MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI TRANSFER KATSAYISI FARKLI SOĞUTUCULARIN LED ÇALIŞMA PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ASLI SPOR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik
Mühendisliği (Türkçe)
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Doç. Dr. İsmail KIYAK

İSTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI TRANSFER KATSAYISI FARKLI SOĞUTUCULARIN LED ÇALIŞMA PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ASLI SPOR

(523117048)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik
Mühendisliği (Türkçe)
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Doç. Dr. İsmail KIYAK

İSTANBUL, 2021

ÖNSÖZ

Öncelikle; fikirlerimi önemseyen, pandemi sürecinde sürekli iletişimde kalan, malzeme tedariğinde yardımcı olan ve bana her daim destek veren tez danışmanım Doç. Dr. İsmail KIYAK'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde lisans öğretmenim olan ve Yüksek lisans tezim için de fikirleriyle bana yardımcı olan Prof. Dr. Yahya BOZKURT'a teşekkür ederim.

Tez projesi için kullanılan LED soğutucularının gümüş ve bakır malzeme ile kaplanmasını sağlayan, kaplama işlemini ve kaplama malzemesinin kullanımını bedelsiz yapan Ayşe METİN'e ve ASSA METAL KAPLAMA şirketine teşekkürlerimi iletiyorum.

Projede kullanılan LED soğutuculardan 8 adedinin karşılıksız tedariğini sağlayan Fikret AKGÜN ve ARMA ELEKTRONİK şirketine, LED soğutucuların tedariğini karşılıksız sağlayan Mehmet Hakan ŞAHİN ve SARNİKON şirketine teşekkür ederim.

Proje sırasında arızalanan LED sürücünün muadilini bana karşılıksız temin eden Şener EKİZ ve İZ AYDINLATMA şirketine teşekkürlerimi iletirim.

Projedeki COB LED ve aparatlarını karşılıksız temin eden Serdar ZİNCİR ve GALATA ELEKTRONİK mağazasına teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman yanımda olan aileme teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ **i**
İÇİNDEKİLER **ii**
ÖZET **x**
ABSTRACT **xi**
SEMBOLLER **xii**
KISALTMALAR **xvi**
ŞEKİL LİSTESİ **xix**
TABLO LİSTESİ **xxx**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Tezin Amacı 1
1.2. Literatür Taraması 2
1.3. Gelecek Çalışmalar 5

2. IŞIK YAYAN DİYOT (LED) **7**
2.1. Işık Yayan Diyot (LED) Tanımı 7
2.2. Işık Yayan Diyotların (LED) Tarihçesi 10
2.3. Işık Yayan Diyot (LED) Yapısı 13
2.3.1. Işık yayan diyotlarda (LED) beyaz ışık elde edilmesi 15
2.3.1.1. Fosfor kaplamalı mavi renkli ışık yayan diyot 15
2.3.1.2. Kırmızı – yeşil – mavi ışık yayan diyot 16
2.3.1.3. Görünür ışığa çevrilen morötesi ışık yayan diyot 17
2.4. Işık Yayan Diyot (LED) Çeşitleri 17
2.4.1. Çift sıralı paketli ışık yayan diyot (DIP LED) 17
2.4.2. Dört bacaklı (süper akı) ışık yayan diyot (Flux LED) 19
2.4.3. Yüzeye monte edilen ışık yayan diyot (SMD LED) 20
2.4.4. Güçlü ışık yayan diyot (Power LED) 21
2.4.5. Karta yerleşik çoklu çipli ışık yayan diyot (COB LED) 23
2.4.6. Çoklu karta yerleşik çipli ışık yayan diyot (MCOB LED) 24
2.5. Işık Yayan Diyotların (LED) Aydınlatmada Kullanımı 25
2.5.1. Aydınlık düzeyi ve parıltı 27
2.5.2. Aydınlık düzgünlüğü 27

2.5.3. Kamaşma 28
2.5.4. Renksel geriverim ve ışık renk sıcaklığı (CRI ve CCT) 28
2.5.5. Işık kaynağındaki titreşimler (Flicker) 29
2.5.6. Işık dağılımı 30
2.5.7. Etkinlik faktörü 32
2.5.8. Ömür 32
2.6. Işık Yayan Diyot (LED) Armatür Bileşenleri 33
2.6.1. Işık yayan diyot paketi 34
2.6.2. Işık yayan diyot sürücüsü 35
2.6.3. Optik sistemler 36
2.6.4. Termal devre 37
2.7. Işık Yayan Diyot (LED) Ömrünü Etkileyen Parametreler 39
2.7.1. Sıcaklığın ışık yayan diyot ömrü ve performansı üzerindeki etkisi 40
2.7.2. Işık yayan diyot ömür tayini 42
2.7.2.1. Hızlandırılmış ömür testi (ALT-ADT) 42
2.7.2.2. Kademeli hızlandırılmış ömür testi (SSALT-SSADT) 43
2.7.3. Işık yayan diyot ışık akısının zamana bağlı değişiminin tayini 43
2.7.3.1. IESNA LM-80-08 Standart Yöntem: LED paketlerinin zamana bağlı ışık akısı ölçümleri 43
2.7.3.2. IESNA TM-21-11: Ömür öngörü test yöntemi 43

3. ARMATÜR ISIL ANALİZİ 45
3.1. Isı Transferi 45
3.1.1. Isı ışınımı 46
3.1.2. Isı taşınımı 48
3.1.3. Isı iletimi 50
3.2. Isıl İletkenlik Kavramı ve Isıl iletkenlik Katsayısı 52
3.3. Soğutuculardа Kullanılan Malzemeler 57

4. UYGULAMA YÖNTEMİ VE ELEMANLARI 61
4.1. Uygulama Amacı ve Kullanılan Yöntem 61
4.2. Kullanılan Eleman, Malzeme ve Cihazlar 62
4.2.1. Kullanılan karta yerleşik çoklu çipli ışık yayan diyotlar (COB LED) 62
4.2.2. Kullanılan ışık yayan diyot sürücüsü 66

4.2.3. Kullanılan soğutucular 68
4.2.3.1. Kaplama yapılmış soğutucular 71
4.2.4. Ölçüm için kullanılan ısı probu (Termokupl) 79
4.2.5. Ölçüm için kullanılan Lüksmetre 81
4.2.6. Deney ortamı ve cihaz bağlantıları 82
4.3. LED Armatürlerin Isı Transfer Hesabı 84
4.3.1. Termal direnç ile teorik hesap 84
4.3.2. Taşınım ve ışınım tekniğine göre ısıl teorik hesap 90
5. TERMAL ANALİZ VE UYGULAMA SONUÇLARI 105
5.1. ANSYS Analizleri 107
5.2. Deneysel Ölçümler için Hazırlık Aşamaları 119
5.2.1. LED armatür oluşturma aşaması 119
5.2.2. Ölçüm cihaz bağlantı ve ölçüm ortamı hazırlık aşaması 122
5.3. 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 123
5.4. 40W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 124
5.5. 40W COB LED – Etial150 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 125
5.6. 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 126
5.7. 30W COB LED – Etial150 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 127
5.8. 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 128
5.9. 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 129
5.10. 18W COB LED – Etial150 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 130
5.11. 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 131
5.12. 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 132
5.13. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (Mat) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 133

5.14. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (Parlak) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 135
5.15. 40W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 136
5.16. 40W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 137
5.17. 40W COB LED – 6063 Ø114 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 138
5.18. 40W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 139
5.19. 40W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 140
5.20. 40W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 141
5.21. 40W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 142
5.22. 40W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 143
5.23. 40W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 144
5.24. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 145
5.25. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 146
5.26. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 147
5.27. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 148
5.28. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 149
5.29. 30W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 150
5.30. 30W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 151
5.31. 30W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 152

5.32. 30W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 153
5.33. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 154
5.34. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 155
5.35. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 156
5.36. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 157
5.37. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 158
5.38. 30W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 159
5.39. 30W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 160
5.40. 30W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 161
5.41. 30W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 162
5.42. 30W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 163
5.43. 18W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 164
5.44. 18W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 165
5.45. 18W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 166
5.46. 18W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 167
5.47. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 168
5.48. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 169
5.49. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 170

5.50. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 171
5.51. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 172
5.52. 18W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 173
5.53. 18W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 174
5.54. 18W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 175
5.55. 18W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 176
5.56. 18W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 177
5.57. 10W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 178
5.58. 10W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 179
5.59. 10W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 180
5.60. 10W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 181
5.61. 10W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 182
5.62. 10W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 183
5.63. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 184
5.64. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 185
5.65. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 186
5.66. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 187
5.67. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 188

5.68. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri 189

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 191

KAYNAKLAR 227

EKLER 239

EK-1. 6063 Ø114 Soğutucunun XRAY Cihaz ile Kaplama Kalınlığı Ölçümü 239

EK-1.1. 6063 Ø114 Soğutucuya 10 µm Bakır Kaplama 239

EK-1.2. 6063 Ø114 Soğutucuya 25 µm Bakır Kaplama 240

EK-1.3. 6063 Ø114 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama 241

EK-1.4. 6063 Ø114 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama 242

EK-1.5. 6063 Ø114 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama 243

EK-2. 6063 Ø95 Soğutucunun XRAY Cihaz ile Kaplama Kalınlığı Ölçümü 244

EK-2.1. 6063 Ø95 Soğutucuya 25 µm Bakır Kaplama 244

EK-2.2. 6063 Ø95 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama 245

EK-2.3. 6063 Ø95 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama 246

EK-2.4. 6063 Ø95 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama 247

EK-3. Etial150 Ø95 Soğutucunun XRAY Cihaz ile Kaplama Kalınlığı Ölçümü 248

EK-3.1. Etial150 Ø95 Soğutucuya 25 µm Bakır Kaplama 248

EK-3.2. Etial150 Ø95 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama 249

EK-3.3. Etial150 Ø95 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama 250

EK-3.4. Etial150 Ø95 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama 251

EK-3.5. Etial150 Ø95 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama 252

EK-4. 6063 Ø70 Soğutucunun XRAY Cihaz ile Kaplama Kalınlığı Ölçümü 253

EK-4.1. 6063 Ø70 Soğutucuya 10 µm Bakır Kaplama 253

EK-4.2. 6063 Ø70 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama 254

EK-4.3. 6063 Ø70 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama 255

EK-4.4. 6063 Ø70 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama 256

EK-4.5. 6063 Ø70 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama 257

EK-5. 6063 Ø43 Soğutucunun XRAY Cihaz ile Kaplama Kalınlığı Ölçümü 258

EK-5.1. 6063 Ø43 Soğutucuya 10 µm Bakır Kaplama 258

EK-5.2. 6063 Ø43 Soğutucuya 20 µm Bakır Kaplama 259

EK-5.3. 6063 Ø43 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama 260
EK-5.4. 6063 Ø43 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama 261
EK-5.5. 6063 Ø43 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama 262
EK-5.6. 6063 Ø43 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama 263
EK-6. Etial150 Ø45 Soğutucunun XRAY Cihaz ile Kaplama Kalınlığı Ölçümü 264
EK-6.1. Etial150 Ø45 Soğutucuya 10 µm Bakır Kaplama 264
EK-6.2. Etial150 Ø45 Soğutucuya 25 µm Bakır Kaplama 265
EK-6.3. Etial150 Ø45 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama 266
EK-6.4. Etial150 Ø45 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama 267
EK-6.5. Etial150 Ø45 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama 268
EK-6.6. Etial150 Ø45 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama 269

ÖZET

ISI TRANSFER KATSAYISI FARKLI SOĞUTUCULARIN LED ÇALIŞMA PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Aydınlatma günümüzün her alanında karşımıza çıkan ve yaşam kalitesinin belirleyen bir alandır. Bununla beraber son yıllarda LED'li aydınlatma teknolojisi giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. LED içeren lambalar, harcadıkları enerjiye göre ürettikleri ışık akısı yüksektir ve uzun süre parlaklıklarını koruyabilmektedirler. Diğer aydınlatma sistemlerine kıyasla en önemli farkı, enerji tüketiminin düşük ve kullanılan ışık kaynağının uzun ömürlü olmasıdır. COB LED'ler, çektikleri enerjinin büyük bir kısmını ısı enerjisine dönüştürdüğünden LED çipleri üzerinde bir sıcaklık artışı gerçekleşmektedir. Bu sıcaklık LED'lerin özelliklerini olumsuz etkiler. En önemli olumsuz etkileri ise uzun ömür değerlerinin düşmesidir. Zaman içinde bu soruna çözüm olarak çeşitli soğutucu sistemleri ortaya çıkmıştır.

Bu projede, seçilen COB LED'ler ısı transfer katsayısı farklı malzemelerden üretilmiş soğutucular ile birleştirilerek LED armatürler oluşturulmuştur. Ayrıca soğutuculara; elektrolitik kaplama şeklinde, bakır ve gümüş malzemeler ile 10, 25, 40 µm kalınlıkta kaplama uygulanarak farklı LED armatürler oluşturulmuştur.

Soğutucular ile COB LED birleştirilmesinin teorik hesapları yapılmış ardından kaplamalı ve kaplamasız LED armatürlerin, LED kılıf sıcaklığı ile soğutucu sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ayrıca belirlenen farklı katkılara sahip malzemeler ile üretilen kaplamalı veya kaplamasız soğutucular ile çalışan LED'lerin sıcaklığa bağlı ışık çıkış değerleri ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü yapabilen iki multimetre yardımı ile LED'in katot ucu noktasından ve soğutucuların orta kanatçıklarından veriler alınmıştır. Lüksmetre yardımı ile de LED'e ait aydınlık düzeyi verileri alınmıştır. Ayrıca ANSYS simülasyon programı kullanılarak soğutucu malzemelerinin ısıl analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak; ısı transfer katsayısı farklı malzemelerden üretilen soğutucuların ve bu soğutuculara farklı kaplama kalınlıklarında bakır veya gümüş kaplama yapılmasının COB LED çalışma performansına etkileri uygulamalı olarak analiz edilmiştir. Sonucunda; 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama en olumlu sonuçları vermiştir.

ABSTRACT

RESEARCH OF THE EFFECTS OF HEATSINKS WITH DIFFERENT HEAT TRANSFER COEFFICIENTS ON THE LED OPERATING PERFORMANCE.

Lighting is an area that we encounter in all areas of our day and that determines the quality of life. However, in recent years, LED lighting technology has become increasingly widespread. Lamps containing LEDs have a high luminous flux produced according to the energy they consume and can maintain their brightness for a long time. The most important difference compared to other lighting systems is that the energy consumption is low and the light source used has a long life. Since COB LEDs convert most of the energy they absorb into heat energy, a temperature increase takes place on the LED chips. This temperature adversely affects the properties of the LEDs. The most important negative effects are the decrease in longevity values. Over time, various cooling systems have emerged as a solution to this problem.

In this project, LED luminaires were created by combining selected COB LEDs with heatsinks made of materials with different heat transfer coefficient. In addition to heatsinks; in the form of electrolytic coating, copper and silver materials and 10, 25, 40 μm thick coatings are applied to create different LED luminaires. Theoretical calculations of the combination of heatsinks and COB LEDs were made, then the LED case temperature and heatsink temperature values of the coated and uncoated LED luminaires were measured. In addition, temperature-dependent light output values of LEDs operating with coated or uncoated heatsinks produced with materials with different additives were measured. With two multimeters capable of measuring temperature, data were taken from the cathode tip of the LED and the middle fins of the heatsinks. The illuminance data of the LED were also obtained with the luxmeter. In addition, thermal analysis of the heatsink materials were made using the ANSYS simulation program and compared.

The effects of the heatsinks produced from materials which have the different heat transfer coefficient and the copper or silver coating of these heatsinks with copper or silver plating and different plating thicknesses on the COB LED operating performance were analyzed in practice. As a result; silver-plated heatsinks with a thickness of 10 μm gave the most positive results.

SEMBOLLER

% : Yüzdelik

< : Küçük olma durumu

> : Büyük olma durumu

± : Fazla veya eksik olma durumu

°C : Santigrat derece

µm : Mikrometre

A : Yüzey alanı

A_1 : Soğutucunun dış yüzey ısısının taşındığı yüzeylerin alanı

A_2 : Soğutucu kanatçıklarının ısıl taşınım yaptığı yüzey alanı

A_3 : Soğutucu tabanındaki ısıyı transfer eden yüzey alanı

A_b : Soğutucunun taban alanı

A_{r2} : Soğutucu kanatçıklarının ısı ışıması yaptığı yüzey alanı

A_S : Cismin yüzey alanı

c : Isıl ışıma katsayısı

cm : Santimetre

cm^2 : Santimetre kare

cm^3 : Santimetre küp

d : Yüzeyler arası kalınlık

E_{avg} : Ortalama aydınlık düzeyi

E_{min} : Minimum aydınlık düzeyi

g : Gram

g : Yerçekimi ivmesi

h : Isı taşınım katsayısı

H : Soğutucunun yüksekliği

h_1 : Dış yüzeylerin taşınım (konveksiyon) katsayısı

h_2 : Kanatçıkların taşınım (konveksiyon) katsayısı

h_3 : Soğutucu tabanı taşınım (konveksiyon) katsayısı

h_f : Kanatçığın ısıl taşınım katsayısı

H_f : Soğutucunun kanatlarının yüksekliği

Hz : Hertz

K : Kelvin derecesi

k : Soğutucu malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı

$\mathbf{k_E}$: Elektron bileşeni

$\mathbf{k_{hava}}$: Havanın ısıl iletkenlik katsayısı

kHz : Kilo Hertz

$\mathbf{k_{int}}$: Termal arayüz malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı

$\mathbf{k_L}$: Latis bileşeni

KΩ : Kilo Ohm

$\mathbf{L_{1, 2, ..., n}}$: Soğutucunun kanatlarının uzunluğu

lm : Lümen

$\mathbf{L_{max}}$: Soğutucuğun en yüksek kanatçık uzunluğu

$\mathbf{L_s}$: Isı kaynağının (LED'in) uzunluğu

m : Metre

$\mathbf{m^2}$: Metre kare

mA : Mili Amper

mm : Milimetre

$\mathbf{mm^2}$: Milimetre kare

$\mathbf{mm^3}$: Milimetre küp

mV : Mili Volt

$\mathbf{Nu_L}$: Nusselt sayısı

Ø : Çap uzunluğu

Q : Isı kaynağının (LED'in) ürettiği ısı gücü

$\mathbf{Q_{c1}}$: Soğutucunun dış yüzeyinin ortama taşıdığı ısı

$\mathbf{Q_{c2}}$: Soğutucunun her bir kanatçığının ortama taşıdığı ısı

$\mathbf{Q_{c3}}$: Soğutucunun taban yüzeyinin ortama taşıdığı ısı

$\mathbf{Q_{conv}}$ **ve** $\mathbf{Q_{taşınım}}$: Taşınım ile aktarılan ısı miktarı

$\mathbf{Q_{emit}}$ **ve** $\mathbf{Q_{yayılım}}$: Işınım ile aktarılan ısı miktarı

$\mathbf{Q_{iletim}}$: İletim ile aktarılan ısı miktarı

$\mathbf{Q_{r1}}$: Soğutucunun dış yüzeyinden ısı ışıması

$\mathbf{Q_{r2}}$: Soğutucunun her bir kanatçığından ısı ışıması

$\mathbf{Q_{r3}}$: Soğutucunun taban yüzeyinden ortama ısı ışıması

$\mathbf{Ra_L}$: Rayleigh sayısı

R_b : Soğutucu tabanı termal direnci

R_{bf} : Soğutucu termal direnci

R_{cs} : Kılıf-Soğutucu termal direnci

R_f : Soğutucu Kanatçığı termal direnci

R_{ja} : Jonksiyon-Ortam termal direnci

R_{jc} : Jonksiyon-Kılıf termal direnci

R_{sa} : Soğutucu-Ortam termal direnci

sn : Saniye

s_{opt} : Kanatçıklar arası mesafe

T_1 : 1. yüzeyin sıcaklığı

T_2 : 2. yüzeyin sıcaklığı

T_∞ : Akışkanın sıcaklığı

T_{amb} **ve** T_a : Ortam sıcaklığı

T_{avg} : Ortalama sıcaklık

t_b : Soğutucu taban kalınlığı

T_c : LED kılıfı sıcaklığı

t_f : Soğutucu kanatçığı kalınlığı

t_{int} : Termal arayüz malzemesinin kalınlığı

T_j : Jonksiyon sıcaklığı

T_{Jmax} : Maksimum sınır jonksiyon sıcaklığı

T_s : Soğutucu sıcaklığı

T_S : Yüzey sıcaklığı

U_0 : Aydınlık düzgünlüğü

V : Volt

V_F : İleri gerilim

W : Watt

W_s : Isı kaynağının (LED'in) genişliği

α : Havanın ısıl yayılım (ışınım) katsayısı

β : Genleşme katsayısı

ε : Soğutucunun yüzey ışınım (emisyon) katsayısı

η_f : Kanatçık verimliliği

λ : Dalga boyu

ν	**:** Havanın kinetik viskozitesi
σ	**:** Stefan-Boltzman sabiti

KISALTMALAR

AC : Alternating Current (Alternatif Akım)

Ag : Gümüş

Al : Alüminyum

Al_2O_3 : Alüminyum Oksit

AlGaAs : Alüminyum Galyum Arsenit

AlGaInN : Alüminyum Galyum İndiyum Nitrit

AlGaInP : Alüminyum Galyum İndiyum Fosfat

AlGaN : Alüminyum Galyum Nitrit

AlGaP : Alüminyum Galyum Fosfat

AlN : Alüminyum Nitrit

AlSiC : Alüminyum Matris İçinde Silikon Karbür

ALT-ADT : Accelereated Life-Degradation Test (Hızlandırılmış Ömür Testi)

ark : Arkadaşları

B : Bor

BeO : Berilyum Oksit

bknz : Bakınız

BN : Bor Nitrür

C : Karbon

CCT : Correlated Color Temperature (Renk Sıcaklığı)

COB : Chip On Board (Karta Yerleşik Çip)

Cr : Krom

CRI : Color Rendering Index (Renksel Geriverim İndeksi)

Cu : Bakır

CVD : Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)

DALI : Digital Addressable Lighting Interface (Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü)

DC : Direct Current (Doğru Akım)

DIP : Dual In-Line Package (Çift Sıralı Paket)

ESD : ElectroStatic Discharge (Elektrostatik Boşalma)

Fe : Demir

FET : Field Effect Transistor (Alan Etkili Transistör)

GaAs : Galyum Arsenit

GaAsP : Galyum Arsenit Fosfat

GaN : Galyum (III) Nitrit

GaP : Galyum (III) Fosfat

HVAC : Heating Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)

IESNA : Illuminating Engineering Society of North America (Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Derneği)

InGaN : İndiyum Galyum Nitrit

LCD : Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)

LED : Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)

MCOB : Multiple Chip On Board (Çoklu Karta Yerleşik Çip)

MCPCB : Metal Core Printed Circuit Board (Metal Çekirdekli (Al) Baskılı Devre Kartı)

Mg : Magnezyum

Mn : Mangan

Ni : Nikel

NiO : Nikel Oksit

Ör : Örneğin

Pb : Kurşun

PC : Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)

PCB : Printed Circuit Board (Baskılı Devre Kartı)

PMMA : Polimetil metakrilat

RGB : Red-Green-Blue (Kırmızı-Yeşil-Mavi Renkli)

RH : Relative Humidity (Bağıl Nem)

Si : Silisyum

SiC : Silikon Karbür

SiO_2 : Silisyum Dioksit

SMD : Surface Mounted Device (Yüzeye Monte Edilen Cihaz)

Sn : Kalay

SSALT-SSADT : Step Stress Accelerated Life-Degration Test (Kademeli Hızlandırılmış Ömür Testi)

Ti : Titanyum

TS EN **:** Türk Standardı ve Europen Norm

UGR **:** Unified Glare Rating (Birleştirilmiş Parlama Derecesi)

UV **:** Ultraviyole

Zr **:** Zirkonyum

Zn **:** Çinko

ZnO **:** Çinko Oksit

ZnS **:** Çinko Sülfür

ZnSe **:** Çinko Selenit

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA

Şekil 2.1. LED çipinin elektro-lüminesans olayı 7

Şekil 2.2. LED'lerin kaşifi kabul edilen Nick Holonyak 12

Şekil 2.3. Beyaz renkli LED'in keşfi 13

Şekil 2.4. Power LED'in yapısı 14

Şekil 2.5. COB LED'in yapısı 14

Şekil 2.6. LED'lerde beyaz ışık elde etme yöntemleri (a) fosfor kaplamalı mavi LED, (b) RGB LED, (c) görünür ışığa çevrilen UV LED 15

Şekil 2.7. DIP LED görünümü 17

Şekil 2.8. Flux LED görünümü 19

Şekil 2.9. PCB üzerine dizilmiş SMD LED'ler 20

Şekil 2.10. Power LED görünümü 21

Şekil 2.11. COB LED görünümü 23

Şekil 2.12. MCOB LED görünümü 24

Şekil 2.13. Aydınlatmadaki en yaygın renk sıcaklıkları (soldan sağa; sıcak beyaz, ılık beyaz, soğuk beyaz, gün ışığı) 29

Şekil 2.14. Aydınlatmada kullanılan ışık dağılımları 31

Şekil 2.15. LED armatür yapısı 33

Şekil 2.16. LED armatürünü oluşturan birimler 34

Şekil 2.17. LED paketleri için kullanılan optik sistemler (a) SMD için (b) COB için 36

Şekil 2.18. Farklı jonksiyon sıcaklıklarında farklı renklerde LED'lerin ışık akılarındaki değişim 38

Şekil 2.19. LED soğutucuları 39

Şekil 2.20. LED ömrü ile sıcaklığın ilişkisi 41

Şekil 2.21. LED'lerde ışık şiddeti ile sıcaklık arasındaki ilişki 42

Şekil 3.1. Bir cisimdeki ısı ışıması 47

Şekil 3.2. Bir cisimdeki ısı taşınımı 49

Şekil 3.3. Bir cismin ısı iletimi 51

Şekil 3.4. Malzemenin ısıl iletkenlik katsayısını bulmak için kurulan deney düzeneği 52

Şekil 3.5. Maddenin farklı hallerdeki ısıl iletim özellikleri 53

Şekil 3.6. Oda sıcaklığında katı, sıvı ve gaz halinde bulunan malzemelerin ısıl iletimleri 53

Şekil 3.7. Bazı katı, sıvı ve gaz maddelerin ısıl iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi 54

Şekil 3.8. Alüminyum alaşımlarından üretilen ekstrüzyon soğutucular 58

Şekil 3.9. Bakır malzemeden yapılan komponent soğutucu 59

Şekil 3.10. CVD (sentetik) elmas soğutucu 60

Şekil 4.1. Kullanılan COB LED'ler (soldan sağa; 40W güç değerindeki, 30W güç değerindeki, 18W güç değerindeki, 10W güç değerindeki COB LED) 62

Şekil 4.2. 1 numaralı (40W) COB LED (a) ışık akısının kılıf sıcaklığına göre değişimi, (b) ileri gerilimin kılıf sıcaklığına göre değişimi, (c) akımın kılıf sıcaklığına göre değişimi 64

Şekil 4.3. 2 numaralı (30W) COB LED (a) ışık akısının kılıf sıcaklığına göre değişimi, (b) ileri gerilimin kılıf sıcaklığına göre değişimi, (c) akımın kılıf sıcaklığına göre değişimi 65

Şekil 4.4. 3 numaralı (18W) COB LED (a) ışık akısının kılıf sıcaklığına göre değişimi, (b) ileri gerilimin kılıf sıcaklığına göre değişimi, (c) akımın kılıf sıcaklığına göre değişimi 65

Şekil 4.5. 4 numaralı (10W) COB LED (a) ışık akısının kılıf sıcaklığına göre değişimi, (b) ileri gerilimin kılıf sıcaklığına göre değişimi, (c) akımın kılıf sıcaklığına göre değişimi 66

Şekil 4.6. Kullanılan LED sürücü 66

Şekil 4.7. Kullanılan LED sürücünün giriş-çıkış devre şeması 68

Şekil 4.8. COB LED ile LED soğutucunun gerçekleştirdikleri ısı transferlerinin gösterimi 69

Şekil 4.9. (a) COB LED'in arka yüzüne sürülmüş termal macun, (b) Kesit görünümü verilen COB LED ile soğutucu arasındaki termal macun 69

Şekil 4.10. Kaplamasız ölçüm yapılan soğutucular (a) 6063 Ø114, (b) 6063 Ø95, (c) Etial150 Ø95, (d) 6063 Ø70, (e) 6063 Ø43, (f) Etial150 Ø45 Mat Yüzey, (g) Etial150 Ø45 Parlak Yüzey 71

Şekil 4.11. Bakır kaplama uygulanmış "6063 Ø114" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama 73

Şekil 4.12. Gümüş kaplama uygulanmış "6063 Ø114" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama 74

Şekil 4.13. Bakır kaplama uygulanmış "6063 Ø95" soğutucular (a) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama 74

Şekil 4.14. Gümüş kaplama uygulanmış "6063 Ø95" soğutucular (a) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama 75

Şekil 4.15. Bakır kaplama uygulanmış "Etial150 Ø95" soğutucular (a) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama 75

Şekil 4.16. Gümüş kaplama uygulanmış "Etial150 Ø95" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama 76

Şekil 4.17. Bakır kaplama uygulanmış "6063 Ø70" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama 76

Şekil 4.18. Gümüş kaplama uygulanmış "6063 Ø70" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama 77

Şekil 4.19. Bakır kaplama uygulanmış "6063 Ø43" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama 77

Şekil 4.20. Gümüş kaplama uygulanmış "6063 Ø43" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama 78

Şekil 4.21. Bakır kaplama uygulanmış "Etial150 Ø45" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama 78

Şekil 4.22. Gümüş kaplama uygulanmış "Etial150 Ø45" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama 79

Şekil 4.23. Termokupl devre şeması 79

Şekil 4.24. COB LED'ler ve soğutucuları üzerindeki sıcaklık ölçüm noktaları (a) 40W COB LED, (b) 30W COB LED, (c) 18W COB LED, (d) 10W COB LED 80

Şekil 4.25. Sıcaklık ölçümleri için kullanılan cihazlar ve ısı probları (a) T_c noktasını ölçen alet, (b) T_S noktasını ölçen alet 81

Şekil 4.26. Aydınlık düzeyi ölçümleri için kullanılan lüksmetre 81

Şekil 4.27. Uygulama sistemi blok gösterimi 83

Şekil 4.28. Deney (ölçüm) düzeneği 83

Şekil 4.29. LED jonksiyondan ortama kadar olan termal direnç değerleri 84

Şekil 4.30. Soğutucuların kesitleri ve kesitlerinin sembol ile gösterim 86

Şekil 4.31. Bir soğutucu üzerinde gerçekleşen ısı transferleri ve transferlerin gerçekleştiği yüzey alanları 91
Şekil 5.1. 40 W COB LED – 6063 Ø114 soğutucu ANSYS görüntüsü 108
Şekil 5.2. 40 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü 109
Şekil 5.3. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü 110
Şekil 5.4. 30 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü 111
Şekil 5.5. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü 112
Şekil 5.6. 30 W COB LED – 6063 Ø70 soğutucu ANSYS görüntüsü 113
Şekil 5.7. 18 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü 114
Şekil 5.8. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü 115
Şekil 5.9. 18 W COB LED – 6063 Ø70 soğutucu ANSYS görüntüsü 116
Şekil 5.10. 10 W COB LED – 6063 Ø43 soğutucu ANSYS görüntüsü 117
Şekil 5.11. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 soğutucu ANSYS görüntüsü 118
Şekil 5.12. COB LED'e bağlantı kabloları ve sıcaklık probu lehimlenmesi 120
Şekil 5.13. Soğutucuların üzerine termal macun uygulanması 120
Şekil 5.14. COB LED – Soğutucu kombinasyonları 121
Şekil 5.15. Soğutucu kanatçığına bantlanan sıcaklık probu 122
Şekil 5.16. Kara kutu ve ölçüm cihazları 122
Şekil 5.17. Deneysel uygulama sürecinde ölçüm cihazlarında değerlerin okunması 123
Şekil 5.18. 40W COB LED – 6063 Ø114 soğutucu ile yapılan test düzeneği 123
Şekil 5.19. 40 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği 124
Şekil 5.20. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği 125
Şekil 5.21. 30 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği 126
Şekil 5.22. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği 127
Şekil 5.23. 30 W COB LED – 6063 Ø70 soğutucu ile yapılan test düzeneği 128
Şekil 5.24. 18 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği 129
Şekil 5.25. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği 130
Şekil 5.26. 18 W COB LED – 6063 Ø70 soğutucu ile yapılan test düzeneği 131
Şekil 5.27. 10 W COB LED – 6063 Ø43 soğutucu ile yapılan test düzeneği 132
Şekil 5.28. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (Mat) soğutucu ile yapılan test düzeneği 134
Şekil 5.29. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (Parlak) soğutucu ile yapılan test düzeneği 135

Şekil 5.30. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 136

Şekil 5.31. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 137

Şekil 5.32. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 138

Şekil 5.33. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 139

Şekil 5.34. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 140

Şekil 5.35. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 141

Şekil 5.36. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 142

Şekil 5.37. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 143

Şekil 5.38. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 144

Şekil 5.39. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 145

Şekil 5.40. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 146

Şekil 5.41. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 147

Şekil 5.42. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 148

Şekil 5.43. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 149

Şekil 5.44. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 150

Şekil 5.45. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 151

Şekil 5.46. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 152

Şekil 5.47. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 153

Şekil 5.48. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 154

Şekil 5.49. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 155

Şekil 5.50. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 156

Şekil 5.51. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 157

Şekil 5.52. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 158

Şekil 5.53. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 159

Şekil 5.54. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 160

Şekil 5.55. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 161

Şekil 5.56. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 162

Şekil 5.57. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 163

Şekil 5.58. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 164

Şekil 5.59. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 165

Şekil 5.60. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 166

Şekil 5.61. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 167

Şekil 5.62. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 168

Şekil 5.63. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 169

Şekil 5.64. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 170

Şekil 5.65. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 171

Şekil 5.66. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 172

Şekil 5.67. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 173

Şekil 5.68. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 174

Şekil 5.69. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 175

Şekil 5.70. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 176

Şekil 5.71. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 177

Şekil 5.72. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 178

Şekil 5.73. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 179

Şekil 5.74. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 180

Şekil 5.75. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 181

Şekil 5.76. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 182

Şekil 5.77. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 183

Şekil 5.78. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 184

Şekil 5.79. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 185

Şekil 5.80. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 186

Şekil 5.81. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 187

Şekil 5.82. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 188

Şekil 5.83. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği 189

Şekil 6.1. 40W COB LED – 6063 Ø114 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 191

Şekil 6.2. 40W COB LED – 6063 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 192

Şekil 6.3. 40W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 192

Şekil 6.4. 30W COB LED – 6063 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 194

Şekil 6.5. 30W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 194

Şekil 6.6. 30W COB LED – 6063 Ø70 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 194

Şekil 6.7. 18W COB LED – 6063 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 195

Şekil 6.8. 18W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 195

Şekil 6.9. 18W COB LED – 6063 Ø70 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 196

Şekil 6.10. 10W COB LED – 6063 Ø43 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 196

Şekil 6.11. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (Parlak) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 197

Şekil 6.12. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (Mat) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 197

Şekil 6.13. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 198

Şekil 6.14. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 198

Şekil 6.15. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 199

Şekil 6.16. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 199

Şekil 6.17. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 200

Şekil 6.18. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 200

Şekil 6.19. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 201

Şekil 6.20. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 201

Şekil 6.21. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 202

Şekil 6.22. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 202

Şekil 6.23. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 203

Şekil 6.24. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 203

Şekil 6.25. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 204

Şekil 6.26. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 204

Şekil 6.27. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 205

Şekil 6.28. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 205

Şekil 6.29. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 206

Şekil 6.30. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 206

Şekil 6.31. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 207

Şekil 6.32. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 207

Şekil 6.33. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 208

Şekil 6.34. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 208

Şekil 6.35. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 208

Şekil 6.36. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 209

Şekil 6.37. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 209

Şekil 6.38. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 210

Şekil 6.39. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 210

Şekil 6.40. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 210

Şekil 6.41. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 211

Şekil 6.42. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 211

Şekil 6.43. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 212

Şekil 6.44. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 212

Şekil 6.45. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 213

Şekil 6.46. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 213

Şekil 6.47. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 214

Şekil 6.48. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 214

Şekil 6.49. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 214

Şekil 6.50. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 215

Şekil 6.51. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 215

Şekil 6.52. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 216

Şekil 6.53. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 216

Şekil 6.54. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 216

Şekil 6.55. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 217

Şekil 6.56. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 217

Şekil 6.57. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 217

Şekil 6.58. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 218

Şekil 6.59. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 218

Şekil 6.60. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 219

Şekil 6.61. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 219

Şekil 6.62. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 220

Şekil 6.63. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 220

Şekil 6.64. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 221

Şekil 6.65. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 221

Şekil 6.66. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği 221

TABLO LİSTESİ

SAYFA

Tablo 2.1. LED aktif katmanında kullanılan malzemenin oluşturduğu ışık rengi 8

Tablo 2.2. LED'lerin gelişimi 25

Tablo 2.3. Lamba türlerinin bazı aydınlatma unsurları 26

Tablo 2.4. Farklı lamba çeşitlerinin etkinlik faktörü değer aralıkları 32

Tablo 2.5. Lamba türlerinin ısı transfer sistemlerinin karşılaştırılması 37

Tablo 3.1. Isı transfer şekilleri 45

Tablo 3.2. Bazı cisimlerin ısıl ışıma katsayıları 47

Tablo 3.3. Bazı cisimlerin 300K sıcaklıktaki yayıcılık katsayıları 48

Tablo 3.4. Bazı cisimlerin ısıl taşınım katsayıları 49

Tablo 3.5. Bazı malzemelerin oda sıcaklığındaki ısıl iletkenlik katsayıları 51

Tablo 3.6. Bakır ve alüminyum malzemenin ısıl iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi 55

Tablo 3.7. Metaller için ısıl iletim katsayıları 56

Tablo 3.8. Yapı ve yalıtım malzemelerinin ısıl iletim katsayıları 57

Tablo 4.1. Kullanılan COB LED'lerin elektriksel özellikleri 63

Tablo 4.2. Kullanılan COB LED'lerin ısıl özellikleri 63

Tablo 4.3. Kullanılan COB LED'lerin ömür değerleri 64

Tablo 4.4. Kullanılan LED sürücünün özellikleri 67

Tablo 4.5. Kullanılan LED sürücünün dört farklı akım ayarındaki özellikleri 67

Tablo 4.6. Kullanılan soğutucuların boyutları 70

Tablo 4.7. Soğutucu çeşitlerine deneyler için uygulanmış kaplama malzemeleri ve kalınlıkları 72

Tablo 4.8. Etial150 alaşımının özellikleri 72

Tablo 4.9. AL6063 alaşımının özellikleri 73

Tablo 4.10. Kullanılan lüksmetrenin seçim aralıkları değerleri 82

Tablo 4.11. COB LED'lerin termal direnç değerleri hesap sonuçları 87

Tablo 4.12. Kullanılan soğutucuların termal direncinin hesabı için gerekli parametreler 88

Tablo 4.13. Kullanılan soğutucuların her bir kanatçığının uzunluğu 88

Tablo 4.14. Kullanılan soğutucuların termal dirençlerinin hesap sonuçları 89

Tablo 4.15. COB – soğutucu eşleşmelerinin ısı transfer yetenekleri değerlendirilmesi 90

Tablo 4.16. Kullanılan soğutucuların ısı transfer hesabı için gerekli parametreler 94

Tablo 4.17. Kullanılan soğutucuların dış yüzeyinin ortama taşıdığı ısı 95

Tablo 4.18. Kullanılan soğutucuların ısı taşınımı yapan kanatçıklarının her birinin yüzey alanı 96

Tablo 4.19. Kullanılan soğutucuların her bir kanatçığının ortama taşıdığı ısı 97

Tablo 4.20. Kullanılan soğutucuların dış yüzeyinin ortama yaydığı ısı 97

Tablo 4.21. Kullanılan soğutucuların ısı ışıması yapan kanatçıklarının her birinin yüzey alanı 98

Tablo 4.22. Kullanılan soğutucuların kanatçıklarının ortama yaydığı ısı 98

Tablo 4.23. Kullanılan soğutucuların ısı transferi yapan taban yüzey alanları 99

Tablo 4.24. Kullanılan soğutucuların üzerlerinde kullanılan COB LED'lere göre tabandan ortama taşınan ısılar 100

Tablo 4.25. Kullanılan soğutucuların üzerlerinde kullanılan COB LED'lere göre tabandan ortama yayılan ısılar 101

Tablo 4.26. Kullanılan soğutucuların tabanlarındaki ısı transferleri haricindeki toplam ısı transferleri 101

Tablo 4.27. Kullanılan soğutucuların üzerinde kullanılan COB LED'lere göre hesaplanan toplam ısı transferi değerleri 102

Tablo 5.1. Seçilen COB LED – Soğutucu kombinasyonları 105-106

Tablo 5.2. 40 W COB LED – 6063 Ø114 deneysel uygulama ölçüm değerleri 124

Tablo 5.3. 40 W COB LED – 6063 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri 125

Tablo 5.4. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri 126

Tablo 5.5. 30 W COB LED – 6063 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri 127

Tablo 5.6. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri 128

Tablo 5.7. 30 W COB LED – 6063 Ø70 deneysel uygulama ölçüm değerleri 129

Tablo 5.8. 18 W COB LED – 6063 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri 130

Tablo 5.9. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri 131

Tablo 5.10. 18 W COB LED – 6063 Ø70 deneysel uygulama ölçüm değerleri 132

Tablo 5.11. 10 W COB LED – 6063 Ø43 deneysel uygulama ölçüm değerleri 133

Tablo 5.12. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (Mat) deneysel uygulama ölçüm değerleri 134

Tablo 5.13. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (Parlak) deneysel uygulama ölçüm değerleri 135

Tablo 5.14. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 136

Tablo 5.15. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 137

Tablo 5.16. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 138

Tablo 5.17. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 139

Tablo 5.18. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 140

Tablo 5.19. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 141

Tablo 5.20. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 142

Tablo 5.21. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 143

Tablo 5.22. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 144

Tablo 5.23. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 145

Tablo 5.24. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 146

Tablo 5.25. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 147

Tablo 5.26. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 148

Tablo 5.27. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 149

Tablo 5.28. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 150

Tablo 5.29. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 151

Tablo 5.30. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 152

Tablo 5.31. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm sonuçları 153

Tablo 5.32. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 154

Tablo 5.33. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 155

Tablo 5.34. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 156

Tablo 5.35. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 157

Tablo 5.36. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 158

Tablo 5.37. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 159

Tablo 5.38. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 160

Tablo 5.39. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 161

Tablo 5.40. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 162

Tablo 5.41. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 163

Tablo 5.42. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 164

Tablo 5.43. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 165

Tablo 5.44. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 166

Tablo 5.45. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm sonuçları 167

Tablo 5.46. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 168

Tablo 5.47. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 169

Tablo 5.48. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 170

Tablo 5.49. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 171

Tablo 5.50. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 172

Tablo 5.51. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 173

Tablo 5.52. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 174

Tablo 5.53. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 175

Tablo 5.54. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 176

Tablo 5.55. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 177

Tablo 5.56. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 178

Tablo 5.57. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 179

Tablo 5.58. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 180

Tablo 5.59. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 181

Tablo 5.60. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 182

Tablo 5.61. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 183

Tablo 5.62. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 184

Tablo 5.63. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 185

Tablo 5.64. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 186

Tablo 5.65. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 187

Tablo 5.66. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 188

Tablo 5.67. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri 189

1. GİRİŞ

İlk bölümde, tezin tanıtımı yapılmıştır. Tezin yazılma amacı, tezin yazılmasına ilham olan çalışmaların taramasında elde edilen bilgiler ve tezden elde edilecek bilgiler ışığında gelecekte yapılabilecek çalışmalar bu bölümde açıklanmıştır.

1.1. Tezin Amacı

LED'li aydınlatma teknolojisi giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. LED içeren lambalar, harcadıkları enerjiye göre ürettikleri ışık akısı yüksektir ve uzun süre parlaklıklarını koruyabilmektedirler. Bilindiği gibi LED'ler 100.000 saatin üstünde ömre, sonsuz açma kapama dayanımına, açılır açılmaz %100 çıktı verme özelliğine, sıfırdan tam çıktı düzeyine kadar tüm değerler için dimm yapılabilme yeteneğine ve ışık spektrumundaki tüm renkleri verebilme gibi özelliklere sahipler. Böylece büyük bir enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, işletme masraflarının da minimuma inmesini sağlanmaktadır. Bütün bunlar armatür tasarımcılarına büyük heyecan veren ve yeni ufuklar açabilecek üstünlüklerdir. Bu üstünlüklerin yanında aydınlatmada kullanılan COB LED'lerin akımlarının yüksek olması nedeni ile çok iyi soğutulması gerekmektedir.

Bu çalışmada, armatürlerde ışık kaynağı olarak kullanılan COB LED'lerin çalışma performansını ve ömürlerini doğrudan etkiyen jonksiyon sıcaklığı üzerinde durulacaktır. Seçilen COB LED'ler ısı transfer katsayısı farklı malzemeler ile üretilen soğutucular ile çalıştırılacak ve çalışma sıcaklık değerleri ölçülecektir. Bu değerlerden biri LED jonksiyon sıcaklığı ile soğutucu kanatçığının sıcaklığıdır. Ayrıca belirlenen farklı malzemeli soğutucular ile çalışan LED'lerin sıcaklığa bağlı aydınlık düzeyi değerleri ölçülecektir. Sıcaklık ölçümü yapabilen bir multimetre yardımı ile LED'in katot ucunun noktasından veriler alınacaktır. Lüksmetre yardımı ile de LED'e ait ışık akısı, aydınlık düzeyi gibi veriler alınacaktır. Sonuç olarak ısı transfer katsayısı farklı malzemeden üretilmiş soğutucuların COB LED çalışma performansına etkileri uygulamalı olarak analiz edilecektir.

