

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



AYDINLATMA LED KAYNAKLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN  
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Temel SÖNMEZOCAK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

EYLÜL-2015



T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



AYDINLATMA LED KAYNAKLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN  
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Temel SÖNMEZOCAK

Y1313.10005

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman Nuri UÇAN

EYLÜL-2015







T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1313.100005 numaralı öğrencisi **Temel SÖNMEZOCAK**'ın "AYDINLATMA LED KAYNAKLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 10.06.2015 tarih ve 2015/12 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *ayb. l. g. i.* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kokel* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi :01/09/2015

1)Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman Nuri UÇAN

2) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Reşit ERCETİN

3) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Emin KUZUCUOĞLU

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Aydınlatmada Led Işık Kaynaklarının Enerji Verimliliğinin İncelenmesi ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

01 / 09/ 2015  
Temel SÖNMEZOCAK



## ÖNSÖZ

Günümüzde Led ışık kaynaklarının çeşitliliği her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Led ışık kaynaklarının verimlilikleri ve performanslarının incelenmesiyle araştırmacılara ışık tutması amaçlanmıştır. Bu çalışmayı hazırlamamda emeği geçen, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen başta Prof. Dr. Osman Nuri UÇAN ve Yrd. Doç. Dr. Reşit ERÇETİN hocalarımıza, bu tezi destekleyen Prof.Dr. Zafer UTLU hocamıza ve de İstanbul Aydın Üniversitesi Aydınlatma Test Ölçüm ve Analiz Laboratuvarına Son olarak manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

01 09 2015

Temel SÖNMEZOCAK



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

|   |           |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ.....  | VII       |
| İÇİNDEKİLER .....   | IX        |
| KISALTMALAR .....   | XI        |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                      | XIII      |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | XV        |
| ÖZET.....   | XVII      |
| ABSTRACT .....  | XIX       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>2. IŞIK TERMİNOLOJİSİ VE TEMEL KAVRAMLARI .....</b>    | <b>3</b>  |
| 2.1 Işık .....  | 3         |
| 2.2 Işık Akısı .....                                      | 3         |
| 2.3 Işık Şiddeti .....                                    | 4         |
| 2.3.1 Işık Şiddeti Dağılımları.....                       | 5         |
| 2.4 Fotometri .....                                       | 8         |
| 2.5 Renk Sıcaklığı .....                                  | 11        |
| 2.6 Renksel Geri Verim .....                              | 12        |
| 2.7 Parıltı .....   | 12        |
| 2.8 Kamaşma .....   | 13        |
| 2.9 Aydınlık Düzeyi .....                                 | 14        |
| 2.10 Etkinlik Faktörü .....                               | 14        |
| <b>3. AYDINLATMAYLA İLGİLİ TEMEL BİLGİLER.....</b>        | <b>17</b> |
| 3.1 Aydınlatma Armatürü .....                             | 17        |
| 3.1.1 Balastlar ve Sürücüler .....                        | 18        |
| 3.1.2 Reflektör ve Yansıtıcılar .....                     | 19        |
| 3.1.3 Lambalar .....                                      | 26        |
| 3.1.3.1 Akkor Lamba .....                                 | 26        |
| 3.1.3.2 Halojen Lamba .....                               | 27        |
| 3.1.3.3 Floresan Lamba .....                              | 27        |
| 3.1.3.4 Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba.....           | 28        |
| 3.1.3.5 Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba .....        | 29        |
| 3.1.3.6 Metal Halide Lamba .....                          | 29        |
| 3.1.3.7 Led Lamba .....                                   | 30        |
| 3.2 Aydınlatma Sistemlerinde Verimlilik ve Kayıplar ..... | 32        |
| 3.2.1 Etkinlik Farklılıkları .....                        | 32        |
| 3.2.2 Lumen Kararlılığı .....                             | 34        |
| 3.2.3 Armatür Verimliliği ve Kayıpları .....              | 34        |
| 3.2.3.1 Optik Verimlilik ve Kayıplar .....                | 34        |
| 3.2.3.2 Elektriksel Verimlilik ve Kayıplar .....          | 35        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.3.2 Elektriksel Verimlilik ve Kayıplar .....   | 35        |
| 3.2.3.3 Termal Kayıplar .....  | 36        |
| <b>4. LED AYDINLATMA ELEMANLARINDA YAPILAN DENEYLER VE KARŞILAŞTIRMALAR .....</b>                            | <b>41</b> |
| 4.1 Soğutma Sistemlerin Led Işık Kaynakların Performansına Etkileri .....                                    | 41        |
| 4.1.1 Soğutma Kanalların ve Kanatçıkların Led Performansına Etkileri<br>Üzerine Deneysel Karşılaştırma ..... | 41        |
| 4.1.2 Termoplastik Soğutuculu Sistemlerin Deneysel Olarak<br>İncelenmesi .....                               | 43        |
| 4.2 Led Işık Kaynakların Farklı Akımlarda Performans Etkileri.....   | 45        |
| 4.3 Led Işık Kaynakların Optik Elementlere Karşı Performans Örnekleri .....                                  | 49        |
| 4.3.1 Reflektör ve Yansıtıcı Parçaların Verimliliğe Etkileri .....   | 49        |
| 4.3.2 Difüzörlerin Verimliliğe Etkileri.....   | 51        |
| 4.3.3 Lenslerin Verimliliğe Etkileri .....   | 58        |
| 4.3.4 Sürücü Devrelerin Verimliliğe Etkileri .....   | 62        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>  | <b>67</b> |
| <b>EKLER.....</b>  | <b>69</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>77</b> |



## KISALTMALAR

|                |   |
|----------------|---|
| <b>Cd</b>      | : Kandela   |
| <b>CCD</b>     | : Dijital Kamera Sensörü (Charge Couple Device)                   |
| <b>LID</b>     | : Işık Şiddeti Dağılımları (Luminous Intensity Distributions)     |
| <b>LED</b>     | : Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)                         |
| <b>Nt</b>      | : Pırlıltı (Nit Cd/m <sup>2</sup> )                               |
| <b>E</b>       | : Aydınlık Düzeyi   |
| <b>CMOS</b>    | : Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken                            |
| <b>Ra</b>      | : Renksel Geri Verim İndeksi                                      |
| <b>I</b>       | : Işık Şiddeti  |
| <b>K</b>       | : Kelvin  |
| <b>LOR(%)</b>  | : Armatür Geri Verim İndeksi (Light Output Ratio)                 |
| <b>CO2</b>     | : Karbondioksit   |
| <b>Smd</b>     | : Yüzey Montaj Sürücüsü(Surface Mount Device)                     |
| <b>Rgb</b>     | : Kırmızı Yeşil Mavi (Red Green Blue)                             |
| <b>Tj</b>      | : Jonksiyon sıcaklığı   |
| <b>PFC</b>     | : Güç Katsayısı Düzeltme Faktörü(Power Factor Correction)         |
| <b>AC</b>      | : Alternatif Akım (Alternative Current)                           |
| <b>EMC</b>     | : Elektromanyetik Uyumluluk(Electromagnetic Compability)          |
| <b>Rthj-sp</b> | : Led lehim noktası ile jonksiyon noktası arasındaki temel direnç |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 2.1: Renksel geri verim sınıflandırması.....   | 12 |
| Çizelge 2.2: Bazı ışık kaynakların faktörleri .....  | 15 |
| Çizelge 2.3: 58W T8 floresan lambalar için farklı renk sıcaklığı etkinlik faktörü ilişkisi.....      | 15 |
| Çizelge 2.4: 840 renk koduna sahip T8 floresan lambalar için etkinlik faktörü ilişkisi .....         | 15 |
| Çizelge 3.1: Işık kaynaklarında ısı transfer karşılaştırmaları .....                                 | 37 |
| Çizelge 4.1: 2 farklı soğutucu ile deney sonuçları.....  | 42 |
| Çizelge 4.2: Termoplastik ve AL soğutuculu yansıtıcılar ile sıcaklık ölçüm sonuçlar .....            | 43 |
| Çizelge 4.3: Termoplastik ve AL soğutuculu yansıtıcılar ile fotometrik ölçüm sonuçları .....         | 44 |
| Çizelge 4.4: Led modülün farklı akım değerlerinde fotometrik ölçüm sonuçları ....                    | 48 |
| Çizelge 4.5: Reflektörlü,reflektörsüz ve çerçevesiz led kaynağın fotometrik kıyaslama Çizelgesi..... | 50 |
| Çizelge 4.6: Difüzörlü ve difüzörsüz ölçüm sonuçları .....   | 52 |
| Çizelge 4.7: Led armatür difüzörlü ve difüzörsüz fotometrik sonuçlar.....                            | 56 |
| Çizelge 4.8: LED armatür lensli ve lenssiz fotometrik sonuçlar ...                                   | 59 |
| Çizelge 4.9: LED projektör lensli ve lenssiz fotometrik sonuçlar .....                               | 61 |
| Çizelge A.1: Lamba ve modül standartları .....   | 71 |
| Çizelge A.2: Lamba kontrol elemanları standartları.....  | 72 |
| Çizelge A.3: Aydınlatma tesisatları için standartlar .....   | 72 |
| Çizelge A.4: Aydınlatma sistemlerin ölçümü ile ilgili standartlar .....                              | 73 |
| Çizelge A.5: Aydınlatma sistemleri için EMC standartları .....                                       | 73 |
| Çizelge A.6: Işık kaynaklı armatür standartları .....  | 73 |
| Çizelge A.7: Led standartları .....  | 74 |
| Çizelge B.1: Lambalar hakkında genel bilgiler .....  | 75 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1: Gonyofotometre ile taranmış küresel yüzeyler .....  | 4  |
| Şekil 2.2: Noktasal kaynaklar için “Inverse Square Law” yasası .....   | 5  |
| Şekil 2.3: C - $\gamma$ düzlemsel LID dağılım örnekleri .....  | 6  |
| Şekil 2.4: Örnek bir ışık kaynağın LID dağılım grafiğinin<br>3D uzaysal olarak gösterilmesi .....                            | 6  |
| Şekil 2.5: (a) B düzlemi - (b) C düzlemi .....   | 7  |
| Şekil 2.6: Örnek bir gonyofotometre yapısı .....   | 8  |
| Şekil 2.7: Fotometrik ölçme küresi(Integrating Sphere) .....   | 9  |
| Şekil 2.8: Fotopik görsellikte spektral aydınlatma etkinliği .....   | 9  |
| Şekil 2.9: LMT marka manuel el tipi lüksmetre .....  | 10 |
| Şekil 2.10: $V(\lambda)$ filtreli parıltı (luminance) ölçme kamerası .....   | 11 |
| Şekil 2.11: Renk sıcaklık skalası .....  | 11 |
| Şekil 2.12: Direkt parıltının oluşması .....   | 13 |
| Şekil 2.13: Yansımalı parıltının oluşması .....  | 13 |
| Şekil 2.14: Aydınlanma düzeyi ve ışık akısı arasındaki ilişkisi .....  | 14 |
| Şekil 3.1: Aydınlatma armatür örnekleri .....  | 18 |
| Şekil 3.2: Farklı boyutta manyetik balast örnekleri .....  | 18 |
| Şekil 3.3: Dairesel reflektör örneği .....   | 20 |
| Şekil 3.4: Parabolik reflektör örneği .....  | 21 |
| Şekil 3.5: 200W 'lık Tungsten halojen lambanın 29mm odak nokta mesafeli<br>parabolik reflektördeki ışık dağılım eğrisi ..... | 21 |
| Şekil 3.6: Eliptik reflektör .....   | 22 |
| Şekil 3.7: Hiperbolik reflektör .....  | 22 |
| Şekil 3.8: Işığın İç bükey ve dış bükey lenslerden yansması .....  | 23 |
| Şekil 3.9: Işığın kırılması(Snell yasası) .....  | 24 |
| Şekil 3.10: Lambert yasası ve ışığın yutulması .....   | 25 |
| Şekil 3.11: Beyaz ışığın renklere ayrışması .....  | 25 |
| Şekil 3.12: Işığın iletim ve yansması .....  | 26 |
| Şekil 3.13: Lamba tipleri .....  | 26 |
| Şekil 3.14: Halojen lamba örnekleri .....  | 27 |
| Şekil 3.15: Floresan-Akkor lamba özellikleri .....   | 28 |
| Şekil 3.16: Civa buharlı lamba .....   | 29 |
| Şekil 3.17: Metal halide lambalar .....  | 29 |
| Şekil 3.18: Led yapısı ve çalışma prensibi .....   | 30 |
| Şekil 3.19: Led ışık şiddeti ve dalga boyunun ortam sıcaklığı ile değişimi .....   | 31 |
| Şekil 3.20: Led ışık kaynağı örnekleri .....   | 31 |
| Şekil 3.21: Led gücünün sıcaklığa bağlı olarak ömür ilişkisi .....   | 33 |
| Şekil 3.22: 765(soldaki) ve 865 renk kodlu(sağdaki) 58W T8 ışık<br>Kaynakları için lümen kararlılığı grafik örnekleri .....  | 34 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.23: Jonksiyon sıcaklığının LED ışık kaynaklarındaki etkisi .....                                    | 35 |
| Şekil 3.24: Xlamp CXA 1304 LED modülün sıcaklıkla ilgili elektriksel, lumen performans ve ilişkisi .....    | 38 |
| Şekil 3.25: Termal akış diagramı .....  | 39 |
| Şekil 3.26: Örnek bir armatür için termal simülasyon .....  | 40 |
| Şekil 3.27: Led jonksiyon ve yüzey sıcaklık ilişkisi .....  | 40 |
| Şekil 4.1: Kanatçık ve hava kanalsız soğutucu örneği .....  | 41 |
| Şekil 4.2: Kanatçık ve hava kanallı soğutucu örneği .....   | 42 |
| Şekil 4.3: Termoplastik ve alüminyum soğutuculu yansıtıcılar .....  | 43 |
| Şekil 4.4: 500mA-630mA değerlerinde ölçülen led pcb yüzey sıcaklıkları .....                                | 46 |
| Şekil 4.5: 500mA (üstteki)-630mA (alttaki) akımlardaki led chip modülün yüzey termal kamera ölçümleri ..... | 47 |
| Şekil 4.6: Reflektör çerçeveli tavana gömme tip armatür .....   | 49 |
| Şekil 4.7: Örnek bir LED ışık kaynaklı armatür .....  | 51 |
| Şekil 4.8: (a)Yongtek kağıt malzeme ilaveli - (b)Pleksi difüzör ilaveli .....                               | 53 |
| Şekil 4.9: Altıgen petekli Led ışık kaynaklı armatür .....  | 53 |
| Şekil 4.10: (a) Difüzsüz -(b) Difüzörlü polar dağılım grafikler .....                                       | 54 |
| Şekil 4.11: (a) Difüzsüz – (b) Difüzörlü kartezyen dağılım grafikler .....                                  | 54 |
| Şekil 4.12: (a) Difüzsüz – (b) Difüzörlü elde edilen Parlı grafikleri .....                                 | 55 |
| Şekil 4.13: (a) Difüzörlü – (b) Difüzsüz elde edilen spektral grafikler .....                               | 57 |
| Şekil 4.14: (a) Armatür lens ile – (b) Armatür lenssiz .....  | 58 |
| Şekil 4.15: (a) Polar diagram (lenssiz) – (b) Polar diagram (lensli) .....                                  | 60 |
| Şekil 4.16: (a) Led projektör lenssiz – (b) Led projektör dar açılı lens ile .....                          | 60 |
| Şekil 4.17: (a) Polar diagram dar açılı lensli – (b) Polar diagram lenssiz .....                            | 61 |
| Şekil 4.18: Sürücü devreli led modül düzeneği fotoğrafı .....   | 62 |
| Şekil 4.19: Led sistem tüketilen güç ölçme düzeneği .....   | 63 |



## AYDINLATMA LED KAYNAKLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Günümüzde enerji verimliliğine verilen önem her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle aydınlatma sistemlerinin günümüz global dünyada ve de özellikle ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık üçte birini tükettiği bilindiğinden, tasarım yapılırken verimli bir ışık kaynağı olan LED kaynakların kullanılması günden güne artmaktadır. Ancak LED ışık kaynakları tek başına verimli bir kaynak olmasının yanı sıra, tasarım yapılırken verimli bir aydınlatma sistemi elde etmek için dikkat edilmesi gereken önemli hususlar vardır. Bu hususlara dikkat edilmedikçe LED sistemlerde verimlilik elde edilemediği gibi, led sistemin ömrü açısından da ciddi sıkıntılar ortaya çıkabileceği kaçınılmazdır. Bu nedenle LED ışık kaynaklı armatür tasarımında simülasyon ve grafiksel tasarımla yapılan prototiplerin muhakkak deneysel yöntemlerle irdelenmesi, standartların ve ölçme yöntemlerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada bu hususlardan bahsedilecektir. Bu hususlar Led sistemlerin termal, optik ve elektriksel yönden incelenmesi, verimliliği düşürebilecek olası etmenlerin deneysel olarak ortaya çıkarılmasıdır. Ancak ilk olarak çalışmanın birinci bölümünde Işık terminolojisi ve temel kavramlar üzerinde durulmuş, İkinci bölümde aydınlatmayla ilgili temel bilgiler üzerinde durulmuş, aydınlatma sistemleri oluşturan kısımlar açıklanmış, özellikle de led ışık kaynakları için verimlilik ve kayıpların hesaplanması ,ölçülmesiyle ilgili bilgilerden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde led kaynaklarıyla ilgili termal, optik ve elektriksel yönden verimlilikler ile ilgili deneysel uygulamalar yapılmıştır.

Yapılan deneysel uygulamaların sonucunda verimliliğe etkileyen olumsuz etmenler termal, optik ve elektriksel yönden ele alınmış ve bu etmenlere açıklık getirilmiştir.

**Anahtar Kelimer :** Aydınlatma sistemleri, fotometri, led, ışık gücü, ışık akısı, enerji verimliliği, enerji kayıpları





## ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF LED LIGHT SOURCES IN LIGHTING

### ABSTRACT

Nowadays, given the importance of energy efficiency is increasing daily. Therefore in a global world today lighting system, especially the electricity produced in our country has known to consume about one-third, using LED systems while designing process has been known as efficient light source that is increasing day by day. However, LED light sources as well as being an efficient systems alone, designing by using LEDs has a impotant issues in order to obtain an efficient lighting system. Unless attention to these issues, to obtain efficiency in LED systems is not possible, also can cause serious problems in terms of life time of LEDs. Therefore, Designing of prototypes with LED fixtures by using simulation and graphical methods must also be examined by experimental methods and should be well known in terms of measurement methods.

This study will be discussed at this point. These issues in LED systems is to investigate in terms of thermal, optical and electrical aspects, also reveal the possible experimental factors that can reduce efficiency. But first, in the first part of the study has been focused on the Lighting terminology and basic concepts. In the second part of this study has been focused on the basic information regarding of lighting systems and has been clarified the parts constituting luminaire and has been also mentioned relevant information the calculation of efficiency and losses for LED light sources. In the third section, the experimental applications have been made in refering efficiency of LED's thermal, optical and electrical characteristic.

As a result of the experimantal application, The negative factors affecting efficiency has been discussed in terms of thermal, optical and electrical aspects and also been clarified these factors.

**Key Words :** Lighting systems, photometry, led, light power, luminous flux, energy efficiency, energy losses



## 1. GİRİŞ

Ülkemizde ve Dünyada Enerji ihtiyacına verilen önem her geçen gün artmaktadır. Enerji tüketimin başında elektrik enerjisi gelmektedir. Elektrik enerjisi endüstride, evlerde , mağaza ve dükkanlarda kinetik enerji, ısı enerjisi ve ışık enerjisi şeklinde harcanmaktadır. Aydınlatma sistemlerinin tüketim konusunda tükettiği elektrik enerjisine karşılık ısı ve ışık enerjisi üretmesi, ülkemizdeki tükettiği elektrik enerjisinin yaklaşık %25 oranında harcaması neden olmaktadır [1]. Bu nedenle günümüzde verimli ışık kaynakları olarak özellikle LED tipi kaynakların kullanılmasına olan talebi hızla arttırmıştır. Ancak bu tip kaynakların aydınlatma sistem tasarımlarında bilinçsizce, yeterince test ve analiz edilmeden kullanılması, verimi ve ekonomik ömrü düşük sistemleri beraberinde getirmektedir.

Bütün aydınlatma sistemleri gibi LED kaynaklar da şebekeden talep ettiği elektrik enerjisine karşılık, tükettiği enerji ısı ve ışık şeklinde dönüşmektedir. LED sistemler 1962 yılından itibaren kullanılmasına karşın günümüzde daha yüksek akımlara dayanabilmesi, fazla miktarda ışık elde edebilmesi mümkün hale gelmiştir [2]. Fakat bu durum LED sistemlerin ışık enerjisi üretiminin artırılmasının yanı sıra fazla miktarda ısı enerjisi üretmesine neden olmakla birlikte, LED jonksiyonlarında ortaya çıkan ısının etkili bir biçimde transfer edilmemesi hem verimlilik açısından hemde led ömrü açısından incelenmesi gereken bir husustur. Verimlilik açısından diğer bir bakış açısı; ışığın doğru bir biçimde mümkün olduğunca kayıpsız yönlendirilmesi, elektrik sürücü devrelerin verimli hale getirilmesidir. Ancak tasarım yapılırken bu hususlara dikkat edildiği takdirde LED ışık kaynaklı bir sistemden verim alınabilir. Bu nedenle bu çalışmada termal, optik ve elektriksel yönden LED sistemlerde bu üç durum deneysel açıdan ele alınacaktır.



## 2. IŞIK TERMİNOLOJİSİ VE TEMEL KAVRAMLARI

Bu kısım; ışık kaynaklarının verimliliklerin, performansların karşılaştırılmasında kullanılan temel kavram ve denklemlere açıklık getirilebilmesi amacı ile yazılmıştır.

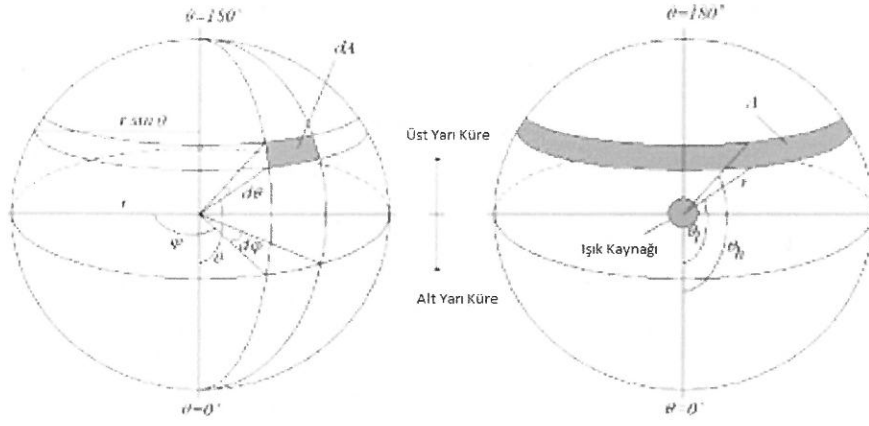
### 2.1 Işık

Enerjinin dalga veya foton şekliyle yayılımının gözde oluşturduğu görsel duyum olarak adlandırılmaktadır. Elektromanyetik tayf üzerinde adlandırılan dalga boyu 380nm ile 780nm arasında olan elektromanyetik dalgalar ışık olarak algılanmaktadır [3].

### 2.2 Işık Akısı

Işık akısı fotometrik bir büyüklük olmasıyla, ışık akısını ele aldığımızda ışık kaynağının insan gözüyle görülebilir toplam akıyı ele almış oluruz. Işık akısı ,  $540 \times 10^{12}$  Hz frekansta Işıma gücünün (Radiant Power) Watt cinsinden 1/683 Watt olarak ifade edilmekte olup birimi lumen cinsinden ifade edilir. Işık akısı ( $\Phi_v$ ), 1 candela biriminde bir ışık şiddetine sahip izotropik ışık kaynağının yaydığı ışığın 1 uzay açıda (steradyan) yayılan ışık yoğunluğudur. Bir başka deyişle bir küresel yüzeylerin toplamı steradyan cinsinden ( $\Omega = \int d\omega$ ) hesaplanır. Küresel yüzeylerin tamamı  $4\pi$  steradyan olarak ifade edilir ve bunun sonucunda toplam ışık akısı  $\Phi_v = \int I(\omega)d\omega$  olarak hesaplanabilir [4] [5].

Işık akısı (*lumen*) ve Işık Şiddeti(*candela*) arasındaki ilişki  $1 \text{ lümen} = 1 \text{ candela} \times 1 \text{ steradyan}$  formülüyle ifade edilmektedir. Bu durumda küre merkezinde 1 candela ışık şiddetine sahip kaynağın oluşturduğu ışık akısı toplam  $\text{lumen} = 1 \times 4\pi = 12,56 \text{ lumen}$  olacaktır [4] [6]. Şekil 2.1 'de bu hesaplama gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Gonyofotometre ile taranmış küresel yüzeyler [4]

Esas olarak ışık kaynaklarını etrafını çevreleyen küresel yüzey bölgelerinin ışık şiddeti  $I_{m,n}(\theta, \varphi)$  veya aydınlık düzeyin  $E_{m,n}(\theta, \varphi)$  toplamsal uzaysal integrali hesabına dayanarak ölçülmesidir. Bu küresel bölgesel yüzey koordinatlarını ifade ederken  $(m,n)$  şeklinde ifade edilir. Küresel yüzeyler  $n$  meridyenlerine ve  $m$  paralellere bölünmüştür. Bu durumda (2.1) denkleminde ışık şiddeti cinsinden formülasyon ifade edilmiştir [4].

$$\Phi_v = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} I_{m,n}(\theta, \varphi) \sin\varphi d\varphi d\theta \quad (2.1)$$

Ayrıca ışık akısının ölçülmesinde aydınlık düzeyinin uzaysal integrali kullanılacak olursa bu durum  $\Phi_v = \int E(A) dA$  olarak ifade edilir. Bu durumda  $dA$  ifadesi belli bir  $r$  mesafesinden aydınlanılan alan anlamına gelir. Bundan dolayı  $dA = d\omega \times r^2 = 2\pi r^2 \sin\theta d\varphi d\theta$  eşitliği elde edilir. Pek çok laboratuvar fotometrik ölçmelerde ışığın toplam akısının belirlenmesinde bu yöntemi kullanmaktadır [4].

$$\Phi_v = r^2 \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} E_{m,n}(\theta, \varphi) \sin\varphi d\varphi d\theta \quad (2.2)$$

(2.2) denkleminin integral dönüşümü yapıldığında (2.3) denklemi ifade edilir [4].

$$\Phi_v = 2\pi r^2 \sum_{\theta=0}^{\pi} \left[ \sum_{\varphi=0}^{2\pi} E_{m,n}(\theta, \varphi) [\cos\theta_1 - \cos\theta_n] \right] \quad (2.3)$$

### 2.3 Işık Şiddeti

Işık şiddeti  $I$  (cd) birimi “candela” olarak ifade edilir. Bir noktadan belirli bir doğrultuda 1 uzay açıda (steradyan) yayılan ışık akısı demektir [6]. Tanım olarak Candela, Hefner mumu ile uluslararası mum arasında verdiği ışık şiddetine karşılık gelmektedir [1].  $1 \text{ lümen} = 1 \text{ candela} \times 1 \text{ steradyan}$  olarak ele aldığımızda; bir katı açıdaki (Steradyan) yayılan ışık akısı bize ayrıca ışık şiddetini de vermektedir [6]. Ayrıca (2.1.2) bölümde Işık Akısı hesaplama denklemlerini açıklarken,  $dA = d\omega \times r^2$

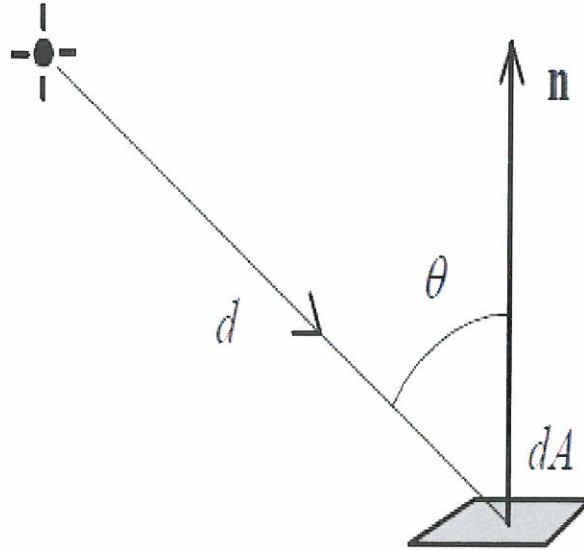
şeklinde ifade etmiştik. Bu denklemde  $d\omega$  diferansiyel bir katı açıdır (*Solid Angle*). Bu durumda aydınlık düzeyi ( $E$ ) *Inverse Square Law* yasasına göre aşağıdaki denklemi yazdığımızda [5] [7];

$$E = d\Phi/dA = d\Phi/r^2 d\omega = I/r^2 \quad (2.4)$$

İfadesi elde edilir. Bu denklemde  $I$ ; kandela ( $cd$ ) cinsinden ışık şiddeti demektir. Eğer ışık kaynağı belli bir açıda yüzeyi aydınlatıyorsa ki pek çok gonyofotometre ile ölçümlerde (2.5) denklemi dikkate alınarak bölgesel ışık şiddetleri hesaplanmaktadır [5].

$$E = I \cos\theta / d^2 \quad (2.5)$$

Ayrıca bu denklem Şekil 2.2 'de gösterilmiştir.

