



**LED IŞIK KAYNAKLI, ENERJİ TASARRUFLU VE YÜKSEK VERİMLİ
OFİS AYDINLATMA ARMATÜRÜ TASARIMI**

Emre YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Emre YILMAZ tarafından hazırlanan “LED IŞIK KAYNAKLI, ENERJİ TASARRUFLU VE YÜKSEK VERİMLİ OFİS AYDINLATMA ARMATÜRÜ TASARIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. İsmail ŞAHİN

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Cemal YILMAZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 30/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Emre YILMAZ

30/05/2019

LED IŞIK KAYNAKLI, ENERJİ TASARRUFLU VE YÜKSEK VERİMLİ OFİS
AYDINLATMA ARMATÜRÜ TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Emre YILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Son yıllarda, tüm dünyada enerji verimliliğinin artan önemiyle birlikte, aydınlatmada da verim konusunda bilinç ve çalışmalar artarak LED aydınlatmaya geçiş başlamıştır. Dünyadaki gidişat diğer teknolojilerde olduğu gibi aydınlatma armatürlerinde de daha verimli, daha uzun ömürlü, bakım gerektirmeyen, zararlı maddeler içermeyen, gelişen ve değişen teknolojiye uyumlu ve yönetilebilen LED aydınlatma sistemlerine doğru gelişme göstermektedir. Ülkemizde yeni projeler haricinde LED ışık kaynaklı armatürlerin yaygın olmaması, halen LED'li armatürlerin birim fiyatlarının yüksek olması, mevcut aydınlatma pazarının, bugünkü durumda bile, büyük çoğunluğunun bilinen geleneksel ışık kaynaklarıyla yapılmış olması, LED aydınlatma konusunda ciddi fırsatlar olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, hali hazırda genel aydınlatma armatürü olarak kullanılan 4x18 ve 4x14 floresan ışık kaynaklı armatürler yerine geçebilecek ve bu armatürlere göre %40-%60 enerji tasarrufu sağlayan LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü tasarlanmıştır. Ofis aydınlatma armatürü tasarımında, dekoratif görünümünden öte işlevsellik, yüksek performans ve düşük maliyet esaslarının göz önünde bulundurulması temel ilke edinilmiştir. Çalışma sonucunda performans değerleri akredite tarafından laboratuvar onaylanmış, yüksek performanslı 108 lm/W etkinlik faktörüne sahip, uzun ömürlü 36 000 saatten fazla ekonomik ömre sahip LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 91439

Anahtar Kelimeler : Aydınlatma, aydınlatma armatürü, ofis aydınlatma, LED aydınlatma, LED panel

Sayfa Adedi : 103

Danışman : Doç. Dr. İsmail Şahin

DESIGN OF ENERGY SAVING AND HIGH EFFICIENCY OFFICE LIGHTING
FIXTURE WITH LED LIGHT SOURCE

(M. Sc. Thesis)

Emre YILMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2019

ABSTRACT

In recent years, as a result of the increasing importance of energy efficiency all over the world, awareness and works have also been increased in lighting, and transition to LED lighting has begun. As in other technologies, the trend in the world goes towards LED lighting systems that are more efficient, longer lasting, maintenance free, free of harmful substances, compatible with the developing and changing technology. The fact that LED luminaires are not widespread except for new projects in our country, the unit prices of LED luminaires are still high, the current lighting market, even in the current situation, the vast majority of them are made with the traditional light sources shows that there are serious opportunities for LED lighting. In this study, LED light welded office lighting fixture will be designed to replace 4x18 and 4x14 fluorescent light source luminaires which are currently used as general lighting fixtures and provide 40%-60% energy saving compared to these luminaires. The office lighting fixture will be designed considering the functionality, high performance and low cost principles rather than the decorative appearance. As a result of the study, performance values were obtained by accredited laboratory approved, high performance 108 lm/W efficiency factor, long life of more than 36 000 hours economic life, LED light source office luminaire has been developed.

Science Code : 91439

Key Words : Lighting, light fixture, office lighting, LED lighting, LED panel

Page Number : 103

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. İsmail Şahin

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başladığım günden itibaren bana her konuda destek olan ve sürekli yol gösteren değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. İsmail ŞAHİN hocama, kıymetli bilgileri ve öğretileri ile eğitimime katkı sağlayan tüm hocalarıma, hayatı bu denli güzel kılan ve dostluklarını her an hissettiğim tüm arkadaşlarıma; beni bu günlere sevgiyle getiren babam Hüseyin YILMAZ, desteğini her ihtiyaç duyduğumda hissettiren kıymetli annem Gülperi YILMAZ, ağabeyim Okan YILMAZ'a, gelişimim ve çalışmalarım için bana her türlü fırsatı tanıyan işverenim Mehmet Akif ÇELİK'e, tez çalışmasını yürütürken yardımcı olan, yol gösteren yakın dostum Nuri Yunus KOCADAĞ'a sevgi, saygı, minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. OFİS AYDINLATMASI.....	11
3.1. Aydınlatma Terimleri	12
3.2. Kullanıcı İhtiyaçları.....	15
3.3. Geleneksel Aydınlatma Armatürleri	16
3.3.1. Işık kaynağı	17
3.3.2. Mekanik	18
3.3.3. Optik.....	20
3.3.4. Elektronik.....	21
3.4. Geleneksel Aydınlatma Armatürlerinin Bilgisayar Simülasyon Yazılımı Yardımlıyla Performans Karşılaştırması.....	24
3.5. LED Aydınlatma Armatürleri	28
3.5.1. Işık kaynağı	29
3.5.2. Mekanik	35
3.5.3. Optik.....	35
3.5.4. Elektronik.....	36

Sayfa

3.6. LED Aydınlatma Armatürlerinin Bilgisayar Simülasyon Yazılımı Yardımla Performans Karşılaştırması.....	38
4. ÜRÜN TASARIMI.....	43
4.1. LED’li Işık Kaynağı Tasarımı.....	43
4.2. Armatür Gövdesi Tasarımı.....	48
4.3. Optik Tasarım ve Işık Açısı Tasarımı.....	52
4.4. LED Sürücü Tasarımı.....	54
4.4.1. Devre şemalarının oluşturulması.....	55
4.4.2. Baskı devre tasarımı.....	58
4.5. Modüler Entegrasyon Planı.....	61
5. ISI TRANSFER ANALİZİ.....	65
6. ÜRÜNÜN GERÇEK ÇEVRE KOŞULLARINDA TEST EDİLMESİ...	79
6.1. Termal Testler ve Ürün Ömrü İlişkisi.....	79
6.2. Elektriksel Performans Testleri.....	84
6.3. Fotometrik Test ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	88
7. SONUÇ.....	95
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ofislerde işlerin ve faaliyetlerin aydınlatma özellikleri (TSE, 2013).....	16
Çizelge 3.2. Geleneksel aydınlatma armatürleri performans karşılaştırması	26
Çizelge 3.3. LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürleri performans karşılaştırması	39
Çizelge 4.1. LM-80 Test Raporu'na göre TM-21 Ömür Öngörüsü.....	44
Çizelge 4.2. Yongtek PS Mat S/S2 Difüzör Teknik Detay Tablosu	52
Çizelge 5.1. Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri.....	71
Çizelge 5.2. Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri (500 mA sürüş akımı)	74
Çizelge 5.3. Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri (700 mA sürüş akımı)	77
Çizelge 6.1. Datalogger-Termokupl bağlantıları	81
Çizelge 6.2. Deney Sonuçları (7 cm kasa derinliği)	89
Çizelge 6.3. Deney Sonuçları (5 cm kasa derinliği)	90
Çizelge 6.4. Deney Sonuçları (3 cm kasa derinliği)	92
Çizelge 7.1. Geliştirilen LED armatürün piyasadaki benzerleri ile karşılaştırılması	96

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Elektronik balast diyagramı	23
Şekil 3.2. Armatür ışık dağılım eğrileri	25
Şekil 3.3. 40 m x 40 m odada simülasyon için aydınlatma armatürleri yerleşimi	27
Şekil 3.4. Simülasyon ortamı ve armatür yerleşiminin 3 boyutlu görüntülenmesi.....	27
Şekil 3.5. Aydınlatma armatürlerinin ışık dağılımının görüntülenmesi	28
Şekil 3.6. Kelvin ile ifade edilen logaritmik bir ölçekte görünür ışık tonları (Paronis, ve diğerleri, 2018)	30
Şekil 3.7. Armatür ışık dağılım eğrileri	38
Şekil 3.8. Simülasyon ortamı ve armatür yerleşiminin 3 boyutlu görüntülenmesi.....	40
Şekil 3.9. Aydınlatma armatürlerinin ışık dağılımının görüntülenmesi	40
Şekil 4.1. Bağlı ışık akısı ve sürüş akımı grafiği	43
Şekil 4.2. LED modül panel modellemesi teknik çizimi	46
Şekil 4.3. Armatür gövdesinin açınım resmi	49
Şekil 4.4. Armatür gövdesinin form verilmiş hali	50
Şekil 4.5. EMI filter ve PFC düzenleme devresi	56
Şekil 4.6. Feedback dönüşleri ve optokuplörler.....	57
Şekil 4.7. Akım ve gerilim grafikleri	57
Şekil 4.8. Half bridge mimarisi ve flyback trafo konumları	58
Şekil 4.9. PWM girişi devre şeması.....	58
Şekil 4.10. Sabit akımlı çıkış tasarımı	59
Şekil 4.11. Baskı devre tasarımları	61
Şekil 4.12. LED modül montaj teknik çizimi	62
Şekil 5.1. LED ısı yükü tanımlamaları.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Ortam sabitlerinin tanımlanması.....	67
Şekil 5.3. Elektronik devre kartı termal iletkenlik katsayısı.....	68
Şekil 5.4. Kontak direnci olarak lehim alaşımı tanımlanması	68
Şekil 5.5. Termal analiz hesaplama ekranı	69
Şekil 5.6. Isı dağılımı gösterimi.....	70
Şekil 5.7. Isı dağılımı gösterimi (500 mA sürüş akımı).....	73
Şekil 5.8. Isı dağılımı gösterimi (700 mA sürüş akımı).....	76
Şekil 6.1. AC şebeke ölçümü.....	85
Şekil 6.2. Sürücü girişindeki akım ve gerilim grafiği.....	85
Şekil 6.3. Inrush akım ölçümü	86
Şekil 6.4. Akım ve gerilim harmoniklerinin ölçümü	86
Şekil 6.5. Güç ölçümü.....	87
Şekil 6.6. Sürücü giriş gerilimi ve çıkış akımının güç faktörü üzerindeki etkisi.....	88
Şekil 6.7. Işık dağılımı (7 cm kasa derinliği).....	89
Şekil 6.8. Işık yoğunluğu görüntülemesi (7 cm kasa derinliği)	90
Şekil 6.9. Işık dağılımı (5 cm kasa derinliği).....	91
Şekil 6.10. Işık yoğunluğu görüntülemesi (5 cm kasa derinliği)	91
Şekil 6.11. Işık dağılımı (3 cm kasa derinliği).....	92
Şekil 6.12. Işık yoğunluğu görüntülemesi (3 cm kasa derinliği)	93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Geçmişten günümüze floresanlar	17
Resim 3.2. T5 floresan lambalı armatür gövdesi (Pelsan Aydınlatma, 2019)	20
Resim 3.3. T5 floresan lambalı armatür gövdesi teknik çizimi ve tavan montajı gösterimi (Pelsan Aydınlatma, 2019).....	20
Resim 3.4. Parabolik reflektör (Pelsan Aydınlatma, 2019)	21
Resim 3.5. Prizmatik difüzör (Pelsan Aydınlatma, 2019)	21
Resim 3.6. Mekanik ve elektronik balast giriş/çıkış frekansları (Florida Solar Energy Center, 2019)	23
Resim 3.7. Yarım watt yüzeye monte beyaz LED görüntüsü.....	31
Resim 3.8. İki katmanlı PCB iç yapısı.....	32
Resim 3.9. 2, 4, 6 katmanlı PCB genel yapısı (Electrosoft Engineering, 2019).....	32
Resim 3.10. Polikarbon yarı transparan beyaz difüzör plakası (Suzhou Omay Optical Materials Co. Ltd., 2019).....	36
Resim 3.11. Harici LED sürücü (Eaglerise Electric Electronic Co. Ltd., 2019)	37
Resim 4.1. LED modül elektronik devre kartı çizimi.....	45
Resim 4.2. Bir kutuplu SMD bağlantı klemensi	46
Resim 4.3. LED modül 3 boyutlu panel modellemesi	47
Resim 4.4. Armatür gövdesinin form verilmiş hali	50
Resim 4.5. Armatür gövdesinin 3 boyutlu görünümü.....	51
Resim 4.6. Armatür gövdesinin 3 boyutlu perspektif görünümü.....	51
Resim 4.7. PA75S2 modeli difüzör plakası	53
Resim 4.8. PA-00S modeli difüzör plakası.....	53
Resim 4.9. Kasa derinliğinin ışık kaynağının görünürlüğü üzerindeki etkisi.....	54
Resim 4.10. LED modül montaj ve ara bağlantı gösterimi.....	63

Resim	Sayfa
Resim 4.11. Nihai ürün görseli	64
Resim 6.1. Datalogger.....	80
Resim 6.2. Ölçüm konfigürasyonlarını gösterir datalogger ekran görüntüsü	81
Resim 6.3. Datalogger bilgisayar arayüzü (Logger utility)	82
Resim 6.4. Termokupl bağlantı noktaları	83
Resim 6.5. Termal ölçüm test düzeni.....	84



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Amper
°C	Santigrat
cm	Santimetre
E_m	Aydınlık düzeyi
Hz	Hertz
K	Kelvin
kHZ	Kilohertz
kV	Kilovolt
lm	Lümen
lm/W	Etkinlik faktörü
lx	Lüks
m	Metre
mA	Miliamper
mH	Milihenry
mm	Milimetre
P_D	Güç dağılımı
R_a	Renksel geriverim indeksi
s	Saat
T_a	Ortam sıcaklığı
T_c, T_d	Sürücü sıcaklığı
T_j	Jonksiyon noktası sıcaklığı
U₀	Ortalama düzgünlük
V	Volt
W	Watt
W/(m.K)	Termal iletkenlik katsayısı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AC	Alternatif akım
ALU	Alüminyum
C	Kondansatör
CCT	Renk sıcaklığı
CRI	Renksel geriverim indeksi
CVCC	Sabit gerilim sabit akım
DC	Doğru akım
DKP	Levha haline getirilmiş metal malzeme
DPF	Deplasman güç faktörü
EMI	Elektromanyetik girişim
HID	Yüksek yoğunluklu deşarj
I	Akım
LED	Işık yayan diyot
L	Bobin
LPW	Watt başına lümen değeri
P	Güç
PCB	Baskılı devre kartı
PF	Güç faktörü
PFC	Güç faktörü düzenleyici
PWM	Sinyal genişlik modülasyonu
R	Direnç
RMS	Etkin değer
SMD	Yüzeye monte
SMPS	Anahtarlama güç kaynağı
T	Sıcaklık
THD	Toplam harmonik distorsiyon
UGR	Birleşik kamaşma değeri

1. GİRİŞ

Günümüzde LED teknolojisi neredeyse her alanda kendine yer edinmektedir. LED teknolojisinin kullanıldığı alanlardan biri de genel aydınlatma uygulamalarıdır. Dünya genelinde hem iç mekân hem de dış mekân aydınlatmalarının, LED teknolojisiyle yenilediği bir dönüşüm dönemi yaşanmaktadır.

LED'ler yüksek ışık verimine sahip aydınlatma elemanları olsa da bir sistem içine dâhil edildiğinde ışık çıktısında bazı düşüşler görülmektedir. Işık kaybını kontrol altında tutmak için ürün tasarımı ve malzeme seçimi son derece önemlidir. Doğru tasarlanmış bir aydınlatma elemanı, düşük güç tüketimiyle yüksek ışık çıktısına sahip olacak, bu sayede enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Modern dünyada, insanlar gününün büyük bir kısmını iş yerlerinde geçirmektedir. Çalışanlar, mesai saati boyunca (gündüz de olsa), yapay ışığa maruz kalır. Bu ışık, güvenli çalışma ortamının sağlanması, görsel işlerin yürütülmesi ve uygun görüş alanının oluşturulması için gereklidir. Aydınlatma, çalışanların performansı ve sağlığı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu yüzden, ofislerde aydınlatma son derece önemlidir.

Yakın zamana kadar ofis aydınlatmaları genellikle floresan ışık kaynaklı aydınlatma armatürleri kullanılarak yapılmaktaydı. Son yıllarda, floresan ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerinin yerini LED panel olarak bilinen LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürleri almaktadır. LED aydınlatma seçiminde öncelikle dikkat edilmesi gereken konular; güç tüketimi, ışık çıktısı ve kullanım ömrüdür.

Güç tüketimi (watt), aydınlatma armatürünün ne kadar enerji harcadığını gösterir. Işık çıktısı (lümen) aydınlatma armatürünün ne kadar ışık yaydığını ifade eder. Kullanım ömrü ise, aydınlatma armatürünün termal yönetimiyle doğrudan ilişkilidir.

Bir aydınlatma armatürü üzerindeki LED'ler ve diğer elektronik bileşenler ne kadar çok ısınır, armatürün arıza yapma olasılığı o kadar artacaktır. LED'ler tamamen bozulmasa bile, kullanıldıkça ışık akısında kalıcı kayıplar oluşacaktır. Bir aydınlatma armatürünün arıza yaptığını söylemek için tamamen kullanılmaz hale gelmesi gerekmez. Aydınlatma armatürü, başlangıç ışık akısının %30'unu kaybettiğinde, kullanım ömrü tamamlanmış olarak kabul

edilir (Padmasali ve Kini, 2016). Uzun kullanım ömrüne ulaşabilmek için aydınlatma armatürü iyi bir termal yönetime sahip olmalıdır.

Aydınlatma armatürü tasarımı, ışık kaynağı, mekanik, optik ve elektronik tasarım konularını bir araya getirmektedir. Bu çalışmada, mevcut durumda kullanılan floresan ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerinin yerine geçebilen, yüksek verimli, enerji tasarruflu ve uzun ömürlü LED’li ofis aydınlatma armatürü tasarlanmıştır. Tasarım  ıktısı, farklı koşullar altında gerçekleştirilen termal analizler yardımıyla değerlendirilmiştir. Analizlerin gerçekleştirilmesinden sonra numune üretimi yapılarak, görsel ve termal testlere tabi tutulmuştur. Sonrasında, aydınlatma armatürünün fotometrik ölçümü ve elektriksel performans testleri akredite test kuruluşunda yaptırılarak performans değerleri doğrulanmıştır.

Tezin bundan sonraki bölümleri aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir;

- Literatür araştırması bölümünde ofis aydınlatması ve LED teknolojisi üzerine yapılan çalışmalar incelenerek tasarım girdileri belirlenmiştir.
- Ofis aydınlatması bölümünde iş yerlerinde ofis ortamlarının aydınlatılması için uygulanan standartlar incelenmiş, kullanıcı ihtiyaçları belirlenmiştir. Yine bu başlık altında ofis aydınlatması için kullanılan geleneksel ve LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürleri incelenerek, bilgisayar simülasyon yazılımı yardımıyla performans karşılaştırmaları yapılmıştır.
-  r n tasarımı bölümünde, LED’li ışık kaynağı tasarımı, armatür gövdesi tasarımı, optik tasarım ve ışık a ı tasarımı, LED sürücü tasarımı gerçekleştirilmiş ve modüler entegrasyon planı oluşturulmuştur.
- Isı transfer analizi bölümünde, tasarımı yapılan LED ışık kaynağının farklı sürüş akımlarında termal analizleri SOLIDWORKS Flow Simulation yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler yardımıyla, ürün ömrüyle ilişkili sürüş akımına ilişkin sınır değerler belirlenmiştir.
- Ürünün gerçek  evre koşullarında test edilmesi başlıklı bölümde termal testler gerçekleştirilmiş ve test sonuçlarıyla ürün ömrü ilişkisi kurulmuştur. Uygun  l  m ekipmanları yardımıyla elektriksel performans testleri gerçekleştirilmiştir. Fotometrik test ve ölçümler ise akredite aydınlatma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

- Sonuç bölümünde analiz ve deney sonuçlarıyla elde edilen sıcaklık, enerji tüketimi, ışık verimi gibi çıktılar değerlendirilmiş, karşılaştırma tablosuyla birlikte özet bilgiler verilmiştir.





2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ofis aydınlatması ve LED teknolojisi üzerine yapılan çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir;

Malezya'nın ulusal uygulamalı Ar-Ge merkezi MIMOS Berhad'dan, Sivaji, Shopian, Nor, Chuan ve Bahri (2013) tarafından yapılan çalışmada renk sıcaklığının insan üzerindeki psikolojik ve fizyolojik etkilerinin belirlenmesi amacıyla 10 ofis çalışanı üzerinde kontrollü bir deney yapılmıştır. Bu çalışmayla; bilgisayar tabanlı işler yapılan ofis ortamlarında soğuk beyaz ve gün ışığı renk sıcaklıklarının sıcak beyaz renk sıcaklığına göre daha faydalı olduğu sonucuna varılmıştır.

Işık, optik radyasyonun insan görüşünü uyarması ile tanımlanırken insanın biyolojik saati üzerindeki etkisi göz ardı edilmemelidir. Biyolojik saatin etkilenmesi, diyabet, obezite, kalp hastalıkları, uyku bozukluğu, meme kanseri riskinin artması gibi birçok sağlık sorununa ve davranışlarda değişime yol açabileceği değerlendirilmektedir. Bu sebeple yapay ışık kaynaklarıyla yapılan aydınlatma dinamik olarak değişerek doğal gün ışığını taklit edebilmelidir (Hrbac, Kolar, Novak, Prokop ve Vanus, 2018).

Yonsei Üniversitesi, Mimarlık Mühendisliği Bölümü'nden Ahn, Jang, Leigh, Yoo ve Jeong (2013) tarafından yapılan çalışmada LED aydınlatmaların ofislerde soğutma ve ısıtma sistemlerine dolayısıyla enerji tüketimine olan genel etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma ile ofis aydınlatmalarında LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerinin kullanımının binanın enerji verimliliğini artıracığı sonucuna varılmıştır.

İtalya'da INRIM araştırma enstitüsünde Iacomussi, Radis, G. Rossi ve L. Rossi (2015) tarafından yapılan çalışmada genel olarak LED aydınlatmaların rahatsız edici kamaşmaya yol açtığı ancak bu sorunun ışık kaynağının bir difüzör yardımıyla gizlenerek aşılabildiği gösterilmiştir. Difüzör aynı zamanda daha homojen bir ışık dağılımı sağlanmasına da yardımcı olmaktadır.

LED armatürün ömür boyu güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için IES-LM80-08'e uygun ışık çıktısı lümen değerleri, standartlar ve test raporlarına sahip olan LED sürücünün arızalanma ihtimali ve LED armatürün kullanım ömrü boyunca hata durumlarını içeren

termal zorlama verisi ile zamana bağı kümülatif hata dağılım fonksiyonu çıkarılmaktadır (Li, L. Chen ve M. Chen, 2011).

Tayvan'da Nan Kai Teknoloji Üniversitesi'nde LED'lerin soğutma performansı üzerine Huang, Chen, Tsai ve Lin (2019) tarafından yapılan çalışmada yüksek güçlü LED'lerin harcadığı enerjinin %20-30'unu ışığa, kalan enerjiyi ise ısıya dönüştürdüğü ve açığa çıkan bu ısının LED'lerin jonksiyon sıcaklığını artırarak LED'in ışık yoğunluğunu, renk dengesini ve ömrünü olumsuz etkilediği ortaya çıkarılmıştır. Önerilen pasif soğutma sisteminin ısıyı verimli bir şekilde dağıtmasıyla, ışık kaynağının ömrünü uzatarak koruyabildiği sonucuna varılmıştır.

LED'lerin üzerindeki epoksi malzemenin sararması sonucu ışık çıkışında azalma olduğu belirlenmiştir. Bunun sebepleri p-n jonksiyon sıcaklığı, kısa dalga boylu radyasyon miktarı ve fosfor tabakasının LED çipine olan mesafesidir. Bu sebeplerin testi için iki adet deney yapılmıştır. İlk deneyde jonksiyon sıcaklığı ve kısa dalga boylu emisyonun beyaz LED üzerindeki etkisi incelenmiştir. Jonksiyon sıcaklığı aynı, farklı kısa dalga boylarında bulunan beyaz LED'ler ve jonksiyon sıcaklıkları farklı, aynı kısa dalga boyundaki LED'ler iki gruba ayrılarak karşılaştırılmıştır. Kısa dalga boylu radyasyon arttığında ışık çıkış bozunumu da artmaktadır. Aynı kısa dalga boyunda farklı jonksiyon sıcaklıklarında yapılan testte ise sıcaklık artışıyla eksponansiyel olarak ışık çıkış bozunumu da artmaktadır. Diğer deneyde fosfor tabakası mavi LED'in epoksi ve LED çipine belirli bir mesafede bırakılmıştır. Beyaz, mavi LED ve mavi LED üzeri fosfor tabası olmak üzere toplam üç farklı LED grubunun 40 mA ve 60 mA'deki davranışları incelenmiştir. Bunun sonucunda beyaz LED'lerin daha çabuk bozunuma uğradığı, fosfor tabakası yakın olan LED çipine sahip mavi LED'in ise diğer fosfor tabakası belirli bir mesafeye yerleştirilmiş olan mavi LED'e oranla daha hızlı bozunuma uğradığı gözlemlenmiştir (Narendran N. , Gu, Freyssinier, Yu ve Deng, 2004).

Tayvan'da Ulusal Kaohsiung Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde Shyu, Hsu, Yang ve Wang (2011) tarafından yapılan çalışmada LED'lerde giriş gücünün büyük bir kısmının ısıya dönüştüğü, açığa çıkan bu ısının ciddi problemlere sebep olduğu belirtilmiştir. LED'in jonksiyon sıcaklığının düşük seviyelerde tutulmasının yüksek ışık verimi, sabit ışık çıkışı, sabit dalga boyu ve daha uzun kullanım ömrü için bir anahtar olduğu belirtilmiştir.

LED çiplerinin ömürleri üretim teknolojisine bağlı olarak 25 000-100 000 saat arasında değişiklik göstermesine rağmen LED iplerini süren LED sürücünün çalıştığı topoloji sahip olduğu koruyucular bu performansın etkilenmesine sebep olmaktadır (Huang, Golubovi, Duşan, Koh, Yang, Li, Fan ve Zhang, 2015).

LED armatürlerin aniden kapanması genellikle LED sürücü içerisindeki devre elemanlarının arızasından dolayı çıkış akımının kesilmesinden kaynaklanmaktadır. Bir diğer sorun da kullanım süresince LED ipinin ışık çıktısındaki azalma olmaktadır. LED ipi ve sürücüsündeki bu problemler sistemsel problemlere yol açmaktadır (Hamon ve van Driel, 2016).

LED ipi, maksimum ışık çıktısının %70'ine düştüğünde ömrü tamamlanmıştır. LED'in ömrünü etkileyen en önemli faktörlerden biri p-n jonksiyon sıcaklığıdır. Aynı üreticiye ait beyaz high power LED'ler, 350 mA sürüş akımında, 35-50 C aralığında değişen ortam sıcaklıklarına sahip farklı test düzeneklerinde deneyleri yapıldığında LED çiplerinin jonksiyon noktasındaki sıcaklık artışıyla ömürlerinin eksponansiyel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bir diğer deneyde farklı üreticilerin aynı özellikteki LED'leri ile aynı sürüş akımı ve aynı ortam sıcaklığında yapılmıştır. Bu deneyde LED'ler çalışmaya başladığıa jonksiyon noktalarındaki sıcaklıklar 38-59 C arasında farklılık göstermiştir. Bu sonuca paralel olarak ömürleri de değişim göstermiştir (Narendran ve Gu, 2005).

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi Ana Bilim Dalı'ndan Erkin, Yurtseven, Güler ve Onaygil (2013) ofis aydınlatmalarında kullanılan 4x18W'lık floresan lambalı armatürler yerine LED panel armatürlerin uygulanması halinde aydınlık düzeyleri ve düzgünlük gibi parametrelerdeki değişimleri ve olası enerji tasarrufu oranlarını belirlemeye çalışmıştır. Bu alışma sonucunda, floresan lambalı armatürler yerine LED ışık kaynaklı panel armatürlerin bire bir değişimiyle aydınlık düzeyinde %1,3 oranında artış, düzgünlük değerlerinde iyileşmeler ve enerji verimliliği açısından %59 oranında ciddi bir tasarruf elde edildiği belirtilmiştir.

Akademik alışma yapılan binalarda sınıfların aydınlatılmasının T8 floresan veya LED aydınlatma sistemleriyle yapıldığında enerji tüketimlerinin karşılaştırılması ile ilgili Meksika'da Espejel-Blanco, Hoyo-Montano, Orrante-Sakanassi ve Federico-Rivera (2018) tarafından bir deneysel çalışma yapılmıştır. Meksika'da geçerli olan NOM-025-STPS2008

standartı gereği sınıf aydınlatmalarının 300 lx olması gerekmektedir. Ölçüm ve test için belirlenen sınıf 7,2m x 8,4m boyutlarında ve aydınlatılması gereken çalışma alanı ile ışık kaynağı arasındaki yükseklik 1,63m'dir. Sınıf 26 bölgeye ayrılmış ve iki aydınlatma türüyle yapılan testler sonucunda belirlenen noktalarda aydınlık seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Ortalama aydınlık seviyesi için 16 nokta belirlenerek ortalama aydınlık miktarı bulunmuştur. Çalışma sonucunda T8 floresan ile ortalama aydınlık değeri 290,45 lx ve güç tüketimi 342W olurken, LED aydınlatma ile ortalama aydınlık değeri 304,97 lx ve güç tüketimi 155W olmaktadır. Böylece LED aydınlatma dönüşümüyle birlikte %54,7 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca LED aydınlatma sistemi ZigBee protokolünü kullanan XBEE S2C modülüyle kablosuz kontrol edilerek aydınlatma planlamasıyla verimlilik daha da artırılabilir.

Endüstriyel ortamlarda yer alan aydınlatma armatürleri titreşim, toz, kimyasal ve patlayıcı gibi birçok çevresel etkene maruz kalmaktadır. Endüstriyel ortamlarda yer alan LED armatürler teknolojik gelişmelerle birlikte ortamlara uygun tasarlanmalı, üretilmeli ve konumlandırılmalıdır. LED armatürler HID ile karşılaştırıldığında kalite, güvenlik ve performans, uzun ömür olarak tesislerde daha etkin kullanılmaktadır. Ayrıca LED ile aydınlatılmak istenen çalışma ortamı doğrudan reflektöre ihtiyaç duymadan aydınlatılabilmektedir. Böylece LED'ler ile yapılan doğru aydınlatma ile iş güvenliği artırılarak çalışanlar daha güvenli, risk ve tehlikeleri daha iyi görerek çalışma imkânına sahip olmaktadır (Jenkins ve Morse, 2016).

Günümüzde ofis aydınlatmalarında, enerji tasarruflu olması ve görsel performansı artırması nedeniyle LED teknolojisi öne çıkmaktadır. LED ışık kaynaklı armatürler ile yapılan ofis ortam aydınlatmalarında yüksek oranda enerji tasarrufu sağlansa da bu tarz armatürlerin tasarımında bazı zorluklar bulunmaktadır. Mekanik ve optik tasarım armatürün güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamalı, ışık dağılımını homojen bir şekilde gerçekleştirebilmelidir. Aynı zamanda elektriksel ve termal tasarım da aydınlatma verimi ve ürünün kullanım ömrü açısından son derece önemli olmaktadır.

İç mekân ortamlarında aydınlatma armatürlerinin esnek seçenekler sunabilmesi gerekmektedir. Geleneksel iki aydınlatma türü olan akkor ve floresan lambalar yerine LED dönüşümü hızla devam etmektedir. Enerji tasarrufu, küçük boyutlar, konvansiyonel lambalardan daha uzun ömür sunabilmesi, armatür tasarımcıları için daha fazla seçenek

sunabilmesi bu dönüşümün hızlanma sebepleridir. Küçük alanlarda birçok aydınlatma armatürü mimariyi estetiklikten uzaklaştırmakta ve bakım maliyetlerini de arttırmaktadır. Gu ve Narendran (2004) tarafından bir konferans odası için yapılan çalışmada beyaz LED'ler, farklı açı ve şekillere sahip ışık kılavuzları kullanılarak doğrudan, dolaylı, genel ve yönlü aydınlatmayı sağlayabilen esnek bir aydınlatma armatürü gibi kullanılarak ortamın aydınlatılması amaçlanmıştır. Kılavuzla ışık yönlendirme sonucunda ışık dağılım açısı grafiklerinde değişimler ortaya çıkmıştır. Testi yapılan odada masa, ön duvar, yan duvarlar ve tavan için ışık dağılımı düzgünlüğü ve belirtilen yüzeyler için maksimum-ortalama aydınlık miktarı değerleri ölçülmüştür. Ortalama sistem verimliliği %55 civarında olmuştur. Bir aydınlatma armatürünün sistem verimliliği %80 üzerinde olması gerektiğinden dolayı sistem üzerinde bazı geliştirmeler yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada ofis aydınlatmalarında kullanılan floresan ışık kaynaklı geleneksel aydınlatma armatürlerinin yerine geçebilen, uzun ömürlü, enerji tasarruflu ve yüksek verimli LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü tasarımı gerçekleştirilmiştir.



3. OFİS AYDINLATMASI

İş yerlerinde güvenli bir çalışma ortamı sağlanmasında, görsel işlerin kolaylıkla yapılmasında ve uygun bir görüş alanı oluşturulmasında en önemli faktörlerden biri aydınlatmadır. İş yerlerinde oluşabilecek riskler düşünüldüğünde güvenli çalışma ortamının sağlanması en önemli gerekliliklerden biridir. İş güvenliği gerekliliklerinin sağlanması, çalışma alanındaki tehlikelerin görünür kılınması ile sağlanacaktır. Aydınlatmanın görsel etkisinin yanında çalışanın kendini iyi hissetmesi, moralinin yüksek olması ve yorgunluk hissetmemesi gibi biyolojik ve psikolojik etkileri de bulunmaktadır. Aydınlatma iş verimini de büyük ölçüde etkilemektedir. Aydınlatma öncelikle, yapılan iş ve işlemlerde tüm detayın görülebilmesi için gereklidir. İş sağlığı ve güvenliği açısından ise aydınlatmanın işin uygulanan kalite standartlarının gerektirdiği şekilde yapılmasını ve hata oranlarının azaltılmasını sağlamasının yanında iş kazalarının önlenmesinde de büyük etkileri bulunmaktadır. Bu tür alanlarda aydınlatma gereklilikleri, Avrupa Birliği tarafından 2002 yılında kabul edilen TS EN 12464 "Çalışma Mekânlarının Aydınlatılması Standardı" ile belirlenmiştir. Bu standart;

- Işık Dağılımı
- Aydınlık Düzeyi (E_m)
- Kamaşma (UGR)
- Renk Sıcaklığı (CCT)
- Renksel Geriverim (R_a)
- Doğrultulu Işık
- Frekans
- Günişığı

ile ilgili sınır değerleri tanımlamaktadır.

Aydınlatma kalite kriterleri yanında, aydınlatma armatürleri normal kullanımda güvenle çalışacak, çevresi ve canlılar için hiçbir tehlike oluşturmayacak biçimde tasarlanmalı ve imal edilmelidir. Bu alanda genel olarak uygunluk TS EN 60598 standardında bulunan deney ve testlerin yapılmasıyla kontrol edilir.

