Dependent Resistor)
LED	Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology)
PC	Polikarbonat
PIC	Çevreirim Arayüz Denetleyici (Peripheral Interface Controller)
PIR	Pasif Kızılötesi Sensör (Passive Infrared Sensor)
PMMA	Akrilik (Polimetil Metakrilat)
UV	Mor Ötesi (Ultraviyole)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Türkiye’de güneş potansiyelinin dağıtımsal olarak gösterildiği GEPA Atlası	10
Şekil 2.2 Türkiye’nin 2014-2020 yılları arasında güneş enerjisi kurulu güç verileri.....	11
Şekil 2.3 Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınımının yayılım değerleri	12
Şekil 2.4 Doğrudan, yayılı ve yansıtılmış güneş ışınimleri gösterimi	14
Şekil 2.5 Solar panel sistemlerinin çalışma prensibi.....	15
Şekil 2.6 Pillerin iç yapısı ve enerji akış yönleri.....	19
Şekil 2.7 Kurşun asit batarya iç yapısının gösterimi.....	20
Şekil 2.8 Işık rafı sisteminin çalışma prensibi.....	27
Şekil 2.9 Işık tüpü sistemlerinin iç yapısı ve çalışma şekli	28
Şekil 2.10 Yeraltı otoparklarının aydınlatılmasında kullanılan sistem	34
Şekil 2.11 Yeraltı evleri aydınlatma şekilleri.....	35
Şekil 2.12 Güneş takip sistemi yapısı ve kullanılan elemanların gösterimi.....	40
Şekil 2.13 Hareket sensörü ve fresnel yapıya sahip mercek	42
Şekil 2.14 LDR yapısı, kullanılan malzemeler ve ışık şiddeti-direnç ilişkisi	43
Şekil 3.1 Fiber optik yoğunlaştırıcı sisteminin üç boyutlu tasarımı.....	44
Şekil 3.2 Oluşturulan sistemin çalışma prensip şeması.....	52
Şekil 4.1 Yağmurlu hava şartlarında sistemden elde edilen aydınlatma şiddeti değişim grafiği	68
Şekil 4.2 Çok bulutlu ve ara ara güneşli hava şartlarında sistemden elde edilen aydınlatma şiddeti değişim grafiği	69
Şekil 4.3 Güneşli ve açık hava şartlarında sistemden elde edilen aydınlatma şiddeti değeri değişim grafiği	69
Şekil 4.4 Yağmurlu hava şartlarında iç mekân aydınlatma şiddeti değişim grafiği.....	71
Şekil 4.5 Güneş panellerinin yağmurlu hava durumunda üretmiş olduğu gerilim değeri	71
Şekil 4.6 Yağmurlu hava şartlarında iç mekân aydınlatmasında harcanan güç değişim grafiği	72
Şekil 4.7 Çok bulutlu ara ara güneşli hava şartlarında iç mekân aydınlatma şiddeti değişim grafiği	72
Şekil 4.8 Çok bulutlu ara ara güneşli hava şartlarında iç mekân aydınlatmasında harcanan güç değişim grafiği	73
Şekil 4.9 Çok bulutlu hava durumunda güneş panellerinden üretilen gerilim değeri	73
Şekil 4.10 Güneşli hava şartlarında iç mekân aydınlatma şiddeti değeri değişim grafiği	74

Şekil 4.11 Güneşli hava şartlarında iç mekân aydınlatılmasında harcanan güç değişimi grafiği	74
Şekil 4.12 Güneşli hava durumunda panellerden üretilen gerilim değerleri	75



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Arduino MEGA teknik özellikleri	55
Çizelge 3.2 Sistemde kullanılan Bluetooth modülü özellikleri.....	56
Çizelge 3.3 Sistemde kullanılan servo motor özellikleri	57
Çizelge 3.4 Sistemde kullanılan LED lamba özellikleri	59
Çizelge 3.5 Sistemde kullanılan akü yapısının özellikleri	59
Çizelge 3.6 Sistemde yer almakta olan solar şarj regülatörü özellikleri	60
Çizelge 3.7 Sistemde kullanılmış olan güneş panellerinin özellikleri.....	61
Çizelge 3.8 Kurulmuş olan prototip sistemin maliyet hesabı.....	67
Çizelge 4.1 Loşlaştırma kademesine bağlı olarak LED yapılarında harcanan güç değeri	70
Çizelge 4.2 Oluşturulmuş olan sistem sayesinde harcanan güç değerinden sağlanan tasarruf	75

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Nikel kadmiyum akü yapısı	21
Resim 2.2 12V değerinde bir Ni-MH akü yapısı	22
Resim 2.3 Jel akü yapıları	23
Resim 2.4 İç ortamın aydınlatılmasında verimli bir pencere kullanımı.....	25
Resim 2.5 Çatı ışıklıkları örnek uygulaması	26
Resim 2.6 Fiber optik kablo yapıları ve ışık iletimi.....	29
Resim 2.7 Tünel aydınlatmalarında günışığı yoğunlaştırıcı sistemlerinin kullanım örneği	34
Resim 3.1 Oluşturulan prototip yaşam alanı	45
Resim 3.2 İki adet lamba parlaklığının kontrolü için tasarlanan devre yapısı	46
Resim 3.3 Güneş ışınlarını yoğunlaştırıcı ve toplayıcı yapı	48
Resim 3.4 Oluşturulmuş olan günışığı yoğunlaştırıcı sistemi.....	48
Resim 3.5 Mitapp programında örnek bir kod bloğu.....	53
Resim 3.6 Mitapp aracılığı ile oluşturulmuş olan uygulama iç yapısı örneği.....	53
Resim 3.7 Parlaklık kontrol ve açma-kapatma butonları	54
Resim 3.8 MG996R servo motor yapısı.....	57
Resim 3.9 Oluşturulmuş olan fiber optik kablo demeti yapısı.....	58
Resim 3.10 Orta kısımda fiber optik kablo çıkışında sonlandırma elemanı olarak kullanılan difüzör yapısı	63
Resim 3.11 Prototip ev sistemi.....	64
Resim 3.12 Orta tarafa yerleştirilmiş olan LDR yapısı.....	65
Resim 3.13 Fiberoptik kablo demeti çıkışında yer alan LDR yapısı	66
Resim 3.14 Günışığı yoğunlaştırıcılı fiber optik aydınlatma sisteminin aydınlatma durumu.....	66

1. GİRİŞ

Petrol, kömür, doğalgaz vb. yakıtlar fosil yakıtlar sınıfında yer almaktadır. Verimlilikleri yüksek olmasına rağmen dış ortamlara yani çevreye ve yakın çevresinde yaşayan canlıların kötü olarak etkilenmesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte yapılan tükenibilme durumları bulunduğundan dolayı kendini yenilenmeyen enerji kaynakları sınıfında yer almaktadır. Bu sebepten dolayı Yenilenebilir enerji bu noktada büyük bir öneme sahip olmaktadır. Giderek artan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmakta ve ülkeler bunlara yatırım yapmaya devam etmektedir. Bu kaynaklar şunlardır: rüzgâr, biyokütle, jeotermal, güneş, hidroelektrik vb. kaynaklardır. Son yıllarda rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinde yer alan yapıların fiyatları zamanla düşmektedir (Akella vd. 2009).

Ortam aydınlatmalarında kullanılmakta olan doğal ışık kaynaklarının kullanımı eski zamanlardan günümüze kadar büyük bir öneme sahiptir. Elektrik enerjisinin kullanımının yaygınlaşması ile beraber, doğal aydınlatma sistemleri ikinci plana atılarak yapay aydınlatma sistemlerine olan ilgi giderek artış göstermiştir. 21. yüzyılda giderek ciddi boyutlara gelmekte olan küresel ısınmanın artış göstermesi, ozon tabakasının yoğunluğunda meydana gelmekte olan azalma durumu ve beraberinde kullanmakta olduğumuz enerji kaynaklarının giderek artan talepler karşısında tükenmeye başlaması ile birlikte doğal aydınlatma sistemleri üzerinde yapılan çalışmaların artış göstermesine sebep olmakta ve giderek bu doğal kaynaklara olan ihtiyacımızın artmasına sebep olmaktadır. Doğal aydınlatma sistemlerinin kullanımı ile birlikte iç mekân içerisinde yoğun aydınlık seviyelerinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır ve doğal aydınlatma sistemleri ile birlikte aydınlatılmakta olan mekânda renklerin görülebilirliğinde büyük bir artış sağlamaktadır (Ünal vd. 2005).

Aydınlatma için kullanılmakta olan enerji miktarı, toplam elektrik enerjisi tüketimindeki payı %20 olarak belirlenmiştir. Bundan dolayı enerji tüketimi hususunda aydınlatma için kullanılmakta olan enerjinin doğal aydınlatma sistemleri ile belirli bir oranın karşılanması ile birlikte bu oranın daha düşük seviyelere indirgenebilmesi büyük önem arz etmektedir.

Doğal aydınlatma sistemlerinin iç mekân aydınlatmalarında kullanılması ile birlikte yapay ışık kaynakları için harcanmakta olan enerjinin düşürülmesi sağlanarak enerjiden büyük oranda tasarruf elde edilmesinin yanında iç mekân içerisinde daha estetik bir görünüme bürünmesini sağlamaktadır. Güneş ışığı aydınlatma sistemleri güneş ışığının gün içerisinde göstermiş olduğu aydınlatma değişkenlikleri ile birlikte dış çevrede ki ışık hareketlerine uyum sağlamasına yardımcı olabilmektedir. Doğal aydınlatma sistemleri, yapay aydınlatma kaynakları ile karşılaştırıldıkları durumda biyoriitm ve insan sağlığına olan pozitif etkileri bulunmaktadır.

Doğal aydınlatmanın kullanılmadığı mekanlar, kullanılan mekanlara kıyasla ruh halinde sorunların oluşması, dikkat ve konsantrasyon eksikliklerinin görülmesi ve insan psikolojisi üzerinde olumsuz bir etki meydana gelmesine sebep olmaktadır (Sevinç ve Altın 2021).

Fiber optik aydınlatma sistemleri günümüzde aydınlatma müzeler, hastaneler, konutlar, ofis binaları ve yeraltı tesislerinin aydınlatılmasında kullanılmaktadır. Bunun beraberinde uzun otoyol inşa edilmesi ile birlikte tünel yapılarının aydınlatılması için harcanan güç tüketimi giderek artış göstermiştir.

Bu sebepten dolayı, güvenli ve konforlu bir sürüş şartları korunarak güç tüketiminin azaltılması büyük bir önem arz etmektedir. Tünel yapılarında özel boru biçiminde olan yapısı ve tünel giriş ve çıkışlarında parlaklık durumlarında meydana gelen değişiklik durumları sebebiyle araç sürücülerinin gündüz vaktinde tünel içerisine girmesi durumunda ya da tünel içerisinden çıkması durumunda aşırı parlaklık değişimi ve kamaşma durumlarının ortaya çıkmasına sebep olmakta ve araç sürücülerinin görsel olarak sürüş güvenliği üzerinde tehlike durumlarının ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Bundan dolayı tünel aydınlatmaları için fiber optik aydınlatma sistemleri kullanılmaktadır (Qin vd. 2015).

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin diğer Avrupa bölgesinde bulunan ülkelere kıyasla daha yüksek değerlerde bulunmasına karşın, güneş ışığından yararlanılarak kullanılabilecek olan sistemler hala potansiyelini karşılayabilecek kadar kullanımının mevcut olmadığını belirtmekte ve yapmış oldukları çalışmanın sonucunda güneş ışığının binalarda tercih edilmesi ile birlikte aydınlatma için gerekli olan enerji miktarının büyük

miktarlarda azalmasını sağlayarak enerji tarafında yüksek düzeylerde bir tasarruf elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Doğal aydınlatma sistemlerinin binalara entegre edilmesi ile birlikte yenilenemeyen kaynaklar neticesinde sağlanan enerjiye bağımlılığımızı ve beraberine CO₂ salınımının büyük bir değerde azaltılabileceğini göstermiştir. Çevreye ve enerji tasarrufuna etkileri olumlu yönde olan bu sistemlerin insanların sağlığına ve psikolojisine de iyi gelerek çalışma verimlerini bir o kadar yükseliş sağladığını göstermiştir. Doğal aydınlatma sistemlerinin kurulumunun tercih edileceği yerlerin güneşlenme durumlarına ve coğrafi iklim durumlarına bağlı olarak değişim gösterebileceğinden ötürü doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir (Köse vd. 2017).

Tez çalışması kapsamında, doğal aydınlatma tekniklerinden birisi olan günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sisteminin tasarlanması, farklı hava koşullarında verim değerlerinin incelenmesi, doğal aydınlatmanın sağlamış olduğu aydınlatma şiddeti değerine bağlı olarak yapay aydınlatmanın otomatik ve elle kontrol edilebilmesine imkân tanıyan bir prototip sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elektrikli araçlar, artan yük talepleri, enerji kaynaklarının tükenmekte olması, karbon salınımının azaltılması yönündeki Paris anlaşması ile birlikte doğal aydınlatmadan en verimli şekilde yararlanılması büyük bir önem arz etmektedir. Tez çalışmasının 2. bölümünde literatür taraması yapılarak güneş enerjisinin önemi, kullanılan materyallerden olan güneş paneli ve akü çeşitleri, doğal ve yapay aydınlatmanın ne olduğu, doğal aydınlatma tekniklerinin neler olduğu, kullanılan aydınlatma kontrol teknikleri, parlaklık kontrolü için kullanılan sistemler yer almaktadır. 3. bölümde prototip sistemin üç boyutlu olarak tasarımı, bluetooth ile kontrol tekniği için mobil bir uygulama oluşturulması, sistemin oluşturulmasında uygulanan teknik, kullanılan malzemeler, prototip sistemin çalışma prensibi ve yapılan deneysel çalışma detaylı bir şekilde verilmiştir. 4. bölümde elde edilen veriler ile birlikte oluşturulmuş olan prototip sistemin farklı hava koşullarında sağlamış olduğu aydınlatma şiddeti değerleri, aydınlatmanın farklı hava koşullarında sabit tutulabilmesi için oluşturulmuş olan kontrol sisteminin sağlamış olduğu değerler ve panelden elde edilen gerilim değerleri grafikler halinde verilmiştir. 5. bölümde tez çalışması kapsamında sistemin enerji verimliliğine sağlayabileceği katkı, oluşturulan prototip sistemin sağlamış olduğu katkılar ve yapılabilecek iyileştirmeler belirtilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Literatürde Yapılmış Olan Çalışmalar

Ülkemizde ve global çapta yükseliş göstermekte olan enerji gereksiniminin ve yenilenebilir enerji kavramlarının çoğu alanda olduğu şekilde mimari tasarım alanında da büyük önem arz eden bir konu olduğu ve enerjinin devamlılığının sağlanabilmesi amacıyla öncelikli olarak aydınlatma sistemlerinin ve gün ışığı ile aydınlatma sistemlerinin önemli bir noktada bulunmaktadır. Bundan dolayı yapılan mimari projelerde doğal aydınlatma sistemleri sayesinde güneş ışığının olabildiğince bina içerisine alınabilmesini sağlayarak, aydınlatma adına ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinden büyük miktarlarda tasarruf sağlanabilmesinin yanı sıra insanlar üzerinde psikolojik ve fizyolojik olarak meydana getirmiş olduğu etkiler göz önünde bulundurulduğu taktirde büyük bir önem arz etmektedir (Sevinç ve Altın 2021).

Güneş ışığına erişimi bulunmayan veya yeterli miktarda güneş ışığı ile aydınlatma miktarının yeterli olmadığı binaların aydınlatma problemlerine çevre dostu olan ve devamlılığı sağlanabilen bir kaynak olan güneş enerjisi vasıtasıyla problemlerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olmak amacıyla, yoğunlaştırılması sağlanan güneş ışınlarının fiber optik kablolar aracılığı ile aktarılması prensibi ile çalışmasını sürdüren sistem tasarımı ortaya konmuş ve bununla birlikte maliyet, önemli nitelikleri ortaya konmuştur. Tasarlanmış olan sistemden ortaya çıkan aydınlık seviyeleri çeşitli hava durumlarına bağlı olarak incelenmesi yapılmış olup, aşağı yukarı kaynak verim değerlerinin %56 civarlarında bulunduğu saptanmıştır. Güneş ışığı vasıtasıyla aydınlatmanın sağlandığı sistemler, diğer alternatif devamlılığı sağlanan enerji kaynakları ile beraber kullanılmaları durumunda, şebeke yapısından bağımsız bir şekilde veya aydınlatma için ihtiyaç duyulan enerji değerlerini karşılamamanın yanında şebeke sistemine de üretmiş olduğu fazla enerji değerini aktarımını sağlayan “artı” enerji yapısına sahip olan bina yapılarının meydana getirilebilmesinde önemli bir konuma sahiptir (Kandilli vd. 2007).

Loş ışıklı mekanların güneş ışığı ile aydınlatılmasının sağlanması üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Yürütülmüş olan bu çalışma ile birlikte ışık tüpü sistemleri ile çanak yoğunlaştırıcı yapıya sahip fiber optik aydınlatma sistemlerinin verimlilik bakımından

kıyaslamalarını yapmıştır. Kuzey cephesine doğru konumlandırılmış olan pencerelere sahip bir konferans salonu için, ışığın homojen bir şekilde dağıtılmadığı bir salon için güneş ışığının toplanmasının sağlanarak analizler ortaya konulmuştur. Yapılmış olan çalışma neticesinde ışık tüpü ile çanak toplayıcılı fiber optik aydınlatma sistemlerinin neredeyse benzer performanslar gösterdiğini ancak fiber optik sistemlerin daha stabil bir şekilde çalışmasını sürdürdüğünü ortaya koymaktadır (Seung vd. 2013).

Doğal aydınlatma sistemlerinin avantajları hem yapay aydınlatma sistemlerine olan gereksinimin azaltılabilmesine yardımcı olması ile birlikte elektrik enerjisinden belirli seviyelerde bir tasarruf sağlayabilmesi hem de ortamda bulunan kişiler için vermiş olduğu pozitif yönde etkileri nedeniyle büyük bir önem arz etmektedir. Güneş ışınlarının kullanılmış olduğu bu aydınlatma sistemleri ile birlikte elektrik enerjisinden tasarruf sağlanabilmesinin yanında enerji üretimi için çevreye verilen zararlar en aza indirgenebilmektedir. Günlük olarak 6 saat, yıl bazında bakıldığında 365 gün kullanımı söz konusu olmaktadır. 112 W değerinde bir lamba için 244,6 kW değerinde bir enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Fakat, belirtilen değerlerde bir enerji meydana getirilebilmesi amacıyla termik santral sistemlerinde 8 kg değerinde bir Karbondioksit (CO₂) ortaya çıktığını belirtmektedir. Yapmış oldukları çalışma ile birlikte binanın çatı kısmına yakın bir mekân olması sebebiyle çatı penceresi uygulaması yapılmış ve üst koridorunda yapay aydınlatma sistemlerine gereksinim kalmadığı görülmüştür. Bundan ötürü geniş bir yapıya sahip olan yerler için yani sergi salonu ya da yemekhane gibi mekanlarda çatı penceresi ya da ışık tüpleri entegre edilerek güneşin yoğun olduğu saatlerde yapay aydınlatma sistemlerine olan gereksinimlerin en az seviyelere indirgenebilmesi sağlanarak, yapay aydınlatma sistemlerinin yalnızca gece saatlerinde kullanılabileceği bir sistemin yapılabileceğini ve bu şekilde gereksinim duyulan enerji miktarından devamlı bir şekilde tasarruf sağlanabileceğini ortaya konulmuştur (Görgülü vd. 2010).

Endüstriyel çalışmaların sürdürüldüğü yerlerde otomatik olarak aydınlatma kontrolü ve çeşitli görevleri yerine getirmek üzere kullanılan tezgâh yapılarının beraber bulundurulması ile birlikte çalışmanın sürdürüldüğü bölgenin aydınlık değerleri en düşük seviyelerde bulunur. Bununla beraber personellerin iş bitimine kadar

duyu organlarının doğru bir şekilde çalışabilmesi için de lambanın parlaklık değeri büyük bir önem arz etmektedir. Bu türden bir yerde ihtiyaç fazlası bir ışık sağlanması için kaynak harcanması enerjinin verimli bir şekilde çalışmasının önüne geçerek fazladan enerji harcanmasına neden olmaktadır. Parlaklık değerlerinin belirlenen standartlardan düşük değerlerde ya da üstünde değerlerde bulunması durumunda çalışanların iş kazası ortaya çıkmasına, personellerin verimlerinde düşüş yaşanmasına bu da üretimin aksamasına ve üretilen ürün kalitesinin azalmasına neden olmaktadır. Çeşitli görevleri yerine getirmek amacıyla kullanılan 6 tane endüstriyel tezgâh yapılarının yer aldığı bir mekân tasarımı 1/10 değerinde endüstriyel tesisin modellenmesi yapılmış ve bununla beraber kullanılan lambaların PLC otomasyon programı kullanılarak kontrol edilebileceği bir sistem tasarımı yapılmıştır. Modellemesi yapılmış olan sistemin yapısı 4 basamaktan meydana gelmektedir. Bunlar; ölçüm alınması, alınan ölçümün analiz edilmesi, denetiminin sağlanması ve son aşamada ise geri dönüt verilmesi aşamalarından oluşan bir sistem tasarımı yaparak veriler elde etmiş ve bu neticede başarılı bir sonuç elde etmiş olduğu bir çalışma gerçekleştirmiştir. (Ortataş 2015).

Konutlarda ve işletmelerde tercih edilebilecek olan PV beslemeli bir aydınlatma sistemi üzerinde çalışma yürütmüş ve PIC denetleyici yapısı yardımıyla denetiminin sağlanması üzerine bir sistem tasarımı yapmıştır. Yapmış olduğu sistem yapısında fotovoltaiik panel yapısı, kurşun-asit akü ve bir aydınlatma cihazından meydana gelen sistem yapısında, havanın gündüz veya gece olması durumuna bağlı olarak lambanın devreye girip, devreden çıkması, sistemde yer alan akü yapısının doluluk oranına bağlı olarak şarj olup olmayacağı ve bununla birlikte paneller üzerine düşmekte olan güneş ışıınımları akü yapısını şarj olmasını sağlayamayacak durumda olması halinde sistemde bağlı bulunan aydınlatma cihazının, genel şebeke voltajı vasıtasıyla gerekli enerji ihtiyacını karşılayabileceği bir sistem tasarımı ortaya koymuştur (Adanur 2014).

Konutların güneş ışığı vasıtasıyla aydınlatılmasının sağlanması çoğunlukla pencere ya da çatı açıklıkları yardımı ile sağlanmaktadır. Bu metotların dışında 21. yüzyıl'da görsel ergonomi ile enerji gereksinimini azaltabilmek için ışık tüpleri, ışık rafları vb. farklı niteliklere sahip olan cam çeşitleri gibi metotlar araştırılarak geliştirme çalışmaları yürütülmüştür. Konutlarda güneş ışığından faydalanabilmek amacıyla hala gelişmekte

olan bu sistem yapılarının gün geçtikçe kullanımları artış göstermektedir. Konutun ne için kullanılacağı (okul, sinema, yemekhane, şahsi konut vb.), coğrafi konum itibari ile güneşlenme durumu gibi parametrelere bağlı bir şekilde şartlara göre uygun olan doğal aydınlatma sisteminin modellenmesi için bu metotların niteliklerinin dikkate alınması ve konutların proje aşamalarında çeşitli yolların kıyaslanması yapılarak bir sonuca varılması önem arz etmektedir. Bunun sonucunda konutlara giren güneş ışınlarının değerlerinin yükseltilebilmesi, sistem yapısına uygun bir şekilde tasarlanmış olan kontrol sistemleri aracılığıyla doğal aydınlatma ile yapay aydınlatma entegrasyonu birlikte komplike bir şekilde çalıştığı takdirde hem görsel ergonominin sağlanması hem de aydınlatma için gerekli olan enerjinin azaltılması sağlanarak enerjide tasarrufu bakımından üst düzey neticeler oluşturacaktır (Yener 2007).

Dünya ülkelerinin elektrik enerjisi tüketim değerleri gün geçtikçe artış göstermektedir. Yapılmış olan araştırma çalışmaları neticesinde 2035 yılına gelinmesi ile birlikte enerji tüketim değerleri dört katlık bir değerde artış göstermesi beklenmektedir. Avrupa ülkelerinde kullanılmakta olan elektrik enerjisinin ortalama olarak %40 oranında bir kısmı işletmelerde gerekli enerjinin karşılanabilmesinde kullanıldığı düşünülmektedir. Alternatif enerji kaynakları son birkaç yılda enerji üretiminde büyük bir önem arz etmektedir. Güneş enerjisi, tüm ülkelerde elektrik üretiminde çoğunlukla tercih edilen alternatif enerji kaynaklarından biridir. Yapılmış olan çalışmalar neticesinde önümüzdeki 10 yıl içerisinde dünya üzerinde üretilen elektrik enerjisinin %40'lık gibi büyük bir kısmının güneş enerjisi gibi alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları aracılığı ile sağlanacağı düşünülmektedir.

Yapılmış olan çalışmalar neticesinde enerjiyi ısı ya da elektrik enerjisi biçiminde kullanılabilmesi amacıyla güneş yoğunlaştırıcı sistemleri kullanılmışlardır. Bu güneş yoğunlaştırıcı yapılar içerisinde, güneş yoğunlaştırıcı çanak yapılarının elektrik enerjisinin üretilmesinde en yüksek verim değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Solar çanak yoğunlaştırıcı sistemleri, ışığın yoğunlaştırılmasını sağlayarak optik fiber kablolar vasıtasıyla güneş ışığının 50 metre boyunca taşınabileceği ortaya konulmuştur.

Yapılmış olduğu çalışmada çanak yoğunlaştırıcı yapıya sahip olan bir sistemin güneş ışınlarının tek bir noktada odaklanması sağlanarak fiber optik kablolar aracılığı ile iletimi sağlanarak güneş panelinden enerji üretilmesi üzerine bir düzenek

oluşturulmuştur. Bu sistem ile birlikte güneş panelleri fiber optik kablolar aracılığı ile taşınmakta olan ışınlar ile enerji üretimi sağladığından dolayı panel yüzeyleri üzerinde ısıya maruz kalınmasından dolayı ortaya çıkabilecek olan aşırı ısınma durumları görülmemektedir. Genel olarak güneş panellerinin yüzeylerinde meydana gelmekte olan ısınma durumları ile birlikte panellerin çıkışlarında meydana getirdikleri güç değerlerinde düşüş oluşmaktadır. Yapılmış olan çalışma ile birlikte bunun önlenmesi üzerine çalışılmıştır. Sistemde kullanılan fiber optik kablo sayısı ile güneş panellerinden elde edilecek olan güç değerleri doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Hibrit termal ışık sistemi ile birlikte güneş ışığını fiber optik kablolar vasıtasıyla iç ortama aktarılması sağlanırken güneş paneli yüzeyine iletimi sağlanarak hem ısıtma suyu hem de elektrik enerjisi üretimi için güneş enerjisinden yararlanmaya yönelik yeni bir sistem tasarımı ortaya konulması ile birlikte bina çatısındaki kısıtlı alana da bir çözüm oluşturulması sağlanmakta ve iç mekan içerisinde yerleştirilmiş olan güneş panelleri düşük çalışma sıcaklık değerlerinde verimli bir şekilde çalışmasını sürdürmekte olduğunu ortaya koymuştur (Al-Amayreh vd. 2020).

Yapılmış olan çalışma ile birlikte fiber optik kablo tabanlı gün ışığı sistemleri, aydınlatma sistemleri için mevcut enerji harcamasının düşürülebilmesi amacıyla yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Bu sebepten dolayı gelecek vaat eden teknolojilerden biri olarak tanımlanmaktadır. Yoğunlaştırıcı fiber optik sistem sabah ve öğlen zaman dilimlerinde bol miktarda güneş ışıını olan yerlerde yapay aydınlatmayı ortadan kaldırmak ya da yıllık olarak güneş ışığının yüksek seviyelerde olmadığı bölgelerde hibrit bir şekilde kullanılmasını sağlamak için muazzam bir potansiyel açığa çıkartmaktadır. Bununla beraber, günümüzde bu konudaki araştırma faaliyetleri, yüksek miktarlarda, çeşitli sistem yapılarında ufak değişiklikler ve ek özellikler eklenerek tasarım değişiklikleri konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Yapılmış incelemeler neticesinde yapılan çalışmaların geçici nitelikte ve raporlanması yapılan ölçüm verileri sınırlı bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğu simülasyon tekniği ile yapılmaktadır. Bu sebepten dolayı sistemin gerçekte tasarlanarak test edilmesi ve bunlardan veri alınması gerekmektedir. Bu tür çalışmaların artırılması gerektiğini ortaya koymuştur (Sreelakshmi ve Ramamurthy 2022).

Atmosfere salınmakta olan CO₂ miktarı her yıl ortalama 1 milyon ton değerinde olmaktadır. Güneş ışığı ile aydınlatma sistemleri güvenli, konforlu ve sağlıklı bir aydınlatma ortamının sağlanılmasına katkı sunmakla birlikte binaların iç mekanlarının aydınlatılabilmesi için tüketilmekte olan fosil yakıt kaynaklı enerjinin de azaltılabilmesine imkân tanımaktadır.