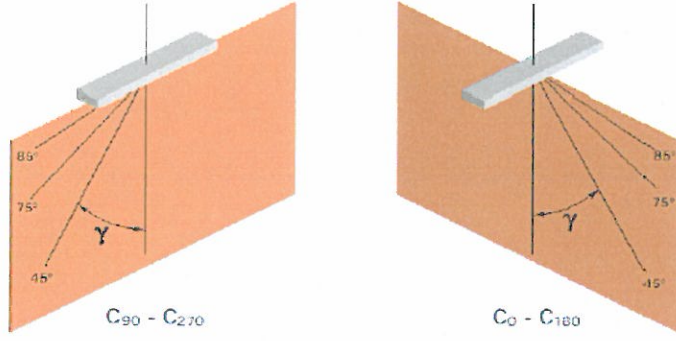


Şekil 2.2 : Noktasal kaynaklar için “Inverse Square Law” yasası [5]

### 2.3.1 Işık şiddeti dağılımları

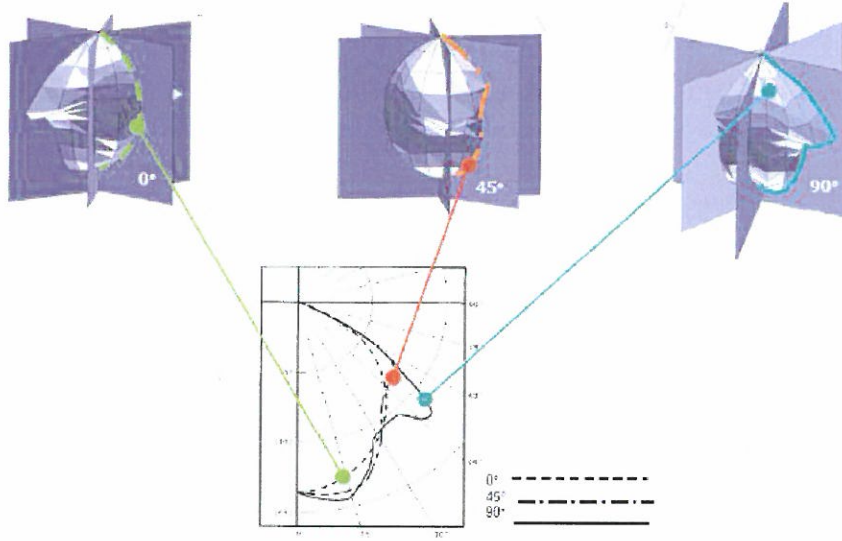
Işık Şiddeti Dağılımları (*LID*); bir düzlemsel ya da uzaysal (*3D*) şekilde grafiksel olarak ifade edilen dağılım grafikleridir. Eğer uzaysal kesit alınarak ifade edilirse C0-C180 ve C90-C270 eksenleri buna örnek olarak değerlendirilir. Şekil2.3’ te örnek olarak bu iki eksenle farklı  $\gamma$  açılarında oluşan ışık şiddetleri gösterilmektedir. Bu tür grafikler ışık kaynaklarının yansıtma açılarının anlaşılmasında da etkilidir [8] [9].





Şekil 2.3 : C -  $\gamma$  düzlemsel LID dağılım örnekleri [9]

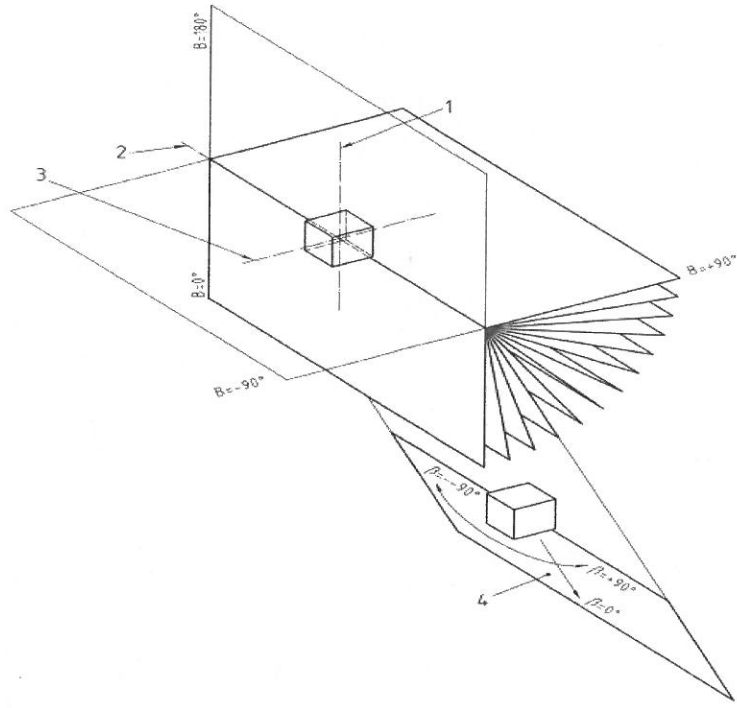
Eğer aynı grafik bu kez 3D uzaysal koordinatlarda ifade edilir ise LID dağılımları Şekil 2.4 'de verildiği gibi olur.



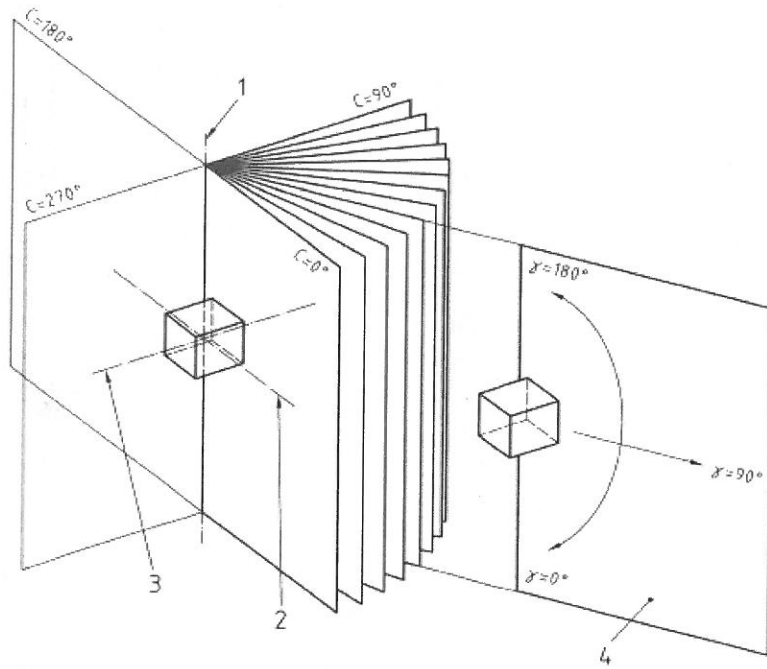
Şekil 2.4 : Örnek bir ışık kaynağın LID dağılım grafiğinin 3D uzaysal olarak gösterilmesi [6]

Ayrıca fotometrik ölçümlerde LID dağılımları için yaygın olarak kullanılan farklı düzlemler mevcuttur. Bunlar A, B ve C düzlem (*plane*) olarak ifade edilir. Bu düzlemlerde Işık akısı dağılımları genellikle ışık akısının lambanın (*klm*) cinsinde ışık akısına oranlanmasıyla ifade edilmektedir. Işık kaynağı her bir düzlemde dairesel olarak belli açılarda döndürülür. Eğer dönme eksenini ışık kaynağının eksenine yatay ve düşey şeklinde ise bu durumda fotometrik ölçme sistemlerinde A düzleminden söz etmiş oluruz. Eğer dönme eksenini ışık kaynağının eksenine aynı ise bu durumda fotometrik ölçme sistemi B düzlemi olmaktadır. Eğer dönme açısı ışık kaynağı ekseninden dik ise bu durumda fotometrik sistemimiz C düzlemi olmaktadır [8] [10]. Şekil 2.5 'te bu düzlemler gösterilmiştir.





(a)



(b)

Şekil 2.5 : (a) B düzlemi - (b) C düzlemi [10]

## 2.4 Fotometri

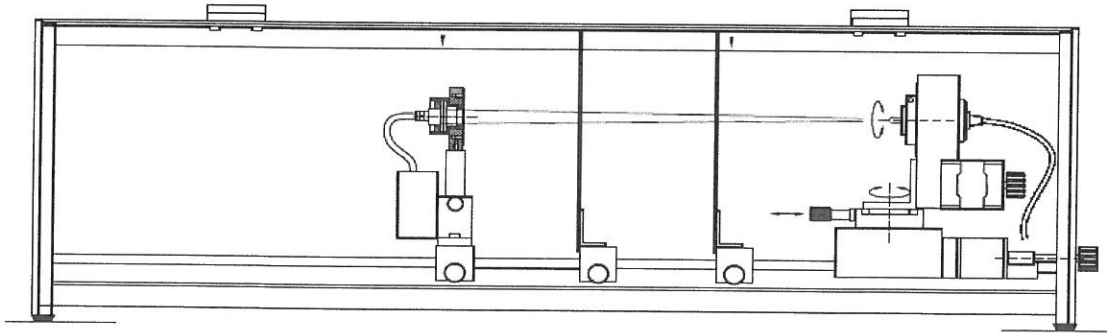
Fotometri kavramı yabancı dilden alınmış olup, Türkçe karşılığı “ışık ölçme” anlamına gelmektedir. Fotometrik ölçmeler genellikle ışık ile ilgili olmakla beraber laboratuvar ortamında yapılan ölçmelerdir. Bu ölçmeler için genellikle iki temel ölçme aygıtı kullanılmaktadır. Bunlar lüksmetre ve ışıklık ölçerdir (luminansmetre) [11].

Ölçme konularını kısaca maddeleyecek olursak;

- Işık Şiddeti (Luminous Intensity) Ölçümleri,
- Işık Akısı (Luminous Flux) Ölçümleri,
- Aydınlanma Enerjisi (Luminous Energy) Ölçümleri,
- Işık Akısı Yoğunluğu (Illuminance and Luminous Exstance) Ölçümleri,
- Parlıltı (Luminance) Ölçümleri,

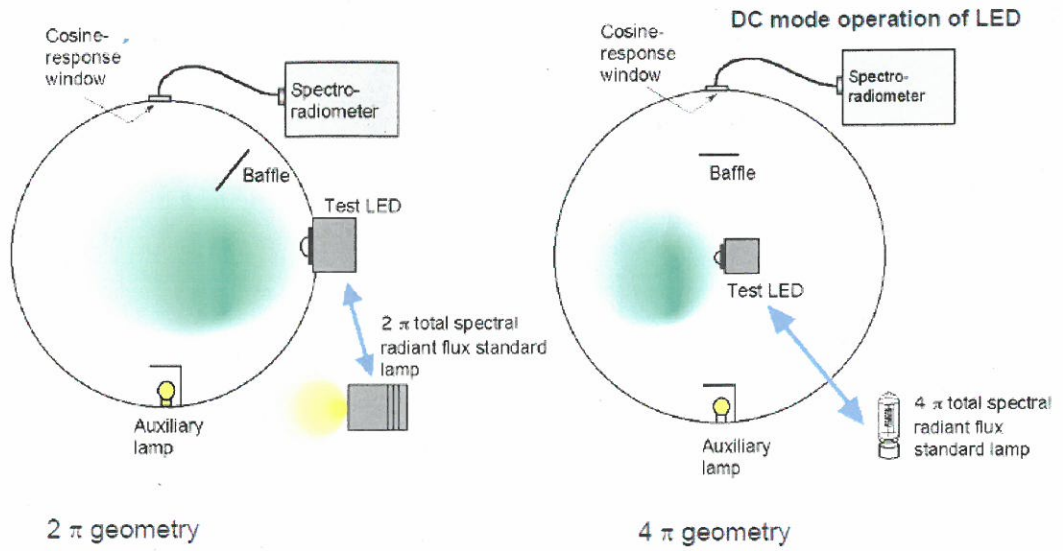
şeklinde özetlenmektedir.

Günümüzde fotometrik ölçüm denilince gonyofotometrik ölçüm anlaşılmaktadır. Bu ölçme, bir ışık kaynağın hangi yöne hangi açıda ne kadar bir ışık akısı gönderdiğinin saptanması için çok sayıda yapılan bölgesel ölçümlerden oluşmaktadır [11]. Denklem (2.2) de ifade edilen ışık akısının ölçülmesi her bir noktada (Şekil 2.1) ‘ de görüldüğü gibi her bir “ $\theta$ ” açısına karşılık  $0^\circ$  ve  $360^\circ$  arasında kalan “ $\varphi$ ” açılarında bölgesel (zonal) olarak ölçülmesiyle, bu sebeple ölçme işleminin ölçülecek numune veya fotometrik başlığın bölgesel(zonal) olarak ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. (Şekil 2.6) da gonyofotometrik ölçmeye örnek olarak bir gonyofotometre sisteminin yapısı görülmektedir [7].



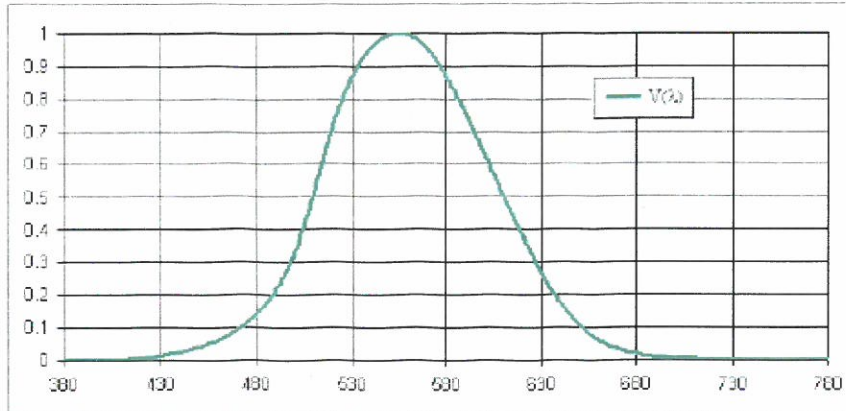
Şekil 2.6 : Örnek bir gonyofotometre yapısı [7]

Işık akısını ölçmede bir diğer ölçme yaklaşımı olarak ışık küresi (integrating Sphere) kullanılmaktadır. Küre yapısı içi yansıtma oranı yüksek beyaz boyayla boyanmış bir yapıdır. Ölçme yöntemi olarak  $4\pi$  ve  $2\pi$  ölçme yöntemi bulunmaktadır. Kürenin her noktasında oluşan yansımalar, kürenin iç yapısında bulunan spektrometrik sensör vasıtasıyla algılanarak ölçme işlemi gerçekleştirilir. Küre içerisinde ayrıca ışık kaynaklarından çıkan ışınların özellikle  $4\pi$  ölçmelerde doğrudan spektrometreye ulaşmaması gerekir. Bu nedenle küre iç yapısında tampon(buffer) kullanılarak bu durumun önüne geçilir [12].



Şekil 2.7 : Fotometrik ölçme küresi (Integrating Sphere) [12]

Işık akısı ölçme cihazları fotometrik büyüklüklerin ölçümlerinde kullanılan sensör dedektöre, fotometrik dedektör denir. Bu dedektörler insan gözünün duyarlı olduğu aralığı analiz edebilmektedir ya da görülebilir aralıktaki tüm spektrumu kayıt edebilmektedir [8].



Şekil 2.8 : Fotopik görseilikte spektral aydınlatma etkinliği [8].

Şekil 2.8 'deki spektrum spektrometre kullanılarak da elde edilebilir. Bu durumda sistem ışığı analiz ederken içindeki bir prizmadan ışınların dalgalı boylarını ayırır. Bununla birlikte spektrum LID ölçmelerinde önemli bir rol oynamaz. Sadece farklı renk içerikleriyle elde edilmiş optik ışık kaynaklarının ışıklarını spektruma ayırmada kullanılmaktadır [8].

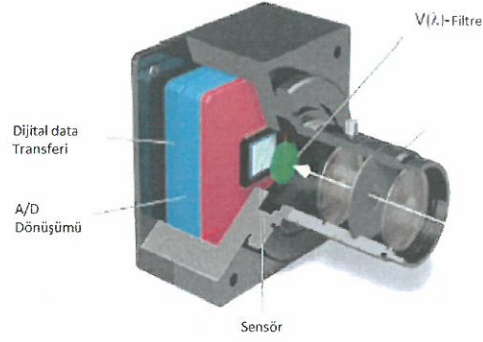
İnsan gözü spektral aydınlık etkinlik faktörünü (luminous efficiency) ölçebilen dedektörler doğrudan yoktur. Normalde kullanılan dedektörler çok geniş aralıklarda radyasyona duyarlıdır ve ek filtre sistemleri kullanılarak gelen radyasyonu azaltılarak kullanılır [8].

Bununla birlikte herhangi uzaysal çözünürlük olmadan tek bir değerin sağlanması için parçalı filtreler fotometrik başlıklarda kullanılır. Kolormatik amaçlar için sensör başlıklarında 3 parçalı filtreler(X,Y,Z) kullanılmaktadır [8].

Parçalı filtreler birkaç mercekten yapılmış tam filtrelerdir. Bu filtreler tek dedektörlü sistemlerde örneğin Şekil 2.9 'da görülen lüksmetrelerde kullanılmazlar. Yine de matris CCD veya CMOS dedektörlerde kullanılırlar [8].



Şekil 2.9 : LMT marka manuel el tipi lüksmetre [8].



**Şekil 2.10 :**  $V(\lambda)$  filtreli parallax(luminance) ölçme kamerası [8].

Fotometre cihazında spektral duyarlılık  $V(\lambda)$  olması gerekir ise bu amaçla CCD matris kamera sistemleri tam bir şekilde ayrıntılı filtre ile donanımlıdır [8]. Şekil 2.10 'da gösterilmiştir.

Eğer renksel ölçümler önemliyse bu durumda parçalı filtre olarak birkaç renk filtresi kullanılır. Farklı renk filtresine sahip renk ölçer kamera için birkaç dedektör kullanmak yada bir dedektör kullanarak önüne farklı filtreyi pozisyonlamak mümkündür. Bu filtreler ışığa karşı duyarlıdır. Bu nedenle bu tip sistemler kalibreli ışık kaynakları gerektirir. CCD kameralar ayrıca görülebilir ışık spektrumunun dışındaki ışımalara karşı da duyarlıdır. Bu nedenle görülebilir ışığın dışındaki aralıkları da ölçebilir. Örneğin IR (infrared) filtresi bu sistemlerde kullanılabilir [8].

## 2.5 Renk Sıcaklığı

Renk sıcaklığı; Siyah bir cismin ısıtılarak verdiği rengin sıcaklığının "Kelvin-K" cinsinden karşılığıdır. Düşük renk sıcaklıkları kırmızı ton renkleri, soğuk renk sıcaklıkları mavi ton renkleri ifade etmektedir. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [6] [13].



**Şekil 2.11:** Renk sıcaklık skalası



## 2.6 Renksel Geri Verim

Işık kaynakları için önemli bir parameter ise ışığın renksel özellikleridir. Bu özellikte renk seçimi hem ışık gücü ve verimlilik açısından hemde aydınlatılacak cisimler açısından önemlidir [6].

Renklerin doğru algılanması, diğer bir deyişle renksel bozunumun düşük olması diğer bir deyişle görünen rengin gerçek rengine yakın olması anlamına gelmektedir [6]. Gerçek renk tüm renklerin aynı oranda karışmasıyla elde edilen beyaz ışık altında algılanan renk demektir. Bu denli bir ışığın rengi %100 kabul edilir. Bu durum bize renksel geri verim indeksi (*Ra*) değerini vermektedir. *Ra* değeri yüzdesel olarak 0 ile 100 arası bir değerde ifade edilmektedir. Bunun anlamı Renksel geri verim indeksin değeri 100 ' e yaklaştıkça, böyle bir ışık kaynağı altında o denli gerçek rengini algılamış oluruz [6] [9]. Bu durumda renksel geri verim sınıflandırması aşağıdaki Çizelge ile özetlenmektedir.

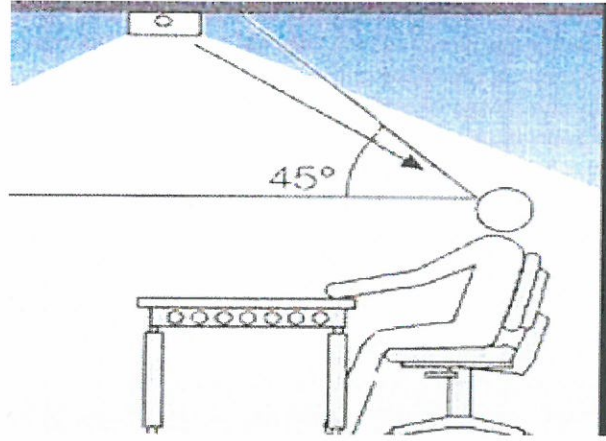
Çizelge 2.1 : Renksel geri verim sınıflandırması [9]

| RENKSEL GERİVERİM SINIFI |    | Ra             |
|--------------------------|----|----------------|
| ÇOK İYİ                  | 1A | $Ra > 90$      |
|                          | 1B | $80 < Ra < 90$ |
| İYİ                      | 2A | $70 < Ra < 80$ |
|                          | 2B | $60 < Ra < 70$ |
| ORTA                     | 3  | $40 < Ra < 60$ |
| KÖTÜ                     | 4  | $20 < Ra < 40$ |

## 2.7 Parıltı

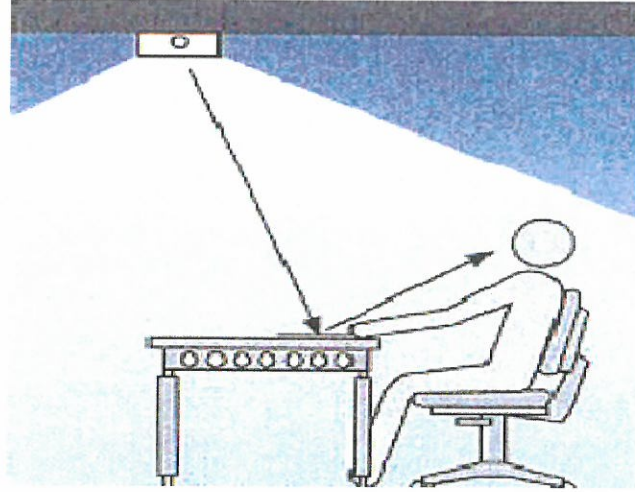
Işık kaynağından yayılan ışınlar insan gözüne doğrudan veya yansımali olarak gelmektedir. Bu ışınların gözde oluşturduğu etki parıltı olarak adlandırılır. Birimi  $cd/m^2$  olarak ifade edilir. Parıltı direkt parıltı ve yansımali parıltı olarak ikiye adlandırılır [6] [3].

Direkt parıltı, ışık kaynakların doğrudan göze hitap etmesinden kaynaklanmaktadır [6].



Şekil 2.12 : Direkt parıltının oluşması [6]

Yansımali parıltı, ışık kaynaklarından yayılan ışığın dolaylı olarak başka bir düzlemden göze gelmesiyle oluşmaktadır [6].



Şekil 2.13 : Yansımali parıltının oluşması [6]

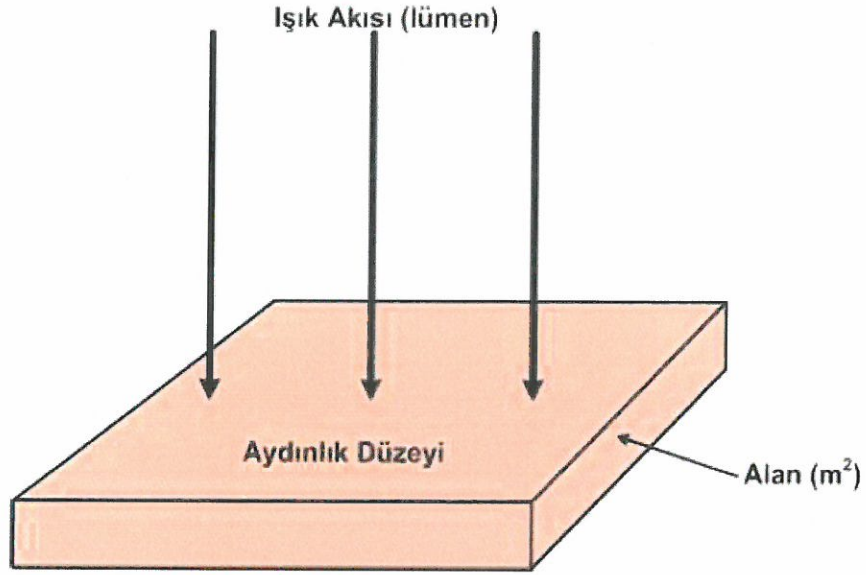
## 2.8 Kamaşma

Parıltının insan gözünü rahatsız edecek düzeyde olması kamaşma olarak adlandırılır. Kamaşma da İnsan gözü geçici olarak göremez hale gelmektedir. Aydınlatma ışık kaynaklarında istenmeyen bir durumdur [3] [6].

## 2.9 Aydınlık Düzeyi

Aydınlık düzeyi, literatürde  $E$  harfiyle ifade edilir. Birimi (Lüks) 'tür. Bir yüzey alanına( $m^2$ ) düşen ışık akısı( $\Phi$ ) –lümen oranıdır [6] [1].

$$E(\text{lüks}) = \text{Lümen}(\Phi) / m^2 \quad (2.6)$$



Şekil 2.14 : Aydınlık düzeyi ve ışık akısı arasındaki ilişkisi [1]

Bu durumda " $r$ " yarıçaplı bir kürenin merkezine " $I$ " ışık şiddetli bir ışık kaynağı yerleştirildiğinde oluşan aydınlık düzeyi; Işık akısının( $4\pi I$ ) kürenin yüzey alanına( $4\pi r^2$ ) bölünmesiyle denklem (1.7) elde edilir [6].

$$E(\text{lüks}) = I / r^2 \quad (2.7)$$

## 2.10 Etkinlik Faktörü

Bir lamba veya aydınlatma armatürün çıkan ışığın gücü; ışık akısı (*lumen*) olarak ifade edilmektedir. Işıksal verimlilik ise ışık kaynağın yaydığı ışık gücünün, harcadığı elektrik güce oranı olarak ifade edilmektedir. Bu sebeple Işıksal verimlilik ( $\eta$ ); *lm/Watt* birimiyle tanımlanmaktadır. [9] [6].



Etkinlik faktörü bir ışık kaynağın performans değerlendirilmelerinde hususunda göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametrelerden bir tanesidir. Işık kaynağı lamba tipleri bakımından farklılıklar göstermektedir. Bu durumda etkinlik faktörleri de her bir lamba tipi için de farklıdır. Aşağıdaki Çizelgede bu duruma örnek olarak gösterilmektedir.

**Çizelge 2.2 : Bazı ışık kaynakların faktörleri [9]**

| LAMBA TÜRÜ                 | ETKİNLİK FAKTÖRÜ lm/w |
|----------------------------|-----------------------|
| Akkor Lambalar             | 8 - 16                |
| Halojen Lambalar           | 12 - 26               |
| Floresant Lambalar         | 45 - 100              |
| YB Civa Buharlı Lambalar   | 36 - 70               |
| Metal Halide Lambalar      | 71 - 98               |
| YB Sodyum Buharlı Lambalar | 66 - 142              |
| AB Sodyum Buharlı          | 100 - 198             |

Ayrıca farklı güç ve renk sıcaklıklarına sahip aynı tip lambalar için farklı etkinlik faktörlere sahip olduğu gayet açıktır. Aşağıdaki Çizelgelerde farklı güçlere ve farklı renk özelliklerine sahip olan aynı tipte bir lambanın ışıksal verimliliğinin farklılığı görülmektedir.

**Çizelge 2.3 : 58W T8 floresan lambalar için farklı renk sıcaklığı etkinlik faktörü ilişkisi [9]**

| Renksel Kodu | Işıksal Gücü | Etkinlik Faktörü |
|--------------|--------------|------------------|
| 765 (54)     | 4000 lm      | 69 lm/W          |
| 865          | 5000 lm      | 86 lm/W          |
| 840          | 5200 lm      | 90 lm/W          |

**Çizelge 2.4 : 840 renk koduna sahip T8 floresan lambalar için etkinlik faktörü ilişkisi [9]**

| Elektriksel Gücü | Işıksal Gücü | Etkinlik Faktörü |
|------------------|--------------|------------------|
| 18 W             | 1200 lm      | 66.6 lm/W        |
| 36 W             | 3350 lm      | 93.1 lm/W        |
| 58W              | 5200 lm      | 89.6 lm/W        |

İşıksal verimlilik her lamba için beyan güçleri ve de farklı renk çeşidine göre kesin olarak farklılık göstermesi gayet açıktır. Bunun yanı sıra dış ortam ısısı, lambayı süren besleme sistemindeki özellikler, lambanın pozisyonu, şebeke gerilimi farklılıkları, lambanın kullanım süresi gibi etmenler ışıksal verimliliği önemli ölçüde değiştirmektedir [9].

Aydınlatma armatüründe ışıksal verimliliği ele aldığımızda; bu kez armatürde kullanılan lambanın ışık akısı değil , aydınlatma armatürden çıkan ışık akısının, driver/ballast kayıpları dahil tükettiği toplam elektrik gücüne oranı olarak ele alınmaktadır. Bu durumda armatüre tasarımdaki değişkenlerin her biri, ilave kayıp olarak armatürün ışıksal verimliliğini etkilemektedir. Bu kayıplar bu çalışmanın ilerki bölümlerinde detaylandırılacak olmakla beraber özetlersek eğer; balast/driver kayıpları, armatürde ısıdan dolayı oluşan kayıplar, optik kayıplar ki bunlar ise, kullanılan lens, reflektör veya diffüzör de oluşan kayıplar olabilmektedir.