Özetle bu çalışmada tasarlanacak armatürünün, EN 12464'e ve EN 60598 standartlarına uygun olmasıyla gerekli aydınlatma kalite kriterlerine sahip, enerji tasarruflu, bakım gerektirmeyen ve uzun ömürlü olması sağlanacaktır.

3.1. Aydınlatma Terimleri

Bu çalışmada kullanılmış aydınlatma terimleri açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

Armatür

Bir veya birden fazla elektrikli ışık kaynağını ve çalışması için gerekli tüm parçaları içerisinde barındıran aydınlatma ünitesine armatür adı verilir.

Aydınlatma seviyesi

Aydınlık ya da aydınlatma seviyesi bir yüzey üzerinde birim alan başına düşen toplam ışık miktarıdır.

Bakım faktörü

Bakım faktörü, lambanın uzun süre kullanımı veya kirlenmesinden dolayı oluşan ışık çıktısındaki düşüşü ifade eden çarpandır.

Balast

Floresan ve HID gibi gaz deşarjlı lambaları çalıştırmak için ihtiyaç duyulan, uygun gerilimi ve akımı sağlayan cihazlara balast denir.

CRI

CRI, elektrikli ışık kaynaklarının, doğal yani güneş ışığına göre renkleri yansıtma yeteneğini ölçer.

Difüzör

Işık kaynağından çıkan parlak ışığı kontrol altına alan ve yumuşak bir şekilde yayan optik materyale difüzör adı verilir.

Düzgünlük

Düzgünlük, aydınlatılmış yüzeylerde minimum aydınlığın ortalama aydınlığa bölümü ile ifade edilir.

Gerilim

İki nokta arasındaki elektrik potansiyeli farkına gerilim adı verilir. İki nokta arasındaki potansiyel farkı, bağlı olduğu devrede elektronları hareket ettirerek elektrik akımı oluşturur.

Güç

Güç (buradaki kullanımıyla elektriksel güç), elektrikli cihazların birim zamanda harcadığı enerji miktarını ifade eder.

Güç faktörü

Alternatif akım (AC) devrelerde, devre üzerinde kullanılan gerçek gücün, devreye verilen görünür güce oranına güç faktörü denir.

Işık açısı

Bir ışık kaynağının ışığı nasıl dağıttığını belirten ifadeye ışık açısı (beam angle) denir.

Işık akısı

Bir aydınlatma aygıtının her yönde yaydığı toplam ışık miktarına ışık akısı denir.

Işık verimi

Işık verimi, bir aydınlatma elemanının elektrik gücünü ışığa ne kadar verimle dönüştürdüğünü belirtir.

Kamaşma

Kamaşma, aşırı ve kontrolsüz bir şekilde dağılan ışığın neden olduğu görsel algıdır. Parlak güneş ışığına veya yapay ışığa (elektrikli ışıklar) maruz kalındığında ortaya çıkan görme zorluğuna kamaşma denir.

LED

LED, üzerinden elektrik akımı geçirildiğinde ışık yayan, diyot temelli elektronik devre elemanıdır.

LED sürücü

LED sürücü, bir LED ya da LED dizisini çalıştırmak için gerekli gerilimi ve akımı sağlayan elektronik cihazdır.

LM-79

LM-79, LED gibi katı hal aydınlatmaların fotometrik ve elektriksel özelliklerini ölçmek için Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Derneği (IESNA) tarafından oluşturulan test yöntemidir.

LM-80

LM-80, LED ışık kaynaklarının zamana bağlı lümen kayıplarını ölçmek için Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Derneği (IESNA) tarafından oluşturulan bir standarttır.

PCB

Elektronik devre elemanlarının bir araya getirilerek üzerindeki iletken hatlarla devre elemanları arasındaki elektriksel bağlantıyı sağlayan plaka şeklindeki bileşenlere PCB denir.

Renk sıcaklığı

Renk sıcaklığı, ışık kaynağının yaydığı görünür ışığın sahip olduğu ışık rengini belirtir.

TM-21

TM-21, LM-80'e göre toplanan verilerle, LED paketinin, dizisinin ya da modülünün zamana bağlı lümen kaybını hesaplamak için önerilen yöntemdir.

UGR

UGR, aydınlatma armatürlerinden kaynaklanan kamaşmayı hesaplama yöntemidir.

3.2. Kullanıcı İhtiyaçları

Ofis aydınlatması tasarımı yapılırken dikkate alınması gereken standart EN12464-1 standardıdır. EN12464-1 kapalı çalışma alanlarındaki kişiler için normal görebilen (görsel) kişilerin görme rahatlığı ve performans ihtiyaçlarını karşılayan aydınlatma kurallarını kapsamaktadır. EN12464-1, birçok kapalı alan çalışma yeri ve ilişkili olduğu alanlar için aydınlatma çözümlerini, niceliği ve niteliği bakımından belirler. Ek olarak iyi aydınlatma uygulaması için tavsiyeler de vermektedir.

EN12464-1, aydınlatma uygulamaları için özel çözümler sağlamaz. Bunun yanı sıra, tasarımcıların yeni teknik araştırma serbestliğini ve yenilikçi yaklaşımlarını da sınırlamamaktadır.

EN12464-1, yalnızca kapalı alan çalışma alanları için uygulanır; açık alanlarda, yer altı madenciliğinde ve acil aydınlatma uygulamalarında kullanılamamaktadır.

Açık alan çalışma yerlerinde EN 12464-2, acil aydınlatma için ise EN 1838 ve EN 13032-3 standartları gözden geçirilmelidir.

Ofis ortamlarında aydınlatma gün ışığı, yapay aydınlatma veya ikisinin birleşimiyle sağlanabilir.

Ofis aydınlatması yapılırken EN12464-1 kodlu standartta belirtilen, Çizelge 3.1’de gösterilmiş en az aydınlık düzeylerine dikkat edilerek hesaplamalar gerçekleştirilmelidir.

Çizelge 3.1. Ofislerde işlerin ve faaliyetlerin aydınlatma özellikleri (TSE, 2013)

Ref. no.	İç kısım, iş veya faaliyet tipi	$\bar{E}_m$ (lx)	UGR _L	U _o	R _a
5.26.1	Dosyalama, kopyalama, vb.	300	19	0,4	80
5.26.2	Yazma, elektronik yazma, okuma, veri işleme	500	19	0,6	80
5.26.3	Teknik çizim	750	16	0,7	80
5.26.4	CAD iş istasyonları	500	19	0,6	80
5.26.5	Konferans ve toplantı odaları	500	19	0,6	80
5.26.6	Resepsiyon	300	22	0,6	80
5.26.7	Arşivler	200	25	0,4	80

EN12464-1 standardı gereği Çizelge 3.1’de belirtildiği gibi, ofis içerisinde ortalama 500 lux aydınlık seviyesinin yakalanması ve ortalama düzgünlüğün 0,60’ın üstünde olması yeterlidir. Pek çok projede, özellikle dönüşüm projelerinde ofis içerisinde (geleneksel floresan aydınlatmadan LED’li aydınlatmaya geçiş) 300 lüks aydınlatma seviyesinin yeterli görüldüğü düşünülerek, bu değere göre çalışmalar yapılmaktadır.

3.3. Geleneksel Aydınlatma Armatürleri

Yüzyıllık bir süreçte mekânların aydınlatılması gelişen teknolojiyle birlikte farklı ışık kaynaklarıyla yapılmıştır. LED teknolojisinden önce, uzunca bir süre ofislerin aydınlatılması için floresan ışık kaynakları kullanılmıştır.

İyi bir aydınlatma armatürü tasarlamak için geçmişteki teknolojiyi doğru bir şekilde analiz etmek gerekmektedir. Bu doğrultuda 1980’lerden bu yana kullanılan 4x18 armatür olarak bilinen 18W T8 floresan lambalar kullanılarak üretilen armatürler ile birlikte, 2000’lerden bu yana kullanılan; 4x14 olarak isimlendirilen 14W T5 floresan lambalar kullanılarak üretilen armatürler incelenecektir.

Yapılan incelemelerde armatürlerin nasıl imal edildiği, hangi elemanlardan oluştuğu ve üretiminin nasıl yapıldığı değerlendirilmelidir. En genel haliyle, 4x14 veya 4x18 floresan ışık kaynaklı armatürler aşağıdaki ana başlıklar halinde incelenebilir.

- Işık kaynağı (Floresan)
- Mekanik (Kasa)
- Optik (Reflektör veya difüzör)
- Elektronik (Elektronik balast)

3.3.1. Işık kaynağı

Ofis aydınlatma armatürlerinde ışık kaynağı olarak geçmişte kullanılan floresan lambalar boyutu ve ışık verimine göre farklı gruplara ayrılmaktadır.

Lamba kodu içerisinde yer alan “T” harfi, floresan lambanın boyutunu belirten basit bir koddur. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bu kod enerji verimliliği seviyesini gösteren bir parametre haline gelmiştir. Bu kod aynı zamanda, floresan lamba tüpünün çapını belirtmektedir.

Floresan lambaların ikinci jenerasyonu T8 ampul 26 mm çapındayken, üçüncü nesil T5 ampul ise 16 mm çapındadır. Floresan lamba tipleri Resim 3.1’de gösterilmiştir.



Resim 3.1. Geçmişten günümüze floresanlar

Standart bir T8 floresan fiyatı \$2-\$5 arasında değişirken, T5 floresan fiyatı ise \$5-\$12 aralığında yer almaktadır. T5 floresan fiyatı, T8'in yaklaşık olarak iki katı olmaktadır. Ancak iki teknoloji arasında aynı oranda bir performans artışı görülmemektedir. Bu sebeple pek çok uygulamada, başlangıç maliyet farkının yanında küçük sayılabilecek performans farklılıkları göz ardı edilerek, T8 uygulamaları devam etmektedir.

T5 ve T8 floresan lambaların günlük 12 saat kullanımda genel yaşam beklentisi 36 000 saattir.

Işığın kalitesi CRI (Renksel geriverim indeksi), miktarı ise LPW (Watt başına Lümen değeri) ile ölçülür. T5 ve T8 floresan tip ampuller 85 CRI renksel geriverim değerine sahiptir. T8 ampullerin watt başına lümen değeri 90 lm/W iken, T5'de 99 lm/W düzeyindedir.

Floresan T5 tip lambaların piyasaya sürülmesiyle, mevcut floresan T8 tip lambaların yerini alması amaçlanmıştır. Chiradeja, Ngaopitakkul ve Jettanasen (2015) tarafından yapılan çalışmada T5 lambasının, T8 lambasından daha az enerji tükettiği sonucuna varılmıştır.

Etkinlik değerleri bu kadar yakinken; T5'in armatür, lamba ve balast maliyetlerinde önemli bir artış görülmektedir. Bu senaryoya göre, yeni bir projede T8 yerine T5 tercih edilmesinin aydınlatma seviyelerinde kazanç sağlayacağı açıkça görülmekle birlikte; T8'den T5'e değişim uygulamalarının (mevcutta T8 armatürleri olan bir ofisin aydınlatma armatürlerinin T5 ile değiştirilerek projelendirilmesi) iyi bir fikir olmadığı söylenebilir. T8'den LED'e veya T5'den LED'e değişim uygulamaları hakkındaki değerlendirme ve analizler çalışmanın sonraki aşamalarında yapılacaktır.

3.3.2. Mekanik

Ofis aydınlatmasında kullanılan armatürler genellikle DKP sacdan imal edilmektedir. DKP sac, kalınlıkları 0,20-2,00 mm aralığında değişen rulo veya plaka şeklindeki yassı çelik ürünleridir. DKP sac, aydınlatma sektörünün yanında, otomotiv, ev aletleri, mutfak eşyaları, radyatör ve havalandırma gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır. DKP sac, uzun ömürlü ve üstün şekil alabilme kabiliyetine sahiptir.

DKP sacdan imal edilen armatür gövdesi üzerinde birtakım delikler açılır. Bu delikler kablo geçişleri, armatürlerin tavana monte edilmesi, balastların, duyların ve reflektörlerin armatür içine monte edilmesi için kullanılmaktadır. Armatür içinde farklı çaplarda onlarca özel kesim ve delikler bulunmaktadır. Bütün bunların sac üzerine yapılması sac işleme makinelerinde yapılmaktadır.

Sac işlemek için lazer kesim tezgâhları veya panç pres takım tezgâhları kullanılmaktadır. Genellikle açılan delikler birbirinden farklı olmadığından ve standart iş akışı olduğundan dolayı armatür üretimi için daha ucuz olan panç pres tezgâhları kullanılır. Ancak düşük adetli işlerde kalıp gerektirmediğinden lazer kesim makineleri kullanılmaktadır.

Lazer kesim makineleri kullanıcıya esneklik kazandırması ve kesim için özel kalıp gerektirmemesi nedeniyle tercih edilir. Fakat panç pres tezgâhlarına göre başlangıç yatırımları çok yüksektir. Bu nedenle seri üretim yapılan işletmelerde genellikle panç pres tezgâhları bulunmaktadır.

Kesme ve delme işlemi biten armatür sacı, metal büküm makinesi yardımıyla 3 boyutlu armatür gövdesi haline getirilir.

Bükümü yapılan armatür gövde sacının, köşe birleşim yerlerinden açılmaması için, sökülmeyen birleşme metotlarından birisi olan kaynaklı birleştirme metodu ile bükülen kulakçıklardan kaynak yapılarak sağlam bir montaj gerçekleştirilmiş olur.

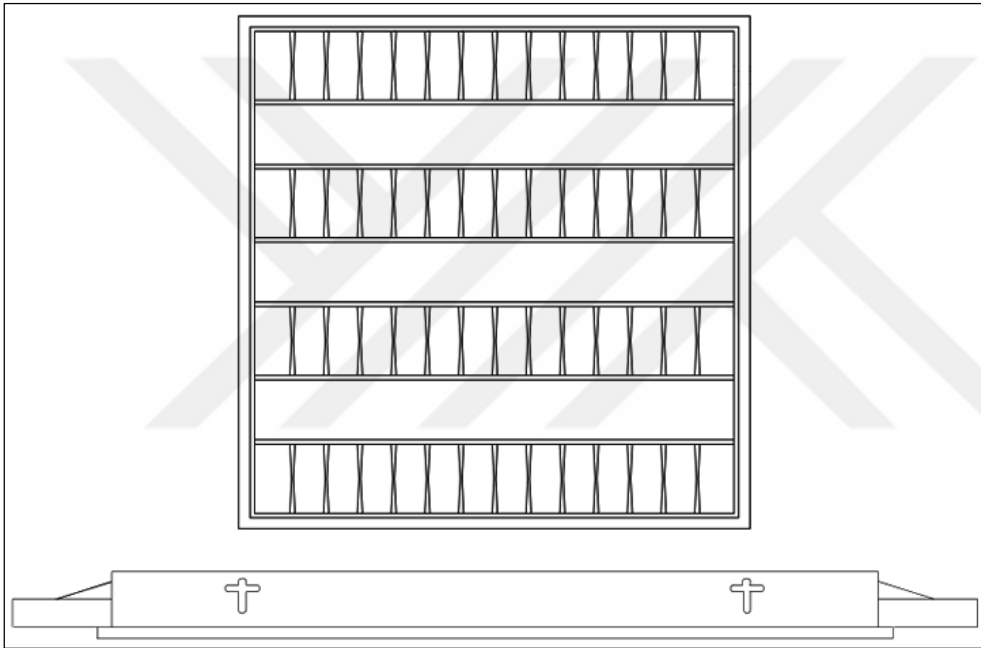
Kaynak sonrasında montajı biten armatür kasasının yüzey ve kaynak temizliği, zımpara ile yapılmaktadır. Yüzey çapaklardan arındırıldıktan sonra, boya işlemi için hazırdır.

Armatür kasası, beyaz renkte elektrostatik toz boya ile boyanır. Bu işlem sonucunda kasa nihai haline ulaşmış olur ve birleştirme için hazırdır.

Resim 3.2’de yerli bir üreticiye ait T5 floresan lambalı armatür gövdesinin 3 boyutlu görüntüsü yer almaktadır. Resim 3.3’te ise bu armatürün teknik çizimi ve tavan montaj şekli gösterilmektedir.



Resim 3.2. T5 floresan lambalı armatür gövdesi (Pelsan Aydınlatma, 2019)



Resim 3.3. T5 floresan lambalı armatür gövdesi teknik çizimi ve tavan montajı gösterimi (Pelsan Aydınlatma, 2019)

3.3.3. Optik

Geleneksel ofis aydınlatma armatürlerinde çoğunlukla parabolik reflektörler veya prizmatik difüzörler kullanılmaktadır. Armatürlerde mekânların farklı ışıksal ve mekanik ihtiyaçlarına göre farklı reflektör ya da difüzör tipleri tercih edilebilir.

Resim 3.4'te gösterilen parabolik reflektörler yüksek saflıkta anodize edilmiş %95 ve üzerinde yansıtma katsayısına sahiptir (Veksan Aydınlatma, 2019). Bu reflektörlerin parlak ve mat seçenekleri bulunmaktadır. Aydınlatma armatürleri çift parabolik kamaşma

engelleyici parlak reflektör ile yüksek verimlilikte ışık dağılımı sağlayabilmektedir. Bu reflektörler kasaya paslanmaz çelik yaylar ile tutturulmaktadır.



Resim 3.4. Parabolik reflektör (Pelsan Aydınlatma, 2019)

Resim 3.5’te gösterilen prizmatik difüzörler ise akrilik malzemelerden çekme yöntemiyle imal edilmiştir. Genellikle 2-10 mm kalınlığından üretilen bu difüzörler ile homojen ışık dağılımı sağlanabilmektedir. UV ışınlarına dayanıklı, %92’ye varan yüksek ışık geçirgenliğine sahip olmaları tercih sebebidir (Litpa Corporation, 2019). Difüzörler, akrilik malzeme ile üretildiğinden zamanla renk değişimine uğramaz ve yanıcılığı artıran bir özelliği yoktur.



Resim 3.5. Prizmatik difüzör (Pelsan Aydınlatma, 2019)

3.3.4. Elektronik

Floresan lambalarda ışık, floresan tüp içerisinde bulunan civa buharının tetiklenmesiyle elde edilir. Bu tetikleme, armatür içerisinde yer alan balast yardımıyla yapılır.

Balast, civa ve sodyum buharlı lambalarda başlangıçtaki ve nominal çalışma koşullarındaki gerilim ve akımı sınırlayıcı olarak görev yapmaktadır. Floresan lambaların flamanlarında oluşan kısa devreler akımın artmasına neden olur. Balasta gelen nominal gerilimin üstündeki gerilimler ise balast sıcaklığının artmasına neden olacaktır. Nominal gerilimin altındaki gerilim ise starter ve başlangıç hatalarına neden olmaktadır. Bu hataları ortadan kaldırmak için balastlar kullanılır. Balastlar mekanik ve elektronik olmak üzere ikiye ayrılır.

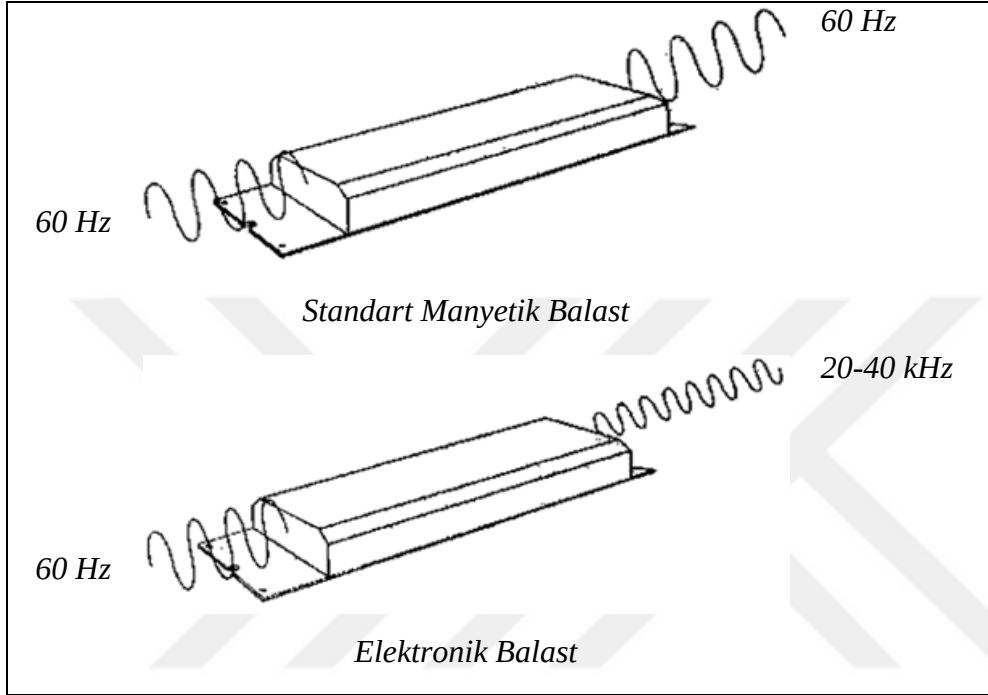
Mekanik (manyetik) balastlar önceden yaygın olarak kullanılan fiziksel dayanıklılığı yüksek ancak gerilim ve akım dalgalanmalarına, frekans dalgalanmalarına karşı etkin bir şekilde kendini adapte edemeyen sistemlerdir. THD (Toplam Harmonik Distorsiyon) bu tip balastlarda oldukça yüksek olmaktadır. Bu sebeple hem sürülen devre hem de şebeke harmonik olarak bozucu etkiye maruz kalır.

Anlık akım, gerilim, frekans izleyici bir yapısı olmadığından dolayı verimlilik düşük olmakta, PFC (Güç Faktörü) için bazı balastlara ilave edilen R, L, C devreleri tam olarak çözüm sunamamaktadır. PFC düzenleyicileri pasif olduğundan dolayı anlık değişimlere karşı yetersiz kalır.

Elektronik balastlar ise günümüzde yaygın olarak kullanılan mekanik balasttan tamamen farklı bir yapıda olan balastlardır. Floresan ampuller için başlangıçtaki gerekli gerilimi (yaklaşık 600V) gecikme olmadan 0,1 saniyeden daha kısa sürede sağlayabilmektedir. Giriş akım ve gerilimi sürekli izlenen bu balastlarda harmonikleri süzen EMI Filter devresi bulunur. Ayrıca devredeki tüm anahtarlama elemanlarında snubber (sönümleyici) direnç ve kondansatör kullanılarak devrelerin daha optimize çalışması sağlanır. Bu gibi düzenlemeler THD değerinin %20'lerin daha altına gelmesini sağlar. Anlık çekilen inrush akımlarında devre yine stabilitesini korur. Güç faktörü (PF), yük tarafındaki anlık değişimlere karşı sürücü çıkışından alınan feedback ölçümleriyle aktif olarak kontrol edilir. Elektronik balastlarda PF değeri 0,9'un üzerine çıkmaktadır. Tüm bu avantajlarla birlikte verimlilikte artmakta ve %88'in üzerine çıkılabilmektedir.

Floresan T5 lambalar elektronik balasta ihtiyaç duyar. Floresan T8 lambalarda da elektronik balastlar kullanılır ancak mekanik (manyetik) balastlı olarak kullanılanları da bulunmaktadır.

Elektronik balastın çıkışında istenilen frekansta gerilim alınabilirken mekanik balastlarda giriş-çıkış frekansı aynıdır. Mekanik ve elektronik balastların aynı giriş frekansında verebildikleri çıkış frekansları Resim 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.1'de ise, elektronik balasta ilişkin diyagram verilmiştir.



Resim 3.6. Mekanik ve elektronik balast giriş/çıkış frekansları (Florida Solar Energy Center, 2019)



Şekil 3.1. Elektronik balast diyagramı

Elektronik balast kullanılan T8/4x18W armatürlerde; %88 üzerinde verimlilik, sabit akım ve gerilim ile elde edilen sabit ışık akısı, 10W'dan daha az kayıp ile düşük güç kaybı, aktif güç faktörü düzenleyici (PFC) kontrolü ile PF'nin 0,9'un üzerinde tutulduğu, devrede kullanılan filtreler ile toplam harmonik distorsiyonun %20'nin altına çekildiği görülmektedir.

Floresan T5/4x14 armatürler ise T8 armatürlerden daha yüksek verimli ve elektronik balast ile çalışan armatürlerdir. Bu armatürlerde yine %88 üzeri verimlilik, 0,9 üzeri PF, %20'den az THD, balast girişindeki gerilim, akım dalgalanmalarının izlenerek çıkışta sabit akım ve gerilim verebilmektedir.

3.4. Geleneksel Aydınlatma Armatürlerinin Bilgisayar Simülasyon Yazılımı Yardımıyla Performans Karşılaştırması

Çalışmada, 4x18 ve 4x14 floresan ışık kaynaklı armatürlerin yerine geçecek LED ışık kaynakları armatürler tasarlanmak istediğinden floresan ışık kaynaklı armatürler detaylı bir şekilde incelenerek önemli çıkarımlar elde edilmiştir. Armatürlerin mekanik özelliklerinin yanı sıra aydınlatma kalite kriterlerini karşılayabilmesi açısından renk sıcaklığı, renk geri verim indeksi, ışık dağılımı, kamaşma gibi kriterlerde önem arz etmektedir.

Aydınlatma kalite kriterlerini sağlayabilmek için floresan ışık kaynağından çıkan ışığı optik materyaller yardımıyla yönlendirmek gerekmektedir. Bunun için de armatürde reflektör veya difüzörler kullanılmaktadır. Farklı üreticilerin armatür tasarımları birbirinden farklı olduğu gibi, ışık dağılım eğrileri de birbirinden farklıdır. Bu ışık dağılım eğrileri, IES. veya ldt. (elumdat) dosyaları ile DIALux yazılımı sayesinde bilgisayar ortamında benzetimiyle aydınlatma tasarımları gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Geleneksel armatürlerin analizinde kullanılacak, en iyi armatür üreticilerine ait ışık veri yapıları Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Armatür ışık dağılım eğrileri

Armatürlerin fotometrik verilerinin toplanmasının ardından, performans analizlerinin yapılması amacıyla bilgisayar ortamında hesaplama ve benzetimler gerçekleştirilmiştir. Siteco, EAE, Arlight gibi aydınlatma üreticilerinin kataloglarından seçilmiş armatür geriverimi yüksek elektronik balastlı floresan armatürlerin fotometrik dosyaları DIALux aydınlatma programına girilerek 40 m x 40 m genişlikte, 2,8 m yükseklikte bir çalışma ofisinde aydınlatma hesapları yapılmıştır. Tavan, duvar ve zemin yansımaya katsayıları sırasıyla %70, %50 ve %20'dir. Bakım işletme faktörü ise 0,8 olarak alınmıştır. Çalışma düzlemi hesap alanının yerden yüksekliği 0,80 m olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, çalışma düzleminde ortalama 300 lx aydınlık düzeyi elde edebilmek için, gerekli armatür sayıları, ortalama aydınlık düzeyi, düzgünlük ve toplam güç tüketimi değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 3.2'de, elektronik balastlı floresan ışık kaynaklı 4x14 T5 ve 4x18 T8 armatürlere ait elektriksel güç, ışık akısı, armatür etkinlik faktörü ve armatür geriverimi katalog özellikleri görülmektedir. Ayrıca bu bilgiler ışığında armatürlerin IES dosyaları ile yapılmış DIALux aydınlatma hesap sonuçları da Çizelge 3.2'de yer almaktadır.

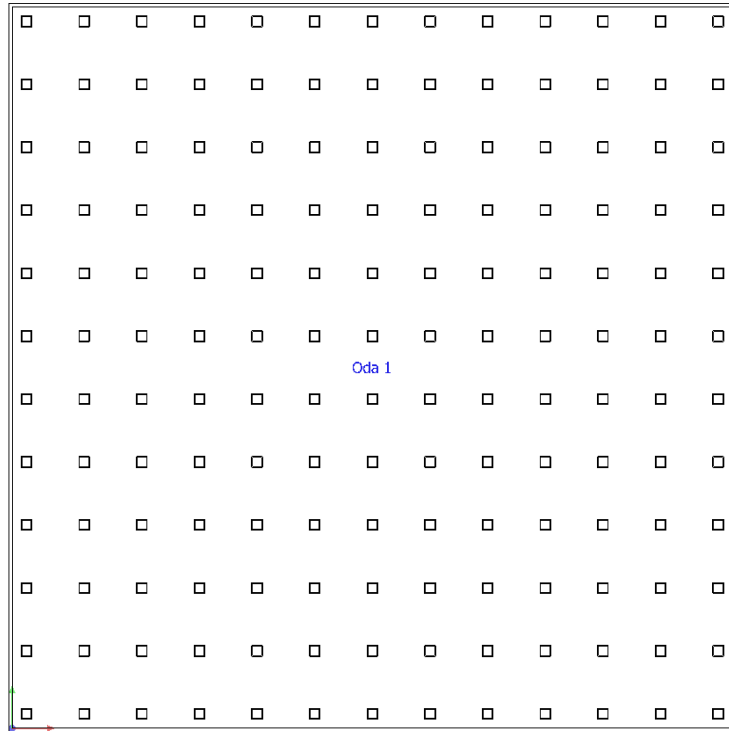
Çizelge 3.2. Geleneksel aydınlatma armatürleri performans karşılaştırması

Ürün	Güç (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik Faktörü (lm/W)	Oda (m)	Geriverim (%)	Eort (lx)	U0	Adet	W/m ²	W/m ² /100 lx
Siteco® Louvre Luminaire M for T16 (4x14W)	63	4800	76	40x40	88,06	352	0,53	143	5,6	1,60
Siteco® Louvre Luminaire for T26 (4x18W)	72	5200	72	40x40	62,74	344	0,66	182	8,2	2,38
EAE SA2 4TL514T-SPPP (4x14W)	62	4800	77	40x40	62,04	354	0,61	210	8,1	2,30
EAE SAS 4TLD18T-SPCP (4x18W)	70	5400	77	40x40	52,6	342	0,78	210	9,2	2,68
Arlight G 414 ALP (4X14W)	56	4800	86	40x40	70,75	352	0,72	182	6,4	1,81
Arlight G 418 ALP (4x18W)	72	5400	75	40x40	67,43	352	0,65	168	7,6	2,15

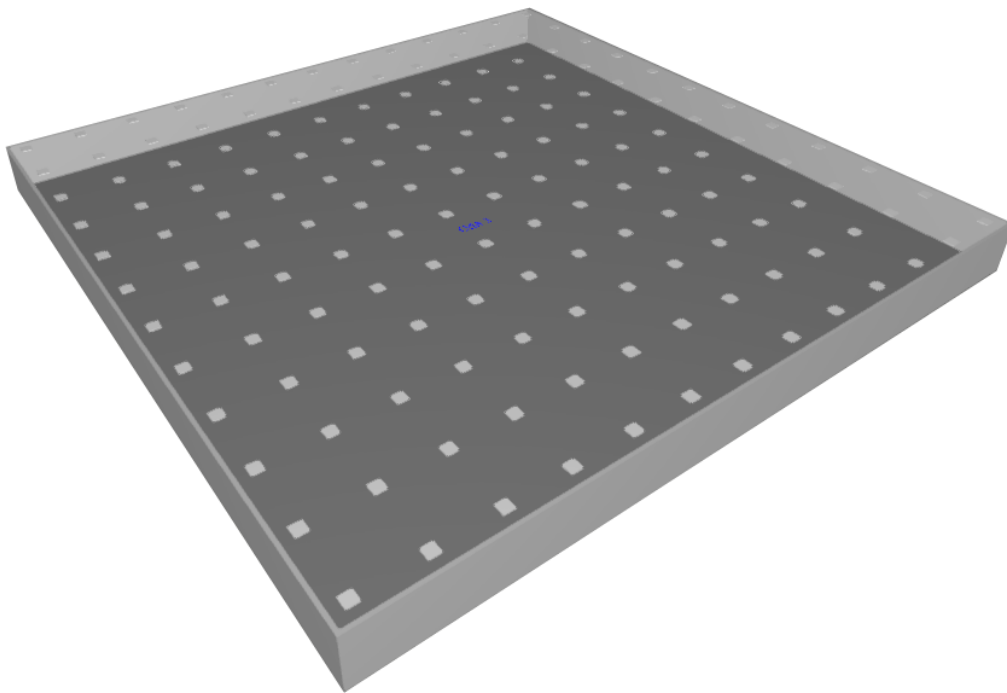
60 cm x 60 cm boyutlarında 4x18W tüp floresan lambalı elektronik balastlı armatürler, 70 - 72 W güç aralığında 5200 - 5400 lm ışık akısına sahipken, 4x14W armatürler ise; 56 - 63 W güç aralığında 4800 lm ışık akısına sahiptir. Üreticiler tarafından belirtilen bu veriler dikkate alındığında, 4x18 T8 floresanlı armatürlerin; 72 - 77 lm/W armatür etkinlik faktörüne sahip olduğu, 4x14 T5 floresanlı yeni tip armatürlerin ise 86 lm/W'a kadar etkinlik faktörüne sahip olduğu söylenebilir.

Enerji verimliliği bakımında incelendiğinde; 4x18W armatürler yerine 4x14W armatürler kullanıldığında şebekeden çekilen güç ortalama %19 oranında, 100 lüks için m² başına düşen güç değeri ise ortalama %20 oranında azalmaktadır. Buna karşılık çalışma düzlemindeki ortalama düzgünlük değerlerinin benzer kaldığı görülmektedir.

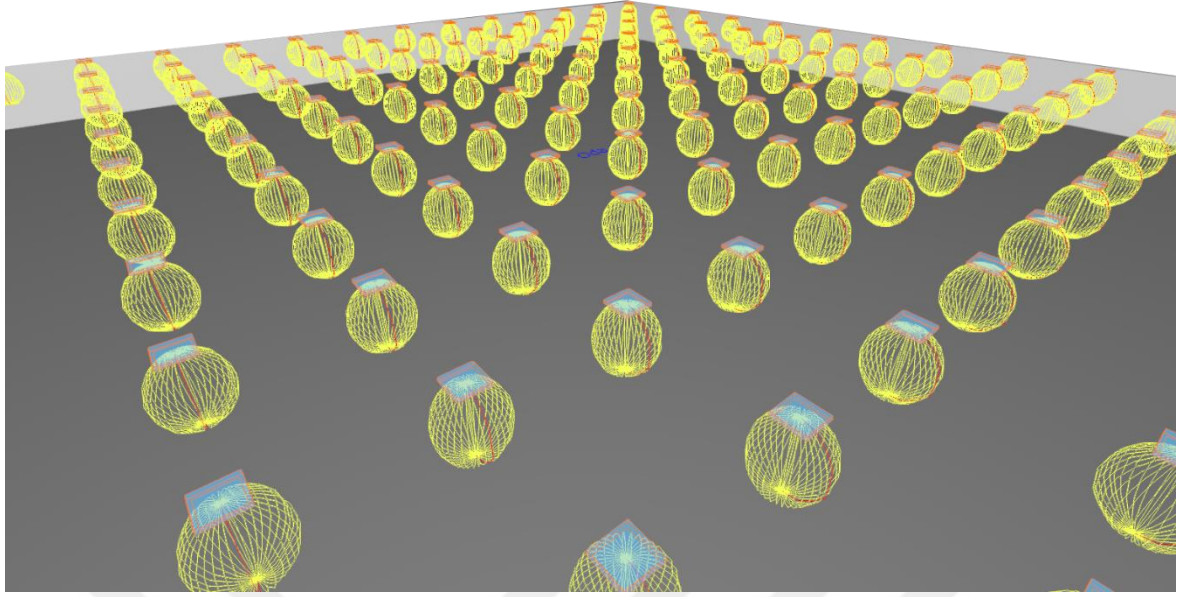
Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te simülasyon maksadıyla belirlenen oda için aydınlatma armatürlerinin yerleşimi gösterilmiştir. Şekil 3.5'te ise aydınlatma armatürlerinin ışık dağılımının 3 boyutlu görüntülemesi yer almaktadır.



