

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE YÜKSEK ENERJİ  
VERİMLİLİĞİ İÇİN KONTROL SİSTEMİ TASARIMI VE  
UYGULAMASI**

**UĞUR YÜCEL**

**KOCAELİ 2019**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE YÜKSEK ENERJİ**  
**VERİMLİLİĞİ İÇİN KONTROL SİSTEMİ TASARIMI VE**  
**UYGULAMASI**

**UĞUR YÜCEL**

**Dr.Öğr.Üyesi Murat AYAZ**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Prof.Dr. Engin ÖZDEMİR**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

**Dr.Öğr.Üyesi Mevlüt KARAÇOR**  
**Jüri Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniv.**


**Tezin Savunulduğu Tarih: 04.01.2019**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüz teknolojik gelişmeleri ile birlikte enerjiye olan talep hızla artmaktadır. Artan enerji talebinin karşılanması, yeni enerji kaynakları araştırılarak enerji üretim kapasitesinin artırılması ve mevcut enerjinin daha verimli kullanılması ile sağlanabilir. Enerji üretim kapasitesinin artırılmasında, gerek sınırlı enerji kaynakları gerekse de çevresel faktörler enerji üretim maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla mevcut enerjinin mümkün olduğunca yüksek verimde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, doğal kaynaklarımızı ve çevremizi korumak için, alternatif enerji kaynaklarına yönelmenin yanı sıra, enerji tasarrufu sağlayacak teknolojiler geliştirmek kabul gören bir yöntemdir.

Enerji tüketiminin önemli paydaşlarından olan aydınlatma sistemlerinde, enerji verimliliği sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesi üzerine yenilikçi çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile birlikte düşük enerji tüketimine sahip aydınlatma armatürleri, basit ve esnek kontrol yapıları yaygın olarak geleneksel aydınlatma sistemlerinin yerini almaktadırlar. Bu doğrultuda, iç mekân aydınlatma sistemlerinde yüksek enerji verimliliği sağlayabilecek bir kontrol sistemi tasarımı ve uygulaması ele alınmıştır. Bu tez çalışması, 2018/072 numaralı, “İç Mekân Aydınlatmasında Yüksek Enerji Verimliliği İçin Düşük Maliyetli Otomasyon Sistem Tasarımı ve Uygulaması” isimli Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen aydınlatma sistemi ile gün içerisinde %60-70 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Aydınlatma amaçlı tüketilen enerjinin tasarruf edilmesini sağlayan bir yöntem geliştirdiğimiz çalışmamıza olan katkısından dolayı değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat AYZA’ya ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim

Ocak - 2019

Uğur YÜCEL

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ .....	1
1. AYDINLATMA SİSTEM BİLEŞENLERİ VE ENERJİ TASARRUF YÖNTEMLERİ.....	3
1.1. Ofis Aydınlatmasında Kullanılan Lamba Çeşitleri .....	3
1.1.1. Enkandesan (akkor flamanlı) ampuller .....	4
1.1.2. Tungsten halojen lambalar .....	4
1.1.3. Floresan lambalar .....	5
1.1.4. Kompakt floresan lambalar .....	5
1.1.5. LED lambalar .....	6
1.2. Aydınlatma Elemanının Seçilmesi .....	6
1.3. Aydınlatma Elemanının Seçim Kriterleri.....	8
1.3.1. Renk sıcaklığı.....	8
1.3.2. Renksel geriverim .....	9
1.3.3. Etkinlik faktörü .....	9
1.4. Lamba Tiplerinin Birbiri ile Kıyaslanması .....	9
1.5. Aydınlatmada Gün Işığı Etkisi.....	10
1.5.1. Gün ışığının insan üzerindeki etkileri .....	11
1.5.2. Aydınlatmada mimari çözümler.....	13
1.5.3. Gün ışığından faydalanılarak yapılan aydınlatma çalışmaları .....	14
1.6. Aydınlatma Kontrol Sistemleri .....	16
1.6.1. On/Off (Manuel) kontrol.....	17
1.6.2. Harekete bağlı kontrol.....	17
1.6.3. Zamana bağlı kontrol .....	18
1.6.4. Işık şiddetinin ayarlanması.....	18
1.6.5. Işık sensörleri ile ışık şiddetini kontrol etmek .....	19
1.7. Çalışmanın Amacı .....	19
2. AYDINLATMADA KULLANILAN TANIMLAR VE FOTOMETRİK BÜYÜKLÜKLER .....	21
2.1. Işık.....	21
2.2. Işık Akısı .....	22
2.3. Uzay Açısı.....	22
2.4. Işık Şiddeti.....	22
2.5. Işığın Dağılımı.....	23
2.6. Aydınlik Düzeyi .....	24
2.7. Parıltı .....	25
2.8. Yansıtma Faktörü .....	25

2.9. Işık Geçirme ve Yutma Faktörü .....	25
2.10. Renk .....	26
3. ÖNERİLEN AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ TASARIMI .....	27
3.1. Hedeflenen Aydınlatma Sistemi .....	27
3.1.1. Luxmetre .....	28
3.1.2. Piranometre (Sensör) .....	28
3.1.3. Programlanabilir lojik kontrolör (PLC) .....	29
3.1.4. Enerji analizörü .....	30
3.1.5. Operatör panel .....	31
3.1.6. Led armatürler .....	31
3.2. Kontrol Yapısı ve Algoritması .....	32
3.3. Aydınlatma Sistemi Teorik Performansı .....	35
4. ÖNERİLEN AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİNİN DENEYSEL PERFORMANSI .....	40
4.1. Önerilen Aydınlatma Kontrol Sistemi Kurulumu .....	40
4.2. Kullanılan LED Armatürlerin Deneysel Verileri .....	43
4.3. Gün Işığı ve Bölgesel Dağılımı .....	44
4.4. Aydınlatma Sistemi Deneysel Performansı .....	49
4.5. Aydınlatma Sistemi Malzeme Listesi .....	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	57
KAYNAKLAR .....	59
EKLER .....	64
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	72

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Enkandesan lamba.....	4
Şekil 1.2.	Tungsten halojen lamba .....	5
Şekil 1.3.	Floresan ve kompakt floresan lambalar .....	6
Şekil 1.4.	LED lambalar .....	6
Şekil 2.1	Elektromanyetik dalga .....	21
Şekil 2.2.	Uzay açısı.....	22
Şekil 2.3.	Işık dağılım grafiği.....	23
Şekil 2.4.	Aydınlık düzeyi.....	24
Şekil 3.1.	Hedeflenen aydınlatma kontrol sistemi bileşenleri .....	27
Şekil 3.2.	Işık şiddeti ölçen luxmetre .....	28
Şekil 3.3.	Piranometre .....	29
Şekil 3.4.	Programlanabilir lojik kontrolör .....	29
Şekil 3.5.	Enerji analizörü .....	30
Şekil 3.6	Operatör panel.....	31
Şekil 3.7	LED armatür ve DIM kontrol kartı .....	32
Şekil 3.8	Tasarlanan aydınlatma otomasyon sistemi kontrol blok şeması .....	33
Şekil 3.9.	Tasarlanan aydınlatma otomasyon sistemi çalışma algoritması .....	34
Şekil 3.10.	Teorik performans analizi için uygulama alanı ve bölgeler.....	35
Şekil 3.11.	Dış ortamda ölçülen gün ışığının zamana göre değişimi .....	36
Şekil 3.12.	Gün ışığının bölgelere etkisinin saatlere göre değişimi .....	36
Şekil 3.13.	On-Off kontrol yöntemi ile ışık şiddeti – zaman grafiği.....	36
Şekil 3.14.	Birinci bölge aydınlatma kontrolü – zaman diyagramı.....	37
Şekil 3.15.	İkinci bölge aydınlatma kontrolü – zaman diyagramı.....	37
Şekil 3.16.	Üçüncü bölge aydınlatma kontrolü – zaman diyagramı .....	38
Şekil 3.17.	Dördüncü bölge aydınlatma kontrolü – zaman diyagramı .....	38
Şekil 4.1.	Sistemin uygulanacağı laboratuvar .....	40
Şekil 4.2.	Laboratuvar yerleşim düzeni.....	41
Şekil 4.3.	Laboratuvar gün ışığı kaynağı pencere .....	41
Şekil 4.4.	Armatür yerleşimi ve aydınlatma bölgeleri.....	42
Şekil 4.5.	Aydınlatma otomasyon panosu .....	42
Şekil 4.6.	LED kontrol gerilimi – ışık şiddeti değişimi .....	43
Şekil 4.7.	Kontrol gerilimi – güç değişimi .....	44
Şekil 4.8.	Dış alan aydınlık şiddeti grafiği (Lux/Saat) .....	44
Şekil 4.9.	1. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı (Lux/Saat) .....	45
Şekil 4.10.	2. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı (Lux/Saat) .....	46
Şekil 4.11.	3. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı (Lux/Saat) .....	46
Şekil 4.12.	Birinci bölge gün ışığı etkisi ile aydınlık düzeyinin değişimi.....	47
Şekil 4.13.	İkinci bölge gün ışığı etkisi ile aydınlık düzeyinin değişimi .....	48
Şekil 4.14.	Üçüncü bölge gün ışığı etkisi ile aydınlık düzeyinin değişimi .....	48
Şekil 4.15.	08:00-10:00 saatleri arasında gün ışığı değerleri .....	50
Şekil 4.16.	08:00-10:00 saatleri arasında 1. bölge aydınlatma grafikleri.....	50
Şekil 4.17.	08:00-10:00 saatleri arasında 2. bölge aydınlatma grafikleri.....	51
Şekil 4.18.	08:00-10:00 saatleri arasında 3. bölge aydınlatma grafikleri.....	51

Şekil 4.19. 08:00-10:00 saatleri arasında yapay aydınlatma için harcanan güç grafiği .....	52
Şekil 4.20. 10:00-13:00 saatleri arasında gün ışığı değerleri .....	52
Şekil 4.21. 10:00-13:00 saatleri arasında 1. bölge aydınlatma grafikleri.....	53
Şekil 4.22. 10:00-13:00 saatleri arasında 2. bölge aydınlatma grafikleri.....	53
Şekil 4.23. 10:00-13:00 saatleri arasında 3. bölge aydınlatma grafikleri.....	54
Şekil 4.24. 10:00-13:00 saatleri arasında yapay aydınlatma için harcanan güç grafiği .....	54



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Ofis binalarında genel aydınlatma amaçlı kullanılabilen lambaların teknik özellikleri .....	9
Tablo 2.1. Kapalı çalışma alanlarında ortalama aydınlık düzeyi miktarları.....	24
Tablo 2.2. Elektromanyetik spektrum tablosu.....	26
Tablo 3.1. Ledova Olea 35 W led armatürün özellikleri.....	32
Tablo 3.2. Farklı aydınlatma çeşitleri ile çalışma alanının aydınlatılması için gerekli olan güç değerleri.....	39
Tablo 4.1. Bölgelerin ihtiyacı olan yapay aydınlatmayı elde etmek için uygulanması gereken gerilim değerleri.....	49
Tablo 4.2. On/Off kontrol ile yapılan aydınlatma ile, tasarlanan gün ışığı kontrollü aydınlatma sisteminin karşılaştırılması .....	55
Tablo 4.3. Aydınlatma otomasyonu malzeme listesi.....	56
Tablo A.1. Dış ve iç ölçüm ışık şiddeti ölçüm değerleri.....	65
Tablo B.1. Dış ve iç ölçüm ışık şiddeti ölçüm değerleri.....	68



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

e	: Etkinlik faktörü, (lm/W)
E	: Aydınlık düzeyi, (Lx)
f	: Frekans, (Hz)
h	: Saat
I	: Işık şiddeti, (Cd)
L	: Parıltı, (C/m <sup>2</sup> )
Ra	: Renksel geri verim
T	: Periyot, (s)
Tc	: Renk sıcaklığı, (K)
U	: Gerilim, (V)
V <sub>DC</sub>	: Doğru gerilim
$\lambda$	: Işığın dalga boyu, (Nanometre)
$\Phi$	: Işık akısı, (Lm)
$\Omega$	: Uzay açısı, (Str)
$\varphi$	: Yansıtma faktörü
$\alpha$	: Yutma faktörü
$\tau$	: Geçirme faktörü

### Kısaltmalar

CIE	: International Commission on Illumination (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
DALI	: Digital Addressable Lighting Interface (Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü)
DIM	: Dimmer (Kısmak)
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
LED	: Lighting Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)
PIR	: Passive Infra Red (Pasif İnfra Red)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrolör)

## AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE YÜKSEK ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN KONTROL SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMASI

### ÖZET

Elektrik enerjisine olan talebin sürekli artması, enerji üretim kapasite artışı için yeni enerji kaynağı gerekliliğini ve enerjinin verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Enerji tüketiminin önemli paydaşlarından biri olan aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılması için verimli aydınlatma ürünleri ve kontrol sistemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yüksek verimliliğe sahip aydınlatma ürünlerinin kullanılması ile oluşturulan aydınlatma sistemleri, geleneksel ürünlerin yer aldığı aydınlatma sistemlerine nazaran oldukça yüksek enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. Ancak, bu ürünlerin kullanımı kurulum maliyetlerinin yükselmesini de beraberinde getirmektedir. Aydınlatma sistemlerinde kontrol yapılarının geliştirilmesi ile gereksiz veya aşırı aydınlatmanın önüne geçilerek enerji tüketimi azaltılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ışık şiddetinin ayarlanabildiği ve varlık-yokluk denetiminin yapıldığı kapalı çevrim kontrol sistemlerinde çok fazla sayıda sensör kullanılması gerekmektedir. Bu tür kontrol sistemlerinde kullanılan fazla eleman sayısı sistemin daha karmaşık bir yapıda olmasına ve maliyetin yükselmesine neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, kapalı çevrim çalışan karmaşık ve yüksek maliyetli aydınlatma kontrol sistemlerine alternatif olabilecek düşük maliyetli ve basit yapıya sahip, tek bir dış ortam sensörünün yer aldığı açık çevrim bir aydınlatma kontrol sistemi tasarımı ve uygulaması hedeflenmektedir. Tasarlanan sistem bir laboratuvara kurularak deneysel performans verileri elde edilmiştir. Deneysel veriler, önerilen aydınlatma kontrol sistemi ile ortalama % 59 oranında enerji verimliliğinin sağlanabildiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aydınlatma, Aydınlatma Kontrol Sistemleri, Enerji Verimliliği, Gün Işığı.

## **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROL SYSTEM FOR HIGH ENERGY EFFICIENCY IN LIGHTING SYSTEMS**

### **ABSTRACT**

The continuous increase in the demand for electrical energy enforces research to new energy resources for enhancing the energy production capacity and also it requires the efficient use of energy. Apart from design of devices having low energy consumption, control systems are being studied to improving energy efficiency in lighting systems, one of the key stakeholders of energy consumption. Lighting systems created with highly efficient lighting products provide considerably higher energy savings than traditional lighting systems. However, the use of these products also increases the installation costs. With the development of control structures in lighting systems, energy consumption is reduced by avoiding unnecessary or excessive lighting. A large number of sensors must be used in closed-loop control systems consisting of adjustable light intensity and the presence/absence control. The number of excess components used in such control systems leads to a more complex system and a higher cost.

In this thesis, it is aimed to design and implement an open loop lighting control system with a low cost and simple structure with a single outdoor sensor, which can be an alternative to complex and costly lighting control systems that operate in closed loop. Experimental performance data have been obtained by installing the designed system in a laboratory. Experimental data show that energy efficiency can be achieved with the proposed lighting control system at an average of 59%.

**Keywords:** Lighting, Lighting Control Systems, Energy Efficiency, Daylight.

## **GİRİŞ**

Yaşam alanlarını ve barındırdığı nesnelere görebilmemiz için belirli bir ışık düzeyinin olması gerekmektedir. Aydınlatma alan ve nesnelere görünmesini sağlamak için ışık uygulaması yapmaktır. Doğal ışık kaynakları olan güneş, ay ve yıldızlardan elde edilen ışık miktarının günün tamamında tam etkin olmaması, kaynaklardan uzak alanlara taşınmaması, ışık düzeyinin yetersiz olması ihtiyaç olan bölgelerde yapay ışık kaynaklarından faydalanılarak aydınlatma uygulamaları yapılmasını zorunlu kılmıştır. Aydınlatma yapılması güvenliğimizin sağlanması, çalışma ortamlarında verimliliğin artırılması, göz sağlığının korunması, kazaların azaltılması ve yaşam kalitesinin artırılması için önemlidir [1].

Dünyadaki elektrik talebinin yaklaşık %19'u aydınlatmaya ihtiyacının karşılanması için kullanılmaktadır. Tüm dünyada mevcut aydınlatma armatürleri yılda 3.400 terawattsaat elektrik tüketmektedir. Aydınlatma için tüketilen elektriğin % 43'ü ofisler, perakende işletmeler, okullar ve hastaneler de dahil olmak üzere ticari binalarda, % 18'i endüstriyel işletmelerin aydınlatılmasında, % 31'i evlerde ve % 8'i dış mekan aydınlatılmasında kullanılmaktadır [2]. Tipik bir ticari binada harcanan enerjinin %41'i aydınlatma için kullanılmaktadır [3].

Aydınlatma için ihtiyaç olan enerji talebinin artması aydınlatma sistemlerinin teknolojisinin geliştirilerek daha verimli hale getirilmesini sağlamıştır. Doğal ışık kaynaklarından daha fazla yararlanmak, düşük enerji tüketimine sahip lambaların kullanılması ve kullanılan lambaların bir kontrol sistemi ile ihtiyaç olduğu kadar çalıştırılması aydınlatmada enerji verimliliği çalışmalarının temelini oluşturmuştur. Doğal ışık kaynaklarından maksimum düzeyde faydalanmak, yüksek maliyetlere sahip yapay aydınlatma sistemlerine olan ihtiyacı azaltmaktadır. Bina mimari tasarımlarının gün ışığından daha fazla yararlanacak şekilde yapılması, gün ışığı düzeyine bağlı olarak yapay aydınlatmanın kullanım düzeyinin kontrolörlerle ayarlanması, varlık yokluk sensörleri kullanılması, armatürlerin zamana bağlı olarak çalıştırılması yüksek düzeyde enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Aydınlatma sistemlerinde kontrolör kullanılarak enerji tasarrufu yapılabilmesi için anlık olarak doğal ışık miktarının ölçülmesi ve yapay ışık kaynaklarının ihtiyaç olduğu kadar aydınlatma yapması sağlanır. Kontrol açık veya kapalı çevrim şeklinde sağlanabilir. Açık çevrimde alanların aydınlatmasını tek bir sensörden gelen bilgiye göre yapmak maliyeti düşürecektir. Kapalı çevrimde ise sensörlerden alınan bilgiye göre yapılan aydınlatmanın alanlardaki etkisi kontrolöre bildirilmekte ve oluşan hataların giderilmesi sağlanmaktadır. Ancak kapalı çevrimde birden fazla sensör kullanmak maliyeti arttırmaktadır. Aydınlatmanın açık çevrim kontrol ile yapılması durumunda, tek sensör kullanılması kuruluş maliyetinin düşük olmasını sağlamaktadır. Ayrıca açık çevrim sistemin daha basit yapıya sahip olması, kuruluş ve bakım kolaylığı sağlaması bakımından da avantaj sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, iç mekân aydınlatmasında enerji tasarrufu sağlamak için düşük maliyetli, tek sensörlü açık çevrim kontrollü aydınlatma otomasyonu tasarımı ve uygulaması hedeflenmektedir. Önerilen aydınlatma kontrol sisteminde, dış ortam aydınlık seviyesi anlık olarak ölçülmektedir. Ayrıca, aydınlatma kontrolü yapılacak alan, gün ışığından faydalanma oranına göre bölgelere ayrılarak aydınlanma haritası çıkarılmaktadır. Her bir bölgede istenilen aydınlık düzeyine göre, dış ortam ışık şiddeti ve bölgesel etki fonksiyonu dikkate alınarak yapay aydınlatma ihtiyacı hesaplanmaktadır. Sistemde yer alan aydınlatma armatürleri hesaplanan yapay aydınlatma oranında çalışması kontrol edilmektedir. Böylece her bir bölgede istenilen aydınlatma düzeyi, hem gün ışığı hem de yapay aydınlatma ile sağlanmaktadır.

## **1. AYDINLATMA SİSTEM BİLEŞENLERİ VE ENERJİ TASARRUF YÖNTEMLERİ**

Elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi ülkelerin gelişmişlikleri ile doğru orantılı olarak her geçen gün artmaktadır. Enerji üretim maliyetlerinin talep ile doğru orantılı olarak arttığı düşünüldüğünde enerji verimliliği önemli bir hedef haline gelmektedir. Bu çalışma kapsamında aydınlatma sistemleri özelinde enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır. Aydınlatma sisteminde enerji verimliliğinin iyileştirilmesi üzerine birçok konuda çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürde yer alan çalışmaların, verimli aydınlatma bileşenleri, gün ışığından daha etkin yararlanma için mimari ve kontrol sistemleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölümde, aydınlatma sistem bileşenleri ve enerji tasarruf yöntemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar detaylandırılarak ele alınmıştır.

Aydınlatma sistemlerinin enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olduğu dikkate alındığında, bu sistemlerde enerji tüketim oranının düşürülmesi enerji sarfiyatının azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Bu kapsamda, aydınlatma sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması için daha verimli ürünlerin geliştirilmesi, gün ışığı faydalanma oranının artırılmasına yönelik uygun bina ve aydınlatma kontrol otomasyonlarının tasarlanması üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Yüksek verimliliğe sahip aydınlatma ürünlerinin kullanılması ile oluşturulan aydınlatma sistemleri, geleneksel ürünlerin yer aldığı aydınlatma sistemlerine nazaran oldukça yüksek enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. Ancak, bu ürünlerin kullanımı kurulum maliyetlerinin yükselmesini de beraberinde getirmektedir[4].

### **1.1. Ofis Aydınlatmasında Kullanılan Lamba Çeşitleri**

Ofislerde, aydınlatma teknolojisinin gelişimine bağlı olarak enkandesan lambalar, tungsten halojen lambalar, floresan lambalar, kompakt floresan lambalar ve led lambalar kullanılmaktadır. Ofis aydınlatmalarında genellikle floresan lambalar tercih edilmekte olup, akkor lambaların kullanımı azalmıştır [4]. Yüksek verimliliğe sahip aydınlatma ürünlerinin kullanılması ile oluşturulan aydınlatma sistemleri, geleneksel

ürünlerin yer aldığı aydınlatma sistemlerine nazaran oldukça yüksek enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. Ancak, bu ürünlerin kullanımı kurulum maliyetlerinin yükselmesini de beraberinde getirmektedir [5].

### **1.1.1. Enkandesan (akkor flamanlı) ampuller**

Elektrikle yapılan ilk yapay aydınlatma akkor lambalardır. Şekil 1.1’de görülen enkandesan lamba basit bir direnç olan flaman lamba teline elektrik akımı uygulanması ve ısınan flamanın ışık yayması şeklinde çalışır. Yüksek oranda ısı yayması ve yapısı itibarı ile ısıya dayanıklı olması sebebiyle ortam sıcaklığına bağlı olarak çalışma şekli değişmez. Bu lambalar diğer bütün lamba tiplerine göre ortam sıcaklığından en az etkilenirler [6]



Şekil 1.1. Enkandesan lamba

Enkandesan lambaların verimleri en düşük lambalardır ve ortalama 1.000 saat çalışma ömrüne sahiptirler. Lambaların ömürleri lambayı açma/kapama sıklığından etkilenmektedir. Halojen enkandesan lambalar ise açma/kapama sıklığından etkilenmemektedir. Kullanım ömrünü tamamlamış olan enkandesan lambalar civa gibi toksik maddeler içermedikleri için çevreye zarar vermezler [7].

### **1.1.2. Tungsten halojen lambalar**

Enkandesan ampulün gelişmiş biçimidir. Enkandesan lambada olduğu gibi tungsten flamana sahiptir, ancak enkadasan lamba ile kıyaslandığında aynı gücü çok daha küçük ebatlarla sağlar ve ampulün içinde halojen gaz bulunur. Şekil 1.2’de gösterilen tungsten halojen lambalar enerjilendirildiğinde sıcaklık hızla artar ve halojen kaynayarak gaz haline geçer. Tungsten flamandan kopan parçacıklar negatif iyona sahip halojen ile kimyasal tepkimeye girer ve parçacıklar

tekrar flama yapışır. Bu yüzden enkandesan lambalardan daha uzun ömürlüdür. Renksel geriverime oranı çok yüksek, tüm parlaklık düzeyleri için %0 ile %100 oranında karartılabilir, ısınma gecikmesi olmadığından anında ışık yayar, uzun kullanım ömrü sayesinde bakım ve yenileme maliyeti düşük olma özellikleri vardır [8].



Şekil 1.2. Tungsten halojen lamba

Tungsten halojen lambalar sıcak renk tonları ve yüksek renksel geriverimi istenen mekanlarda kullanılmaktadır. [9].