Pencere yapıları ve ışıklıkların tercih edildiği klasikleşmiş güneş ışığı aydınlatma sistemleri, özellikle birçok kat yapısından meydana gelmiş olan binaların günışığı aydınlatması için kullanımı günümüzde kullanışlı bir halde değildir. Alternatif olarak, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi, fiber optik kablo teknolojileri aracılığı ile bina iç mekanlarına iletimi sağlanarak aydınlatılmasının sağlanmasında rol oynayabilir. Şebeke sistemlerinden bağımsız bir şekilde sistemin devamlılığının sağlanmasında önemli bir yere sahip olan fotovoltaik güneş enerjisi aydınlatma sistemi, güneş enerjili aydınlatma sisteminin kullanımının artması sonrasında enerji kesintilerinden etkilenmemesi ve enerji için ödenen maliyetin ortadan kaldırılmasına imkân tanımaktadır.

Fiberoptik aydınlatma sistemlerinde, fiber optik kablo ucundan sağlanan aydınlatma değeri 58 derece açı ile yüksek parlaklık değerine sahip olarak yayılma sağlamaktadır ancak düşük açı değeri ile gelmekte olan ışık sebebiyle aydınlatılmakta olan alan sınırlı değerlerde olabilmektedir. Parlaklık seviyesi dış ortam şartlarına bağlı olarak değişim göstermesinden dolayı homojen olmayan ve dengesiz bir iç aydınlatma durumuna sebep olabilmektedir. Bu nedenle, LED ve güneş ışığından birlikte yer aldığı bir ışık taşıyıcı sistemi yapmıştır. Yapılan çalışma ile birlikte elektrik üretiminden alınan tahmini karbondioksit miktarı 0,83 kg/kWh elektrik gücüne eşdeğerdir (Lv vd. 2018).

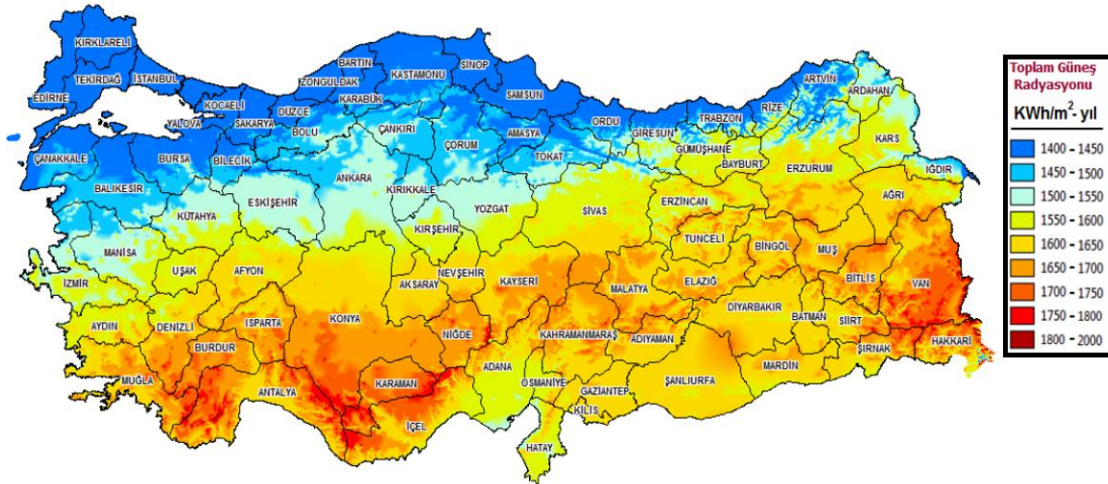
Fiber optik aydınlatma sistemleri günümüzde aydınlatma müzeler, hastaneler, konutlar, ofis binaları ve yeraltı tesislerinin aydınlatılmasında kullanılmaktadır. Bunun beraberinde uzun otoyol inşa edilmesi ile birlikte tünel yapılarının aydınlatılması için harcanan güç tüketimi giderek artış göstermiştir.

Bu sebepten dolayı, güvenli ve konforlu bir sürüş şartları korunarak güç tüketiminin azaltılması büyük bir önem arz etmektedir. Tünel yapılarında özel boru biçiminde olan yapısı ve tünel giriş ve çıkışlarında parlaklık durumlarında meydana gelen değişiklik durumları sebebiyle araç sürücülerinin gündüz vaktinde tünel içerisine girmesi durumunda ya da tünel içerisinden çıkması durumunda aşırı parlaklık değişimi ve

kamaşma durumlarının ortaya çıkmasına sebep olmakta ve araç sürücülerinin görsel olarak sürüş güvenliği üzerinde tehlike durumlarının ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Bu etkilerin ortadan kaldırılabilmesi hususunda günışığı yoğunlaştırıcı sistemlerinin bir çözüm oluşturabileceğini ortaya koymuştur (Xiaochun vd. 2015).

2.2 Güneş Enerjisinin Ülkemiz’de Var Olan Enerji Potansiyeli

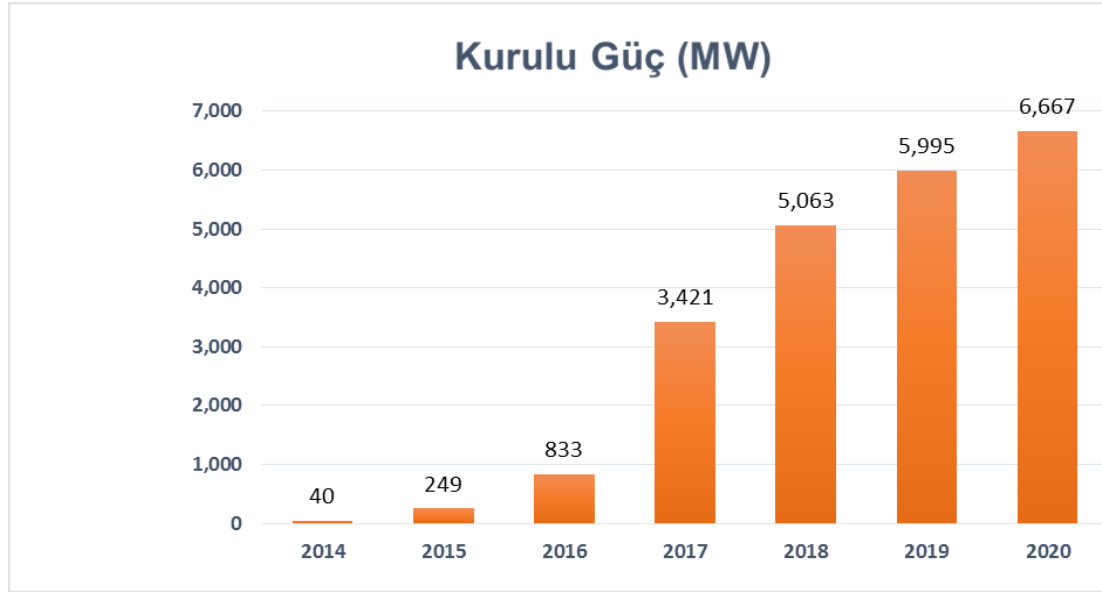
Türkiye, coğrafi olarak yer almış olduğu koordinatlar sebebiyle güneş enerjisinden faydalanabilme durumları yüksek değerlerde yer almaktadır. Ülkemizin yıl boyunca 2741,07 saat güneş enerjisinden faydalanabilme süresi bulunurken, yıllık bazda bakıldığında taktirde yıl boyu ışıınım değerleri toplandığında taktirde 1527,46 kWh/m² değere sahip olduğu yapılan hesaplamalar neticesinde tespit edilmiştir. Şekil 2.1’de verilmiş olan GEPA (Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası) atlasında ülkemizin güneş enerjisinden hangi bölgede ne kadar verimli bir şekilde kullanılabileceğinin belirlenebilmesi amacıyla oluşturulmuş bir harita bulunmaktadır.



Şekil 2.1 Türkiye’de güneş potansiyelinin dağılımsal olarak gösterildiği GEPA Atlası (İnt. Kyn. 1).

Bu atlas incelenmesi durumunda Akdeniz, Ege gibi sıcak iklim bölgelerinin birçoğunda ve Güney Doğu Anadolu gibi bölgelerde güneş enerjisinden yararlanabilme değerleri yüksek değerlerde olurken, Marmara, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgesinde güneş enerjisi potansiyeli düşük seviyelerde yer almaktadır. Harita dikkatlice incelendiğinde taktirde ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli yüksek seviyelerde yer aldığı

görülebilmektedir. Güneş enerjisinden hem gerekli elektrik enerjisinin karşılanabilmesi hususunda hem de bina içerisinde ısıtılması, su ısıtılması gibi sistemlerin kullanımı ile birlikte elektrik ve ısıtma için harcanmakta olan enerji giderlerinden çok yüksek seviyelerde tasarruf elde edilebilir. 2014-2020 yılları arasında ülkemizin güneş enerjisi için kurulu güç değerinde yüksek değerlerde artış olduğu Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 Türkiye’nin 2014-2020 yılları arasında güneş enerjisi kurulu güç verileri (İnt. Kyn. 1).

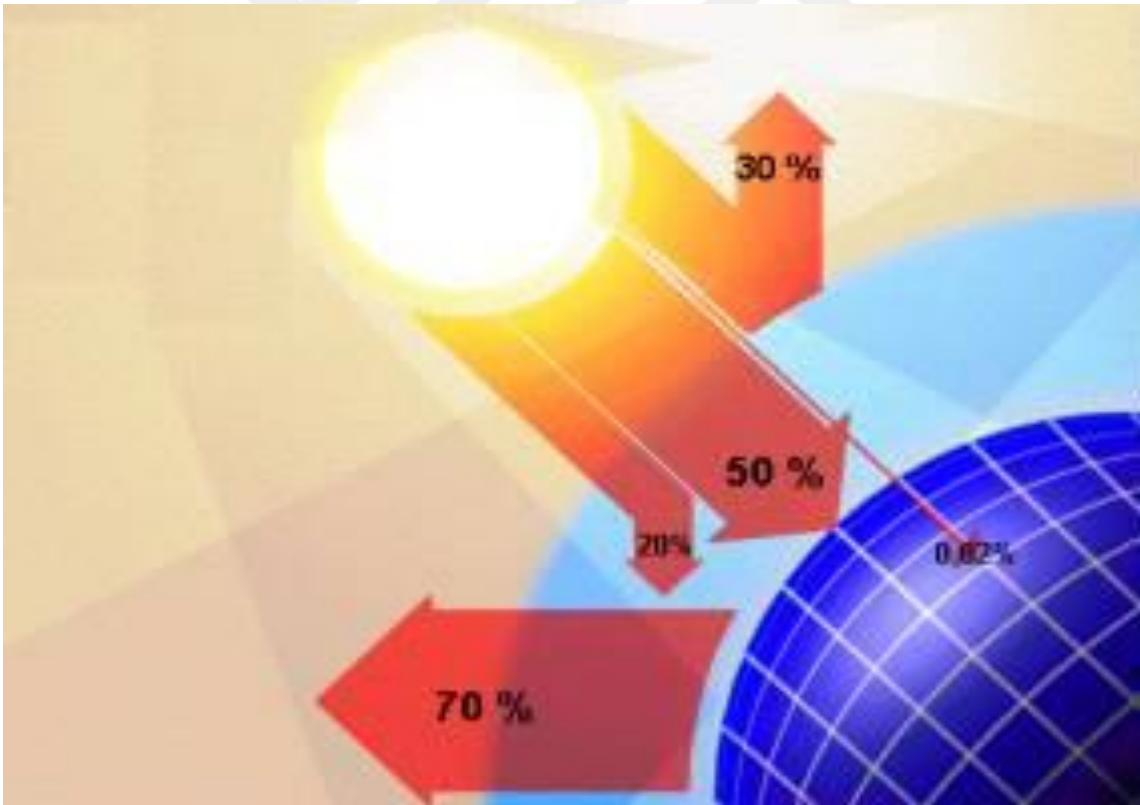
Verilmiş olan grafik değerleri incelendiği takdirde kurulu güç değerlerinin 2014 yılında 40 MW gibi bir değerlerde yer aldığı bu değerlerin yıllara oranla giderek bir artış eğilimine geçmiş olduğunu ve 2020 yılına gelindiği takdirde bu değerlerin 6,667 MW değerlerine kadar artış göstermiş olduğu görülmektedir. İlerleyen yıllar ile birlikte bu değerlerin giderek daha da artış göstermeye devam edeceği ön görülmektedir.

2.3 Güneşten Yayılmakta Olan Işınlımların Dünya Yüzeyine Ulaşması

Tüm cisimler mutlak sıfır sıcaklık değerinden fazla bir değerde bulunuyor ise ışınlım meydana getirirler. Işınlım olayı, maddenin atom ya da molekül yapılarının elektron diziliminden meydana gelen farklılıklar neticesinde ortama salınan elektromanyetik dalga yapıları ya da fotonlar vasıtasıyla sağlanan enerji transferi olayıdır. Işınlım olayının çeşitli ısı transferi olaylarından ayıran en önemli farkı, ışınlım ile ısı transferi sırasında cisimler

arasında boşluk bulunması sırasında da gerçekleşebilmektedir. Işınım yolu ile ısı transferinin yayılım hız değeri ışık hızına eşit olmaktadır. Güneşte meydana gelen füzyon tepkimeleri sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisi de ışınım vasıtası ile yayılımı sağlandığından dolayı bu enerji ışık hızı ile dünya yüzeyine ulaşmaktadır.

Güneşten gelen ışınımın, %30 civarında bir kısmı dünya atmosferi vasıtası ile geri yansıtılması sağlanmakta, %20 civarında bir kısmı bulutlar ile atmosfer tabakası içerisinde hapsolmakta, %50 civarında bir kısmı ise atmosfer tabakasını aşarak yerküreye ulaşabilmektedir. Şekil 2.3’de güneşten gelen ışınımın yayılım değerleri gösterilmiştir. Yerküreye ulaşabilen bu ışınım nedeni ile dünya da sıcaklık değerinde bir artış yaşanmaktadır ve bu artış ile birlikte dünya da yaşama imkânı oluşmaktadır. Meydana gelen bu ısınma durumu ayrıca rüzgâr hareketlerine ve denizlerde dalgalanma durumlarına da sebebiyet vermektedir.



Şekil 2.3 Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınımının yayılım değerleri (İnt. Kyn. 2).

Dünya'ya ulaşan güneş ışınımının doğrudan ve yayılı güneş ışınımı biçiminde sınıflandırılabilir (Ceylan ve Gürel 2017).

2.3.1 Doğrudan Güneş Işınımı

Güneş vasıtasıyla yayılan ışınlamaların dünya atmosferinde herhangi bir yayılım durumuna maruz kalmadan direkt olarak yer yüzüne ulaşan ışınlamalara direkt güneş ışınlamı adı verilmektedir. Hava bulut yoğunluğunun en az olduğu zaman dilimlerinde dünya yüzeyinde yer almakta olan herhangi bir konuma düşmekte olan toplam güneş ışınlamaların ortalama olarak %81 oranında bir kısmı direkt güneş ışınlamı olmaktadır (Öztürk 2012).

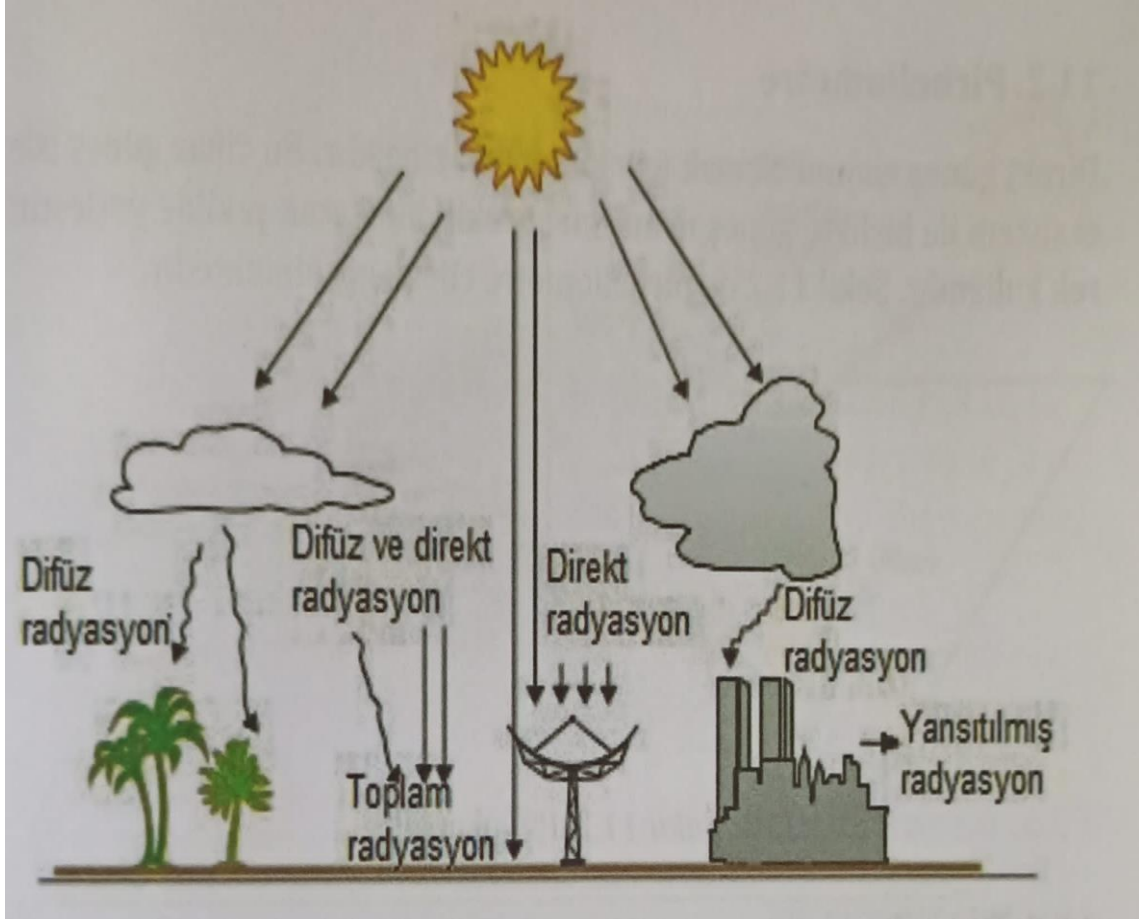
2.3.2 Yayılı Güneş Işınımı

Güneş aracılığı ile yayılımı sağlanan ışınlamaların atmosfer tabakasından dünya yüzeyine geçişi sırasında saçılma, emilim ve yansıma durumlarına maruz kalması sonrasında güneşten gelen ışınlamaların dünya atmosferinden geçmesi sonrasında tüm doğrultulardan yer yüzeyine ulaşan ışınlamalara yayılı güneş ışınlamı adı verilmektedir. Hava durumunun tamamen kapalı ve çok bulutlu olduğu bir zaman dilimlerinde, yer yüzeyine ulaşan güneş ışınlamalarının neredeyse tamamı yayılı güneş ışınlamından meydana gelmektedir (Öztürk 2008).

2.3.3. Yansıtılmış Güneş Işınımı

Güneşten yayılmakta olan güneş ışınlamalarının dünya atmosferine girmesi ile birlikte direkt ve yayılı güneş ışınlamaları ile birlikte birde yansıtılmış güneş ışınlamı adı verilen bir ışınlam türü yer almaktadır. Yansıtılmış güneş ışınlamaları, güneş ışınlamalarının atmosfer tabakasından geçmesi ile birlikte yer yüzeyine ulaşması sonrasında ortamda yer almakta olan canlılar, bitkiler, binalar, yağmur damlaları, yansıtıcı cisimler, vb. tarafından bir yansımaya uğrayan güneş ışınlamalarına yansıtılmış güneş ışınlamaları adı verilmektedir. Yansıtılmış güneş ışınlamalarının değerleri düşmüş olduğu konumun coğrafi niteliklerine ve çevresel faktörlere bağlı olarak farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Düz bir yüzeye düşen güneş ışınlamaları için toplam ışınlam değeri, doğrudan ve yayılı güneş ışınlamı değerlerinin toplamına eşit olmaktadır, eğimli bir yüzey üzerine düşen ışınlam için ise bu değer doğrudan, yayılı ve yansıtılmış ışınlam değerlerinin toplanması sonucu elde edilen değerdir (Ceylan ve Gürel 2017).

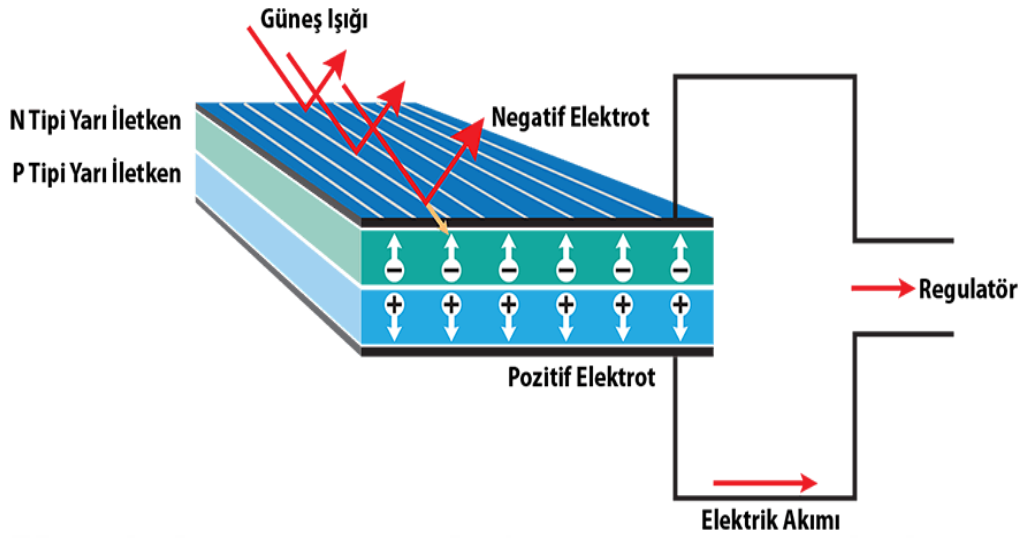
Şekil 2.4’de doğrudan, yayılı ve yansıtılmış güneş ışınlamalarının oluşum ve yayılım şekilleri verilmiştir.



Şekil 2.4 Doğrudan, yayılı ve yansıtılmış güneş ışınlamaları gösterimi (Ceylan ve Gürel 2017).

2.4 Solar Panel Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Solar panel sistemleri güneşten yayılmakta olan foton enerjisinden eşit miktarlarda olacak şekilde artı yüklü ve eksi yüklü parçacıklar meydana getirmektedir. Meydana gelmekte olan bu artı yüklü ve eksi yüklü parçacık yapıları foto-gerilim ile foto-akım ortaya çıkması için ayrıştırılma işlemi gerçekleştirirler. Artı yük yapıları ile eksi yük yapılarının birbirlerinden temasını engellemek amacıyla bakır-kadmium, silikon ve galyum-arsenit gibi yarıiletken yapıya sahip olan malzemeler kullanılmaktadır. Solar panel sistemleri güneşten gelmekte olan güneş ışınlamaları vasıtasıyla aktarılmakta olan güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan yapılardır. Şekil 2.5’de solar panel yapılarının çalışma prensibini anlatan bir şekil verilmiştir.



Şekil 2.5 Solar panel sistemlerinin çalışma prensibi (İnt. Kyn. 3).

Solar panel sistemlerin genel olarak çalışma prensibi artı – eksi yani p ve n yapılarının bir araya gelmesi ile birlikte meydana gelen bir diyod yapısının çalışma durumu ile neredeyse aynı şekilde çalışmasını sürdürmektedir. Sistemde yer alan eksi yük yapısına sahip parçacıklar N tarafından hareketine başlayarak bir dış bağlantı kablosu aracılığı ile P tarafına doğru hareket eyleminde bulunurlar ve burada artı yüklerle birleşirler. İki adet silikon yapısının birleşme eylemini gerçekleştirme aşamasına gelmeden, N tip yapıdaki ile P tip yapıya sahip olan yapılar doğal yük değerlerinde yer almaktadırlar. Artı yük değerine sahip parçacıkları ile eksi yük değerlerine sahip olan parçacık adetleri aynı sayıda bulunmaktadırlar. P tip yapıya sahip ve N tip yapıya sahip olan yapıların birbirleri ile buluşması sonrasında N tip yapıya sahip kısımdan negatif yük değerine sahip olan elektronlar, P tip yapıya sahip olan cisim tarafına doğru hareket ederken, P yapıya sahip olan cisimdeki artı yükler ise N tip yapıya sahip olan cisim tarafına doğru bir hareket meydana getirir. İki yönlü olarak gerçekleşmekte olan bu transfer durumu bir dengesizlik durumunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. N tip yapıya sahip olan cisim birkaç adet valans elektronlarının azalmasına neden olmaktadır bu sebepten dolayı artı yük durumuna geçiş yapmış olur. P tip yapıya sahip olan cisim ise elektron transferi ile birlikte eksi yük durumuna geçiş yapmış olur. Bu olay neticesinde düşük değerlerde bir gerilim meydana gelmektedir. Bu gerilim değerine sınır potansiyeli adı verilmektedir. Bu gerilim değeri iki P ve N tarafının birbiri ile bağlantısı olan noktanın kısımlarında ortaya çıkması ile birlikte daha yüksek sayıda elektronun N tip yapıya sahip cisimden P tip malzemeye geçiş

yapmasının önüne geçilmiş olmaktadır. Birbirleri arasında geçişin olduğu noktada yer almakta olan serbest halde bulunan negatif yük değerlerine sahip parçacıklar ile pozitif yük değerine sahip parçacık yapılarının bulunduğu noktadan dış tarafa doğru hareket ettirilmesi sağlanır.

P tip yapıya sahip olan cisimlerde pozitif yük değerine sahip yapılar çoğunlukta yer almakta bunun temel sebebi ise silikon malzemeye eklenen Boron elementinin eklenmesidir. N tip yapıya sahip olan cisim tarafında ise silikon malzemeye eklenmiş olan fosfor elementi sebebiyle ise negatif yük değerleri yani elektronlar fazla sayıda yer almaktadır. P tip yapıya sahip cisimde pozitif yüklerin artması ile birlikte yüklere P çoğunluk taşıyıcılar, N tip yapıya sahip cisimde negatif yüklerin artış göstermesi ile birlikte yüklere N çoğunluk taşıyıcılar adı verilmektedir. N ve P tip yapıya sahip olan cisimlerdeki çoğunluk taşıyıcı adı verilen pozitif yükler silikon ile birleştirilmesi sağlanan Boron ve Fosfor elementleri vasıtasıyla tespit edilmesinden dolayı ısı ve ışık durumları sebebiyle bir etki altına girmezler. Azınlık taşıyıcı yapıları ise, direkt olarak N-P birleşimini etki altına almakta olan ısı ile ışık değişkenlerine bağlı olmaktadır. Solar güneş paneli sistemlerinde güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlamakta olan asıl yapılar bu azınlık taşıyıcı yapılarıdır. Sonuç olarak bir solar güneş panelinin N ve P yapılarının çıkış uçları arasında bir yük bağlantısı olması durumunda solar panel sistemleri güneş enerjisini çıkışta bir elektrik enerjisine dönüştürülebilmesine imkân tanımaktadır. Çıkış uçları arasında yük veya P ya da N çıkış uçlarının bağlantılarını sağlayan bir köprü vaziyete görecektir bir bağlantı bulunmuyor ise negatif yük değerlerine sahip olan elektron yapılarının transferine imkân tanınmaz ve bu nedenle enerji üretimi sağlanamaz. Bununla birlikte çıkış uçlarına bağlantısı yapılmış olan yük düşük güç değerlerinde bulunuyorsa veya N ve P tip yapıya sahip olan çıkış uçları kısa devre durumuna geçmiş ise solar panel çıkışlarından elektrik enerjisi sağlanamaz (Altaş 1998).

2.5 Solar Panel Çeşitleri

Solar panel yapıları güneşten gelen güneş ışınımını yardımı ile elde etmiş olduğu enerjiyi direkt olarak elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan yarıiletken yapılardır. Solar paneller üretiminde aynı firma tarafından üretilse bile verimlilik değerlerinde kalite bazlı olarak çeşitlilikler meydana gelebilmektedir. Solar panel yapıları genel olarak üç grupta

incelenmektedir. Bu solar panel yapıları: monokristal yapıya sahip güneş panelleri, polikristal yapıya sahip güneş panelleri, ince film güneş panelleridir. Verimlilik değerleri göz önüne alındığı takdirde en verimli monokristal güneş panelleri sonra polikristal güneş panelleri ve en düşük verimlilik değerlerine sahip olan ince film güneş paneli sistemleri gelmektedir. Panel çeşitlerinin kendi aralarında sunmuş oldukları avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Solar panel yapılarının genel olarak fotovoltaik yapı taşı olarak silikondan yararlanmaktadır. Monokristal yapıya sahip güneş panellerinde ve polikristal güneş panellerinin iç yapısında silikon malzeme bulunmaktadır. İnce film solar panel yapılarında ise farklı türlerden fotovoltaik yapılardan meydana gelmektedir (Kantaroglu 2010).