Şekil 3.3. 40 m x 40 m odada simülasyon için aydınlatma armatürleri yerleşimi



Şekil 3.4. Simülasyon ortamı ve armatür yerleşiminin 3 boyutlu görüntülemesi



Şekil 3.5. Aydınlatma armatürlerinin ışık dağılımının görüntülenmesi

3.5. LED Aydınlatma Armatürleri

Aydınlatma, binaların toplam enerji tüketiminde yaklaşık %20-%30 paya sahiptir. Aydınlatma amacıyla elektrik enerjisinin kullanımının, yenilenemeyen kaynakların tüketimi dışında pek çok etkisi vardır. Bu sebeple, aydınlatmada enerji tüketiminin azaltılması uygulamalarda başlıca hedeflerden biri olmuştur (Chiradeja, Ngaopitakkul ve Jettanasen, 2015).

Yeterli aydınlatma koşullarını, daha düşük enerji tüketimiyle birlikte sağlamak için, yüksek verimli ışık kaynaklarının kullanılması gereklidir. Floresan ışık kaynaklarının yerini alabilecek, sonraki teknoloji LED aydınlatma sistemleridir.

LED'ler hayatımıza 1990'ların başında girmiştir. İlk yıllarda sadece sinyalizasyon amaçlı kullanılan LED'ler 2008'lerden bu yana genel aydınlatmada da kullanılmaya başlanmıştır. Genel aydınlatma maksadıyla kullanılan LED'ler, mavi LED çipinin sarı renkli fosfor ile kaplanarak beyaz ışık veren LED paketi haline getirilmesiyle oluşturulmuştur. Midpower diye tabir edilen çeyrek ve yarım Watt güç tüketimine sahip LED'lerin üretilmesi ve etkinlik faktörlerinin 100'leri aşmasıyla birlikte 4X18 T8 floresanlı ve 4X14 T5 floresanlı armatürlerin yerini rahatlıkla alacak armatürler tasarlanmaya ve üretilmeye başlanmıştır.

Fosfora dayalı beyaz LED'ler ile oluşturulmuş aydınlatma armatürleri, gideren artan ışık verimleri ve ayırt edici özellikleri ile genel aydınlatma uygulamaları için daha cazip bir seçenektir. Yüksek kaliteli LED aydınlatma ürünleri, piyasada giderek daha fazla yer almaktadır (Ryckaert, Smet, Roelandts, Gils ve Hanselaer, 2012).

LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürleri, geleneksel aydınlatma armatürleri gibi dört ana başlık altında incelenebilir.

- Işık kaynağı (LED modül)
- Mekanik (Kasa)
- Optik (Difüzör)
- Elektronik (LED sürücü)

3.5.1. Işık kaynağı

LED aydınlatma armatürlerinde ışık kaynağı LED modüldür. LED modül ise LED ve LED'lerin üzerine dizildiği baskı devre kartının birleşiminden oluşmaktadır.

Günümüzde, geleneksel aydınlatma teknolojilerinden (akkor, floresan, yüksek yoğunluklu deşarj) LED aydınlatma teknolojisine bir geçiş dönemi yaşanmaktadır. Bu değişim için birincil etken, enerji verimliliği ve maliyet tasarrufu olmuştur. LED aydınlatma artık geleneksel aydınlatma teknolojilerinin herhangi birinden daha etkilidir ve hala gelişmektedir. Yakın vadede, fosforla dönüştürülmüş LED paketler, 160 lm/W ile 255 lm/W arasında etkinlik geliştirme potansiyeline sahiptir (Pattison, Hansen ve Tsao, 2018).

LED seçimi yaparken, lm/W ışık veriminin yanında, performans ve kullanım ömrüne etki eden diğer unsurların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu unsurlara göre, seçim yapılarak tasarımın sonraki aşamaları bu veriler ışığında sürdürülmelidir.

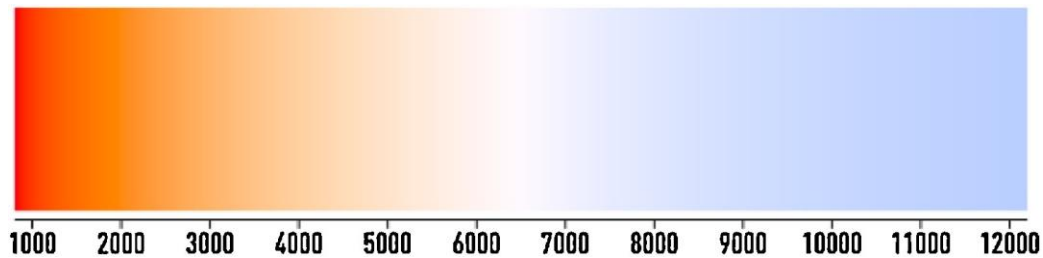
LED'li armatürlerde LED seçimi yüksek önem arz etmektedir. LED seçiminde LM-79, LM-80 ve TM21 terimleri çok önemlidir. LM-79 katı hal aydınlatma ürünleri için elektriksel ve fotometrik ölçümleri kapsamaktadır. LM-80 ise, LED ışık kaynaklarının zamana bağlı ışık akısı ölçümlerini göstermektedir. LM-80 testinde en az 6000 saat; 55 °C, 85 °C ve üreticinin belirleyeceği bir paket sıcaklığında (üreticinin belirleyeceği ölçüm noktası), maksimum her 1000 saatte bir veri alınarak test yapılır. LM-80 test raporunda L70 (Lumen Maintenance)

değeri LED'in toplam ışık akısının başlangıç ışık akısına göre %70 seviyesine düştüğü süreyi gösterir. *Örneğin*; Lumen Maintenance (L70): 25 000 saat olarak verilen bir LED'in 25 000 saat sonunda başlangıç ışık akısının %70'ine sahip olduğu söylenebilir. TM-21 ise, LM-80 sonuçlarından yararlanarak yapılan ömür öngörüsü test yöntemidir. Üreticiler TM-21'e bağlı olarak test ettiği sürenin 6 katı kadar ekonomik ömür verebilmektedir. Yani herhangi bir üretici, LED'ini 10 000 saat test etmiş ise LM-80 raporundaki koşullara bağlı kalmak koşuluyla 60 000 saat ekonomik ömür garantisi verebilmektedir.

LED'in ömrünü etkileyen en önemli faktör sıcaklıktır. T_a ortam sıcaklığını, T_j LED'in jonksiyon noktası sıcaklığını, T_d veya T_c ise ışık kaynağına bağlı sürücünün sıcaklığını tanımlamada kullanılır. Çalışma sıcaklığı (T_j) LED ışık kaynaklarının ışık akılarını, ömürlerini ve renk özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle tasarlanacak LED modül kartı üzerinde bakır soğutma alanları düşünülmeli ve termal analizler iyi yapılmalıdır. Buna ek olarak, Baskı devre kartı (PCB) ham madde seçiminde de titiz davranılmalıdır.

LED seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur da renk sıcaklığıdır. Cisimlerin kızgın hale gelip ışık yayması olayına termik ışıma denir. Renk sıcaklığı, ısıtıldığında ışık kaynağına yakın bir renk tonunu yakalayan kara cismin sıcaklığıdır. Renk sıcaklığı için kara cismin mutlak sıcaklık derecesi olan Kelvin (K) kullanılır.

Genel amaçlı aydınlatmada ışık kaynağı renkleri üç ana grupta toplanmıştır. 3300 K'den düşük ısı renkleri sıcak beyaz, 3300 K ve 5000 K arası ısı renkleri ise doğal beyaz, 5000 K'den büyük ısı renkleri ise soğuk beyaz olarak adlandırılmaktadır. Renk sıcaklığına göre ışık renginin değişimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kelvin ile ifade edilen logaritmik bir ölçekte görünür ışık tonları (Paronis, ve diğerleri, 2018)

Bilimsel çalışmalar, ofis çalışanları için mutlak mükemmel renk sıcaklığı olmadığına kanaat getirmiştir. Ancak, soğuk beyaz ve doğal beyaz ışığın, ofis çalışanlarının rahat ve konforlu olmaları açısından sıcak beyaz ışıktan daha faydalı olduğu görülmüştür (Sivaji, Shopian, Nor, Chuan ve Bahri, 2013).

Bu sebeple, çalışmada 3300K-5000K aralığında doğal beyaz renk sıcaklıkları tercih edilecektir.

Aydınlatma uygulamalarında diğer önemli nokta da LED'in renksel geriverim performansıdır. Görsel konfor açısından, çevredeki tüm nesnelerin özgün renkleri ile görülmesi amaçlanır. Renklerin özgün halleriyle, gün ışığındaki renkleriyle görülmesinin hedeflendiği aydınlatma sistemlerinde kullanılacak yapay ışık kaynaklarının renksel geriverim özellikleri özel bir önem taşımaktadır. T8 ve T5 floresanlı armatürlerde bu değer en az 80 olduğundan tasarlanacak LED ışık kaynağında da renksel geriverim indeksi (Ra) en az 80 olacaktır.

Bu çalışmada Resim 3.7'de gösterilen, Samsung firmasının LM561B adlı 1/2W'lık (mid-power) yüzey monte LED'leri tercih edilmiştir.

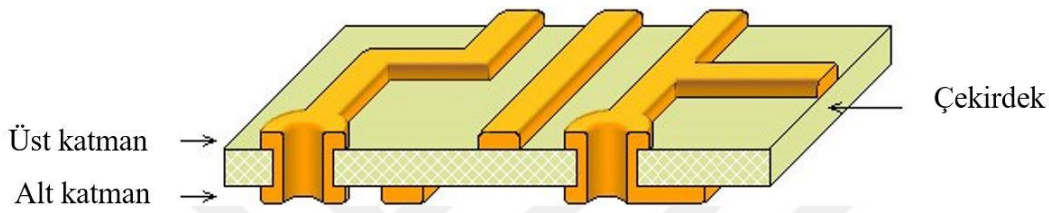


Resim 3.7. Yarım watt yüzeye monte beyaz LED görüntüsü

PCB, kurulması istenilen devrenin devre elemanlarının arasındaki elektriksel bağlantılarının bir veya daha fazla katmandan oluşan zemin üzerine aktarılmasıdır. LED'ler ile bir ışık kaynağı yapmak için yüksek verimlilik, düşük harmonik bozunum, yüksek PF değerlerini sağlayabilecek bir sürücü devre ve LED'lerin dizili olduğu yüksek soğutma performansına

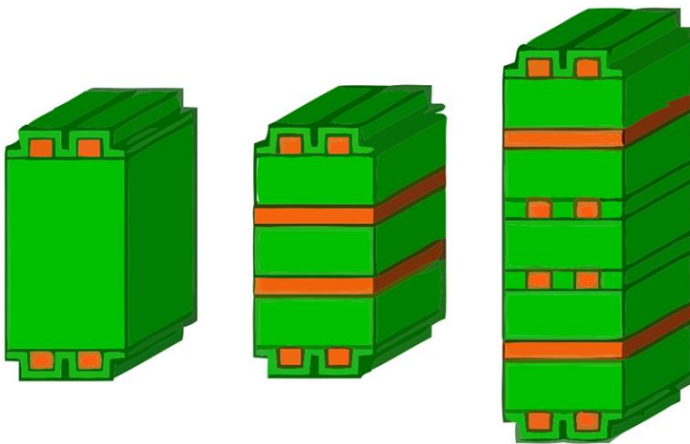
sahip bir yük devresi gereklidir. Dolayısıyla sürücü devresinin ve LED yükü devresinin yerleştirileceği PCB malzeme seçimi de son derece önemlidir.

Genel olarak bir PCB, devre elemanları arasındaki bağlantıyı sağlayan lehimleme yüzeyi, bu elemanlar arasında elektriksel bağlantının gereği olarak üzerinden akım geçen bakır veya alüminyum iletken yollar ve bu kısımları altında-üstünde bir arada tutan teflon, seramik ya da çeşitli polimerlerden oluşan dielektrik bir katmandan oluşmaktadır. Resim 3.8’de iki katmanlı bir elektronik devre kartının içi yapısı gösterilmiştir.



Resim 3.8 İki katmanlı PCB iç yapısı

PCB üzerindeki bağlantılar hem altta hem üstte olabilir ve aralarında geçişler sağlanabilir. Günümüzde PCB’ler iletim katmanlarının birbirleri arasına bir dielektrik katman gelmesiyle tek, çift ve daha çok sayıda katmandan oluşabilmektedir. Örneğin, 2, 4 ve 6 katmanlı PCB görünümleri Resim 3.9’da gösterilmektedir. Devre elemanları bir yüzey üzerinde ya en üstte ya da en alttadır, arada kalan katmanlarda sadece elektriksel bağlantılar yapılır. PCB katmanları üzerinde elektriksel bağlantıları izole etmek için maskeleme ve maske üzerinde de devre elemanlarının isimlerinin yazılı olduğu serigrafik baskı bulunur. Yapılan LED ve LED sürücü devresinde tek katman ve 2 katmanlı PCB’ler yeterli olmaktadır.



Resim 3.9. 2, 4, 6 katmanlı PCB genel yapısı (Electrosoft Engineering, 2019)

PCB'lerin kullanım amaçlarına ve koşullarına göre farklı tipte çeşitleri mevcuttur. Bunlar şu şekildedir;

- CEM-1 (Kompozit epoksi metaryel-selülozik kağıt ve epoksi)
- CEM-2 (Selülozik kağıt ve epoksi)
- CEM-3 (Dokunmuş camyünü ve epoksi)
- CEM-4 (Dokunmuş camyünü ve epoksi)
- CEM-5 (Dokunmuş camyünü ve polyester)
- FR-1 (Fenol türevli selülozik kağıt)
- FR-2 (Fenol türevli selülozik kağıt)
- FR-3 (Selülozik kağıt ve epoksi)
- FR-4 (Dokunmuş camyünü ve epoksi)
- FR-5 (Dokunmuş camyünü ve epoksi)
- FR-6 (Dokunmuş camyünü ve polyester)
- G-10 (Dokunmuş camyünü ve epoksi)
- G-11 (Dokunmuş camyünü ve epoksi)
- ALU (Alüminyum katman)

Aydınlatma endüstrisinde en çok kullanılan PCB çeşitleri CEM-1, FR-2 ve FR-4 ve ALU'dur.

FR-1 ve FR-2 (Flame Resistant) fenol emdirilmiş kâğıdın camyünü üzerine makine ile kolayca işlenmesiyle oluşturulmuştur. Düşük maliyet gerektiren tek katmanlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Via (alt katman-üst katman bağlantıları için içi iletken ile dolu delikler) kullanımı için uygun olmamaktadır. Her ikisi de yanmaya karşı dayanıklı özellikte malzemelerdir.

FR-3 epoksi kağıt hamuru karışımı ile yapılmaktadır. FR-1 ve FR-2 gibi düşük maliyet için tercih edilmektedir. Camyünü üzerine işlenerek tek katmanlı kullanılabilir. Yanma ısısı FR-4 den daha azdır.

CEM PCB'ler içerisinde en yaygın kullanılanı CEM-1'dir. CEM-1 tek katmanlı devreler için tercih edilmektedir. FR-1 ile CEM-1 özellikleri benzerdir. CEM-3 ise FR-4'e yakın

özelliklere sahiptir. Ancak termal büyüme katsayısı FR-4'ten daha yüksektir. Esnekliği de FR-4'e göre daha az olmaktadır.

FR-5, yüksek sıcaklıklarda ve elektriksel dayanımın yüksek olması gereken uygulamalarda tercih edilir. FR-6, yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. G-10 ve G-11 ise yüksek sıcaklıklarda mukavemeti ve elektriksel verimliliği yüksektir.

FR-4 en çok tercih edilen sert ve esnek şekilde üretime imkân sağlayan olan PCB çeşididir. Epoksi ve camyünü karışımından oluşmaktadır. 0.3-3.5 mm aralığındaki kalınlıklarda üretilmektedir. Ortalama dayanım değerleri şu şekildedir;

- Maksimum çalışma sıcaklığı: 140 °C
- Yapısının bozulma gerilimi: 65 kV
- Dielektrik dayanımı: 800 V/mm

FR4 PCB'lerde çok sayıda katman oluşturulup kullanılabilir. Via deliklerini açmak ve içlerini doldurmak kolaydır. FR-4 ile diğer PCB'lere göre daha ince iletim hatları yapılabilir. Yüksek frekanslarda, nemli, titreşimli ortamlarda çalışmaya uygun yapıdadır. Mikrodalga ve RF tasarımlarında da kullanılmaktadır.

Çoğu alanda olduğu gibi LED aydınlatma sektöründe de PCB malzemesi olarak FR-4 sıkça tercih edilmektedir. Samsung, Philips, Toshiba, Osram, Tridonic gibi çoğu LED aydınlatma üreticileri FR-4 PCB kullanmaktadır.

LED aydınlatmada PCB üzerindeki sıcaklığa karşı verilen tepki çok önemlidir. LED kaynağı çalıştığı müddetçe termal direnç artış gösterir.

Aynı güçteki LED'lerin aynı akımda belli bir süre çalıştırılması sonucunda FR-4 ve ALU katmanları üzerinde termal direnç zamana bağlı olarak artış göstermiştir. ALU'nun FR-4 ile başlangıçta aynı olan termal direncinin test sonunda FR-4'e göre daha düşük seyrettiği görülmüştür.

Daha kalın seçilen PCB'lerde termal direnç daha düşük olmaktadır. Isınmanın belli düzeylerde kalması durumunda FR-4 seçimi ideal olmaktadır. Ancak yüksek akımlarla

sürülen dış aydınlatma ürünlerinde ALU PCB kullanılmasının daha avantajlı olduğu görülmüştür. Planlanan çalışmada düşük akımla sürülecek olan LED yükü ve LED sürücü PCB'si için sıcaklık değerleri çok yüksek olmayacağı öngörülmüştür. Ayrıca FR-4'ün yüksek frekanslarda çalışabilmesi, sürücü devresindeki flyback trafonun çalıştığı yüksek frekansları karşılayabilmektedir.

Dielektrik dayanımı, bozulmasının zor olması, via açmanın kolaylığı gibi sunduğu kolaylıklar ve teknik yeterliliklerden dolayı çalışmada PCB seçimi FR-4 olarak yapılmıştır.

3.5.2. Mekanik

Armatür gövdesi geleneksel aydınlatma armatürlerinin kasasından farklı değildir. Armatür gövdesinin imalatında yeni bir durum ya da süreç yoktur. Belirgin en büyük farklılık armatür yüksekliklerinde olmaktadır. 4x18 T8 armatürlerde armatür derinliği 7 - 9 cm olurken, 4x14 T5 armatürlerde derinlik 4.5 - 5,5 cm arasında değişmektedir. LED ışık kaynaklı armatürlerde de derinlik tasarımdan tasarıma değişiklik göstermektedir.

3.5.3. Optik

Ofis aydınlatmasında kullanılan panel armatürlerde optik materyal olarak difüzörler kullanılmaktadır.

Difüzörler; aç kontrolü, verimlilik, ışık kaynağı gizleme, ışığın homojen dağılımı ve estetik görünüm sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Difüzörler, kullanılan ham madde çeşidine göre; sert, yarı sert veya film formunda olabilir. Işık kaynağının gizlenmesi amaçlanıyorsa opal, istenmiyorsa şeffaf difüzör tercih edilebilir.

Yarı-sert formda polikarbon malzeme ile üretilmiş difüzörler, 2-5 mm aralığında kalınlık değerine sahip, 80 °C'ye kadar termal dayanım göstermektedir.

Resim 3.10'da polikarbon difüzör plakasının üzerindeki koruma filminin montaj öncesinde sökülmesi gösterilmektedir.



Resim 3.10. Polikarbon yarı transparan beyaz difüzör plakası (Suzhou Omay Optical Materials Co. Ltd., 2019)

Difüzörler aynı zamanda açı düzenlemesi yaparak, ışığın istenmeyen şekilde yayılmasını engellemektedir. Işığın yoğunluk profilini düzenleyerek daha homojen bir dağılımla aydınlatılacak yüzeye ulaşmasını sağlar. Işığı %60-%92 verimlilikle armatür dışına iletebilmektedirler. Polikarbon difüzörler, UV ışınlarına dayanıklı, yüksek termal kararlılığı ile sararma ve solmaya gibi olumsuz özellikler göstermesi sebebiyle özellikle iç mekân LED aydınlatma armatürlerinde sıkça tercih edilmektedir.

3.5.4. Elektronik

LED ışık kaynaklı armatürlerin elektronik kısmı, LED yükü ve bu yükü uygun akımda besleyen LED sürücünden oluşmaktadır.

LED, düşük enerji tüketimine sahip, yüksek ışık çıktısı sunan uzun ömürlü aydınlatma teknolojisidir. Bu teknoloji çalışmak için özel güç kaynaklarına gereksinim duyar. LED sürücü, bir LED ya da LED dizisini çalıştırmak için gerekli gerilimi ve akımı sağlayan elektronik cihazdır.

Bir LED'in çalıştırılması için belirli bir gerilime ihtiyaç duyulur. Bu gerilim, LED'in sıcaklığıyla birlikte değişiklik gösterebilir. LED'ler ısındıkça, gerilimi azalır bu da LED'in

daha fazla akım çekmesine sebep olur. Sabit akım LED sürücü, belirli bir gerilim aralığında sabit akım çıkışına sahiptir. Bu sayede sıcaklık değişimlerinde akımın artarak LED'e zarar vermesini önleyebilir.

LED'lerin yüksek akıma maruz kalması, kalıcı lümen kayıplarına dolayısıyla ömrünün kısa olmasına sebep olacaktır. LED sürücüler, LED'lere akım ve voltaj dalgalanmalarına karşı koruma sağlar. Herhangi bir olumsuz durumda, LED'lerin ana şebekedeki dalgalanmalardan etkilenmemesini, çalışma aralığı içerisinde kalmasını sağlayarak uzun ömürlü kullanımını sağlar.

Aydınlatma elemanlarında dâhili veya harici LED sürücü bulunabilir. Konutlarda kullanılan LED lambalar gibi sürücüsü LED ile aynı kasa içerisinde olan sistemler için dâhili LED sürücü tanımı yapılabilir. Sokak armatürü, projektör gibi dış ortam aydınlatmalarında ise genellikle harici sürücü tercih edilmektedir.

Ofis aydınlatmaları için kullanılan panel armatürlerde de çoğunlukla Resim 3.11'de gösterilen tipte harici sürücüler kullanılmaktadır.



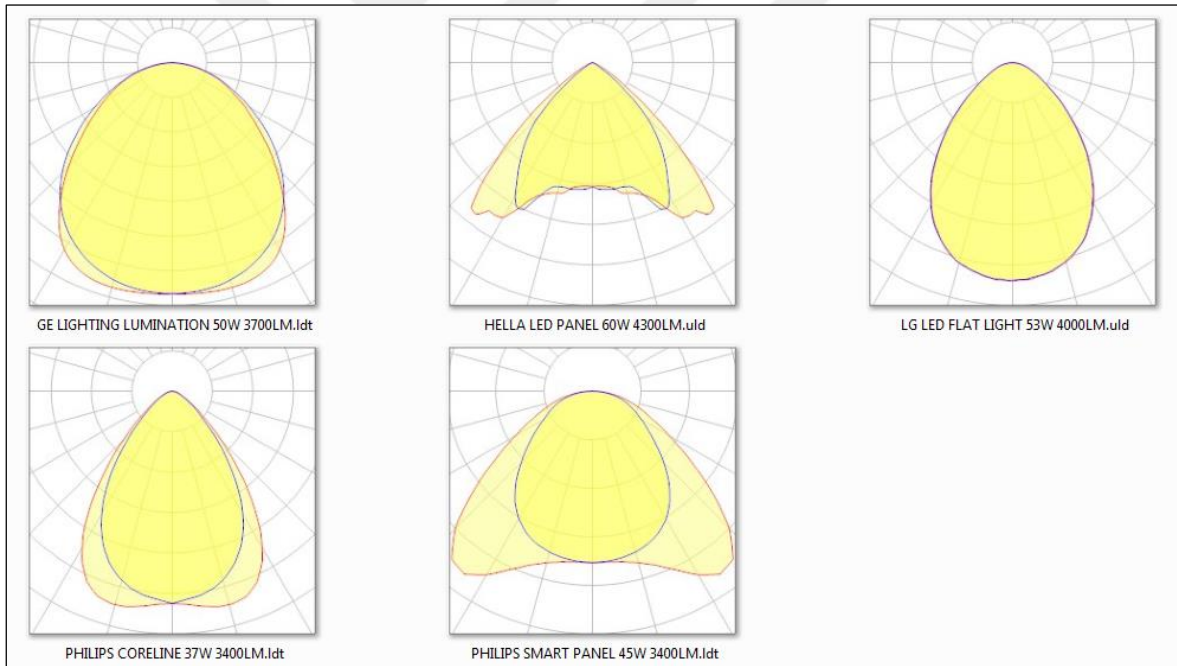
Resim 3.11. Harici LED sürücü (Eaglerise Electric Electronic Co. Ltd., 2019)

LED aydınlatma arızalarının büyük bir kısmında arıza sürücüden kaynaklanmaktadır. Harici LED sürücü kullanıldığında sürücünün bakım, onarım ve değişimi daha kolay hale gelmektedir.

3.6. LED Aydınlatma Armatürlerinin Bilgisayar Simülasyon Yazılımı Yardımıyla Performans Karşılaştırması

Geleneksel aydınlatma armatürlerinde olduğu gibi, piyasada hali hazırda yer alan LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürleri için de performans karşılaştırması yapılmıştır.

Bilgisayar simülasyonu gerçekleştirmek için üreticilerden aydınlatma armatürlerine ilişkin Şekil 3.7’de gösterilen ışık veri yapıları temin edilmiştir. Veri dosyaları incelendiğinde, ışık dağılımının geleneksel aydınlatma armatürleri ile benzer yapıda olduğu görülmüştür.



Şekil 3.7. Armatür ışık dağılım eğrileri

Çizelge 3.3’te, dünyada önde gelen üreticilere ait LED ışık kaynaklı armatürlerin elektriksel güç, ışık akısı, armatür etkinlik faktörü ve armatür geriverimi katalog özellikleri görülmektedir. Ayrıca bu bilgiler ışığında armatürlerin IES dosyaları ile yapılmış DIALux aydınlatma hesap sonuçları da aynı tabloda yer almaktadır.

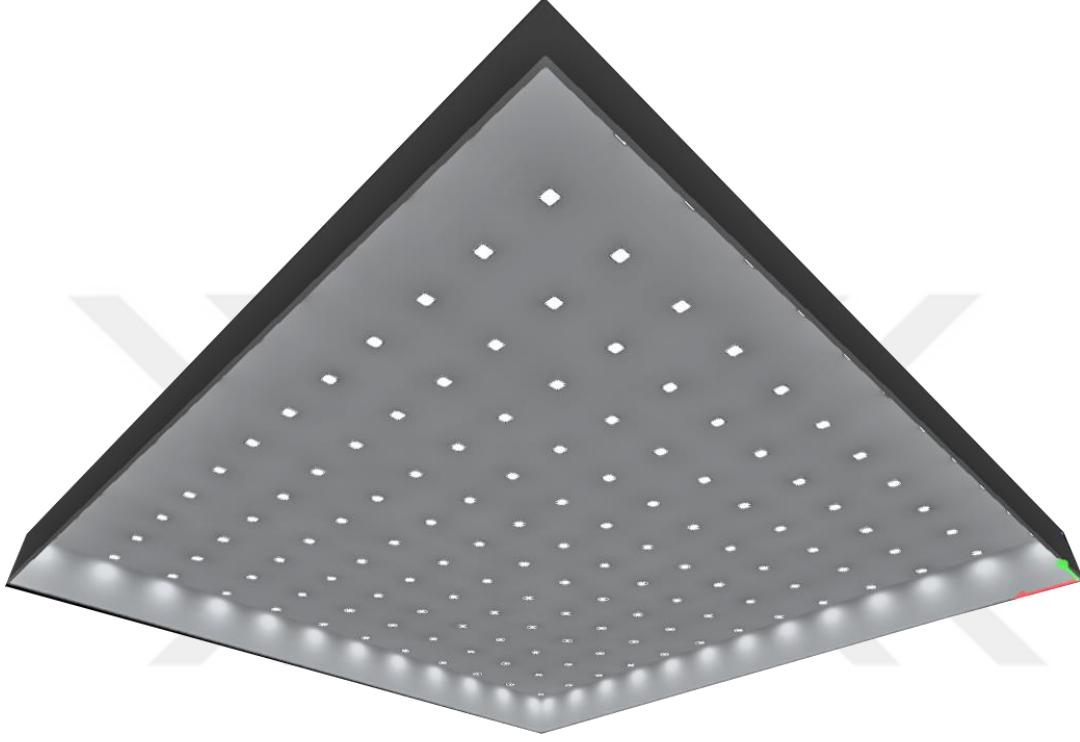
Çizelge 3.3. LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürleri performans karşılaştırması

Ürün	Güç (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik Faktörü (lm/W)	Oda (m)	Geriverim (%)	Eort (lx)	U0	Adet	W/m ²	W/m ² /100 lx
GE Lighting Lumination 66502	50	3635	72,7	40x40	99,99	343	0,69	168	5,3	1,53
HELLA LED Panel	60	4300	71,667	40x40	100	355	0,78	143	5,4	1,51
LG LED Flat Light	53	4000	75,472	40x40	100,04	331	0,61	144	4,8	1,44
PHILIPS CoreLine LED Panel	37	3400	91,892	40x40	99,93	331	0,53	168	3,9	1,17
PHILIPS Smart Panel	45	3400	75,556	40x40	99,92	346	0,73	182	5,1	1,48

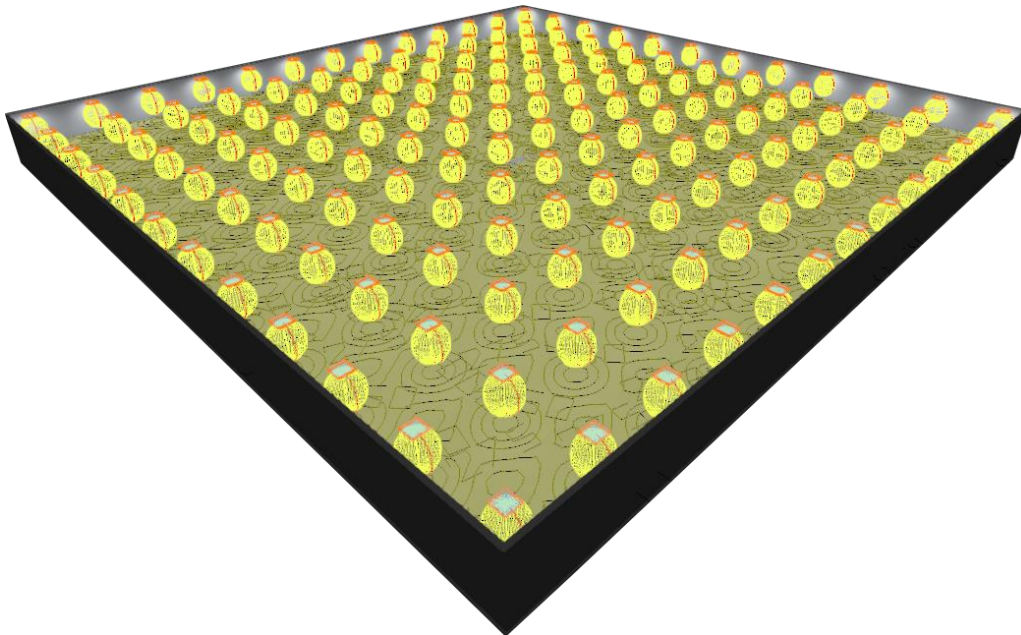
60 cm x 60 cm boyutlarında LED ışık kaynaklı armatürler, 37 - 60 W güç aralığında 3400 - 4300 lm ışık akısına sahiptir. Üretici tarafından belirtilen bu veriler dikkate alındığında, LED ışık kaynaklı bu armatürlerin; 72 - 92 lm/W armatür etkinlik faktörüne sahip olduğu söylenebilmektedir. 92 lm/W değeri ile LED ışık kaynaklı armatürleri bir önceki çalışmada analiz edilen 4x14 floresan ışık kaynaklı armatürlerin en yüksek etkinlik faktörü olan 86 lm/W değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Armatürlerin fotometrik datalarının toplanmasının ardından, performans analizlerinin yapılması amacıyla bilgisayar ortamında hesaplama ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. General Electric, Hella, LG ve Philips gibi armatür üreticilerinin kataloglarından seçilmiş LED ışık kaynaklı iç mekân aydınlatma armatürlerinin fotometrik dosyaları DIALux aydınlatma programına girilerek 40 m x 40 m genişlikte, 2,8 m yükseklikte bir çalışma ofisinde aydınlatma hesapları yapılmıştır. Tavan, duvar ve zemin yansıma katsayıları sırasıyla %70, %50 ve %20'dir. Bakım işletme faktörü ise 0,8 olarak alınmıştır. Çalışma düzlemi hesap alanının yerden yüksekliği 0,80 m olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, floresan armatürlerde yapılan simülasyondaki benzer değerler ile çalışma düzleminde ortalama 300

lx aydınlık düzeyi elde edebilmek için gerekli armatür sayıları, ortalama aydınlık düzeyi, düzgünlük ve toplam güç tüketimi değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.8’de simülasyon için tasarlanan odanın üç boyutlu görüntülemesi, Şekil 3.9’da aydınlatma armatürlerinin ışık dağılımının 3 boyutlu görüntülemesi yer almaktadır.



Şekil 3.8. Simülasyon ortamı ve armatür yerleşiminin 3 boyutlu görüntülemesi



Şekil 3.9. Aydınlatma armatürlerinin ışık dağılımının görüntülenmesi

Enerji verimliliği bakımında incelendiğinde; floresan ışık kaynaklı armatürler yerine LED armatürler kullanıldığında şebekeden çekilen güç ortalama %35 oranında, 100 lx için m² başına düşen güç değeri ise ortalama %34 oranında azalmaktadır. Buna karşılık çalışma düzlemindeki ortalama düzgünlük değerlerinin benzer kaldığı ve çalışma başında belirttiğimiz minimum aydınlatma seviyesini sağladığı görülmektedir. Ayrıca, çalışma düzlemindeki ortalama düzgünlük değerlerinde de bir miktar iyileşme olduğu da görülmektedir.

Bu çalışmada daha yüksek verimli, daha fazla enerji tasarrufu sağlayan piyasadaki benzerlerinden bu yönüyle üstün LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü tasarlanacaktır.



