



T.C.  
Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

OTOMOTİV LED AYDINLATMA  
ÜRÜNLERİNİN SOĞUTMA  
SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE ISIL  
ANALİZLERİNİN YAPILMASI  
Efecan DÜZYER

Yüksek Lisans Tezi



OTOMOTİV LED AYDINLATMA ÜRÜNLERİNİN  
SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE ISIL  
ANALİZLERİNİN YAPILMASI

Efecan DÜZYER



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV LED AYDINLATMA ÜRÜNLERİNİN SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN  
TASARIMI VE ISIL ANALİZLERİNİN YAPILMASI

Efecan DÜZYER

Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2016

## TEZ ONAYI

Efecan Düzyer tarafından hazırlanan “OTOMOTİV LED AYDINLATMA ÜRÜNLERİNİN SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE ISIL ANALİZLERİNİN YAPILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI

**Başkan :**

Prof.Dr. Ömer KAYNAKLI İmza  
U.Ü. Mühendislik  
Fakültesi,  
Makine Mühendisliği  
Anabilim Dalı



**Üye :**

Prof.Dr. Recep  
YAMANKARADENİZ  
U.Ü. Mühendislik  
Fakültesi, Makine  
Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye :**

Yrd.Doç.Dr. Kemal Furkan  
SÖKMEN  
Bursa Teknik Ü.  
Doğa Bilimleri, Mimarlık  
Ve Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği  
Anabilim Dalı

İmza



  
Yukarıdaki sonucu onaylarım  
Prof. Dr. Ali Osman DEMİR  
Enstitü Müdürü  
08.03.2016 (Tarih)

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,  
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,

- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,

- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,

- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**07/09/2016**

**Efecan DÜZYER**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### OTOMOTİV LED AYDINLATMA ÜRÜNLERİNİN SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE ISIL ANALİZLERİNİN YAPILMASI

**Efecan DÜZYER**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI

Bu çalışmada, otomotiv LED aydınlatma ürünlerinde oluşan ısının, sistem dışına atılabilmesi için, farklı tip ve boyutlarda soğutucu sistem kanatçık tasarımları ele alınmıştır. Kanatçık tip ve boyutlarının soğutmaya etkisi nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Ürün olarak otomotiv aydınlatma sis lambası incelenmiştir. Soğutucu sistem olarak farklı tipte, boyutta ve sayıda iğne ve düzlem kanatçık tasarımları oluşturulmuş ve bilgisayar destekli ısı analizleri tamamlanmıştır. Analizler sonucu farklı tip ve boyutta kanatçıkların LED birleşim noktası sıcaklığında etkisi gözlemlenmiş ve yeterli soğutmayı gerçekleştiren kanatçık tasarımlarının prototipleri üretilerek, sıcaklık testleri tamamlanmıştır. Son olarak, sıcaklık testleriyle doğrulanan ürün, nihai ürün olarak seçilmiş ve uluslararası standartlara uygunluğu kontrol edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** LED, otomotiv aydınlatma, soğutma, tasarım

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **COOLING SYSTEM DESIGN AND THERMAL ANALYSES OF AUTOMOTIVE LED LIGHTING PRODUCTS**

**Efecan DÜZYER**

Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI

In this study, cooling system heatsink designs with different type and dimensions were discussed in order to remove the heat from the system which was generated in automotive LED lighting products. The effect of the heatsink type and sizes to the cooling were examined numerically and experimentally. An automotive fog lamp was examined as a product. Different types, sizes and number of pin fin and plate heatsink designs were created as a cooling system and their computer aided thermal analyses were completed. At the end of analyses the effect of heatsinks with different type and sizes to the LED junction temperature were observed and prototypes of the heatsink designs with adequate cooling were produced and their temperature tests were completed. Finally, the confirmed product by the temperature tests was selected as a final product and its compliance with international standards has been checked.

**Key words:** LED, automotive lighting, cooling, design

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı hazırladığım süreçte, bilgi birikimiyle desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Ömer Kaynaklı'ya,

Bilgisayar destekli çalışmalarında ve deneysel çalışmalarında her türlü teçhizat kullanımına imkan veren Magneti Marelli Mako firmasına,

Çalışmamı, bilimsel çalışma olarak destekleyen T.C. Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığına,

Eğitim hayatım boyunca gösterdikleri ilgi, yardım, destek ve sabırları için sevgili annem, babam ve kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

Efecan DÜZYER  
../../2016

## İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖZET                                                                                                      | i         |
| ABSTRACT                                                                                                  | ii        |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ                                                                            | vi        |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                                                           | vii       |
| ÇİZELGELAR DİZİNİ                                                                                         | x         |
| <br>                                                                                                      |           |
| <b>1.GİRİŞ</b>                                                                                            | <b>1</b>  |
| <b>2.KAYNAK ÖZETLERİ</b>                                                                                  | <b>4</b>  |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>                                                                              | <b>13</b> |
| 3.1.Otomotiv Aydınlatma Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi, Fonksiyonları ve Uygulamaları                    | 13        |
| 3.2.LED’lerin Çalışma Prensipleri, Isınma Problemi ve Otomotiv Aydınlatma Sisteminde Isıl Yönetimin Önemi | 19        |
| 3.3. LED’lerde Isıya Giden Gücün Hesaplanması                                                             | 22        |
| 3.4. LED’lerde Jonksiyon Sıcaklığının Hesaplanması                                                        | 24        |
| 3.5. Şartnamelerin Belirlediği Değerler                                                                   | 25        |
| 3.6.Çalışma Adımları                                                                                      | 26        |
| 3.7.Teknik Çalışmalar                                                                                     | 27        |
| 3.7.1. Soğutma Sistemi Tasarım Aşamaları                                                                  | 27        |
| 3.7.2.Ürün Tanımı ve Teknik Özellikleri                                                                   | 28        |
| 3.7.3. Ürün / Optik / Elektronik Tasarım Aşamasında Yapılanlar                                            | 29        |
| 3.7.4.Elektronik Komponent Tasarım Aşaması                                                                | 33        |
| 3.7.5.Komponent Sıcaklık Ölçümleri ve Isıl Analizler                                                      | 34        |
| 3.7.6. Komponentlerin bilgisayar destekli termal simülasyonları                                           | 35        |
| 3.7.7.Soğutucu Sistem Tasarım Aşaması                                                                     | 39        |
| 3.7.8.Prototip İmalatı                                                                                    | 50        |
| 3.7.9.Optik Regülasyon Değerleri ve Fotometri Testi                                                       | 54        |
| <b>4. BULGULAR</b>                                                                                        | <b>56</b> |
| 4.1.DRL LED Sıcaklık Testi ve Termal Simülasyon Sonuçları                                                 | 56        |
| 4.2.Sis LED Sıcaklık Testi ve Termal Simülasyon Sonuçları                                                 | 58        |
| 4.3.Komponent Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi                                                       | 61        |
| 4.4. Soğutucu Sistem Tasarımına Ait Termal Simülasyon Sonuçları                                           | 62        |
| 4.5.İğne Kanatçık Prototipine Ait Sıcaklık Testi Sonuçları                                                | 66        |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.6.Düzlem Kanatçık Prototipine Ait Sıcaklık Testi Sonuçları | 70        |
| 4.7.Ürünün Optik Regülasyonlara Uygunluğu(Fotometri Testi)   | 71        |
| <b>5.TARTIŞMA VE SONUÇ</b>                                   | <b>74</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                             | <b>77</b> |
| <b>EKLER</b>                                                 | <b>79</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                              | <b>82</b> |



## SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler      | Açıklama                   |
|---------------|----------------------------|
| $T_J$         | Birleşme noktası sıcaklığı |
| $P_{LED}$     | LED toplam gücü            |
| $P_{rad}$     | Radyasyona giden güç       |
| $P_{isi}$     | Isıya giden güç            |
| $I_{LED}$     | LED 'den geçen akım        |
| $R_{LED}$     | LED direnci                |
| $\varepsilon$ | Emisivite Katsayısı        |
| L             | Kanatçık uzunluğu          |
| D             | Kanatçık kalınlığı         |
| W             | Kanatçık genişliği         |
| K             | Isı İletim katsayısı       |

| Kısaltmalar | Açıklama                      |
|-------------|-------------------------------|
| LED         | Light Emitting Diode          |
| PCB         | Printed Circuit Board         |
| DRL         | Daylight Running Lamp         |
| CAD         | Computer Aided Design         |
| FR4         | Flame Retardant 4             |
| PC          | Polycarbonate                 |
| PPGF20      | Plypropilene %20 Glalssfiber  |
| CNC         | Computer Numerical Control    |
| ECE         | Economic Comission For Europe |
| SAE         | Society of American Engineers |
| CCC         | China Compulsory Certificate  |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## Sayfa

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.1.</b> $T_j$ sıcaklığındaki değişime göre LED ömrü ve LED aydınlatma oranındaki değişim                             | 4  |
| <b>Şekil 2.2.</b> LED, Floresan ve Enkandasen ampul ısı yayma şekil oranları                                                   | 6  |
| <b>Şekil 2.3.</b> Fanlı ve kanatçıklı soğutma sisteminin şematik gösterim                                                      | 7  |
| <b>Şekil 2.4.</b> (a) Termal kamerada elde edilen sıcaklık dağılımı, (b) ANSYS CFX de elde edilen sıcaklık dağılımı sonuçları  | 8  |
| <b>Şekil 2.5.</b> . LED termal analizi sıcaklık kıyaslaması                                                                    | 9  |
| <b>Şekil 2.6.</b> Kanatçık boyu, birleşim noktası sıcaklığı ve kanatçık genişliği birleşim noktası sıcaklığı arasındaki ilişki | 9  |
| <b>Şekil 2.7.</b> . Farklı LED gövde malzemelerinde ısıl analiz sonuçları                                                      | 10 |
| <b>Şekil 2.8.</b> Farklı kanatçık boylarına göre birleşim noktası sıcaklıklarının değişimi                                     | 11 |
| <b>Şekil 2.9.</b> Kanatçıksız ve farklı kesitli kanatçıklarla soğutulan LED'in birleşim noktası sıcaklıkları                   | 12 |
| <b>Şekil 3.1.</b> Gaz yağı ile çalışan otomotiv aydınlatma lambası                                                             | 13 |
| <b>Şekil 3.2.</b> LED'li aydınlatma ürünlerinin gelişimi                                                                       | 16 |
| <b>Şekil 3.3.</b> Ön ve Arka Aydınlatma Ürünleri ve Fonksiyonları                                                              | 18 |
| <b>Şekil 3.4.</b> LED yapısı                                                                                                   | 19 |
| <b>Şekil 3.5.</b> LED birleşim noktası                                                                                         | 20 |
| <b>Şekil 3.6.</b> LED ömrü-birleşim noktası sıcaklığı ilişkisi                                                                 | 20 |
| <b>Şekil 3.7.</b> Müşteri şartnamesinde tanımlı test değerleri                                                                 | 25 |
| <b>Şekil 3.8.</b> Teknik çalışma adımları                                                                                      | 26 |
| <b>Şekil 3.9.</b> Otomotiv LED'li aydınlatma soğutma sistemi tasarım süreci                                                    | 27 |
| <b>Şekil 3.10.</b> Müşteriden gelen ürün ve kaporta verileri                                                                   | 29 |
| <b>Şekil 3.11.</b> Müşteri tarafından istenen ölçülere örnekler                                                                | 29 |
| <b>Şekil 3.12.</b> Regülasyonlarla belirlenen ürün konumları                                                                   | 30 |
| <b>Şekil 3.13.</b> SPW08F0D tipi LED                                                                                           | 30 |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.14.</b> DRL/POS LED özellikleri                                                     | 31 |
| <b>Şekil 3.15.</b> Sis fonksiyonu için regülasyonlarda belirtilen değerler                     | 31 |
| <b>Şekil 3.16.</b> Sis regülasyon standartı ve OSRAM OSTAR Headlamp Pro LE UW U1A2 01 tipi LED | 32 |
| <b>Şekil 3.17.</b> Sis LED'in temel özellikleri                                                | 32 |
| <b>Şekil 3.18.</b> DRL PCB ve Sis PCB                                                          | 33 |
| <b>Şekil 3.19.</b> Sis ve DRL PCB                                                              | 33 |
| <b>Şekil 3.20.</b> Araç konumuna göre montajlanmış sis ve DRL PCB                              | 34 |
| <b>Şekil 3.21.</b> PCB prototipi, güçkaynağı ve termal kamera                                  | 35 |
| <b>Şekil 3.22.</b> DRL PCB için kontrol hacmi özellik ekranı                                   | 36 |
| <b>Şekil 3.23.</b> DRL ve Sis LED PCB katman kalınlıkları                                      | 37 |
| <b>Şekil 3.24.</b> DRL ve sis LED güçlerinin programa tanıtılması                              | 37 |
| <b>Şekil 3.25.</b> DRL ve sis LED güçlerinin programa tanıtılması                              | 38 |
| <b>Şekil 3.26.</b> DRL ve Sis PCB için oluşturulan ağ yapı                                     | 38 |
| <b>Şekil 3.27.</b> Kanatçıksız sistem                                                          | 39 |
| <b>Şekil 3.28.</b> Montajlı ürün datası                                                        | 40 |
| <b>Şekil 3.29.</b> Malzeme özelliklerinin analiz programına tanıtılması                        | 41 |
| <b>Şekil 3.30.</b> Programa tanıtılan sınır şartlar                                            | 41 |
| <b>Şekil 3.31.</b> Komple ürün ağ yapısı                                                       | 42 |
| <b>Şekil 3.32.</b> Soğutucu sistem ön yüzey farklı kanatçık tasarımları                        | 42 |
| <b>Şekil 3.33.</b> Ölçüm noktaları                                                             | 43 |
| <b>Şekil 3.34.</b> a) 20 adet düzlem kanatçık dizilişi b) LED tabanındaki 3 adet kanatçık      | 45 |
| <b>Şekil 3.35.</b> 5mm, 10mm ve 15mm uzunluklarındaki kanatçık görüntüleri                     | 45 |
| <b>Şekil 3.36.</b> Komple ürün alt komponentleri                                               | 47 |
| <b>Şekil 3.37.</b> Montajlı ürün datası                                                        | 47 |
| <b>Şekil 3.38.</b> Programa tanıtılan sınır şartlar                                            | 48 |
| <b>Şekil 3.39.</b> Ölçüm noktaları                                                             | 49 |
| <b>Şekil 3.40.</b> Alüminyum kütük                                                             | 50 |
| <b>Şekil 3.41.</b> İşlenmiş prototip parça                                                     | 50 |
| <b>Şekil 3.42.</b> Termokupl bağlantı noktaları                                                | 51 |
| <b>Şekil 3.43.</b> Termokupl bağlantı noktaları                                                | 51 |
| <b>Şekil 3.44.</b> Alüminyum kütük ve işlenmiş prototip parça                                  | 52 |
| <b>Şekil 3.45.</b> Termokupl bağlantıları                                                      | 52 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.46.</b> Sıcaklık test sistemi                                                     | 53 |
| <b>Şekil 3.47.</b> AMS 5000 gonyometre ve fiktürle sabitlenmiş ürün                          | 55 |
| <b>Şekil 3.48.</b> Ölçüm perdesi ve sensörü                                                  | 55 |
| <b>Şekil 4.1.</b> DRL PCB termal kamera sonuçları                                            | 57 |
| <b>Şekil 4.2.</b> DRL PCB sıcaklık dağılımı                                                  | 57 |
| <b>Şekil 4.3.</b> Sis PCB termal kamera sonuçları                                            | 59 |
| <b>Şekil 4.4.</b> Sis PCB taban yüzeyi termal kamera sonuçları                               | 60 |
| <b>Şekil 4.5.</b> LED birleşim noktası sıcaklıkları ve sıcaklık dağılımı                     | 61 |
| <b>Şekil 4.6.</b> Soğutucu sistem sıcaklık dağılımı ve sis LED birleşim noktası sıcaklıkları | 63 |
| <b>Şekil 4.7.</b> Soğutucu sistem ön yüzey farklı kanatçık tasarımları                       | 63 |
| <b>Şekil 4.8.</b> Kabin ve simülasyon sonuçları karşılaştırması (25 °C için)                 | 67 |
| <b>Şekil 4.9.</b> Kabin ve simülasyon sonuçları karşılaştırması (70 °C için)                 | 68 |
| <b>Şekil 4.10.</b> Kabin ve simülasyon sonuçları karşılaştırması (95 °C için)                | 69 |
| <b>Şekil 4.11.</b> Test ve simülasyon sonuçları karşılaştırması (95 °C için)                 | 71 |
| <b>Şekil 4.12.</b> Ürünün fotometri cihazına bağlantısı                                      | 72 |
| <b>Şekil 4.13.</b> Fotometri ölçümü                                                          | 72 |
| <b>Şekil 4.14.</b> Fotometri raporu                                                          | 73 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

## Sayfa

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ÇİZELGE 3.1. İğne kanatçık boyutları                                                                                        | 44 |
| ÇİZELGE 3.2. Kanatçık uzunluğu (L), kalınlığı (D) ve genişliği (W)                                                          | 46 |
| ÇİZELGE 3.3. ECE şartnamesinde belirtilen sis ürünü ışıık değlerleri                                                        | 54 |
| ÇİZELGE 4.1. DRL LED jonksiyon sıcaklıkları                                                                                 | 58 |
| ÇİZELGE 4.2. Soğutucu ön yüzeyi için oluşturulan 4 tasarıma ait farklı noktalardan alıninan sıcaklıkların karşılaştırılması | 64 |
| ÇİZELGE 4.3. İğne kanatçık boyutları                                                                                        | 64 |
| ÇİZELGE 4.4. Simölasyon Sonuçları                                                                                           | 65 |
| ÇİZELGE 4.5. Ölçüm Noktalarındaki Sıcaklıklar                                                                               | 66 |
| ÇİZELGE 4.6. Sıcaklık testi sonuçları ve simölasyon sonuçlarının karşılaştırılması                                          | 67 |
| ÇİZELGE 4.7. Sıcaklık testi sonuçları ve simölasyon sonuçlarının karşılaştırılması (95 °C için)                             | 69 |
| ÇİZELGE 4.8. Sıcaklık testi ölçüm sonuçları (°C)                                                                            | 70 |

## 1. GİRİŞ

Araç aydınlatma teknolojisindeki hızlı ilerleme ve yenilikler, sistemlerde kullanılan ışık üreten birimlerin günden güne gelişmesini sağlamıştır. Otomotiv aydınlatma teknolojisinin gelişmesiyle geleneksel ampuller ve halojen ampullerden yerini, ışık üretmek ve aydınlatma fonksiyonunu sağlamak amacıyla, tasarımında ve üretiminde ileri teknoloji gerektiren elektronik kontrol kartları ve baskı devre kartları ile donatılmış LED’li (light emitting diode) sistemlerin kullanımına bırakmaya başlamıştır. Aydınlatma fonksiyonunu tam olarak sağlamanın yanında, uzun ömürlü olmaları, enerji sarfiyatlarının az olması ve tepki sürelerinin kısa olması LED’li sistemlerin başlıca kullanım nedenleridir. Ayrıca son yıllardaki ışık verimliliğindeki artış otomotiv teknolojisinde giderek diğer aydınlatma ürünlerinin yerini almasını sağlamıştır.

Günümüz otomotiv sektöründe ömür, yerleştirme, garanti sürelerinin önemi günden güne artmaktadır. Bu nedenle anasanyı tarafından aydınlatma ürünü ve komponentleri için araç üzerinde belirlenen hacmi (yeri) aşmadan en uygun çözüm bulunmalıdır. Ayrıca aydınlatma ürünü, ana sanayi tarafından belirlenen hem ömür süresini sağlamalı hem de bu süre boyunca fonksiyonelliğinden yani ışık şiddeti, ışık rengi, fotometrik özelliklerden herhangi bir kayba uğramamalıdır.

Araç üreticileri, elektronik komponent içeren LED’li sistemlerin gelişmesi sonucu ve hem sağladığı ışık enerjisi hem de uzun ömürlü olmalarından dolayı, aydınlatma ürünleri için elektronik komponentler içeren LED’li sistemlere yönelmişlerdir. LED’lerin otomotiv aydınlatma uygulamalarındaki başlıca avantajları arasında kompakt dizaynlarından dolayı komponent boyutlarının küçülmesi yani az alan kullanmaları gelir. Tasarıma elverişli olmaları yeni konsept ve dizaynlara olanak sağlar.

Ancak çok büyük avantajlarının yanında LED’li sistemlerin en büyük dezavantajı ise kullandığı enerjinin yaklaşık %80 ‘ini ısıya dönüştürmeleri ve bu ısının uzaklaştırılmasının gerekliliğidir. Isınma problemi doğrudan fonksiyonu etkileyerek, veriminin azalmasına ve ömürlerinin kısılmasına yol açar. Bu da LED sistemler üzerinde ısı analizler yapmayı ve soğutma teknikleri uygulamayı mecbur kılar. Isıl yönetimle, LED’in ömrünün kısılmasına şiddetli bir şekilde etkisi olan yüksek sıcaklıklar önleildiğinde, kullanım süresini bir kaç yüz saatten yüzbin saate çıkartmak mümkündür.

LED’li aydınlatma ürünlerinin soğutulmasında başlıca aşağıdaki yöntemler uygulanır;

- Kanatçık kullanımı,
- Isıl direnci düşük baskı devre kartı malzemeleri kullanma,
- LED, PCB ve kanatçığın bağlanmasında ısı direnci düşük termal arayüz elemanları kullanımı,
- Isı transferini arttırmak için fanlı sistem kullanımı,
- Sıvı soğutmalı sistemlerin kullanımı.
- 

LED ömrünün uzun olması çok önemli bir özelliktir ve bu sistemler diğer sistemlerin yerini şimdiden almaya başlamıştır. Bu nedenle, termal analizlerin yapılabilir ve soğutma sistemlerin tasarlanabilir olması gerekmektedir.

Bu çalışmanın ana hedefi otomotiv aydınlatma ürünlerinde kullanılan LED’lerin ısınma problemini uygun kanatçık tasarımları yapılarak ortadan kaldırmak, henüz tasarım aşamasındaki ürünlere ait LED’lerde oluşabilecek termal problemleri görüp önlem alarak ürünün fonksiyonelliğini ve performans özelliklerini değiştirmeden kullanılabilir olmasını sağlamaktır.

Elektronik komponentli aydınlatma ürünlerinin geliştirilmesinde ısıl yönetim ve soğutma sistemi tasarımları, istenilen ışık miktarına göre uygun LED tipi seçildikten sonra LED'in bilgisayar destekli analiz programı vasıtasıyla ısıl analizinin yapılması, sıcaklık analizi sonucu elde edilen verilere göre uygun soğutma sisteminin seçimi, farklı kanatçık tasarımlarıyla ve malzemeleriyle kanatçık sisteminin optimizasyonu ve analizlerini kapsar. Analizlerle elde edilen verilere göre prototip yapımı ve deneyleri ile süreç devam eder. Sistemin gereksinimlerini karşılayan kanatçık tipi seçilir ve uygulanır.

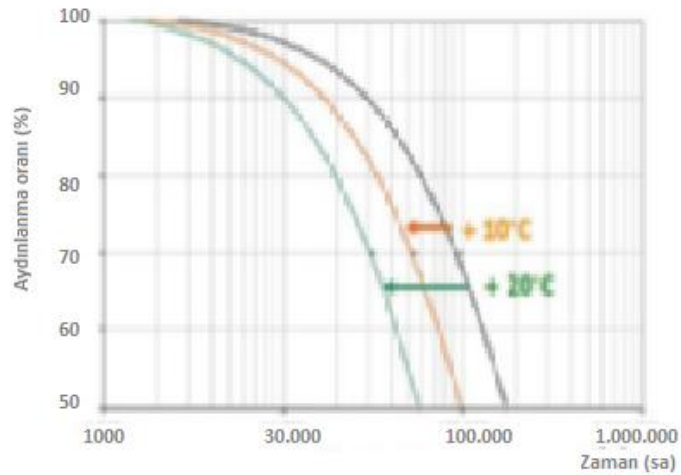
Bu çalışmada, elektronik komponentli sistemlerin komponent analizlerini yapmak, analiz sonuçlarına uygun soğutma sistemi tasarımlarının geliştirilmesi, bu tasarımların doğruluğunu bilgisayar destekli analiz programlarıyla ve deneylerle desteklenip ürünlere uygulanması ve ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlanması hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında otomotiv aydınlatma ürününde kullanılacak LED'in ısıl analizleri yapılarak termal özelliklerine bakılarak, LED'de oluşan ısıyı uzaklaştırmak için kullanılacak olan farklı kanatçık seçimi ve tasarımları yapılmıştır. Kanatçıklı sisteme ait ısıl analizler tamamlanarak, prototip oluşturulup hem komponent hem de komple ürünün iklimatik kabinlerde testleri tamamlanmış ve analiz sonuçlarıyla doğruluğu incelenmiştir. Farklı kanatçık tasarımlarının soğutmaya etkisi incelenmiş ve anasanayi şartnamelerine uygun olan soğutucu sistem belirlenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

LED teknolojisindeki hızlı gelişmeler, onları otomotiv aydınlatma uygulamalarında yaygın hale getirmiştir (Kang ve ark. 2010). Arka sinyal fonksiyonu için kırmızı ya da sarı LED'ler yıllardır kullanılmaktadır. Beyaz LED'in ışık enerjisindeki gelişmeler, onları sis lambası, uzun hüzme ve kısa hüzme fonksiyonu görevlerini yerine getirmeleri için uygun hale getirmiştir. (John ve Michele 2002). LED'lerin yüksek ışık yayma verimliliği, uzun çalışma süresi, enerji koruma ve az çevre kirliliği gibi birçok avantajı vardır. Bundan dolayı, LED'ler önümüzdeki yılların potansiyel ışık kaynağı adayı olarak görülür (Wana ve ark. 2011).