### 1.1.3. Floresan lambalar

Floresan lambalar, iç yüzeyi fosfor kaplı cam tüp içerisindeki soy gazlar ve az miktarda cıvadan oluşur. Katotların lamba içerisinde bir ark oluşturmasıyla cıva buharlaşır ve buhar ultraviyole ışığı oluşur. Ultraviyole ışığının cam tüp içindeki fosforla reaksiyona girmesi neticesinde gördüğümüz ışık meydana gelir. Cıvanın ilk buharlaşmasını sağlamak için starter ile başlatılması gerekir. Lambada cıvanın buharlaşmasıyla çekilen akım sürekli artar. Akımı sınırlamak için balast kullanılır. İçerdiği yüksek miktardaki cıva oranından dolayı çevreye olumsuz etkileri bulunmaktadır. Floresan lambaların ömürleri lambayı açma/kapama sıklığından olumsuz etkilenmektedir [10].

### 1.1.4. Kompakt floresan lambalar

Enkandesan lambaların alternatifi olarak tercih edilmiştir. Elektronik balastla bir arada olan cam tüpü nedeniyle kompakt ismini almıştır. Şekil 1.3'te beraber görülmekte olan floresan lamba ile kompakt floresan lambanın çalışması aynı olup, ilk ateşleme için startere ihtiyaç duymaz ve çalışma ömrü 8000 saattir [11].

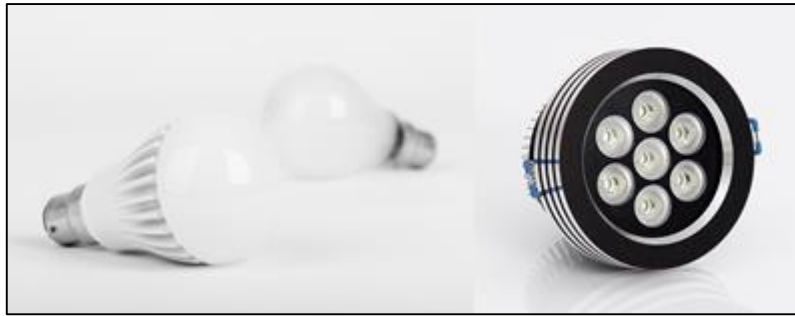




Şekil 1.3. Floresan ve kompakt floresan lambalar

### 1.1.5. LED lambalar

LED (Light Emitting Diode) yarı iletken bir ışık kaynağıdır. Gerilim uygulanarak elektronları harekete geçirilen LED, ışın yaymaya başlar. Şekil 1.4'te gösterilen LED lambalar ortalama olarak 10 mA ve 1,5 V değerinden itibaren iletme geçer ve ışık yaymaya başlar. LED'lerin ışık yayma özellikleri zamanla azalır. Yayımlı gücü normal gücün yarısına düştüğünde, diyot görevini yapamaz hale gelir. Bir LED lambanın ortalama ömrü 50.000 saattir. Işık kaynağı olarak LED'ler verimlilik, akıllı kontrol edilebilirlik ve uygulanabilirlik açısından floresan ve Xenon sistemleriyle karşılaştırılabilir. Katı hal yapısıyla diğer lambalardan farklı olan LED'lerin armatür ve kontrol sistemleri sürekli olarak gelişmektedir [12].



Şekil 1.4. LED lambalar

## 1.2. Aydınlatma Elemanının Seçilmesi

Aydınlatmanın amacı, belli bir aydınlık düzeyi elde etmek değil, iyi görme koşullarının sağlanmasıdır. Aydınlatmada enerji tasarrufu, düşük verimli ışık kaynakları yerine yüksek verimli ışık kaynakları kullanılarak ve bazı basit tedbirler alınarak sağlanabilir [13].

Manolescu ve Sisak'ın çalışmasında, Avrupa'da elektrik enerjisinin % 15'i aydınlatma amacı ile tüketildiğini, aydınlatma için % 66 oranında, 1970'li yıllardan kalan teknoloji kullanıldığı ve eski teknolojilerin güncel teknolojilerle güncellenmesi durumunda % 40 oranında tasarruf sağlanacağı tespit edilmiştir. Çalışmada eski aydınlatma sistemlerinin modernizasyonunda maksimum verimi elde ederken, çevreye en az zararı verecek sistemin seçilmesi hedeflenmiştir. Işık kaynaklarının etkinliği, armatürlerin etkinliği ve çevre üzerindeki etkileri bakımından lambaları karşılaştırmışlardır. Daha verimli olmaları, ihmal edilebilir miktarda ısı yaymaları, elektrik tüketiminin düşük olması ve cıva içermedikleri için çalışmalarını LED armatürlerle yapmışlardır. 1996'daki ilk LED'ler 0,1 lm/W'lık bir verimliliğe sahipken günümüzde bu değer 254 lm/W'a ulaşmıştır. Aynı alanda, farklı güç ve ışık akısı değerine sahip 5 farklı LED armatür için verimlilik analizi yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmada LED armatürler ile aynı alanı aydınlatmak için kullanıldığında 252 W ile 320 W aralığında güç harcandığı tespit edilmiştir [4].

Enerji verimliliğinin sağlanması için ön plana çıkan LED armatürlerle ilgili Hindistan'da yapılan bir çalışmada, farklı firmaların ürettiği 128 LED armatürün fotometrik ve elektriksel ölçümleri karşılaştırılmıştır. 128 ürünün 38'i literatürü ve veri sayfaları mevcut, bilinen markalara aittir. Çalışmada çapı 6 inç, ışık çıkışı 600 ila 2000 lümen, renk sıcaklığı 2700K ile 3000K arasında değişen renk sıcaklığı olan ürünler seçildi. Yerel LED imalatçıların ürettiği armatürler için ölçülen güç faktörü 0,47 ile 0,88 arasında değişmiştir. Tanınmış ürünler için güç faktörü 0,83 ila 0,98 arasına ve standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Test edilen LED lambalar arasında aydınlatma etkinliği aralığı 22 lm / W ila 102 lm / W arasında değişmiştir. Yerel LED ürünlerinin ışıkların en az % 35'i, minimum 42 lm / W'lık ışık verimliliği gereksinimini karşılamamıştır. Markalı ürünlerin hemen hemen hepsi, 42lm / W minimum ışık verimini karşılamıştır. Yerel LED markalarının yaklaşık% 80'inin performans parametreleri üretici tarafından verilmemiş olup, sadece % 5'i performans değerlerini doğru bir şekilde tanımlamıştır. Markalı LED üreticilerinin literatürlerinin % 42'si doğru veriler içermektedir [14].

Aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliğini belirleyen temel unsur kullanılan aydınlatma elemanıdır. Akkor flamanlı lambaların yerine geçen kompakt

floresanlar, üreticilerin iddiasına göre 6:1 oranında enerji tasarrufu sağlıyor. Ancak yapılan ölçümler tasarruf miktarının 3:1 oranında olduğunu gösteriyor. Ayrıca kompakt floresanların bulunan UV emisyonunun yüksekliği, akkor flamanlı lambalardan elde edilen renklerin yakalanamaması, zayıf güç faktörü düzeltilmesi, lamba ömrünün uzun olmaması ve civa içeriği sebebi ile bekleneni karşılamadığı gözlemlenmiştir. Hükümetlerin teşviklerine rağmen kompakt floresanlardan beklenen sonuçlar alınamamıştır. Yüksek enerji verimleri ile öne çıkan LED armatürlerin aydınlatma sistemlerinde kullanılmaya başlaması, mevcut armatürlerin LED armatürlerle değiştirileceği anlamına gelmiyor. Kullanıcılar aydınlatma sistemlerinin dönüşümü için yatırım yapmak zorundadırlar. LED armatürlerin katkılarının sonraki yıllarda kendisini gösterecektir [15].

Son yıllarda LED aydınlatma pazarı önemli ölçüde değişikliğe uğradı. Önceki yıllarda daha özel alanlarda kullanılan LED aydınlatma ürünleri, artık pek çok ülkede sürdürülebilir bir alternatif aydınlatma ürün kategorisi olarak kabul gördü. Buna bağlı olarak sürekli büyüyen pazar payı var. Ancak LED üreticileri için standartların belirlenmesi gerekiyor [16].

### **1.3. Aydınlatma Elemanının Seçim Kriterleri**

#### **1.3.1. Renk sıcaklığı**

Genel olarak aydınlatma sistemlerinde renk sıcaklığı aralıkları; 3300K altı sıcak beyaz, 3300-5300K aralığı doğal (orta sıcak) beyaz, 5300K üzerini de soğuk beyaz olarak tanımlanır [17]. Özellikle dinlenme salonlarında kullanılan sıcak beyaz aydınlatmanın sakinleştirici, hareketleri yavaşlatıcı etkisiyle psikolojik olarak rahatlama sağlayarak dikkati düşürdüğü, soğuk beyazın ise canlandırıcı ve zinde hissettirici bir etkiye sahip olduğu literatürde belirtilmiştir [18]. Bu nedenle dikkat gerektiren ve kaza riski yüksek olan ortamlarda soğuk beyaz bir aydınlatma sistemi kullanılarak çalışanların tehlikeleri daha çabuk fark etmesi ve kazaların önlenmesi sağlanabilir.

### 1.3.2. Renksel geriverim

Işık kaynağının bir özelliği olup aydınlattığı yüzeydeki renklerin doğru algılanmasını sağlama kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır [19]. Bir lambanın ışık dalga boyu bileşenleri, günışığı spektrumuna ne kadar yakınsa ve tüm renkler günışığı altında algılandığı gibi görülebiliyorsa, o kaynağın renksel geriverimi o derece yüksek demektir. Renksel geriverim özellikle yumuşak renksel dönüşümlerin ve tonlamaların önemli olduğu mekânlarda önem kazanırken, renksel algılamının önemsiz olduğu mekânlarda göz ardı edilebilir [20].

### 1.3.3. Etkinlik faktörü

Lambadan alınan toplam ışık akısının, lambanın gücüne oranına etkinlik faktörü denir. Etkinlik faktörü, lambanın tanımlanması için en önemli kriterdir ve bir lambanın daha az enerji ile daha fazla ışık vermesi için etkinlik faktörü değerinin büyük olması istenir [11].

## 1.4. Lamba Tiplerinin Birbiri ile Kıyaslanması

Tablo 1.1’de aydınlatma sistemlerinde kullanılan lambaların yukarıda belirtilen özelliklerinin karşılaştırılması yapılmaktadır.

Tablo 1.1. Ofis binalarında genel aydınlatma amaçlı kullanılmakta olan lambaların teknik özellikleri [6]

Tipi	Gücü [W]	Etkinlik Faktörü [lm/W]	Lamba Ömrü [h]	Renksel İzlenim	Renk Sıcaklığı [K]	Renksel Geriverim (Ra)
Enkandesen	15-200	6-16	1.000	Sıcak	2.700-3.000	100
Tungsten Halojen	25-500	16-19	2.000-4.000	Sıcak	2.700-3.000	100
Kompakt Floresan (Kendinden Balastlı)	5-33	42-65	12.000	Çeşitli	3.000, 4.000, 6.500	>70
Tüp Floresan	14-54	86-93	12.000-20.000	Çeşitli	3.000, 4.000, 6.500	>70
Metal Halojen	35-150	86-97	6.000-20.000	Çeşitli	3.000, 4.000, 6.500	>70
LED	0,5-180	80-130	35.000-50.000	Çeşitli	3.000 10.000	>80

Lambalar, güç, etkinlik faktörü, ömrü, renksel izlenim, renk sıcaklığı ve renksel geriverim değerlerine göre kıyaslanmıştır. Çok küçük güçlerde imal edilebiliyor olması LED lambalara çok geniş kullanım alanları sunmaktadır. Etkinlik faktörü enerji verimliliği açısından en önemli kriter olup enkandesan ve tungsten halojen ampullerin verimlerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Lambanın ömrü bakım ve yenileme maliyetleri açısından önem taşır. Kısa ömürlü lambaların yenileme ve montaj işçiliği maliyeti yüksek olmaktadır. LED lambalar uzun ömürleri ile bakım ve yenileme maliyeti açısından en başarılı lamba çeşididir. Renk algılanmasının önemli olduğu mağazalar, vitrinler gibi yerlerde enkandesan ve Tungsten Halojen kullanmak etkili olmakta ve tercih edilmektedirler [9].

### **1.5. Aydınlatmada Gün Işığı Etkisi**

Gün ışığından yararlanma yönetmeliklerle de sabittir. İşyeri, Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmeliğin 2. Maddesi, “İşyerlerinin gün ışığıyla yeter derecede aydınlatılmış olması esastır. İşin konusu veya işyerinin inşaa tarzı nedeniyle gün ışığından yeterince yararlanılamayan hallerde yahut gece çalışmalarında, suni ışıkla uygun ve yeterli aydınlatma sağlanır. İşyerlerinin aydınlatmasında TS EN 12464-1: 2013; TS EN 12464-1.2011: 2012; standartları esas alınır.” ibaresi yer almıştır [21]

Aydınlatma sistemlerinde iyileştirme önlemleri, binalarda enerji kullanımını azaltmanın en uygun maliyetli yollarından biridir. Gelişmiş aydınlatma kontrol sistemleri kullanmak, %2 ile %60 arasında değişen enerji tasarrufunun sağlanması anlamına gelmektedir [22]. Aydınlatma kontrol sistemleri üzerine yapılan literatür araştırması, manuel kontrol edilen sistemlerin kullanıcılar tarafından tercih edildiğini ortaya koymuştur. Yüksek otomasyona sahip ve manuel kontrolörlere olan ihtiyacı ortadan kaldıran sistemler devre dışı bırakılmaya ve hatta sabote edilmeye meyillidir. Kullanıcı davranışları, aydınlatma kontrol sisteminin düzgün çalışması ve gerçek enerji tasarrufunun sağlanmasında en önemli faktördür. Varlık yokluk sensörleri ile yapılan kontrolörlere çok yüksek enerji tasarrufu sağlanmasına rağmen, süreli çalışmalara uygun olduğu tespit edilmiştir. Gün ışığının hasat edilmesi ile yapılacak aydınlatmada ışık geçiş düzeyinin kullanıcıyı rahatsız etmeyecek şekilde yumuşak geçişler şeklinde sağlanması ve manuel

kontrolün kullanıcılarca sağlanması koşulu ile iyi performans gösterebileceğini tespit edilmiştir.

Anlık gün ışığının şiddetini luxmetre adlı ölçü aletleri ile ölçülmektedir. Ancak luxmetreler dış hava koşullarında sürekli ölçüm almaya uygun yapıda değildir. Dış alanlarda piranometre ile gün ışığı ölçümü yapılır ve gün ışığına bağlı çalışan otomasyon sistemleri kontrol edilebilir. Saint-Pierre (Reunion Adası) adasında binalarda görsel konforun incelenmesi veya bina içi elektrik aydınlatmasından enerji tüketiminin azaltılması için ihtiyaç olan ışık şiddeti verilerini tespit etmek için bir uygulama yapılmıştır. 6 ay süresince gün ışığı miktarı ölçülmüş ve bu süre boyunca, tüm tanımlanmış hava koşulları (açık, bulutlu ve ara) verileri alınmıştır. Güneş ışınımından aydınlatma elde etmek için aydınlık verimliliği belirlemek önemlidir. Ölçülen veriler analiz edilmiş ve farklı gök koşullarında ışık etkinliğini belirlemek için ampirik sabit modeller geliştirilmiştir. Bu ampirik sabitler ile mevcut modeller arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Veri toplama güneş doğmadan önce başlamış ve gün batımından sonra bitirilmiştir. Piranometreler (CM11), yatay bir düzlemde güneş ışınımının ölçümlerini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Piranometre verileri her bir saniye için bir mikrobilgisayara aktarılmış ve 1 dakikalık ortalama alınmıştır. Piranometre verileri luxmetre ile kontrol edilmiş ve hata payı ortadan kaldırılmıştır. Küresel ve yaygın ışık etkinliği için ortalama değerler belirlenmiştir. Açık aydınlatma ve güneş ışınımı ölçümleri analiz edildi. Tüm iklim mevsimleri bu dönemde temsil edilmektedir. Tipik gün koşulları için küresel ışık veriminin ortalama değeri 121,5 lm / W'dır [23].

### **1.5.1. Gün ışığının insan üzerindeki etkileri**

İş güvenliği ile ilgili yapılan bir araştırmada, her 4 işyerinin 3'ünde aydınlatma yetersizliği olan alanlar bulunduğunu tespit etmiştir. Yetersiz olarak değerlendirilen iş alanlarının % 67,2'sinde aydınlık düzeyi, iş kazaları açısından en riskli bulunan 250 lux'un altında ölçülmüştür. Araştırmaya katılanların %22,2'sinin işyerinde aydınlatmadan kaynaklanan kaza geçirdiği, kazaların genel niteliğinin de kayma, takılma, düşme olduğu tespit edilmiştir. Aydınlatma kaynaklı kaza geçirenlerin büyük kısmı anlık görme zorluğu yaşadığını belirtmiştir. Araştırmaya katılanların belli bir kısmı doğal aydınlatma olmayan

işyerlerinde çalışmaktadır. Bu çalışanlar özellikle işyerlerinde gün ışığının içeri girmemesi nedeniyle sorun yaşadıklarını ve kendilerini iyi hissetmediklerini belirtmiştir. İşyerlerinde aydınlatma düzeyinin yeterli gelmemesi durumunda doğal aydınlatma yerine yapay aydınlatma çözümlerine öncelik verildiği görülmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında doğal aydınlatmanın orantılı aydınlatmaya katkısı olduğu tespit edilmiştir [24].

Gün ışığının kullanımı enerji tasarrufu sağlaması anlamında kabul görmüş olmasına rağmen pratikte, gün ışığından yararlanma fikri gerekli ilgiyi görmemiştir. Günümüz binalarının aydınlatılmasında çoğunlukla yapay aydınlatma sistemleri ön plandadır. Tasarımcılar ve mimarlar, aydınlatma aracı olarak gün ışığını kullanmak yerine aydınlatma armatürü verimliliğinde teknolojik ilerlemeleri destekleme eğilimindedirler. Mimarlıkta gün ışığının tercih edilmesinin sebebi, enerji verimliliğinden ziyade sağlığa olumlu etkilerinden dolayıdır. Bina tasarımı insan sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bina aydınlatmasının bina sakinlerinin sağlığı ve refahı açısından olduğu kadar, enerji tasarrufu açısından da ele alınması gerekmektedir [25].

Amerika Birleşik Devletleri'nde kütüphanelerin mimari yerleşimleri üzerine yapılan araştırmalarda, çalışma güneş ışığının okumak için en verimli ışık olduğu ifade edilmektedir. USGBC'in (U.S. Green Building Council), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) standartları, yeşil bina özelliği için bir binanın en az % 75'ine kadar doğal ışık kaynağının kullanılmasını zorunlu kılar. Zemin seviyesinin üzerinde kalan ofis alanları aydınlatma doğal ışıkla yapılmalıdır. Doğal ışıktan düşük oranda faydalanan eski binalar yeni pencerelerin eklenmesi veya tavan pencerelerinin kurulumu ile enerji verimliliği arttırılabilir. Doğal ışık yer seviyesi altında kalan alanlara tavanlarında boş alanlar bırakılarak taşınabilir. Küçük bir ışık kuyusunun yer seviyesi altına taşıdığı gün ışığı, avlu etkisi yaratır. Gün ışığını kapalı alanlarda kullanmanın bir yolu da ışığı yönlendiren küçük yansıtıcı tüpler kullanmaktır. Doğal ışığın kullanılması için yapılacak maliyetler, sağlanan enerji tasarrufu ile çok kısa sürede karşılanacaktır. Doğal ışık konsantrasyon yükselmesi, işyerinde daha az hastalık kaynağının ve daha kaliteli iş ortamının oluşması için önemlidir [26].

### 1.5.2. Aydınlatmada mimari çözümler

Görsel konfor koşullarını sağlayan, doğru bir aydınlatma sistemi tasarımı yaparak ve aydınlatmada etkin enerji kullanımına ilişkin temel ilkelerin kullanılmasıyla, aydınlatma amacıyla tüketilen enerjinin en az %20'sinden tasarruf edilebilir. Ofis binalarında genellikle enerji harcamalarının yarıya yakın bir kısmının aydınlatmaya ayrılması gerekmektedir [27].

Aydınlatma sisteminin kullanım süresinin en aza indirilerek daha az enerji tüketilmesini sağlayacak yöntemler belirlenmiştir. Gün ışığı, yalıtımın düşünülmemeyeceği bir ışık kaynağıdır. Gün ışığının etkisi kullanılan pencerelerin büyüklüklerine, konumlarına, camların malzeme yapısına, gölgeleme elemanlarının tipi, yönü ve engellere bağlıdır. Bu parametreler temel mimari faktörlerle ilişkilidir [28].

Gün ışığının maksimum ışık etkisinden faydalanmak için pencerelerin büyüklüğü ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin büyüklüğüne etki edecektir. Mimari projelerde gün ışığı tek bir parametre olmamalı, bina tasarımı ve enerji sistemi bir bütün olarak düşünülmelidir. Binanın yönlendirilmesi inşa edileceği alanın şehir planlaması ve arazi koşullarına bağlıdır. Tasarım aşamasında direkt güneş ışığı kontrol edilmedi. Aydınlatılacak alanların iç yüzeylerinin açık renkle kaplanmış olması, ışık yansıtma çarpanlarının büyük olmasını sağlayacaktır. Doğal olarak ışık daha az yutulacak ve istenilen aydınlık düzeyine daha az enerji harcanarak ulaşılabilecektir. Dış engeller pencereden görünen çevre ve gökyüzü görüntüsünü azaltır. Dış engeller; bina mahiyetindeki çıkıntılar, balkonlar, gölgeleme elemanları ile doğal engel olarak nitelediğimiz ağaçlar, yamaçlar, inşa edilmiş diğer binalar vb.dir. Gölgeleme elemanları mekâna ihtiyacımız olduğu kadar solar ışınım alabilecek, gün ışığını ise maksimum düzeyde geçirme özelliğine sahip, manzarayı ve doğal havalandırma olan esintiyi küçültmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Gölgeleme elemanları sabit veya hareketli olabilir [29].

Binaların elektrik-elektronik sistemlerin enerji verimliliği, binanın güneş ışığından ne kadar faydalandığına bağlı olarak mimari tasarımıyla doğrudan ilişkilidir. Tasarımı oluşturan parametrelerin en önemlileri; binanın yeri, diğer binalara göre konumu, yönü, formu ve bina kabuğu sayılabilir. Binaların tasarlanırken mimari



tasarım parametreleri önem taşımaktadır. Aksi durumda bina sadece otomasyon ile elektrik-elektronik sistemlerin kontrolü sağlanmış klasik bir bina olmaktan öteye geçemez. Bina güneş ışığını etkileyecek doğal unsur ve diğer binalara dikkat edilerek konumlanmalıdır. Binanın yönü ise güneş ışığını en üst düzeyde alacak şekilde konumlanmalıdır. Ancak doğal havalandırma için bina yönüne de dikkat edilmelidir. Gün ışığından faydalanmak adına bina kabuklarının camdan yapılması, ısı kaybı, yüksek güneş ışınımı ve parlama sorunu oluşmasını sağlamaktadır. Tıpkı canlı derisi gibi kendisini ayarlayarak dış koşullara uyum sağlayan ve bu yolla bina içi çevrede ışık, ses, iklim ve hava kalitesi gibi kullanıcılar için vazgeçilmez ihtiyaçların sağlanmasında, dolayısıyla enerji harcamalarının azaltılıp kullanıcı konforunun yükseltilmesinde en önemli rolü oynayan yapı elemanlarıdır. Çift cidarlı pencereler güneş kontrol elemanlarının binanın aydınlatma enerjisi yükünü en aza indirgeyen ve kullanıcı konforunu olabildiğince doğal yollarla sağlayan kabuklardır. Günümüzde enerji etkin akıllı binalarda sıklıkla kullanılan çift cidarlı cepheler bu konuda tasarlayıcılara geniş olanaklar sunmaktadırlar [30].

Mimari tasarım çalışmaları ele alındığında, binanın kabuk tasarımı, cephelerin en yüksek verimi sağlayacak şekilde belirlenmesi ve binanın çevredeki yapılar üzerindeki etkisi analiz edilmelidir. Bu mimari tasarım çalışmalarında düzensiz yapılaşma, uygunsuz parselasyon gibi kısıtlayıcı birçok etmen ortaya çıkmaktadır [31].

Yapılan bir çalışmada, geleneksel olarak inşa edilmiş dersliklerle biyo-iklimsel olarak inşa edilmiş derslikler arasında karşılaştırma yapıldığında, biyo-iklimsel olarak inşa edilen dersliklerin %15 oranında daha fazla ışık aldığı belirtilmektedir. Aynı zamanda bu dersliklerde aydınlatma kontrolü de yapılırsa sağlanan tasarruf oranının %30'lara çıktığı belirtilmektedir [32].