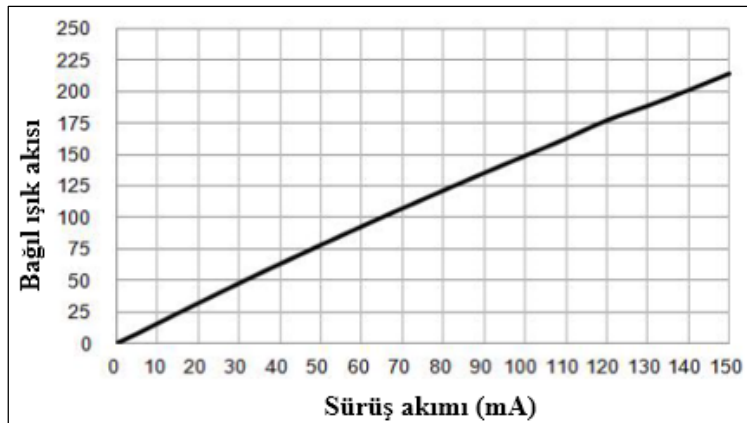
4. ÜRÜN TASARIMI

Ofis aydınlatması için pazarda yer alan geleneksel ve LED ışık kaynaklı armatürlerin incelenmesiyle hedeflenen ürün için gereklilikler ortaya çıkmıştır. Ürün tasarımı temel olarak beş adımda gerçekleştirilecektir. Çalışmanın ilk adımında LED'li ışık kaynağı yani LED modül tasarımı yapılacaktır. İkinci adımda, LED modülün içerisine monte edileceği armatür gövdesi tasarımı gerçekleştirilecektir. Üçüncü adımda, ışık kaynağını gizlemek ve ışığın homojen dağılımını sağlamak için optik tasarım yapılacaktır. Dördüncü adımda, LED'lerin yüksek performansta ve güvenli olarak çalışmasını sağlayacak LED sürücü tasarımı gerçekleştirilecektir. Son olarak beşinci adımda, ayrı ayrı tasarlanan bu birimlerin birlikte çalışması için modüler entegrasyon planı oluşturulacaktır.

4.1. LED'li Işık Kaynağı Tasarımı

Aydınlatma maksatlı bir ürün tasarımı yapılması istendiğinden öncelikle bu sisteme ait ışık kaynağı tasarlanmalıdır. LED'li ışık kaynağı tasarımında kullanılmak maksadıyla yüksek ışık verimi sunan, mid-power LED ailesinin bir üyesi olan LM561B kodlu 1/2W'lık yüzey monte LED'leri tercih edilmiştir. Bu LED uygun koşullarda 160 lm/W'a kadar etkinlik faktörüne sahiptir.

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi sürüş akımı artırıldığında, ışık akısı da artmakta ancak lm/W ile gösterilen etkinlik faktörü değeri yani ışık verimi düşmektedir. Yüksek verimli bir ışık kaynağı tasarlanması istendiğinden, üretici tarafından belirtilen tipik sürüş akımı 65 mA veya bu değerin altında bir akım değeri tercih edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.1. Bağlı ışık akısı ve sürüş akımı grafiği

LM561B kodlu LED, genel aydınlatma maksatlı kullanılan diğer tüm LED'ler gibi 2700K'den 6500K'e kadar geniş renk sıcaklığı aralığında temin edilebilmektedir. Renkssel geriverim indeksi (R_a) 80'in üzerindedir. Bu da görsel konforun artmasını, tüm nesnelerin özgün renklerinde görülmesini sağlamaktadır.

LM561B kodlu mid-power LED'in zamana bağlı ışık akısı ölçümleri (LM-80) üretici tarafından 100 ve 150 mA sürüş akımlarında 6 000 saat süre ile yapılmış, 36 000 saatten fazla ekonomik ömür garantisine sahip olduğu belirtilmiştir. LM-80 raporuna göre, 100 mA sürüş akımında LED'in lehim noktası sıcaklığı 55 °C, 85 °C ve 105 °C iken LED'in toplam ışık akısının başlangıç ışık akısına göre %70 seviyesine düştüğü sürenin 36 000 saatten fazla olduğu görülmektedir. Bu süre LED'in ekonomik kullanım ömrünü göstermektedir.

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, çalışma sıcaklığı (T_j : Junction Temperature) LED ışık kaynaklarının ışık akılarını, ömürlerini ve renk özelliklerini etkilemektedir. Bu noktada LED ışık kaynağı tasarımının bir sonraki aşaması olan elektronik devre kartı tasarımı öne çıkmaktadır.

Çizelge 4.1. LM-80 Test Raporu'na göre TM-21 Ömür Öngörüsü

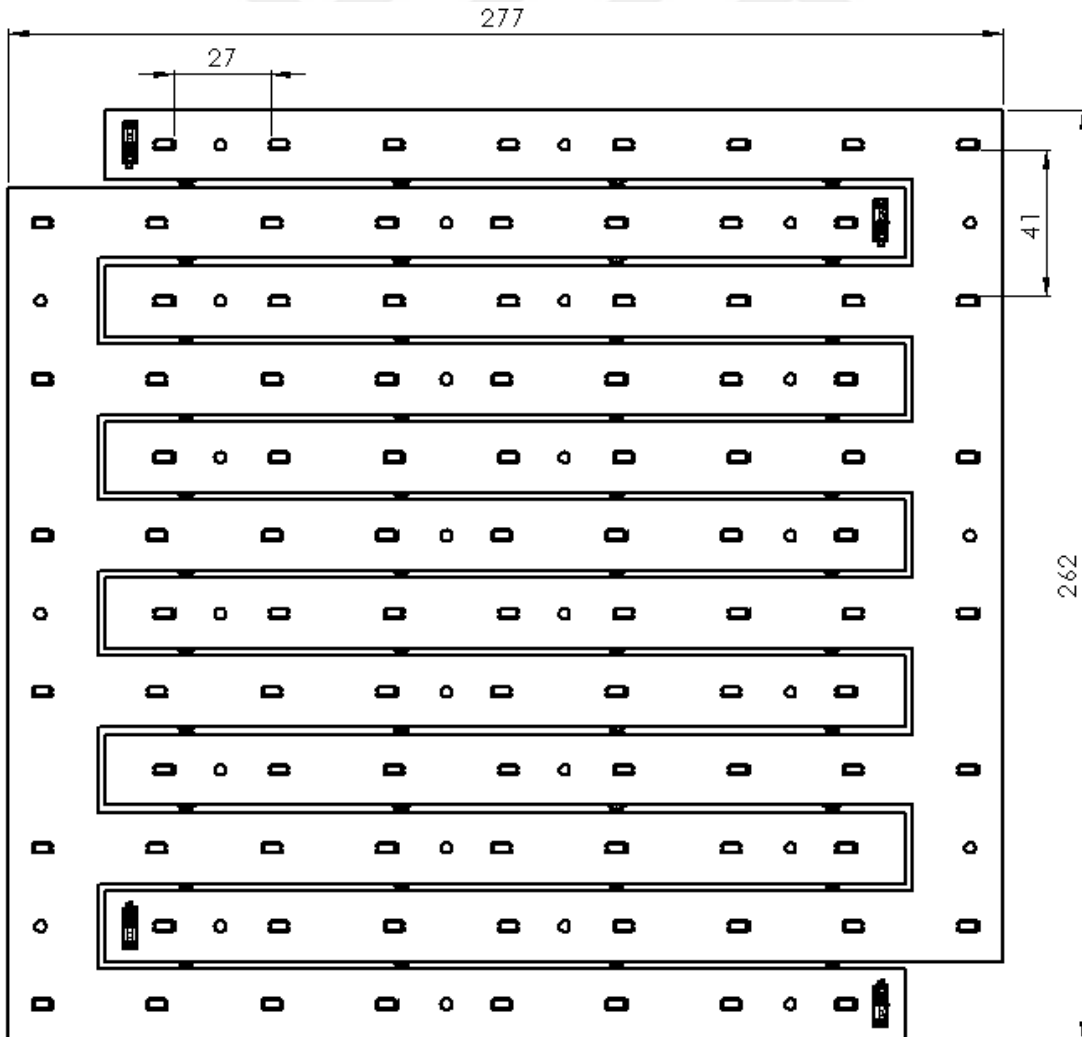
Sürüş Akımı (mA)	Sıcaklık T_s (°C)	Test Süresi (s)	Test Sonuçları		IES-TM-21-11'e Göre Raporlanan Kullanım Ömrü (s)		
			Lümen Koruması	Renk Kayması ($\Delta u'v'$)	L70	L80	L90
100	55	6 000	%98,1	0,0013	>36 000	>36 000	>36 000
	85		%96,8	0,0020	>36 000	>36 000	29 000
	105		%95,2	0,0016	>36 000	24 000	12 000
150	55	6 000	%98,1	0,0009	>36 000	>36 000	>36 000
	85		%97,3	0,0028	>36 000	>36 000	30 000
	105		%95,0	0,0012	35 000	23 000	11 000

Çalışma kapsamında oluşturulan devre kartı için termal iletkenliği yüksek, düşük maliyetli FR4 malzeme seçilmiş, tasarımda LED'lerin termal yüzeyine uygun bakır soğutma alanları oluşturulmuştur. Resim 4.1'de LED modül elektronik devre kartının ve üzerindeki bakır soğutma alanlarının gösterimi yer almaktadır.

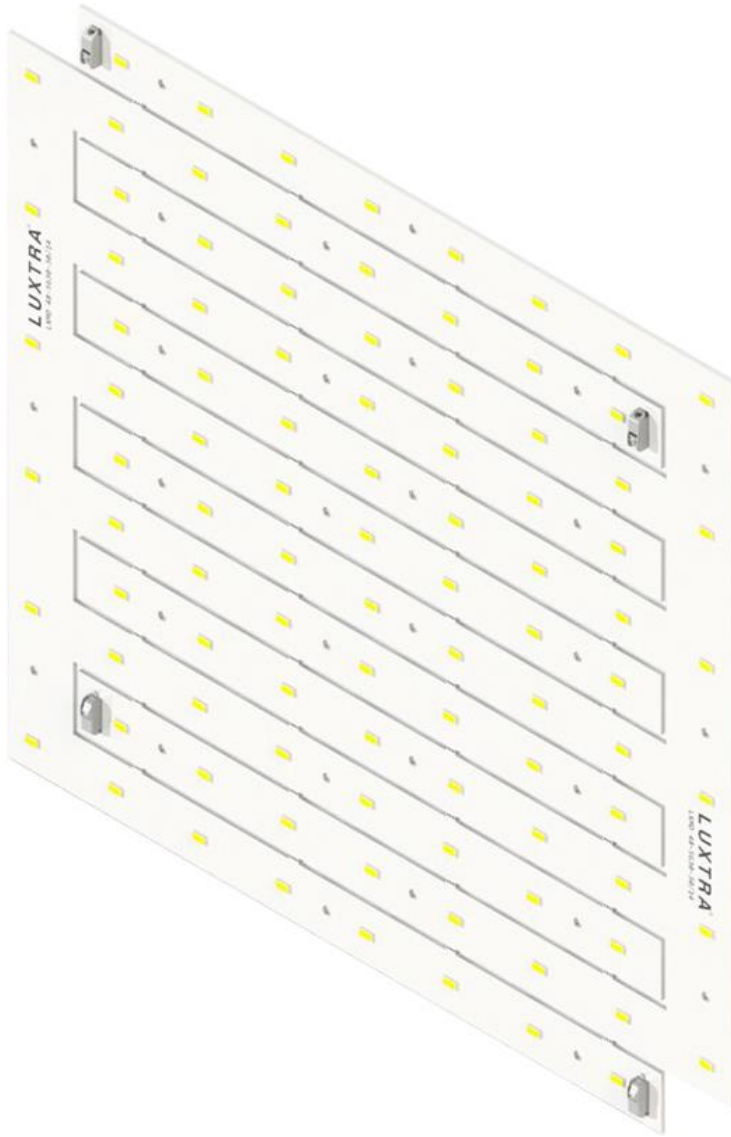


Resim 4.2. Bir kutuplu SMD bağlantı klemensi

Şekil 4.2 ve Resim 4.3'te' de içi içe geçen tarak yapısı ile panel modellemesi yer almaktadır. Eşit ölçülerdeki devre kartları içi içe geçmiş şekilde birlikte üretilmekte, elektronik dizgi işlemi birlikte yapılmakta ve tüm bu işlemler bittikten sonra montaj öncesi elle kolayca kırılıp ayrılabilir.



Şekil 4.2. LED modül panel modellemesi teknik çizimi



Resim 4.3. LED modül 3 boyutlu panel modellemesi

Düşük maliyeti ve ısıya dayanıklılığı göz önünde bulundurularak LED Modül için FR-4 PCB tercih edilmiştir. Plaka kalınlığı 1,6 mm, bakır yol kalınlığı 35 mikron, PCB yüzey rengi beyaz olarak seçilmiş, kurşunsuz HAL kaplama seçimleri yapılmıştır.

Tarak PCB'lerin kırılarak ayrılma işlemi, dizgiden sonra yapılacağından dolayı taraklar arası tutturma noktaları, PCB üretici firma tarafından eklenmiştir. Bir plakada iki tarak LED modül bulunmaktadır. LED modüller dizgi işlemi sonrası el ile kırılarak kolayca birbirinden ayrılmaktadır.

Yüzey montajlı LED ve klemenslerin tek yüzlü LED modül kartı üzerine lehimleme işlemi kurşunsuz olarak otomatik dizgi makinesinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında LED'li ışık kaynağı tasarımında kullanılmak maksadıyla Samsung firmasının LM561B adlı 1/2W'lık (mid-power) yüzey monte LED'leri tercih edilmiştir. LM561B ailesi 2700K'den 6500K'e kadar geniş renk sıcaklığı aralığında temin edilebilmektedir. Renksel geri verim (Ra) 80'in üzerindedir. Bu LED 4000 K renk sıcaklığında 65 mA sürüş akımı ve 25 °C sıcaklıkta 163 lm/W etkinlik faktörüne sahiptir. Bu değer çalışma kapsamında kullanılacak S3 parlaklık sınıfı için hesaplanmıştır. Sıcaklık 65 °C'ye çıktığında ise bu değer 152 lm/W seviyesine gerilemektedir.

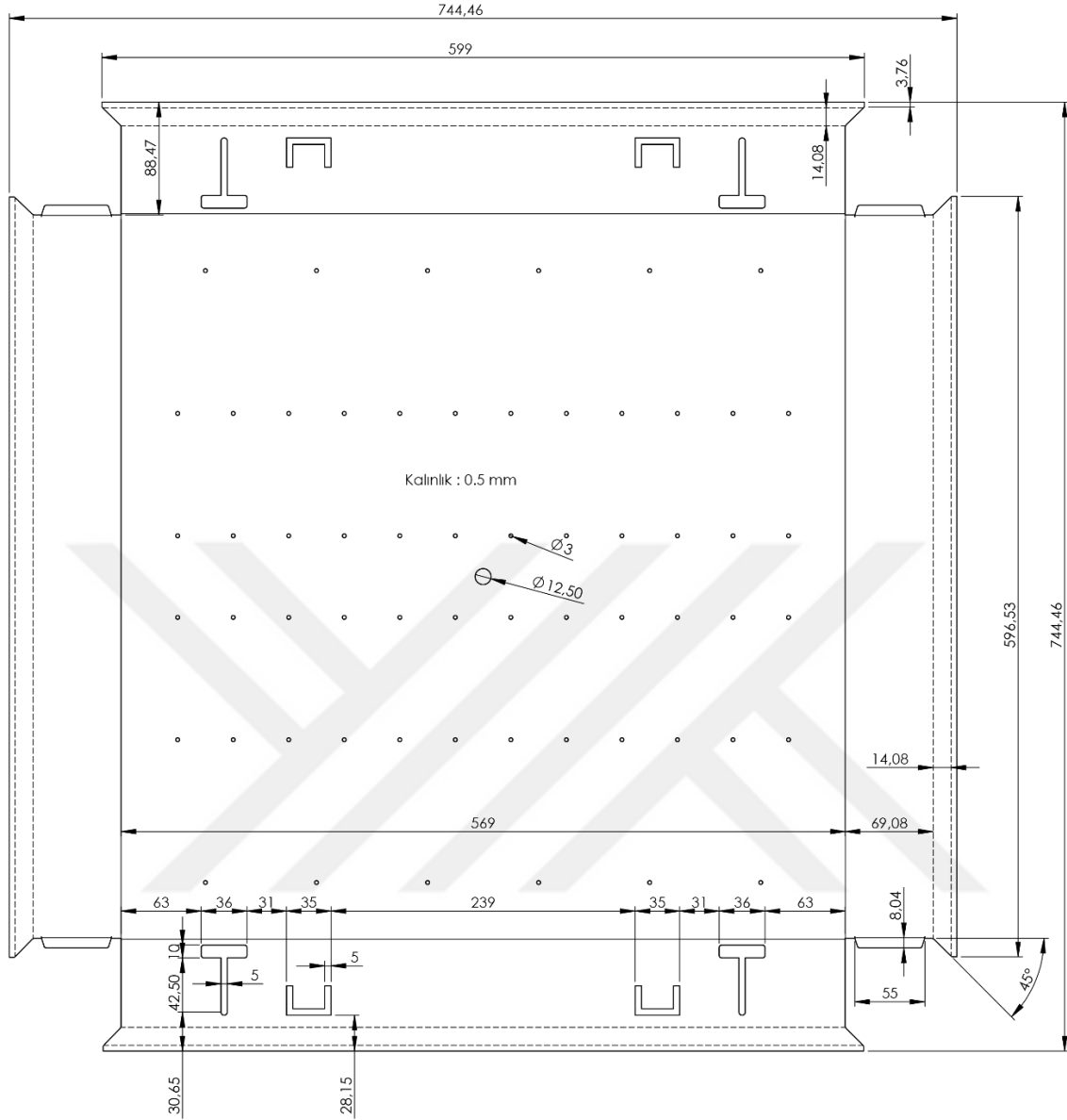
Tasarımda LED'ler 6 paralel, 8 seri şeklinde gruplandırma yapılarak toplam 48 LED kullanılmıştır. Bir armatür içerisinde ise 4 LED modül kullanılacaktır. Yani armatür içerisinde 192 adet LED yer alacaktır. Her bir modül 350 mA ile sürülecektir. Böylece bir LED üzerinden 58,3 mA akım geçecektir. Lehim noktası sıcaklığı ise 105 °C'nin altında tutulacaktır. Böylelikle uzun ömürlü (TM-21 hesaplamalarına göre >36 000 saat) bir ürün tasarımı yapılmış olacaktır.

LED ışık kaynağı tasarımının tamamlanmasından sonra, bu modüllerin içerisine monte edileceği, ofis ortamlarında kullanılabilecek uygun ölçülerde armatür gövdesi tasarımı yapılacaktır.

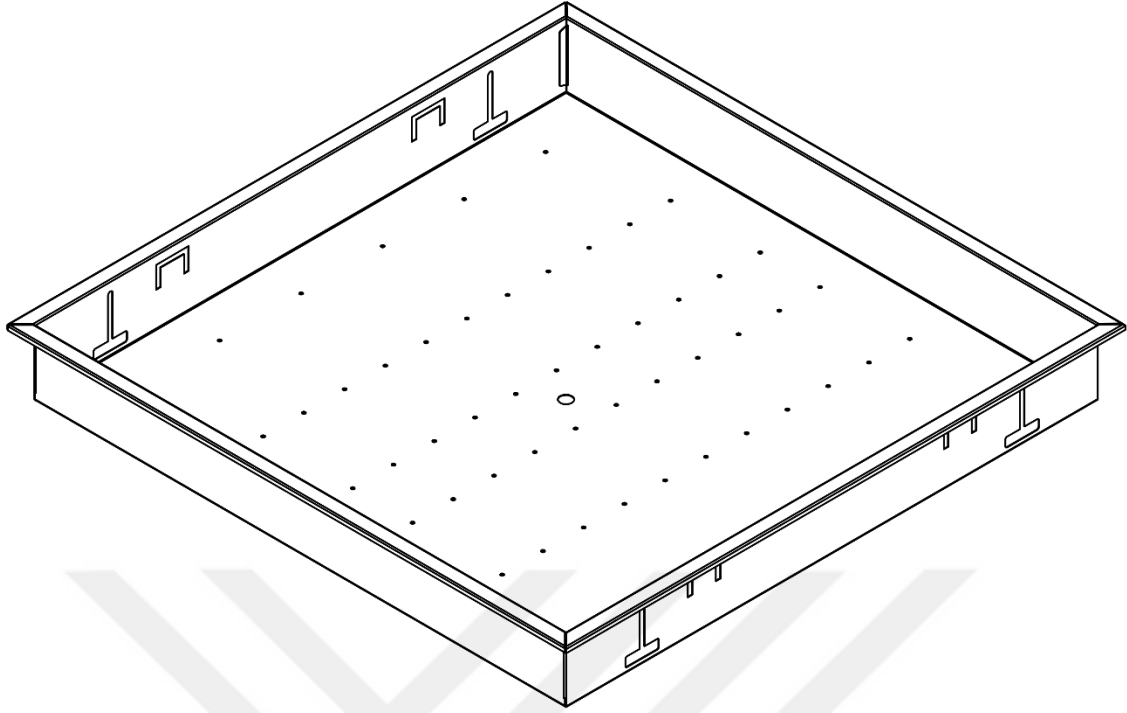
4.2. Armatür Gövdesi Tasarımı

LED ışık kaynağı için geliştirilecek armatür gövdesi geleneksel aydınlatma armatürlerinden farklı değildir. Burada iki farklılık bulunmaktadır. Birincisi gövde üzerindeki montaj delikleridir. Bu delikler ışık kaynağını armatür gövdesine tutturmak için kullanılır. Delik konumları LED modül kartı üzerindeki montaj delikleri ile eşleştirilmelidir. Diğer bir farklılık da armatür gövdesinin iç derinliğidir. 4x18 T8 armatürlerde armatür derinliği 7-9 cm olurken, 4x14 T5 armatürlerde derinlik 4.5-5,5 cm arasında değişmektedir. LED ışık kaynaklı armatürlerde de derinlik tasarımdan tasarıma değişmektedir. Referans tasarımda 7 cm kasa derinliği tercih edilerek 2 boyutlu açınım ve 3 boyutlu kasa çizimleri oluşturulmuştur.

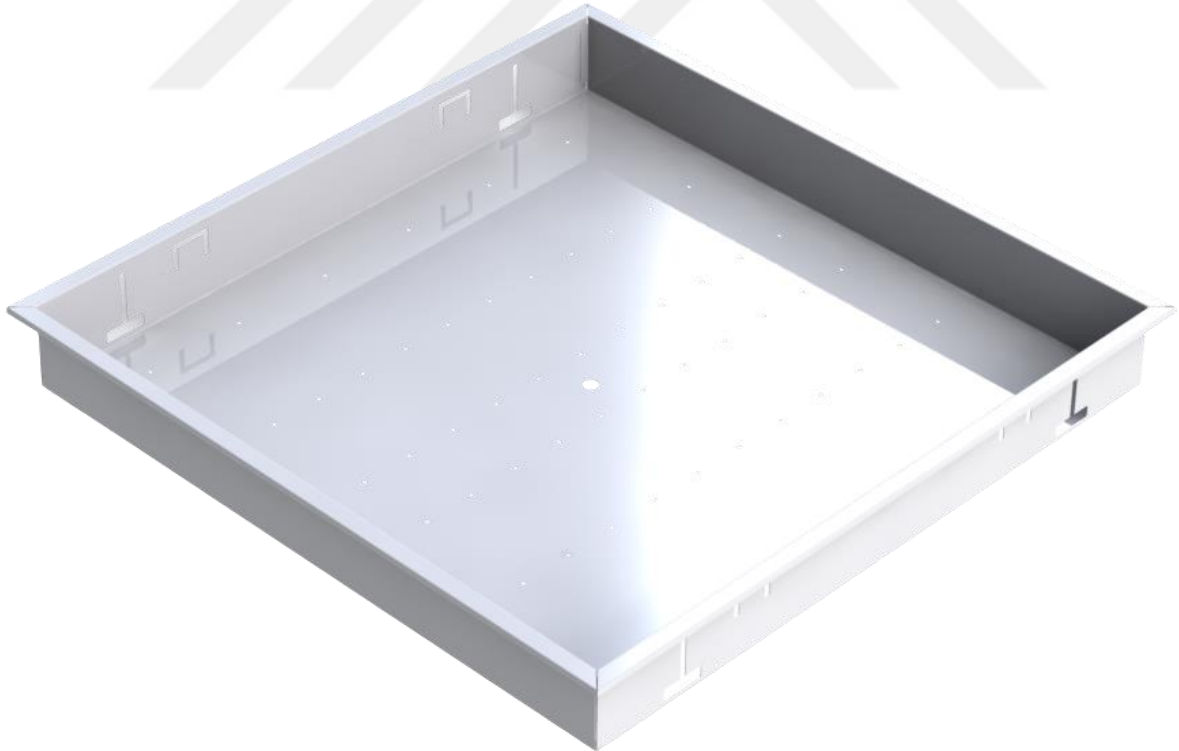
Armatür kasasının açınım resmi Şekil 4.3'te, gövdenin form verildikten sonraki hali Şekil 4.4 ve Resim 4.4'te gösterilmiştir. Resim 4.5 ve Resim 4.6'da armatürün montajı tamamlandıktan sonraki 3 boyutlu görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.3. Armatür gövdesinin açınım resmi



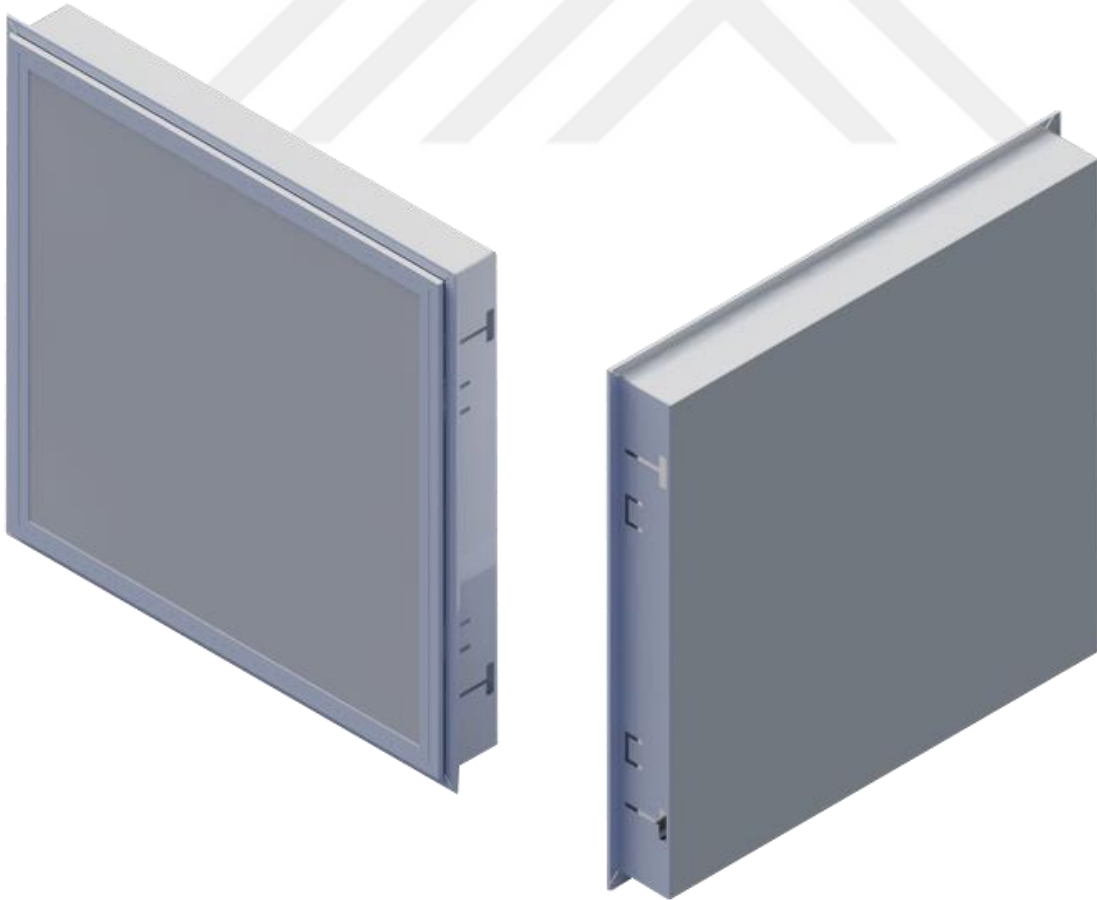
Şekil 4.4. Armatür gövdesinin form verilmiş hali



Resim 4.4. Armatür gövdesinin form verilmiş hali



Resim 4.5. Armatür gövdesinin 3 boyutlu görünümü



Resim 4.6. Armatür gövdesinin 3 boyutlu perspektif görünümü

4.3. Optik Tasarım ve Işık Açı Tasarımı

Açı kontrolü, ışık kaynağını gizleme, ışığın homojen bir şekilde dağılması ve estetik bir görünüm sağlamak maksadıyla armatür tasarımında difüzör kullanılması gereklidir. Yongtek firmasının ürünlerinden PA-00S, PA-75S2, PA-90S ve PA-92ER gibi birçok model difüzör teknik verileri incelenerek numune temin edilmiştir. Bu difüzör plakalarına ilişkin teknik detaylar Çizelge 4.2’de yer almaktadır. Üretici verilerine göre bu difüzörler ışığı %74-%95 verimlilikle armatür dışına iletebilmektedir. Polistiren (PS) malzemeden üretilmiş bu difüzörler, 99 °C’ye kadar termal dayanım göstermektedir.

Polistiren, katı ve saydam bir plastik ham maddedir. Polistiren, dünyada plastik üretiminde en çok kullanılan ham maddeler arasında yer almaktadır (Geyer, Jambeck ve Law, 2017). Şeffaflığı, iyi işlenebilmesi, akışkanlığı ve diğer birçok özellikleri nedeniyle pek çok uygulamada tercih edilmektedir.

Çizelge 4.2. Yongtek PS Mat S/S2 Difüzör Teknik Detay Tablosu

Model	Malzeme	Plaka Kalınlığı	Geçirgenliği HZ%	Işık Geçirgenliği T/T%	Yüzey Deseni
PA-90S	PS	1,5 mm	88	90	Tek taraflı mat
PA-85S	PS	1,5/1,8 mm	91	84	Tek taraflı mat
PA-75S2	PS	1,5 mm	91	74	Çift taraflı mat
PA-65S2	PS	1,5 mm	92	63	Çift taraflı mat

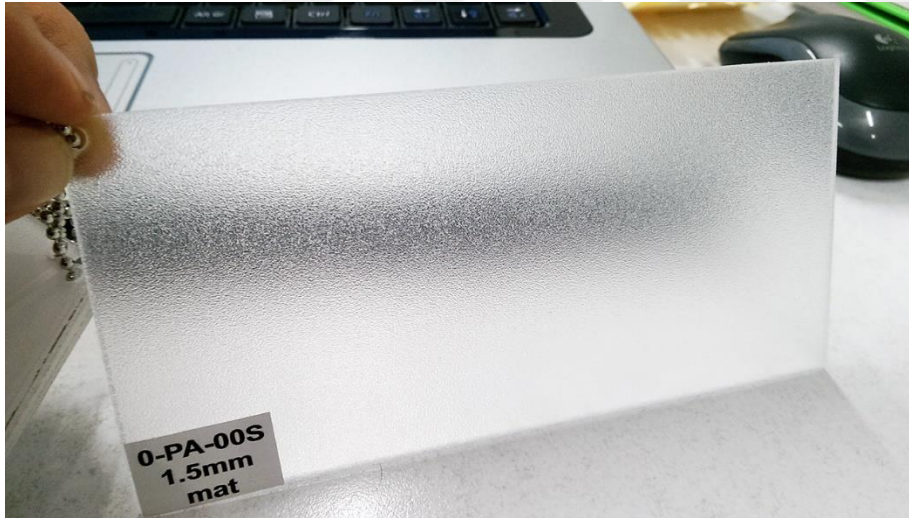
PA-75S2 modeli polistiren difüzör 1,5 mm kalınlıkta, ışığı minimum %74 oranında iletebilmektedir. Işık kaynağını gizlemede yüksek performans göstermektedir. 1,06 g/cm³ yoğunluğa sahip bu difüzör oldukça hafif ve istenilen ölçülerde kolayca kesilebilmektedir. UV ışınlarına dayanıklı, yüksek termal kararlılığı ile sararma ve solma gibi olumsuz özellikler göstermemektedir.

Bu modelin dışında Yongtek firmasının daha yüksek geçirgenliğe sahip başka modelleri de bulunmaktadır. Ancak ülkemizde satış miktarı az olduğundan tedarikçi yerli firmalar stok tutmamakta; özel sipariş ile yüksek adette plaka getirebileceklerini söylemektedirler.

Resim 4.7 ve Resim 4.8’de farklı geçirgenlik ve ışık geçirgenliğine sahip difüzör plakaları arasındaki farklılıklar görülmektedir.



Resim 4.7. PA75S2 modeli difüzör plakası



Resim 4.8. PA-00S modeli difüzör plakası

Kamaşma sorununun çözümüne yönelik; ışığın optik algıda yarattığı olumsuzlukları yok etmek amacıyla kasa derinliği 7 cm seviyesinde tutulmuştur. Bu derinlik PA-75S2 modeliyle ışık kaynağının gizlenmesinde de doğru bir tercihtir. Resim 4.9’da görüldüğü üzere, 5 cm ve daha az derinliklerde LED’ler difüzör arkasında tane tane belirginleşmeye başlamaktadır.



Resim 4.9. Kasa derinliğinin ışık kaynağının görünürlüğü üzerindeki etkisi

4.4. LED Sürücü Tasarımı

Sabit akım ve gerilimde çalışan referans tasarım araştırmalarında verimlilik, PFC, THD, sıcaklık, giriş tarafındaki esnek gerilim ve akım aralıklarında çalışabilme gibi çalışmada belirtilen değerleri karşılayabilecek olan tasarım araştırmalarının sonucunda ON Semiconductor firmasının NCL30051 kodlu tasarımı uygun görülmüştür. Bu tasarımın genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

90-265 Volt AC şebeke geriliminde, 47-63 Hz frekans aralığında, %50 ve daha yukarı kapasitelerde PF'nin 0.9'dan büyük olması, EN61000-3-2 standardına uyumluluk, verimliliğin 1 amper çıkış akımı ve 48 Volt çıkış geriliminde %90 üzerinde seyretmesi, çıkış gerilimi ve akımının ayar dirençleri kullanılarak geniş aralıklarda seçim yapılabilmesi (35V-50V, 0.7A-1.5A), 150-300 Hz aralığında PWM girişi verilerek %10-%100 Duty Cycle aralığında Dimming işleminin yapılabilmesi olarak özetlenebilir.

Bu tasarımda devrenin sağlıklı çalışabilmesi için kısa devre, açık devre, aşırı sıcaklık, aşırı akım, girişte ve çıkışta aşırı gerilim korumaları bulunmaktadır. Sabit akım ve sabit gerilim tasarımında topoloji olarak half bridge smps kullanılmıştır. Tasarımda kullanılan flyback trafo DC gerilim ve akımın NCL30051 sürücüsü tarafından sürülen bir N kanallı mosfet tarafından anahtarlama yapılarak çalıştırılır. Bu topolojinin en önemli dezavantajı anahtarlama kayıpları ve bu anahtarlama sonucunda tekil harmoniklerin yükselmesi ve şebeke gerilimi üzerinde bozucu etki yapan THD'nin artmasıdır. Seçtiğimiz tasarımda ise

THD alınan feedbacklerle aktif olarak ve girişteki EMI filter gibi pasif filtrelerle azaltılarak %15 seviyesinin altında tutulmaktadır. 1 amper üstü çıkış akımlarında ise THD daha da azalarak %7 civarında olmaktadır.