2.5.1 Monokristal ve Polikristal Solar Paneller

İmal edilmesinde ana madde olarak saflık değerleri üst seviyede olan kristal silisyum yapısı kullanılan solar panel yapılarıdır. Oluşturulma süreçlerinde üst düzey teknolojik malzemeler kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü diğer güneş panellerine kıyasla daha yüksek verim değerlerine sahip olmakta ve bununla birlikte kullanım ömürleri daha yüksek değerlerde olabilmektedir. Tek kristal yapıya sahip olan solar panel yapılarında iç kristaller düzenli bir hâlde yer almaktadırlar. Bu sebepten dolayı harcanmakta olan maliyet değerleri yüksek ve çoklu kristal yapıya sahip olan güneş panellerine kıyasla daha uğraştırıcı bir şekilde üretilmektedirler. Çoklu kristal yapıya sahip olan güneş paneli yapılarında ise kristal yapı içerisinde düşük değerlerde meydana gelen bozulma durumları nedeniyle güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm değerlerinde düşük seviyelerde bir düşüş yaşanmaktadır. Polikristal yapıya sahip olan güneş paneli yapıları üretim süreçleri monokristal yapıya sahip olan güneş paneli sistemlerine kıyasla daha basit ve üretim fiyatlarının daha düşük seviyelerde olmasından dolayı bu tip hücrelerin üretim durumları daha yüksek seviyelerde bulunmaktadır (Çelik ve Koç 2020). Polikristal yapıya sahip olan güneş panelleri uygun maliyetli, üretim teknikleri kolay, verimlilik değerleri düşük olurken, monokristal yapıya sahip olan güneş panelleri ise verimlilikleri yüksek, üretim teknikleri daha zor ve maliyet değerleri daha yüksek değerlerde olmaktadır.

2.5.2 İnce Film Güneş Panelleri

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte uzmanlar tarafından yapılmış ve yapılmakta olan araştırma ve geliştirme uygulamaları ile beraber yarıiletken yapının geniş yüzey üstüne ince bir film biçiminde entegre edilmesi metodu ile üretilen yapılardır. Yapılmış olan çalışmalar ile birlikte solar panel imal edilebilmesinde tercih edilen birçok element yapısının uygun fiyat değerlerinde üretilebilmekte olan folyo, plastik, cam, metal vb. yapıların üst kısmına entegre bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ulaşabildikleri verim değerleri %18 gibi değerlere ulaşmış durumdadır. İnce film solar panel yapılarında en çok tercih edilen 3 malzeme bulunmaktadır. Bu malzemeler; kadmiyum tellür, amorf silisyum, bakır iridyum diselenid yapılarıdır. Amorfsilisyum yapısına sahip olan güneş panellerinde verim değerleri ortalama %10 değerlerinde, piyasada satılan modüller de ise %6 civarlarında olmaktadır. Kadmiyum Tellürid (Cd-Te) bileşiği yardımı ile solar panel üretmek için gerekli olan bedellerin düşük seviyelere indirgenebileceği ön görülmektedir. Laboratuvar ortamında yapılan küçük ölçekli hücre yapılarında %16 değerlerinde, piyasada satılan çeşitlerinde ise %7 dolaylarında bir verim ortaya konulabilmektedir. Bakır İndiyum diselenid yapısından meydana gelen solar paneller de ise verim değerleri %18 civarlarında bir değere gelirken, 900 cm² yüzey alanı olan modül yapılarının verim değerleri ise %15 civarlarında olabilmektedir (Kantaroğlu 2010).

2.6 Batarya Sistemleri

Bataryaların en önemli özellikleri arasında;

- Gerekli görülen yerlere taşıma imkanları bulunmaktadır,
- Şebekeden enerji gereksinimini sağlayan yerlerde bir arıza veya kesinti yaşanması durumunda gerekli olan enerji ihtiyacının kısa süreli olarak karşılanabilmesine olanak sağlarlar,
- Kısa bir süre için yüksek güç değerleri oluşturabilirler.

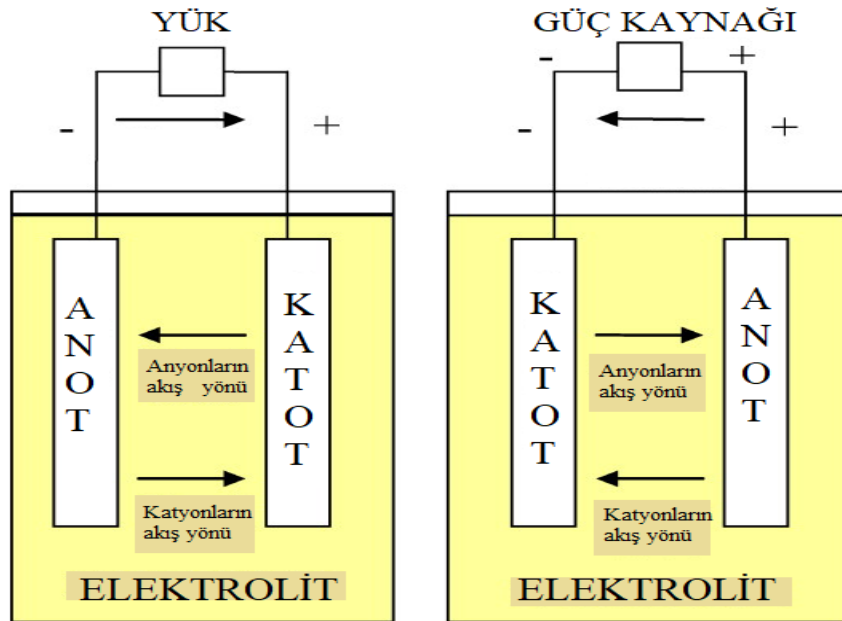
Batarya yapılarının bu gibi avantajları dolayısıyla birden çok yerde tercih edilebilmelerine imkân vermektedir.

21. yüzyıl ile birlikte fotovoltaik sistemler vasıtasıyla elde edilen enerjinin depo edilerek

gerekli görüldüğü durumlar için kullanılabilmesi amacıyla Ni-Cd (Nikel-Kadmiyum) ve Kurşun-asit batarya yapıları uygulamalarda genel olarak tercih edilmektedir. Çeşitli redoks tepkimelerine sahip olan batarya çeşitleri ve bununla birlikte üst düzey sıcaklık değerlerinde Sodyum-Kükürt yapısına sahip batarya yapıları vb. araştırma ve geliştirme süreçlerine devam edilen batarya yapıları da sürdürülebilir enerji kaynakları tarafından elde edilen enerjinin depo edilebilmesi amacıyla kullanılabilmesi mümkün olabilir. PV sistemlerde en çok tercih edilen batarya çeşitlerinden birisi olan kurşun asit batarya yapıları, niteliksel olarak derin deşarj durumunun gerektiği fotovoltaik sistemler için özel olarak imal edilmektedir. Ni-Cd (Nikel-kadmiyum) ve Ni-MH (Nikel metal hidrür) batarya çeşitleri ise küçük elektronik sistemler dışında yaygın bir şekilde kullanılmamaktadır. Şekil 2.6’da pillerin iç yapısı ve enerji akış yönleri gösterilmiştir.

Fotovoltaik sistemlerde tercih edilen batarya yapılarının karakteristik özellikleri şu şekilde olmaktadır:

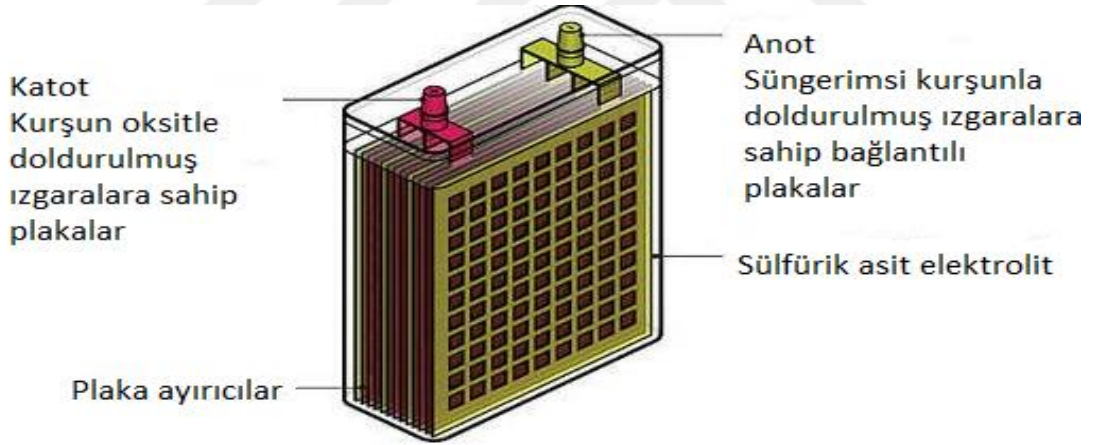
- Uzun kullanım ömrüne sahip olmaları,
- Çeşitli sıcaklık değerlerinde kullanım imkânı,
- Uygun fiyatlarda temin edilebilmeleri,
- Periyodik bir şekilde sürekli olarak bakım yapılmasına gerek duyulmaması,
- Durdukları yerde deşarj olma durumları düşük değerlerdedir (Ceylan ve Gürel 2017).



Şekil 2.6 Pillerin iç yapısı ve enerji akış yönleri (Muratoğlu ve Alkaya 2015).

2.6.1 Kurşun Asit Batarya Yapıları

Kurşun-asit bataryalar genel olarak eski yıllardan günümüze kadar yapılmış olan birçok çalışmalarda tercih edilmiştir. Kurşun-asit batarya yapılarında negatif yük ile yüklenmiş elektrotta Pb, pozitif yük ile yüklenmiş olan elektrotta ise kurşun (II) sülfat (PbO_4) ve elektrolit maddesi olarak ise sülfirik asit (H_2SO_4) yapısı yer almaktadır. Kurşun asit pil yapılarının kullanılma nedenleri arasında yüksek deşarj akımları, hafıza etkisinin bulunmaması, uzun süreli depolama sırasında meydana gelen kendi kendine deşarj olma durumlarının düşük değerlerde olması ve uygun fiyat değerlerine sahip olması vb. gibi olumlu yönleri bulunmaktadır, bununla birlikte düşük değerlerde nominal gerilim, düşük enerji yoğunluğuna sahip olması ve uzun süre kullanılmamaları durumunda batarya ömrünün azalmasına sebep olması gibi bir takım olumsuz yönleri de bulunmaktadır (Muratoğlu ve Alkaya 2015). Şekil 2.7’de kurşun asit batarya iç yapısında yer alan yapılar ve isimleri verilmiştir.



Şekil 2.7 Kurşun asit batarya iç yapısının gösterimi (İnt. Kyn. 4).

2.6.2 Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) Batarya Yapıları

Nikel kadmiyum piller güvenli bir yapıya sahip olması ve uygun fiyat değerlerine sahip olan bir batarya yapısıdır. Nikel kadmiyum pil yapılarında negatif yük değerine sahip olan elektrotta Cd (Kadmiyum) ya da $Cd(OH)_2$ (Kadmiyum Hidroksit) pozitif yüke sahip olan elektrot tarafında ise $Ni(OH)_2$ (Nikel Hidroksit) bulunurken elektrolit görevini görmesi için ise KOH (Potasyum Hidroksit) yapıları tercih edilmektedir. Resim 2.1’de

Nikel kadmiyum akü yapısına ait görsel verilmiştir. Büyük değerlerde deşarj akımı sağlayabilen bu bataryalar kurşun-asit batarya yapılarına kıyasla daha fazla enerji yoğunluğuna sahip olması gibi olumlu bir yönü bulunmasına rağmen şarj-deşarj verim değerlerinin düşük olması, depolanma durumunda kendi kendine deşarj olma durumlarının fazla olması ve hafıza etkisinin bulunması gibi birçok olumsuz durumlara sahip olmaktadır (Muratoğlu ve Alkaya).



Resim 2.1 Nikel kadmiyum akü yapısı (İnt. Kyn. 5).

2.6.3 Nikel Metal Hidrit (Ni-MH) Batarya Yapıları

Nikel-metal hidrit batarya yapıları, pozitif yüklü elektronların yer almakta olduğu kısımda metal hidrit (M-H) bileşiği bulunmaktayken, negatif yüklü elektronların yer aldığı kısımda ise nikel hidroksit ($\text{Ni}(\text{OH})_2$) yapısını bulundurmakta olan batarya yapılarıdır. İki elektrot arasında aktarım görevini üstlenmekte olan elektrolit çözelti olarak ise potasyum hidroksit çözeltisi yer almaktadır. Resim 2.2’de 12V değerinde bir Nikel Metal Hidrit akü görüntüsü yer almaktadır. Negatif yüklü ve pozitif yüklü elektrot yapılarının birbirlerinden ayrıştırılmasını sağlayabilmek amacıyla çoğunluklu olarak gazlı bez, polipropilen geotekstil keçe yapıları tercih edilebilmektedir. Nikel-metal hidrit depolama sistemleri risk durumlarının en az seviyelerde bulunması, üretim maliyet değerlerinin düşük seviyelerde olması, çevrim ömürlerinin fazla olması, dış ortama verdikleri zararlarının düşük seviyelerde olması, hava sıcaklıklarının düşük seviyelere inmesi durumunda bile deşarj yoğunluğunun üst seviyelerde olabilmesi, çıkış güç seviyelerinin yüksek değerlerde olması vb. avantajlı nitelikleri nedeniyle tercih edilen depolama elemanlarıdır. Dezavantajları arasında ise en önemlisi üst seviyelerde ortam

sıcaklıklarında, deşarj durumunda sıcaklık değeri ile orantılı olarak artmakta, çıkış güç değerlerinin düşüş göstermesi ve bununla birlikte ise enerji yoğunluk değerinin azalmasıdır. Kurşun asit ve nikel-kadmiyum depolama sistemleri ile karşılaştırılması durumunda, kurşun ve kadmiyum elementlerini yapısında bulundurmadığından ötürü dış ortama vermiş olduğu zararlar düşük seviyelerde yer almaktadır (Efe ve Güngör 2021).



Resim 2.2 12V değerinde bir Ni-MH akü yapısı (İnt. Kyn. 6).

2.6.4 Jel Batarya Yapıları

Yenilenebilir enerji sistemlerinde sıklıkla tercih edilmekte olan akü yapısıdır. Bir diğer ismi ile solar akü olarak da bilinmektedir. İç yapılarında yarı akışkan durumda olan jel halinde anot ve katot arasında elektrolit yapı yer almaktadır. Jel akülerin iç yapısında gaz formunda yer almakta olan kimyasallar (isli silika ve sülfürik asit) reaksiyona girmesi prensibine göre depolama işlemini gerçekleştiren sistemlerdir. Bu gibi nedenlerden ötürü bu depolama yapılarında valf sistemi yer almaktadır. İçerisinde yer almakta olan bu valf sistemi üst seviyede basınç oluşumu durumunda açık konuma gelmektedir. Açık konuma gelmesi ile birlikte sistem içerisinde yer almakta olan kimyasal gazlar batarya sisteminden dış ortama salınmaktadır (İnt. Kyn. 7). Bu tip akü yapılarının avantajları şarj döngüleri yüksek değerlerde bulunmakta, sürekli olarak bakım gerektirmemektedir. Dezavantajları ise hava sıcaklığının düşük ve yüksek olması durumlarında performansı fazlasıyla düşeceğinden dolayı kullanımı uygun değildir ve bununla birlikte maliyet bakımından diğer akü yapılarına kıyasla daha yüksek seviyelerdedir (İnt. Kyn. 8). Resim 2.3’de 12 V ve 100AH değere sahip jel akü yapısının bir görüntüsü verilmiştir.



Resim 2.3 Jel akü yapıları (İnt. Kyn. 9).

2.7 Aydınlatma Türleri

Aydınlatma türleri doğal ve yapay aydınlatma olmak üzere iki çeşittir. Bunların özellikleri şu şekildedir:

2.7.1 Doğal Aydınlatma

Gün ışığı sistemlerinde gereksinim duyulan temel enerji güneş vasıtasıyla sağlanmaktadır. Kullanılacak olan mekanların gün ışığı sistemleri aracılığı ile düzgün ve verimli bir şekilde aydınlatılabilmesi sayesinde aydınlatılan mekânda bulunan kişilerin ergonomik durumunda artış sağlanarak verimlilikleri yükseltilebilmektedir. Bununla birlikte fizyolojik, psikolojik ve maliyet durumu üzerinden bakıldığı takdirde güneş ışığı ile aydınlatma sağlanan sistemlerinin tercih edilebilme durumlarının yükseltilebilmesi adına araştırılacak ve uygulanacak olan tüm çalışmalar büyük bir önem arz etmektedir.

2.7.2 Yapay Aydınlatma

Güneş ışığı vasıtası ile iç ortamın aydınlatılması sağlanmakta olan doğal aydınlatma

sistemlerinin yetersiz kalması durumunda ek bir kaynaktan gerekli olan aydınlatma değerini karşılayabilmesi için gerekli olan ve bunu sağlarken belirli bir değerde enerji harcamasına neden olan aydınlatma sistemlerine yapay aydınlatma adı verilmektedir. Dış çevredeki güneş ışığı vasıtasıyla iç ortamın gerekli aydınlatma değerinin karşılanmasını sağlayan aydınlatma sistemleri yalnızca dış ortamdaki aydınlık değerlerinin yüksek olduğu zaman dilimlerinde verimli bir şekilde çalışmasını sürdürebilirken, yapay aydınlatma sistemleri ise gereksinim duyulması durumunda istenildiği herhangi bir zaman diliminde, tercih edilen mekânın aydınlatılabilmesine imkân sağlamaktadır. Yapay aydınlatma sistemlerinde sistemde aydınlatma elemanı olarak lamba yapılarının kullanımları söz konusudur. Yapay aydınlatma sistemlerinde uygulanacak olan verimlilik ve sağlanacak olan tasarruf değerlerinin arttırılabilmesi üzerine yapılmış olan çalışmalar doğrultusunda yalnızca bir lamba çeşidinin değiştirilmesi ile birlikte yıllık olarak 8,5 Milyon TL değerinden daha yüksek bir değerde harcanmakta olan enerji üzerinden tasarruf edilebilmesinin mümkün olduğu yapılan fizibilite çalışmalarınca belirlenmiştir. Yüksek tasarruf değerlerinin sağlanabilmesi açısından kullanılacak olan lamba yapılarının etkin ve verimlilik değerlerinin yüksek seviyelerde olduğu aydınlatma yapılarının tercih edilmesi büyük önem arz etmektedir (Kırbaş 2019)

Yapay aydınlatmanın kullanılacağı yerlerde gerekli aydınlatma değerinin karşılanabilmesi amacıyla tercih edilecek olan aydınlatma elemanı en önemli faktörlerden birisi olmaktadır. Bu sebepten dolayı aydınlatma için tercih edilecek olan aydınlatma elemanı, armatür yapısı, ergonomik görsel konforun sağlanabilmesi, harcamış olduğu güç değerleri düşük ve verimlilik değerleri yüksek aydınlatma elemanlarının tercih edilmesi gerekmektedir. Yapılacak olan ev, iş yeri vb. yerlerde doğal aydınlatma sistemlerinden en verimli şekilde yararlanılmalı ve doğal aydınlatma sistemlerinin gerekli aydınlatma değerlerini karşılayamadığı zaman dilimlerinde yapay aydınlatma gerekli tasarruf kriterlerine bağlı kalarak ve uygun verim değerlerinde seçimleri yapılarak ortama entegre edilmelidir (Öztürk vd. 2017).

2.8 Güneş Işığı ile Aydınlatma Sistemleri

Bina iç aydınlatılmasında güneş ışığı vasıtasıyla gerekli olan aydınlatma değerlerinin

sağlanabilmesi amacıyla çoğunlukla tüm mekanlarda pencere ya da çatı ışıklıklarının ortam aydınlatması için kullanımı söz konusudur. Bununla birlikte doğal aydınlatma sistemleri 5 grupta ele alınabilmektedir. Bunlar:

2.8.1 Pencere Yapıları

Pencere yapıları dikdörtgen veya kare biçiminde çeşitli boyutlarda mekanların dış duvarlarına yerleştirilmesi sağlanan ve çalışma düzlemi için gereksinim duyulan aydınlık seviyesine ulaşabilmesine yardımcı olabilmesini sağlayan yapılardır. Gün ışığı açıklıkları olarak da adlandırılabilir. Pencere yapıları tüm hava koşullarında kullanılabilir ve iklim tiplerine bağlı olarak tasarlanması durumunda dikkate alınmalıdır. Resim 2.4’de pencere yapılarının doğal aydınlatmadan yararlanılabilmesi için bir kullanım örneği verilmiştir.

Pencereler mekân içerisinde yer alan kişilerin görüş bölgesi sınırlarında yer almasından dolayı doğrudan pencereden gelmekte olan güneş ışınlarının içerisinde yer alan göz sağlığına zararlı UV ve IR ışınlarına karşı korunma tedbirleri uygulanması ergonomik açıdan büyük önem arz etmektedir.

Pencere yapılarının doğru bir şekilde kullanılması ile birlikte güneş ışığının mekân içerisinde homojen bir yayılımı sağlanarak aydınlatma kalitesi artarak, mekân aydınlatması için gerekli olan enerjinin büyük bir oranda azaltılarak, yüksek miktarlarda enerjide tasarruf yapılabilir (Yener 2007).



Resim 2.4 İç ortamın aydınlatılmasında verimli bir pencere kullanımı (İnt. Kyn. 10).

2.8.2 Çatı Işıklıkları

Çatı ışıklıkları, aydınlatılması planlanan mekânın üst çatı kısmına tasarımı yapılarak entegre edilen düz veya çapraz bir şekilde konumlandırılması sağlanan ortam için gerekli olan aydınlatma değerinin kontrollü bir şekilde karşılanabilmesi amacıyla kullanılan yapılardır. Bu yapıların kullanım çeşitlerine bağlı olarak bina şekli ile iç ortam dizayn durumu değişiklik gösterebilmesi ile birlikte iç mekânda aydınlatma bakımından güneş ışığı değerlerinin yayılımı çeşitlilik gösterebilmektedir. Doğrudan güneş ışığının iç mekân aydınlatmasında kullanılabilmesi için kontrol altına alınabilmesi gerekmektedir. Hava koşullarının kapalı olduğu bölgelerde kullanılması daha uygun olmaktadır.

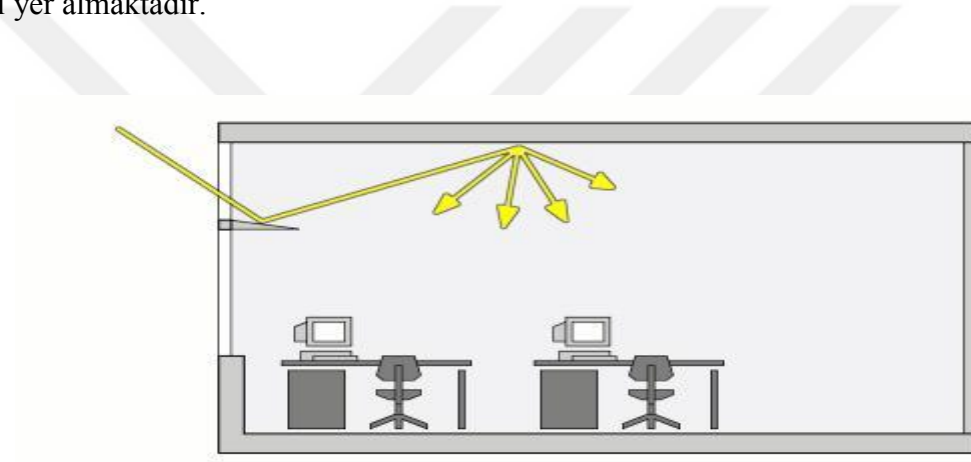
Sürekli çatı açıklıkları testere ağzı biçiminde zig zaglı bir şekle sahiptirler. Çoğunlukla tek tarafları saydam bir yapıya sahip açıklıklardır. Genişlik ve uzunluk durumlarına bağlı olarak iç ortamda sağlamış olacağı aydınlatma yayılımı ve değerlerinde farklılıklar görülebilmektedir. Resim 2.5’de Çatı ışıklıklarına örnek olabilecek bir uygulama örneği verilmiştir. Endüstriyel tesislerin aydınlatılmasında çoğunlukla kullanılmaktadır. Ancak okul, ofis, kütüphane vb. geniş boyutlara sahip olan mekanlar için gerekli aydınlatma değerinin karşılanabilmesine yardımcı olabilmesi için tercih edilebilmektedirler (Yener 2007).



Resim 2.5 Çatı ışıklıkları örnek uygulaması (İnt. Kyn. 11).

2.8.3 Işık Rafi Sistemleri

Işık rafi sistemleri günışığından yardım alınarak kullanılacak olan iç mekânın aydınlatılabilmesine katkı sağlayan ve aydınlatma için ihtiyaç duyulan enerji üzerinde azalma sağlayarak kullanılan enerjide tasarruf yapılmasına imkân sağlamaktadır. Işık rafi sistemleri, üst kısmına yansıtma değeri yüksek olan bir malzeme ile kaplanması sağlanan yatay şekilde ya da belirli bir açı değeri ile imal edilebilen yapılardır. Kullanılacak olan binanın iç tarafında veya dış tarafında konumlandırılması sağlanabilmektedir. Güneş ışığını engellemek amacıyla ya da günışığından faydalanabilmek amacıyla kullanım durumları bulunabilmektedir (Demir vd. 2020). Şekil 2.8’de ışık rafi sisteminin çalışma şekli yer almaktadır.



Şekil 2.8 Işık rafi sisteminin çalışma prensibi (İnt. Kyn. 12).

2.8.4 Işık Tüpü Sistemleri

Işık tüpleri, dış çevrede yayılan günışığının toplanması sağlanarak iç mekâna aktarımını sağlamayı ön gören sistemlerdir. Sistemin temel yapısında günışığının toplanabilmesini sağlayan başlık yapı, toplanan ışığın iç ortama aktarımını sağlayan bir tüp yapısı ve bununla birlikte toplanan günışığının iç mekâna homojen bir şekilde yayılımını sağlayabilmek amacıyla bir difüzör yapı yer almaktadır. Sistem yapısında yer alan ışık tüpü beyaz ya da yansıtma değeri yüksek olan bir malzeme ile iç yüzeyi kaplanmaktadır. Işık tüpü sistemleri, gece kondu tarzı tek kattan meydana gelen bina yapılarında yer alan oda yapılarının ve bununla birlikte pencere bulunmayan mekanların aydınlatılabilmesinde tercih edilebilmektedirler. Bu sayede iç mekânın aydınlık

seviyesinin artırılarak, görsel konforun üst seviyelere çıkarılabilmesine imkân tanımaktadır (Ünal vd. 2005). Şekil 2.9’da Işık tüpü yapısı ve bileşenleri verilmiştir.

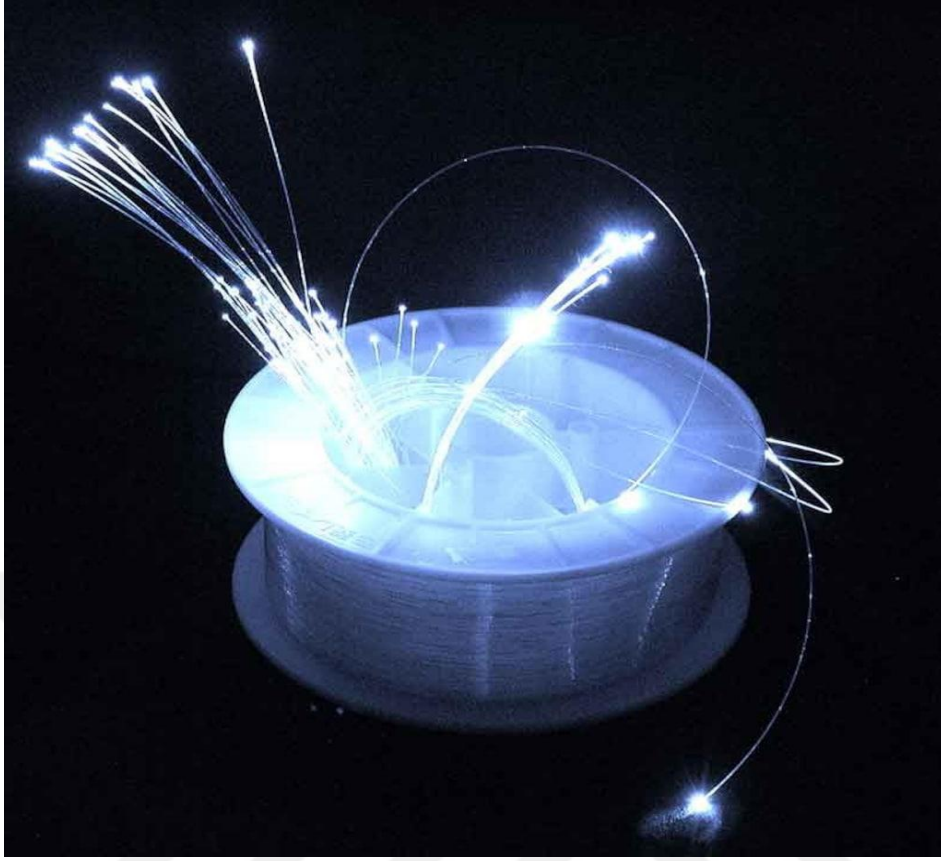


Şekil 2.9 Işık tüpü sistemlerinin iç yapısı ve çalışma şekli (İnt. Kyn. 13).