1.2. Literatür Taraması

LED teknolojisinin gelişmesi ile LED sıcaklıkları da sorun olmaya başlamıştır. LED ısısı soğutucular vasıtasıyla dağıtılmaktadır. Isının büyük çoğunluğu LED'lerden uzağa transfer edilirse LED jonksiyon sıcaklığı azalır ve bu sayede LED'lerin ömrü artar ve ışık akısı yükselir.

LED ısısının transferini arttırmak için LED paketi veya soğutucu üzerine belirli işlemlerin uygulandığı pek çok çalışma hayata geçirilmiştir. Bu çalışmalar arasından bu tezin yazılmasına ilham olan, soğutucu malzemeler üzerine ilave malzeme ekleme veya kaplama ile ısı transferinin arttırılması amaçlanmış bazı çalışmalar şu şekildedir:

Subramani ve ark. [1] termal arayüz malzemesi ile kullanılan alüminyum yüzey yerine üzerine Bor Nitrür (BN) ince filmi ile kaplanmış soğutucu kullanmışlar ve bu malzemeyi yüksek güçlü LED'in soğutucusu olarak kullanmışlardır. BN ince film, saf BN (% 99,99 saflık) kullanılarak alüminyum (230 mm × 250 mm × 15 mm) substratları üzerine püskürtülmüşlerdir. Kaplama kalınlığını 200 nm olarak belirlemişlerdir. 700 mA'de jonksiyon sıcaklıkları ölçümünde, çıplak alüminyum ile BN kaplanmış substratlar değerlendirmişler ve BN kaplı substratların jonksiyon sıcaklıkları daha düşük bir değer olarak gözlemlemişlerdir. Ayrıca toplam termal direnç değerini de BN kaplama sonucu daha düşük ölçmüşlerdir. Çıplak ve BN kaplı Al substratları arasındaki jonksiyon sıcaklıkları arasındaki farkın yaklaşık 2,97 °C olduğunu fark etmişlerdir. T_J'da olduğu gibi, BN kaplı Al substratları için toplam termal dirençte de (51,39 K/W) çok düşük bir değer gözlemlemişler ve termal dirençler arasındaki farkın 1,92 K/W olduğunu fark etmişlerdir. Pürüzsüz yüzey düşük temas direnci nedeniyle pürüzlü yüzeyden daha fazla ısı iletebilir ve bu nedenle BN ince film sınır koşulu için düşük termal direnç elde etmişlerdir (pürüzlülük: BN kaplı filmde 15 nm, çıplak Al'da 89 nm).

LED yarıiletken çipinin etrafına yerleştirilen fosfor tabakası zamanla yüksek sıcaklıklardan ötürü bozulmalara uğrar, LED ömrü azalır ve ışık akısında düşüşler oluşur. Perera ve ark. [2] delikli metal bir soğutucuya fosfor tabakası gömerek bu bozulmayı önlemeye ve sıcaklığı düşürmeye çalışmışlardır. Sonuçlarında; soğutucunun ısı iletim alanı arttığında fosfor tabakası sıcaklığının düştüğünü ancak aynı zamanda bu çalışmada kullanılan toplam ışık çıktısının, metal alanların ışık absorpsiyonu nedeniyle azaldığını göstermişlerdir. Alüminyuma gömülü fosfor, merkez sıcaklığını %29 düşürmüş ancak

göreli görünür ışıma gücü de % 33 azalmıştır. Aynı işlemleri alüminyum yerine akrilik soğutucu kullanarak ısıl iletkenlik etkisini araştırmışlardır. Sonucunda akrilik soğutucu, test edilen tüm soğutucu iletim alanı konfigürasyonları için daha yüksek fosfor çalışma sıcaklığı göstermiştir. Bu sonuçları ile, soğutucunun geometrik yönlerinin ve soğutucu malzemesinin termal özelliklerinin bu termal yönetim yönteminde önemli olduğunu göstermişlerdir.

Zhang ve ark. [3] alüminyum tabakanın kalınlığının ve tavlanmasının karbon nanotüp sentezi ve ısıl performans üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Karbon nanotüp, 600-3000 W/m.K değerleri arasında yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir. Alüminyum alaşımlı plaka ile birleştirilmiş 1 inç x 1 inç Si substrat üzerinde büyütülmüş hizalanmış karbon nanotüp dizisini kullanmışlardır. Alüminyum tabakanın kalınlığı ise 10-15 nm olarak belirlemişlerdir. Karbon nanotüp termal arayüz malzemesinin son teknoloji ticari termal arayüz malzemesi ile karşılaştırıldığında termal arayüz direncini önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. Karbon nanotüp dizilerinin optimize edilmiş termal direncini 7 mm^2K/W kadar düşük ölçmüşlerdir. Işık gücünü ise karbon nanotüp tabaka kullanımıyla arttırmışlardır.

Panaccione ve ark. [4] çalışmalarında, üç farklı tipte kalıp malzemelerini değerlendirmişlerdir: gümüş epoksi, kurşunsuz lehim ve yeni ortaya çıkan nano gümüş macun. 3,9 mm^2 ila 9,0 mm^2 arasında değişen alanlardaki yüksek güçlü LED paketine yapıştıran nano gümüş macun kaplamanın ortalama ısıl direncin en düşük olduğunu ve gümüş epoksi ile yapıştırılanın en yüksek ısıl dirence sahip olduğunu bulmuşlardır. Test paketi yapıları, her iki tarafta 70 µm Cu devre izleri olan 0,5 mm kalınlığında bir alüminyum nitrür seramik substrat olmuştur. Bu seramik substratı, nano Ag macununun sinterlenmesi için ideal olan Ag kaplamalı devre izlerine sahip olduğu için test yapısı için seçmişlerdir. Kalıbın arka tarafını da Ag'nin arka tarafına buharlaştırılmasıyla hazırlamışlardır. Kalıbı, seramik alt tabakaya tutturduktan sonra, tel ile bağlamışlar daha sonra bir alüminyum çekirdeği PCB üzerine yüzeye monte etmişlerdir. 3,9 mm^2'lik çıplak kalıp için farkı yaklaşık 0,6 °C/W bulmuşlarken, sinterlenen ve lehimlenen nano gümüş arasındaki farkı yaklaşık 0,3 °C/W bulmuşlardır. Basit hesaplamalar ile, 3,9 mm^2 LED paketi için parlaklık artışının %50 kadar yüksek olabileceğini öngörmüşlerdir.

Ahmed ve ark. [5] çalışmalarında; farklı tabakalardaki (5, 10, 15 ve 20) nikel oksit (NiO) filmlerini, sol-jel spin kaplama tekniği kullanılarak Al substrat üzerine kaplamışlardır. Alüminyum ölçülerini 25x25x1,5 mm^3 olarak belirlemişlerdir, kaplama kalınlıkları ise 5 katmanlıda 25 nm olarak ölçmüşlerdir. Yüksek güçlü LED paketini; çıplak Al ve NiO kaplı Al tabakalarına sabitlemişlerdir. En düşük jonksiyon sıcaklığını ve LED paketinin toplam termal direnci değerlerini, 5 katman içeren NiO film için 700 mA'da elde etmişlerdir. Bu değerleri çıplak alüminyumunkinden sırasıyla 14,31 °C ve 5,73 K/W farkla daha düşük bulmuşlardır. Ayrıca NiO filminin termal iletkenliği, oda sıcaklığında 49 W/m.K olarak ölçülmüştür.

Lim ve ark. [6]; 300 mA'de, Cu katkılı alüminyum oksit kaplamalı alüminyum (Al_2O_3/Al) filmler üzerindeki LED paketinin sıcaklığını 4,59 °C ve ısıl direncini 5,06 K/W farkla çıplak alüminyumdakinden daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Ong ve ark. [7], bor katkılı alüminyum nitrit kaplamalı bakır (B-AlN/Cu) filmler üzerindeki LED paketin ısıl direncinin ve bağlantı sıcaklığının çıplak Cu ile karşılaştırıldığında sırasıyla 1,43 K/W ve 3,37 °C farkla azaldığını gözlemlemişlerdir.

Sim ve ark. [8]; silikon kauçuğun ısıl iletkenliğinin, çinko oksitin (ZnO) doldurma yükünün % 10'una ulaşıldığında 1,8 W/m.K arttığını bulmuşlardır.

Fu ve ark. [9], çinko oksitin (ZnO) doldurma yükünü ağırlıkça % 66,3'e çıkararak epoksi reçinenin ısıl iletkenliğini 4,70 faktörü ile iyileştirmişlerdir.

Mutharasu ve ark. [10] alüminyum substrat üzerine püskürtülen çinko oksit (ZnO) ince filmi LED teknolojisinde ısı transferi için arayüz olarak incelemişlerdir. Sonuçları ile, hem bağlantı sıcaklığının hem de termal direncin çıplak Al substrata kıyasla sırasıyla 3,33 °C ve 2,11 K/W farkla azaldığını ortaya koymuşlardı.

He ve ark. [11] yüksek güçlü LED'ler için yüksek ısıl iletkenlikteki saf alüminyumdan soğutucu üretmişler ve ısı dağılım alanının artması nedeniyle LED bağlantı sıcaklığını etkili bir şekilde azaltmışlardır.

Seo ve ark. [12] COB LED ışık kaynağı ile soğutucu arasına bir bakır katman uygulamışlardır. Bakır kaplandığında, COB LED ışık kaynağı ile soğutucu arasındaki bağlantı sıcaklığını 50,9 ℃ ölçmüşlerdir ve bakır kaplanmamış soğutucudan 5,4 ℃ daha

düşük sıcaklık değeri ölçmüşlerdir. Bağlantı sıcaklığının iyileştirilmesi nedeniyle, LED ışık kaynağı ışık çıkışı % 5,8 artmış olarak gözlemlemişlerdir.

Chai ve ark. [13] soğutucu üzerine ince bakır kaplama yapmak için yeni bir soğuk püskürtme teknolojisi uygulamışlardır. Sonucunda, kaplamasız soğutucu ile karşılaştırıldığında yüksek güçlü LED lambanın dayanıklılığını önemli ölçüde arttırmışlardır. Termal arayüz malzemesi ile termal direncini azaltmışlardır. Yüksek güçlü LED'in daha iyi ısı dağılımı performansını, CAE yazılımı simülasyonu ve deneyleri ile doğrulamışlar ve LED lambalar için giriş gücünün artmasıyla, LED çipinin lehimleme ve kılıf yapısı arasındaki sıcaklık farkının arttığını gözlemlemişlerdir. Ancak; soğuk püskürtme ile bakır tabakasının termal iletkenliğini sadece 160 W/m.K olarak ölçmüşler (saf bakırın ısıl iletkenliği 398 W/m.K) bu nedenle soğuk püskürtme işlemini daha da iyileştirmeyi planlamışlardır.

1.3. Gelecek Çalışmalar

Tezin sonuçlarından yola çıkılarak teknolojinin verdiği geniş imkanlar ile soğutucular üzerinde mikrometre kalınlığın daha altında nanometre boyutunda gümüş veya bakır kaplamaların denemeleri yapılabilir. Elmas içeren ve elmas malzemesinin yüksek ısıl iletkenliğini fazla düşürmeyen ayrıca ekonomik olan bir malzeme üretilebilir. Araştırmacıların çoğunun denediği LED paketi üzerinde malzeme değişimleriyle LED çiplerinin ısınması soğutucudan bağımsız olarak azaltılabilir. LED soğutucu üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler sonucu yüksek ışık akısına sahip LED’lerin soğutucularındaki genişlik ve kapladığı alan azaltılabilir böylece kullanımı çok daha yaygın hale gelebilir.

Özetle; LED kullanımı büyük oranda arttığından LED’lerin ısısını düşürmenin LED ömrü ve ışık akısı üzerinde kazanca sahip olduğu için bu konunun geleceğinin daha aydınlık olacağı aşikardır.

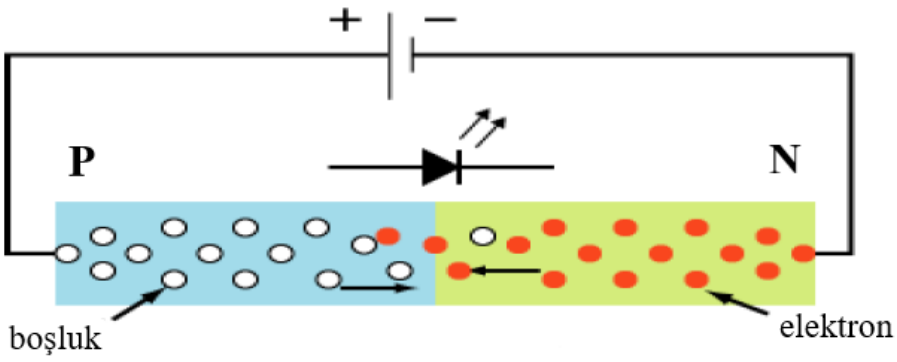
2. IŞIK YAYAN DİYOT (LED)

Bölüm içeriğinde; LED'ler ve LED aydınlatma ile ilgili bilgiler bulunmaktadır. LED'lerin tanımı, çeşitleri, kullanımı belirtildikten sonra tez uygulamalarının amacı olan LED'lerin soğutulması ve bu soğutma işleminin önemi anlatılmıştır.

2.1. Işık Yayan Diyot (LED) Tanımı

LED (Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)); yarı iletken malzemeden oluşan, temeli diyot olan, ışık üreten elektronik devre elemanıdır [14].

LED'ler üzerlerinden elektrik akımı geçirildiği zaman, elektronların tek yönlü hareketine izin vererek, ışık üreten elektronik yapılardır. LED'ler de, normal diyotlarda olduğu gibi içine yabancı maddeler ilave edilerek saflığı bozulan yarı iletken maddelerden üretilirler [15]. Böylelikle bir P-N jonksiyonu oluşturabilirler. Saflığı bozulmuş olan yarı iletkenlerde elektronların sayısı ile boşlukların sayısına bakılır. Elektronların sayısı fazla ise yarı iletken N-tipi, boşlukların sayısı fazla ise yarı iletken P-tipi olarak adlandırılır. N-tipi ve P-tipi yarı iletken malzemeler bir araya getirilerek LED yapısını oluşturur [16]. Enerji kaynağının pozitif kutbuna P-tipi yarı iletken, negatif kutbuna N-tipi yarı iletken bağlandığında pozitif kutuptan (anot), negatif kutuba (katot) doğru elektrik akımı geçer. Bu arada negatif kutuptan pozitif kutuba geçen elektronlar ise bir boşluk ile birleşerek foton yayarlar. Bu aşamaya elektro-lüminesans denir [15, 17].



Şekil 2.1. LED çipinin elektro-lüminesans olayı [18]

LED'ler esas olarak birbiri üzerine yerleştirilmiş üç farklı türde malzemeden oluşur. Alt tabaka yüksek konsantrasyonda serbest elektronlara (Ör: Si ile katkılı N-tipi GaN) ve

ardından kuantum kuyuları olarak da adlandırılan daha küçük bant aralıklı (InGaN / GaN) çok sayıda alternatif ince katmana (1-30 nm) sahiptir. Daha küçük bant aralıklı materyalin (InGaN), daha büyük bant aralıklı materyalin (GaN) katmanları arasında sandviçlenmesi, elektronları ve delikleri uzamsal olarak yakalayan bir kuyu yaratır ve bunların verimli bir şekilde yeniden birleşmelerine ve daha küçük bant aralıklı materyalin dalga boyuyla ışık üretmelerine olanak tanır. Bu aktif katmanın üzerinde, yüksek konsantrasyonda deliklere sahip bir malzeme katmanı vardır (Mg ile katkılanmış P-tipi GaN) [19].

LED ışığının rengi aktif katmanda bulunan malzemeye göre oluşur. Bu amaçla aktif katmanda; GaAs (Galyum Arsenit), GaAsP (Galyum Arsenit Fosfat), AlGaAs (Alüminyum Galyum Arsenit), GaP (Galyum (III) Fosfat), AlGaInP (Alüminyum Galyum İndiyum Fosfat), GaN (Galyum (III) Nitrit), InGaN (İndiyum Galyum Nitrit), AlGaP (Alüminyum Galyum Fosfat), ZnSe (Çinko Selenit), SiC (Silikon Karbür), AlN (Alüminyum Nitrit), AlGaN (Alüminyum Galyum Nitrit) ve AlGaInN (Alüminyum Galyum İndiyum Nitrit) gibi değişik malzemeler kullanılır [18, 20].

Tablo 2.1. LED aktif katmanında kullanılan malzemenin oluşturduğu ışık rengi [21]

LED Işık Rengi	**Dalga Boyu (nm)**	**Aktif Katmanda Kullanılan Malzeme**
Kızıl ötesi	$\lambda > 760$	GaAs, AlGaAs
Kırmızı	$610 < \lambda < 760$	AlGaAs, GaAsP, AlGaInP, GaP
Turuncu	$590 < \lambda < 610$	GaAsP, AlGaInP, GaP
Sarı	$570 < \lambda < 590$	GaAsP, AlGaInP, GaP
Yeşil	$500 < \lambda < 570$	InGaN, GaN, GaP, AlGaInP, AlGaP
Mavi	$450 < \lambda < 500$	ZnSe, InGaN, SiC
Mor ötesi	$\lambda < 400$	AlGaN, AlN, AlGaInN

LED; yüksek enerji verimli, kompakt ve son derece uzun ömürlü olduğu için nihai ışık kaynağı olarak kabul edilmiştir. Son zamanlarda, konvansiyonel aydınlatma sistemlerinin yerini LED ışık kaynakları almıştır [22-24].

LED teknolojisine dayalı aydınlatma sistemleri, konvansiyonel ışık sistemlerine karşı üstünlükleri nedeniyle, her geçen gün daha fazla uygulanarak, farklılık yaratmak, kullanım amacına daha uygun aydınlatma yapmak ve kullanıldığı yerlere mimari bir değer katmak gibi çok sayıda alternatif sunmaktadır [25].

LED'in ilk satın alma maliyeti konvansiyonel lambalı aydınlatma sistemlerine göre biraz daha yüksektir. Ancak doğru proje yapılması halinde, orta ve uzun vadede daha ekonomik sonuçlar ortaya çıkmaktadır [25].

Aydınlatma cihazlarında LED ışık kaynağı kullanılması durumunda ışık verimi artmakta, enerji tüketimi azalmakta, sistemin ömrü uzamakta, ışık yönlendirme seviyesi daha iyi olmakta, kızıl ötesi ve ultraviyole ışıması azalmakta, renksel geriverim daha iyi olmaktadır. LED ışık kaynakları ile milyonlarca renk üretmek mümkün olmakta, ayrıca çok sayıda farklı renk sıcaklıklarında beyaz ışık üretilebilmektedir [25].

LED'lerin verimleri yüksektir. Bu nedenle aynı ışık seviyesini daha az enerji ile sağlayarak büyük oranda enerji tasarrufu temin ederler. LED sistemlerin, geleneksel sistemlere göre ömürleri daha uzun olup, bakım olmaksızın 100.000 saat kadar uzunlukta ömre sahiplerdir. Ortamların çok sayıda renklerle aydınlatılması ve renklerin değiştirilmesi uygulamalarında sundukları alternatifler oldukça fazladır. Renksel geriverim değerleri % 95'i aşmaktadır. Boyutları çok küçüktür ve değişik biçimlerde üretilebilirler. LED'lerin ışığı ısı taşımaz ayrıca yönlendirildikleri objeleri UV yayarak yaşlandırmazlar. Titreşime ve şoka karşı dayanıklıdırlar. Neme ve suya karşı da dayanıklılıkları fazladır. Elektromanyetik parazite neden olmazlar. Reaksiyon verme süreleri nano saniye seviyesindedir. Bu hız onların akkor flamanlı vb. ışık kaynaklarına karşı bir başka üstünlükleridir [25-26].

LED elemanların karbondioksit salınımları son derece azdır. Bünyelerinde gazlı armatürler gibi halojen gazlar ve ağır metaller bulunmaz. Kullanım süreleri dolduğunda atıklarının doğaya zararı olmaz [27].

LED aydınlatma armatürleri uzun ömürlü oldukları ve yapılarında cam olmaması nedeniyle darbelere dayanıklı olmalarından dolayı armatür bakımlarının zor olduğu yerlerde özellikle tercih edilirler. LED armatürlerin bir başka tercih nedeni de şık görünümlerinden dolayı mimari ve sanatsal aydınlatmada kullanılmalarıdır [27].

LED ampuller, LED projektörler, LED spotlar, LED paneller, LED şeritler, LED tavan armatürleri gibi çok sayıda ürün LED aydınlatma ürünlerini oluşturmaktadır [27].

LED aydınlatma hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Bina içi aydınlatmaları, dış aydınlatmalar, ofis aydınlatması, cadde, sokak ve meydan aydınlatmaları, park ve bahçe

aydınlatmaları, endüstriyel aydınlatma, otomotiv sektörü, reklam sektörü gibi pek çok alanda LED aydınlatma kullanılmaktadır [27].

2.2. Işık Yayan Diyotların (LED) Tarihçesi

Edison'un yaklaşık yüzyıl önce bulduğu elektrik lambasından sonra günümüzdeki en son teknoloji olan ışık yayan diyotlar, yapay aydınlatma alanında aydınlatma tarihinin en önemli ikinci buluşu olarak kabul edilmektedir. Günümüze kadar LED kadar uzun ömürlü ve LED kadar az enerji tüketen bir ışık kaynağı bulunamamıştır [28].

Thomas Edison kendi bulduğu akkor lambanın patentini 1879 yılında aldı. Ardından akkor lambanın az zamanda ticari olarak kabul görmesiyle elektriksel aydınlatma alanında önemli gelişmeler oldu. Edison, ışığı, vakumlanmış cam bir ampul içinde, karbonize edilmiş pamuk flamanı kullanmak suretiyle üretmişti. Daha önce Joseph Swan'da benzer çalışmaları yaparak aynı sonuçlara ulaşmıştı. Buna rağmen Edison akkor lambayı ilk icat eden kişi olmadığı halde akkor lambayı ilk olarak ticarileştiren ve böylelikle üne kavuşarak, adını tarihe yazdıran kişi oldu. Akkor Lambalar elektrik akımı uygulanan basit bir direnç devresinde flaman telinin ışıması prensibi ile çalışırlar. Enkandesan lambaların çalışma ömrü yaklaşık 1000 saat olup enerji verimlilikleri düşüktür [28-29].

Flüoresan lambalar 1930'lu yılların sonlarında Thomas Edison ve Heinrich Geissler tarafından bulunmuştur. Flüoresan lambalar esas olarak, içinde soy gazlar ve az miktarda civa bulunan, iç yüzü fosfor kaplı cam tüplerden oluşur. Lamba içinde bulunan civa, katotların oluşturduğu ark vasıtasıyla buharlaşır ve bu sayede ultraviyole ışığı meydana gelir. Ortaya çıkan ultraviyole ışığının lamba içerisindeki fosforla reaksiyona girmesiyle gözle görülen ışık meydana gelir. Bu lambalarda ayrıca lambaya giden enerjiyi kontrol eden, akım düzenleyici balast ve lambanın çalışmasını başlatan starter yani başlatma mekanizmalarının da kullanılması gerekmektedir [29].

Kompakt Flüoresan lambalar 1970'lı yılların ortalarında bulundu. Ancak üretim maliyetleri yüksek olduğundan dolayı 1990'lı yıllara kadar pazarda yer alamadılar. Kompakt flüoresan lambalar enkandesan lambalara göre daha uzun ömürlüdür ve daha az enerji harcarlar [29-30].

1900'lu yılların başında civa buharlı lambalar bulunmuş böylelikle deşarj lambalarda ilk adım atılmıştır. Bu lambalar akkor lambalara göre lamba ömrü ve lamba etkinliği açısından oldukça üstündür [28].

Geleneksel ışık kaynaklarından farklı olarak ışık yayan diyotlar lamba değildir. Bunlar özel yarı iletken malzemeden yapılmış elektronik çiplerdir. Yirminci yüzyılın başında elektro-lüminesans kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram, içinden elektrik akımı geçirilen cisimlerin ışık yaymaları veya kuvvetli bir elektrik alan içinde bulunan cisimlerin ışık yaymaları durumlarını ifade etmektedir. Elektro-lüminesans oda sıcaklığında da oluşabilir. Bu nedenle bir maddenin yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak ışımasının sağlanması olan temel ışık üretiminden farklıdır [28-31].

Eugene G. Acheson, 1891 yılında silisyum dioksit (SiO_2) ve kok'u birlikte ısıtmış ve silisyum karbür (SiC) adlı malzemeyi sentezlemeyi sağlamıştır. Henry Joseph Round, 1907 yılında silisyum karbürün değişik alanlarda kullanılabileceğini bulmak amacıyla deneyler yapmıştır. Bu deneylerde Round, silisyum karbür üzerinden akım geçirmek suretiyle sarı renkte ışık elde etmiş ve bu buluş ile LED kavramı ilk kez ortaya çıkmıştır. Round 1907 yılında bu buluşunu "Electrical World" adlı dergide yayınlamıştır [32-33].

1928 yılında Lossev, elektrik kaynağının pozitif ve negatif uçlarını farklı malzemelerden üretilmiş diyotların pozitif ve negatif uçlarına negatif/negatif veya negatif/ pozitif olarak iki farklı şekilde bağlayarak deneyler yapmış ve böylece lüminesan ışık elde edildiğini görmüştür. Lossev elde edilen ışığın ortaya çıkış nedeninin ısıl yol olup olmadığını anlamak istemiş bunun içinde ışıyan yüzey üzerine sıvı benzen dökmüş ve benzenin buharlaşma hızını gözlemlemiştir. Benzenin buharlaşmasının çok yavaş olduğunu görmesi üzerine ortaya çıkan ışığın ısıl yolla gerçekleşmediği sonucuna varmıştır [34].

Günlük kullanıma uygun ilk LED'ler 1962 yılında General Electric Firmasında, Nick Holonyak tarafından Fosfor, Arsenik ve Galyum kullanılarak (GaAsP) üretilmiştir. Bu nedenle 23 Nisan 2004 tarihinde Washington'da düzenlenen bir törenle Nick Holonyak LED'lerin mucidi olarak kabul edilerek 500.000 dolar tutarındaki bir parayla ödüllendirilmiştir. GaAsP içeren LED'ler ile kırmızı ışık üretilebilmiştir. Ancak bunların fiyatları yüksek olduğu için az miktarda üretilmişlerdir. Bu aşamada ticari kullanım amacıyla üretilen ilk LED'ler kırmızı ışığı 0,001 lümen ışık akısında yayabilmişlerdir. Hesap makineleri ve elektronik göstergeler LED'lerin ilk ticari uygulamaları arasındadır.

İlk LED'lerin ışık akıları çok düşük olduğu için aydınlatma alanında kullanılamamışlardır [35].



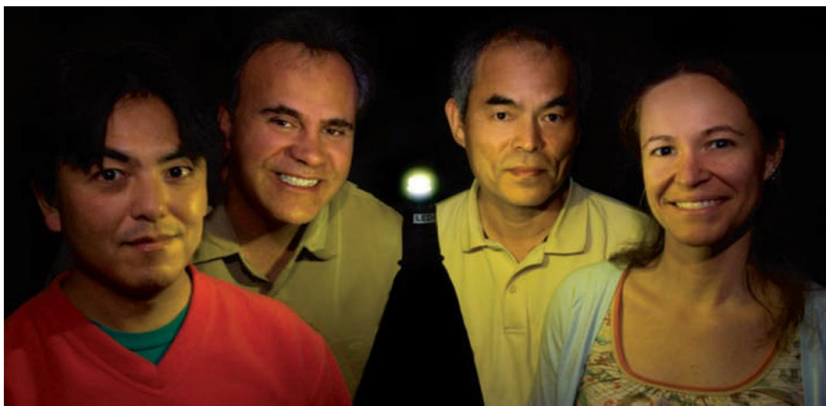
Şekil 2.2. LED'lerin kaşifi kabul edilen Nick Holonyak [36]

LED'lerin ışık akılarını 1985 yılına kadar 100 mililümenin üzerine çıkarmak mümkün olmamış bu yüzden LED'ler ancak küçük sinyal uygulamalarında kullanılabilmişlerdir. Silisyum karbür filmleri üzerine yapılan çalışmalar sonucu 1960'ların sonlarına doğru mavi LED'leri üretmek mümkün olmuştur. İlk yapılan mavi LED'lerin ışıksal verimleri çok düşüktü. Elektrik enerjisini ışık enerjisine çevirme oranları %0.005 civarında idi. Bu nedenle mavi LED'lerde uzun süre gelişme olmadı ve üretimlerine ara verildi. 17 yıl süren çalışmalar sonunda ışıksal verimi maksimum %0.03 değerine ulaşabilmiş olan en iyi SiC LED, 470 nm'de mavi ışığı üretmek mümkün olmuştur [35].

Yüksek parlaklığa sahip ilk LED, Japon Nichia firmasında çalışan Shuji Nakamura tarafından 1985 yılından sonra üretildi. Kendisi İndium Galyum Nitrit (InGaN) kullanarak mavi renkli LED üretmişti. Bu buluşu ona 2014 yılı Fizik Nobelini ve 2006 yılı Milenyum Teknoloji ödülünü kazandırdı [16].

Mavi LED'lerin yüksek ışık akılarına sahip olacak şekilde üretilmeleri beyaz LED'ler içinde çalışmaların başlamasına neden oldu. 1999 yılında, 1 watt güce sahip sürekli çalışabilir LED'ler Lumileds firması tarafından üretildi. 2002 yılında 5 watt güce sahip sürekli çalışabilir 18-20 lm/W etkinlik faktörlerine sahip LED'leri üretmek mümkün olmuştur. Ardından 2003 yılında beyaz ışık verebilen 65 lm/W etkinlik faktörüne sahip LED'ler CREE firması tarafından piyasaya sürülmüştür. 2006 yılına gelindiğinde laboratuvar şartlarında ve standart oda sıcaklıklarında 131 lm/W etkinlik değerlerine

ulaşılmıştır. Bu değer sırasıyla 2011 yılı Mayıs ayında 231 lm/W, 2012 yılında 254 lm/W, 2013 yılında 276 lm/W ve 2014 yılında 303 lm/W değerlerine yükselmiştir [35].



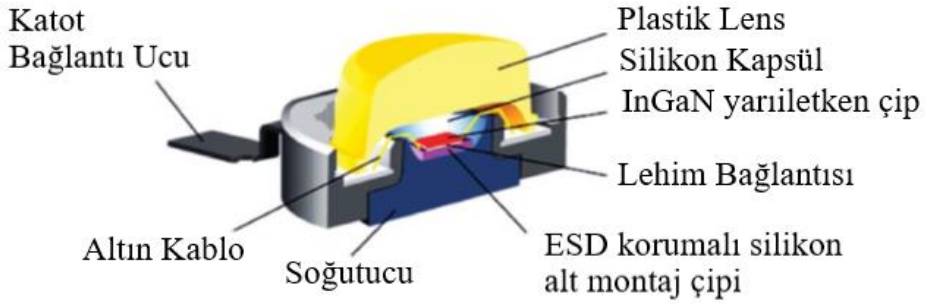
Şekil 2.3. Beyaz renkli LED'in keşfi [37]

2000 yılından itibaren LED'ler çok hızlı gelişmiş ve laboratuvar koşullarında olsa bile 300 lm/W barajı aşılmıştır. Işık akıları, ömür, renk ve etkinlik faktörü gibi özelliklerdeki çok hızlı gelişmeler LED ışık kaynaklarını konvansiyonel ışık kaynaklarına karşı güçlü bir alternatif haline getirmiştir.

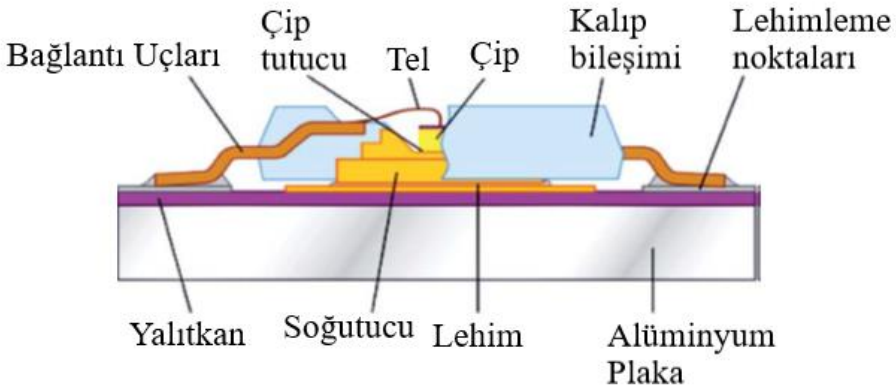
2.3. Işık Yayan Diyot (LED) Yapısı

LED çipi, yarı iletken malzemeden oluşur ve ışık yayar. LED'in en önemli kısmını oluşturur. LED çipinin noktasal ışığını kılıf içindeki yansıtıcı eleman, belirli bir yöne doğru yayar. Bir P-N jonksiyon yarıiletken, ışık geçiren iletken bir film ile ışığı yansıtan bir film arasına yerleştirilir. Böylece LED çip oluşturulur. Işık geçiren film genellikle iletken camdan yapılır. Işık yansıtan film ise buharlaştırmak suretiyle kaplaması yapılmış metal, genel olarak da alüminyumdan yapılır [26, 38].

LED üretiminin esas odak noktalarından biri paketleme teknolojisidir. Bir LED paketinin yapısı çoğunlukla aşağıdaki Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'deki öğelerden oluşmaktadır [39].



Şekil 2.4. Power LED'in yapısı [39]



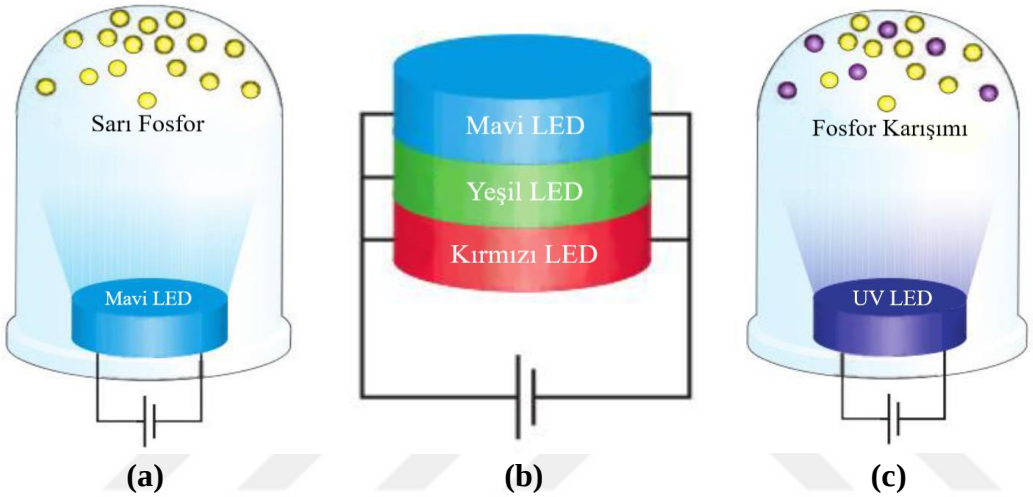
Şekil 2.5. COB LED'in yapısı [39]

- Gümüş yapıştırıcı ile bir alt tabakaya (ESD korumalı bir alt montaj) lehimlenen ve monte edilen LED kalıp;
- Üretilen termal enerjiyi çip konumundan uzağa taşıyan ısı dağıtıcı olarak işlev gören seramik, metal veya silikon tabaka;
- Soğutucu üzerine monte edilmiş alt tabaka (seramik, bakır, alüminyum);
- Elektrik bağlantıları (gümüş, altın) için LED ara bağlantı bileşenleri olarak kablo bağlantıları;
- Çipi harici mekanik ve çevresel etkilere karşı koruma görevi olan silikon kapsül; (beyaz bir LED olması durumunda, fosfor sistemleri (toz) ve viskoz silikon kapsül homojen bir şekilde karıştırılır ve çıplak çip yüzeyinin önüne monte edilir);
- Plastik lens olarak birincil optik.

2.3.1. Işık yayan diyotlarda (LED) beyaz ışık elde edilmesi

P-N eklemi, LED'in katmanları arasında bulunur ve ışık yayılımı özelliğine sahip olmaktadır. Bu katmanda değişik renkler elde etmek için farklı yarı iletken malzemeler kullanılır. Örneğin mavi ve yeşil ışık elde etmek için InGaN, kırmızı ve amber ışık elde etmek için AlInGaP yarı iletkenleri kullanılır. Ancak beyaz ışığın elde edilmesi diğer renklerin eldesinden farklıdır [40-41].

Beyaz LED ışık üç farklı şekilde elde edilmektedir:



Şekil 2.6. LED'lerde beyaz ışık elde etme yöntemleri (a) fosfor kaplamalı mavi LED, (b) RGB LED, (c) görünür ışığa çevrilen UV LED [19]

2.3.1.1. Fosfor kaplamalı mavi renkli ışık yayan diyot

Bu tarz üretimde tek renkli LED'ler farklı renklerdeki fosforlarla kaplanmak suretiyle beyaz ışık elde edilmektedir. Bu amaçla en çok InGaN'den yapılmış mavi LED'ler kullanılmaktadır [42].

Fosfor tabanlı yöntem, bir diyodun yaydığı kısa dalga boylu radyasyonun, daha uzun dalga boylu radyasyon yayan bir fosfor tabakasından geçirilmesi sonucu kısa dalga boylu radyasyonun absorblanması böylece daha uzun dalga boyunda yayılmasının temin edilmesi olarak ifade edilebilir [15].

Değişik renkli fosforlar orijinal LED'in rengine bağlı olarak kullanılır. Değişik renklerdeki birkaç fosfor katmanının kullanılması sonucunda yayılan spektrum genişler. Renksel geriverim, bir başka ifade ile renk oluşturma indeksi (CRI) etkili bir şekilde artar [43].

Hale efektinin oluşabilmesi bu yöntemin en önemli sakıncasıdır (Diotun direkt ışığına karşı, fosforun ışığının yayıcı bir karakter göstermesi). Ayrıca nispeten düşük renksel geriverim değerlerine sahip olmaları da dezavantaj olarak gösterilmektedir [15].

Yüksek güçlü LED üreticilerinin en sık kullandığı beyaz ışık üretme yöntemidir. Tek renkli fosfor dönüşümlü bir yayıcı kullanan bir ışık kaynağı ya da ışık fikstürünün tasarım ve üretimi bir RGB sisteminden daha kolay ve daha ekonomiktir. Günümüzde kullanılmakta olan yüksek yoğunluklu beyaz LED'lerin önemli bir kısmı fosfor ışık dönüşümü kullanılarak üretilmektedir.

2.3.1.2. Kırmızı – yeşil – mavi ışık yayan diyot

"Red, Green, Blue" (RGB); kırmızı, yeşil ve mavi renkli LED'lerin radyasyonlarını karıştırarak beyaz renkli ışık üretme yöntemidir.

Bu yöntemin en önemli sakıncası, her diyodun ayrı ayrı kontrol edilmesi mecburiyetidir. Bu nedenle maliyet artmakta ve tasarım zorlaşmaktadır [15].

Değişik renklerde ışık oluştururken, çok renkli LED'ler yeni bir yol da sunmaktadır. Üç ana renk değişik miktarlarda karıştırılarak çok sayıda algılanabilir renk elde edilebilir. Bu durum, hassas dinamik renk kontrolünü mümkün kılar [44].

Buna ilave olarak diğer yöntemlere nazaran renksel geriverimleri daha azdır. RGB kaynakları tek bir pakette olsa dahi renk dengesi görüş açısına bağlı olarak değişebilmektedir. Bunun nedeni LED'lerin farklı emisyon modellerine sahip olmasıdır. Bundan dolayı beyaz aydınlatma üretirken RGB diyotları çok nadir kullanılır [15, 44].

Artan sıcaklıkla birlikte bu tür LED'lerin emisyon gücü üssel olarak azalır. Bu durumun sonucu olarak renk kararlılığında önemli değişiklikler meydana gelir. Bu olumsuzluklar endüstriyel kullanımı engellemektedir. Fosforsuz çok renkli LED'ler iyi bir renk sunumu sağlayamaz. Bunun nedeni her bir LED'in dar bantlı bir kaynak olmasıdır. Fosforsuz LED'ler, genel aydınlatma açısından yetersiz olmalarına rağmen ekranlar, LCD arka ışığı ve doğrudan LED tabanlı pikseller için en iyi çözümü sunarlar. Dekoratif amaçlı aydınlatmada çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna rağmen genel aydınlatma uygulamalarında kullanımı azdır [15, 44, 45].

2.3.1.3. Görünür ışığa çevrilen morötesi ışık yayan diyot

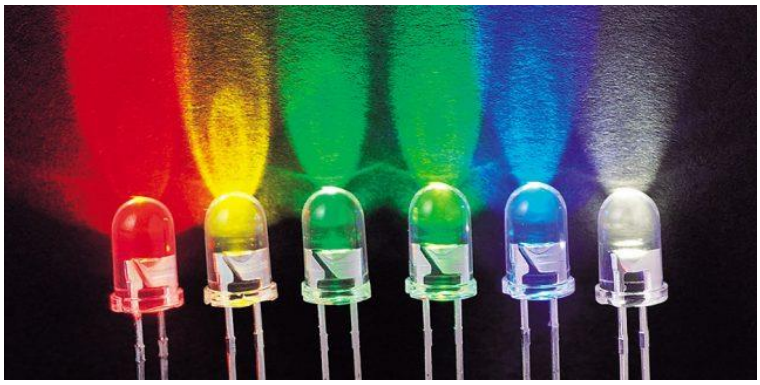
Beyaz LED yapmanın bir başka yolu ultraviyole (UV) LED'lerin üzerine yüksek verimli evropiyum bazlı kırmızı ve mavi ışık yayan fosforların veya yeşil ışık yayan alüminyum ve bakır katkılı çinko sülfür (ZnS; Cu, Al) karışımının kaplanmasıdır. Bir veya birkaç fosfor tabakası ile ultraviole bölgede radyasyon yayan bir diotun, görünür radyasyon bölgesinde ışık yayması sağlanabilir [15].

Bu yöntem floresan lambaların çalışma şekline benzer. Yöntemin verimi fosforlu mavi LED'lerden daha düşüktür. Bunun nedeni Stokes kaymasının daha büyük olmasıdır. Sonuç olarak ısıya dönüştürülen enerji daha fazladır. Dolayısıyla yüksek güçlerde kullanmaya uygun değildir. Ancak rengi daha iyi yapan daha iyi renksel geriverim ve spektral özelliklere sahip ışık vermesi olumlu özelliğidir. Ultraviyole LED'ler mavi LED'lerden daha yüksek ışınım çıkışına sahiptir bundan dolayı her iki yöntemin sunduğu parlaklık benzerdir. Arızalı bir ışık kaynağından sızabilecek UV ışığının insan gözlerine ve cildine zarar verebilecek olması endişeye neden olmaktadır [44].

2.4. Işık Yayan Diyot (LED) Çeşitleri

Teknolojik gelişmesinin yarattığı imkanlarla ilk LED lambanın bulunmasından bu yana büyük gelişmeler olmuştur. LED'lerin kullanım alanlarının sürekli artması ve yüksek güçlere ulaşılması nedeniyle enkandesan ve buharlı lambaların yerlerini almışlardır.

2.4.1. Çift sıralı paketli ışık yayan diyot (DIP LED)



Şekil 2.7. DIP LED görünümü [48]

"Dual In-Line Package Light Emitting Diode (Çift Sıralı Paket LED)" kısaca DIP LED olarak adlandırılır. Uzun ömürlü olmaları ayrıca yoğun parlaklıkları DIP LED'lerin yaygın kullanımına neden olmuştur. DIP LED'ler, mermi veya hap şeklinde, 7 mm ya da

daha küçük genişlikte tasarlanabilmektedir. Ayrıca LED'lerin altında yer alan uzun kontaklar PCB'ye kolaylıkla lehimlenebilmekte ya da PCB deliklerine sokulabilmektedir. LED'in epoksi ve plastik gövdesi bir lens görevi görerek diyottan gelen ışığı odaklamaya yaramaktadır. DIP LED'lerin katot tarafını belirtmek için dış muhafaza düz bir kenarı olan şekle sahiptir [47].

DIP LED'ler en basit yapılı LED'lerdir. Nick Holonyak 1962 yılında DIP LED'i imal etti. Böylece modern LED teknolojisi gelişme yoluna girmiş oldu. Başlangıçta beyaz ışığı veremedikleri ve ışık seviyeleri düşük olduğu için LED'ler en fazla 5 mm kılıf formunda üretildiler ve devrelerde sinyal ışığı olarak kullanıldılar. Önce mavi daha sonra beyaz ışık üreten LED bulunduğunda, LED'lerin genel aydınlatmada kullanılması düşüncesi ortaya çıktı. Bu düşünce ile genel aydınlatmada, 5 mm kılıf formundaki LED'ler kullanıldı. Ancak bu tip LED'ler genel aydınlatma ihtiyaçlarını tam olarak karşılayamadılar. Bunun nedeni kılıf içinde sadece tek çip ve ayaklara bağlantı telleri bulunması ve bunun dışında hiçbir ısıl denetim önlemi bulunmamasıdır. Optik tasarımları kötü olduğu için optik kayıpları yüksektir. Önlerine optik sistem koymak hem zor hem de verimsizdir. DIP LED'ler genel aydınlatmada önemli olan uzun ömür, tutarlı renk ve lümen çıkışı taleplerinde yetersiz kalırlar. Modern paketlenmiş LED aydınlatma ürünleri; iyi tasarlanmış optik sistemleri ve uygun termal tasarımları sayesinde yüksek lümen değerleri ve kararlı bir ışık performansı göstermektedirler. Bunların gövdeleri de iyi bir şekilde tasarlanarak LED armatürler veya lambalar elde edilir [47-48].

DIP LED'lerin tek avantajı; beyaz renkli LED'ler de dahil olmak üzere pek çok renk LED çeşidinin ucuz olmasıdır. DIP LED'ler, küçük güç gereksinimindeki gösterge lambası ve işaret ışığı gibi amaçlarda kullanılmaktadır. DIP LED, ekran kullanılmasına gerek duyulmayan elektronik cihazlarda kullanıcılara bilgi gönderme işlevine sahiptir [47].

LED başına tipik olarak 3 ya da 4 lümen ışık akısı üretirler. Çoğunlukla 5V – 24V arasında çalışırlar. En yaygın gerilimleri 12V dur. Çektikleri güç tek olarak 0.05 ile 0.08 Watt arasındadır. 5 -20 mA akım değerleri arasında sürülür. LED'e bağlı olarak, watt başına 35 ile 80 lümen üretirler [47].