AC-DC dönüşümlü sabit akım ve gerilimde çalışan sürücü tasarımı yapılırken şematik ve devre kartı çiziminde, malzeme seçiminde bazı önemli hususlar bulunmaktadır.

Şematik çizimi yapılırken EMI filter'dan sonra köprü diyot çıkışındaki DC gerilimin negatif referansı toprak olarak kullanılır fakat bu negatif toprak referans noktasının bilgi sinyalinin referans toprağıyla karışmaması son derece önemlidir. Güç tarafının toprak referansı ile sinyal tarafının toprak referansı sadece tek bir noktada birleştirilir. Aynı şekilde sinyal tarafında pasif devre elemanlarının toprakları da yine sadece tek bir noktada toplanarak devrenin kontrolörü durumundaki NCL30051 entegresinin toprağıyla birleşmesi gerekir. Malzeme seçimi yapılırken sapma yüzdeleri minimum olan elemanlar seçilmelidir. Özellikle devre çıkışında akım ve gerilimi belirleyen yüzeye monte dirençlerdeki en ufak değişiklikler sonuçların farklılaşmasına sebep olmaktadır.

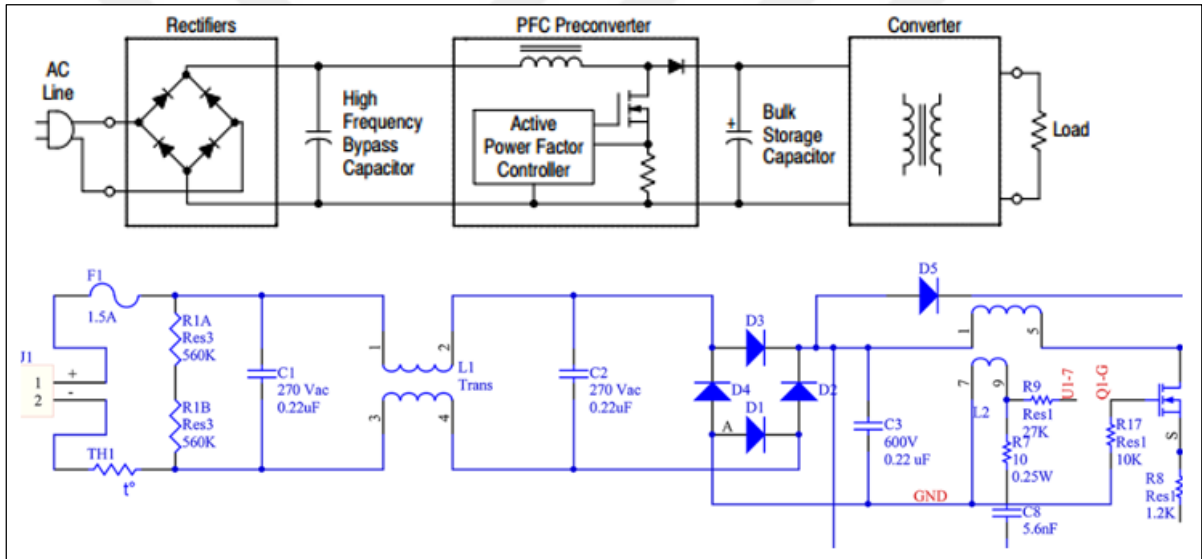
Devre kartı çizimi yapılırken dikkat edilmesi gereken noktalar ise devrenin giriş tarafında AC gerilimin olduğu yerlerde birbirine bağlı bulunan pinler poligon yöntemi ile 0.1mm ızgara aralıklı olarak yapılmıştır. Aynı şekilde gerilimin yüksek olduğu yerlerde genelde bu şekilde poligon veya 2 mm genişlikli line hatları çizilmiştir. Köprü diyottan sonra gnd (ground) hattına ground plane amaçlı 8 adet hole yapılmıştır. Ayrıca devre elemanlarının birbirlerine göre konumlarının uygunluğu da çalışmasını etkilemekte ve harmonik oranlarını değiştirmektedir. Önemli bir noktada yüksek frekansla çalışan flyback trafonun altına herhangi bir devre elemanı konumlandırılmaması gerekmektedir.

4.4.1. Devre şemalarının oluşturulması

Sabit akım ve gerilimde çalışan sürücü devre şeması oluşturulurken devrenin giriş ve çıkışındaki sıcaklık, gerilim, akım gibi anlık değişen değerlerine yönelik kontrol ve düzenleme yapan devre elemanları devrenin gerekli kısımlarına eklenmiştir. Böylece anlık olarak değişen değerler pasif ve aktif devre elemanlarıyla devrenin diğer kısımları güvence altına alınmıştır.

Devre tasarımının giriş katında alternatif akımın inverter devresine daha düzgün alınabilmesi için paralel RC devresi kullanılmıştır. Devrenin AC girişinde elektromanyetik gürültüleri önleyen EMI filter bulunur. EMI filter şebekeden gelebilecek bozulmuş gerilimi süzmek için de oldukça faydalıdır. Bu tasarım için kullanılacak EMI filter endüktansı 2.9 mH'dir.

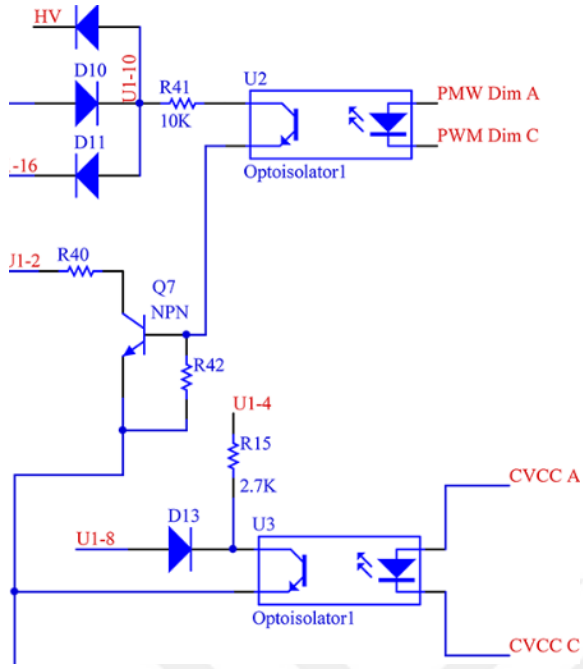
AC gerilimin köprü diyotlarla DC gerilime çevrilmesinden sonra devrede 80 kHz anahtarlama frekansında çalışan bir PFC Choke bobini kullanılır. PFC bobini güç faktörünün aktif düzeltme devresinde gereklidir. Bu devrede PFC bobinin devamında PFC diyotta kullanılmaktadır. EMI Filter ve PFC düzenleme devresinin tasarımdaki konumu Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. EMI filter ve PFC düzenleme devresi

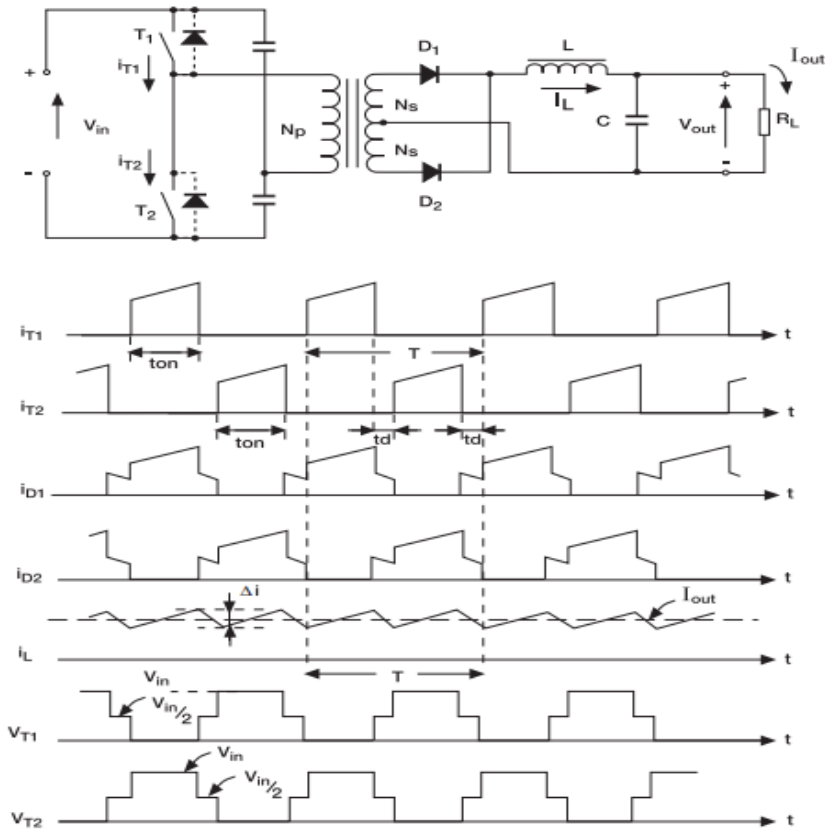
Devrenin half bridge mimarisindeki 600 Vdc yüksek gerilim tarafındaki n-kanallı mosfeti ve düşük gerilim tarafındaki n-kanallı mosfetin sürülme frekansını belirleyen tetikleme frekansını, tüm feedback dönüşlerine göre aktif olarak düzeltmesini, düşük-yüksek gerilim algılayıcıyı içeren çıkış gerilim ve akımındaki durumları optokuplörler ile alan ve düzenleme yapan devrenin ana kontrolörü olarak görev yapan eleman NCL30051 entegresidir.

Feedback dönüşleri ve PWM bilgisinin verilmesi sağlayan optokuplörler Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

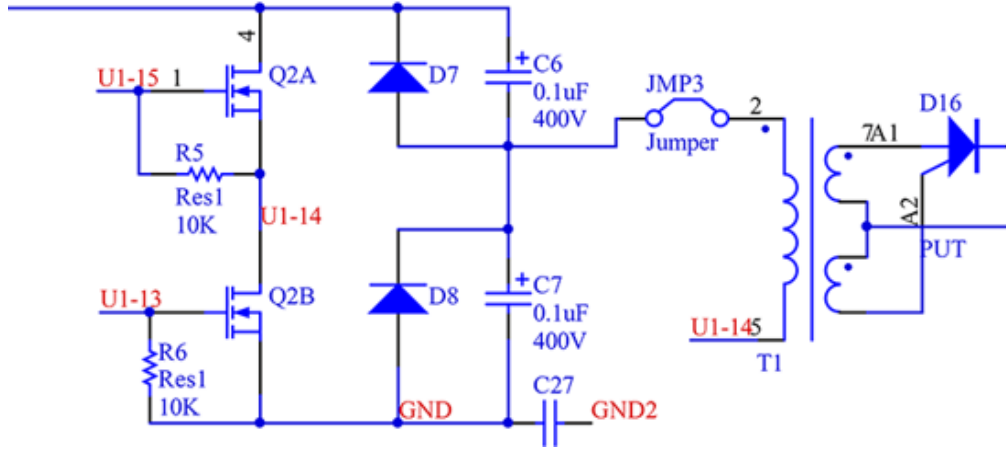


Şekil 4.6. Feedback dönüşleri ve optokuplörler

Half bridge mimarisi ve flyback trafosunun konumları ile n-kanallı mosfetler üzerinden geçen akım ve gerilim grafikleri ve tasarımıdaki yeri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



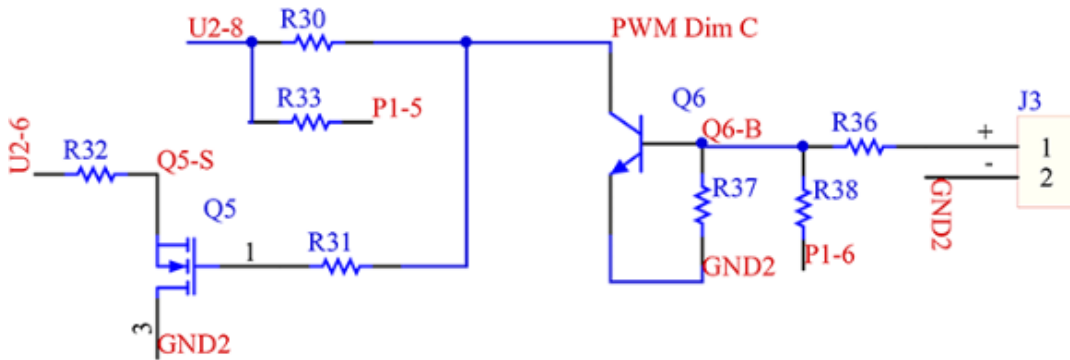
Şekil 4.7. Akım ve gerilim grafikleri



Şekil 4.8. Half bridge mimarisi ve flyback trafo konumları

Devrenin çıkışında ise çıkış akım ve geriliminin sabitlenmesini sağlayan ve referans gerilim değerlerini V_{sense} ve I_{sense} dirençlerine uygulayarak çıkış akım ve gerilimini değiştirme olanağı bulunmaktadır. Devrede bunu sağlayan entegre NCS1002'dir.

Devrede 150-300 Hz frekans genişliğinde %10-%100 aralıklarında dimmer imkanı veren PWM girişi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



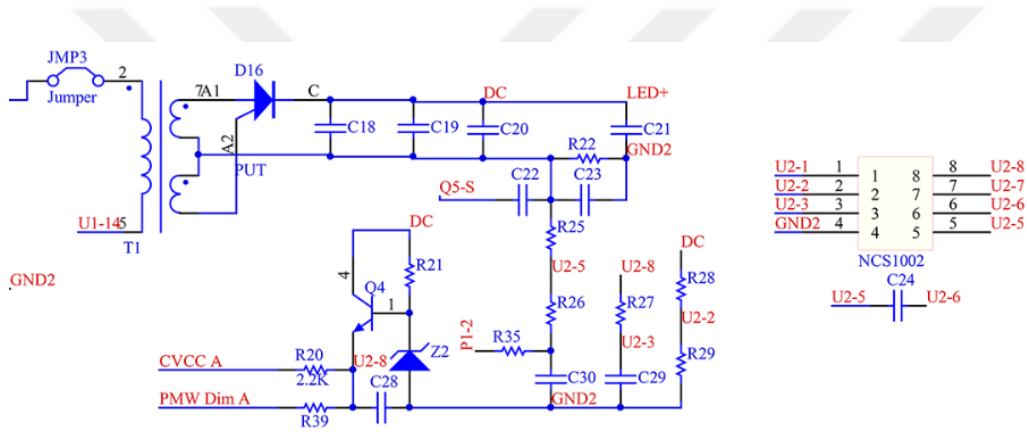
Şekil 4.9. PWM girişi devre şeması

4.4.2. Baskı devre tasarımı

Devre şemalarının oluşturulmasından sonra devre çiziminin yapılarak bu devrenin bastırılması gereklidir. LED sürücüyeye ait baskı devre kartlarının çizimi için endüstride yaygın olarak kullanılan baskı devre kartı tasarım yazılımı Altium Designer programı kullanılmıştır.

Baskı devre tasarımının ilk adımı devre elemanlarının kararlaştırılmasıdır. Devre tasarımı oluşturulması için devre elemanlarına karar verilmeli, bu elemanların footprint (ayak izi)'ne göre devre tasarımı gerçekleştirilmelidir.

Devre elemanlarına karar verilirken tolerans oranlarının küçük olması gereken yerler SMD olarak yapılması gerekmektedir. Tüm devre elemanları yapılması planlanan gerilim, akım, güç, sıcaklık, harmonik, PF değerlerine uygun olarak seçilmiştir. Şekil 4.10'da flyback trafo çıkışındaki R22 direnci çıkıştaki akımı belirleyen dirençtir. R28 ve R29 ise çıkıştaki gerilimi belirleyen dirençlerdir. NCS1002 CVCC entegresinin referans voltaj çıkışlarına göre değerleri belirlenir.



Şekil 4.10. Sabit akımlı çıkış tasarımı

Devrede kullanılan trafo ve bobinler için girdap akım kayıpları ve histerezis (manyetik) kayıpları olduğundan dolayı yüksek frekanslı çalışan bu tasarım için sadece manyetik kaybı olan ve akım kayıplarını önlemek için yüksek elektriksel dirence sahip ferrit nüveler kullanılmıştır. Sargıları ise elektriksel kayıpların azalması açısından uygun kesitli çıplak bakır telden değil litz sargı denilen dışı yalıtkan telden sarılır. Çünkü frekans yükseldikçe skin effect denilen akımın iletkenin yüzeyinden akması durumu ortaya çıkar. Trafonun veya bobinin çalışmasını etkilemesini önlemek için bu şekilde bir seçim yapılması gerekmektedir. Bobin ve trafoların çalışma sıcaklığı çevrelerindeki devre elemanlarını etkilememesi için maksimum sıcaklığı 100 °C olarak belirlenmiştir.

Devrede yer alan yarıiletken devre elemanlarının üzerlerindeki elektriksel zorlanmaların giderilebilmesi için devrede snubber (söndürme) devreleri kullanılmıştır. Bu devreler özellikle anahtarlama elemanlarının kesime giderken elemana uygulanan gerilimleri

sınırlamak, iletim durumunda üzerinden geçen akımı ve akımın yükselme hızını sınırlamak, tıkama geriliminde ise eleman uçları arasındaki gerilimin yükselme hızını sınırlamak amaçlı gereklidir.

Devrede kullanılan kutupsuz seri RC filtreleri ters toparlanma sırasında oluşacak maksimum gerilim ve yükselme hızını sınırlayarak diyot, mosfet gibi elemanları koruyacaktır.

Devre elemanlarının fiziki yerleşimi devrenin optimize çalışması ve akım dalga formundaki tekil harmonik bozunumlarının önlenmesi, feedback dönüşlerinin daha iyi alınabilmesi gibi sebeplerden dolayı son derece önemlidir.

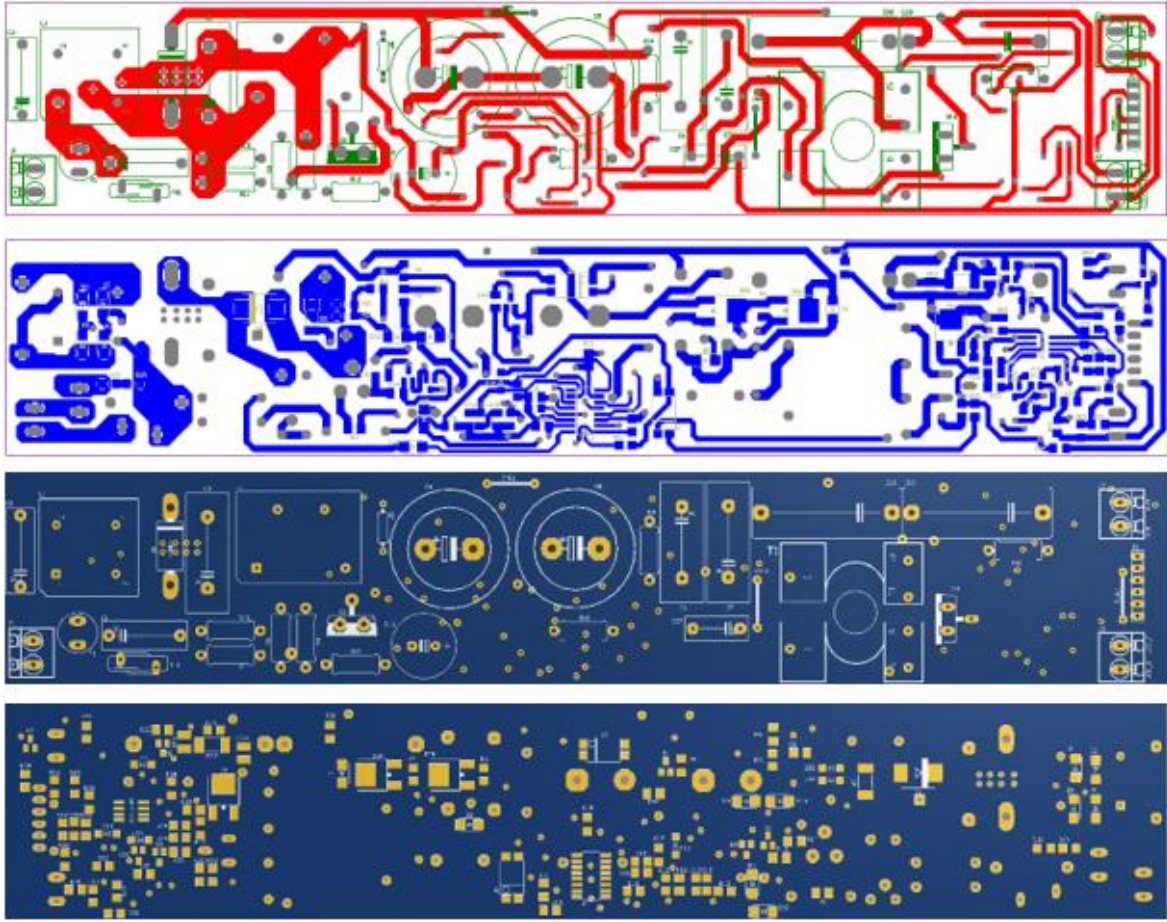
Giriş katındaki tüm filtre elemanlarının birbirine yakın olması filtrelerin çıkışlarında akım ve gerilim karakteristiklerinin bozunumlarını önler. Devrenin çalışması sırasında sıcaklığı artacak olan elemanların olduğu bölgelerde (*Örneğin*; Q1 mosfeti, L2 PFC Bobini, T1 Flyback Trafosu, D16 diyotu, NCL30051 ve NCS1002 entegreleri gibi elemanların çevreleri) bu devre elemanlarının daha stabil çalışabilmeleri için diğer devre elemanlarından uzak tutulur.

Sıcaklığı diğer devre elemanlarına göre daha çok artan iki eleman olan D16 ve Q1 için gövdelerine alüminyum soğutucular yerleştirilmesi amacıyla kart üzerinde konumlandırılırken soğutuculara yer bırakılmıştır.

Yüksek DC gerilimine sahip C5 ve C6 yığın kapasitörleri simetrik olarak birbirlerine yakın tutularak yüksek gerilimin geniş alanlara ulaşması önlenir. Bu ise kartın yüksek ve düşük geriliminin izolasyonu için gerekli bir önlemdir.

Devre elemanlarının gerekli dizilimi yapıldıktan sonra boyutları 250 mm x 46 mm x 3 mm olacak şekilde baskı devre kartı çizimi Altium Designer programı yardımıyla yapılmıştır.

Çizim sonucu ortaya çıkan tasarımda devre kartının her iki yüzeyinin görüntüsü Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Baskı devre tasarımları

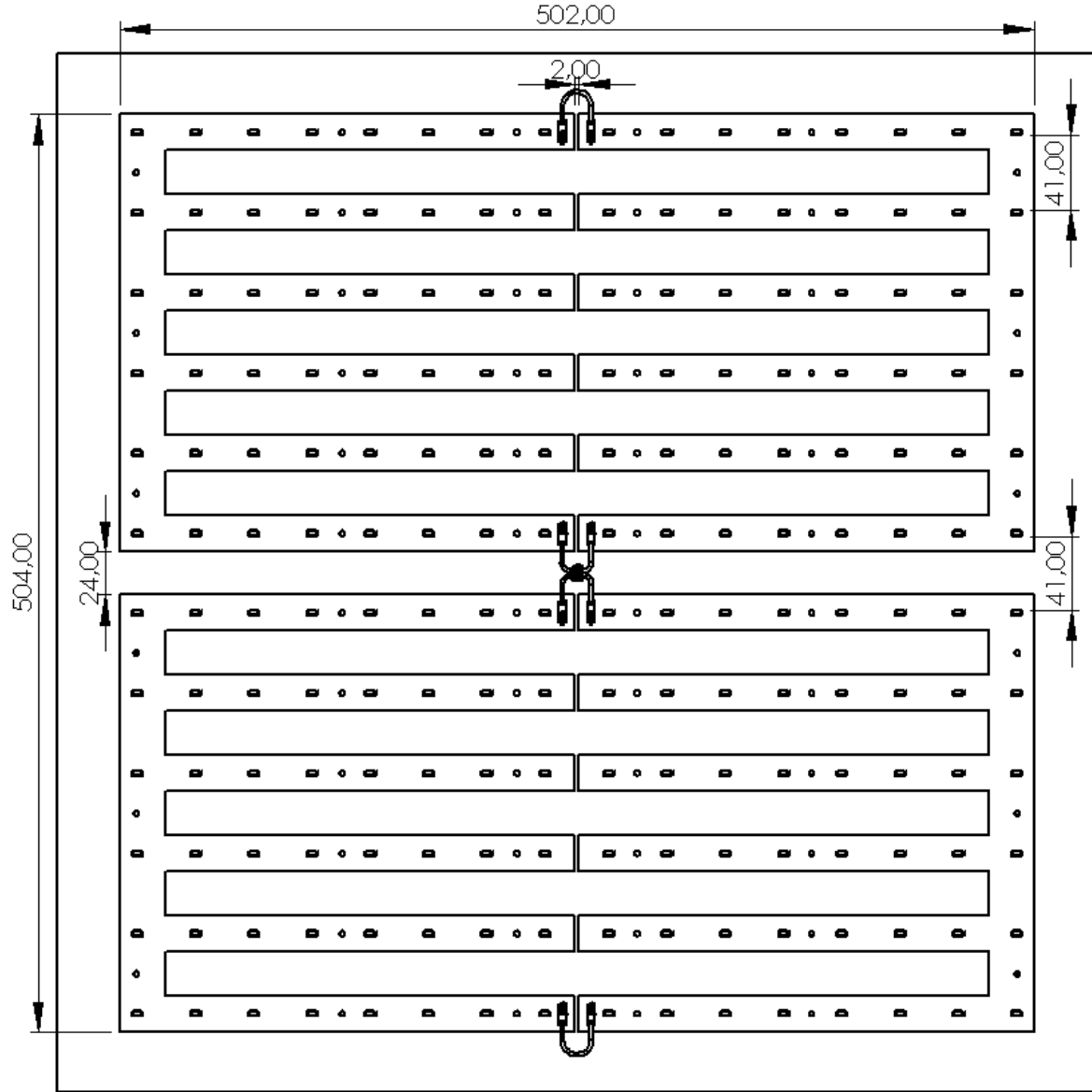
Tasarım prototip üretimi aşamasında olduğundan SMD ve Pin’li devre elemanları dizimi el ile kurşunsuz lehim teli kullanılarak 380 °C havya sıcaklığında yapılmıştır. Fakat seri üretim aşamasına geçildiğinde SMD elemanlar dizgi makinasında dizilebilir. Pin’li devre elemanları ise daha az ve dizimi kolay olduğundan el ile dizimi gerçekleştirilebilir.

4.5. Modüler Entegrasyon Planı

Çalışma kapsamında sistem bileşenleri bilgisayar ortamında ayrı ayrı tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda bir ürün ortaya koyabilmek için, tasarlanan bu bileşenler birbiriyle uyumlu çalışmalıdır. Bu uyumluluğun kontrolü için modüler entegrasyon çalışması yapılmalıdır.

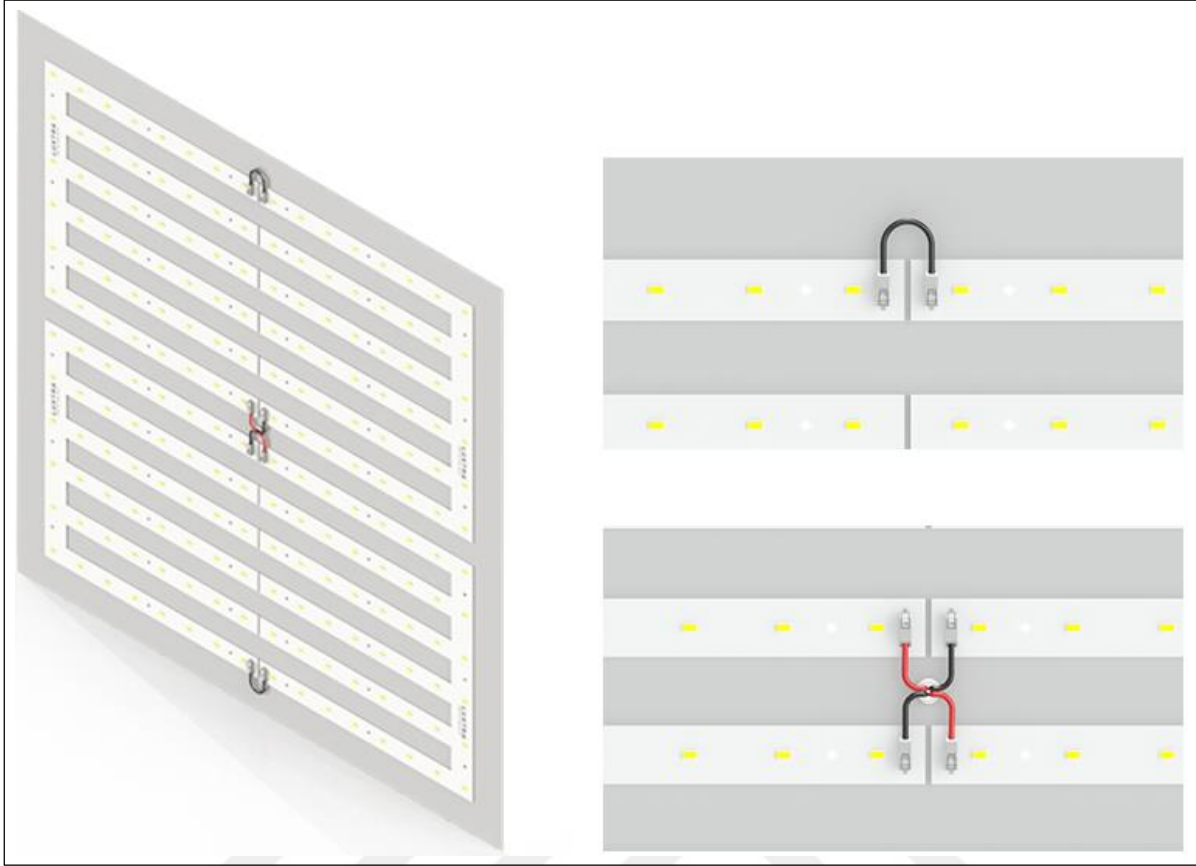
Şekil 4.12’de görüldüğü gibi kasa üzerinde 4 adet LED modülü yerleştirilecek şekilde planlama yapılmıştır. Modül üzerindeki LED’ler montaj sonrası yatayda ve dikeyde eşit aralıklara sahip bir matris görünümünde olacaktır. LED’ler arası mesafe yatayda 32 mm,

dikey ölçüde 41 mm'dir. Kasa içi modül montaj koordinatları bu ölçünün kartlar arasındaki geçişlerde de sabit kalması için ayarlanmıştır.



Şekil 4.12. LED modül montaj teknik çizimi

Modüller arası bağlantı hiçbir alet/teçhizat gerektirmeden kolaylıkla sök-tak yapılabilmesi amacıyla WAGO'nun 2060 serisi SMD konnektörleri ile sağlanmıştır. Sürücü-modül arasındaki bağlantı da bu konnektör yardımıyla yapılmaktadır. Bir kutuplu bu konnektörden modül üzerinde iki adet kullanılmıştır. Enerjiyi taşımak için sürücüden baskı devre kartlarına ve baskı devre kartları arasındaki kablo bağlantılarının gösterimi Resim 4.10'da yer almaktadır.

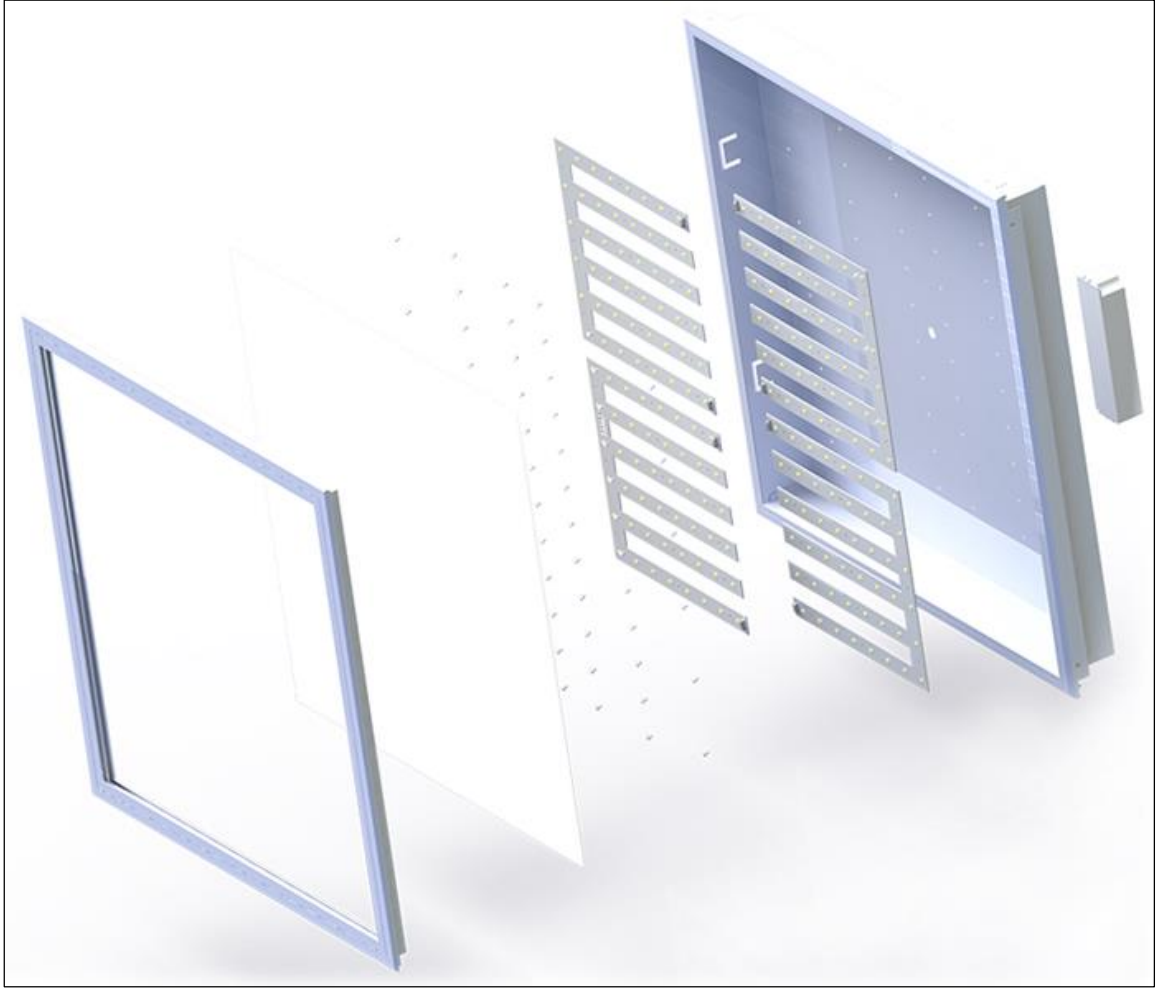


Resim 4.10. LED modül montaj ve ara bağlantı gösterimi

Modüller 2 seri, 2 paralel şeklinde gruplandırılacaktır. Böylelikle girişteki sürücü akımı kasa içerisinde ikiye bölünecektir. Bir modül üzerinde 48 LED bulunmakta ve bu LED'ler 6 paralel, 8 seri şeklinde gruplandırılmıştır. LED üreticisinin veri dosyasında belirttiği yüksek etkinlik faktörüne ulaşabilmek için gerekli LED sürüş akımı 65 mA'dır. Bu da modülün sürüş akımının 390 mA değerinde tutulmasıyla elde edilecektir. Modüller arası ikili paralel bağlantı planlandığından, tasarlanacak LED sürücü akımının 780 mA düzeyinde tutulması gerektiği söylenebilir.