2.8.5 Fiber Optik Aydınlatma Sistemleri

Çanak yoğunlaştırıcı vasıtasıyla güneş enerjisinin fiber optik kablolar aracılığı ile taşınması prensibi ile çalışmasını sürdürmekte olan fiber optik aydınlatma sistemleri, 20. yüzyıl sonlarına doğru Fransız kökenli olan bilim insanları aracılığı ile meydana getirilmiştir. Fakat yapılmış olan bu araştırma ve geliştirme çalışmaları, fiber optik kablo yapılarının imalat ve tedarik fiyatlarının yüksek olması, dayanımı fazla olan fiber optik kablo yapılarının bulunmaması sebeplerinden dolayı teorik olarak çalışmalar yapılmış ancak uygulamalı çalışmalar maalesef yapılması kısıtlı olmuştur. 21. yüzyıl zamanlarına gelindiği taktirde ise üst düzey niteliklere sahip olan fiber optik sistemlerin keşfedilmesi ile birlikte çanak yoğunlaştırıcı vasıtasıyla güneş enerjisinin fiber optik kablolar aracılığı ile taşınması prensibi ile çalışmasını sürdürmekte olan bu sistemler, çeşitli çalışma alanlarında pratik çözüm olanakları ortaya çıkartmaktadır. Çanak yoğunlaştırıcı sistem yapıları genel olarak şu alanlarda kullanımı söz konusudur:

- Güneş enerjisi vasıtasıyla iç mekanların aydınlatılması,
- Güneş enerjisinin yoğunlaştırılarak enerji üretilmesi,
- Güneş enerjisi ile tetiklenebilen lazer yapıları,
- Güneş ışığı ile yapılmakta olan kimyasal reaksiyonların gerçekleştirilmesi gibi alanlarda kullanımları söz konusudur (Kandilli vd. 2007). Resim 2.6’da fiber optik kablo yapıları ve aydınlatma durumu gösterilmiştir.



Resim 2.6 Fiber optik kablo yapıları ve ışık iletimi (İnt. Kyn. 14).

2.9 Aydınlatma Sistemlerinde Enerjiden Tasarruf Edilmesi

Aydınlatma sistemlerinde tasarruf sağlanabilmesi ilk olarak tesisat projelerinden itibaren başlamaktadır. Bunun nedeni tesisatta yapılan matematiksel formüllerle belirlenmesi aşamasında dikkatli ve düzgün, net bir şekilde belirlenmesi ile birlikte ortamda verimlilik değeri yüksek olan armatürlerin tespit edilerek yerleştirilmesi ile birlikte pasif olarak harcanacak olan enerji yönünden tasarruf elde edilebilmektedir.

Bununla birlikte doğal aydınlatma sistemlerinden en verimli biçimde ortamın gerekli aydınlatma değerinin sağlanabilmesi için tercih edilmesi ile birlikte harcanan enerjiden büyük miktarda tasarruf edilmelidir. Ortamın doğal aydınlatma sistemleri ile aydınlatılmasının sağlanması sayesinde görsel bakımdan ortamda yer almakta olan kişilerin göz sağlığı desteklenmekte, aydınlatılmakta olan kişilerin performanslarında bir yükseliş meydana gelmesine ve aydınlatma için harcanacak olan maliyet büyük oranda azalış gösterecektir (Gençoğlu 2005).

2.9.1 Ortam Aydınlatmasının Düzgün Şekilde Sağlanması

Yüksek değerlerde ışık yoğunluğuna sahip olan mekanların düzgün bir şekilde aydınlatılmış olduğu kanısına maalesef varılamaz. Bunun en temel sebebi ortamın aydınlık değerinin yüksek seviyede değerlere sahip olmasından çok ihtiyaç duyulmakta olan aydınlatma şiddeti değerinin matematiksel hesaplamalar ve verimlilik değerlerine bağlı olarak doğru bir şekilde ortamın aydınlatılması ve gereğinden fazla değerlere çıkmasını engelleyerek aydınlatmadan tasarruf elde edilebilmektedir.

Ortamın aydınlatılabilmesi amacıyla seçilecek olan aydınlatma elemanının seçiminde şu faktörler büyük bir önem arz etmektedir:

-Kullanılacak olan aydınlatma elemanının adeti ne kadar fazla ise seçilecek olan elemanların kullanım ömürlerinin o kadar yüksek değerlerde ve beraberinde verim değerlerinin de yüksek değerlere sahip olanları tercih edilmelidir.

-Fiyat bakımından en az olan lambanın tercih edilmesi kısa vadede bir kâr gibi görünse de uzun vadede maalesef kazanç sağlamayacaktır. Bunun en temel sebebi aydınlatma elemanının çalışma ömrünün tamamlanmasına kadar ortamın aydınlatılabilmesi için gerekli olan enerjinin maliyet değeri aydınlatma elemanının ilk alış değerinden neredeyse on katlık bir değerde yüksek olması ön görülmektedir. Tüketilen enerji verimlilik değerleri daha üst seviyelerde olan aydınlatma elemanlarının ise ilk alış değeri diğerlerine kıyasla fazla olsa da harcanacak olan enerji maliyetlerinin daha düşük seviyelerde olmasından ötürü kısa bir zaman diliminde diğer aydınlatma elemanlarına kıyasla daha yüksek kazanç sağlamaktadır.

-Tercih edilecek olan aydınlatma elemanının verim değerleri fazla olan, kullanım ömrünün yüksek olduğu ve ilerleyen zaman dilimleri ile birlikte meydana gelecek olan ısı akısında meydana gelen düşüm değerleri düşük seviyelere sahip olan aydınlatma elemanları kullanılmalıdır (Gençoğlu 2005).

2.9.2 Ortam Aydınlatmasının Denetlenmesi ve Kontrolünün Sağlanması

Gün geçtikçe gelişmekte olan teknoloji ve iş gücü ile birlikte enerjiye olan gereksinimler gün geçtikçe artış göstermektedir. Ülkemizde gereksinim duyulan ve harcanmakta olan enerjinin büyük bir bölümü aydınlatma için kullanımı söz konusudur. Bu sebepten ötürü harcanmakta olan enerjiden tasarruf ederek, verimli bir şekilde aydınlatma sisteminin kullanılabilmesi amacıyla aydınlatma denetleme ve kontrol sistemleri ortaya çıkmıştır.

Aydınlatma denetleme ve kontrol sistemlerinin tercih edilmelerindeki temel sebepler arasında şunlar gösterilebilmektedir:

- Aydınlatma denetleme ve kontrol sistemlerinin kullanımı ile birlikte yapılacak işlere göre aydınlatmanın değerleri belirlenebileceği için verimlilik değerlerinde bir artış meydana gelecektir.
- Ortamda kullanılacak olan aydınlatma değeri azaltılıp arttırılabildiğinden dolayı direkt olarak en yüksek güçte kullanılmasına kıyasla enerjiden fazlası ile bir tasarruf elde edilebilmesine imkân tanımaktadır.
- Bu sayede görsel konfor ortamı sağlanarak hem ortamda yer alan kişi veya kişilerin göz sağlığı korunması ile birlikte performans yönünden de bir artış meydana gelmesini sağlamaktadır.

Üretim yerleri, çalışma ofisleri, toplu çalışma atölyeleri, alışveriş merkezleri vb. yerlerde aydınlatma için harcanmakta olan enerji miktarı çok yüksek değerlerde olmasından dolayı bu tür yerlerde, yapılan işteki performansın arttırılabilmesi bakımından aydınlatma denetleme ve kontrol sistemlerinin kullanımı ile hem kullanılacak olan enerjiden tasarruf sağlanabilmesi ile birlikte hem de çalışanların daha iyi bir performans göstererek rahat bir şekilde çalışmalarına imkân sağlamaktadır.

İşi gereği telefon, bilgisayar vb. teknolojik cihazları uzun süreli olarak kullanma zorunluluğu bulunan çalışanlar için en büyük problemlerden birisi ekran yansımalarının meydana gelmesidir. Bu problemin ortadan kaldırılabilmesinin en temel çözümleri aydınlatma sistemlerinin ortam aydınlık değerine göre kontrol altına alınması ve yerleştirilecek olan aydınlatma elemanlarının özel olarak yerleştirilmesidir.

Aydınlatma elemanlarının denetlenmesi ve istenilen değerlere getirilebilmesi amacıyla parlaklık kontrolü yapabilen dimmer devre yapıları kullanılmaktadır. Dimmer devreleri sayesinde parlaklık değerinin azaltılıp arttırılabilmesi ile birlikte aydınlatma için harcanmakta olan enerjiden büyük ölçüde bir tasarruf elde edilebilmesi ile birlikte kullanılan aydınlatma elemanlarının kullanım ömürlerinin de arttırılabilmesi sağlanabilmektedir. Dimmer devreleri aracılığı ile harcanmakta olan enerjinin azaltılması ve en etkin bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla aydınlatma otomasyonu sistemleri çeşitli çalışma alanlarda tercih edilmektedir. Çalışma ortamında en üst düzeyde gün ışığından faydalanabilmek, gereksiz yere kimsenin bulunmadığı yerlerde enerjinin boşa harcanmasının önüne geçilebilmesi amacıyla pır sensörlerinin tercih edilmesi büyük bir öneme sahiptir (Gençoğlu 2005).

2.10 Hibrit Aydınlatma Sistemleri Uygulama Alanları

Aydınlatma sistemleri, tercih edildikleri mekanların niteliksel özelliklerine bağlı olarak ve kullanım sebeplerine bağlı bir şekilde değişiklik gösterebilmektedir. Meskenler, ofisler, okullar, müzeler, tüneller, hastane vb. binaların her birinde istenen şartlar değişiklik göstermektedir. Okullarda kullanılan doğal aydınlatma sistemleri sayesinde bulunan ortamdaki kişilerin psikolojik durumları üzerinde meydana getirmiş olduğu pozitif etki durumları ve öğrenme kabiliyetlerinde bir artış durumunun meydana gelmesine olanak sağladığı belirlenirken, müze ve sergi alanlarının bulunduğu mekânlarda ise doğal aydınlatma kullanımı ile birlikte içeride yer alan eserler üzerinde tahribat durumlarının meydana gelebilmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple kullanılacak olan doğal aydınlatma sisteminin gerekli görüldüğü mekânın ihtiyaçlarının belirlenmesi ve uygun olan sistem tasarımının gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

2.10.1 Tünel Aydınlatmaları

Tüneller sürücülerin uzun yollar kat etmesinin önüne geçerek daha hızlı bir şekilde varış noktalarına ulaşabilmek ve bununla birlikte uzun mesafeler sonucunda harcamakta olduğu enerji ve çevreye yüksek oranda salacağı karbon emisyonlarının

azaltılabilmesinde çok önemli bir rol oynamasından kaynaklı olarak tünel sayıları hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Büyük uzunluk ve genişliklere sahip tünel sayılarının gün geçtikçe artış göstermesi ile birlikte sürüş güvenliği, göz konforunun sağlanabilmesi ve harcanan enerjiden tasarruf elde edilebilmesinde zorluklar baş göstermeye başlamıştır. Bu sebeple bir yandan yapılan mantıksız işletim sorunları ile birlikte küçük çaplı olarak meydana gelen trafik kazaları bile ağır derecede bir can ve mal kayıplarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bir diğer taraftan ise tünel işletmesi için gerekli olan ekipmanların, donanımların ve gerekli olan enerji maliyeti yüksek değerlerde olmaktadır. Özellikle tünellerde kullanılan aydınlatma elemanları için gerekli enerji göz ardı edilemeyecek seviyelerdedir. Çin hükümetinin 2030 yılına kadar karbon azaltım hedefleri ve 2060 yılına kadar karbon nötr değerine ulaşabilmesi bakımından karbon emisyon değerlerinin istenilen seviyelere indirgenebilmesinde ki baskı çok büyüktür. Bu sebeple kullanıcılar için sürüş güvenliği ve harcanan enerjiden tasarruf sağlanabilmesine yönelik uygulamaların araştırılması öncelikli bir gerekliliktir.

Tünel içerisinde konumlandırılmış olan sensörler aracılığı ile iç ortamdan alınan verilerin kontrol sistemine aktarılabilmesini sağlayan bir aydınlık şiddeti ölçüm cihazı, tünel dışına isse simülasyonu sağlanmış olan trafik akış sensörü konumlandırılmıştır. Kapalı devre kontrol sistemi ile geri beslemeli bir parlaklık ölçer ile kontrol sağlanmıştır.

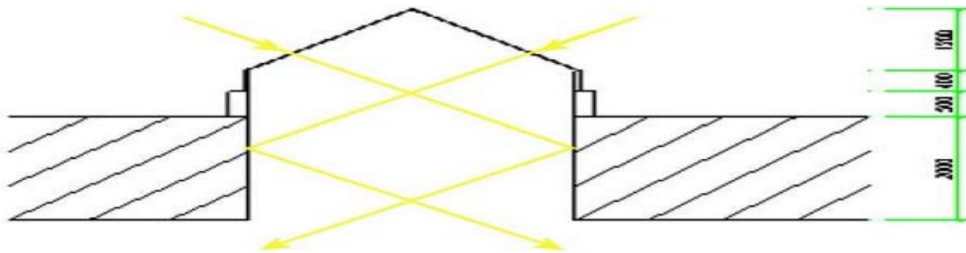
Tünellerde yapılan Fiber optik kullanılarak günışığı aydınlatma sistemi tasarımı ile birlikte yalnızca yapay aydınlatma sistemi kullanılması durumunda aydınlatma gücü ortalama değeri %74,2 gibi yüksek bir değere sahipken, fiber optik günışığı aydınlatma sistemi kullanılması ile birlikte bu değer %36,8 değerine kadar gerilemektedir. Ortalama harcanan güç değeri %34,7 oranında azaltılabilmektedir. Yazın güneşli günlerde yüksek güneş ışığı olduğu durumlarda aydınlatma gereksinimine bağlı olarak gün ışığından gerekli talebi karşılama oranı %79,8 değerine kadar arttırılabildiğini ortaya koymaktadır (Shi vd. 2023). Resim 2.7’de tünel aydınlatmasında kullanılan doğal aydınlatma tekniği olan güneş ışığı yoğunlaştırıcı difüzör yapıları ve bununla birlikte ışığın yetersiz kalması durumunda devreye alınacak olan LED yapıları yer almaktadır.



Resim 2.7 Tünel aydınlatmalarında güneş ışığı yoğunlaştırıcı sistemlerinin kullanım örneği (Shi vd. 2023).

2.10.2 Yeraltı Otoparkları

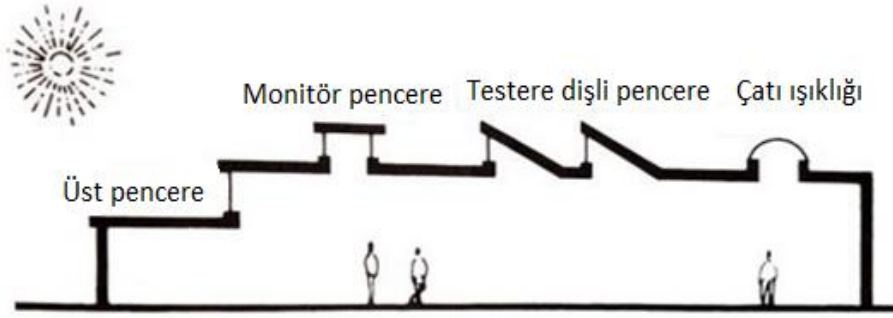
Nüfusun gün geçtikçe artış göstermesi ile birlikte yapıların artması ve kullanılabilecek olan alanların kısıtlanmasına neden olmaktadır. Bu sebeple yeraltı alanlarının uygun bir şekilde kullanılması gerektiği kentsel olarak gelişimin göz ardı edilemeyecek olan bir uygulamasıdır. Gün geçtikçe özel araç sahibi sayısı artmakta ve kullanılabilecek alan ise ters orantılı olarak azalış eğilimine girmektedir. Bundan dolayı yeraltı garajları bu sorunların çözümü için önemli bir yer tutmaktadır. Fakat yeraltı garajları aydınlatma bakımından yetersiz, rutubetli bir ortam oluşturabildiğinden insanlar için rahatsızlık ve depresyon psikolojik durumların ortaya çıkabilmesine neden olmaktadır. Yeraltı alanlarının güneş ışığı sistemleri ile aydınlatılması ile birlikte hem ergonomik bir aydınlatma ortamı sağlarken hem de enerjiden tasarruf sağlayabilmektedir. Oluşabilecek olan birçok hastalıklar durumlarının ortadan kaldırılabilmesine yardımcı olabilir. Çatı ışıklıkları tasarımı yapılarak güneş ışığını iç ortama aktarılması sağlanmıştır (Qu vd. 2020). Şekil 2.10'da yeraltı otoparklarının aydınlatılmasında kullanılan sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Yeraltı otoparklarının aydınlatılmasında kullanılan sistem (Qu vd. 2020).

2.10.3 Yeraltı Evleri

Günişığı insan yaşamı üzerinde çok büyük bir önem arz etmektedir. Eski çağlardan günümüze kadar günişığı, zamanın belirlenebilmesinde ve gece-gündüzün ayırt edilebilmesinde sıkça tercih edilmiştir. Yaşamsal alanların meydana getirilebilmesinde yaşanılacak bir ortam için gerekli şartların sağlanabilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Yeraltı evleri, çevrenin korunabilmesine pozitif etki etmekte olan ekolojik yapılar olarak bilinmektedir. Yeraltı evleri, pencere yapıları, testere biçiminde pencereler, monitör pencere, çatı ışıklıkları ve ışık tüpü gibi metotlar ile yeraltı evlerinin gerekli aydınlatma gereksinimleri karşılanabilmektedir. Fakat günişığı sistemlerinin uygulanabilirliği, uygulanacak olan mekânın yapısına, yeraltı evinin yapısına, konumlandırılan bölgenin coğrafi özellikleri ve konumlandırılma durumlarına göre kullanımları sınırlı olmaktadır. Yeraltı ev yapısının yerin derinliklerine uzun mesafelerde taşınması durumunda, günişığın iç mekâna ulaşabilmesi zorlaşmaktadır. Bu tür sorunların yaşanması durumunda günişığın kırılımını sağlayan ayna yapıları ile ışık tüpleri ile ek teknolojik malzemelerin kullanılması gerekmektedir (Prelvukaj ve Abazi 2021). Şekil 2.11’de yeraltı evlerinde kullanılan aydınlatma şekilleri ve isimleri yer almaktadır.



Şekil 2.11 Yeraltı evleri aydınlatma şekilleri (İnt. Kyn. 20).

2.11 Günişığı Aydınlatmalarında Kullanılan Kontrol Sistemleri

Günişığı sistemleri günün farklı saatlerinde güneşin durumuna, iç mekân içerisindeki kişilerin olup olmadığına, çalışma saatlerine bağlı olarak, kullanım durumuna bağlı olarak ya da günişığından sağlanan aydınlatma değerine göre farklı kontrol sistemleri bulunmaktadır.

2.11.1 Varlık Algılayıcı Dedektörlü Kontrol Sistemleri

Varlık algılayıcı dedektörlü aydınlatma kontrol sistemleri genel olarak kamu ile ticarethanelerde kullanımları söz konusu olan kontrol metotlarından birisidir. Bu tür sistemlerin temel olarak çalışma mantığı ortamda bir kişinin bulunması durumunda ışıkları açık konuma getirilebilmesine imkân sağlarken, ortamda kimse bulunmadığı durumda ise ışıkların kapatılabilmesini sağlamaktadır. Bu tür kontrol sistemleri genel olarak mimari olarak yaşanan sıkıntılar veya algılayıcı dedektör yapılarının konumlandırılma gibi problemler sebebiyle ortamda bulunan kişiyi veya kişileri algılayamaz ve ortamda bir kişi bulunmasına rağmen ışıkların söndürülmesine neden olabilmektedir. Ortamda bulunan kişinin hareketsiz kalması durumunda da kişinin algılanamamasına neden olduğundan dolayı ışıkların istenilmemesine rağmen kapatılmasına sebep olabilmektedir. Bu tür problemler sürekli bir şekilde olması durumunda kullanıcı açısından istenmeyen bir durumun meydana gelmesine sebep olabilmektedir. Lamba yapılarında kullanım ömürlerini etkileyen parametrelerden birisi de açma-kapama sayısıdır. Sürekli bir şekilde aydınlatma elemanlarının kapatılıp açılması durumunda lamba ömründe bir azalma durumunun meydana gelmesine neden olabilmektedir (Kunduracı ve Kazanasmaz 2016).

2.11.2 Günişığı Algılayıcı Dedektörlü Kontrol Sistemleri

Günişığından gereksinim duyulan aydınlatma değerlerinin ne kadarlık bir kısmının karşılanabileceğinin önceden belirlenebilmesinde çalışma saatleri ile yönelim durumlarından faydalanmak yeterli olmayacaktır. Bunun nedeni günişığından sağlanacak olan aydınlatma değerlerinin hava koşulları, açıklık değerleri, kullanılan materyalin ışık geçirgenlik değerleri, gölge durumlarının meydana gelebilmesine sebep olabilecek yapılar vb. birçok faktöre bağlı olarak karşılanacak olan aydınlatma değerleri değişiklik gösterebilmektedir. Günişığı algılayıcı dedektör sistemleri, kullanılan mekân içerisindeki günişığı aydınlık değerlerine bağlı olarak kullanılan yapay aydınlatma elemanlarının parlaklık değerlerinin gereksinimlere bağlı olarak azaltılması ya da arttırılabilmesine ve bu sayede aydınlatma için harcanacak olan enerjinin minimum seviyeye indirgenebilmesi sağlanarak enerjinin etkin bir şekilde kullanılması sağlanarak

bu sayede tasarruf elde edilebilmesine imkân vermektedir (Kunduracı ve Kazanasmaz 2016).

2.11.3 Zaman Ayarlı Kontrol Sistemleri

Oluşturulmuş olan yönetmelikler ile birlikte farklı kullanım yerleri için çeşitli aydınlatma seviyeleri belirlenmiştir. Bununla birlikte farklı zaman dilimlerinde çalışma durumlarına bağlı olarak aydınlatma sistemleri insan kontrolüne gereksinim duymadan oluşturulmuş olan kontrol sisteminde belirlenmiş zaman dilimlerine bağlı olarak aydınlatma sisteminin devreye girmesi ya da devreden çıkması sağlanarak enerjiden tasarruf edilebilmesine imkân tanıyan aydınlatma kontrol sistemlerinden birisidir. İş çalışma saatleri dışında zaman dilimleri, molalar, çalışma koşullarının gereklilikleri gibi farklı durumların analiz edilmesi ile birlikte aydınlatmanın devreye girip çıkabilmesi sağlanabilir (Kunduracı ve Kazanasmaz 2016).

2.11.4 Hibrit Kontrol Sistemleri

Farklı kontrol metotlarının bir arada bulunduğu kontrol sistemlerine kombine kontrol sistemleri adı verilmektedir. Örneğin ortamda birinin bulunup bulunmadığı varlık sensörleri ile tespit edildikten sonra birisi varsa günışığı kontrol sistemleri aracılığı ile sistemde yer alan yapay aydınlatmaların kontrol edilebilmesine olanak sağlayan sistemler ya da farklı zaman dilimlerinde mola, iş çıkış saati ya da çalışma saatleri içerisinde farklı çalışma durumları için bir analiz durumu gerçekleştirildikten sonra oluşturulan aydınlatma seviyeleri ya da aydınlatma elemanlarının devreden çıkması veya devreye girmesinin kontrol altına alınması ile birlikte en yüksek tasarruf oranlarına ulaşılabilmesine imkân sağlayan kontrol sistemlerinden birisidir.

2.12 Yapay Aydınlatmada Kullanılan Parlaklık Kontrol Metotları

Parlaklık kontrolünün uygulanma sebepleri görsel konfor ortamın sağlanarak iç mekânda yer alan kişilerin uygun çalışma koşullarının sağlanabilmesi ile birlikte yapay aydınlatma tarafında tüketilecek olan güç değerlerinin düşük seviyelere indirgenebilmesini

sağlamaktır.

2.12.1 Darbe Genişlik Modülasyonu ile Kontrol

Darbe genişlik modülasyonu, darbelerin görev döngüsünü sabit bir frekans değerinde değiştirilebilmesini sağlarırken, aydınlatma tarafına sağlanacak olan gücün kontrol edilebilmesini sağlayan sistemlerdir. Akımın şeklini değiştirerek ışık akısının %1 ile %99 arasında değişimini sağlayarak parlaklığın kontrol altına alınabilmesine imkân sağlayan sistemlerdir (İnt. Kyn. 19).

2.12.2 DMX512 ile Kontrol

ESTA (Eğlence Hizmetleri ve Teknoloji Derneği) komitesi tarafından üretilmiş ve yarı çift taraflı olarak veri geçişlerini sağlayan sistemlerdir. Tek kablo üzerinden sinyal gönderimi sağlayarak aydınlatma elemanlarını, donanımları, dimmer yapılarının kontrol altına alınabilmelerine olanak tanıyan sistemlerdir. Standartlara göre DMX512 hattına 32 adete kadar cihaz eklenmesi sağlanabilir bununla birlikte iletişim hattının uzunluğu 1 km boyunca olabilmektedir (Kudryashov vd. 2018).

2.12.3 Uzaktan Cihaz Yönetimi

DMX gibi bu sistemde ESTA derneği tarafından geliştirilmesi sağlanan bir sistemdir. DMX512 sisteminden farklı olarak, tam olarak çift taraflı bir veri akışını sağlayan sistemdir. Bu sistem bağlantısı bulunan cihazları dinamik bir şekilde kontrol edilebilmesine imkân tanır (Kudryashov vd. 2018).

2.12.4 Konnex (KNX) ile Kontrol

Konnex (KNX) sistemleri şu anda en çok tercih edilen ve kullanılan kontrol sistemleri arasında yer almaktadır. KNX sistemleri yüksek düzeyde güvenilirlik, yüksek düzeylerde ve hızlı bir şekilde veri aktarımını sağlayan kontrol sistemleridir. Kablo ile ya da Ethernet ağı aracılığı ile kontrol edilebilmeye imkân tanımaktadır (Kudryashov vd. 2018).

2.12.5 Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü (DALI) Kontrol Sistemi

Standart dijital aydınlatma protokolü olarak bilinmektedir. DALI protokolü, kontrol sistemi ile kontrolü sağlanacak olan sistemler arasında ortak bir veri akış yolunun sağlanabilmesine imkân sağlamaktadır. Farklı aydınlatma elemanı üreticileri vasıtasıyla üretimi sağlanan balast sistemleri, sürücü yapıları, kontrol üniteleri, yapay aydınlatma araçları, acil aydınlatma sistemleri vb. birçok sistemin tek bir kontrol sistemi aracılığı ile kontrol altına alınabildiği sistemlerdir (Kudryashov vd. 2018).

2.13 Güneş Takip Sistemleri

Teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi, gün geçtikçe artmakta olan insan sayısı, fabrikaların artış sağlaması, talep edilen ihtiyaçların artması ve bununla orantılı olarak üretim tesisleri için harcanmakta olan enerji değerlerinin günden güne daha da artış göstermesi nedeniyle gün geçtikçe enerji ihtiyacı artış göstermekte ve talebin karşılanabilmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan gereksinim giderek artış göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisi kullanım kolaylıkları, kullanılabilecek yerlerin çoğunlukta olması ve güvenilir bir enerji kaynağı olmasından dolayı talep edilen bir enerji kaynağıdır (Keçel vd. 2015).

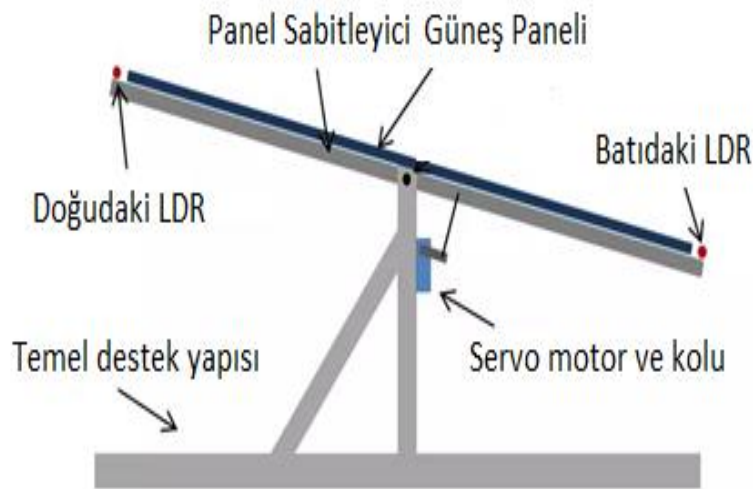
Güneş ışığından elde edilebilecek olan gerilim değerlerinin en yüksek seviyelere çıkartılabilmesi amacıyla güneş panelleri güneş takip sistemleri ile sürekli olarak ışığın geldiği açıya doğru hareket eylemini gerçekleştirmesine imkân tanıyan sistemlerdir. Güneş takibini sağlamakta olan güneş takip sistemleri kullanılan bir sistem ile panel yapılarının sürekli aynı konumda kaldığı bir sistem arasında %50 oranına kadar ulaşabilen bir verim farkı oluşabilmektedir (Çağlar vd. 2019).