### **1.5.3. Gün ışığından faydalanılarak yapılan aydınlatma çalışmaları**

Bina içerisinde aydınlık düzeyini kontrol etmek için gerçekleştirilen bir çalışmada, dimleme yöntemi kullanılmış ve mekân içine yerleştirilen algılayıcılar ile kontrol sistemi arasındaki haberleşme Profibus ağı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sensör bilgilerine göre kontrolör aydınlatma armatürlerinin

kontrolünü yine Profibus-DP ağı üzerinden kontrol etmiştir. Çalışmada, Profibus-DP haberleşme protokolü kullanılarak yüksek hızlı veri transferi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Sistemin kullanıldığı binalarda gün ışığı seviyesi, çalışma saatleri, çalışma alanlarının yoğunluğu ve enerjinin pahalı olduğu saatler göz önüne alınarak yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir. Günün farklı saatlerinde doğal ışık kaynağı olan gün ışığından faydalanarak, aydınlık seviyesi değişimlerine göre aydınlatma yaparak fizyolojik aydınlatma ortamı elde edilmiştir [33].

Marmara üniversitesinde yapılan bir çalışmada 2 farklı kontrol sistemine göre laboratuvar aydınlatmasının enerji tüketimi açısından etkileri incelenmiştir. İlk kontrol sistemi manuel kontrol diğeri ise bir PLC ile yapılan otomatik kontroldür. Gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü yapılan alanında bulunan armatürlerin yeterli düzeyde ışık üretmediği tespit edilmiş ve armatürlerin yeri değiştirilerek ve yeni armatürler eklenerek aydınlık seviyesinin 500 lux olması sağlanmıştır. Armatürler 4 gruba bölünmüş ve her bir armatür çalışma verisini kendisine bağlı ve alandaki kirişlere bağlanmış olan 4 sensörden almıştır. Gün ışığına bağlı olarak PLC 4 lamba grubunu dijital olarak devreye alıp, çıkarmıştır. Aralık ayında güneşli ve bulutsuz günlerde yapılan deneyler sonucunda gün ışığına bağlı kontrol edilen aydınlatma sisteminin, manuel kontrol edilen alana göre sağladığı enerji tasarrufunun %30 ve %40 arasında olduğu tespit edilmiştir [34].

Çalışma alanlarının aydınlatılması için doğal ışık kaynaklarından yararlanmak kullanılacak enerji miktarından tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Mimari yapıda gün ışığını referans olarak yapılan tasarımlar, akıllı aydınlatma sistemleri kullanılarak daha verimli hale getirilmektedir. Aydınlatmada kullanılan ürünler, ihtiyaç olduğu kadar enerji tüketimini sağlayacak yönde gelişmektedir. Malzeme teknolojilerinin gelişmesi sayesinde enkandesan lambalar ve tungsten halojen lambalar yerine, sırasıyla floresan lambalar, kompakt floresan lambalar ve Led lambalar kullanılmaya başlanmıştır. Kontrol teknolojisindeki gelişmede on-off kontrol dışında, varlık yokluk sensörleri ile aydınlatmanın, zamana bağlı çalışma aydınlatmanın ve ihtiyaç olunan kadar aydınlatma sistemlerini oluşturmuştur. Dim kontrolü, DALI aydınlatma yapısı gibi teknolojiler firmalar tarafından tüketiciye sunulmuştur.

## 1.6. Aydınlatma Kontrol Sistemleri

Aydınlatma giderleri, ticari, endüstriyel ve eğitim binalarında günlük toplam enerji sarfiyatının %40'ına ulaşmaktadır Aydınlatma otomasyon sistemlerinin ağırlıklı olarak uygulandığı alanlar; ofisler (%22), mağazalar & AVM'ler (%12), okullar kamu binaları, kütüphaneler, hastaneler ve ticari binalar olarak sıralanabilir [35].

Aydınlatma sistemleri oluşturulurken verimliliği yüksek armatür seçilmesi, aydınlatılacak alanların ışık yansıtma düzeylerinin yüksek tutulması, armatürlerin montaj noktalarının doğru seçilmesi, aydınlatma hesaplamalarının doğru yapılması ve sistemin bakım ihtiyacına dikkat edilmesi önem taşımaktadır. Yapay aydınlatma sisteminin kullanım süresini minimize etmek için gün ışığını maksimum kullanmak ve otomatik kontrol sistemlerini kullanmak gerekmektedir.

Ayrıca armatürlerin doğrudan aydınlatılacak yüzeye bakıyor olması ışığın %90 ile %100'ünün kullanılacağı alana gönderilmesi anlamına gelmektedir. Günışığına duyarlı kontrol sistemleri ile %35'lere varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca, zaman anahtarları ve insan seçiciler ile lambalar hacimlerin kullanılmadığı zaman dilimlerinde otomatik olarak söndürülmesiyle de % 30'lara varan tasarruf sağlanabilmektedir [36].

Yaygın olarak kullanılan ışık şiddetinin ayarlanabildiği ve varlık-yokluk denetiminin yapıldığı kapalı çevrim kontrol sistemlerinde çok fazla sayıda sensör kullanılması gerekmektedir. Bir çalışmada, aynı özellikte 3 derslikte farklı karartma uygulamaları yapılmış ve aralarındaki farklar incelenmiştir. 1. derslikte her bir armatür başına düşen gün ışığı algılayıcıları ile ışık seviyesi ölçülmüş, kapalı döngü kontrol sistemi (0 - 10 V dimleme kontrolü) ile ışık şiddeti 500 lux seviyesinde sabit tutmuş ve % 34 enerji tasarrufu sağlanmıştır. 2. derslikte merkezi olarak yerleştirilmiş gün ışığı alıcısı kapalı döngü kontrol sistemi ile armatürleri kontrol eden DALI sistemine veri aktarmış ve ışık şiddetini kontrol etmiştir. Bu sistemde % 18 enerji tasarruf değeri elde edilmiştir. 3. derslikte ise dış ortama dönük gün ışığı algılayıcısından elde edilen veriler ile açık çevrim kontrol gerçekleştirilmiş ve DALI sistemi ile armatürlerin kontrolü sağlanmıştır. 3. derslikte % 46 enerji tasarruf sağlanmıştır [37].

Açık alan aydınlatmasında, aydınlatma kontrolü yapılarak enerji tasarrufu yoluna gidilebilir. Lizbon’da mevcut 68.188 adet sokak lambası bulunuyor. Aydınlatma sistemleri, uzaktan yönetim ve izleme sistemine sahip. Lambaların ihtiyaca göre ışık akıları düşürülebiliyor. Arızalı lambalar tespit edilerek diğer lambaların ışık miktarları arttırılarak çevre aydınlatmasında eksik alan bırakılmıyor. Operatörler ışık miktarını kısararak %50’ye varan tasarruf elde edebiliyor. [38]

### **1.6.1. On/Off (Manuel) kontrol**

Manuel şekilde anahtarların açılıp kapatılması ile aydınlatma sistemlerinin akımlarını kontrol etmektir. Lambaların devreye alınıp çıkarılması insan talebi ve eylemi ile gerçekleşir. Herhangi bir otomasyon sistemi içermez. Manuel kontrolde armatürler lambalar dijital olarak çalışır. Adi anahtar, komütatör anahtar ve vavien anahtar olmak üzere 3 farklı anahtarla aydınlatma sağlanır. Adi anahtar ile bir veya bir grup lambayı yakıp söndürebiliriz. Komütatör anahtar ile iki grup lambayı ayrı ayrı veya tümünden yakabiliriz. Vavien anahtar ile bir veya bir grup lambayı iki farklı noktadan yakıp söndürebiliriz. Komütatör ve vavien anahtar enerji tasarrufuna yönelik kullanılan anahtarlardır [39].

### **1.6.2. Harekete bağlı kontrol**

Hareket (Varlık/Yokluk) sensörleri aydınlatmada maksimum enerji tasarrufu elde edilir. Bu sensörler çalışma alanında hareket olduğunu tespit eder ve aydınlatma sistemini belirli bir süre çalışmak üzere otomatik olarak devreye alır. Düzenli çalışma saatleri olmayan mekânlarda; insanların genelde işleri bittikten sonra lambayı açık unutmaları veya kasten açık bırakmaları durumu göz önüne alınırsa, enerjinin boşa harcanmasını engellemek için kullanır [40].

Hareket sensörleri, hareketi algılamak için çeşitli teknolojiler kullanırlar. PIR teknolojisinde sensör, insanların buldukları ortama yaydığı ısı ve kızılötesi ışınları seçebilir. Ortamdaki oluşan fark algılanır ve lambalar devreye alınır. Ultrasonik sensörler “Doppler” sinyallerini kullanırlar. Doppler sinyallerini ortamdaki cisimlere gönderip geri gelme süresi hesaplanır. Etki alanında bir hareket olduğunda frekans değişir ve sensör hareketi algılar. Dual teknoloji olarak adlandırılan sistemde ultrasonik ve PIR sensörleri bir arada kullanılır. Bağlı

armatürler iki sensöründe hareketi algılamasıyla çalışır. En az bir sensör hareketi algılsa lambalar enerjilendirilir [41].

Çok fazla hareket bulunmayan alanların aydınlatma kontrolünde varlık-yokluk durumu dikkate alınarak bir kontrol uygulaması yapılmakta iken, yoğun kullanıma sahip alanlarda ışık şiddeti değeri dikkate alınarak bir aydınlatma kontrol sistemi tercih edilmektedir. Gerçekleştirilen bir çalışmada, gün ışığından faydalanılarak aydınlatılan koridorların yapay aydınlatma ihtiyacının, elektronik veya aç/kapa kontrole göre % 14 ila % 65 aralığında bir oranda daha az olduğu belirtilmektedir. Bu da aynı oranda enerji tasarrufu anlamına gelmektedir [42].

### **1.6.3. Zamana bağlı kontrol**

Belirli bir saatte lambaların yakılması ve söndürülmesini sağlayan sistemlerdir. Mekânın kullanım sürelerine, tatillere, mesai ve vardiya saatlerine göre insan müdahalesine gerek kalmadan armatürlerin otomatik kontrolü sağlanır. Vitrin aydınlatmaları, derslik ışık kontrolleri, çevre aydınlatmaları, ofis aydınlatmalarında sıkça kullanılır. Mekanik zaman saatleri sadece 24 saatlik çevrimde çalışırlar. Haftalık, aylık ve yıllık programlama yapmak mümkün değildir. Dijital zaman saatleri ise haftalık, aylık yıllık programlamalara göre aydınlatma kontrolü yapabilir [43].

Zaman ayarlı kontrol, aydınlatma sisteminin belirli zamanlarda açıp kapanmasını sağlayarak kontrol edilmesini amaçlar. Önceden belirlenmiş saatlerde veya binanın bulunduğu enlem boylama göre hesaplanabilen güneşin doğuş ve batış saatlerine göre açma kapama yaparlar. Çalışma saatlerinin dışında ve hafta sonu olabilecek gereksiz kullanımlar engellenmiş olur. Zaman ayarlı kontrol stratejileri ile % 10-% 15 arası tasarruf oranlarına ulaşmak mümkündür [44].

### **1.6.4. Işık şiddetinin ayarlanması**

Dimmer (Loşlaştırıcı) anahtar kullanılarak lambaya uygulanan gerilim azaltılır. Buna bağlı olarak lambadan alınan ışık miktarı sınırlandırılmış olur. Ancak gündüz değişken gün ışığı dikkate alındığında, aydınlık düzeyini belli bir değerin üzerinde tutmak için sürekli manuel ayar yapılması gerekiyor olması, dimmer

anahtarla yapılan aydınlık kontroünün (loşlaştırma) çalışma alanlarında kullanılmasını engellemektedir [11].

#### **1.6.5. Işık sensörleri ile ışık şiddetini kontrol etmek**

Ofis binaları gibi gün boyu sürekli kullanılan alanlarda, aydınlatma ve iklimlendirme enerjisi tasarrufu açısından en etkili sistemin “Bütünleşik Aydınlatma Sistemi” olduğu bilinmektedir. Bütünleşik aydınlatma; bir hacimde istenilen görsel konforun sağlanması, doğal aydınlatmanın, yapay aydınlatma ile birleşmesi şeklinde yapılan aydınlatma çeşididir. Otomatik kontrol sistemleri, enerjinin etkin kullanımında önemli rol oynayan teknolojik olanaklardan biri olarak görülmektedir. Özellikle bütünleşik aydınlatma sistemlerinde, gün ışığına duyarlı kontrol sistemleri ile %35'e varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [45].

#### **1.7. Çalışmanın Amacı**

Çalışma alanlarındaki ışık düzeyinin kontrolü için pek çok çalışma yapılmıştır. Bu tez ile hedeflenen çalışmada, dış ortama yerleştirilen tek bir sensör ile gün ışığı miktarı ölçülecek ve çalışma yüzeylerindeki ışık seviyesi sabit tutulmaya çalışılacaktır. Yapay aydınlatma için harcanan enerjiden ne kadar tasarruf sağlandığı tespit edilecektir. LED armatürlerin performanslarının analizi yapılacaktır. Dış ortamdaki sensörden alınan veriler ile iç ortamdaki çalışma yüzeylerinde istenilen aydınlık seviyesi değeri arasında bir fonksiyon oluşturulacaktır. Böylece iç ortamdaki aydınlatma gruplarının aydınlatma seviyeleri, bu fonksiyona ve dış ortam aydınlık seviyesine bağlı olarak değiştirilecektir. Önerilen bu yöntemde tek bir sensör kullanıldığı için sistem kurulum maliyeti diğer sistemlere göre daha düşük olmaktadır. Aynı zamanda aydınlatma elemanlarının kontrolünde iç ortamda çalışma yüzeyi aydınlık seviyeleri baz alındığından, doğru ve konforlu bir aydınlatma stratejisi ortaya konmaktadır. Kapı, pencere hava boşluğu gibi yüzeylerden gelebilecek olan dolaylı aydınlatma da bu sistemde dikkate alınmaktadır. Bu nedenle her bir çalışma bölgesinin aydınlatmasını sağlayan armatür grubu, bölgesel olarak kontrol edilebilmektedir. İç ortamda her bir çalışma bölgesinin aydınlık seviyesi ölçülecek, elde edilen veri kontrolör tarafından işlenecek, oluşturulan algoritma ile kontrolör 0 - 10 V dimleme yöntemi ile armatürlerin parlaklık düzeylerini kontrol

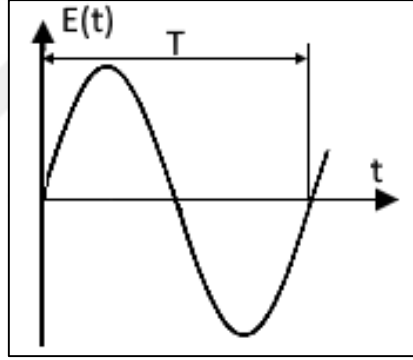
edecektir. Dış ortam sensöründen alınan veri ile iç ortam çalışma düzlemlerindeki aydınlık seviyesi arasındaki bağıntıyı ortaya koyan fonksiyonlar, sistemin kurulum aşamasında yapılan ölçümlerle belirlenecektir. Bu fonksiyonlar, mevsimsel olarak güneşin geliş açısındaki değişiklikleri de içerecek şekilde (Periyot 1, Periyot 2, vb. gibi) oluşturulacaktır. Elde edilen veriler panelden ve mobil sistemler üzerinden anlık olarak izlenebilecek ve sisteme müdahale edilebilecektir.

Hazırlanan tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; yapılan çalışmanın içeriğine ve amacına değinilmektedir. İkinci bölümde; aydınlatmada kullanılan tanımlar ve büyüklükler açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde; yapılan deneyse çalışmanın donanımsal yapısı tanıtılmaktadır. Dördüncü bölümde; oluşturulan düzenekte gün ışığına bağlı olarak elde edilen veriler listelenmekte ve tanımlanmaktadır. Beşinci bölümde; değerlendirme sonuçları ve öneriler yer almaktadır.

## 2. AYDINLATMADA KULLANILAN TANIMLAR VE FOTOMETRİK BÜYÜKLÜKLER

### 2.1. Işık

Işık; dalga şeklinde yayılan elektromanyetik dalga enerjisinin (radyasyon) gözle görülebilir halidir. Elektromanyetik dalga elektrik alanı ve manyetik alan bileşenlerinden oluşup bu alanlar vektörel olarak birbirine diktir. Bileşenlerin büyüklükleri zamana bağlı olarak Şekil 2.1’de görüldüğü gibi sinüsoidal biçimde değişir. Sinüsoidal şekilde açığa çıkan elektromanyetik enerjinin bir periyodu ve buna bağlı olarak frekansı vardır ve ışık periyodu Denklem (2.1) ile hesaplanır.



Şekil 2.1 Elektromanyetik dalga

$$T=1/f \quad (2.1)$$

Işık saniyede  $3.10^8$  metre mesafe kat etmektedir. Işığın dalga boyu ( $\lambda$ ), ışığın hızına ve periyoduna bağlı olarak Denklem (2.2) ile hesaplanır.

$$\lambda=c.T \quad (2.2)$$

Elektromanyetik dalgaların dalga boyu 380 nm ile 780 nm arasında olan kısmı insan tarafından farklı renkler olarak görülebilmektedir. 380 nm ile 780 nm arasındaki elektromanyetik dalgalar, elektromanyetik spektrum (tayf) olarak adlandırılmaktadır [11].



Farklı boylardaki ışınların insan beyninde tetiklediği çağrışımlardır. Işık akısının insan tarafından renk olarak algılanması, ışık demetinin dalga boyu ile bağlantılıdır.

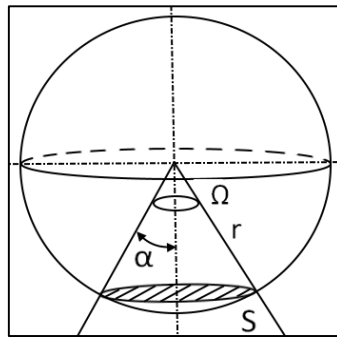
## 2.2. Işık Akısı

Işık akısı, bir ışık kaynağından 1 saniyede yayılan ışık miktarıdır. İnsan gözünün algılayabileceği düzeyde kaynak tarafından saniyede yayılan enerji miktarı olarak da tanımlanır. Işıyan akıların sadece 380-780 nm dalga boyuna sahip olan kısmı insan tarafından görülebilir. Işık akısı “ $\Phi$ ” sembolü ile gösterilir ve birimi lümen (lm) ’dir [46].

## 2.3. Uzay Açısı

Işık kaynakları küresel şekilde ışık yayarlar. “ $r$ ” yarıçaplı bir kürede düzlemlerle  $\alpha$  açısı kadar açı yapan alanda ışık şiddetinin tespit edilebilmesi uzay açının bilinmesi gerekmektedir.  $\alpha$  açısının gördüğü yay bir küre parçası meydana getirir. Bu kürenin “ $S$ ” alanının, “ $r$ ” yarıçapının karesine bölümüne “Uzay Açısı” denilir. Uzay açının sembolü “ $\Omega$ ” ve birimi steradyan (str)’dir ve Şekil 2.2’de görülmektedir ve Denklem (2.3) ile hesaplanır [46].

$$\Omega = \frac{S}{r^2} \quad (2.3)$$



Şekil 2.2. Uzay açısı

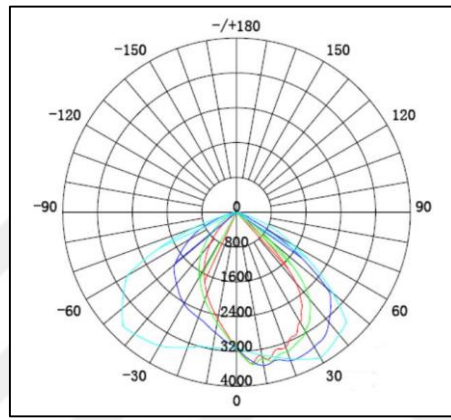
## 2.4. Işık Şiddeti

Noktasal bir ışık kaynağından  $\alpha$  doğrultusunda çıkan ortalama ışık şiddeti, bu doğrultuda birim uzay açıdan çıkan ışık akısına eşittir. Işık şiddeti “ $I$ ” harfi ile

gösterilir ve birimi Candela'dır (cd). 1 stradyanlık uzay açıdan çıkan ışık akısı 1 lümen ise ışık şiddeti 1 candela (cd)'dir [1].

## 2.5. Işığın Dağılımı

Noktasal ışık kaynağı belirli bir alana etki eder ve bu alanın uç noktalarına “ışık dağılım yüzeyi” adı verilir. Kaynakların ışık dağılımlarını incelenmesi ve kaynakların aydınlatılacak alanda montaj noktalarının belirlenmesi açısından ışık dağılım yüzeyinin bilinmesi önemlidir.



Şekil 2.3. Işık dağılım grafiği

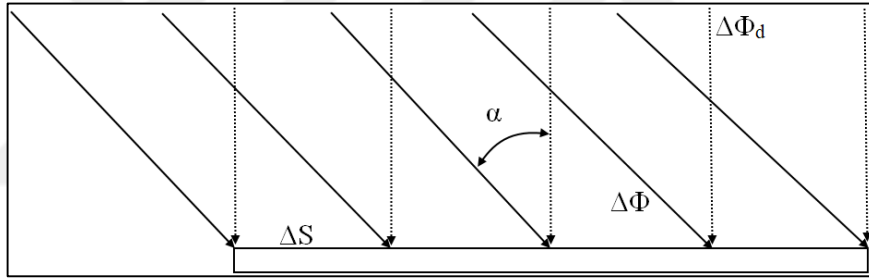
Işık dağılımının homojen şekilde yapılması zordur. Bu yüzden ışık seviyesinin Şekil 2.3'te gösterildiği gibi belirli sınırlar içinde olması sağlanır. Aydınlatılan alanda en düşük ışık düzeyi ile en yüksek ışık düzeyi arasındaki oran 0,4 ile 0,6 aralığında olmalıdır. Yapay ışık kaynaklarının seçimi ve konumlandırılması doğru yapılmalıdır. Aksi durumda loşluk, parlama, karanlık kalan kısımlar, gölge oluşumu meydana gelebilir. Aydınlatma şiddetinin yüksek olması veya ışık şiddetinin aşırı değişimi gözün kamaşması, yorgunluk ve baş ağrısına sebep olabilir [47].

Işıklandırılan alanın tüm noktalarında eşit ışık dağılımının olması birleştirilmiş kaynakların kullanılması ile mümkündür. Tek yönden ve tek kaynaktan yansıyan ışıklar, dikkati dağıtmama ve gözü yormama özelliğine sahiptir. Görmeyi kolaylaştırmak için ışığın tek yönden gelmesi, ışık kaynağının sabit olması ve renk değişimlerinin olmaması gerekir. Floresan lambalar kullanılarak ışık kaynağının şiddeti dağıtılmaya çalışılmaktadır. Dolaylı ışıklandırma ışığın

emilmesinden dolayı, pahalı bir aydınlatma yöntemi olsa da, göz sağlığı koruyucu etkisi bulunmaktadır. Işığın tek biçimli dağılımında etkili olan etkenlerden diğerleri tavan yüksekliği ve tavanın şeklidir. Işık kaynaklarının yüksekliği, doğrudan ve dolaylı ışıklandırmanın zararlı etkilerini zayıflatır [48].

## 2.6. Aydınlık Düzeyi

Bir yüzeyin, birim alanına düşen ışık akısının miktarına “Aydınlık Düzeyi” denir. Aydınlık düzeyinin bulunması için yüzeye herhangi bir açı ile düşen ışık akısının dik bileşenleri kullanılır. Aydınlık düzeyi “E” harfi ile gösterilir, birimi Lümen/m<sup>2</sup> veya Lux (lx)’tür [11]. Aydınlık düzeyi değerinin bulunması için, Denklem (2.4) kullanılır. Aydınlık düzeyi seviyeleri TS EN 12464-1 standardında tanımlanmıştır. Tablo 2.1’de kapalı çalışma alanlarında ortalama aydınlık düzeyi miktarlarına örnekler verilmiştir.



Şekil 2.4. Aydınlık düzeyi

$$E = \frac{\Delta\phi_d}{\Delta S} \quad (2.4)$$

Tablo 2.1. Kapalı çalışma alanlarında ortalama aydınlık düzeyi miktarları [54]

ALAN	AYDINLIK DÜZEYİ (Lux)
Kantin, kafeterya vb.	200
Tuvalet, banyo, duş ve giysi değiştirme odaları	200
Tıbbi müdahale merkezleri	500
Paketleme alanları	300
Canlı hayvanlar için binalar	50
Hazırlama ve pişirme	300
Laboratuvarlar	500
Akşam dersleri için sınıflar	500
Laboratuvar ve uygulama odaları	500
Öğretmen odaları	300

## 2.7. Parıltı

Yüzeyler kendileri ışık yayabildikleri gibi, farklı kaynaklardan almış oldukları ışığı da yansıtabilir. Cisimden yansıyan ışık şiddetine parıltı denilir. Bizler cisimleri parıltıları ile görebiliriz. Parıltı “L” ile gösterilir ve birimi cd/ m<sup>2</sup>’dir [46]. Parıltı değeri Denklem (2.5)’te verilen denklem ile hesaplanır.

$$L = \frac{\Delta I}{\Delta S} \quad (2.5)$$

## 2.8. Yansıtma Faktörü

Cisimler üzerlerine düşen ışığın tamamını yansıtabilir veya bir kısmını absorbe edebilir. Bir cisimden yansıyan ışık akısının, cisme gelen ışık akısına oranına “Yansıtma Faktörü” denilir ve “φ” ile gösterilir. Yansıtma cismin fiziksel özelliklerine göre şekillenir.