Ayrıca birde armatür geri verim indeksi (*Light Output Ratio-LOR%*) söz etmek gerekirse; bu indeks; verimli bir armatür tasarımı için önemli bir kriterdir. Armatürün verdiği ışık akısının, armatürde kullanılan lamba ışık akısına oranının yüzdesi şeklinde ifade edilir. Bu değer yüksek olması ne denli optik kayıpların düşük olması anlamına gelmektedir.

### 3. AYDINLATMAYLA İLGİLİ TEMEL BİLGİLER

Bu kısımda; aydınlatma armatürlerin yapısı, bir ışık kaynağını veya armatürü oluşturan bileşenlerden ve de aydınlatmayla ilgili standartlar dan bahsetmektedir.

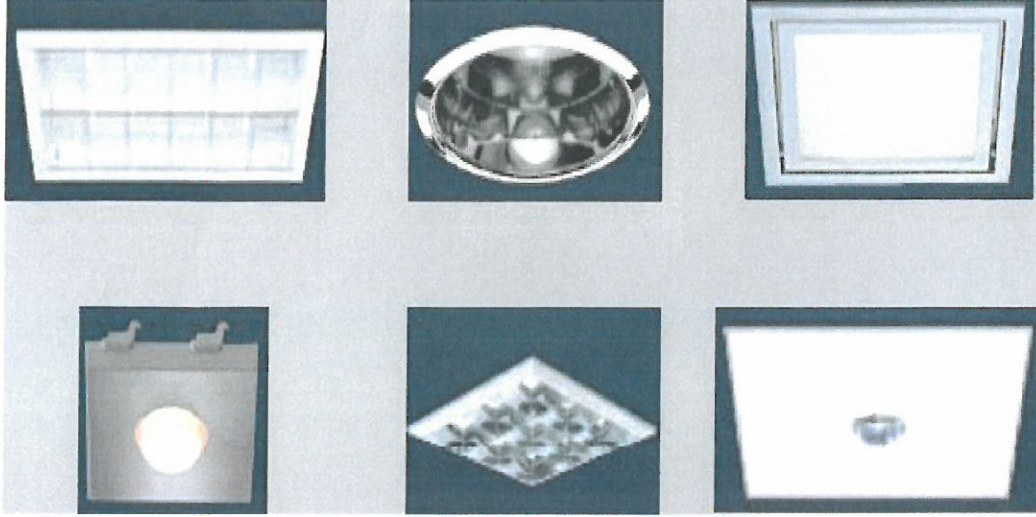
#### 3.1 Aydınlatma Armatürü

Bir lamba veya lambalardan oluşan bir sistemdeki ışık akısının istenilen bölgeye dağıtmak, yönlendirmek için tasarlanmış ve de içerisindeki lamba veya lambaların çalışması için gerekli donanımlara ve şebeke bağlantı elemanlarına sahip bir sistem olarak tanımlanmaktadır [6] [9]. Bir armatür tasarımında;

- Işığın etkili ve verimli bir şekilde yönlendirilmesi için optik tasarımı,
- Dış etmenlere karşı korunması için mekanik tasarımı,
- İnsanı, doğayı ve çevreyi rahatsız etmeyecek , kamaşmayı engelleyebilecek şekilde tasarımı,
- Estetik ve hafif tasarımı,
- Elektriksel gürültü oluşturmayacak , harcanan enerjinin ısı,elektriksel ve optik yönden kayıp oluşturmayacak şekilde tasarımı,

gibi konular son zamanlarda oldukça önem taşıyan konuların başında gelmektedir.

Tüketilen enerji arttıkça çevreye yayılan CO2 miktarı da bunun sonucu olarak konumuzla alakalı olarak aydınlatma armatür tasarımında verimli armatürlerin tasarlanması, performansların incelenmesi, dış çevreye verebileceği zararların minimize edilmesi ve de dış etmenlerden gelebilecek olumsuz koşullardan dikkate alınarak bu çalışma hazırlanmıştır.

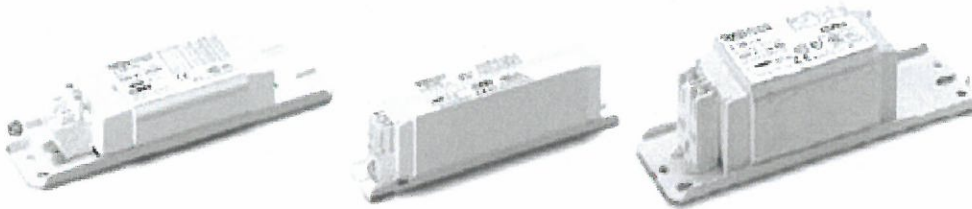


Şekil 3.1 : Aydınlatma armatür örnekleri [6]

### 3.1.1 Balastlar ve Sürücüler

**Balastlar;** özellikle deşarj tipi lambaların akımlarını sınırlayan, lambanın çalışması için gerekli voltajı ayarlayan lamba ile şebeke arasındaki bağlantıyı sağlayan endüktif veya kapasitif etkili bir sistem olarak tanımlanmaktadır [9].

Günümüzde manyetik ve elektronik olmak üzere iki tip balast mevcuttur. Manyetik balastlar manyetik indüksiyon yardımıyla lambanın akım ve gerilimini ayarlar. Manyetik balastlar yapısı gereği sargılardan oluştuğu için manyetik akı oluşturarak endüktif enerji tüketirler. Bu durum manyetik balastlı armatür kullanan büyük işletmelerde kompanzasyonu zorunlu hale getirmektedir [14].



Şekil 3.2 : Farklı boyutta manyetik balast örnekleri [9]

Tüketilen endüktif enerji manyetik balastın enerji verimliliği açısından ele alındığında verimli olmadığı için elektronik balastlar deşarj tipi lambalar için tercih sebebi olmuştur. Çünkü manyetik balasta kıyasla üstünlükleri vardır. Bunlar;

- Kayıpların düşük olmasıyla ,enerji tasarrufu sağlaması
- Güç faktörünün yüksek olması ilave kompanzasyon gerektirmemesi
- Ayrıca bazı tiplerinde dimleme özelliği ile fazla enerji tüketiminin azaltılması
- Yüksek frekans cevabından dolayı flicker etkisinin olmaması

gibi etkenler elektronik balastın manyetik balasta kıyasla en belirgin üstünlükleridir [15]. Elektronik balastlar manyetik balastlarda olduğu gibi akımı sınırlama özelliğinin yanı sıra lambanın ilk çalışma durumunda ateşlernesini için gerekli ateşleme gerilimini de üstlenirler. Bu nedenle ilave starter elemanına ihtiyaç duyulmaz [9].

Elektronik balastların ömürleri,

- Titreşim
- Çalışma sıcaklığı ve nemli ortamlar
- Elektriksel olarak yük değişimlerine bağlı olarak akım,gerilim değişimleri

gibi parametreler elektronik balastların ömürlerini etkilemektedir [9].

**Sürücüler;** Balastlardan farklı olarak , yarı iletken teknolojili ışık kaynaklarının beslenmesinde kullanılan elektronik komponentlerdir. Elektronik balastlarda olduğu gibi bu sistemlerde aşırı ısınma, kısa devre ve aşırı yüklenme gibi durumlarına karşı koruma devrelerine sahip sistemlerdir [9].

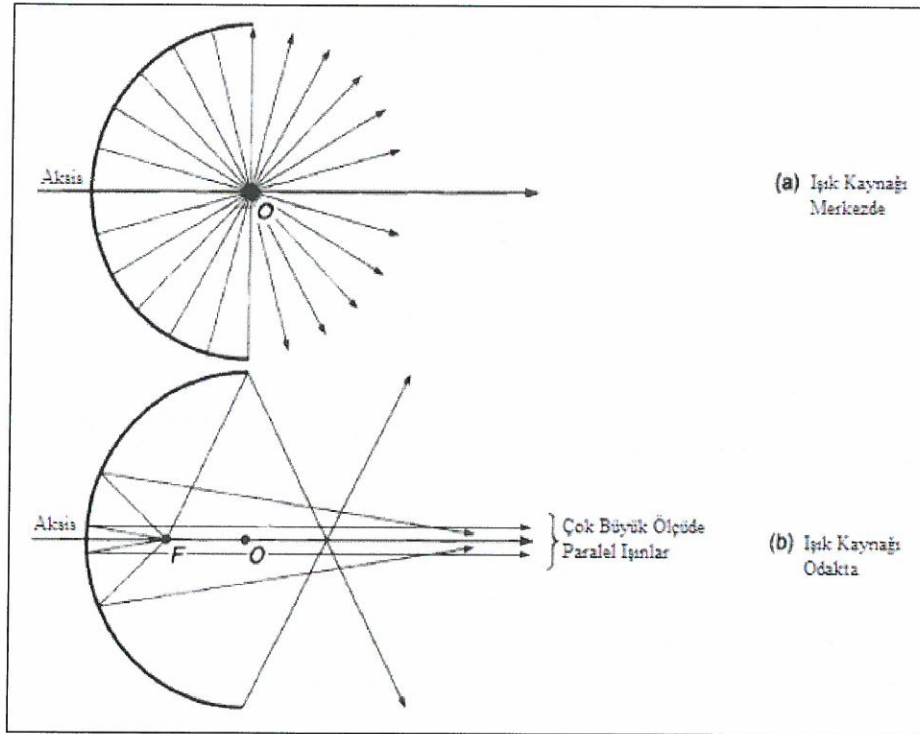
### 3.1.2 Reflektör ve Yansıtıcılar

Bir armatürde ışığı yansıtma için kullanılan optik bir komponenttir. Dairesel, parabolik, eliptik,hiperbolik yapılarda olmaktadır. Reflektör tasarımı ışık kaynaklarının istenilen bölgeleri etkin bir şekilde aydınlatması için tasarıma dikkat edilmesi



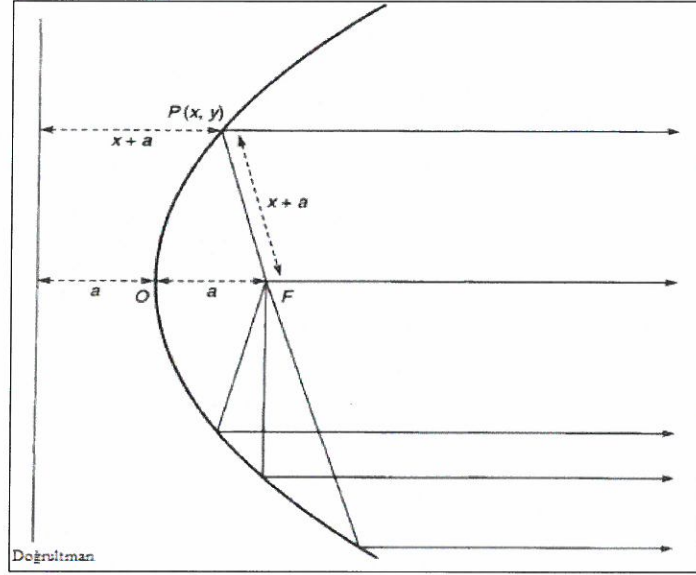
gerekir. Ayrıca vamlılık açısından ele alındığında incelenmesi gereken önemli bir husustur. Bu nedenle bu bölümde reflektör yapıları üzerinde durulacaktır [16].

**Dairesel reflektörler;** Işık kaynağın çevresinde küre yada silindirik bir yapıya sahip olan reflektor yapılarıdır. Bu yapı noktasal ışık kaynaklarında kullanılır. Bu reflektörlerde noktasal ışık kaynağı reflektörün (Şekil 3.3)'de görüldüğü gibi "O" merkezinde olduğunda "F" noktası odak noktasıdır. Işık kaynağını odak noktasına yaklaştırıp uzaklaştırdığımızda, ışığın yansıma açısı değişmektedir. Şekil 3.3 'de görüldüğü gibi ışık kaynağı odak noktasına doğru kaydığında ışık kaynağından yansıyan 10 derece ve altındaki ışınlar aksise paralel olarak yansıyarak bu durumda uzak mesafelere ışınlar yönlendirilebilmektedir [16].



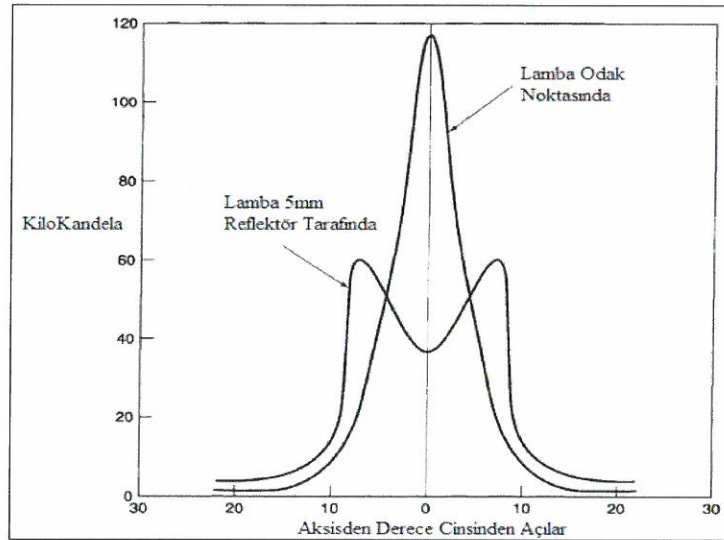
Şekil 3.3 : Dairesel reflektör örneği [16]

**Parabolik Reflektörler;** Işık kaynağın çevresinde özellikle de " $y^2 = 4ax$ " şeklinde fonksiyonel olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.4 'de örnek olarak gösterilmektedir. Dairesel reflektörde olduğu gibi ışık kaynağı reflektörün odak noktasına yaklaşır uzaklaştıkça, ışık açıları değiştirilebilir [16].



Şekil 3.4 : Parabolik reflektör örneği [16]

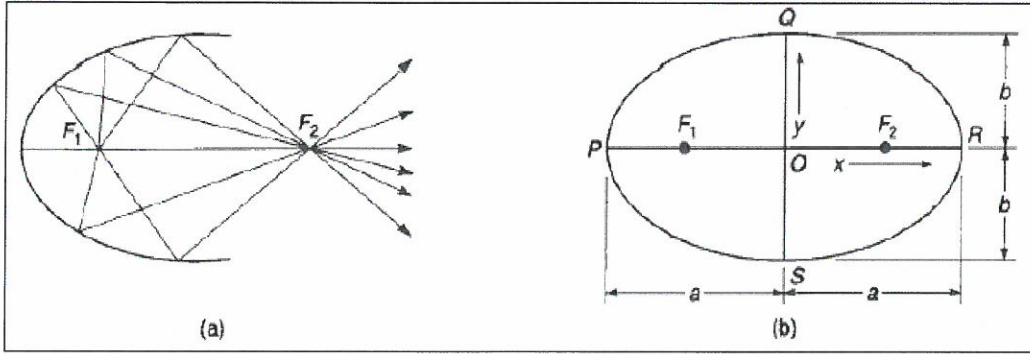
Bu reflektörlerde lamba odak noktasında pozisyonlandığında Şekil 3.5’ de görüldüğü gibi ışığın yansıtma açısı daralır ve de uzak noktalara ışık iletilmektedir. Bu nedenle ışık kaynağı lambanın reflektöre olan pozisyonu çok önemlidir. Bu durumda reflektör tasarımıyla alakalı olarak aydınlatma armatürün ışığı istenilen bölgeye yönlendirmesi, verimli vede gereksiz ışık kaybının olmamasının anlaşılması gonyofotometrik ölçmelerle ve de optik tasarımda Optisworks, Lighttools, ASAP, Lucidshape ve Photopia gibi çeşitli simülasyon yazılımlarıyla yapılacak simülasyonlarla anlaşılabilir.



Şekil 3.5 : 200W ‘lık Tungsten halojen lambanın 29mm odak nokta mesafeli parabolik reflektördeki ışık dağılım eğrisi [16]

**Eliptik Reflektörler;** Işığın dar açılı bir şekilde uzak mesafelere yönlendirilmesinde kullanılır. Bu tip reflektörler iki odak noktasına sahiptir. Matematiksel olarak Denklem (3.1) 'de ifade edilmiştir [16].

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (3.1)$$

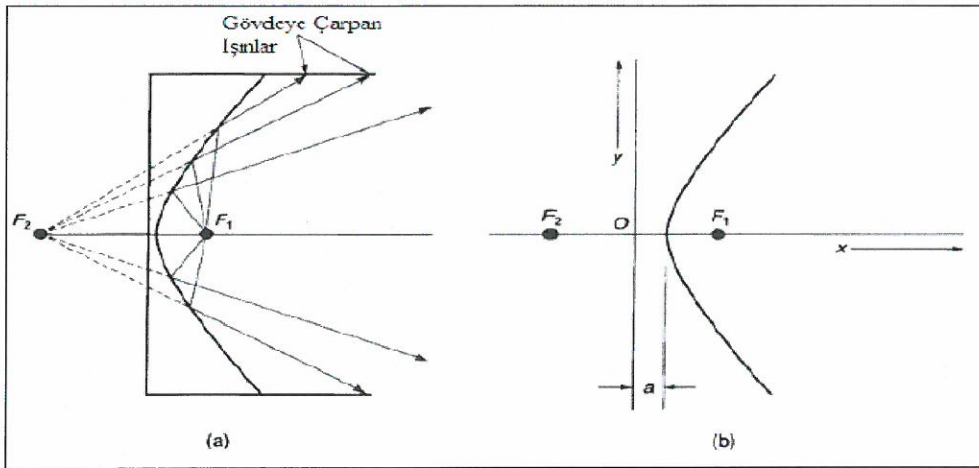


Şekil 3.6 : Eliptik reflektör [16]

**Hiperbolik Reflektörler;** Eliptik reflektör gibi iki odak noktası vardır. Fakat diğer odak noktası reflektörün arkasındadır. Matematiksel olarak denklem (3.2) 'de ifade edilmektedir [16].

Bu reflektörün sakıncası ışığın Şekil 3.7 'de görüldüğü gibi armatürün iç gövdesine çarpması ve de bu noktada oluşan ışıksal kayıplardır.

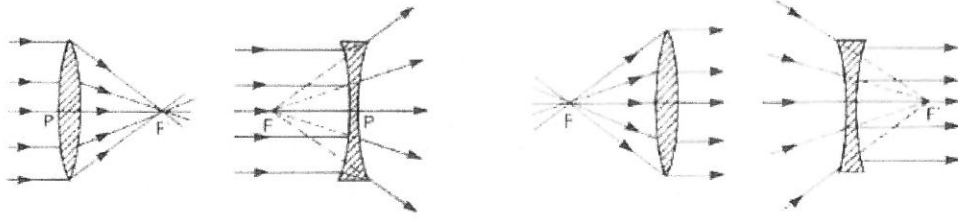
$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (3.2)$$



Şekil 3.7 : Hiperbolik reflektör [16]



**Lensler;** Işık kaynağından çıkan ışınları yönlendirmede kullanılan diğer bir komponenttir. Projektör, Spot armatürlerde özellikle de LED ışık kaynaklı armatürlerde kullanılır. Yapı itibariyle hafif ,sağlam bir yapıya sahip olup plastic veya camdan imal edilirler. İç bükey(Konveks) ve dış bükey(konkav) olarak iki farklı yapıya sahip olan lensler Işığı dağıtarak veya toplayarak aydınlatılacak olan yüzeylere yönlendirmeye yarar. Şekil 3.8 'de bu tip uygulamalara örnekler ifade edilmektedir.



**Şekil 3.8 :** Işığın iç bükey ve dış bükey lenslerden yansımaları [16]

**Difüzörler;** Yarı saydam yapısıyla lambadan çıkan ışığı her yöne dağıtan opal camdan veya polistren, akrilik gibi yarı saydam plastiklerden imal edilen bir komponenttir. Işığı her yönden dağıtması özellikle de kamaşmayı azaltarak armatür ışıyan yüzeyinde düzgünlüğü artırması önemli bir kullanım amacıdır. Fakat difüzör kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar mevcuttur. Bu hususlar;

- kullanılacak difüzörün geçirgenliğinin ışıksal verimlilik açısından yüksek olmasına dikkat edilmesi,
- Lamba ile difüzör arasındaki mesafenin özellikle az olduğu durumlarda armatür ışıyan yüzeyde lambanın bulunduğu konumda kamaşmanın yok olmaması ve lambanın yaydığı ısının difüzörün özelliğini bozması,

olarak ifade edilir [16].

Bir diğer dikkat edilmesi gereken husus, LED lambalarla tasarlanmış bir armatürde difüzör kullanılmasıyla, armatür içindeki sıcaklığın hapsolmesini sağlayarak, LED lambaların ortam sıcaklığını arttırması ve de bunun sonucunda LED 'lerin ışıksal performansının olumsuz yönde etkilemesidir.

Difüzörleri çalışma prensibi olarak ele aldığımızda ışığın kırılması(Snell yasası) , ışığın yutulması(Lambert yasası), ışığın dağıtılması(Dispersion) ve Işığın difüzyonu gibi hususlar ele alınmaktadır. Bu hususlardan kısaca bahsedilecek olursa;

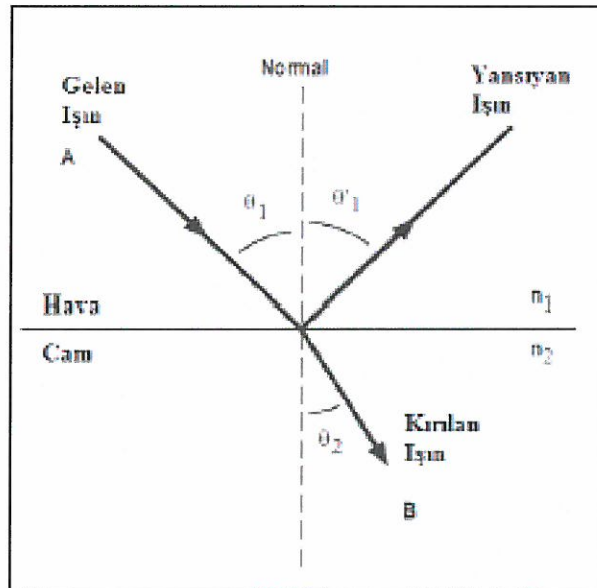
Işığın kırılması; Bir malzemeden diğerine geçerken bükülür ve hızı değişir. Kırılmayı etkileyen iki faktör vardır. Bunlar ışığın geliş açısı( $\theta$ ) ve de malzemenin kırılma indisidir( $n$ ). Bu durumda kırılma indisi( $n$ ); aşağıdaki (3.3) formülüyle ifade edilir [16].

$$n = \text{ışığın boşluktaki hızı} (c) / \text{ışığın malzeme içindeki hızı} (v) \quad (3.3)$$

Işığın malzeme içinden geçerken kırılması Snell yasasıyla açıklanır. Bu yasaya göre;

$$n_1 \times \sin(\theta_1) = n_2 \times \sin(\theta_2) \quad (3.4)$$

olarak ifade edilir [16].

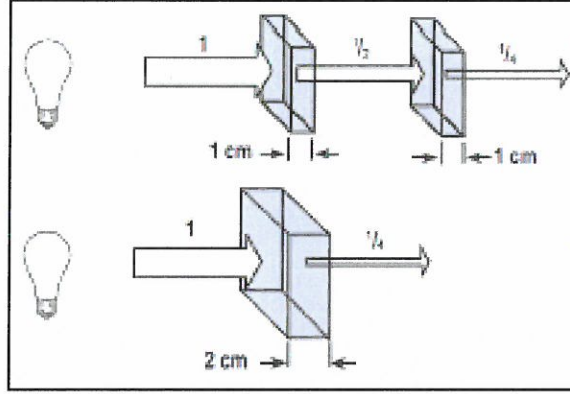


Şekil 3.9 : Işığın kırılması(Snell yasası) [16]

Burada;  $n_1$  : Birinci ortamın kırılma indisi ,  $n_2$  : İkinci ortamın kırılma indisi olmaktadır.

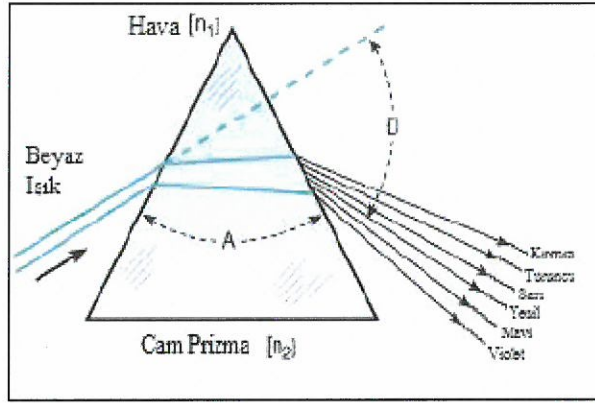
Işığın yutulması ise; Bir malzeme ışığa maruz kaldığı zaman malzemede ışığın belli bir kısmı veya tamamı yutulabilmektedir. Yutulan bu ışık enerjisi, ısı enerjisine dönüşerek harcanır. Birçok malzeme bazı dalga boyuna sahip ışınları yutarken, bazı dalga boyu ışınlarını yansıtılmaktadır. Bu durum selektif yutma olarak adlandırılır. Lambert yasasına göre; Işık aynı kalınlığa sahip iki özdeş malzemeden geçerken ki

yutma etkisi; 2 kat kalınlıktaki aynı özdeş tek bir malzemeden geçerken ki yutma etkisiyle aynıdır [16].



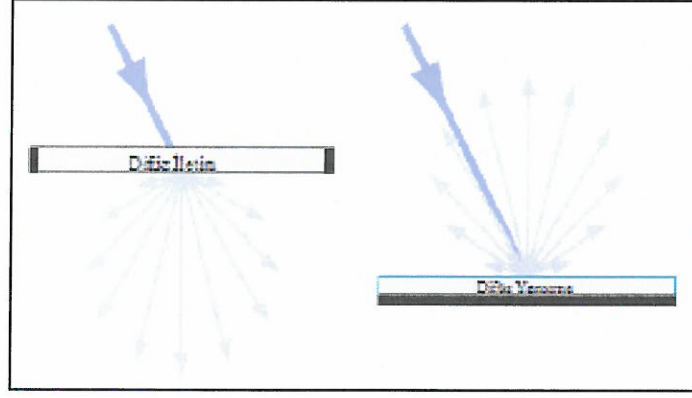
Şekil 3.10 : Lambert yasası ve ışığın yutulması [16]

Işığın dağıtılmasından bahsedecek olur isek; Işığın kırılması olayı; malzeme içinden geçen ışığın dalga boyuna bağlı olarak farklılık gösterir. Buna örnek olarak beyaz ışığı verdiğimizde, bir prizmadan geçirilen beyaz ışık, farklı dalgaboylara diğer bir deyişle renklere ayrılır [16].



Şekil 3.11 : Beyaz ışığın renklere ayrışması [16]

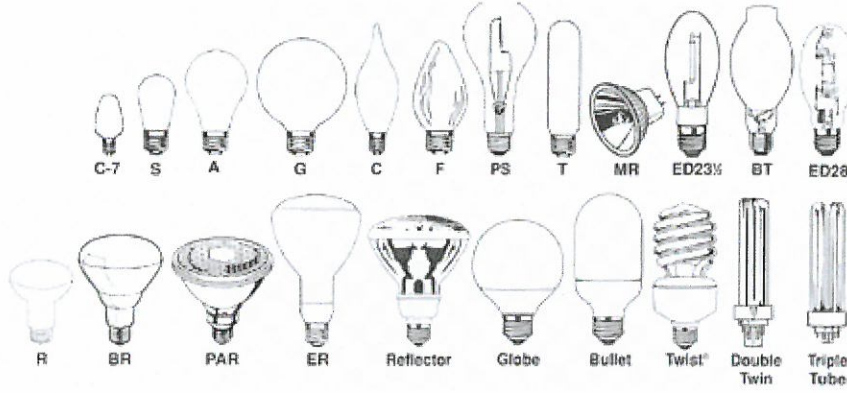
Işığın difüzyonu da difüzörleri anlamamızda açıklık getirecek bir diğer husustur. Difüzyon durumu ışığın çarptığı yüzeylerin pürüzsüz veya pürüzlü olmasıyla alakalı bir durumdur. Eğer ışık tamamen pürüzsüz bir yüzeye çarpar ise, ışığın yansımaları aynasal olmaktadır. Eğer ışık pürüzlü bir yüzeye çarpar ise, bu durumda ışık bir çok doğrultuda gelişigüzel yansıyabilmektedir. Bu durum difüzyon veya saçılma olarak adlandırılmaktadır [16].



Şekil 3.12 : Işığın iletim ve yansımaları [16]

### 3.1.3 Lambalar

Görünür ışık elde etmek için kullanılan ışık kaynağına lamba denmektedir. Çalışma prensibine göre farklı tipte lambalar mevcuttur.



Şekil 3.13 : Lamba tipleri

Her bir tip lamba kendi içinde, farklı renk sıcaklığına, farklı renklerde ışık yayma özelliğine, farklı güç tüketimlerine ve de farklı verimlilik değerlerine sahiptir. Bu kısımda bu lamba tiplerinden bahsedilecektir.

#### 3.1.3.1 Akkor Lamba

Akkor lambalar yapısı gereği elektrik akımına maruz kalan akkor telin ısınmasıyla ışık veren bir ışık kaynağıdır. Bu tip ışık kaynakları içi hava boşaltılmış bir cam tüple çevrili bir yapıya sahiptir. Havası boşaltılmış bu cam tüp içinde argon-azot gaz karışımları mevcuttur. Bu gazlar tungsten teliyle bir reaksiyona girmeyip , tüp içerisinde basınç oluşturup tungsten telin erimesini önler ayrıca bu gazlar tungsten



telinin buharlaşmasını engellediği için cam tüp siyahlaşmayıp , lambanın ömrünü uzatmakta katkı sağlamaktadır. Düşük voltajda çalışabilmesi, farklı boylarda üretilebilmesi ve de düşük maliyetlerinden dolayı tercih edilmektedirler. Fakat bu lambalar tükettiği elektriğin %10'luk kısmını ışık olarak yayılmakta geriye kalan kısmı ısı enerjisi olarak yayılmaktadır. Bu nedenle verimliliği düşüktür [1].