2.13.1 Elektronik Cihazlar Vasıtasıyla Çalışmasını Sürdüren Güneş Takip Sistemleri

Çalışmasını sürdürürken belirli bir enerjiye ihtiyaç duyan güneş takip sistemleridir. Güneşin doğrultusunu tespit edebilmek amacıyla ışık sensörü yapıları tercih edilmektedir. Işık sensörleri ile güneşin yerinin belirlenmesi ile birlikte sistemde yer alan motor

yapılarının harekete geçmesi sağlanarak, güneşin durumuna bağlı olarak panel yüzeyine dik bir açı ile gelebilmesini sağlayan sistemlerdir. Genel olarak bu takip sistemleri çift eksenli olarak güneşin konumunu takip etmeye imkân tanımaktadır. Bu şekilde yalnızca doğu-batı yönlerinde güneşi takip etmek yerine kuzey ve güney yönlerinde de güneşin konumunu takip edebilen sistemlerdir. Şekil 2.12’de güneş takip sisteminde kullanılan temel yapılar yer almaktadır.

Isı değişimlerinin bir önemi yoktur. Bu sebepten dolayı kış aylarında ısı durumuna bağlı olarak çalışan güneş takip sistemlerine kıyasla daha yüksek düzeyde performans gösterebilmektedirler. Kurulumları yapılmadan sistemin bir yerden bir yere götürülebilmesi sağlanarak getir götür yapılması durumunda giderlerde ve getir götür durumunda ortaya çıkabilecek olan sorunlar düşürülebilmektedir. Olumsuz yönleri arasında algoritmalar tarafından çalışmasını sürdürmelerinden dolayı karmaşık bir yapıya sahiptirler ve elektronik aksamlar içerisinde barındırmasından ötürü herhangi bir arıza durumları oluşabileceğinden dolayı güvenlik durumları düşüktür. Direkt olarak yıldırım düşmeleri ya da yakın bir alana düşmesi durumunda sistem üzerinde birtakım problemler ortaya çıkararak sistemi olumsuz etkileyebilmektedir ve bununla birlikte bakım ve kurulum maliyetleri ısı vasıtasıyla çalışan sistemlere kıyasla bir o kadar yüksek olmaktadır (Bayrak ve Gençoğlu 2011).



Şekil 2.12 Güneş takip sistemi yapısı ve kullanılan elemanların gösterimi (İnt. Kyn. 15).

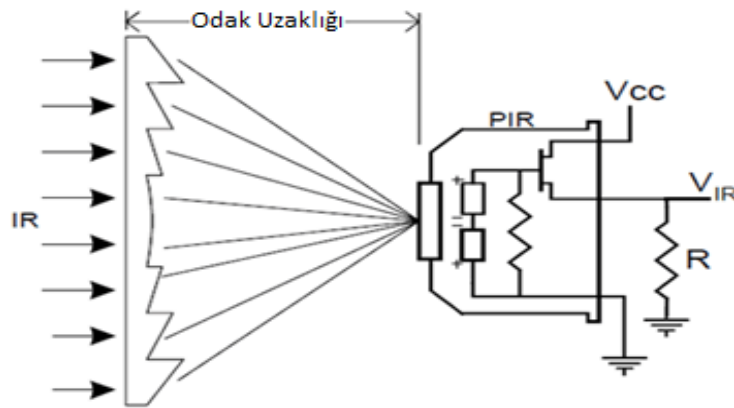
2.14 Otomatik Olarak Varlık ve Hareket Algılama Dedektörleri

Kullanıcılar genel olarak varlık algılama cihazı beklentileri varlık algılama cihazı ile aydınlatmanın denetlemesinin yapılmış olduğu bir mekânda bulunulması durumunda hareket aktivitesini gerçekleştirmemiş bile olsa varlık algılama cihazı içeride birinin bulunduğunu tespit ederek, aydınlatmanın devamlılığını sağlamasını istemektedir. Fakat ortama entegre edilmiş bir şekilde bulunmakta olan varlık algılama cihazı ortamda meydana gelecek olan bir hareket durumu sonrasında aydınlatma ve entegre bir şekilde bulunmakta olan sistem yapılarının çalışmasını sağlayacak ve önceden belirlenmiş olan zaman dilimi boyunca açık bir şekilde çalışmasını sürdürecektir. Belirlenmiş olan zaman dilimi ne kadarlık bir süre zarfına denk geliyor ise, ortamda yer almakta olan varlık algılama cihazı ortamda meydana gelecek her hareket sonrasında bu zaman diliminin başa sarmasını sağlayarak yeniden sayım işleminin gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Fakat aydınlatmanın çalışmasını sağlayacak olan bu zaman dilimi içerisinde hiçbir hareket meydana getirilmeden bir kitap, dergi vb. bir yazıyı hiçbir hareket meydana getirilmeden okuduğunuz taktirde varlık algılayıcı cihazın aydınlatmanın devamlılığını sağlayamamaktadır. Bu durumun genel olarak meydana gelmesinin nedeni, varlık algılama cihazı olarak satışı yapılmakta olan dedektör sistemlerinin birçoğunun çalışma prensibi bakımından hareket dedektörleri ile benzer bir şekilde elektro-optik ya da sinyal yankısı prensibinde olduğu şekilde çalışmasını sürdürmesinden kaynaklanmaktadır. Varlık algılayıcı dedektör sistemleri, hareket algılayıcı dedektör yapılarında olduğu şekilde aydınlatılan ortamın aydınlatma ışık şiddeti değerine bağlı olarak çalışmasını sürdürmektedir. Hareket algılaması sonrasında hareket algılayıcı dedektör yapılarında olduğu şekilde çalışma zaman dilimi belirlenmektedir. Varlık algılayıcı dedektör yapıları cihazın tespit mesafesi içerisinde meydana gelmekte olan hareket durumu neticesinde aydınlatma sisteminin devamlılığını sağlayan zaman diliminin başa sarmasını sağlamaktadır. Fakat hareket algılayıcı dedektör sistemlerine kıyasla bununla birlikte ortamdaki aydınlık şiddetinin önceden belirlenmiş olan aydınlatma değerinde olup olmadığını devamlı bir şekilde denetimini sağlayan sistemlerdir. Kullanılan bu cihaz yapılarının mekân aydınlatma değerinin denetimini sağlayabilmesi amacıyla ek bir ışık şiddeti ölçen detektöre gereksinim duymaktadır. Hareket ya da varlık algılayıcı dedektör sistemleri ile benzer şekilde çalışmasını sürdürmekte olan, hem ortamda meydana gelen

hareket durumlarını hem de ortam aydınlık şiddeti değerini devamlı bir şekilde denetlemesini sağlayan algılama sistemlerine multi-dedektör vb. adı verilmektedir (Özdemir 2017).

2.15 PIR Hareket Dedektörleri

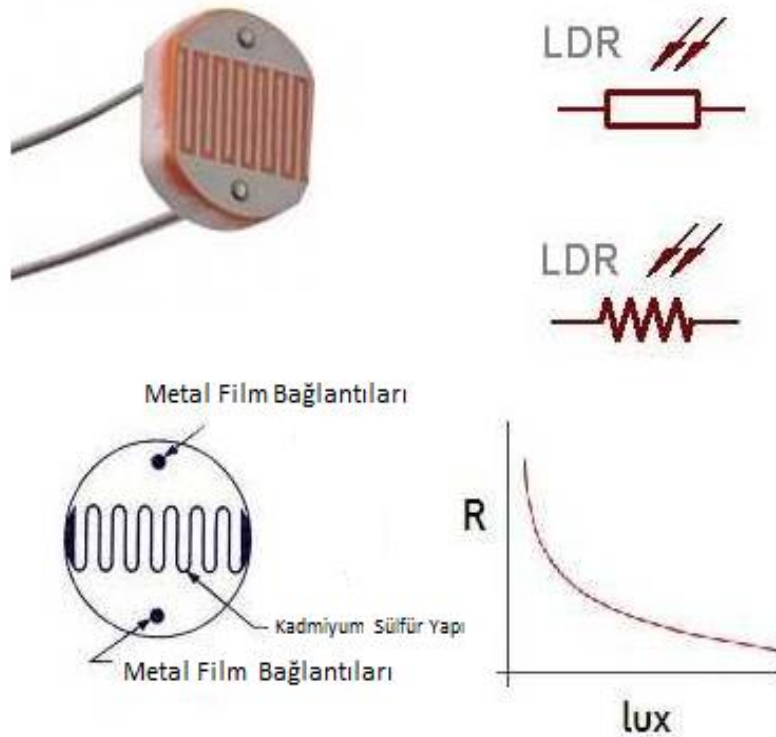
Pasif kızıl ötesi sensör (PIR) adı verilmektedir. Hareket durumlarına bağlı olarak 0 veya 1 verilerini aktararak ortamda bir kişinin bulunup bulunmadığının tespit edilmesine imkân tanıyan dijital dedektör yapılarından birisidir. Hareket algılama dedektörleri bir ortamdaki insan, sıcak değerlere sahip hayvanlar ve bir ortamda meydana gelebilecek olan bir yangın vb. durumların meydana gelmesi durumunda sıcaklık artışlarından kaynaklı bir algılama sağlayabilmektedir. Bu dedektör yapılarının üst kısmına bir fresnel yapıya sahip olan bir mercek konumlandırılmıştır. Konumlandırılmış olan bu mercek yapısı sayesinde ortamda yer alan canlının üretmiş olduğu kızılötesi ışınların tek bir noktada toplanabilmesini sağlayarak sensöre iletilebilmesini sağlamaktadır. Bu mercek hem iç tarafta yer almakta olan dedektör yapısının toz, kir vb. faktörlere karşı korunabilmesini sağlarken hem de dedektör yapısının daha hassas bir algılama yapabilmesini sağlamaktadır. Hareket sensörü gelen IR (kızılötesi) ışınlarla bağlı olarak ortam içerisinde bir kişinin veya canlının olup olmadığının tespitini yapmaktadır. Bu sayede genel olarak devre yapısında yer almakta olan anahtarlama elemanına yollanan 1 veya 0 bilgisine bağlı olarak açma ya da kapama yapması sağlanarak ışığın belirli bir süre çalışmasını sonrasında bir hareketlilik olmaması durumunda durmasını sağlamaktadır (İnt. Kyn. 16). Şekil 2.13’de hareket sensörünün iç yapısı belirtilmiştir.



Şekil 2.13 Hareket sensörü ve fresnel yapıya sahip mercek (İnt. Kyn. 16).

2.16 Işığa Duyarlı Direnç (LDR)

Ortamda yayılmakta olan ışınların yoğunluk ve şiddet durumlarına bağlı olmak üzere analog dedektör üzerine gelmekte olan ışınlarla bağlı olarak direnç değerinde artış ve azalış durumları görülebilen dedektörlerdir. Şekil 2.14’de LDR yapısının görüntüsü ve ışık şiddeti ile direnç değişim grafiği verilmiştir. Dedektör yapısına gelmekte olan ışık şiddeti arttıkça direnç değerinde azalma meydana gelirken, ışık şiddeti azalması durumunda ise direnç değerini arttıran devre elemanlarıdır. Işık şiddeti ile göstermiş olduğu direnç değeri ters orantılı bir şekilde artış ve azalış göstererek çalışmasını sürdürmektedir. Işığa duyarlı dirençlerin direnç değerleri 10 Mohm değerine kadar çıkabilmektedir. Bununla birlikte ortamdaki ışık şiddeti değerinde meydana gelen yükseliş durumu ile birlikte direnç değerleri 75 Ohm değerine kadar gerileyebilmektedir. Genel olarak gece saatlerinde aydınlatılmasının sağlanması gereken yerlerde ve güneş takip sistemleri vb. yapılarda kullanımları söz konusudur. Ancak farklı kontrol devrelerinde çeşitli işlevleri yerine getirebilmek amacıyla da kullanımları söz konusudur (Anonim 2012).

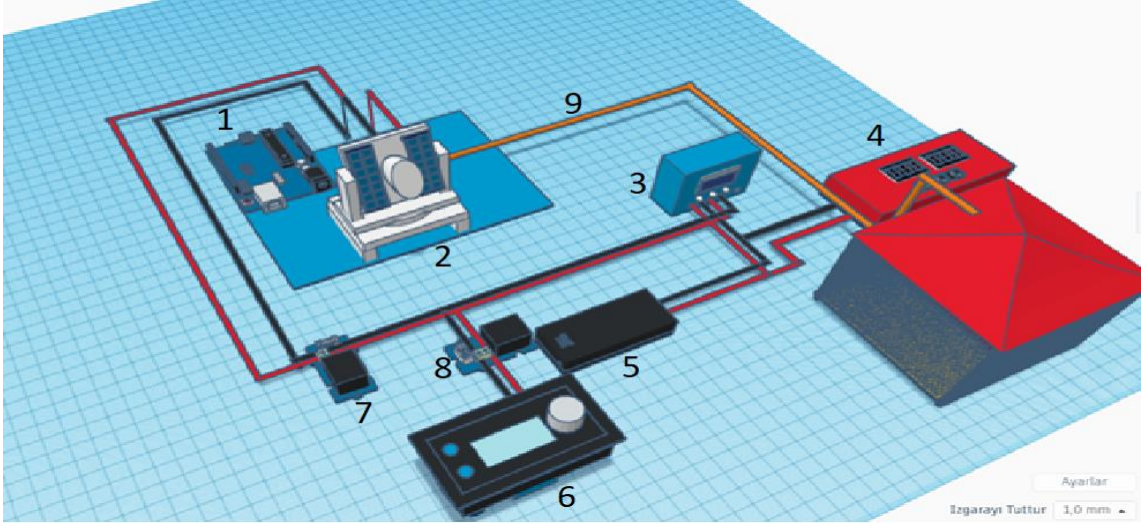


Şekil 2.14 LDR yapısı, kullanılan malzemeler ve ışık şiddeti-direnç ilişkisi (İnt. Kyn. 17).

3 MATERYAL ve METOT

3.1 Kurulacak Olan Sistemin Üç Boyutlu Tasarımı

Kurulacak olan sistemin ilk olarak kullanılacak olan elemanların seçimi yapılmış ve bu seçilen elemanların bağlantılarının sağlandığı bir üç boyutlu çizimi yapılmıştır. Yapılacak olan sistemin üç boyutlu bir şekilde hazırlanabilmesi amacıyla internet tarayıcısı üzerinden kullanıcıların erişebilmesine imkân tanıyan bir web uygulaması olan Tinkercad programı aracılığı ile üç boyutlu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de üç boyutlu olarak oluşturulan sistem ve bileşenleri numaralar ile belirtilmiş ve açıklanmıştır.



Şekil 3.1 Fiber optik yoğunlaştırıcı sisteminin üç boyutlu tasarımı.

Oluşturulmuş olan üç boyutlu sistemde numaralar ile belirtilmiş olan elemanlar şu şekildedir:

- 1- Arduino
- 2- Güneş takip sistemi ile üzerinde yer alan güneş paneli ve güneş ışığı yoğunlaştırıcıli fiberoptik sistem
- 3- Solar şarj kontrol cihazı
- 4- İnvertör
- 5- Akü

- 6- Ayarlanabilir güç kaynağı
- 7- Güneş panellerinden sağlanan enerjinin devreye girmesini ve çıkmasını kontrol eden röle yapısı
- 8- Ayarlanabilir güç kaynağının devreye girip çıkabilmesini kontrol eden röle yapısı
- 9- Fiber optik kablo

3.2 Prototip Yaşam Alanının Oluşturulması

Oluşturulmuş olan sistem Afyon Kocatepe Üniversitesinde yer alan GURAM (Güneş ve Rüzgar Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezi) konteyner yapısının 1/15 oranında küçültülmesi ile oluşturulmuştur. İç yapısında iki adet masa, 2 adet sandalye, iki adet dolap, bir adet çöp kutusu yer almaktadır. Üst kısımda yapay aydınlatma ile iç ortamın aydınlatılabilmesi için iki adet lamba yer almakta ve orta kısımda ise günışığı yoğunlaştırıcılı fiber optik aydınlatma sistemi yer almaktadır. Bir adet fiber optik kablo demeti çıkışında, bir adet masa (çalışma düzlemi) yan kısmında ve bir adet orta kısımda olmak üzere üç adet LDR yapısı iç kısımda yer almaktadır. Varlık algılama için ise iç kısımda bir adet PIR sensörü bulunmaktadır. Resim 3.1’de oluşturulan prototip yaşam alanı ve kullanılan materyaller yer almaktadır.



Resim 3.1 Oluşturulan prototip yaşam alanı.

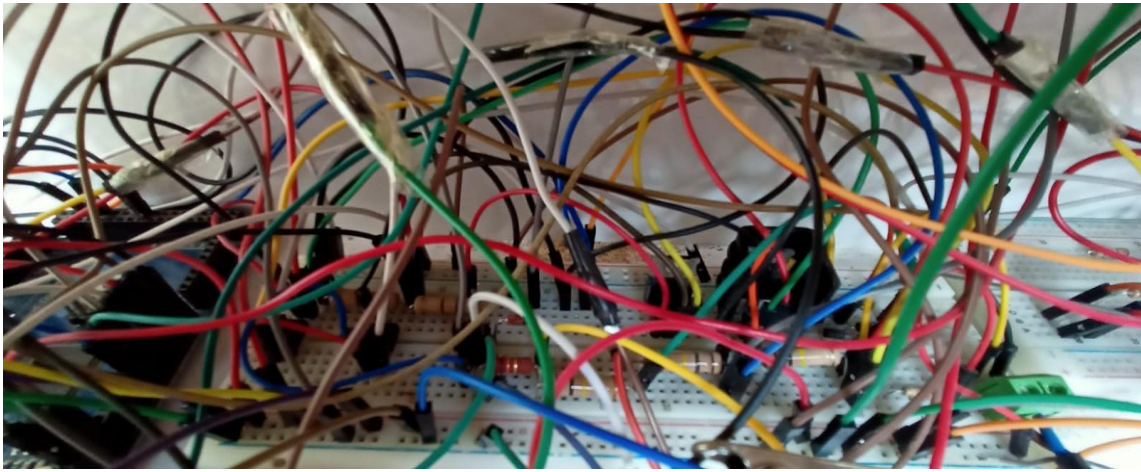
3.3 Lamba Parlaklık Kontrolü için Tasarlanan Devre Yapısı

AC (Alternatif akım) dimmer devre yapıları, AC gerilim ile çalışmasını sürdüren güç denetleme ve düzenleme devre sistemleridir. Genel olarak ışık 220 V şebeke gerilimi ile çalışmasını sürdürmekte olan aydınlatma sistemlerinin (LED, Halojen, CFL, vb.) ışık oluşumunu sağlamakta olan yapıların parlaklık durumlarının istenilen değerlere

getirilebilmesine imkân tanıyan devre yapılarıdır. Bununla birlikte sıcaklık değeri ile fan hız değerinin denetlenerek istenilen değerlerde çalıştırılabilmesi gibi pek çok türde bulunmakta olan teknolojik sistemler de tercih edilebilmektedirler. Dimmer devre yapıları birçok teknolojik cihazın denetim sistemlerinde yer almaktadır.

Dimmer devre yapılarındaki en önem arz eden devre elemanı triyak yapılarıdır. Parlaklık kontrol edilebilmesi amacıyla genel olarak devre yapılarında çoğunlukla manuel veya otomatik bir şekilde ayarlanabilmekte olan dirençler kullanılarak tetikleme sağlanabilmesi için akım alınmaktadır. Devre sistemlerine entegre edilen ayarlanabilen direnç yapıları vasıtasıyla devre yapısında yer alan anahtarlama elemanının istenilen değerlerde enerjilendirilmesi kontrol altına alınabilmektedir. Anahtarlama elemanı içerisinde akmakta olan akım değerinin, direnç durumuna bağlı olarak güç değerinin istenilen değerlere getirilebilmesine imkân tanımaktadır.

Lamba parlaklık değerlerinin kontrol altına alınabilmesi amacıyla bir dimmer devre yapısı oluşturulmuştur. Bu devre sayesinde çeşitli mod durumlarında parlaklığın arttırılabilmesi veya azaltılabilmesi bu sayede sağlanmıştır. Devre yapısında 1 adet PC817, 2 adet MOC3021, 2 Adet BT136 Triyak, Tam dalga doğrultucu oluşturulabilmesi için 4 adet 1N4007 diyot, 2 adet 470 ohm direnç, 1 adet 10k direnç, 2 adet 100K direnç yapısından meydana gelmektedir. Sistemde yer alan 1 adet PC817 sinüs dalga formunun sıfır noktasına indiği zamanı tespit ederken, MOC3021 ve BT136 triyak yapısı ile lambanın istenilen parlaklık değerinde sürülebilmesi sağlanmaktadır. Resim 3.2’de oluşturulmuş olan devre yapısının görüntüsü yer almaktadır.



Resim 3.2 İki adet lamba parlaklığının kontrolü için tasarlanan devre yapısı.

3.4 Fiber Optik Kablo Demetinin Oluşturulması

Fiber optik kablo demeti oluşturulurken 3 mm fiber optik kablo kullanılmıştır fakat 3mm fiber optik kablo yapıları arasında meydana gelmekte olan boşlukların sağlanacak olan verim değerlerinde dūřuře sebebiyet verebileceğinden dolayı 0.5 mm çapa sahip olan fiber optik kablolar ile bir kablo demeti oluşturulmuştur. Bu fiber optik kablo demetinde 180 adet 0.5 mm ve 29 adet 3 mm çapa sahip fiber optik kablo kullanılmıştır.

3.5 Odak Noktasının Tespit Edilmesi

Günüşığını yoğunlaştırarak fiber optik kablo demeti üzerine aktarılmasını sağlayan yoğunlaştırıcı yapının oluşturulması aşamasında sistemde kullanılan fresnel lens yapısının gūneře tutulması sağlanarak odak noktasının tespiti yapılmıştır ve oluşturulmuş olan fiber optik kablo demetinin çapına gūre odak mesafesi tespit edilmiştir. Yapılmış olan çalışma ile birlikte bu değer 17 cm olarak belirlenmiştir.

3.6 Gūnıřıęı Yoğunlaştırıcı Yapının Tasarlanması

Gūnıřıęı yoğunlaştırıcı yapı gūneřten dik bir şekilde almış olduğu gūneř ışığını en ūst kısımda yer almakta olan fresnel lens aracılığı ile odak noktasında toplamakta ve iç tarafta yer alan fiber optik kablo yapısına aktarmaktadır. Bununla birlikte iç yapısı yansıtıcılık değeri yüksek olan gūmř varak folyo ile kaplanmış bu sayede kırılıma uğrayabilecek olan diğer ışınlarında fiber optik kablo üzerine aktarılabilmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte bu yapının ara kısmında ultraviyole ve kızılötesi zararları ışınları kesici bir lens bulunmaktadır. Bu lens aracılığı ile kablo ūzerinde uzun süreli kullanım durumlarında ve solar radyasyon seviyesinin yüksek olduğu zaman dilimlerinde fiber optik kablo yapısının aşırısı ısınmasını ve zararlı ışınlar sebebiyle oluşabilecek olan kablo bozulmalarına karşı koruma sağlamaktadır. Resim 3.3’de yapılmış olan gūnıřıęı yoğunlaştırıcı sistem yer almaktadır.



Resim 3.3 Güneş ışınlarını yoğunlaştırıcı ve toplayıcı yapı.

İç yapısı belirtildiği üzere yansıtıcılık değeri yüksek olan gümüş varak folyo yapısı ile kaplanmış, üst kısmında fresnel yapısı yer almakta ve orta kısımda ise zararlı ışınlarla karşı koruma sağlayacak olan ikinci bir lens yer almaktadır.

3.7 Güneş Takip Sisteminin Oluşturulması

Güneş takip sistemi oluşturulurken bir adet yatay hareketi, iki adet ise dikey hareketi sağlamak üzere üç adet servo motor yapısı sistemde kullanılmıştır. Güneş ışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sistemi güneşi dik bir şekilde alarak verim değerlerinde artış sağlarken yan kısımlara konumlandırılmış olan 9 V ve 3,5 W güç değerine sahip iki adet güneş paneli yardımıyla güneş ışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda gerekli olan enerjinin üretilerek depo edilebildiği bir sistem oluşturulmuştur. Bu sayede hem güneş panellerinden hem de güneş ışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sisteminden yüksek düzeyde verim elde edilmesi sağlanmıştır. Resim 3.4’de oluşturulmuş olan güneş ışığı yoğunlaştırıcı sistem ve yan kısımlarına konumlandırılmış olan panel yapıları yer almaktadır. Resim 3.4’de oluşturulmuş olan güneş ışığı yoğunlaştırıcı sistemi ve yan kısımlarına konumlandırılmış olan güneş paneli yapıları görülmektedir.



Resim 3.4 Oluşturulmuş olan güneş ışığı yoğunlaştırıcı sistemi.

Sistemin üst kısmında dört adet LDR yapısı yer almaktadır. Işığın durumuna bağlı olarak servo motor yapılarının hangi yönde ve ne kadarlık bir hareket durumu oluşturması gerektiği Arduino aracılığı ile oluşturulmuş olan kod yapısı ile karar verilerek hareket durumunu buna göre sağlamaktadır. Resim 3.4’de görüleceği üzere panel yapıları ve günışığı yoğunlaştırıcılı fiber optik sistemde üzerine monte edilmiş bir hâlde yer almaktadır.

3.8 Oluşturulan Yazılım ve Kurulan Sistemin Çalışma Prensibi

Sistem genel olarak, güneş paneli, fiber optik kablo, şarj regülatörü, ac dimmer devresi, akü, arduino, İnvertör ve LED (ışık yayan diyot) yapılarından meydana gelmektedir. Sistem çalışma şekli şu şekildedir;

- Sistem yapısında yer almakta olan güneş panelleri aracılığı ile üretilen enerji sistem bileşenleri arasında yer alan akü içerisinde depolanmaktadır ve yapay aydınlatma için gerekli olan enerjinin karşılanabilmesini sağlamaktadır, yapay aydınlatmanın gereksinim duyduğu enerjinin yetersiz kalması durumunda ise şebekeden beslenmekte olan ayarlanabilir güç kaynağının devreye alınarak akünün şarj edilmesine ve iç mekân aydınlatması için gerekli olan enerjinin karşılanması sağlanmaktadır. Kontaktör yapıları aracılığı ile hangisinin devreye gireceği kontrol altına alınmıştır.
- İç mekân aydınlatma şiddeti değerinin yüksek değerlere ulaşabilmesi için solar yoğunlaştırıcı sisteminin güneşten gelmekte olan ışınların dik bir şekilde gelmesi bu tür sistemlerde büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle güneş ışınlarının dik bir şekilde ve tek bir odak noktasında toplanmasının sağlanması ve yan kısımlarına konumlandırılmış durumda bulunan güneş panelleri, çift eksenli bir şekilde güneşi takip ederek hem panel verimliliğini hem de solar yoğunlaştırıcılı fiber optik aydınlatma sistemin verimli bir şekilde çalışabilmesi sağlanmıştır.
- Şarj regülatörü, güneş panelleri aracılığı ile üretilen gerilim değerini solar radyasyon değerlerine bağlı olarak değişim göstereceğinden dolayı akü yapısında enerjinin akü ömrünü azaltmasını engelleyebilmek amacıyla sürekli olarak gerilimin sabit bir değerde

tutulabilmesini sağlayarak akünün sağlıklı bir şekilde enerji depolayabilmesine imkân vermektedir.

-Arduino mikroişlemcisi vasıtasıyla sistemin denetimi ve kontrolü sağlanmaktadır. Sistemde yer alan ileri ve geri geçişleri sağlamak üzere iki adet buton yer almaktadır. Bu butonlar aracılığı ile sistemin potansiyometre, kumanda, otomatik kontrol, bluetooth, buton aracılığı ile kontrol gibi hangi mod durumunda çalışmasını sürdürmesi gerektiği belirlenebilmektedir.

- Güç kontrol devresi aracılığı ile 220 V gerilim değerinde çalışmasını sürdürmekte olan lamba yapılarının parlaklık değerlerinin istenildiği şekilde değiştirilebilmesi sağlanmaktadır.

- Aydınlatma elemanları, arduino denetleyicisi kullanılarak oluşturulmuş olan yazılım ile farklı kontrol metotları oluşturulmuştur. Sistemde yer alan buton aracılığı ile tıklanma durumuna göre çeşitli çalışma durumları bulunmaktadır. Bu durumlar şu şekildedir:

1- İlk çalışma durumunda ortamın parlaklık değerini potansiyometre aracılığı ile istenilen şartlara göre manuel olarak parlaklık durumunun kontrolü sağlanmaktadır. Bu çalışma modu ile birlikte film izleme, ders çalışma, yemek yeme vb. durumlarda kişinin ihtiyaç duyabileceği parlaklık değerleri değişim göstereceğinden dolayı lamba parlaklığının kişinin istediği şekilde ayarlayabilmesine imkân tanıyan bir mod yapısı oluşturulmuştur.

2- 2. Çalışma durumunda hareket sensörü aracılığı ile ortamda oluşabilecek olan bir hareket durumunda 1 verisini göndererek lambanın istenilen süre boyunca yanabilmesine imkân vermektedir. Hareket durumları tekrarlandıkça belirlenmiş olan bu süre sıfırlanmakta ve tekrar belirlenmiş olan süreyi tekrar saymaktadır. Hareket durumunun olmaması durumunda sensör 0 verisini arduino üzerinden oluşturulmuş olan kontrol sistemine bildirmekte ve lambalar sönmektedir ayrıca farklı hava koşullarında alınan veriler ışığında fiber optik kablo yapılarından sağlanan aydınlık şiddetine bağlı olarak yapay aydınlatma elemanı olan aydınlatma elemanlarının parlaklık değerleri otomatik olarak kontrol edilerek iç ortam aydınlık şiddeti 300 ile 360 lux değerleri arasında sabit tutulması sağlanmaktadır.