2.4.2. Dört bacaklı (süper akı) ışık yayan diyot (Flux LED)



Şekil 2.8. Flux LED görünümü [49]

Flux LED çeşidi ile, 5 mm DIP LED'lerin özellikleri gelişmiş ve yüzeye montajı kolaylaşmıştır. Flux LED çeşidinin üretilmesi, SMD LED'in bulunması ve üretilmesine öncülük etmiştir.

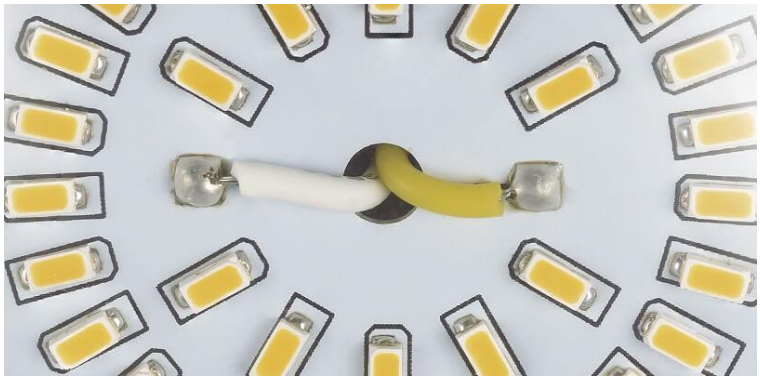
Flux LED ile en az sayıda LED ile tek tip ve gelişmiş ışık dağılımı üretmek mümkün olmuştur. Ayrıca daha yüksek ileri akıma sahip düşük profilli paket tasarımıyla yoğunluğun en üst düzeye çıkarılması sağlanmıştır. Yanıt süresinin hızlı güç tüketiminin düşük olması nedeniyle enerji verimliliği DIP LED'den yüksektir [47].

LED ekranların öncüsü haline gelmiş ve bir süre boyunca yoğun bir biçimde kullanılmıştır. Bu LED çeşidi 4 bacağı sayesinde, tek çipli olabileceği gibi RGB (3 çipli) yapıya da sahip olabilir. RGB çip paketi ile tek bir LED'den farklı renk kombinasyonlarına sahip ışık elde edilebilir. Lenslerle veya reflektörlerle birleştirilmek suretiyle optimum ışık dağılımı ihtiyaçları karşılanabilir.

Uygulama alanları olarak; dekoratif iç ve dış aydınlatma, otomotiv dış aydınlatması, özel sahne aydınlatması ve elektronik tabelalar sayılabilir [47].

Flux LED'ler genellikle 20 - 100 mA akım değerleri ile sürülmektedir. 1 ila 20 lümen arasında ışık akısı değerlerine sahiptir.

2.4.3. Yüzeye monte edilen ışık yayan diyot (SMD LED)



Şekil 2.9. PCB üzerine dizilmiş SMD LED'ler [50]

"Surface Mounted Device" kısaca SMD LED "Yüzeye monte edilen cihaz" anlamına gelmektedir. Bunlar PCB baskı devre kartı üzerine doğruca dizilen ürünlerdir. Lehim bağlantıları ve komponentin kendisi aynı eksen üzerinde birlikte bulunur. Bu nedenle komponent ayaklarının geçirilip arka taraftan lehimlenmesi için kullanılacak deliklere gerek duyulmaz [51-52].

Piyasada en çok talep gören LED türüdür. Kullanıldığı yerler LED ampuller, şerit LED'ler, cep telefonlarının bildirim ışıklarıdır [51].

İkinci nesil ürünü olan SMD teknolojisi diğer LED'lere göre daha hızlı gelişmiş ve geliştirilmesi için üzerinde daha fazla çalışma yapılan bir çip modeli haline gelmiştir. 5730, 3014, 3528, 4014, ... gibi birçok SMD çip modeli mevcuttur. Çiplerin boyutlarını bu model numaraları göstermektedir. Örnek olarak 5050 modeli 50mm x 50mm boyutlarını göstermektedir. Görünüş olarak kurşun şeklinde imal edilen DIP LED'lere benzemezler. Yaklaşık olarak düz, kare bir bilgisayar çipine benzerler. SMD LED'lerin çeşitli boyut yapılarına sahip olmaları onları daha sınırlı boyutlara sahip olan DIP LED'ler karşısında daha kullanışlı ve daha fonksiyonel yapar [47, 52].

SMD teknolojisi, 3 çipin tek bir LED üzerinde kullanılması ve RGB yetenekleri sayesinde daha karmaşık tasarım paketlerini de desteklemektedir. Bu durum SMD teknolojisini, cihaz başına yalnızca bir renk gösterebilen tek çipli DIP teknolojisine göre renk kombinasyonları açısından çok daha avantajlı yapmaktadır [47].

SMD LED'leri, PCB baskı devrelerine adapte edilmiş Flux LED'lerine göre sadece iki kontağa (bir adet anot ve bir adet katot) sahip olmasından dolayı daha avantajlı bir yapıya

sahip olmaktadır. Üzerlerindeki çip (diyot) sayısı sayesinde 2, 4 ve 6 kontak adedine sahiptir. Her diyotta ayrı bir devre olacak şekilde SMD tasarımı yapılmaktadır. Örnek olarak, SMD 5050 3 devreye ve toplam olarak 6 kontağa çevrilen 3 diyota sahiptir [47].

SMD LED içerisindeki çip sayısı termal devreye sahip olmamalarından dolayı 3'den fazla olması tercih edilmez. 9 çip ve daha fazla çip içeren LED paketlerine COB (Chip on Board) (Karta yerleşik çip) LED denir. COB'nin SMD LED'den en önemli farkı ısı iletkenliğine sahip bir karta sahip olmasıdır.

SMD LED'ler genellikle 12V veya 24V gerilim ile çalışır. 12V gerilim kullanımı daha yaygındır. 5 ila 20 mA sürüş akımı ile çalışırlar. Bu LED'ler; RGB (3 çipli) iken 0.15W ila 0.24W arasında, tek çipli iken ise 0.05W ila 0.08W arasında güç tüketir. Tek çipli SMD LED'ler 5 ila 20 lümen ışık akısına sahiptir [47].

2.4.4. Güçlü ışık yayan diyot (Power LED)



Şekil 2.10. Power LED görünümü [53]

Aydınlatmada ihtiyaç duyulan yüksek ışık taleplerini karşılamak için üretilen 0.5 W ve üzeri elektrik tüketen LED ışık kaynakları (güç LED'leri) Power LED olarak adlandırılır. Bu LED'ler daha çok aydınlatma amaçlı uygulamalarda kullanılır. Elektronik devrelerde bulunan güç ve durum göstergesi gibi işlerde kullanımları oldukça azdır. Aydınlatma amaçlı kullanılmaları nedeniyle pek çoğunda ışığı odaklamak için lens bulunmaktadır. Yüksek güç tüketimleri ısınmalarına neden olur. Bundan dolayı pek çok Power LED'de kendisine ait bir soğutma düzeni bulunur [54-55].

Power LED'ler; aydınlatma verimlerinin yüksek oluşu (lümen/Watt), optik malzemeler ile birlikte ışığın yönlülüğünün kolay ayarlanması, uzun ömürlü olmaları ve panel üzerinde daha az sayıda LED kullanımını sayesinde fiziksel boyutların küçüldüğü, maliyetlerin düştüğü ve verimliliğin yükseldiği bir üretim teknolojisine sahip LED çeşidi

olmuştur. Aydınlatmada düşük güçlü LED kullanılması durumunda çok sayıda LED'in birlikte kullanılması gerekmektedir. Bu durum işçilik maliyetlerinin ve toplam maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle daha yüksek lümen paketleri için aydınlatma sistemlerinde Power LED'ler kullanılmaktadır [54, 56].

Power LED'lerin en önemli avantajı tek noktadan çıkan ışığın optik sistemlerle daha iyi yönlendirilebilmesidir. Diğer avantajları ise sağlam, küçük ebatlı, yüksek dayanıklılıklı ve güvenilir olmalarıdır. Kullanım ömürleri ve verimlilikleri LED jonksiyon sıcaklığı arttıkça azalır. Bu nedenle LED'ler üzerindeki ısı transferi, yüksek güçte çalışmaları nedeniyle önemlidir [54, 56].

Çalışmaları sıradan bir LED ile benzerdir. Sabit akımlı bir LED sürücünün doğru polarmasıyla LED'in anot-katot uçlarının beslenmesi sonucunda ışık üretilir. Power LED kılıfları, bir adet LED çipinden meydana gelebileceği gibi birden çok LED çipinin bir paket içinde seri veya paralel bağlanması şeklinde de oluşturulabilir. Power LED ile oluşturulan yüksek güçlü bir armatürün baskı devresinde, paralel gruplardaki akım bölünmesinin önüne geçmek amacıyla mümkün ölçüde az paralel LED gruplaması yapılır. Bunun yerine seri gruptaki LED sayısı daha fazla olmaktadır [56].

Bu tip LED sürücülerin sahip olması gereken iki özellik, yüksek sürüş akımı ve yüksek sürüş gerilimidir. Tek LED çipi kullanılarak üretilmiş Power LED'lerin, genel olarak 3V sürüş gerilimine sahip ve ürün özelliğine bağlı olarak 350 mA sürüş akımından başlayarak daha yüksek akımlarla da beslenebilen LED çeşitleri bulunmaktadır [56].

Üreticilerin çoğunluğu Power LED'leri Mid Power (Orta Güçlü) ve High Power (Yüksek Güçlü) olarak ikiye ayırırlar. Bu ayırımda Power LED'lerin tükettiği güç esas alınır. Mid Power LED'lerin güç tüketim aralıkları 0.2 W ile 0.5 W arasında değişirken High Power LED'lerin güç tüketim değerleri teknolojik gelişmelere ve üreticilere bağlı olarak sürekli değişmektedir [56].

Power LED'ler aydınlatma talebine bağlı olarak çok farklı yerlerde kullanılırlar. Dış mekanlarda; yol, sokak, park, bahçe, tünel aydınlatmalarında iken iç mekanlarda; endüstriyel alanlarda alçak ve yüksek tavanlı yerlerin aydınlatmasında, spot lamba, stüdyo ve sahne gibi sabit aydınlatmalarda, vurgulu aydınlatmalarda çokça kullanılır [56].

2.4.5. Karta yerleşik çoklu çipli ışık yayan diyot (COB LED)



Şekil 2.11. COB LED görünümü [57]

"Chip On Board" Türkçe anlamı "Karta yerleşik çip" olan COB, birden fazla LED çipinin bir tek pakette birleştirilmesi sonucu üretilen LED'lere denilmektedir [55, 58].

Isıl iletkenliğin iyi olması için LED çipler daha çok seramik veya alüminyum bir taban üzerine dizilirler. Mavi çiplerin üzerinde ışık çıkışı için pencere katmanı oluşturularak Beyaz LED elde edilir. Bu pencere katmanı, içinde fosfor olan silika jel veya epoksi reçineden oluşur [58].

COB LED'lerin tek renkli standart çiplerinin 2 kontağı vardır. COB LED'lerin çok kullanılma nedeni; ışığının panel benzeri görünümü ve basit devreye sahip olmalarıdır. COB LED'lerin soğutma performansları iyidir çünkü seramik alt tabakaları vardır. COB LED'ler projektörlerde ve spot ışıklarında yüksek lümen çıkışı elde etmek için çokça kullanılırlar [51].

COB LED'lerin SMD LED'lerden farkı daha çok diyota sahip olmalarıdır. COB LED'lerdeki diyot sayısı genel olarak 9 veya daha fazladır. COB LED'ler ile SMD LED'ler arasındaki başka bir fark, SMD LED'lerin çipte yer alan her bir diyot için bir devreye gereksinimleri varken COB LED'li cihazlarda diyot sayısına bağlı olmaksızın yalnızca 1 devre ve 2 temas noktasına gereksinim olmasıdır. Ancak renk değişim efektleri yaratmak, bireysel ışık seviyesini ayarlamak için birden fazla kanalın gerekli olması SMD LED'lere göre zayıf yönlerini oluşturmaktadır. Dolayısıyla COB LED'ler, tek renkli uygulamalarda etkili ve güçlüyken renk değiştiren RGB ışıklar oluşturmak için kullanılamazlar. Her bir LED çipinin tek tek görülmemesi, daha homojen ışık vermesi ve

daha az göz kamaştırması ise SMD LED'lere göre diğer üstün taraflarıdır. İlaveten LED çipler arasındaki renk farkları oldukça azdır [47, 51].

Daha yüksek güçlerde LED paketleri oluştururken, çiplerin taban alanını arttırmak yerine çip sayısını arttırarak yeni dizinler oluşturulması COB LED'lerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Daha az çevre elemanı kullanılabilmesi nedeniyle uygulamasının kolaylaşması işçilik ve malzemeden tasarruf imkanı sağladığından armatür üretimi yapan firmalar tarafından tercih edilirler. COB modül kullanımı mevcut teknoloji ve ekipman tarafından desteklenmektedir [51].

COB LED'lerin değişik uygulamalar için farklı güç gereksinimi ve çalışma gerilimini karşılayan çeşitleri mevcuttur. Işık akıları diğer LED'lere göre daha yüksek ve çeşitlidir. Ayrıca COB'de, Watt başına Lümen oranı oldukça fazladır [47].

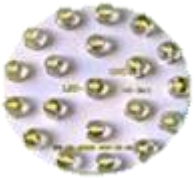
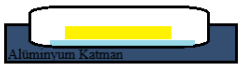
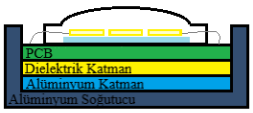
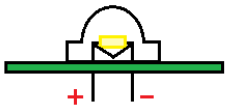
2.4.6. Çoklu karta yerleşik çipli ışık yayan diyot (MCOB LED)



Şekil 2.12. MCOB LED görünümü [59]

"Multiple Chip On Board" yani "Çoklu COB LED Paketi" MCOB LED teknolojisi, termal ve optik verimlilik arttırılarak aynı ölçü ve güçteki diğer LED'lere göre % 15 ışık verimliliği sağlanmıştır. Büyük COB LED yerine daha küçük COB LED'lerin bir taban üzerine belirli bir düzenle yerleştirilmesi sonucunda istenen büyük LED paketleri elde edilmektedir. Bu LED paketleri MCOB LED olarak adlandırılmaktadır [59].

Tablo 2.2. LED'lerin gelişimi [60]

MCOB	COB	SMD	DIP
Multiple Chips On Board	Chips On Board	Surface Mount Device	Dual In-line Package
			
4. Nesil	3. Nesil	2. Nesil	1. Nesil
			
Çoklu Silikon Çip	Geniş Silikon Çip	Küçük Silikon Çip	Çoklu Pin
Tek Katman Alüminyum Levha	3 Katmanlı Alüminyum Levha (MCPCB)	3 Katmanlı Alüminyum Levha (MCPCB)	Sadece PCB
100-140 lm/W	70-90 lm/W	70-90 lm/W	60-70 lm/W
%97'e kadar ısı dağılımı	%50'e kadar ısı dağılımı	%50'e kadar ısı dağılımı	Zayıf ısı dağılımı

MCOB LED'lerin diğer LED'lerden üstünlükleri; benzer ürünlere göre maliyetlerinin düşük olması, yüksek ışık verimine sahip olmaları, küçük aydınlatma armatürleri ile yüksek ışık paketi sağlayabilme imkanları, armatür imalat süreçlerini SMD imalatına göre azaltmaları, yüksek optik yoğunluğa sahip olmaları (1 cm^2'de 70 adet çip), yüksek ısıl transferleri nedeniyle daha uzun ömre sahip olmaları, lümen değerlerinin daha yüksek olması, keskin gölgelenmeye yol açmamaları, küçük ebatlara ve kompakt yapıya sahip olmalarıdır [59].

2.5. Işık Yayan Diyotların (LED) Aydınlatmada Kullanımı

Işık, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi açısından önemli unsurlardan biridir. Hayvanlar için de ışık önemlidir. Çünkü yaşamsal faaliyetleri için gerekli olan enerjiyi sağlamak için dolaylı olarak ışığa ihtiyaçları olduğu gibi, bir başka yaşamsal faaliyet olan görme açısından da zorunlu olarak ışığa ihtiyaçları vardır. Gerek nitelik gerekse de nicelik açılarından üstün ürünlerin üretilebilmesi için bitkilerin, hayvanların ve insanların üretim yeteneklerinden tam olarak yararlanmak gerekmektedir. Bunun için de en uygun ışıklı şartların sağlanması büyük önem arz etmektedir. Bu durumun sonucu olarak doğal ışığın

yeterli olmadığı durumlarda aydınlatma yapma gereği ortaya çıkmaktadır. Bunun için de yapay ışık kaynakları kullanılmaktadır [62-64].

Yapay ışık kaynakları ile yapılmış gerekli aydınlık seviyesi ile birlikte nitelik ve nicelik bakımından da ihtiyaçları sağlayan aydınlatma, iyi bir aydınlatma uygulaması için temel esas olarak karşımıza çıkmaktadır. Aydınlatmadaki ihtiyaçlar; görsel konfor, görsel performans ve güvenliktir. Görsel konfor; iç mekanlardaki aydınlatma kalitesinin insanlar üzerindeki olumlu psikolojik etkileri sayesinde üretim seviyesinde artış, günlük yaşamda ise uyum gözlenmesidir. Görsel performans; aydınlatma kalitesi görme işlevini kolaylaştırdığından üretim için gerekli koşullar ile insanlara kolaylık sağlar. Güvenlik; özellikle dış aydınlatmalarda ışık kaynakları, suç unsurlarına caydırıcı bir önlem oluşturmaktadır [15].

Nitelik ve nicelik olarak aydınlatılmış bir çevreyi etkileyebilecek en önemli unsurlar: aydınlık düzeyi, aydınlık düzgünlüğü, kamaşma, renksel geriverim ve ışığın renksel görünümü, fliker (ışık kaynağındaki titreşimler), ışık dağılımı, LED etkinlik faktörü (lm/W).

Tablo 2.3. Lamba türlerinin bazı aydınlatma unsurları [65]

	Etkinlik Faktörü (lm/W)	*Ortalama Ömür (saat)*	*Renksel Geriverim*	*Stroboskobik Etki*
AKKOR FLAMANLI LAMBALAR	6-16	1000	Çok iyi	Yok
HALOJEN LAMBALAR	12-25	1000-4000	Çok iyi	Yok
Y.B. SODYUM BUHARLI LAMBALAR	88-130	16.000-32.000	Kötü	Var
Y.B. CIVA BUHARLI LAMBALAR	40-59	15.000-25.000	Orta	Var
METAL HALİDE LAMBALAR	72-98	6000-12.000	İyi	Var
A.B. SODYUM BUHARLI LAMBALAR	100-170	16.000	Çok kötü	Var
FLORESAN LAMBALAR	60-104	5000-16.000	İyi	Var
LED LAMBALAR	50-150	50.000-100.000	Çok iyi	Az var

2.5.1. Aydınlık düzeyi ve parıltı

Aydınlık düzeyi (illüminans), iç mekanlarda taban yerine masa, tezgah vb. üzeri gibi "çalışma düzlemi" adı verilen yüzeyler için hesaplanan birim metrekareye düşen ışık akısıdır. Birimi Lüx'dür. Dış mekan aydınlatmalarında parıltı (lüminans) kullanılır. Birim alandaki ışık şiddeti miktarıdır. Birimi kandela/metrekare'dir.

Çalışanların görsel konfor ve performansları üzerinde çalışma düzlemi ve bu düzlem çevreleyen yüzeylerin aydınlatma düzeyleri önemli derecede etkindir.

Görsel konfor ve performansın temini için gerekli aydınlık düzeyi değerleri TS EN 12464-1 numaralı standart da kapalı alanlar için verilmiştir.

Çalışma alanlarında, standartta verilen ortalama aydınlık düzeyi değerleri, kullanıcıların yaşlarına ve tesisat koşullarına bakılmaksızın sağlanmalıdır. Standartta verilen değerler ortalama olarak 30 yaşındaki bir kullanıcı baz alınarak belirlendiğinden, kullanıcıların yaşlarının 30 yaşın üzerinde olması durumunda görsel performansın iyileştirilmesi için aydınlık düzeyi değerinin yükseltilmesi gerekmektedir. Bu standartta verilmiş olan değerler normal görme koşulları içindir [15].

2.5.2. Aydınlık düzgünlüğü

Minimum aydınlığın ortalama aydınlığa bölümü aydınlatılmış yüzeylerde düzgünlük olarak ifade edilmektedir. Simgesi U_0 şeklindedir. İç ve dış mekanlarda görsel performans üzerinde, aydınlatma düzgünlüğünün etkisi büyüktür [66].

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{avg}} \tag{2.1}$$

Aydınlatma armatürünün tipi, sayısı, ışık açısı ve montaj konumuna bağlı olarak düzgünlük değeri değişmektedir [66].

Çalışma ortamları için önerilen düzgünlük değerleri 0,60'ın üzeridir. Bunun nedeni insanların bu seviye üzerinde, ışık seviyelerindeki değişimi fark etmemeleri ve kendilerini daha rahat hissetmeleridir. Ayrıca bilgisayar başında sürekli olarak ekrana bakarak çalışanlar, ortamın düzgün aydınlatılması ile daha rahat çalışma şartlarına kavuşmuş olurlar.

Yol aydınlatmalarında, yol aydınlatma sınıfına bağlı olarak 0,35 ya da 0,40'tan daha büyük ortalama düzgünlük değerleri istenir. Bunun nedeni, bu değerlerin altındaki

düzgünlüğün, aydınlatmanın homojenliğinin bozulmasına, yol üzerinde çok karanlık ve çok parlak noktalar oluşmasına neden olmasıdır. Parlaklığın bu şekilde noktadan noktaya değişmesi, sürücüde trafik güvenliğini tehlikeye sokan göz yorgunluğu ve strese yol açacaktır [66-67].

2.5.3. Kamaşma

Kamaşma, bakış alanı içerisindeki parlak cisimlerin neden olduğu bir duyudur. Psikolojik kamaşma ve fizyolojik kamaşma olmak üzere iki tür kamaşma söz konusudur. Ayrıca aynasal yüzeylerdeki yansımaların neden olduğu kamaşma, yansımış kamaşma ya da örtü yansımaları olarak adlandırılır [15].

Kamaşmanın sınırlandırılması çok önemlidir. Böylelikle yorulmalardan, hatalardan ve kazalardan kaçınmak mümkün olur. Parlak armatürler ve pencereler iç mekanlar da psikolojik kamaşmaya neden olabilir. Psikolojik kamaşma sınırlandırıldığı zaman fizyolojik kamaşmada önemli bir sorun olmaktan çıkar.

UGR (Unified Glare Rating) yöntemi ile iç aydınlatma tesisatlarındaki armatürlerden kaynaklanan psikolojik kamaşma oranı belirlenmektedir. Belirlenen değerlerin standartta verilen UGR değerlerini aşmaması gerekir. Farklı gözlemci konumları için oda içerisindeki UGR değişiklikleri belirlenebilir [15].

Çok parlak ışık kaynakları kamaşmaya sebep olmaktadır. Bu durum cisimlerin görünürlüğünü azaltmaktadır. Kamaşmaya engel olmak için lambalar uygun şekilde ekranlanır. Standartlarda belirli lamba parıltılarına karşılık minimum ekranlama açıları mevcuttur [15].

2.5.4. Renksel geriverim ve ışık renk sıcaklığı (CRI ve CCT)

Renk sıcaklığı, ışığın ortamda oluşturduğu ışık rengi ambiyansıdır. Renk sıcaklığı, mutlak sıcaklık için bir ölçü birimi olan Kelvin ile ifade edilir [68].

Aydınlatmada en çok kullanılan ışık renkleri:

- Gün ışığı (6500 Kelvin ve üzeri)
- Soğuk beyaz (5300-6500 Kelvin arası)
- Ilık beyaz (3300-5300 Kelvin arası)
- Sıcak beyaz (3300 Kelvin ve altı)



Şekil 2.13. Aydınlatmadaki en yaygın renk sıcaklıkları (soldan sağa; sıcak beyaz, ılık beyaz, soğuk beyaz, gün ışığı) [69]

Binaların iç mekan aydınlatmalarında, aydınlatma renk sıcaklığını dikkate almak önemlidir. Örnek olarak, daha sıcak (yani, daha düşük bir renk sıcaklığı) ışık kamusal alanlarda rahatlamayı desteklemek amacıyla kullanılırken, okullarda ve ofislerde konsantrasyonu arttırmak amacıyla daha soğuk (daha yüksek renk sıcaklığı) bir ışık kullanılır [68].

LED teknolojisi için CCT karartma, LED'lerin gruplama, yaşlanma ve sıcaklık kayması etkileri gerçek renk değeri çıktısını değiştirdiğinden zor bir işlem olarak nitelenir. Burada, çoklu renk karıştırma LED'lerinin renk çıkışını aktif olarak izlemek ve kontrol etmek için örnek olarak renk sensörleriyle birlikte geri besleme döngüsü sistemleri kullanılır [69]. Bir ışıklandırıcının, bir referans aydınlatıcı altındaki renk görünümleriyle istemli yada istemsiz karşılaştırma yaparak nesnelerin renk görünümü üzerindeki etkisine renksel geriverim denir [70].

Renksel geriverimin sayısal olarak alabileceği en büyük değer 100'dür. Bu değer yalnızca standartlaştırılmış gün ışığına veya siyah gövdeye (akkor lambalar etkili siyah cisimlerdir) özdeş bir kaynağa verilir. Floresan ışıklar, temel tiplerde yaklaşık olarak 50'den başlayıp çoklu fosfor tipi için yaklaşık olarak 98'e kadar değişim gösterir. Tipik LED'lerin CRI değerleri 80 ve üzeridir [70].

2.5.5. Işık kaynağındaki titreşimler (Flicker)

Flicker, ışık titremeleri olup ışık parlaklığında meydana gelen hızlı ve tekrarlayan değişiklikler sonucu ortaya çıkar. Işıkta belirli aralıklarla yaşanan titreşimler iki kısma ayrılır. Bunlar görünür flicker ve görünmez flicker'dır.

Gerek görünür gerekse de görünmez ışık titreşimlerinin olumsuz etkileri olup ışık titreşimlerinin frekansı 100 Hz altında olduğu zaman görünür flicker, 100 Hz üzerinde olduğu zaman görünmez flicker olarak adlandırılır [71].

Yapılan pek çok araştırma sonucunda ışık titreşimlerinin güvenlik, performans ve sağlık problemlerine yol açtığı anlaşılmıştır. Işığa duyarlı kişilerin, özellikle işyerlerinde, flicker etkisine maruz kalmaları durumunda performans düşüklüğü, yorgunluk ve baş ağrısı gibi problemlerle karşılaştıkları bilinmektedir. Pek çok kişi 100 Hz'den büyük bir frekansta yanıp sönen ışığın yol açtığı titreşimleri fark edemez. Ancak gözle algılanamayan ışık titreşimleri bile yukarıda belirtilen olumsuz etkilere yol açabilir.

Flicker, göz yanılmasına (stroboskopik) neden olabilir. Hareket halindeki nesneler, titreşen ışık altında olduğundan daha yavaş hareket ediyormuş veya duruyormuş gibi görünebilir. Bu durum özellikle endüstriyel tesislerde güvenlik sorunlarına neden olabilir.

Pek çok kişi floresan ışık kaynaklarının yarattığı titreşimi fark edemez. Bunun nedeni floresan ışık kaynaklarının 120 Hz frekans ile titreşim yaratmasıdır. Floresan ile aydınlatılmış iş yerlerinde titreşim fark edilmese bile göz yorgunluğu, baş ağrısı ve başka bazı rahatsızlıklar ortaya çıkmaktadır. Titreşim LED'lerde floresan ışık kaynaklarına göre daha az görünür. Ancak bu durum problemi tam olarak ortadan kaldırmaz. LED ışıklardaki titreşim, lamba içindeki sürücüden kaynaklanır. Flicker frekansı, LED sürücülerin çoğunda giriş gerilim frekansının iki katıdır. Örneğin; 50 Hz girişte 100 Hz, 60 Hz girişte 120 Hz çıkış frekansına sahiptir [71].

Flicker-free denen yüksek frekansta çıkış veren sürücüler kullanılarak LED aydınlatmalardaki flicker sorunu çözülebilmektedir. Bu sürücüler 10 kHz ve üzerinde çıkış verebildiği için flicker sorununu gidermektedir [71].

2.5.6. Işık dağılımı

Aydınlatma sisteminin oluşturacağı ortama göre dağılım şekline aydınlatmada kullanılan standartlar, enerji tasarrufu ihtiyaçları ve kullanıcı konforu dikkate alınarak karar verilir.

Işık dağılımına göre aydınlatma çeşitleri:

Direkt (doğrudan, dolaysız) aydınlatma; bu aydınlatmada doğrudan çalışma düzlemine ulaşan ışık, aydınlatma armatürlerinden çıkan ışığın % 90 - 100'ünü bulur. Tavan, mekanın diğer kısımlarına göre çok daha karanlık görülebilir. Yüksek enerji verimliliği

sağlar. Ancak meydana gelebilecek göz kamaşmalarını önlemek önem kazanır. Bu tipe örnek olarak downlight tipi ürünler gösterilebilir.

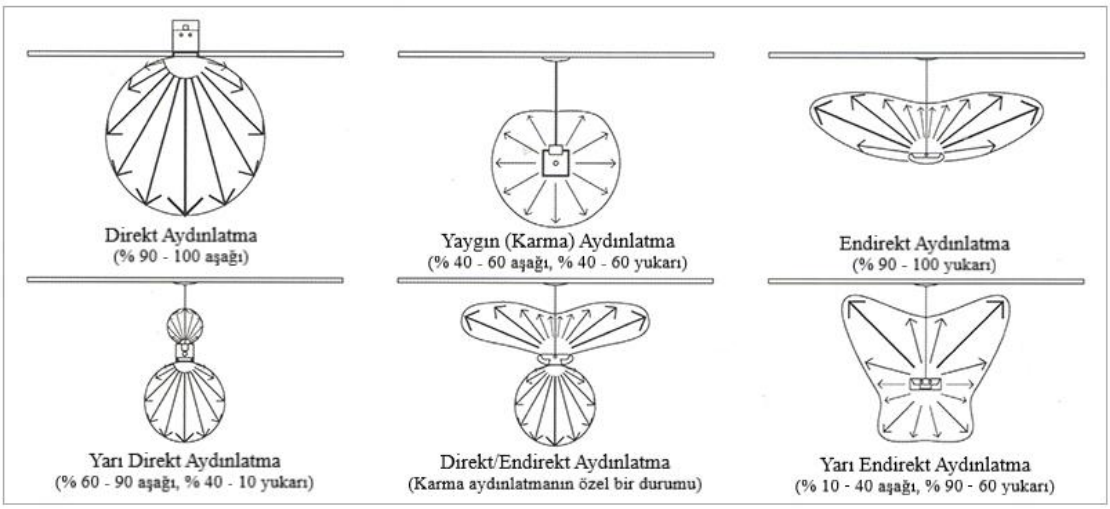
Yaygın (Karma) aydınlatma; ışığın yaklaşık % 40 - 60'ı aşağıya doğru, yaklaşık % 40 - 60'ı yukarıya doğru yayılır. Bu tipe örnek olarak cam ya da plastik glob tipi armatürler gösterilebilir.

Endirekt (dolaylı) aydınlatma; ışık, tavana veya duvarlara doğru yönlendirilir. Işığın yaklaşık % 90 - 100'ü yukarı doğru dağılır. Böylece çalışma düzlemi dolaylı olarak aydınlatılmış olur. Kamaşma riskinin düşük olmasına karşılık enerji verimliliği direkt aydınlatmaya göre daha düşüktür.

Yarı direkt (yarı dolaysız) aydınlatma; bu tür aydınlatmada ışığın yaklaşık olarak % 60 - 90'ı aşağı doğru, yaklaşık % 40 -10'u yukarı doğru yayılır.

Doğrudan/dolaylı aydınlatma; bu aydınlatmada ışık doğrudan ve dolaylı olarak tavandan yayılır.

Yarı endirekt (yarı dolaylı) aydınlatma; bu aydınlatmada ışığın yaklaşık olarak % 10 - 40'ı aşağı doğru, yaklaşık % 90 - 60'ı yukarı doğru yayılır [72].



Şekil 2.14. Aydınlatmada kullanılan ışık dağılımları [72]

Direkt aydınlatmaya sahip olmak; iş güvenliği, çalışanların performansı ve konforu bakımından özellikle hastaneler, showroomlar, ofisler, ticari ve endüstriyel kuruluşlar gibi iş yerleri için önemlidir. Dengeli bir genel aydınlatma veya direkt ışığın bir cisim ya da yüzeye yönlendirilmesi yoluyla yapılan vurgu aydınlatması; doğrudan ışık dağılımı yapabilen aydınlatma armatürlerinin, ışık açılarını doğru ayarlamak ve uygun aralıklarla

yerleştirmek yoluyla yapılabilir. Doğrudan aydınlatmada kamaşma olayı önem kazanır. Sorunun çözümü için çalışılan yerlerde UGR < 19 olan armatürler kullanılmalıdır [72].

Genel ve dekoratif aydınlatma olarak dolaylı ışık kullanılabilir. Gizli şerit tipi aydınlatma konutlarda ve otellerde sıklıkla görülen bir dolaylı aydınlatma örneğidir. Enerji verimliliğinin düşük olması, dolaylı aydınlatmanın bir dezavantajıdır.

2.5.7. Etkinlik faktörü

Işık kaynaklarının elektrik hattından çektikleri güç ile yaydıkları ışık akısı arasındaki orandır. Birimi lümen/watt'dır.

Enerji verimliliği açısından etkinlik faktörü değeri yüksek olmalıdır. LED teknolojisi ile etkinlik faktörü değerleri yükselmiştir [73].

Tablo 2.4. Farklı lamba çeşitlerinin etkinlik faktörü değer aralıkları [65, 67, 72]

LAMBA ÇEŞİTLERİ		**ETKİNLİK FAKTÖRÜ**
		lm/W
Enkandesan Lamba	Akkor Flamanlı	**10-20**
	Tungsten – Halojen	**12-26**
Deşarj Lamba	Yüksek Basınçlı Sodyum	**66-142**
	Yüksek Basınçlı Cıva	**36-60**
	Metal Halide	**71-98**
	Alçak Basınçlı Sodyum	**100-178**
	Alçak Basınçlı Cıva (Floresan)	**50-100**
LED Lamba	SMD	**15-45**
	Power	**50-120**
	COB	**100-150**

2.5.8. Ömür

LED'lerde ömür tanımı yapılırken iki farklı değer söz konusudur: Ekonomik ömür ile ortalama ömür.

Ekonomik ömür; istatistiksel açıdan değerlendirme için yeterli sayıda ışık kaynağından meydana gelen bir aydınlatma tesisatında, 100 saat kullanımdan sonraki toplam ışık akısının değerinin azalarak ışık kaynağının kullanılamaz hale gelmesi dolayısıyla % 30 değer kaybetmesi için geçen süredir.

Ortalama ömür; istatistiksel açıdan değerlendirme için yeterli sayıda ışık kaynağından meydana gelen bir aydınlatma tesisatında, ışık kaynaklarının % 50'sinin normal şartlar altında kullanılmaz duruma gelmesi için geçen süredir [74].

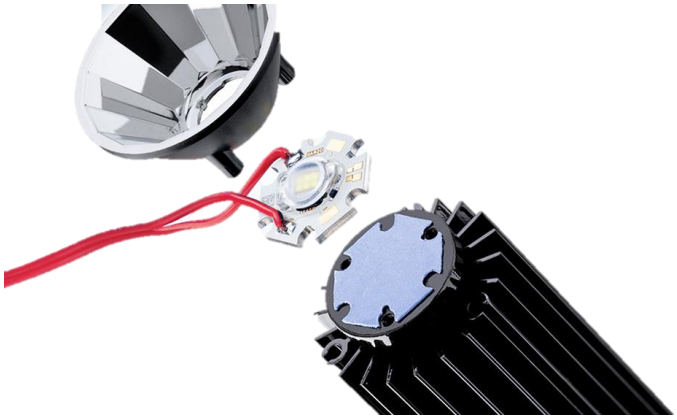
Birleşim yeri sıcaklığına bağlı olarak LED çiplerinin ortalama ömürleri değişmektedir. Yüksek akımda sürülen LED'lerin sıcaklıkları yükselmekte ve ömürleri kısalmaktadır.

LM 80-08 "Onaylı Yöntem: LED Işık Kaynaklarının Lümen Bakımını Ölçme" LED çiplerde zamanla meydana gelen ışık akısı azalmalarını ifade etmekte ve LED çip üreticilerine en az 6000 saatlik ışık akısı (lümen) ölçümlerini verme zorunluluğu getirmektedir.

Işık akısı ölçümleri yapılırken, en az 6000 saatlik kullanım için ancak en iyisi 10.000 saatlik kullanım için her 1000 saatte bir veri alınarak yapılması önerilmektedir. TM 21-11 "Onaylı Yöntem: LED Işık Kaynaklarının Lümen Bakımını Ölçme" standardı 10.000 saatten daha uzun süreler için kullanılmaktadır. TM 21-11 standardında önerilen yöntem, LM 80-08'e göre yapılan ölçümler sonucu bulunan verilerin uzun dönem için tahmin edilmesidir. Ölçümler sonucunda elde edilen değerler ile ışık akısının % 70 değerine düşmesine kadar geçecek süre, dolayısıyla ekonomik ömrün ne kadar olacağı tahmin edilmeye çalışılmaktadır [74].

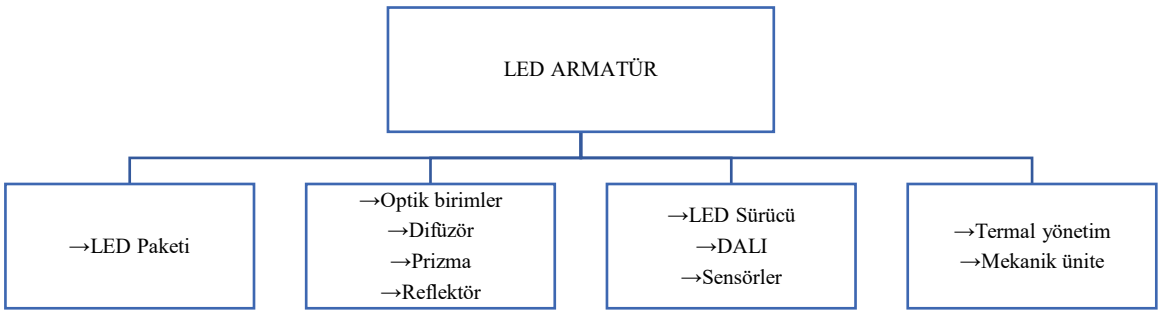
2.6. Işık Yayan Diyot (LED) Armatür Bileşenleri

LED armatür; LED temelli, elektriksel, optik, mekanik ve ısıl aydınlatma elemanlarının birlikte oluşturdukları, ışık kaynağının fiziksel şartlardan korunmasını, ışık kaynağının konumlandırılmasını, gerek ışık gerekse de elektriksel kontrollerin yapılabilmesini temin eden yapılardır [16].



Şekil 2.15. LED armatür yapısı [75]

Aydınlatma ve renk kalitesi, LED armatürün uzun ömürlü olması, kullanıcı tarafından beğenilmesi ve ekonomik olabilmesi için, LED armatürün tasarımı ve uygun yerleşime sahip olması yanında LED'lerin seçimi de çok önemlidir [39].



Şekil 2.16. LED armatürünü oluşturan birimler [39]

2.6.1. Işık yayan diyot paketi

LED paketi koruyucu bir kılıf olup, bir veya daha fazla sayıdaki LED yarıiletkeninin etrafını sarmak, dış çevreden korumak, istenen elektriksel bağlantıları temin etmek, ortaya çıkan ısıyı dış ortama atmak ve talep edilen ışık dağılımını temin etmek için kullanılır [16].

Günümüzde, aydınlatmada üç adet LED paketleme sistemi bulunmaktadır [39].

- SMD bileşenli LED'ler önceden belirlenmiş bir aralıkla devre kartına lehimlenmiştir. Tüm LED'lerin ışık akılarının toplamı kartın ışık akısını verir. Okul, hastane, ofis aydınlatması için gerekli olan büyük boyutlu iç mekan armatürlerinde; fotoğraf stüdyoları ve galeriler için gerekli olan dağınık aydınlatmalı yumuşak ışık ihtiyacını karşılamada kullanılırlar.
- "Chip On Board" COB LED ünitesi; küçük ışık veren çiplerin fosfor karışımı ile kalıplanması sonucu elde edilen yüksek ışık akısına sahip LED ünitesi olup oteller, mağazalar ve restoranlar için reflektör optikli aşağı ışıklı aydınlatma armatürleri ve endüstriyel aydınlatmada büyük fabrika hollerinde 50 ila 300 W arasındaki yüksek güçlü LED sınıfında kullanılır.
- Downlight armatürler için reflektör optikli, uzak fosfor plakalı LED ünitesi.

LED paketindeki baskılı devre kartı, geliştirilmiş bir termal iletim için termal yollara sahip FR4 (standart olarak), metal çekirdek kartı (MCPCB) veya seramik malzemeden

yapılabilir. Çoğu çalışmada, kart üzerindeki LED'lerin aralığının çok küçük olmaması koşuluyla MCPCB kullanılır. Termal yoğunluğu çok yüksek olan COB konfigürasyonları için, yaklaşık olarak 170 W/m.K yüksek termal iletkenliğe sahip seramik malzeme AlN önerilir [39].

2.6.2. Işık yayan diyot sürücüsü

LED paketine ihtiyaç duyulan elektriksel gücü temin etmek için sistem ve şebeke arasında yer alarak LED paketinin özelliğine göre akım/gerilim miktarlarını düzenleyen elektronik devredir [16].

Power LED'ler, COB LED'ler, çoklu SMD LED'ler lümen değerlerinin yüksekliği nedeniyle aydınlatma sektöründe sıklıkla kullanılırlar. Çalıştırılmaları sırasında özel sürücü devrelerine ihtiyaç duyarlar çünkü akım seviyelerinin standart 5 mm çapa sahip LED'lere nazaran çok yüksektir. Bu LED'ler sahip oldukları güce göre 350 mA, 700 mA, veya 1000 mA gibi yüksek akım değerlerinde çalışırlar [76].

LED sürücüler çalıştırılırken; elektrik şebekesi sürücü girişine 220 V alternatif akım (AC) girdikten sonra filtrelenir. Filtrelendikten sonra köprü diyot içinden geçirilip DC'ye dönüştürülerek düzenlemesi yapılır. Bu kısımda aktif ya da pasif güç faktörü düzenleyicileri kullanılır. Yüksek frekansta anahtarlama yapabilen bir FET ve seri paralel rezonans dönüşüm devreleri ile anahtarlama yapılır. Anahtarlanan bu akım, trafo içinden sürücünün çıkış bölümüne aktarılır. Çıkışta regülasyon işlemi yeniden tekrarlanır. Devre çıkışından, opto izolatör ile geri besleme bilgisi, devrenin girişine verilerek kullanılan FET'lerin anahtarlama frekanslarında değişiklikler yapılır. Böylece toplam harmonik distorsiyonunda düşme, güç faktörü düzenleme, titreşim oranını azaltma ve sabit sürüş akımı temin edilmiş olur [77].

LED sürücülerin; titreşim oranı (flicker), toplam harmonik distorsiyonu, verimlilik ve güç faktörü mevcut standartlara uygun olmalıdır. LED sürücülerin verimleri % 100'ün altındadır. Sürücüdeki kayıpların fazlalaşması, şebekeden çekilen toplam gücün artmasına ve bu da ısı biçiminde elektriksel kayıpların ortaya çıkmasına sebep olmakta ve sonuç olarak armatürün toplam verimi düşmektedir. LED sürücüler, standart tiplerde %80 - %90 verim oranına sahiptir. Sürücülerin verimini etkileyen nedenlerden biri kısmi yük altında çalıştırılmalarıdır. Armatür verimi açısından toplam güce göre sürücü seçimi LED'li armatürler için önemli olmaktadır [15].

2.6.3. Optik sistemler

Reflektörler (yansıtıcılar), yönlendiriciler, difüzörler (yayıcılar), lensler (mercekler), ekranlar ve petekler armatürlerin kullanılan başlıca optik kontrol elemanlarıdır. Birinci öncelik, çoğu kez, çok yüksek optik verim temini olmayabilir. Bunun nedeni, aydınlatmada kullanılan armatürlerin optik veriminin yüksek olması durumunda, kamaşma problemlerinin yanında düzgünlük değerlerinin temini problemlerinin ortaya çıkmasıdır [15].



(a) (b)

Şekil 2.17. LED paketleri için kullanılan optik sistemler (a) SMD için (b) COB için [39]

LED çipinde elde edilen ışık çok sayıda malzemen geçtikten sonra ortama yayılır. Değişik malzemeler ışığı değişik şekilde geçirir. Bu nedenle ışık miktarında azalma ve ışık yönünde değişme meydana gelir. Mümkün olan en iyi ışık dağılımının temini, iyi bir armatür görünümünün sağlanması, üretim süreçlerinin karmaşık olmaması, ışık kaybının en az olması ve mümkün olduğu kadar ekonomi sağlanması bir tasarımdaki başlıca unsurlardır. Bu unsurların bazıları birbirleri ile ters düşebilir. Bu nedenle tasarımın her kademesinde optimizasyon önemli olmaktadır [15].

Difüzörler (Dağıtıcılar); armatürden çıkan ışığı her yöne saçmak suretiyle bütün görüş açılarında kamaşmayı azaltırlar. Aydınlatma armatüründe kullanılan dağıtıcı yüzeyin yapıldığı malzemenin ışığı yüksek miktarda emen ve bu sayede ışık dağılımını yüksek derecede yapabilen özellik taşıması çok önemlidir. Dağıtıcı iyi olsa da, lamba ile difüzör yüzeyi arasında belirli bir mesafe bırakılmalıdır. Bu yapılmadığı zaman aşırı ısınma meydana gelebilir. Bu durum renk kaybına, renk kaybı da optik kayıplara sebep olur [78].