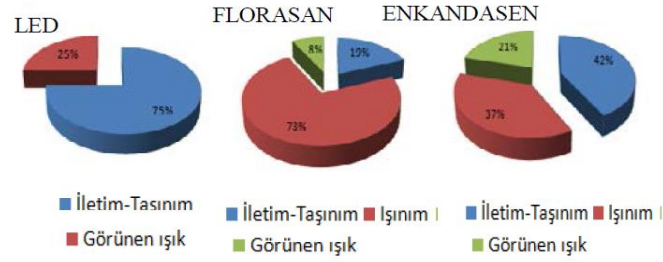
LED'ler için önemli parametre jonksiyon sıcaklığıdır. Jonksiyon sıcaklığının değeri LED'in ömrünü, aydınlatma gücünü ve foto metrik değerini direkt olarak etkilemektedir. Şekil 2.1'de  $T_j$  sıcaklığının  $10^\circ\text{C}$ 'lik değişimlerinde LED'in ömür ve aydınlatma gücü açısından etkisi görülmektedir (Wana ve ark. 2011).



**Şekil 2.1.**  $T_j$  sıcaklığındaki değişime göre LED ömrü ve LED aydınlatma oranındaki değişim. Wana ve ark. (2011)

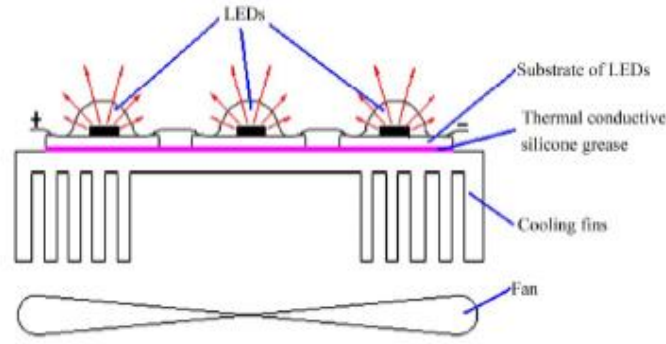
LED'lerin üzerlerinde oluşan sıcaklığın düşürülmesinde ısı iletim katsayısı yüksek plakaların kullanılması ile eğer uygun sıcaklıklar yakalanmazsa, kanatçık ilavesi gerekmektedir. LED'lerin farlar içinde halojen ampullerle kullanılması son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Normal şartlar altında ısıyı kanatçıklarla iletim ve taşınım ile üzerinden atan LED sistemlerinin halojen ampullerle kullanılması ısıl anlamda büyük risklere yol açabilir. Bu yüzden kanatçık tasarımları büyük önem arz etmektedir (Anonim 2011).

Vora ve Vijaykumar (2009) LED üzerine yaptıkları çalışmada, baskı devresi üzerinde oluşturulan bakır tabakaların kalınlığının artırılması ile ısı iletiminin artacağı ve  $T_j$  üzerinde  $20^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşan sıcaklık azalmaları olacağı ifade edilmiştir. Sheu ve ark. (2005) da  $T_j$  sıcaklığının tespiti için ısı iletimi ve ısı dirençleri temel alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. LED'lerin sıcaklık problemlerine karşı alternatif soğutma sistemlerini inceleyen çalışmalar Jang ve Shin (2008) tarafından yapılmıştır. LED'lerin ısı davranışları üzerine bir diğer çalışma ise Poppe ve Lasance (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. LED'li sistemlerin sıcaklık probleminin çözümü için sıvı ile soğutulmasını temel alan çalışma yapmışlardır. Çalışmada sirkülasyon pompası ile LED'lerin su ile soğutulması hedeflenmiştir (Lai ve ark. 2009). Hamm (2005) LED'lerin kullanımı ile araç aydınlatma ürünlerinde yaşanacak gelişmeleri konu edinen bir çalışma yapmıştır. LED'lerin soğutulması ve kanatçık tasarımı üzerine bir uygulama notu çalışması yapılmıştır ve General Electric (GE) Lighting'in (2009) yaptığı bu çalışmada, çevre sıcaklığına bağlı doğal taşınım incelenmiş olup, çevre ve baskı devresi sıcaklığına bağlı gerekli soğutma alanı hesaplanmıştır. LED'ler ürettikleri ışığın dalga boyuna göre ışıyım yapma oranları oldukça azdır. Şekil 2.2'de LED'lerin ısı transferi açısından iletim, taşınım ve ışıyım oranlarını karşılaştırmalı olarak verilmektedir (Sökmen ve ark. 2014).



**Şekil 2.2.** LED, Florosan ve Enkandasen ampul ısı yayma şekil oranları. Sökmen ve ark. (2014)

LED'lerin otomotive entegrasyonu ve ısı yönetimi ile ilgili bir çalışma Sardi ve Ackermann (2005) tarafından sunulmuştur. Arka sis lambalarını da kapsayan başka bir çalışmada ise LED lambaları ısıl açıdan deneysel olarak incelenmiş ve özellikle LED'lerin soğutulmasında kanatçık tasarımı üzerinde durulmuştur. Babus'Haq ve ark.(1992) LED'lerin çalışma sıcaklığını inceleyerek 10°C düşük çalışma sıcaklığının LED ömrünü %50 arttırdığını göstermiştir. Arik ve ark. (2004) doğal taşınımında kanatçık boyları için varyasyonlar denemişlerdir ve kanatçığın yüksekliği ve kanatçıklar arasındaki boşluğun oranının 10:1 'i geçmemesi gerektiği belirtilmiş ve geçtiği durumlarda doğal taşınıma çok büyük etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Wang ve Li (2010) yüksek güçlü LED'lerde aktif soğutma ve ısıl yönetim konusunu incelemiştir. Isı transferinin artırılması için fanlı ve kanatçıklı bir soğutma sistemi kurulmuştur (Şekil 2.3). 3W gücünde 6 adet LED kullanılan sistemde, 26 °C ortam sıcaklığında, fansız sistem ile soğutma sonucu LED'lerin sıcaklığı 62°C'ye çıkarken, fanlı sistemde sadece 32°C'ye ulaşmıştır. Bu çalışma ile fanlı soğutma sisteminin daha iyi bir performans gösterdiği doğrulanmıştır.



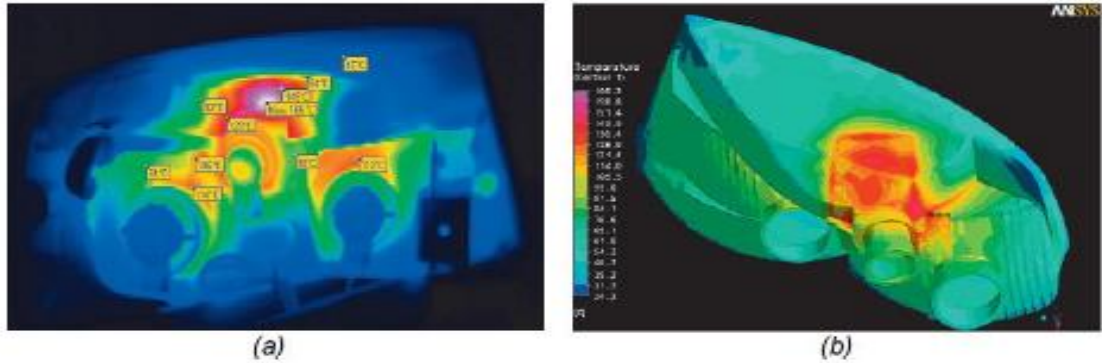
**Şekil 2.3.** Fanlı ve kanatçıklı soğutma sisteminin şematik gösterim. Wang ve Li (2010)

Toplam ışık miktarının ısı yük ile ilişkisini araştıran bir çalışmada, LED'lerin birbirleriyle ısı etkileşimi olmaması için aralarındaki mesafenin 4 -5 mm olması gerektiği sonucu çıkarılmıştır (Petroski 2004). Zou ve ark. (2008) LED'leri termal, optik ve elektriksel karakterlerini tespit eden ölçme sistemi geliştirmişlerdir. Bu çalışma LED'in birleşme noktası sıcaklığından herhangi bir referans noktaya olan ısı direncin deneysel olarak belirlenmesi esasına dayanır.

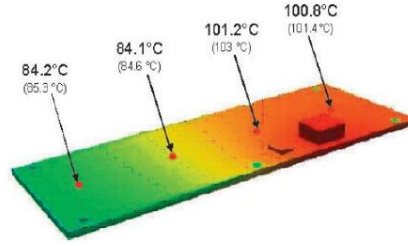
Gleva (2009) tarafından yapılan çalışmada, kanatçık tasarımının ve kullanımının LED'in soğutmasıyla arasındaki ilişki incelenmiş ve uygun kanatçık boyutları araştırılmıştır. Başka bir çalışmada, kanatçıklardaki termal radyasyonun yüksek sıcaklıklarda çalışılırken ısı transferinde çok büyük etkisi olduğu gösterilmiş ve yüzey kaplamanın emisiviteyi arttırdığı gözlemlenmiştir (Chyu ve ark. 1988). Kim ve ark. (2007) elektronik komponentlerde kanatçık kullanımının etkisini incelemiştir ve ısı direnci %50 – %80 düşürdüğü görülmüştür. Yung ve ark. (2010) tarafından LED ve PCB'nin (printed circuit board) bilgisayar ortamında ısı ve soğutma analizleri yapılmıştır. Copeland (2003) kanatçık boyu ve eğiminin kanatçığın ısı direncine etkisini incelemiş ve sonucun fan gücüne, basınç düşüşüne ve hıza göre değişen çalışma şartlarına bağlı olduğunu gözlemlemiştir. Rahnama ve Farhadi (2004) ortak merkezli iki silindir arasına yerleştirilmiş radyal dikdörtgen kanatçıkların farklı şekilde dizilimlerini incelemiş ve çalıştıkları her konfigürasyon için radyal kanatçığın varlığından dolayı Nusselt sayısında azalma gözlemlemiştir. Başka bir

çalışmada LED’li otomotiv farlarında, LED birleşim noktası sıcaklığının araç hızına göre değişimi incelenmiş ve sisteme kanatçık ilave etmenin birleşim noktası sıcaklığını yaklaşık 4°C düşürdüğü görülmüştür (Jang ve Shin 2008).

Filipuzzi ve ark. (2007) ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS CFX 11.0’ı kullanarak otomobil arka farının termal davranışını incelemiş, konsept ve dizaynda değişiklik yapmışlardır. Doğal taşınım ve radyasyon tüm akışkan bölgesi hesaba katılarak incelenmiştir. İletimle olan ısı transferi de tüm parçalar da hesaba katılmıştır. Radyasyon ışın izleme metodu olan Monte-Carlo metoduyla çözdürülmüştür. İleriye dönük olarak LED’ler de incelenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada otomobil arka farında tatmin edici isabette termal davranış incelenebilmiştir, bu sonuca benzetim ve test arasındaki farkın %5 olması sayesinde erişilebilmiştir. Ayrıca LED’li aydınlatmanın da işletme koşullarında iyi sonuç verdiği görülmüştür. Şekil 2.4’te otomobil arka farının termal kamera sonuçları ve benzetim sonuçları görülmektedir. Ayrıca Şekil 2.5’te LED’li sistemin sonuçları görülmektedir.

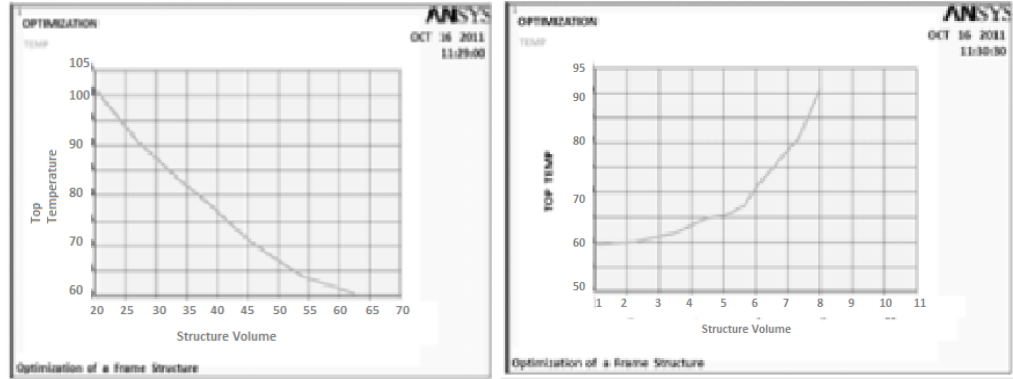


**Şekil 2.4.** (a) Termal kamerada elde edilen sıcaklık dağılımı, (b) ANSYS CFX de elde edilen sıcaklık dağılımı sonuçları. Filipuzzi ve ark. (2007)



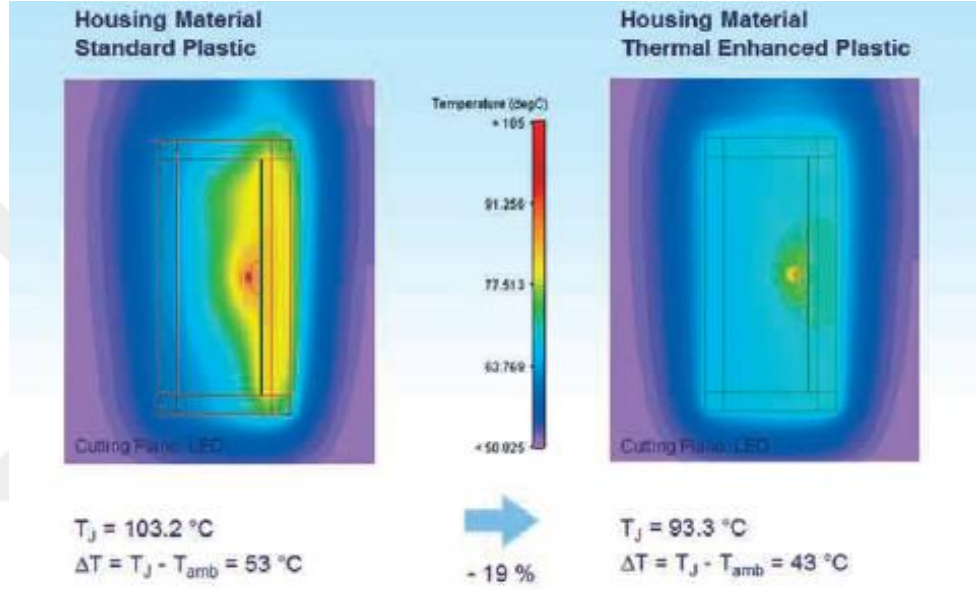
**Şekil 2.5.** LED termal analizi sıcaklık kıyaslaması. Filipuzzi ve ark. (2007)

Liu (2012), LED ışık kaynaklarında kullanılan kanatçıkların soğutmaya etkisini, farklı uzunluk, genişlik ve kanatçık sayısı varyasyonlarında sonlu elemanlar metodu kullanarak ANSYS yazılımı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda, kanatçık boyundaki artış ile LED birleşim noktası sıcaklığının azaldığı, kanatçık genişliğinin artışı ile LED birleşim noktası sıcaklığının artış gösterdiği (Şekil 2.6) ve de kanatçık sayısındaki artış ile birleşim noktası sıcaklığının düşmeye başladığı ancak belirli bir sayıdan sonra birleşim noktası sıcaklığında yavaş bir artış olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 2.6.** Kanatçık boyu, birleşim noktası sıcaklığı ve kanatçık genişliği birleşim noktası sıcaklığı arasındaki ilişki. Liu (2012)

Huber (2007), LED'lerin ısıı yönetimi konusunda çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, farklı LED gövdeleri malzemelerinde ve farklı kanatçık boyutlarında bilgisayar destekli soğutma analizleri yapılmıştır (şekil 2.7). Çalışma sonucunda termal olarak güçlendirilmiş plastik ile standart plastik gövde kullanımının birleşim noktası sıcaklığına etkisi gözlemlenmiştir.



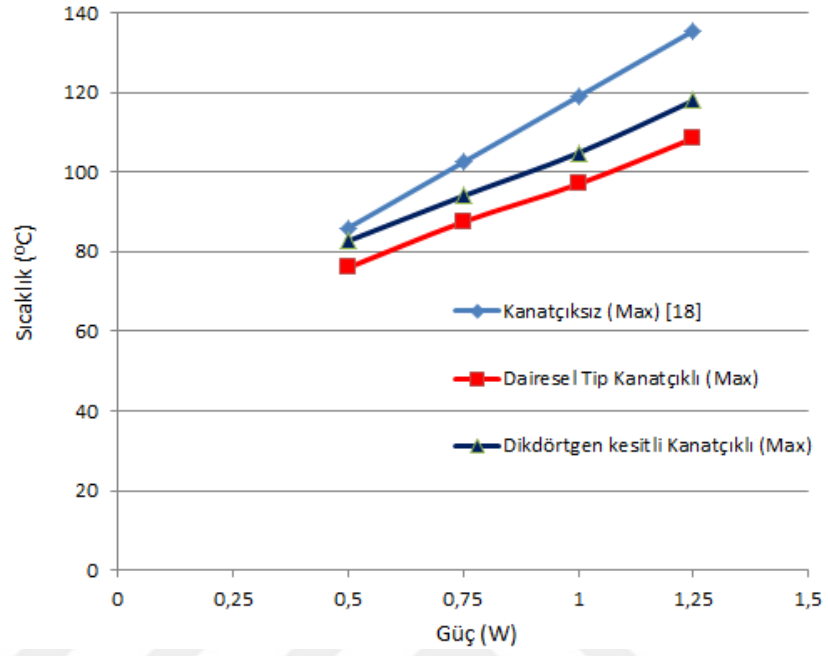
**şekil 2.7.** Farklı LED gövde malzemelerinde ısıı analiz sonuçları. Huber (2007)

Ayrıca farklı yüzey alanlarına sahip kanatçıkların LED birleşim noktası sıcaklığlarına etkileri incelenmiş ve yüzey alanı arttıkça birleşim noktası sıcaklığlarının dřtėė gözlemlenmiştir. 2W 'lık golden dragon tipi LED 30x30x10 mm boyutundaki kanatçık ile 74,5°C jonksiyon sıcaklığına ulaşırken, 30x30x20 boyutundaki 66,6 °C, 50x50x40 boyutundaki 54,5 °C birleşim noktası sıcaklığına ulaşmıştır (şekil 2.8).



**Şekil 2.8.** Farklı kanatçık boylarına göre birleşim noktası sıcaklıklarının değişimi. Huber (2007)

Sökmen ve ark. (2014), bir otomobil ön farı içinde kullanılabilecek çeşitli güçlerdeki (0,5, 0,75, 1 ve 1,25 W) LED aydınlatıcıların far içindeki ortam (çevre) sıcaklığının artmasıyla (25°C, 50°C ve 80°C) jonksiyon sıcaklıklarının nasıl değişeceği ve güvenilirlik limitini aşıp aşmayacağı ve aşarsa devre kartına alüminyum ilavesi ve kanatçık kullanımı gibi çözüm metotları hesaplamalı olarak araştırılmıştır. Eğer far içindeki ortam sıcaklığı yeterince düşükse (25°C) uygulanan LED güçlerinde göz önüne alınan LED’li ve dirençli devre kartı üzerindeki LED jonksiyon sıcaklıkları güvenilirlik limitini aşmamaktadır. Çevre sıcaklığı 50°C olduğunda sadece en yüksek güçteki (1,25 W) LED aydınlatıcının jonksiyon sıcaklığı güvenilirlik limitini aşmakta ve devre kartı arkasına 1 mm kalınlığında alüminyum eklenerek problem çözülmektedir. Ancak çevre sıcaklığı 80°C’ye yükseldiğinde alüminyum ilavesi yetersiz kalmakta ve yine en yüksek güçteki LED aydınlatıcı güvenilirlik limitini aşmakta, ayrıca bir düşük güçteki (1 W) LED aydınlatıcı da kritik sıcaklığa ulaşmaktadır. Bu durumda zorlanmış taşınımına başvurmamak için kanatçık kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Dikdörtgen kesitli kanatçıklar ve kanatçık sayıları belirlenmiş, dairesel kesitli kanatçıklar için optimum kanatçık arası mesafesi hesaplanarak yapılan analizlerde dairesel kesitli kanatçık kullanılarak LED aydınlatıcıların güvenilir biçimde soğutulabileceği görülmüştür (Şekil 2.9). Ayrıca muhtemel zorlanmış taşınımın etkilerini görmek için çeşitli ısı taşınım katsayıları için jonksiyon sıcaklıkları hesaplanmış ve ısı taşınım katsayısının artmasıyla jonksiyon sıcaklıklarının düştüğü belirlenmiştir.



**Şekil 2.9.** Kanatçısız ve farklı kesitli kanatçıklarla soğutulan LED'in birleşim noktası sıcaklıkları. Sökmen ve ark. (2014)

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Otomotiv Aydınlatma Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi, Fonksiyonları ve Uygulamaları

Otomotiv aydınlatma sistemlerinin temel amacı, güvenli bir sürüş için, sürücüye yolun aydınlatılmasını ve aracın dışarıdan farkedilmesini sağlamak, çevrede bulunan diğer yaya ve araç kullanıcılarının aracın varlığı, pozisyonu, büyüklüğü, sürüş yönü ve hızı hakkında dikkatini çekmektir.

İlk araç aydınlatma sistemleri resmi olarak 1880’lerde ortaya çıkmıştır. Temel çalışma prensibi eski gaz lamblarına benzeyen, asetilen veya yağ ile çalışan bu ürünler rüzgar, yağmur gibi hava olaylarına dayanmasına karşılık, kısa zaman sonra yerini elektrikli lambalara bırakmıştır.



**Şekil 3.1.** Gaz yağı ile çalışan otomotiv aydınlatma lambası

İlk elektrikli otomotiv aydınlatma ürünü 1898 yılında çıkmıştır ancak zorlu çevresel şartlarda kısa flaman ömürleri ve yeterli akımı üretecek dinamoların büyük boyutlarda olması kullanımını kısıtlamıştır.

1908 yılında Cadillac, modern araç elektrik sistemine uygun, zorlu koşullarda dahi güvenle çalışabilen, otomotiv aydınlatma ürününü tanıtmıştır. Bu gelişme, elektrikli ışık kaynaklarının ve elektrikli otomotiv aydınlatma ürünlerinin kullanımının oldukça yaygınlaşmasına olanak sağlamıştır.

Metal reflektörlerin ve yeni ampül soketlerinin kullanıma başlanması, otomotiv aydınlatma sistemlerinde kısa ve uzun gibi fonksiyonların ayrılmasına ve daha iyi ışık dağılımı elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ampül ve otomotiv aydınlatma teknolojisindeki gelişmeler sis, stop, 3.stop gibi yeni fonksiyonların geliştirilmesini ve kullanımının yaygınlaşmasını tetiklemiştir. Otomotiv aydınlatmasında önemli gelişmeler kronolojik olarak aşağıda sıralanmıştır.

-1917... Özel kaplamalı metal reflektör ve yeni ampul soketlerinin kullanılmaya başlanması. Bu reflektörlerde daha gelişmiş odaklama ayarları yapılabiliyordu.

-1919... Kısa ve uzun far için ayrı reflektörlerin kullanılmaya başlanması. Bu düzenleme ile birlikte ışığın dağılım sorunu da kısmen çözülmüş oldu.

-1926... Stop lambasının kullanılmaya başlanması.

-1931... Ön sis farının kullanılmaya başlanması. Sis farı özel optik yapısı ile kısa farın aksine yüzeyi aydınlatıyor, ışığın sisli havalarda geri yansımalarını engelleyebiliyordu.

- 1945... Asimetrik ışık deseninin kısa farlarda kullanılmaya başlanması ile yolun sağ tarafına daha fazla ışık yansıtılması sağlanarak karşıdan gelen trafiğin üretilen ışıktan rahatsız olması engellendi.
- 1948... Statik viraj farı ilk defa Tucker Torpedo'da kullanıldı.
- 1958... BM Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE), otomobil aydınlatmasının üye ülkeler tarafından uyulması gereken tüm standartlarını belirledi.
- 1962... Otomobil aydınlatmasında kullanılan ilk halojen ampul olan H1 üretildi.
- 1966... Arka sis farı kullanılmaya başlandı.
- 1974... 3. stop lambasının gerideki sürücüyü daha iyi uyardığı bir psikolog tarafından keşfedildi. Elektrikli far seviye ayarlama mekanizması kullanılmaya başlandı.
- 1983... Elipsoidal far üretildi.
- 1992... Xenon far ilk defa BMW 7 serisinde kullanıldı. H7 ampul üretildi. LED'li 3. stop lambası ilk defa BMW 3 Cabrio'da kullanıldı.
- 1997... Mavimsi ışık veren ampuller ve Xenon gazı içeren yüksek performanslı halojen ampuller üretildi.
- 2000... Bi-Xenon far ilk defa Saab 9.5 serisinde kullanıldı.
- 2003... Viraj farları Avrupa ülkelerinde kullanılmak üzere onay aldı. LED'li park ve gündüz farı (DRL) ilk defa Audi A8'de kullanıldı. Statik ve dinamik viraj farı ilk defa Opel Signum'da birlikte kullanıldı.
- 2005... Yasal yeterliliğe sahip ilk LED'li kısa far prototipi üretildi.
- 2007... Tüm fonksiyonları LED'le çalışan far ilk defa Audi R8'de kullanıldı.
- 2009... İlk kamera temelli, ışık ayarlı far E200'de kullanılmaya başlandı.