3- 3. Çalışma durumunda ise sistemde yer alan lamba yapılarının kumanda aracılığı ile açma, kapatma, parlaklık değerlerinin istenilen parlaklık değerlerine kadar arttırılıp azaltılabilmesine imkân tanınmaktadır.

4- 4. Çalışma durumunda oluşturulmuş olan Android uygulama ile birlikte ve sistemde kullanılan bluetooth modülü aracılığı ile arduino ve mobil uygulamanın haberleşmesi sağlanarak sistemde yer alan lambaların, uygulama içerisinde yer alan butonlar aracılığı ile açma, kapatma, parlaklık değerlerinin kontrol edilebilmesi sağlanmaktadır.

5- 5. Çalışma durumunda ise sistem içerisinde iki adet buton bulunmaktadır. Butonlardan birisi ile parlaklık seviyesi kademeli olarak arttırılmakta, diğer buton ise kademeli bir şekilde parlaklık seviyesinin azaltılabilmesine olanak tanımaktadır.

6- 6. Çalışma durumunda farklı hava koşullarında alınmış olan veriler ile birlikte sistem içerisine konumlandırılmış olan ışık sensörü aracılığı ile fiber optik aydınlatma elemanından sağlanan aydınlık şiddeti değeri ölçümlenmekte ve buna bağlı olarak yapay aydınlatma elemanlarının parlaklık değerleri kontrol edilerek 300 – 360 lux arasında sabit kalabilmesine olanak sağlanmaktadır.

- Sistemde güneş panelleri aracılığı ile üretilmekte olan enerji akü aracılığı ile depolanmakta, enerjinin yetersiz kalması durumunda şebeke sistemine bağlı bulunan ayarlanabilir güç kaynağı ile akünün şarj olması sağlanmaktadır. Bu sayede kesintisiz bir şekilde enerjinin devamlılığını sağlayan bir sistem ortaya konmuştur.

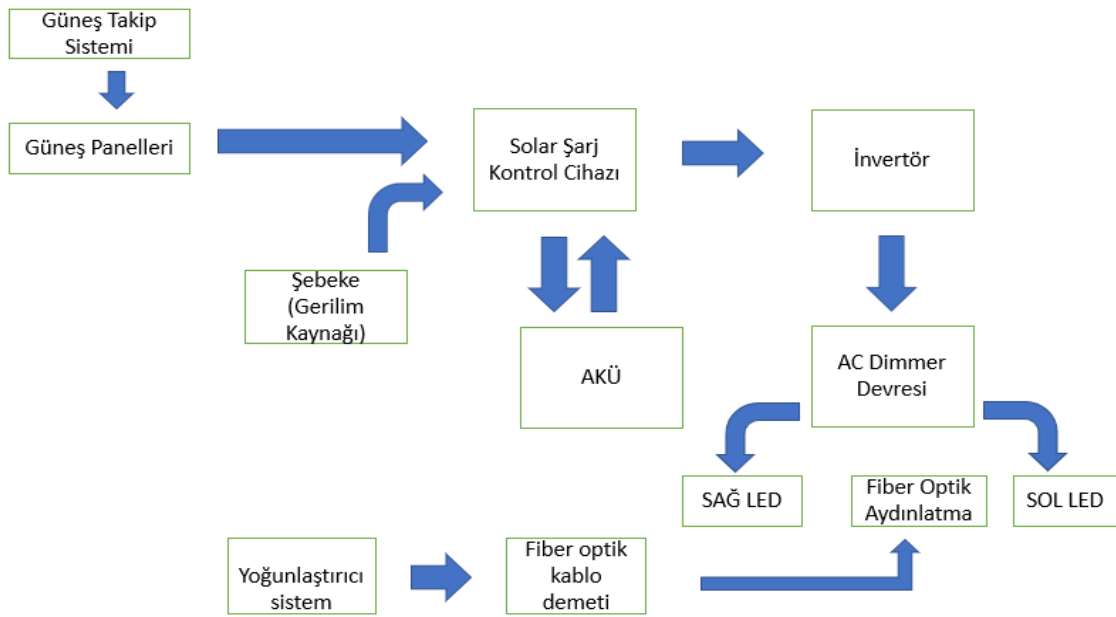
- Sistem içerisinde mod geçişlerini sağlamak üzere 2 adet buton yapısı bulunmaktadır. Bunlardan biri modlar arası ileri gitmeye yararken bir diğeri ise geri gelmeyi sağlamaktadır. Ayrıca sistem içerisinde bulunan bir adet buton ile de 2 adet lambadan birini kapatıp diğerini açık tutmayı ya da her ikisini de kapatmaya olanak sağlayan bir buton yapısı eklenmiştir.

- Sistemde yer alan ışık sensörü aracılığı ile aydınlık şiddeti değerinin ölçümü sürekli bir

şekilde yapılmaktadır. Akü gerilim değerinin belirli bir değerin altına düşüp düşmediğini belirlemek için gerilim bölücü devre yardımı ile gerilim değeri hesap edilmektedir.

- LCD (sıvı kristal ekran) ekran üzerinden ortam aydınlık şiddeti değeri takip edilebilmektedir.

Şekil 3.2’de oluşturulmuş olan sistemin çalışma prensip şeması ve kullanılan temel yapılar yer almaktadır.

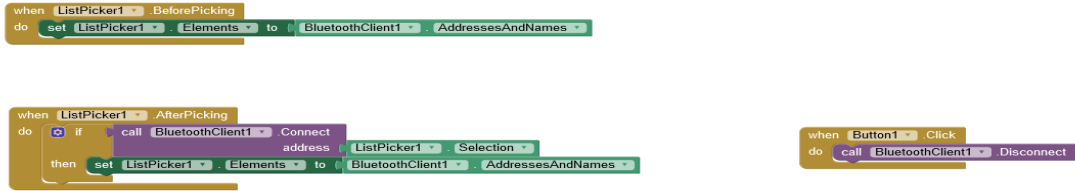


Şekil 3.2 Oluşturulan sistemin çalışma prensip şeması.

3.9 Bluetooth ile Kontrolü Sağlayacak Olan Mobil Uygulamanın Tasarımı

MIT (Massachusetts Institute of Technology) App Invertor internet tarayıcısı üzerinden kullanıcıların erişebilmesine imkân tanıyan bir web uygulamasıdır. Bu uygulama ile birlikte iç yapısında yer alan kod blokları yardımıyla yap boz mantığında kod bloklarını birleştirerek, oyun, uygulama vb. birçok uygulama oluşturulabilmesini sağlayabilen bir uygulamadır. Oluşturulan uygulamalar Android 3.0-4.4.2, Android 5+ android sürümlerine ve IOS13 cihazlara uygun şekilde çeşitli uygulamaların oluşturulabilmesine imkân tanıyan bir uygulama arayüzüdür.

Resim 3.5’de tasarlanan bluetooth uygulamasından bir kesit örneği verilmiştir. Uygulama içerisine eklenecek olan buton yapıları ve bunların ne işlev göreceği bu bloklar aracılığı ile belirlenerek basılması durumunda izleyeceği adımlar ve işlemler belirlenmektedir.



Resim 3.5 Mitapp programında örnek bir kod bloğu.

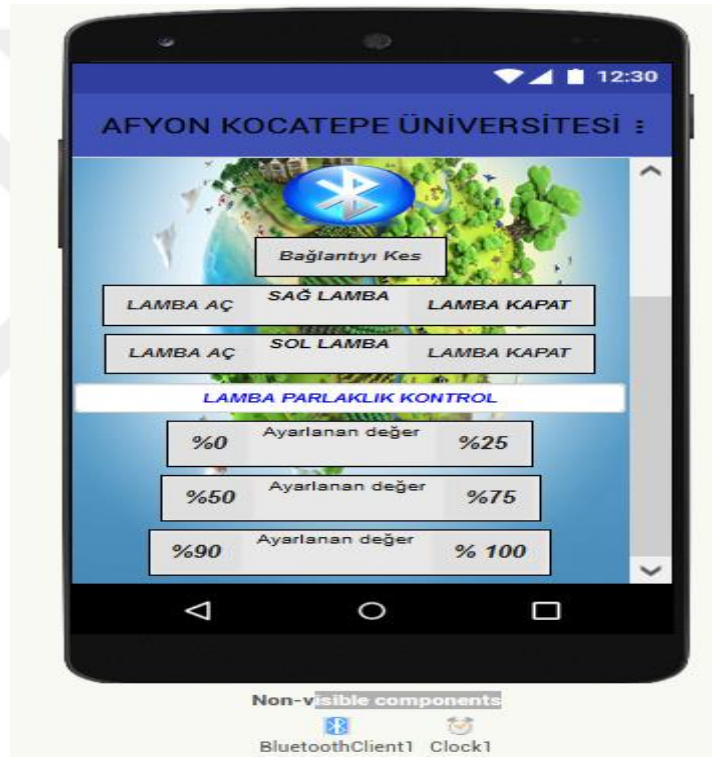
Resim 3.6’da aydınlatma kontrol sisteminin oluşturulmuş olan Android uygulamasında nasıl görüneceği ve bluetooth bağlantı butonu, sağ lambanın açılıp-kapatılabilmesinin kontrolünü sağlayan buton yapıları yer almaktadır.



Resim 3.6 Mitapp aracılığı ile oluşturulmuş olan uygulama iç yapısı örneği.

Resim 3.7’de uygulama aracılığı ile lamba parlaklık değerleri farklı yüzdelik değerlerde belirtilmiş olan aydınlık seviyelerine getirilebilmelerine imkân tanıyan buton yapıları ve ayarlanan değeri orta kısımda yazı ile belirten bölümler yer almaktadır.

Oluşturulmuş olan aydınlatma sisteminde bluetooth ile kontrol edilebilmesi adına MIT App Inventor aracılığı ile bir uygulama oluşturularak sistemde yer almakta olan aydınlatma sistemlerinin açılıp-kapatılması, parlaklık değerlerinin istenilen seviyelere getirilebilmesine imkân tanıyan aynı zamanda iç ortamda aydınlatma değerlerinin hangi değerlerde olduğunu ekran üzerinden görebilmesini sağlayan bir uygulama tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.7 Parlaklık kontrol ve açma-kapatma butonları.

3.10 Sistemin Oluşturulmasında Kullanılan Malzemeler

Kullanılacak olan malzemelerin belirlenebilmesinde ilk olarak aydınlatma parlaklık kontrollerini sağlanabilmesi için devre yapısı, kontrol sistemi için işlemci, güneş ışığının takibinin sağlanabilmesi amacıyla güneş takip sistemi, günışığı yoğunlaştırıcı için kullanılacak olan fiber optik kablo yapısı, yoğunlaştırıcı yapının tasarımı gerçekleştirilmiştir.

3.10.1 Arduino

Sistemde kullanılacak olan algoritmanın kod şeklinde arduino içerisine aktarılarak sistemin denetimini ve çalışmasını sağlayan devre elemanı olarak görev almaktadır. Sistem yapısında birden çok sensör yapısı kullanıldığından dolayı, Arduino MEGA modeli kullanılmıştır. Çalışması için 5V değerinde bir gerilime ihtiyaç duymaktadır. Çizelge 3.1’de sistemde kullanılan arduino teknik özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 3.1 Arduino MEGA teknik özellikleri.

Özellik	Değerler
Mikrodenetleyici	ATMEGA2560
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi (Önerilen)	7-12 V
Giriş Gerilimi (Limit)	6-20 V
Dijital G/Ç Pinleri	54 (15 adet PWM çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	16
Saat Hızı	16MHz
Uzunluk	101.6 mm
Genişlik	53.4 mm
Ağırlık	36 g

3.10.2 Bluetooth HC-05

HC-05 Bluetooth modülü hem köle hem de master ve köle modunda çalışmaya imkân tanıyan bir bluetooth haberleşme modülüdür. Hem veri alıp hem veri gönderebilme ya da diğer arduinolar ile iletişim kurabilmeye imkân tanıyan bir cihazdır. Cihaz genel olarak EN, VCC, GND, TXD, RXD ve State bacaklarından oluşmaktadır.

EN: Enable ya da key olarak bilinmektedir. Bu bacak ile bağlantı yapılması ile birlikte AT komut sistemine giriş yapılabilmesini sağlamaktadır. AT komut sistemi ile birlikte bağlantı hızı, bağlantı isim değişikliği, şifre değişikliği yapılabilmesi vb. değişikliklerin yapılabilmesini sağlamaktadır.

VCC: Bluetooth modülünün gerekli olan gerilim değerinin sağlanması için 3.6V – 6.6V

arasında bir gerilim uygulanabilmektedir. İçerisinde yer alan gerilim düşürücü deve vasıtasıyla gerilim değeri istenen değere çekilebilmektedir.

GND: Ground yani eksi uç anlamına gelmektedir.

TXD: Transmit adından gelmektedir. Veri Göndermeye yaramaktadır.

RXD: Receive adından gelmektedir. Veri almak için kullanılmaktadır.

STATE: Bağlantı yapılmadan önce LOW durumunda bulunmaktadır. Eşleşme gerçekleştirilmesi durumunda HIGH durumuna geçiş yapmaktadır. Eşleşmenin gerçekleştiğini sisteme bildirerek iletişimin başlamasını sağlayabilir.

Sistemde çalışma durumlarından birisi olan bluetooth ile kontrol modunda bluetooth, telefon ile arduino cihazının haberleşerek lamba kontrolünün açıp-kapatılması ve parlaklık değerlerinin istenilen değerlere getirilebilmesi için gerekli komutların arduino tarafından işlenerek yerine getirilebilmesi amacıyla sistem yapısında kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de sistemde kullanılan bluetooth modülünün teknik detaylarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.2 Sistemde kullanılan Bluetooth modülü özellikleri.

Özellik	Değerler
Bluetooth Protokolü	Bluetooth 2.0 + EDR (Gelişmiş Veri Hızı)
Haberleşme Frekansı	2.4 GHz
Hassasiyet	≤ -80 dBm
Çıkış Gücü	$\leq +4$ dBm
Asenkron Hız	2.1 MBps/160 KBps
Senkron Hız	1 MBps/1 MBps
Güvenlik	Kimlik Doğrulama ve Şifreleme
Çalışma Gerilimi	1.8-5V (Önerilen 3.3V)
Akım	50 mA
Boyutları	43x16x7mm

3.10.3 MG996R Servo Motor

Sistemde yer alan günışığı yoğunlaştırıcılı fiber optik aydınlatma sistemi ve güneş paneli yapılarının güneşi dik bir şekilde takip ederken yönelim hareketini sağlayabilmesi için güneş takip sisteminde servo motor yapısı kullanılması gerekmektedir. Sistem yapısında

rahat dönüş hareketleri sağlayabilmek amacıyla iki adet dikey eksen ve bir adet yatay eksen de hareketi sağlamak üzere üç adet MG996R servo motor kullanılmıştır. Servo motor yapılarında 3 adet çıkış pini bulunmaktadır. Bu pinler besleme, eksi uç ve dijital pwm bacağıdır. Servo motor yapıları sayesinde sistemin güneş ışığının geliş yönüne bağlı olarak güneşi dik bir açıda almasını sağlayarak hem güneş panelinden elde edilecek enerjinin en etkili şekilde sağlanabilmesi sağlanırken bir yandan da günışığı yoğunlaştırıcı sisteminin güneş ışığını dik bir şekilde fiber optik kablo demetine aktarılmasını sağlayarak verim değerlerinin en yüksek seviyelere çıkarılabildiğini sağlamaktadır. Resim 3.8’de kullanılan servo motorun görüntüsü ve Çizelge 3.3’de ise teknik özellikleri yer almaktadır.



Resim 3.8 MG996R servo motor yapısı (İnt. Kyn. 18).

Çizelge 3.3 Sistemde kullanılan servo motor özellikleri.

Özellik	Değerler
Ağırlık	55 g
Boyut	40.7 x 19.7 x 42.9 mm
Çalışma Voltajı	4.8 V – 7.2 V
Akım	500 mA
Durma Akımı	2.5 A (6V)
Sıkıştırma Torku	11 kgf.cm (4.8 V), 13 kgf.cm (6 V)
Çalışma hızı	17 sec / 60 derece – 0.13 sec /60 derece
Ölü bant genişliği	5 µs
Dişli tipi	Son Dişli Metal, İç Dişliler Plastik

3.10.4 Optik Filtre

Optik filtre yapısı için yurt dışından getirilmiş Ultraviyole ışınların ve kızılötesi ışınların geçişini engelleyen bir filtre kullanılmıştır. Ultraviyole ve kızılötesi filtrenin tercih edilmesinin en önemli sebebi yoğunlaştırılmış güneş ışığının oluşturulmuş olan fiber optik kablo demeti üzerine aktarılması sırasında yoğunlaştırılmış güneş ışığının kablo demetine zarar vermemesi için oluşabilecek olan ısı durumlarının engellenebilmesi amacıyla filtre yapısı kullanılmaktadır.

3.10.5 Fiber Optik PMMA Kablo

Fiber optik kablo yapısı olarak PMMA ve uçtan ısıtmalı olan kablo modeli fiyat durumunun daha makul olması nedeniyle sistem yapısında tercih edilmiştir. Sistemde 180 adet 0.5 mm ve 29 adet 3 mm değerine sahip 1 m uzunluğunda fiber optik kablo yapıları kullanılmıştır. İkisinin bir arada kullanılmasının sebebi 3 mm kablo yapılarının aralarında meydana gelmekte olan boşlukların verim değerlerini azaltacağından dolayı bu boşlukların kapatılabilmesi adına ve verim değerlerinin yükseltilebilmesi için 0.5 mm ve 3 mm çapa sahip fiberoptik kablolar sistem içerisinde birlikte kullanılmıştır. Resim 3.9’da oluşturulmuş olan fiber optik kablo demeti gösterilmiştir.



Resim 3.9 Oluşturulmuş olan fiber optik kablo demeti yapısı.

3.10.6 LED Lamba

LED Lamba yapısı olarak ise, Ortam boyutlarının küçük olmasından dolayı ortamın yeterli aydınlatma değerini karşılayabilecek olan, 220 V gerilim değeri ile çalışmasını sürdüren ve 1 Watt güç değerine sahip 2 Adet Dim edilebilir LED lamba yapısı tercih edilmiştir. Kullanılan LED lambaların teknik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Sistemde kullanılan LED lamba özellikleri.

Özellik	Değerler
Model	EAMP075
Anma Gerilimi	AC230V 50Hz
Anma Gücü	1W
Ömür	20.000 hrs
Çalışma Sıcaklığı	-20 ile +40 °C
Açma/Kapama	25.000

3.10.7 Akü

Sistemde ek olarak yer almakta olan solar panel yapılarından elde edilmekte olan enerji, fiber optik kablo aracılığıyla sağlanmakta olan aydınlatma değerinin yetersiz kaldığı durumlarda yapay aydınlatma için ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanabilmesi amacıyla kullanılacak olan enerjinin depo edilebilmesini sağlayan yapı olarak sistemde yer almaktadır. Çizelge 3.5’de sistemde kullanılan akü yapısının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5 Sistemde kullanılan akü yapısının özellikleri.

Özellik	Değerler
Akü Tipi	Kuru Akü
Akü Voltajı	12 V
Akü Kapasitesi	7 Ah
Genişlik	151 mm
Yükseklik	100 mm
Ağırlık	1.82 kg

3.10.8 Solar Şarj Regülatörü

Solar paneller aracılığı ile üretimi sağlanan enerjinin gerilim değerlerini darbe genişlik modülasyonunu kullanarak şarj kontrol cihazı akülere sabit bir çıkış yerine belirli aralıklarla kısa dolum darbeleri göndermekte ve oluşturulan darbelerin akülere gönderim aralığını ve uzunluğunu sistemde yer almakta olan akünün şarj durumuna göre belirler. Fiyatları maksimum güç noktası takibi sağlayan cihazlara kıyasla çok daha uygun seviyelerde olmasından dolayı sistem yapısında tercih edilmiştir. Çizelge 3.6’da sistemde kullanılan solar şarj regülatörünün teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.6 Sistemde yer almakta olan solar şarj regülatörü özellikleri.

Özellik	Değerler
Voltaj	12/24 V
Şarj akımı	30 A
Deşarj akımı	10 A
Dengeleme voltajı (B1 kapalı akü)	14.4 V
Kullanım şarjı (12 V sistem)	13.7 V
USB çıkış	5 V/ 2.5 A (max.)
Cihaz tüketim akımı	10 mA’dan az
Cihaz çalışma sıcaklık aralıkları	-35 / +60 °C
Kesme gerilim değeri	10.7 V
Tip	PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu)
Cihaz boyutu	133.5*70*35mm
Cihaz ağırlığı	165 g

3.10.9 Güneş Paneli

Güneş paneli olarak 9 V 3.5 Watt gücünde 2 adet güneş paneli kullanılmıştır. Gerilim değerleri tek başına akü şarj gerilimini sağlayamadığından dolayı seri bir şekilde bağlanarak akünün şarj edilebilmesi için gerekli gerilim değerine ulaşılabilmesi sağlanmıştır. Güneş takip sisteminde günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sisteminin her iki tarafına da birer adet olacak şekilde solar panel yapıları entegre edilmiştir. Güneş paneli olarak polikristal güneş paneli tercih edilmiştir. Doğal

aydınlatma ile sağlanmakta olan aydınlık şiddetinin yetersiz kalması durumunda sistem içerisinde yer almakta olan 2 adet lamba yapısının gereksinim duyulan enerjisinin belirli bir kısmını sağlayabilmesi adına sistem içerisine güneş panelleri entegre edilmiştir. Güneş takip sistemi sayesinde yüksek verim sağlanabilmesi sağlanmıştır. Çizelge 3.7’de kullanılan güneş panellerinin teknik özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 3.7 Sistemde kullanılmış olan güneş panellerinin özellikleri.

Özellik	Değerler
Çalışma gerilimi	9V
Ürün Markası	Powerdex
Model	PD-6005
Güç değeri	3.5 Watt
Wire length	10 ft
Water-proof	İpx6
Solar cell	Polycrystalline silicon

3.10.10 İnvertör (Evirici)

Güneş panelleri vasıtasıyla üretilen gerilim değeri şarj regülatörü vasıtasıyla akü sistemini şarj edebilecek değerlere getirilmesi sonrasında akü sisteminden sağlanan 12 V DC gerilim değerinin sistem yapısında yer almakta olan yük yapılarının gerekli olan enerji değerlerini karşılayabilmek amacıyla 220 V AC değerine dönüşümünün sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla, 300 W değerinde bir DC/AC gerilim değerlerinin dönüşümünü sağlayan invertör yer almaktadır. Bu sayede sistemde yer almakta olan 220 V LED lamba yapılarının beslenmesi sağlanarak ortam için gerekli olan aydınlatma sağlanmıştır.

3.10.11 Ayarlanabilir Güç Kaynağı

Sistemde akünün yetersiz kalması durumunda sistemde yer almakta olan LED yapılarının ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılayabilmek amacıyla ayarlanabilir güç kaynağı kullanılmıştır. 0-24 V aralığında çıkış veren ve 35 W güç değerine sahip olan bir ayarlanabilir güç kaynağı sistem yapısında kullanılmıştır. Şarj olması durumunda şarj

kontrol cihazında belirtilmiş olan 13.7 V değeri ile akü yapısının şarj edilebilmesini sağlamaktadır.

3.10.12 Kızılötesi Alıcı Verici Sistemi

Kızılötesi sinyaller kullanılarak çalışmaktadırlar. LED yapıları temel olarak elektrik enerjisinin elektromanyetik enerjiye dönüşümünü sağlayan yapılardır bunun neticesinde ışık yaymaktadır ve ortaya çıkarmış olduğu elektromanyetik dalga frekansı, spektrumun görünür veya görünür olmayan ışık noktasına denk gelmektedir. Verici devre yapısında belirli bir frekans değerinde elektromanyetik dalga oluşumunu sağlayan LED yer almaktadır bununla birlikte alıcı kısmında ise oluşturulan bu dalga yapısını tespit eden ve tespit etmesi neticesinde 1 veya 0 şeklinde lojik çıkış oluşturmasını sağlayarak bağlanmış olduğu sistemdeki yapıların kontrol edilebilmesine olanak sağlamaktadırlar. Sistemde bulunan kontrol modlarından biri olan kumanda ile sistemin kontrolünün sağlanabilmesi amacıyla sistem içerisinde kızılötesi alıcı-verici kumanda sistemi kullanılmıştır.

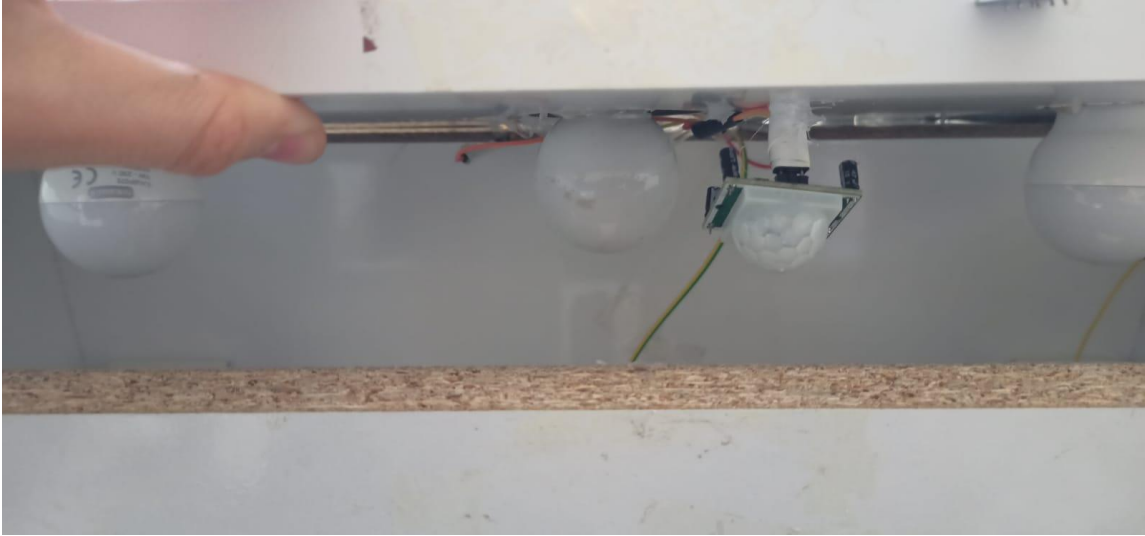
3.10.13 Fresnel Lens

Işınların tek bir noktada toplanabilmesine ve ışığın yoğun bir şekilde odaklanmasına imkân tanıyan yapılardandır. Işığı belirli bir odak uzaklığında toplanmasını sağlamaktadırlar. Fresnel lensler akrilik (PMMA) veya polikarbonat (PC) malzemelerden meydana gelmektedir. Yapılmış olan çalışmada yüksek ışık geçirgenliğine ihtiyaç duyulduğundan dolayı akrilik (PMMA) malzemeden üretilmiş olan Fresnel lens kullanılmıştır. Fresnel lens kullanılmasının nedeni güneş ışınlarını fiber optik kablo demeti üzerine yoğun bir şekilde toplanarak odaklanmasını sağlamaktır. Bu sayede fiber optik kablo çıkışından elde edilecek olan ışık yoğunluğu değeri arttırılabilmektedir. Kullanılmış olan fresnel lens 90 mm çapına sahip ve 17 cm odak uzaklığında fiber optik kablo demetine ışığı yoğun bir şekilde aktarılmasını sağlamaktadır.

3.10.14 Difüzör

Difüzör elemanları güneş ışınları tarafından sağlanan ışınların aktarılması sırasında göz kamaşmalarının ortadan kaldırılabilmesi için bir yumuşatma görevi görmektedir.

Bununla birlikte kullanılacak olan mekânda homojen bir aydınlatılma sağlanması adına büyük önem arz etmektedir. Difüzör kullanılmaması durumunda fiber optik kablo demeti dik bir açıda aydınlatma sağlarken iç mekân içerisinde bazı bölgelerin fazla aydınlık ve bazı bölgelerin ise karanlık kalmasına neden olabileceği yapılmış olan çalışmalarda belirlenmiştir. Resim 3.10'da üst kısımda iki adet LED yapısının ortasında fiber optik kablo çıkışında sonlandırma elemanı olarak kullanılan difüzör yapısının görünümü bulunmaktadır. Sistemde Makel marka LED difüzörü kullanılmıştır.



Resim 3.10 Orta kısımda fiber optik kablo çıkışında sonlandırma elemanı olarak kullanılan difüzör yapısı.

3.11 Deney ve Uygulama Aşaması

Güneş ışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sistemi yapılması sırasında 3mm ve 0.5 mm çap değerlerine sahip olan fiber optik kablolar sistemde kullanılarak fiber optik kablo demeti oluşturulmuştur. Sistemde güneş takip sistemi sayesinde yatay ve dikey hareket sağlanarak güneşin dik bir şekilde alınabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca sistem içerisinde 2 adet 3,5 W güç değerine sahip polikristal güneş panelleri kullanılmıştır. Fiber optik kablonun verim değerlerinin yüksek olabilmesi için güneşin devamlı olarak takip ettirilmesi gerektiğinden güneş panelleri de platform üzerine monte edilmiş ve bu sayede panellerden elde edilecek olan verim değerlerinde de artış sağlanabilmiştir. Resim 3.11'de verildiği üzere prototip ev sistemi yer altında kullanılabilecek bir yaşam alanı olarak tasarlanmış veri alım durumlarında pencere yapıları opak bir materyal ile

kaplanarak dış ortamdan gelebilecek ışınların iç ortama geçişi engellenmiştir.