Endüstride yaygın olarak kullanılan sürüş akımları; 350 mA, 700 mA, 1050 mA ve 1400 mA'dır. Bu yüzden LED sürücü sürüş akımı için en yakın değer olan 700 mA seçilmiştir.

Armatür gövdesi, LED modül, sabitleme ekipmanları, difüzör plakası ve LED sürücü montajı yapıldıktan sonra ortaya çıkan nihai ürün Resim 4.11'de gösterilmiştir.



Resim 4.11. Nihai ürün görseli

5. ISI TRANSFER ANALİZİ

Geliştirilen ışık kaynağı ve dolayısıyla armatürün uzun kullanım ömrüne sahip olması için, termal yönetimi iyi yapılmalı, LED'ler üzerinde açığa çıkan ısı kontrol altına alınmalıdır. LED'ler üzerinde oluşan ısıнын uzaklaştırılması ve LED'lerin soğutulması görevini LED modüle ait baskı devre kartı üstlenmektedir. Bu sebeple, baskı devre kartının, üzerine monte edilmiş LED'ler ile birlikte oda sıcaklığında termal analizi gerçekleştirilmelidir.

Geliştirilen armatürün termal analizi için SOLIDWORKS Flow Simulation yazılımı kullanılmıştır. SOLIDWORKS Flow Simulation, SOLIDWORKS yazılımına bir eklenti olarak gelmekte ve SOLIDWORKS ile birlikte çalışmaktadır. Flow Simulation eklentisi yardımıyla tasarımların akış, ısı ve ısı transferi analizleri gerçekleştirilebilir.

Analizin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için, kullanılan LED ve LED'in sürüş akımına göre güç hesabı yapılmalı, her bir LED için ısı yükü tanımlanmalıdır.

Geliştirilen nihai tasarımda LED modül 350 mA sürüş akımıyla beslenerek, toplamda 34W sistem giriş gücü elde edilmektedir. Modül tasarımı 6 paralel, 8 seri şeklinde yapıldığından; sürüş akımı paralel kollara eşit olarak dağılarak LED başına 58,3 mA sürüş akımı elde edilecektir. LM561B kodlu LED'in veri dosyasında belirtildiği üzere, tipik sürüş akımında LED gerilimi 2,90 V-3,00 V aralığındadır.

Eş. 5.1'de LED gerilimi ile sürüş akımı çarpılarak LED'in üzerinde harcanan güç bulunabilir. Termal analizde maksimum ısı yükü altında analiz gerçekleştirilmesi gerektiğinden, hesaplama yapılırken gerilim aralığının en üst değeri alınmalıdır.

$$\text{Güç} = \text{Gerilim} \times \text{Akım} \quad (5.1)$$

formülü tasarım için uygulandığında;

$$\text{Güç} = 3,00 \text{ V} \times 0,0583 \text{ A} = 0.1749 \text{ W}$$

güç değeri elde edilir.

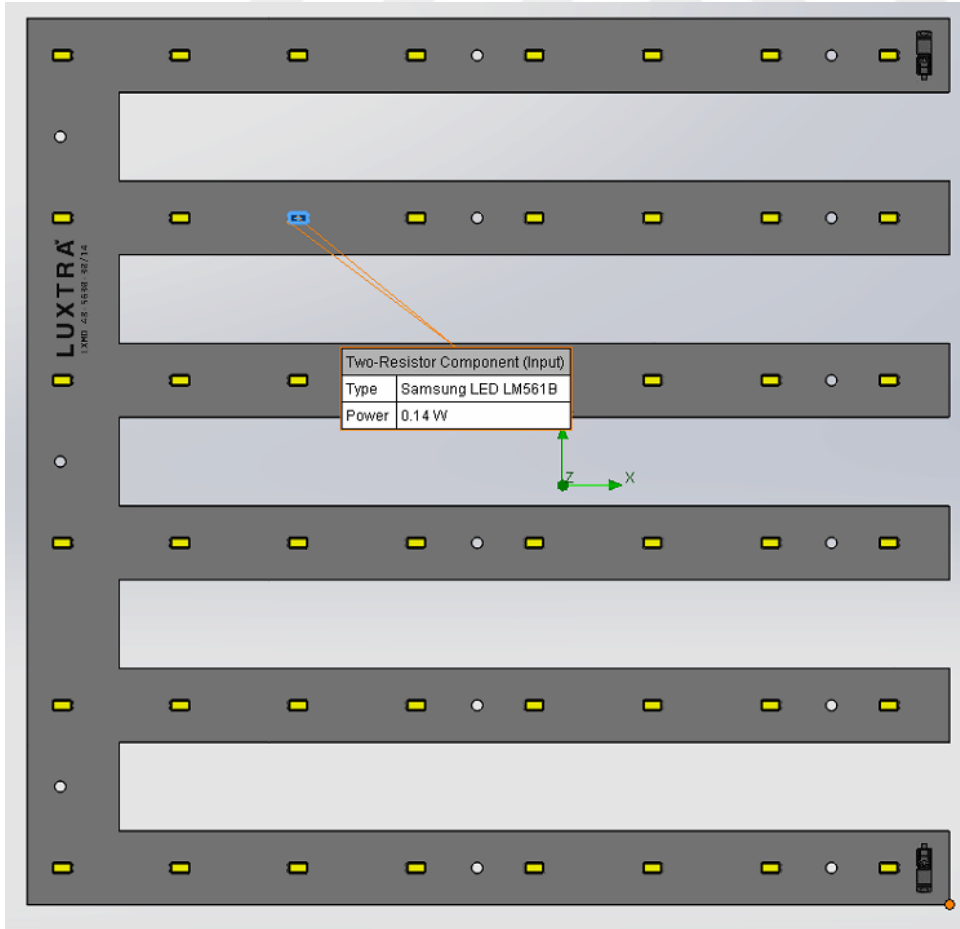
LED'lerin, üzerinde harcadığı enerjinin %70-80'ini ısıya dönüştürdüğü bilinmektedir (Huang, Chen, Tsai ve Lin, 2019). Bu sebeple termal analiz yapılırken ısı yükünü %80 değerine göre hesaplamak gerekmektedir.

$$0,1749 \text{ W} \times \frac{80}{100} = 0,14 \text{ W} \quad (5.2)$$

Hesaplama sonucuna göre LED üzerinde harcanan 0,1749 W elektrik enerjisinin 0,14 W'ı ısıya, kalanı ise görünür ışığa dönüştürülmektedir.

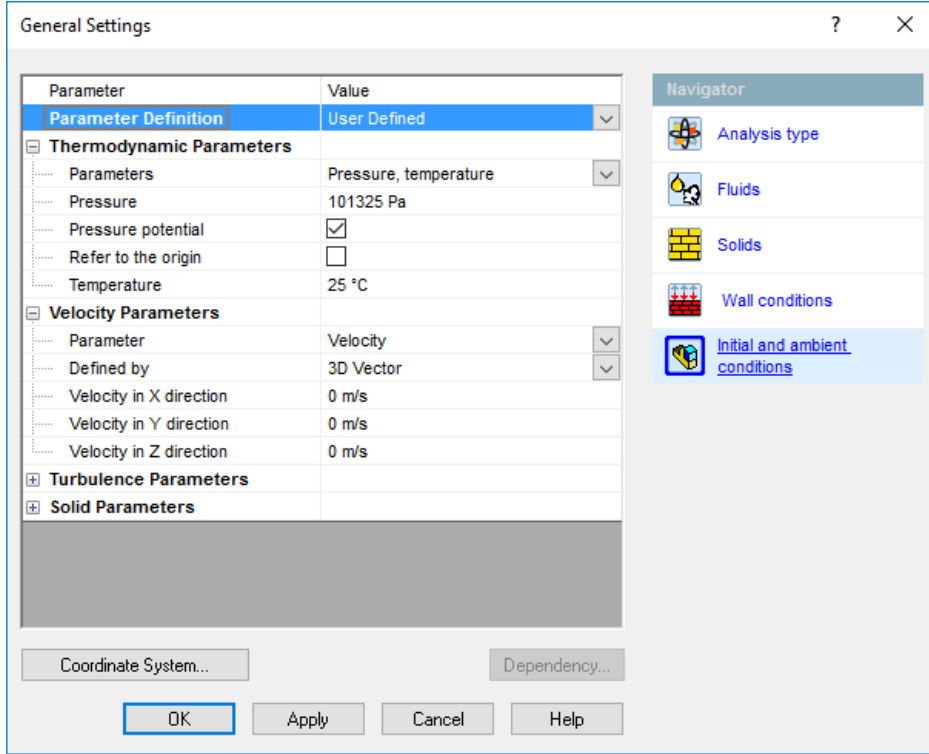
Isı transfer analizi, sıvı akışı ve ısı aktarımını gerçekleştirebilen SOLIDWORKS Flow Simulation programı aracılığıyla gerçekleştirilecektir.

Yapılan hesaplamalara göre; Şekil 5.1'de gösterildiği gibi LED modül üzerinde her bir LED için, yani 48 LED'in her birine 0,14W ısı yükü tanımlanmıştır.



Şekil 5.1. LED ısı yükü tanımlamaları

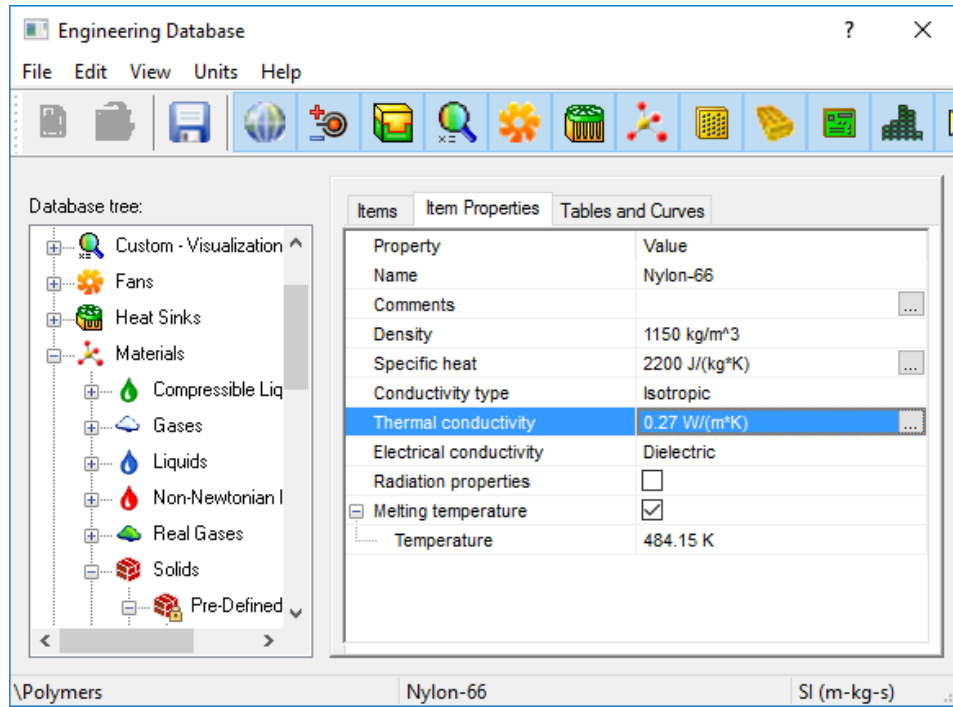
Analiz için ortam sıcaklığı +25 °C olarak ayarlanmıştır. Tüm hesaplamalar bu sıcaklık değerinde gerçekleştirilecektir. Ortam sabitlerine ilişkin ayarlamalar Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Ortam sabitlerinin tanımlanması

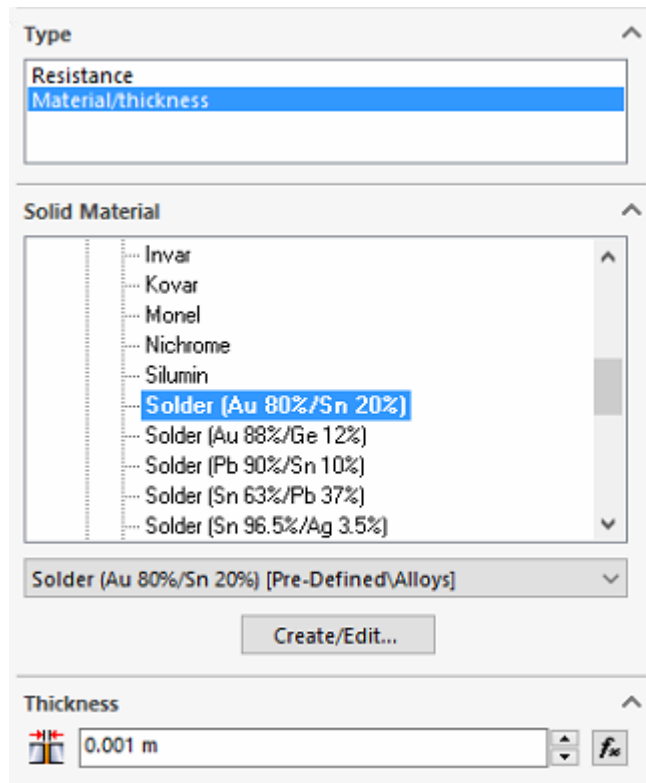
Analiz yapılmadan önce, elektronik devre kartının termal iletkenlik katsayısının tanımlanması ve LED ile devre kartı arasındaki iletkenin (lehim) doğru bir şekilde tanımlanması son derece önemlidir.

Elektronik kart, FR-4 adı verilen cam takviyeli epoksi laminat malzemeden üretildiğinden bu malzemeye ait termal iletkenlik katsayısı 0,27 W/(m.K) programa girilmiştir. Malzeme özelliklerinin tanımlanması Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



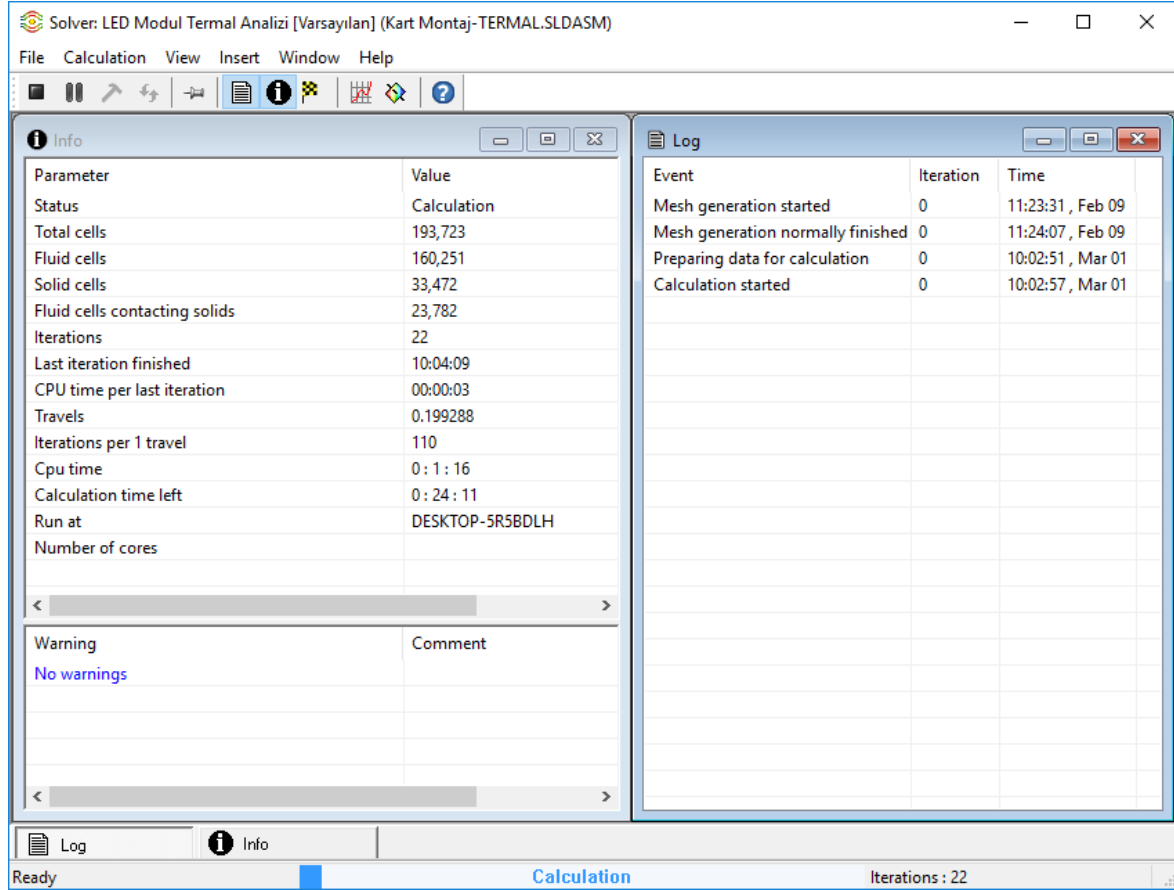
Şekil 5.3. Elektronik devre kartı termal iletkenlik katsayısı

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi LED'ler ile elektronik devre kartı arasında kontak direnci olarak 1 mm kalınlığında Au/Sn lehim alaşımı eklenmiştir.



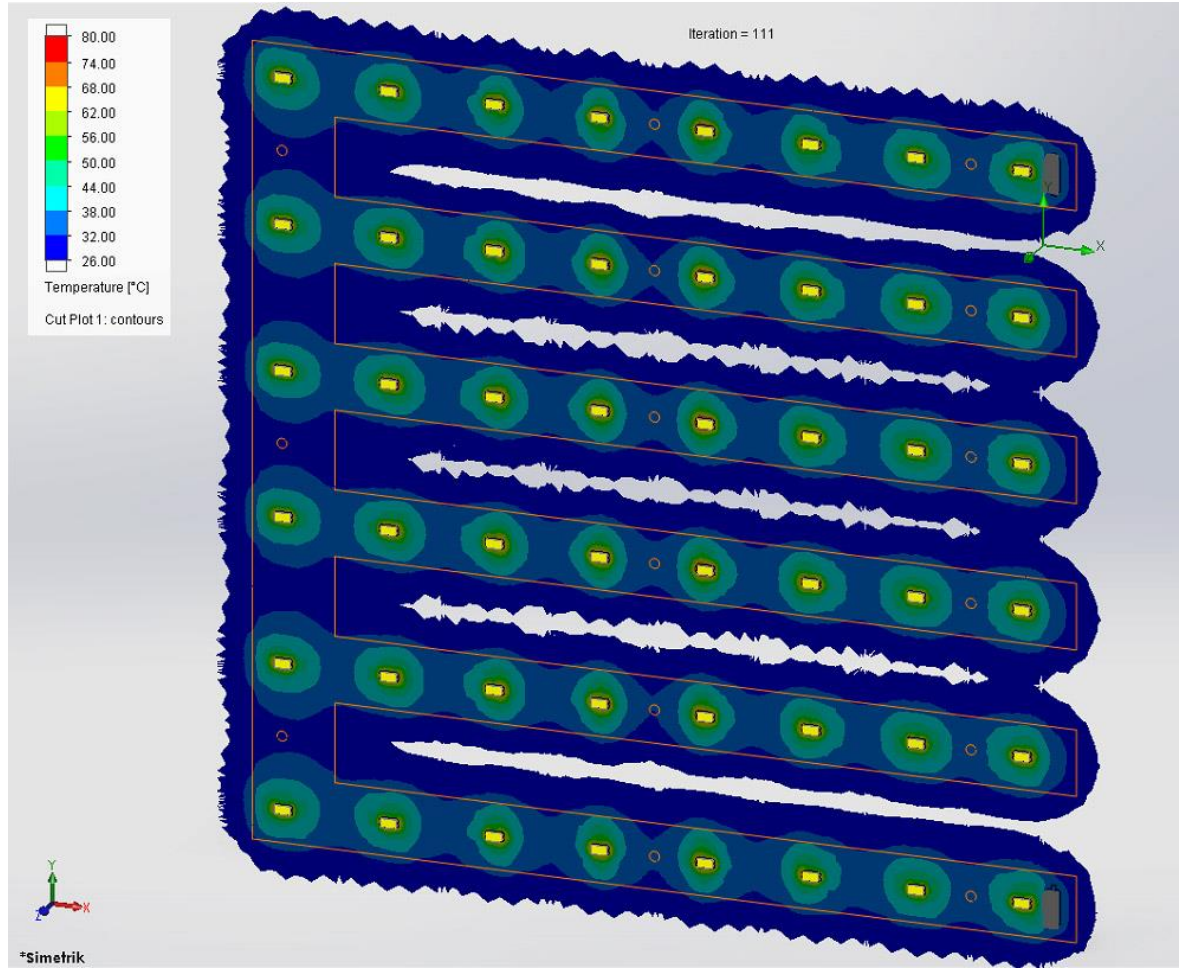
Şekil 5.4. Kontak direnci olarak lehim alaşımı tanımlanması

Gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra, LED modül termal analiz için hazır duruma getirilmiştir. Hesaplamalar yüksek performanslı bir bilgisayar aracılığıyla yaklaşık 30 dakikada tamamlanmıştır. Şekil 5.5'te termal analiz yapılırken işleme ekranı görülmektedir.



Şekil 5.5. Termal analiz hesaplama ekranı

Termal analiz tamamlandıktan sonra sıcaklık dağılımının renkli görüntülenmesi Şekil 5.6'daki gibi olmuştur.



Şekil 5.6. Isı dağılımı gösterimi

Termal analiz sonucunda her bir LED için maksimum sıcaklık değeri kayıt altına alınmış ve Çizelge 5.1. oluşturulmuştur. Tablo incelendiğinde LED'lerin maksimum 90,51 °C sıcaklığa çıktığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1. Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri

İsim	Birim	Değer
VG Max Temperature (Solid) 1	°C	84,38
VG Max Temperature (Solid) 2	°C	86,05
VG Max Temperature (Solid) 3	°C	85,95
VG Max Temperature (Solid) 4	°C	89,75
VG Max Temperature (Solid) 5	°C	88,72
VG Max Temperature (Solid) 6	°C	87,39
VG Max Temperature (Solid) 7	°C	82,99
VG Max Temperature (Solid) 8	°C	82,67
VG Max Temperature (Solid) 9	°C	84,18
VG Max Temperature (Solid) 10	°C	86,72
VG Max Temperature (Solid) 11	°C	85,73
VG Max Temperature (Solid) 12	°C	90,04
VG Max Temperature (Solid) 13	°C	89,18
VG Max Temperature (Solid) 14	°C	88,39
VG Max Temperature (Solid) 15	°C	83,55
VG Max Temperature (Solid) 16	°C	81,87
VG Max Temperature (Solid) 17	°C	83,49
VG Max Temperature (Solid) 18	°C	86,49
VG Max Temperature (Solid) 19	°C	85,96
VG Max Temperature (Solid) 20	°C	90,51
VG Max Temperature (Solid) 21	°C	88,72
VG Max Temperature (Solid) 22	°C	88,70
VG Max Temperature (Solid) 23	°C	83,22
VG Max Temperature (Solid) 24	°C	81,49
VG Max Temperature (Solid) 25	°C	83,47
VG Max Temperature (Solid) 26	°C	86,49
VG Max Temperature (Solid) 27	°C	85,87
VG Max Temperature (Solid) 28	°C	90,47
VG Max Temperature (Solid) 29	°C	88,82
VG Max Temperature (Solid) 30	°C	88,68
VG Max Temperature (Solid) 31	°C	83,19
VG Max Temperature (Solid) 32	°C	81,47
VG Max Temperature (Solid) 33	°C	84,13
VG Max Temperature (Solid) 34	°C	86,67
VG Max Temperature (Solid) 35	°C	85,64
VG Max Temperature (Solid) 36	°C	89,87
VG Max Temperature (Solid) 37	°C	89,07
VG Max Temperature (Solid) 38	°C	88,37
VG Max Temperature (Solid) 39	°C	83,41
VG Max Temperature (Solid) 40	°C	81,49

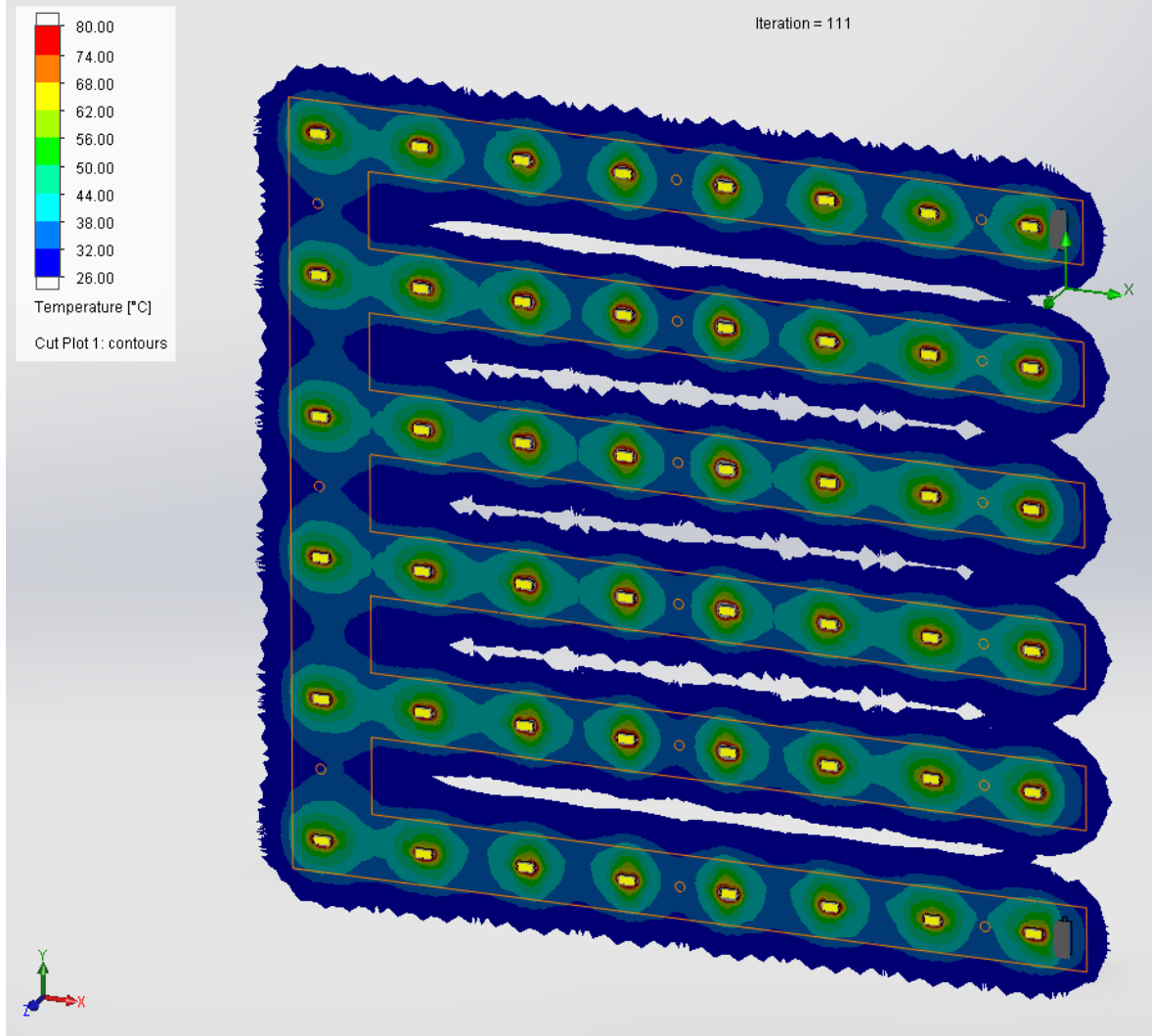
Çizelge 5.1. (devam) Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri

İsim	Birim	Değer
VG Max Temperature (Solid) 41	°C	84,26
VG Max Temperature (Solid) 42	°C	85,87
VG Max Temperature (Solid) 43	°C	85,85
VG Max Temperature (Solid) 44	°C	89,63
VG Max Temperature (Solid) 45	°C	88,57
VG Max Temperature (Solid) 46	°C	87,25
VG Max Temperature (Solid) 47	°C	82,95
VG Max Temperature (Solid) 48	°C	83,08

Aynı hesaplamalar 500 mA ve 700 mA sürüş akımları için tekrarlanacaktır. Her bir modül 500 mA ile sürüldüğünde 49W, 700 mA ile sürüldüğünde ise 68W sistem gücü elde edilecektir. Sürüş akımının, dolayısıyla toplam gücün artırılması LED üzerindeki harcanan gücün ve ısı yükünün artmasına sebep olacaktır.

Sürüş akımı 500 mA seviyesine çekildiğinde, her bir LED üzerindeki ısı yükü 0,2 W olacaktır. 700 mA sürüş akımında ise, LED üzerindeki ısı yükü 0,28 W olacaktır. Isı yükünün artması, LED modül üzerinde ısı dağılımının değişmesine neden olacaktır. Bu sebeple her iki durum için de yeniden ısı transfer analizi yapılması gereklidir. Ancak bu analiz sonucuna göre tasarlanan ürünün 49W ve 68W güç değerlerinde güvenli çalışıp çalışmadığı söylenebilir.

Sürüş akımı 500 mA olduğunda yani LED başına düşen ısı yükü 0,2 W olduğu senaryoya göre bir önceki adımda olduğu gibi termal analiz gerçekleştirilmiş, her bir LED için sıcaklık değerleri kayıt altına alınmıştır. Bu sürüş akımında gerçekleşen sıcaklık dağılımı Şekil 5.7’de verilmiştir. Çizelge 5.3’te verilen analiz sonuçları incelendiğinde LED’ler üzerindeki maksimum sıcaklığın 116,07 °C olduğu görülmüştür.



Şekil 5.7. Isı dağılımı gösterimi (500 mA sürüş akımı)

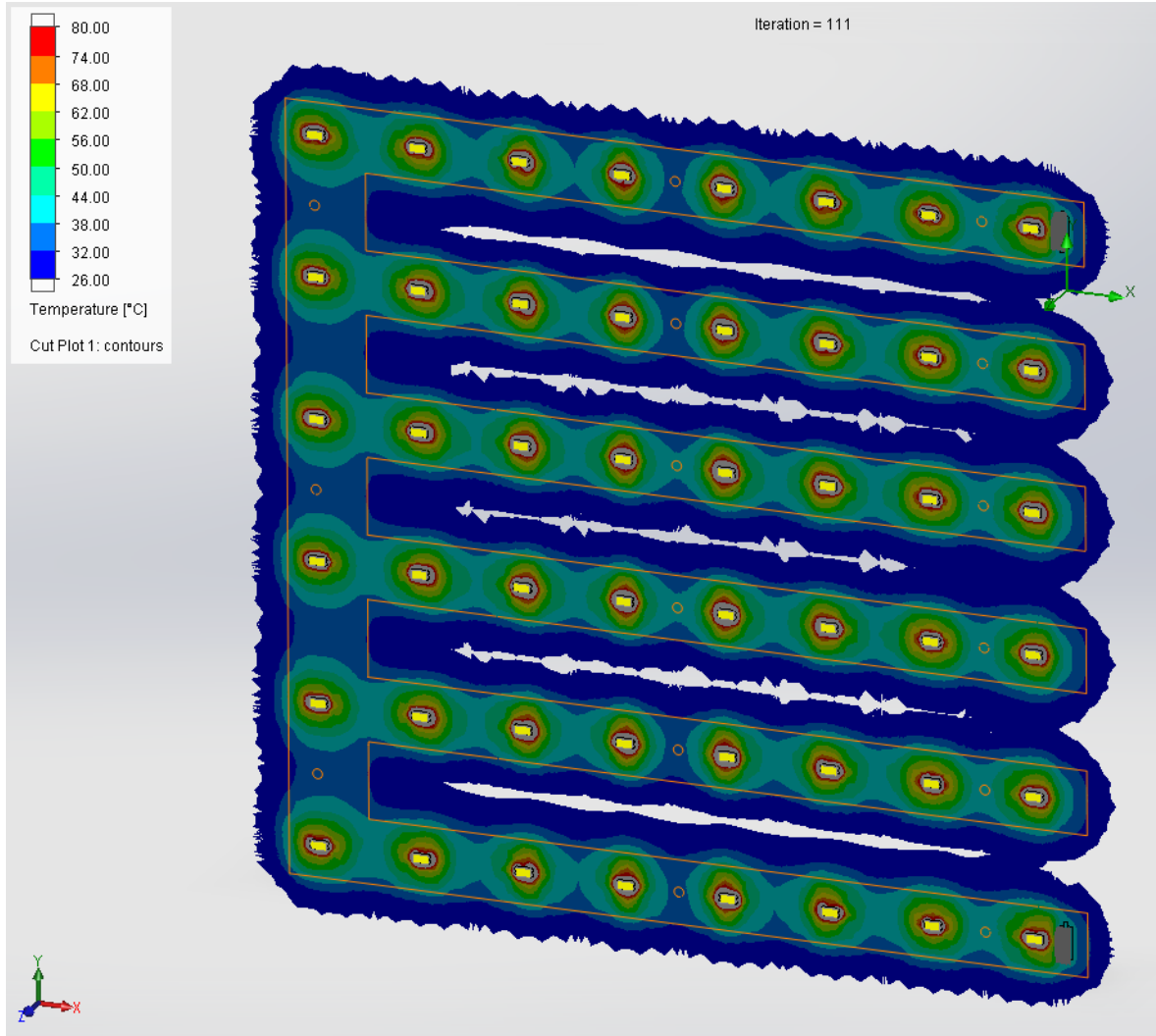
Çizelge 5.2. Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri (500 mA sürüş akımı)

İsim	Birim	Değer
VG Max Temperature (Solid) 1	°C	107.76
VG Max Temperature (Solid) 2	°C	109.98
VG Max Temperature (Solid) 3	°C	109.86
VG Max Temperature (Solid) 4	°C	114.94
VG Max Temperature (Solid) 5	°C	113.54
VG Max Temperature (Solid) 6	°C	111.75
VG Max Temperature (Solid) 7	°C	105.75
VG Max Temperature (Solid) 8	°C	105.95
VG Max Temperature (Solid) 9	°C	107.46
VG Max Temperature (Solid) 10	°C	110.83
VG Max Temperature (Solid) 11	°C	109.39
VG Max Temperature (Solid) 12	°C	115.26
VG Max Temperature (Solid) 13	°C	113.95
VG Max Temperature (Solid) 14	°C	113.18
VG Max Temperature (Solid) 15	°C	106.47
VG Max Temperature (Solid) 16	°C	104.24
VG Max Temperature (Solid) 17	°C	106.40
VG Max Temperature (Solid) 18	°C	110.54
VG Max Temperature (Solid) 19	°C	109.70
VG Max Temperature (Solid) 20	°C	116.07
VG Max Temperature (Solid) 21	°C	113.60
VG Max Temperature (Solid) 22	°C	113.54
VG Max Temperature (Solid) 23	°C	105.40
VG Max Temperature (Solid) 24	°C	102.64
VG Max Temperature (Solid) 25	°C	106.43
VG Max Temperature (Solid) 26	°C	110.49
VG Max Temperature (Solid) 27	°C	109.72
VG Max Temperature (Solid) 28	°C	116.00
VG Max Temperature (Solid) 29	°C	113.57
VG Max Temperature (Solid) 30	°C	113.40
VG Max Temperature (Solid) 31	°C	105.37
VG Max Temperature (Solid) 32	°C	102.54
VG Max Temperature (Solid) 33	°C	107.38
VG Max Temperature (Solid) 34	°C	110.75
VG Max Temperature (Solid) 35	°C	109.28
VG Max Temperature (Solid) 36	°C	115.14
VG Max Temperature (Solid) 37	°C	113.93
VG Max Temperature (Solid) 38	°C	113.07
VG Max Temperature (Solid) 39	°C	106.39
VG Max Temperature (Solid) 40	°C	104.24

Çizelge 5.2. (devam) Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri (500 mA sürüş akımı)

İsim	Birim	Değer
VG Max Temperature (Solid) 41	°C	107.57
VG Max Temperature (Solid) 42	°C	109.72
VG Max Temperature (Solid) 43	°C	109.70
VG Max Temperature (Solid) 44	°C	114.87
VG Max Temperature (Solid) 45	°C	113.29
VG Max Temperature (Solid) 46	°C	111.51
VG Max Temperature (Solid) 47	°C	105.58
VG Max Temperature (Solid) 48	°C	105.83

Sürüş akımı 700 mA seviyesine çıkartıldığında ise her bir LED üzerinde 0,28 W ısı yükü oluşuyordu. Termal analiz bu koşullarda yeniden tekrarlanmış, Şekil 5.8'deki sıcaklık dağılımı elde edilmiş ve Çizelge 5.4'teki sonuçlar oluşmuştur. Bu sürüş akımında LED'ler üzerinde oluşan maksimum sıcaklık 148,74 °C olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 5.8. Isı dağılımı gösterimi (700 mA sürüş akımı)

Çizelge 5.3. Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri (700 mA sürüş akımı)

İsim	Birim	Değer
VG Max Temperature (Solid) 1	°C	137.99
VG Max Temperature (Solid) 2	°C	140.96
VG Max Temperature (Solid) 3	°C	140.82
VG Max Temperature (Solid) 4	°C	147.74
VG Max Temperature (Solid) 5	°C	145.58
VG Max Temperature (Solid) 6	°C	143.46
VG Max Temperature (Solid) 7	°C	135.17
VG Max Temperature (Solid) 8	°C	135.55
VG Max Temperature (Solid) 9	°C	137.55
VG Max Temperature (Solid) 10	°C	142.10
VG Max Temperature (Solid) 11	°C	140.14
VG Max Temperature (Solid) 12	°C	148.02
VG Max Temperature (Solid) 13	°C	146.12
VG Max Temperature (Solid) 14	°C	145.05
VG Max Temperature (Solid) 15	°C	135.42
VG Max Temperature (Solid) 16	°C	131.82
VG Max Temperature (Solid) 17	°C	136.04
VG Max Temperature (Solid) 18	°C	141.63
VG Max Temperature (Solid) 19	°C	140.45
VG Max Temperature (Solid) 20	°C	148.56
VG Max Temperature (Solid) 21	°C	145.56
VG Max Temperature (Solid) 22	°C	145.55
VG Max Temperature (Solid) 23	°C	134.35
VG Max Temperature (Solid) 24	°C	130.38
VG Max Temperature (Solid) 25	°C	136.07
VG Max Temperature (Solid) 26	°C	141.62
VG Max Temperature (Solid) 27	°C	140.40
VG Max Temperature (Solid) 28	°C	148.74
VG Max Temperature (Solid) 29	°C	145.66
VG Max Temperature (Solid) 30	°C	145.51
VG Max Temperature (Solid) 31	°C	134.60
VG Max Temperature (Solid) 32	°C	130.46
VG Max Temperature (Solid) 33	°C	137.48
VG Max Temperature (Solid) 34	°C	142.03
VG Max Temperature (Solid) 35	°C	140.01
VG Max Temperature (Solid) 36	°C	147.83
VG Max Temperature (Solid) 37	°C	145.97
VG Max Temperature (Solid) 38	°C	144.97
VG Max Temperature (Solid) 39	°C	135.64
VG Max Temperature (Solid) 40	°C	131.66

Çizelge 5.3. (devam) Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri (700 mA sürüş akımı)

İsim	Birim	Değer
VG Max Temperature (Solid) 41	°C	137.72
VG Max Temperature (Solid) 42	°C	140.57
VG Max Temperature (Solid) 43	°C	140.55
VG Max Temperature (Solid) 44	°C	147.42
VG Max Temperature (Solid) 45	°C	145.29
VG Max Temperature (Solid) 46	°C	142.96
VG Max Temperature (Solid) 47	°C	135.08
VG Max Temperature (Solid) 48	°C	135.62

LED üreticisi, LED başına sürüş akımı 100 mA'e kadar, lehim noktası sıcaklığı 55, 85 ve 105 °C değerlerinin altında ürünün L70 ömrünün 36 000 saatten fazla olduğunu belirtmekteydi. Her bir LED için 150 mA sürüş akımı seviyelerine çıkıldığında ise 105 °C sıcaklıkta ürün ömrü 35 000 saat olmaktadır. Modül tasarımı 6 paralel gruplu olacak şekilde yapıldığından, modüle gelen akım 6'ya bölünmektedir. Bölünen bu akım her bir LED üzerinden geçen akıma eşittir. Yani 350 mA sürüş akımında her bir LED üzerinden; 58,3 mA, 500 mA sürüş akımında; 83,3 mA, 700 mA'de; 116,6 mA akım geçmektedir.