-2012...Ağır araç segmenti için tüm fonksiyonları LED'le çalışan ilk far DAF tarafından tanıtılmıştır.

Otomotiv aydınlatma teknolojisinin gelişmesiyle geleneksel ampuller ve halojen ampullerden sonra son olarak LED'li sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Uzun ömürlü olmaları, az enerji sarfıyatı yapmaları, çevre dostu olmaları ve kısa tepki süreleri LED'leri önplana çıkaran özellikleridir. Ayrıca son yıllardaki ışık verimliliğindeki artış otomotiv teknolojisinde giderek diğer aydınlatma ürünlerinin yerini almasını sağlamıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. LED'li aydınlatma ürünlerinin gelişimi

LED'li ürünlerin otomotiv aydınlatmada rol almaya başlaması 1990'lı yılların başlarında üst stop lambalarıyla olmuştur. Günümüzde ise bu teknolojinin ilerlemesi ve yayılmasıyla aydınlatma fonksiyonlarının %95'i LED'lerin yardımıyla olmaktadır. LED'lerin arka stop lambalarına uygulanması 2000'li yılların başlarında olmuştur. Sinyal, stop, geri vites fonksiyonlarının ardından 2005'te ilk tam LED stop lambası piyasaya sunulmuştur. Bu

gelişmeyle beraber araç servis zamanı, düşük tasarım alanı, enerji sarfıyatı gibi problemlere çözüm yolu olmuşlardır. LED'lerin performansındaki son on senedeki büyük artış, onları farlar içinde uygulanabilir hale getirmiştir. 2002 yılı başlarında, ilk LED'li pozisyon lambası geliştirilmiş ardından gündüz sürüş, sis, kısa hüzme ve uzun hüzme fonksiyonları LED'li olarak geliştirilerek tam LED'li farlar piyasaya çıkmıştır.

Otomotiv aydınlatma sistemleri temel olarak ön aydınlatma (far) ve arka aydınlatma (stop) lambalarından oluşur. Ön farların görevi yol üzerinde aydınlatma sağlayarak, sürücünün trafik durumunu anlamasını ve herhangi bir engel ve tehlikenin zamanında farkedilmesini sağlamaktır. Ayrıca karşıdan gelen araç için, aracın farkedilmesi görevini görürler. Yine ön grupta bulunan sinyal lambaları, aracın dönüş yapacağını veya tehlikeli bir durumun olabileceğini bildirir.

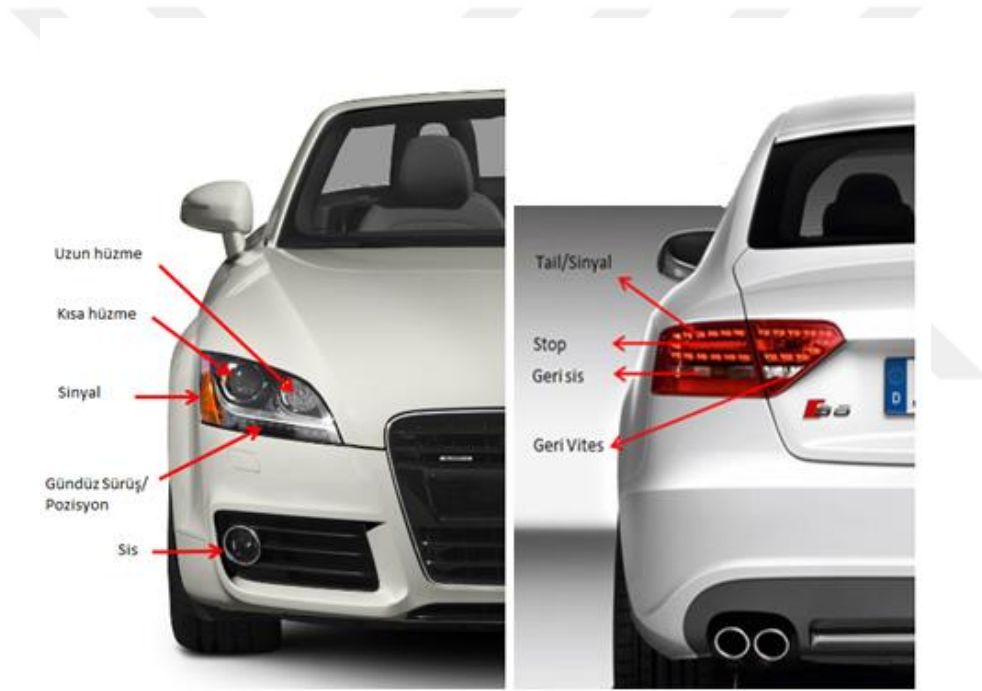
Ön aydınlatma grubunda bulunan ürünlerin temel fonksiyonları;

- Kısa hüzme,
- Uzun hüzme,
- Sinyal,
- Park,
- Gündüz sürüş fonksiyonları
- Sistir (Şekil 3.3).

Aracın arka bölümüne konumlanan stop lambaları ise, hava şartlarına göre aracın konumunu belirtir ve farkedilmesini sağlar. Ayrıca, aracın nasıl hareket ettiğini ve hangi yönde hareket ettiğini belirtir. Aracın frene basılmasıyla aktifleşen stop fonksiyonu, arkadan gelen aracı bu durum için uyarır. Sinyal fonksiyonu ise aracın hangi yöne döneceği konusunda bilgi verir ve tehlikeli bir duruma karşı uyarır. Geri vites fonksiyonu ise araç geriye doğru giderken yolun aydınlatılmasını sağlar.

Arka aydınlatma grubunda bulunan ürünlerin temel fonksiyonları;

- Stop,
- Tail
- Sinyal
- Park
- Gerivites
- Geri sistir (Şekil 3.3).

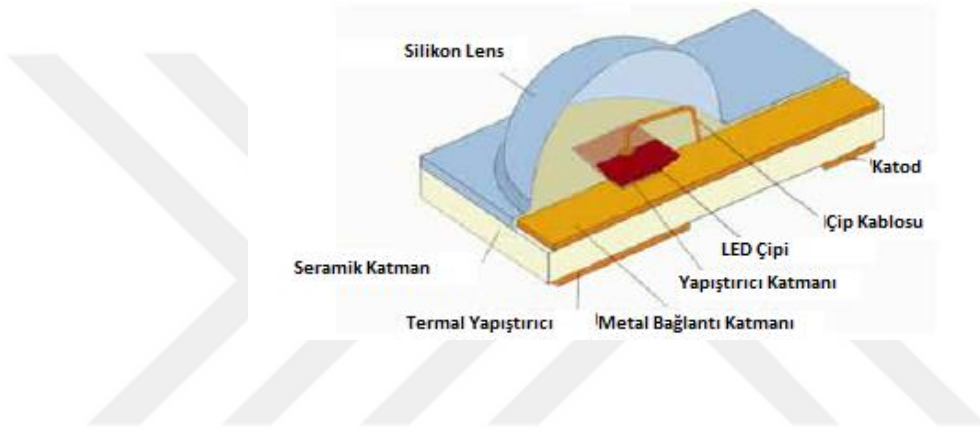


**Şekil 3.3.** Ön ve Arka Aydınlatma Ürünleri ve Fonksiyonları

### **3.2. LED'lerin Çalışma Prensibi, Isınma Problemi ve Otomotiv Aydınlatma Sisteminde Isıl Yönetimin Önemi**

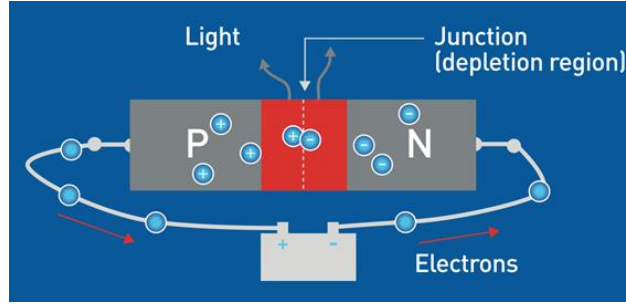
LED (Light Emitting Diode, Işık Yayan Diyot), yarı-iletken, diyot temelli, ışık yayan bir elektronik devre elemanıdır (Şekil 3.4). 1920'lerde Rusya'da icat edilmiş ve 1962 yılında

Amerika'da pratik olarak uygulanabilen elektronik bir bileşen haline getirilmiştir. Yeterli gerilim uygulandığında, elektronların pozitif kutuptan negatif kutuba hareketi ve elektron delikleri ile birleşmesiyle, foton enerjisi açığa çıkaran ışık kaynaklarıdır. Klasik ışık kaynaklarına göre düşük enerji tüketimi, uzun ömrü, sağlamlığı, küçük boyutu ve hızlı açılıp kapanabilmesi gibi avantajları vardır ancak, biraz daha pahalıdır.

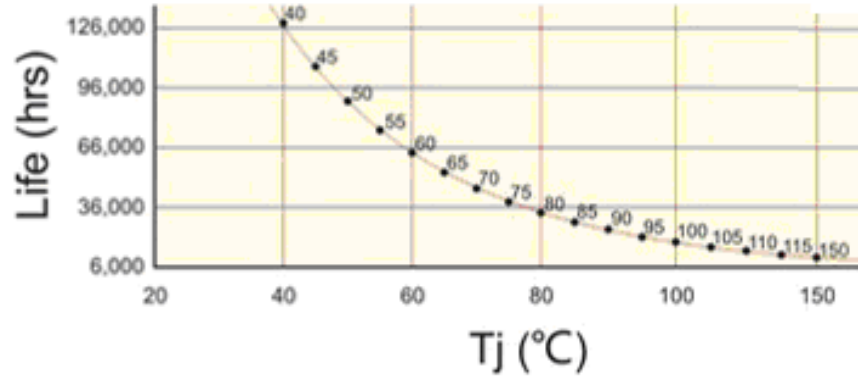


**Şekil 3.4.** LED yapısı

LED'lerde elektron hareketlerinin olduğu ve enerji dönüşümünün meydana geldiği bölüm jonksiyon noktası (birleşim noktası) olarak adlandırılır (Şekil 3.5). LED'lerdeki elektriğin büyük bir bölümü bu bölgede ısıya dönüşür. Yapılan çalışmalarda ısıya dönüşen enerjinin , toplam enerjinin %70'i, ışığa dönüşünün ise %30 civarında olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan bu ısının uzaklaştırılmaması, LED'lerin daha yüksek sıcaklıklarda çalışmasına, doğal olarak performansının düşüp, güvenilirliğinin azalmasına yol açacaktır. LED'lerin şartnameler ile belirlenmiş jonksiyon sıcaklığını aşması, ömürlerinin ciddi anlamda azalmasına, ışık kalitelerinin düşmesine ve hatta fonksiyonunu tamamen yitirmesine yol açmaktadır. Şekil 3.6'da LED ömrü – jonksiyon sıcaklığı ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. LED Birleşim Noktası



Şekil 3.6. LED ömrü - birleşim noktası (jonksiyon) sıcaklığı ilişkisi

LED'in ısı performansında düşüşün üç önemli etkisi vardır;

1- Düşen ışık miktarı ve verim: LED birleşim noktası sıcaklık artışının en önemli etkilerinden biri düşen ışık miktarı ve buna bağlı olarak düşen enerji verimidir. LEDdeki her  $3^{\circ}\text{C}$  sıcaklık artışında ışık miktarı %1 olacak şekilde lineer olarak düşer. Bu yüzden,  $25^{\circ}\text{C}$  çalışma sıcaklığında 100 lümen üretecek olarak geliştirilen LED, sıcaklığı  $80^{\circ}\text{C}$  dereceye çıktığında sadece 80 lümen ışık üretir.

2- LED'in beklenen ömründe düşüş: LED üreticileri tarafından verilen maksimum sıcaklığı aşıldığında LED'in ömrü önemli ölçüde kısalmır. (Şekil 3.6.)

3- Renk değişikliği: LED sıcaklığının artması, beyaz LEDden yayılan ışık renginin yavaş yavaş daha donuk tonlara gitmesine neden olur ve bu durum kullanıcı tarafından kalite düşüklüğü olarak algılanır.

Otomotiv LED aydınlatma ürünlerinin soğutma sistemlerinin tasarımı ve ısı analizlerinin yapılması konusu geliştirilmeye açık bir konudur. LED'li sistemlerin sağladığı avantajların yanında, tüketicilerin de bu sistemlere olan talebi arttıkça otomotiv üreticileri tarafından istekler artmakta ve sürekli geliştirme istenmektedir. Rekabet gücünün ve ülkemize gelen proje sayısının artması için soğutma sistemleri tasarımı geliştirilmesi gereken bir konudur.

Proje ile, oluşabilecek problemlerin analizlerle ve deneylerle henüz geliştirme aşamasında görülmesi, muhtemel üretim hatalarının ve ıskarta kayıplarının önleminin alınmasını sağlayacaktır. Ayrıca ülkemiz için ekonomik kayıpların en büyüğü otomotiv yan sanayisinde proje ürününün Ar-Ge çalışmasının eksik yada yetersiz yapılması nedeniyle, çözümlenmesi gereken özellikle soğutma kaynaklı problemlerin sonradan araçlarda ortaya çıkması ve araç üreticisi firmaların araçları piyasadan toplatmasına kadar gidebilecek süreçlerdir. Analizlerin yapılamaması ile süre gelen ve son üründe araçta tespit edilen problem nedeniyle yüksek maliyetli çözüm yoluna gidilmesi gerekmektedir. Erken ürün yönetimiyle en uygun malzemeler kullanılabilecek, optimum tasarımlar yapılabilecek ve tasarım aşamasında maliyet düşümleri yapıp en uygun maliyetli ürünler üretilebilecektir.

### 3.3. LED’Lerde Isıya Giden Gücün Hesaplanması

LED’lere verilen toplam güç ışınlam ve ısı enerjisine dönüştürölür. Yapılan araştırmalarda %25 ışınlam, %75 ısı olarak enerji dönüşümünün meydana geldiğı görölse de, bu çalışmada, firmanın kendi bilgi birikimi ile oluşturduğu bağıntılar kullanılmıştır.

LED’lere giden güç ışınlam ve ısı olarak harcanmaktadır. Işınlama giden minimum ışık akısı, LED’in sağlayacağı ve optik mühendisleri tarafından belirlenen değıerdir. Radyasyon katsayısı ise 318’dir.

$$P_{LED} = P_{rad} + P_{ısı} \quad (3.1)$$

$$P_{rad} = \text{minimum ışık akısı} / \text{radyasyon katsayısı} \quad (3.2)$$

Buna göre;

Araçtan ürüne giden gerilim 13,5 V’tur. PCB de ise bu değıer gerekli ışık değıerlerini sağlayacak şekilde dağıtılmaktadır. Bu nedenle DRL PCB’ye giden gerilim ve akım değıerleri avometre ile ölçölmüştür. Avometre ile okunan değıerler aşağıdaki gibidir.

Gerilim: 3,1 V

Akım: 0,17 A

Güç: 0,527 W/LED

Isıl analiz programında ışıma giden güç ayrılmadığı için 0,527 W'ın tamamı sisteme tanıtılmamıştır. Firmanın kendi bilgi birikimi ile oluşturduğu aşağıdaki standart bağıntı kullanılmıştır.

3.1 denklemine göre DRL fonksiyonu için;

$$P_{LED} = 0,527 \text{ W}$$

$$\text{Min. Işık akısı} = 27 \text{ lm}$$

$$0,527 = 27/318 + P_{ISI}$$

$$P_{ISI} = 0,44 \text{ W olarak hesaplanır.}$$

Sis LED için ise;

Araçtan ürüne giden gerilim 13,5 V'tur. PCB de ise bu değer gerekli ışık değerlerini sağlayacak şekilde dağıtılmaktadır. Bu nedenle sis PCB'ye giden gerilim ve akım değerleri avometre ile ölçülmüştür. Avometre ile okunan değerler aşağıdaki gibidir.

$$\text{Gerilim: } 6,2 \text{ V}$$

$$\text{Akım: } 0,72 \text{ A}$$

$$\text{Güç: } 4,464 \text{ W}$$

DRL PCB için yapılan hesaplama sis PCB için'de yapılmıştır.

Beyaz ledler için radyasyon katsayısı 318 lm/W'dir. Minimum ışık akısı ise optik tasarım grubunun belirlediği 450lm değeri alınmıştır. 3.1 denklemine göre;

$$P_{LED} = 4,464 \text{ W}$$

Min. Işık akısı= 318 lm

$$4,464 = 450/318 + P_{ISI}$$

$P_{ISI} = 3,04 \text{ W}$  olarak hesaplanır. Bu değer iki adet LED için bulunan değerdir. Bir adet LED için 1,52 W ısı analiz programında sisteme tanıtılmıştır.

#### 3.4. LED'lerde Jonksiyon Sıcaklığının Hesaplanması

Jonksiyon bölgesi fiziksel olarak sıcaklık ölçer ya da herhangi bir ölçüm aleti ile sıcaklığı ölçülebilen bir bölge değildir. Aynı zamanda ışığın üretildiği bölge olduğu için bu bölgeye zarar vermeden jonksiyon sıcaklığının hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada komponent sıcaklık testlerinde LED üzerindeki sıcaklık termal kamera ile okunmuştur. Ancak okundan değer birleşim noktası ( $T_j$ ) değil lehim noktası ( $T_{lehim}$ ) olarak adlandırılan sıcaklıktır. Bu durumda birleşim noktası sıcaklığının hesaplanması 3.3 denklemi ile yapılır.

$$V = I_{LED} \times R_{LED}$$

$$\Delta T_j = P_{ISI} \times R_{LED}$$

$$\Delta t_{j-lehim} = \frac{\Delta T_{j-lehim}}{P_{LED}}$$

$$T_j = R_{LED} \times P_{isi} + T_{lehim} \quad (3.3)$$

Burada  $R_{LED}$  değeri LED şartnamesinde üretici tarafından verilir. (EK 1)

### 3.5. Şartnamelerin Belirlediği Değerler

Üründen karşılanması istenen gerekli termal özellikler, müşterinin belirlediği şartnamelerde yer almaktadır. Buna göre yapılacak sıcaklık testinin özellikleri Şekil 3.7’de belirtilmiştir.

**5.3 Temperaturprüfung für LED-System unter klimatischen Belastungen**  
**Temperature test for LED fog lamps under climatic loads**

| Stützstellen-<br>Temperaturen                                  | $T_{\text{außen}} /$<br>$T_{\text{outdoor}}$<br>in °C |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Normalbetrieb/<br>Normal operation                             | 25                                                    |
| Fahrtbetrieb<br>Sommer/ Driving<br>operation, summer           | 70                                                    |
| Fahrtbetrieb<br>Heißland/ Driving<br>operation, hot<br>country | 95                                                    |

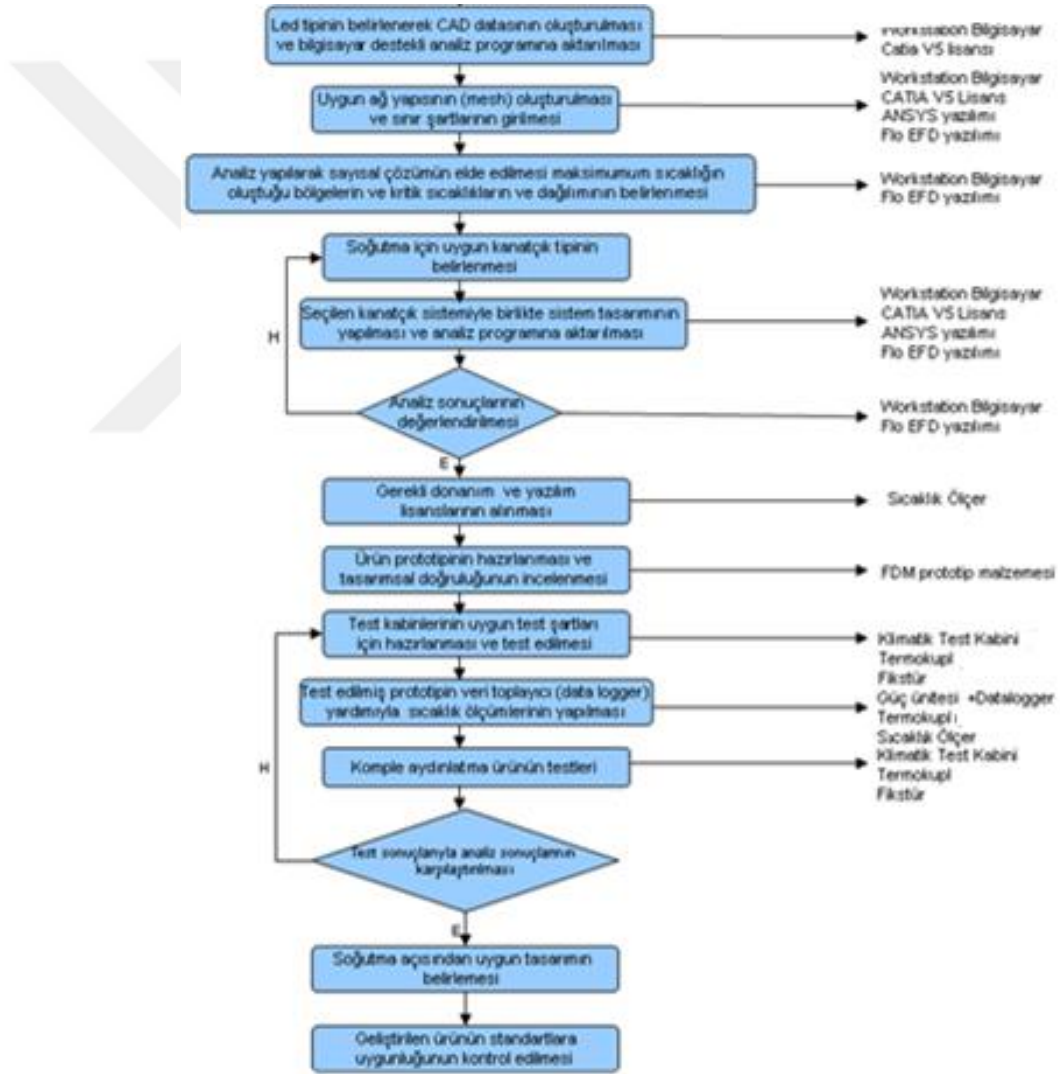
- no damage
- no deformation
- no cracks (visible or invisible)
- no yellowing
- Recovery of the seal characteristics in accordance with requirements specification's conditions as well as no damage to the seals
- no corrosion
- Increases in perceptible noises after end of test  $\leq 3$  dB (A)
- no visible deposits / vapours in the hot or cold appearance
- The temperatures must be at least 5 K below the limit temperature specified for each component and each material.

Şekil 3.7. Müşteri şartnamesinde tanımlı test değerleri

Şartnameye göre 25°C, 70°C ve 95°C ortam sıcaklıklarında test yapılması gerekmektedir. Bu test sonucunda ise komponentlerde herhangi bir hasar, deformasyon, sararma, korozyon istenmemektedir. Ayrıca komponentlerin ve malzemelerin her birinin belirlenen sıcaklıktan 5K daha düşük olması istenmektedir. Bu da LED şartnamesinde belirtilen 150°C jonksiyon sıcaklığının maksimum 145°C olması anlamına gelmektedir. Ayrıca termal simülasyonlar ile sıcaklık testleri arasından oluşabilecek farklar ve simülasyon-test farkı için %10'luk emniyet payı gözönünde bulundurulduğunda termal simülasyonlar sonucu oluşacak maksimum sıcaklığın 130°C'yi geçmemesi gerekmektedir. Sonuç olarak, soğutma sistemi tasarımlarında sınır değer olarak 130°C sıcaklık dikkate alınacaktır. Bu sıcaklığı aşmayan tasarım kabul edilecektir.

### 3.6. Çalışma Adımları

Çalışmada izlenen teknik adımlar ve bu adımlarda kullanılan teçhizatlar şematik olarak Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

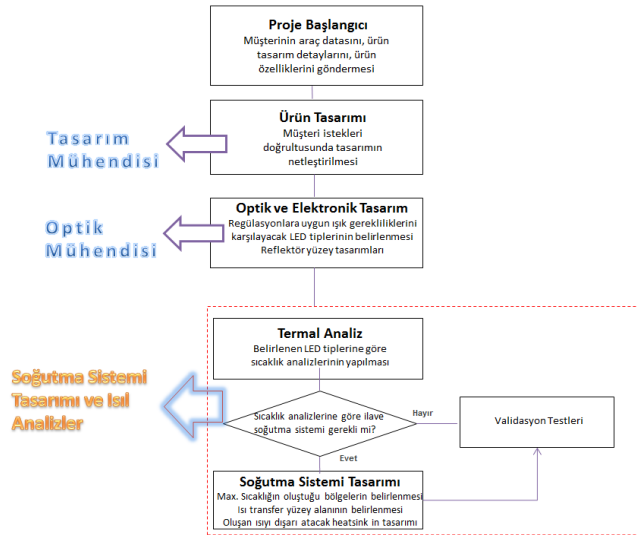


Şekil 3.8. Teknik Çalışma Adımları

### 3.7. Teknik Çalışmalar

#### 3.7.1. Soğutma sistemi tasarımı aşamaları

Otomotiv aydınlatma sistemlerinde soğutma sistemi tasarımı, müşterinin araç datasını, tasarım detaylarını ve ürün özelliklerini göndermesi ile başlar. Yapılan fizibilite çalışmalarının ardından, müşteri istekleri doğrultusunda tasarım netleştirilir. Optik ve elektronik tasarım aşamalarında LED tipinin belirlenmesi ve yansıtıcı yüzeylerin oluşturulmasıyla tamamlanan katı model, termal analizlerle incelenir ve soğutucu sistem gereksinimi durumunda soğutma sistemi tasarımı tamamlanır. Tamamlanan tasarımlar, müşteri şartnameleri baz alınarak sıcaklık testlerine tabi tutulur ve test sonuçları analiz sonuçları ile karşılaştırılır. Otomotiv aydınlatma sistemlerinde soğutma sistemi tasarımı aşamaları özet olarak Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Otomotiv LED’li aydınlatma soğutma sistemi tasarım süreci

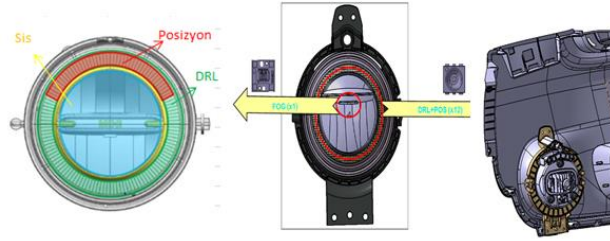
İlerleyen bölümlerde soğutma sistemi tasarım aşamaları detaylı olarak verilmiştir.