Resim 3.11 Prototip ev sistemi.

Yapılmış olan deneysel çalışmanın ilk aşamasında iç mekân içerisinde fiberoptik kablolar aracılığı ile sağlanan aydınlatma şiddetinin değerinin ölçülebilmesi ve iki tarafta da bulunan masa yapılarına gelmekte olan aydınlatma şiddeti değerinin ölçülebilmesi amacıyla sistemde 3 adet LDR yapısı kullanılmıştır. Sistemde kullanılan LDR yapılarından ilki yan kısımlardan ışık almayacak şekilde kaplanmış ve fiber optik kablo çıkışında yer alan difüzör elemanından farklı hava koşullarında göstermiş olduğu aydınlık şiddeti değeri ölçümlenmiştir. Bununla birlikte iç mekânda orta kısımda yer alan LDR aracılığı ile ise farklı hava koşullarında sağlanabilecek olan aydınlatma şiddeti değeri ölçümlenmiştir. 3. LDR yapısı aracılığı ile ise en önemli nokta olan çalışma masa düzlemi üzerinde oluşacak olan aydınlatma şiddeti değeri ölçümlenmiştir. LDR yapılarının üzerine düşen ışık şiddetine göre göstermiş oldukları direnç durumuna bağlı olarak arduino ide yardımı ile yazılmış kod vasıtasıyla ortam aydınlık şiddeti değeri ve çalışma düzlemine gelmekte olan aydınlık şiddetinin ölçümlenmesi sağlanmıştır. Bu verilerin alınması ile birlikte fiber optik kablolardan farklı hava koşullarında elde edilebilecek olan aydınlatma şiddetleri belirlenmiştir. Yapılmış çalışmalarda fiber optik kabloların farklı hava koşullarında verim değerlerinin nasıl değiştiği hakkında bir veri net bir şekilde bulunmadığından dolayı bu verilerin alınması büyük önem arz etmektedir. Resim 3.12’de orta tarafta yer almakta olan LDR sensörü aracılığı ile farklı hava koşullarında iç mekânda sağlanan aydınlatma şiddeti değerleri kayıt altına alınmıştır.



Resim 3.12 Orta tarafa yerleştirilmiş olan LDR yapısı.

Deneysel çalışmanın 2. aşamasında yapay aydınlatma elemanı olan LED yapılarının dimmer devresi aracılığı ile 2 lambanın parlaklık değerleri değiştirilerek farklı değerlerde çalışma düzlemi ve fiberoptik kablo çıkışında yer alan LDR sensörü vasıtasıyla göstermiş oldukları aydınlatma şiddeti değerleri ölçümlenmiştir.

Deneysel çalışmanın 3. aşamasında ilk ve ikinci aşamada elde edilen veriler ışığında fiber optik kablo demetinin çıkışında yer alan difüzörün aydınlık şiddetinin göstermiş olduğu değerlere bağlı olarak ve dimmer devresinde belirlemiş olduğumuz parlaklık değerlerine otomatik olarak geçişini sağlayabilecek olan bir kod yapısı oluşturularak sistemin 300 – 360 lux değerlerinde sabit bir şekilde iç mekan aydınlatma şiddetinin tutulabilmesi ve bununla birlikte sisteminin panellerden sağlanan güç değerinin yetersiz kaldığı durumlarda şebeke sisteminin devreye alındığı ve akünün şarj edilebilmesine imkan tanıdığı bir prototip sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bu sayede sistemin hem manuel kontrol metotları (buton, bluetooth, kumanda, potansiyometre) hem de alınan veriler ışığında otomatik bir şekilde aydınlatmanın istenilen değer aralıkları arasında çalışması ve aydınlatma tarafında harcanacak enerjiden tasarruf edilebilmesi amaçlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Resim 3.14’de günışığı yoğunlaştırıcılı fiber optik aydınlatma sistemi aracılığı ile yoğunlaştırılarak iç ortama aktarılan ışığın aydınlatma durumu gösterilmiştir. Difüzör, fiber optik kablo aracılığı ile ortama dik bir şekilde taşınan günışığını homojen bir şekilde ortama yayılabilmesi amacıyla kullanılmıştır.



3.12 Maliyet Analizi

66

verilmiştir. Oluşturulmuş olan çizelge bir prototip sistem içindir gerçek bir sistem için bu değerler daha da artış gösterecektir. Gerekli aydınlatma değerine göre kullanılacak olan fiber optik kablo sayısı artış gösterecektir bununla birlikte güneş takip sistemi de kullanılacak kablo sayısına bağlı olarak daha büyük ve güçlü servo motor kullanılacağından maliyet değerleri daha da artacaktır. Maliyet değerleri diğer sistemlere kıyasla yüksek olması ve uzun iletim durumlarında verim kayıpları yaşanabilmesine rağmen kullanım ömürlerinin uzun olması, zorlu ortam şartlarına dayanımı yüksek olması, esnek bir yapıya sahip olması nedeniyle güneşi görmeyen bir konumdaki bir yerin bile aydınlatılabilmesine imkân tanınması, patlayıcı ortamlarda rahatça kullanılabilmeleri gibi üstün özellikleri nedeniyle bir tercih sebebi olabilir.

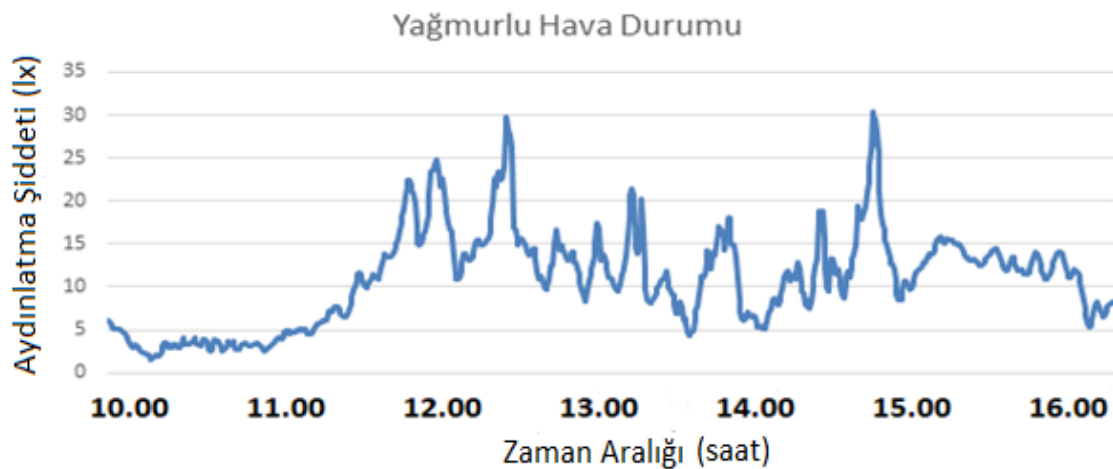
Çizelge 3.8 Kurulmuş olan prototip sistemin maliyet hesabı.

Malzemeler	Fiyat
Fiber Optik Kablo	1 102 TL
Güneş Takip Sistemi	597 TL
AC Dimmer Devresi Elemanları	269 TL
2 Adet LED Lamba	50 TL
İnvertör	467 TL
AKÜ	190 TL
2 Adet Arduino UNO	300 TL
Diğer Sensör ve Elektronik Malzemeler	89 TL
UV-IR Filtre	154 TL
Güneş Paneli x 2	300 TL
Şarj Regülatörü	120 TL
Fresnel Lens	160 TL
TOPLAM	3 798 TL

4. BULGULAR

Fiber optik yoğunlaştırıcı sistem Kocaeli bölgesinde farklı hava koşullarında aydınlatma şiddeti değerleri alınmıştır. Sistemde 30 saniyelik aralıklar ile veri alımı sağlanmıştır. Sabah saat 10.00 ile akşam 16.00 ye kadar veri alınmış ancak güneşli hava durumunun olduğu zamanlarda ise 10.00 ile 16.00 arası veri alınmıştır. Bunun nedeni verilerin alınmış olduğu mekân olan balkonun belirli bir zaman diliminden sonra güneşi görmesinde bazı sorunların ortaya çıkması nedeni ile bu saatler arasında veri alımı sağlanmıştır. İlk aşamada farklı hava koşullarında günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik sistemden iç mekânda orta kısma yerleştirilmiş olan LDR sensörü vasıtasıyla alınmış olan aydınlatma şiddeti değerleri şu şekildedir:

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere yağmurlu hava şartlarında sistemden sağlanabilecek olan verim değerleri düşüş göstermekte ve bununla birlikte iç mekân için aydınlatma şiddeti değerleri diğer hava koşullarına bakıldığı taktirde çok düşük seviyelere inmiş bir konuma gelmektedir. En düşük aydınlatma şiddeti değeri 5 lux olurken, elde edilebilecek olan en yüksek aydınlatma şiddeti değeri 32 lux değerine denk gelmektedir. Kullanılabilirlik durumuna bakıldığı taktirde günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sistemleri genel olarak kapalı veya yağmurlu hava koşullarına sahip olduğu bölgelerde kullanılması durumunda sistemden elde edilebilecek verim yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı kullanılacak olan bölgenin iklimsel özellikleri, güneşlenme süre uzunlukları, solar radyasyon değerinin yüksek olması gibi durumlar büyük önem arz etmektedir.



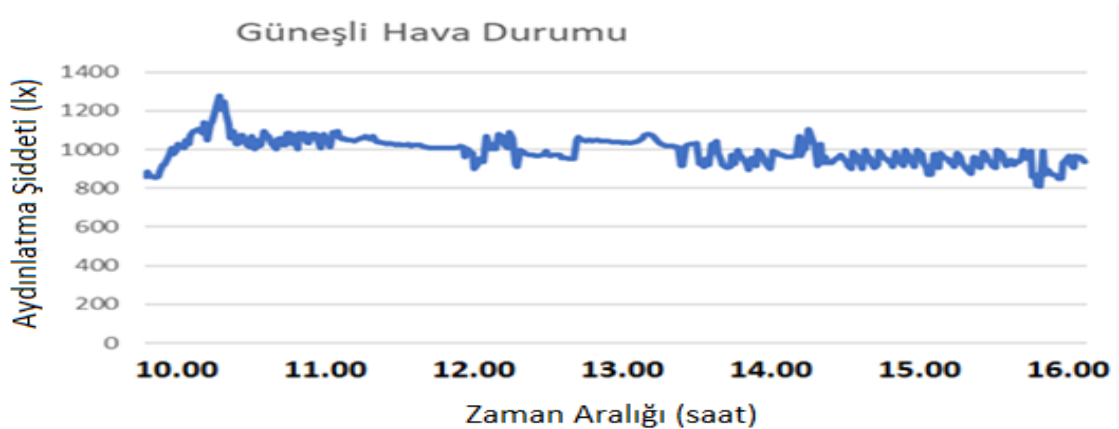
Şekil 4.1 Yağmurlu hava şartlarında sistemden elde edilen aydınlatma şiddeti değişim grafiği (18.03.23).

Şekil 4.2’de verildiği üzere Bulut hareketliliğine bağlı olarak güneşten sağlanan solar radyasyon seviyesinde düşüş görülmekte ve bunun neticesinde verim değerleri bulut hareketliliğine bağlı olarak azalış durumları aralıklı olarak göstermektedir. En belirgin yaşanan düşüş 752 lux değerinden bulut hareketleri ile birlikte 92 lux değerine kadar bir aydınlatma şiddetinde düşüş yaşanmıştır. Bu değer 8,17 katlık bir düşüşe denk gelmektedir.



Şekil 4.2 Çok bulutlu ve ara ara güneşli hava şartlarında sistemden elde edilen aydınlatma şiddeti değişim grafiği (20.03.23).

Şekil 4.3’de verildiği üzere diğer hava koşullarına bakıldığında taktirde açık ve güneşli hava şartlarında elde edilebilecek olan verim değerleri çok yüksek seviyelerde olmakta ve öğlen saatlerinde en yüksek seviyelere ulaşmaktadır.



Şekil 4.3 Güneşli ve açık hava şartlarında sistemden elde edilen aydınlatma şiddeti değişim grafiği (21.03.23).

Grafikler incelendiği taktirde kullanılacak olan bölgenin iklimsel özellikleri çok önemli

bir faktördür. Çünkü kullanılacak olan bölgenin güneşlenme süresi ve solar radyasyon oranı ile doğru orantılı bir şekilde sistemden elde edilebilecek olan verim ciddi bir artış veya azalış gösterebilmektedir. Elde edilen en yüksek aydınlık şiddeti değeri açık ve güneşli bir hava için 1282 lux değeri olurken, en düşük aydınlatma şiddeti değeri 800 lux değerine denk gelmektedir.

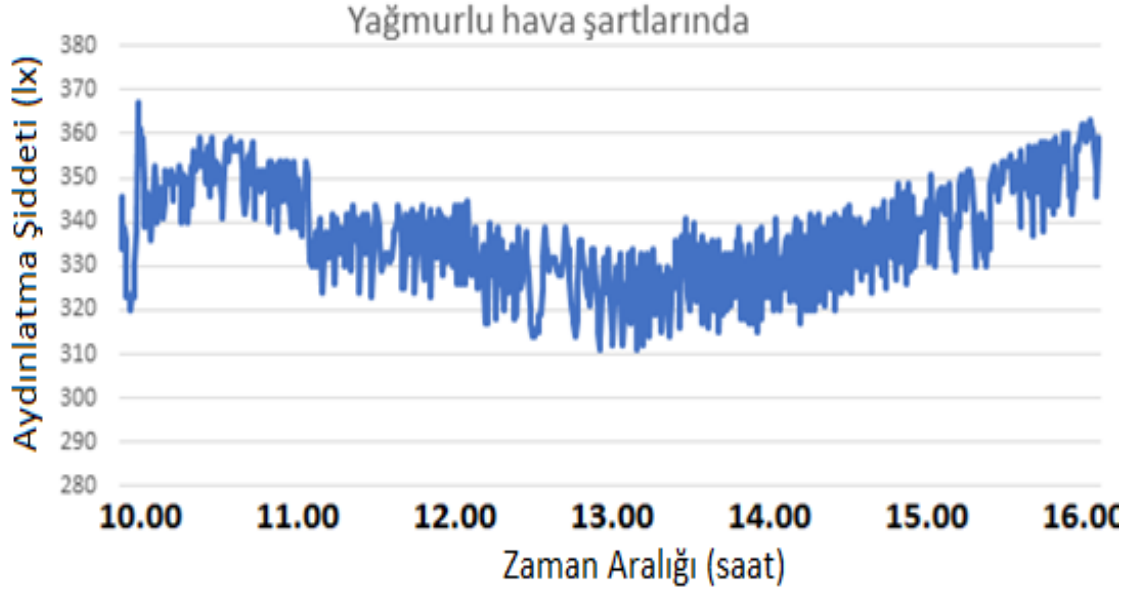
Sistemde farklı hava koşullarında veriler alındıktan sonra sistem içerisinde bulunan 2 adet LDR sensör aracılığı ile ortam parlaklık şiddeti ölçümlenmiştir. 1 adet LDR sensörü fiberoptik yoğunlaştırıcının uç kısmında yer alan difüzörden sağlanan parlaklık durumunu incelemekte diğer LDR ise iç mekânda konumlandırılmış olan masanın (çalışma düzlemi) yan tarafında bulunmakta ve masa tarafına gelmekte olan ışık şiddetinin ölçülünerek LCD ekran üzerinden takip edilebilmesine imkân tanımaktadır. İlk olarak karanlık bir ortamda lambanın belirlenen parlaklık kontrol seviyelerinde sağlamış olduğu ortam aydınlık şiddeti değerleri ölçümlenmiştir. Bu değerler belirlendikten sonra ise fiber optik yoğunlaştırıcı aracılığı ile sağlanan aydınlatma durumu ile masa tarafına gelmekte olan ışığın şiddeti arasında bir orantı durumu bulunarak buna göre lambanın parlaklık durumunun kontrol edilmesi ve lux değerinin istenilen seviyeler arasında tutulabilmesi sağlanmıştır. Çizelge 4.1’de alınan veriler ışığında oluşturulmuş olan loşlaştırma kademesi değerlerine bağlı olarak LED yapılarında iç mekân aydınlatması için kullanılacak olan güç değerleri verilmiştir. Loşlaştırma kademesi değeri lamba parlaklığının belirli değerlerde kısılması ile birlikte harcanan güç miktarında meydana gelecek olan değişimi göstermektedir.

Çizelge 4.1 Loşlaştırma kademesine bağlı olarak LED yapılarında harcanan güç değeri.

Loşlaştırma Kademesi	Harcanan Güç Değeri
1	0,176 W x 2
2	0,372 W x 2
3	0,64 W x 2
4	0,90 W x 2
5	0,931 W x 2
6	1 W x 2

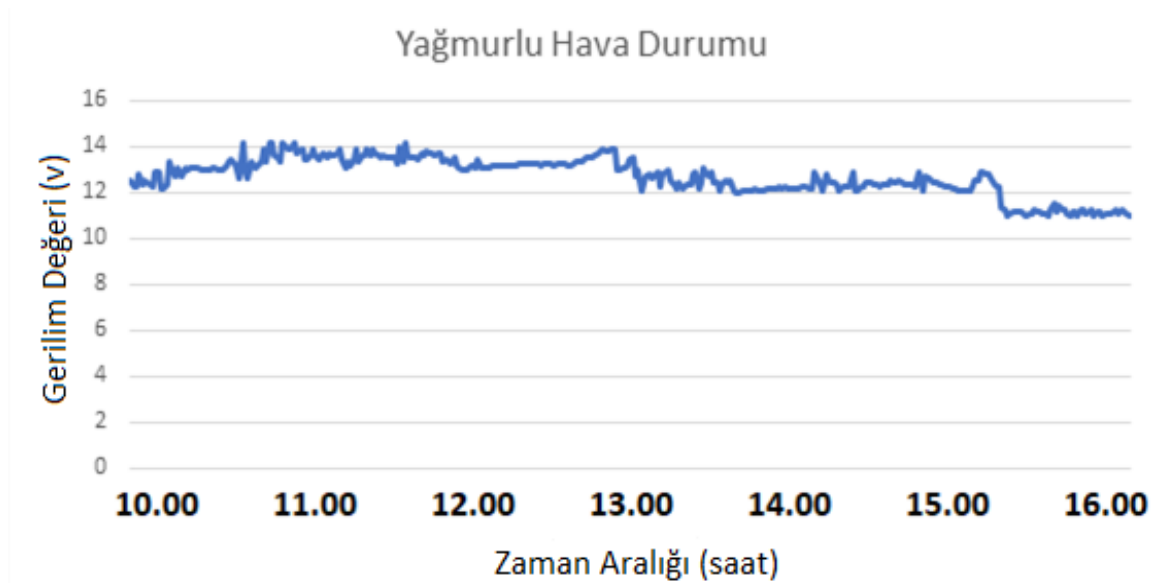
Şekil 4.6, Şekil 4.8 ve Şekil 4.11’de verilmiş olan grafiklerdeki kademelerin karşılık geldiği güç değerleri

Şekil 4.4’de verilmiş olan grafik incelendiği takdirde yağmurlu hava koşullarında sistem iç mekân aydınlatma şiddetini istenilen sınır değerler arasında tutmayı başarmıştır.



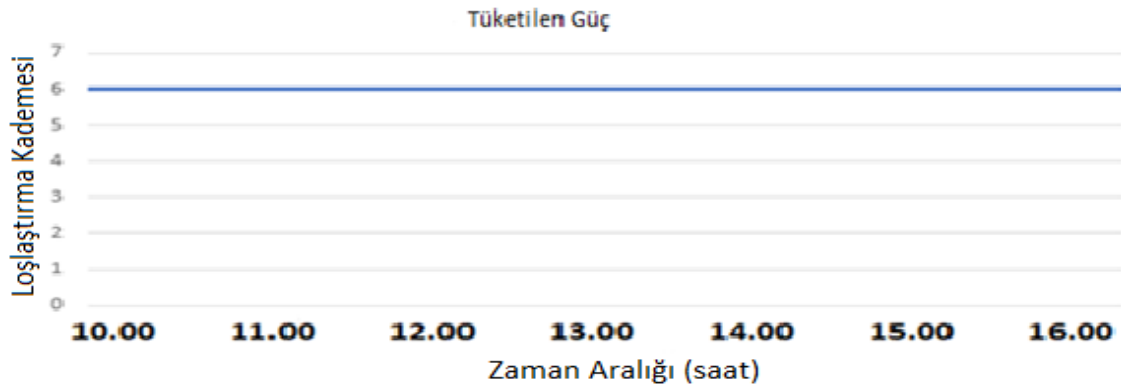
Şekil 4.4 Yağmurlu hava şartlarında iç mekân aydınlatma şiddeti değişim grafiği (03.05.23).

Şekil 4.5’de yağmurlu hava şartlarında güneş panellerinden üretilen gerilim değerleri grafiksel olarak verilmiştir. Yağmurlu hava şartlarında günışığı yoğunlaştırıcılı fiber optik aydınlatma sisteminde de yaşandığı üzere panel yapılarından sağlanabilecek olan gerilim değerleri düşük seviyelere inmektedir.



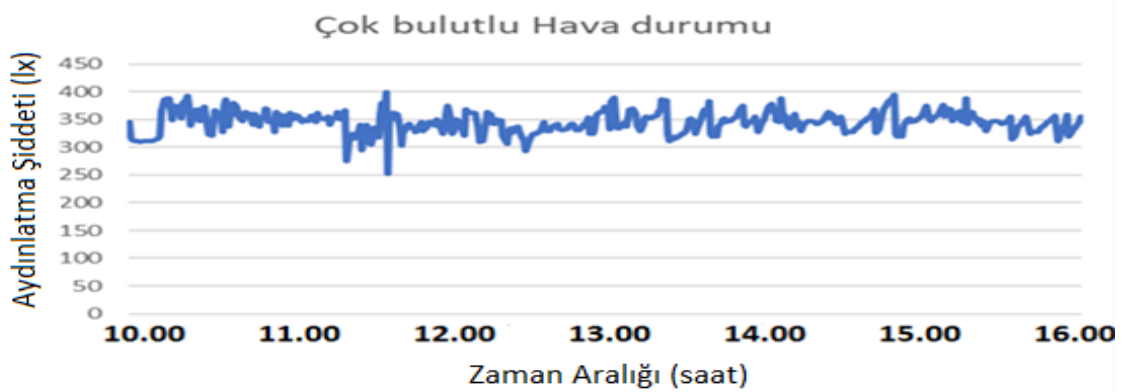
Şekil 4.5 Güneş panellerinin yağmurlu hava durumunda üretmiş olduğu gerilim değeri.

Şekil 4.6’da verilmiş olan grafik incelendiği taktirde iç mekân içerisinde aydınlatma şiddeti istenilen değerlerde tutulurken tüketilmekte olan güç değerinde bir değişim gözlemlenememiştir. Bunun sebebi kapalı hava koşullarında fiber optik kablo verimliliğinin düşüş göstermesinden kaynaklanmaktadır. Solar radyasyon seviyesi ne kadar yüksek bir değere sahip olursa elde edilebilecek verim değeri ve sağlanacak olan tasarrufta aynı şekilde doğru orantılı bir şekilde artış gösterecektir. Loşlaştırma kademesinin denk geldiği güç tüketim değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



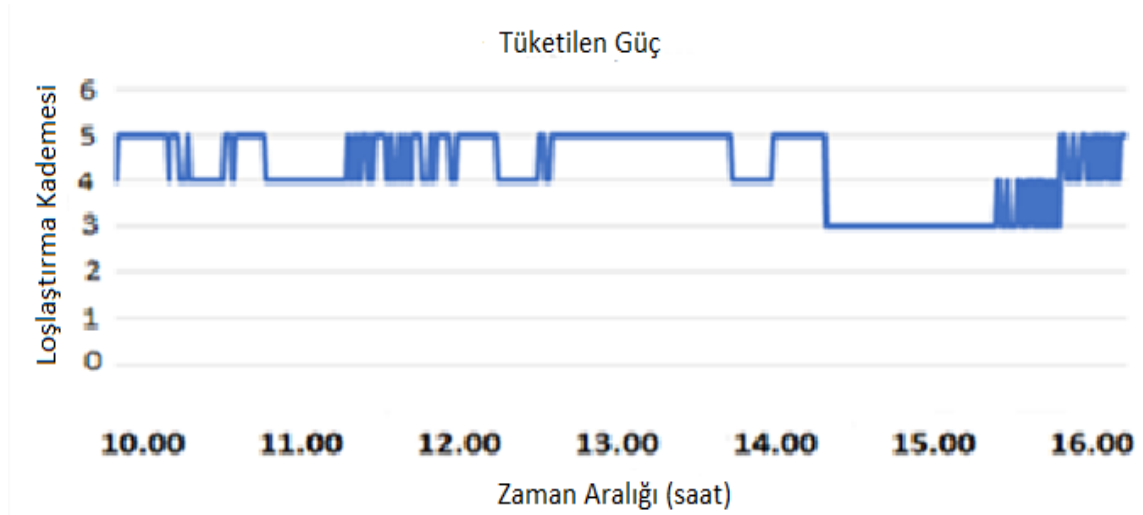
Şekil 4.6 Yağmurlu hava şartlarında iç mekân aydınlatmasında harcanan güç değişim grafiği.

Şekil 4.7’de verilmiş olan grafik incelendiği taktirde iç mekân aydınlatma şiddeti değerleri istenilen değerler arasında tutulmuştur. Ancak belirli noktalarda hava hareketliliklerinden kaynaklı olarak ve sensör hassasiyetinden kaynaklı olarak sınır değerinin altına ve üstüne indiği birkaç nokta bulunmakta ancak genel anlamda bakıldığında sistem başarılı bir şekilde çalıştığı ve aydınlatma şiddetinin istenilen değerlerde tutulabilmesinin sağlandığı gözlemlenebilmektedir.



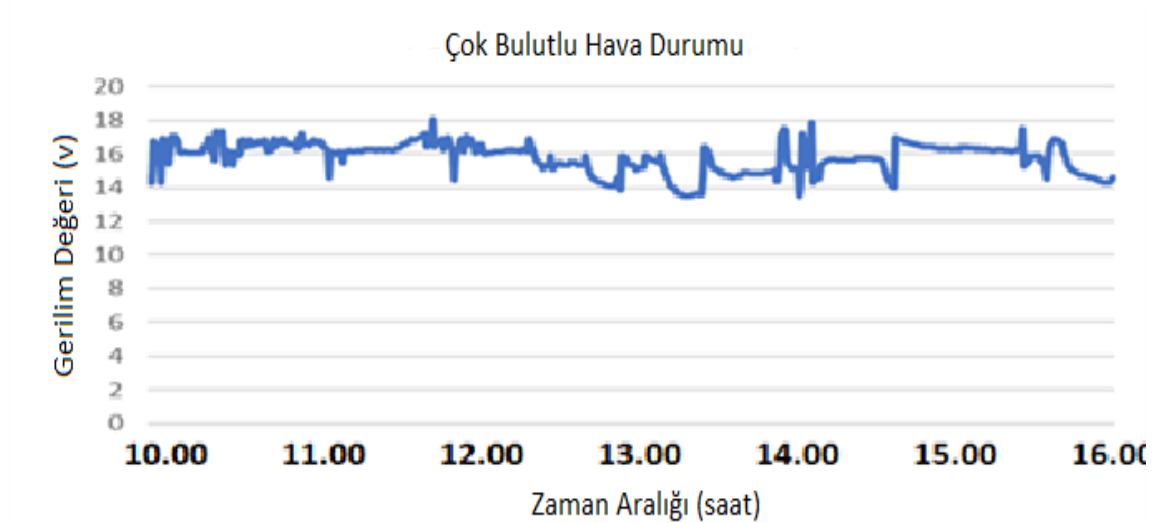
Şekil 4.7 Çok bulutlu ara ara güneşli hava şartlarında iç mekân aydınlatma şiddeti değişim grafiği (08.05.23).

Şekil 4.8’de verilmiş olan grafikte sabah ve öğlen saatlerinde hava çok bulutlu iken öğleden sonra ise hava ara ara açık bir hal almış ve yapay aydınlatma için gereksinim duyulan güç değerinden belirli oranlarda tasarruf sağlanabildiği gözlemlenmiştir. Loşlaştırma kademesinin denk geldiği güç değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



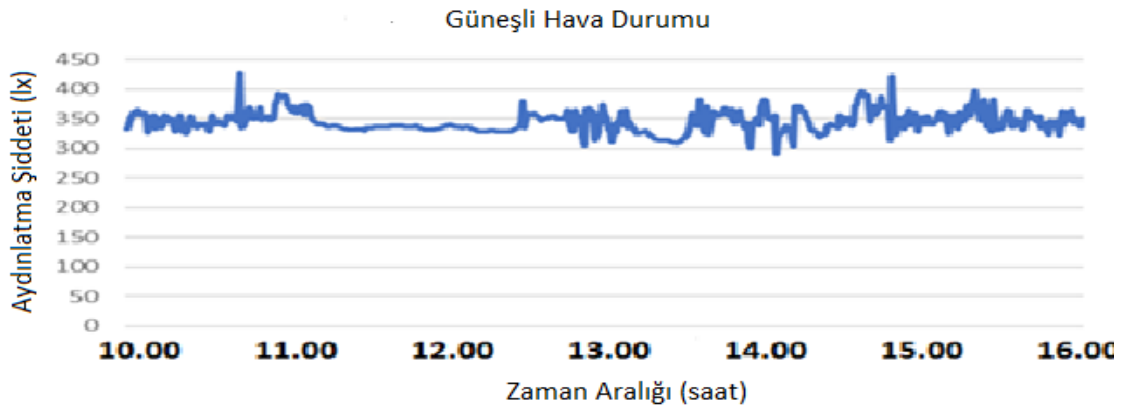
Şekil 4.8 Çok bulutlu ara ara güneşli hava şartlarında iç mekân aydınlatmasında harcanan güç değişim grafiği.