LED modül 350 mA sürüş akımı ile beslendiğinde LED'ler üzerindeki sıcaklık 90,51 °C seviyesinde sınırlı kalmaktaydı. Bu durumda, uzun ömürlü bir ürün tasarlandığı, modül üzerindeki LED'lerin ömrünün 36 000 saatten fazla olacağı söylenebilir. Ancak 500 mA ve 700 mA sürüş akımlarında ortaya çıkan sıcaklık, üreticinin TM-21 ömür öngörüsünde verdiği değerlerin üzerindedir. Bu sebeple 500 mA ve 700 mA sürüş akımlarında 36 000 saat kullanım ömrü garanti edilememektedir.

Termal analiz ışığında elde edilen verilerle çalışmanın bir sonraki kısmı olan deney aşamasına geçilmiştir. Deney, analiz sonucunda başarılı bir performans sergilediği tespit edilen 350 mA sürüş akımı ile gerçekleştirilmiştir.

6. ÜRÜNÜN GERÇEK ÇEVRE KOŞULLARINDA TEST EDİLMESİ

Geliştirilen armatürün termal analizi yapılarak LED'lerin sıcaklığının güvenli sıcaklık aralığında kaldığı görülmüştür. Analiz sonucuna göre uzun ömürlü bir aydınlatma elemanı tasarlandığını söylenebilir ancak bu sonuçları gerçek ortam koşullarında deney ile doğrulamak gereklidir. Çalışmanın bu kısmında, LED panel bir saat boyunca çalıştırılacak, bu süre boyunca LED'ler üzerindeki sıcaklık değerleri kayıt altına alınacaktır. Deneyde analizden farklı olarak LED modül tek başına teste tabi tutulmayacak, LED modül kasaya monte edilecek ve armatür gövdesi üzerindeki difüzör plaka kapatılarak LED modülün sistem içerisindeki davranışı ölçümlenecektir. Ürünün performansı ile ilişkili elektriksel ve optik testler de bu bölümde gerçekleştirilecektir.

6.1. Termal Testler ve Ürün Ömrü İlişkisi

LED'ler, bir elektronik devrede kullanılan ve üzerinden akım geçen tüm devre elemanları gibi ısınırlar. Dolayısıyla, sistem performansı, lümen çıktısı ve ürün ömrü açısından sıcaklık kontrolü en kritik faktörlerden biri olmaktadır. LED'lerin üreticileri tarafından öngörülen ürün eğrileri 25 °C jonksiyon sıcaklığı koşullar için geçerlidir. Kabul edilmiş ticari armatürlerde bu değer 80-120 °C aralığında değişiklik gösterir. Bu çalışmada geliştirilen aydınlatma armatüründe 25-30 °C ortam sıcaklığında, jonksiyon sıcaklığının 105 °C'nin altında tutulması planlanmıştır.

Jonksiyon Sıcaklığı; LED içerisinde ışığın oluştuğu noktadaki (jonksiyon) sıcaklıktır. Bu sıcaklık aydınlatma üreticisi tarafından doğrudan ölçülemez çünkü üreticinin eline geçen LED, hali hazırda yalıtımlı bir ünite içerisine yerleştirilmiş durumdadır. LED'in jonksiyon sıcaklığı direkt olarak ölçülemez ancak hesaplanabilir.

LM561B kodlu 0.3W'lık LED'in veri dosyasında belirtildiği üzere; termal direnç ($R_{th, j-s}$) °C/W sabiti 16'dır. Bu veri ile; LED'in ölçülen lehim noktası sıcaklığı ve ortam sıcaklığı değerleri kullanılarak Eş. 6.1 ile jonksiyon sıcaklığı elde edilmektedir.

Üreticinin sağladığı formül Eş. 6.1'deki gibidir;

$$T_j = T_s + R_{th, j-s} \times P_D \quad (6.1)$$

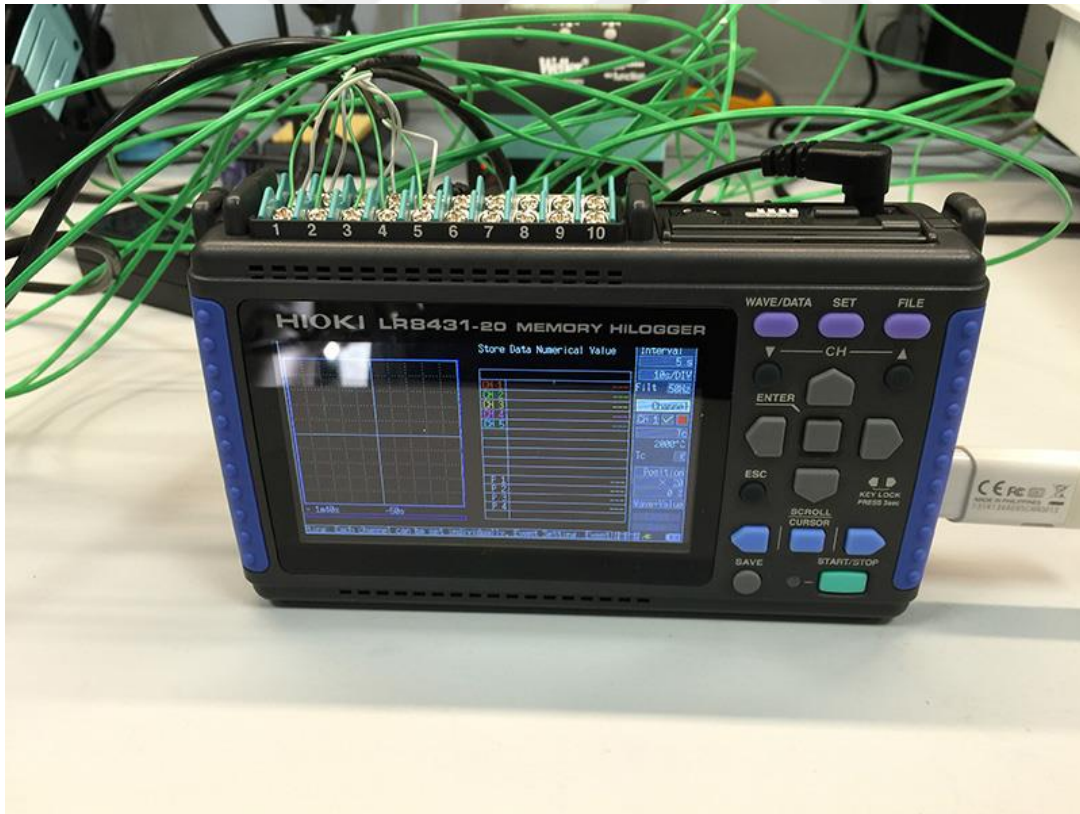
T_J : Eklem sıcaklığı,

T_S : Lehim noktası sıcaklığı,

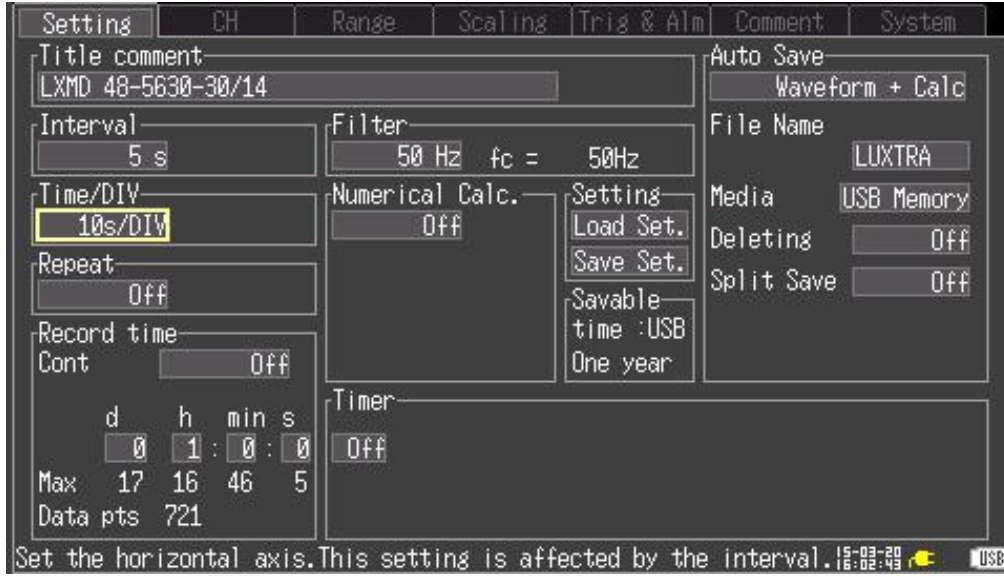
R_{thJ-S} : Eklem ile lehim noktası arasındaki termal direnç,

P_D : Güç dağılımı (W).

Termal performansın izlenmesi amacıyla Resim 6.1’de gösterilen Hioki LR-8431-20 isimli datalogger ile LED Modül üzerinde 350mA sürüş akımı altında 4 noktadan 4 ayrı LED’in lehim noktası sıcaklığı ölçülmüş, bir kanaldan ise ortam sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. Tüm bu ölçümler 5 saniyelik ölçüm aralığıyla 1 saat boyunca sürdürülmüştür. Ölçüm ayarlarının gösterildiği ekran görüntüsü Resim 6.2’de yer almaktadır.



Resim 6.1. Datalogger



Resim 6.2. Ölçüm konfigürasyonlarını gösterir datalogger ekran görüntüsü

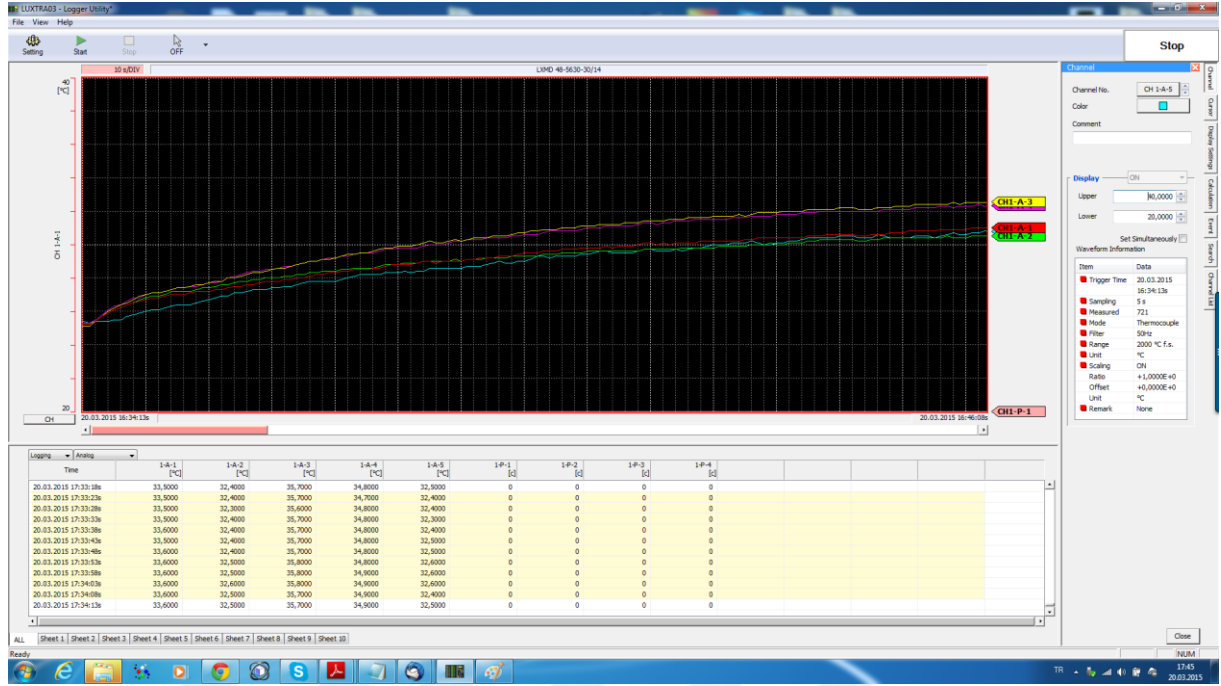
Ölçüm için kullanılan beş kanal termokupl Çizelge 6.1’de gösterildiği şekilde bağlanmıştır.

Çizelge 6.1. Datalogger-Termokupl bağlantıları

CH1	L1
CH2	L48
CH3	L21
CH4	L16
CH5	ORTAM

Sürdürülen 1 saatlik ölçüm boyunca, Resim 6.3’te görüldüğü gibi ortam sıcaklığı maksimum 32,6 °C’ye ulaşmış, lehim noktası sıcaklığı ise maksimum 35,8 °C seviyesiyle sınırlı kalmıştır. LED üzerindeki sürüş akımının $350\text{mA}/6=58\text{mA}$ gibi düşük bir seviyede olması ve PCB tasarımında bakır soğutma alanlarının düşünülmüş olması bu şekilde düşük sıcaklıkların yakalanmasında faydalı olmuştur.

Tüm bu ölçümler gerçekçi sonuçlar alınması amacıyla difüzör kapalı iken yapılmıştır.



Resim 6.3. Datalogger bilgisayar arayüzü (Logger utility)

Datalogger çıktısında görüldüğü üzere, T_s lehim noktası sıcaklığı maksimum 35,8 °C seviyesine ulaşmıştır. Eş. 6.2 kullanılarak yapılan eklem sıcaklığı hesaplamaları için R_{thJ-S} ısıl direnci LED'in veri dosyasında belirtildiği üzere 16 °C/W alınacaktır. P_D güç hesabı da LED'in giriş gerilimi ve sürüş akımı ile doğrudan hesaplanacaktır.

$$T_j = 35,8 \text{ °C} + 16 \text{ °C/W} \times 2,91 \times 0,058 = 38,5 \text{ °C} \quad (6.2)$$

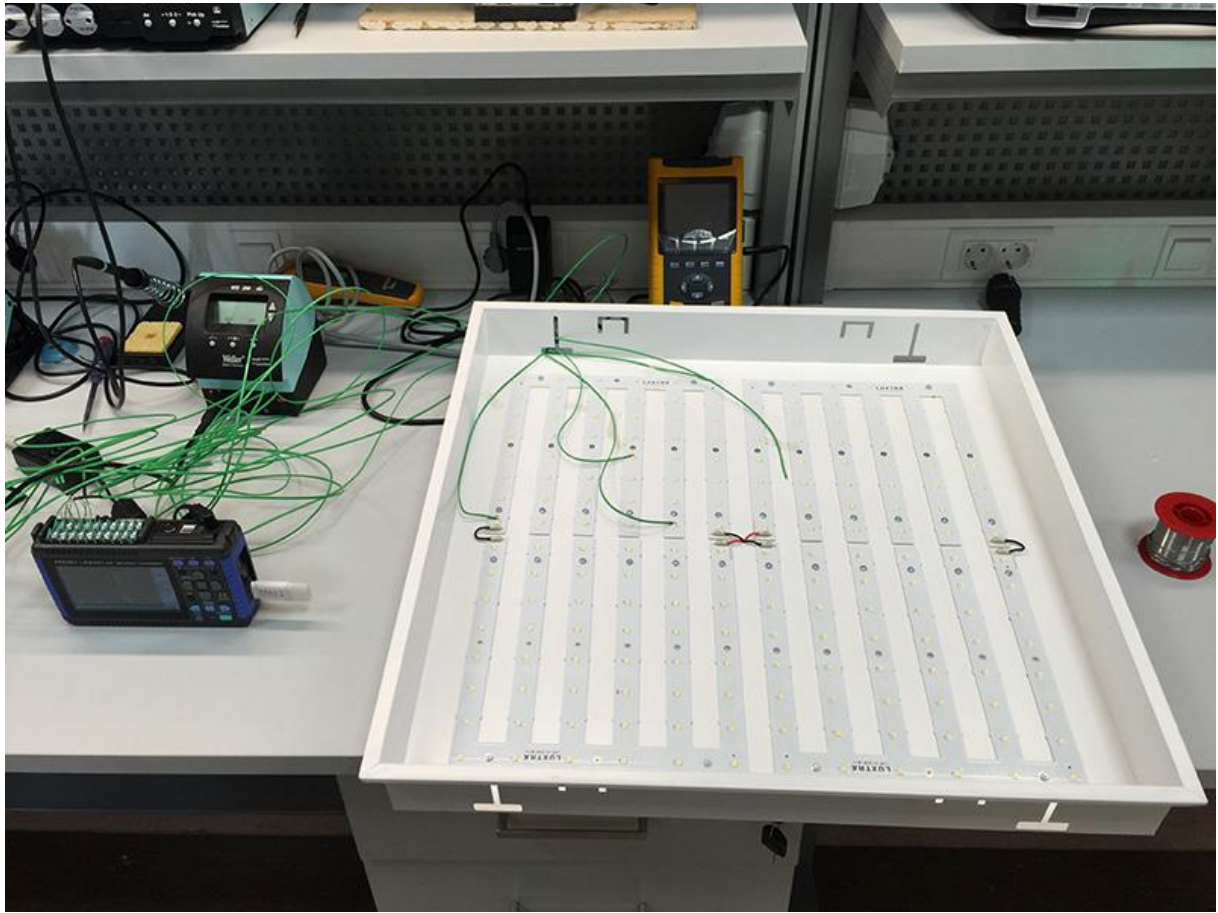
Hesaplamalarda gösterildiği üzere 30°C'lik ortam sıcaklığında bir saatlik çalışma sonunda LED'in jonksiyon sıcaklığı T_j 38,5 °C seviyesinde tutulmuştur.

LM561B kodlu mid-power LED'in zamana bağlı ışık akısı ölçümleri (LM-80) 100 ve 150 mA sürüş akımlarında 6 000 saat süre ile yapılmış, 36 000 saatten fazla ekonomik ömür garantisine sahip olduğu belirtilmiştir. LM-80 raporuna göre, 100 mA sürüş akımında LED'in lehim noktası sıcaklığının 55 °C, 85 °C ve 105 °C iken LED'in toplam ışık akısının başlangıç ışık akısına göre %70 seviyesine düştüğü sürenin 36 000 saatten fazla olduğu görülmektedir.

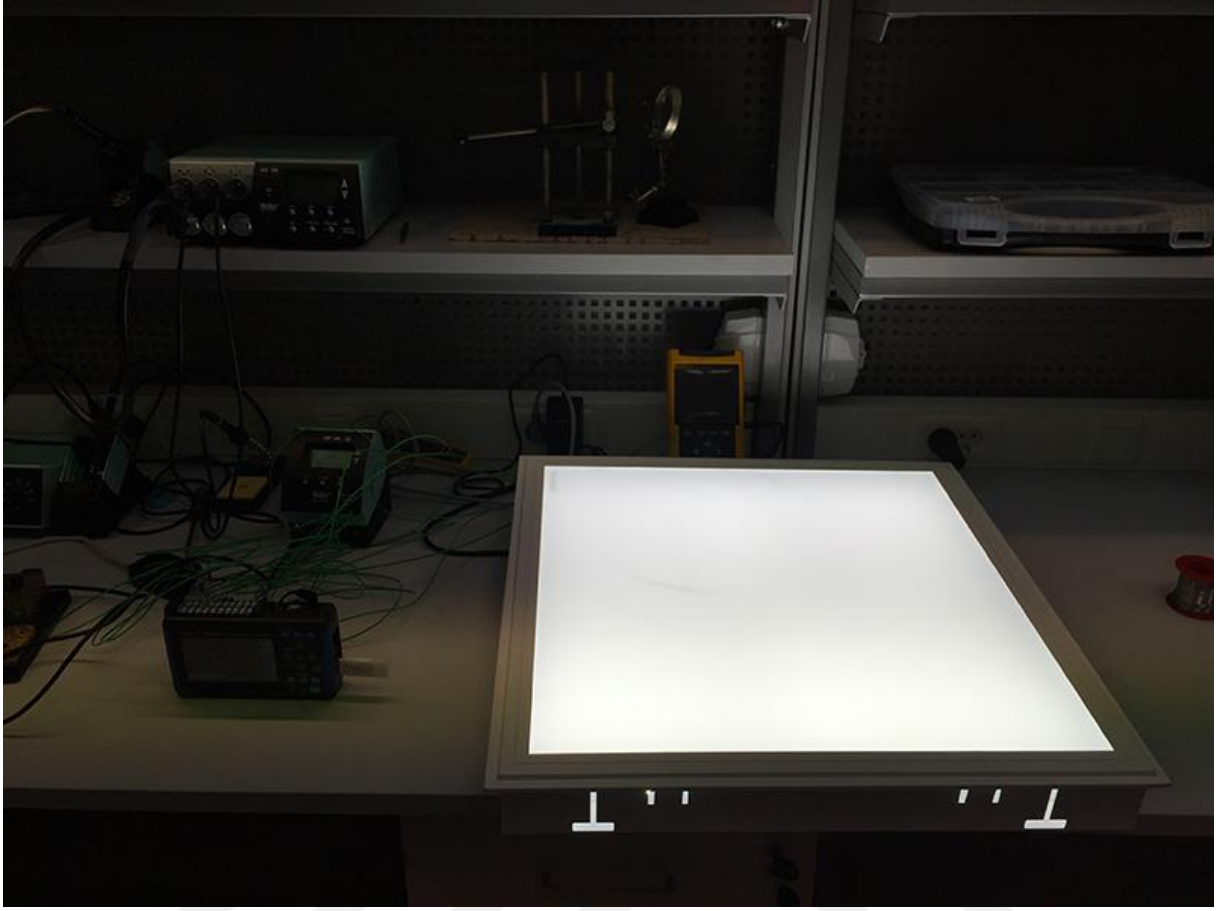
Eklem sıcaklığı (T_j) LED ışık kaynaklarının ışık akılarını, ömürlerini ve renk özelliklerini etkilemektedir. Yüksek etkinlik faktörüne ulaşabilmek için 65mA seviyelerinde yani LED'in

tipik akım değerinde tutulan sürüş akımı, düşük güçte alıştırılması, PCB tasarımında oluşturulan bakır soğutma alanları LED'in ısısının kontrolünü sağlamış, üreticinin belirttiği sınır değerlerinin oldukça altında kalmıştır. Böylelikle reticinin LM-80 raporunda belirttiği en düşük sürüş akımı 100mA ve 105°C T_s sıcaklığı dikkate alındığında geliştirilen LED modülün 36 000 saatten fazla ömre sahip olduğu sonucu çıkartılabilmektedir.

lm için yapılan termokupl bağlantıları Resim 6.4'te, termal ölçüm test düzeneği ise Resim 6.5'te gösterilmiştir.



Resim 6.4. Termokupl bağlantı noktaları



Resim 6.5. Termal ölçüm test düzeni

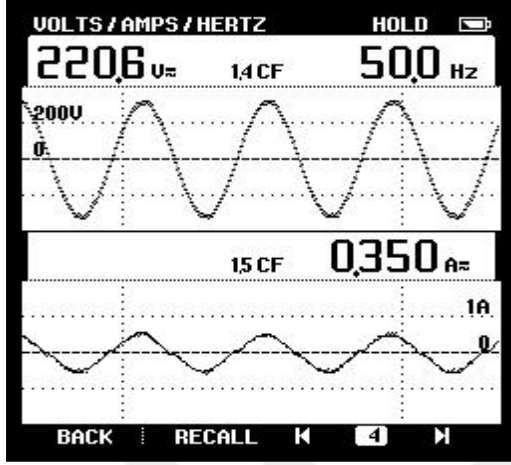
6.2. Elektriksel Performans Testleri

Sürücü güç performans değerlerinin izin verilen aralıklarda olması için yapılan çalışmalar ile bu değerler başarıyla sağlanmıştır.

Elektriksel performans testleri, Fluke 43B şebeke ölçüm cihazı ve bu cihaza ait bilgisayar arayüzü olan Fluke Power Quality Analyzer programı üzerinden yapılmıştır. Yapılan ölçümler ve sonuçları tam yük altında alınan performans değerleridir. İlk önce Inrush akımı, belirli bir süre çalıştırdıktan sonra ise harmonik, verim, güç faktörü değerlerinin ölçümü yapılmıştır.

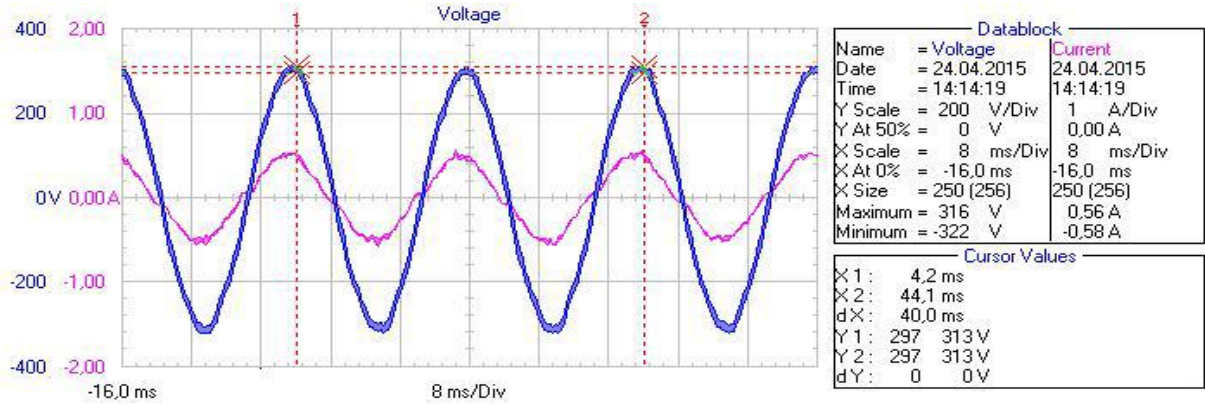
Sürücü girişinden çekilen AC şebeke gerilimi 220.6 Volt, frekansı 50 Hz ve akımı 350mA olarak ölçülmüştür. Gerilim ve akım arasında faz farkı 0 dereceye çok yakın olmaktadır. Bu ise verimlilik ve güç faktörünün artmasını sağlamaktadır.

Şekil 6.1’de sürücünün girişinden çekilen gerilim ve akımın RMS (Etkin) değerleri görülmektedir.



Şekil 6.1. AC şebeke ölçümü

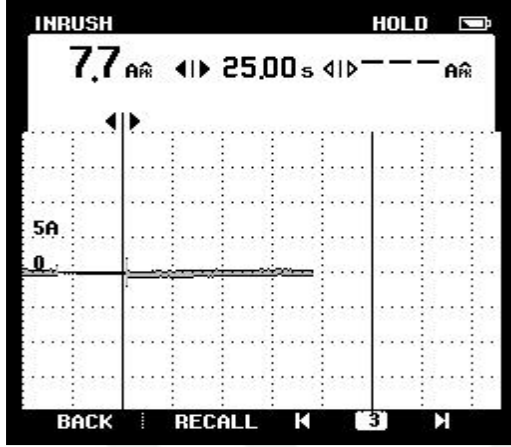
Şebeke akım ve geriliminin detaylı görüntüsü ise Şekil 6.2’de gösterildiği gibi olmaktadır. Şekil 6.2’de ayrıca sürücünün girişinden çekilen gerilim ve akımın maksimum ve minimum değerleri verilmiştir.



Şekil 6.2. Sürücü girişindeki akım ve gerilim grafiği

İlk çalışma anında şebekeden çekilen en yüksek akım değeri olan inrush akımı 7.7A olarak ölçülmüştür. Çalışmada bu değerin 20A’ın altında olması hedeflenmekteydi. Inrush akımının yüksek olması devrenin girişindeki aktif veya pasif devre malzemelerinin zorlanmasına sebep olur. Bu zorlanma devre elemanlarının kapasitesinin üzerinde olursa malzemeler fiziksel bozunuma uğrarlar. Devre malzemelerinin çalışma kapasitelerine yakın değerlerde olursa uzun kullanımlarda ömürlerinin azalmasına sebep olmaktadır.

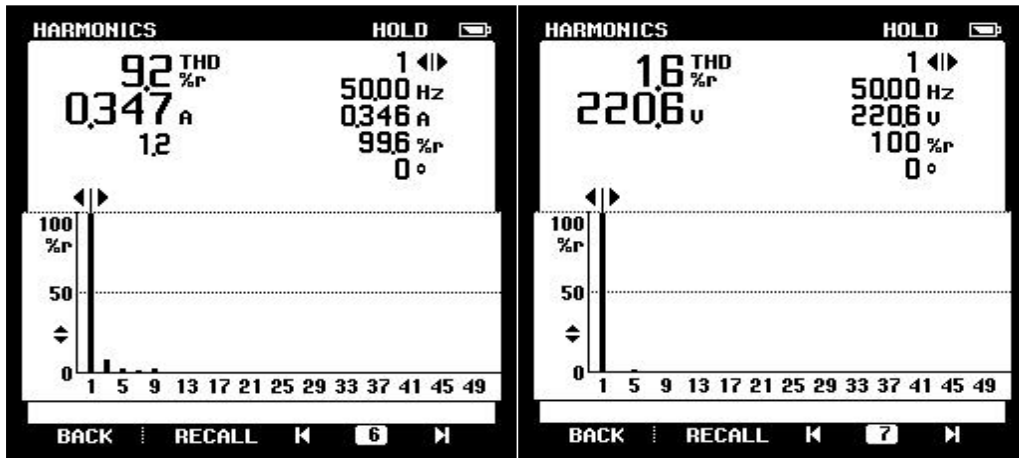
Şekil 6.3'te inrush akımı ölçümü ve bu ölçüm sonucunda elde edilen tepe değeri görülmektedir.



Şekil 6.3. Inrush akım ölçümü

Elektriksel performansın bir diğer göstergesi de akım harmoniğidir. Akım harmoniğini etkileyen tekil harmoniklerdir. Tekil harmonikler içerisinde ise en çok birinci, üçüncü ve beşinci harmoniklerin yüzdesi sistemin toplam harmonik distorsiyonunu etkilemektedir.