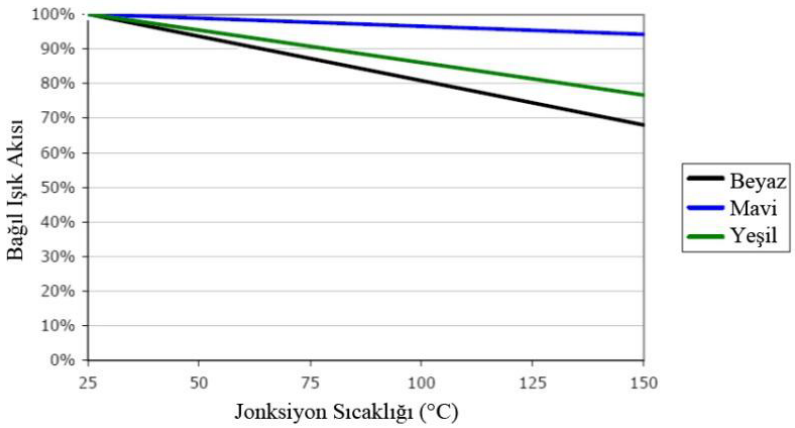
2.6.4. Termal devre

LED aydınlatma armatürlerinde açığa çıkan ısı, diğer aydınlatma armatürlerinde açığa çıkan ısıdan farklı bir şekilde dış ortama transfer edilir. Konvansiyonel armatürlerde açığa çıkan ısı daha çok ışınım (radyasyon) yolu ile transfer edilir. İlk zamanlarda LED armatürlerin tasarımları yapılırken de genellikle ışınım yoluyla ısı transferi esas alınmaktadır. Ancak LED'ler açığa çıkan ısıyı sadece iletim yoluyla dış ortama transfer edebilmektedir. Bu nedenle LED kullanılan aydınlatma sistemlerinin tasarımında değişik ısı transfer olanaklarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. LED'lerde açığa çıkan ısının dış ortama transferi için yapılması gereken işlem, ısıya "ısıl" bir yol çizilmesidir. Bu nedenle LED ışık kullanılarak yapılan armatür tasarımlarında, ısıl iletim temelli tasarım yapılarak problemlerin çözümlenmesi gerekmektedir. Aşağıda gösterilen Tablo 2.5'te örnek alınan ışık kaynaklarının değişik ısı iletim sistemlerindeki ısı kayıp miktarları yüzde olarak listelenmiştir [15, 79].

Tablo 2.5. Lamba türlerinin ısı transfer sistemlerinin karşılaştırılması [15]

Lamba Türü	Işınım (%)	Taşınım (%)	İletim (%)
Enkandesen	>90	<5	<5
Flüoresan	40	40	20
HID	>90	<5	<5
LED	<5	<5	>90

LED'lerin jonksiyon sıcaklığı arttıkça ürettikleri ışık miktarları düşmektedir. Şekil 2.18'de farklı jonksiyon sıcaklıkları için, farklı renklerde ışık yayan LED'lerin ışık akılarındaki değişim gösterilmektedir. Maksimum ışık akısının 25 °C'de elde edildiği kabul edilmiştir. Şekil 2.18'den görüldüğü gibi, sıcaklık arttıkça ışık akısı önemli oranlarda düşmektedir. Bundan dolayı LED'lerin yalnızca katalog değerleri kullanılarak armatürler tasarlandığında, uygulamalar sırasında hedeflenen ışık akılarından daha düşük ışık akıları temin edilebilmektedir. Uygulamada bu tip sorunlardan kaçınmanın yolu armatürün göstermiş olduğu ısıl davranışın kapsamlı bir şekilde incelenmesidir [79].



Şekil 2.18. Farklı jonksiyon sıcaklıklarında farklı renklerde LED'lerin ışık akılarındaki değişim [15]

LED armatürün ısıl davranışlarının hesabı için aşağıdaki adımlar dikkate alınacaktır [39].

1. Elektrik gücü, optik güç, ışık akısı ve termal gücün hesaplanabilmesi için önceden tanımlanmış akımlarda kullanılacak LED'lerin ölçülmesi.
2. Armatür muhafazası dahil olmak üzere P-N bağlantısından soğutucuya kadar tüm zincir için termal direncin ölçümü ve tahmini.
3. LED'lerin ısıl gücünden, sistemin ısıl direnci ve armatür için maksimum ortam sıcaklığı varsayılarak, elektronik için maksimum bağlantı sıcaklığı ve maksimum sıcaklık hesaplanabilir. Önceden tanımlanmış bir akımdaki maksimum bağlantı sıcaklığının LED kullanım ömrü üzerinde büyük bir etkisi vardır. Bu nedenle bu sıcaklığı düşürmek için dört optimizasyon seçeneği kullanılabilir.
    a. Önceden tanımlanmış akımı azaltmak (Bu, kart üzerinde daha fazla LED kullanılması gerektiği anlamına gelir);
    b. Devre kartı ve daha iyi termal iletkenliğe sahip yapışkan katmanlar için uygun malzemeleri seçmek;
    c. Daha düşük termal dirence sahip daha iyi soğutucular (malzemeler, formlar, geometri) kullanmak;
    d. Aktif zorunlu soğutma sistemleri (fan, su soğutma, ısı borusu veya Peltier modülü) ilave etmek.



Şekil 2.19. LED soğutucuları [80]

Bilgisayar yazılımları vasıtasıyla oluşturulan simülasyonlar yardımıyla, armatür içinde kullanılacak olan LED'lerin ısınabilecekleri derecenin ne kadar olabileceği tahmin edilebilmektedir. Bu sayede tasarımcı ile üretici çok sayıda prototip yaparak, deneme yanılma metoduyla sıcaklık değerini tahmin etme zorunluluğundan kurtulabilmektedir. Tasarım sırasında ısıl analiz yazılımlarının kullanılması zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. LED'lerin önce çalışma sıcaklığı bulunmakta daha sonra bu sıcaklıklar için üretici katalog değerlerinden yararlanarak ışık akısı değerlerindeki azalma oranları ile ısıl verimleri bulunarak temin edilebilecek ışık akısı miktarı doğru olarak tespit edilebilmektedir [15].

2.7. Işık Yayan Diyot (LED) Ömrünü Etkileyen Parametreler

Genel olarak aydınlatma cihazlarında çalışmanın son bulması cihazın ömrü olarak kabul edilmektedir. LED'lerin ömürleri uzundur. Ancak zaman geçtikçe LED'lerden sağlanan ışık miktarındaki azalmayla birlikte ortam, başlangıçtaki değere göre daha az aydınlatılabilir. LED'lerin kullanım ömrü, ışık miktarında meydana gelen %30'luk azalmayla birlikte tamamlanmış olur. Bu neden ile LED'lerin ömürleri, ışık akısında zamanla meydana gelen azalma oranı ile tanımlanır [76, 81].

Belirli bir çalışma süresinin ardından LED'den elde edilen ışık çıktısının, başlangıçtaki ışık çıktısına oranı, ışıksal kararlılık olarak tanımlanır. Bu oran; aydınlatma talebinin düşük olduğu uygulamalarda genel olarak %50 (L50) kadardır, aydınlatma talebinin daha yüksek olduğu uygulamalarda ise özelliklede büyük LED üreticileri tarafından %70 (L70) olarak tespit edilmektedir. Genel aydınlatmada LED ömrü ya da nitelikli kullanım ömrü, LED lambalarda meydana gelen %30 oranındaki aydınlatma seviyesi azalması için geçmesi gereken süredir. Gösterimi ise L70 şeklindedir. İnsan gözü aydınlık miktarında %30'luk düşüşten öncesini fark edemez. Ortalama LED ömrü için ise bu oran %50

civarındadır. Dolayısıyla bir armatürün ilk kez çalıştığı an sağladığı aydınlık seviyesinin %50 kadar azalması için geçmesi gereken süre LED elemanın ortalama ömrünü verir. Bu da L50 olarak gösterilir [82].

Gerek teorik hesaplamalar gerekse de yapılan testler sonucunda LED'lerin 100.000 saatten fazla kullanılabileceği anlaşılmıştır. Gerçek hayattaki çeşitli etkiler göz önünde bulundurulduğunda kabul edilebilir hizmet ömrünün 50.000 saat ve üzeri olduğu anlaşılmaktadır [83].

LED ömrünü etkileyen faktörler 4 temel şekildedir.

- Elektriksel faktörler
- Çevresel etkiler
- Mekanik faktörler
- Isıl kondisyon (soğutma) faktörleri

LED ömrünü etkileyen elektriksel faktörlere örnek olarak; kullanılan kontrol elemanlarındaki bozulmalar, açılıp kapanma sayıları, LED sürücü içerisindeki bozulmalar verilebilir.

LED ömrünü etkileyen çevresel faktörlere örnek olarak; ortam koşullarındaki nemliliğin eşik değerinin üzerinde olması, ortam sıcaklığının eşik değerinin üzerinde veya altında olması verilebilir.

LED ömrünü etkileyen mekanik faktörlere örnek olarak; kılıfın materyal yapısı, LED kılıfının fosfor tabakasının kalitesi olması verilebilir.

LED ömrünü etkileyen ısıl faktörlere örnek olarak; LED soğutucusunun geometrisinin, malzemesinin, boyutunun ve soğutucu ile LED paketi arasındaki termal macunun kullanımının LED sıcaklığını güvenli bir biçimde dışarı iletmesini sağlayacağı biçimde ayarlanması verilebilir.

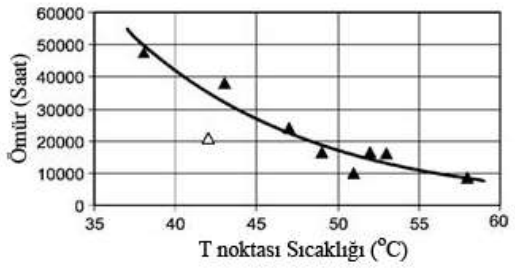
2.7.1. Sıcaklığın ışık yayan diyot ömrü ve performansı üzerindeki etkisi

LED'lerde açığa çıkan ısıyı dışarı transfer edebilmek için ısıl bir yolun veya patikanın çizilmesi gerekir. Bunun içinde LED'lerin soğutucular kullanılarak soğutulması ve ısıl yönden bu soğutucuların optimizasyonu zorunlu olmaktadır [16].

LED paketi sıcaklığı düzgün bir şekilde dışarı iletilmez ise, LED paketi eşik değerinin üzerinde ısınmaya başlar. LED paketinin belirli bir Çalışma Sıcaklığı aralığı vardır. Bu değeri aşan LED paketinde bozulmalar başlar. Maksimum jonksiyon sıcaklığında ise LED bir daha kullanılamayacak ölçüde hasar görür. Sürekli Çalışma Sıcaklığının en üst değerinde çalışan LED'in ömrü, oda sıcaklığında çalışan LED'e göre daha az olmaktadır. Bu sebeple LED paketi olabildiğince soğutulmalıdır. LED paketinin sıcaklığı, LED çiplerinin çalışmasını etkilemesinin yanı sıra optik yapı, sürücü devresi ve mekanik yapıyı da etkilemektedir [84].

Çok fazla ısınmış epoksi; bağlantının kırılması, kılıfın dayanıklılığında düşme ve anot ile katotta kopma sorunlarına yol açmaktadır. Bu problem nedeniyle önce çipler daha sonra epoksi sınırlanmaktadır. Ana bağlantılarda meydana gelen mekanik stres diğer bir mekanik arızaya neden olur ve bunların sonucunda cihazda açık devreler meydana gelebilir [85].

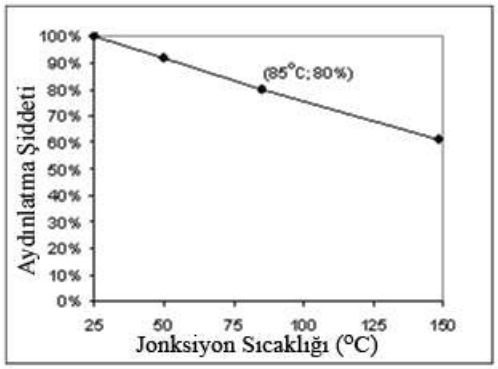
Devreler iyi tasarlanmadığında, sıcaklığın olumsuz etkisi ortaya çıkar. LED'ler zamanla ısınmaya başlar, ileri yön geriliminde düşme olur. Bunun sonucu olarak, devreden geçen akım, Ohm Yasasına göre artar. Akımdaki artış nedeniyle LED daha çok ısınır ve tedbir alınmadığı taktirde bir süre sonra LED bozulabilir [86].



Şekil 2.20. LED ömrü ile sıcaklığın ilişkisi [85]

Sıcaklığın LED ömrüne etkisinin yanı sıra aydınlık şiddetine de etkisi vardır. Aydınlık şiddetinin hemen hemen sıcaklığa bağlı olmadığı, akkor ve floresan ışık kaynaklarını esas alan geleneksel sistemlerin aksine, bağlantılarda sıcaklık yükselmesi meydana geldikçe LED'lerde aydınlık şiddetinde düşme meydana gelir. Netice itibarıyla, bir taraftan termal yönlerini diğer taraftan ise aydınlık şiddeti etkilerini dikkate almak, aydınlatma sistemlerini tasarlarken önemli olmaktadır. Jonksiyon sıcaklığı yükselirse, LED'den elde edilen ışık şiddeti azalır. Akım artışı ya da çevre sıcaklığında meydana gelen

değişikliklerin neden olduğu etiket değerinden daha büyük jonksiyon sıcaklığı yükselmesi, aydınlık şiddetini önemli ölçüde azaltabilir [85].



Şekil 2.21. LED'lerde ışık şiddeti ile sıcaklık arasındaki ilişki [85]

Sıcaklık bir taraftan ışık şiddetini diğer taraftan ise zirve dalga boylarını etkilemektedir. Bağlantılarda, LED dalga boyu karakteristiği çoğunlukla 25 °C olarak tespit edilmektedir. Yüksek akımdan kaynaklanan ve çevre koşullarının neden olduğu jonksiyon sıcaklığındaki artış LED'in üretildiği malzemeye göre değişmekte birlikte, dalga boylarında 1 °C için 0,03nm - 0,13nm artışa yol açabilir. Sıcaklık değişimi nedeniyle beyaz LED ışık kaynaklarında, renk sıcaklığında küçük artışlar meydana gelebilir. Renk sıcaklığı ile spesifik dalga boyunun önemli olduğu uygulamalarda bu durum dikkate alınmalıdır [85].

2.7.2. Işık yayan diyot ömür tayini

LED'ler yarıiletken bir yapıya sahiptir. Bu nedenle LED'lerin ömür testleri olarak; hızlandırılmış ömür testi (Accelereated life-degradation test) ve kademeli hızlandırılmış ömür testi (step stress accelerated life-degration test) yapılmaktadır. Bunlar elektronik malzemelerin yaşlandırma düzeneklerinde kullanılan testlerdir [18].

2.7.2.1. Hızlandırılmış ömür testi (ALT-ADT)

Bu test metodunda yaşlandırma yapılacak malzemelerden 10'arlı olarak 3 grup ayrılarak, farklı aşamalarda yaşlandırma stresi verilir ve ömür değerlendirmesi çıkan sonuçlara göre yapılır. Sıcaklık, yaşlandırma streslerinden biridir. Ancak ömürle ilişkisi olan başka değerlerde yaşlandırma stresi olarak kullanılabilir. Her grupta en az 10 parça vardır ve her bir grup ayarlaması daha önce yapılmış sabit stres altında çalıştırılır. Elde edilen sonuçlar değişik istatiksel yöntemlerde değerlendirilerek ömür tahmini yapılır [87].

2.7.2.2. Kademeli hızlandırılmış ömür testi (SSALT-SSADT)

Bu yöntemde test yapılacak malzemelerden yalnızca bir grup meydana getirilip, zorlama değerleri uygulaması kademeli olarak yapılır. Her grupta en az 10 parça bulunmalıdır. Zorlama değeri kademe kademe arttırılır ve veriler toplanır. Dolayısıyla zorlama değeri sabit değildir. İstatiksel yöntemlerle, bulunan veriler değerlendirilir. Böylelikle ömür hakkında karar verilir [87].

2.7.3. Işık yayan diyot ışık akısının zamana bağlı değişiminin tayini

LED'lerin ışık akısı ömürlerinin tayini için Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IESNA-Illuminating Engineering Society of North America), 2008 yılında IES LM-80-08 "LED Işık Kaynaklarının İlk Durumdaki Işık Akısını Koruma Yüzdesinin Ölçümü" yöntemini yayınlamıştır [88].

2.7.3.1. IESNA LM-80-08 Standart Yöntem: LED paketlerinin zamana bağlı ışık akısı ölçümleri

IESNA LM-80-08, armatürleri içermeyen LED paketlerinin zamana bağlı olarak ışık akısı tespit yöntemlerini baz almaktadır. Bu standartta LED'lerin ışık akısı ölçümlerinin 25 °C (±1 °C) ortam sıcaklığında, minimum 6000 saat yapılması istenmektedir. Deney setlerinde kullanılabilecek ölçüm sıcaklık dereceleri 55 °C, 85 °C ve üreticinin tespit edeceği başka bir sıcaklık derecesidir. Ölçümün amacı; ışık akısında, değişik sıcaklık derecelerinde meydana gelen azalmaların belirlenmesidir. 6000 saatlik süre sonunda bulunan veriler ile LED'in ömrünün tamamın tahmini ise "Life Estimation Test Method" IESNA TM-21 standardına göre yapılır [89].

2.7.3.2. IESNA TM-21-11: Ömür öngörü test yöntemi

6000 saatlik kullanım sonucu LM-80-08 ile sağlanan verilerin, LED'in ışık akısının L70 ömür ve L50 ömür için tahminini yapmak amacıyla kullanılacak yöntemin açıklamasıdır (Burada L70 ömür başlangıçtaki ışık akısının % 30 azalması için geçen süreyi dolayısıyla ekonomik ömrü, L50 ömür ise başlangıçtaki ışık akısının % 50 azalması için geçen süreyi dolayısıyla ortalama ömrü göstermektedir). LM-80-08 ile elde edilen zaman-ışık akısı verileri, bu standartta belirtilen metot ile ışık akısındaki %30'luk ve %50'lik düşüşlerin zamanını belirlemede kullanılabilir. IESNA TM-21, verilerin tahmini amacıyla kullanılacak matematiksel metodu belirtmektedir [89].

3. ARMATÜR ISIL ANALİZİ

Bölüm içeriğinde tez için gerekli olan; LED'in ısısının transferinin ne şekillerde gerçekleştiği bilgileri verilmiştir. Isıl iletkenlik kavramı ve değişimi açıklanmış ve LED soğutucular için malzeme seçimi hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Isı Transferi

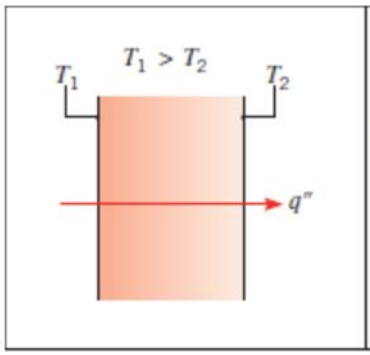
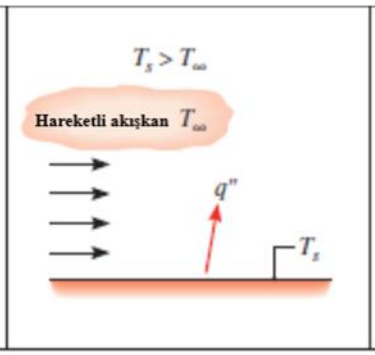
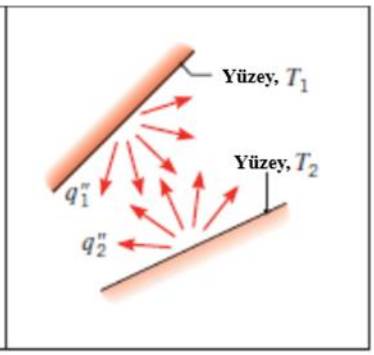
Sıcaklık farkının neden olduğu enerji aktarımı ısı transferi olarak ifade edilir [90].

Termodinamiğin 2. Yasası; iki farklı ortamın sıcaklık değerleri arasında fark olur ise yüksek sıcaklığa sahip ortamın ısısı düşük sıcaklıktaki ortama geçer. Isı transferi sadece ortam sıcaklıkları arasındaki farka bağlı olmayıp bu konuda ortam özellikleri yanında yüzey özelliklerinin de etkisi bulunmaktadır [91-93].

Isı aktarımı 3 ayrı şekilde olmaktadır [94]:

- Isı ışınımı (radyasyon)
- Isı taşınımı (konveksiyon)
- Isı iletimi (kondüksiyon)

Tablo 3.1. Isı transfer şekilleri [90]

		
Eğer katı bir cisim ya da durgun akışkan madde içerisinde sıcaklık farkı varsa "iletim" yoluyla ısı transferi gerçekleşmektedir.	Bir yüzey, temas ettiği hareket eden bir akışkan ile farklı sıcaklığa sahipse "taşınım" yoluyla ısı transferi gerçekleşir.	İki yüzey farklı sıcaklıklara sahipse bu yüzeyler arasındaki ısı transferi "ışınım" yoluyla olur.

Genel olarak uygulamalar sırasında her üç ısı transfer şekli ayrı ayrı oluşmayıp bileşik olarak oluşmaktadır [95].

Birçok uygulamada ısı transferi konusu önemli olmaktadır. Örneğin, çeşitli araçların çalışması sırasında ortaya çıkan ısının aracın düzgün çalışabilmesi için ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Benzer biçimde elektronik cihazlarda, sahip oldukları soğutma sistemi vasıtasıyla ısıyı dağıtırlar. Isı transferinin önemli olduğu bir başka alan ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleridir. Termik santrallerde de ısı transferi çok önemlidir. Çok sayıda üretim süreci için çeşitli şekillerde ısı transferi söz konusudur. Takım tezgahlarının soğutulması, gıda pastörize uygulamaları, kimyasal işlemleri başlatmak gibi çeşitli uygulamalar bu konudaki bazı örneklerdir. Çoğu uygulamada, ısı transferi için bazı cihazlar kullanılır. Bunlar ısı eşanjörleri, kondansatörler, buharlaştırıcılar ve soğutucular gibi cihazlardır. Isı transfer cihazlarının verimliliğini arttırmak için sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Bunun nedeni verimliliği arttırarak, cihazın kapladığı alanı azaltmaktadır. Bu durum özellikle küçük alan kaplama gereksinimleri olan uygulamalarda önemli olmaktadır. Ayrıca pek çok ısı transfer sisteminde, çalışma sıvısı dolaşımı bir pompa tarafından sağlanır ve verimlilik artışı sonucunda güç tüketimi de en az inmiş olur [96].

3.1.1. Isı ışınımı

Sıcak ve soğuk cisimler birbirleriyle direkt ya da endirekt olarak temas etmedikleri halde meydana gelen ısı geçiş şekline ısıl ışıma denir [95].

Işınım, maddeden elektromanyetik dalgalar ya da fotonlar şeklinde yayılan enerjidir. Işınım, atomlarda ya da moleküllerde meydana gelen elektronik düzen değişiklikleri sonucu oluşur. Sıcaklığın artması ile taneciklerin hareketi artar bu da ışıma enerjisinde artışa yol açar [94-95].

İletim ve taşınım yoluyla ısı transferi için bir aracı ortam gerekliyken ışınımla ısı transferinde aracı ortam gerekli değildir. En hızlı ısı transferi ışınım yoluyla olandır. Işınımla yapılan ısı transferi ışık hızında olmaktadır ve boşlukta bile hızda azalma olmamaktadır. Güneş enerjisi bu yolla yeryüzüne ulaşmaktadır. Cisimlerin sıcaklıklarından dolayı yaydıkları ışınım, ısıl ışınımdır ve bu konuda ısı transfer

çalışmaları yapılmaktadır. Bütün cisimler sıcaklık mutlak sıfırın üstünde olduğu zaman ısıl ışınım yaparlar [94].

Boşlukta ışınım yoluyla ısı transferi daha etkin bir şekilde gerçekleşmektedir. Değişik maddeler ışınımı değişik seviyelerde yayar, geçirir veya soğururlar. Katı cisimlerde ışınım daha çok yüzey olayı şeklinde ele alınır. Yüzey emiciliği ile birlikte yüzey yansıtıcılığı ısı ışınımının meydana gelmesini doğrudan etkilerken, malzemenin sıcaklığı dolaylı olarak etkiler [90, 93, 94, 97].

Stefan-Boltzman Kanunu ile Ts sıcaklığındaki bir yüzey üzerinden birim zamanda yayılabilecek en büyük ışınım miktarı bulunur [90].



Şekil 3.1. Bir cisimdeki ısı ışıması [94]

$$\dot{Q}_{yayılım} = \varepsilon\, \sigma\, A_s\, T_s^4 \qquad \text{(W)} \qquad (3.1)$$

T_s **:** Cismin yüzey sıcaklığı (K)

A_S **:** Cismin yüzey alanı (m^2)

σ : Stefan-Boltzman sabiti = $5{,}670.10^{-8}$ $W/m^2 \cdot K^4$

ε : Yüzeyin Yayıcılık Katsayısı

Tablo 3.2. Bazı cisimlerin ısıl ışıma katsayıları [95]

Cisimler	Isıl Işıma Katsayısı (c = ε . σ) $W/m^2.K^4$
Parlatılmış metal yüzeyler	0,1 … 0,2
Parlatılmamış metal yüzeyler	0,2 … 0,4
Okside olmuş metaller	0,5 … 3,0
Tüm sıvılar, yapay maddeler, boyalar, buz, kar, besin maddeleri, metal olmayan cisimler	4,0 … 5,5

Tablo 3.3. Bazı cisimlerin 300K sıcaklıktaki yayıcılık katsayıları [94]

Malzeme	Yayma Katsayısı (ε)
Alüminyum folyo	0,07
Anodize alüminyum	0,82
Parlatılmış bakır	0,03
Parlatılmış altın	0,03
Parlatılmış gümüş	0,02
Parlatılmış paslanmaz çelik	0,17
Siyah boya	0,98
Beyaz boya	0,90
Beyaz kağıt	0,92 – 0,97
Asfalt döşeme	0,85 – 0,93
Kırmızı tuğla	0,93 – 0,96
İnsan derisi	0,95
Ağaç	0,82 – 0,92
Toprak	0,93 – 0,96
Su	0,96
Bitkiler	0,92 – 0,96

3.1.2. Isı taşınımı

Bir durgun yüzey ile sıvı veya gaz halinde üzerinden geçmekte olan akışkan arasında meydana gelen ısı alışverişi, ısı taşınımı olarak adlandırılır. Burada ısı iletiminin oluşmasının nedeni, durgun yüzey ve hareketli akışkanın temas ettiği yerde oluşan sınır tabakasındaki sıcaklık farkıdır. İletim ile akışkan hareketinden kaynaklanan birleşik etkiler söz konusudur [94-95].

Isınan malzemenin yapısındaki boşluklar veya malzemenin yüzeyi ile temasta olan havanın iletim etkisiyle ısınarak yükselmesi ardından soğuk hava ile yer değiştirmesi sonucunda taşınım olayı gerçekleşir. Gaz moleküllerinde mevcut olan titreşimler, gazın yüksek sıcaklıktaki katı bir cisme teması halinde, temas ettiği yüzeyden enerji alması sonucunda artar. Bu durum gaz moleküllerinin içinde bulundukları hacmi arttırır ve çevreye göre daha hafif hale geldikleri için yükselmelerine neden olur. Yükselen moleküllerin yerini alan benzer moleküllerde aynı yolla yüzeyden enerji alırlar ve bunun sonucu olarak taşınım hareketi başlar ve bu şekilde devam eder [97].

Hareket halindeki akışkanın hızı arttıkça, taşınım yoluyla ısı aktarımı da aynı şekilde artar. Akışkan hareketinin durması halinde, ısı transferi katı yüzey ile ona bitişik olan akışkan arasında saf iletimle olur. En hızlı konvektif hareketler gaz ortamlarda, en yavaş konvektif hareketler ise katı ortamlarda meydana gelir [94, 98].

Taşınım yoluyla ısı geçişi, akışın türüne bağlı olarak zorlanmış taşınım ve doğal taşınım şeklinde ayrılabilir. Zorlanmış taşınımda; pompa, fan ya da rüzgar gibi dış unsurlar ile akışkan hareketi oluşur. Doğal taşınımda ise akışkan hareketini sağlayan dış etki bulunmaz, bunun yerine sıcaklık değişimi sonucunda akışkan içerisinde meydana gelen yoğunluk farkı, akışkan hareketini sağlayan kaldırma kuvvetini oluşturur [90].

Birim zamanda taşınım yoluyla transfer edilen ısı miktarı Newton Soğuma Kanunu ile hesaplanır [90].



Şekil 3.2. Bir cisimdeki ısı taşınımı [90]

$$\dot{Q}_{taşınım} = h\, A_S\, (T_s - T_\infty)\ (W) \qquad (3.2)$$

h : Isı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$)

***T_s* :** Cismin yüzey sıcaklığı (K)

***A_s* :** Cismin yüzey alanı (m^2)

***T_∞* :** Akışkanın sıcaklığı (K)

Tablo 3.4. Bazı cisimlerin ısıl taşınım katsayıları [94]

Taşınım Türü	Isı Taşınım Katsayısı (h) $W/m^2.K$
Gazların doğal taşınımı	2 – 25
Sıvıların doğal taşınımı	10 – 1000
Gazların zorlanmış taşınımı	25 – 250
Sıvıların zorlanmış taşınımı	50 – 20.000
Kaynama ve yoğuşma	2500 – 100.000

3.1.3. Isı iletimi

Sıcaklık farkı olduğu zaman her madde, ister katı ister sıvı isterse de gaz halinde olsun, ısıyı iletir. Isı iletimi madde içinde bulunan serbest elektron veya moleküllerin kendilerine has hareketleri ile olur. Bir maddedeki yüksek enerjili parçacıkların bitişiklerindeki daha düşük enerjili parçacıklara etkileşim yoluyla enerji aktarmalarıyla iletim olayı meydana gelir. Bu durumda, ısı iletimi ya da kondüksiyon, bir molekülden diğer moleküle aktarılan kinetik enerji akımıdır. Isı iletiminin büyüklüğü var olan sıcaklık farkına ve maddenin sahip olduğu ısı iletim özelliğine bağlıdır [94-95].

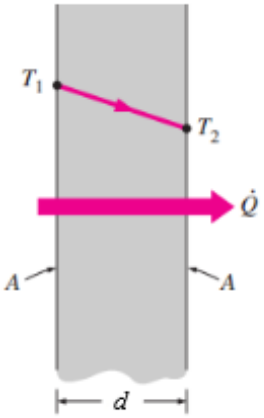
Gazlarda ve sıvılarda ısı iletimi, gelişigüzel hareketler yapan moleküllerin bu sırada birbirleriyle çarpışmaları ve yayılmaları nedeniyle olur. Katılarda ise ısı iletimi, kafeslerdeki moleküllerin titreşimleri ve ayrıca serbest elektronlarla enerji aktarımı yapmaları sonucu olur [92, 94].

Isı iletiminin oluşması ile malzemenin sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayısı arasında doğrudan ilişki olmasına karşılık ısı iletiminin oluşması için malzemenin birim hacim ağırlığı, kalınlığı, gözenek çapı, ısısı ve nemi arasında dolaylı ilişki vardır [93].

Isı iletiminde, malzeme özellikleri ile katmanlaşma önemlidir. Isıl iletkenlik değeri ile ilgili dikkat edilmesi gereken ve malzeme seçiminde önemli olan parametreler [93]:

- Malzemenin kalınlığı azalırsa, ısıl iletkenliği artar,
- Malzemenin hacim ağırlığı artarsa, ısıl iletkenliği artar.
- Malzemenin gözenek çapı azalırsa, ısıl iletkenliği artar.
- Malzemenin nemi artarsa, ısıl iletkenliği artar.
- Malzemenin ısısı artarsa, ısıl iletkenliği artar.

Fourier denklemi ile birim zamanda iletim yoluyla transfer edilen ısı miktarı hesaplanabilmektedir [90].



Şekil 3.3. Bir cismin ısı iletimi [90]

$$\dot{Q}_{iletim} = k\,A\frac{T_1 - T_2}{d}\ (W) \qquad (3.3)$$

A : Yüzey alanı (m^2)

***d* :** Yüzeyler arası kalınlık (m)

***T_1* :** İç yüzey sıcaklığı (K)

***T_2* :** Dış yüzey sıcaklığı (K)

k: Cismin ısıl iletim katsayısı (W/m.K)

Tablo 3.5. Bazı malzemelerin oda sıcaklığındaki ısıl iletkenlik katsayıları [94]

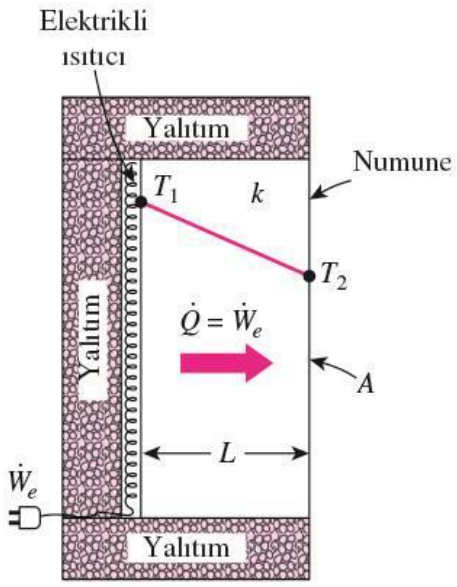
Malzeme	Isıl İletkenlik Katsayısı (k) W/m.K
Elmas	2300
Gümüş	429
Bakır	401
Altın	317
Alüminyum	237
Demir	80,2
Cıva	8,54
Cam	0,78
Tuğla	0,72
Su	0,607
İnsan derisi	0,37
Meşe ağacı	0,17
Helyum	0,152
Yumuşak kauçuk	0,13
Cam elyafı	0,043
Hava	0,026
Üretan, katı köpük	0,026

3.2. Isıl İletkenlik Kavramı ve Isıl iletkenlik Katsayısı

Isıl iletkenlik katsayısı, bir malzemenin birim alanından, birim kalınlığı boyunca geçen birim sıcaklıktaki ısı transfer hızıdır [99].

Bir malzemenin sahip olduğu ısıl iletkenlik, onun ısıyı iletme özelliğinin bir ölçüsüdür. Malzemenin ısıl iletkenliğinin yüksek değerde olması, malzemenin iyi bir ısıl iletken olduğunu gösterir. Isıl iletkenliğin düşük değerde olması ise malzemenin ısıl iletkenlik açısından kötü olduğunu ya da ısıl yalıtkan bir malzeme olduğunu gösterir [94].

Kalınlığı bilinen bir malzeme, elektriksel olarak bir tarafından ısıtılarak ısıl iletkenlik katsayısı değeri bulunabilir. Dış yüzeylerinin yalıtımı iyi bir şekilde yapılmış bir ısıtıcıdan açığa çıkan ısının tümü malzemeye iletilecektir. Isı iletkenlik katsayısı, malzemenin her iki yüzeyinde yapılan sıcaklık ölçmesi sonucunda hesaplanabilir. Şekil 3.4'de numunenin ısıl iletkenlik katsayısı bulmak için kullanılan düzenek verilmiştir [99].



Şekil 3.4. Malzemenin ısıl iletkenlik katsayısını bulmak için kurulan deney düzeneği [94]

Şekil 3.4'deki deney düzeneğinde gösterilen değerler kullanılarak Denklem 3.4 ile ısıl iletkenlik katsayısı bulunur.

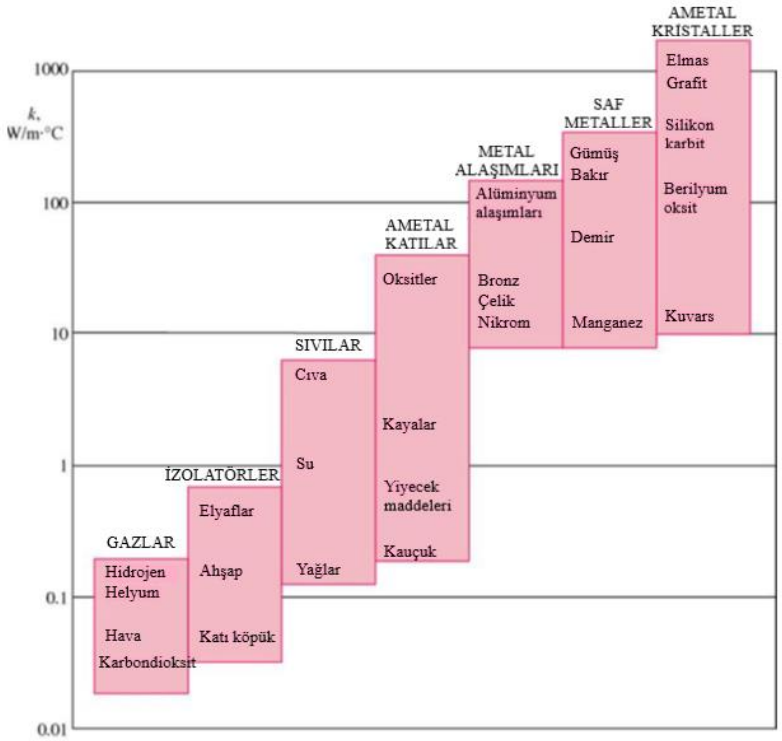
$$k = \frac{L}{A \times (T_1 - T_2)} \times \dot{Q} \text{ (W/m.K)} \qquad (3.4)$$

Isı iletim katsayısı, maddenin yapısı ile birlikte maddenin nemlilik veya rutubet derecesiyle de ilgilidir. Isı yalıtımı istenen yüzeylerde nemlenmeyi engellemek çok

önemlidir. Bunun nedeni, nemli halde, maddenin kuru haline göre, ısı iletiminin artmasıdır. Örnek olarak kiremit ele alındığında, kuru kiremitte ısı iletim katsayısı 0,47 W/m.K olduğu halde yaş kiremitte bu değer 1,05 W/m.K değerine çıkmaktadır [95].



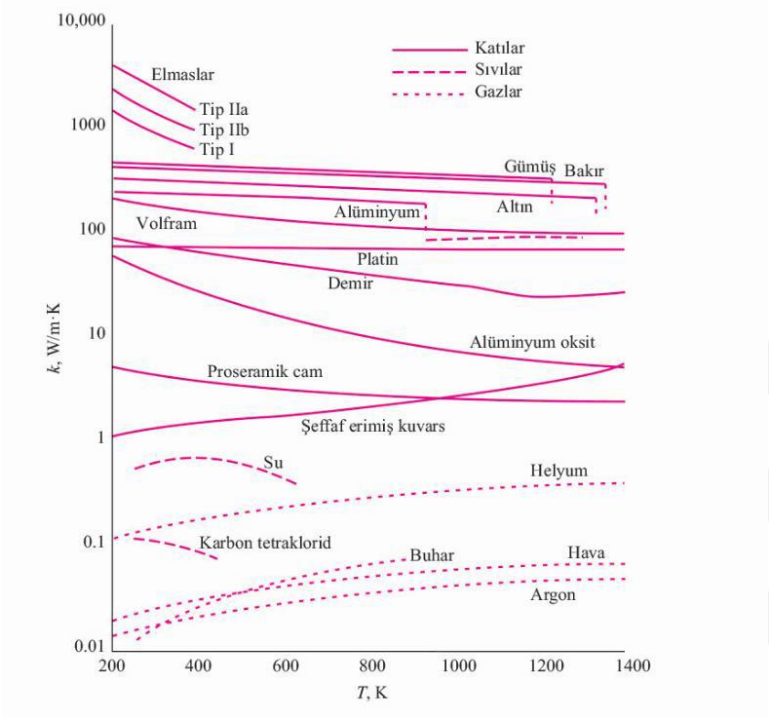
Şekil 3.5. Maddenin farklı hallerdeki ısıl iletim özellikleri [94]



Şekil 3.6. Oda sıcaklığında katı, sıvı ve gaz halinde bulunan malzemelerin ısıl iletimleri [90]

Gazların, bakır ve diğer saf metallere göre ısıl iletkenlikleri farklıdır. Bu fark 10^4 çarpanı oranındadır. En düşük ısıl iletkenliğe gazlar ve yalıtım ürünleri sahipken en yüksek ısıl iletkenliğe ise saf kristal ve metaller sahiptir. Sıcaklık arttıkça gazların ısıl iletkenliği artarken, molekül ağırlığının artması ise gazlarda ısıl iletkenliği azalmasına neden olmaktadır [94, 99].

Bir maddenin sıvı halindeki ısıl iletkenliği, katı halindeki ısıl iletkenliğine göre genel olarak daha düşüktür. Sıvıların ısıl iletkenlikleri belirlenirken daha çok grafikler kullanılır. Bu konuda eşitlik geliştirmenin zorluğu nedeniyle grafiklerden yararlanma yoluna gidilmektedir [99].



Şekil 3.7. Bazı katı, sıvı ve gaz maddelerin ısıl iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi [94]

Termal enerji iletimi, katılarda iki ayrı model ile sağlanmaktadır [99]:

Latis titreşimsel dalgalar ile ısı; belirli periyodik pozisyonlara sahip moleküllerin titreşimleri ile iletilmektedir. Latisteki ısı taşıyıcılarına fonon denilmektedir. Fononların tarifi bir dalga olarak yapılabilir. Latis bileşeni, moleküllerin düzenliliğine bağlı olmaktadır. Örnek olarak, elmasın ısıl iletkenliği yüksektir. Bunun nedeni çok düzenli bir kristal yapıya sahip olmasıdır.

Elektronların serbest akışı ile ısı; serbest elektronların latise doğru hareketleri sayesinde iletilmektedir. Bu iletim modeline daha çok metallerde rastlanmaktadır. Burada iletkenlik serbest elektronlar tarafından sağlanmaktadır.

Isıl iletkenlik (k) = Latis bileşeni (k_L) + Elektron bileşeni (k_E) (3.4)

Isıl iletimin bileşenlerinden olan fononlar ya da elektronlardan hangisinin daha fazla ağır bastığına bağlı olarak sıcaklığa göre ısı iletkenlik katsayısının değişimi farklı olmaktadır.

Saf seramik, saf metal ve kristal yapılı polimerler gibi düzenli malzemelerde sıcaklık artıkça ısıl iletkenlik azalmaktadır. Bu durumdan farklı olarak, sıcaklık arttıkça, düzenli olmayan malzemelerin çoğunda ısıl iletkenlik artmaktadır. Demir, bakır, berilyum oksit (BeO) ve polietilen gibi düzenli malzemelerin dikkate alınabilecek bir bölgesinde artan sıcaklıklar ile ısıl iletkenlikler azalmaktadır. Paslanmaz çelik, cam ve PMMA gibi düzensiz malzemelerde sıcaklığın artmasıyla birlikte ısıl iletkenlikte artmaktadır [99].

Alaşımların ısıl iletkenliği saf metallerin ısıl iletkenliğinden daha düşüktür. Genel olarak alaşımların ısıl iletkenliği, alaşımı meydana getiren iki farklı metalin her birinin ısıl iletkenliğinden daha düşüktür. Örneğin, nikelin ısıl iletkenlik katsayısı k = 69,8 W/m.K ve bakırın ısıl iletkenlik katsayısı k= 348,9 W/m.K olduğu halde % 40 nikel ile % 60 bakırdan meydana gelen alaşımın ısıl iletkenlik katsayısı k= 22,7 W/m.K'dir. Çelik için de benzer durum söz konusudur. Karbon oranının artması ile birlikte çeliğin ısıl iletkenlik katsayısı azalmaktadır. Isıl iletkenliğin alaşımlama sonucu düşmesi malzeme tasarımı açısından önemlidir. Sıcaklığın artması ile birlikte alaşımların ısıl iletkenlikleri de artmaktadır [95, 99].

Tablo 3.6. Bakır ve alüminyum malzemenin ısıl iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi [94]

	Isıl İletkenlik (W/m.K)	
Sıcaklık (K)	Bakır	Alüminyum
100	482	302
200	413	237
300	401	237
400	393	240
600	379	231
800	366	218

Katı malzeme türlerinin ısıl iletimleri şu şekildedir:

Metaller: Saflıkları yüksek olan metallerde elektronlar (k_E), fononlara (k_L) göre ısı iletimine çok daha fazla katkı yaparlar. Metallerde çok miktarda serbest elektron bulunur ve bu elektronlar ısı iletkenliği sağlarlar. Bu nedenle metallerin ısı iletkenlikleri yüksektir. Genellikle 20-400 W/m.K arasındaki değerlerdedirler.

Seramikler: Metalik olmayan malzemelerde serbest elektron bulunmadığı için, ısı iletimi bakımından yalıtkan malzemelerdir. Fononlar vasıtasıyla ısı iletkenliği sağlanır ve k_E

değeri k_L değerine göre çok küçük olmaktadır. Seramik malzemeler genellikle 2-50 W/m.K değerini almaktadır.

Cam ve başka amorf yapıdaki seramiklerde atomsal yapıdaki düzensizlikler nedeniyle fononlar saçılır ve ısı iletkenliklerinin kristal yapılı seramiklere göre daha düşük olmasına neden olur. Porozitenin artmasıyla birlikte ısıl iletkenlikte azalma olur.

Polimerler: Zincir moleküllerinin dönmesi ve titreşimi ile ısıl iletim sağlanır. Isıl iletkenlik katsayısı polimerin sahip olduğu kristalleşme derecesine bağlıdır. Polimerin kristal içeriği yüksekse eşdeğer amorf bir malzemeye göre daha yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir. Polimerler genel olarak yalıtkan olarak kullanılırlar. Pek çok polimerde 0,3 W/m.K ısıl iletkenlik değeri söz konusudur. Isıl iletkenlikleri porozitedeki artış ile azalır [99].