### 3.1.3.2 Halojen Lamba

Akkor lambalardan farklı olarak İçinde halojen gazı bulunan lambalara verilen isimdir. Bu tür lambalar içindeki halojen gazı nedeniyle tungsten telinden kopan moleküllerin tekrar bu tele yapıştırılmasını sağlayarak akkor lambalara kıyasla daha yüksek verim ve de daha uzun ömürlü olmasıdır. Ayrıca bu gaz sayesinde tungsten teli daha çok ısınabilmekte.ve bunun sonucunda akkor lambalara kıyasla parlak beyaz renginde ışık verebilmektedir [6] [1].



Şekil 3.14 : Halojen lamba örnekleri

### 3.1.3.3 Floresan Lamba

Floresan lambalar çalışma prensibi bakımından incelendiğinde, iki ucuna yerleştirilmiş flemanların elektrik akımıyla ısıtılıp lamba içindeki civa gazını iyonize etmekte ve iki fleman elektrotları arasında elektrik deşarjı oluşmaktadır. Bu esnada uyarılan civa atomlarındaki elektronlar normal seviyesine dönerken ultraviyole ışınlar yayarlar. Bu yayılan ışınlar floresan lambanın iç yüzeyinde kaplı olan fosfor tabakasından geçerken görülebilir dalgaboyunda ışınlar yayarak ışık vermektedir. Bu tip lambalar yuvarlak, çubuk ve de kompakt tipte olmaktadır. Genellikle ilk anda civa gazın uyarılması için flemanların bağlı olduğu elektrotların yaklaşık 300V

ateşleme gerilimine ihtiyaç duyarlar. Bunun için harici ateşleyici(starter) ve manyetik balast elemanları kullanılmaktadır. Günümüzde elektronik balastlar da yaygın olarak kullanılmakta olup aynı zamanda ateşleyicinin yapacağı ilk ateşleme gerilimini de üstlenmektedir [1].

Floresan lambaların verimleri halojen ve akkor lambalara kıyasla yüksek olup, düşük işletme maliyetleri, çok fazla ısı yaymaması ve kamaşma olmaması nedeniyle ev ve işyerlerinde tercih edilmektedir. Floresan lambalar ömürleri akkor lambalara kıyasla çok daha uzun olmakla beraber farklı renk sıcaklıklarında, farklı renksel geriverime sahip çeşitleri mevcuttur [1] [6] [17].

| Tipi               | Akkor Flamanlı                                  |   | Fluoresan  |  |
|--------------------|---|---|--|--|
|                    | Normal  | Halojen   | Tüp  | Kompakt  |
| Güç (Watt)         | 15-1000   | 20-2000   | 6-65   | 9-25   |
| Verim (lümen/W)    | 10-20   | 20-25   | 50-95  | 45-80  |
| Ömür (saat)        | 1000  | 2000-3000   | 4000-7000  | 8000-10000   |
| Işın Rengi         | Sıcak   | Sıcak   | Çeşitli renkler  | Sıcak  |
| Renk Geri Verimi   | İyi   | Çok iyi   | Ortadan iyiye  | Çok iyi  |
| Maliyet            | Düşük   | Orta  | Orta   | Orta   |
| Kullanım Önerileri | Kısa süreli çalışmalarda, genel amaçlı yerlerde | Yüksek yoğunluklu aydınlatmada, iyi renk geri verimi gereken yerlerde | Sürekli veya kesintili aydınlatmada, genel amaçlar için, iyi renk geri verimi gereken yerlerde | Sürekli veya kesintili aydınlatmada, genel amaçlar için, iyi renk geri verimi gereken yerlerde |

Şekil 3.15 : Floresan-Akkor lamba özellikleri [17]

### 3.1.3.4 Yüksek Basımlı Civa Buharlı Lamba

Bu lambalar kuvars camından imal edilmiş olup yine bu camın içerisinde gaz deşarjın gerçekleştiği bir deşarj tüpü bulunmakta olup, bu tüp içinde civa ve argon gazları bulunmaktadır. Tüpün içerisinde iki adet ateşlemeyi sağlayan ana elektrot ve yardımcı elektrotlar mevcuttur. Elektrotlar floresan lambada olduğu gibi içindeki gazın iyonize olması için ateşleme gerilimine ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle ateşleyici ve balast ekümanlarına ihtiyaç duyar. Floresan lambalardan farklı olarak bu elektrotların mesafeleri birbirine yakındır. Bu sayede ateşleme gerilimi uygulandığında elektrotlar arasında bir ark meydana gelir. Oluşan bu ark, tüp içerisindeki gazları iyonize ederek gaz buharlaşır ve iletken hale geçer. Elektronlar;

Bu durumda elektrotlar arasında akarken lamba ışına yapmaktadır. Floresan lambalara kıyasla uzun ömürlü olmakla beraber daha fazla ışık akısı ve verim sağlamaktadır [6] [1].



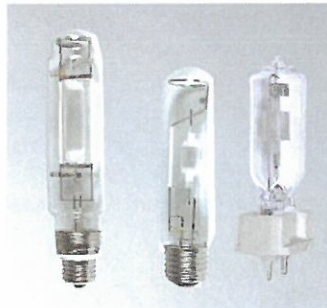
Şekil 3.16 : Civa buharlı lamba

### 3.1.3.5 Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba

Bu lambaların çalışma prensibi ve yapısı civa buharlı lambalarla aynı olup farklı olarak civa gazı yerine sodyum gazı ihtiva etmektedir. Bu sayede civa buharlı lambalara kıyasla verimliliği yüksek olduğu için özellikle cadde ve yol aydınlatmasında kullanılmaktadır [1].

### 3.1.3.6 Metal Halide Lamba

Metal halide lambalar civa buharlı lambalarda olduğu şekliyle çalışmaktadır. Fakat içerisine bazı tuzların eklenmesiyle renksel ve ışıksal geri verimleri arttırılmıştır. Bu katkı maddelerinden dolayı bu lambalar farklı renk sıcaklıklarında imal edilebilmekte ve de arttırılmış performanslarından dolayı iç ve dış aydınlatmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

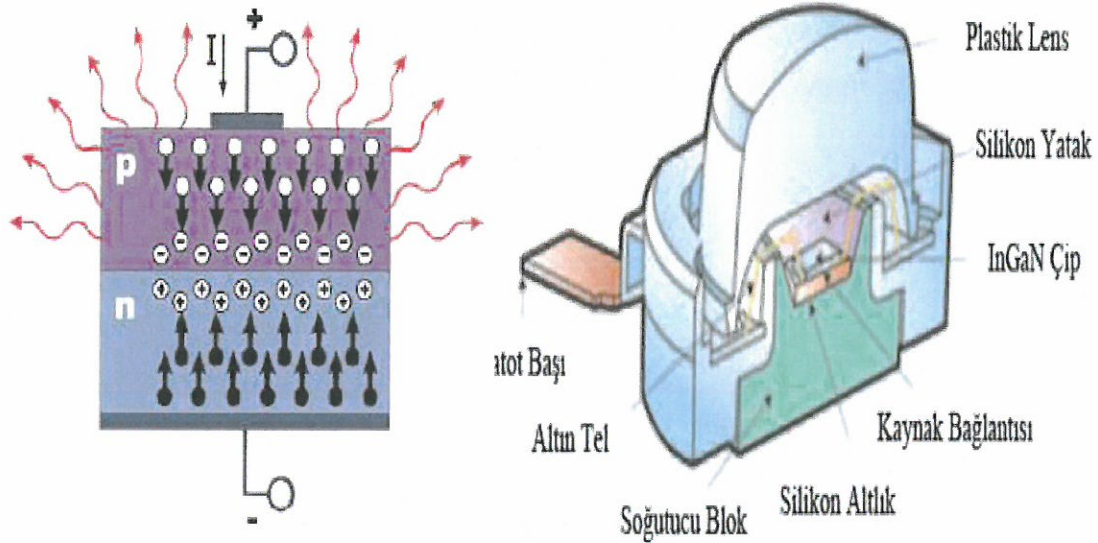


Şekil 3.17 : Metal halide lambalar



### 3.1.3.7 Led Lamba

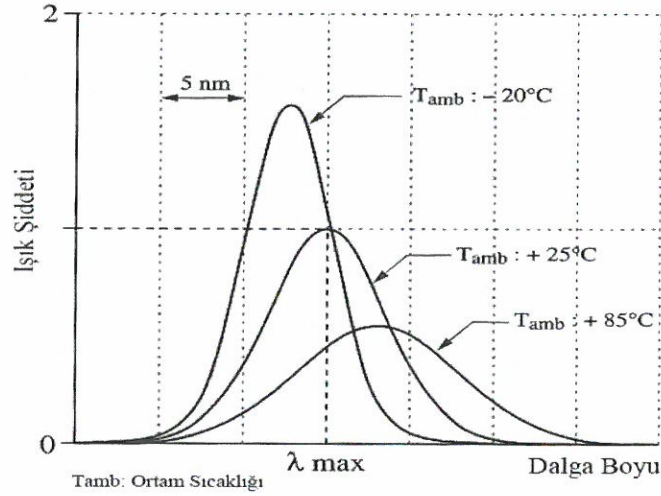
Led "Light Emitting Diode" kelimelerinin kısaltılmış şekli Işık yayan diyot olarak tanımlanmaktadır. Ledler tek yönlü akım geçiren katı hal kritical yapıya sahip olması, normal diyotlarda olduğu gibi led ışık kaynakların kristal yapısı P tipi silikon malzeme ve N tipi silikon malzemenin yanyana getirilip bir jonksiyon oluşturmasıdır. P tipi (Anot) malzemeye kaynağın (+) ucu ve N tipi (katot) malzemeye kaynağın (-) ucu bağlandığında elektrik akımı Anot tan Katot 'a doğru tek yönde akar. Elektronlar ise Katot tan Anot'a doğru geçerken boşluklarla birleşip foton yayılımı gerçekleşir. Led 'ler bu şekilde çalışmaktadır [16].



.Şekil 3.18 : Led yapısı ve çalışma prensibi [16]

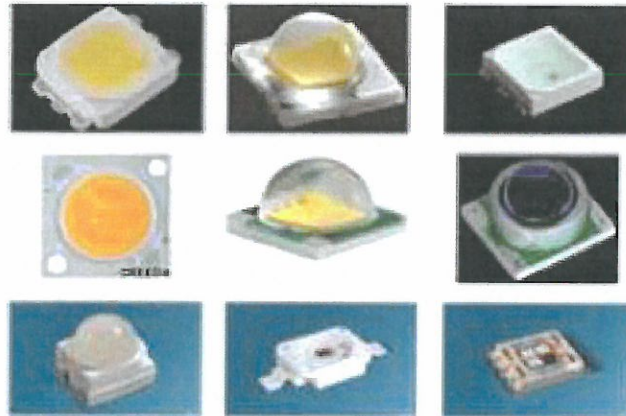
Genel olarak tek renk (monokromatik) ışık yayan ledlerin verimliliği, yaydıkları ışığın dalga boyuyla ilgisi vardır. Fakat günümüzdeki ledler görülebilir spektrumdaki tüm dalga boylarını üretebilmekte bu sebeple verimlilikleri ve ışık akıları, monokromatik ışık yayan ledlere kıyasla düşmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda sıcaklık arttıkça led'lerin verdiği ışığın dalga boyunun uzadığını diğer bir deyişle dalga boyunun kızılötesine doğru değiştiği görülmektedir [16].





**Şekil 3.19 :** LED ışık şiddeti ve dalga boyunun ortam sıcaklığı ile değişimi

LED'ler diğer lambalara kıyasla düşük enerji tüketimi, uzun ömür gibi avantajlara sahiptir. Ledler 1962 yılından itibaren ortaya çıkmış ve de üretimi son yıllarda artmıştır. Ledlerde kendi içinde Power LED, Smd LED, Rgb Led gibi modeller ortaya çıkmıştır. Ancak led ışık kaynakların kullanılmasıyla ortaya çıkan problemlerden bir tanesi yüksek sıcaklık sorunudur. Diğer deyişle ledlerin jonksiyon sıcaklıkları( $t_j$ ) düzgün bir şekilde soğutulmadığı takdirde ledlerin ömürleri olumsuz bir biçimde etkilenmektedir. Ayrıca ( $t_j$ ) sıcaklığının düşük tutulması lümen verimliliği açısından önemlidir. Diğer bir sorun ise güç faktörü düzeltme (PFC) gerekliliğidir. AC şebekeden beslenen Led'li aydınlatma sistemlerinde kaliteli güç tüketimi için güç faktörünün yüksek, toplam harmonik bozulmanın (THD) düşük olması istenir [2]. Bu nedenle verimlilik açısından led armatür tasarımında bu faktörler gözönünde bulundurulması gereken bir konudur.



**Şekil 3.20 :** Led ışık kaynağı örnekleri [2]

### 3.2 Aydınlatma Sistemlerinde Verimlilik ve Kayıplar

Aydınlatma sistemleri verimlilik açısından birçok parametreyle ele alınmalıdır. Verimlilik, esasen bir bütün olarak sistemi meydana getiren ekipmanların etkinliği ile ilgili bir kavramdır. Günümüz şartlarında aydınlatma sistemlerinde termal, elektrik ve optik yönden enerjinin etkin kullanılması önem arz etmektedir. Bu nedenle aydınlatma sistem tasarımlarında verimli bir aydınlatma sistemi tasarlarırken mümkün olduğunca kayıplar minimize edilmelidir [9]. Bu nedenle; bu bölümde aydınlatma sistemlerin performans yönünden verimlilikleri, kayıpları termal, elektrik ve optik olarak incelenerek ayrıca performans yönünden ölçüm metodları üzerinde durulacaktır.

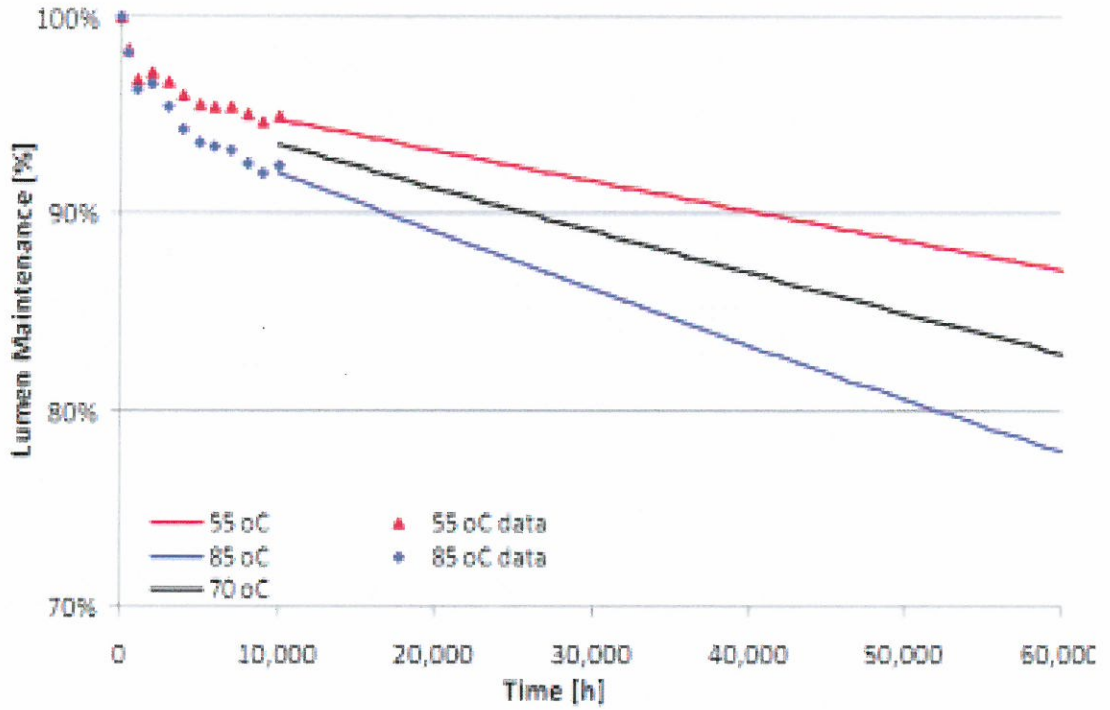
#### 3.2.1 Etkinlik Farklılıkları

Etkinlik farklılıkları (Lümen/Watt) bakımından söz edersek, her ışık kaynağının lümen cinsinden ışık şiddeti; ışık kaynağın tipine, gücüne, renksel parametrelerine göre farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla etkinlik faktörleri de farklılık gösterecektir. Ayrıca tükettiği elektriksel gücü(Watt) olarak ele aldığımızda, elektrik enerjisinin kalitesi de etkinlik faktörünü etkilemesi bakımından önemli bir parametredir. Örneğin pek çok ışık kaynakları özellikle de tüp biçiminde gaz ihtiva eden sodyum, civa,metal halojen lamba vede yarı iletken teknoloji led gibi kaynaklar elektriksel açıdan besleme kaynağı balast veya driver ünitesiyle birlikte kullanılmaktadır. Bu besleme üniteleri düzgün tasarımılanmamışsa veya PFC ünitesi yoksa bu durumda sistemde ilave driver veya balast kayıpları ortaya çıkacaktır. Bu kayıplar genellikle aydınlatma sistemlerinde gereksiz ısı enerjisi olarak harcanmaktadır. Bu durumda tüketilen elektrik enerji miktarı “Watt” cinsinden artacak, aydınlatma sistemin etkinlik faktörü (Lümen/Watt) azalacaktır. O halde sistemin tükettiği elektrik gücü( $P_{sistem}$ ) ;

$$P_{sistem} = P_{lamba} + P_{balast/driver} \quad (3.5)$$

olarak Watt cinsinden ele alınmalıdır.

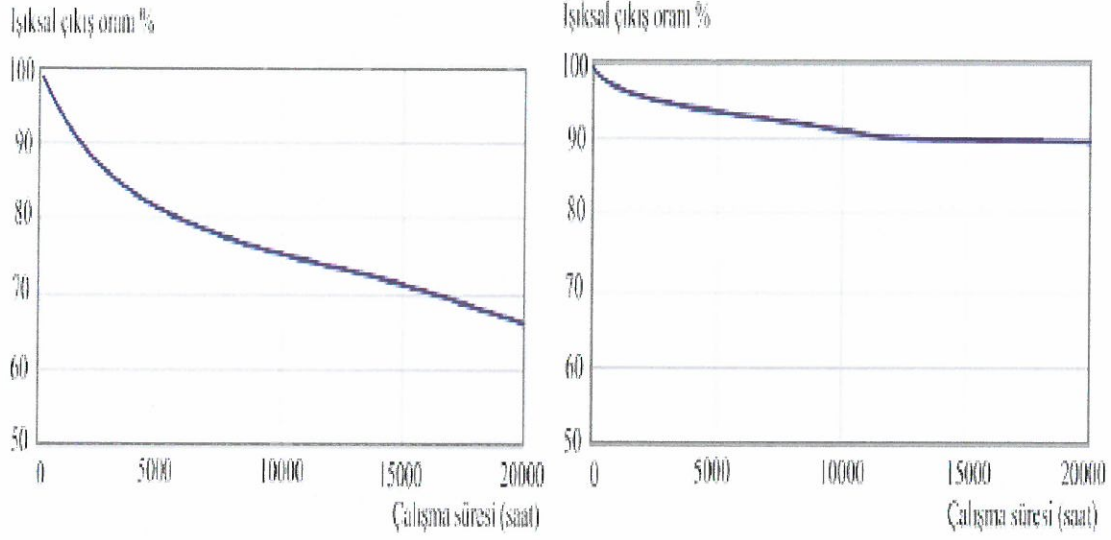
Işık kaynakların etkinlik faktörlerini etkileyen bir diğer önemli parametre ise lambaların çalışma sıcaklıklarıdır. Örneğin çalışma sıcaklığının 0 °C 'nin altında olması floresan lambalı gibi gaz ihtiva eden lambalarda, tüp içindeki gazın yeterince iyonize olamaması ve bu sebeple verdiği ışık akısının düşmesine sebep olur iken, led lambalarda çalışma sıcaklığının yüksek olması da led ışık kaynağın verdiği ışık akısı ve de ömrünün düşmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple ledler için son yıllarda farklı standartlar ortaya konulmuş ve bu standartlarda, ledlerin performans özellikleri, sıcaklığa bağlı çalışma ömrü öngörülmesi ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın sonraki bölümlerinde özellikler de ledlerin termal yönden ilişkisi ayrıca ele alınacaktır.



Şekil 3.21 : Led gücünün sıcaklığa bağlı olarak ömür ilişkisi

Işık kaynakların veya aydınlatma sistemlerin, armatürlerin etkinliğini etkileyen bir diğer parametre ise, difüzör, yansıtıcı, lens gibi komponentlerde oluşan optik kayıplardır. Bu kayıplar neticesinde aydınlatma sistemlerinden çıkan ışık akısı azalmaktadır. Bu sebeple etkinlik faktörü (Lümen/Watt) ve LOR(%) armatür geriverimi düşmektedir. Optik kayıplar neticesinde kaybolan ışık akısı miktarı genellikle aydınlatma sistemi iç yapılarında ısı enerjisi olarak soğurulmaktadır. Bu çalışmanın sonraki bölümlerinde ayrıca ele alınacaktır.

### 3.2.2 Lumen Kararlılığı



Şekil 3.22 : 765(soldaki) ve 865 renk kodlu(sağdaki) 58W T8 ışık kaynakları

için lümen kararlılığı grafik örnekleri [9]

### 3.2.3 Armatür Verimliliği ve Kayıpları

Etkinlik faktörünü etkileyen faktörler olarak optik, termal ve elektriksel kayıplardan bölüm 2.2.1 de bahsedilmeşti. Bu bölümde Armatür verimliliklerini etkileyen bu faktörler üzerinde detaylı inceleme yapılacaktır.

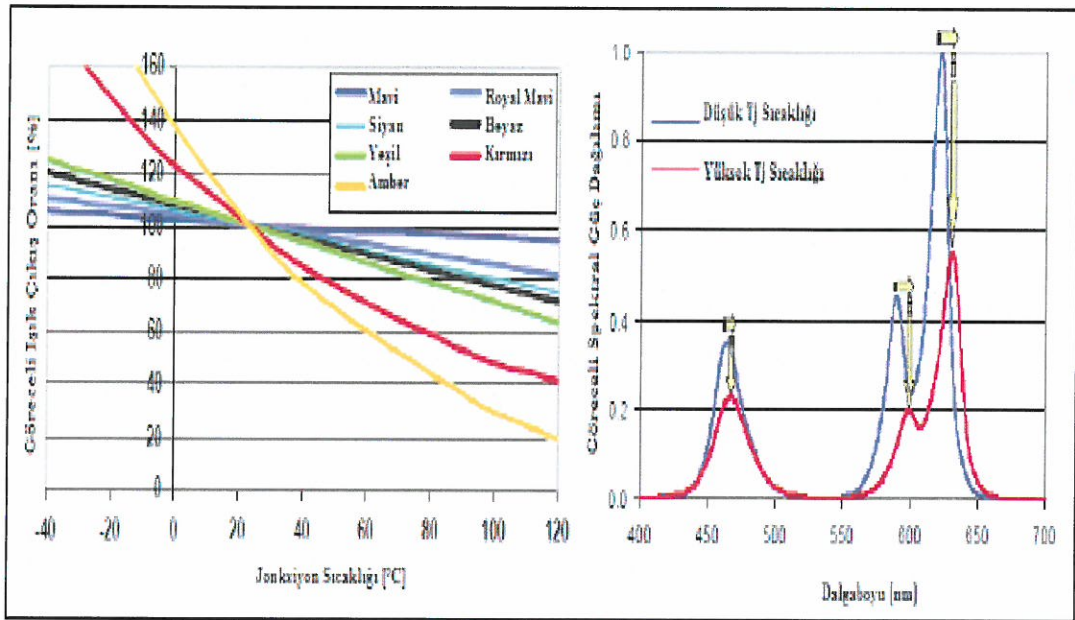
#### 3.2.3.1 Optik Verimlilik ve Kayıplar

Bir armatür tasarımının verimlilik açısından en temel kriterlerinden biri optik yapıdır. Armatürün optik yapının değerlendirilmesi gonyofotometrik ölçümler ile anlaşılmaktadır. Bir armatürün optik yönden verimliliği; kullanılan ışık kaynağın tipi, ışığı yansıtma kullanılan reflektörün yapısı, boyutu ve şekli ve de ışığı dağıtmada kullanılan difüzör, lens gibi optik elementlerin yanı sıra armatürün gövde yapısı, ışığın kamaşma sınıfı, ışığın dağılım karakteristikleri ve de benzeri bazı etmenlere göre %30 ile %98 oranında değişmektedir [9].



Optik verimliliği etkileyen bir diğer parametre ışık kaynağın reflektör içindeki konumuna bağlı olarak oluşan iç yansımaya ve kaçak ışıklardır. Özellikle tek reflektör içinde konumlandırılmış birden fazla ışık kaynakları, birbirlerinin ışık çıkışlarını sınırlamayabilmekte ve çok daha fazla iç yansımaya sebep olmasından dolayı optik yönden ışıksal kayıplar oluşabilmektedir [9].

Optik verimliliği etkileyen bir diğer parametre özellikle LED ışık kaynakları için jonksiyon sıcaklığıdır. Led ışık kaynaklarının jonksiyon sıcaklığı ne kadar düşük olursa, optik yönden verimlilik de o kadar yüksektir [18].



Şekil 3.23 : Jonksiyon sıcaklığının LED ışık kaynaklarındaki etkisi [16]

Bir çok armatür tasarımda optik yönden yüksek verimli elementler kullanılsa bile özellikle LED ışık kaynaklarında kullanılan optik elementin, led'in jonksiyon sıcaklığını arttırmamasına dikkat edilmelidir.

### 3.2.3.2 Elektriksel Verimlilik ve Kayıplar

Elektriksel ekipmanların üretim tekniği ve teknolojisine bağlı olarak verimlilik ve kayıpları farklıdır. Bu noktada en temel kayıplar elektronik ve manyetik devre elemanları arasında görülmektedir. Manyetik devreler elektronik devrelere kıyasla verimlilikleri düşüktür [9]. Bunun temel sebebi bakır ve demir kayıplarıdır. Bakır kayıpları sargılardan geçen akıma ve de sargı telinin kesitine ve uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Demir kayıpları ise; demir plakanın sayısına ve kalınlığına

bağlı olarak değişmektedir. Kısacası daha verimli bir balast demek daha fazla bakır ve demir kullanılması anlamına gelmektedir. Ayrıca güç katsayıları düşük olduğundan reaktif güç kayıpları fazladır. Oluşan bu kayıplar manyetik balast yada transformatör devrelerinde ısı şeklinde ortaya çıkmaktadır. Elektronik devrelerde özellikle manyetik devrelere kıyasla hem yüksek güç faktörüne sahip olması hemde verimlilik açısından günümüzde tercih sebebi olabilmektedir. Fakat bu teknolojinin getirdiği en büyük dezavantaj Toplam Harmonik Distorsiyon (THD) oluşturmaktadır [9].

Elektronik devrelerin özellikle de LED tipi ışık kaynaklarında kullanılan sürücü verimlilikleri %80-94 arasında değişmektedir [16]. Bunun için driver girişi ve çıkışındaki aktif güçler ölçülerek denklem 2.6 ' e göre verimlilik hesabı yapılır.

$$\eta(\text{verim}) = P(\text{çıkış}) / P(\text{giriş}) \times 100 \quad (3.6)$$

### 3.2.3.3 Termal Kayıplar

Aydınlatma sistemlerin termal kayıpları driver veya balast devrelerinde ve de ışık kaynaklarında oluşmaktadır. Bu nedenle termal ölçümler aydınlatma armatürlerin performansları, güvenlikleri ve de ömürleri için önem arz etmektedir. Bu nedenle sıcaklık ölçümleri için pek çok standartlar ortaya çıkarılmış ve de bu standartlarda lamba, balast, driver ve de pek çok komponentin müsaade edilen sıcaklık değerlerinin aşmamasına özen gösterilmiştir.