### **3.7.2. Ürün tanımı ve teknik özellikleri**

Projede gerekli termal analizlerin yapılacağı ve soğutma sisteminin tasarlanacağı ürün olarak BMW R5X sis lambası seçilmiştir. Bu ürün müşterinin üreteceği yeni aracın tampon bölümüne yerleştirilecektir. Bu ürünün seçilmesinde başlıca nedenler, üründen 3 ayrı aydınlatma fonksiyonunun (sis, pozisyon, DRL- Daytime Running Lamp) bir arada istenmesi ve aydınlatmanın LED'lerle gerçekleştirilecek olması, ürünün boyutlarının küçük olmasından dolayı ve sis fonksiyonunda optik regülasyonlar gereği yeterli ışığı sağlamak için çok güçlü power LED kullanılacak olması ve bu nedenle ürün LED üzerinde yüksek sıcaklıklar oluşturacak olması, bu durumun LED ömrünü çok kısaltmasından dolayı sıcaklığın dışarıya atılması için etkin bir soğutma sistemi tasarımı gerektirecek olmasıdır.

Ürün Tanımı: BMW R5X/R6X Sis Farı

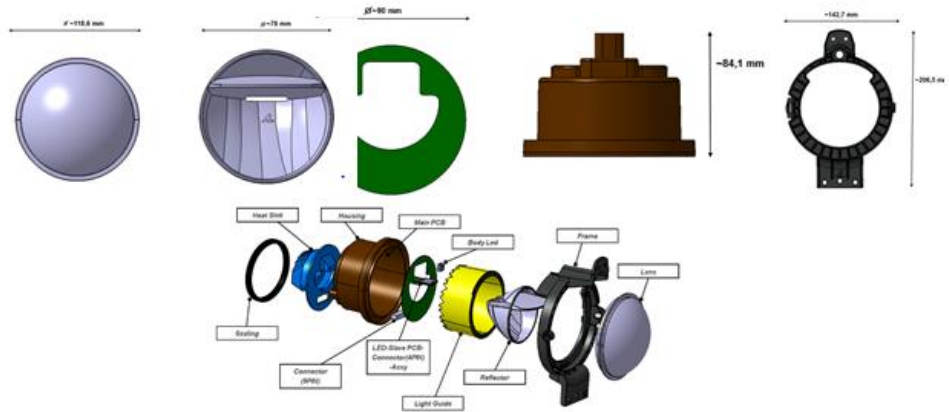
Araç kaporta datası ile birlikte ürün konsepti Şekil 3.10'daki gibidir. Sis, DRL ve pozisyon fonksiyon görevlerini yapacak, sis fonksiyonunu tek LED ile gerçekleştirecek, DRL ve pozisyon fonksiyonlarını onu çevreleyen 12 adet LED ile gerçekleştirecek ürün tasarımı istenmiştir. Ürün aracın tampon bölgesine montajlanacaktır.



**Şekil 3.10.** Müşteriden gelen ürün ve kaporta verileri

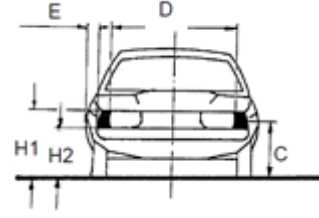
### 3.7.3. Ürün / optik / elektronik tasarım aşamasında yapılanlar

Ürün tasarımı aşamasında, ürünün komponent bazında tasarımları belirlenir. Nihai tasarım oluşturulurken; müşteri istekleri ve müşterinin belirlediği ürün ölçüleri (Şekil 3.11), regülasyonlarla belirlenen ürün konumları (Şekil 3.12) dikkate alınmış ve tasarım mühendisi tarafından bu aşama tamamlanmıştır.



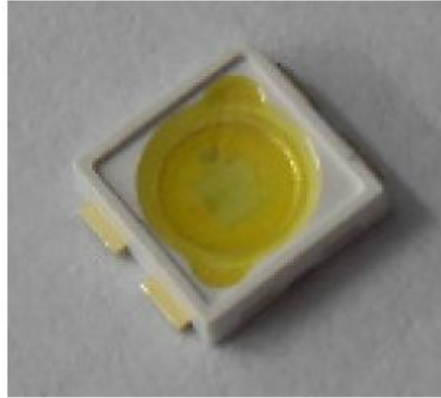
**Şekil 3.11.** Müşteri tarafından istenen ölçülere örnekler

| INSTALLATION | Min(mm) | Max (mm) |
|--------------|---------|----------|
| Front Fog    | 250*    | 800*     |
| Position     | 350*    | 1500 *   |
| DRL          | 250 *   | 1500 *   |



**Şekil 3.12.** Regülasyonlarla belirlenen ürün konumları

Regülasyonlarla belirlenen değerlere göre gerekli ışığı sağlayan LED'lerin seçimi ve optik yüzeylerin tasarımı optik mühendisleri tarafından yapılmıştır. DRL ve pozisyon fonksiyonu için optik regülasyonlarda istenen değerleri sağlayacak LED seçimi yapılmıştır. Bu iki fonksiyon için 2W'a kadar çalışan SPW08F0D tipi LED (Şekil 3.13) uygun görülmüştür. Bir üründe 12 adet kullanılacaktır. LED'e ait şartname özellikleri Şekil 3.14'te verilmiştir.



**Şekil 3.13.** SPW08F0D tipi LED

| Parameter                                       | Symbol      | Value                                  | Unit             |
|-------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|------------------|
| Power Dissipation*1                             | $P_d$       | 2.0                                    | W                |
| Forward Current<br>( $T_a = 25^\circ\text{C}$ ) | $I_F$       | 100 (min.)<br>350 (typ.)<br>500 (max.) | mA               |
| Operating Temperature                           | $T_{opr}$   | -40 ~ +125                             | $^\circ\text{C}$ |
| Storage Temperature                             | $T_{stg}$   | -40 ~ +125                             | $^\circ\text{C}$ |
| Junction Temperature                            | $T_j$       | 150                                    | $^\circ\text{C}$ |
| Thermal Resistance*2                            | $R_{th-JA}$ | 40                                     | K/W              |
|                                                 | $R_{th-JS}$ | 12                                     | K/W              |

\*1. Care is to be taken that power dissipation does not exceed the absolute maximum rating of the product.

\*2. Mounted on Metal PCB, Area of 950mm<sup>2</sup> per LED.  $R_{th-JC}$  is Junction to case (bottom of metal PCB) temp.

### Şekil 3.14. DRL/POS LED Özellikleri

Sis fonksiyonu için optik regülasyonlarda istenen değerleri (Şekil 3.15) sağlayacak LED seçimi yapılmıştır. Sis fonksiyonunda ışık şiddeti ve gereklilikler yüksek olduğu için yeterli ışığı sağlamak amacıyla OSRAM OSTAR Headlamp Pro LE UW U1A2 01 tipi LED (Şekil 3.16) uygun görülmüştür. Bir üründe 1 adet kullanılacaktır. LED'e ait özellikler Şekil 3.7'de verilmiştir.

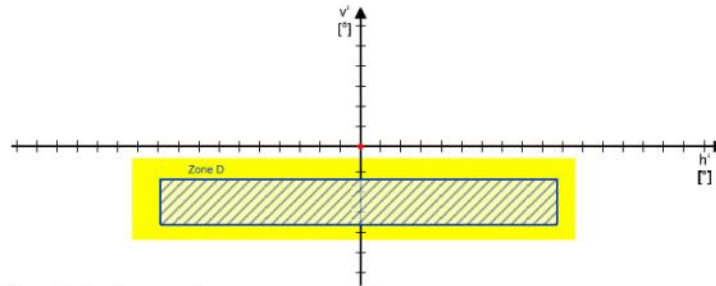
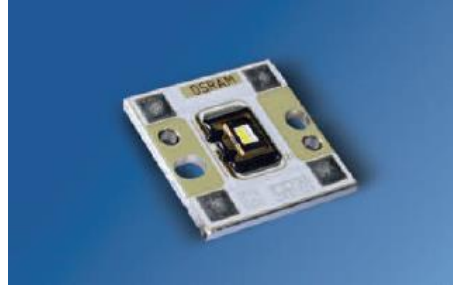


Figure 6 – fog-lamp – performance measurement

Position of Zone D valid for vertical adjustment of the cut-off line to  $-1^\circ$ .

| photometric characteristics | Horizontal position ( $h'$ ) | Vertical position ( $v'$ )    | Illuminance                              | Remark                     |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| Intensity Zone D            | $\pm 10^\circ$               | $-3.5^\circ \dots -1.5^\circ$ | $3 \text{ lx} \leq E \leq 25 \text{ lx}$ | Illuminance to be measured |

### Şekil 3.15. Sis fonksiyonu için regülasyonlarda belirtilen değerler



**Şekil 3.16.** Sis regülasyon standartı ve OSRAM OSTAR Headlamp Pro LE UW U1A2 01 tipi LED

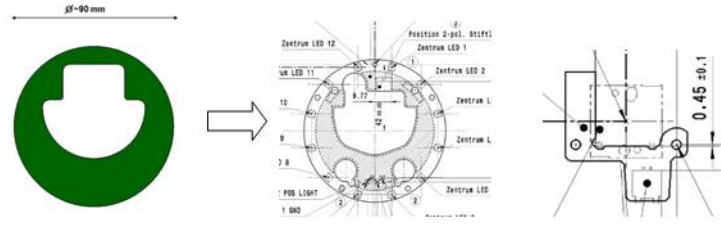
| Maximum Ratings<br>Grenzwerte                                                                                         |                      |                                    |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| Parameter<br>Bezeichnung                                                                                              | Symbol<br>Symbol     | Values<br>Werte                    | Unit<br>Einheit |
| Operating temperature range<br>Betriebstemperatur                                                                     | $T_{op}$             | -40 ... 135                        | °C              |
| Storage temperature range<br>Lagertemperatur                                                                          | $T_{stg}$            | -40 ... 135                        | °C              |
| Junction temperature for short time applications *<br>Sperschichttemperatur für Kurzzeitanwendung *                   | $T_j$                | 175                                | °C              |
| Junction temperature<br>Sperschichttemperatur                                                                         | $T_j$                | 150                                | °C              |
| Forward current<br>Durchlassstrom<br>( $T_{Board} = 25\text{ °C}$ )                                                   | $I_F$                | 50 ... 1200                        | mA              |
| Forward current pulsed<br>Durchlassstrom gepulst<br>( $t \leq 4\text{ ms}$ , $D = 0.5$ , $T_{Board} = 25\text{ °C}$ ) | $I_{F\text{ pulse}}$ | 2000                               | mA              |
| Reverse voltage<br>Sperrspannung<br>( $T_{Board} = 25\text{ °C}$ )                                                    | $V_R$                | not designed for reverse operation | V               |
| ESD withstand voltage<br>ESD Festigkeit<br>(acc. to IEC 61000-4-2 - air discharge)                                    | $V_{ESD}$            | up to 15                           | kV              |

Note: \*The LED chip exhibits excellent performance but slight package discoloration occurs at highest temperatures. Exemplary median lifetime for  $T_j = 175\text{ °C}$  is 100h.

Anm: \*Auch bei höchsten Temperaturen zeigt der LED Chip sehr gute Leistungsmerkmale, aber es kann eine leichte Verfärbung des Gehäuses auftreten. Die mittlere Lebensdauer bei  $T_j = 175\text{ °C}$  beträgt 100h.

**Şekil 3.17.** Sis LED'in temel özellikleri

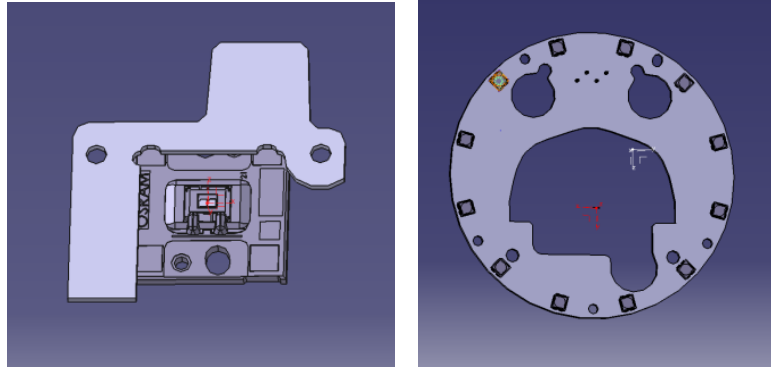
Elektronik tasarım aşamasında ise belirlenen LED'lere ve tasarım mühendisi tarafından öngörülen PCB boyutlarına göre elektronik devre tasarımı yapılmıştır. Sis ve DRL, pozisyon PCB tasarımı tamamlanmıştır. Müşteri isteğine uygun olarak Sis ve DRL için ayrı 2 adet PCB oluşturulmuştur (Şekil 3.18).



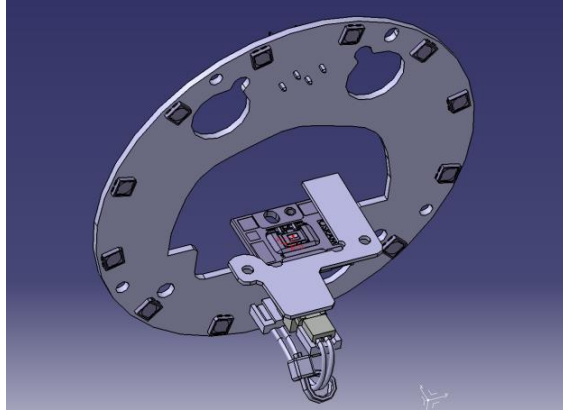
**Şekil 3.18. DRL PCB ve Sis PCB**

#### 3.7.4. Elektronik komponent tasarım aşaması

Ledlerin ve PCB boyutlarının belirlenmesinin ardından ısı analizlerde ihtiyaç duyulacak PCB ve LED'lerin tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.19). Komponent tasarımları CATIA programı ile yapılmıştır (Şekil 3.20). Modellenen bu komponentlerin, daha sonra ağ yapısı oluşturularak ısı analiz programına aktarılmıştır.



**Şekil 3.19. Sis ve DRL PCB**

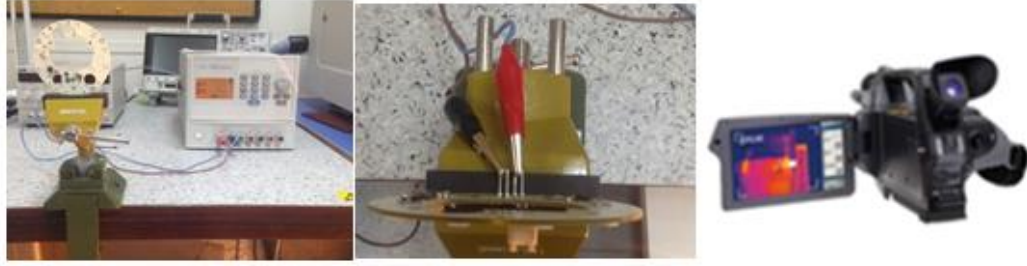


**Şekil 3.20.** Araç konumuna göre montajlanmış sis ve DRL PCB

#### **3.7.5. Komponent sıcaklık ölçümleri ve ısı analizler**

Komponent sıcaklık ölçümleri ve ısı analizleri dahilinde, DRL/POS PCB ve sis PCB için sıcaklık testleri yapılmıştır. Bu test, oda sıcaklığında, PCB'lerdeki fonksiyonlar çalıştırılıp, PCB üzerindeki sıcaklık dağılımının ve oluşan en yüksek sıcaklığın termal kamera ile gözlemlenmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Ürünün çalışma koşulları, müşteri test şartnameleri ile belirlenmiştir. Buna göre, 13,5V potansiyelde LED'ler çalıştırılarak maksimum sıcaklığa ulaşılması beklenmiştir. Sıcaklığın maksimuma ulaşp zamanla değişim göstermediği durumda termal kamera ile ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sırasında, güç kaynağı, DRL, sis PCB'ler ve güç kaynağı kullanılmıştır. Müşteri test şartnamelerine göre ölçümler ürünün araçtaki konumuna uygun yapıldığı için PCB'ler buna uygun şekilde sabitlenmiştir (Şekil 3.21).



**Şekil 3.21.** PCB prototipi, güçkaynağı ve termal kamera

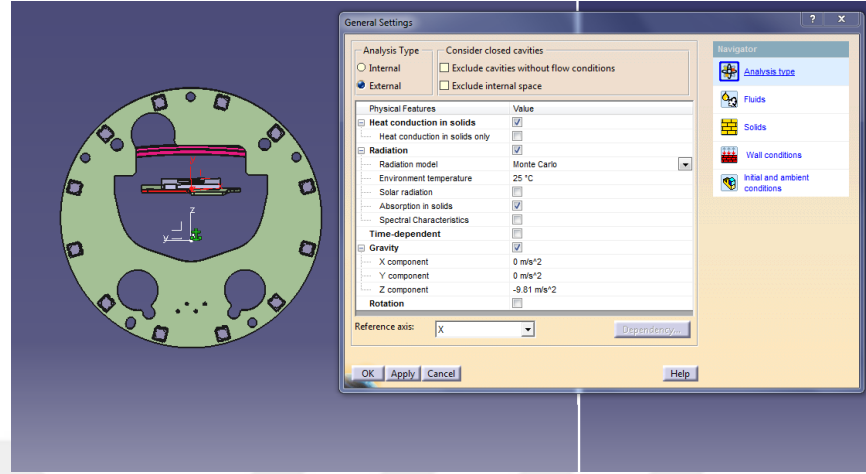
DRL/Pozisyon PCB için ölçümler DRL fonksiyonu çalıştırılarak yapılmıştır. Bunun nedeni DRL fonksiyonda LED'lerin hepsinin çalışması ve DRL fonksiyonun daha fazla güç harcaması, bunun sonucunda da daha yüksek sıcaklıklara ulaşmasıdır. Pozisyon fonksiyonunda bu durumun sağlanması için sadece akım değeri okunmuştur. Komponent sıcaklık testleri, oda sıcaklığı 25°C'de yapılmıştır.

#### **3.7.6. Komponentlerin bilgisayar destekli termal simülasyonları**

Bilgisayar destekli termal simülasyonlar, FLO EFD ısı analiz programında yapılmıştır. Daha önce CAD dataları oluşturulan komponentler, programa aktarılarak, ağ yapısı oluşturulup, sınır şartları girildikten sonra çözüm yapılarak, sonuçlar elde edilmiştir. Analizin sınır şartları gerçek sıcaklık ölçüm testlerine uygun olarak girilmiştir.

Simülasyon programı aşamaları aşağıda sırası ile verilmiştir;

İlk olarak aktarılan CAD data FLO EFD programına aktarılmıştır ve kontrol hacmi özellikleri programda tanımlanmıştır (Şekil 3.22).



**Şekil 3.22.** DRL PCB için kontrol hacmi özellik ekranı

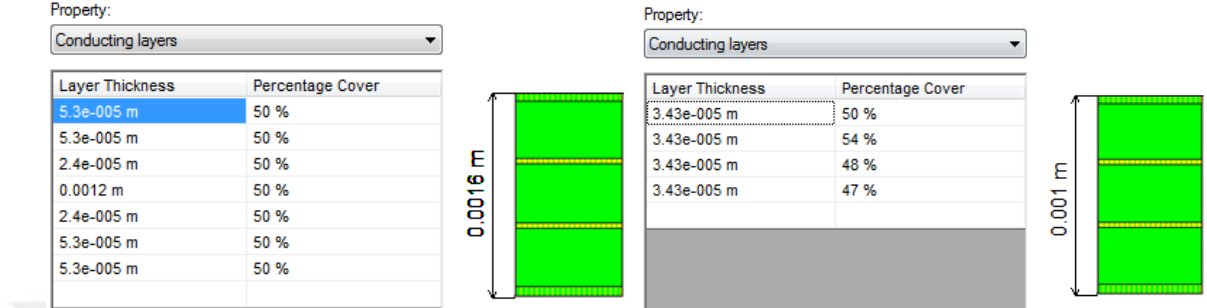
Kontrol hacmi özellikleri olarak, ortam sıcaklığı, yerçekimi yönü ve kuvveti, analiz tipi, komponent başlangıç sıcaklıkları, akış tipi ve atmosferik basınç programa tanımlanmıştır.

- Ortam Sıcaklığı: 25 °C
- Yerçekimi Yönü ve Kuvveti: Araç konumuna uygun olarak –Z yönünde 9,81 m/s<sup>2</sup>
- Analiz Tipi: Radyasyonla ısı transferinde tutarlı sonuç verdiği için Monte Carlo
- Komponent Sıcaklıkları: 25°C
- Akış Tipi: Kapalı hacim ve durgun ortam koşulları olduğu için laminar akış tipi tanımlanmıştır.
- Atmosferik Basınç: 1 atm

olarak sisteme girilmiştir. Bu değerler DRL ve Sis PCB’ler için ortak değerlerdir.

Ardından sis ve DRL LED PCB’lerin malzemeleri katman özellikleri (PCB içindeki bakır kalınlıkları) (Şekil 3.23), ısıya giden güçleri, komponentlerin yüzey ısıtım katsayıları (PCB için ve LED’lerin ışık yayan yüzeyleri sisteme tanıtılmıştır.

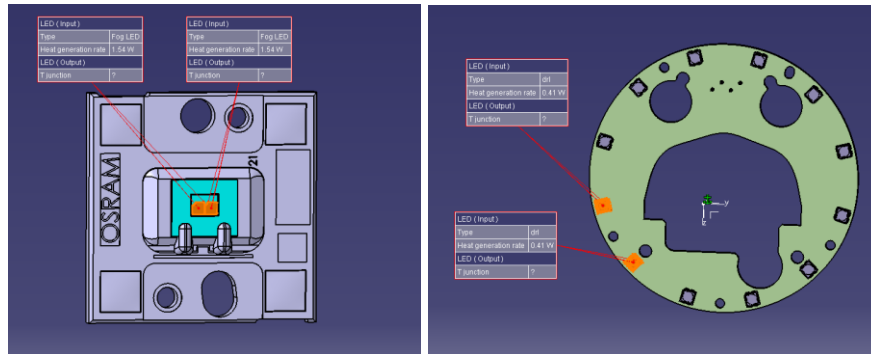
DRL PCB özellikleri;



Şekil 3.23. DRL ve Sis LED PCB katman kalınlıkları

PCB içindeki bakır katmanları ve kalınlıkları sisteme tanıtılmıştır. Girilen bu değerlere göre PCB ısı iletim katsayısını program otomatik olarak hesaplamaktadır. PCB malzemeleri her iki component içinde FR4'tür. Programda otomatik olarak okutulmuştur.

DRL PCB'de 12 LED'in herbiri için 0,41W güç, her iki sis LED için ise 1,54W güç programa tanıtılmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. DRL ve sis LED güçlerinin programa tanıtılması

Işınım katsayıları için firmada standart olarak belirlenen değerler alınmıştır.