Hacim duvar ve tavan yüzeylerinin ışık yansıtma katsayıları aydınlatma sisteminin verimi üzerinde etkili olmaktadır. Aşağıda çeşitli renklere ilişkin ışık yansıtma katsayıları verilmiştir.

- 0,70: Çok açık (beyaz, saman rengi, kemik rengi, açık mavi, açık yeşil)
- 0,50: Açık (kavuniçi, sarı bej, turuncu)
- 0,30: Orta (gök mavisi, çimen yeşili)
- 0,10: Koyu (koyu mavi, deniz mavisi, koyu yeşil, koyu gri)

İç mekâna ait ortalama yansıtma çarpanları tavan için 0,7, duvarlar 0,5, zemin 0,2, eşyalar ve mobilyalar için 0,2 ile 0,5 arasında olmalıdır. Çalışma yüzeyleri parlak malzemeden seçilmemelidir. Pencerenin bulunduğu duvarın kontrastı azaltmak için diğer duvar yüzeyleri kadar yansıtıcı olması gerekir [49].

## 2.9. Işık Geçirme ve Yutma Faktörü

Bir cisme uygulanan ışık akısının tümü cisimden yansımaz veya absorbe edilmez. Bazı cisimler üzerine gelen ışık akısının bir kısmı geçirme özelliğine sahiptir. Cisimden geçen ışık akısının, cisme gelen ışık akısına oranına “Geçirme Faktörü” denilir ve “τ” ile gösterilir.

Cisim üzerine gelen ışık akısının bir miktarı absorbe edilir. Cisim tarafından absorbe edilen ışık akısının, cisim üzerine gelen ışık akısına oranına “Yutma Faktörü” denilir ve “ $\alpha$ ” ile gösterilir [46].

## 2.10. Renk

Cisimler tarafından yansıtılan ışığın gözde oluşturduğu duyumlardır. Işık akısının insan tarafından renk olarak algılanması, ışık demetinin dalga boyu ile bağlantılıdır [50]. İnsan gözü 380-780 nm aralığındaki dalga boylarındaki ışığı renkleri ile algılar. Renklerin insan tarafından algılanmasını sağlayan dalga boyları Tablo 2.2’de gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Elektromanyetik spektrum tablosu

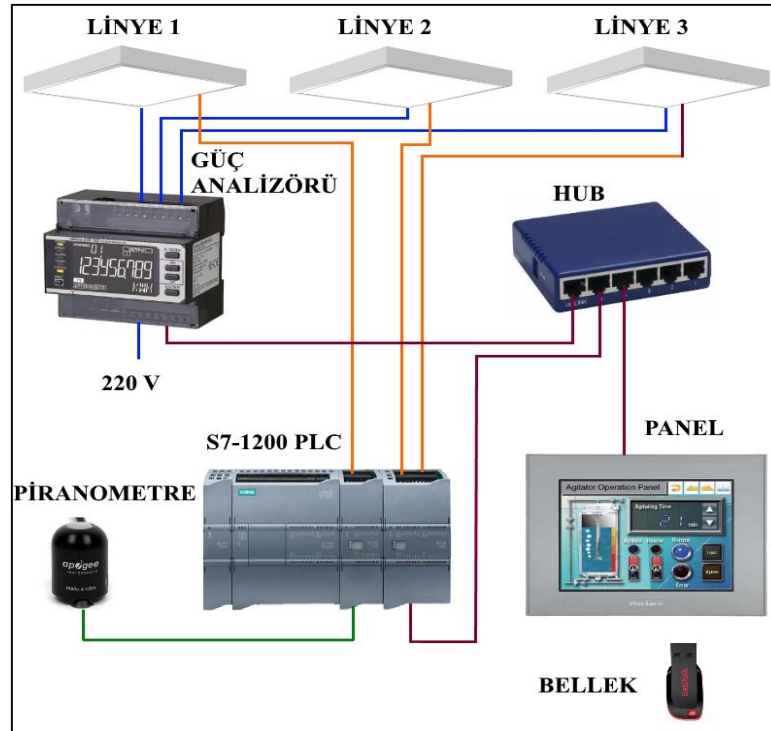
No	Renk	Dalga Boyu (nm)
1	Ultraviyole	100-380
2	Mor	380-436
3	Mavi	436-495
4	Yeşil	495-566
5	Sarı	566-589
6	Turuncu	589-627
7	Kırmızı	627-780
8	Kızılötesi	780-10.000

### 3. ÖNERİLEN AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

Aydınlatma kontrol sistemlerinde ortam aydınlık düzeyinin kullanım amacına uygun olacak şekilde sabit kalması hedeflenir. Yaygın olarak kullanılan aydınlatma kontrol sistemlerinde her bir ortamda aydınlık düzeyi ölçülerek geri besleme ile kapalı çevrim kontrol gerçekleştirilir. Kapalı çevrim kontrol yapısında aydınlık düzeyi kontrol edilecek her bir alan için sensör gerektirmesi kurulum ve işletme maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca kontrol sisteminde bileşen sayısının fazla sayıda olması karmaşık bir yapıyı da beraberinde getirmektedir. Bu çalışma kapsamında ise kapalı çevrim kontrol sistemine alternatif olabilecek tek sensörlü açık çevrim kontrollü bir aydınlatma sistemi önerilmektedir.

#### 3.1. Hedeflenen Aydınlatma Sistemi

Tek sensör yapısına sahip PLC kontrollü açık çevrim aydınlatma sistemi bileşenleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Hedeflenen aydınlatma kontrol sistemi bileşenleri

Dış ortam gün ışığı aydınlık değeri ölçümü için piranometre kullanılmıştır. Piranometreden alınan 0-5 Volt analog gerilim, kontrolör olarak kullanılacak olan S7-1200 PLC analog giriş ünitesi üzerinden okunacaktır. PLC’de gün ışığı miktarına bağlı olarak gerekli olan yapay aydınlatma miktarı hesaplanarak oluşturulan algoritma doğrultusunda aydınlatma linyeleri üzerindeki armatürler 0-10 aralığında kontrol edilmektedir. Şebekeden çekilen toplam akım, gerilim ve güç değerleri ile beraber her bir linyenin çektiği değerlerde kullanılan analizör ile ölçülmektedir. Analizörden ölçülen değerler HUB üzerinden PLC’ye iletilmektedir. Her bir linie için ve tüm sistem için gerilim, akım ve güç değerleri panel üzerinden okunabilmektedir.

Hedeflenen aydınlatma sistemini oluşturan ekipmanların teknik özellikleri ve kullanım amacı detayları ile bu bölüm içerisinde sunulmaktadır.

### 3.1.1. Luxmetre

Gün ışığı değerinin gün içerisinde aydınlatma alanına etkisinin belirlenebilmesi için Luxmetreler kullanılmıştır. Ölçüm işleminde kullanılan CEM DT8809A Luxmetre Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Luxmetre aynı zamanda sistem çalışırken gün ışığına bağlı olarak yapılan DIM kontrolünün kalibre edilmesinde de kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Işık şiddeti ölçen luxmetre

### 3.1.2. Piranometre (Sensör)

Sistemde, Şekil 3.3’de görülen Apogee SP-215 Piranometre kullanılmıştır. Dünya yüzeyindeki güneş radyasyonu, genellikle 280 ila 4000 nm dalga boyunda toplam

radasyon olarak tanımlanır. Piranometreler, küresel kısa dalga radasyonunu ölçen sensörlerdir. Apogee SP serisi piranometreler silikon hücreli piranometrelerdir ve solar spektrumun 350-1100 nm'lik alanında çalışır. Apogee SP serisi piranometreler, bir anodize alüminyum gövdeye monte edilmiş dökme akrilik difüzör, fotodiyot ve sinyal işleme devresi ile bir kablodan meydana gelir. Piranometre, güneşten gelen toplam kısa dalga radasyonu ile doğru orantılı 0 ile 5 VDC aralığında analog voltaj üretir. Sensörde endüklenen voltaj sinyali, radasyonun bir yarım kürenin tüm açılardan yayıldığı düzlemsel bir yüzeydeki (yatay olması gerekmeyen) radasyon olayıyla doğru orantılıdır. -40 ile 70 °C sıcaklık aralığında çalışabilir ve kötü hava koşullarından etkilenmemektedir. Işığı 180° yarım küre düzleminde okuyabilir [51].



Şekil 3.3. Piranometre

### 3.1.3. Programlanabilir lojik kontrolör (PLC)

Piranometreden gün ışığına bağlı olarak elde edilen 0-5 VDC gerilim PLC analog girişine iletilir. PLC tanımlanmış olan fonksiyonlara göre ve bölgelerin 0 ile 10 VDC aralığındaki DIM kontrol gerilimlerini üretir.



Şekil 3.4. Programlanabilir lojik kontrolör



Sistemin dijital olarak açılıp kapatılması PLC ile sağlanmaktadır. Enerji analizöründe anlık olarak okunan gerilim, akım ve güç değerleri PLC'ye aktarılır ve pano kapağında yer alan panel PLC'deki bilgilerin okunabilmesi için verileri PLC'den almaktadır.

Projede Şekil 3.4'de görülen, Siemens CPU 1212C DC/DC/DC modeli PLC ve ek olarak SM 1232 Analog I/O modül kullanılmıştır. CPU1212C modeli PLC'de 8 DI/6 DO/ 2AI adresi mevcut olup 25 KB'lık çalışma hafızasına sahiptir. TIA Portal yazılımı ile programlanmaktadır. Kompakt olarak analog çıkış özelliği olmadığı için SM1232 ek modülü kullanılmış ve kontrolöre armatürleri kontrol edecek 0 ile 10 VDC analog çıkış özelliği eklenmiştir. PLC'nin enerji analizörü ve operatör panel ile bağlantısının sağlanması için, Siemens RS485 Haberleşme Modülü kullanılmıştır. [52]

#### 3.1.4. Enerji analizörü

Armatürlere uygulanan gerilim, akım ve güç değerleri Şekil 3.5'de gösterilen Omron'un KM-N2-FLK modeli enerji analizörü ile ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Enerji analizörü

Hem 1 fazlı hem de 3 fazlı sistemlerinde kullanılması, 4 bağımsız devreyi izleme imkânı sunması, RS 485 haberleşme protokolüne sahip olmasından dolayı veriler HUB üzerinden PLC'ye aktarılabilmektedir. Her bir linyeye iki LED armatür bağlanmıştır. 3 linye, analizörümüzün 3 faz girişine bağlantısı yapılmış, anlık ölçülen veriler PLC'ye aktarılmış ve veriler oluşturulmuştur.

### 3.1.5. Operatör panel

Operatör Paneller, PLC ile insan arasındaki ara yüzüdür. PLC programında ekrana yansımaları istenen bilgiler programlanarak panel ekranına yansımaları sağlanır. Çalışmada gerilim, akım ve harcanan güç değerleri panele yansıtılmıştır. Sistemde Şekil 3.6'da görülen Proface GP4301 TW modeli panel kullanılmıştır. 5,7'' renkli ekrana sahip panel Ethernet ara yüzüne sahiptir. Verileri internet üzerinden gönderebilir veya alabilir. Panel ekranına yansıyan veriler USB girişine bağlanan flash belleğe kopyalanabilmektedir.



Şekil 3.6. Operatör panel

### 3.1.6. Led armatürler

Deneyin yapıldığı laboratuvarında mevcut 4x18W floresan armatürler sökülerek, yerlerine Şekil 3.7'de görülen, 35 W gücünde Ledova markasının Olea serisi, 60x60 siva üstü LED armatürler monte edilmiştir. Armatürün özellikleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Ledova PL1500125 Olea 35 W sıva üstü led armatürün özellikleri

ÖZELLİKLER	DEĞERLER
CRI	> 90
Renk Sıcaklığı	İsteğe Bağlı
Giriş Voltajı	220-240 VAC
Güç Faktörü	>0,90-1
Güç Verimliliği	>%90
Sistem Gücü	35 W
AC Giriş Akımı	0,16 A

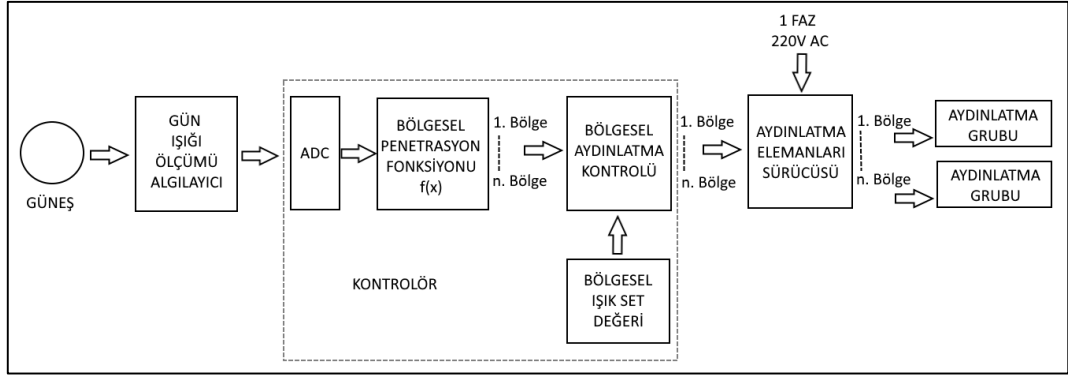
Armatürlere 0-10 VDC analog gerilim uygulandığında DIM kontrol kartları ile ışık düzeyi kontrolü yapılabilmektedir.



Şekil 3.7. LED armatür ve DIM kontrol kartı

### 3.2. Kontrol Yapısı ve Algoritması

Şekil 3.8’de önerilen aydınlatma kontrol sisteminin blok şeması yer almaktadır. Hedeflenen kontrol sistemi üç temel yapıdan oluşmaktadır. İlk kısım, gün ışığı değerinin anlık olarak sürekli okunarak sisteme gönderildiği dış ortam ölçüm yapısından oluşmaktadır. İkinci kısımda gün ışığı verisine bağlı olarak her bir bölge için gerekli olan yapay aydınlatma ihtiyacı hesaplanarak armatürlerin sürme sinyallerinin üretildiği kontrol yapısı ve son kısımda ise ilgili armatürlerin istenilen ışık akısını sağlaması için güç yapısı yer almaktadır.

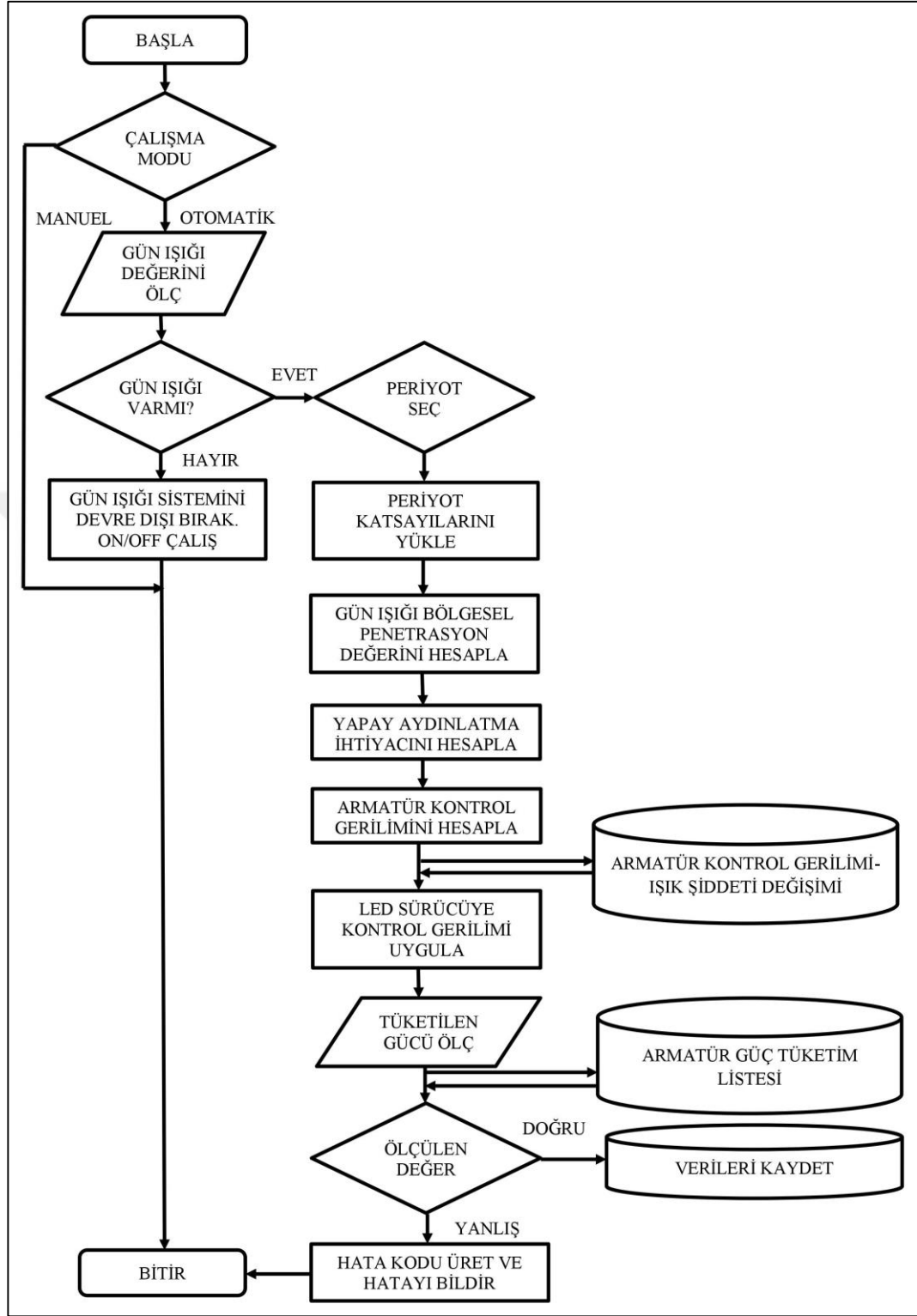


Şekil 3.8. Tasarlanan aydınlatma otomasyon sistemi kontrol blok şeması

Hedeflenen aydınlatma sisteminde Şekil 3.8’de verilen açık çevrim kontrol yapısı uygulanacaktır. Sürekli alınacak ölçümler ile mevsimlere göre çalışma durumları belirlenecektir. Yaz aylarında gün ışığının aydınlatılacak olan bölgeye etkisi ile kış aylarında oluşacak etki farklı olacaktır. Mevsimsel fonksiyonlar ve aydınlatılacak bölgeler için yapılan ölçümlerde oluşturulan çalışma katsayıları kontrolöre tanımlanacaktır. Kontrolör sensör bilgisinden gelen bilgiyi, tanımlanmış olan mevsimsel katsayıya, bölgesel set değeri ve fonksiyonuna bağlı olarak analog çıkışları ile armatürleri dim kontrollü çalıştıracaktır.

Yapıya uygun olarak oluşturulan çalışma algoritması Şekil 3.9’da verilmektedir. Çalışma “Manuel” veya “Otomatik” kontrollü olarak başlatılabilir. Şayet “manuel” başlatma seçilirse, gün ışığına bağlı çalışma sistemi bypass edilerek çalışma devam ettirilir. Her hangi bir ölçüm ve bildirim yapılmayacaktır. Şayet “Otomatik” çalışma modu seçilirse çalışma modu seçilirse, sistem gün ışığı değerini anlık olarak kontrol edecek ve sensörden aldığı bilgiyi kontrolöre iletecektir. Kontrolör gün ışığı olmaması durumunda sistemi “Manuel” çalışma moduna alır.

Otomatik çalışma modu seçili olması ve gün ışığı sensöründen bilgi alınması durumunda bir çalışma periyodu seçilmesi gerekmektedir. Periyotlar hava koşullarının gün ışığına etkisinden dolayı kullanıcı tercihine bırakılmıştır. Sistem tanımlanan periyot katsayılarına göre gün ışığı penetrasyon değerini hesaplamaktadır. Kontrolör, bölgesel olarak gün ışığının yeterli olmadığı alanlar için yapay ışık miktarı hesaplar. İhtiyaç olan yapay ışığı karşılamak için armatürlere uygulanması gereken gerilim değeri tespit edilir.



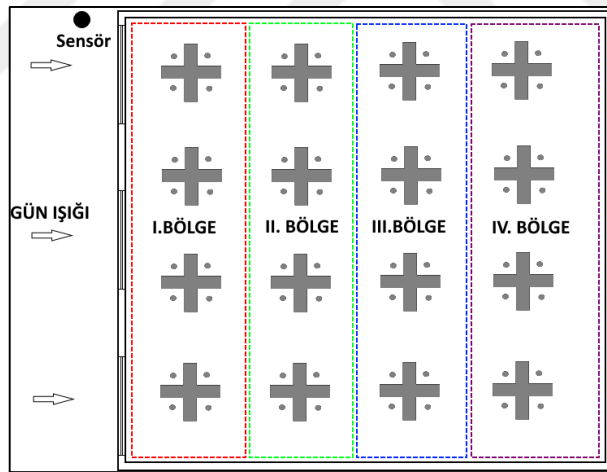
Şekil 3.9. Tasarlanan aydınlatma otomasyon sistemi çalışma algoritması

Uygulanması gereken gerilim miktarı, daha önce yapılan ölçümler neticesinde kontrolöre öğretilmiştir. Her bölgeye ait LED armatürlere ihtiyacı olduğu kadar analog kontrol gerilimi uygulanarak gün ışığının aydınlatmada yetersiz kaldığı ışık

miktarı yapay olarak karşılanır. Kontrolöre farklı gün ışığı değerlerinde sarf etmesi gerek güç değerleri tanımlanmıştır. Tüketilen gücün kabul edilebilir değerlerin dışına çıkması durumunda hata sinyali üretilir ve kullanıcıya bildirilir. Sistemin normal çalışması durumunda anlık akım, gerilim, harcanan güç, tasarruf edilen güç değerleri kaydedilir. Kaydedilen veriler bir hafıza kartına panel üzerinden alınabilir. Ayrıca sistem verileri mobil sistem üzerinden okunabilmektedir.

### 3.3. Aydınlatma Sistemi Teorik Performansı

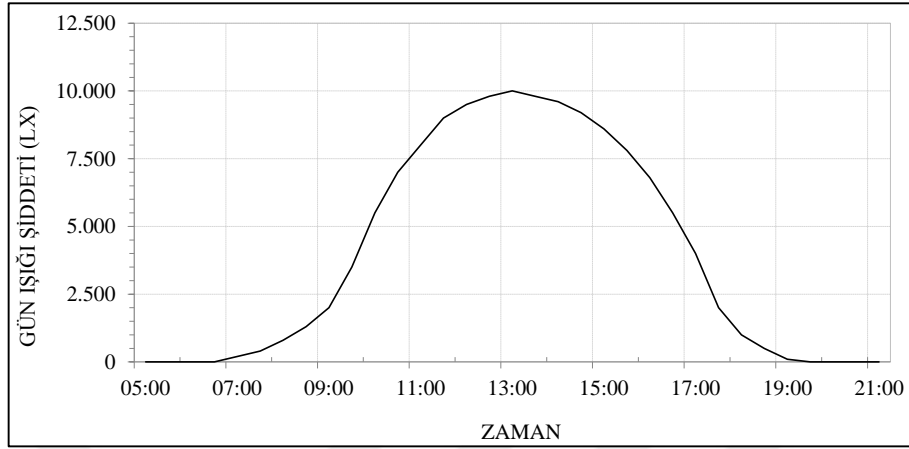
Önerilen aydınlatma kontrol sisteminin uygulanacağı alanın gün ışığından yararlanma oranının her bir alan için ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir. Gün ışığından yararlanma değerleri göz önünde bulunarak her bir alan kendi içerisinde bölgelere ayrılarak haritalandırılır. Böylece her bir bölgenin gün ışığından yararlanma durumu matematiksel bir katsayı ile ifade edilebilir. Şekil 3.10'da aydınlatma kontrol sisteminin teorik performansını ve çalışmasını açıklamak için dört bölgeye bölünmüş bir alan gösterilmektedir.