Tablo 3.7. Metaller için ısıl iletim katsayıları [90, 94, 95]

Malzeme	Ölçüm Sıcaklığı	Isıl İletkenlik Katsayısı
	°C	W/m.K
Alüminyum	20	209
	100	217,5
Duralimun (%94-96 Al, %3-5 Cu)	20	164
Kurşun	20	33,7
Bronz (%88 Cu, %10 Sn, %2 Zn)	20	47,7
Dökme demir	20	58,2
Bakır	20	407
Nikel	20	58,2
Gümüş	20	418,7
Çelik (%0,1 C)	20	54,7
	100	52,3
	300	46,5
	600	37,2
Krom çeliği (%0,8 Cr, %2 C)	20	39,5
Krom-Nikel çeliği (%18 Cr, %8 Ni)	20	14,5
	200	17,2
Krom-Nikel-Molibden çeliği	100	16,3
Krom-Molibden çeliği	100	32,5
Çinko	20	112,8
	100	104,7
	300	100
Kalay	20	66,3
	200	58,2
Manganez çeliği (%2 Mg)	20	38,4
Pirinç (%70 Cu, %30 Zn)	20	111
Konstanten (%60 Cu, %40 Ni)	20	27,7

Tablo 3.8. Yapı ve yalıtım malzemelerinin ısıl iletim katsayıları [90, 94, 95]

Malzeme	Isıl İletkenlik Katsayısı W/m.K	Malzeme	Isıl İletkenlik Katsayısı W/m.K
Ahşap	0,14	**Pleksiglas**	0,186
Alçı (dış)	0,349	**Briket**	0,814
Alçı (iç)	0,291	**Buz**	2,326
Amyant (asbest)	0,209	**Cam**	1,1163
Asfalt	0,744	**Cam elyaf**	0,0407
Bakalit	0,233	**Deri**	0,175
Betonarme	1,512	**Eternit**	0,0291
Bitüm	0,175	**Grafit**	0,523
Kiremit	0,523	**Polistren**	0,0349
Kizelgur	0,175	**Porselen**	1,1163
Kontrplak	0,175	**Sıva (dış)**	0,872
Kum	0,582	**Sıva (iç)**	0,698
Lastik	0,186	**Taş**	2,326
Mantar	0,0698	**Tuğla (delikli)**	0,465
Marley	0,186	**Tuğla (dış, dolu)**	0,872
Mermer	2,908	**Tuğla (iç, dolu)**	0,698
Mika	0,965	**Yton (dış)**	0,175
Mukavva	0,14	**Yton (iç)**	0,151
Pamuk	0,0582	**Yün**	0,0465

3.3. Soğutucularda Kullanılan Malzemeler

Soğutucu malzemeleri olarak, en çok alüminyum alaşımları kullanılmaktadır.

Alaşımı oluşturan elementlerine ve mikro yapısına bağlı olarak alüminyum alaşımlarının sahip olduğu fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri değişmektedir. Mangan, bakır, magnezyum, silisyum ve çinko alüminyuma ilave edilen başlıca alaşım elementleridir. Alüminyum alaşımları dövme alaşımları ve döküm alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [100].

LED soğutucu üretiminde ekstrüzyon döküm yöntemi tercih edilmektedir. Enjeksiyon dökümde, çeşitli bileşenler malzemeye katılmakta ve bu sayede alüminyumun kalıp içinde yürümesi sağlanmaktadır. Malzemeye katılan bu bileşenler, saf alüminyumun ısıl değerlerini düşürmektedir. Bu nedenle ekstrüzyon yöntemi kullanılarak daha kaliteli bir soğutucu üretmek mümkün olmaktadır [101].

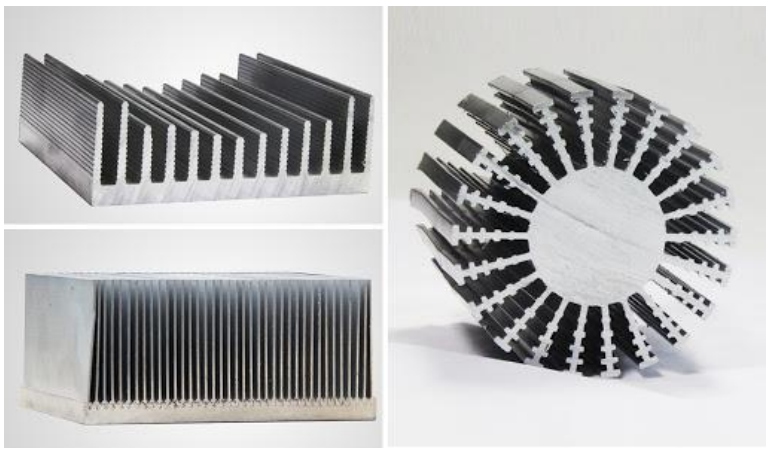
Ekstrüzyon ile yapılan imalatta, enjeksiyonla yapılan imalata göre daha yüksek basınçlar kullanılmakta ve bu da malzemenin daha rijit yapıda olmasına neden olmaktadır. Bu durumun sonucu olarak, ekstrüzyon yöntemi kullanılarak üretilen soğutucu daha yüksek ısı iletme kalitesine ve daha yüksek darbe dayanımına sahip olmaktadır. Eloksal kaplama uygulaması, ekstrüzyon döküm uygulanmış malzemeye yapılabilmektedir. Kalıp maliyeti açısından ekstrüzyon yöntemi enjeksiyon yöntemine göre daha ekonomiktir [101].

Döküm alüminyum alaşımlarının çoğunda silisyum bulunmaktadır. Silisyum içeren alaşımın kaynak kabiliyeti ve korozyona direnci oldukça yüksektir. Alüminyum alaşımlarına çeşitli elementler katılarak elde edilen, ısıl iletkenliği yüksek alaşım guruplarının kazandığı özellikler aşağıdaki gibidir [102].

- 1XXX (Saf alüminyum): Daha çok kimya ve elektrik endüstrisinde kullanılmaktadır.
- 6XXX (Al-Mg-Si alaşımları): Magnezyum ve silisyum esas alaşım elementlerini oluşturmaktadır. Bu alaşımların şekillendirilme kabiliyetleri yüksek olduğu için daha çok ekstrüzyon yöntemi ile parça üretiminde kullanılırlar.

AL 1050, alüminyum alaşımları arasında en yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir (229 W/m.K) ancak soğutucu olarak kullanılmaz. Çünkü AL 1050 mekanik olarak yumuşaktır ve belirli bir şekli koruması zordur [103].

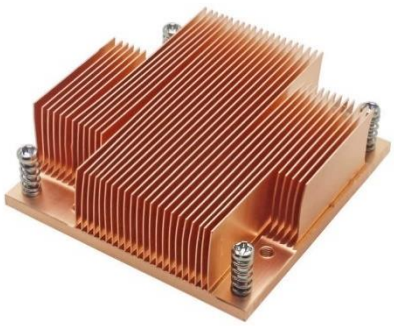
Soğutucu malzemesi olarak alüminyum alaşımları 6060 (düşük gerilme), 6063 yaygın olarak kullanılır ve ısıl iletkenlik değerleri sırasıyla 166 ve 201 W/m.K'dir. Değerler alaşımın kıvamına bağlıdır. Tek parça alüminyum soğutucular ekstrüzyon, döküm, sıyırma veya frezeleme ile yapılabilir [103-105].



Şekil 3.8. Alüminyum alaşımlarından üretilen ekstrüzyon soğutucular [106]

Alüminyumdan yapılan soğutucular, çeşitli uygulamalarda oldukça verimli olsa da daha yüksek termal iletkenlik seviyesi nedeniyle bakır soğutucu kullanımının gerekli olduğu durumlar vardır. Bakır; ısıl iletkenliği, korozyon direnci, biyolojik kirlenme direnci ve antimikrobiyal direnci açısından mükemmel soğutucu özelliklerine sahiptir. Bakır, alüminyumdan yaklaşık iki kat daha fazla iletkenliğe sahiptir (saf bakır için yaklaşık 400 W/m.K) ancak üç kat daha yoğundur ve pazara bağlı olarak alüminyumdan yaklaşık dört ila altı kat daha pahalıdır. Başlıca uygulamaları endüstriyel tesisler, enerji santralleri, güneş enerjili termal su sistemleri, HVAC sistemleri, gazlı su ısıtıcıları, cebri hava ısıtma ve soğutma sistemleri, jeotermal ısıtma ve soğutma ve elektronik sistemlerdir. Tek parça bakır soğutucular sıyırma veya frezeleme ile yapılabilir. Saç-metal kanatlar, dikdörtgen bir bakır gövde üzerine lehimlenebilir. Bakır, alüminyumdan daha az sünektir bu nedenle bakırın soğutucuları ekstrüde edilemez [105, 107].

Tamamen bakır soğutuculara çok yaygın bir başka alternatif bakır ve alüminyumun tek bir soğutucuda birleştirilmesidir. Bu, birden fazla alüminyum kanatçıkların bir bakır soğutucu tabanına yapıştırılmasıyla sağlanabilir. Kısmen bakır soğutuculara yönelik bu tasarımla, tasarımcı, ısı kaynağından yüksek bir ilk termal iletimle ödüllendirilecek ve daha sonra hızlı bir şekilde alüminyum kanatlara aktarılacaktır. Bakır soğutucular için böyle bir sistem idealdir çünkü her iki malzemenin faydalarını birleştirir. Soğutucunun tabanında yüksek iletkenliğe ihtiyaç duyulurken, soğutucu kanatçıklarında kullanılmak üzere bu metali seçerek alüminyumun hafifliği, ektrüzyon kabiliyeti ve uygun fiyattan yararlanılabilir [107].



Şekil 3.9. Bakır malzemeden yapılan komponent soğutucu [108]

Elmas başka bir soğutucu malzemedir ve 2000 W/m.K'lik ısıl iletkenliği bakırın beş katıdır. Isının lokalize elektronlar tarafından iletildiği metallerin aksine, elmasın çok yüksek termal iletkenliğinden kafes titreşimleri sorumludur. Termal yönetim

uygulamaları için elmasın olağanüstü termal iletkenliği ve yayılabilirliği çok önemlidir. Günümüzde sentetik elmas, yüksek güçlü entegre devreler ve lazer diyotlar için alt montajlar olarak kullanılmaktadır [109].



Şekil 3.10. CVD (sentetik) elmas soğutucu [110]

Kompozit malzemeler de soğutucu olarak kullanılabilir. Örnek olarak; bakır-tungsten sözde alaşım, AlSiC (alüminyum matris içinde silikon karbür), Dymalloy (bakır-gümüş alaşım matrisinde elmas) ve E-malzeme (berilyum matrisinde berilyum oksit). Bu tür malzemeler, termal genleşme katsayıları seramikler ve yarıiletkenlerle eşleştirilebildiğinden, genellikle LED çipler için alt tabakalar olarak kullanılır [109].

4. UYGULAMA YÖNTEMİ VE ELEMANLARI

Bölüm içeriğinde; tez içerisinde yer alan deneysel uygulamalarda kullanılan elemanların, malzemelerin ve ölçüm cihazlarının tanıtımı yapılır. Tanıtımın ardından, deneysel uygulamada kullanılacak yöntemle beraber uygulamaların teorik hesapları yapılır. Böylece pratik uygulamaların öncesinde karşılaşılacak sonuçlar matematiksel olarak hesaplanır ve karşılaştırılır.

4.1. Uygulama Amacı ve Kullanılan Yöntem

Işık akısı sağlayan bir diyot üzerine akım veya ileri bir gerilim uygulanır. Akıma bağlı olarak ışık yoğunluğu değişir. Burada levha veya soğutucu sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ileri gerilim-akım ilişkisi oluşur. Ayrıca diyot sıcaklığına bağlı olarak ışık akısı da değişir. Daha önce yapılan çalışmalar sonucunda, jonksiyondaki ısının, LED'lerde zamanla oluşan ışık çıkışı bozulması ve spektral kayma yönünden LED'lerin performansını belirlediği anlaşılmıştır. Bu nedenle jonksiyon sıcaklığının doğru olarak ölçülmesi, LED sistemlerinin kısa ve uzun vadeli performansını belirlemede büyük önem taşımaktadır [111-112].

LED arızalarının çoğu sıcaklıktan kaynaklanır. Bağlantı sıcaklıklarının yüksek olması ışık çıkışının bozulmasını ve azalmasını hızlandırır. Kullanım ömrüne bağlı olarak, çalışma sıcaklığının izin verilen değeri, reçinenin akma dayanım noktası ile sınırlıdır. Bunun anlamı, içerideki kalıbın sıcaklığı beklenen çalışma sıcaklığına ulaştığında, bu değerin aşılmaması anlamına gelir [113-116].

Çalışma sırasında ortaya çıkan ısıyı dağıtabilmek için, LED çipin bir soğutucuya ya da alt tabakaya bir lehim eki ile bağlanması gerekir. Lehim bağlantısında boşluklar varsa, bunlar yetersiz bir termal yol meydana getirerek sıcak noktaların ortaya çıkmasına ve netice olarak termal kaçak ve arızaya sebep olur. Çip ile ilgili sorunlar; kapsül, tel ve fosforda meydana gelebilir. Kalıp tutturma dayanımı kaybı ve kablo bağı kopması sorunları epoksinin aşırı ısınması sonucu oluşur [117-119].

Birleşme sıcaklığının tahmin edilmesinde, tek boyutlu ısı transfer analizi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemi kullanılabilmek için LED bağlantısından ortama kadar olan termal direnç katsayısının bilinmesi gerekmektedir. Ancak, birleşim sıcaklığını doğru olarak tahmin edebilmek için ısıl direnç katsayısının değerini bilmek

gerekmektedir. Isıl direnç katsayısı, belirli koşul için sabit olurken, sürücü akımı, ortam sıcaklığı, ısı alıcısının oryantasyonu ve bir pakette kullanılan ısı alıcı miktarı gibi parametrelerden etkilenmektedir [120-123].

4.2. Kullanılan Eleman, Malzeme ve Cihazlar

Uygulamaların amacı gereğince Isıl Ölçüm yapılması amacıyla farklı LED armatür yapıları bir araya getirilmiştir. Isıl ölçüm yapılırken LED armatürün gövde yapısının, optik elemanlarının ve dekoratif bileşenlerinin sıcaklığa etkileri ihmal edilerek bu LED armatür bileşenleri deneysel uygulamalarda kullanılmamıştır.

Deneysel uygulamalar için LED paketi olarak COB LED çeşidi, farklı boyutlarda ve malzemelerde LED soğutucular ve kademeli sabit akım LED sürücü kullanılmıştır. Ayrıca COB ile soğutucu arasındaki ısıl iletimi sağladığı için kullanılması zorunlu olan termal macun her bir uygulama için aynı miktarda kullanılmıştır.

Deneysel uygulamalarda LED T_C sıcaklığını ve LED soğutucunun sıcaklığını aynı anda ölçmek için 2 farklı cihaz ve ısı probu (termocouple) kullanılmıştır. LED sıcaklığının aydınlık düzeyine ve ışık akısına etkisini gözlemlemek amacıyla Lüksmetre kullanılmıştır. LED sürücünün sabit akımının değerini kontrol etme amacıyla akım kademesinde Multimetre kullanılmıştır.

4.2.1. Kullanılan karta yerleşik çoklu çipli ışık yayan diyotlar (COB LED)

Deneysel uygulamalar için 4 farklı güç değerinde çalışan 4 adet COB LED kullanılmıştır. EDISON marka Edipower V Serisi COB'ler kullanılmıştır. Her biri 3000 K renk sıcaklığına sahiptir.



Şekil 4.1. Kullanılan COB LED'ler (soldan sağa; 40W güç değerindeki, 30W güç değerindeki, 18W güç değerindeki, 10W güç değerindeki COB LED)

Kullanılan 4 farklı COB LED'in özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 1 numaralı COB LED: 40 W güç, 1050 mA çalışma akımına sahiptir.
- 2 numaralı COB LED: 30 W güç, 750 mA çalışma akımına sahiptir.
- 3 numaralı COB LED: 18 W güç, 450 mA çalışma akımına sahiptir.
- 4 numaralı COB LED: 10 W güç, 300 mA çalışma akımına sahiptir.

Kullanılan COB LED'lerin bazı özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan COB LED'lerin elektriksel özellikleri [124]

	Çalışma gerilimi	*Çalışma akımı aralığı*	*Harcanan güç aralığı*	*Max güç*	*Max ileri akım*	*Min ileri akım*	*Renksel geriverim*	*Renk sıcaklığı*
40W COB LED	36-40 V	1050-2130 mA	40-76 W	85 W	2200 mA	60 mA	80	3000 K
30W COB LED	36-40 V	750-1650 mA	30-60 W	67,5 W	1650 mA	50 mA	80	3000 K
18W COB LED	36-40 V	450-990 mA	18-36 W	40,5 W	990 mA	30 mA	80	3000 K
10W COB LED	30-33 V	300-570 mA	10-18 W	21,3 W	570 mA	15 mA	80	3000 K

Kullanılan COB LED'lerin kataloğunda verilen ısıl özellikleri aşağıdaki Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kullanılan COB LED'lerin ısıl özellikleri [124]

	Çalışma sıcaklığı	*Max LED jonsiyon sıcaklığı (T_{Jmax})*	*Max kılıf sıcaklığı (Tc)*	*Termal direnç (R_{JC})*	*Alüminyum kılıfın ışıl iletkenlik katsayısı*	*Işık akısı aralığı (T_J=85°C)*	*Işık akısı aralığı (T_J=25°C)*
40W COB LED	-40…+100°C	125°C	105°C	0,32 °C/W	200 W/mK	4880-5422 lm	5369-5965 lm
30W COB LED	-40…+100°C	125°C	105°C	0,4 °C/W	200 W/mK	4039-4488 lm	4444-4937 lm
18W COB LED	-40…+100°C	125°C	105°C	0,61 °C/W	200 W/mK	2416-2684 lm	2658-2953 lm
10W COB LED	-40…+100°C	125°C	105°C	1,00 °C/W	200 W/mK	1169-1299 lm	1286-1426 lm

COB LED paketinin jonksiyon ve kılıf sıcaklığı farklıdır. Jonksiyon sıcaklığı (T_J) direkt LED'in diyot ve çip kısmının sıcaklığı iken kılıf sıcaklığı (T_C) LED çipleri bir arada tutan

MCPCB levhanın sıcaklığıdır. İki sıcaklık arasındaki fark Denklem 4.1'de gösterildiği gibi jonksiyon-kılıf termal direnci (R_{jc}) ve LED çiplerinin ürettiği ısı (Q) vasıtasıyla hesaplanabilir.

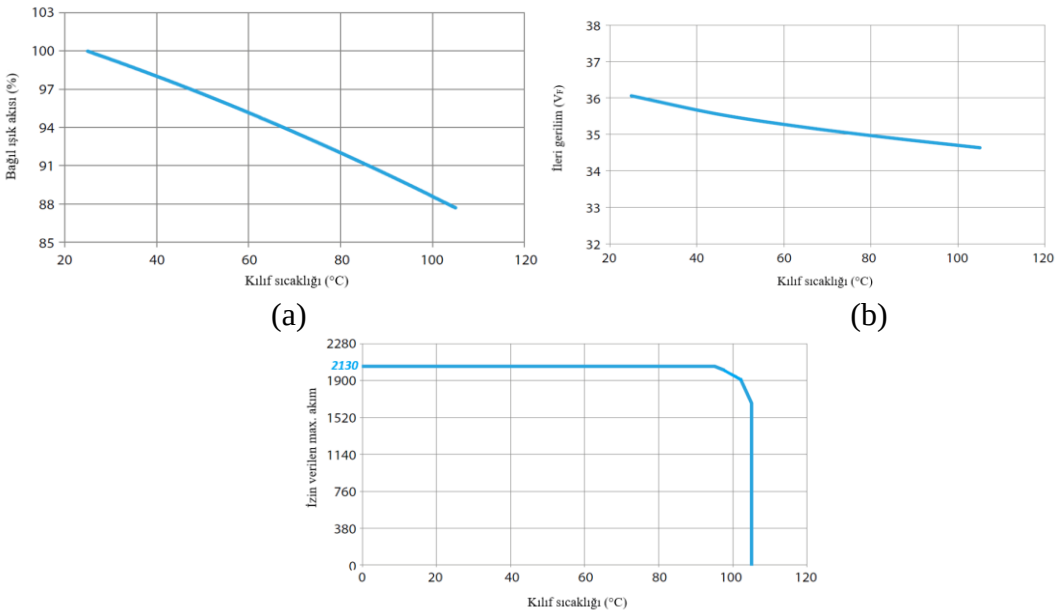
$$T_j = T_c + R_{jc} \times Q \tag{4.1}$$

Kullanılan COB LED'lerin kataloğunda verilen ömür değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

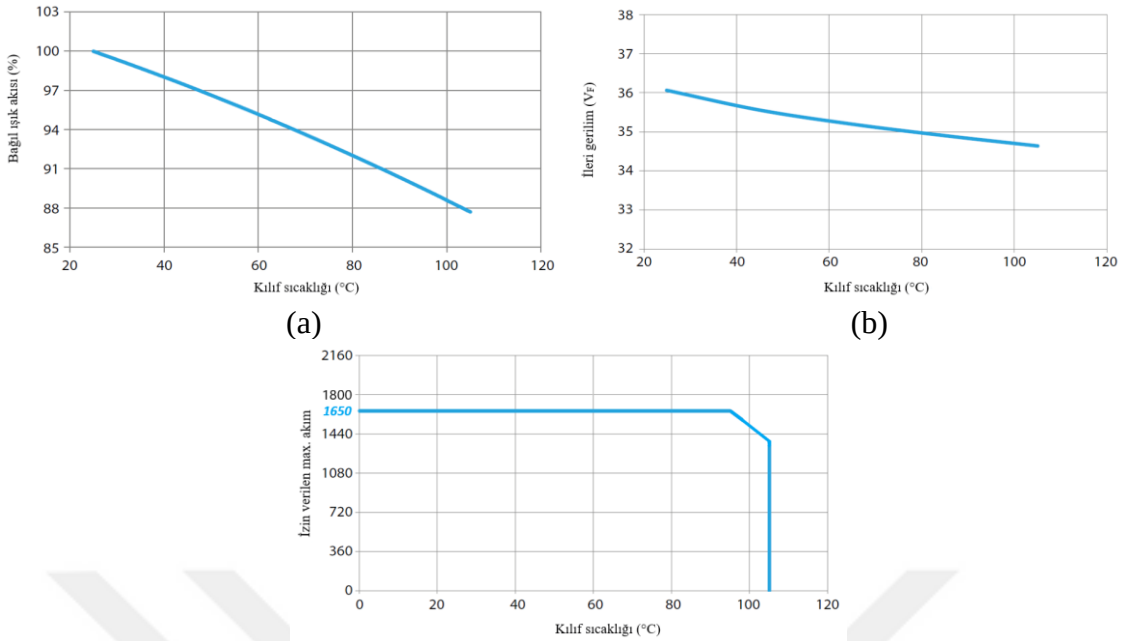
Tablo 4.3. Kullanılan COB LED'lerin ömür değerleri [124]

	Ta=100°C Yüksek sıcaklık ömrü	*Ta=85°C RH=%85 Nemli ortamdaki ısıl ömrü*	*Ta= -40°C Düşük sıcaklık ömrü*	*Ta=25°C Çalışma ömrü testi*	*Ta=85°C Yüksek sıcaklık çalışma ömrü testi*
40W COB LED	1000 saat	500 saat	1000 saat	6000 saat	1000 saat
30W COB LED	1000 saat	500 saat	1000 saat	6000 saat	1000 saat
18W COB LED	1000 saat	500 saat	1000 saat	6000 saat	1000 saat
10W COB LED	1000 saat	500 saat	1000 saat	6000 saat	1000 saat

Kılıf sıcaklığının yükselmesinin, kullanılan 4 COB LED üzerindeki etkileri de katalogda verilmiştir. Sıcaklığın yükselmesi LED'lerin ışık akısını azaltır ve ileri gerilimde ufak bir azalma olur. Max. kılıf sıcaklığı değerlerine ulaştıklarında ise LED'ler işlevlerini kaybeder ve LED'lerin çektiği akım sıfırlanır.



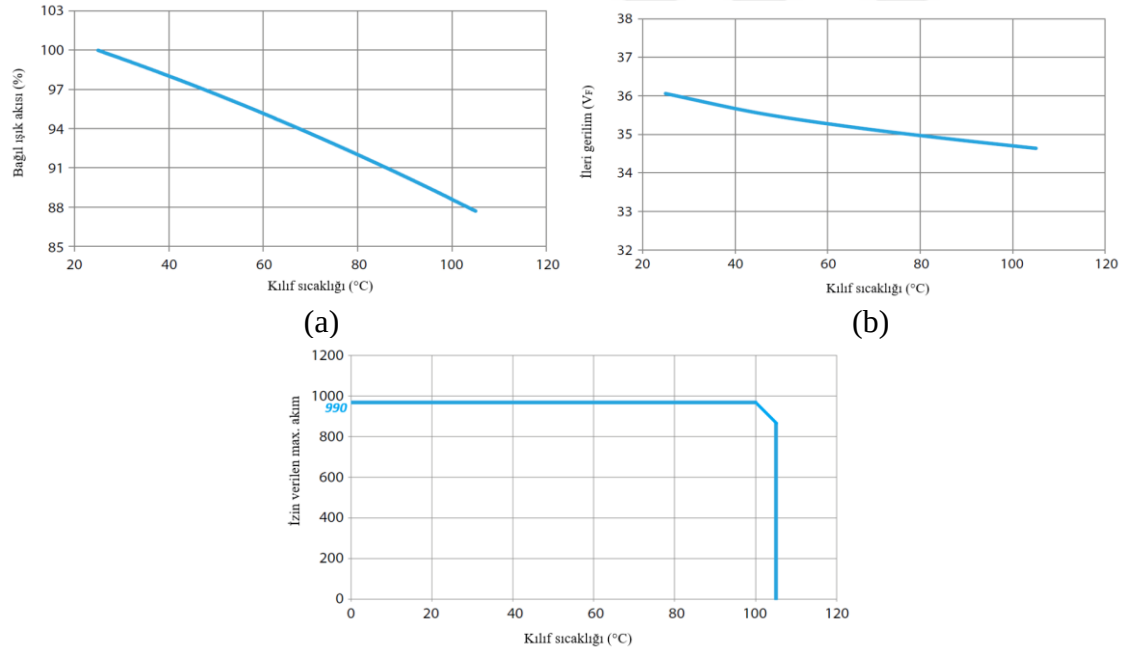
Şekil 4.2. 1 numaralı (40W) COB LED (a) ışık akısının kılıf sıcaklığına göre değişimi, (b) ileri gerilimin kılıf sıcaklığına göre değişimi, (c) akımın kılıf sıcaklığına göre değişimi [124]



(a) (b)

(c)

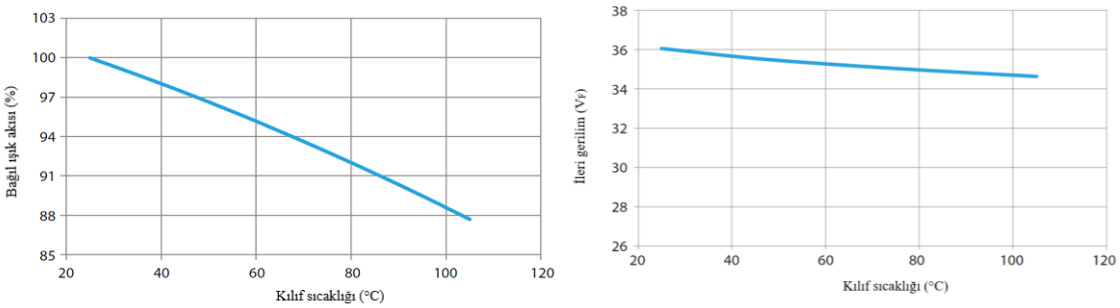
Şekil 4.3. 2 numaralı (30W) COB LED (a) ışık akısının kılıf sıcaklığına göre değişimi, (b) ileri gerilimin kılıf sıcaklığına göre değişimi, (c) akımın kılıf sıcaklığına göre değişimi [124]



(a) (b)

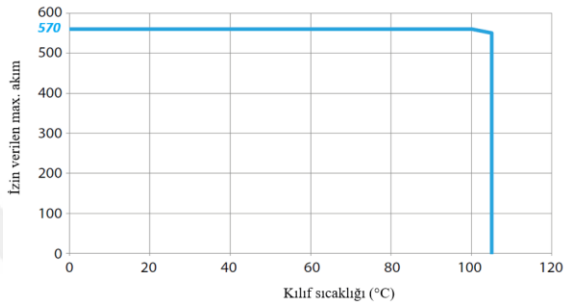
(c)

Şekil 4.4. 3 numaralı (18W) COB LED (a) ışık akısının kılıf sıcaklığına göre değişimi, (b) ileri gerilimin kılıf sıcaklığına göre değişimi, (c) akımın kılıf sıcaklığına göre değişimi [124]



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.5. 4 numaralı (10W) COB LED (a) ışık akısının kılıf sıcaklığına göre değişimi, (b) ileri gerilimin kılıf sıcaklığına göre değişimi, (c) akımın kılıf sıcaklığına göre değişimi [124]

4.2.2. Kullanılan ışık yayan diyot sürücüsü

LED sürücü seçiminde, 4 farklı çalışma akımına sahip COB LED'i tek bir LED sürücü ile çalıştırma amaçlandığı için direnç ayarlı kademeli bir model seçilmiştir.

Kullanılan LED sürücü TRIDONIC marka LC 50W 350-1050mA flexC modeldir. Sabit akımlı çıkış vermektedir.



Şekil 4.6. Kullanılan LED sürücü [125]

Kullanılan LED sürücülerin kataloğunda verilen bazı elektriksel özellikleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

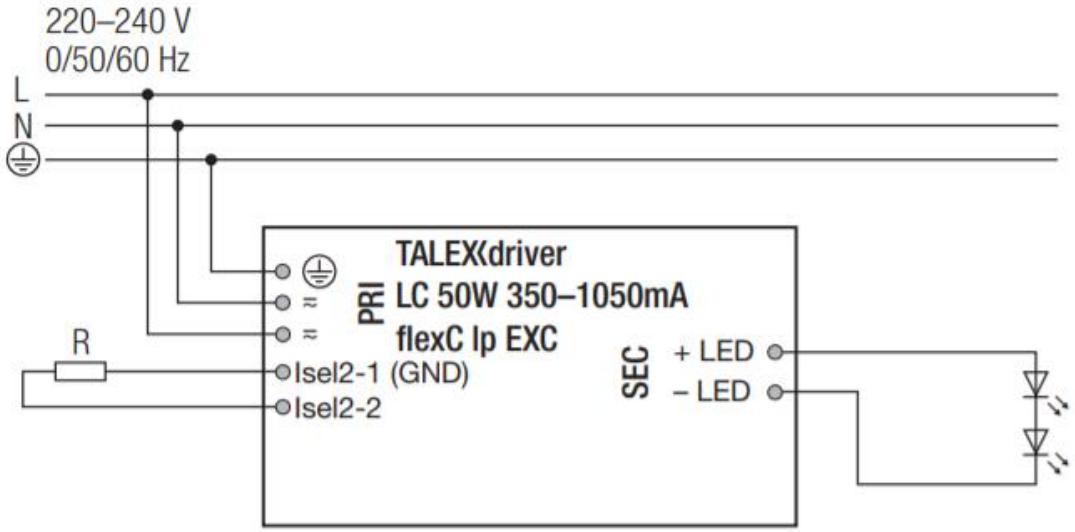
Tablo 4.4. Kullanılan LED sürücünün özellikleri [125]

Besleme gerilimi	**220 – 240 V**
AC gerilim aralığı	198 – 264 V
Giriş akımı (230 V, 50 Hz, tam yük)	250 mA
Max giriş gücü	56,2 W
Verim (230 V, 50 Hz, tam yük)	%90
Güç faktörü (230 V, 50 Hz, tam yük)	0,98
Yüksüz giriş akımı	21 mA
Yüksüz giriş gerilimi	0,1 W
Toplam Harmonik Bozulma (230 V, 50 Hz, tam yük)	<%10
Çıkış akım ripple yüzdesi	± %5
Max çıkış gerilimi	51,6 V

LED sürücünün, deneysel uygulamalar için kullanılan 4 farklı sürüş akımı ile çalışan COB LED'lere uygun çıkış akımı değerlerine ayarlandığındaki bazı özellikleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Kullanılan LED sürücünün dört farklı akım ayarındaki özellikleri [125]

	LED'leri çalıştıran, LED sürücüde ayarlanmış çıkış akımı	*Min. Çıkış gerilimi*	*Max. Çıkış gerilimi*	*Max. Çıkış gücü*	*Max LED sürücü sıcaklığı (Tc)*	*Ortam çalışma sıcaklığı (Ta)*	*LED sürücü çıkış akım ayarı için kullanılması gereken direnç değerleri*
40W COB LED	1.050 mA	20 V	48 V	50.4 W	85 °C	-25 ... +60 °C	4,76 KΩ
30W COB LED	700 mA	20 V	50 V	35.0 W	85 °C	-25 ... +65 °C	7,14 KΩ
18W COB LED	500 mA	20 V	50 V	25.0 W	85 °C	-25 ... +65 °C	10 KΩ
10W COB LED	350 mA	20 V	50 V	17.5 W	85 °C	-25 ... +70 °C	14,29 KΩ



Şekil 4.7. Kullanılan LED sürücünün giriş-çıkış devre şeması [125]

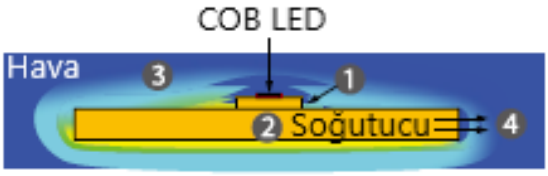
Kullanılan LED sürücünün Şekil 4.7'de görülen bağlantı şemasında; primer tarafında dönüştürücü için AC giriş, sekonder tarafında ise DC'ye dönüştürülmüş çıkış bulunmaktadır. DC çıkış COB LED'e bağlanmaktadır. Sekonderin "+LED" çıkışı COB LED'in "+" ucuna, sekonderin "-LED" çıkışı COB LED'in "-" ucuna lehimlenerek bağlanır. LED sürücünün "Isel2-1" ile "Isel2-2" çıkışlarına akım ayarı için kullanılan direnç bağlanır.

4.2.3. Kullanılan soğutucular

Bir LED'in giriş gücünün yaklaşık % 80'i ısıya dönüşür. Yüksek sıcaklık; LED'lerin akısının azalmasına ve LED'in ömrünün kısalmasına neden olur. Bir bileşenin en yüksek çalışma sıcaklığı T_J olarak belirtilir.

Güç dağıtma yeteneği, LED jonksiyonu arasındaki ortam sıcaklığı, çevre, termal yol ve termal direnci, bir LED cihazının performansını etkileyen ortalama parametrelerdir. Bir LED ürün tasarlanırken bağlantı sıcaklığının sınırlandırılması önemli bir konu haline gelmiştir.

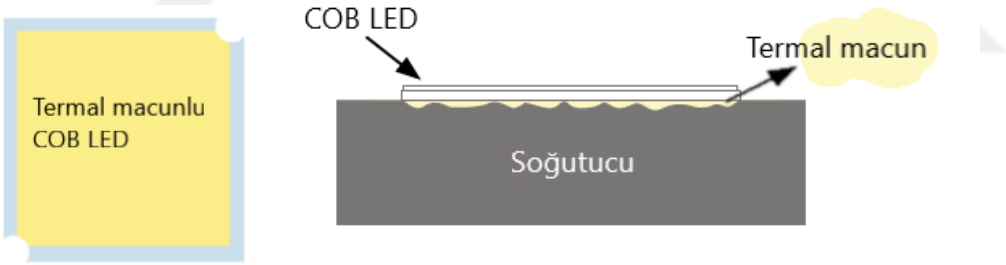
Dört ana termal yol Şekil 4.8'deki gibidir:



Şekil 4.8. COB LED ile LED soğutucunun gerçekleştirdikleri ısı transferlerinin gösterimi [124]

1. Isı kaynağından (komponent) soğutucuya. (İletim yoluyla)
2. Soğutucu içinden soğutucunun yüzeyine iletim. (İletim yoluyla)
3. Soğutucu yüzeyinden onu çevreleyen havaya aktarım. (Konveksiyon ile)
4. Soğutucu yüzeyinden ısı yayılımı. (Radyasyonla)

COB LED ve soğutucunun temas yüzeyi tamamen düz değildir, birbirlerini tam olarak karşılayamazlar. Bu iki malzeme arasındaki hava, yüksek termal dirençle sonuçlanacak ve ısı transferinin etkisini azaltacaktır. Isıl iletim kabiliyetini arttırmak için yaygın bir yöntem iki arayüz arasına termal macun uygulamak ve iki yüzey arasındaki yapışmayı güçlendirmek için vidaları kullanmaktır.



(a) (b)

Şekil 4.9. (a) COB LED'in arka yüzüne sürülmüş termal macun, (b) Kesit görünümü verilen COB LED ile soğutucu arasındaki termal macun [124]

Kullanılan termal macunun ısıl iletkenlik katsayısı 1,2 W/mK olmaktadır. Termal macun, soğutucu üzerine 0,1 mm ve daha az kalınlıkta sürülür.

Deneysel uygumalar için farklı tedarikçilerden alınan farklı ölçülerde ve farklı malzemeden yapılmış 6 farklı soğutucu kullanılmıştır.

Çoğunun malzemesi AL 6063 kalitedeki alüminyum alaşımıyken 2 adedi daha eski bir malzeme modeli olan ağırlığı ve demir oranı yüksek Etial150 kalite alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

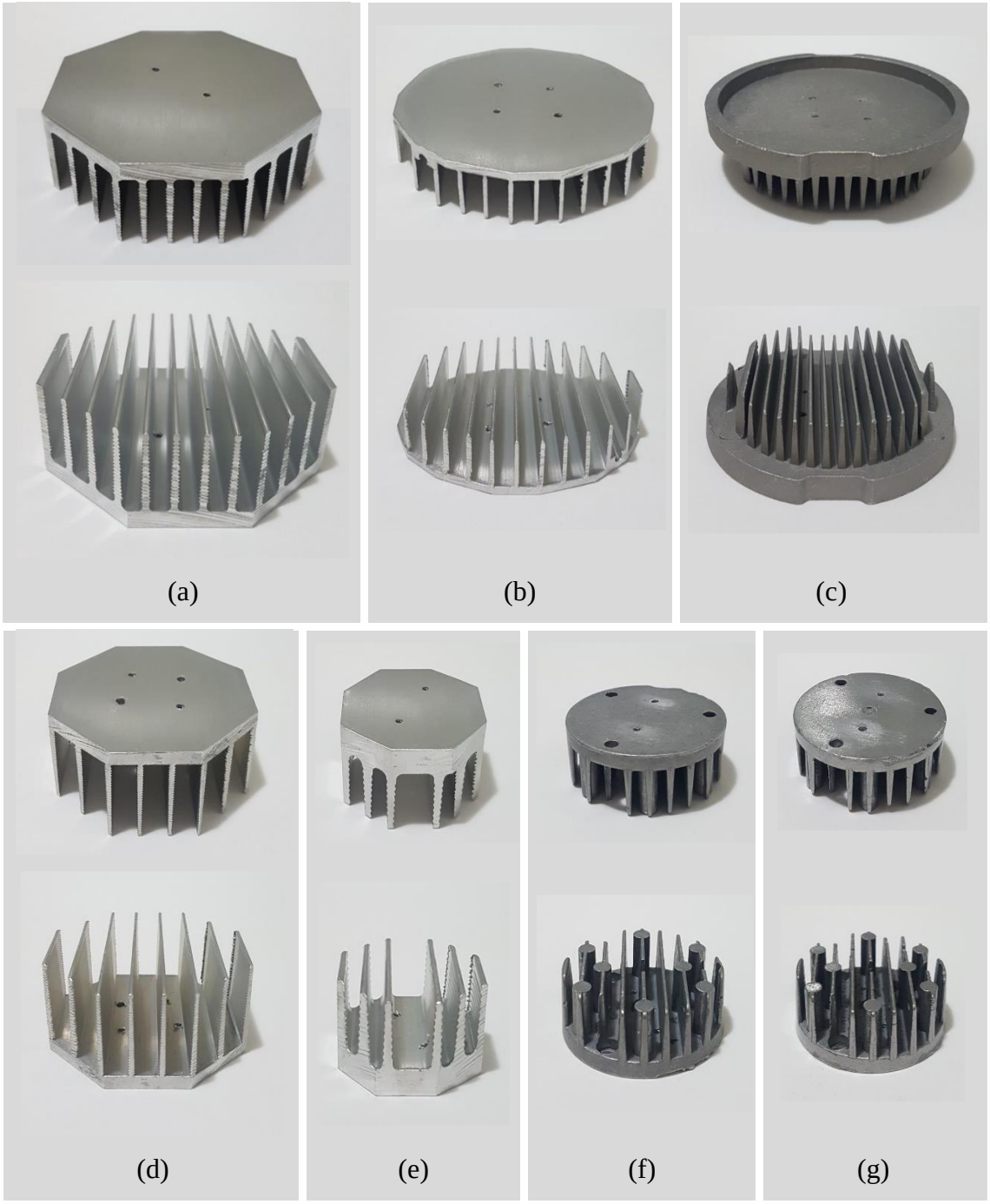
Tablo 4.6. Kullanılan soğutucuların boyutları

	Soğutucu adedi	*Malzeme*	*Şekil*	*Taban genişliği*	*Kanatçık sayısı*	*Kanatçık yüksekliği*	*Taban kalınlığı*	*Kanatçık kalınlığı*
1 numaralı soğutucu	3	AL6063	8gen	11,4 cm	12	3,2 cm	0,7 cm	0,2 cm
2 numaralı soğutucu	2	AL6063	16gen	9,5 cm	12	1,7 cm	0,3 cm	0,15 cm
3 numaralı soğutucu	3	ETIAL150	Daire	9,5 cm	16	1,8 cm	0,3 cm	0,2 cm
4 numaralı soğutucu	3	AL6063	8gen	7 cm	8	3 cm	0,5 cm	0,2 cm
5 numaralı soğutucu	4	AL6063	8gen	4,3 cm	6	2,1 cm	0,85 cm	0,22 cm
6 numaralı soğutucu	4	ETIAL150	Daire	4,5 cm	9	1,5 cm	0,5 cm	0,2 cm

Soğutucular isimlendirilirken; soğutucunun üretildiği malzeme ve genişlik değerleri kullanılmıştır:

- 1 numaralı soğutucunun isimlendirilmesi: 6063 Ø114 soğutucu.
- 2 numaralı soğutucunun isimlendirilmesi: 6063 Ø95 soğutucu.
- 3 numaralı soğutucunun isimlendirilmesi: Etial150 Ø95 soğutucu.
- 4 numaralı soğutucunun isimlendirilmesi: 6063 Ø70 soğutucu.
- 5 numaralı soğutucunun isimlendirilmesi: 6063 Ø43 soğutucu.
- 6 numaralı soğutucunun isimlendirilmesi: Etial150 Ø45 soğutucu.

Deneysel uygulamalarda kaplamasız ölçümlerde kullanılan 7 çeşit soğutucunun üstten ve alttan görünümü Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Kaplamasız ölçüm yapılan soğutucular (a) 6063 Ø114, (b) 6063 Ø95, (c) Etial150 Ø95, (d) 6063 Ø70, (e) 6063 Ø43, (f) Etial150 Ø45 Mat Yüzey, (g) Etial150 Ø45 Parlak Yüzey

4.2.3.1. Kaplama yapılmış soğutucular

Deneysel uygulamaların amacı gereği LED soğutucuların ısıl ölçümleri yapıldıktan sonra dış yüzeylerine belirli kalınlıklarda saf gümüş ve saf bakır malzeme kaplaması uygulanmıştır. Isıl iletkenliği en yüksek iki malzeme olan gümüş ile bakır kaplamanın

LED ısısının aktarımına etkisinin ölçümü yapılmıştır. Kaplama malzemeleri farklı kalınlıklarda kullanılarak kaplama kalınlığının ısıl iletime etkisi incelenmiştir.

Elektrolitik kaplama türünde kaplama uygulanmıştır ve kaplama öncesinde soğutuculara özel temizlik solüsyonu işlemleri uygulanarak kaplamanın yüzeye maksimum oranda tutunması sağlanmıştır.

Tablo 4.7. Soğutucu çeşitlerine deneyler için uygulanmış kaplama malzemeleri ve kalınlıkları

	BAKIR			GÜMÜŞ		
	10 µm	25 µm	40 µm	10 µm	25 µm	40 µm
1 numaralı soğutucu	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	YOK
2 numaralı soğutucu	YOK	VAR	VAR	YOK	VAR	VAR
3 numaralı soğutucu	YOK	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR
4 numaralı soğutucu	VAR	YOK	VAR	VAR	VAR	VAR
5 numaralı soğutucu	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR
6 numaralı soğutucu	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR

(*)"VAR" deneylerde ölçümleri yapıldığı anlamına gelir, "YOK" deneylerde kullanılmadığı anlamına gelir.

3 numaralı soğutucu ve 6 numaralı soğutucu Etial150 Alüminyum alaşımından imal edilmiştir. Etial150 malzemesinin kimyasal özellikleri ve önemli 3 özelliği Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8. Etial150 alaşımının özellikleri [100]

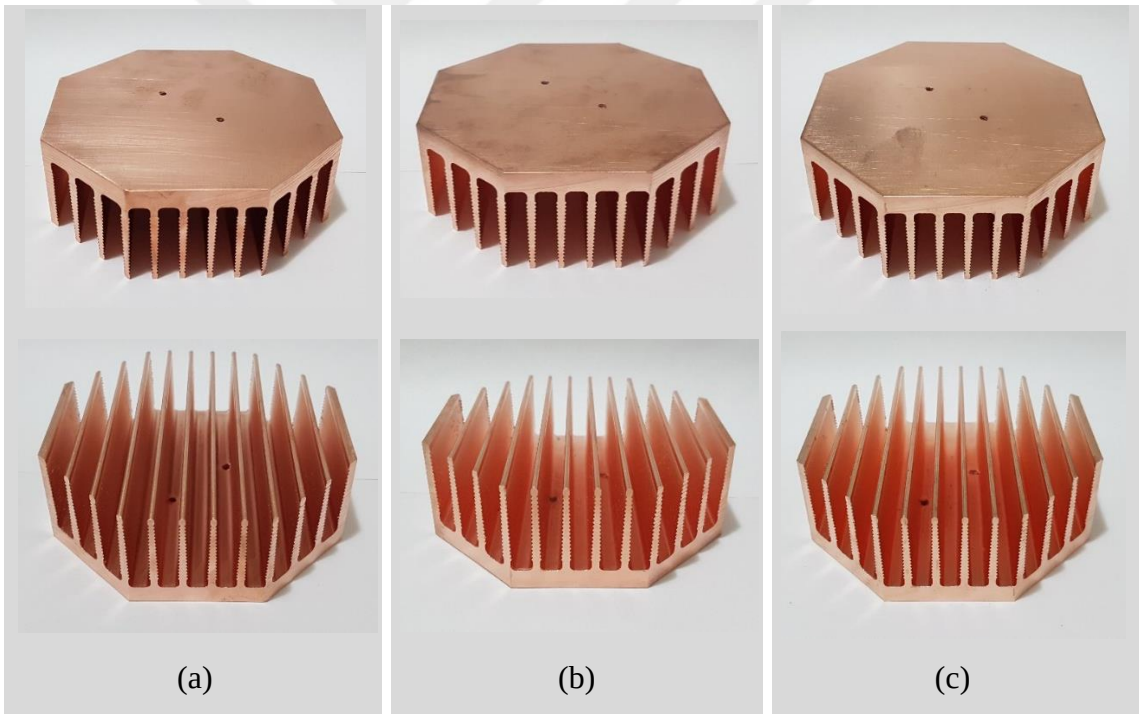
ETIAL 150 Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)									
Si	Cu	Fe	Zn	Mn	Mg	Ni	Ti	Sn	Pb
11-13	1,75-2,5	1	0,7	0,5	0,4	0,3	0,15	0,1	0,1
ETIAL 150 Özellikleri									
Isıl İletkenlik (W/mK)							205		
Özgül Ağırlık (g/cm³)							2,71		
Ergime Sıcaklığı (°C)							658		

1, 2, 4 ve 5 numaralı soğutucuların malzemesi olan 6063 Alüminyum alaşımının kimyasal özellikleri ve önemli 3 özelliği Tablo 4.9'da verilmiştir.