Şekil 4.9’da çok bulutlu hava şartlarında güneş panellerinden sağlanan gerilim değerleri grafik şeklinde verilmiştir. Çok bulutlu hava koşullarında güneş panellerinden elde edilebilecek olan gerilim değerleri sürekli farklılık göstermekte, ani düşüş ve artışlar görülebilmektedir.



Şekil 4.9 Çok bulutlu hava durumunda güneş panellerinden üretilen gerilim değeri.

Şekil 4.10’da verilmiş olan grafik incelendiği taktirde iç mekân aydınlık şiddetinin 300 ile 360 arasında stabil olarak tutulabildiği bazı noktalarda istenilen sınır değerin üzerine çıktığı fakat bunların genel olarak bakıldığı taktirde başarılı bir sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Sabit tutulması esnasında düşmüş olduğu en düşük değer 280 lux olurken, en yüksek değer ise 430 lux değerine denk gelmektedir. Bunun sebebi ani artış durumları veya düşüş durumlarında sistemin verdiği tepki sürelerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.10 Güneşli hava şartlarında iç mekân aydınlatma şiddeti değeri değişim grafiği (17.05.23).

Şekil 4.11’de verilmiş olan grafik incelendiği taktirde bulutlu ve yağmurlu hava koşullarına kıyasla güneşli hava koşullarında yapay aydınlatma için gerekli olan güç değerlerinde büyük oranda azalma sağlanılabildiği gözlemlenmektedir. Çizelge 4.1 incelendiği taktirde en yüksek tasarruf değeri olan her iki lamba için de 0,64 W değerinde enerji harcanması sağlanırken, %36 oranında aydınlatma tarafından harcanacak olan güç değerinden tasarruf elde edilmektedir. Loşlaştırma kademesinin denk geldiği güç tüketim değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.11 Güneşli hava şartlarında iç mekân aydınlatmasında harcanan güç değişim grafiği.

Şekil 4.12’de güneşli hava şartlarında güneş panellerinden sağlanan gerilim değerleri grafik şeklinde verilmiştir. Güneşli hava şartlarında panellerden elde edilecek olan verim değerleri günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sisteminde olduğu gibi yüksek değerlere sahiptir. Güneş panellerinden elde edilen en yüksek gerilim değeri güneşli hava durumu için 18,2 V görülürken, en düşük 16,2 V değerine denk gelmektedir.



Şekil 4.12 Güneşli hava durumu panellerden üretilen gerilim değerleri.

Çizelge 4.2’de farklı hava koşullarında alınmış veriler ışığında iç mekân aydınlatma şiddeti istenilen değerlerde sabit kalması koşulu ile LED yapılarında harcanmakta olan güç değerinden yüzdelik olarak ne kadarlık bir tasarruf elde edilebileceği oransal olarak belirtilmiştir. Sağlanmış olan en yüksek tasarruf değeri 0,64 W değeridir. Bu değer %36 oranına denk gelmektedir. Yağmurlu hava koşullarında doğal aydınlatmadan sağlanabilecek olan değerler düşük seviyelerde olmasından dolayı herhangi bir tasarruf durumu sağlanamamıştır.

Çizelge 4.2 Oluşturulmuş olan sistem sayesinde harcanan güç değerinden sağlanan tasarruf.

Loşlaştırma Kademesi	Sağlanan Tasarruf değeri
3	%36
4	%10
5	%6,9
6	%0

Loşlaştırma kademesinin karşılık geldiği harcanan güç değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

5. ÖNERİLER ve SONUÇ

Enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması ve ilerleyen yıllarda elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte artabilecek olan enerji talebi nedeniyle enerjinin sağlanabileceği alternatif kaynaklar büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde harcanmakta olan enerjinin %20'lik bir kısmını yapay aydınlatma tarafında kullanılmakta olan enerji kapsamaktadır (Sevinç ve Altın 2021). Bundan dolayı aydınlatma tarafından sağlanabilecek olan tasarruf yöntemleri ve alternatif kaynaklarla birlikte kullanılabilecek olan hibrit sistemler büyük bir önem arz etmektedir.

Doğal aydınlatmanın insan psikolojisine, biyoritim üzerine, göstermiş oldukları iş performansları üzerine olumlu etkileri bulunmaktadır (Köse vd. 2017). İş kazası risklerinin ortadan kaldırılabilmesi adına büyük öneme sahip olduğu görülmektedir. Doğal aydınlatma yıllarca kullanılabilecek olan maliyetsiz bir kaynak ve ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli en yüksek ülkeler arasında bulunmasından dolayı bu alanda çalışmaların ülkemiz de arttırılması gerektiği kaçınılmaz bir gerçektir.

Paris Anlaşması'na taraf 110 ülke Ulusal Katkı Beyanlarını güncelledi. 1990 yılı baz alınarak 2030 yılına kadar İngiltere %68, AB(Avrupa Birliği) %55 ve ABD (Amerika Birleşik Devletleri) %43 oranında sera gazı azaltım taahhüdü verdi (İnt. Kyn. 21). Finlandiya 2035, Avusturya ve İzlanda 2040, Almanya ve İsveç 2045, Japonya, ABD, Brezilya, Danimarka, Birleşik Krallık ve Fransa 2050, dünyanın en büyük karbon salıcısı Çin ise 2060 tarihini net sıfıra ulaşmak için hedef yılı olarak belirledi (İnt. Kyn. 22). Her geçen gün artan enerji taleplerine yanıt verebilmesi adına ve karbon salınımının 0 değerine indirgenebilmesi adına doğal kaynaklardan en verimli şekilde yararlanılması gerektiğini göstermektedir.

Fiber optik aydınlatma sistemi uzun yıllar kullanılabilmesi ultraviyole ve kızılötesi gibi güneş ışınlarında bulunan zararlı ışınlardan arındırılmış bir şekilde aydınlatma sağlayabilmesi ve güneş ışınlarının yoğunlaştırılması sağlanarak yoğun bir şekilde aktarımının sağlanabilmesinde yeterli performansları sağlayabilmektedir.

Geçmişten günümüze yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artış göstermiştir. Bundan sonrada teknolojinin giderek gelişmesi ile birlikte, üretim tesislerinin, fabrikalarda harcanmakta olan enerji artışı ve konutlarda harcanmakta olan elektrik enerjisinin giderek artması ile birlikte ülkemizde ve dünyada enerjiye olan talep giderek artış göstermektedir. Bu sebepten dolayı enerji maliyetleri giderek artış göstermekte ve insanların kendi enerjilerini karşılayabilmesi amacıyla çeşitli kaynaklara yönelimlerinde artış meydana getirmektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin büyük bir kısmı aydınlatma için harcanmaktadır. Aydınlatma için harcanmakta olan enerji değerlerinin azaltılabilmesi için doğal aydınlatma sistemleri büyük bir öneme sahiptir. Bununla birlikte yapılmış çalışmalar doğrultusunda doğal aydınlatma için kullanılan sistemlerin hem insan psikolojisine iyi geldiği hem de çalışma veriminin belirli oranlarda artışlara neden olduğu belirlenmiştir. Bu sebepten dolayı doğal aydınlatma sistemleri gelecek yıllarda daha çok kullanımı söz konusu olması beklenmektedir. Doğal aydınlatma sistemlerinin dezavantajları arasında en büyük yeri güneş ışığının yetersiz kaldığı akşam saatlerinde ortam için gerekli aydınlatma değerini karşılayamaması söylenebilir. Bu sebepten dolayı güneş enerjisinin yetersiz kalmakta olduğu akşam saatlerinde gerekli olan aydınlatma değerinin karşılanabilmesi için yapay aydınlatma kullanılması gerekmektedir. Yapay aydınlatmanın şebekeden en az yararlanılacak şekilde enerji tüketebilmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları bu sistemlerin hibrit bir şekilde çalışmasını sürdürebilmesi adına büyük bir öneme sahiptir. Bu sebepten dolayı yapılmış tez çalışması ile birlikte bir ortamın aydınlatılması için gerekli olan aydınlatma değerleri doğal aydınlatma sistemlerinden birisi olan günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sistemi aracılığı ile karşılanmış ve yetersiz kalması durumunda ise güneş panelleri aracılığı ile üretimi sağlanan enerjinin aküler aracılığı ile depolanması ve ortam aydınlık değerinin yetersiz görüldüğü taktirde elle kontrol teknikleri (potansiyometre, kumanda, bluetooth, buton) veya otomatik bir şekilde devreye girerek ortamın aydınlık değerinin istenilen seviyelere ulaştırılabilmesine imkân tanıyan bir hibrit aydınlatma sistemi ortaya konmuştur. Yapılan çalışma doğrultusunda enerjinin büyük bir kısmının bu şekilde karşılanabileceği ortaya konmuş ve yapılan sistem ile birlikte fiber optik kabloların aydınlatma verimlerinin en üst seviyeye çıkarılabilmesi için kullanılmakta olan güneş takip sistemlerinin iki tarafına dengeyi sağlayacak şekilde güneş paneli yapıları

yerleştirilmiş bu sayede iki sistemin birlikte güneş takibini gerçekleştirmesi sağlanırken güneş panellerinin üretmiş olduğu enerji değerlerinin de artış göstermesi sağlanmıştır.

Yapılmış olan bu tez çalışması ile birlikte;

- Oluşturulmuş yoğunlaştırıcı yapı içerisinde kullanılan gümüş varak folyo yapısının yoğunlaştırılan gün ışığının fiber optik kablo demeti üzerine aktarılması sırasında kırılma uğrayan ışınların fiber optik kablo demeti üzerine tam olarak aktarılmasında da kullanılabileceği yapılmış çalışma ile belirlenmiştir.

- Tez çalışması ile birlikte oluşturulmuş olan manuel (buton, bluetooth, kumanda, potansiyometre) ve prototip sistem tarafından alınmış veriler doğrultusunda oluşturulmuş olan otomatik kontrol metodu sayesinde ister manuel ister otomatik bir şekilde iç ortam aydınlatma değerleri istenilen aydınlık şiddetine getirilebilmesi sağlanmıştır.

- Otomatik çalışma modunda farklı hava şartlarında sistemin iç mekân üzerinde sağlamış olduğu aydınlatma şiddeti değerleri grafikler şeklinde verilmiş ve bunun sonuçlarında gümüşli yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sistemleri güneşli hava koşullarında en verimli olduğu (1250 lux) ve yağmurlu hava koşullarında ise verim değerlerinin çok düşük seviyelere indiği (30 lux) ve verimsiz bir hal aldığı yapılmış çalışma ile saptanmıştır.

- Tez çalışması ile birlikte farklı hava koşullarında alınan veriler ışığında iç ortam aydınlık şiddeti değerinin 300 ile 360 lux değerleri arasında sabit kalabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede iç mekân aydınlatma şiddeti değerlerinin istenilen seviyelerde tutulması sağlanarak hem aydınlatma tarafında tasarruf sağlanmış hem de aydınlatma kalitesi yüksek seviyeye çıkarılabilmektedir.

- Yapılmış olan tez çalışması ile birlikte havanın açık ve güneşli olduğu zaman dilimlerinde otomatik kontrol sistemi sayesinde yapay aydınlatma tarafında harcanacak olan güç değeri her iki lamba için de 0,64 W değerine kadar indirgenebilmiş ve bu sayede %36'lık bir tasarruf sağlanırken, yağmurlu hava şartlarında ise bu değer her iki lamba

içinde 1 W güç harcanmasına ve %0 oranında bir tasarruf elde edilebileceği ortaya konmuştur.

- Kullanılan fiber optik kablo sayısı arttırılarak elde edilebilecek olan verim değerleri ve tasarruf oranları orantılı bir şekilde artış sağlayabilmektedir.

- Fiber optik kablo yapıları günümüzde birçok sektörde kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan fiber optik kabloların fazlalıkları ve yıllar sonrasında yıpranmış hale gelmiş olanlarının geri dönüşüm tesisleri kurularak geri dönüşümü sağlanması ile birlikte uygun maliyetlerde kullanım için uygun olabilir.

- Fiber optik kablo ile aydınlatma sistemlerinde büyük bir ortamın aydınlatılabilmesi için çok sayıda kabloya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler yer altında bulunan odaların, güvenlik kulüpleri, tünel aydınlatmaları, konteyner tipi giyinme, yeme içme yerleri, küçük boyutlarda odaların, sığınakların, patlayıcı ve yanıcı madde taşıyan yük gemilerinde, su içerisinde, ıslak, nemli yerlerde patlama riski yüksek yerlerde farklı ve zorlu ortam koşullarına dayanımı nedeniyle güvenilir bir aydınlatma sistemidir.

- Oluşturulmuş olan yoğunlaştırıcı sistemde yer almakta olan fresnel lens ve yoğunlaştırıcı yapı sayısını arttırarak ve fiber optik kablo demetini az sayıda tutarak her birinin üzerine ayrı ayrı daha yoğun bir odaklı ışık düşürülerek fiber optik kablo tarafından iç mekâna aktarılabilir olan ışık yoğunluğu çok daha yüksek seviyelere getirilebilmektedir.

- Fiber optik kablo verimli bir şekilde çalışabilmesi için güneş ışığını olabildiğince dik bir şekilde alabilmesi verim durumlarında büyük bir önem arz ettiği ortaya konulmuş ve güneş takibi yapılırken iki tarafına da konumlandırılmış olan güneş panelleri aracılığı ile verim değerlerinin hem güneş panelleri hem de fiber optik kablo tarafında arttırılması sağlanmıştır.

- Güneş takip sisteminde harcanacak enerji miktarının düşürülebilmesi adına kullanılabilecek olan büyük sistemler için sistem içerisinde esnek güneş panelleri

kullanılarak hafif ve rahat hareket edebilmesi sağlanabilir.

- Solar radyasyon değerinde gösterilen artış doğrultusunda yoğunlaştırılacak olan ışık artacağından dolayı solar radyasyon seviyesi ile doğru orantılı bir şekilde fiber optik kablo tarafından aktarılabilecek olan ışığın yoğunluğu artmaktadır.

- Solar radyasyon seviyesi arttıkça yoğunlaştırılacak olan güneş ışığı miktarı artış göstermektedir fakat yoğunlaştırılmış olan güneş ışınları fiber optik kablo tarafında zararlı olan ultraviyole ve kızılötesi ışıklardan arındırılmadan direkt olarak fiber optik kablo demeti üzerine yansıtılması durumunda fiber optik kablo demetinde ısınma durumları ve bunun sonucunda bozulma ve yıpranma durumlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bundan dolayı bu tür sistemlerde hem filtre hem de yüksek sıcaklıklara ulaşan bölgelerde soğutucu bir materyal kullanılması büyük önem arz etmektedir.

- Yoğunlaştırılmış fiber optik sistemlerin verim değerlerinin yüksek olabilmesi adına güneş ışığının yoğun olduğu bölgelerde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Günlük güneşlenme süresinin uzun olduğu ve solar radyasyon seviyesinin yüksek olduğu illerde kullanımının daha verimli olacağı Şekil 4.3’de verilmiş olan grafikten anlaşılmaktadır.

- Yoğunlaştırılmış fiber optik kablo demetini ve güneş panellerinin güneşe dik bir doğrultuda yönlendirilebilmesini sağlamak amacıyla sistemde yer alan güneş takip sistemlerinin engel bulunmayan ön ve yan taraflarında yapı bulunmayan bir konumda yer alması gölgelenme durumlarının ortadan kaldırılarak hem güneş panelleri hem de günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik sistemin verimli bir şekilde çalışması ve güneş takibinin rahat bir şekilde yapılabilmesi adına büyük önem arz etmektedir.

- Yapılmış olan sistem yalnızca fiberoptik aydınlatma sistemleri dışında ışık boruları ile sağlanan aydınlatma durumlarında da hava şartlarının gözlemlenmesi ve verilerin incelenmesi ile birlikte kullanılabilirliği araştırılabilir.

- Yapılmış olan tez çalışması neticesinde günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma

sistemlerinde güneşin dik bir şekilde alınması verim üzerinde çok yüksek etki durumları meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple bu tür sistemlerde özel olarak ayarlanmış etkili bir şekilde çalışabilen güneş takip sistemlerinin yer alması verim durumları üzerinde çok büyük bir etki durumuna sahiptir.

- Oluşturulmuş olan sistem de bulunan çalışma modları birçoğu evlerde, ofislerde, binalarda da aydınlatmanın kontrol edilebilmesi amacıyla kullanılabilir.

- Yapılmış olan tez çalışmasında fiber optik kablo yapılarında dik bir aydınlatma sağlandığından dolayı bu tür sistemlerde tek bir noktadan aydınlatmak yerine birkaç noktadan sağlanan aydınlatmanın daha verimli olabileceği yapılmış çalışma ile birlikte gözlemlenmiştir. Sistemde orta noktada aydınlatma şiddeti değeri yüksek seviyelerdeyken yan kısımlarda bu değer difüzör kullanılmasına rağmen yüksek oranda düşüş gösterdiği belirlenmiştir.

- Günişığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sistemleri ilk yatırım maliyetleri diğer sistemlere kıyasla daha yüksek değerlerdedir fakat olumsuz ortam koşullarında rahat bir şekilde çalışabilmesi, uzun ömürlü sistemler olması ve en önemli avantajlarından biri olarak yeraltında kullanılan diğer aydınlatma metotlarına kıyasla esnek bir yapıya sahip olmasından dolayı coğrafi şartlar, ev yapı durumları, çevre şartları gibi bir çok sorun yaşayan diğer aydınlatma sistemlerine kıyasla büyük bir avantaj sağlamaktadır.

- Günişığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sistemlerinin güneşi takip edebilmesinde kullanılacak olan servo motor yapılarının kullanılan MG996R motor yapısından farklı olarak güçlü ve takip sisteminin gerçekleştirilecek olan projelerde sert ve dayanımı yüksek materyallerden seçilmesi bu tür sistemler için önem arz etmektedir.

- Farklı kontrol metotlarının kullanılması ile birlikte, belirlenen standartlardaki aydınlatma değerlerin bazı kişilerde yüksek, bazı kişilerde ise düşük olması gibi kişiye özgü ergonomik aydınlatmanın sağlanabilmesi amacıyla bu tür problemlerin çözümüne katkı sunulması sağlanmıştır.

- Kullanılacak olan fiber optik kablo kılıfı esnek bir malzemeden seçilmemesi durumunda sistemde hareket zorluklarına sebebiyet verebilmektedir. Bundan dolayı esnek ve ısı dayanımı yüksek kablo kılıfları kullanılmalıdır.
- Fiber optik aydınlatma sistemleri uzun mesafelerde taşınması durumunda verim değerlerinde düşüş meydana gelmektedir. Bu nedenle çok derin yerlerde kullanımı verim düşüşlerine sebep olmaktadır.
- Yapılmış olan çalışma ile birlikte bulut hareketliliklerine bağlı olarak günışığı yoğunlaştırıcı fiber optik aydınlatma sisteminden elde edilecek olan aydınlatma şiddeti değerleri 752 lux değerinden 92 lux değerine kadar büyük bir değişim gösterebilmektedir. Bu nedenle bulut hareketlilikleri bu tür sistemlerde verim değerlerini büyük ölçüde etkilediği belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Adanur S, 2014, PIC Kontrollü Solar Aydınlatma Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 37s, Kahramanmaraş.
- Akella A K, Saini R P, Sharma M P, 2009, Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems, Renewable Energy, 34, 390-396.
- Al-Amayreh M I, Alahmer A, Manasrah A, 2020, A novel parabolic solar dish design for a hybrid solar lighting-thermal applications, Energy Reports, 6, 1136-1143.
- Altaş İ H, 1998, Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 47, 66-71.
- Anonim, 2012, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 523EO0002, Ankara.
- Bayrak G, Gençoğlu M T, 2011, İki eksenli güneş takip sisteminin tasarımı ve PLC ile kontrolü, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı, 2011, İzmir, 407-411.
- Ceylan İ, Gürel A E, 2017, Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı, Dora Yayınevi, 196s, Bursa.
- Çağlar A, Sarıkaya A, Eyyupoğlu Ö F, 2019, Fresnel Aynası ve Güneş Takip Sisteminin Güneş Paneli Güç Üretimine Etkisi, 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 08-09 Kasım 2019, Mersin, 1-8.
- Çelik A N, Koç F, 2020, Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Doğrulanması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8, 2491-2515.
- Demir H, Çıracı G, Kaya R, Ünver Ü, 2020, Aydınlatmada Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Durum Değerlendirmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25, 1637-1652.
- Efe Ş, Güngör Z A, 2021, Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 32, 947-955.

- Gençoğlu M T, 2005, İç Aydınlatmada Enerji Tasarrufu, III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, 23-25 Kasım 2005, Ankara, 141-150.
- Görgülü S, Kocabey S, Yüksek İ, Bahtiyar D, 2010, Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılarda Doğal Aydınlatma Yöntemleri: Kırklareli Örneği, II. Trakya Bölgesi Kalkınma – Girişimcilik Sempozyumu, 1-2 Ekim 2010, Kırklareli.
- Kandilli C, Türkoğlu A K, Ülgen K, 2007, Günışığı Aydınlatma Sisteminin Tanıtımı ve Performans Değerlendirmesi, IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 13-15 Aralık 2007, İzmir, 44-53.
- Kantaroğlu F, 2010, Fotovoltaik Sistemler, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara.
- Keçel S, Önder M, Yavuzcan H G, 2015, Sanayi Tipi Güneş Takip Sistemli Fotovoltaik Panel Sistem Performansının Sayısal Olarak İncelenmesi ve Güneşlenme Faktör Hesabı, Gazi Journal of Engineering Science, 3, 383-400.
- Kırbaş İ, 2019, Binalarda enerji verimliliği uygulamaları: MAKU mühendislik mimarlık fakültesi örneği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 835-843.
- Köse Ö, Üstün İ, Yağlı H, Öztürk N A, Karakuş C, Koç Y, Koç A, 2017, Işık Tüpüyle Doğal Aydınlatma Sistemlerinin İskenderun Bölgesine Uygulanabilirliği ve Tasarımı, 3e Electrotech Dergisi.
- Kudryashov A V, Galishheva E S, Kalinina A S, 2018, Lighting Control Using DALI Interface, 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 15-18 May, Moscow.
- Kunduracı A C, Kazanasmaz T, 2016, Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Kullanıcı Memnuniyeti Üzerindeki Etkisine Eleştirel Bir Bakış, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3, 553-560.
- Lv Y, Xia L, Yan J, Bi J, 2018, Design of a Hybrid Fiber Optic Daylighting and PV Solar Lighting System, Energy Procedia, 145, 586-591.
- Muratoğlu Y, Alkaya A, 2015, Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi – İnceleme, VIII. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI SEMPOZYUMU, 2015, Adana, 243-248.

- Ortataş M, 2015, Endüstriyel Çalışma Ortamlarının Otomatik Aydınlik Kontrolü, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Yozgat.
- Özdemir N C, Hüres İ, Özgün Y, İnsan Odaklı Hareket ve Varlık Algılama Sensörleri, V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 18-21 Ekim 2017, İzmir.
- Öztürk H, 2008, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı, Teknik Yayınevi, 354s, Ankara.
- Öztürk H, 2012, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsan Yayınevi, 354s, İstanbul.
- Öztürk A E, Aşkın M, Dal M, Korunur S, Kaymaz, K, 2017, Konutlarda Yapay Aydınlatma Enerjisinin Etkin Yönetimi, Bilim ve Gençlik Dergisi, 2, 74-90.
- Prelvukaj Z, Abazi F, 2021, Daylight in underground houses as a new form of housing, 2021 UBT International Conference, 30 October, Kosova.
- Qin L, Peña-García A, Leon A S, Yu J C, 2021, Comparative Study of Energy Savings for Various Control Strategies in the Tunnel Lighting System, Applied Sciences, 11, <https://doi.org/10.3390/app11146372>
- Qin X, Zhang X, Qi, S, Han H, 2015, Design of Solar Optical Fiber Lighting System for Enhanced Lighting in Highway Tunnel Threshold Zone: A Case Study of Huashuyan Tunnel in China, International Journal of Photoenergy, 2015, 1-10, <https://doi.org/10.1155/2015/471364>
- Qu W, Cheng W, Liu C, 2020, Lighting Design and Statistical Analysis on Sunshine Underground Garage, Journal of Physics, 1670, 1-6.
- Seung J O, Wongee C, Saffa B R, Young I J, Spencer D, Hyun J H, 2013, Computational analysis on the enhancement of daylight penetration into dimly lit spaces: Light tube vs. fiber optic dish concentrator, Elsevier, 59, 261-274.
- Sevinç Ö, Altın E, 2021, Gün Işığı ile Aydınlatmanın Önemi ve Işık Tüplerinin Etkin Kullanımı, Online Journal of Art and Design, 9, 140-159.
- Shi, L, Tu Y, Wang X, He S, Bhusal P, Hou Z, Zhang C, 2023, On-Demand Tunnel Lighting System Utilizing Daylight: A Case Study, Sustainability, 15, <https://doi.org/10.3390/su15032013>.

- Sreelakshmi K, Ramamurthy K, 2022, Review on fibre-optic-based daylight enhancement systems in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 163,1-16.
- Ünal G, Çetegen D, Enarun D, 2005, Gelişmiş Aydınlatma Sistemleri, III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, Ankara, 165-170.
- Xiaochun Q, Xuefeng Z, Shuai Q, Hao H, 2015, Design of Solar Optical Fiber Lighting System for Enhanced Lighting in Highway Tunnel Threshold Zone: A Case Study of Huashuyan Tunnel in China, International Journal of Photoenergy, 2015, 1-10.
- Yener A K, 2007, Binalarda Güneşten Yararlanma Yöntemleri: Çağdaş Teknikler, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 Ekim 2007, İzmir, 231-241.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, 11.06.22
- 2- <http://www.gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=663>, 12.06.22
- 3- <https://www.antalyaenerji.com/gunes-fotovoltik-pili-nedir-ve-nasil-calisir/>, 12.06.22
- 4- <https://www.freeimages.com/tr/premium/calligraphy-vector-1640851>, 13.06.22
- 5- <https://www.doguselektronik59.com/?newUrun=1&Id=900448&CatId=bs511552&Fstate=&/F20-27-H1C-24V-27Ah-Ni-Cd-U%C3%A7ak-Ak%C3%BCs%C3%BC>, 14.06.22
- 6- <https://urun.n11.com/aksesuar-setleri/makita-193354-3-yedek-aku-bh1433-P543253971>, 15.06.22
- 7- <https://www.elektrikde.com/jel-aku-nedir-kullanim-alanlari-nelerdir/> (16.06.22)
- 8- <https://otomobilternoloji.blogspot.com/2022/01/jel-aku-nedir-jel-aku-ozellikleri.html>, 18.06.22
- 9- <https://www.tamsolar.com.tr/solar-7-24-12volt-100ah-deeppcycle-jel-aku/>, 19.06.22
- 10- <https://www.aga.com.tr/hebeschiebe-kaldirmali-surme-sistemi/>, 19.06.22
- 11- <https://www.indu-light.com/tr/ueruenler/kontinue-cati-isikliklari/eyer-tipi/skyline>, 19.06.22

- 12- <https://twitter.com/istanbullasalle/status/583278727175499776>, 22.06.22
- 13- <https://www.tesisat.org/isik-tupuyle-dogal-aydinlatma-sistemlerinin-iskenderun-bolgesine-uygulanabilirliigi-ve-tasarimi.html>, 23.06.22
- 14- <https://urun.n11.com/dekoratif-aydinlatmalar/150-mm-750-metre-uctan-isima-fiber-optik-aydinlatma-kablosu-P382823533>, 02.07.22
- 15- <https://hayaletveyap.com/arduino-ile-akilli-gunes-takip-sistemi-projesi-yapimi/>, 02.07.22
- 16- <https://www.bulut-kamera.com/pir-sensor-nedir-pir-sensor-nasil-calisir/>, 01.01.23
- 17- <https://www.robolinkmarket.com/ldr-5mm>, 05.01.23
- 18- <https://www.robotistan.com/mg996r-yuksek-hizli-servo>, 03.02.23
- 19- <https://www.aydinlatma.org/pwm.html>, 20.06.23
- 20- <https://tr.pinterest.com/pin/361554676306799199>, 29.06.23
- 21- <https://sefia.org/blog/paris-anlasmasi-onaylandi-turkiyenin-iklim-politikasinda-yeni-bir-donem-basliyor>, 29.06.23
- 22- <https://www.escarus.com/kritik-iklim-adimlari-karbon-notr-ve-net-sifir-hedefleri>, 29.06.23