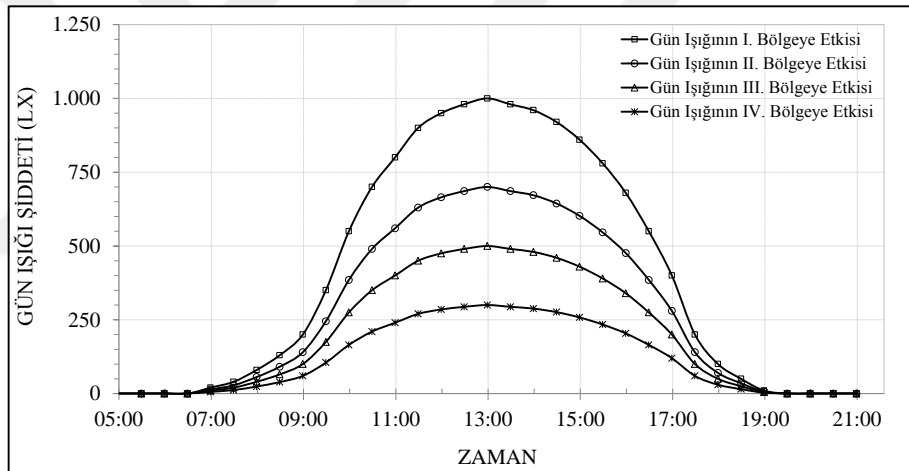
Şekil 3.10. Teorik performans analizi için uygulama alanı ve bölgeler

Şekil 3.11'de dış ortama yerleştirilen sensörden alınan gün ışığı değerleri, bulut, sis, mevsim, vb. bozucu etkiler ihmal edilerek teorik olarak elde edilmiştir. Elde edilen gün ışığı verisinin bölgelere etkisi ise Şekil 3.12'de gösterilmektedir. Gün ışığından yararlanma durumu dikkate alınarak her bir bölge için bir katsayı belirlenmiştir. Çalışma saatleri içerisinde, her bir bölgede aydınlık düzeyinin sabit ve 500 lux

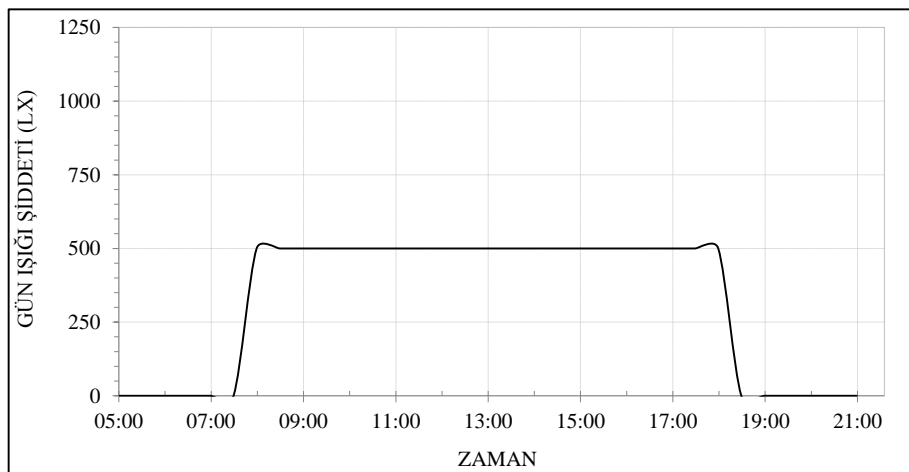
değerinde olması istenmektedir. On-Off kontrol yöntemi ile çalışan aydınlatma sisteminde olması gereken durum Şekil 3.13’de verilmektedir.



Şekil 3.11. Dış ortamda ölçülen gün ışığının zamana göre değişimi

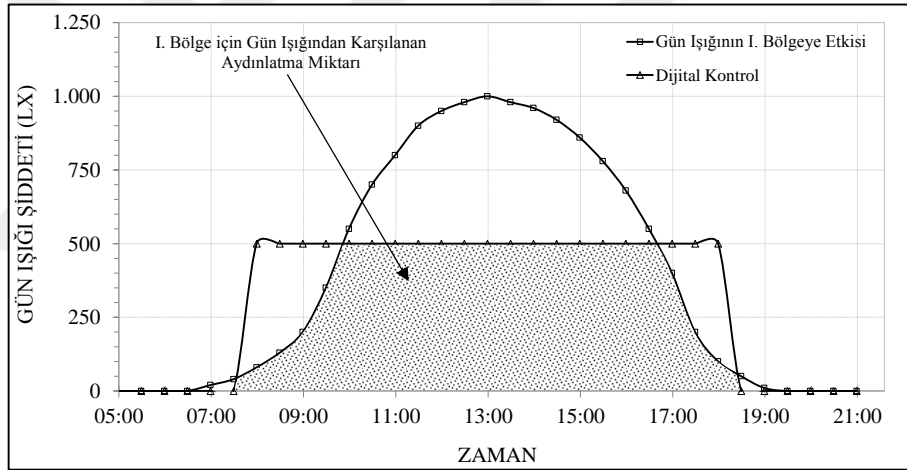


Şekil 3.12. Gün ışığının bölgelere etkisinin saatlere göre değişimi

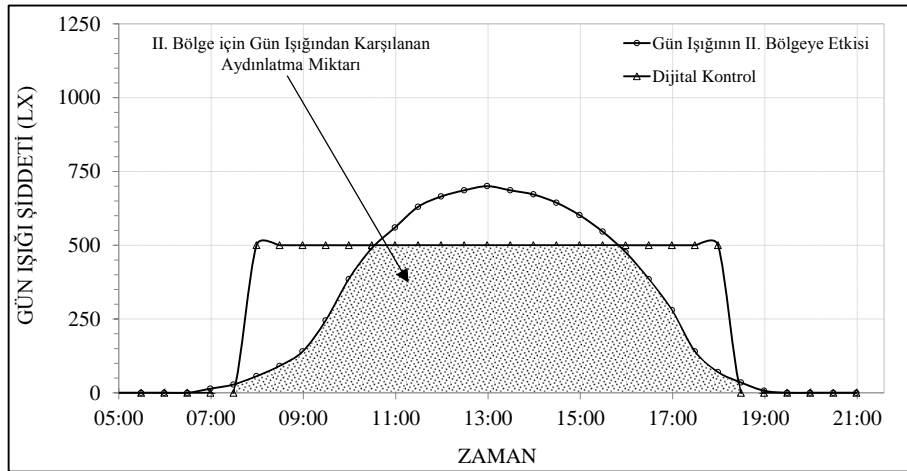


Şekil 3.13. On-Off kontrol yöntemi ile ışık şiddeti – zaman grafiği

Tasarımı gerçekleştirilen aydınlatma kontrol yapısı kullanılarak çalışma saatleri içerisinde her bir bölge için elde edilebilecek teorik tasarruf değerleri elde edilmiştir. 1. bölgede gün ışığından faydalanarak 4295 Lx değeri için gereksiz olarak kullanılan enerji tasarruf edilerek yalnızca 705 Lx değeri için gerekli olan enerji şebekeden karşılanmıştır. 1. bölgede olduğu gibi, 2. bölgede de 4120 Lx değeri gün ışığından elde edilerek yalnızca 880 Lx değeri için gerekli olan enerji şebekeden karşılanmıştır. 1. ve 2. bölgelere kıyasla 3. ve 4. bölgelerde bu enerji kazanımları biraz daha düşük olup gerekli olan enerji miktarı biraz daha fazladır. Ancak aç-kapat yöntemi ile kıyaslandığında %50 -%60 arası daha az enerji harcandığı ortaya çıkmaktadır. Tasarlanan aydınlatma sistemi ile aç-kapat kontrol yönteminin her bir bölge için karşılaştırmalı ışık şiddeti – zaman diyagramları sırası ile Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17 ile gösterilmektedir.

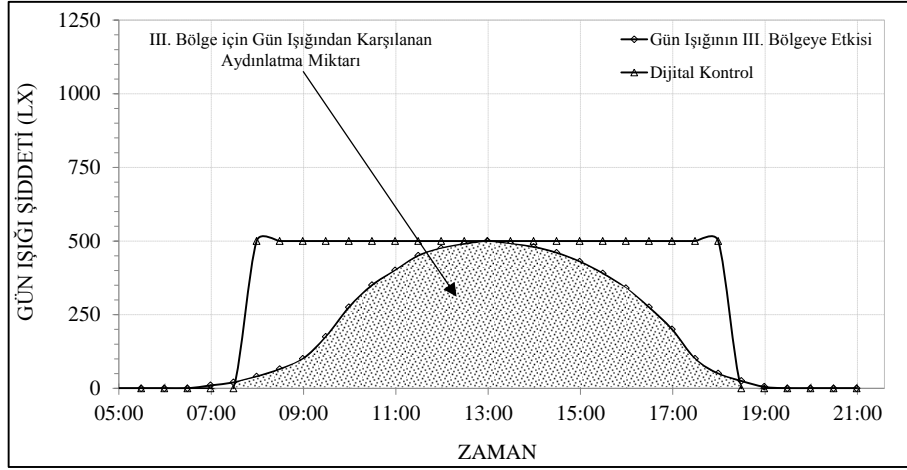


Şekil 3.14. Birinci bölge aydınlatma kontrolü – zaman diyagramı

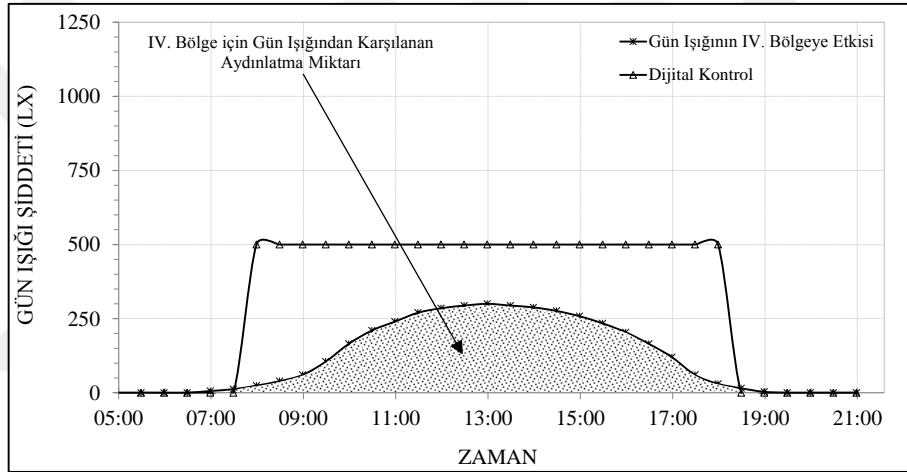


Şekil 3.15. İkinci bölge aydınlatma kontrolü – zaman diyagramı





Şekil 3.16. Üçüncü bölge aydınlatma kontrolü – zaman diyagramı



Şekil 3.17. Dördüncü bölge aydınlatma kontrolü – zaman diyagramı

Tasarlanan aydınlatma kontrol sisteminin uygulanması ile istenilen aydınlık düzeyinin sağlanması için gerekli aydınlatma güç değerleri ve aç-kapat kontrol yönteminde kullanılacak çeşitli armatür yapılarının gerektireceği güç değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 3.1'de verilmektedir.

Yaklaşık 800 – 900 m<sup>2</sup> bir alanın 500 Lux değerinde aydınlatılabilmesi için akkor flamanlı armatürler kullanıldığında 7200 W, flouresan armatürler kullanıldığında 1800 W, LED armatürler kullanıldığında ise 1200 W değerinde bir aydınlatma gücüne ihtiyaç duyulmaktadır [53]. Bu çalışmada kapsamında, LED armatürlerin kullanıldığı bir yapı oluşturularak tasarlanan aydınlatma kontrolü uygulandığında yaklaşık 323 W değerinde bir aydınlatma gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarruf oranları dikkate alındığında kullanılan armatür yapısına bağlı olmaksızın kullanılan aydınlatma gücünün %82'si gün ışığından sağlanabilir. Bu tasarruf yüzdesi hava

şartlarına ve alanların fiziki şartlarına (pencere sayısı, kullanılan camın geçirgenliği, temizliği, vb.) bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

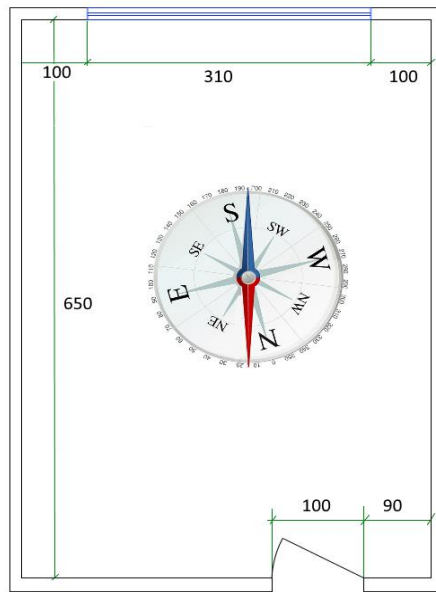
Tablo 3.2. Farklı aydınlatma çeşitleri ile çalışma alanının aydınlatılması için gerekli olan güç değerleri

<b>Aydınlatma Çeşitleri</b>	<b>I. Bölge</b>	<b>II. Bölge</b>	<b>III. Bölge</b>	<b>IV. Bölge</b>	<b>Toplam</b>
Akkor Flamanlı Armatürler ile Aydınlatma	1.800 W	1.800 W	1.800 W	1.800 W	7.200 W
Flouresan Armatürler Aydınlatma	450 W	450 W	450 W	450 W	1.800 W
Led Armatürler ile Aydınlatma	300 W	300 W	300 W	300 W	1.200 W
Tasarlanan Aydınlatma Kontrollü – LED Armatürler ile Aydınlatma	42 W	53 W	89 W	139 W	323 W
Tasarlanan Aydınlatma Kontrolü İle LED Armatürlerin On-Off Çalışması Tasarruf Oranı	%86	%83	%71	%54	%74

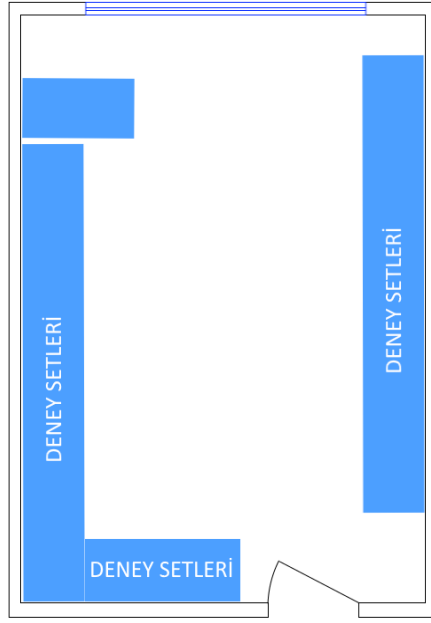
## 4. ÖNERİLEN AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİNİN DENEYSEL PERFORMANSI

### 4.1. Önerilen Aydınlatma Kontrol Sistemi Kurulumu

Gün ışığından maksimum düzeyde faydalanılarak armatürlerin DIM kontrollü şekilde kontrolünün sağlanması için deney düzeneği Kocaeli Üniversitesi Hereke Meslek Yüksekokulu Endüstriyel Otomasyon ve Endüstri 4.0 laboratuvarında kurulmuştur. Laboratuvar ortamı deney için hazır hale getirilmiştir. Mevcut 6 adet 4x18 W floresan lambalar sökülmüş, yerlerine 6 adet DALI kontrollü, LED armatür monte edilmiştir. Armatürler doğal ışık kaynağı olan pencerelere olan mesafeleri, mevcut armatürlerin konumu referans alınarak ikişerli gruplar halinde gruplandırılmış ve toplam 3 linye oluşturulmuştur. Linye güç hatlarında 3x1,5 mm<sup>2</sup> NHXMH kablo, kontrol hatlarında ise 2x0,75 mm<sup>2</sup> LIHCH kablo kullanılmıştır. Şekil 4.1’de krokisi ve Şekil 4.2’de yerleşim planı görülen laboratuvar, 32,5 m<sup>2</sup>’lik alana sahip olup, tavan yüksekliği 3 metre’dir. 97,5 m<sup>3</sup>’lük hacim aydınlatılacaktır. Laboratuvarın pencerelerinin yönü gün ışığından üst düzeyde faydalanabileceği güney-güney-batı yönüne 195°’dir.



Şekil 4.1. Sistemin uygulanacağı laboratuvar



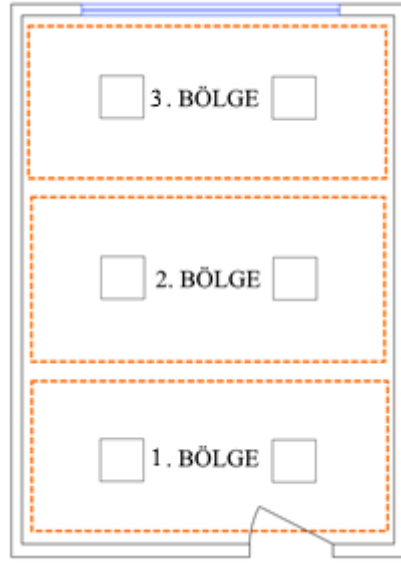
Şekil 4.2. Laboratuvar yerleşim düzeni

Gün ışığını laboratuvara taşıyan ve Şekil 4.3’de gösterilen pencerenin çerçeveleri ile toplam alanı 4,2 m<sup>2</sup>’dir. Ancak pencerelerden çerçeve alanları çıkartıldığında cam alanı 2,6 m<sup>2</sup>’dir.



Şekil 4.3. Laboratuvar gün ışığı kaynağı pencere

Çalışma alanları içinde yer alan her bir bölgede aynı aydınlatma değerinin olması sağlanacaktır. TS EN 12464-1 standardına göre laboratuvarlarda aydınlatma seviyesinin 500 Lux olacak şekilde kontrol algoritması oluşturulacaktır. Uygulama alanı Şekil 4.4’de gösterildiği gibi 3 bölgeye ayrılmıştır ve her bir bölgenin gün ışığından yararlanma değerleri ölçülerek deneysel kat sayılar belirlenecektir.



Şekil 4.4. Armatür yerleşimi ve aydınlatma bölgeleri

Aydınlatma kontrolünün ve sürme devresinin yer aldığı kontrol kabini Şekil 4.5’de gösterilmektedir. Kontrol paneli çok sayıda linie hattını besleyebilecek kapasitede üretilmiştir. Kontrol panelinde yer alan operatör panel üzerinden anlık aydınlatma gücü ve bölgesel aydınlık düzeyi izlenebilmektedir. Ayrıca, önceden belirlenen bölgesel gün ışığı yarar katsayıları panel üzerinden program revizyonu gerektirmeksizin ayarlanabilmektedir.

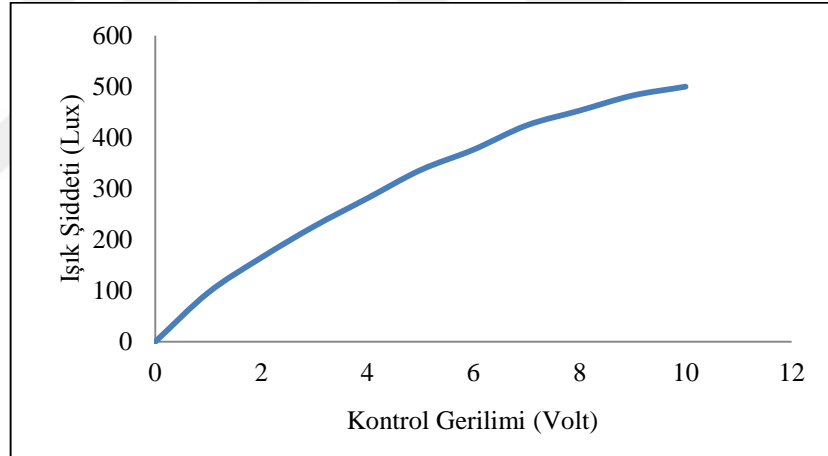


Şekil 4.5. Aydınlatma otomasyon panosu

## 4.2. Kullanılan LED Armatürlerin Deneysel Verileri

Aydınlatma sisteminin kurulacağı laboratuvarında mevcut olan 6 adet 4x18 W floresan armatür sökülerek, yerlerine 6 adet 35 W LED ampul takılmıştır. Floresan lambaların on/off kontrolü ile 8 saatlik mesai saatleri içerisinde yanması durumunda enerji tüketimi 3.456 Wh'tir. Floresan ampuller yerine kullanılan LED armatürlerin 8 saatlik enerji tüketimi ise 1.120 Wh'tir. Herhangi bir kontrol sistemi uygulanmaksızın floresan armatürlerin, LED armatürlerle değiştirilmesinden dolayı %68'lik tasarruf elde edilebilmektedir.

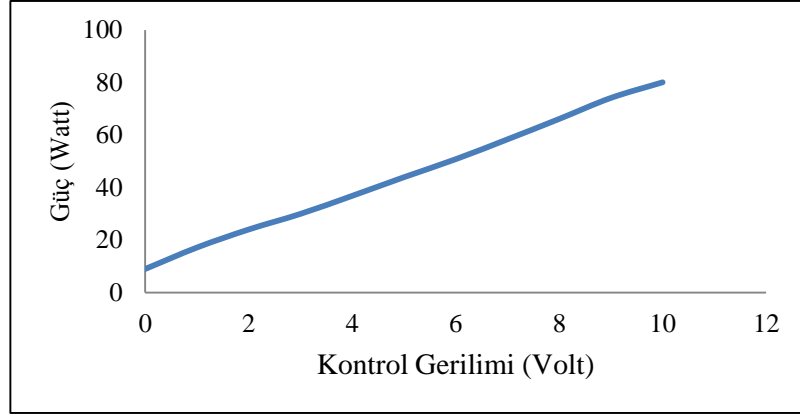
Kullanılan LED armatürlerin, uygulanan 0-10 V kontrol gerilimine karşı çektiği güç ve bu güce karşılık çalışma yüzeyinde oluşturduğu ışık şiddetinin doğru bir kontrol işlemi sağlayabilmek için bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, LED armatürlerin kontrol gerilimi ile ışık şiddeti değişimi Şekil 4.6'da, kontrol gerilimi ile güç değişimi Şekil 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.6. LED kontrol gerilimi – ışık şiddeti değişimi

Gün ışığı yokken armatür kontrolörlerine uygulanan gerilim değeri 1 Volt aralıklarla artırılmış ve armatürlerin çalışma alanında etki ettiği ışık şiddeti değerleri ölçüldü.

Şekil 4.6'da verilen LED armatürün kontrol gerilimi ile çalışma yüzeyinde oluşturduğu ışık şiddeti değeri tablo haline getirilerek PLC içerisinde kayıt altına alınmaktadır. Yapay aydınlatma ihtiyacı değerine bağlı olarak tablo içerisinde kayıtlı olan kontrol gerilim değerleri LED sürücülerine aktarılmaktadır.

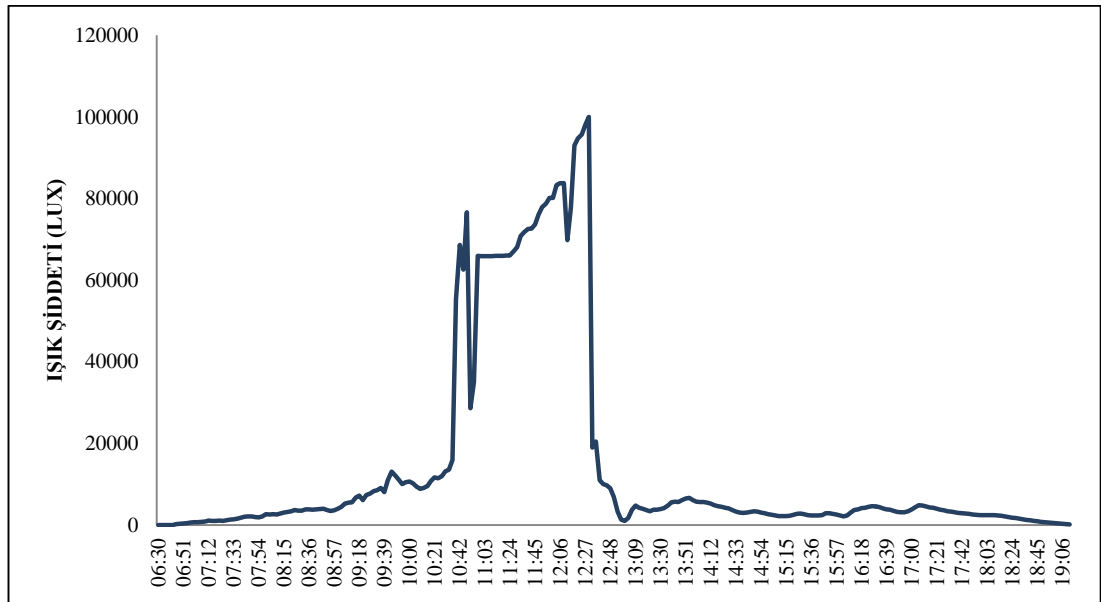


Şekil 4.7. Kontrol gerilimi – güç değişimi

Ayrıca Şekil 4.7’de uygulanan kontrol gerilimi ile güç değişim grafiği ile LED armatürlerin anlık güç tüketim değeri analizörden alınan bilgiler ile karşılaştırılmaktadır. Dolayısıyla muhtemel arıza ve verimsiz çalışma durumları tespit edilebilmektedir.

#### 4.3. Gün Işığı ve Bölgesel Dağılımı

Uygulama alanında dış ortama yerleştirilen piranometre ile gün ışığı verisi anlık olarak ölçülerek kontrol sistemine gönderilmektedir. 09.09.2018 tarihinde, 06:30 ile 19:12 saatleri arasında 255 adet ölçüm değeri alınarak kayıt edilmiştir. Ölçülen gün ışığı saatlik değişim grafiği Şekil 4.8’de verilmektedir.