Aydınlatma sistemlerinde oluşan termal kayıpların bir kısmı driver-balast devrelerinde oluşmaktadır. Bu nedenle bu devrelerin sıcaklıkları ölçülmelidir. Bu sistemlerde elektronik devrelerden oluşmuş bir üniteye sıcaklık ölçümü driver-balast ünitesinin gövdesindeki özellikle işaretlenmiş en kritik Tc noktasından yapılmaktadır. Manyetik balastlarda ise sıcaklık ölçümü özellikle dış nüvedeki yüzey sıcaklığının ölçülmesiyle, sargıdaki tw sıcaklığın denklem 3.7 'ye göre hesaplanmasıyla belirlenmektedir [19].

$$T_w = R_2 / R_1 (T_1 + 234,5) - 234,5 \quad (3.7)$$

Bu denklemde;

$T_w$  : Sargı sıcaklığı ( ° C )

$R_2$  : ısınmış sargıdaki direnç (  $\Omega$  )

$R_1$  : Soğumuş durumdaki sargı direnci (  $\Omega$  )

$T_1$  : Soğumuş durumdaki ortam sıcaklığı

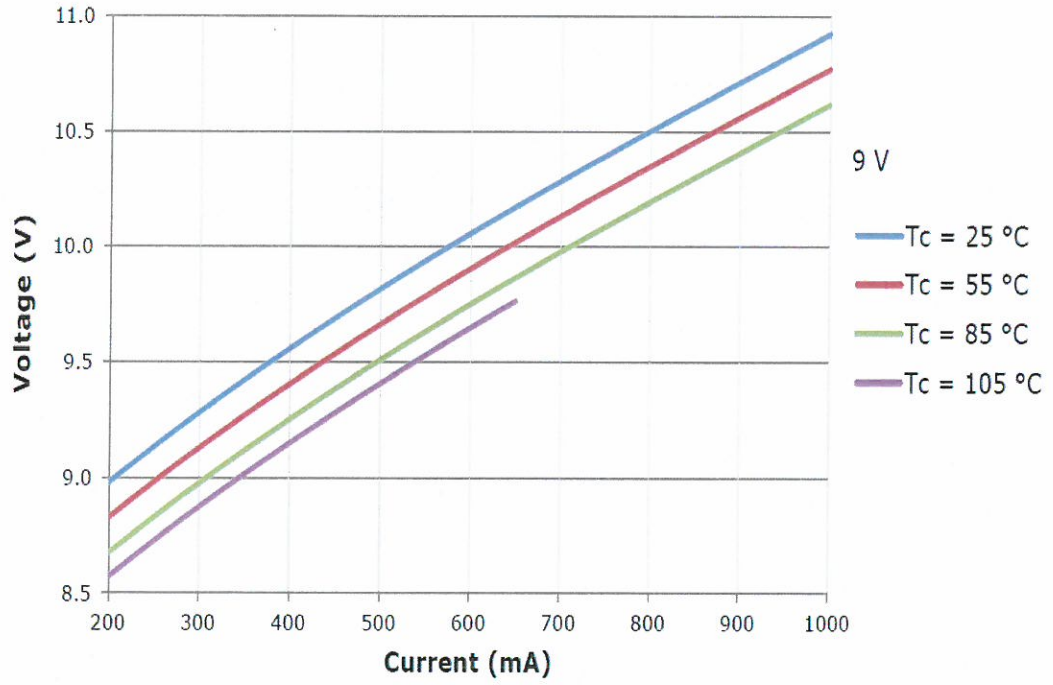
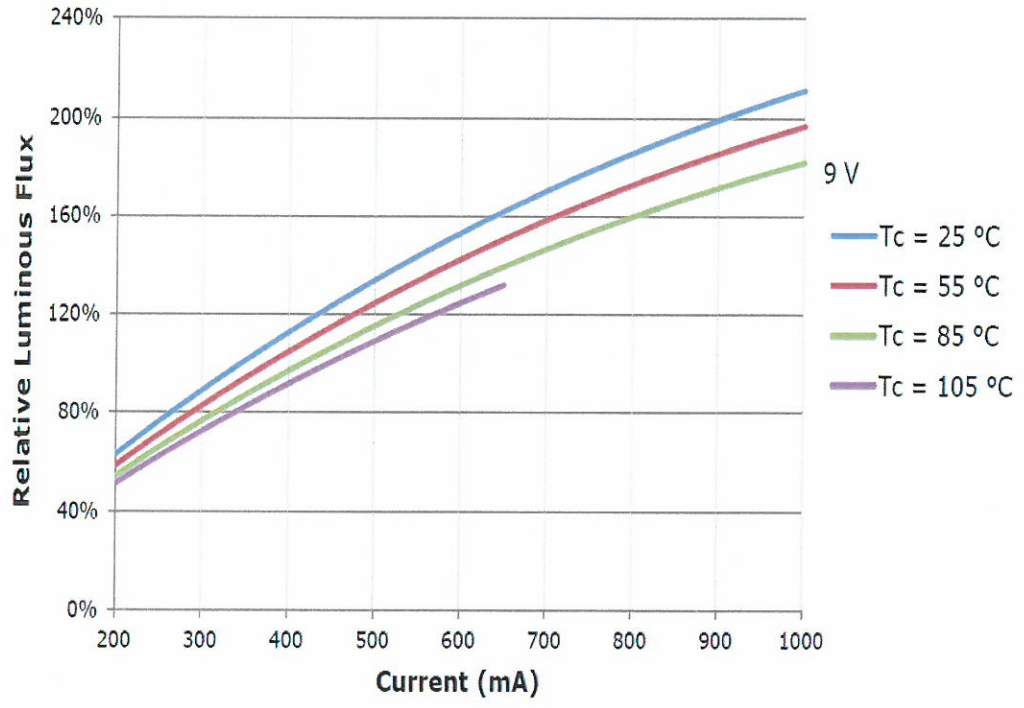
olarak ifade edilmektedir [19].

Aydınlatma sistemlerinde oluşan termal kayıpların büyük çoğunluğu ışık kaynaklarında oluşmaktadır. Lambalarda oluşan termal kayıplar ancak ışınım (radyasyon) yoluyla ortaya çıkmaktadır. Ancak LED gibi P-N tipi yarı iletken malzemeler ile oluşturulmuş ışık kaynaklarının jonksiyonlarında ayrıca ısı üretilmektedir ve de bu ısının ancak iletim yoluyla transfer edilmesi gerektiği de LED'lerin optik performans ve ömürleri açısından önemlidir. Sonuçta tüm ışık kaynakları bir ısı üretir ve de ortaya çıkan ısının armatür sisteminden atılması ancak iletim, taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşmektedir [16].

**Çizelge 3.1** : Işık kaynaklarında ısı transfer karşılaştırmaları [16]

| Işık Kaynağı | Işınım (%) | Taşınım (%) | İletim (%) |
|--------------|------------|-------------|------------|
| Enkandesen   | >90        | <5          | <5         |
| Flüoresan    | 40         | 40          | 20         |
| HID          | >90        | <5          | <5         |
| LED          | <5         | <5          | >90        |

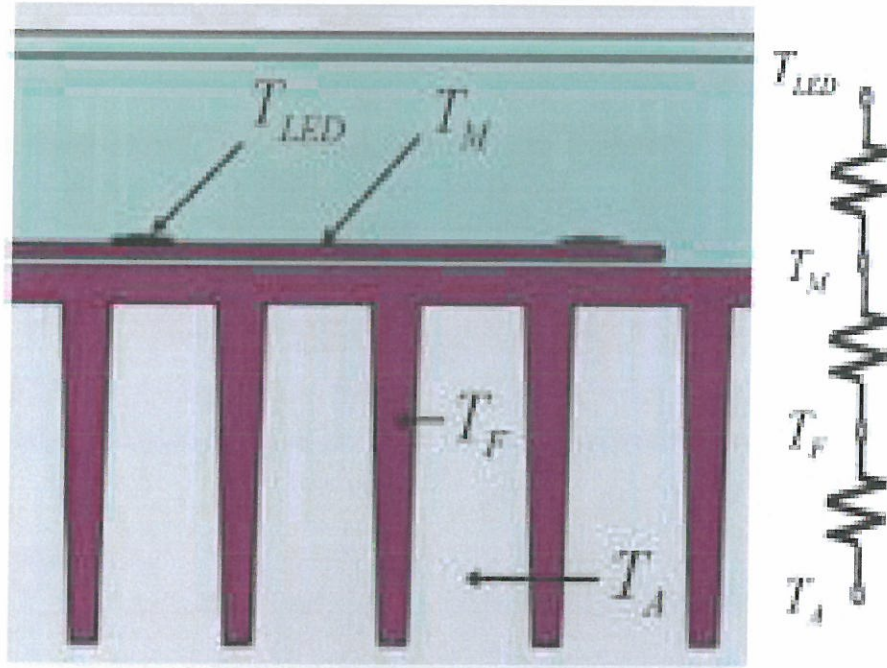
LED tipi ışık kaynaklarında yayılan ışık enerjisinin ışınım yoluyla bir kısmının termal kayıp olarak diğer ışık kaynakları gibi harcanmasına karşın, ayrıca bu ışık kaynakları yapısı gereği jonksiyonlarında oluşan ısı enerjisinin de iletim yoluyla transfer olması diğer bir deyişle jonksiyon noktalarının soğutulması ayrıca elektriksel karakteristikleri, lümen performansı ve LED ömür bakımından oldukça önemlidir. Şekil 3.24 'te örnek bir CREE marka Xlamp CXA 1304 LED modülün sıcaklıkla ilgili elektriksel, lumen performansı ve ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 3.24 : Xlamp CXA 1304 LED modülün sıcaklıkla ilgili elektriksel, lumen performans ve ilişkisi [20]

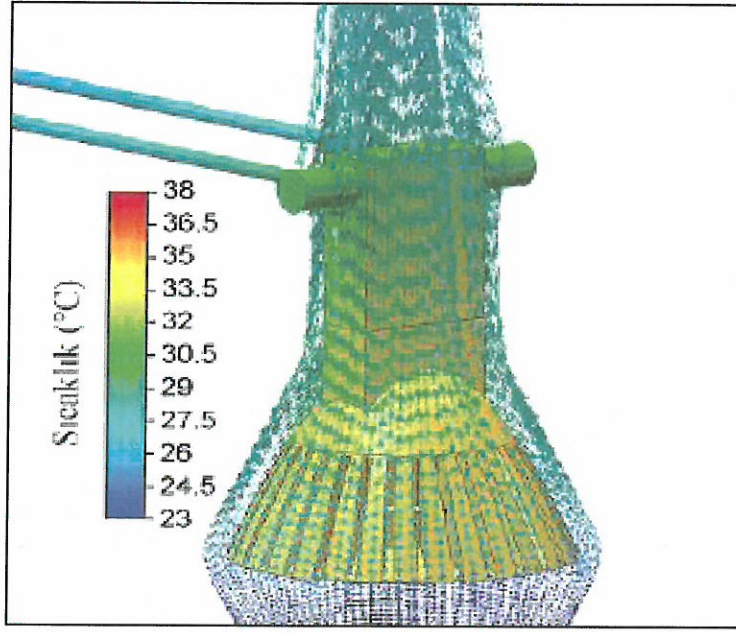


LED tipi ışık kaynakların bu nedenle soğutulması için özel soğutma sistemleri mevcuttur. Bu sistemler aktif soğutma ve pasif soğutma olarak iki kısımda ele alınmıştır. Pasif soğutma sistemleri yaygın olarak led ışık kaynaklı armatürlerde kullanılmaktadır. Bu nedenle soğutucu tasarımına ihtiyaç vardır. İyi bir soğutucu tasarımı için, soğutucuda kullanılan malzemenin ısıl iletkenliği, kullanılan soğutma yüzey alanı, soğutucu boyu ve kalınlığı, taşınım yoluyla ısının havaya karışması için hava akımının rahat geçişine imkan sağlayacak uygun hava kanalları bulundurulmalıdır [21].



Şekil 3.25 : Termal akış diagramı [21]

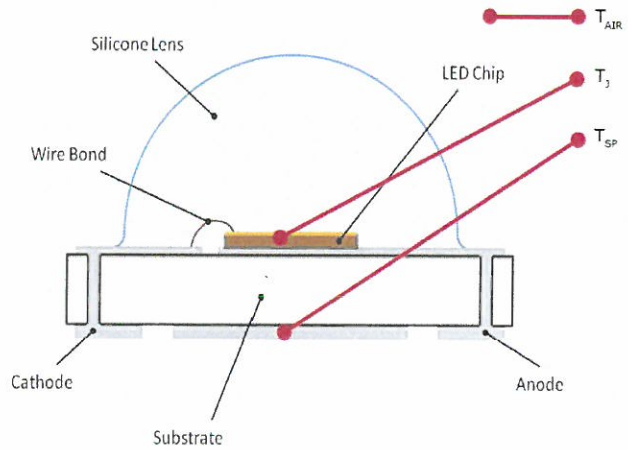
Bu nedenle termal analiz yazılımları geliştirilmiş ve de üreticilere deneme yanılma imkanı sağlamadan simülasyon ile doğru soğutucuların tasarlanması sağlanmaktadır. Böylelikle hem zaman hemde maliyet bakımından fayda sağlamakla beraber ayrıca ledlerin çalışma sıcaklıklarının belirlenmesiyle katalog verilerden bu sıcaklıklarda ışık akısı ve ısıl verimlilikleri hesaplanarak, ışık akısı değeri doğru olarak belirlenebilmesine imkan sağlamaktadır [16].



Şekil 3.26 : Örnek bir armatür için termal simülasyon [16]

Led ışık kaynaklarında termal yönden jonksiyon sıcaklıkları doğrudan ölçülememektedir. Bu nedenle Led taban yüzey noktasındaki ( $T_{sp}$ -solder sıcaklık ölçülerek, hesaplanmaktadır. Bunun için jonksiyon noktası ile lehimleme noktası arasındaki termal direnç ( $R_{thj-sp}$ ) bilinmesi gerekmektedir. Led jonksiyon sıcaklığı denklem 3.8 'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır [22]. Bu denklemde;

- $T_j$  : Jonksiyon sıcaklığı,
- $T_{sp}$  : Led lehim noktası
- $V_f$  : Led ileri yön gerilimi
- $I_f$  : Led ileri yön akımı
- $R_{thj-sp}$  : Lehim noktası ile jonksiyon noktası arası termal direnç olmaktadır.



Şekil 3.27 : Led jonksiyon ve yüzey sıcaklık ilişkisi [22]

$$T_j = T_{sp} + (R_{thj-sp} \times V_f \times I_f) \quad (3.8)$$

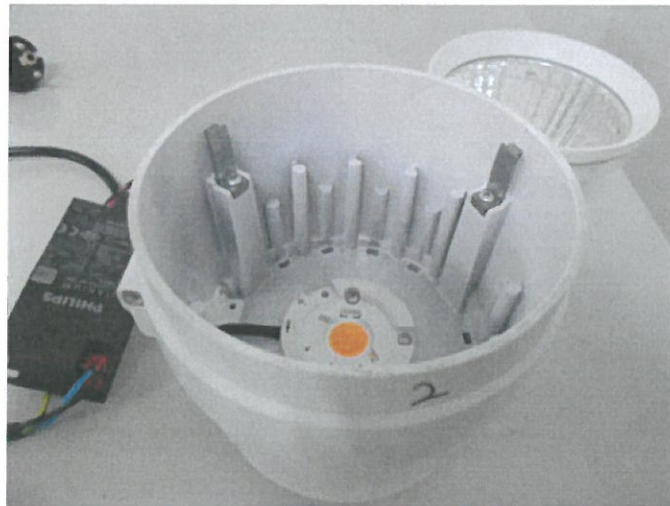
## 4. LED AYDINLATMA ELEMANLARINDA YAPILAN DENEYLER VE KARŞILAŞTIRMALAR

### 4.1 Soğutma Sistemlerin Led Işık Kaynakların Performansına Etkileri

Led ışık kaynaklarının jonksiyon noktalarındaki sıcaklığın yüksek olması çalışma ömrüne ve performansına olumsuz etkilemesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, jonksiyon noktalarındaki sıcaklığın transfer edilmesi kaçınılmazdır. Led jonksiyonların ısı transferin etkili bir biçimde yapılabilmesi ancak etkili bir soğutma sistemi gerektirmektedir. Bu nedenle bu bölüme açıklık getirmek için 2 farklı deney yapılmıştır.

#### 4.1.1 Soğutma Kanallarının ve Kanatçıkların Led Performansına Etkileri Üzerine Deneysel Karşılaştırma

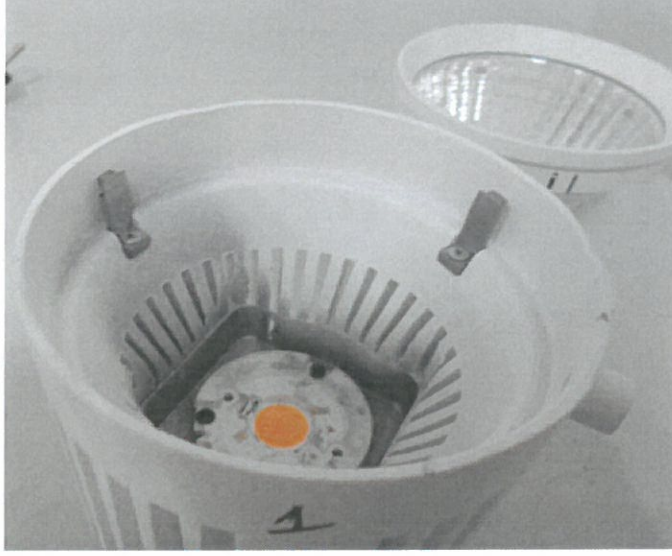
Bu çalışmada aynı güce sahip 2 adet özdeş led chip modülün farklı 2 adet aynı hacime sahip soğutucuyla performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ledlerin her biri aynı akım ve gerilim ile sürülmüştür. Şekil 4.1 'de görülen soğutma sisteminde kanatçık yapıları olmamakla (2 nolu soğutucu) birlikte soğutucu hava kanalları mevcut değildir. Bu yapıya maskelenmiş led modül ilk olarak termal ısı transferi yönünden incelenmiş olup ayrıca fotometrik ölçümleri de yapılmıştır.



Şekil 4.1 : Kanatçık ve hava kanalsız soğutucu örneği



Aynı deney bu kez Şekil 4.2 'de görülen soğutucu kanalları ve kanatçıkları oluşturulmuş aynı hacime sahip başka bir soğutucu ile (1 nolu soğutucu) tekrarlanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.1 'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.2 : Kanatçık ve hava kanallı soğutucu örneği

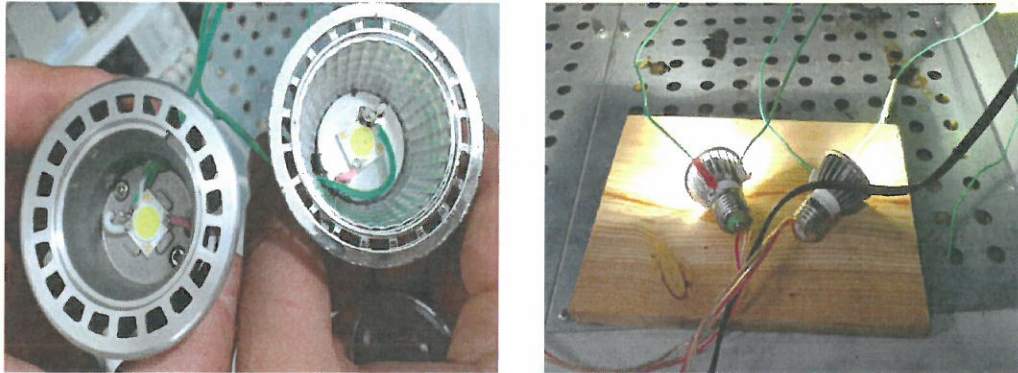
Çizelge 4.1: 2 farklı soğutucu ile deney sonuçları

| Parameter                             | 2 nolu reflektör | 1 nolu reflektör |
|---------------------------------------|------------------|------------------|
| Radiant Flux (Watts)                  | 8,86             | 8,902            |
| Luminous Flux (lumens)                | 2383             | 2416             |
| Scotopic Luminous Flux (lm')          | 3384             | 3436             |
| Chromaticity x coord                  | 0,4404           | 0,4402           |
| Chromaticity y coord                  | 0,4108           | 0,4083           |
| Chromaticity u coord                  | 0,2499           | 0,2508           |
| Chromaticity v coord                  | 0,3497           | 0,349            |
| Delta uv                              | 0,002            | 0,0011           |
| Chromaticity u' coord                 | 0,2499           | 0,2508           |
| Chromaticity v' coord                 | 0,5245           | 0,5235           |
| Peak Wavelength (nm)                  | 633,9            | 633,5            |
| Center Wavelength (nm)                | 605,2            | 606,3            |
| Centroid Wavelength (nm)              | 605,3            | 601,4            |
| Dominant Wavelength (nm)              | 582,1            | 582,5            |
| Correlated Color Temperature (deg. K) | 2994             | 2978             |
| Luminous Efficacy (lm/W)              | 72,2             | 73,2             |
| Color Rendering Index Average (RA)    | 95,38            | 95,87            |
| System Power (Watt)                   | 33W              | 33W              |
| LED Measured Surface Temperature(°C)  | 100°C            | 94°C             |

Deney sonuçlarına bakıldığında her iki sistemin aynı miktarda güç tüketmesine rağmen gayet belirgin olarak soğutucu kanatçıkları ve hava kanalları mevcut olan soğutucu da LED yüzey sıcaklığının 6 °C daha kadar düşük olması ışık akısının 33 lumen kadar daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

#### 4.1.2 Termoplastik Soğutuculu Sistemlerin Deneysel Olarak İncelenmesi

Termoplastik malzemeler soğutucu sistemlerde ucuz maliyetli olmalarından dolayı son yıllarda led ışık kaynakları veya led ampüllerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada aynı tipte bulunan 2 adet led chip modülün termoplastik malzeme alaşımli soğutucu ve aliminyum soğutucu ile performansları enerji verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler de bu iki tip soğutucuyu barındıran özdeş aynı tip led ışık kaynaklarının sıcaklık performansları analiz edilmiş. Ayrıca vermiş oldukları ışıksal güçleri verimlilik açısından karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3 : Termoplastik ve aliminyum soğutuculu yansıtıcılar

Çizelge 4.2 : Termoplastik ve AL soğutuculu yansıtıcılar ile sıcaklık ölçüm sonuçları

| Kısım Sıcaklığı (°C)<br>( <i>Temperature in Parts</i> ) | AL gövde ile | Termoplastik Gövde ile |
|---|--------------|------------------------|
| LED Yüzeyi  | 78°C         | 108°C                  |
| Soğutucu Dış Yüzeyi                                     | 65°C         | 57°C                   |

**Çizelge 4.3 :** Termoplastik ve AL soğutuculu yansıtıcılar ile fotometrik ölçüm sonuçları

| Derived Data                          | AL soğutuculu numune | Termoplastik Soğutuculu numune |
|---------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Radiant Flux (Watts)                  | 0,56                 | 0,58                           |
| Luminous Flux (lumens)                | 196                  | 176                            |
| Scotopic Luminous Flux (lm')          | 341,80               | 368,40                         |
| Chromaticity x coord                  | 0,3504               | 0,3299                         |
| Chromaticity y coord                  | 0,3761               | 0,3412                         |
| Chromaticity u coord                  | 0,2057               | 0,205                          |
| Chromaticity v coord                  | 0,3312               | 0,3182                         |
| Delta uv                              | 0,0097               | 0,0012                         |
| Chromaticity u' coord                 | 0,2057               | 0,205                          |
| Chromaticity v' coord                 | 0,4969               | 0,4772                         |
| Peak Wavelength (nm)                  | 456,2                | 454,9                          |
| Center Wavelength (nm)                | 454,8                | 456                            |
| Centroid Wavelength (nm)              | 550                  | 546,9                          |
| Dominant Wavelength (nm)              | 567,7                | 525,8                          |
| Full Width Half Max Bandwidth (nm)    | 28,1                 | 32,6                           |
| Excitation Purity (%)                 | 18                   | 1,6                            |
| Correlated Color Temperature (deg. K) | 4896                 | 5011                           |
| Luminous Efficacy (lm/W)              | 65,3                 | 58,6                           |
| Power Consumption (W)                 | 3                    | 3                              |

Elde edilen verilerden görüldüğü üzere termoplastik malzemeler ile AL soğutucu sistemleri birbirleriyle kıyasladığımızda, termoplastik soğutuculu malzemenin ısı transferini AL soğutucuya kıyasla etkin yapamadığı gayet açıktır. Çünkü Led sıcaklığı AL soğutuculu numuneye kıyasla yüksek kalmakla beraber soğutucunun dış kasasındaki sıcaklık ile led sıcaklığı arasındaki fark; soğutucuların hacmen aynı olması ve de ledlerin yüzeye maskelendiği konumlarının aynı olmasıyla birlikte büyüktür. Ayrıca termoplastik soğutucu reflektörlü Led ışık kaynağındaki sıcaklığın AL soğutuculu led sıcaklığına kıyasla fazla olması fotometrik açıdan incelendiğinde de, tüketilen güçlerin aynı olmasına rağmen yaymış oldukları ışıksal gücün (lumen cinsinden) daha düşük kaldığı ve de bunun sonucunda ışıksal verimliliğin olumsuz etkilendiğini açıkça bize göstermektedir.



## 4.2 Led Işık Kaynakların Farklı Akımlarda Performans Etkileri

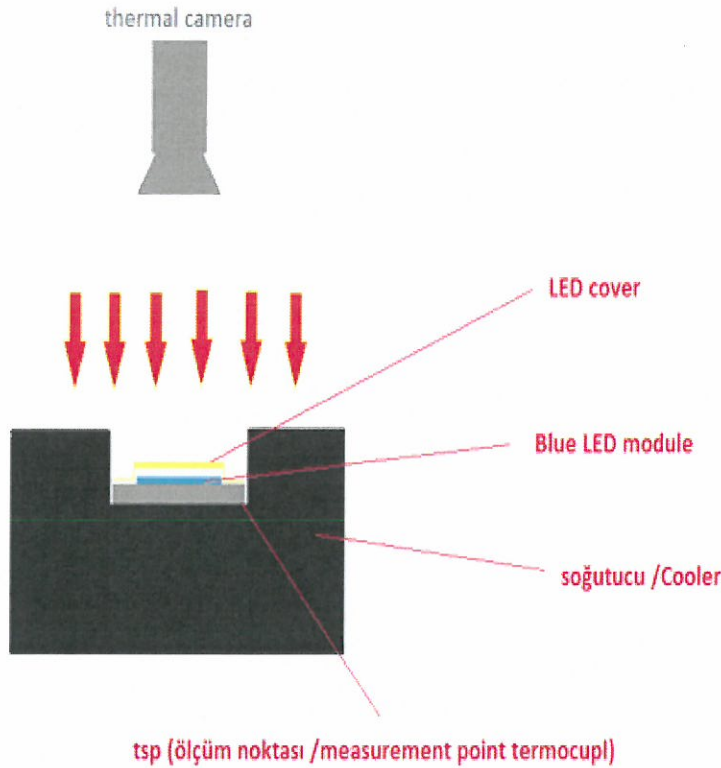
Bu çalışmada 1 adet COB led modüle 500mA ve 630mA olmak üzere iki farklı akım değerlerinde sabit DC gerilim altında uygulanmıştır. Led sistemlerinde uygulanan akım değerlerine göre LED ışık kaynağın verimlilikleri kıyaslanmıştır. Led sistemlere uygulanan akım değeri artırılması, Led sistemin fazla güç tüketmesi ve de buna paralel olarak yayılan ısı enerjisinin artması ve yayılan ışık enerjisinin azalması anlamına gelmektedir. Bu nedenle led sistemi ilk olarak 500mA akım değerinde led sistemin sıcaklıkları ve vermiş olduğu ışık gücü ölçülmüş , sonrasında 630mA değerinde akım aynı sisteme uygulanarak deney tekrarlanmıştır.

Uygulanan LED Gücü / Applied LED Power : 23W 501mA ; 31W 630mA

Kullanılan Cihaz/Equipment Used : Fluke 179 multimeter , Extetch SDL400 , Testo 875 Thermal Camera

Deney Ortam Şartları/Experimental Ambient Conditions: 25°C ±3°C, 35%RH±5%RH

Ölçüm Noktaları / Measurement Points

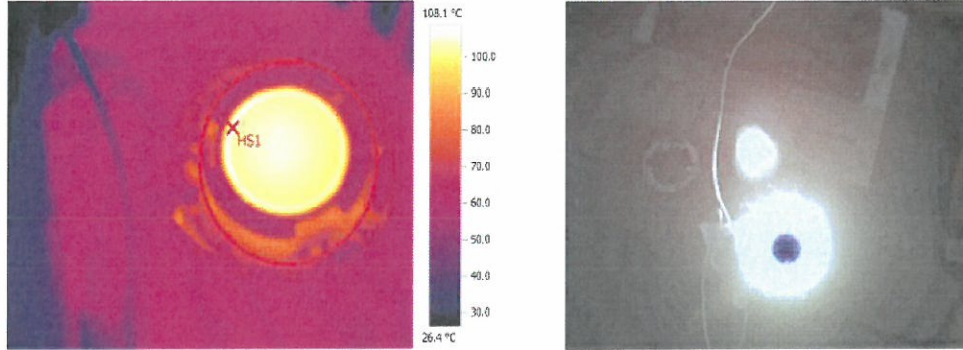




Şekil 4.4 : 500mA-630mA değerlerinde ölçülen led pcb yüzey sıcaklıkları



Ayrıca led yüzeyine yayılan sıcaklık değerler Şekil 4.5 ' de görüldüğü gibi termal kamerada izlenmiştir.