$\varepsilon = 0,8$  (PCB)

$\varepsilon=0,5$  (Alüminyum)

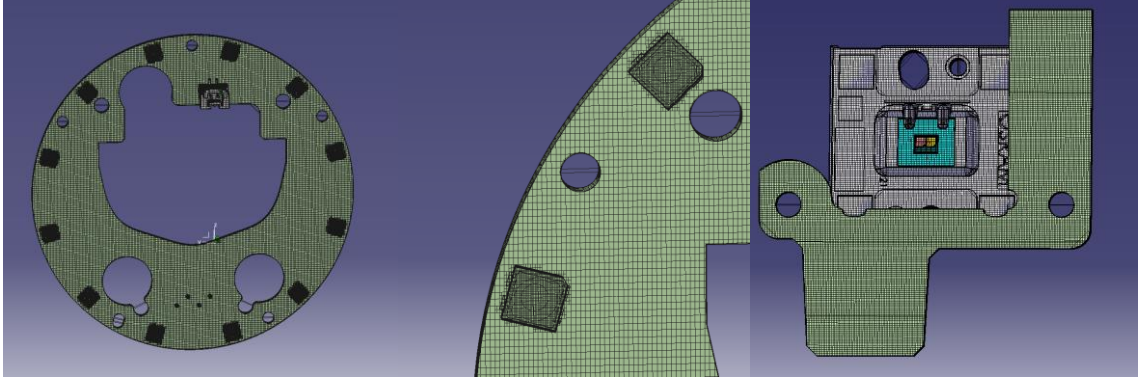
Ayrıca, sis LED için LED gövdesindeki malzemeler, iletim katsayıları, ışıınım katsayıları ve kontak yüzeylerindeki direnç değerleri, LED tedarikçisinden alınarak sisteme girilmiştir. (EK 2)

Analiz öncesi son olarak ağ yapı oluşturulmuştur, hem DRL hem Sis PCB’ler için 3 farklı sayıda (az-orta-çok) ağ yapı oluşturularak sonuçlar incelenmiştir ve yakınsamanın optimum olduğu ağ yapı kabul edilmiştir. Yakınsamanın sağlandığı ve sonuç alınan mesh bilgileri DRL PCB için aşağıdaki gibidir (Şekil 3.25).

|               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| Status        | Mesh generation finished normally. |
| Fluid cells   | 211570                             |
| Solid cells   | 89986                              |
| Partial cells | 66799                              |

**Şekil 3.25.** DRL ve sis LED güçlerinin programa tanıtılması

DRL ve sis PCB üzerindeki ağ yapılar Şekil 3.26’daki gibidir. LED’ler üzerinde daha iyi sonuç almak için boyut olarak daha küçük ve daha yüksek sayıda ağ yapı oluşturulmuştur.



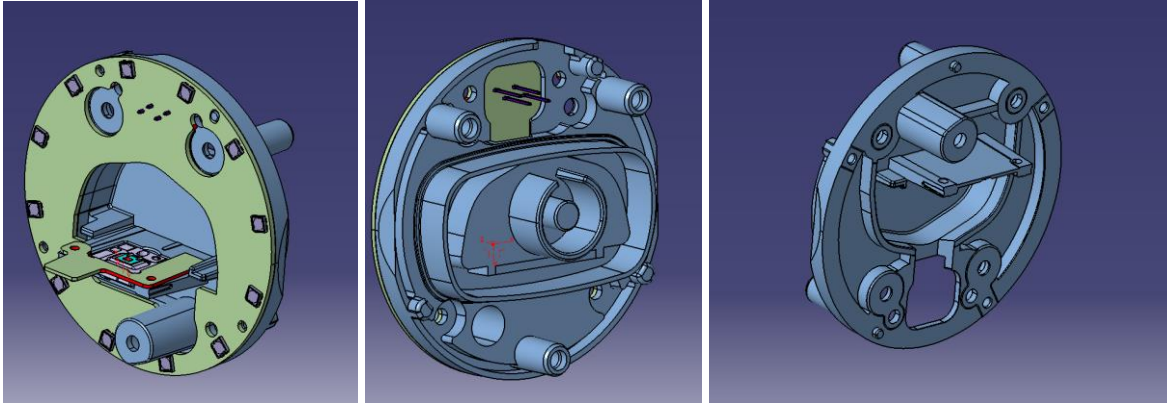
**Şekil 3.26.** DRL ve Sis PCB için oluşturulan ağ yapı

Sınır şartları ve ağ yapısı oluşturulduktan sonra analizlerde başlatılmıştır. Analiz sonuç şartı olarak maksimum LED jonksiyon sıcaklığı sisteme tanıtılmış ve bu sıcaklığa ulaşıldığında çözümleme sonuçlanmıştır.

#### **3.7.7. Soğutucu sistem tasarım aşaması**

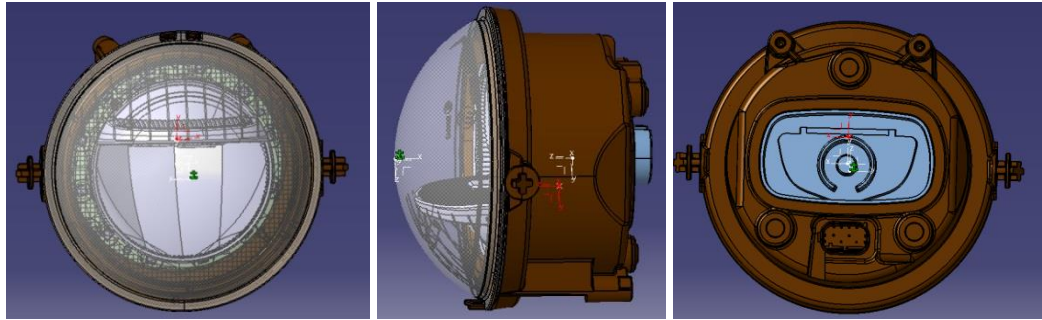
Soğutucu sistemin tasarımında maksimum sıcaklığın aşılmaması gerektiği önemli bir kriter olduğu gibi ayrıca montajlanabilirliğe, diğer komponentler ile uyumuna, oluşacak ısıyı dışarı atabilmesi için gerekli kanatçıkların kaplayacağı alan da dikkat edilmesi gereken unsurlardandır.

İlk olarak DRL ve sis LED'ini taşıyan kanatçıksız bir tasarım (alüminyum gövde) oluşturulmuştur.



**Şekil 3.27.** Kanatçıksız sistem

DRL ve sis LED'inin araçtaki konumuna uygun olarak alüminyum soğutucu gövde tasarımı yapılmıştır (Şekil 3.27). Gövdeye montajlanacağı vida delikleri ve içeride oluşan kondensi dışarıya atacak havalandırma deliği tasarlanmıştır. Yansıtıcı reflektör ve ışık tüpü için gerekli vida delikleri tasarıma eklenmiştir. Montajlanmış ürün resimleri Şekil 3.28'deki gibidir.



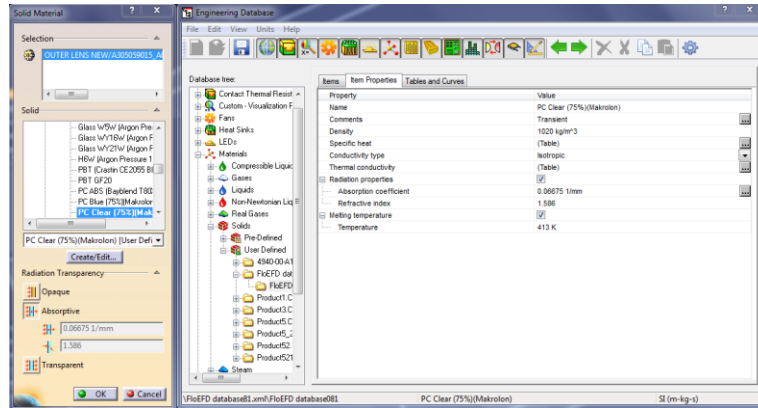
**Şekil 3.28.** Montajlı ürün datası

Komple ürün tasarımı analiz için FLO EFD simülasyon programına aktarılmıştır. Simülasyon programında sınır şartlar oluşturulmuştur. Bölüm 3.7.6’da anlatılan kontrol hacmi LED ve PCB özelliklerine ek olarak girilen veriler aşağıda listelenmiştir.

Her komponentin (gövde, reflektör, ışık tüpü, lens) malzemeleri ve özellikleri;

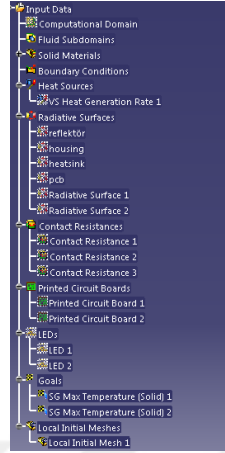
- Gövde Malzemesi PPGF20 plastik malzeme,
- Lens PC Clear malzeme,
- Reflektör APEC 1698 PC Clear malzeme,
- Işık tüpü PC Clear malzeme,
- Termal yapışkan malzemesi sisteme tanıtılmıştır.

Malzeme bilgileri, malzeme tedarikçilerinden alınan datasheetlerdeki değerlerden alınıp FLO EFD analiz programına tanıtılmıştır (Şekil 3.29, Şekil 3.30).



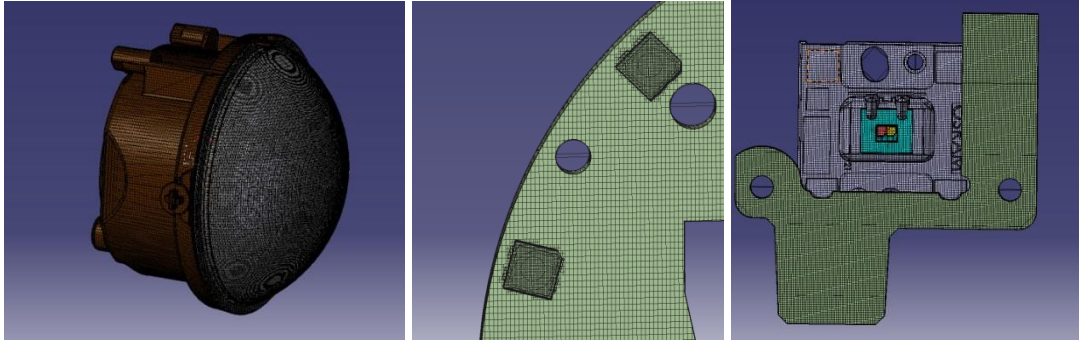
Şekil 3.29. Malzeme özelliklerinin analiz programına tanıtılması

Yüzeylerin emisivite katsayıları alüminyum kaplı reflektör için 0,15, gövde için 0,93, alüminyum soğutucu gövde için 0,5 olarak sisteme tanıtılmıştır.



**Şekil 3.30.** Programa tanıtılan sınır şartlar

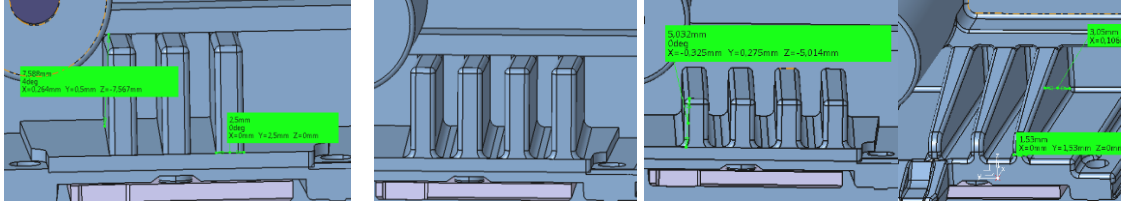
Sınır şartlar girildikten sonra ağ yapı oluşturulmuştur (Şekil 3.31). Kritik bölgelerde daha küçük ve daha sık ağ yapıları kullanılmıştır. Ağ yapı oluşturulduktan sonra analiz başlatılmıştır.



**Şekil 3.31.** Komple ürün ağ yapısı

Soğutucu sistem için farklı kanatçık tasarımları denenmiştir. İlk olarak LED' grubunun alt bölgesi için farklı yapıda ve boyutlarda kanatçık tasarımları yapılmıştır. Şekil 3.32'de

yapılan tasarımlar gösterilmiştir. Tasarımlar arası farklar belirlenirken arka yüzeyde 10 mm uzunluğunda 3,5 mm çapında iğne kanatçık tasarımı sabit tutulmuştur.



**Şekil 3.32.** Soğutucu sistem ön yüzey farklı kanatçık tasarımları

Tasarım 2,5 mm kalınlığında 7,5 mm uzunluğunda 3 adet kanatçık,

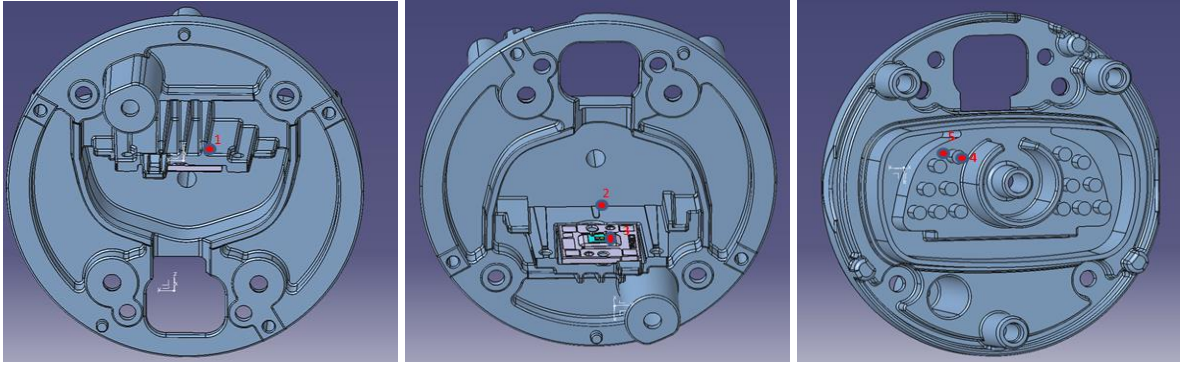
Tasarım 2,5 mm kalınlığında 7,5 mm uzunluğunda 4 adet kanatçık,

Tasarım 2,5 mm kalınlığında 5 mm uzunluğunda 4 adet kanatçık,

Tasarım 3,5 mm taban 1,5 mm uç kalınlıklı 3 adet kanatçık ile yapılmıştır.

Yapılan tasarımlar, analiz programına aktarılarak bizim için en kritik sıcaklık olan 95°C ortam sıcaklığında simülasyonları yapılmıştır.

Simülasyon sonucu 5 farklı noktadan sıcaklık verileri alınmıştır ve jonksiyon sıcaklıkları elde edilmiştir (Şekil 3.33).

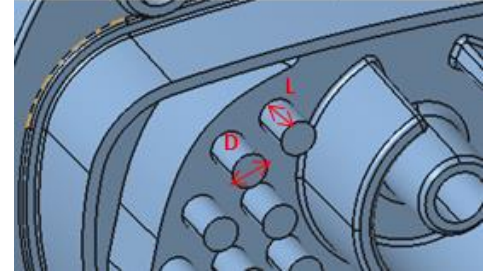


**Şekil 3.33.** Ölçüm noktaları

Simülasyon sonuçları 4. Bölümde detaylı olarak verilecektir.

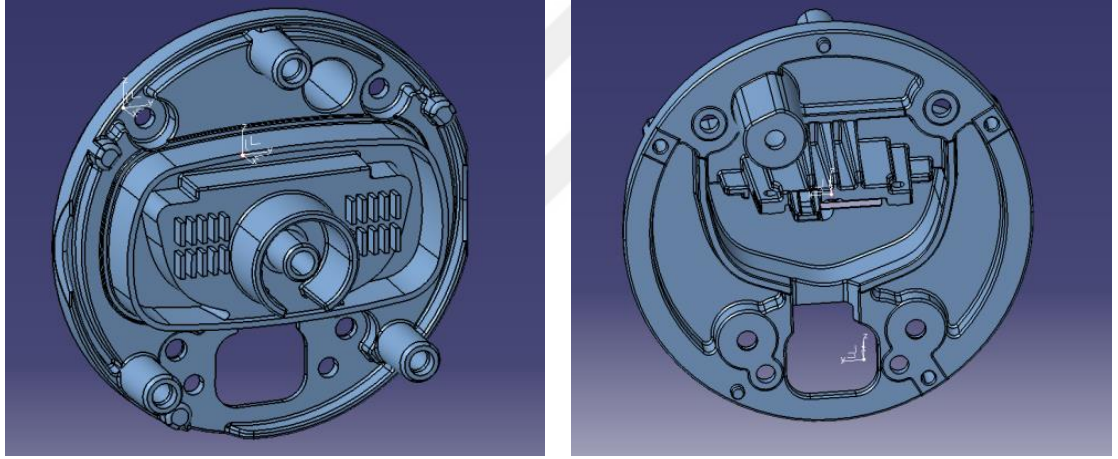
Soğutucu sistem arka bölge tasarımı için farklı kanatçık tipi tasarımları yapılmıştır. İlk tasarım, yukarıda belirtildiği gibi iğne kanatçıklar kullanılmıştır. İlk analizde yapılan iğne kanatçık çapı ve konumu sabit kalmak suretiyle, farklı boylarda sıcaklık analizleri yapılmıştır. Sistemde 14 adet iğne kanatçık yer almaktadır. İğne kanatçıkların boyları aşağıdaki Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** İğne kanatçık boyutları

|  | D (mm) | L (mm) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
| 1                                                                                   | 3,5    | 5      |
| 2                                                                                   | 3,5    | 10     |
| 3                                                                                   | 3,5    | 15     |
| 4                                                                                   | 3,5    | 20     |

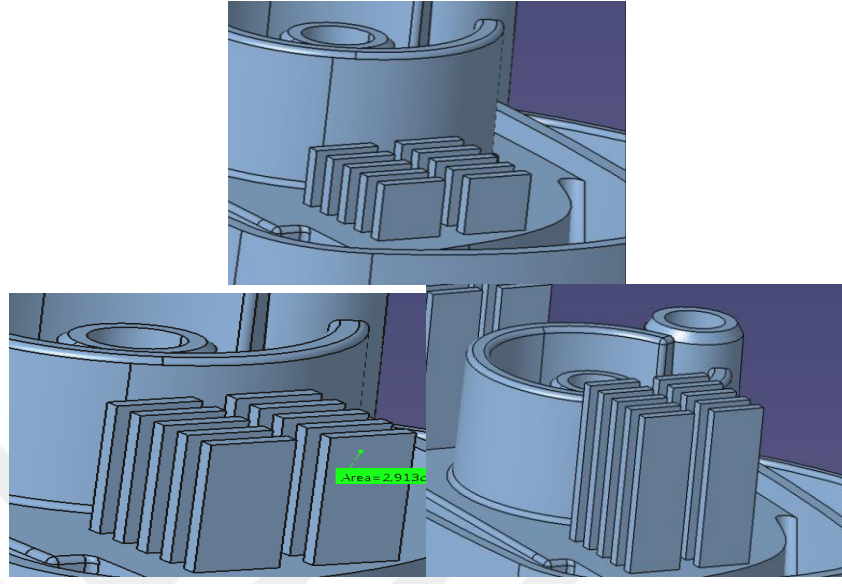
Tasarım ve ağ yapısı oluşturulmasının ardından müşteri isteğine uygun olarak 25 °C – 70 °C – 95 °C ‘de ısı simülasyonları tamamlanmıştır. Simülasyon sonuçları, sonuç bölümünde verilmiştir.

İkinci tasarım olarak 20 adet düzlem kanatçıktan oluşan soğutucu tasarımları yapılmıştır (Şekil 3.34). Kanatçık kalınlıkları sabit tutularak, farklı kanatçık uzunlukları için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.



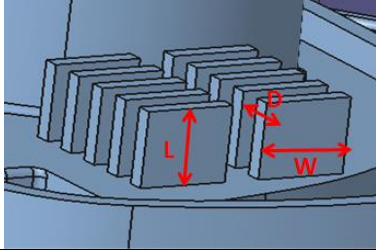
**Şekil 3.34.** a) 20 adet düzlem kanatçık dizilişi b) LED tabanındaki 3 adet kanatçık

Kanatçık boyutları Çizelge 3.2’de verilmiştir. LED tabanındaki kanatçıklar için daha önce yapılan çalışmalar doğrultusunda 3,5 mm taban 1,5 mm uç kalınlıklı 3 adet kanatçık ile devam edilmiştir (Şekil 3.34b).



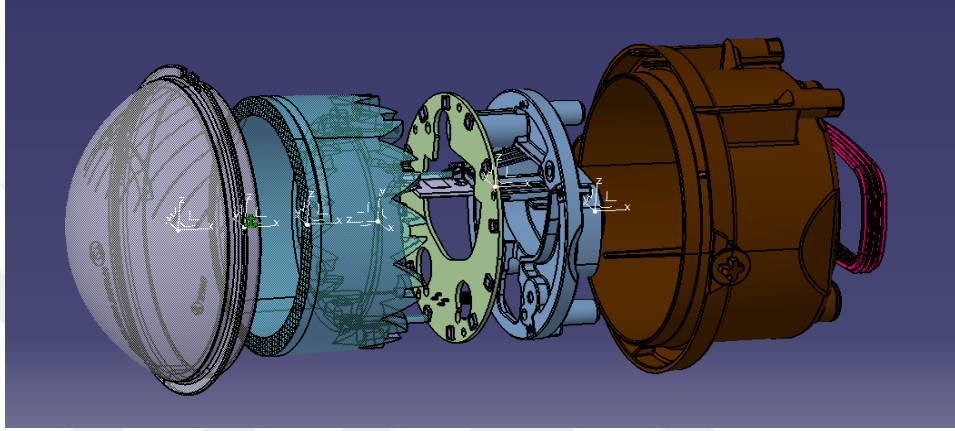
**Şekil 3.35.** 5mm, 10mm ve 15mm uzunluklarındaki kanatçık görüntüleri

**Çizelge 3.2.** Kanatçık uzunluğu (L), kalınlığı (D) ve genişliği (W)

|  | L (mm) | D (mm) | W (mm) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 1                                                                                   | 5      | 1      | 5      |
| 2                                                                                   | 10     | 1      | 5      |
| 3                                                                                   | 15     | 1      | 5      |

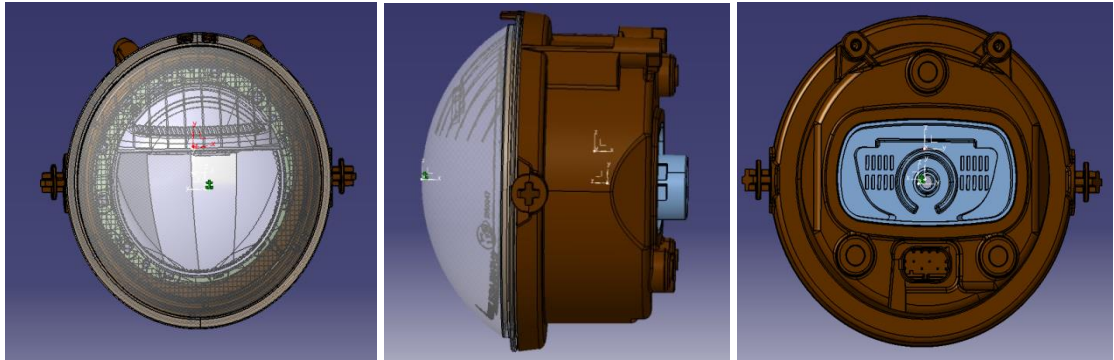
Soğutucu sistemin tasarımında maksimum sıcaklığın aşılmaması gerektiği önemli bir kriter olduğu gibi ayrıca montajlanabilirliğe, diğer komponentler ile uyumuna ve kanatçıkların kaplayacağı alan da dikkat edilmesi gereken unsurlardandır.

Soğutucu gövde tasarımının ardından, simülasyonlara başlanabilmesi için komple ürünün bütün komponentleri tasarıma eklenerek, montajlı ürün datası oluşturulmuştur (Şekil 3.36 ve 3.37).



**Şekil 3.36.** Komple ürün alt komponentleri

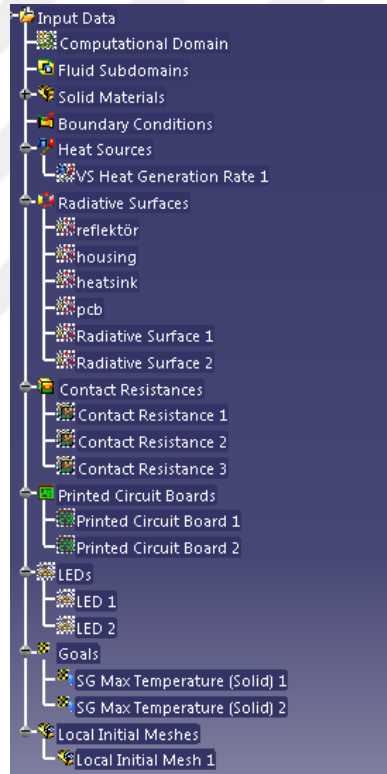
Montajlı ürün datası lens, içlens, DRL PCB, LED PCB, soğutucu gövde, gövde ve sızdırmazlık contası dahil bütün komponentleri içermektedir.