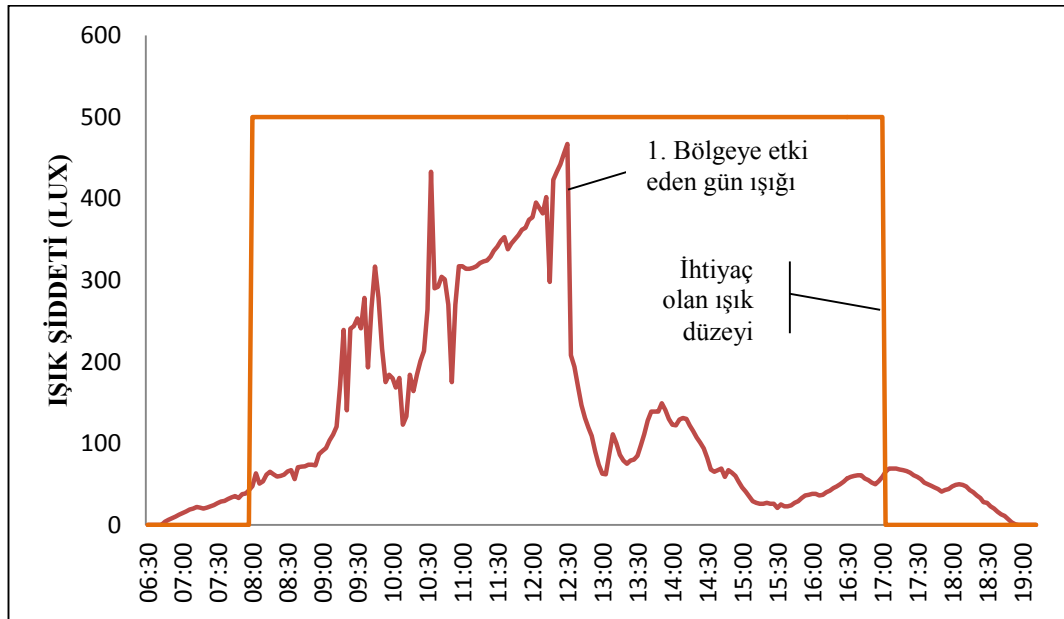
Şekil 4.8. Dış alan aydınlık şiddeti grafiği (Lux/Saat)

Gün ışığı şiddetinin, güneşin geometrik hareket rotası ile doğrusal etkilendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, bulutlanma etkisinin ışık şiddeti değerine yüksek oranda etki ettiği tespit edilmiştir. Saat 12:30'da gün ışığı şiddeti 100.000 Lux değeri ile maksimum seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.8'de verilen gün ışığının iç ortamda belirlenen bölgelere etkisi çalışma yüzeyine yerleştirilen luxmetreler ile kayıt altına alınarak kontrol sistemine aktarılmıştır.

Gün ışığının laboratuvarımızdaki 3 bölgeye etkisi Şekil 4.7, 4.8, ve 4.9'da verilmiştir. Ayrıca tüm şekillerde laboratuvarın her noktasında sabit aydınlatma değeri olan 500 lux grafiği ile birlikte gösterilmiştir. Güneş ışığı pencereye uzak olan 1. Bölgeye düşük miktarda etki ederken, pencereye yakın olan 3. bölgeye maksimum düzeyde etki etmiştir. 1. bölgeye etki eden gün ışığı şiddetinin en büyük değeri 490 lux iken, 2. bölgeye 944 lux ve 3. bölgeye 2.183 lux'tur,

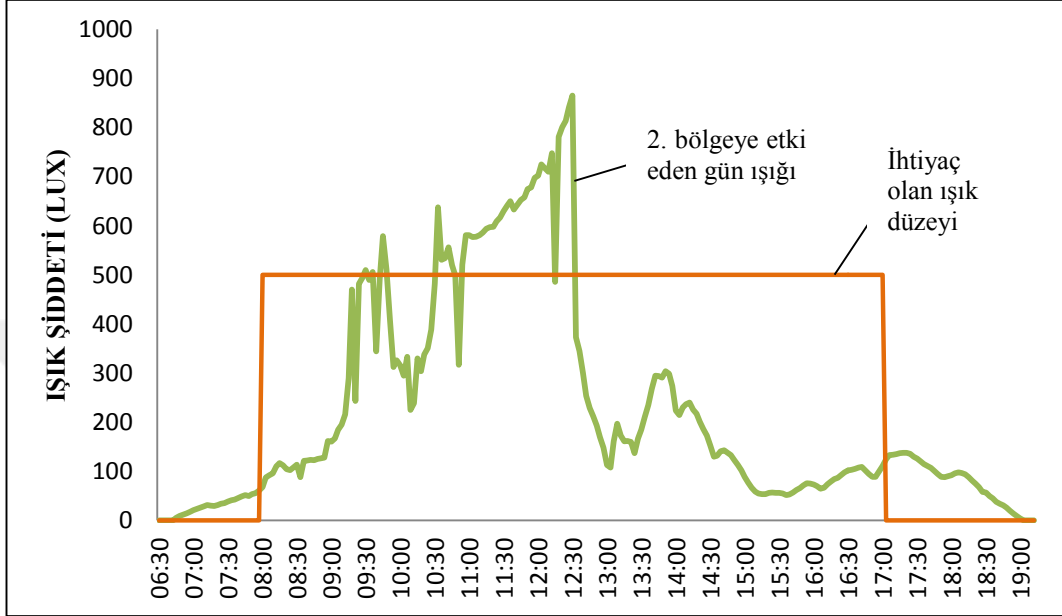
Şekil 4.9'da 1. bölgeye etki eden gün ışığı miktarının ihtiyaç olan 500 lux değerine ulaşamadığı görülmektedir. Yapay aydınlatma 08:00-17:00 saatleri arasında ihtiyaç olan 500 lux değerine maksimum düzeyde kullanılmıştır. İhtiyaç duyulan ışık düzeyi grafiği ile, 1. bölgeye etki eden gün ışığı grafiği arasındaki alan yapay aydınlatma yapılan alandır.



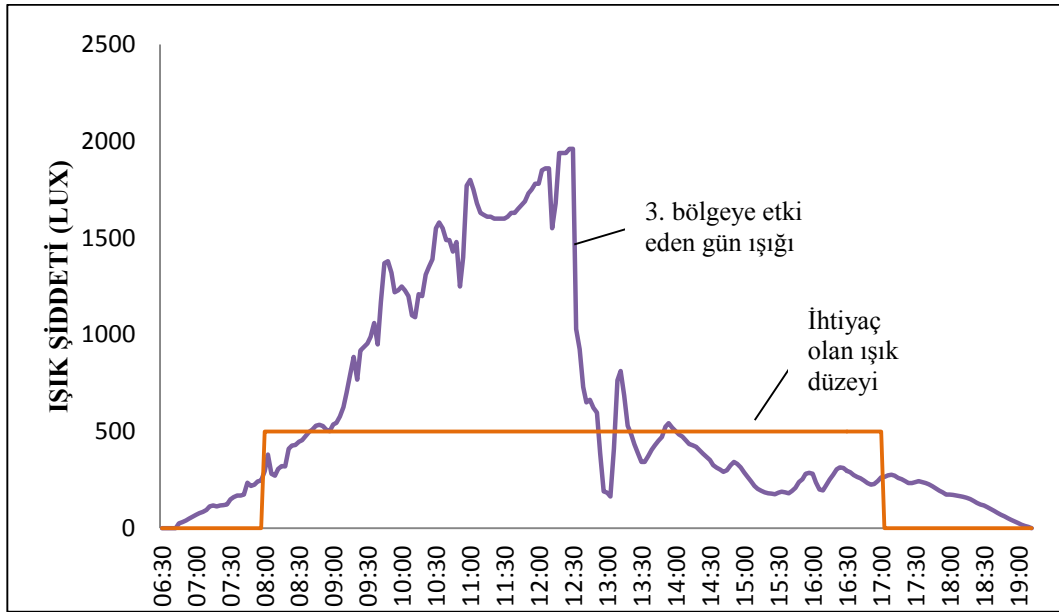
Şekil 4.9. 1. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı (Lux/Saat)



1. bölgede armatür grubunun mesai saatleri arasında on/off çalışması durumunda 630 W güç tüketecektir. Gün ışığı ölçülerek, 1. bölge armatürlerine dim gerilimi uygulanmış ve on/off kontrolde elde edilen aydınlatma düzeyi 439 W güç tüketilerek aydınlatılmıştır.



Şekil 4.10. 2. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı (Lux/Saat)

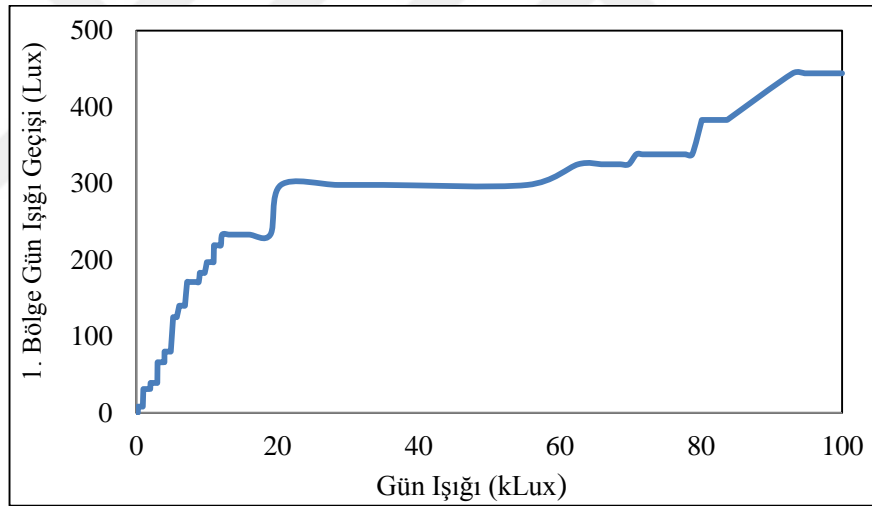


Şekil 4.11. 3. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı (Lux/Saat)

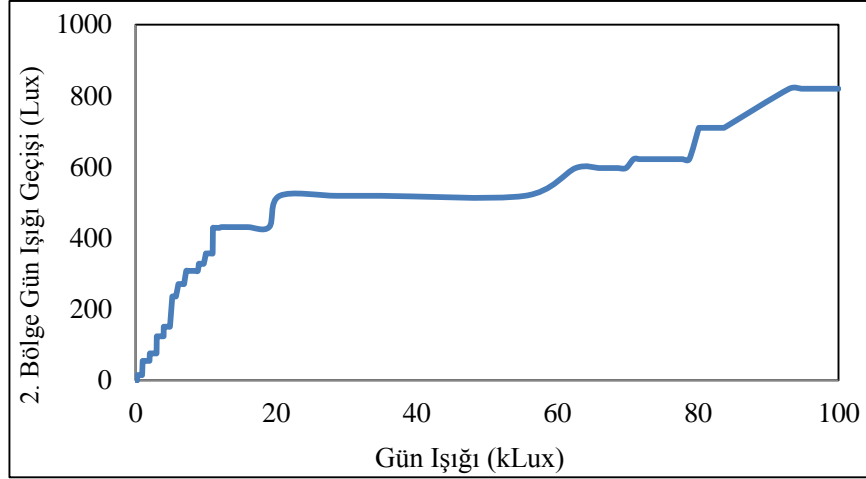
2. bölgeye etki eden gün ışığı miktarı 1. bölgeye oranla artmış ve yapay aydınlatma için harcanan güç azalmıştır. Mesai saatleri içinde 240 W güç harcanarak aydınlatma düzeyi yakalanmıştır.

3. bölgeye maksimum düzeyde gün ışığı etki etmiş ve yapay aydınlatma için harcanan güç 102 W ile minimum seviyeye düşmüştür.

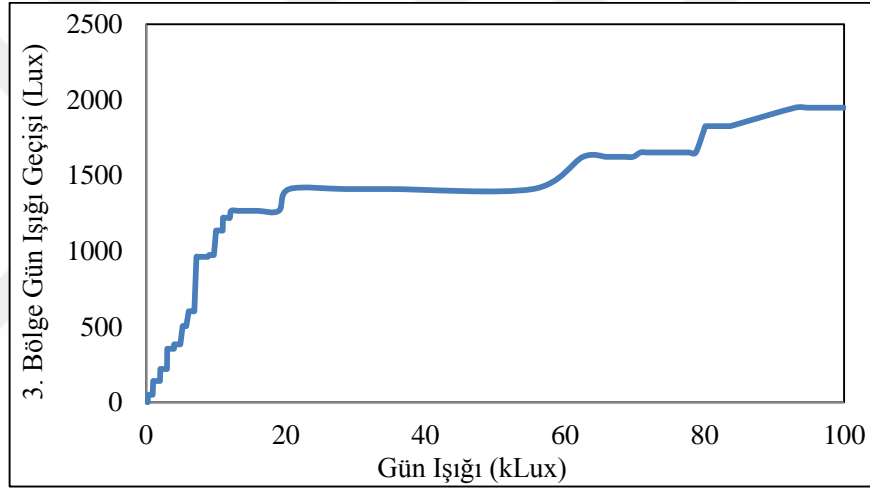
Her bölge için gün ışığından yararlanma katsayısı üretilebilmesi için alınan ölçüm değerlerinin mümkün olduğunca lineer hale getirilmesi gerekmektedir. Belirlenecek bölgesel katsayılar zamana bağlı olarak hesaplanabileceği gibi, gün ışığı miktarının etki değeri dikkate alınarak da hesaplanabilir. Katsayılar, bu çalışmada, gün ışığının bölgelere etkisi dikkate alınarak belirlenmiştir. Gün ışığı miktarı ile bölgelerde yapay aydınlatma yok iken oluşan aydınlık düzeyi değişimi, her bir bölge için sırasıyla Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14’de gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Birinci bölge gün ışığı etkisi ile aydınlık düzeyinin değişimi



Şekil 4.13. İkinci bölge gün ışığı etkisi ile aydınlık düzeyinin değişimi



Şekil 4.14. Üçüncü bölge gün ışığı etkisi ile aydınlık düzeyinin değişimi

Gün ışığının en az etki ettiği 1. bölge referans alınarak, ölçülen değerler kategorize edilmiş ve bölgelerin ihtiyaçlarına göre armatürlere uygulanacak gerilim düzeyleri belirlenmiştir.

Ani ışık değişimlerinin gözü yorucu etkisinden dolayı, kategori sayısı yüksek sayıda tutulmuştur. Yapay ışık kaynaklarından elde edilecek ışık düzeyindeki artış veya azalmalarda yumuşak geçiş olması sağlanmıştır.

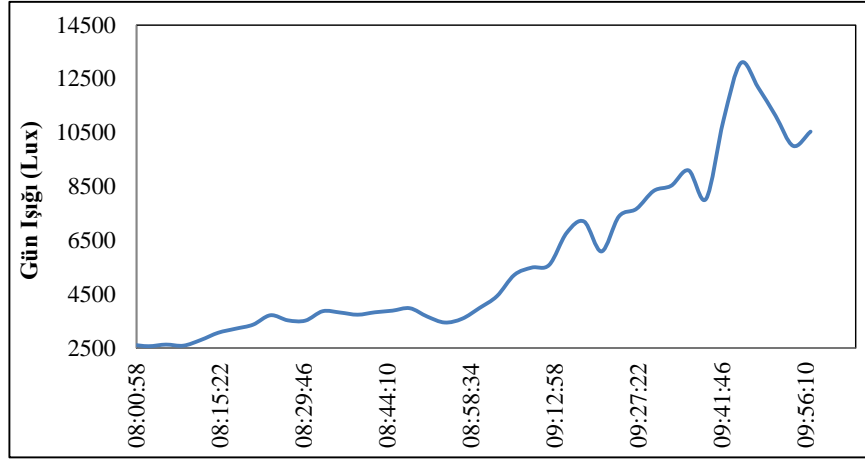
Tablo 4.1. Bölgelerin ihtiyacı olan yapay aydınlatmayı elde etmek için uygulanması gereken gerilim değerleri

	Gün Işığı Aralığı	Bölgelere Etki Eden Gün Işığı Miktarı (Lux)			Bölgelerde İhtiyaç Olan Yapay Işık Miktarı (Lux)			Uygulanması Gereken Gerilim Miktarı (Volt)		
		I. Bölge	II. Bölge	III. Bölge	I. Bölge	II. Bölge	III. Bölge	I. Bölge	II. Bölge	III. Bölge
1	0-222	0	0	0	500	500	500	10	10	10
2	223-925	8	15	50	492	485	450	10	9,7	9
3	926-1980	31	55	141	469	445	359	9,4	8,9	7,2
4	1981-2980	39	75	220	461	425	280	9,3	8,5	5,6
5	2980-3990	66	124	310	434	376	190	8,7	8,6	3,8
6	3991-4890	80	151	353	420	349	147	8,4	7	3
7	4891-5740	125	236	499	375	264	1	7,5	5,3	1
8	5741-6900	140	271	602	360	229	0	7,2	4,6	0
9	6901-8850	165	295	850	335	205	0	6,7	4,1	0
10	8851-9700	171	308	974	329	192	0	6,6	3,9	0
11	9701-10960	183	328	1136	317	172	0	6,4	3,5	0
12	10961-11980	197	357	1220	303	143	0	6,1	2,9	0
13	11981-19000	298	519	1410	202	0	0	4,1	0	0
14	19001-55400	310	535	1500	190	0	0	3,8	0	0
15	55401-69766	325	597	1623	175	0	0	3,5	0	0
16	69767-78768	338	622	1652	162	0	0	3,3	0	0
17	78769-83719	383	710	1826	117	0	0	2,4	0	0
18	83720-100000	444	820	1948	56	0	0	1,2	0	0
19	100000-120000	490	944	2183	10	0	0	0,2	0	0

Belirlenmiş aydınlık seviyesi grupları, bölgelere etki eden gün ışığı miktarı, bölgelere göre ihtiyaç olan yapay ışık miktarı ve yapay ışığı elde etmek için kontrolörün armatürlere uygulaması gereken analog gerilim değeri Tablo 4.1’de verilmiştir.

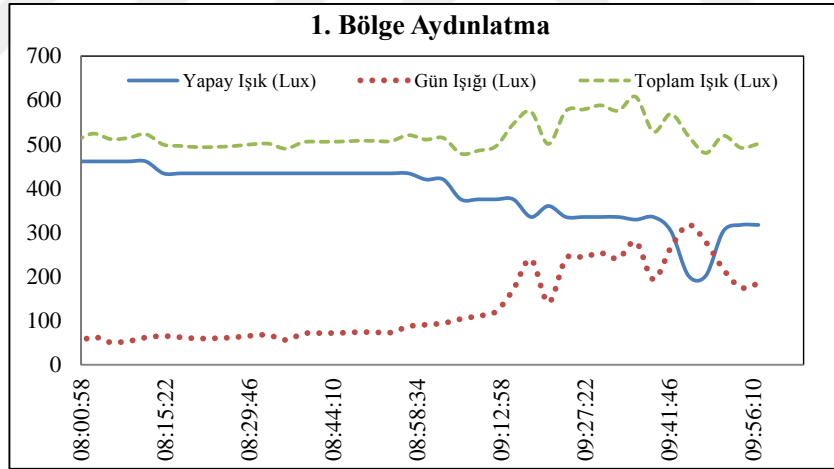
#### 4.4. Aydınlatma Sistemi Deneysel Performansı

Önerilen aydınlatma kontrol sistemi bir önceki kısımda belirlenen katsayılar doğrultusunda çalıştırılmıştır. Sistemin belirlenen bölgelerde istenilen aydınlatma seviyesini sağlayabildiğini ölçmek için her bir bölgeye luxmetreler yerleştirilerek ölçüm gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde gün ışığı değerleri zamana göre bölümlendirilerek Şekil 4.15’te dış ortam gün ışığı değeri gösterilmektedir. Sırasıyla her bir bölge için çalışma saatleri içerisinde alınan ışık şiddeti ölçüm değerleri Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18’de verilmektedir.



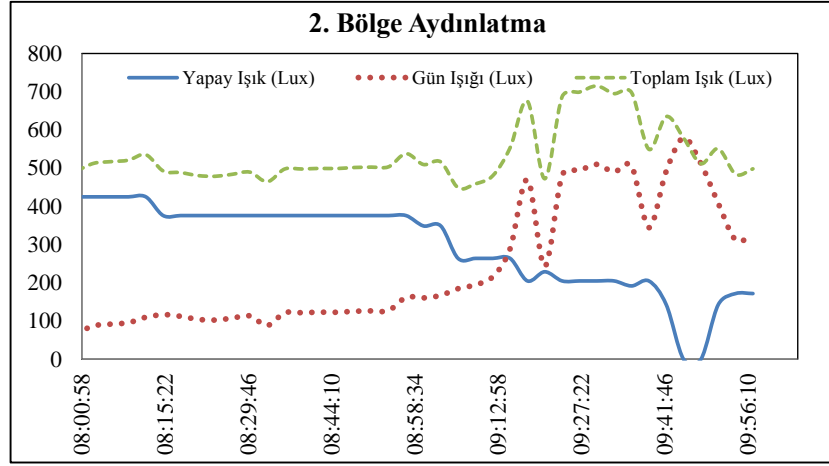
Şekil 4.15. 08:00-10:00 saatleri arasında gün ışığı değerleri

Modelleme için 08:00-10:00 saatleri arası ve 10:00-13:00 saatleri incelenmiş ve grafikleri çıkarılmıştır. Bölümlendirme gün ışığı miktarının değişimine bağlı olarak yapılmıştır. 08:00-10:00 saatleri arasında gün ışığı miktarı artışı düşük düzeyde gerçekleşmiş, ancak gün ışığı şiddeti 10:00-13:00 saatleri arasında üst düzeyde artış göstermiştir.



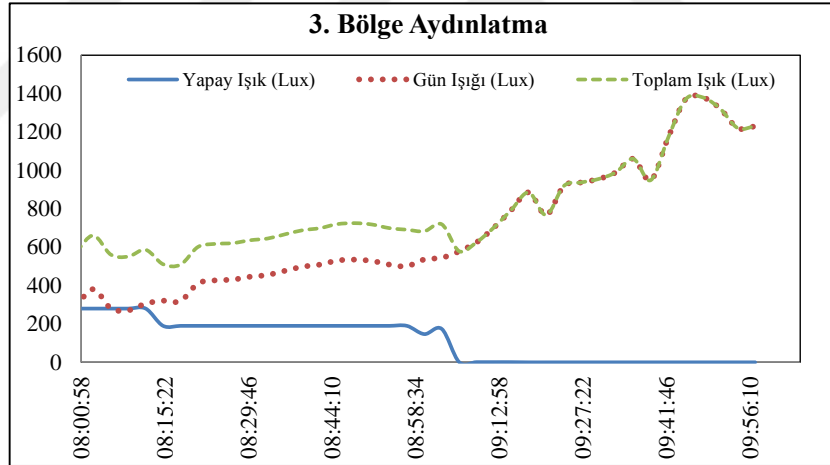
Şekil 4.16. 08:00-10:00 saatleri arasında 1. bölge aydınlatma grafikleri

1. Bölge 8:00-10:00 saatleri arasında alınan ışık şiddeti ölçüm değerleri. Gün ışığı miktarının düşük olması, yapay ışık kaynaklarına olan ihtiyacı arttırmaktadır. Toplam ışık miktarı 500 lux düzeyinde tutulmaktadır. Ani ışık değeri değişimlerinin göz sağlığına olumsuz etkisinden dolayı sisteme gecikme eklenmiş ve bu yüzden toplam ışık düzeyi 590 lux düzeyine kadar çıkmıştır.



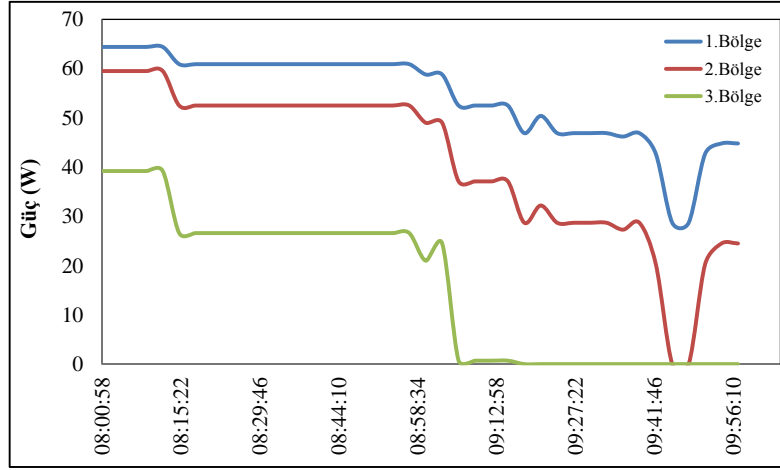
Şekil 4.17. 08:00-10:00 saatleri arasında 2. bölge aydınlatma grafikleri

2. bölgeye gün ışığı daha yüksek oranda etki etmiş ve yapay aydınlatma ihtiyacı azalmıştır. Toplam ışık miktarı gün ışığının 2. Bölgeye etkisinden dolayı 700 Lux seviyesine çıkmıştır.