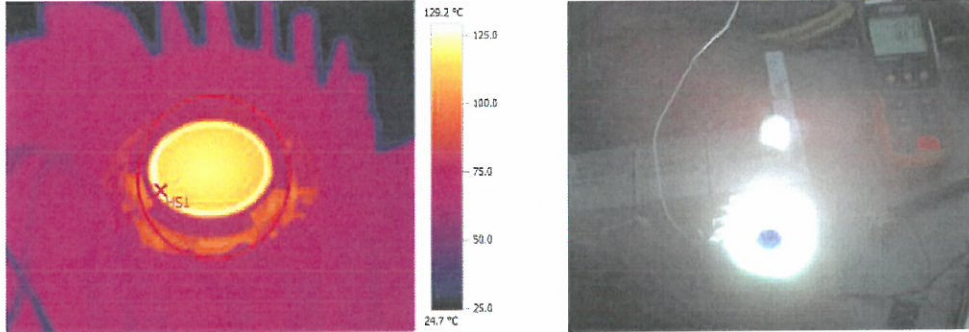


**Resim parametreleri:**

Emisyon derecesi: 1.00  
Yans. sic. [°C]: 20.0

**Resim işaretleri:**

| Ölçüm nesneleri  | Sıcaklık [°C] | Emisiv. | Yans. sic. [°C] | Notlar |
|------------------|---------------|---------|-----------------|--------|
| En sıcak nokta 1 | 108.1         | 1.00    | 20.0            | -      |



**Resim parametreleri:**

Emisyon derecesi: 1.00  
Yans. sic. [°C]: 20.0

**Resim işaretleri:**

| Ölçüm nesneleri  | Sıcaklık [°C] | Emisiv. | Yans. sic. [°C] | Notlar |
|------------------|---------------|---------|-----------------|--------|
| En sıcak nokta 1 | 129.2         | 1.00    | 20.0            | -      |

**Şekil 4.5 :** 500mA (üstteki) – 630mA (alttaki) akımlardaki led chip modülün yüzey termal kamera ölçümleri

Aynı led modül 500 ve 630mA değerlerinde fotometrik ölçümler ışık küre (Sphere) sisteminde ölçülmüş , ölçüm sonuçları Çizelge 4.4 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : Led modülün farklı akım değerlerinde fotometrik ölçüm sonuçları

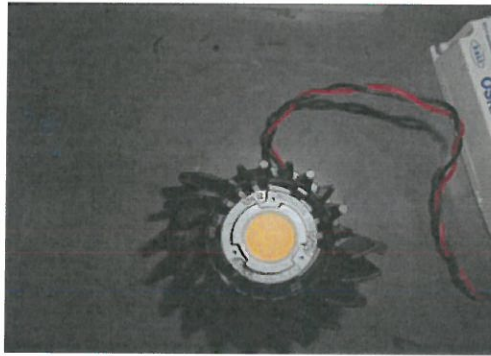
| Parameter                             | Scan 1- 630mA led | Scan 2-500mA led |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|
| Radiant Flux (Watts)                  | 6,21              | 5,082            |
| Luminous Flux (lumens)                | 1901,00           | 1553             |
| Scotopic Luminous Flux (lm')          | 2816,00           | 2293             |
| Chromaticity x coord                  | 0,4059            | 0,4068           |
| Chromaticity y coord                  | 0,3831            | 0,3841           |
| Chromaticity u coord                  | 0,2393            | 0,2395           |
| Chromaticity v coord                  | 0,3388            | 0,3391           |
| Delta uv                              | 0,0038            | 0,0036           |
| Chromaticity u' coord                 | 0,2393            | 0,2395           |
| Chromaticity v' coord                 | 0,5082            | 0,5087           |
| Peak Wavelength (nm)                  | 599,6             | 599,3            |
| Center Wavelength (nm)                | 589,7             | 589,6            |
| Centroid Wavelength (nm)              | 579,7             | 580,8            |
| Dominant Wavelength (nm)              | 582,8             | 582,7            |
| Full Width Half Max Bandwidth (nm)    | 152,5             | 152,8            |
| Excitation Purity (%)                 | 36,8              | 37,4             |
| Correlated Color Temperature (deg. K) | 3421              | 3409             |
| Luminous Efficacy (lm/W)              | 67,8              | 70               |
| Correlation                           | 0,0054            | 0,0054           |
| Correlation Coefficient               | 0,003483653       | 0,003249694      |
| Color Rendering Index Average (RA)    | 83,41035511       | 83,58691482      |
| Power Consumption (W)                 | 28W               | 22W              |
| Applied Current (mA)                  | 631mA             | 500mA            |

Bu deneyde görüldüğü gibi sabit 44 V DC bir gerilim altında sürülme akımının 500mA değerinden 630mA değerine yükseltilerek led ışık kaynağını sürdürdüğümüzde tüketmiş olduğu elektriksel güç artmakta ve bunun sonucunda yaymış olduğu ışık gücü lumen cinsinden artmaktadır. Ancak led akımının yükseltilmesi, led yüzey sıcaklığını yükseltmiş ve bunun sonucunda led ışık kaynağının vermiş olduğu ışıksal verimlilik azalmıştır. Diğer bir deyişle akımın yükseltilme oranı kadar verdiği ışık akısı miktarı artmış olmasına rağmen aynı oranda artmamıştır. Bu nedenle Eğer led ışık kaynakları kullanılarak yapılacak bir aydınlatma sistemi tasarımlanırken, seçilecek akım değerine göre uygun bir soğutma sistemi seçilmelidir.

### 4.3 Led Işık Kaynakların Optik Elementlere Karşı Performans Örnekleri

#### 4.3.1 Reflektör ve Yansıtıcı Parçaların Verimliliğe Etkileri

Bu çalışmada örnek bir aydınlatma armatürün yansıtıcı ve yansıtıcı ekümanlara karşı fotometrik yönden duyarlılıkları incelenmiştir. Şekil 4.6 'da görülen parçalar sırasıyla aydınlatma armatürüne monte edilmiş sonrasında fotometrik ölçümleri yapılmıştır. Fotometrik ölçümler yapılırken kullanılan sistemler; Radianzemax marka NFMS gonyofotometre ve Sphereoptic marka CDS600 spektrometrelili ışık küresidir.



LED MODULE-1901 lm



LED MODULE (with only reflector)-1251 lm



LED MODULE (with reflector & frame)-1241 lm



Frame



Reflector

Şekil 4.6: Reflektör çerçevesi tavana gömme tip armatür

**Çizelge 4.5 : Reflektörlü, reflektörsüz ve çerçeveli led kaynağın fotometrik kıyaslama Çizelgesi**

| <b>31W power system , Led Current 630mA</b> | <b>Scan 1-LED MODUL</b> | <b>Scan 2- LED MODUL (with only reflector)</b> | <b>Scan 3- LED MODUL (with reflector &amp; frame )</b> |
|---|-------------------------|--|--|
| Date/Time                                   | 10.02.2015<br>09:53     | 10.02.2015<br>14:01                            | 10.02.2015<br>14:13                                    |
| Radiant Flux (Watts)                        | 6,21                    | 4,063  | 3,995  |
| Luminous Flux (lumens)                      | <b>1901,00</b>          | <b>1251</b>                                    | <b>1241</b>  |
| Scotopic Luminous Flux (lm')                | 2816,00                 | 1812   | 1798   |
| Chromaticity x coord                        | 0,4059                  | 0,4124   | 0,4123   |
| Chromaticity y coord                        | 0,3831                  | 0,3898   | 0,3897   |
| Chromaticity u coord                        | 0,2393                  | 0,2407   | 0,2407   |
| Chromaticity v coord                        | 0,3388                  | 0,3413   | 0,3413   |
| Delta uv                                    | 0,0038                  | 0,0025   | 0,0025   |
| Chromaticity u' coord                       | 0,2393                  | 0,2407   | 0,2407   |
| Chromaticity v' coord                       | 0,5082                  | 0,5119   | 0,5119   |
| Peak Wavelength (nm)                        | 599,6                   | 606,7  | 606,6  |
| Center Wavelength (nm)                      | 589,7                   | 589,6  | 589,7  |
| Centroid Wavelength (nm)                    | 579,7                   | 582,2  | 579,9  |
| Dominant Wavelength (nm)                    | 582,8                   | 582,3  | 582,3  |
| Correlated Color Temperature (deg. K)       | 3421                    | 3338   | 3340   |
| Color Rendering Index Average (RA)          | 83,41                   | 83,67  | 83,65  |
| Color Rendering Index (R1)                  | 82,5                    | 82,6   | 82,6   |
| Color Rendering Index (R2)                  | 89                      | 89   | 89   |
| Color Rendering Index (R3)                  | 93,2                    | 93,4   | 93,5   |
| Color Rendering Index (R4)                  | 82,2                    | 83   | 82,9   |
| Color Rendering Index (R5)                  | 82                      | 82,2   | 82,2   |
| Color Rendering Index (R6)                  | 84,3                    | 84,7   | 84,7   |
| Color Rendering Index (R7)                  | 86,1                    | 86,5   | 86,5   |
| Color Rendering Index (R8)                  | 68                      | 68   | 67,9   |
| Color Rendering Index (R9)                  | 22,7                    | 22,6   | 22,5   |
| Color Rendering Index (R10)                 | 73,4                    | 73,6   | 73,6   |
| Color Rendering Index (R11)                 | 80,3                    | 81,5   | 81,5   |
| Color Rendering Index (R12)                 | 66,9                    | 67,6   | 67,5   |
| Color Rendering Index (R13)                 | 83,7                    | 83,8   | 83,8   |
| Color Rendering Index (R14)                 | 95,9                    | 96   | 96   |

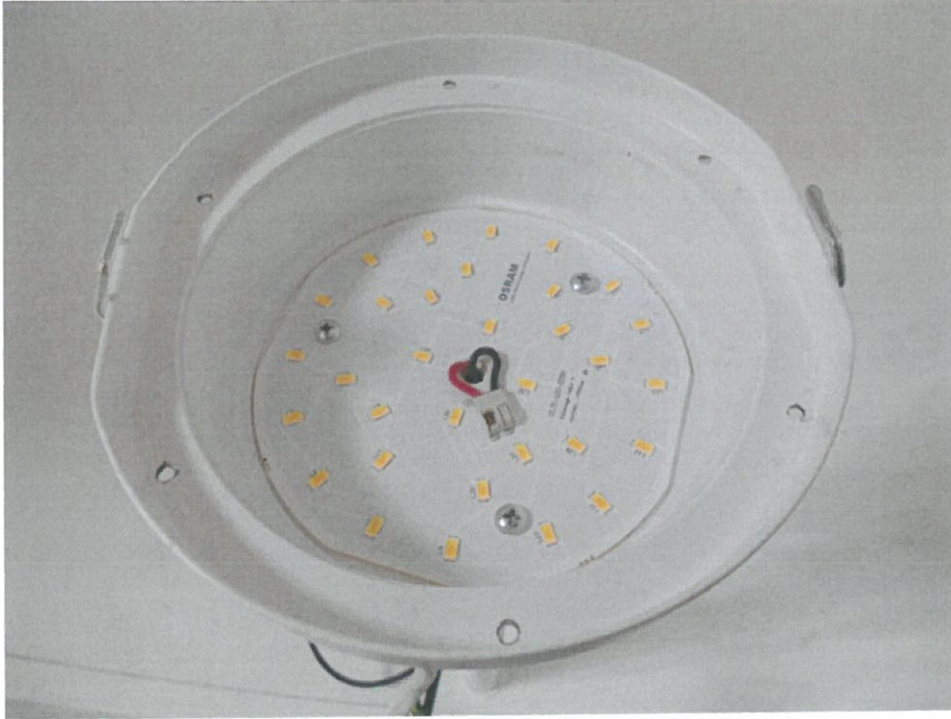
Çizelge 4.5 'de görüldüğü gibi aydınlatma armatürü haline getirilen led ışık kaynağına ilave edilen her bir parça, lumen cinsinden ışıksal gücü etkilemektedir.



### 4.3.2 Difüzörlerin Verimliliğe Etkileri

Difüzörler; Önceki bölümde bahsedildiği üzere gelen ışığı dağıtarak yansıtma özelliğinden dolayı aydınlatma sektöründe kamaşma önleyici, ışık karıştırıcı, homojen dağılım elde etmek için kullanılmaktadır. Ancak difüzörleri aydınlatma ışık kaynaklarında kullanırken ışıksal geçirgenlikleri dikkate almak bir yana, özellikle LED ışık kaynaklarında kullanırken led kaynağın ortam sıcaklığını arttırabileceği ve de bunun sonucunda ışıksal verimin düşebileceği unutulmamalıdır.

Şekil 4.7 'de görülen bir led ışık kaynaklı armatüre ilk olarak fotometrik ölçümleri gerçekleştirilip, ardından armatür içindeki yansımalarla oluşan soğurulmayı engellemek için beyaz renk yansıtıcı YONGTEK marka kağıt malzeme ilave edilmiş (Şekil 4.8) ölçüm tekrarlanmıştır. Son olarak daire şeklinde yarı şeffaf difüzör kullanılarak fotometrik ölçüm yapılmış, elde edilen ölçümlerin sonuçları Çizelge 4.6 'da sunulmuştur.



Şekil 4.7 : Örnek bir LED ışık kaynaklı armatür

Çizelge 4.6 : Difüzörlü ve difüzörsüz ölçüm sonuçları

| Parameter                             | ilavesiz ölçüm     | Yongtek malzeme ilaveli | Difüzör + Yongtek malzeme ilaveli |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Date/Time                             | 13.3.2015<br>10:13 | 13.3.2015 12:02         | 13.3.2015 13:29                   |
| Radiant Flux (Watts)                  | 3,51               | 3,68                    | 3,33                              |
| Luminous Flux (lumens)                | 1090,00            | 1134,00                 | 1030,00                           |
| Scotopic Luminous Flux (lm')          | 1913,00            | 1990,00                 | 1796,00                           |
| Chromaticity x coord                  | 0,376              | 0,3763                  | 0,3777                            |
| Chromaticity y coord                  | 0,3707             | 0,3708                  | 0,3718                            |
| Chromaticity u coord                  | 0,2246             | 0,2247                  | 0,2253                            |
| Chromaticity v coord                  | 0,3322             | 0,3322                  | 0,3326                            |
| Delta uv                              | 0,0021             | 0,0021                  | 0,0022                            |
| Chromaticity u' coord                 | 0,2246             | 0,2247                  | 0,2253                            |
| Chromaticity v' coord                 | 0,4982             | 0,4983                  | 0,499                             |
| Peak Wavelength (nm)                  | 455,1              | 455                     | 455                               |
| Center Wavelength (nm)                | 457,6              | 457,6                   | 457,8                             |
| Centroid Wavelength (nm)              | 566,9              | 568                     | 568,1                             |
| Dominant Wavelength (nm)              | 579,7              | 579,8                   | 579,8                             |
| Full Width Half Max Bandwidth (nm)    | 26,3               | 26,6                    | 26,7                              |
| Excitation Purity (%)                 | 24,1               | 24,2                    | 24,9                              |
| Correlated Color Temperature (deg. K) | 4076               | 4069                    | 4037                              |
| Luminous Efficacy (lm/W)              | 99,09              | 103,09                  | 93,63                             |
| Correlation                           | 0,0054             | 0,0054                  | 0,0054                            |
| Correlation Coefficient               | 0,001544672        | 0,001572433             | 0,001539737                       |
| Color Rendering Index Average (RA)    | 85,88600657        | 86,05137027             | 85,93954341                       |
| Color Rendering Index (R1)            | 85                 | 85,2                    | 85,1                              |
| Color Rendering Index (R2)            | 92,6               | 92,7                    | 92,7                              |
| Color Rendering Index (R3)            | 95,6               | 95,6                    | 95,7                              |
| Color Rendering Index (R4)            | 82,6               | 82,8                    | 82,6                              |
| Color Rendering Index (R5)            | 84,1               | 84,3                    | 84,2                              |
| Color Rendering Index (R6)            | 87,7               | 87,9                    | 87,9                              |
| Color Rendering Index (R7)            | 87,9               | 88                      | 87,8                              |
| Color Rendering Index (R8)            | 71,6               | 71,9                    | 71,6                              |
| Color Rendering Index (R9)            | 29,8               | 30,6                    | 30                                |
| Color Rendering Index (R10)           | 80,6               | 80,8                    | 80,8                              |
| Color Rendering Index (R11)           | 80,4               | 80,6                    | 80,4                              |
| Color Rendering Index (R12)           | 63,4               | 63,7                    | 63,8                              |
| Color Rendering Index (R13)           | 87,2               | 87,4                    | 87,3                              |
| Color Rendering Index (R14)           | 97,8               | 97,8                    | 97,9                              |



(a)

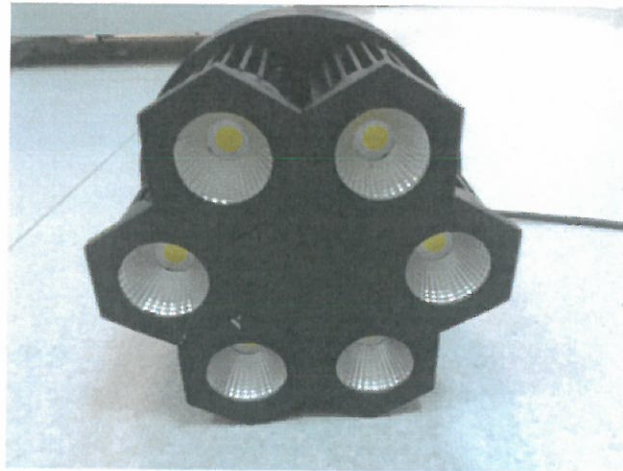


(b)

**Şekil 4.8 :** (a)Yongtek kağıt malzeme ilaveli - (b)Pleksi difüzör ilaveli

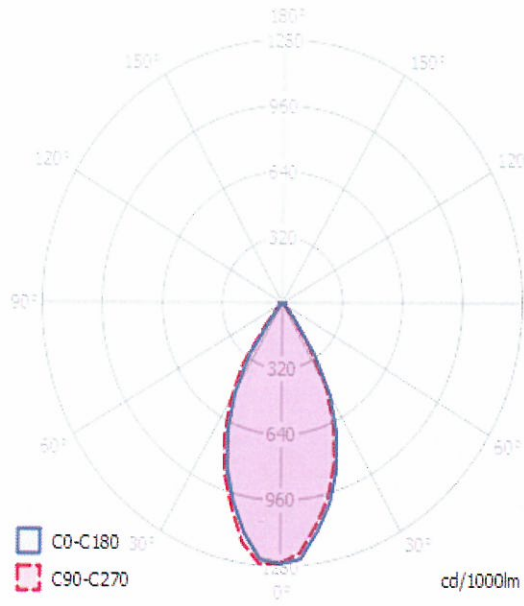
Çizelge 4.7 ' de açıkça görüldüğü gibi bir LED ışık kaynağın ışıksal performansı, yansıtma derecesi yüksek kalitede olan beyaz kağıt bir malzeme, kullanılarak artırılmıştır. Çünkü ışık kaynağın armatürün tabanında yerleştirilmesi neticesinde çıkan ışıkların armatür iç duvarlarında soğurulmasını engelleyerek, ışığın dışarıya yönlenmesini sağlamaktadır. Ancak önüne pleksi malzemeden yapılmış difüzörün yerleşmesiyle ışıksal verimlilik düşmüştür. Bunun sebebi difüzör malzemenin ışık geçirgenliği vede LED ortamında sıcaklığın hapsolmesidir.

Difüzörlerin ışığı dağıtmasıyla ilgili bir başka örnek Şekil4.9 'da gösterilen bir altıgen petekli led tipi ışık armatürüne uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada aynı armatür önce difüzörsüz olarak ölçülmüş, sonrasında difüzör eklenilerek ölçümler tekrarlanmıştır.

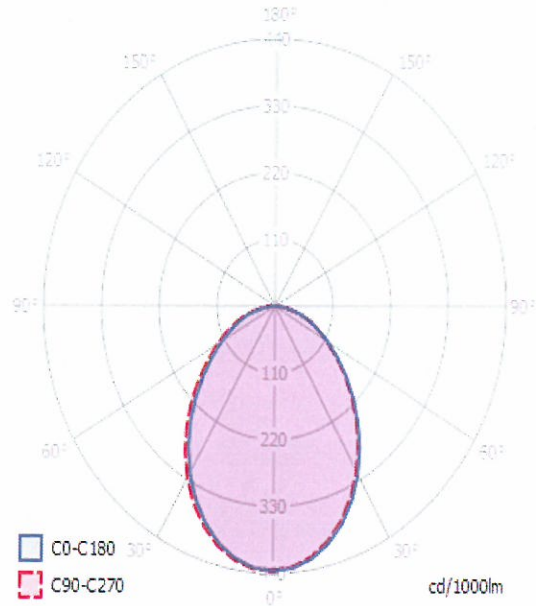


**Şekil 4.9 :** Altıgen petekli Led ışık kaynaklı armatür





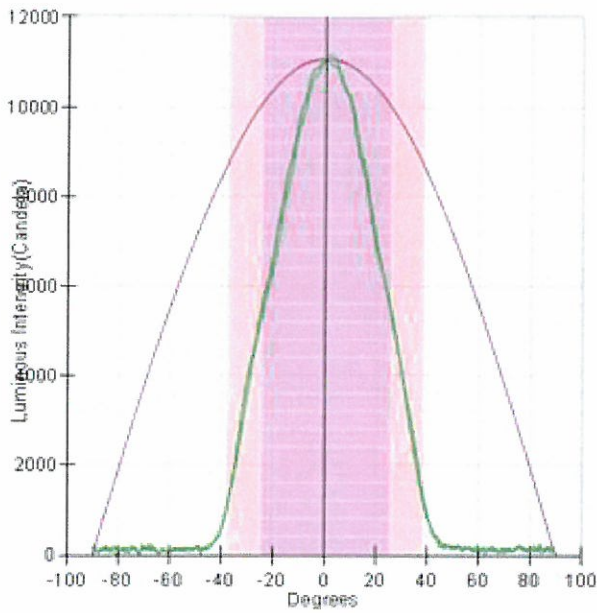
(a)



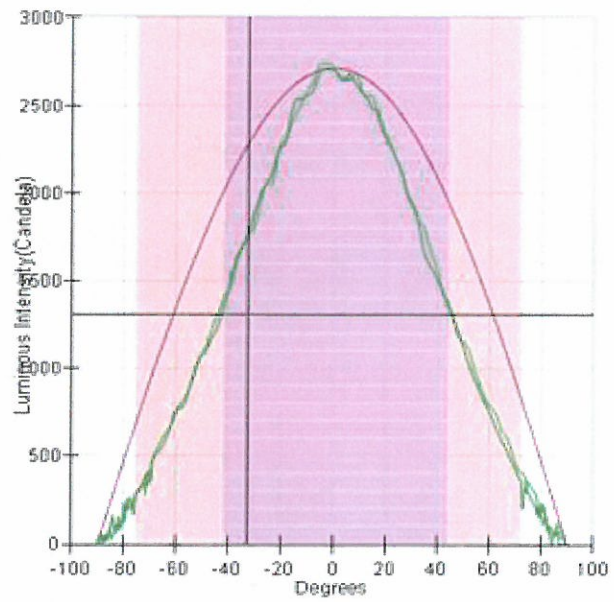
(b)

Şekil 4.10 : (a) Difüzörsüz -(b) Difüzörlü polar dağılım grafikler

Elde edilen grafikler incelendiğinde, armatürden yayılan ışığın açısı difüzörün ışığı dağıtıcı etkisinden dolayı artmış (Şekil 4.10), Çizelge 4.7 'de görüldüğü üzere ışıksal verimliliği azalmıştır.



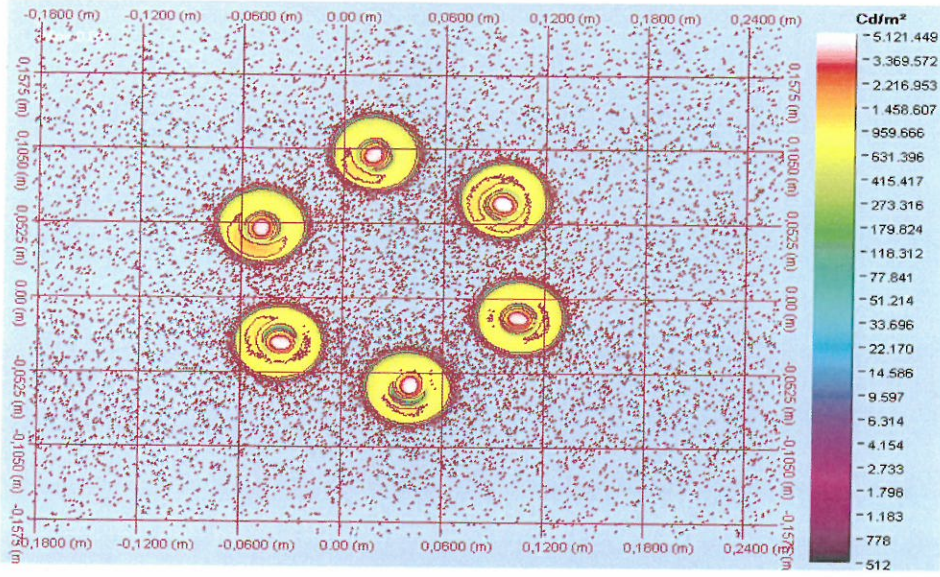
(a)



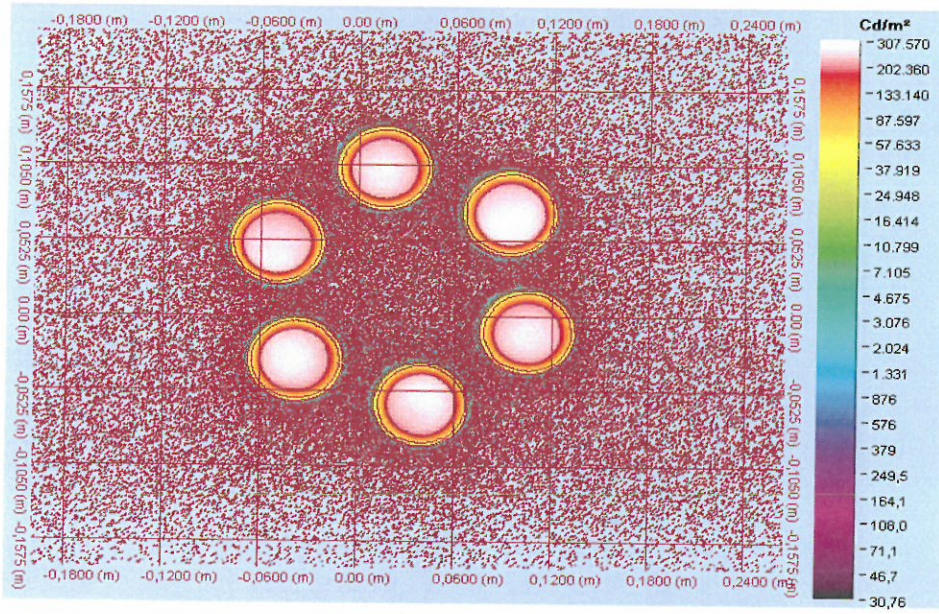
(b)

Şekil 4.11 : (a) Difüzörsüz – (b) Difüzörlü kartezyen dağılım grafikler

Armatürde difüzör kullanılmasıyla ışık kaynaklarının merkezlerindeki parlaklık değerleri azaltılmış olup elde edilen ışık dağılımı olduğu Şekil 4.12 'de açıkça görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.12 : (a) Difüzörsüz – (b) Difüzörlü elde edilen Parlaklık grafikleri

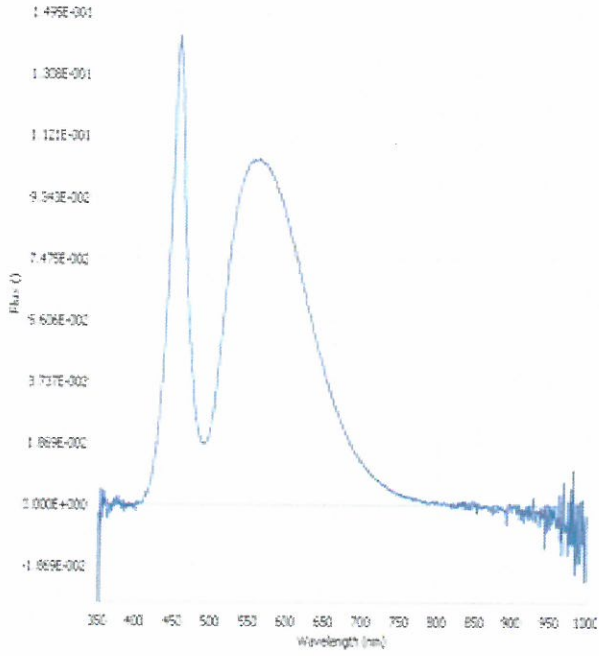


Ayrıca verimlilik açısından incelendiğinde armatürün toplam tükettiği elektrik gücü 136W olmakla beraber difüzör kullanılmasıyla 14,27 lm/Watt 'lık bir enerji kaybı söz konusudur.