**Şekil 3.37.** Montajlı ürün datası

Komple ürün tasarımı analiz için FLO EFD simülasyon programına aktarılmıştır. Simülasyon programında sınır şartlar oluşturulmuştur. Girilen veriler;

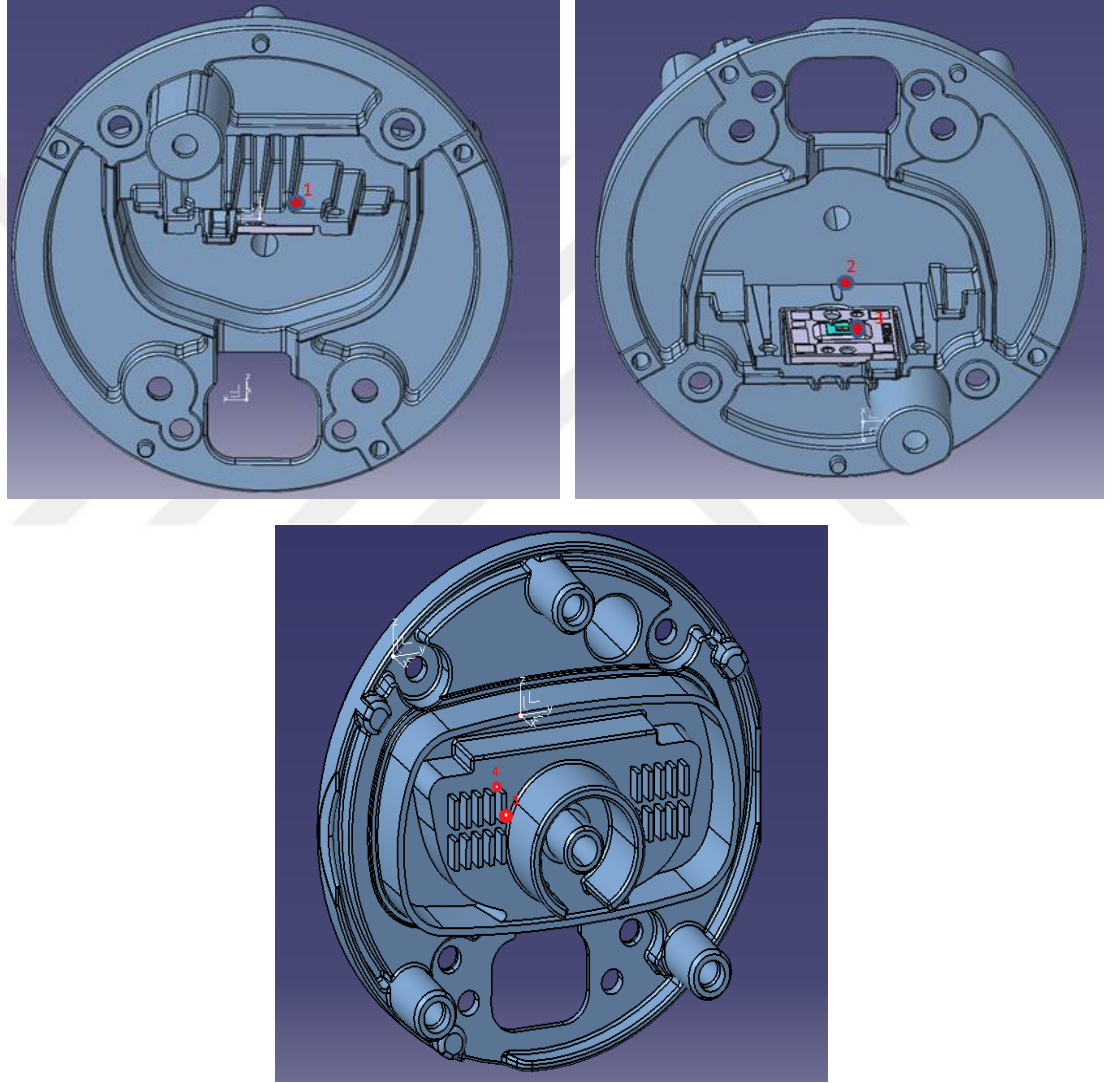
- Her komponentin malzemeleri ve özellikleri,
- PCB özellikleri ,
- Yüzeylerin emisivite katsayıları,
- Daha önceki analizlerde girilen LED ve PCB'lere ait bilgiler,
- Kontrol hacmi ve özellikleridir (Şekil 3.38).



**Şekil 3.38.** Programa tanıtılan sınır şartlar

Sınır şartlar girildikten sonra ağ yapı oluşturulmuştur. Kritik bölgelerde daha küçük ve daha sık ağ yapıları kullanılmıştır. Simülasyonlarda program özelliği olarak maksimum birleşim noktası sıcaklıkları yakınsama kriteri olarak belirlenmiştir. Yakınsamanın sağlandığı ağ yapılarında çözümleme yapılmıştır.

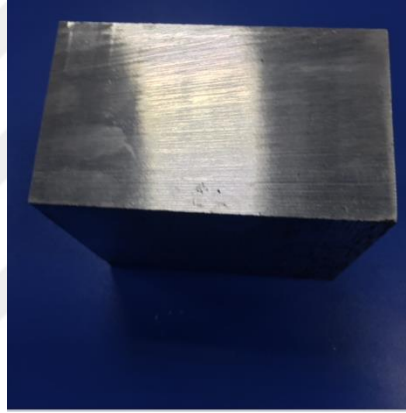
Simölasyon sonucu 5 farklı noktadan sıcaklık verileri alınmıştır ve jonksiyon sıcaklıkları elde edilmiştir (şekil 3.39).



**şekil 3.39.** Ölçüm noktaları

### 3.7.8. Prototip imalatı

Prototip imalatı için gerekli alüminyum kütük ( $k=135 \text{ W/mK}$ ) (Şekil 3.40) sipariş edildikten sonra, kalıphane CNC freze tezgahlarında, CAD dataya uygun olarak işlenmiştir. İşlenen soğutucu numune Şekil 3.41'deki gibidir.



Şekil 3.40. Alüminyum kütük



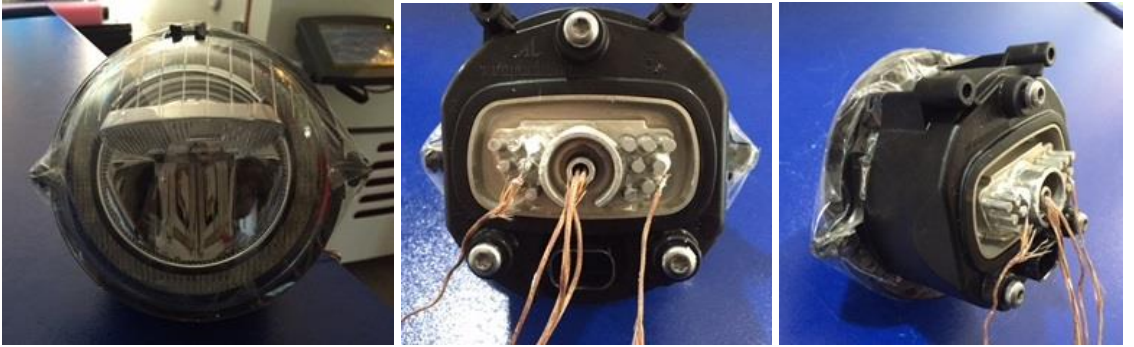
Şekil 3.41. İşlenmiş prototip parça

Üretilen prototip parçaya, termal simülasyonlarda alının sıcaklık noktalarına uygun olarak thermo couplelar yerleştirilmiştir (Şekil 3.42). Termokuplelerin yapıştırılmasında ısı iletkenliği yüksek termal yapıştırıcı kullanılmıştır.



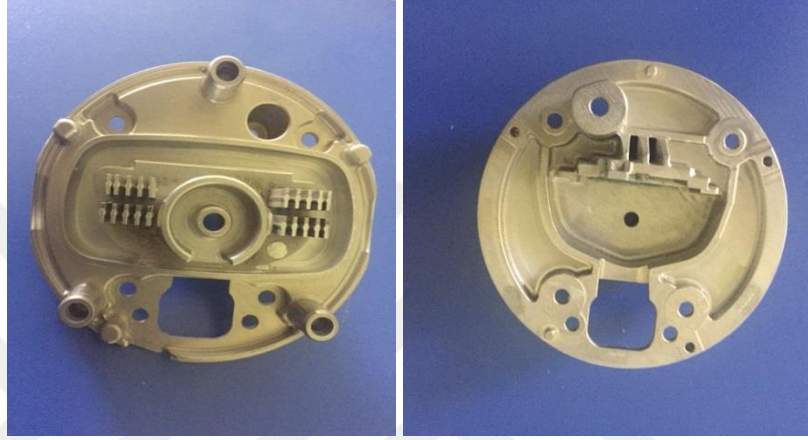
**Şekil 3.42.** Termokupl bağlantı noktaları

Termokuplların yerleştirilmesinin ardından komple ürüne ait diğer komponentler ile montajı yapılarak sıcaklık testine hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.43).

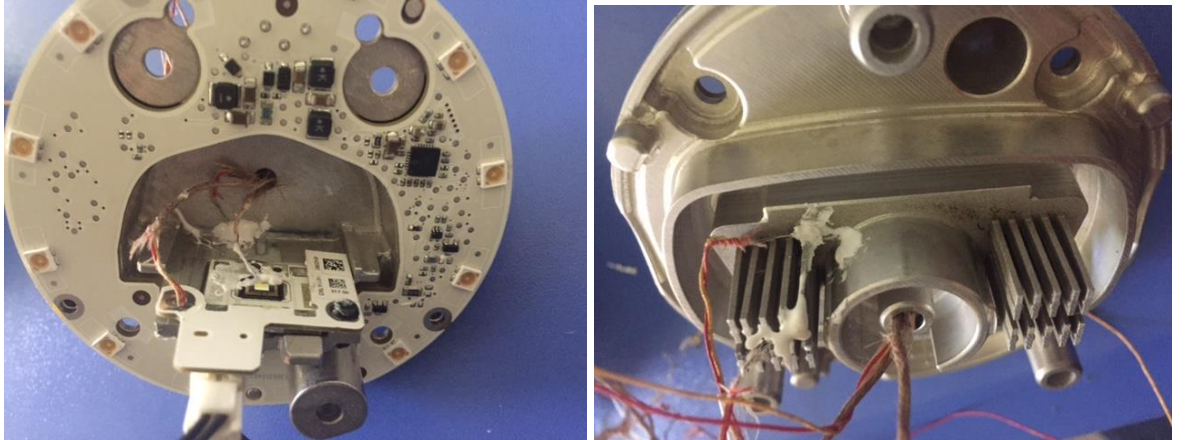


**Şekil 3.43.** Termokupl bağlantı noktaları

İkinci olarak düzlem kanatçıklı ürün prototipi, ilk prototipte olduğu gibi uygun malzeme kullanılarak işlenmiş (Şekil 3.44) ve termokupllar bağlanıp, montajı yapılarak teste hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.45).



**Şekil 3.44.** Alüminyum kütük ve işlenmiş prototip parça



**Şekil 3.45.** Termokupl bağlantıları

Termokuplların yerleştirilmesinin ardından komple ürüne ait diğer komponentler ile montajı yapılarak sıcaklık testine hazır hale getirilmiştir.

Resimlerde görüldüğü gibi hazırlanan prototip, sıcaklık testlerinin yapılması için termal kabinlere konulmuştur. Prototipe bağlanan termokupllar ölçümlerin okunacağı datalogger bilgisayar sistemine bağlanmıştır (Şekil 3.46).



**Şekil 3.46.** Sıcaklık test sistemi

Termal kabinlerde sıra ile simülasyonlarda olduğu gibi 25°C -70°C -95°C sıcaklıklarda testler yapılmıştır. Her bir testte termokuplların okuduğu sıcaklıkların rejime girmesi beklenmiş ve ardından ürün fonksiyonu çalıştırılmıştır. Sis fonksiyonu çalıştırıldıktan sonra

sıcaklığın zamanla değişmediği bölümde, ölçüm değerleri okunmuştur. Sonuçlar bir sonraki bölümde verilecektir.

### 3.7.9. Optik Regülasyon Değerleri ve Fotometri Testi

Ürünün onay alabilmesi için, müşteri şartnamelerinin yanında optik regülasyonları da sağlaması gerekmektedir. Avrupa (ECE), Amerika (SAE) ve Çin (CCC) için optik regülasyon değerleri farklıdır. Ayrıca ürüne (stop, far, sis) ve fonksiyonlara göre (uzun, kısa, stop, sis vs.) bu değerler ayrı ayrı tanımlanmıştır. Projede söz konusu olan sis ürünü, Avrupa’da kullanılacağı için ECE şartnamesi Addendum 18: Regulation No. 19’a göre fotometri testleri yapılmıştır. Bu şartnamede belirtilen ve 25 m mesafeden sağlanması gereken ışık değerleri aşağıdaki Çizelge 3.2’deki gibidir.

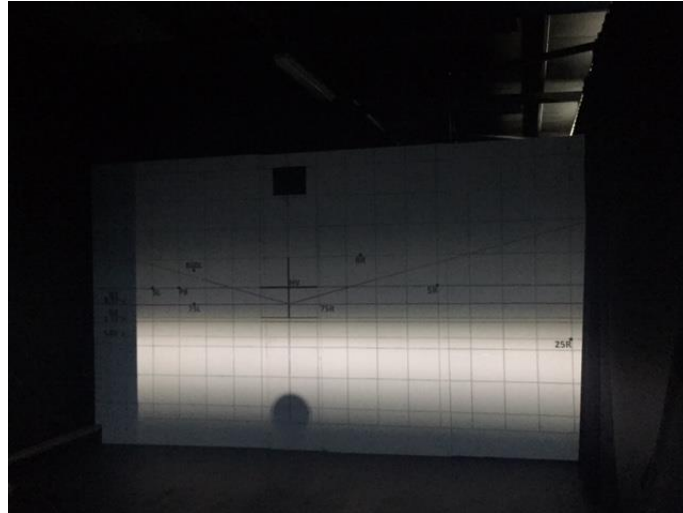
**Çizelge 3.3.** ECE şartnamesinde belirtilen sis ürünü ışık değerleri

| <i>Designated lines or zones</i> | <i>Vertical position*<br/>above h +<br/>below h -</i> | <i>Horizontal position*<br/>left of v: -<br/>right of v: +</i> | <i>Luminous intensity<br/>(in cd)</i> | <i>To comply</i>      |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Point 1, 2**                     | +60°                                                  | ±45°                                                           | 60 max                                | All points            |
| Point 3, 4**                     | +40°                                                  | ±30°                                                           |                                       |                       |
| Point 5, 6**                     | +30°                                                  | ±60°                                                           |                                       |                       |
| Point 7, 10**                    | +20°                                                  | ±40°                                                           |                                       |                       |
| Point 8, 9**                     | +20°                                                  | ±15°                                                           |                                       |                       |
| Line 1**                         | +8°                                                   | -26° to +26°                                                   | 90 max                                | All line              |
| Line 2**                         | +4°                                                   | -26° to +26°                                                   | 105 max                               | All line              |
| Line 3                           | +2°                                                   | -26° to +26°                                                   | 170 max                               | All line              |
| Line 4                           | +1°                                                   | -26° to +26°                                                   | 250 max                               | All line              |
| Line 5                           | 0°                                                    | -10° to +10°                                                   | 340 max                               | All line              |
| Line 6***                        | -2.5°                                                 | -10° to +10°                                                   | 2,700 min                             | All line              |
| Line 7***                        | -6.0°                                                 | -10° to +10°                                                   | < 50 % of max.<br>on line 6           | All line              |
| Line 8L and R***                 | -1.5° to -3.5°                                        | -22° and +22°                                                  | 800 min                               | One or more<br>points |
| Line 9L and R***                 | -1.5° to -4.5°                                        | -35° and +35°                                                  | 320 min                               | One or more<br>points |
| Zone D***                        | -1.5° to -3.5°                                        | -10° to +10°                                                   | 8,400 max                             | Whole zone            |

Fotometri ölçümlerinde AMS 5000 tipi gonyometre kullanılmıştır (Şekil 3.50). Regülasyon değerlerine ve ölçüm noktalarına göre otomatik programlanan gonyometre, üzerine fikstür ile bağlanan ürünü gerekli noktalarda konumlandırarak, ölçüm perdesi (Şekil 3.51) üzerine yerleştirilen sensörle değerler bilgisayardan okunmuştur.



**Şekil 3.47.** AMS 5000 gonyometre ve fikstürle sabitlenmiş ürün

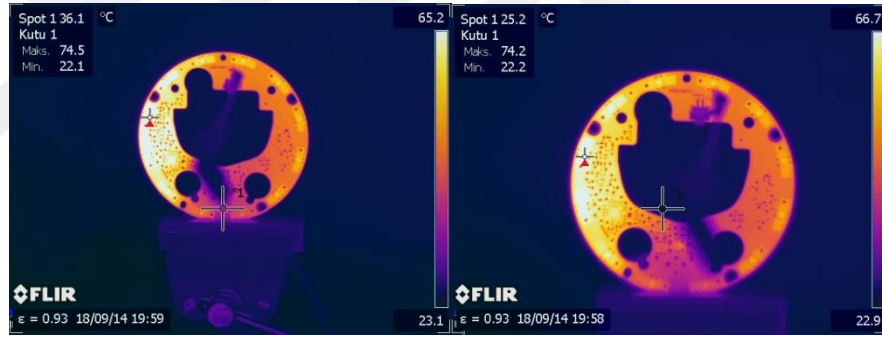


**Şekil 3.48.** Ölçüm perdesi ve sensörü

## 4. BULGULAR

### 4.1 DRL LED Sıcaklık Testi ve Termal Simülasyon Sonuçları

DRL PCB ve LED yüzeylerinde oluşan sıcaklıkların ölçülmesi için termal kamera kullanılmıştır. Sıcaklığın zamanla değişmediği durumda (sürekli rejim şartlarında) ölçümler yapılmıştır. Termal kamera ile çekilen resimler bilgisayar ortamına aktarılmış ve en yüksek sıcaklığın olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1. DRL PCB termal kamera sonuçları

Ölçüm sonuçlarına göre DRL LED yüzey sıcaklıkları yaklaşık 74,5 °C'dir. Birleşim (jonksiyon) noktasının sıcaklığı ise şu şekilde hesaplanmıştır;

$$T_j = T_s + R_{led} \cdot P_{ısı}$$

Araçtan ürüne giden gerilim 13,5 V'tur. PCB de ise bu değer gerekli ışık değerlerini sağlayacak şekilde dağıtılmaktadır. Bölüm 3'te DRL için ısıya giden güç;

$P_{ISI} = 0,44 \text{ W}$  olarak hesaplanmıştır.

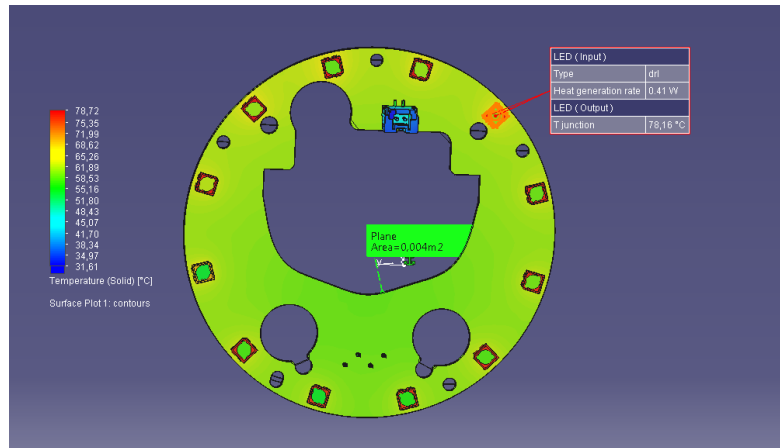
Buna göre;

$$T_j = T_s + R_{led} * P_{ISI}$$

$$T_j = 74,5 + 12 * 0,44 = 79,8^\circ\text{C} \text{ 'dir.}$$

$R_{LED}$  (K/W) değeri DRL LED şartnamesinden alınmıştır.

Bölüm 3.7.6' da anlatılan, komponentlere ait termal simülasyon verilerinin ısı analiz programında tanıtılmasından sonra çözümleme yapılmıştır. Çözümleme sonucu DRL PCB için elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2. DRL PCB sıcaklık dağılımı

DRL PCB üzerinde bulunan 12 adet LED'e ait jonksiyon sıcaklıkları ise Çizelge 4.1'deki gibidir.

**Çizelge 4.1.** DRL LED jonksiyon sıcaklıkları

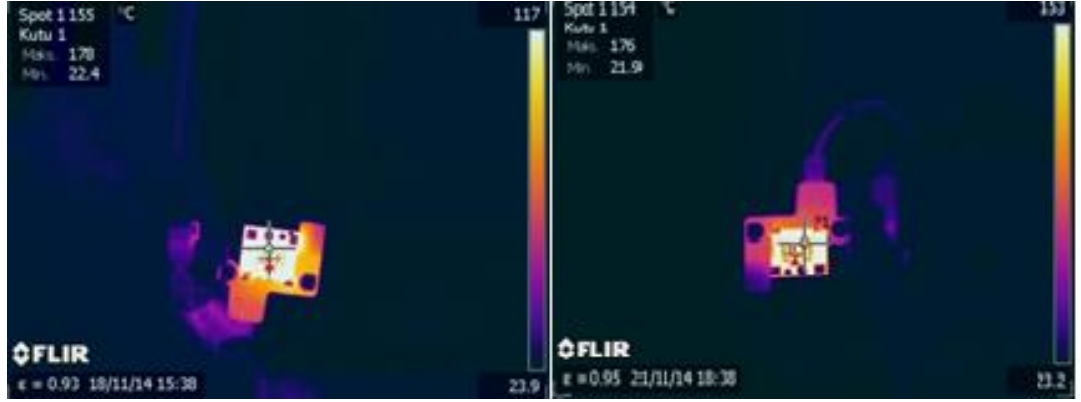
| Led1  | Led2  | Led3  | Led4 | Led5 | Led6 | Led7 | Led8 | Led9 | Led10 | Led11 | Led12 |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 79,35 | 79,85 | 79,88 | 80,3 | 80,0 | 79,3 | 78,4 | 78,8 | 77,9 | 77,94 | 78,79 | 78,78 |

Simülasyon sonuçlarına göre en yüksek LED jonksiyon sıcaklığı 80,37°C olarak çıkmıştır. Sıcaklık testinde birleşme noktası sıcaklığı 79,78°C olarak bulunmuştu. Bu durumda DRL PCB için test ile simulasyon sonuçları karşılaştırıldığında 0,6 °C'lik bir farkın olduğu görülmektedir. Bu sıcaklık farkı büyük olmayıp simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini göstermektedir.

#### **4.2. Sis LED Sıcaklık Testi ve Termal Simülasyon Sonuçları**

Sis PCB için sıcaklık testleri PCB numunesi ile gerçekleştirilmiştir. Ürünün araç çalışma şartlarına uygun olarak çalıştırılan PCB, rejime girdikten sonra termal kamera ile sıcaklık ölçümleri alınmıştır.

PCB ve LED yüzeylerinde oluşan sıcaklıkların ölçülmesi için termal kamera kullanılmıştır. Termal kamera ile çekilen resimler bilgisayar ortamına aktarılmış ve en yüksek sıcaklığın olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.3'deki gibidir:



**Şekil 4.3.** Sis PCB termal kamera sonuçları

Ölçüm sonuçlarına göre DRL LED yüzey sıcaklıkları 174 °C - 178 °C civarındadır. Birleşme sıcaklığı hesabında ise şu şekilde hesaplanmıştır:

$$T_j = T_s + R_{led} P_{ISI}$$

Araçtan ürüne giden gerilim 13,5 V'tur. PCB de ise bu değer gerekli ışıık değerlerini sağlayacak şekilde dağıtılmaktadır. Bölüm 3'te DRL için ısıya giden güç;

$P_{ISI} = 3,04$  W olarak hesaplanmıştır.

Bu değer 2 adet LED için değerdir. 1 adet LED için 1,52 W sisteme tanıtılmıştır.

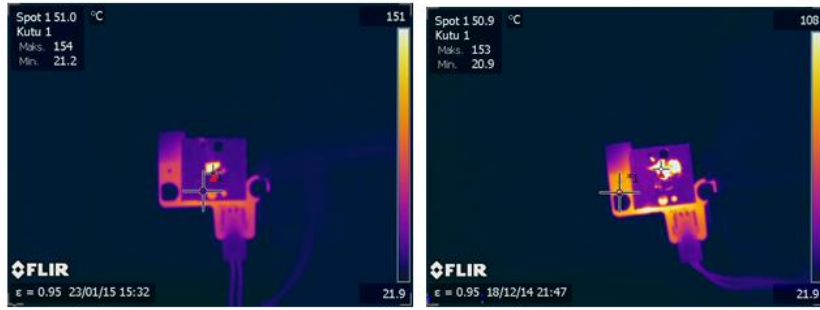
Buna göre birleşme noktası sıcaklığı;

$$T_j = T_s + R_{led} * P_{ISI}$$

$$T_j = 176 + 4 \cdot 1,52 = 182,1^\circ\text{C} \text{ 'dir.}$$

$R_{LED}$  (K/W) değeri LED şartnamesinden alınmıştır.

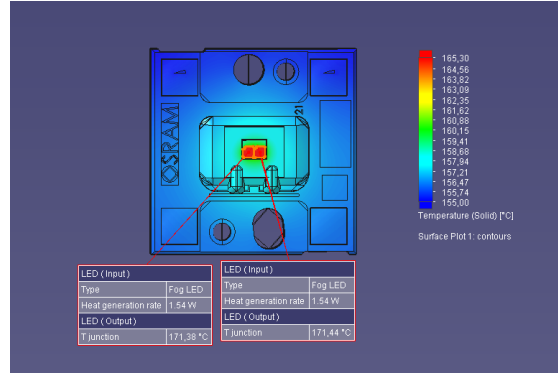
Termal kameranın alüminyum yüzeyde sıcaklık okuyamamasından dolayı LED taban sıcaklığı termocouple ile ölçülmüştür. Ayrıca taban yüzeyine termal bant ve yüksek iletkenlikli termal yapıştırıcı sürülerek termal kameradan sıcaklık değerleri okunarak doğrulanmıştır (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4.** Sis PCB taban yüzeyi termal kamera sonuçları

Okunan değerler termal kamerada 153-154°C, sıcaklık ölçerde 152°C 'dir.

3. Bölümde anlatılan CAD data oluşturulması ve termal simülasyon verilerinin girilmesinin ardından, çözümleme yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sis LED PCB sıcaklık dağılımı ve birleşim noktası sıcaklıkları Şekil 4.5'deki gibidir.



**Şekil 4.5.** LED birleşim noktası sıcaklıkları ve sıcaklık dağılımı

En yüksek LED jonksiyon sıcaklığı 171,44°C olarak çıkmıştır. Yapılan testlerde ise birleşme noktası sıcaklığı 182,1°C olarak bulunmuştur. Dolayısıyla simülasyon ve test sonuçları arasında yaklaşık 10,5°C fark çıkmaktadır. Bu sıcaklık farkı büyük olmayıp simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini göstermektedir.