Şekil 4.18. 08:00-10:00 saatleri arasında 3. bölge aydınlatma grafikleri

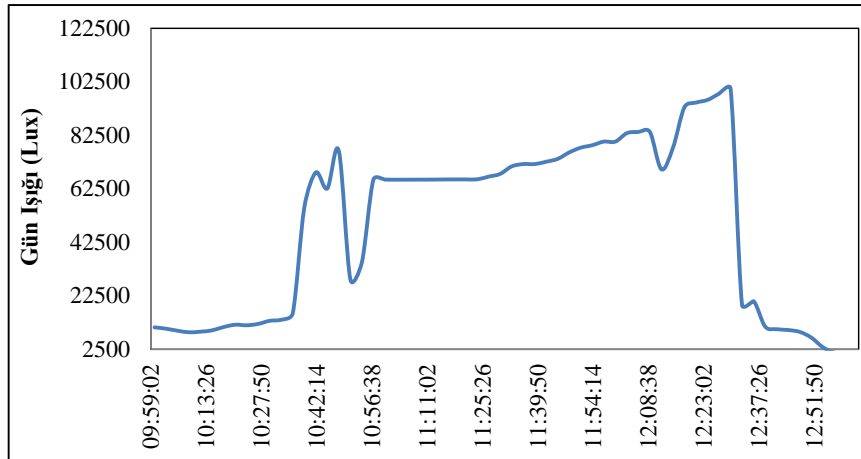
3. bölge pencereye yakın olmasından dolayı gün ışığından en fazla yararlanan bölgedir. İhtiyaç olan yapay aydınlatma ihtiyacı minimum seviyededir.



Şekil 4.19. 08:00-10:00 saatleri arasında yapay aydınlatma için harcanan güç grafiği

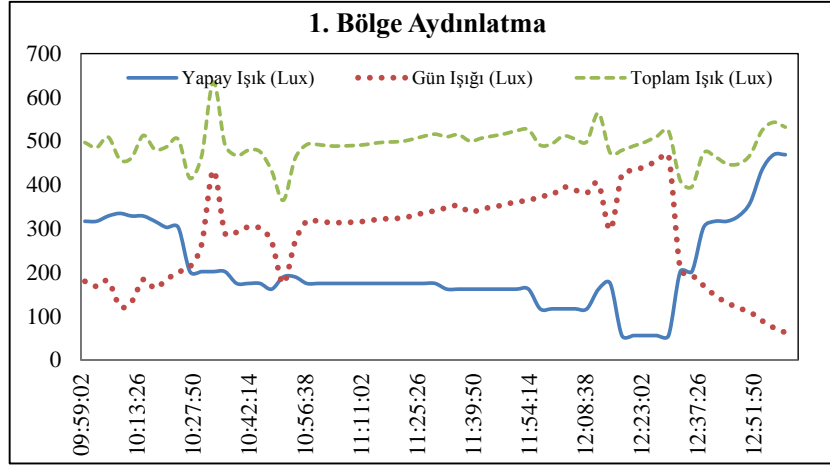
Gün ışığı düzeyinin artmasına bağlı olarak yapay ışık miktarı ihtiyacı azalmaktadır. Bölgelere göre zamana bağlı olarak harcanan gücün azaldığı görülmektedir. 09:05 itibarı ile 3. bölgede tüketilen güç 0 W olmuştur.

10:00-13:00 saatleri arasında gün ışığı değişim grafiği Şekil 4.20’de görülmektedir. 10:30 ile 12:30 saatleri arasında ışık şiddetinde büyük bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.



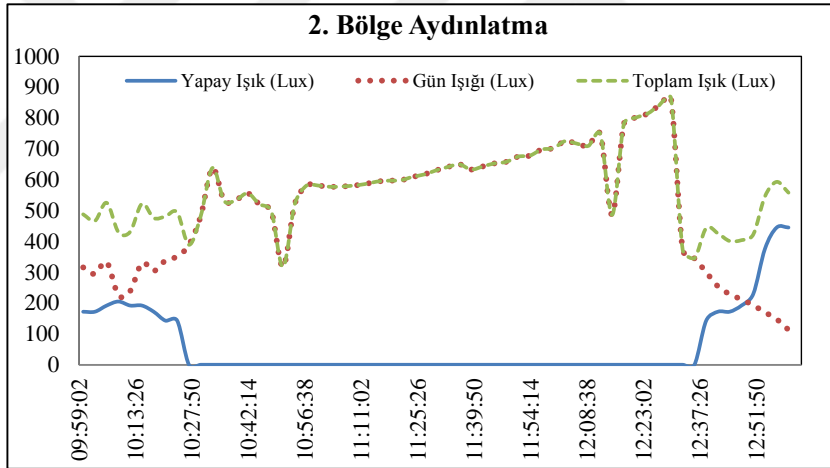
Şekil 4.20. 10:00-13:00 saatleri arasında gün ışığı değerleri

10:00-13:00 saatleri arasında 1. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı ve buna bağlı olarak ihtiyaç olan yapay ışık miktarı düzeyi Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. 10:00-13:00 saatleri arasında 1. bölge aydınlatma grafikleri

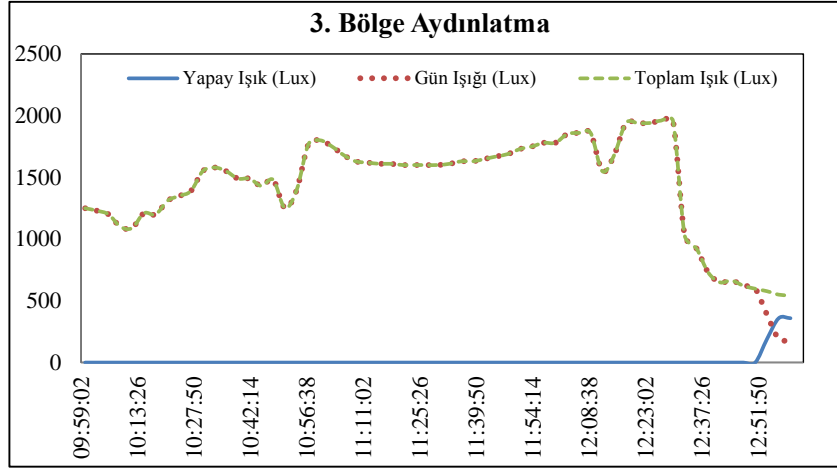
10:00-13:00 saatleri arasında 2. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı ve buna bağlı olarak ihtiyaç olan yapay ışık miktarı düzeyi Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. 10:00-13:00 saatleri arasında 2. bölge aydınlatma grafikleri

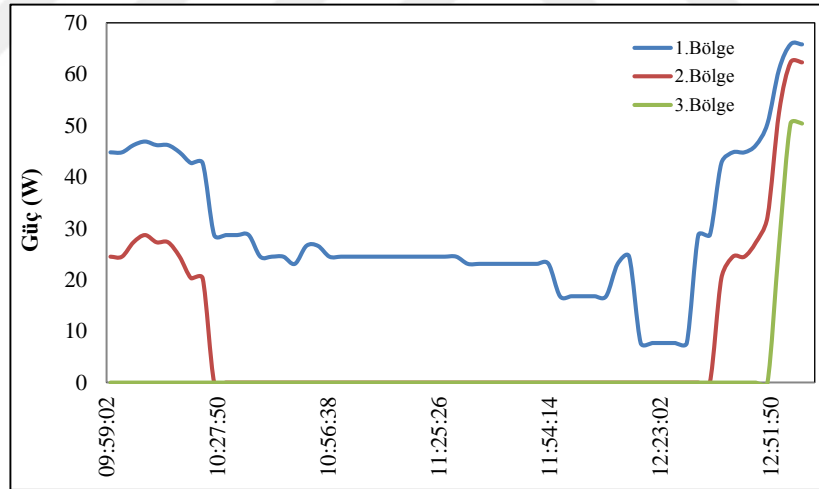
10:00-13:00 saatleri arasında 3. Bölgeye etki eden gün ışığı miktarı ve buna bağlı olarak ihtiyaç olan yapay ışık miktarı düzeyi Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Gün ışığı düzeyinin yüksek olması yapay aydınlatma ihtiyacını azaltmıştır.





Şekil 4.23. 10:00-13:00 saatleri arasında 3. bölge aydınlatma grafikleri

10:00-13:00 saatleri arasında bölgelere göre güç tüketimi Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Gün ışığının daha fazla etki ettiği 3. bölgede güç tüketimi minimum, 2. bölgede güç tüketimi orta düzeyde ve pencereden en uzak bölge olan 1. bölgede ise en fazla düzeyde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.24. 10:00-13:00 saatleri arasında yapay aydınlatma için harcanan güç grafiği

Önerilen aydınlatma kontrol sistemi ile her bir bölge için istenilen aydınlık seviyesinin gün ışığından maksimum düzeyde faydalanılarak gerçekleştirildiği deneysel olarak gösterilmiştir. Aydınlatma sisteminin gün içerisinde tükettiği elektrik enerjisi ölçülerek Tablo 4.2'de verilmektedir. Tablo detaylı incelendiğinde hedeflenen aydınlatma sistemi %50-70 oranında enerji verimliliği sağlamıştır. Enerji verimliliği yüzdesi hava koşulları, mevsim, cam kirliliği gibi parametrelere bağlı olarak

değişebilir. Ancak, klasik aydınlatma yöntemlerine kıyasla yüksek enerji verimliliği sağladığı görülmektedir.

Tablo 4.2. On/Off kontrol ile yapılan aydınlatma ile tasarlanan gün ışığı kontrollü aydınlatma sisteminin karşılaştırılması

	1. Bölge Elektrik Sarfiyatı (Watt)	2. Bölge Elektrik Sarfiyatı (Watt)	3. Bölge Elektrik Sarfiyatı (Watt)	Toplam Elektrik Sarfiyatı (Watt)
1 On/Off Kontrol Sarfiyat	630	630	630	1.890
2 Gün Işığı Otomasyonu	419	240	102	761
On/Off Kontrol Yerine Gün Işığı Otomasyonu İle Kontrol Yapılmasında Elde Edilen Verim	%33	%61	%83	%59

#### 4.5. Aydınlatma Sistemi Malzeme Listesi

Sistemin kurulumunda kullanılan ve deneysel ölçümlerin alınması için kullanılan malzemelerin listesi Tablo 4.3’de verilmiştir. Sistem kurulumu için gerekli olan bütçe 2018/072 numaralı BAP projesinden karşılanmıştır.

Aydınlatma sistemi için tedarik edilen LED armatürler mevcut floresan armatürlerle değiştirilmiştir.

T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun (EPDK) 27.12.2018 tarihinde yayınladığı 8.353 sayılı fiyat tablosunda, ticarethanelerde tek zamanlı elektrik fiyatı 0,11 \$/kWh olarak ilan etmiştir [55].

6 Adet 4X18 W floresan ampulün on/off çalışarak bir çalışma gününde tükettiği enerji 3,388 kWh’tir.

6 adet LED armatür bir çalışma gününde on/off çalışarak 1,890 kWh enerji harcamaktadır.

Tablo 4.3. Aydınlatma otomasyonu malzeme listesi

<b>S.NO</b>	<b>MALZEME CİNSİ</b>
1	9 Adet Olea 35 Watt Led Ankastr Panel 60x60
2	3 Adet Işık Ölçer
3	Apogee Piranometre (0-5 V Çıkışlı, 20 M kablolu)
4	1 Adet PLC-S7 1200 –CPU1212C DC-DC-DC
5	1 Adet Analog I/O Modül SM 1232,14 Bit
6	1 Adet Elektik Panosu 600x800x250 mm
7	1 Adet Operatör Panel GP4301 TW Proface Panel
8	1 Adet Uzaktan Bağlantı Cihazı -Secomea
9	3 adet Siemens RS485 Haberleşme Modülü
10	3 adet Güç Analizörü Omron KM-N2-FLK
11	1 adet Güç Kaynağı 220VAC/ 24 VDC
12	NHXMH 3X1,5 KABLO
13	LIHCH 2X0,75 KABLO
14	2 adet Flash Bellek
15	1 adet HUB - TL-SG108E 8-Port
16	Kablo bağlantı aksesuarları (yüksük, pabuç, klips, vb.)

LED armatürlere aydınlatma kontrolü yapılması durumunda bir çalışma gününde 0,761 kWh enerji harcanmaktadır. On/Off çalışan floresan armatürler yerine aydınlatma kontrollü LED armatürler kullanılması durumunda, günde 3,127 kWh enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Sistem deneysel olarak tasarlanmış ve az sayıda armatür kullanılarak ampirik veriler elde edilmiştir. Sistemin daha büyük güç tüketen ofis alanlarında kurulmuş olması kontrolör kuruluş maliyetlerinde herhangi bir değişikliğe sebep olmazken, sistem maliyeti amortisman süresini kısaltacaktır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji tasarrufunun her yönüyle tartışıldığı günümüzde gün ışığından yararlanılarak aydınlatmada enerji tasarrufu yapılması üzerine pek çok çalışma yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar daha basit ve daha düşük maliyetli sistemler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Aydınlatma teknolojileri incelenmiş, sektördeki değişimin verimlilik üzerine geliştiği gözlemlenmiştir. Lamba sarfiyatlarının azaldıkça, ömürlerinin uzadığı, kontrol sistemlerinin ise gün geçtikçe daha akıllı sistemler kullanıldığı ifade edilmiştir.

Bu çalışmada da gün ışığının aydınlatma etkisinden düşük maliyetlerle yüksek verim elde etmeyi hedefleyen bir sistem kurulmuştur. Önerdiğimiz sistemde diğer pek çok sensör kullanılan sistemlerden farklı olarak, dış mekana sabitlenmiş tek foto sensör kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerle çalışma alanının ışık verimi analizi yapılmıştır. Dış alan ışık şiddetinin, aydınlatılacak alana doğrusal kabul edilebilecek şekilde yansıdığı nokta sürekli ölçümlerle tespit edilmiş ve sensör bu noktaya sabitlenmiştir. Sensörün doğru ve kararlı veri üretmesi sağlanmıştır. Aydınlatılacak alanın ışık dağılımları ölçülmüş ve armatür montaj noktaları, çalışma alanının yerleşimine de dikkat edilerek bölgeler oluşturulmuştur. Gün ışığının bölgelere etkisi tespit edilmiş ve her bölgenin yapay aydınlatma gereksinimleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ışığında çalışma algoritması oluşturulmuş ve bu algoritmaya göre program geliştirilmiştir. Kontrolör sensörden aldığı bilgiye göre, analog çıkışlarından ile armatür sürücülerini kontrol etmekte ve çalışma alanı ışık düzeyini sabit tutulmuştur. Armatürlere dim gerilimleri uygulanarak aydınlatma düzeyi kontrol edilmiştir. Açık çevrim kontrol ile iç alanda sabit aydınlatma düzeyi elde edilmiştir. Tek sensör kullanılarak kuruluş, işletim ve bakım maliyetlerinin en aza indirilmesi sağlanmıştır. Çalışmalar sonucunda armatürlerin gün ışığından faydalanarak aydınlatılan alanın ışık düzeyinin yapay aydınlatma ile sabit tutulması sağlanmış ve %59 değerinde bir enerji tasarrufu elde edilmiştir.

Ayrıca mevcut floresan armatürler yerine LED armatürler kullanılmış ve aydınlatma sistemleri enerji verimlilik analizi yapılmıştır. On/off kontrol ile floresan ve LED armatürler karşılaştırılmış ve harcanan güç değerleri tespit edilmiştir. Floresan armatür yerine LED armatür kullanılması durumunda %68 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmanın enerji sarfiyatında yüksek oranda tasarruf sağlandığı sonucunda, kuruluş maliyetlerinin azaltılmasının sistemin uygulanabilirliğini arttıracığı ve mimari tasarım aşamasından başlanarak, bina yönetim sistemlerinin bir parçası olacağını göstermektedir.

Çalışma için kullanılan veriler modellenerek farklı alanlar için ölçüm yapmaksızın fonksiyonlar oluşturulabilir. Sağlıklı şekilde yapılan modellemede gün ışığı ile fiziki yapı ilişkisi kurulabilir ve sistem kurulumunun önemli bir adımı olan gün ışığı verilerini elde etmek için yapılan ölçmeden tasarruf edilebilir.

Kullanıcılar alışlagelmiş on/off kontrol, varlık yokluk sensörlerinin dışında, ışık düzeyinin otomatik kontrol edilerek, yüksek düzeyde aydınlatma için harcanan elektrik gücünden tasarruf sağlanabileceği konusunda bilgilendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Yaman Y., *Uygulamalı Aydınlatma Tekniği*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007.
- [2] Earth Policy Institute, World on the Edge by the Numbers – Shining a Light on Energy Efficiency, [http://www.earth-policy.org/data\\_highlights/2011/highlights15](http://www.earth-policy.org/data_highlights/2011/highlights15), (Ziyaret tarihi:12 Haziran 2018).
- [3] S. Creighton, *Greening the Ivory Tower*, 2nd ed, MIT Press, Cambridge, 1998.
- [4] Manolescu A., Sisak F., LED Source, a Comparative Analysis on Lighting Efficiency, *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2016)*, Iasi, Romania, 20-22 October 2016.
- [5] Öztank N., Halıcıoğlu F. H., Mekan Aydınlatma Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, *V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi*, İzmir, Türkiye, 07-08 Mayıs 2009.
- [6] Yüce D., Perdahçı C., Ünsalan Ü., Aydınlatmada Geleneksel Işık Kaynaklarından Led'e Kadar Uzanan Tarihçe, *VIII. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 21-22 Ekim 2015.
- [7] Aman M.M., Jasmon G.B., Mokhlis H., Bakar A.H.A., Analysis Of The Performance Of Domestic Lighting Lamps, *Energy Policy*, DOI:10.1016/j.enpol.2012.09.068.
- [8] Philips Lighting Holding B.V., Halojen Ampuller, <https://www.lighting.philips.com.tr/consumer/halojen-lamba>, (Ziyaret tarihi: 15 Kasım 2018).
- [9] Ersöz E., Mağaza Aydınlatma Tasarımı İçin Geliştirilen Dört Köşe Yönteminin Farklı Tipolojilerde Uygulanması, *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2015, 1(39), 182-206.
- [10] Cole M., Driscoll T., The Lighting Revolution: If We Were, Experts Before, We're Novices Now, *IEEE Transactions On Industry Applications*, DOI: 10.1109/TIA.2013.2288210.
- [11] Özkaya M., Tüfekçi T., *Aydınlatma Tekniği*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2011.

- [12] Litch Die Brancheninitiative, LED – die Lichtquelle des 21. Jahrhunderts, <https://www.licht.de/de/produkte-und-hersteller/led-lichtquellen>, (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2017).
- [13] Gençoğlu M.T., Özbay E., Aydınlatmada Enerji Verimliliği Yöntemleri, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi Ve Fuarı*, Eskişehir, Türkiye, 14-18 Kasım 2007.
- [14] Shailesh K. R., Savitha G. K., Kurian C. J., Summary of LED down light testing and its implications, *10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO) Conference*, Tamilnadu, India, 7-8 January 2016.
- [15] Loe DL, CEng L. M., Energy efficiency in lighting – considerations and possibilities, *Lighting Research & Technology*, 2009, **41**, 209–218.
- [16] Shailesh K. R., Tanuja S. R., Savitha G. K., Kurian C. J., Vijendra K., Application of Accelerated Life Testing Principles to Project Long Term Lumen Maintenance of LED Luminaires, *International Conference on Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICEETEEEM)*, Chennai, 13-15 December 2012.
- [17] THE IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), *Lighting Handbook Reference and Application*, 2010, **9**, 4-10.
- [18] Turgay, O. ve Altuncu, D., İç Mekanda Kullanılan Yapay Aydınlatmanın Kullanıcı Açısından Etkileri, *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 2011, **8**(1), 167-181.
- [19] Boyraz, Y., Spor Alanlarında Uygulanan Aydınlatma Kriterlerinin İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 296978.
- [20] Mercan M., Ongun O., Dincer K., Tosun M., Selçuk Üniversitesi Koşullarında Led Renklerinin Aydınlatmada Güneş Enerjisi Güç Performansına Etkisinin İncelenmesi, *Selçuk Teknik Dergisi*, 2013, **12**(1)-1-13.
- [21] ÇSGB, İşyeri Bina Ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık Ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı*, Ankara, 2013.
- [22] Gentile N., Lighting Control Systems for Energy Saving and User Acceptance, Licentiate Thesis, Division of Energy and Building Design Department of Architecture and Built Environment Lund University, 2015.
- [23] Fakra A.H., Boyer H., Miranville F., Bigot D., A Simple Evaluation Of Global And Diffuse Luminous Efficacy For All Sky Conditions In Tropical And Humid Climate, *Renewable Energy*, 2011, **36**(1), 298-306.

- [24] Bayrakdar B., İşyerlerinde Aydınlatma Koşullarının İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, 2016.
- [25] Boubekri M., Shishegar N., Khamma T. R., Sustainability with Health in Mind: A Case for Daylighting, *The International Journal of the Constructed Environment*, DOI: 10.18848/2154-8587/CGP/v08i02/1-13.
- [26] Shane J., Positioning Your Library for Solar Gain. Improving Energy Efficiency, Lighting, and Ventilation with Primarily Passive Techniques, *The Journal of Academic Librarianship*, 2012, **38**(2), 77-128.
- [27] Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting – Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, Inc., 4. Basım, ISBN: 978-1-118-58242- 2014).
- [28] Güvenkaya R. M., İlköğretim Dersliklerinde Aydınlatma Enerjisi Yönetimi Açısından Yönlere Göre Uygun Cephe Seçeneklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 25173.
- [29] Kesten D., Eicker U., Pietruschka D., Ofis Binalarında Cephe Tasarıma Bağlı Enerji Etkin Aydınlatma Tasarımı, *III. National Lighting Symposium And Exhibition*, Ankara, Türkiye, 23-25 Kasım 2005.
- [30] Yılmaz Z., Akıllı Binalar Ve Yenilenebilir Enerji, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 2006, **1**(91), 7-15.
- [31] Yılmaz Z., Akıllı Binalar ve Yenilebilir Enerji, *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 23-26 Kasım 2005.
- [32] Monteoliva J. M., Pattini A., Natural Daylighting In Classrooms: Predictive And Dynamic Analysis Of The Luminous And Energy Consumption Performance In Sunny Weather, *Ambiente Construido*, 2013, **13**(4), 235- 248.
- [33] Yılmaz C., Bina İçi Mekanlarda Profibus-DP Ağı Üzerinden Dinamik Aydınlatma Denetimi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2007, **13**(1), 7-13.
- [34] Toylan H., Erçetin R., Laboratuvar İç Aydınlatmasının Plc İle Otomasyonu: Marmara Üniversitesinde Bir Uygulama, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 2011, **6**(1), 1306-3111.
- [35] Alsat C., Aydınlatma Otomasyonu Ve Enerji Tasarrufu Sistemleri, *VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, İzmir, 24-25 Kasım 2011.
- [36] Küçükdoğu M. Ş., Aydınlatmada Etkin Enerji Kullanımı, *II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, Diyarbakır, Türkiye, 8-10 Ekim 2003.



- [37] Delvaeye R., Ryckaert W., Stroobant L., Hanselaer P., Klein R., Breesch H., Analysis Of Energy Savings Of Three Daylight Control Systems In A School Building By Means Of Monitoring School Building By Means Of Monitoring, *Energy and Buildings*, DOI:10.1016/j.enbuild.2016.06.033.
- [38] Matos R., Paulo S., Ribeiro R., Nunes J. O., Valverde P., Smart Led Lighting System Simple Mentation In Lisbon Metropolitan Area, *Cired Workshop*, Helsinki, Finland, 14-15 June 2016.
- [39] Özçelik M. A., Elektrik Tesisat Ve Kompanzasyon Modüler Eğitim Seti Tasarımı Ve Uygulaması, *Technological Applied Sciences*, 2018, **13**(2), 199 – 207.
- [40] Yılmaz C., ve Gürdal O., Bilgisayar Kontrollü Bir Bina Otomasyonunun Tasarımı ve Uygulaması, *Politeknik Dergisi*, 2006, **9**(4), 241 - 246.
- [41] Legrand, <http://www.legrand.com.tr/urunler-ve-sistemler/aydinlatma-yonetimi-ve-emniyet-aydinlatma-sistemleri/aydinlatma-yonetimi>, (Ziyaret tarihi: 07 Ocak 2017).
- [42] Li D. H. W., Cheung A. C. K., Chow S. K. H., Lee E. W. M., Study Of Daylight Data And Lighting Energy Savings For Atrium Corridors, *Energy And Buildings*, DOI:10.1016/j.enbuild.2013.12.027.
- [43] Klemsan, Meastro Astronomik Zaman Rölesi, <http://www.klemsan.com.tr/SF/9861/meas18042017tr.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 08 Eylül 2018).
- [44] Floyd D.B., Parker D., Field Commissioning Of A Daylight-Dimming Lighting System, Right Light Three, *3rd European Conference on Energy Efficient Lighting*, Newcastle, UK, 19-21 June 1995.
- [45] Onaygil, S., Aydınlatmada Verimlilik ve Enerji Tasarrufu, *Aydınlatma Sempozyumu*, 28-30 Kasım 2001.
- [46] Ünal A., *Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları*, 2. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2014.
- [47] Mercan M., Ongun R., Dinçer Kevser., Tosun M., Selçuk Üniversitesi Koşullarında Led Renklerinin Aydınlatmada Güneş Enerjisi Güç Performansına Etkisinin İncelenmesi, *Selçuk Teknik Dergisi*, 2013, **12**(1), 1302-6178.
- [48] Gürel E., Çalışma Yaşamında Işık Ve Aydınlatmanın Önemi, *Muğla Üniversitesi SBE Dergisi*, 2001, **1**(5), 1-11.
- [49] Dehoff P., Di Fraia L., Henderson R., Julian W., Juslen, H., Kaplan, H., Katayama S., Lillelien E., Schierz C., Stockmar A., Vonnak I., Wisniewski A., Zonneveldt L., Guide On The Maintenance Of Indoor Electric Lighting Systems, *CIE*, 97: 2005, 11-14, 2005.