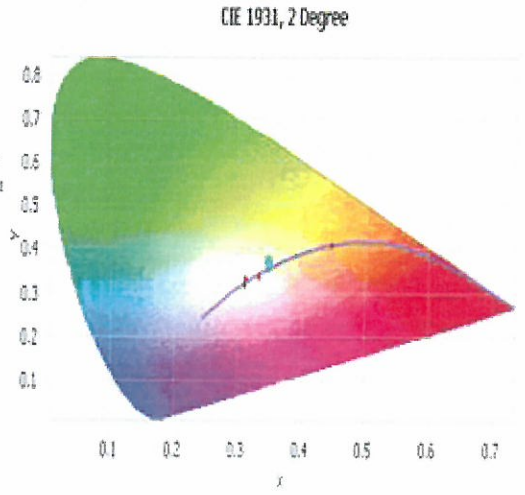
**Çizelge 4.7 : LED armatür difüzörlü ve difüzörsüz fotometrik sonuçlar**

| Parameter                             | Difüzörsüz  | Difüzörlü   |
|---------------------------------------|-------------|-------------|
| Radiant Flux (Watts)                  | 23.55       | 17.38       |
| Luminous Flux (lumens)                | 8016.00     | 6075.00     |
| Scotopic Luminous Flux (lm')          | 14090.00    | 10580.00    |
| Chromaticity x coord                  | 0.3452      | 0.3477      |
| Chromaticity y coord                  | 0.3638      | 0.3677      |
| Chromaticity u coord                  | 0.2068      | 0.2071      |
| Chromaticity v coord                  | 0.327       | 0.3284      |
| Delta uv                              | 0.0052      | 0.0068      |
| Chromaticity u' coord                 | 0.2068      | 0.2071      |
| Chromaticity v' coord                 | 0.4905      | 0.4927      |
| Peak Wavelength (nm)                  | 453.7       | 454         |
| Center Wavelength (nm)                | 453.2       | 453.4       |
| Centroid Wavelength (nm)              | 549.5       | 544.6       |
| Dominant Wavelength (nm)              | 567.5       | 568.2       |
| Full Width Half Max Bandwidth (nm)    | 23.1        | 23.9        |
| Correlated Color Temperature (deg. K) | 5033        | 4955        |
| Luminous Efficacy (lm/W)              | 58,94       | 44,67       |
| Color Rendering Index Average (RA)    | 70.28503429 | 70.23272605 |
| Color Rendering Index (R1)            | 66.6        | 66.1        |
| Color Rendering Index (R2)            | 76.1        | 76.2        |
| Color Rendering Index (R3)            | 80.8        | 81.6        |
| Color Rendering Index (R4)            | 68.6        | 67.5        |
| Color Rendering Index (R5)            | 66.3        | 65.2        |
| Color Rendering Index (R6)            | 65.2        | 65          |
| Color Rendering Index (R7)            | 82.7        | 84.1        |
| Color Rendering Index (R8)            | 56          | 56.2        |
| Color Rendering Index (R9)            | -32.1       | -32         |
| Color Rendering Index (R10)           | 40.8        | 41.1        |
| Color Rendering Index (R11)           | 61.5        | 59.7        |
| Color Rendering Index (R12)           | 34.4        | 30.5        |
| Color Rendering Index (R13)           | 68.2        | 67.9        |
| Color Rendering Index (R14)           | 88.9        | 89.4        |

▼ SPECTRAL FLUX GRAPH:

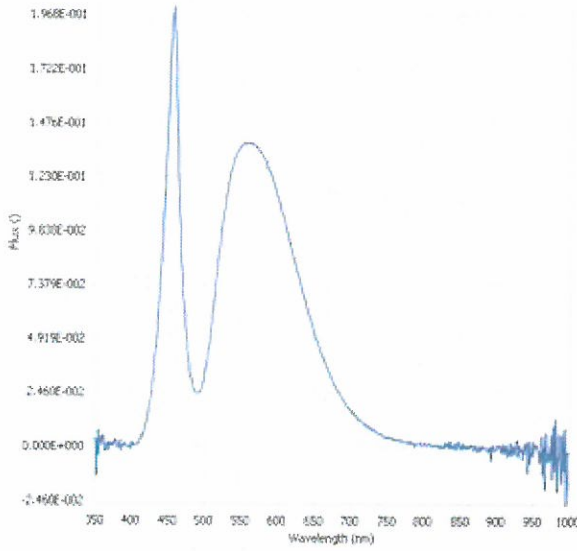


▼ CHROMATICITY DIAGRAM:

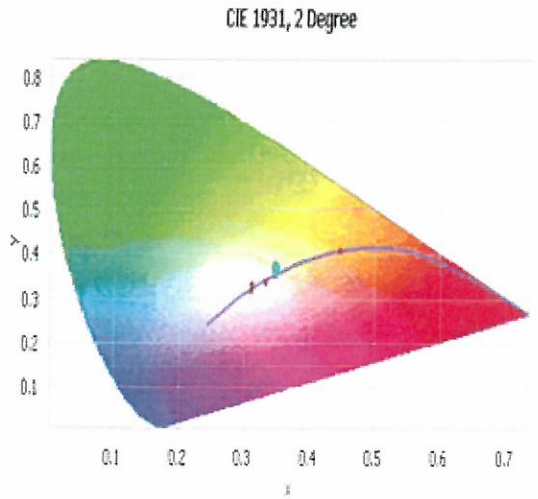


(a)

▼ SPECTRAL FLUX GRAPH:



▼ CHROMATICITY DIAGRAM:



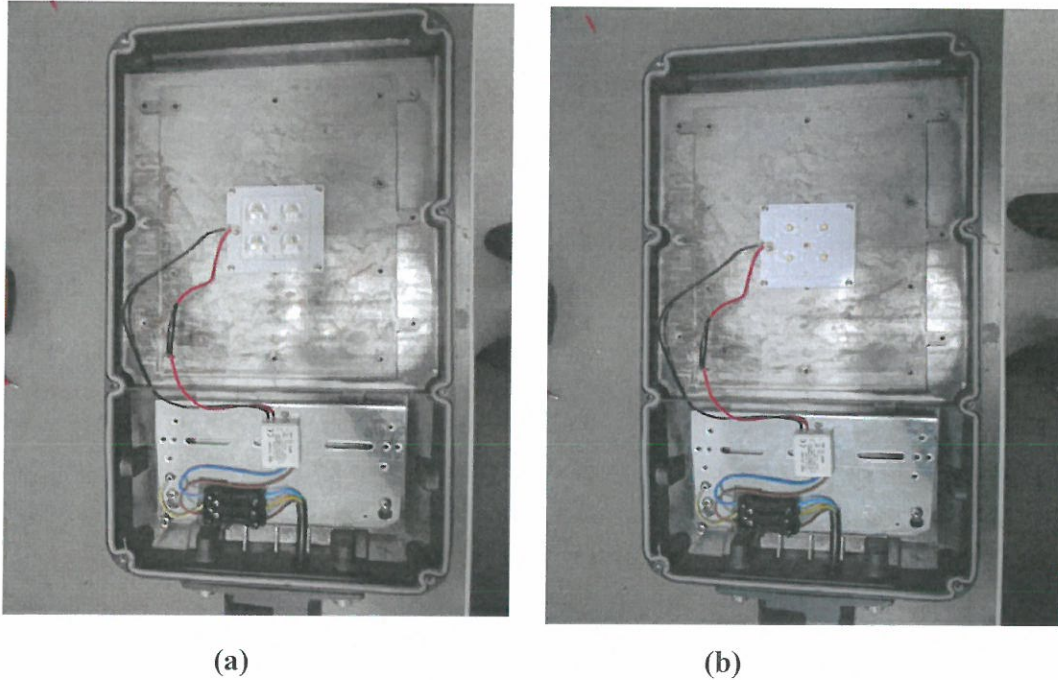
(b)

Şekil 4.13 : (a) Difüzlü – (b) Difüzlüsz elde edilen spektral grafikler

### 4.3.3 Lenslerin Verimliliğe Etkileri

Lensler, Aydınlatma sistemlerinde led ışık kaynaklarından çıkan ışığı toplamak için, istenilen bölgelere yönlendirmek için kullanılmaktadır. Ancak günümüz tasarımcıları lens kullanımının bazı led armatür tasarımlarında optik geçirgenlikten dolayı armatür verimliliğini ilave kayıp olarak hesap etseler bile, gerçekte bunun böyle olmadığı, diğer bir deyişle led sistemlerin geniş bir açıda ışıma yapması, ışığın gereksiz yönlerde doğru dağılmasına neden olması, buna örnek olarak, armatür iç yüzeyindeki yan duvalara led kaynaktan çıkan ışığın yansınmasıyla oluşan kayıpların lens kullanılarak ışığı toplayıp armatürün dışındaki istenilen hedef bölgeye doğru yönlendirmesi, lens geçirgenliğinden dolayı oluşacak kayıplar bir yana verimlilik açısından fayda sağlamaktadır. Bu durumlar ile alakalı deneyler yapılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.14 'de ilk olarak lens kayıpları üzerine örnek bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulama bizlere lens kaybına basit bir örnektir. Bu uygulamada ilk olarak led kaynak, lens kullanılmadan ölçülmüş, sonrasında aynı sisteme lens ilave edilerek ışık diyagramları ve çıkan ışık akıları karşılaştırılmıştır.

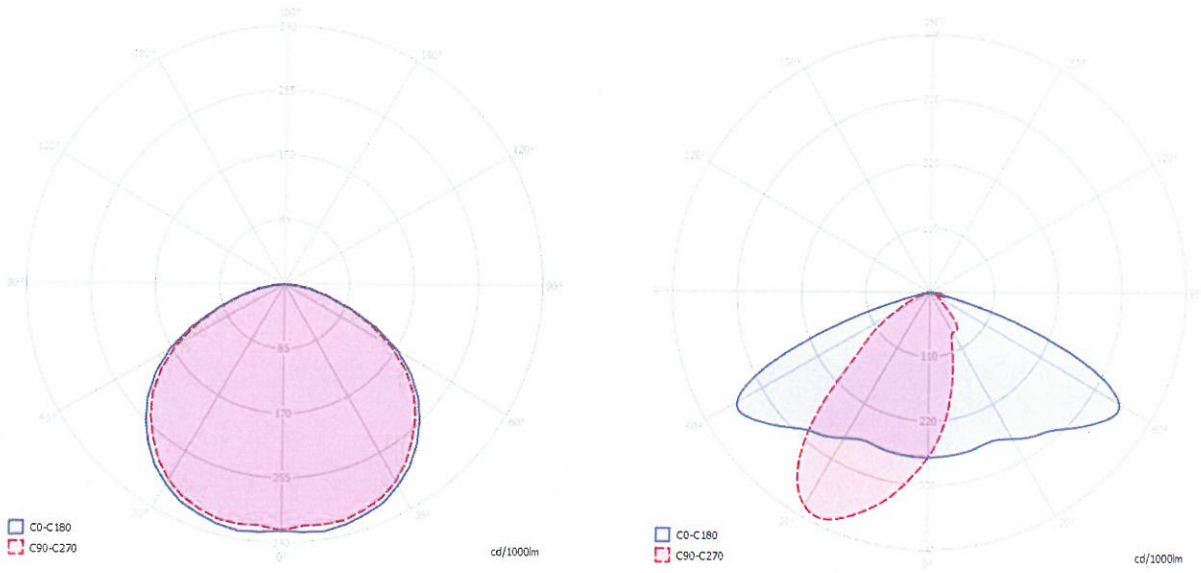


Şekil 4.14 : (a) Armatür lens ile – (b) Armatür lenssiz



**Çizelge 4.8 : LED armatür lensli ve lenssiz fotometrik sonuçlar**

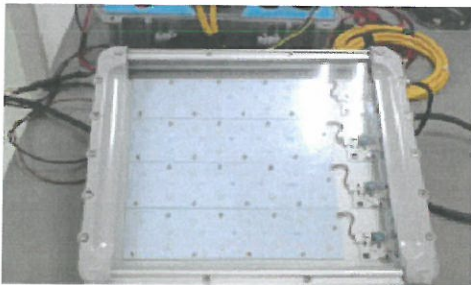
| Parameter                             | Scan 1 LENSİLİ   | Scan 2 LENSSİZ   |
|---------------------------------------|------------------|------------------|
| Date/Time                             | 18.03.2015 17:47 | 18.03.2015 18:26 |
| Radiant Flux (Watts)                  | 1,785            | 1,876            |
| Luminous Flux (lumens)                | 592,5            | 623,5            |
| Scotopic Luminous Flux (lm')          | 933,1            | 986,1            |
| Chromaticity x coord                  | 0,3916           | 0,3905           |
| Chromaticity y coord                  | 0,3886           | 0,3874           |
| Chromaticity u coord                  | 0,2277           | 0,2275           |
| Chromaticity v coord                  | 0,3389           | 0,3384           |
| Delta uv                              | 0,002            | 0,0018           |
| Chromaticity u' coord                 | 0,2277           | 0,2275           |
| Chromaticity v' coord                 | 0,5083           | 0,5077           |
| Peak Wavelength (nm)                  | 449,7            | 449,6            |
| Center Wavelength (nm)                | 450,5            | 450,6            |
| Centroid Wavelength (nm)              | 566,9            | 565,9            |
| Dominant Wavelength (nm)              | 578,7            | 578,8            |
| Full Width Half Max Bandwidth (nm)    | 19,7             | 19,7             |
| Excitation Purity (%)                 | 34,1             | 33,5             |
| Correlated Color Temperature (deg. K) | 3799             | 3815             |
| Luminous Efficacy (lm/W)              | 118,5 lm/Watt    | 124,6            |
| SDCM                                  | 57.2 F 6500      | 56.4 F 6500      |
| Correlation                           | 0,0054           | 0,0054           |
| Correlation Coefficient               | 0,00235204       | 0,002088978      |
| Color Rendering Index Average (RA)    | 81,90284508      | 81,96304733      |
| Color Rendering Index (R1)            | 80,6             | 80,7             |
| Color Rendering Index (R2)            | 86,5             | 86,6             |
| Color Rendering Index (R3)            | 90,8             | 90,8             |
| Color Rendering Index (R4)            | 82,1             | 82,1             |
| Color Rendering Index (R5)            | 79,7             | 79,8             |
| Color Rendering Index (R6)            | 81               | 81,1             |
| Color Rendering Index (R7)            | 87,6             | 87,5             |
| Color Rendering Index (R8)            | 66,9             | 67               |
| Color Rendering Index (R9)            | 12,6             | 12,9             |
| Color Rendering Index (R10)           | 67,3             | 67,4             |
| Color Rendering Index (R11)           | 80,1             | 80,1             |
| Color Rendering Index (R12)           | 56,2             | 56,3             |
| Color Rendering Index (R13)           | 81,7             | 81,8             |
| Color Rendering Index (R14)           | 94,5             | 94,5             |



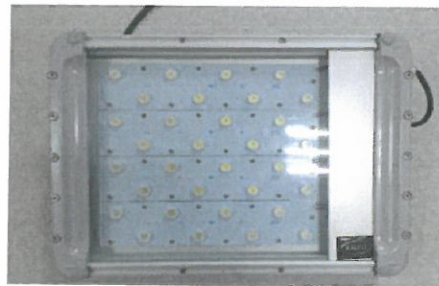
**Şekil 4.15 :** (a) Polar diagram (lenssiz) – (b) Polar diagram (lensli)

izelge 4.8 ‘de lens kullanılmasıyla elde edilen ışık güçleri karşılaştırıldığında, bu uygulamadaki lens geçirgenliğinin %95 olduğu anlaşılmakta, lens kullanılmasıyla %5 ‘lik bir ışık kaybı olduğu gayet açıktır. Fakat bazı tasarımlarda lens kullanılmasıyla armatürden yayılan ışık akısı artabilmektedir. Bu durum ile alakalı başka bir deney yapılmıştır.

Şekil 4.16 ‘da dar açılı bir lensli bir led projektörün fotometrik ölçümleri yapılmış, aynı armatürün lensleri çıkartılarak fotometrik ölçümleri tekrarlanmıştır. Ledlerin armatürün iç yüzeyinde derinliği olan bir ortamda bulunması esasen fotometrik açıdan verimliliği düşürmüştür. Çünkü ledler geniş açıda ışımaktadır. Bu yüzden ledlerden çıkan ışıkların bir bölümü lens olmadığından dolayı armatür yan yüzeylere çarpıp kayıp oluşturmaktadır. Çizelge 4.9’da ortaya çıkan ışık kaybı açıkça görülmektedir.

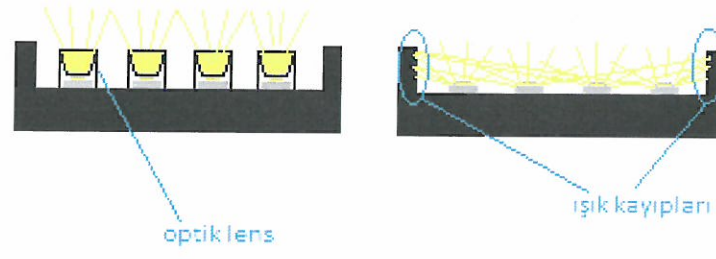


(a)



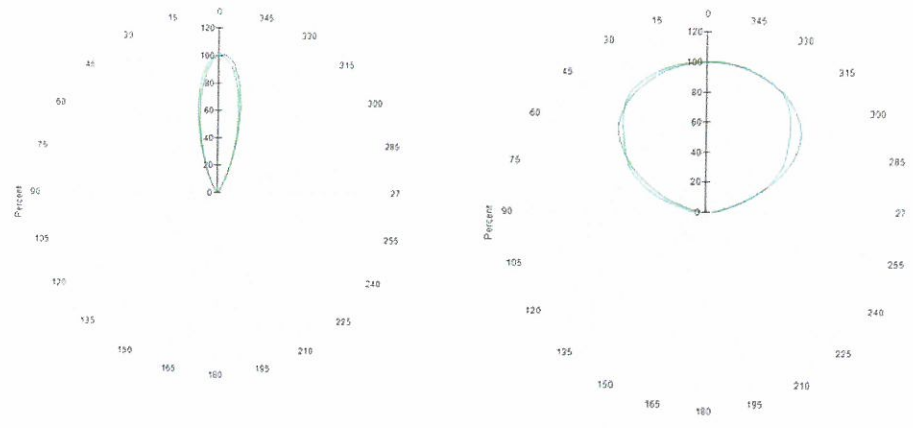
(b)

**Şekil 4.16 :** (a) Led projektör lenssiz – (b) Led projektör dar açılı lens ile



(a)

(b)



Şekil 4.17 : (a) Polar diagram dar açılı lensli – (b) Polar diagram lenssiz

Çizelge 4.9 : LED projektör lensli ve lenssiz fotometrik sonuçlar

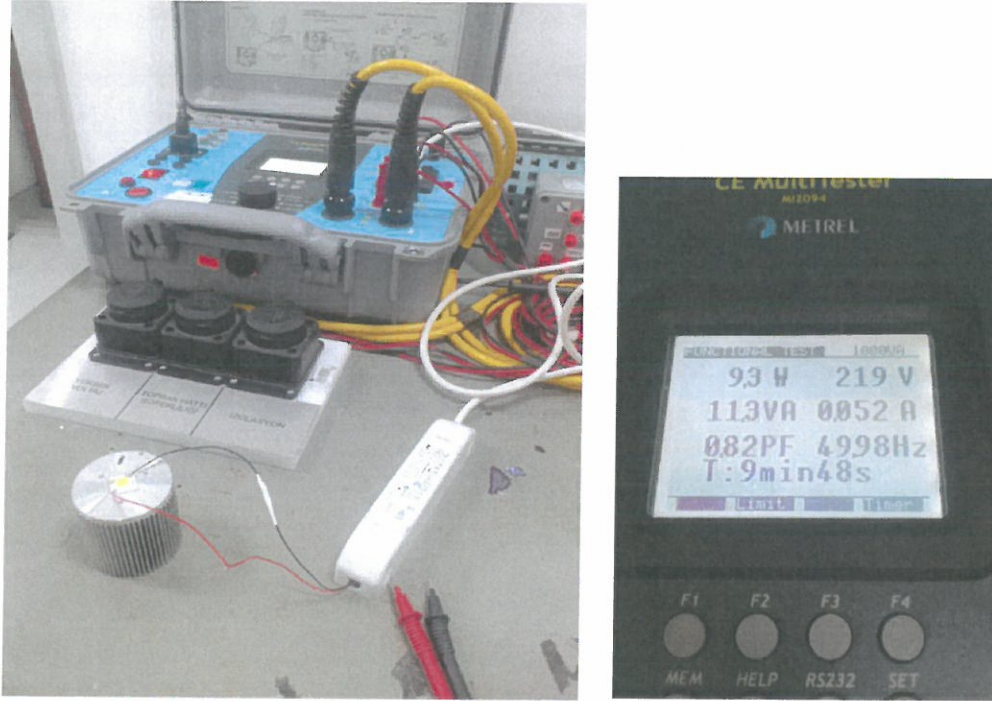
| Parameter                             | Lenssiz ölçüm | Lensli ölçüm |
|---------------------------------------|---------------|--------------|
| Luminous Flux (lumens)                | 5349          | 7593,00      |
| Scotopic Luminous Flux (lm')          | 8940          | 13140,00     |
| Chromaticity x coord                  | 0,3465        | 0,3511       |
| Chromaticity y coord                  | 0,3543        | 0,3624       |
| Chromaticity u coord                  | 0,2113        | 0,2113       |
| Chromaticity v coord                  | 0,3241        | 0,3271       |
| Delta uv                              | 0,0007        | 0,0028       |
| Chromaticity u' coord                 | 0,2113        | 0,2113       |
| Chromaticity v' coord                 | 0,4862        | 0,4907       |
| Peak Wavelength (nm)                  | 445,8         | 446,2        |
| Center Wavelength (nm)                | 443,1         | 443,4        |
| Centroid Wavelength (nm)              | 557           | 558,3        |
| Dominant Wavelength (nm)              | 572,5         | 572,2        |
| Correlated Color Temperature (deg. K) | 4953          | 4820         |
| Luminous Efficacy (lm/W)              |               |              |
| Color Rendering Index Average (RA)    | 68,69956195   | 68,42200268  |



#### 4.3.4 Sürücü Devrelerin Verimliliğe Etkileri

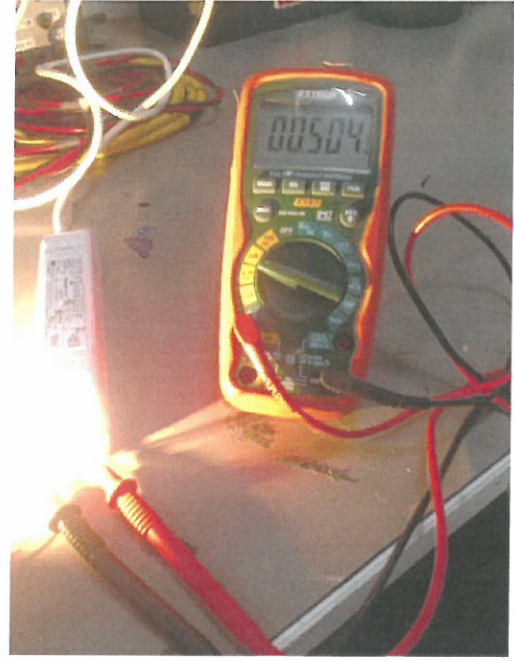
Led armatür sistemlerinde verimliliğe etki eden bir diğer parameter sürücü devrelerde oluşan kayıplardır. Bu kayıplar genellikle elektrik enerjisinin bir kısmının, ısı enerjisine dönüşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu kayıplar göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle sistemin tükettiği elektrik enerjisi tamamen led lambanın tükettiği enerjiye karşılık gelmez. Bu duruma açıklık getirmek üzere bir deneysel bir uygulama yapılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.18 'de görülen led modül sistemin doğrudan tükettiği elektrik enerjisiyle, sürücü devreyle birlikte tüketilen enerjiler ölçülmüştür. Ölçümlerden elde edilen değerler Şekil 4.19' de açıkça gösterilmektedir.



Şekil 4.18 : Sürücü devreli led modül düzeneği fotoğrafı

Şekil 4.18'deki resimde görülen system, sürücü dahil toplam tükettiği güç 9,3W olur iken; Şekil 4.19'daki düzenekteki resme bakıldığında ise led sistemin tükettiği güç ( $P_{led} = U_{led} \times I_{led} = 17,74V \times 0,504A = 8,94W$  olmaktadır. Bu durumda aradaki fark güç, kayıp güç olarak sürücü devre üzerinde harcanmaktadır.  $P_{kayıp} = 9,3W - 8,94W = 0,36W$  olarak hesaplanmıştır. Sürücü devrenin verimliliği  $\eta = 8,94 / 9,3 \times 100 = \%96,12$  olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.19 : Led sistem tüketilen güç ölçme düzeneği





## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; farklı LED aydınlatma prototiplerin termal, optik ve elektrik yönden verimlilik ve kayıpları deneysel açıdan ele alınmıştır. İlk olarak termal yönden soğutma sistemleri incelenmiş, LED sistemin ısı transferin etkili bir biçimde yapılabilmesi için soğutucu kanatçıkların, ve de LED haznesinin bulunduğu ortamda hava akışının sağlanabilmesi için hava kanalları açılarak ısı transferin etkili bir biçimde yapılması sağlanmış, bu durumun ışıksal yönden performansını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca ısı transferin sağlıklı yapılabilmesi için ısı iletimi yüksek olan örneğin AL malzeme seçilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle başka bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiş, yapılan deneysel çalışmada termoplastik soğutucuların AL soğutucu kadar etkili bir ısı transferi yapamadığı gibi bu durumun da; LED sistemin optik yönden verimliliğini düşürdüğü yapılan deneysel çalışmalarda görülmektedir.

Bir diğer mesele; LED sistemlerin çalışması için gerekli elektrik gücüdür. Bir LED sisteme uygulanan elektrik gücü arttırıldığında, sistemin verdiği ışık gücü artmaktadır. Ancak bu artış aynı oranda olmamaktadır. Bunun sebebi olarak da LED sistemin daha fazla ısı ortaya çıkarmasıyla lümen/Watt cinsinden verimliliği etkilemesi anlamına gelmesidir. Bu hususla alakalı olarak yapılan bir deneyde LED sistemin sürülme akımını 500mA değerinden 630mA değerine yükselttiğimizde, sistemin çalışma gücü artmakla beraber, LED sistemin sıcaklığı yaklaşık 30<sup>0</sup> C kadar artmakta, sistemin verimliliğini 70lm/Watt değerinde iken, 67,8lm/Watt değerine düştüğü Çizelge 4.4 'de açıkça görülmektedir.

Bir diğer görüş LED sistemlerin optik elementlere karşı gösterdiği performans olmaktadır. Bu nedenle optik element olarak reflektör ve yansıtıcı parçalar, difüzörler ve lenslerin optik yönden verimlilikleri yapılan deneysel uygulamalar ile ayrı ayrı ele alınmıştır. Optik İlk olarak reflektör ve yansıtıcı parçaları ele aldığımızda; LED tipi ışık kaynağın yaymış olduğu ışık gücü ölçülmüş sonrasında ilave edilen reflektör ve yansıtıcı parçalar ile sisteme ilave edilmiş, bu parçaların her birinin verimliliğe olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir.

Optik yönden İkinci olarak difüzörleri ele aldığımızda; Sistemin optik performansı uygulamadan uygulamaya göre değişmektedir. Yapılan deneysel çalışma sonucu Çizelge 4.6'ya bakıldığında, yansıtıcılığı yüksek bir difüzör kağıt malzemenin LED sistemin çevresinde kullanılması optik yönden performansı arttırdığı gibi, LED sistemin üst yüzeyinde ışığı dağıtmak için kullanıldığında ise optik performansının olumsuz etkilediği açıkça Çizelge 4.6 ve 4.7'ye bakıldığında görülmektedir. Ancak difüzör malzeme kullanımıyla alakalı yapılan bir başka deneysel çalışmada ışığın yayılma açısını arttırması, parlıltı ( $\text{Cd/m}^2$ ) 'dan dolayı oluşabilecek kamaşmayı da engelleyebilmesidir. Şekil 4.11 ve 4.12 'ye bakıldığında bu durum açıkça görülmektedir.

Optik yönden lens kullanımını incelediğimizde; lens kullanımıyla elbette ışık kaybı lens malzemenin optik geçirgenliği ve yapısına göre oluşacaktır. Ancak lens kullanımının ışığı istenilen bölgeleri aydınlatmak için kullanılması, LED'lerden geniş bir açıda yayılan gereksiz ışıkların toplanıp hedef bölgeye yönlendirmesi gerçekte bir çok uygulamada fayda sağlamaktadır. Şekil 4.17 incelendiğinde bu faydanın sebebinin esasen LED kaynaktan geniş bir açıda yayılan ışıkların, armatür içerisinde yan duvarlara çarparak soğurulmasıyla kayıp oluşturması, lens ile kuşatıldığında ise bütün ışıkların hedef bölgeye yönlendirilerek armatür içerisinde oluşan ışık kaybını engellemesidir. Bu durum ile alakalı deneysel sonuçlar Çizelge 4.9 'da açıkça görülmektedir.

Son olarak verimliliğe etki eden bir diğer husus; LED sistemi elektriksel açıdan besleyen, gerekli voltaj ve gerilimi oluşturan elektronik sürücü devreler olmaktadır. Sürücü devreler ilave olarak güç tüketmektedir. Bu Güç; sürücü devrelerde ısı olarak kayıp güç olarak yayılmaktadır. Gerçekte performans hesaplamaları yapılırken LED kaynakların tükettiği elektrik güce karşılık yaymış olduğu ışık gücü yerine, LED' i sistem olarak ele alıp, bu sistemin tamamının sürücü devrelerde dahil tüketmiş olduğu elektrik güce karşılık sistemin yaymış olduğu ışık gücü dikkate alınarak yapılmalıdır.