#### 4.3. Komponent Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

DRL ve sis LED’lerinde yapılan sıcaklık testi ve termal simülasyonlar sonucunda, oluşan en yüksek sıcaklıklar ve oluştuğu bölgeler tespit edilmiştir.

LED’lerde termal gerekliliklerin en başında şartnamelerde belirtilen birleşme noktası sıcaklıklarının aşılmasıdır. Aştığı durumlarda soğutucu sistemin tekrar gözden geçirilmesi ve/veya yeniden tasarımı gereklidir. DRL ve sis fonksiyonu için şartnamelerde belirtilen jonksiyon sıcaklığı değerleri;

$T_{j,drl} = 150^{\circ}\text{C}$

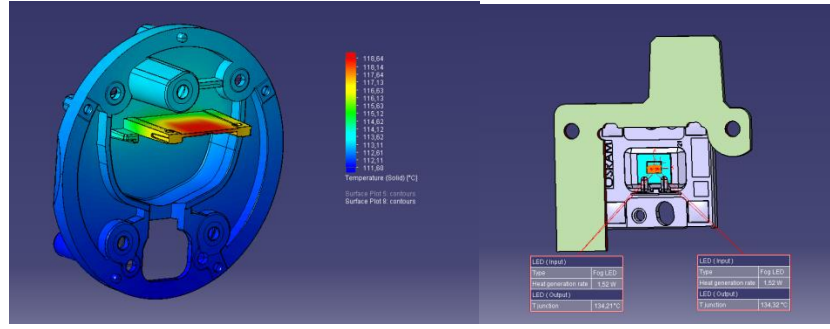
$T_{j, sis} = 150^{\circ}\text{C}$  'dir.

DRL fonksiyonunda maksimum sıcaklık  $T_j = 79,8^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu değer sınır değerinin çok altındadır ve bu haliyle termal bir problem öngörülmemektedir. Sis fonksiyonunda ise  $T_j = 182,1^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu değer sınır değerinin oldukça üstündedir. Bu sonuç, mutlak surette soğutucu sistem tasarımını gerektirmektedir.

Tasarlanacak olan soğutucu sistemin, ilk olarak sis LED'ini  $150^{\circ}\text{C}$ 'den daha aşağıya düşürmesi ve otomotiv üreticilerinin şartnamelerde belirttiği değerleri sağlaması gerekmektedir.

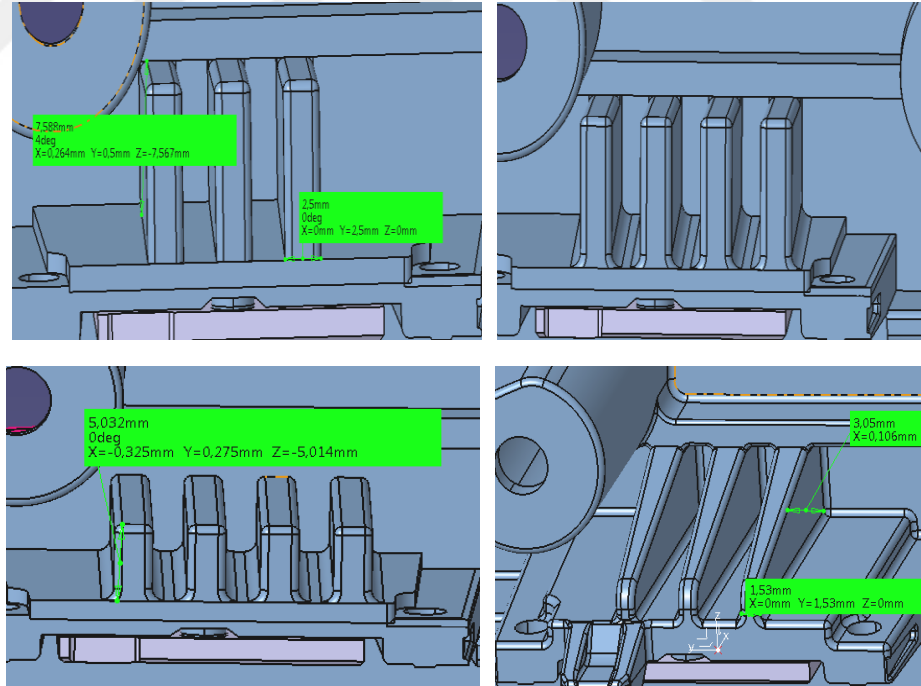
#### **4.4. Soğutucu Sistem Tasarımına Ait Termal Simülasyon Sonuçları**

Kanatçksız yapı için analiz sonucu sıcaklıklar  $134^{\circ}\text{C}$  civarında çıkmıştır (Şekil 4.6). PCB'nin üzerine konumlandırıldığı alüminyum gövde nedeniyle daha önce  $182,1^{\circ}\text{C}$  elde edilen jonksiyon sıcaklığı  $134^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmüştür. Hedefimiz  $130^{\circ}\text{C}$ 'nin altında bir sıcaklık olduğu için bundan sonraki aşamaya alüminyum gövde üzerine kanatçık tasarımları ile devam edilecektir.



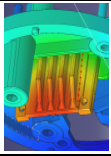
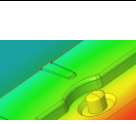
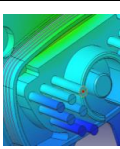
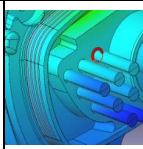
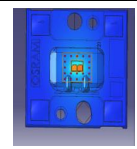
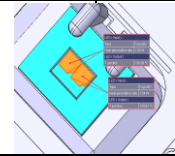
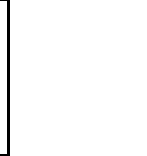
**Şekil 4.6.** Soğutucu sistem sıcaklık dağılımı ve sis LED birleşim noktası sıcaklıkları

Soğutucu önyüzeyi için yapılan 4 tasarıma ait (Şekil 4.7) ölçüm sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.2’de verilmiştir.



**Şekil 4.7.** Soğutucu sistem ön yüzey farklı kanatçık tasarımları

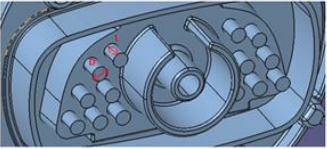
**Çizelge 4.2.** Soğutucu ön yüzeyi için oluşturulan 4 tasarıma ait farklı noktalardan alınan sıcaklıkların karşılaştırılması

|      |                 | 1. Nokta                                                                          | 2.Nokta                                                                           | 3. Nokta                                                                          | 4. Nokta                                                                           | 5.Nokta                                                                             | Junction1                                                                           | Junction2                                                                           |
|------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                 |  |  |  |  |  |  |  |
| T=95 | fog 3 pin cut   | 112,75-114,33                                                                     | 112,08                                                                            | 111,58                                                                            | 111,61                                                                             | 116,66-117,70                                                                       | 129,83                                                                              | 130,58                                                                              |
|      | fog 3 pin plaka | 112,39-113,88                                                                     | 111,63                                                                            | 111,15                                                                            | 111,22                                                                             | 115,65-116,17                                                                       | 129,1                                                                               | 129,86                                                                              |
|      | fog 4 pin kısa  | 112,15-113,50                                                                     | 111,47                                                                            | 111,01                                                                            | 111                                                                                | 115,43-116,4                                                                        | 129                                                                                 | 129,76                                                                              |
|      | fog 4 pin       | 112,07-113,33                                                                     | 111,41                                                                            | 111,06                                                                            | 111                                                                                | 115,4-116,6                                                                         | 128,88                                                                              | 129,6                                                                               |

Çizelgede görüleceği gibi belirli noktalardan alınan sıcaklıklar ve birleşim noktası sıcaklıkları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Bu nedenle hem malzeme ağırlığı hem de malzeme maliyeti düşünülerek tasarıma 3 üçgen kanatçıklı tasarımla (tasarım no 4) devam etmeye karar verilmiştir.

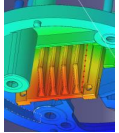
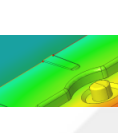
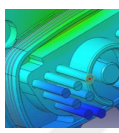
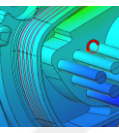
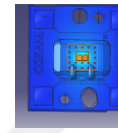
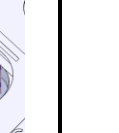
Arka yüzey için oluşturulan iğne kanatçık tasarımı için (Çizelge 4.3) 25 °C – 70 °C – 95 °C ‘de ısııl çözümler yapılmıştır.

**Çizelge 4.3.** İğne kanatçık boyutları

|                                                                                     |           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|  |           |           |
| Simülasyon No                                                                       | D<br>(mm) | L<br>(mm) |
| 1                                                                                   | 3,5       | 5         |
| 2                                                                                   | 3,5       | 10        |
| 3                                                                                   | 3,5       | 15        |
| 4                                                                                   | 3,5       | 20        |

Simülasyonları tamamlandıktan sonra bir önceki analizde belirtilen noktalarda sıcaklık ölçümleri yapılmıştır ve Çizelge 4.3’de sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

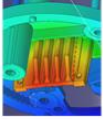
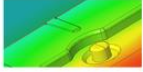
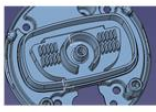
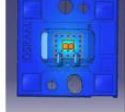
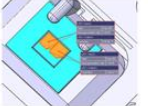
**Çizelge 4.4. Simülasyon Sonuçları**

|      |                |  |  |  |  |  |  |  |
|------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| T=25 | L=5mm pin fin  | 47,15-48,53                                                                       | 46,41                                                                             | 45,96                                                                             | 45,98                                                                              | 50,29-52,31                                                                         | 63,75                                                                               | 64,5                                                                                |
|      | L=10mm pin fin | 46,71-48,20                                                                       | 46,01                                                                             | 45,46                                                                             | 45,61                                                                              | 50,79-51,49                                                                         | 63,72                                                                               | 64,48                                                                               |
|      | L=15mm pin fin | 46,26-47,67                                                                       | 45,47                                                                             | 44,14                                                                             | 44,49                                                                              | 49,46-51,48                                                                         | 62,92                                                                               | 63,97                                                                               |
|      | L=20mm pin fin | 45,6-47,1                                                                         | 44-45                                                                             | 44,22                                                                             | 44,55                                                                              | 49,5                                                                                | 62,6                                                                                | 63,35                                                                               |
| T=70 | L=5mm pin fin  | 89,24-90,66                                                                       | 88,49                                                                             | 88,08                                                                             | 88,1                                                                               | 92,41-94,43                                                                         | 105,87                                                                              | 106,62                                                                              |
|      | L=10mm pin fin | 88,99-90,43                                                                       | 88,3                                                                              | 87,79                                                                             | 87,92                                                                              | 92,6-93,79                                                                          | 105,95                                                                              | 16,7                                                                                |
|      | L=15mm pin fin | 88,81-90,20                                                                       | 88                                                                                | 87,51                                                                             | 87,6                                                                               | 91,86-92,5                                                                          | 105,43                                                                              | 106,18                                                                              |
|      | L=20mm pin fin | 88,17-89,67                                                                       | 87,5                                                                              | 86,62                                                                             | 86,96-87,05                                                                        | 91,7-92,2                                                                           | 105,17                                                                              | 105,92                                                                              |
| T=95 | L=5mm pin fin  | 112,72-114,11                                                                     | 112                                                                               | 111,53                                                                            | 111,54                                                                             | 115,88-117,11                                                                       | 129,34                                                                              | 130,08                                                                              |
|      | L=10mm pin fin | 112,34-113,82                                                                     | 111,7                                                                             | 111,11                                                                            | 111,3                                                                              | 115,89-117                                                                          | 129,52                                                                              | 129,72                                                                              |
|      | L=15mm pin fin | 112,08-113,47                                                                     | 111,32                                                                            | 110,78                                                                            | 110,87                                                                             | 115,13-117                                                                          | 128,7                                                                               | 129,46                                                                              |
|      | L=20mm pin fin | 111,73-113,25                                                                     | 111                                                                               | 110,33                                                                            | 110,6                                                                              | 115,6-115,8                                                                         | 128,78                                                                              | 129,48                                                                              |

Simülasyon sonuçlarına göre kanatçıkların boyu her 5 mm uzadığında yaklaşık olarak 0,4-0,5 °C daha düşük sıcaklıklar elde edilmektedir. Birleşme noktası sıcaklıklarına bakıldığında 4 tasarım için de istenilen değerlerin sağlandığı görülmektedir.

Aynı şekilde, düzlem kanatçıga sahip tasarım için simülasyonlar tamamlanmıştır. İğne kanatçıkla yapılan analizler sonucu 25°C ve 70°C için LED birleşim noktası sıcaklıklarının emniyet sıcaklığının oldukça altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle düzlem kanatçıklı soğutucu için analizler 90°C sıcaklığı için yapılmıştır. Simülasyon sonucu ilgili noktalardan alınan sıcaklıklar çizelgedeki gibidir.

**Çizelge 4.5. Ölçüm Noktalarındaki Sıcaklıklar**

|      |         |  |  |  |  |  |  |        |
|------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|      | Uzunluk |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |        |
| T=95 | 5 mm    | 112,9-114,10                                                                      | 111,87                                                                            | 111,66                                                                            | 111,42                                                                              | 129,25                                                                              | 129,25                                                                              | 129,99 |
|      | 10 mm   | 112,77-113,82                                                                     | 111,69                                                                            | 111,02                                                                            | 111,18                                                                              | 115,76-116,38                                                                       | 129,08                                                                              | 129,56 |
|      | 15 mm   | 112,35-113,59                                                                     | 111,23                                                                            | 110,98                                                                            | 110,76                                                                              | 114,55-116,82                                                                       | 128,8                                                                               | 129,38 |

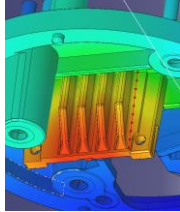
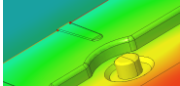
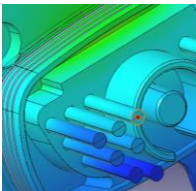
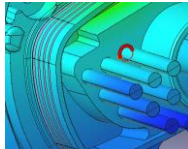
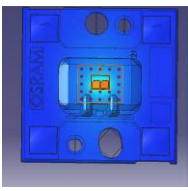
Çizelge 4.4'den görüleceği üzere, kanatçık uzunluğundaki her 5 mm artış, jonksiyon sıcaklığında ve diğer ölçüm noktası sıcaklıklarında 0,3-0,5C° mertebesinde düşüş sağlamıştır. İkinci dönemde yapılan simülasyon ve test sıcaklıklarının tutarlılığından ve firma bünyesinde prototip yapılabilirliği 10 mm uzunluğa kadar imkan verdiği için, prototip üretimine 10mm kanatçık uzuluğundaki tasarım ile devam edilmiştir.

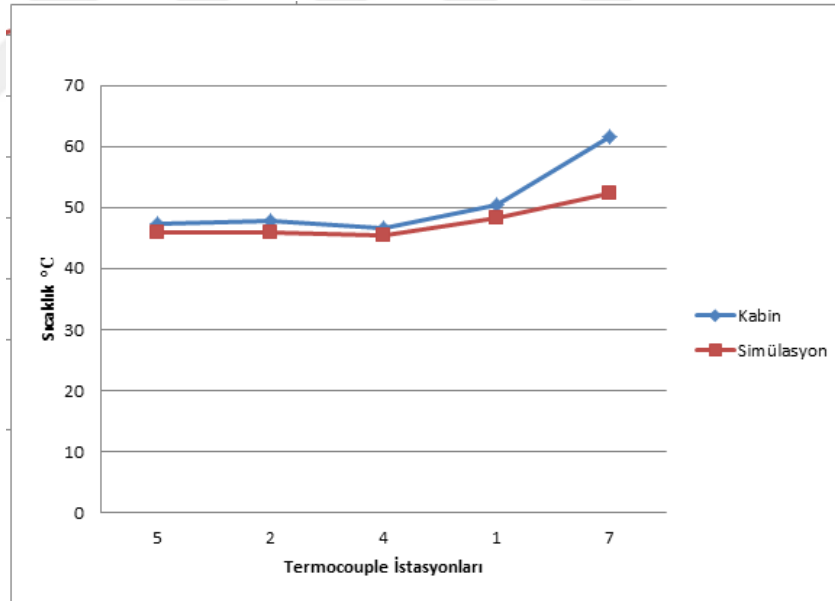
Termal simülasyon sırasında hiç bir komponentte ısıl deformasyon ya da kritik sıcaklığa ulaşılması meydana gelmemiştir. İlk elde edilen simülasyon sonuçlarına göre prototip olarak hem daha az maliyetli hem de cnc de işlenebilirliği bakımından 10 mm iğne kanatçığa sahip tasarım seçilmiştir.

#### **4.5. İğne Kanatçık Prototipine Ait Sıcaklık Testi Sonuçları**

Termal kabinlerde sıra ile simülasyonlarda olduğu gibi 25°C - 70°C - 95°C sıcaklıklarda testler yapılmıştır. Her bir testte termokuplların okuduğu sıcaklıkların rejime girmesi beklenmiş ve ardından ürün fonksiyonu çalıştırılmıştır. Sis fonksiyonu çalıştırıldıktan sonra sıcaklığın zamanla değişmediği bölümde, ölçüm değerleri okunmuştur. Her bir sıcaklık için sonuçları (Çizelge 4.5-4.6-4.7) ve termal simülasyonlarla karşılaştırılması aşağıda verilmiştir (Şekil 4.8-4.9-4.10).

**Çizelge 4.6.** Sıcaklık testi sonuçları ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

|            |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| T=25       |  |  |  |  |  |
| Tcouple No | 5                                                                                 | 2                                                                                 | 4                                                                                  | 1                                                                                   | 7                                                                                   |
| Bölge      | pin dip                                                                           | iç dip                                                                            | pin üst                                                                            | kanatçık                                                                            | led                                                                                 |
| Kabin      | 47,4                                                                              | 47,7                                                                              | 46,6                                                                               | 50,3                                                                                | 61,6                                                                                |
| Simülasyon | 45,98                                                                             | 46,01                                                                             | 45,46                                                                              | 48,2                                                                                | 52,31                                                                               |

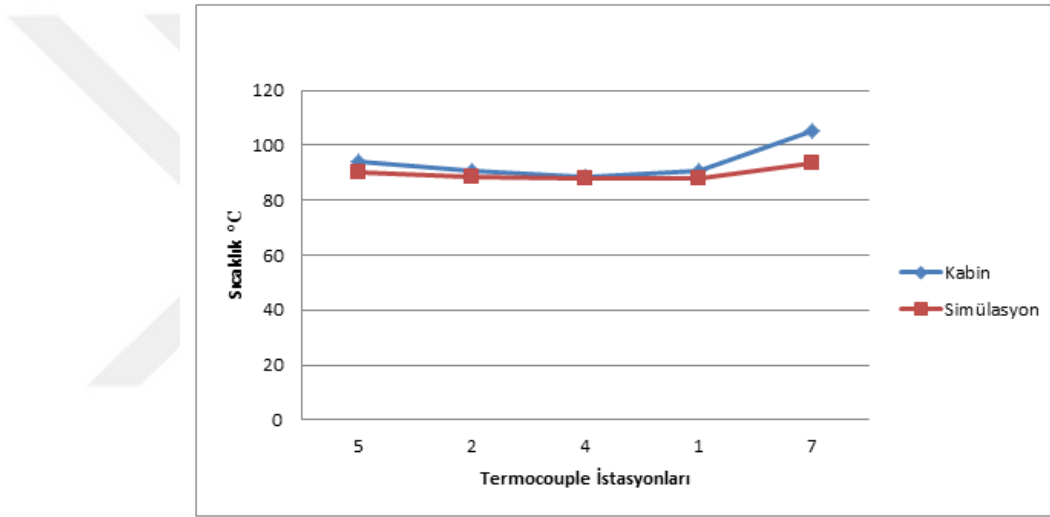


**Şekil 4.8.** Kabin ve simülasyon sonuçları karşılaştırması (25 °C için)

25 ve 70°C ölçüm sonuçlarına göre, kabin ve simülasyon sıcaklıkları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. 4 noktada (5., 2., 4., ve 1. noktalar) ortalama 1,5°C fark oluşurken, LED'lerin oturduğu seramik yapıda yaklaşık 8°C'dir. Bunun sebebi LED bölgesinin çok

dar ve küçük olması ve termokuplların yaklaştırılamamasıdır. Termokuplın ölçüm yerindeki çok küçük değişim, okunan sıcaklık değerini büyük ölçüde etkileyebilmektedir.

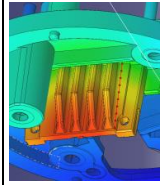
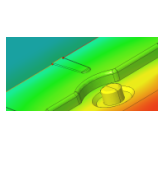
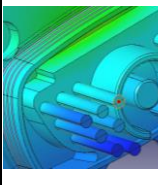
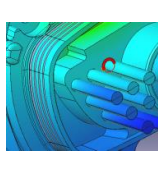
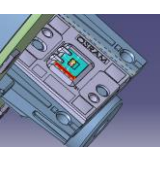
Kabin testi sonucu, prototipin herhangi bir komponentinde deformasyon ya da fonksiyon kaybı gözükmemiştir. LED'lerde de herhangi bir deformasyon meydana gelmemiştir.

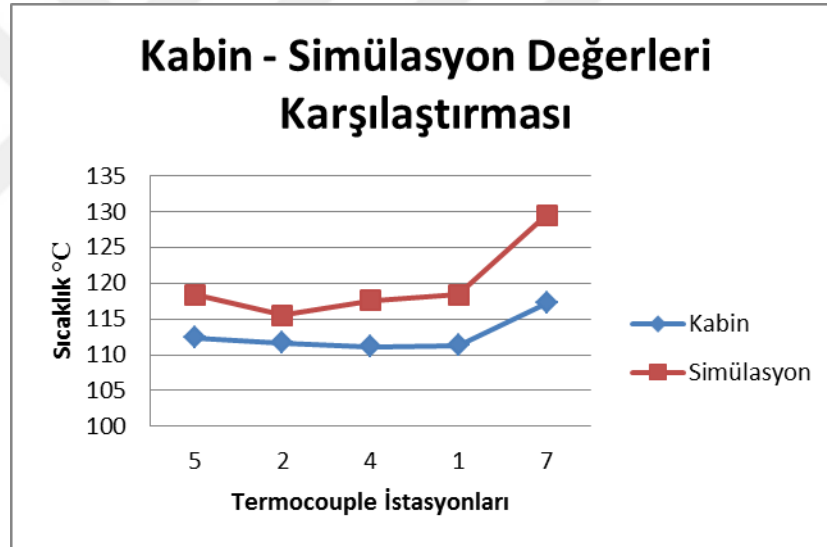


**Şekil 4.9.** Kabin ve simülasyon sonuçları karşılaştırması (70 °C için)

95°C ölçüm sonuçlarına göre, kabin ve simülasyon sıcaklıkları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. 4 noktada ortalama 2-2,5°C fark oluşurken, LED bölgesinde yaklaşık 10°C'dir. Bu deneyde de prototipin herhangi bir komponentinde deformasyon ya da fonksiyon kaybı gözükmemiştir. LED'lerde de herhangi bir deformasyon meydana gelmemiştir.

**Çizelge 4.7.** Sıcaklık testi sonuçları ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (95 °C için)

|            |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| T=95       |  |  |  |  |  |
| Tcouple No | 5                                                                                 | 2                                                                                 | 4                                                                                 | 1                                                                                   | 7                                                                                   |
| Bölge      | pin dip                                                                           | iç dip                                                                            | pin üst                                                                           | kanatçık                                                                            | led                                                                                 |
| Kabin      | 112,34                                                                            | 111,7                                                                             | 111,11                                                                            | 111,3                                                                               | 117,2                                                                               |
| Simülasyon | 118,4                                                                             | 115,5                                                                             | 117,6                                                                             | 118,4                                                                               | 129,5                                                                               |



**Şekil 4.10.** Kabin ve simülasyon sonuçları karşılaştırması (95 °C için)

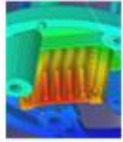
Elde edilen sonuçlara göre, kabin ve simülasyon sıcaklıklarının birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştı. 4 noktada (5., 2., 4., ve 1. noktalar) ortalama 3-4°C fark oluşurken, LED'lerin oturduğu seramik yapıda yaklaşık 8-9°C' çıkmıştı. Bunun nedeni de termokupl ile jonksiyon bölgesinde ölçüm yapmanın zorluğu ve çok küçük mesafede sıcaklıkların çok fazla değişmesi olarak yorumlanmıştı. Ayrıca 25°C ve 70°C'de LED jonksiyon sıcaklıklarının kritik sıcaklıktan oldukça uzak olduğu görülmüştü. 95°C ortam sıcaklığında ise jonksiyon sıcaklığının kritik bölgede olduğu görülmüştü.

Sonuç olarak 25°C ve 70°C ortam (kabin) sıcaklıklarında yapılan deneylerde birleşim noktası sıcaklığının emniyetli bölgede olmasından dolayı düzlem kanatçıklı prototip için simülasyon ve sıcaklık testleri 95°C ortam sıcaklıkları için yapılmıştır.