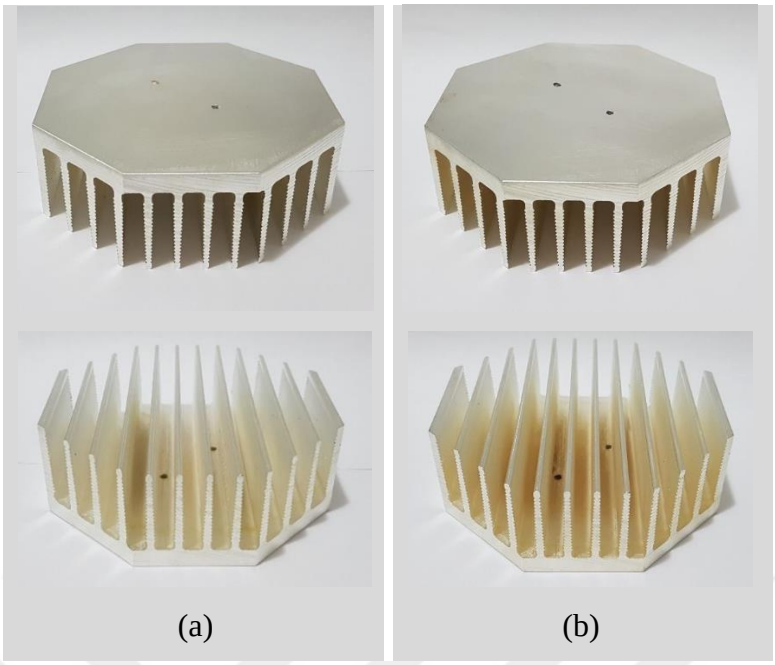
Tablo 4.9. AL6063 alaşımının özellikleri [100]

6063 AL Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)								
Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Cr	Zr	Ti
0,2-0,6	0,4-0,9	0,35	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
6063 AL Özellikleri								
Isıl İletkenlik (W/mK)						201-218		
Özgül Ağırlık (g/cm³)						2,69		
Ergime Sıcaklığı (°C)						615		

1 numaralı soğutucu türü olan "6063 Ø114" soğutuculara Tablo 4.7'de belirtiği üzere 5 farklı şekilde kaplama uygulanmıştır. 5 farklı "6063 Ø114" soğutucuya 5 farklı kaplama uygulandıktan sonraki görüntüleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Kaplama sonrası, X-RAY ile tahribatsız kaplama kalınlığı ölçüm cihazı vasıtasıyla kalınlık ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları EK-1'de verilmiştir.

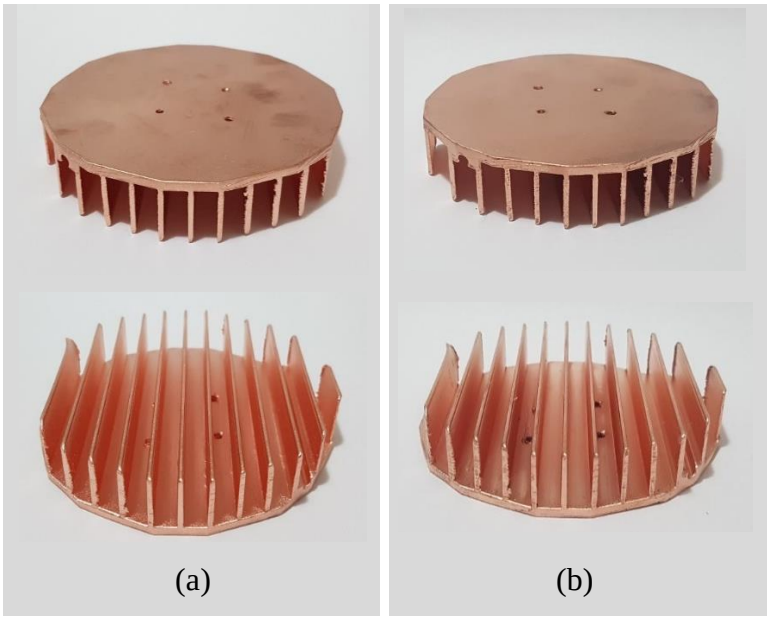


Şekil 4.11. Bakır kaplama uygulanmış "6063 Ø114" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama

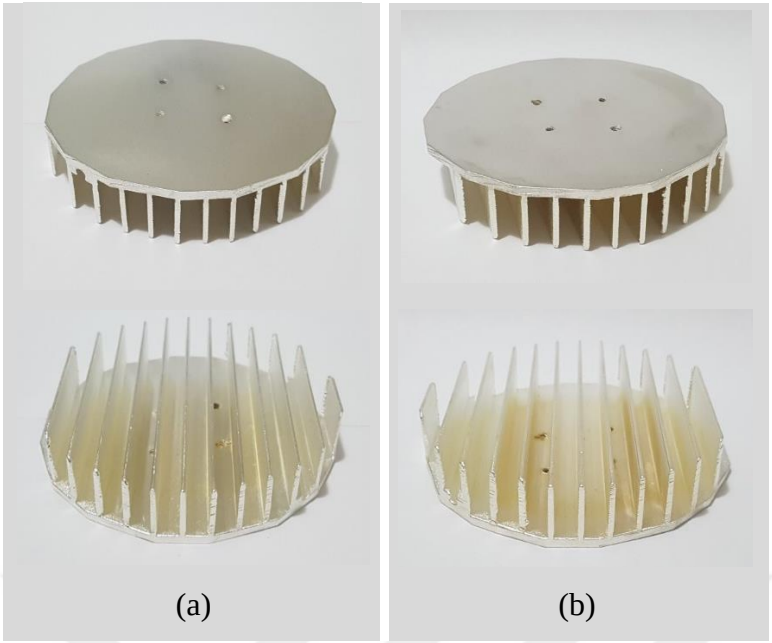


Şekil 4.12. Gümüş kaplama uygulanmış "6063 Ø114" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama

2 numaralı soğutucu türü olan "6063 Ø95" soğutuculara Tablo 4.7'de belirtiği üzere 4 farklı şekilde kaplama uygulanmıştır. 4 farklı "6063 Ø95" soğutucuya 4 farklı kaplama uygulandıktan sonraki görüntüleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Kaplama sonrası, X-RAY ile tahribatsız kaplama kalınlığı ölçüm cihazı vasıtasıyla kalınlık ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları EK-2'de verilmiştir.

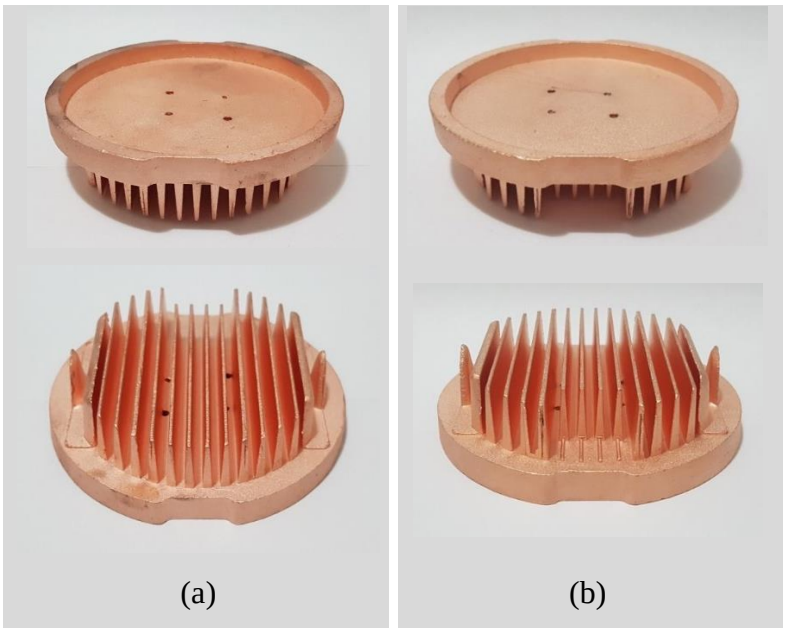


Şekil 4.13. Bakır kaplama uygulanmış "6063 Ø95" soğutucular (a) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama

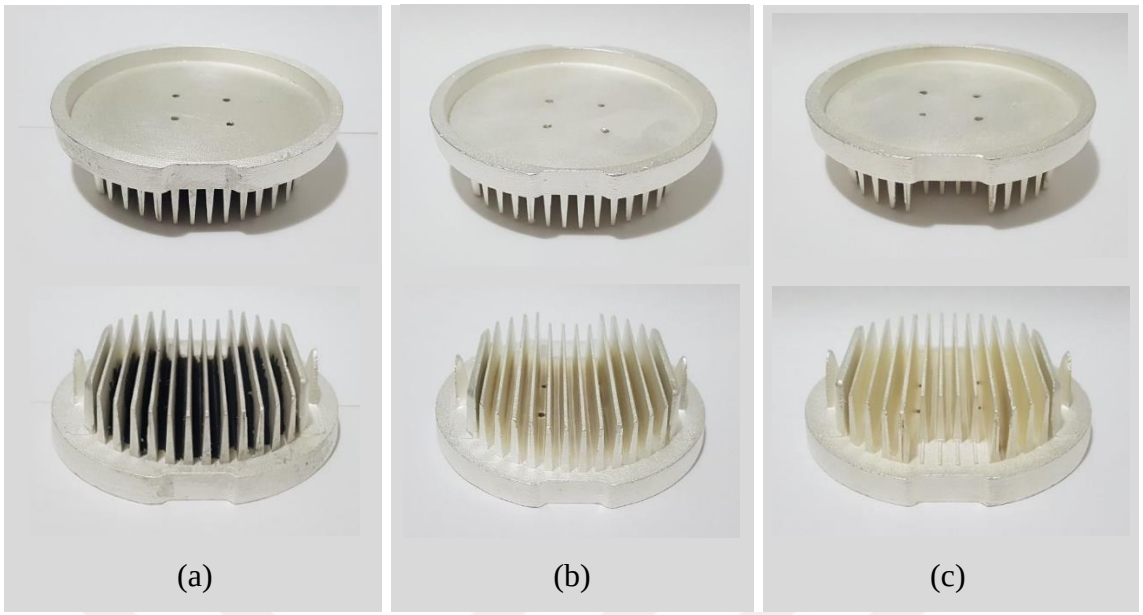


Şekil 4.14. Gümüş kaplama uygulanmış "6063 Ø95" soğutucular (a) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama

3 numaralı soğutucu türü olan "Etial150 Ø95" soğutuculara Tablo 4.7'de belirtiği üzere 5 farklı şekilde kaplama uygulanmıştır. 5 farklı "Etial150 Ø95" soğutucuya 5 farklı kaplama uygulandıktan sonraki görüntüleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Kaplama sonrası, X-RAY ile tahribatsız kaplama kalınlığı ölçüm cihazı vasıtasıyla kalınlık ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları EK-3'te verilmiştir.

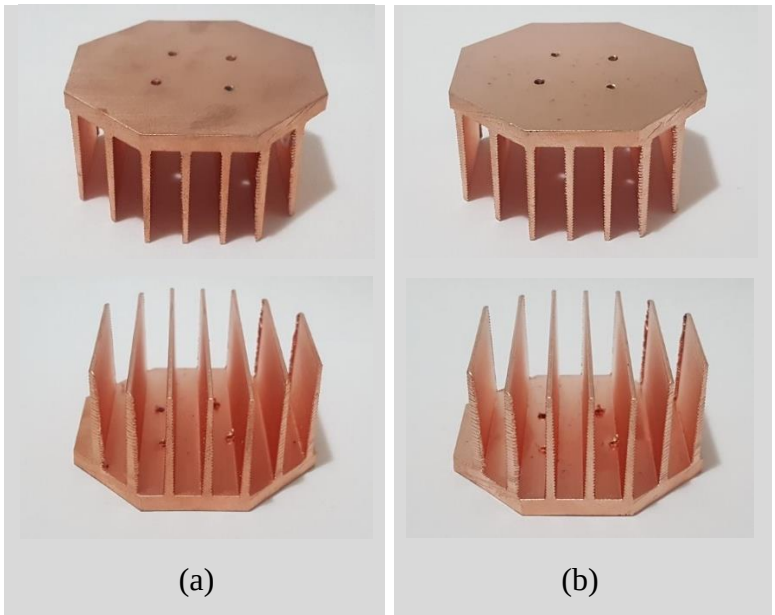


Şekil 4.15. Bakır kaplama uygulanmış "Etial150 Ø95" soğutucular (a) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama

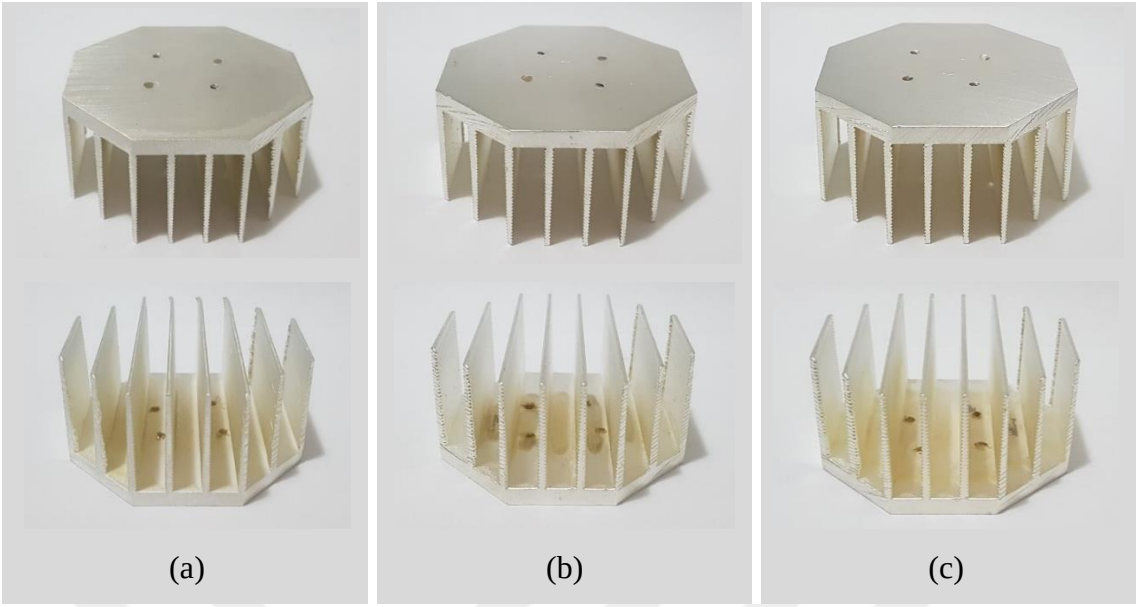


Şekil 4.16. Gümüş kaplama uygulanmış "Etial150 Ø95" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama

4 numaralı soğutucu türü olan "6063 Ø70" soğutuculara Tablo 4.7'de belirtiği üzere 5 farklı şekilde kaplama uygulanmıştır. 5 farklı "6063 Ø70" soğutucuya 5 farklı kaplama uygulandıktan sonraki görüntüleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Kaplama sonrası, X-RAY ile tahribatsız kaplama kalınlığı ölçüm cihazı vasıtasıyla kalınlık ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları EK-4'te verilmiştir.

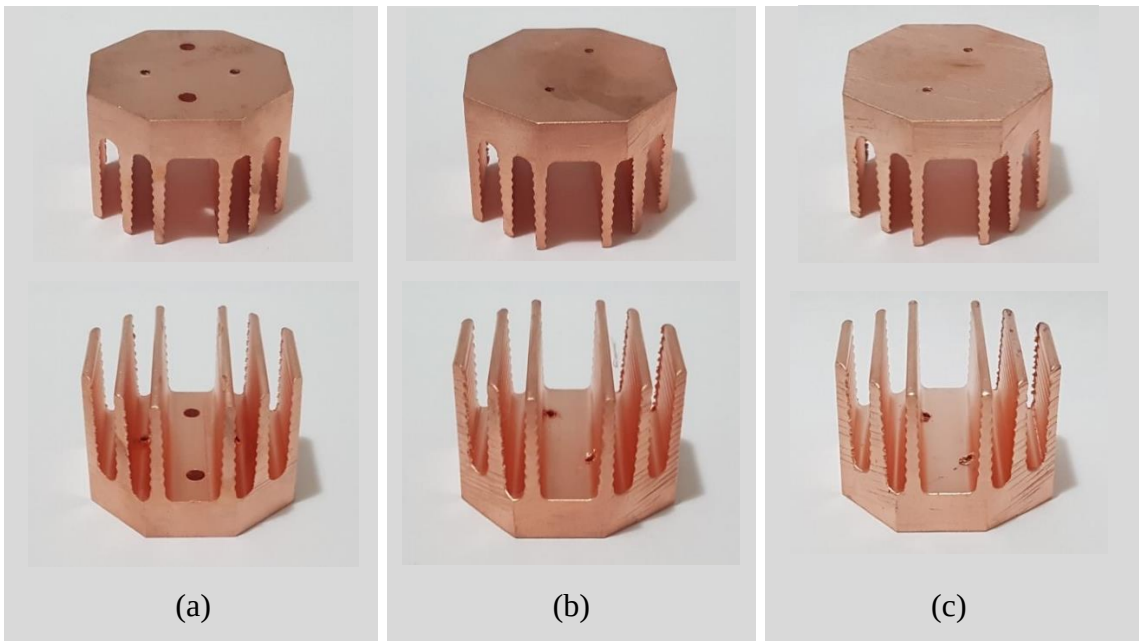


Şekil 4.17. Bakır kaplama uygulanmış "6063 Ø70" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama

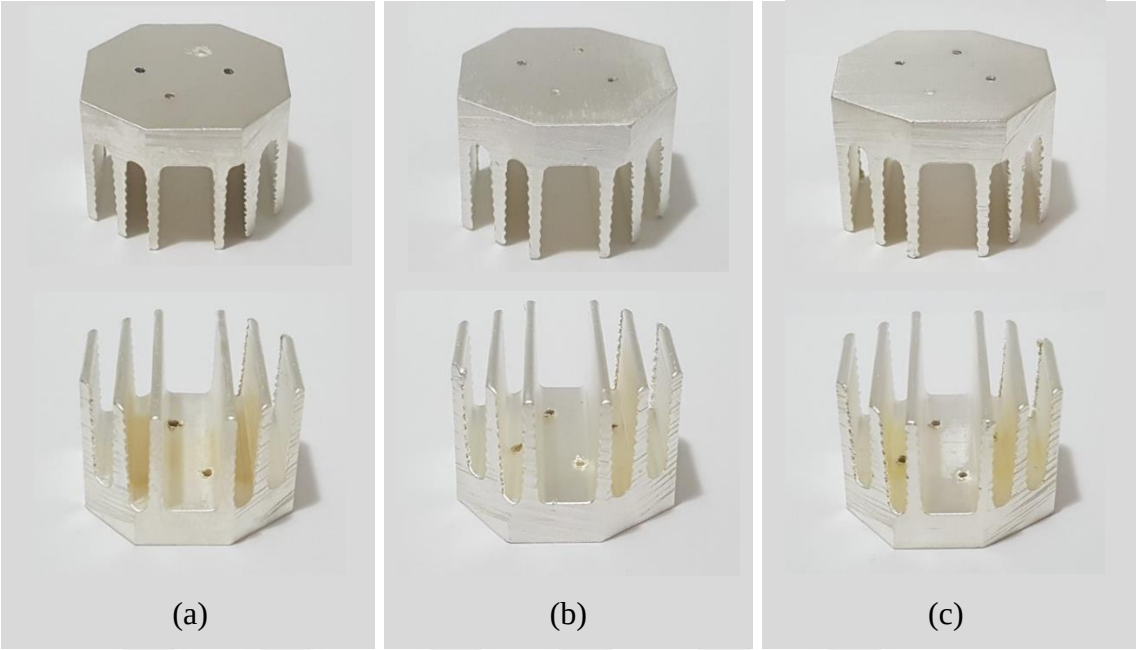


Şekil 4.18. Gümüş kaplama uygulanmış "6063 Ø70" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama

5 numaralı soğutucu türü olan "6063 Ø43" soğutuculara Tablo 4.7'de belirtiği üzere 6 farklı şekilde kaplama uygulanmıştır. 6 farklı "6063 Ø43" soğutucuya 6 farklı kaplama uygulandıktan sonraki görüntüleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Kaplama sonrası, X-RAY ile tahribatsız kaplama kalınlığı ölçüm cihazı vasıtasıyla kalınlık ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları EK-5'te verilmiştir.

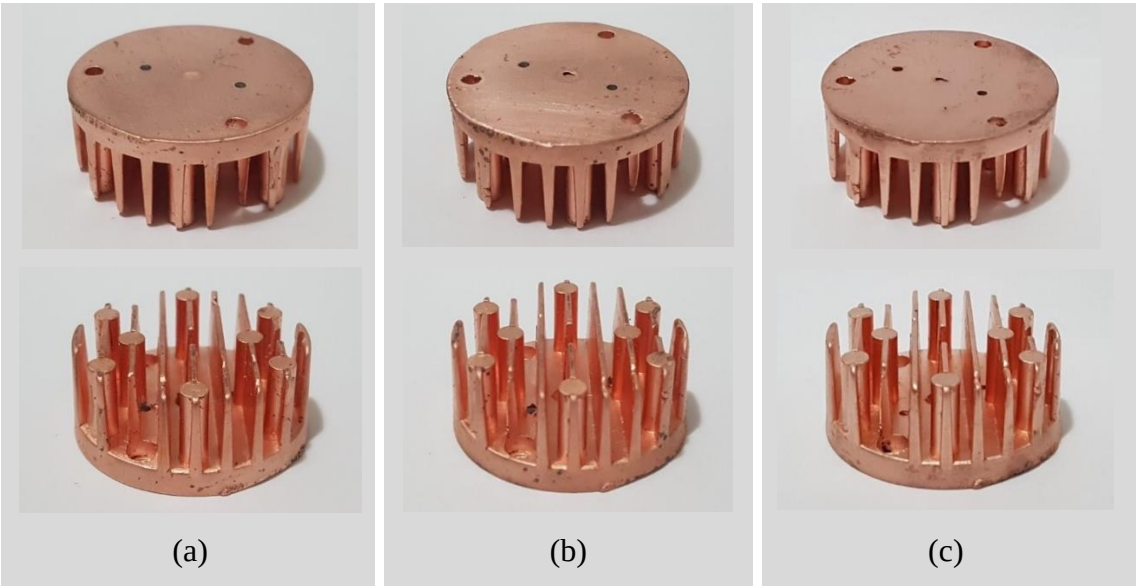


Şekil 4.19. Bakır kaplama uygulanmış "6063 Ø43" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama

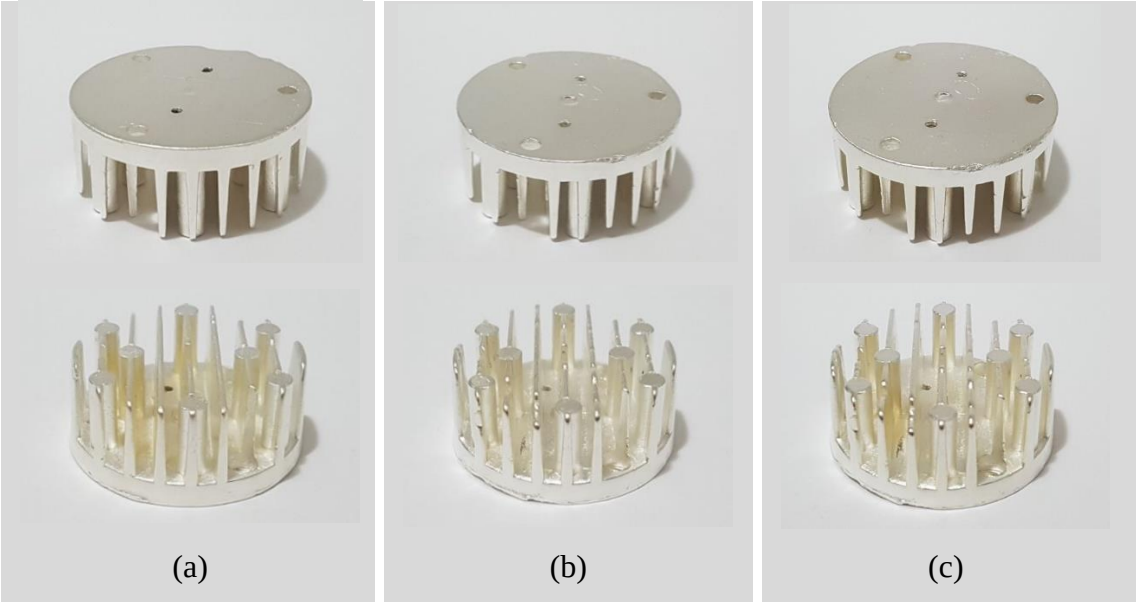


Şekil 4.20. Gümüş kaplama uygulanmış "6063 Ø43" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama

6 numaralı soğutucu türü olan "Etial150 Ø45" soğutuculara Tablo 4.7'de belirtiği üzere 6 farklı şekilde kaplama uygulanmıştır. 6 farklı "Etial150 Ø45" soğutucuya 6 farklı kaplama uygulandıktan sonraki görüntüleri Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Kaplama sonrası, X-RAY ile tahribatsız kaplama kalınlığı ölçüm cihazı vasıtasıyla kalınlık ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları EK-6'da verilmiştir.



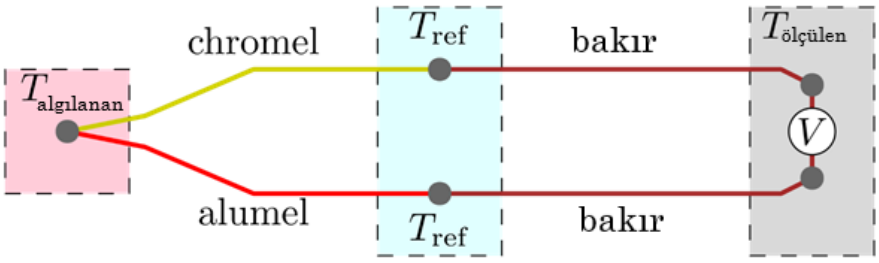
Şekil 4.21. Bakır kaplama uygulanmış "Etial150 Ø45" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta bakır kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta bakır kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta bakır kaplama



Şekil 4.22. Gümüş kaplama uygulanmış "Etial150 Ø45" soğutucular (a) 10 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (b) 25 µm kalınlıkta gümüş kaplama, (c) 40 µm kalınlıkta gümüş kaplama

4.2.4. Ölçüm için kullanılan ısı probu (Termokupl)

Isıl çift veya termokupl, bir çeşit sıcaklık sensörüdür. İki farklı iletken malzemeden meydana gelir. Bu iki malzemenin iki ucu birleştirilir (sıcak nokta) ve birleştirilen uçlarda sıcaklık oluşması ile diğer uçlarda gerilim (soğuk nokta) elde edilir. Kullanılan malzemenin türüne ve birleşim noktasında meydana gelen ısınma miktarına bağlı olarak bu gerilimin değeri değişir. Sıcak nokta sıcaklığı aynı değerde tutulurken soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklık değerleri okunur. Bundan dolayı değerlerde standart oluşturmak için soğuk nokta 0 °C'de tutulurken ölçülen sıcaklığın karşılığı olan mV değerleri elde edilir. Soğuk noktanın pratik olarak sürekli 0 °C'de tutulması mümkün olmadığından dolayı ölçü aletlerinde sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına göre potansiyel fark hesaplanır [126].

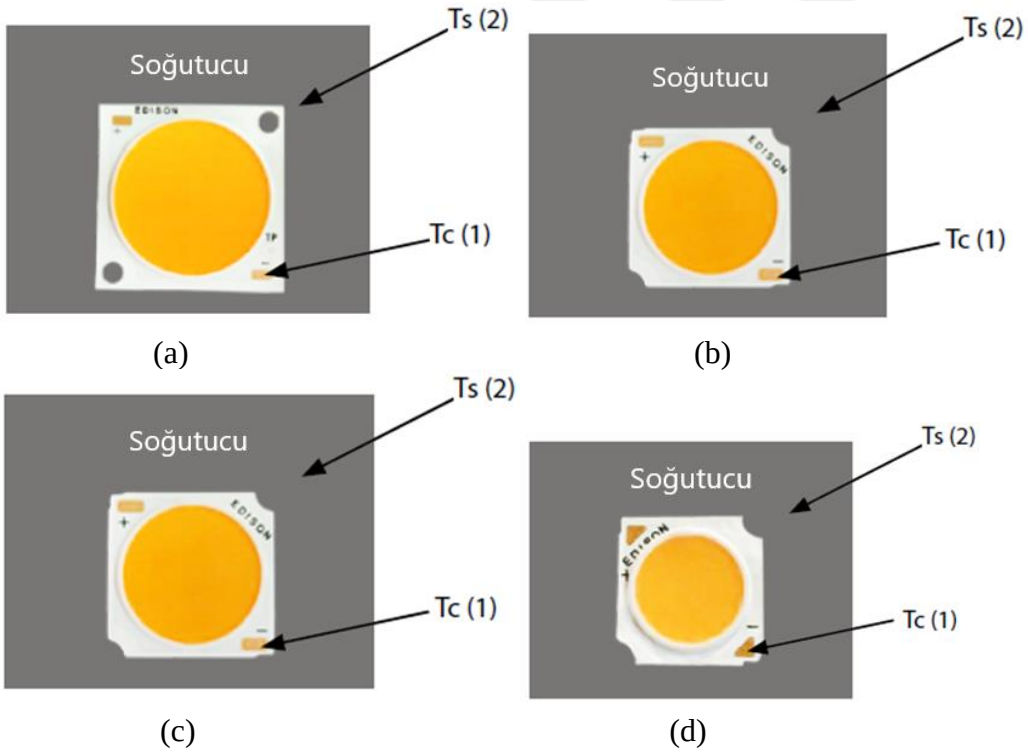


Şekil 4.23. Termokupl devre şeması [127]

Termokupllar kullanım yerlerine bağlı olarak değişik alaşımlardan yapılır. Bu alaşımlar seçilirken genel olarak sıcaklık değerleri ve algılama göz önünde bulundurulur.

Deneysel uygulamalarda K tipi termokupllar kullanılmıştır. K tipi termokupl; kromal (%90 nikel ve %10 krom) ile alümel (%95 nikel, %2 mangan, %2 alüminyum ve %1 silikon) alaşımlarından oluşmaktadır. En çok kullanılan termokupldur. Algılaması 1 Celcius için 41 µV/°C'dir. Maliyetleri düşüktür. Sıcaklık algılama aralığı −200 °C ile +1250 °C arasındadır [126].

Deneylerde 2 farklı ısı ölçüm probu ile ısı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Termokupllardan bir tanesi, LED ısıl standartlarının belirttiği üzere COB LED'lerin negatif bağlantı ucuna (Tc noktası) lehimlenmiştir. Diğer termokupl ise LED soğutucularına (Ts noktası) termal olarak yalıtkan bantlar ile yapıştırılmıştır.



Şekil 4.24. COB LED'ler ve soğutucuları üzerindeki sıcaklık ölçüm noktaları (a) 40W COB LED, (b) 30W COB LED, (c) 18W COB LED, (d) 10W COB LED [124]

Tc noktası için UNIT marka UT139C model multimetre cihazı, Ts noktası için ise PROSKIT marka 3PK-345 model multimetre cihazı kullanılmıştır. Cihazlar ısıl ölçüm kademelerinde, belirlenen sürelerde değerleri okunmuştur.



(a) **(b)**

Şekil 4.25. Sıcaklık ölçümleri için kullanılan cihazlar ve ısı probları (a) T_c noktasını ölçen alet, (b) T_S noktasını ölçen alet [128-129]

Tc noktası ölçümündeki sıcaklığın COB LED katalog sıcaklığını aşmaması gerekmektedir. Ayrıca COB'lerden soğutucuya ısının düzgün iletildiği, Tc sıcaklığı ve Ts sıcaklığı arasında 10 °C ve daha altı bir fark olması ile anlaşılmaktadır. Aksi durumda soğutucu işlevsel olmaktan çıkmaktadır.

4.2.5. Ölçüm için kullanılan Lüksmetre

Lüksmetre, aydınlık düzeyini (birim yüzeyi aydınlatan ışık akısını) ölçmek için kullanılan cihazdır. Ölçüm; ışığa maruz bırakılan fotodiyotun ürettiği akımın akım-gerilim dönüştürücü opamp ile gerilime dönüşmesi sonrası gerçekleşir.

Deneysel uygulamalar için LUTRON marka LX-1102 model lüksmetre kullanılmıştır. Lüksmetrenin 0 – 400.000 Lüx ölçüm aralığı vardır. Lüx biriminin yanı sıra foot-candle (lümen/adım^2) birimini de ölçmektedir. Fotodiyotan oluşan sensör ve renk düzeltme filtresine sahiptir.



Şekil 4.26. Aydınlık düzeyi ölçümleri için kullanılan lüksmetre [130]

LUTRON marka lüksmetrenin 5 aralık değeri vardır. Lüksmetrenin Tablo 4.10'da verilen değerlerine göre, aydınlık düzeyi hangi aralıktaysa cihaz üzerinde o seçim değeri ayarlanır.

Tablo 4.10. Kullanılan lüksmetrenin seçim aralıkları değerleri [130]

Aralık (Range)	Seçim
0 – 40 Lüx	0,01
36 – 400 Lüx	0,1
360 – 4000 Lüx	1
3600 – 40.000 Lüx	10
10.000 – 400.000 Lüx	100

4.2.6. Deney ortamı ve cihaz bağlantıları

LED sürücüden COB LED'in çektiği akımın kontrol edilmesi amacıyla bir Ampermetre kullanılmıştır. LED sürücü çoklu sabit akım veren bir özellikte olduğu için akım kontrolünün önemi artmaktadır.

COB LED kılıf sıcaklığının ölçümü için COB'nin "-" ucuna lehimlenen K tipi sıcaklık probu, dijital sıcaklık ölçüm cihazına bağlanmıştır.

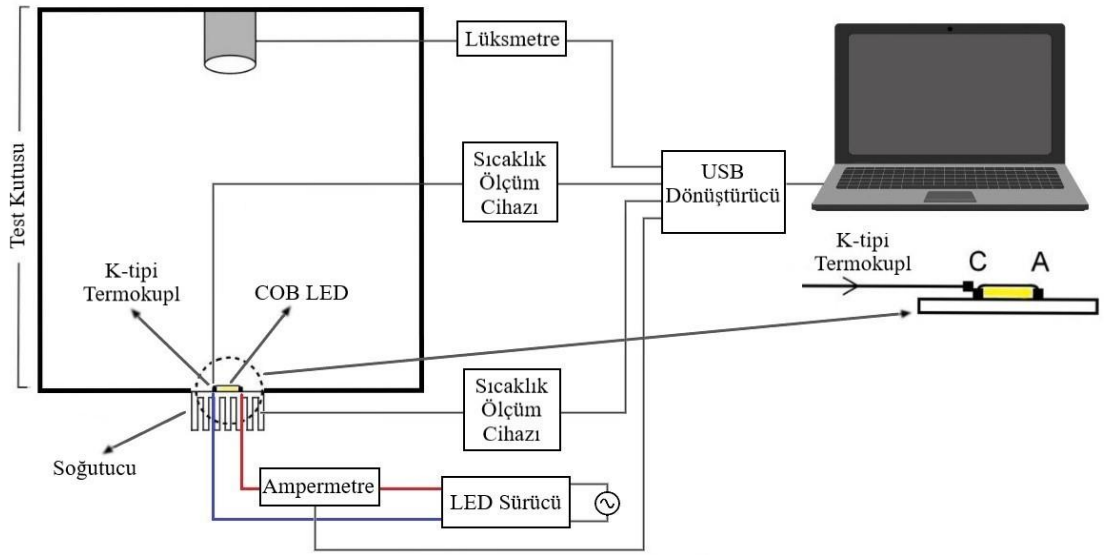
Dijital sıcaklık ölçüm cihazlarından diğerinin K tipi sıcaklık probu ise soğutucunun ortasına en yakın kanatçıklarından birine, ısıl yalıtkanlık özelliğine sahip termal bantlar ile LED Standartlarına uygun bir şekilde, hava ile teması olmayacak biçimde yapıştırılmıştır.

Lüksmetre ile ölçüm yapmak için ise özel hazırlanmış 50x50x50 cm büyüklüğünde bir kara kutu kullanılmıştır. Kara kutu sayesinde LED'in odağından çıkıp çevrede yansıma yaparak cihazın fotodiyotuna ulaşacak ışık dalgalarının önüne geçilir. Kara kutunun yayılan ışığı soğurması sayesinde Lüksmetre, LED'in odağındaki aydınlık şiddetini ölçer. Kara kutu ayrıca LED armatür ile fotodiyot arasındaki mesafenin sabit tutulmasını sağlar. Böylece bütün soğutucuların aydınlık şiddeti değerlerinin ölçümü aynı standartlarda yapılmış olur.

Kara kutunun iç yüzeyine Lambert yüzeyi adı verilir. Lambert yüzeyi, Lambert yansıma yasasına uygun yüzeylere verilen addır. Lambert yansıması, ideal bir mat veya dağınık yansıtıcı yüzeyi tanımlayan özelliktir. Lambert yüzeyleri, bütün görüş açılarında aynı ışık parlaklığını gösterir. Bu sayede ışık ölçümleri yapılırken cihazlar yüzey yansımalarından etkilenmeyerek doğru ölçüm yapabilirler [131].

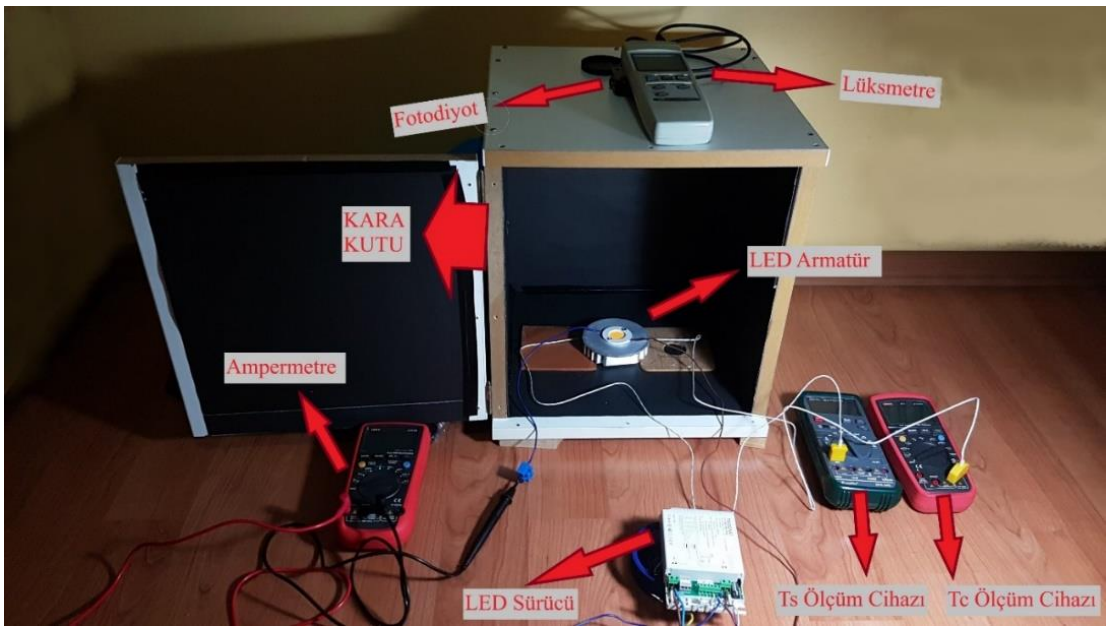
Cihazların probları, LED armatüre olması gerektiği gibi bağlandıktan sonra ölçüm verileri PC'ye USB dönüştürücü ile aktarılmıştır.

Şekil 4.27'de deneyin blok şeması detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Uygulama sistemi blok gösterimi

Şekil 4.28'de deneysel uygulamaların düzeneğinin görüntüsü verilmiştir. Görüntü üzerindeki elemanların işlevleri üzerine belirtilmiştir.



Şekil 4.28. Deney (ölçüm) düzeneği

4.3. LED Armatürlerin Isı Transfer Hesabı

Seçilen soğutucunun, kullanılacak COB LED'in ısısını uzaklaştırabilme yeteneğinin ısı transferi denklemleriyle kontrolü sağlanır.

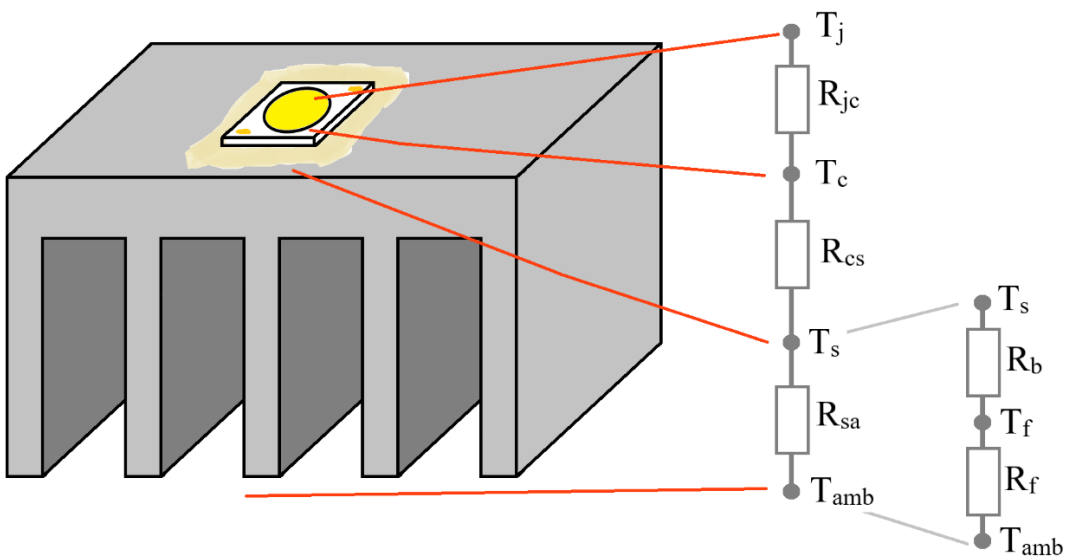
Soğutucu, LED paketinin ısısını yeterli ölçüde uzaklaştırırsa uzun ömürlü ve yüksek ışık akısına sahip bir aydınlatma sağlanır ancak LED paketinin ısısını yeterli ölçüde uzaklaştırmazsa LED'ler bozulur ve işlevini yitirir.

Kaynaklarda soğutucunun ısı tranferi 2 farklı şekilde hesaplanmaktadır:

- Termal direnç ile
- Taşınım ve ışınım ile

4.3.1. Termal direnç ile teorik hesap

Termal direnç hesabında; toplam termal direnç ile LED Jonksiyondan ortama kademe kademe termal dirençlerin toplamı eşitlenir. Eşitlikte tek bilinmeyen termal direnç olan soğutucunun termal direnci gereken max. termal direnç değeridir. Diğer bir yandan hazır bulunan soğutucuların termal dirençleri akışkanlar mekaniği formülleri ile hesaplanır. Hesaplanan soğutucu termal direnci, LED sıcaklığını iletmek için soğutucunun sahip olması gereken max termal direncin altında bir değer olmalı.



Şekil 4.29. LED jonksiyondan ortama kadar olan termal direnç değerleri

Şekil 4.29'da görüldüğü gibi termal dirençlerin bulunduğu 3 farklı bölüm vardır. Soğutucu, akışkanlar mekaniğinde iki parça termal direnç olarak hesaplanır.

T_j değeri COB LED'lerin jonksiyon (bağlantı) sıcaklığıdır. LED'lerin çalışırkenki en sıcak bölgesidir. COB LED'lerin LED kısmının altında bulunan kılıfın sıcaklığı ise T_c'dir. Alüminyum MCPCB'den yapılmış olan kılıf ile jonksiyon arasındaki termal direnç R_{jc}'dir. Jonksiyon-kılıf termal direnç değeri COB LED'lerin kataloğunda verilmektedir.

COB LED'in kılıfının altında bulunan termal arayüz malzemesinin altında bulunan soğutucunun taban kısmının sıcaklığı T_s olarak kabul edilir. LED kılıfı ile soğutucu arasında kalan termal arayüz malzemesinin (termal macun) termal direnci ise R_{cs}'dir. Kılıf-soğutucu termal direnci Denklem 4.4'deki gibi hesaplanarak bulunur.