Sonuç olarak; Yapılan deneysel çalışmalardan da anlaşıldığı üzere, LED sistemlerin verimliliğini etkileyen pek çok parametre mevcuttur. Bu nedenle bir LED aydınlatma sistemi tasarlanırken iyi bir şekilde etüt edilmeli, prototipler uluslararası standartların belirttiği şartları karşılamalı, verimlilik ve performans açısından LED prototiplerin termal, elektriksel ve optik yönden deney ve ölçümleri yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] **K. O. Çoban.**(2010). *Aydınlatma Elemanlarının Verimliliği ve Enerji Kalitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi*, Ankara.
- [2] **Y. Erol ve T. Canpolat.**(2011). «Aydınlatma Sektöründe Yeni Nesil Power Led Teknolojileri,» %1 içinde *Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*.
- [3] **Elektrik Mühendisleri Odası.**(t.y.). «<http://www.emo.org.tr>,» [Çevrimiçi]. Available: [http://www.emo.org.tr/ekler/003784963c3d104\\_ek.pdf?tipi=34&turu=...](http://www.emo.org.tr/ekler/003784963c3d104_ek.pdf?tipi=34&turu=...) [%1 tarihinde erişilmiştir06 12 2014].
- [4] **F. Sametoglu.**(August 2010). «Construction of Two-Axis Goniophotometer for Measurement of Spatial Distribution of a Light Source and Calculation of Luminous Flux,»
- [5] **I. Ashdown, P. Eng. ve L. FIES.**(1994). «Photometry and Radiometry,»
- [6] **S. Erdem.**(2007). *Aydınlatma Mühendisliğinde İleri Yöntemlerle Çözüm Teknikleri*, Ankara.
- [7] **Instrument Systems GmbH.**(t.y.). «Handbook of LED Metrology,» [Çevrimiçi]. Available: [http://www.instrumentsystems.com/fileadmin/editors/downloads/Products/LED\\_Handbook\\_e.pdf](http://www.instrumentsystems.com/fileadmin/editors/downloads/Products/LED_Handbook_e.pdf). [%1 tarihinde erişilmiştir06 12 2014].
- [8] **C. Schwanengel.**(t.y.). «Comparison of techniques for measuring luminous intensity distribution overall and across segments,» [Çevrimiçi]. Available: [http://www2.technoteam.de/rigo801/documents/LID\\_Measurements.pdf](http://www2.technoteam.de/rigo801/documents/LID_Measurements.pdf). [%1 tarihinde erişilmiştir04 04 2014].
- [9] **S. Özenç.**(2007). *Aydınlatma Sistemlerinde Kalite, Enerji Verimliliği Ve Modelleme*, İstanbul.
- [10] **European Committee For Standardization.**(2004). EN 13032-1:2004 Light and lighting - Measurements and presentation of photometric data of lamps and luminaires - Part 1.,
- [11] **O. SİREL.**(16 09 2004). [Çevrimiçi]. Available: <http://www.yfu.com/booklets/Fotometrik-Olcmeler.pdf>. [%1 tarihinde erişilmiştir30 03 2014].
- [12] **Vikrant Mahajan, Labsphere.Inc.**(t.y.). NH,USA, «LED based lighting measurement standards and techniques,»[Çevrimiçi]. Available: <http://www.elcomaindia.com/wp-content/uploads/LED-Based-Lighting-measurement-standards-Vikrant-Mahajan-.pdf>. [%1 tarihinde erişilmiştir13 12 2014].
- [13] **A. K. Türkoğlu, K. Benlioğlu ve T. Baskan.**(t.y.). «Pratikte Aydınlatma Kavramları ve Terimleri,» İSO-ATMK-AGİD, 23 06 2011. [Çevrimiçi]. Available: [http://www.agid.org.tr/data/agid/upload\\_arsivdiger/3\\_Pratikte%20Aydınlatma%20Kavramları%20ve%20Terimler.pdf](http://www.agid.org.tr/data/agid/upload_arsivdiger/3_Pratikte%20Aydınlatma%20Kavramları%20ve%20Terimler.pdf). [%1 tarihinde erişilmiştir07 12 2014].
- [14] **Elektrikce.com.**(t.y.). «Balast Nedir? Floresan Lambalarda Balast Neden Kullanılır?,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.elektrikce.com/balast-nedir-floresan-lambalarda-balast-neden-kullanilir/>. [%1 tarihinde erişilmiştir12 12 2014].

- [15] **M. Uyanık ve N. Sarıbaş.**(t.y.). «Aydınlatmada Enerji Verimliliği Balast İlişkisi,» [Çevrimiçi]. Available: [http://www.emo.org.tr/ekler/297f44a1c444304\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/297f44a1c444304_ek.pdf). [%1 tarihinde erişilmiştir12 12 2014].
- [16] **N. Gündüz.**(2012). «Led Işık Kaynaklı Enerji Verimli Endüstriyel Aydınlatma Armatürü Optik Tasarımı,».
- [17] **C. Perdahçı ve U. Hanlı.**(t.y.). «Verimli aydınlatma Yöntemleri,» Kocaeli.
- [18] **U.S.Department Of Energy.**(2013).«Energy Efficiency of LEDs,».
- [19] **Türk Standartları Enstitüsü.**(2009). TS EN60598-1 Aydınlatma Armatürleri Bölüm1: Genel özellikler ve deneyler, Ankara.
- [20] **Cree,Inch.**(t.y.). «product family data sheet,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Arrays-NonDirectional/XLamp-CXA1304>. [%1 tarihinde erişilmiştir03 01 2015].
- [21] **J.-C. Wang.** (t.y). «Thermal module design and analysis of a 230W LED illumination lamp,» 24 January 2014.
- [22] **Cree, Inch,**(t.y.). «Cree XLamp LED Long-Term Lumen Maintenance,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Landing-pages/CXA>. [%1 tarihinde erişilmiştir03 01 2015].
- [23] **M. B. Yurtseven.**(2012). *Led Teknolojileri ve Standartları*, Odakule.
- [24] **Illuminating Engineering Society.**(2008). IES-LM-79-08 Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products, Newyork: Illuminating Engineering Society.
- [25] **S.Onaygil.**(2001). «Aydınlatmada Verimlilik ve Enerji Tasarrufu,» %1 içinde İzmir Enerji Sempozyumu, İzmir.



## **EKLER**

**EKA:** Standartlar

**EKB:** Lambalar Hakkında Genel Bilgiler



## EKA:Standartlar

Çizelge A.1 : Lamba ve modül standartları

|  |   |  |
|--|---|--|
| IEC 62031:2008 / EN 62031:2008         | LED Modules for General Lighting  | Safety Specifications (Genel aydınlatma amaçlı LED modülleri: Güvenlik gereklilikleri)                                 |
| IEC/PAS 62717:2011                     | LED Modules for General Lighting – Performance Requirements   | Genel aydınlatma amaçlı LED modülleri: Performans gereklilikleri   |
| IEC 62560:2011 / EN 62560 (Taslak)     | Self-ballasted LED-lamps for general lighting services by voltage > 50 V - Safety specifications    | 50V'tan yüksek gerilimde çalışan, genel aydınlatma amaçlı, kendinden balastlı LED lambaları: Güvenlik gereklilikleri   |
| IEC/PAS 62612:2009                     | Self-ballasted LED-lamps for general lighting services by voltage > 50 V – Performance Requirements | 50V'tan yüksek gerilimde çalışan, genel aydınlatma amaçlı, kendinden balastlı LED lambaları: Performans gereklilikleri |
| IEC 60061                              | Lamp caps and holders together with gauges for the control of interchangeability and safety         | Güvenlik ve değiştirilebilirliğin kontrolü için, lamba başlık ve duyları   |
| IEC 60838-2-2:2006 / EN 60838-2-2:2006 | Miscellaneous lampholders – Part 2-2: Particular requirements – Connectors for LED-modules          | Çeşitli duylar – Özel gereklilikler – LED modülleri için bağlantı elemanları   |
| IEC 61231:2010 / EN 61231:2010         | International lamp coding system (ILCOS)  | Uluslararası lamba kodlama sistemi   |
| IEC/PAS 62707-1:2011                   | LED – Binning – Part 1 : General requirements and white grid  | LED – Gruplama – Birinci bölüm: Genel gereklilikler ve beyaz ışık bölümü   |

### Çizelge A.2 : Lamba kontrol elemanları standartları

|  |  |   |
|--|--|---|
| IEC 61347-1:2010-11 / EN 61347-1:2008  | Lamp controlgear – Part 1: General and safety requirements   | Lamba kontrol elemanları – Birinci bölüm: Genel gereklilikler ve güvenlik gereklilikleri                                |
| IEC 61347-2-13:2006                    | Lamp controlgear – Part 2-13: Particular requirements for DC or AC supplied electronic controlgear for LED modules | Lamba kontrol elemanları – Bölüm 2-13: DC veya AC beslenmiş LED modüllerinin kontrol elemanları için özel gereklilikler |
| IEC 62384:2009 / EN 62384:2009         | DC or AC supplied electronic control gear for LED modules – Performance requirements                               | DC veya AC beslenmiş LED modüllerinin kontrol elemanları için performans gereklilikleri                                 |
| IEC 62386-101:2009 / EN 62386-101:2009 | Digital addressable lighting interface – Part 101: General requirements – System                                   | Dijital adreslenebilir aydınlatma arabirimi – Bölüm 101: Genel gereklilikler  |
| IEC 62386-102:2009 / EN 62386-102:2009 | Digital addressable lighting interface – Part 101: General requirements – Control Gear                             | Dijital adreslenebilir aydınlatma arabirimi – Bölüm 101: Genel gereklilikler – Kontrol aksamı                           |
| IEC 62386-207:2009 / EN 62386-207:2009 | Digital addressable lighting interface – Part 207: Particular requirements for control gear – LED Modules          | Dijital adreslenebilir aydınlatma arabirimi – Bölüm 207: Kontrol aksamı için özel gereklilikler – LED modülleri         |

### Çizelge A.3 : Aydınlatma tesisatları için standartlar

|                                 |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| IEC/TS 62504:2011               | Terms and definitions for LEDs and LED modules in general lighting   | Genel aydınlatma amaçlı kullanılan LED'ler ve LED modüller için terimler ve tanımlar   |
| IEC 62471:2006 / EN 62471:2008: | Photobiological safety of lamps and lamp systems   | Lambaların ve lamba sistemlerinin fotobiyolojik güvenliği  |
| IEC 62471-2:2009                | Photobiological safety of lamps and lamp systems – Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety | Lambaların ve lamba sistemlerinin fotobiyolojik güvenliği – Bölüm 2: Lazer dışı optik radyasyon güvenliği ile ilgili üretim gerekliliği kılavuzu |

#### Çizelge A.4 : Aydınlatma sistemlerin ölçümü ile ilgili standartlar

|                   |   |  |
|-------------------|---|--|
| CIE 127:2007      | Measurement of LEDs   | LED'lerin ölçümü   |
| EN 13032          | Light and Lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires | Işık ve aydınlatma – Lamba ve armatürlerin ölçümü ve fotometrik verilerin sunumu |
| IEC/TR 61341:2010 | Method of measurement of centre beam intensity and beam angle(s) of reflector lamps           | Reflektörlü lambalar için merkez ışın şiddeti ve ışın açılarını ölçme yöntemi    |

#### Çizelge A.5 : Aydınlatma sistemleri için EMC standartları

|                              |  |  |
|------------------------------|--|--|
| IEC/EN 61547 (2009)          | Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements  | Genel aydınlatma amaçlı cihazlar – Elektromanyetik uyumluluk gerekleri   |
| IEC/EN 61000-3-2 (2009)      | Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current $\leq 16$ A per phase) | Elektromanyetik uyumluluk – Bölüm 3-2: Limitler – Harmonik akım emisyonları için limitler (faz başına giriş akımı $\leq 16$ A) |
| IEC CISPR 15/EN 55015 (2009) | Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment                            | Elektriksel aydınlatma sistemleri ve benzer cihazlar için, radyo bozunum karakteristiklerinin limitleri ve ölçüm metotları     |
| IEC/EN 62493 (2009)          | Assessment of lighting equipment related to human exposure to electromagnetic fields   | Aydınlatma elemanlarının oluşturduğu elektromanyetik alanın insanlar üzerine etkilerinin değerlendirilmesi                     |

#### Çizelge A.6: Işık kaynaklı armatür standartları

|                        |   |  |
|------------------------|---|--|
| IEC 60598 / EN 60598   | Luminaire Safety  | Armatür güvenliği  |
| IEC/PAS 62722-1:2011   | Luminaire performance – Part 1 – General Requirements                         | Armatür performansı – Bölüm 1 – Genel gereklilikler                      |
| IEC/PAS 62722-2-1:2011 | Luminaire performance – Part 2-1 – Particular requirements for LED luminaires | Armatür performansı – Bölüm 2-1 – LED armatürler için özel gereklilikler |



### Çizelge A.7 : Led standartları

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| IESNA RP-16-05 (2005) | Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering                                 | Aydınlatma mühendisliği ile ilgili terimler ve tanımlar                               |
| IESNA TM-16-05 (2005) | Technical Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems                    | LED ışık kaynakları ve sistemleri ile ilgili terim ve tanımlar                        |
| IESNA LM-79-08 (2008) | Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid State Lighting Products | Standart yöntem: Katı hal aydınlatma ürünleri için elektriksel ve fotometrik ölçümler |
| IESNA LM-80-08 (2008) | Approved Method: Lumen Maintenance Testing of LED Light Sources                           | Standart yöntem: LED ışık kaynaklarının zamana bağlı ışık akısı ölçümleri             |

Ek olarak CIE 127:2007 standardı yüksek güçlü led çiplerin 25 °C ortam sıcaklığında;

- Toplam Işık Akısı (Lümen),
  - Etkinlik Faktörü (Lümen/Watt),
  - Renksel parametreler (Renksel Geri verim “Ra” , Renk Sıcaklığı “Kelvin”),
- Ölçüm yöntemlerinden bahsetmektedir [12] [23].

Led armatürlerin elektriksel ve fotometrik performanslarının, verimliliklerinin ölçülmesiyle ilgili olarak IES LM-79-08 standardı oluşturulmuş, bu standarttaki ölçümler 25°C ortam sıcaklığında CIE 127:2007 standardında olduğu gibi Toplam ışık akısı(Lümen) , Etkinlik faktörü(Lümen/Watt), Renksel parametreler ve ayrıca ışık dağılım eğrilerin oluşturulması konularından bahsetmektedir [12] [23] [24].

IES LM-80-08 standardı Led çip ve modüllerin zamana bağlı ışık akısı değişimlerinin ölçülmesi ile ilgili bir standarttır.minimum 6000 saat, tercihen 10000 saat bir zaman diliminde başlangıç ışık akısı ölçümünden her 1000 saatte bir 55 °C - 85 °C ve üreticinin belirlediği bir led yüzey sıcaklık değerinde ışık akısı ölçümleri yapılarak gerçekleştirilmektedir [12] [23].

IES TM-21 standardı LM-80-08 standardındaki verileri kullanmaktadır. Minimum 6000 saatlik veriler dikkate alınarak Arrhenius denklemiyle “ekstrapole” edilerek led çip veya modülün ömrü tayin edilmektedir [23].

EKB

Çizelge B.1 : Lambalar hakkında genel bilgiler

**LAMBALAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER**

| Genel Kod                               | Güç  | Ampul | Gerilim | Duy      | Işık Akısı | Işık Rengi  | Renksel Geriverim Ra | Ortalama Ömür h | Açıklamalar |
|---|------|-------|---------|----------|------------|-------------|----------------------|-----------------|-------------|
|   | W    | A     | Güç W   |          |            |             |                      |                 |             |
| <b>ENKANDESAN LAMBALAR</b>              |      |       |         |          |            |             |                      |                 |             |
| A65                                     | 65   | 0,28  |         | E27      | 730        | www         | 1A                   | 1000            |             |
| A65                                     | 75   | 0,32  |         | E27      | 960        | www         | 1A                   | 1000            |             |
| A65                                     | 100  | 0,43  |         | E27      | 1.380      | www         | 1A                   | 1000            |             |
| A65                                     | 150  | 0,65  |         | E27      | 2.200      | www         | 1A                   | 1000            |             |
| <b>REFLEKTÖRLÜ LAMBALAR</b>             |      |       |         |          |            |             |                      |                 |             |
| R 63 30°                                | 60   |       |         | E27      | 600        | www         | 1A                   | 1000            |             |
| R 80 30°                                | 60   |       |         | E27      | 530        | www         | 1A                   | 1000            |             |
| R 80 30°                                | 100  |       |         | E27      | 1.080      | www         | 1A                   | 1000            |             |
| <b>PAR LAMBALAR</b>                     |      |       |         |          |            |             |                      |                 |             |
| PAR38-12°/30°                           | 60   |       |         | E27      | 600        | www         | 1A                   | 1000            |             |
| PAR38-12°/30°                           | 80   |       |         | E27      | 800        | www         | 1A                   | 1000            |             |
| PAR38-10°/30°                           | 100  |       |         | E27      |            | www         | 1A                   | 1000            |             |
| PAR38-12°/30°                           | 120  |       |         | E27      | 1.200      | www         | 1A                   | 1000            |             |
| <b>HALOJEN LAMBALAR</b>                 |      |       |         |          |            |             |                      |                 |             |
| QT 18                                   | 60   | 0,26  |         | B 15d    | 840        | www         | 1A                   | 2000            |             |
| QT 18                                   | 75   | 0,32  |         | B 15d    | 1.050      | www         | 1A                   | 2000            |             |
| QT 18                                   | 100  | 0,43  |         | B 15d    | 1.400      | www         | 1A                   | 2000            |             |
| QT 32                                   | 60   | 0,26  |         | E27      | 840        | www         | 1A                   | 2000            |             |
| QT 32                                   | 75   | 0,32  |         | E27      | 1.050      | www         | 1A                   | 2000            |             |
| QT 32                                   | 100  | 0,43  |         | E27      | 1.400      | www         | 1A                   | 2000            |             |
| QT 32                                   | 250  | 1,09  |         | E27      | 4.200      | www         | 1A                   | 2000            |             |
| QT-DE 12                                | 60   | 0,26  |         | R7s      | 840        | www         | 1A                   | 1500            |             |
| QT-DE 12                                | 100  | 0,43  |         | R7s      | 1.650      | www         | 1A                   | 1500            |             |
| <b>DÜŞÜK GERİLİMLİ HALOJEN LAMBALAR</b> |      |       |         |          |            |             |                      |                 |             |
| QT-9 9°                                 | 20   |       |         | G 4      | 320        | www         | 1A                   | 2.000           |             |
| QT-ax 12°                               | 20   |       |         | GY 8,35  | 320        | www         | 1A                   | 2.000           |             |
| QT-ax 12°                               | 35   |       |         | GY 8,35  | 600        | www         | 1A                   | 2.000           |             |
| QT-ax 12°                               | 50   |       |         | GY 8,35  | 950        | www         | 1A                   | 2.000           |             |
| QR-CBC 35/10°-38°                       | 20   |       |         | GU 4     | 320        | www         | 1A                   | 2.000           |             |
| QR-CBC 35/10°-38°                       | 35   |       |         | GU 4     | 600        | www         | 1A                   | 2.000           |             |
| QR-CBC 51/8°-60°                        | 20   |       |         | GU 5,3   | 320        | www         | 1A                   | 3.000           |             |
| QR-CBC 51/8°-60°                        | 35   |       |         | GU 5,3   | 600        | www         | 1A                   | 3.000           |             |
| QR-CBC 51/8°-60°                        | 50   |       |         | GU 5,3   | 950        | www         | 1A                   | 3.000           |             |
| QR 51                                   | 50   |       |         | GU 5,3   |            | www         | 1A                   | 3.000           |             |
| QR 11/14°-24°                           | 35   |       |         | G 53     | 600        | www         | 1A                   | 2.000           |             |
| QR 11/14°-24°                           | 50   |       |         | G 53     | 750        | www         | 1A                   | 2.000           |             |
| <b>FLORESAN LAMBALAR</b>                |      |       |         |          |            |             |                      |                 |             |
| T 16                                    | 14   | 0,07  | 16,00   | G 5      | 1.350      | www, mw, fw | 1B                   | 7.000           |             |
| T 16                                    | 21   | 0,11  | 23,50   | G 5      | 2.100      | www, mw, fw | 1B                   | 7.000           |             |
| T 16                                    | 28   | 0,13  | 30,50   | G 5      | 2.900      | www, mw, fw | 1B                   | 7.000           |             |
| T 16                                    | 35   | 0,17  | 38,50   | G 5      | 3.650      | www, mw, fw | 1B                   | 7.000           |             |
| T 26                                    | 18   | 0,37  | 28,20   | G 13     | 1.000      | www, mw, fw | 1A                   | 7.000           |             |
| T 26                                    | 36   | 0,43  | 46,00   | G 13     | 2.350      | www, mw, fw | 1A                   | 7.000           |             |
| T 26                                    | 58   | 0,67  | 70,90   | G 13     | 3.750      | www, mw     | 1A                   | 7.000           |             |
| <b>METAL HALİDE LAMBALAR</b>            |      |       |         |          |            |             |                      |                 |             |
| HIT-ir                                  | 35   |       |         | G 12     | 2.400      | www         | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-ax                                  | 35   |       |         | G 12     | 3.400      | www         | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-ir                                  | 70   | 1,00  | 91      | G 12     | 5.500      | www, mw     | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-ax                                  | 70   |       |         | G 12     | 6.400      | www         | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-ir                                  | 70   |       |         | PG 12-2  | 5.100      | www         | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-ax                                  | 150  | 1,80  | 170     | G 12     | 12.500     | www, mw     | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-ir                                  | 150  |       |         | G 12     | 14.000     | www         | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-DE                                  | 70   | 1,00  | 80      | RX 7s    | 5.000      | www, fw     | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-DE                                  | 150  | 1,80  | 170     | RX 7s-24 | 11.000     | www, fw     | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIT-DE                                  | 250  | 3,00  | 275     | Fc 2     | 20.000     | www, mw, fw | 1 B                  | 5.000           |             |
| HIE                                     | 100  | 1,10  | 115     | E 27     | 8.200      | www         | 1 B                  | 8.500           |             |
| HIE                                     | 250  | 3,00  | 275     | E-40     | 19.000     |             |                      | 8.500           |             |
| HIE                                     | 400  | 3,80  | 460     | E-40     | 32.000     |             |                      | 8.500           |             |
| HIE                                     | 1000 | 9,50  | 1065    | E-40     | 80.000     |             |                      |                 |             |



Çizelge B.1 : (Devamı)

| Genel Kod | Güç | Ampul | Gerekli | Duy | Işık Akısı | Işık Rengi | Renksel | Ortalama | Açıklamalar |
|-----------|-----|-------|---------|-----|------------|------------|---------|----------|-------------|
|           | W   | Akama | Güç     |     |            |            |         |          |             |
|           |     | A     |         |     |            | K          | Ra      | h        |             |

**ÇİVA BUHARLI LAMBALAR**

|     |     |      |     |      |        |        |   |  |  |
|-----|-----|------|-----|------|--------|--------|---|--|--|
| HME | 50  | 0,60 | 59  | E 27 | 1.800  | wa, rw | 3 |  |  |
| HME | 80  | 0,80 | 89  | E 27 | 3.800  | wa, rw | 3 |  |  |
| HME | 125 | 1,15 | 137 | E 27 | 6.300  | wa, rw | 3 |  |  |
| HME | 250 | 2,15 | 265 | E 40 | 13.000 | wa, rw | 3 |  |  |
| HME | 400 | 3,25 | 325 | E 40 | 22.000 | wa, rw | 3 |  |  |

**KOMPAKT FLORESAN LAMBALAR**

|         |    |       |       |           |       |            |           |       |               |
|---------|----|-------|-------|-----------|-------|------------|-----------|-------|---------------|
| TC      | 7  | 0,17  | 11,00 | G 23      | 400   | wa, ra, br | 1 B       | 8.000 |               |
| TC      | 9  | 0,17  | 13,00 | G 23      | 600   | wa, ra, br | 1 B       | 8.000 |               |
| TC      | 11 | 0,16  | 15,00 | G 23      | 900   | wa, ra, br | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-EL   | 7  | 0,17  | 11,00 | 2 G7      | 400   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-EL   | 9  | 0,17  | 13,00 | 2 G7      | 600   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-EL   | 11 | 0,16  | 15,00 | 2 G7      | 900   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-D    | 10 | 0,160 | 15,50 | G24 d-1   | 600   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-D    | 13 | 0,165 | 17,20 | G24 d-1   | 900   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-D    | 18 | 0,220 | 24,40 | G24 d-2   | 1.200 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-D    | 26 | 0,315 | 33,60 | G24 d-2   | 1.800 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-DEL  | 10 | 0,070 | 15,50 | G24 q-1   | 600   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-DEL  | 13 | 0,070 | 15,50 | G24 q-1   | 900   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-DEL  | 18 | 0,090 | 28,00 | G24 q-2   | 1.200 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-DEL  | 26 | 0,128 | 55,00 | G24 q-3   | 1.800 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-T    | 13 | 0,150 | 15,50 | Gx 24 d-1 | 900   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-T    | 18 | 0,210 | 21,00 | Gx 24 d-2 | 1.200 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-T    | 26 | 0,280 | 29,00 | Gx 24 d-3 | 1.800 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-TEL  | 13 | 0,070 | 15,50 | Gx 24 q-1 | 900   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-TEL  | 18 | 0,090 | 21,00 | Gx 24 q-2 | 1.200 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-TEL  | 26 | 0,130 | 29,00 | Gx 24 q-3 | 1.800 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-TEL  | 32 | 0,150 | 36,00 | Gx 24 q-3 | 2.400 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-TEL  | 42 | 0,200 | 47,00 | Gx 24 q-4 | 3.200 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-L    | 18 | 0,090 | 28,4  | 2 G 11    | 750   | wa, rw, br | 1 A - 1 B | 8.000 |               |
| TC-L    | 24 | 0,110 | 33,1  | 2 G 11    | 1.200 | wa, rw, br | 1 A - 1 B | 8.000 |               |
| TC-L    | 26 | 0,170 | 43,8  | 2 G 11    | 1.900 | wa, rw, br | 1 A - 1 B | 8.000 |               |
| TC-L    | 55 | 0,648 | 67,1  | 2 G 11    | 4.800 | wa, rw     | 1 A - 1 B | 8.000 |               |
| TC-F    | 18 | 0,27  | 28    | 2 G 10    | 1.100 | wa, rw     | 1 B       | 2.800 |               |
| TC-F    | 24 | 0,32  | 33    | 2 G 10    | 1.700 | wa, rw     | 1 B       | 2.800 |               |
| TC-F    | 26 | 0,44  | 46    | 2 G 10    | 2.800 | wa, rw     | 1 B       | 2.800 |               |
| TC-DD   | 10 | 0,14  | 15,50 | GR82p     | 650   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-DD   | 16 | 0,19  | 21,00 | GR82p     | 1.050 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-DD   | 26 | 0,32  | 36,00 | GR82p     | 3.050 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-DDVE | 10 |       |       | GR10q-4   | 650   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-DDVE | 16 |       |       | GR10q-4   | 1.050 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-DDVE | 26 |       |       | GR10q-4   | 3.050 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 | DM EDİLEBİLİR |
| TC-EL-N | 11 | 0,45  |       | E 27      | 600   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-EL-N | 15 | 0,50  |       | E 27      | 900   | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-EL-N | 20 | 0,60  |       | E 27      | 1.200 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-EL-N | 23 |       |       | E 27      | 1.500 | wa, rw     | 1 B       | 8.000 |               |
| TC-SB74 | 25 |       |       | E 27      | 1.200 |            |           |       |               |

**YÜKSEK BASINÇLI SODYUM BUH. LAMBALAR**

|        |     |      |     |         |        |    |     |       |  |
|--------|-----|------|-----|---------|--------|----|-----|-------|--|
| HST    | 50  | 0,70 | 62  | PG 13-1 | 2.300  | ww | 1 B | 5.000 |  |
| HST    | 80  | 1,04 | 96  | PG 13-3 | 4.500  | ww | 1 B | 5.000 |  |
| HST    | 100 | 1,20 | 115 | PG 13-1 | 4.700  | ww | 1 B | 5.000 |  |
| HST-DE | 80  | 1,04 | 96  | RX 7a   | 4.500  | ww | 1 B |       |  |
| HST-E  | 50  | 0,70 | 62  | E 27    | 3.500  | ww | 4   |       |  |
| HST-E  | 70  | 1,00 | 83  | E 27    | 5.800  | ww | 4   |       |  |
| HST-E  | 100 | 1,20 | 115 | E 40    | 9.500  |    |     |       |  |
| HST-E  | 150 | 1,80 | 170 | E 40    | 14.000 |    |     |       |  |
| HST-E  | 250 | 3,00 | 275 | E 40    | 25.000 |    |     |       |  |
| HST-E  | 400 | 4,40 | 440 | E 40    | 47.000 |    |     |       |  |

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Temel SÖNMEZOCAK

**Doğum Tarihi ve Yeri:** 02.12.1978 / EDİRNE

**E-Posta:** temelsonmezocak@aydin.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU

**Lisans:** 2001, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Öğretmenliği

**Yüksek Lisans:** 2015, İstanbul Aydın Üniv. , Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elektrik Elektronik Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM ÖDÜLLER:

(Nisan2013- Halen Devam Ediyor)-İstanbul Aydın Üniversitesi (Aydınlatma Lab. Kalite Müd.)

(Aralık2011-Nisan2013) - Ale Teknoloji A.Ş (Ar-GE Müh.)

(Mayıs 2007-Kasım2011) - Lamp83 Aydınlatma A.Ş (Lab. Müd. / Ar-Ge Müh.)

(Şubat 2005-Mayıs2007) - Entes Elektronik A.Ş (Ar-Ge Test Müh.)

(Şubat 2004-Ocak2005) - Net Mühendislik ve Otomasyon A.Ş (Satış Mühendisi)

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

Article : Experimental Analysis Of Thermoplastic Cooler In LED Lighting Systems

### DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR, KONFERANSLAR, PROJELER

(Aralık 2012) - Yeni Nesil Led Aydınlatma Arge ve Ölçüm Laboratuvarı Kurulum Projesi – ArGe Mühendisi

(Kasım 2014) - Enerji Verimliliği ve Elektrikli Ev Eletlerinin Kullanım Verimliliğinin Arttırılması ve Sürdürülebilirliğin in Sağlanması” Projesi – ArGe Mühendisi

(Ocak 2015- Halen Devam Ediyor ) - Askeri Deniz Araçları İçin Modüler Ledli Aydınlatma Armatürleri Geliştirme Projesi – ArGe & Test Danışmanı

Konferans: Yol Aydınlatması Tehdit mi? Fırsat mı? Konulu Konferansta Yol Aydınlatmaları Ölçüm Teknikleri

Conferans Paper: Investigation Of Energy Usage of Electrical House Applications In Terms Energy Efficiency

Makale: Aydınlatmada LED Armatür Tasarım Kriterleri