#### 4.6. Düzlem Kanatçık Prototipine Ait Sıcaklık Testi Sonuçları

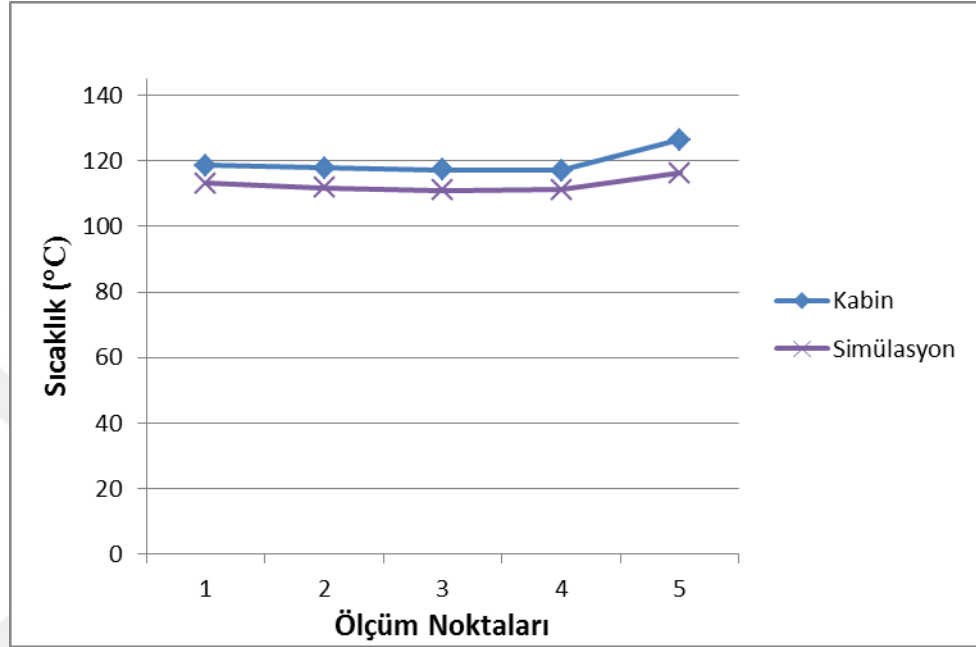
Termal kabine alınan prototip ürünün 95°C sıcaklığında testi yapılmıştır. Her bir testte termokuplların okuduğu sıcaklıkların rejime girmesi beklenmiş ve ardından ürün fonksiyonu çalıştırılmıştır. Sis fonksiyonu çalıştırıldıktan sonra sıcaklığın zamanla değişmediği bölümde, ölçüm değerleri okunmuştur. Her bir ölçüm noktası için sonuçlar aşağıdaki gibidir.

**Çizelge 4.8.** Sıcaklık testi ölçüm sonuçları (°C)

|      |         |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       |
|------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|      |         |  |  |  |  |  |
|      | Uzunluk |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       |
| T=95 | 10 mm   | 118,57                                                                              | 117,86                                                                              | 117,25                                                                               | 116,95                                                                                | 126,45                                                                                |

Sıcaklık testi ölçüm sonuçları, simülasyonlara göre 4 noktada yaklaşık 5-6°C mertebesinde, LED bölgesinde yaklaşık 10°C yüksek çıkmıştır (Şekil 15). Ancak yapılan deneyden elde edilen test sonuçlarına göre kritik sıcaklık aşılmamaktadır. Ayrıca yine deneylerde başarı kriteri olan, prototipin herhangi bir komponentinde deformasyon ya da fonksiyon kaybı gözükmemiştir. LED’lerde de herhangi bir deformasyon meydana gelmemiştir.

Simülasyon ve sıcaklık testi değerlerinin karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.11’de verilmiştir.

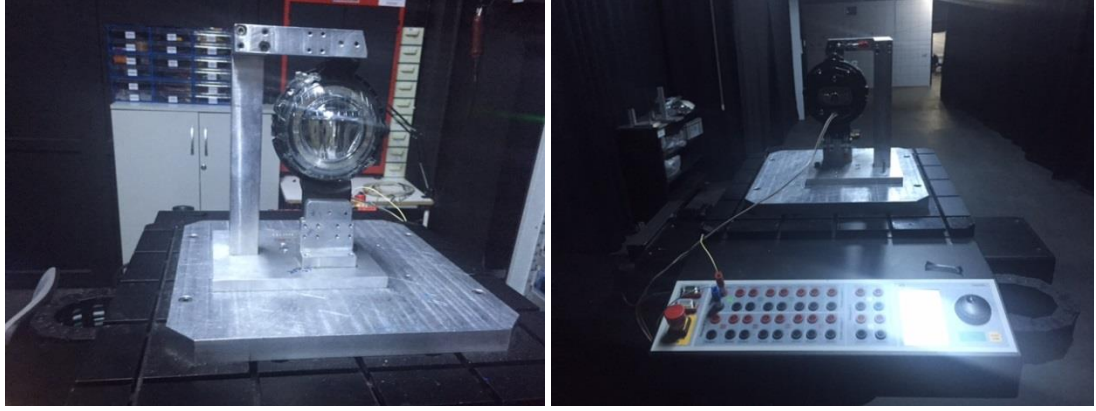


**Şekil 4.11.** Test ve simülasyon sonuçları karşılaştırması (95 °C için)

#### 4.5. Ürünün Optik Regülasyonlara Uygunluğu (Fotometri Testi)

Sıcaklık testleri ile ısıl açıdan güvenli bölgede olduğu doğrulanan prototip ürün, aydınlatma kriterlerinin sağlanabilirliğinin kontrolü için, fotometri laboratuvarında teste tabi tutulmuştur.

Prototip ürün, ürünün araçtaki konumunu birebir simüle eden fiktür ile fotometri cihazına bağlanmıştır (Şekil 4.12). Fotometri cihazında araç konumunu ayarlayan program tanıtılmış ve teste hazır hale getirilmiştir.



**Şekil 4.12.** Ürünün fotometri cihazına bağlanması

Fotometri cihazını kontrol eden bilgisayar ile program başlatılmış ve test gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.13). 2.2. Numaralı başlıkta anlatılan ve Çizelge 4.7’de gösterilen ölçüm noktalarında ışık değerleri okunmuştur ve fotometri raporu elde edilmiştir.



**Şekil 4.13.** Fotometri ölçümü

Fotometri testi sonucunda, regülasyona göre bütün noktalarda istenen ışık değerleri sağlanmıştır. Ölçüm değerleri ve sonuçları içeren test raporu Şekil 4.8’deki gibidir.

## MAKO Elektrik Sanayi

Photometric Test Report  
FOGL\_R19\_ClassF3  
BMW R5X-6X\_FOG SM

Date 10. Jul 2015  
Time 09:01:44  
Department ELT/MAKO  
Name

Mounting : symmetric  
Project : BMW\_R6X\_FRONT\_FOG

Page 1

Table R6X FOG  
Bulb LED U  
Electronic 13.199 V, 0.380 A, 5.016 W  
Channel 25 m

|          | H    | V     | sharpness | left | right |
|----------|------|-------|-----------|------|-------|
| Gradient | 0.00 | -1.28 | 0.12      | 0.02 | 0.04  |

|          | H          | V     | MIN     | MAX      | SAMPLE     |
|----------|------------|-------|---------|----------|------------|
| Point 1  | 45.00      | 60.00 |         | 85.00    | 2.75 cd    |
| Point 2  | -45.00     | 60.00 |         | 85.00    | 3.04 cd    |
| Point 3  | 30.00      | 40.00 |         | 85.00    | 15.19 cd   |
| Point 4  | -30.00     | 40.00 |         | 85.00    | 19.42 cd   |
| Point 5  | 60.00      | 30.00 |         | 85.00    | 1.50 cd    |
| Point 6  | -60.00     | 30.00 |         | 85.00    | 1.46 cd    |
| Point 7  | 40.00      | 20.00 |         | 85.00    | 12.76 cd   |
| Point 10 | -40.00     | 20.00 |         | 85.00    | 15.88 cd   |
| Point 8  | 15.00      | 20.00 |         | 85.00    | 11.93 cd   |
| Point 9  | -15.00     | 20.00 |         | 85.00    | 10.02 cd   |
| Line 1   | max -4.40  | 8.00  |         | 130.00   | 37.03 cd   |
| Line 2   | max 2.80   | 4.00  |         | 150.00   | 107.10 cd  |
| Line 3   | max -8.00  | 2.00  |         | 245.00   | 131.77 cd  |
| Line 4   | max -21.50 | 1.00  |         | 360.00   | 298.37 cd  |
| Line 5   | max 8.70   | 0.00  |         | 485.00   | 481.69 cd  |
| Line 6   | min -10.00 | -2.50 | 2700.00 |          | 5522.45 cd |
|          | max 1.50   | -2.50 |         | 12000.00 | 6611.28 cd |
| Line 7   | max -7.10  | -6.00 |         | 3305.64  | 74.98 cd   |
| Line 8L  | max -22.00 | -2.40 | 1100.00 |          | 3590.09 cd |
| Line 8R  | max 22.00  | -2.50 | 1100.00 |          | 3408.94 cd |
| Line 9L  | max -35.00 | -2.20 | 450.00  |          | 1205.44 cd |
| Line 9R  | max 35.00  | -1.70 | 450.00  |          | 1280.98 cd |

Maximum Zone D 6637.71 cd at H 1.63 V -2.36  
Max. Limit 8400.00 cd

Test passed

Şekil 4.14. Fotometri raporu

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Proje kapsamında araç LED'li sis ürününün soğutma sistemi tasarımı kapsamlı olarak incelenmiştir. CAD tasarımları tamamlanan ve sıcaklık analizleri yapılan LED'li PCB'lerin komponent bazında bilgisayar destekli ısıl analizleri ve prototip sıcaklık testleri tamamlanmıştır ve karşılaştırılmalı sonuçların emniyet bölgesi içinde uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ancak sis LED için gözlemlenen birleşim noktası sıcaklığının (171,44 °C simülasyon, 182,1 °C test) şartnamelerle belirlenen sıcaklıktan (150°C) oldukça yüksek çıkması, soğutma sistemi tasarımını gerekli kılmıştır.

LED PCB'lerin doğrulanmasının ardından soğutma sistemi tasarımına geçiş yapılmıştır. Komple ürünün diğer komponentlerine ve montajına uygun olacak soğutma sisteminin ilk tasarımı yapılmıştır. İlk olarak, soğutucu sistem tasarımı olarak 5-10-15 ve 20mm mm uzuluğunda iğne kanatçıklardan oluşan soğutucu tasarımı yapılmıştır. Otomotiv anasanayi şartnameleriyle belirlenen şartlara uygun sıcaklık simülasyonları tamamlanmıştır. 25 °C – 70 °C - 95 °C ortam sıcaklığında yapılan testler sonucunda 25 °C ve 70 °C için LED birleşim noktası sıcaklığının oldukça altında kaldığı, 95 °C için ise kritik sıcaklığa yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle soğutma sistemi tasarımı seçiminde ve ikinci tasarımda izlenecek yöntem için bu sıcaklık baz alınmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre kanatçıkların boyu her 5 mm uzadığında yaklaşık olarak 0,4-0,5 °C daha düşük sıcaklıklar elde edilmektedir. Birleşme noktası sıcaklıklarına bakıldığında 4 tasarım için de istenilen değerlerin sağlandığı görülmektedir.

Bilgisayar destekli analiz sonuçlarına göre, uygun sistemler arasından 10 mm uzunluğunda iğne kanatçık tipi prototip üretimi için seçilmiştir. Üretilen prototipe termocouple'lar bağlanarak termal kabinde sıcaklık testleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan prototipin çeşitli noktalarından alınan sıcaklık ölçümleri simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve

sonuçların %10'luk emniyet payı ile birlikte uyum içinde olduğu görülmüştür. Hem PCB kart + soğutma sistemi hem de komple ürün bazında gerçekleştirilen deneylerde beklenen sıcaklık dağılımı elde edilmiş ve kritik sıcaklıkları aşılmamıştır. Ayrıca malzeme şartnameleri ile belirlenen kritik sıcaklık değerlerinin aşılmadığı gözlemlenmiştir.

İkinci tasarım olarak, dikdörtgen profile sahip farklı uzunluklardaki (5-10-15mm) kanatçıklı sistemlerin soğutma performansları teorik olarak incelenmiştir. Her üç sistemde de birleşme noktası sıcaklığının istenilen emniyet değeri olan 130°C sıcaklığının altında olduğu ve her 5mm için 0,3-0,4 °C daha iyi soğutma yaptığı gözlemlenmiştir.

Soğutucu prototipi, yapılabilirliği incelenerek 10mm uzunluğundaki kanatçıklı sistem için, CNC tezgahında işlenerek üretilmiştir. Simülasyon şartlarına uygun sıcaklık testi ısıl kabinlerde tamamlanmıştır. İğne kanatçık tasarımı simülasyon ve sıcaklık testleri sonuçlarına göre kritik olan 95°C ortam sıcaklığı için testler yapılmıştır. Test ölçüm sonuçları, simülasyonlara göre yaklaşık 5-6°C daha yüksek çıkmıştır. LED bölgesinde ise yaklaşık 10°C yüksek elde edilmiştir. Ancak yapılan deneyden elde edilen test ve simülasyon sonuçlarına göre kritik sıcaklık aşılmamaktadır. Ayrıca yine deneylerde başarı kriteri olan, prototipin herhangi bir komponentinde deformasyon ya da fonksiyon kaybı gözükmemiştir. LED'lerde de herhangi bir deformasyon meydana gelmemiştir.

Sıcaklık testleri ile ürünün ısıl olarak doğrulanmasının ardından, uluslararası optik regülasyonlara uygunluğu fotometri testi ile incelenmiştir. Regülasyonlarda öngörülen her noktada yeterli ışığı sağladığı görülen ürünün istenilen soğutmayı sağladığı ve ışık kalitesinde bir değişiklik olmadığı doğrulanmıştır.

Bu alışma, TC. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından SAN-TEZ programı kapsamında desteklenmiş olup, Uludağ Üniversitesi ve Magneti Marelli Mako Elektrik Sanayi ve Tic. A.ř. işbirliği ile yrtlmştir.



## 6. KAYNAKLAR

**Kang, B., Yong, B., Park, K. 2010.** Performance Evaluations of LED Headlamps. International Journal of Automotive Technology, Vol. 11, No. 5, 737–742 pp.

**John, F., Michele, M. 2002.** White LED Sources for Vehicle Forward Lighting. Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering, 195-205 pp.

**Wana, Z.M., Liu a, J., Su a, K.L., Hub, X.H. 2011.** Flow and heat transfer in porous micro heat sink for thermal management of high power LEDs , Microelectronics Journal 42, 632–637 pp.

**Anonim, 2011.** Led junction temperature and life time. [www.noribachi.com](http://www.noribachi.com).

**Vora, K., Vijaykumar, P. 2009.** Basic thermal guidelines for using PowerPSoC. Cypress perform, CA.

**Sheu, G. J., Hwu, F. S., Tu, S. H., Chen, W.T., Chang, J. Y., Chen, J.C. 2005.** The heat dissipation performance of LED applied a MHP. Fifth International Conference on Solid State Lighting, San Diego, California, USA, 5941-Vol.36, No:2, 1-8 pp.

**Jang, S., Shin, W.S. 2008.** Thermal analysis of LED arrays for automotive head lamp with a novel cooling system. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, Vol.8, No:3, 561-564 pp.

**Poppe, A., Lasance, C. 2009.** On the Standardization of Thermal Characterization of LEDs. Proc.25th Semitherm, San Jose.

**Lai, Y., Cordero, N., Barthel, F., Tebbe, F., Kuhn J., Apfelbeck, R., Würtenberger, D. 2009.** Liquid cooling of bright LEDs for automotive applications. Applied Thermal Engineering, Vol.29, No.5-6, pp.1239-1244.

**Hamm, M. 2005.** LED Revolution in Headlamp Optics, Mechanics, Thermomanagement and Styling. ISAL Symposium.

**GE Lighting, 2009.** Thermal Management Vio AppNotes-Thermal. GE Lighting ILUM006, USA.

**Ackermann, R., Sardi L. 2005.** Integration of LEDs in Forward Lighting. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol. 5663, Q-12 pp.

**Babus'Haq, R.F., George, H.E., O'Callaghan , P.W. 1992.** Thermal-analysis template. International Journal of Computer Applications in Technology, Vol. 5, 67-71 pp.

**Arik, M., Becker, C., Weaver, S. 2004.** Thermal management of LEDs: package to system. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 64-75 pp.

**Wang, R., Li, J. 2010.** A Cooling System with a Fan for Thermal Management of High-Power LEDs. *J. Mod. Phys*, 1,196-199 pp.

**Petroski, J. 2004.** Spacing of high-brightness LEDs on metal substrate PCB's for proper thermal performance. *Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems-Proceedings of the Intersociety Conference*, 507-514 pp.

**Gleva, M. 2009.** Enhanced active cooling of high Power LED Light Sources by Utilizing Shrouds and Radial Fins, A Thesis Presented to The Academic Faculty Georgia Institute of Technology

**Chyu, M. K., Wu, L. X., and Murthy, J. Y. 1988.** Forced convection heat transfer of a vertical shrouded fin array. *Thermal Phenomena in the Fabrication and Operation of Electronic Components, I-THERM '88 InterSociety Conference*, 86 pp.

**Kim, L., Choi, J. H., Jang, S. H. 2007.** Thermal analysis of LED array system with heat pipe. *Thermochimica Acta*, Vol. 455, no: 1-2, 21-25 pp.

**Yung, Liem, Choy, H.S., Lun W.K., 2010.** Thermal performance of high brightness LED array package on PCB, *International Communications in Heat and Mass Transfer* (Vol. 37, Issue 9, pp. 1266–1272)

**27. Copeland, D.W. 2003. Fundamental performance limits of heatsinks.** *Journal of Electronic Packaging*, Transactions of the ASME, Vol. 125, No. 2 SPEC, 221-225 pp.

**Rahnama, M., Farhadi, M. 2004.** Effect of radial fins on two-dimensional turbulent natural convection in a horizontal annulus. *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 43, No. 3, 255-264 pp.

**Jang, S., Shin, M.W. 2008.** Thermal analysis of LED arrays for automotive headlamp with a novel cooling system. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, Vol. 8, No. 3, 561-564 pp.

**Filipuzzi, A., Cotula, O., Pipino, A., Zanoletti, F., Paroni, S. 2007.** Thermal Behavior of Bulb and LED based Automotive Rear Lamps. 3rd EACC

**Liu Y. 2012.** On Thermal Structure Optimization of a Power LED, Lighting International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE), 2765 – 2769 pp.

**Huber, R. 2007.** Thermal Management of LED Technology in Applications. *LED Professional Dergisi*, no:4, 24-29 pp.

**Sökmen F., Pulat E., Yamankaradeniz N., Coşkun S. 2014.** Otomotiv far uygulamalarında kullanılan led ışıkların soğutulmasında jonksiyon sıcaklığı üzerine kanatçık kullanımının etkilerinin hesaplamalı olarak araştırılması, OTEKON'14, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi

# EKLER

## EK 1 – DRL LED Datasheet



### 2. Absolute Maximum Ratings

| Parameter                      | Symbol     | Value                                  | Unit |
|--------------------------------|------------|----------------------------------------|------|
| Power Dissipation*1            | $P_d$      | 2.0                                    | W    |
| Forward Current<br>(Ta = 25°C) | $I_F$      | 100 (min.)<br>350 (typ.)<br>500 (max.) | mA   |
| Operating Temperature          | $T_{opr}$  | -40 ~ +125                             | °C   |
| Storage Temperature            | $T_{stg}$  | -40 ~ +125                             | °C   |
| Junction Temperature           | $T_j$      | 150                                    | °C   |
| Thermal Resistance*2           | $R_{thJA}$ | 40                                     | K/W  |
|                                | $R_{thJS}$ | 12                                     | K/W  |

\*1. Care is to be taken that power dissipation does not exceed the absolute maximum rating of the product.

\*2. Mounted on Metal PCB, Area of 950mm<sup>2</sup> per LED.  $R_{thJC}$  is Junction to case (bottom of metal PCB) temp.

### 3. Electro-Optical characteristics

| Parameter                 | Symbol          | Condition            | Min | Typ  | Max | Unit |
|---------------------------|-----------------|----------------------|-----|------|-----|------|
| Forward Voltage           | $V_F$           | $I_F = 350\text{mA}$ | -   | 3.5  | 3.8 | V    |
| Luminance Flux *1         | $\phi_V$        | $I_F = 350\text{mA}$ | 70  | -    | 91  | lm   |
| Color Coordinate (x,y) *2 | x               | $I_F = 350\text{mA}$ | -   | 0.33 | -   | -    |
|                           | y               |                      | -   | 0.33 | -   |      |
| Viewing Angle *3          | $2\theta_{1/2}$ | $I_F = 350\text{mA}$ | 120 |      |     | deg. |

\*1. The luminous Flux was measured at the peak of the spatial pattern which may not be aligned with the mechanical axis of the LED package. Luminous Flux Measurement allowance is  $\pm 10\%$

\*2. Measurement Uncertainty of the Color Coordinates is  $\pm 0.01$

\*3.  $2\theta_{1/2}$  is the off-axis where the luminous intensity is 1/2 of the peak intensity.

Rev. 0.00

DECEMBER, 2010.

www.Acriche.com

서식번호 : SSC-QP-7-07-24 (Rev.00)

## EK 2 – Sis LED Datasheet

Version 2.1

LE UW U1A2 01

### Maximum Ratings

#### Grenzwerte

| Parameter<br>Bezeichnung                                                                                              | Symbol<br>Symbol     | Values<br>Werte                    | Unit<br>Einheit |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| Operating temperature range<br>Betriebstemperatur                                                                     | $T_{op}$             | -40 ... 135                        | °C              |
| Storage temperature range<br>Lagertemperatur                                                                          | $T_{stg}$            | -40 ... 135                        | °C              |
| Junction temperature for short time applications *<br>Sperrschichttemperatur für Kurzzeitanwendung *                  | $T_j$                | 175                                | °C              |
| Junction temperature<br>Sperrschichttemperatur                                                                        | $T_j$                | 150                                | °C              |
| Forward current<br>Durchlassstrom<br>( $T_{Board} = 25\text{ °C}$ )                                                   | $I_F$                | 50 ... 1200                        | mA              |
| Forward current pulsed<br>Durchlassstrom gepulst<br>( $t \leq 4\text{ ms}$ , $D = 0.5$ , $T_{Board} = 25\text{ °C}$ ) | $I_{F\text{ pulse}}$ | 2000                               | mA              |
| Reverse voltage<br>Sperrspannung<br>( $T_{Board} = 25\text{ °C}$ )                                                    | $V_R$                | not designed for reverse operation | V               |
| ESD withstand voltage<br>ESD Festigkeit<br>(acc. to IEC 61000-4-2 - air discharge)                                    | $V_{ESD}$            | up to 15                           | kV              |

Note: \*The LED chip exhibits excellent performance but slight package discoloration occurs at highest temperatures. Exemplary median lifetime for  $T_j = 175\text{ °C}$  is 100h.

Anm: \*Auch bei höchsten Temperaturen zeigt der LED Chip sehr gute Leistungsmerkmale, aber es kann eine leichte Verfärbung des Gehäuses auftreten. Die mittlere Lebensdauer bei  $T_j = 175\text{ °C}$  beträgt 100h.

**Characteristics** ( $T_{\text{Board}} = 25\text{ °C}$ ;  $I_F = 1000\text{ mA}$ )

**Kennwerte**

| Parameter<br>Bezeichnung                                                               |        | Symbol<br>Symbol        | Values<br>Werte                       | Unit<br>Einheit |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Chromaticity coordinates acc. to CIE 1931<br>2) page 18                                | (typ.) | Cx                      | 0.322                                 | -               |
| Farbkoordinaten nach CIE 1931 2) Seite 18                                              | (typ.) | Cy                      | 0.334                                 | -               |
| Viewing angle at 50 % $I_V$<br>Abstrahlwinkel bei 50 % $I_V$                           | (typ.) | 2φ                      | 120                                   | °               |
| Forward voltage 3) page 18                                                             | (min.) | $V_F$                   | 6.05                                  | V               |
| Durchlassspannung 3) Seite 18                                                          | (typ.) | $V_F$                   | 6.75                                  | V               |
|                                                                                        | (max.) | $V_F$                   | 7.55                                  | V               |
| Reverse current<br>Sperrstrom                                                          |        | $I_R$                   | not designed for<br>reverse operation |                 |
| Radiating surface<br>Abstrahlende Fläche                                               | (typ.) | $A_{\text{color}}$      | 2.1                                   | mm <sup>2</sup> |
| Thermal resistance junction / board 4) page 18                                         | (typ.) | $R_{\text{th JB real}}$ | 4                                     | K/W             |
| Wärmewiderstand Sperrschicht / Board 4) Seite 18                                       | (max.) | $R_{\text{th JB real}}$ | 4.8                                   | K/W             |
| Thermal resistance junction / board 4) page 18                                         | (typ.) | $R_{\text{th JB el}}$   | 2.9                                   | K/W             |
| Wärmewiderstand Sperrschicht / Board 4) Seite 18<br>(with efficiency $\eta_e = 27\%$ ) | (max.) | $R_{\text{th JB el}}$   | 3.5                                   | K/W             |

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı :** Efecan DÜZYER

**Doğum Yeri ve Tarihi :** 20/11/1986

**Yabancı Dili :** İngilizce

**Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**

**Lise :** Gemlik Celal Bayar Anadolu Lisesi 2004

**Lisans :** Uludağ Üniversitesi 2009

**Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :** Magneti Marelli Mako A.Ş. 2016

**İletişim (e-posta) :** [eduzyer@gmail.com](mailto:eduzyer@gmail.com)