- [50] Yıldırım M. Z., Yıldırım A., Renklerin Dünyası, *Ayrıntı Dergisi*, 2017, 5(57), 33-36.
- [51] Apogee Instruments, Pyranometers Users Manuel Model SP212-SP215, <https://www.apogeeinstruments.com/sp-215-ss-amplified-0-5-volt-pyranometer/#manuals-downloads-tab-description>, (Ziyaret tarihi: 4 Ağustos 2018).
- [52] Eminoglu Y., *PLC Programlama ve S7 1200*, 4. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2017
- [53] Philips Lighting Holding B.V., Bir Ampul Seçin, <https://www.lighting.philips.com.tr/consumer/ampul-secin>, (Ziyaret tarihi: 21 Nisan 2018).
- [54] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, En Az Aydınlık Düzeyleri Tablosu, [http://bbm.emo.org.tr/genel/katalog\\_detay.php?katalog=11&kayit=1](http://bbm.emo.org.tr/genel/katalog_detay.php?katalog=11&kayit=1), (Ziyaret tarihi: 03.01.2019).
- [55] EPDK, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>, (Ziyaret tarihi: 03.01.2019).



**EKLER**

**EK A**

Tablo A. 1. Dış ve iç ölçüm ışık şiddeti ölçüm değerleri

NO	SAAT	DIŞ (LUX)	1. BÖL. (LUX)	2. BÖL. (LUX)	3. BÖL. (LUX)	NO	SAAT	DIŞ (LUX)	1. BÖL. (LUX)	2. BÖL. (LUX)	3. BÖL. (LUX)
1	06:30	0	0	0	0	51	09:00	3990	91	161	536
2	06:33	0	0	0	0	52	09:03	4430	94	167	545
3	06:36	0	0	0	0	53	09:06	5220	104	185	578
4	06:39	0	0	0	0	54	09:09	5490	111	195	625
5	06:42	0	0	0	0	55	09:12	5590	120	216	702
6	06:45	237	4	5	25	56	09:15	6780	171	289	794
7	06:48	321	6	9	31	57	09:18	7200	239	470	885
8	06:51	391	8	12	40	58	09:21	6090	141	243	767
9	06:54	506	10	15	50	59	09:24	7390	241	482	918
10	06:57	594	13	18	59	60	09:27	7670	244	494	937
11	07:00	670	15	21	70	61	09:30	8340	253	510	955
12	07:03	741	17	24	78	62	09:33	8530	241	490	990
13	07:06	813	19	27	85	63	09:36	9100	278	506	1060
14	07:09	879	20	29	94	64	09:39	8040	193	344	949
15	07:12	1130	22	32	113	65	09:42	10960	266	492	1170
16	07:15	1050	21	31	118	66	09:45	13090	317	579	1370
17	07:18	1030	20	30	112	67	09:48	12170	278	512	1380
18	07:21	1060	21	32	117	68	09:51	11120	216	408	1320
19	07:24	1050	23	34	120	69	09:54	10010	175	312	1220
20	07:27	1170	24	35	123	70	09:57	10540	184	326	1230
21	07:30	1330	27	39	149	71	10:00	10700	180	316	1250
22	07:33	1440	29	41	161	72	10:03	10190	168	295	1230
23	07:36	1550	30	43	170	73	10:06	9430	180	333	1200
24	07:39	1800	32	46	169	74	10:09	8850	123	225	1100
25	07:42	2020	34	49	174	75	10:12	9080	133	239	1090
26	07:45	2110	35	52	235	76	10:15	9570	184	330	1210
27	07:48	2080	33	50	218	77	10:18	10810	164	304	1200
28	07:51	1980	38	54	226	78	10:21	11670	184	338	1310
29	07:54	1860	39	56	241	79	10:24	11460	201	351	1350
30	07:57	2090	42	61	246	80	10:27	11980	213	389	1390
31	08:00	2630	47	68	295	81	10:30	13140	264	482	1550
32	08:03	2570	63	88	381	82	10:33	13550	433	638	1580
33	08:06	2630	51	92	281	83	10:36	15950	290	531	1550
34	08:09	2590	54	96	271	84	10:39	55400	292	534	1490
35	08:12	2800	62	110	306	85	10:42	68600	304	556	1490
36	08:15	3070	65	117	321	86	10:45	62600	301	520	1430
37	08:18	3220	62	113	319	87	10:48	76600	270	499	1480
38	08:21	3370	59	105	411	88	10:51	28600	175	317	1250
39	08:24	3720	60	103	427	89	10:54	35000	270	521	1400
40	08:27	3530	62	108	431	90	10:57	65927	317	581	1770
41	08:30	3520	66	114	446	91	11:00	65910	317	581	1800
42	08:33	3870	67	89	455	92	11:03	65881	314	577	1750
43	08:36	3820	56	122	477	93	11:06	65892	314	578	1680
44	08:39	3740	71	122	498	94	11:09	65904	315	581	1630
45	08:42	3830	72	123	509	95	11:12	65915	317	586	1620
46	08:45	3890	72	123	530	96	11:15	65964	321	594	1610
47	08:48	3980	74	126	535	97	11:18	65981	323	597	1610
48	08:51	3670	74	127	528	98	11:21	65990	324	598	1600
49	08:54	3450	73	128	509	99	11:24	66018	329	609	1600
50	08:57	3590	87	162	501	100	11:27	67024	336	617	1600

Tablo A. 1. (Devam) Dış ve iç ölçüm ışık şiddeti ölçüm değerleri

NO	SAAT	DIŞ (LUX)	1. BÖL. (LUX)	2. BÖL. (LUX)	3. BÖL. (LUX)	NO	SAAT	DIŞ (LUX)	1. BÖL. (LUX)	2. BÖL. (LUX)	3. BÖL. (LUX)
101	11:30	68042	341	630	1600	151	14:00	5740	123	224	501
102	11:33	70840	348	641	1610	152	14:03	5640	122	215	485
103	11:36	71720	353	650	1630	153	14:06	5650	129	230	473
104	11:39	72535	338	633	1630	154	14:09	5510	131	237	453
105	11:42	72600	345	643	1650	155	14:12	5290	130	240	436
106	11:45	73664	350	653	1670	156	14:15	4890	122	226	429
107	11:48	76084	355	658	1690	157	14:18	4610	115	217	420
108	11:51	77850	362	675	1730	158	14:21	4450	107	201	402
109	11:54	78768	364	678	1750	159	14:24	4230	101	186	385
110	11:57	80118	374	698	1780	160	14:27	4040	94	173	369
111	12:00	80118	377	702	1780	161	14:30	3670	82	152	353
112	12:03	83269	395	725	1850	162	14:33	3280	68	130	326
113	12:06	83719	388	717	1860	163	14:36	3080	65	132	313
114	12:09	83719	382	710	1860	164	14:39	3010	67	141	303
115	12:12	69766	402	748	1550	165	14:42	3060	69	143	291
116	12:15	77800	298	486	1680	166	14:45	3200	59	138	299
117	12:18	93000	423	781	1940	167	14:48	3350	67	133	324
118	12:21	94700	433	801	1940	168	14:51	3300	64	123	343
119	12:24	95700	442	814	1940	169	14:54	3090	60	113	332
120	12:27	98000	455	841	1960	170	14:57	2880	53	102	314
121	12:30	100000	467	865	1960	171	15:00	2700	46	89	288
122	12:33	19000	208	373	1030	172	15:03	2530	41	77	267
123	12:36	20500	194	345	925	173	15:06	2350	35	67	244
124	12:39	11000	170	300	730	174	15:09	2220	29	59	219
125	12:42	10000	147	254	650	175	15:12	2190	27	55	203
126	12:45	9700	131	229	664	176	15:15	2210	26	54	193
127	12:48	9000	119	212	622	177	15:18	2310	26	54	185
128	12:51	6900	109	193	598	178	15:21	2530	27	56	181
129	12:54	3300	90	170	388	179	15:24	2750	26	57	178
130	12:57	1300	74	148	191	180	15:27	2810	26	56	175
131	13:00	1000	63	113	184	181	15:30	2660	21	56	183
132	13:03	1700	62	108	164	182	15:33	2410	25	55	189
133	13:06	3800	87	161	411	183	15:36	2350	23	52	185
134	13:09	4800	111	197	765	184	15:39	2370	23	53	181
135	13:12	4200	100	173	813	185	15:42	2360	24	57	192
136	13:15	4000	86	161	687	186	15:45	2440	27	62	209
137	13:18	3700	79	162	529	187	15:48	2860	29	66	238
138	13:21	3400	75	160	485	188	15:51	2910	33	71	254
139	13:24	3780	79	137	433	189	15:54	2760	36	76	282
140	13:27	3780	80	167	388	190	15:57	2590	37	75	287
141	13:30	3890	85	185	343	191	16:00	2350	38	73	281
142	13:33	4170	97	211	343	192	16:03	2120	38	70	237
143	13:36	4810	111	235	373	193	16:06	2320	36	65	200
144	13:39	5580	128	268	406	194	16:09	3080	37	67	195
145	13:42	5700	139	295	429	195	16:12	3700	40	74	221
146	13:45	5640	139	294	452	196	16:15	3840	42	79	252
147	13:48	6100	139	291	472	197	16:18	4140	45	84	277
148	13:51	6540	149	304	524	198	16:21	4260	47	87	304
149	13:54	6680	141	299	543	199	16:24	4480	50	93	314
150	13:57	6090	130	274	519	200	16:27	4640	53	98	311

Tablo A. 1. (Devam) Dış ve iç ölçüm ışık şiddeti ölçüm değerleri

NO	SAAT	DIŞ (LUX)	1. BÖL. (LUX)	2. BÖL. (LUX)	3. BÖL. (LUX)	NO	SAAT	DIŞ (LUX)	1. BÖL. (LUX)	2. BÖL. (LUX)	3. BÖL. (LUX)
201	16:30	4580	57	102	297	229	17:54	2520	43	88	185
202	16:33	4420	59	103	289	230	17:57	2430	44	90	173
203	16:36	4060	60	105	274	231	18:00	2400	47	92	174
204	16:39	3820	61	108	264	232	18:03	2400	49	96	172
205	16:42	3730	61	109	258	233	18:06	2410	50	98	169
206	16:45	3460	57	102	246	234	18:09	2400	49	97	166
207	16:48	3180	55	95	233	235	18:12	2340	47	94	163
208	16:51	3170	52	89	225	236	18:15	2250	43	88	157
209	16:54	3150	50	89	228	237	18:18	2120	40	81	151
210	16:57	3350	54	100	244	238	18:21	1970	36	75	141
211	17:00	3830	59	111	263	239	18:24	1820	33	68	131
212	17:03	4380	65	125	265	240	18:27	1690	28	58	122
213	17:06	4820	69	133	273	241	18:30	1550	27	57	117
214	17:09	4800	69	134	277	242	18:33	1420	23	50	109
215	17:12	4510	69	135	271	243	18:36	1290	20	45	100
216	17:15	4300	68	137	260	244	18:39	1160	16	38	89
217	17:18	4200	67	138	254	245	18:42	1040	13	34	80
218	17:21	3960	66	138	244	246	18:45	925	11	31	70
219	17:24	3750	64	136	233	247	18:48	820	7	26	61
220	17:27	3570	61	130	234	248	18:51	719	3	20	52
221	17:30	3350	59	126	238	249	18:54	614	1	14	43
222	17:33	3280	56	121	244	250	18:57	523	0	9	35
223	17:36	3100	52	115	239	251	19:00	437	0	4	27
224	17:39	2980	50	111	233	252	19:03	353	0	0	19
225	17:42	2890	48	107	226	253	19:06	284	0	0	12
226	17:45	2810	46	101	216	254	19:09	222	0	0	6
227	17:48	2730	44	95	205	255	19:12	170	0	0	0
228	17:51	2620	41	89	194						

**EK B**

**Tablo B. 1. Gün ışığının aydınlatılacak bölgelere ortalama etkisi**

NO	DIŞ ÖLÇÜM	3 BÖLGE GÜN IŞIĞI (LUX)			ORT. GÜN IŞIĞI (LUX)			NO	DIŞ ÖLÇÜM	3 BÖLGE GÜN IŞIĞI (LUX)			ORT. GÜN IŞIĞI (LUX)		
		I. B.	II. B.	III. B.	I. B.	II. B.	III. B.			I. B.	II. B.	III. B.	I. B.	II. B.	III. B.
1	170	0	0	0	0	0	0	51	2220	29	59	219	39	76	220
2	222	0	0	6	0	0	0	52	2250	43	88	157	39	76	220
3	237	4	5	25	8	15	50	53	2310	26	54	185	39	76	220
4	284	0	0	12	8	15	50	54	2320	36	65	200	39	76	220
5	321	6	9	31	8	15	50	55	2340	47	94	163	39	76	220
6	353	0	0	19	8	15	50	56	2350	35	67	244	39	76	220
7	391	8	12	40	8	15	50	57	2350	23	52	185	39	76	220
8	437	0	4	27	8	15	50	58	2350	38	73	281	39	76	220
9	506	10	15	50	8	15	50	59	2360	24	57	192	39	76	220
10	523	0	9	35	8	15	50	60	2370	23	53	181	39	76	220
11	594	13	18	59	8	15	50	61	2400	47	92	174	39	76	220
12	614	1	14	43	8	15	50	62	2400	49	96	172	39	76	220
13	670	15	21	70	8	15	50	63	2400	49	97	166	39	76	220
14	719	3	20	52	8	15	50	64	2410	25	55	189	39	76	220
15	741	17	24	78	8	15	50	65	2410	50	98	169	39	76	220
16	813	19	27	85	8	15	50	66	2430	44	90	173	39	76	220
17	820	7	26	61	8	15	50	67	2440	27	62	209	39	76	220
18	879	20	29	94	8	15	50	68	2520	43	88	185	39	76	220
19	925	11	31	70	8	15	50	69	2530	41	77	267	39	76	220
20	1000	63	113	184	31	55	141	70	2530	27	56	181	39	76	220
21	1030	20	30	112	31	55	141	71	2570	63	88	381	39	76	220
22	1040	13	34	80	31	55	141	72	2590	54	96	271	39	76	220
23	1050	21	31	118	31	55	141	73	2590	37	75	287	39	76	220
24	1050	23	34	120	31	55	141	74	2620	41	89	194	39	76	220
25	1060	21	32	117	31	55	141	75	2630	47	68	295	39	76	220
26	1130	22	32	113	31	55	141	76	2630	51	92	281	39	76	220
27	1160	16	38	89	31	55	141	77	2660	21	56	183	39	76	220
28	1170	24	35	123	31	55	141	78	2700	46	89	288	39	76	220
29	1290	20	45	100	31	55	141	79	2730	44	95	205	39	76	220
30	1300	74	148	191	31	55	141	80	2750	26	57	178	39	76	220
31	1330	27	39	149	31	55	141	81	2760	36	76	282	39	76	220
32	1420	23	50	109	31	55	141	82	2800	62	110	306	39	76	220
33	1440	29	41	161	31	55	141	83	2810	26	56	175	39	76	220
34	1550	30	43	170	31	55	141	84	2810	46	101	216	39	76	220
35	1550	27	57	117	31	55	141	85	2860	29	66	238	39	76	220
36	1690	28	58	122	31	55	141	86	2880	53	102	314	39	76	220
37	1700	62	108	164	31	55	141	87	2890	48	107	226	39	76	220
38	1800	32	46	169	31	55	141	88	2910	33	71	254	39	76	220
39	1820	33	68	131	31	55	141	89	2980	50	111	233	39	76	220
40	1860	39	56	241	31	55	141	90	3010	67	141	303	66	124	354
41	1970	36	75	141	31	55	141	91	3060	69	143	291	66	124	354
42	1980	38	54	226	31	55	141	92	3070	65	117	321	66	124	354
43	2020	34	49	174	39	76	220	93	3080	65	132	313	66	124	354
44	2080	33	50	218	39	76	220	94	3080	37	67	195	66	124	354
45	2090	42	61	246	39	76	220	95	3090	60	113	332	66	124	354
46	2110	35	52	235	39	76	220	96	3100	52	115	239	66	124	354
47	2120	38	70	237	39	76	220	97	3150	50	89	228	66	124	354
48	2120	40	81	151	39	76	220	98	3170	52	89	225	66	124	354
49	2190	27	55	203	39	76	220	99	3180	55	95	233	66	124	354
50	2210	26	54	193	39	76	220	100	3200	59	138	299	66	124	354

Tablo B.1. (Devam) Gün ışığının aydınlatılacak bölgelere ortalama etkisi

NO	DIŞ ÖLÇÜM	3 BÖLGE GÜN IŞIĞI (LUX)			ORT. GÜN IŞIĞI (LUX)			NO	DIŞ ÖLÇÜM	3 BÖLGE GÜN IŞIĞI (LUX)			ORT. GÜN IŞIĞI (LUX)		
		I. B.	II. B.	III. B.	I. B.	II. B.	III. B.			I. B.	II. B.	III. B.	I. B.	II. B.	III. B.
101	3220	62	113	319	66	124	354	151	4430	94	167	545	80	151	383
102	3280	68	130	326	66	124	354	152	4450	107	201	402	80	151	383
103	3280	56	121	244	66	124	354	153	4480	50	93	314	80	151	383
104	3300	90	170	388	66	124	354	154	4510	69	135	271	80	151	383
105	3300	64	123	343	66	124	354	155	4580	57	102	297	80	151	383
106	3350	67	133	324	66	124	354	156	4610	115	217	420	80	151	383
107	3350	54	100	244	66	124	354	157	4640	53	98	311	80	151	383
108	3350	59	126	238	66	124	354	158	4800	111	197	765	80	151	383
109	3370	59	105	411	66	124	354	159	4800	69	134	277	80	151	383
110	3400	75	160	485	66	124	354	160	4810	111	235	373	80	151	383
111	3450	73	128	509	66	124	354	161	4820	69	133	273	80	151	383
112	3460	57	102	246	66	124	354	162	4890	122	226	429	80	151	383
113	3520	66	114	446	66	124	354	163	5220	104	185	578	125	236	504
114	3530	62	108	431	66	124	354	164	5290	130	240	436	125	236	504
115	3570	61	130	234	66	124	354	165	5490	111	195	625	125	236	504
116	3590	87	162	501	66	124	354	166	5510	131	237	453	125	236	504
117	3670	74	127	528	66	124	354	167	5580	128	268	406	125	236	504
118	3670	82	152	353	66	124	354	168	5590	120	216	702	125	236	504
119	3700	79	162	529	66	124	354	169	5640	139	294	452	125	236	504
120	3700	40	74	221	66	124	354	170	5640	122	215	485	125	236	504
121	3720	60	103	427	66	124	354	171	5650	129	230	473	125	236	504
122	3730	61	109	258	66	124	354	172	5700	139	295	429	125	236	504
123	3740	71	122	498	66	124	354	173	5740	123	224	501	125	236	504
124	3750	64	136	233	66	124	354	174	6090	141	243	767	140	271	602
125	3780	79	137	433	66	124	354	175	6090	130	274	519	140	271	602
126	3780	80	167	388	66	124	354	176	6100	139	291	472	140	271	602
127	3800	87	161	411	66	124	354	177	6540	149	304	524	140	271	602
128	3820	56	122	477	66	124	354	178	6680	141	299	543	140	271	602
129	3820	61	108	264	66	124	354	179	6780	171	289	794	140	271	602
130	3830	72	123	509	66	124	354	180	6900	109	193	598	140	271	602
131	3830	59	111	263	66	124	354	181	7200	239	470	885	219	431	962
132	3840	42	79	252	66	124	354	182	7390	241	482	918	219	431	962
133	3870	67	89	455	66	124	354	183	7670	244	494	937	219	431	962
134	3890	72	123	530	66	124	354	184	8040	193	344	949	219	431	962
135	3890	85	185	343	66	124	354	185	8340	253	510	955	219	431	962
136	3960	66	138	244	66	124	354	186	8530	241	490	990	219	431	962
137	3980	74	126	535	66	124	354	187	8850	123	225	1100	219	431	962
138	3990	91	161	536	66	124	354	188	9000	119	212	622	171	308	974
139	4000	86	161	687	80	151	383	189	9080	133	239	1090	171	308	974
140	4040	94	173	369	80	151	383	190	9100	278	506	1060	171	308	974
141	4060	60	105	274	80	151	383	191	9430	180	333	1200	171	308	974
142	4140	45	84	277	80	151	383	192	9570	184	330	1210	171	308	974
143	4170	97	211	343	80	151	383	193	9700	131	229	664	171	308	974
144	4200	100	173	813	80	151	383	194	10000	147	254	650	183	328	1136
145	4200	67	138	254	80	151	383	195	10010	175	312	1220	183	328	1136
146	4230	101	186	385	80	151	383	196	10190	168	295	1230	183	328	1136
147	4260	47	87	304	80	151	383	197	10540	184	326	1230	183	328	1136
148	4300	68	137	260	80	151	383	198	10700	180	316	1250	183	328	1136
149	4380	65	125	265	80	151	383	199	10810	164	304	1200	183	328	1136
150	4420	59	103	289	80	151	383	200	10960	266	492	1170	183	328	1136



Tablo B.1. (Devam) Gün ışığının aydınlatılacak bölgelere ortalama etkisi

		3 BÖLGE GÜN IŞIĞI (LUX)			ORT. GÜN IŞIĞI (LUX)					3 BÖLGE GÜN IŞIĞI (LUX)			ORT. GÜN IŞIĞI (LUX)		
NO	DIŞ ÖLÇÜM	I. B.	II. B.	III. B.	I. B.	II. B.	III. B.	NO	DIŞ ÖLÇÜM	I. B.	II. B.	III. B.	I. B.	II. B.	III. B.
201	11000	170	300	730	197	357	1220	226	66018	329	609	1600	325	597	1623
202	11120	216	408	1320	197	357	1220	227	67024	336	617	1600	325	597	1623
203	11460	201	351	1350	197	357	1220	228	68042	341	630	1600	325	597	1623
204	11670	184	338	1310	197	357	1220	229	68600	304	556	1490	325	597	1623
205	11980	213	389	1390	197	357	1220	230	69766	402	748	1550	325	597	1623
206	12170	278	512	1380	298	519	1410	231	70840	348	641	1610	338	622	1652
207	13090	317	579	1370	298	519	1410	232	71720	353	650	1630	338	622	1652
208	13140	264	482	1550	298	519	1410	233	72535	338	633	1630	338	622	1652
209	13550	433	638	1580	298	519	1410	234	72600	345	643	1650	338	622	1652
210	15950	290	531	1550	298	519	1410	235	73664	350	653	1670	338	622	1652
211	19000	208	373	1030	298	519	1410	236	76084	355	658	1690	338	622	1652
212	20500	194	345	925	233	429	1266	237	76600	270	499	1480	338	622	1652
213	28600	175	317	1250	233	429	1266	238	77800	298	486	1680	338	622	1652
214	35000	270	521	1400	233	429	1266	239	77850	362	675	1730	338	622	1652
215	55400	292	534	1490	233	429	1266	240	78768	364	678	1750	338	622	1652
216	62600	301	520	1430	325	597	1623	241	80118	374	698	1780	383	710	1826
217	65881	314	577	1750	325	597	1623	242	80118	377	702	1780	383	710	1826
218	65892	314	578	1680	325	597	1623	243	83269	395	725	1850	383	710	1826
219	65904	315	581	1630	325	597	1623	244	83719	388	717	1860	383	710	1826
220	65910	317	581	1800	325	597	1623	245	83719	382	710	1860	383	710	1826
221	65915	317	586	1620	325	597	1623	246	93000	423	781	1940	444	820	1948
222	65927	317	581	1770	325	597	1623	247	94700	433	801	1940	444	820	1948
223	65964	321	594	1610	325	597	1623	248	95700	442	814	1940	444	820	1948
224	65981	323	597	1610	325	597	1623	249	98000	455	841	1960	444	820	1948
225	65990	324	598	1600	325	597	1623	250	100000	467	865	1960	444	820	1948

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Yücel U.**, Ayaz M., Erhan K., Comparative Study on Energy Efficiency in Lighting Control Systems for Indoors, *3. Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*, Mardin, 21-22 Nisan 2018.
- [2] **Yücel U.**, Ayaz M., Güven A., Burç C., Automation System Design For Energy Efficiency In Lighting Applications, *2nd International Energy and Engineering Conference*, Gaziantep, 12-13 October 2017.



## ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Almanya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Eskişehir’de tamamladı. 1988 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümü’nden 1993 yılında Teknik Öğretmen olarak mezun oldu. 1994-2001 yıllarında Elektrik Öğretmeni olarak farklı Meslek Liselerinde görev yaptı. 2001-2010 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Gebze Meslek Yüksekokulu Mekatronik Programında görev yaptı. 2010 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Hereke Meslek Yüksekokulu Mekatronik Programında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