T_{amb} ortam sıcaklığıdır. 25 °C olarak ayarlanır. Ortam ile soğutucunun tabanında sıcaklığın alındığı kısım arasındaki (bütün soğutucu) termal direnç R_{sa}'dır. Soğutucu-ortam termal direnci ise Denklem 4.2a'da verildiği halinde LED'in ihtiyacı olan en yüksek direnç değeri iken, Denklem 4.7 teorik olan soğutucu termal direnci (R_{bf}) hesabıdır.

R_{sa} değeri toplam termal direnç (R_{ja}) değerinden diğer 2 termal direnç değerinin çıkarılmasından elde edilir [132].

$$R_{ja} = R_{jc} + R_{cs} + R_{sa} \tag{4.2}$$

$$R_{ja} = \frac{T_j - T_{amb}}{Q} \tag{4.3}$$

$$R_{cs} = \frac{t_{int}}{L_s \times W_s \times k_{int}} \tag{4.4}$$

$$\frac{T_j - T_{amb}}{Q} = R_{jc} + \frac{t_{int}}{L_s \times W_s \times k_{int}} + R_{sa} \tag{4.2a}$$

$$R_{sa} = \frac{T_j - T_{amb}}{Q} - R_{jc} - \frac{t_{int}}{L_s \times W_s \times k_{int}} \tag{4.2b}$$

R_{bf} termal direnci hesaplanırken ikiye ayrılır. Denklem 4.5'de görüldüğü üzere R_b soğutucunun taban kısmının termal direncidir. Denklem 4.6'da görülen R_f değeri ise

soğutucunun kanatçıklarının termal direnç değeridir. Bu iki değerin toplamı Denklem 4.7'de gösterildiği gibi soğutucunun termal direncini (R_{bf}) verir [133-134].

$$R_b = \frac{t_b}{k \times A_b} \tag{4.5}$$

$$R_f = \frac{1}{h_f \times (L_1 + L_2 + \cdots + L_n) \times (t_f + 2 \times \eta_f \times H_f)} \tag{4.6}$$

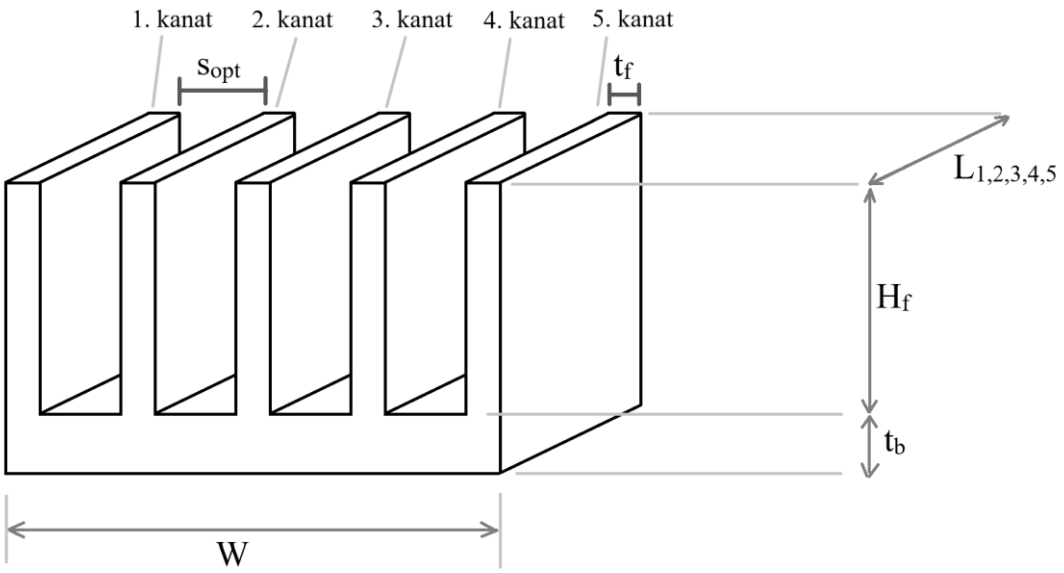
$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \tag{4.6a}$$

$$mL_c = \sqrt{\frac{2 \times h_f}{k \times t_f}} \times H_f \tag{4.6b}$$

$$R_{bf} = R_b + R_f \tag{4.7}$$

Denklem 4.7'de verilen soğutucunun termal direnci (R_{bf}), Denklem 4.2b'de sonucu çıkan LED'in ihtiyacı olan en yüksek soğutucu termal direnci (R_{sa}) değerinden küçük olmalıdır.

$$R_{sa} \geq R_{bf} \tag{4.8}$$



Şekil 4.30. Soğutucuların kesitleri ve kesitlerinin sembol ile gösterim

R_{ja} : Jonksiyon-Ortam Termal Direnci (°C/W)

R_{jc} : Jonksiyon-Kılıf Termal Direnci (°C/W)

R_{cs} : Kılıf-Soğutucu Termal Direnci (°C/W)

R_{sa} : Soğutucu-Ortam Termal Direnci (°C/W)

R_{bf} : Soğutucu Termal Direnci (°C/W)

R_b : Soğutucu Tabanı Termal Direnci (°C/W)

R_f : Soğutucu Kanatçığı Termal Direnci (°C/W)

T_j : Jonksiyon Sıcaklığı (°C)

T_c : LED Kılıfı Sıcaklığı (°C)

T_s : Soğutucu Sıcaklığı (°C)

T_{amb} : Ortam Sıcaklığı (°C)

Q : Isı Kaynağının (LED'in) Ürettiği Isı Gücü (W)

t_{int} : Termal Arayüz Malzemesinin Kalınlığı (m)

t_b : Soğutucu Taban Kalınlığı (m)

t_f : Soğutucu Kanatçığı Kalınlığı (m)

k_{int} : Termal Arayüz Malzemesinin Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m.K)

k : Soğutucu Malzemesinin Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m.K)

L_s : Isı Kaynağının (LED'in) Uzunluğu (m)

W_s : Isı Kaynağının (LED'in) Genişliği (m)

$L_{1,2,...,n}$: 1., 2., … , n. Kanatçık Uzunluğu (m)

H_f : Kanatçıkların Yüksekliği (m)

A_b : Soğutucunun Taban Alanı (m^2)

h_f : Kanatçığın Isıl Taşınım Katsayısı ($W/m^2.K$)

η_f : Kanatçık Verimliliği

Deneysel uygulamalarda kullanılan Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de özellikleri verilen 4 farklı COB LED'in R_{sa} (LED'in ihtiyacı olan en yüksek soğutucu termal direnci) değerlerinin hesabı Tablo 4.11'de gösterilmektedir.

Tablo 4.11. COB LED'lerin termal direnç değerleri hesap sonuçları

		Jonksiyon Kılıf Termal Direnci (°C/W)	COB LED Kılıf Genişliği, Uzunluğu (m)	LED'in Ürettiği Isı (W)	Termal Macun Kalınlığı (m)	Termal Macun Isıl İletkenliği (W/m.K)	Kılıf Soğutucu Termal Direnci (°C/W)	Jonksiyon Ortam Termal Direnci (°C/W)	Soğutucu Ortam Termal Direnci (°C/W)
		R_{jc}	L_s, W_s	Q	t_{int}	k_{int}	R_{cs}	R_{ja}	R_{sa}
COB NO	1	0,32	28	32	0,1	1,2	0,106293	1,875	1,448707
	2	0,4	19	24	0,1	1,2	0,23084	2,5	1,86916
	3	0,61	19	14,4	0,1	1,2	0,23084	4,166667	3,325826
	4	1	13,5	8	0,1	1,2	0,457247	7,5	6,042753

Jonksiyon-kılıf termal direnci, COB LED kılıf genişliği ve uzunluğu, termal macun ısıl iletkenliği değerleri kataloglardan alınmıştır. COB LED'lerin ürettiği ısı ise katalogda verilen "kullanılan gücün %80'i ısıya dönüşür" bilgisi ile hesaplanmıştır. Termal macunun kalınlığı ise standartlara uygun bir şekilde ayarlanmıştır.

Deneysel uygulamalarda kullanılan Tablo 4.6'da özellikleri verilen soğutucuların termal dirençlerinin denklemleri için kullanılan değerleri Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 4.12. Kullanılan soğutucuların termal direncinin hesabı için gerekli parametreler

Soğutucu No	Soğutucu Malzeme ve Boyutu	Kanatçık Yüksekliği (m)	Tırtıklılık	Taban Kalınlığı (m)	Taban Alanı (m^2)	Kanatçık Kalınlığı (m)	Soğutucunun Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m.K)
		H_f	-	t_b	A_b	t_f	k
1	6063 Ø114	3,2	2	0,7	107,6635	0,2	209
2	6063 Ø95	1,7	1,3	0,3	70,8821	0,15	209
3	Etial150 Ø95	1,8	1	0,3	70,8821	0,2	205
4	6063 Ø70	3	4	0,5	40,5929	0,2	209
5	6063 Ø43	2,1	2	0,85	14,6134	0,22	209
6	Etial150 Ø45	1,5	1	0,5	15,9043	0,2	205

Tablo 4.13. Kullanılan soğutucuların her bir kanatçığının uzunluğu

	Kanatçık Numaralarına Göre Uzunlukları															
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}	L_{15}	L_{16}
1	5,3	7,2	9,3	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	9,3	7,2	5,3				
2	2,3	5,8	7,4	8,2	8,8	9,4	9,5	9,3	8,6	8	7	5,2				
3	2	5,5	6,5	7,4	8,1	8,5	7,6	7,7	7,7	7,6	8,5	8,1	7,4	6,5	5,5	2
4	3	5	7	7	7	7	5	3								
5	2,3	3,5	4,2	4,2	3,5	2,3										
6	1,5	3	3,8	4,3	4,5	4,3	3,8	3	1,5							

Soğutucuların COB LED'lerin ısı transferini sağlayıp sağlamadığının hesaplaması için her birinin R_{bf} değeri Tablo 4.14'de Denklem 4.7'ye göre hesaplanmıştır.

Tablo 4.14. Kullanılan soğutucuların termal dirençlerinin hesap sonuçları

Soğutucu Numarası	Soğutucu Malzeme ve Boyutu	Soğutucu Tabanı Termal Direnci (°C/W)	-	Kanatçık Verimliliği	Bütün Kanatçıkların Uzunlukları Toplamı (m)	Soğutucu Kanatçığı Termal Direnci (°C/W)	Soğutucu Termal Direnci (°C/W)
		R_b	mL_c	η_f	L_{toplam}	R_f	R_{bf}
1	6063 Ø114	0,003111	0,559973	0,907111	112	0,472471	0,475581
2	6063 Ø95	0,002025	0,223279	0,983707	89,5	1,552526	1,554552
3	Etial150 Ø95	0,002065	0,159021	0,991655	106,6	1,5552	1,557265
4	6063 Ø70	0,005894	1,049949	0,744595	44	0,786072	0,791966
5	6063 Ø43	0,027831	0,35038	0,960992	20	3,76854	3,796371
6	Etial150 Ø45	0,015336	0,132518	0,994187	29,7	6,612212	6,627548

Hesaplamalarda soğutucu tabanı termal direnci, her bir soğutucu için Tablo 4.12'de değerleri verilen soğutucu taban kalınlığı, soğutucunun taban alanı ve soğutucu malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı değerleri ile hesaplanmıştır. Soğutucu kanatçıklarının termal direnci ise kanatçığın ısıl taşınım katsayısı 16 $W/m^2.K$, soğutucu kanatçığı kalınlığı, kanatçık verimliliği, kanatçıkların yüksekliği ve soğutucu malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı değerleri ile Tablo 4.13'de verilen her bir soğutucunun her bir kanatçık uzunluğu değerleri tek tek ölçülerek toplamlarının değerleri sonucunda hesaplanmıştır. Kanatçıkların tırtıklı olması ve tırtıkların derinliği kanatçık yüksekliği değerini arttırmaktadır, hesaplamalarda tırtıklılık göz önünde bulundurulmuştur. Kanatçığın ısıl taşınım katsayısı hava ile temasta olduğu için 25 $W/m^2.K$ olarak belirlenmiştir. İki termal direnci toplamı R_{bf} olarak hesaplanmıştır.

Deneysel uygulamalarda kullanılan COB – soğutucu eşleşmeleri ve bu eşleşmelerde LED sıcaklığının transfer edilip edilmeyeceği Tablo 4.11 ve Tablo 4.14'deki bilgiler ışığında Tablo 4.15'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. COB – soğutucu eşleşmelerinin ısı transfer yetenekleri değerlendirilmesi

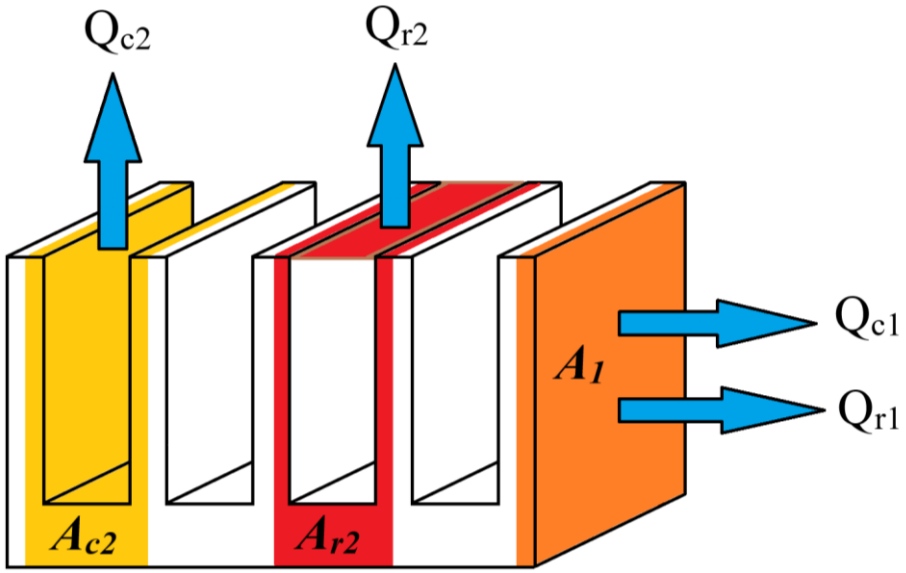
Rsa≥Rbf	**40W COB LED**	**30W COB LED**	**18W COB LED**	**10W COB LED**
6063 Ø114 soğutucu	1,448707≥0,475581 Kullanılması uygun	-	-	-
6063 Ø95 soğutucu	1,448707<1,554552 Kullanılması uygun değil	1,86916≥1,554552 Kullanılması uygun	3,325826≥1,554552 Kullanılması uygun	-
Etial150 Ø95 soğutucu	1,448707<1,557265 Kullanılması uygun değil	1,86916≥1,557265 Kullanılması uygun	3,325826≥1,557265 Kullanılması uygun	-
6063 Ø70 soğutucu	-	1,86916≥0,791966 Kullanılması uygun	3,325826≥0,791966 Kullanılması uygun	-
6063 Ø43 soğutucu	-	-	-	6,042753≥3,796371 Kullanılması uygun
Etial150 Ø45 soğutucu	-	-	-	6,042753<6,627548 Kullanılması uygun değil

Tablo 4.15'de görüldüğü gibi COB LED için gerekliği olan max. termal direncin üzerinde olan eşleşmelerde LED standartların üzerinde ısınır ve sonucunda bozulmaya uğrar. Deneysel uygulamalarda teorik hesabın doğruluğu test edilecektir.

4.3.2. Taşınım ve ışınım tekniğine göre ısıl teorik hesap

Isı kaynağı (COB LED) ürettiği ısının ortama yayılması sayesinde belirli bir sıcaklığı korumaktadır. Soğutucuların amacı ise bu sıcaklığı en düşük seviyede tutabilmek için ısı kaynağının ısısını kendi içerisine iyi iletmenin yanı sıra bu ısıyı ortama iyi bir şekilde taşıması (konveksiyon) ve yayması (radyasyon) olarak tanımlanır.

COB LED'ler için soğutucu seçimi yaparken bu sefer ısının taşınım ve yayılımı hesapları kullanılacaktır. Bu hesaplar Şekil 4.31'de verilen ısı taşınım ve yayılım bölgelerinde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.31. Bir soğutucu üzerinde gerçekleşen ısı transferleri ve transferlerin gerçekleştiği yüzey alanları

Q_{c1} ile Q_{c2} ısının taşınım (konveksiyon) ile ortama aktarılmasıdır. Isının büyük bir bölümü bu şekilde aktarılır. Q_{c1} soğutucunun her iki dış yüzeyinin ortama taşıdığı ısıdır. Q_{c2} ise her bir kanatçığın ve kanatçığın boşluğunun yaydığı ısıdır.

Q_{r1} ile Q_{r2} ısının yayılım (ışınım) (radyasyon) ile ortama aktarılmasıdır. Taşınıma göre daha az bir ısı aktarımı yapsa da hesaplamalara eklenir. Taşınımla aynı şekilde soğutucunun her iki dış yüzeyinden olan ışınım Q_{r1} ve her bir kanatçığın ısı ışımımı Q_{r2} olarak hesaplanır. Ancak kanatçıklar için tam radyasyon ısısı dağılımının yüzey alanı hesaplanması oldukça karmaşıktır ve bu tezde aranan basitleştirilmiş çözüm için uygun değildir. Makul derecede doğru sonuçlar üreten yaklaşık bir çözüm, görünür bir radyasyon yüzey alanı A_{r2} kullanılmaktadır. Görünen radyasyon yüzey alanı, Şekil 4.31'de gösterilen A_{c2} alanını çevreleyen soğutucunun kanatçık boşluğunu örten hayali bir alandır.

Soğutucunun dış yüzeylerinin ısı taşınımı hesabı Denklem 4.9'de verilmiştir [135].

$$Q_{c1} = 2 \times h_1 \times A_1 \times \left(T_j - T_{amb}\right) \tag{4.9}$$

$$A_1 = H \times L_1 + 2 \times t_f \times H + L_1 \times t_f \tag{4.9a}$$

$$h_1 = 1{,}42 \times \left[\frac{(T_j - T_{amb})}{H}\right]^{1/4} \tag{4.9b}$$

Soğutucunun kanatçıklarının ısı taşınımı Denklem 4.10'de verilmiştir [135].

$$Q_{c2} = h_2 \times A_{2_{toplam}} \times \left(T_j - T_{amb}\right) \tag{4.10}$$

$$A_{2_{toplam}} = A_{2_1} + A_{2_2} + \cdots + A_{2_{n-1}} \tag{4.10a}$$

$$A_{2_{n-1}} = H_f \times L_{n-1} + H_f \times L_n + \left(L_{n-1} \times s_{opt} + (L_n - L_{n-1}) \times s_{opt}\right) + 2 \times t_f \times H + 2 \times s_{opt} \times t_b + \frac{t_f}{2} \times L_{n-1} + \frac{t_f}{2} \times L_n \tag{4.10b}$$

$$h_2 = \frac{1{,}31 \times k_{hava}}{s_{opt}} \tag{4.10c}$$

Soğutucunun dış yüzeylerinin ısı ışıması Denklem 4.11'de verilmiştir [136].

$$Q_{r1} = 2 \times \varepsilon \times \sigma \times A_1 \times \left(T_j^4 - T_{amb}^4\right) \tag{4.11}$$

Soğutucunun kanatçıklarının ısı ışıması Denklem 4.12'de verilmiştir [136].

$$Q_{r2} = \varepsilon \times \sigma \times A_{r2_{toplam}} \times \left(T_j^4 - T_{amb}^4\right) \tag{4.12}$$

$$A_{r2_{toplam}} = A_{r2_1} + A_{r2_2} + \cdots + A_{r2_{n-1}} \tag{4.12a}$$

$$A_{r2_{n-1}} = \left(L_{n-1} \times s_{opt} + (L_n - L_{n-1}) \times s_{opt}\right) + 2 \times t_f \times H + 2 \times s_{opt} \times t_b + \frac{t_f}{2} \times L_{n-1} + \frac{t_f}{2} \times L_n \text{ş} \tag{4.12b}$$

Soğutucunun ısı kaynağı ile temasta olduğu taban yüzeyinden ısı taşınımı Denklem 4.13'te verilmiştir [135-136].

$$Q_{c3} = h_3 \times A_3 \times (T_s - T_{amb}) \tag{4.13}$$

$$A_3 = A_b - (L_S \times W_S) \tag{4.13a}$$

$$h_3 = \overline{Nu_L} \times \frac{k_{hava}}{L_{max}} \tag{4.13b}$$

$$\overline{Nu_L} = 0{,}59 \times Ra_L^{0{,}25} \tag{4.13c}$$

$$Ra_L = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_{amb}) \times L_{max}^3}{\nu \times \alpha} \tag{4.13d}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{avg}} = \frac{1}{T_s + T_{amb}/2} \quad (4.13e)$$

Soğutucunun ısı kaynağı ile temasta olduğu taban yüzeyinden ısı ışıması Denklem 4.14'de verilmiştir [137].

$$Q_{r3} = \varepsilon \times \sigma \times A_3 \times \left(T_j^4 - T_{amb}^4\right) \quad (4.14)$$

Enerjinin korunumu yasası, ısı kaynağı tarafından üretilen ısının (Q), sabit durum koşulları altında soğutucu tarafından dağıtılan ısıya eşit olması gerektiğini belirtir. Bu, Denklem 4.15 ile temsil edilir.

$$Q = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{r1} + Q_{r2} + Q_{c3} + Q_{r3} \quad (4.15)$$

Şekil 4.31'deki soğutucu üzerinde gösterilen değerler bu denklemler için de geçerlidir.

Q : Isı Kaynağı Tarafından Üretilen Isı (W)

Q_{c1} : Soğutucunun Dış Yüzeyinin Ortama Taşıdığı Isı (W)

Q_{c2} : Soğutucunun Her Bir Kanatçığının Ortama Taşıdığı Isı (W)

Q_{r1} : Soğutucunun Dış Yüzeyinden Isı Işıması (W)

Q_{r2} : Soğutucunun Her Bir Kanatçığından Isı Işıması (W)

Q_{c3} : Soğutucunun Taban Yüzeyinin Ortama Taşıdığı Isı (W)

Q_{r3} : Soğutucunun Taban Yüzeyinden Ortama Isı Işıması (W)

A_1 : Soğutucunun Dış Yüzey Isısının Taşındığı Yüzeylerin Alanı (m^2)

A_2 : Soğutucu Kanatçıklarının Isıl Taşınım Yaptığı Yüzey Alanı (m^2)

A_{r2} : Soğutucu Kanatçıklarının Isı Işıması Yaptığı Yüzey Alanı (m^2)

A_3 : Soğutucu Tabanındaki Isıyı Transfer Eden Yüzey Alanı (m^2)

A_b : Soğutucunun Taban Alanı (m^2)

h_1 : Dış Yüzeylerin Taşınım (Konveksiyon) Katsayısı ($W/m^2.K$)

h_2 : Kanatçıkların Taşınım (Konveksiyon) Katsayısı ($W/m^2.K$)

h_3 : Soğutucu Tabanı Taşınım (Konveksiyon) Katsayısı ($W/m^2.K$)

T_j : Isı Kaynağı (LED) Sıcaklığı (°C)

T_{amb} : Ortam Sıcaklığı (°C)

T_{avg} : Ortalama Sıcaklık (°C)

H : Soğutucunun Yüksekliği (m)

H_f : Soğutucunun Kanatlarının Yüksekliği (m)

$L_{1, 2, ..., n}$: Soğutucunun Kanatlarının Uzunluğu (m)

L_{max} : Soğutucuğun En Yüksek Kanatçık Uzunluğu (m)

t_f : Soğutucu Kanatçık Kalınlığı (m)

t_b : Soğutucu Taban Kalınlığı (m)

s_{opt} : Kanatçıklar Arası Mesafe (m)

L_s : Isı Kaynağının (LED'in) Uzunluğu (m)

W_s : Isı Kaynağının (LED'in) Genişliği (m)

k : Soğutucunun Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m.K)

k_{hava} : Havanın Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m.K) (Havanın T_{avg} sıcaklığındaki değeri)

ε : Soğutucunun Yüzey Işınım (Emisyon) Katsayısı

σ : Stefan-Boltzman Sabiti = $5{,}67.10^{-8}$ $W/m^2.K^4$

Nu_L : Nusselt Sayısı

Ra_L : Rayleigh Sayısı

g : Yerçekimi İvmesi (m/s^2)

β : Genleşme Katsayısı (K^{-1})

ν : Havanın Kinetik Viskozitesi (m^2/s) (Havanın T_{avg} sıcaklığındaki değeri)

α : Havanın Isıl Yayılım (Işınım) Katsayısı (m^2/s) (Havanın T_{avg} sıcaklığındaki değeri

Deneysel uygulamalarda COB LED'ler için seçilen soğucuların uygunluğu teorik hesaplarda dağılan ısının, ısı kaynağı tarafından üretilen ısıdan büyük olması istenir.

Isı hesapları için kullanılan soğutucu değerleri Tablo 4.16 ve Tablo 4.13'de (kanat uzunluğu) verilmiştir.

Tablo 4.16. Kullanılan soğutucuların ısı transfer hesabı için gerekli parametreler

Soğutucu No	Soğutucu Malzeme ve Boyutu	Soğutucu Yüksekliği (m)	Kanatçık Yüksekliği (m)	Taban Kalınlığı (m)	Tırtıklı Kanatçık	Taban Yüzey Alanı (m^2)	Kanatçık Kalınlığı (m)	Kanatçık Arası Mesafe (m)	Kanatçık Sayısı
		H	H_f	t_b	-	A_b	t_f	s_{opt}	n
1	6063 Ø114	3,9	3,2	0,7	2,0	107,6635	0,2	0,75	12
2	6063 Ø95	2	1,7	0,3	2,0	70,8821	0,15	0,65	12
3	Etial150 Ø95	2,1	1,8	0,3	0,9	70,8821	0,2	0,3	16
4	6063 Ø70	3,5	3	0,5	4	40,5929	0,2	0,8	8
5	6063 Ø43	2,95	2,1	0,85	2	14,6134	0,22	0,5	6
6	Etial150 Ø45	2	1,5	0,5	1	15,9043	0,2	0,35	9

Soğutucuların Q_{c1} değeri hesaplanırken önce h_1 dikey yüzeyler için taşınım katsayısı hesaplanır. Dikey yüzeyler için taşınım katsayısı için LED jonksiyon sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve soğutucu yüksekliği değerleri kullanılır. A_1 değeri hesabı için; soğutucunun en dış kanatçığının dış yüzey alanı ile en dıştaki kanatçıkların kalınlıklarının yarısının yüzey alanı alanı tespit edilir. Böylece ısıl taşının alanlarının sayısal değeri belirlenir. Son olarak, LED jonsiyon ile ortam arasındaki sıcaklık farkı belirlenir. Hepsinin çarpımı dış yüzeyler için taşınım ısısı değerini verir. Tablo 4.17'de her soğutucu için taşınım ısısı değerleri hesaplanmıştır.

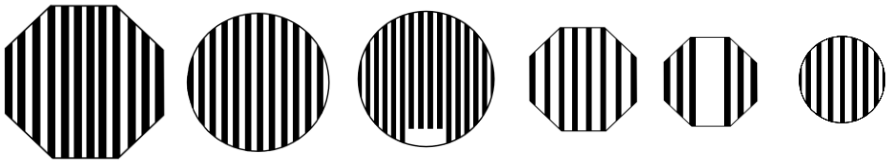
Tablo 4.17. Kullanılan soğutucuların dış yüzeyinin ortama taşıdığı ısı

Soğutucu Numaraları	Soğutucu Malzeme ve Boyutu	Dış Yüzeylerin Taşınım Katsayısı ($W/m^2.K$)	Soğutucunun Dış Yüzey Isısının Taşındığı Yüzeylerin Alanı (m^2)	Soğutucunun Dış Yüzeyinin Ortama Taşıdığı Isı (W)
		h_1	A_1	Q_{c1}
1	6063 Ø114	8,89324	23,29	2,485482672
2	6063 Ø95	10,50918	5,55	0,699280559
3	Etial150 Ø95	10,38177	5,44	0,677721837
4	6063 Ø70	9,137116	12,50	1,370567423
5	6063 Ø43	9,536097	8,59	0,98286643
6	Etial150 Ø45	10,50918	4,10	0,517051451

Soğutucuların Q_{c2} değeri hesaplanırken önce A_2 değeri hesaplanır. A_2 yüzey alanı değeri her bir kanatçık arası için tek tek hesaplanır çünkü kanatçıkların uzunlukları; soğutucunun sekizgen, onaltıgen ve dairesel şeklinden dolayı birbirinden farklıdır. Her bir soğutucunun n adet kanatçığı varsa n-1 adet ısıl taşınım yaptığı boşluk vardır. Bazı soğutuculardaki ise farklı boşluklar da mevcuttur ve onlar da hesaba katılmıştır. Soğutucuların kanatçıklarındaki ısıl taşınım yüzey alanın alındığı kısmın gösterimi Şekil 4.31'de turuncu renkte taralı olarak verilmiştir.

Tablo da her bir soğutunun tabloda verilen kanatçık uzunlukları ve tabloda verilen kalınlık,yükseklik ve genişlik değerlerine göre taşınım yüzey alanları hesaplanmıştır. Soğutucuların kanatçıklarının daha iyi anlaşılması için alttan görünümleri de Tablo 4.18'de mevcuttur. Soğutuculardaki aykırı boşlukların yüzey alanı hesabı ise "Aykırı Boşluk" sütununda belirtilmiştir.

Tablo 4.18. Kullanılan soğutucuların ısı taşınımı yapan kanatçıklarının her birinin yüzey alanı

		SOĞUTUCU NUMARALARI					
		1	2	3	4	5	6
							
SOĞUTUCU KANATÇIKLARININ ISIL TAŞINIM YAPTIĞI YÜZEY ALANLARI BOŞLUK NUMARALARI	A_{2_1}	88,5475	31,77	15,045	102,2	28,596	9,1375
	A_{2_2}	116,0475	51,15	23,46	152,2	37,26	13,22
	A_{2_3}	144,9225	60,27	27,013	177,2	43,402	15,5275
	A_{2_4}	159,36	65,59	30,005	177,2	37,26	16,77
	A_{2_5}	159,36	70,15	32,062	177,2	28,596	16,77
	A_{2_6}	159,36	72,81	28,77	152,2		15,5275
	A_{2_7}	159,36	72,43	29,631	102,2		13,22
	A_{2_8}	159,36	69,01	29,818			9,1375
	A_{2_9}	144,9225	64,07	29,631			
	$A_{2_{10}}$	116,0475	57,99	28,77			
	$A_{2_{11}}$	88,5457	47,35	32,062			
	$A_{2_{12}}$			30,005			
	$A_{2_{13}}$			27,013			
	$A_{2_{14}}$			23,46			
	$A_{2_{15}}$			15,045			
	$A_{2_{aykırı\ boşluk}}$		21,37	8,124			

Q_{c2} değeri hesaplanırken A_2 toplam değeri bulunduktan sonra kanatçıkların taşınım (konveksiyon) katsayısı (h_2) değeri bulunur. Kanatçıkların taşınım katsayısı, dikey taşınım katsayısından farklı bir basitleştirme kullanılmıştır. Hesabında, havanın ısıl iletkenliği ile kanatçıklar arası mesafe kullanılmıştır. Ardından A_2 toplam değeri, h_2 ve

LED jonksiyon-ortam sıcaklık farkının çarpımı alınır. Tablo 4.19'da her soğutucu değeri için hesaplanan Q_{c2} değerleri verilmiştir.

Tablo 4.19. Kullanılan soğutucuların her bir kanatçığının ortama taşıdığı ısı

Soğutucu Numaraları	Soğutucu Malzeme ve Boyutu	Kanatçıkların Taşınım Katsayısı ($W/m^2.K$)	Soğutucu Kanatçıklarının Isıl Taşınım Yaptığı Yüzey Alanı Toplamı (m^2)	Soğutucunun Her Bir Kanatçığının Ortama Taşıdığı Isı (W)
		h_2	$A_{2toplam}$	Q_{c2}
1	6063 Ø114	4,914246667	1495,8332	44,1053599
2	6063 Ø95	5,670284615	683,96	23,26948719
3	Etial150 Ø95	12,28561667	409,914	30,21627762
4	6063 Ø70	4,60710625	1040,4	28,75940006
5	6063 Ø43	7,37137	175,114	7,744980517
6	Etial150 Ø45	10,53052857	109,31	6,906552469

Soğutucunun dış yüzeyinden ısı ışıması (Q_{r1}) hesabı için Tablo 4.17'de verilen A_1 yüzey alanları aynı şekilde kullanılır. Işınım yapan yüzey alanı ile soğutucunun yüzey emisyon değeri, Stefan-Boltzman sabiti ve jonksiyon sıcaklığının 4 katı ile ortam sıcaklığının 4 katının farkı çarpılarak Q_{r1}, Tablo 4.20'de elde edilir.

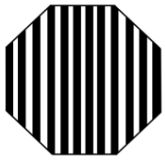
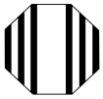
Soğutucunun yüzey emisyon değeri (ε) ekstürüzyon alüminyum alaşımları için 0,09 alınır. Stefan-Boltzman sabiti $5,67x10^{-8}$ $W/m^2.K^4$ dür.

Tablo 4.20. Kullanılan soğutucuların dış yüzeyinin ortama yaydığı ısı

Soğutucu Numaraları	Soğutucu Malzeme ve Boyutu	Soğutucunun Dış Yüzey Isı Işıması Yapan Yüzeylerin Alanı (m^2)	Soğutucunun Dış Yüzeyinden Isı Işıması (W)
		A_1	Q_{r1}
1	6063 Ø114	23,29	0,203267633
2	6063 Ø95	5,55	0,048394977
3	Etial150 Ø95	5,44	0,047478571
4	6063 Ø70	12,50	0,109095982
5	6063 Ø43	8,59	0,074962031
6	Etial150 Ø45	4,10	0,035783482

Soğutucunun her bir kanatçığından ısı ışıması (Q_{r2}) hesabında; kanatçıkların ışıma yaptığı yüzey alanı hesabı oldukça karmaşık olduğundan dolayı basitleştirilmiş ve gerçek değere yakın sonuç veren bir alan hesabı yapılmıştır. Her bir kanatçıklar arası boşluk için hesaplanan ışıma yapan yüzey alanları Tablo 4.21'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21. Kullanılan soğutucuların ısı ışıması yapan kanatçıklarının her birinin yüzey alanı

		SOĞUTUCU NUMARALARI					
		1	2	3	4	5	6
							
SOĞUTUCU KANATÇIKLARININ ISI IŞIMASI YAPTIĞI YÜZEY ALANLARI BOŞLUK NUMARALARI	A_{r2_1}	8,5475	4,23	2,895	6,2	4,236	2,3875
	A_{r2_2}	10,4475	6,27	4,02	8,2	4,92	3,02
	A_{r2_3}	12,4425	7,23	4,495	9,2	8,122	3,3775
	A_{r2_4}	13,44	7,79	4,895	9,2	4,92	3,57
	A_{r2_5}	13,44	8,27	5,17	9,2	4,236	3,57
	A_{r2_6}	13,44	8,55	4,47	8,2		3,3775
	A_{r2_7}	13,44	8,51	4,845	6,2		3,02
	A_{r2_8}	13,44	8,15	4,87			2,3875
	A_{r2_9}	12,4425	7,63	4,845			
	$A_{r2_{10}}$	10,4475	6,99	4,47			
	$A_{r2_{11}}$	8,5475	5,87	5,17			
	$A_{r2_{12}}$			4,895			
	$A_{r2_{13}}$			4,495			
	$A_{r2_{14}}$			4,02			
	$A_{r2_{15}}$			2,895			
	$A_{r2_{aykırı\ boşluk}}$		3,69	4,56			

Q_{r2}; A_{r2} değerleri toplamı, soğutucunun yüzey emisyon değeri, Stefan-Boltzman sabiti ve jonksiyon sıcaklığının 4 katı ile ortam sıcaklığının 4 katının farkı çarpımı ile Tablo 4.22'de hesaplanmıştır.

Tablo 4.22. Kullanılan soğutucuların kanatçıklarının ortama yaydığı ısı

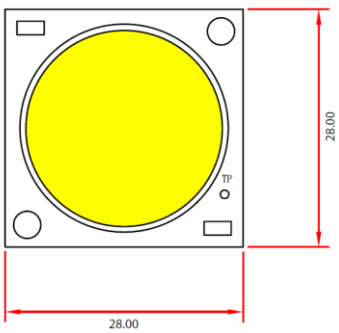
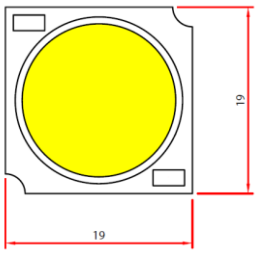
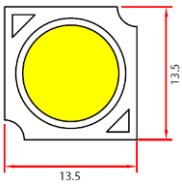
Soğutucu Numaraları	Soğutucu Malzeme ve Boyutu	Soğutucu Kanatçıklarının Isıl Işıma Yaptığı Yüzey Alanı Toplamı (m^2)	Soğutucunun Her Bir Kanatçığından Isıl Işıması (W)
		$A_{r2toplam}$	Q_{r2}
1	6063 Ø114	130,075	0,567626392
2	6063 Ø95	83,18	0,36298415
3	Etial150 Ø95	71,01	0,309876226
4	6063 Ø70	56,4	0,246120534
5	6063 Ø43	26,434	0,115353727
6	Etial150 Ø45	24,71	0,107830468

Son olarak ısı kaynağı olan LED'lerin genişlik ve uzunluk değerlerinin dikkate alındığı soğutucunun taban yüzeyinden transfer edilen ısı hesabı yapıldı. Bu ısı hesabı önceki hesaplarda olduğu gibi soğutucunun taban yüzeyinin ortama taşıdığı ısı (Q_{c3}) ile soğutucunun taban yüzeyinden ortama ısı ışıması (Q_{r3}) olarak iki şekilde hesaplanır.

Q_{c3} ve Q_{r3} transfer edilen ısıların transfer yüzey alanları eşit olarak alınır. Soğutucu tabanındaki ısıyı transfer eden yüzey alanı (A_3) her bir soğutucu ve soğutucu için seçilen LED'lere göre farklılık gösterir. Soğutunun taban yüzey alanından, COB LED'in yüzey alanı çıkartılarak A_3 değerleri bulunur. Tablo 4.23'de soğutucular ve COB LED'ler eşleştirip ısıyı transfer eden yüzey alanları hesaplanmıştır.

Tablo 4.23. Kullanılan soğutucuların ısı transferi yapan taban yüzey alanları

KULLANILAN COB LED'LER VE COB LED'LERİN UZUNLUK İLE GENİŞLİK DEĞERLERİ VE COB YÜZEY ALANI DEĞERLERİNİN SOĞUTUCU TABAN ALANINDAN EKSİLTİLMESİ (A_3) SONUÇLARI

		1 Nolu COB LED	2 ve 3 Nolu COB LED	4 Nolu COB LED
		40 W COB LED	30 W ve 18 W COB LED	10 W COB LED
				
		$L_S = W_S = 28$ mm	$L_S = W_S = 19$ mm	$L_S = W_S = 13,5$ mm
SOĞUTUCU NO	1	99,8235	-	-
	2	63,0421	67,2721	-
	3	63,0421	67,2721	-
	4	-	36,9829	-
	5	-	-	12,7909
	6	-	-	14,0818

Q_{c3} hesabında, soğutucu tabanı taşınım katsayısı (h_3) değeri Denklemdeki gibi kalabalık bir işlem ile hesaplanır. Hesaplama aşamalarında önce boyutsuz bir değişken olan Rayleigh sayısı, sonrasında yine boyutsuz bir değişken olan Nusselt sayısı hesaplanır.

Havanın fiziksel özellikleri, bulunduğu sıcaklığa göre değişkenlik gösterir. h_3 hesabı yapılırken havanın fiziksel özellikleri ortalama sıcaklığa (T_{avg}) göre belirlenir. T_{avg} hesabı Denklem 4.13e'de verilmiştir.

Rayleigh sayısı hesabında kullanılan; yerçekimi ivmesi 9,8 m/s^2, havanın kinetik viskozitesi (T_{avg} = 328,15 K) 18,225 m^2/s, havanın ısıl yayılım (ışınım) katsayısı (T_{avg} = 328,15 K) 0,25995 m^2/s ve genleşme katsayısı değeri ise 1/ T_{avg} K^{-1} olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde h_3 hesabında kullanılan havanın ısıl iletkenlik katsayısı değeri (T_{avg} = 328,15 K) 0,028135 W/m.K olarak alınmıştır.

Tablo 4.24'de soğutucuların taban yüzeyinin ortama taşıdığı ısı değerleri, Tablo 4.23'deki A_3 yüzey alanlarıyla üzerindeki COB LED'lere göre hesaplanmıştır.

Tablo 4.24. Kullanılan soğutucuların üzerlerinde kullanılan COB LED'lere göre tabandan ortama taşınan ısılar

		Rayleigh Sayısı	Nusselt Sayısı	Soğutucu Tabanı Taşınım Katsayısı	Soğutucuların Seçilen 3 Farklı Yüzey Alanına Sahip LED'lere Göre Taban Yüzeylerinin Ortama Taşıdığı Isı		
		Ra_L	Nu_L	h_3	Q_{c3}		
					1 Nolu COB LED	2 ve 3 Nolu COB LED	4 Nolu COB LED
Soğutucu No	1	0,000560354	0,090775268	0,022403177	0,013418	-	-
	2	0,000324279	0,079173821	0,023447952	0,008869	0,009464	-
	3	0,000324279	0,079173821	0,023447952	0,008869	0,009464	-
	4	0,00012973	0,062966917	0,025308203	-	0,005616	-
	5	0,0000280218	0,042926538	0,02875567	-	-	0,002207
	6	0,0000344655	0,04520623	0,028263939	-	-	0,002388

Q_{r3}, Tablo 4.23'deki A_3 değerleri, soğutucunun yüzey emisyon değeri, Stefan-Boltzman sabiti ve jonksiyon sıcaklığının 4 katı ile ortam sıcaklığının 4 katının farkı çarpımı ile Tablo 4.25'de hesaplanmıştır.

Tablo 4.25. Kullanılan soğutucuların üzerlerinde kullanılan COB LED'lere göre tabandan ortama yayılan ısılar

Soğutucunun Taban Yüzeyinden Ortama Isı Işıması (Q_{r3})		1 Nolu COB LED	2 ve 3 Nolu COB LED	4 Nolu COB LED
		40 W COB LED	30 W ve 18 W COB LED	10 W COB LED
1 Nolu Soğutucu	6063 Ø114	0,435614		
2 Nolu Soğutucu	6063 Ø95	0,275106	0,293565	
3 Nolu Soğutucu	Etial150 Ø95	0,275106	0,293565	
4 Nolu Soğutucu	6063 Ø70		0,161387	
5 Nolu Soğutucu	6063 Ø43			0,055817
6 Nolu Soğutucu	Etial150 Ø45			0,061451

Soğutucu üzerindeki bütün yüzeylerin kabaca ısı transfer hesabı yapıldığına göre bulunan transfer edilen ısı değerleri toplanır ve ısı kaynağı olan COB LED'in ısısını ortama transfer etme kalibiyeti gözlenir.

Öncelikle COB LED seçiminin dikkate alındığı Q_{c3} ve Q_{r3} değerlerinin dahil olmadığı; Q_{c1}, Q_{r1}, Q_{c2} ve Q_{r2} toplamı Tablo 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.26. Kullanılan soğutucuların tabanlarındaki ısı transferleri haricindeki toplam ısı transferleri

Soğutucu Numaraları	Soğutucu Malzeme ve Boyutu	Toplam Isı Transferi (Q_{c3} ve Q_{r3} hariç) ($Q_{c1} + Q_{r1} + Q_{c2} + Q_{r2}$)
1	6063 Ø114	47,36174
2	6063 Ø95	24,38015
3	Etial150 Ø95	31,25135
4	6063 Ø70	30,48518
5	6063 Ø43	8,918163
6	Etial150 Ø45	7,567218

Tablo 4.26'da hesaplanan Toplam Isı Tranferi değerleri üzerine, seçilen COB LED boyutuna göre değişen Q_{c3} ve Q_{r3} değerleri de ilave edilir ve COB LED'in açığa çıkardığı ısıyı transfer edip edemeyeceği Tablo 4.27'de saptanır.

Tablo 4.27. Kullanılan soğutucuların üzerinde kullanılan COB LED'lere göre hesaplanan toplam ısı transferi değerleri

	40W COB LED	30W COB LED	18W COB LED	10W COB LED
	Q=32 W	Q=24 W	Q=14,4 W	Q=8 W
6063 Ø114'ün Transfer Ettiği Isı	47,81077 W			
6063 Ø95'in Transfer Ettiği Isı	24,66412 W	24,68318 W	24,68318 W	
Etial150 Ø95'in Transfer Ettiği Isı	31,53533 W	31,55438 W	31,55438 W	
6063 Ø70'in Transfer Ettiği Isı		30,65219 W	30,65219 W	
6063 Ø43'ün Transfer Ettiği Isı				8,976187 W
Etial150 Ø45'in Transfer Ettiği Isı				7,631057 W

Isı kaynağı COB LED'lerin ürettiği ısı, soğutucunun transfer ettiği ısıdan büyük olmamalıdır. Aksi durumda LED'lerin ısısı, max. T_j sıcaklığında soğutucu tarafından yeterli ölçüde transfer edilemediği için LED sıcaklığı artar. LED sıcaklığı artmasıyla beraber bozulmalar görünür.

Tablodaki değerlere bakıldığında;

- 1 numaralı soğutucu (6063 Ø114) ile 1 numaralı COB LED (40W güç) eşleşmesi 32 W ≤ 47,81077 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygundur**.
- 2 numaralı soğutucu (6063 Ø95) ile 1 numaralı COB LED (40W güç) eşleşmesi 32 W > 24,66412 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygun değildir.**
- 3 numaralı soğutucu (Etial150 Ø95) ile 1 numaralı COB LED (40W güç) eşleşmesi 32 W > 31,53533 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygun değildir.**
- 2 numaralı soğutucu (6063 Ø95) ile 2 numaralı COB LED (30W güç) eşleşmesi 24 W ≤ 24,68318 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygundur**.