Akım ve gerilim harmoniğinin standartlara uygunluğu ve hedef değerleri sağlaması amacıyla yapılan çalışmalar sonucu tam yük altında akım harmoniğinin %9.2 ve gerilim harmoniğinin %1.6 olması sağlanmıştır. Akım ve gerilim harmonikleri Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



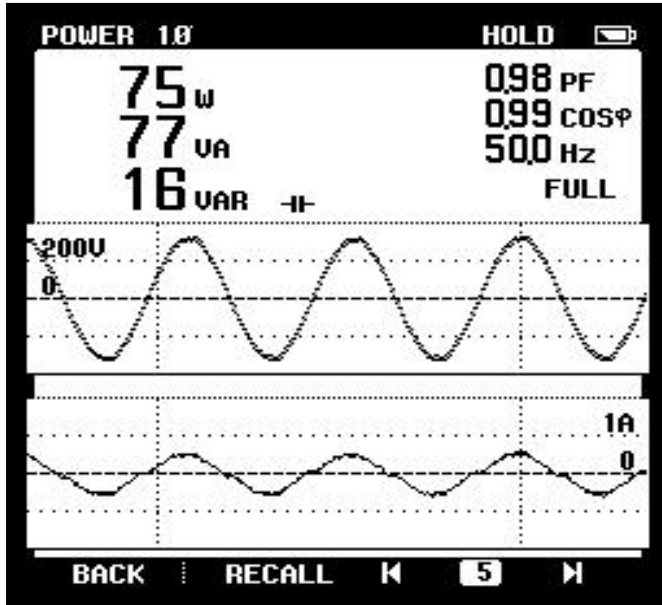
Şekil 6.4. Akım ve gerilim harmoniklerinin ölçümü

Diğer önemli parametreler,

- PF: 0.98,
- DPF: 0.99,
- Verimlilik: %91

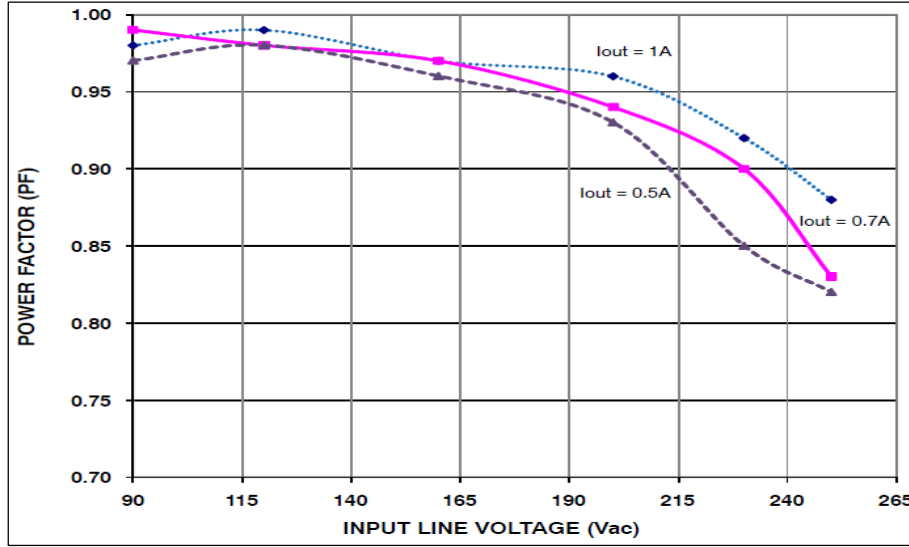
elde edilerek tüm yüksek performans göstergeleri başarıyla sağlanmıştır.

Şekil 6.5'te görüldüğü gibi sistemin çektiği kapasitif güç 16 VAR olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kapasitif etki azaltılabilir fakat güç faktörü 0.98 yeterli bir değer olduğundan dolayı devreye ayrıca bir kompanzasyon sisteminin kurulmasına gerek yoktur.



Şekil 6.5. Güç ölçümü

Sürücü için seçimi yapılabilen farklı çıkış akımlarına karşılık gelen ve giriş gerilimi ile güç faktörü değerlerinin değişimi grafikleri Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6. Sürücü giriş gerilimi ve çıkış akımının güç faktörü üzerindeki etkisi

Yapılan testlerin ardından belirli bir süre çalıştırılan sürücü devre elemanlarının sıcaklık testi Fluke 61 Kızılötesi Sıcaklık Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır. Tam yük altında 1 saatlik ölçüm sonucunda devre elemanları üzerindeki maksimum sıcaklık 70 °C olarak ölçülmüştür.

6.3. Fotometrik Test ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Nihai kasa tasarımının yapılmasının ardından, kasa derinliğinin toplam ışık akısı ve etkinlik faktörü üzerindeki etkisinin ölçülebilmesi amacıyla; hazırlanan farklı derinliklerdeki kasalar İstanbul Aydın Üniversitesi Aydınlatma Test Ölçüm ve Analiz Laboratuvarı'na fotometrik ölçüm yapılması için gönderilmiştir.

İstanbul Aydın Üniversitesi LED Aydınlatma Laboratuvarı'nın yeni ismi "İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ AYDINLATMA TEST ÖLÇÜM VE ANALİZ LABORATUVARLARI" olarak değişmiş olup Türk Akreditasyon Kurumu "TURKAK" tarafından 23.01.2015 tarihinden itibaren TS ISO EN17025 standart kriterlerince akredite edilmiştir. Laboratuvar ayrıca TS EN60598-1 standardında kapsam genişletmesi yapılmış olup bununla beraber gonyofotometrik ve ışık küresi ölçmeler alanında TS EN13032-1 standart kapsamında da akredite edilmiştir. AB-0815-T akreditasyon numarası ile akreditasyon kapsamı hakkında sorgulama yapılabilir.

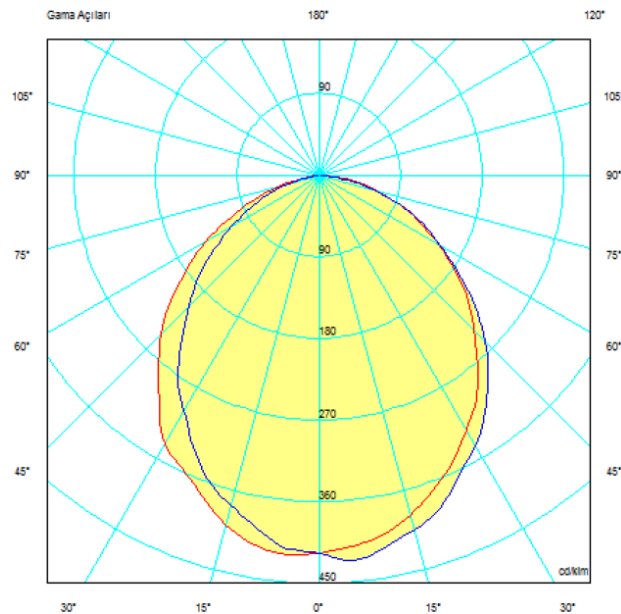
Ölçüm için hazırlanan 7 cm, 5 cm ve 3 cm kasa derinliklerindeki aydınlatma armatürleri Yongtek firmasının PA-75S2 modeli difüzörü ile montajlanmıştır.

LUXTRA LP1-35-7 test kodu verilen 7 cm kasa derinliğine sahip panel aydınlatma armatürü yapılan teste göre; 34W güç, 0,94 PF ve %9,4 toplam harmonik bozulma ile 3674 lm toplam ışık akısı değerini vermiştir. Watt başına düşen lümen değeri yani armatür etkinlik faktörü 108,05 lm/W olarak hesaplanmıştır.

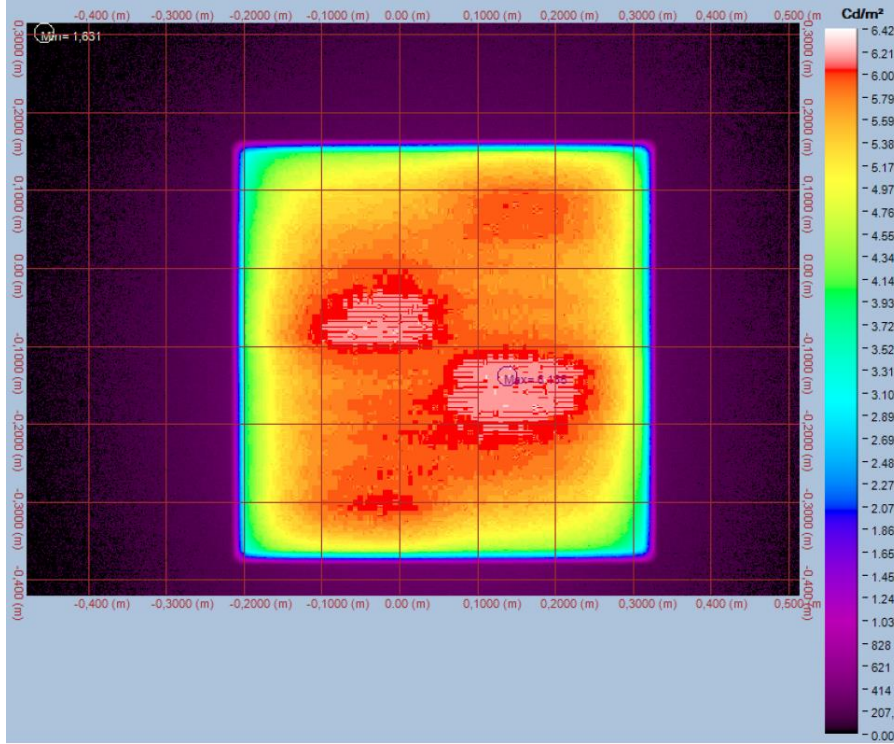
7 cm kasa derinliğine sahip aydınlatma armatürünün ışık test sonuçları Çizelge 6.2'de, ışık dağılımını gösteren ışık veri yaprağı Şekil 6.7'de verilmiştir. Işık homojenliğini gösteren ışık yoğunluğu görüntülemesi ise Şekil 6.8'de yer almaktadır.

Çizelge 6.2. Deney Sonuçları (7 cm kasa derinliği)

Kullanılan Cihaz:	65'' 4pi Sphere and CDS610 spectrometer (Labsphere) NFMS0800 goniofotometer (RadiantZemax)
Uygulanan Standart-Metot:	TS EN13032-1:2004 +A1:2012 Light and Lighting – Measurement and Presentation of Photometric Data of Lamps and Luminaires-Part1: Measurement and File.
Armatüre Uygulanan Gerilim:	220V, 0.98pf
Armatür Kodu:	LP1-35-7 / 60X60 LED PANEL
Armatür Lamba Tipi:	LED
Armatürde Ölçülen Toplam Güç:	34W, 094 pf, THD (I)?:9.4, THD(V)?: 3.0
Armatürün Ölçülen Işık Akısı:	3674 lm
Armatür Verimliliği (lm/Watt)	108,05 lm/W



Şekil 6.7. Işık dağılımı (7 cm kasa derinliği)



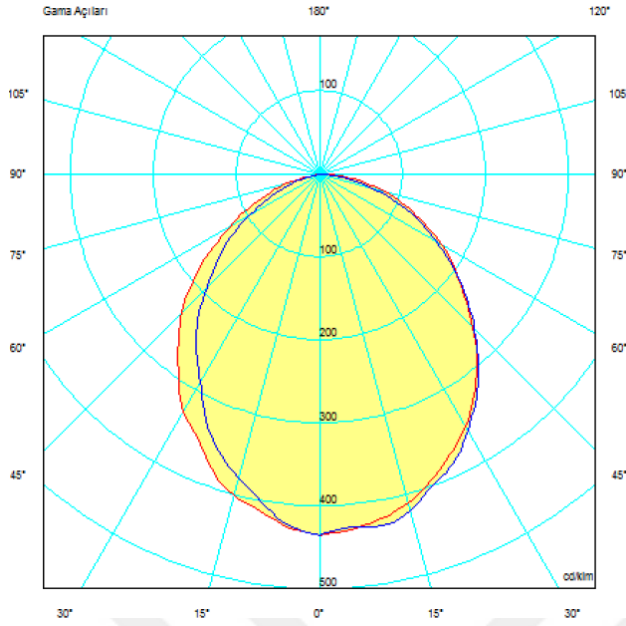
Şekil 6.8. Işık yoğunluğu görüntülemesi (7 cm kasa derinliği)

LUXTRA LP1-35-5 test kodu verilen 5 cm kasa derinliğindeki panel armatür ise, 34W güçte 3599 lm toplam ışık akısı değerini vermiştir. Watt başına düşen lümen değeri yani armatür etkinlik faktörü 105,85 lm/W olarak hesaplanmıştır.

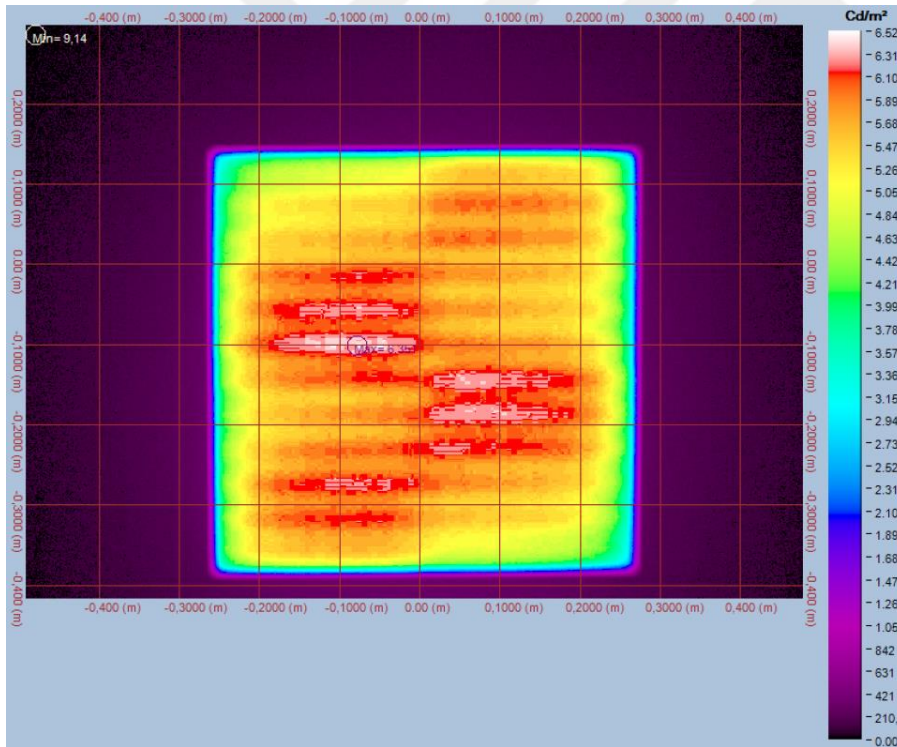
5 cm kasa derinliğine sahip aydınlatma armatürünün ışık test sonuçları Çizelge 6.3'de, ışık dağılımını gösteren ışık veri yaprağı Şekil 6.9'da verilmiştir. Işık homojenliğini gösteren ışık yoğunluğu görüntülemesi ise Şekil 6.10'da yer almaktadır.

Çizelge 6.3. Deney Sonuçları (5 cm kasa derinliği)

Kullanılan Cihaz:	65'' 4pi Sphere and CDS610 spectrometer (Labsphere) NFMS0800 goniofotometer (RadiantZemax)
Uygulanan Standart-Metot:	TS EN13032-1:2004 +A1:2012 Light and Lighting – Measurement and Presentation of Photometric Data of Lamps and Luminaires-Part1: Measurement and File.
Armatüre Uygulanan Gerilim:	220V, 0.98pf
Armatür Kodu:	LP1-35-5 / 60X60 LED PANEL
Armatür Lamba Tipi:	LED
Armatürde Ölçülen Toplam Güç:	34W, 094 pf, THD (I)?:8.5, THD(V)?: 2.7
Armatürün Ölçülen Işık Akısı:	3599 lm
Armatür Verimliliği (lm/Watt)	105,85 lm/W



Şekil 6.9. Işık dağılımı (5 cm kasa derinliği)



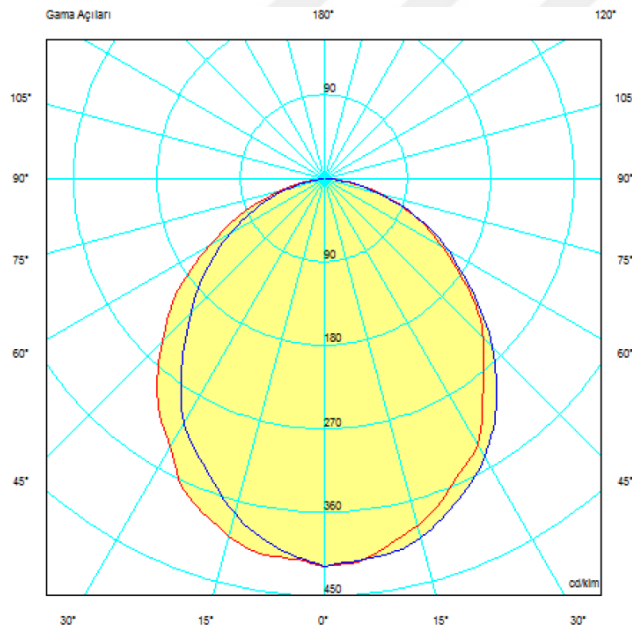
Şekil 6.10. Işık yoğunluğu görüntülemesi (5 cm kasa derinliği)

Son olarak; LUXTRA LP1-35-3 test kodu verilen 3 cm kasa derinliğindeki panel armatür ise, 34W güçte 3837 lm toplam ışık akısı değerini vermiştir. Watt başına düşen lümen değeri yani armatür etkinlik faktörü 112,85 lm/W olarak hesaplanmıştır.

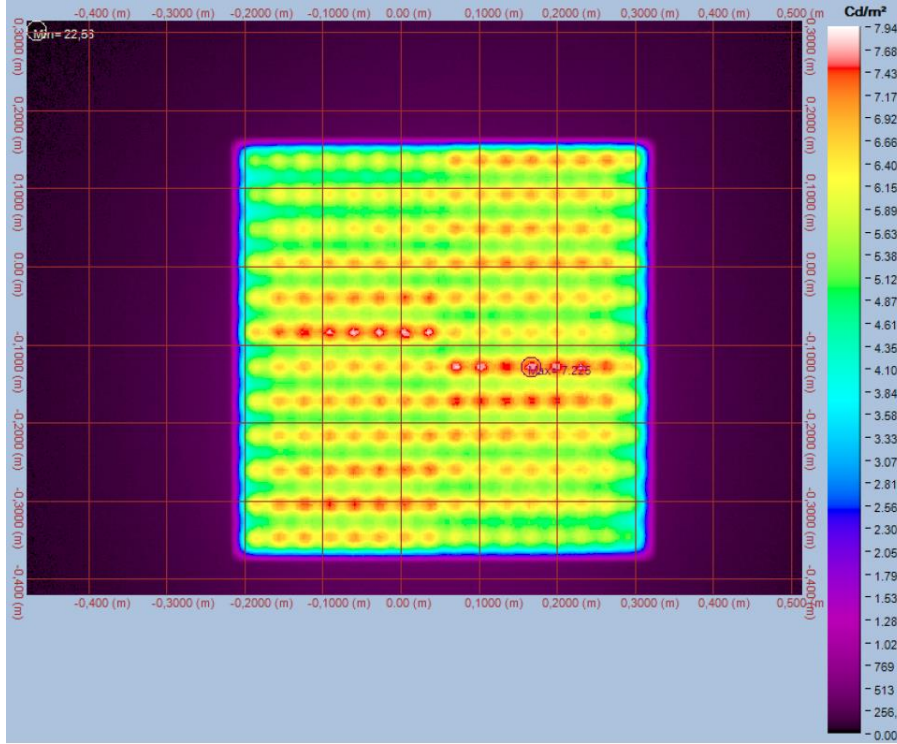
3 cm kasa derinliğine sahip aydınlatma armatürünün ışık test sonuçları Çizelge 6.4'te, ışık dağılımını gösteren ışık veri yaprağı Şekil 6.11'de verilmiştir. Işık homojenliğini gösteren ışık yoğunluğu görüntülemesi ise Şekil 6.12'de yer almaktadır.

Çizelge 6.4. Deney Sonuçları (3 cm kasa derinliği)

Kullanılan Cihaz:	65'' 4pi Sphere and CDS610 spectrometer (Labsphere) NFMS0800 goniofotometer (RadiantZemax)
Uygulanan Standart-Metot:	TS EN13032-1:2004 +A1:2012 Light and Lighting – Measurement and Presentation of Photometric Data of Lamps and Luminaires-Part1: Measurement and File.
Armatüre Uygulanan Gerilim:	220V, 0.98pf
Armatür Kodu:	LP1-35-3 / 60X60 LED PANEL
Armatür Lamba Tipi:	LED
Armatürde Ölçülen Toplam Güç:	34W, 095 pf, THD (I) %:9, THD(V) %: 2.6
Armatürün Ölçülen Işık Akısı:	3837 lm
Armatür Verimliliği (lm/Watt)	112,85 lm/W



Şekil 6.11. Işık dağılımı (3 cm kasa derinliği)



Şekil 6.12. Işık yoğunluğu görüntülemesi (3 cm kasa derinliği)

Bu ölçümler sonucunda özetle; toplam armatür lümeninin iyileştirilmesi amacıyla kasa derinliğinde yapılan değişikliğinin etkinlik faktörü üzerindeki etkisi %3-%4 aralığında sınırlı kalmıştır. 3 cm kasa derinliğinde karşımıza çıkan 112,85 lm/W etkinlik faktörü yüksek bir değer olsa da 5 cm ve daha az derinliklerde LED'ler difüzör arkasında tane tane belirginleşmeye başlamaktadır. Bu hem daha önce yapılan denemelerde hem de deney sonucunda ışık yoğunluğu görüntülemelerinde açıkça görülmektedir. Işığın optik algıda yarattığı olumsuzlukları yok etmek amacıyla kasa derinliği 7 cm seviyesinde tutulmuştur. Bu derinlik değerinin PA-75S2 modeliyle ışık kaynağının gizlenmesinde de doğru bir tercih olduğu söylenebilir.

Renksel geriverim indeksi, ışık kaynağının aydınlattığı objenin algılanan rengini ideal veya doğal bir ışık kaynağına oranla gerçeğe ne kadar yakın aydınlattığının sayısal ifadesidir. Teoride, en yüksek değer 100'dür. Bu çalışmada yönetmelik ve standardlarca tanımlanan $CRI > 80$ değerini sağlaması hedeflenmiştir. Fotometrik ölçüm sonuçlarından görüldüğü üzere geliştirilen aydınlatma armatürleri 4250 K renk sıcaklığında 86 R_a (Color Rendering Index Average) değerine sahiptir.



7. SONUÇ

Gelişen teknolojiye paralel LED teknolojisi her alanda olduğu gibi aydınlatmada da hayatımızda hızla yerini arttırmaktadır. LED aydınlatmada hala en büyük problem LED'ler üzerinde oluşan ısıdır. LED'ler üzerindeki ısı kontrol altına alındığında, uzun bir kullanım ömrü vaat edebilmektedir. Bu çalışmada ofis aydınlatmalarında kullanılan floresan ışık kaynaklı geleneksel armatürlerin yerine geçecek uzun ömürlü ve yüksek verimli LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü geliştirilmiştir. Armatüre ait LED ışık kaynağı, armatür gövdesi, LED sürücü, optik ve ışık açısı tasarımı yapılmıştır.

LED ışık kaynağının ısı dağılımını incelemek için termal analiz çalışması yapılmıştır. Analiz çalışmasının çıktıları kayıt altına alınarak termal deneylere geçilmiştir. Termal ölçüm 1 saat boyunca sürdürülmüş, sıcaklık-zaman grafiği çıkartılmıştır.

Analiz ve deney sonucunda görüldüğü üzere, gerçekleştirilen tasarımda LED'ler üzerinde açığa çıkan ısı, devre kartı yardımıyla LED'lerden uzaklaştırılmakta ve bu sayede LED'lerin sıcaklığı kontrol altında tutulmaktadır. LED'e ait veri dosyasından edinilen bilgiler ışığında, tasarlanan LED modülün 36 000 saatten fazla ömre sahip olduğu söylenebilir. Bu da günlük 10 saat kullanımda yaklaşık 10 yıl kullanım ömrüne sahip olduğu anlamına gelmektedir.

Armatür gövdesi için 3 cm, 5 cm ve 7 cm kasa derinliklerinde ayrı tasarımlar değerlendirilmiş, 3 cm ve 5 cm kasa derinliğinde homojenliğin bozulduğu, LED'lerin difüzör plaka arkasında tane tane tane belirginleşmeye başladığı görülmüştür. Homojen aydınlatma koşullarının oluşturulması ve görsel konforun sağlanması için 7 cm derinliğe sahip gövde tasarımı karar kılınmıştır.

Piyasadaki geleneksel ve LED'li ofis aydınlatma armatürleri için uygulanan bilgisayar simülasyonu, geliştirilen LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü için de benzer koşullar altında tekrarlanmıştır. Çizelge 7.1'de hem piyasadaki geleneksel armatürlerin hem de LED ışık kaynaklı armatürlerin performans değerleri yer almakta, tablonun sonunda ise çalışma kapsamında geliştirilen armatürün sonuçları görülmektedir. Simülasyon sonucunda, çalışma kapsamında geliştirilen LUXTRA LP1-35-7 kodlu armatür ile 300 lüks hedef aydınlatma seviyesi için m^2 alan başına güç tüketimi $3,5 W/m^2$, 100 lüks için m^2 alan başına güç tüketimi $1,01 W/m^2/100 lx$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.1. Geliştirilen LED armatürün piyasadaki benzerleri ile karşılaştırılması

Ürün	Güç (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik Faktörü (lm/W)	Oda (m)	Geriverim (%)	Eort (lx)	U0	Adet	W/m ²	W/m ² /100 lx
Siteco® Louvre Luminaire M for T16 (4x14W)	63	4800	76	40x40	88,06	352	0,53	143	5,6	1,6
Siteco® Louvre Luminaire for T26 (4x18W)	72	5200	72	40x40	62,74	344	0,66	182	8,2	2,38
EAE SA2 4TL514T-SPPP (4x14W)	62	4800	77	40x40	62,04	354	0,61	210	8,1	2,3
EAE SAS 4TL518T-SPCP (4x18W)	70	5400	77	40x40	52,6	342	0,78	210	9,2	2,68
Arlight G 414 ALP (4x14W)	56	4800	86	40x40	70,75	352	0,72	182	6,4	1,81
Arlight G 418 ALP (4x18W)	72	5400	75	40x40	67,43	352	0,65	168	7,6	2,15
GE Lighting Lumination 66502	50	3635	72,7	40x40	99,99	343	0,69	168	5,3	1,53
HELLA LED Panel	60	4300	71,667	40x40	100	355	0,78	143	5,4	1,51
LG LED Flat Light	53	4000	75,472	40x40	100,04	331	0,61	144	4,8	1,44
PHILIPS CoreLine LED Panel	37	3400	91,892	40x40	99,93	331	0,53	168	3,9	1,17
PHILIPS Smart Panel	45	3400	75,556	40x40	99,92	346	0,73	182	5,1	1,48
LUXTRA LP1-35-7	34	3674	108	40x40	99,89	346	0,76	156	3,5	1,01

Simülasyonda 300 lüks aydınlatma seviyesi hedef alınsa da simülasyon sonucunda bu değer üzerinde sapmalar görünmüştür. Bu yüzden karşılaştırma yaparken W/m^2 değeri yerine $W/m^2/100$ lx değerinin dikkate alınması gereklidir. Simülasyon sonucunda ortaya çıkan $W/m^2/100$ lx değeri, aydınlatma armatürünün 1 m²'lik alanda 100 lüks şiddetinde aydınlatma sağlaması için harcadığı enerji miktarını göstermektedir. Bu değer floresan ışık kaynaklı armatürlerde ortalama 2,15, LED ışık kaynaklı armatürlerde ise ortalama 1,43 olarak ortaya çıkmıştı. Bu çalışma kapsamında geliştirilen LED ışık kaynaklı armatür ise 1,01 $W/m^2/100$ lx değerine ulaşmıştır. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, geliştirilen LED ışık kaynaklı armatürün, geleneksel aydınlatma armatürlerine göre %53, piyasadaki benzerleri LED armatürlere göre %29 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Geliştirilen LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü, iç mekân aydınlatmalarında floresan ışık kaynaklı armatürlerin yerine geçecek yüksek ışık verimli, enerji tasarruflu ve uzun ömürlü iyi bir alternatiftir.



KAYNAKLAR

- Ahn, B.-L., Jang, C.-Y., Leigh, S.-B., Yoo, S. and Jeong, H. (2013). Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office. *Applied Energy*, 113, 1484-1489.
- Chiradeja, P., Ngaopitakkul, A. and Jettanasen, C. (2015). Energy savings analysis and harmonics reduction for the electronic ballast of T5 fluorescent lamp in a building's lighting system. *Energy and Buildings*, 97(15), 107-117.
- Erkin, E., Yurtseven, M., Güler, Ö. ve Onaygil, S. (2013, 21-24 Kasım). *LED panel armatürlerin ofis aydınlatmasında retrofit amaçlı kullanımının incelenmesi*. VII. Ulusal Aydınlatma Sempozyumunda sunuldu, İzmir.
- Espejel-Blanco, D. F., Hoyo-Montano, J. A., Orrante-Sakanassi, J. A. and Federico-Rivera, J. A. (2018). *Comparison of Energy Consumption of Fluorescent vs LED Lighting System of an Academic Building*. IEEE Conference on Technologies for Sustainability SusTech, 1-6.
- Geyer, R., Jambeck, J. and Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 1-5.
- Gu, Y. and Narendran, N. (2004). *Design and Evaluation of an LED-based Light Fixture*. Third International Conference on Solid State Lighting Troy, 318-329.
- Hamon, B. and van Driel, W.D. (2016). LED degradation: From component to system. *Microelectronics Reliability*, 64, 599-604.
- Hrbac, R., Kolar, V., Novak, T., Prokop, L. and Vanus, J. (2018). Low-cost solution of LED driving, designed for tunable white lighting systems. *IFAC PapersOnLine*, 51(6), 396-401.
- Huang, D.-S., Chen, T.-C., Tsai, L.-T. and Lin, M.-T. (2019). Design of fins with a grooved heat pipe for dissipation of heat from highpowered automotive LED headlights. *Energy Conversion and Management*, 180, 550-558.
- Huang, J., Golubović, D. S., Koh, S., Yang, D., Li, X., Fan, X. and Zhang, G. Q. (2015). Degradation modeling of mid-power white-light LEDs by using Wiener process. *Optics Express* A966, 23(15), 1-13.
- Iacomussi, P., Radis, M., Rossi, G. and Rossi, L. (2015). Visual Comfort with LED Lighting. *Energy Procedia*, 78, 734.
- İnternet: Eaglerise Electric Electronic Co. Ltd. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.eaglerise.com%2FCompact-FLS%2A0-flexible%2F1191.html&date=2019-06-12>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

İnternet: Electrosoft Engineering. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.pcb.electrosoft-engineering.com%2F04-articles-custom-system-design-and-pcb%2F01-printed-circuit-board-concepts%2Fprinted-circuit-board-pcb-concepts.html&date=2019-06-12>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

İnternet: Florida Solar Energy Center. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.fsec.ucf.edu%2Fen%2Fpublications%2Fhtml%2FFSEC-CR-1682-00%2Fimages%2Fedsn-4.htm&date=2019-06-12>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

İnternet: Litpa Corporation. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.litpa.com.tr%2FUploads%2FGenelDosya%2Furun-katalogu-4932-d.pdf&date=2019-06-12>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

İnternet: Pelsan Aydınlatma Isolamp T5 Armatürler. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpelsan.com.tr%2Ftr-TR%2Fcatalogue%2Fsiva-alti-ofis-armaturleri%2Fisolamp-t5-armaturler%2F876%2F12022&date=2019-06-12>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

İnternet: Pelsan Aydınlatma 7 Lamel Çift Parabolik Armatürler. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpelsan.com.tr%2Ftr-TR%2Fcatalogue%2Fsiva-alti-ofis-armaturleri%2F7-lamel-cift-parabolik-armaturler%2F876%2F12010&date=2019-06-12>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

İnternet: Pelsan Aydınlatma Prizmatik Lensli Armatürler. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpelsan.com.tr%2Ftr-TR%2Fcatalogue%2Fsiva-alti-ofis-armaturleri%2Fprizmatik-lensli-armaturler%2F876%2F12032&date=2019-06-12>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

İnternet: Suzhou Omay Optical Materials Co. Ltd. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.pc-film.com%2FLightxDiffuserxPanelsxFilm%2F31.html&date=2019-06-12>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

İnternet: Veksan Aydınlatma Reflektör Seçenekler. URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.veksan.com%2Ftr%2Ffiles%2Fdestek%2Freflektor-secenekler_446.pdf&date=2019-06-12, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.

Jenkins, D. and Morse, B. (2016). *Application Considerations For LED Light Fixtures In Process Industry Production Environments*. IEEE IAS/PCA Cement Industry Technical Conference.

Li, X. P., Chen, L. and Chen, M. (2011). *An Approach of LED Lamp System Lifetime Prediction*. IEEE International Conference on Quality and Reliability, 110-114.

Narendran, N. and Gu, Y. (2005). Life of LED-Based White Light Sources. *IEEE/OSA Journal Of Display Technology*, 1(1), 167-171.

- Narendran, N., Gu, Y., Freyssinier, J. P., Yu, H. and Deng, L. (2004). Solid-state lighting: failure analysis of white LEDs. *Journal of Crystal Growth*, 268(3-4), 449-456.
- Padmasali, A. and Kini, S. (2016). Prognostic algorithms for L70 life prediction of solid state lighting. *Sage Journals Lighting Research and Technology*, 48(5), 608-623.
- Paronis, E., Kapogiannatou, A., Paschidis, K., Stasinopoulou, M., Alexakos, P., Skaliora, I., Kostomitsopoulos. (2018). Lighting environment: What colour of light do male C57BL/6J prefer? *Applied Animal Behaviour Science*, 209, 99-103.
- Pattison, P. M., Hansen, M. and Tsao, J. Y. (2018). LED lighting efficacy: Status and directions. *Comptes Rendus Physique*, 19(3), 134-145.
- Ryckaert, W., Smet, K., Roelandts, I., Gils, M. and Hanselaer, P. (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy and Buildings*, 49, 429-436.
- Shyu, J.-C., Hsu, K.-W., Yang, K.-S. and Wang, C.-C. (2011). Thermal characterization of shrouded plate fin array on an LED backlight panel. *Elsevier ScienceDirect Applied Thermal Engineering*, 31(14-15), 2909-2915.
- Sivaji, A., Shopian, S., Nor, Z. M., Chuan, N.-K. and Bahri, S. (2013). Lighting does matter: Preliminary assessment on office workers. *Elsevier ScienceDirect Procedia Social and Behavioral Sciences*, 97, 638-647.
- Türk Standardları Enstitüsü (2013). *TS EN 12464-1 Işık ve Aydınlatma - Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanları*.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILMAZ, Emre
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 31.05.1990, Trabzon
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 239 40 27
 E-posta : emre.yilmaz@aydinlatma.org



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstriyel Tasarım Müh.	Devam ediyor
Lisans	Atılım Üniversitesi / Elektrik Elektronik Müh.	2013
Lise	Tevfik Serdar Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Aydınlatma Portalı	Kurucu
2013-Halen	Asya Trafik A.Ş.	Proje Yöneticisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Yılmaz, E., Özkan, M.T., Kaygusuz M. (2017). Park-bahçe aydınlatma armatürleri için yeni bir soğutucu gövde tasarımı ve analizi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 3(1), 1-10.
2. Yılmaz, E., Şahin, İ., Kocadağ N.Y. (2019). LED ışık kaynaklı, enerji tasarruflu ve yüksek verimli ofis aydınlatma armatürü tasarımı. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5(2), 1-12.

Hobiler

Koşu, Yüzme



GAZİ GELECEKTİR..