- 3 numaralı soğutucu (Etial150 Ø95) ile 2 numaralı COB LED (30W güç) eşleşmesi 24 W ≤ 31,55438 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygundur**.
- 4 numaralı soğutucu (6063 Ø70) ile 2 numaralı COB LED (30W güç) eşleşmesi 24 W ≤ 30,65219 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygundur**.
- 2 numaralı soğutucu (6063 Ø95) ile 3 numaralı COB LED (18W güç) eşleşmesi 14,4 W ≤ 24,68318 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygundur**.
- 3 numaralı soğutucu (Etial150 Ø95) ile 3 numaralı COB LED (18W güç) eşleşmesi 14,4 W ≤ 31,55438 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygundur**.
- 4 numaralı soğutucu (6063 Ø70) ile 3 numaralı COB LED (18W güç) eşleşmesi 14,4 W ≤ 30,65219 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygundur**.
- 5 numaralı soğutucu (6063 Ø43) ile 4 numaralı COB LED (10W güç) eşleşmesi 8 W ≤ 8,976187 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygundur**.
- 6 numaralı soğutucu (Etial150 Ø45) ile 4 numaralı COB LED (10W güç) eşleşmesi 8 W > 7,631057 W olduğuna göre bu eşleşmenin **kullanılması uygun değildir**.

5. TERMAL ANALİZ VE UYGULAMA SONUÇLARI

Bölüm 5'de tezin deneysel uygulamalarının yapılışı ve uygulamalardaki ölçüm değerleri verilmiştir. Ayrıca uygulamalar ANSYS simülasyon programında değerlendirilmiş ve soğutuculardaki sıcaklık yayılımı görselleştirilmiştir.

Deneysel uygulamalar için öncelikle soğutucuların kaplamasız hali ile yapılan LED armatür ölçümleri yapılmış daha sonra aynı soğutucuların kaplama yapıldıktan sonraki ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler; sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçümleridir. Sıcaklık ölçümü; COB LED kılıf sıcaklığı (T_c) ve soğutucu sıcaklığı (T_s) olarak iki farklı noktadan yapılmıştır. Ölçüm sonuçları BÖLÜM 6'da değerlendirilmiştir.

Deneysel uygulamaların COB LED – Soğutucu (Kaplamalı/Kaplamasız) eşleştirmeleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Seçilen COB LED – Soğutucu kombinasyonları

	Seçilen COB LED	Seçilen Soğutucu	Kaplama Durumu	Kaplama Malzemesi	Kaplama Kalınlığı
Deneysel Uygulama 1	40 W	6063 Ø114	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 2	40 W	6063 Ø95	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 3	40 W	Etial150 Ø95	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 4	30 W	6063 Ø95	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 5	30 W	Etial150 Ø95	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 6	30 W	6063 Ø70	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 7	18 W	6063 Ø95	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 8	18 W	Etial150 Ø95	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 9	18 W	6063 Ø70	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 10	10 W	6063 Ø43	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 11	10 W	Etial150 Ø45 (Mat)	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 12	10 W	Etial150 Ø45 (Parlak)	YOK	-	-
Deneysel Uygulama 13	40 W	6063 Ø114	VAR	Bakır	10
Deneysel Uygulama 14	40 W	6063 Ø114	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 15	40 W	6063 Ø114	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 16	40 W	6063 Ø114	VAR	Gümüş	10
Deneysel Uygulama 17	40 W	6063 Ø114	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 18	40 W	6063 Ø95	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 19	40 W	6063 Ø95	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 20	40 W	6063 Ø95	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 21	40 W	6063 Ø95	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 22	40 W	Etial150 Ø95	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 23	40 W	Etial150 Ø95	VAR	Bakır	40

Tablo 5.1. (devam) Seçilen COB LED – Soğutucu kombinasyonları

Deneysel Uygulama 24	40 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	10
Deneysel Uygulama 25	40 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 26	40 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 27	30 W	6063 Ø95	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 28	30 W	6063 Ø95	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 29	30 W	6063 Ø95	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 30	30 W	6063 Ø95	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 31	30 W	Etial150 Ø95	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 32	30 W	Etial150 Ø95	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 33	30 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	10
Deneysel Uygulama 34	30 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 35	30 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 36	30 W	6063 Ø70	VAR	Bakır	10
Deneysel Uygulama 37	30 W	6063 Ø70	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 38	30 W	6063 Ø70	VAR	Gümüş	10
Deneysel Uygulama 39	30 W	6063 Ø70	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 40	30 W	6063 Ø70	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 41	18 W	6063 Ø95	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 42	18 W	6063 Ø95	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 43	18 W	6063 Ø95	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 44	18 W	6063 Ø95	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 45	18 W	Etial150 Ø95	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 46	18 W	Etial150 Ø95	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 47	18 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	10
Deneysel Uygulama 48	18 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 49	18 W	Etial150 Ø95	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 50	18 W	6063 Ø70	VAR	Bakır	10
Deneysel Uygulama 51	18 W	6063 Ø70	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 52	18 W	6063 Ø70	VAR	Gümüş	10
Deneysel Uygulama 53	18 W	6063 Ø70	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 54	18 W	6063 Ø70	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 55	10 W	6063 Ø43	VAR	Bakır	10
Deneysel Uygulama 56	10 W	6063 Ø43	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 57	10 W	6063 Ø43	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 58	10 W	6063 Ø43	VAR	Gümüş	10
Deneysel Uygulama 59	10 W	6063 Ø43	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 60	10 W	6063 Ø43	VAR	Gümüş	40
Deneysel Uygulama 61	10 W	Etial150 Ø45	VAR	Bakır	10
Deneysel Uygulama 62	10 W	Etial150 Ø45	VAR	Bakır	25
Deneysel Uygulama 63	10 W	Etial150 Ø45	VAR	Bakır	40
Deneysel Uygulama 64	10 W	Etial150 Ø45	VAR	Gümüş	10
Deneysel Uygulama 65	10 W	Etial150 Ø45	VAR	Gümüş	25
Deneysel Uygulama 66	10 W	Etial150 Ø45	VAR	Gümüş	40

5.1. ANSYS Analizleri

ANSYS simülasyon yazılımı, mühendislik alanında kullanılmaktadır. Ürünler tasarlandıktan sonra ve daha prototopi üretilmemiş iken ANSYS programı kullanılır. Ürün tasarımının sanal olarak test edilmesini sağlar.

ANSYS programı; yapısal mekanik, akışkanlar mekaniği, akustik, termodinamik, piezoelektrik, elektromanyetizma ve birleşik görevlerden doğrusal ve doğrusal olmayan problemleri çözmek için kullanılır. 1, 2 ve 3 boyutlu görevler için çeşitli eleman tiplerine sahiptir.

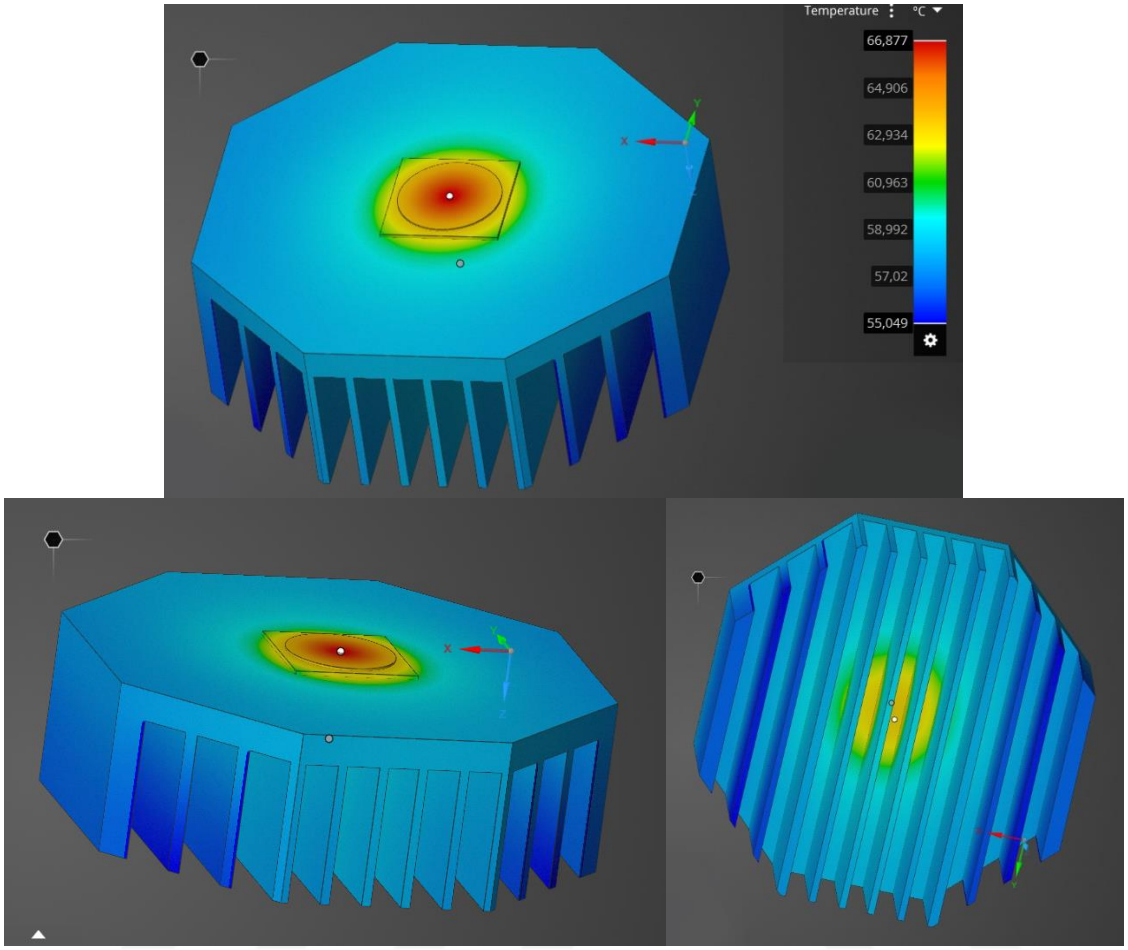
Deneysel uygulamalara geçmeden önce, soğutucu ve LED arasındaki teorik ısı transferi hesapları yapıldıktan sonra her bir LED-soğutucu kombinasyonu için ANSYS programında ısı iletimi simülasyonları yapılmıştır.

Simülasyonlar yapılırken; seçilen 6 farklı soğutucunun gerçek ölçülerine uygun 3 boyutlu çizimleri yapılmış üzerlerine seçilen COB LED'ler gerçek boyutlarında çizilmiştir. Soğutucaların malzemesi belirlenmiş ve ısıl iletkenlik katsayısı değeri programa girilmiştir. Ayrıca soğutucuların ısıl taşınım katsayıları da program girdilerine eklenmiştir. Son olarak, ortam sıcaklığı ve ortamın hava ile dolu olmasının yanı sıra COB LED'in ürettiği ısının "Watt" cinsinden değeri işlenmiştir.

Sonuç olarak; soğutucunun üzerindeki ısı iletiminin ve sıcaklığın değişiminin simülasyonu ortaya çıkmaktadır.

Simülasyonlarda 11 farklı LED-soğutucu kombinasyonu yapılmıştır.

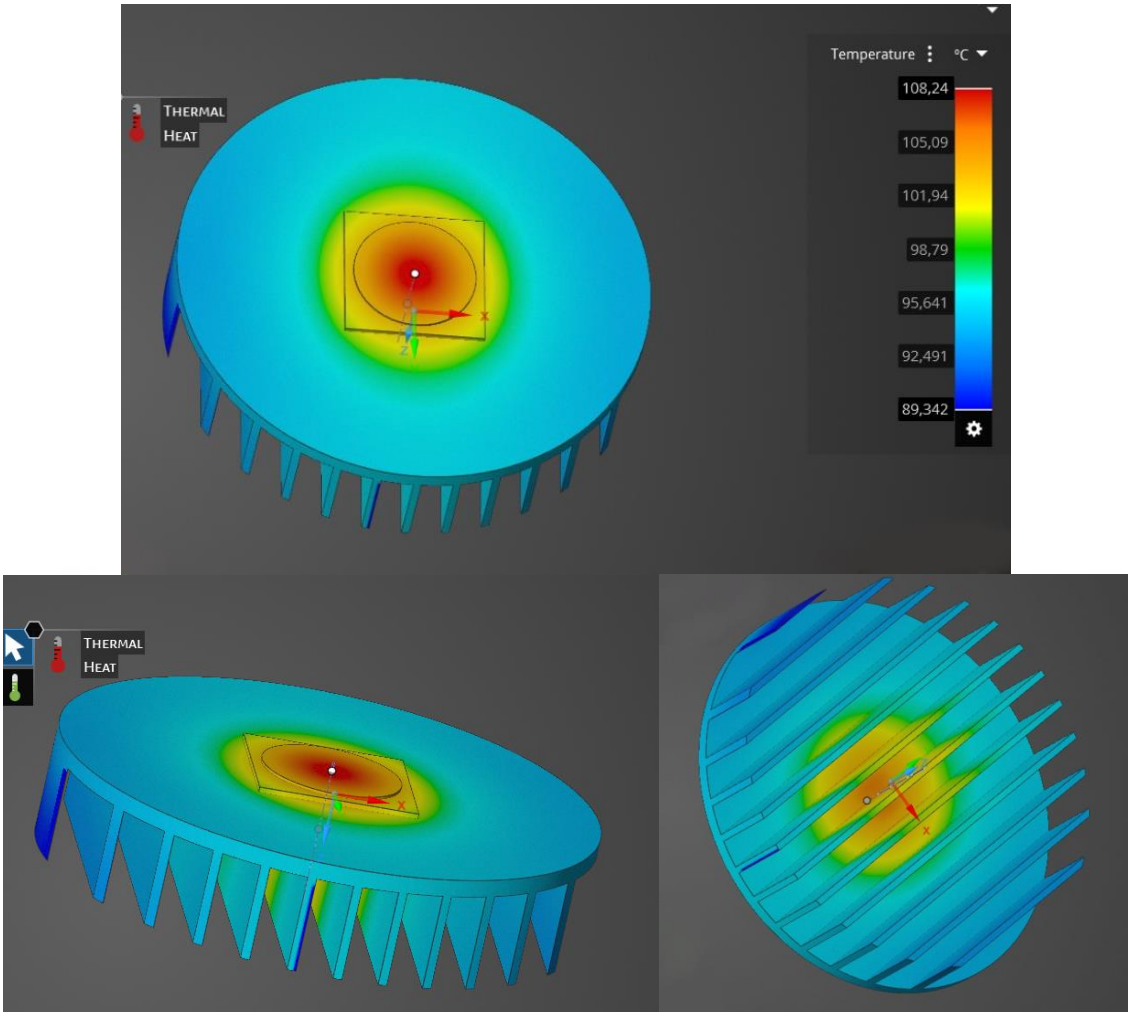
40 W COB LED ile 6063 Ø114 soğutucu (1 numaralı COB LED, 1 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. 40 W COB LED – 6063 Ø114 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.1'de verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 66,8 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 55 °C sıcaklığındadır. Arada 11 °C fark olması sıcaklığın iyi iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı soğutunun ortasında homojen bir şekilde dağılmıştır. Ortalama sıcaklık çizgisinin (yeşil bölge) COB LED'e oldukça yakın olması ısının ortama hızlı bir taşınımı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aşmadığı için 6063 Ø114 soğutucu, 40 W COB LED'e uygundur.

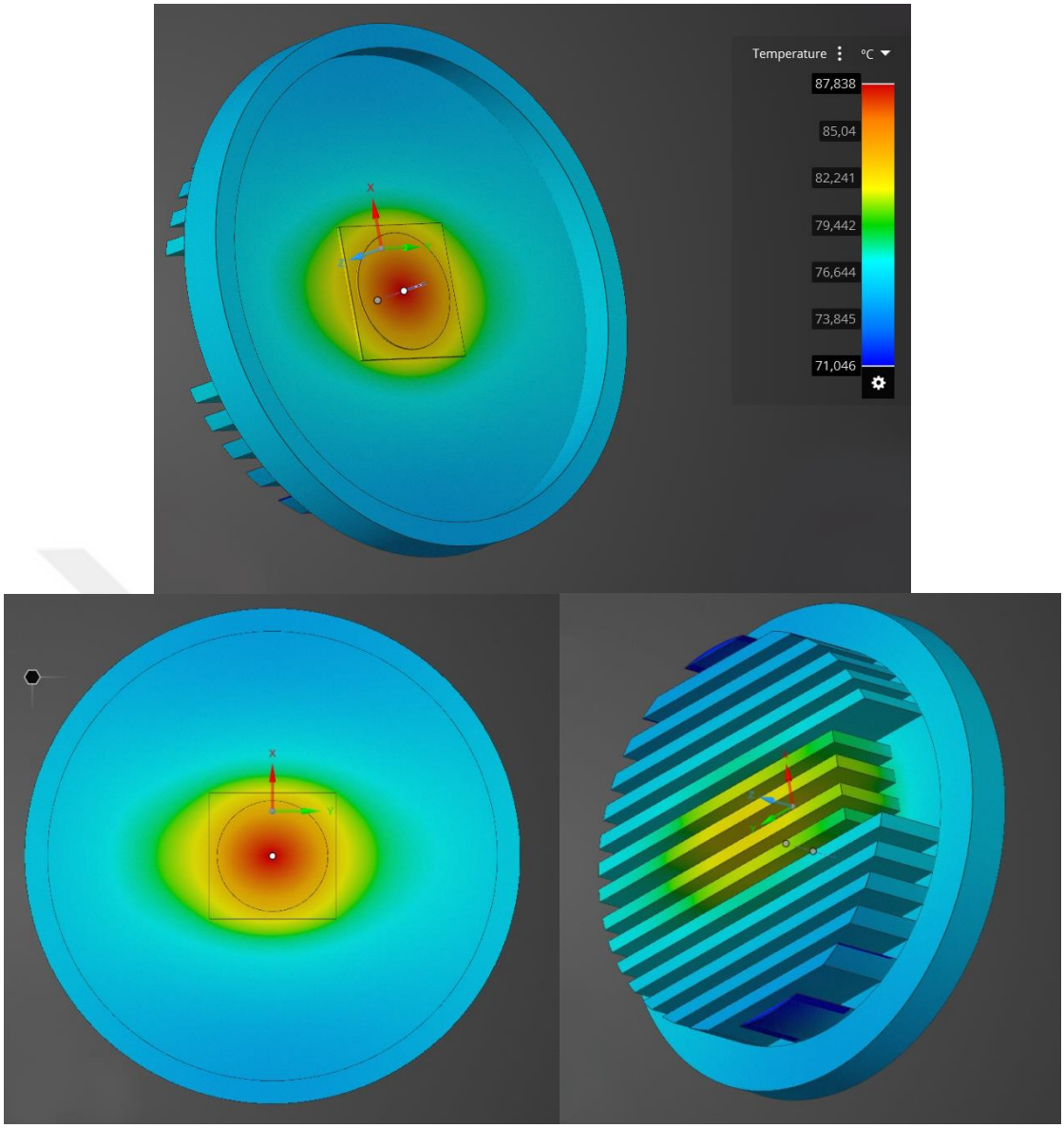
40 W COB LED ile 6063 Ø95 soğutucu (1 numaralı COB LED, 2 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. 40 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.2'de verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 108,2 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 89,3 °C sıcaklığındadır. Arada 19 °C fark olması sıcaklığın kötü bir şekilde iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında oldukça homojen bir şekilde dağılmıştır. Orta kanatçıkların ise sıcaklıkları kısa boylarından dolayı çok yüksek değerlere çıkmıştır, ortalama sıcaklığın epeyce üzerindedir. Bu durum bu bölgede ısıl taşınımın yeterli olmadığının göstergesidir. Ortalama sıcaklık çizgisinin COB LED'in dışında olması ısıl taşınımın çok iyi olmadığını göstermektedir. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aştığı için 6063 Ø95 soğutucu, 40 W COB LED'e uygun değildir.

40 W COB LED ile Etial150 Ø95 soğutucu (1 numaralı COB LED, 3 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.3'de verilmiştir.

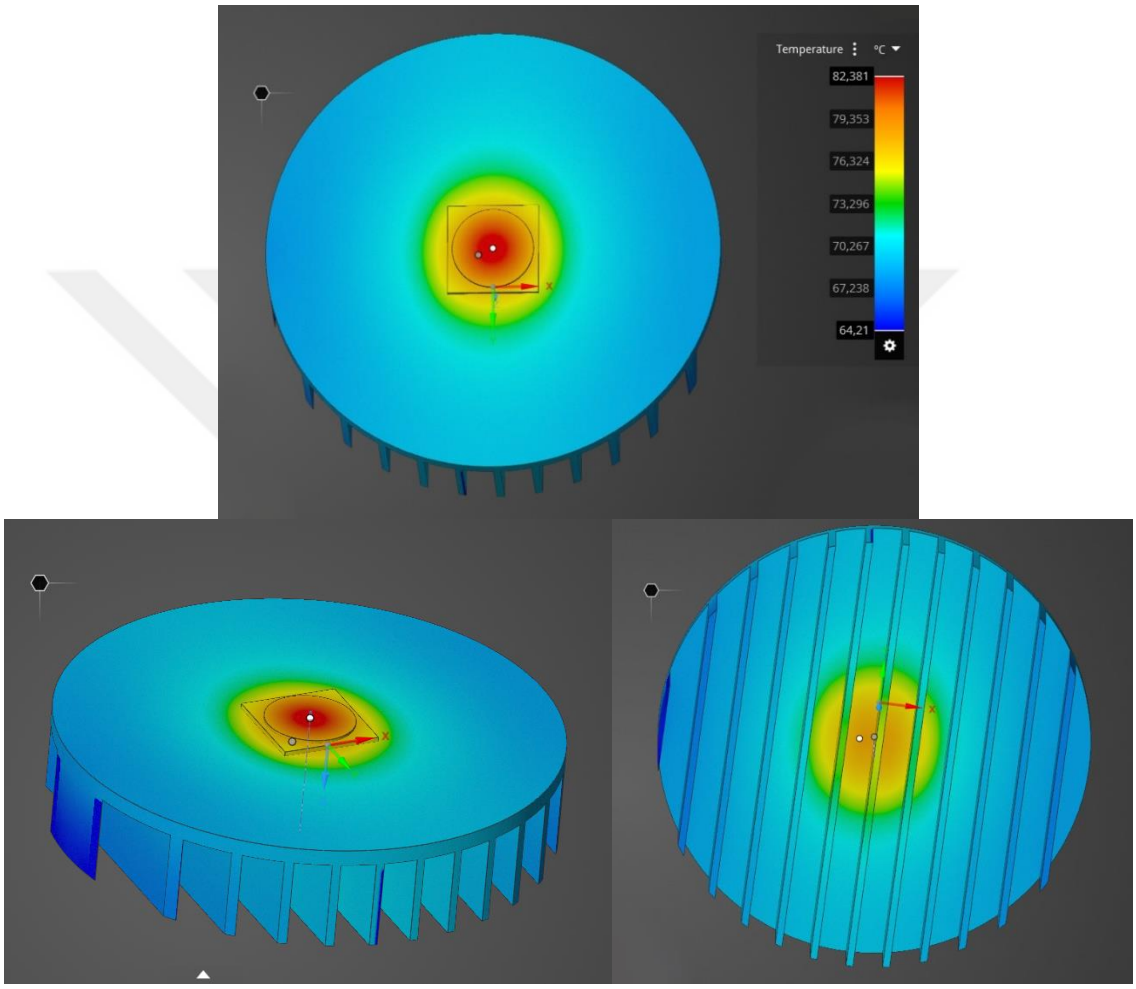


Şekil 5.3. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.3'de verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 87,8 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 71 °C sıcaklığındadır. Arada 17 °C fark olması sıcaklığın kötü iletildiğini göstermektedir. Bu kötü iletimin bir nedeni de soğutucunun malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısının değeri daha düşük olduğundan dolayıdır. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında heterojen bir şekilde dağılmıştır. Orta kanatçıkların bir kenarının bir taraftan kesik olması sıcaklığın eşit dağılmamasına neden olmaktadır. Ortalama sıcaklık çizgisi COB LED'e, özellikle kanatçıkların yönünde çok uzaktır, bu durum ısının taşınımının yetersizliğini göstermektedir. Ayrıca orta konumdaki kanatçıkların alt sıcaklığı 82 °C'lere kadar yükselmektedir. Bu da kanatçık boyunun bu

COB LED için kısa olduğunu kanıtıdır. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aştığı için Etial150 Ø95 soğutucu, 40 W COB LED'e uygun değildir.

30 W COB LED ile 6063 Ø95 soğutucu (2 numaralı COB LED, 2 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.4'de verilmiştir.

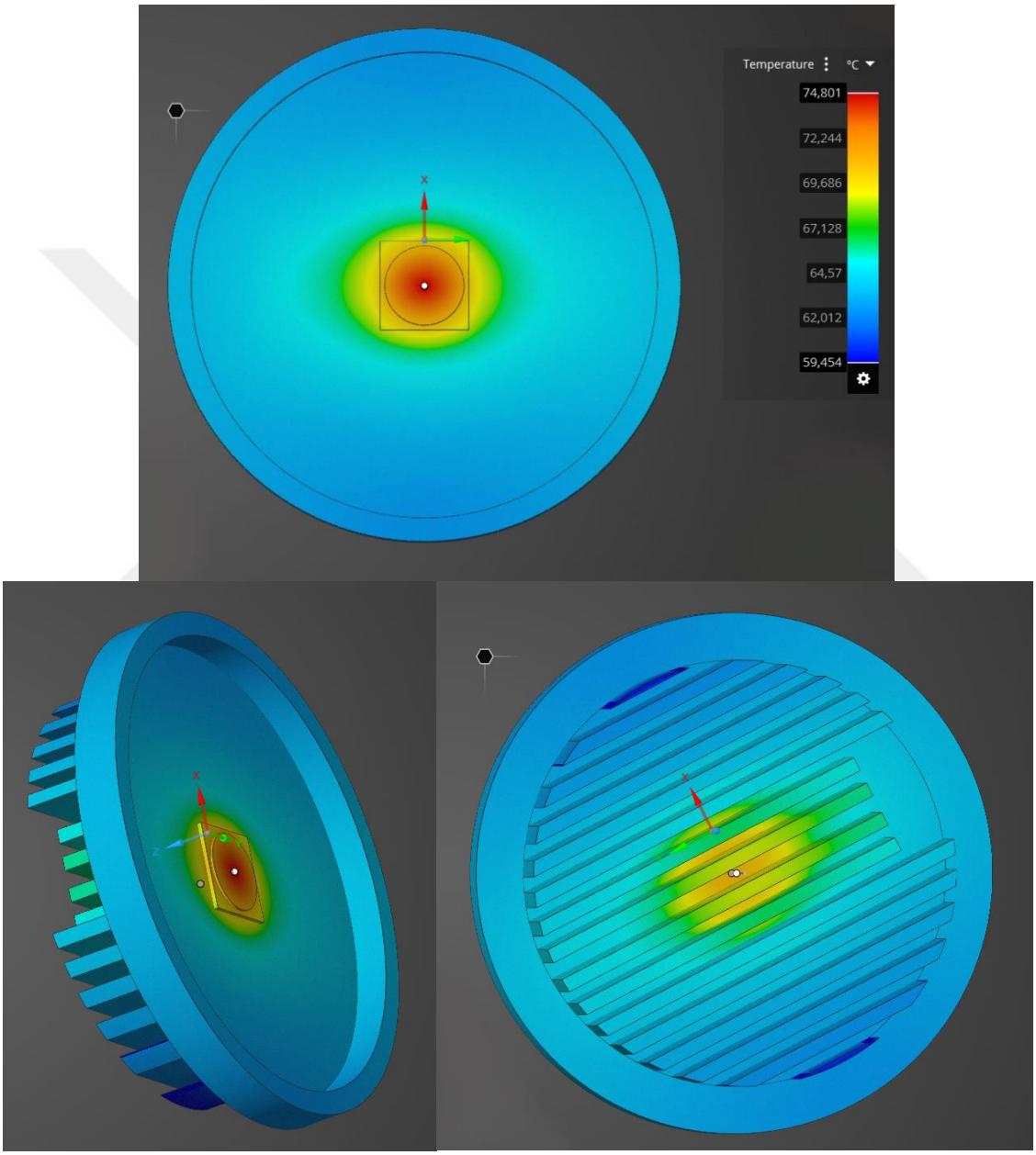


Şekil 5.4. 30 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.4'de verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 82,3 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 64,2 °C sıcaklığındadır. Arada 18 °C fark olması sıcaklığın kötü iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında oldukça homojen bir şekilde dağılmıştır. Ancak homojenlik kanat uzanış yönüne doğru bozulmaktadır, ısı transferi bu kısımlarda daha zayıftır. Orta kanatçık haricinde diğer kanatçıklar ortalama sıcaklığın üzerine çıkmamıştır, kullanılan COB LED için kanatçık uzunluğu çok iyi olmasa da yeterli gelmektedir. Ortalama sıcaklık çizgisinin

COB LED'in biraz dışında olması iyi olmayan bir taşınımı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aşmadığı için 6063 Ø95 soğutucu, 30 W COB LED'e uygundur.

30 W COB LED ile Etial150 Ø95 soğutucu (2 numaralı COB LED, 3 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.5'de verilmiştir.

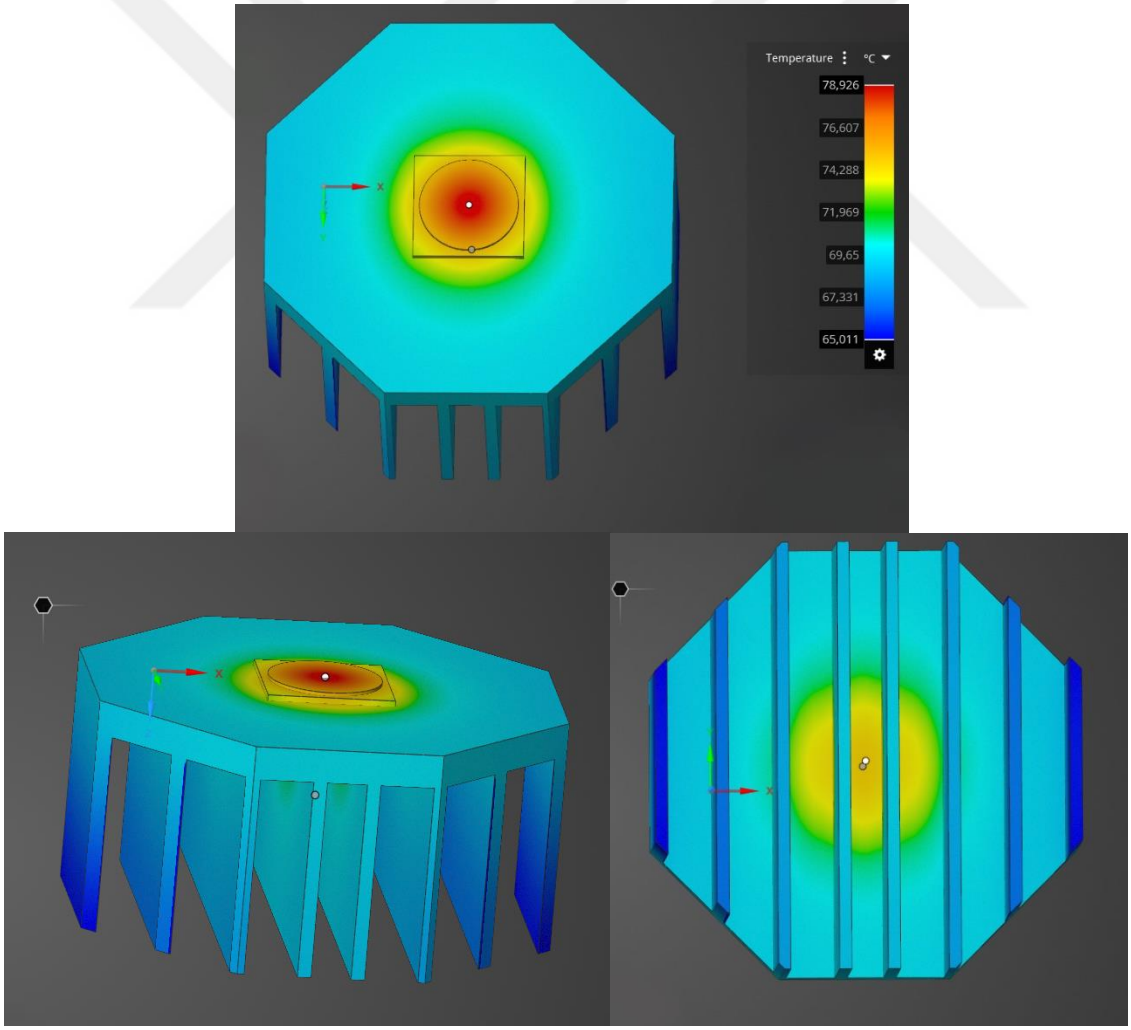


Şekil 5.5. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.5'de verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 74,8 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 59,4 °C sıcaklığındadır. Arada

15,5 °C fark olması sıcaklığın orta düzeyde iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında heterojen bir şekilde dağılmıştır. Orta kanatçıkların bir kenarının bir taraftan kesik olması sıcaklığın eşit dağılmamasına neden olmaktadır. Ortalama sıcaklık çizgisinin COB LED'e, özellikle kanatçıkların uzanış yönünde uzaktır, bu durum ısıl taşınımın bu bölgede kötü olduğunu göstermektedir. Orta iki kanatçık hariç diğer kanatçıklar ortalamanın üzerinde sıcaklığa çıkmamışlardır bu nedenle kanatçık boyunun COB LED'e göre yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aşmadığı için Etial150 Ø95 soğutucu, 30 W COB LED'e uygundur.

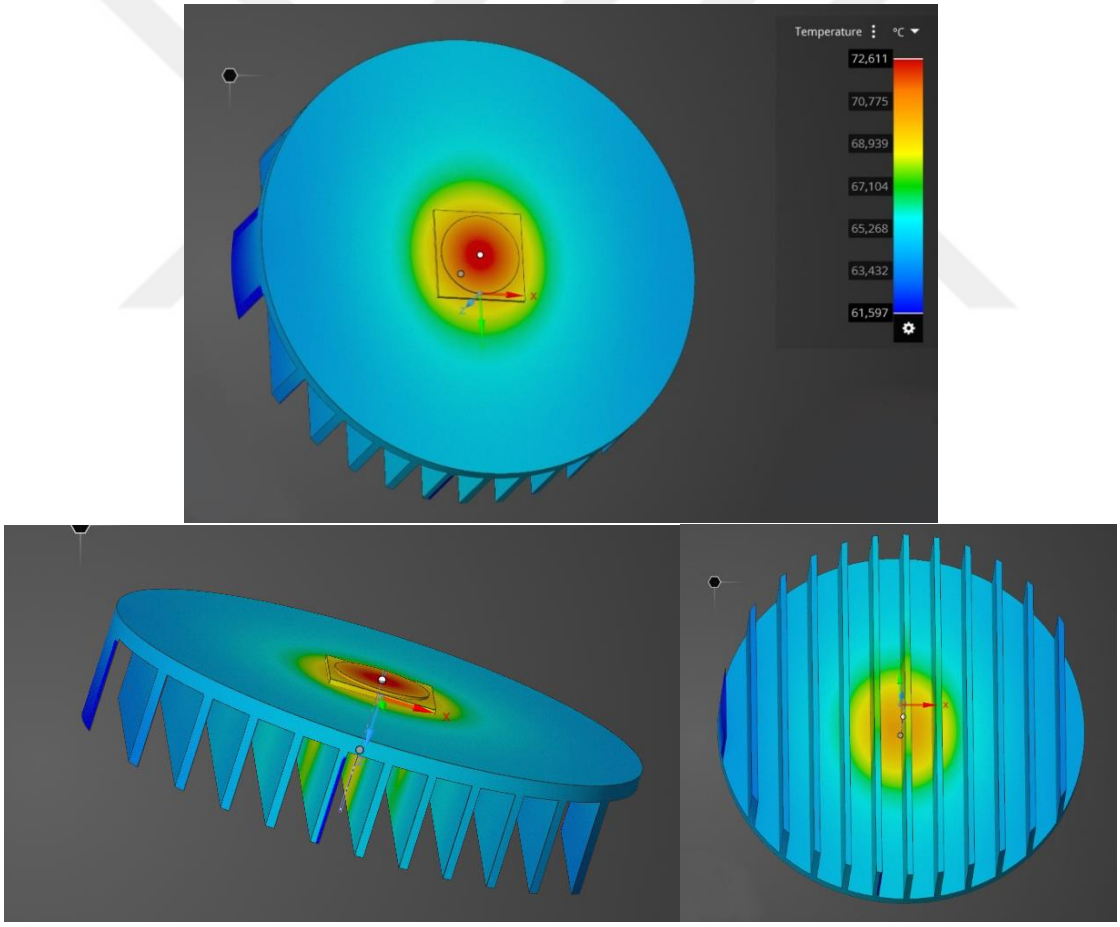
30 W COB LED ile 6063 Ø70 soğutucu (2 numaralı COB LED, 4 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. 30 W COB LED – 6063 Ø70 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.6'da verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 78,9 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 65 °C sıcaklığındadır. Arada 14 °C fark olması sıcaklığın orta-iyi iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında homojen bir şekilde dağılmıştır. Kanatçıkların en alt sıcaklığının ortalamadan çok aşağıda olması, kanatçık boyunun bu LED kullanımı için fazlasıyla yeterli taşınıma sahip olduğu anlamına gelir. Ortalama sıcaklık çizgisi COB LED'e fazla uzak değildir, bu sebeple taşınım ortalama seviyededir. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aşmadığı için 6063 Ø70 soğutucu, 30 W COB LED'e uygundur.

18 W COB LED ile 6063 Ø95 soğutucu (3 numaralı COB LED, 2 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.7'de verilmiştir.

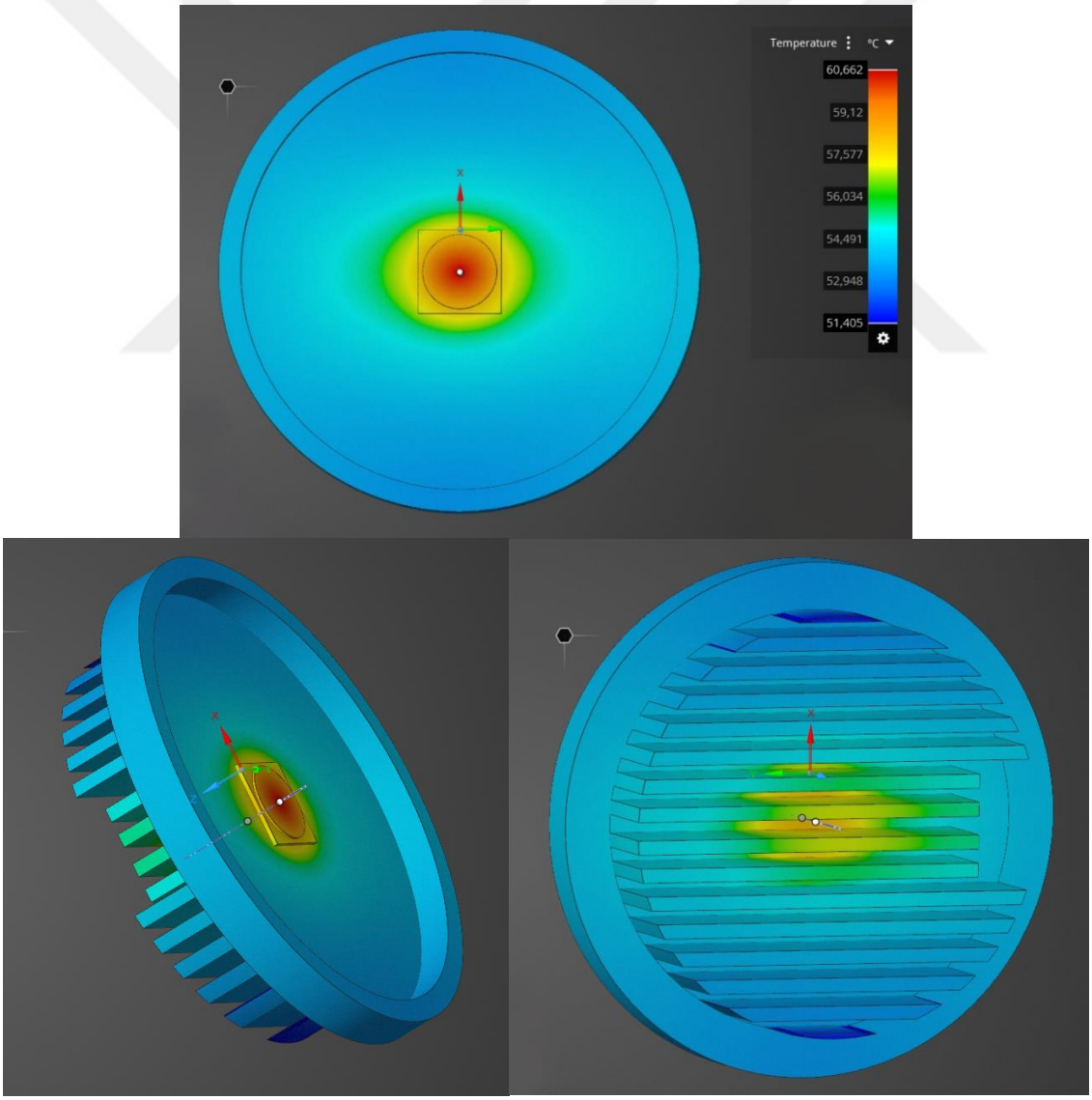


Şekil 5.7. 18 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.7'de verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 72,6 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 61,5 °C sıcaklığındadır. Arada 11

°C fark olması sıcaklığın iyi iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında oldukça homojen bir şekilde dağılmıştır. Ancak homojenlik kanat uzanış yönüne doğru bozulmaktadır, ısı transferi bu kısımlarda daha zayıftır. Orta kanatçık haricinde diğer kanatçıklar ortalama sıcaklığın üzerine çıkmamıştır, kullanılan COB LED için kanatçık uzunluğu çok iyi olmasa da yeterli gelmektedir. Ortalama sıcaklık çizgisinin COB LED'in biraz dışında olması iyi olmayan bir taşınımı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aşmadığı için 6063 Ø95 soğutucu, 18 W COB LED'e uygundur.

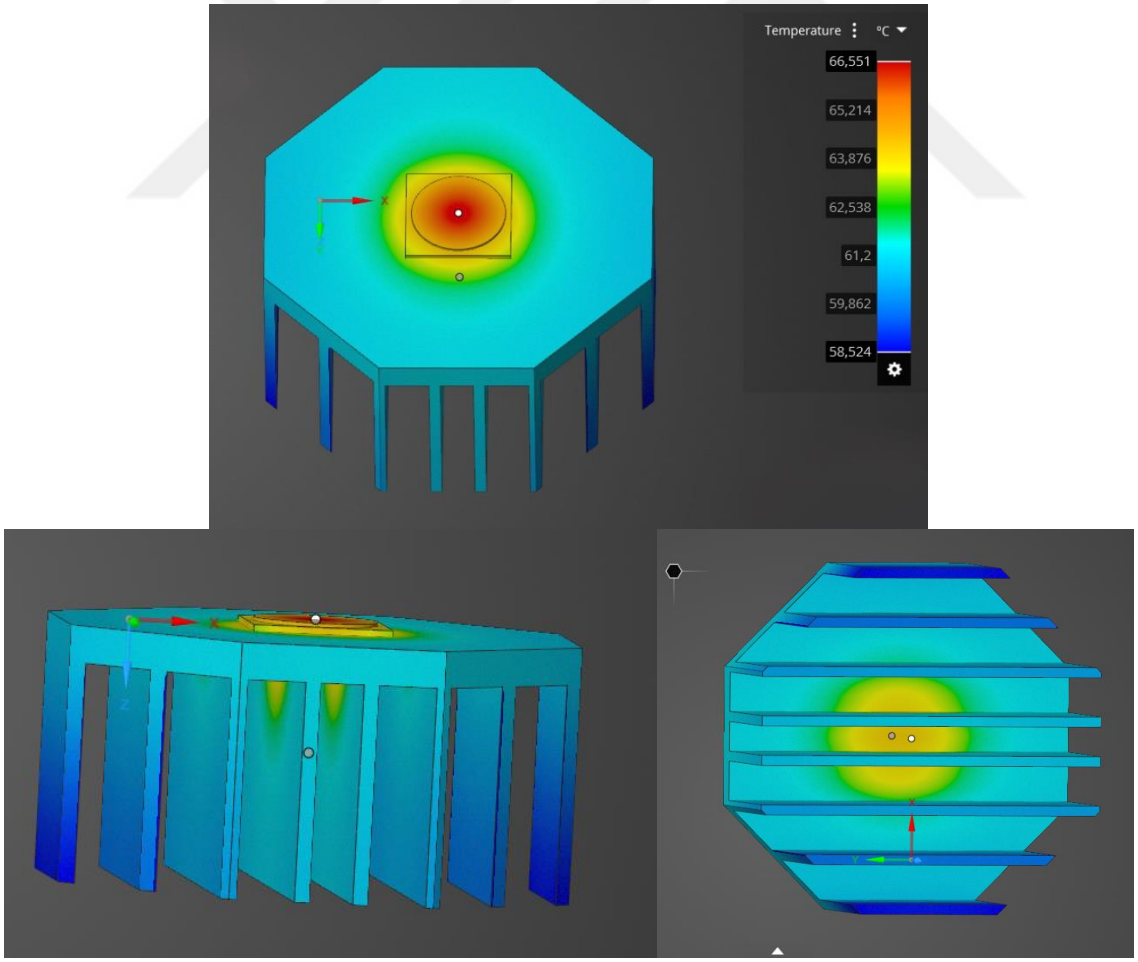
18 W COB LED ile Etial150 Ø95 soğutucu (3 numaralı COB LED, 3 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.8'de verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 60,6 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 51,4 °C sıcaklığındadır. Arada 9 °C fark olması sıcaklığın iyi iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında heterojen bir şekilde dağılmıştır. Orta kanatçıkların bir kenarının bir taraftan kesik olması sıcaklığın eşit dağılmamasına neden olmaktadır. Ortalama sıcaklık çizgisinin COB LED'e, özellikle kanatçıkların uzanış yönünde uzaktır, bu durum ısıl taşınımın bu bölgede kötü olduğunu göstermektedir. Orta iki kanatçık hariç diğer kanatçıklar ortalamanın üzerinde sıcaklığa çıkmamışlardır bu nedenle kanatçık boyunun COB LED'e göre yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aşmadığı için Etial150 Ø95 soğutucu, 18 W COB LED'e uygundur.

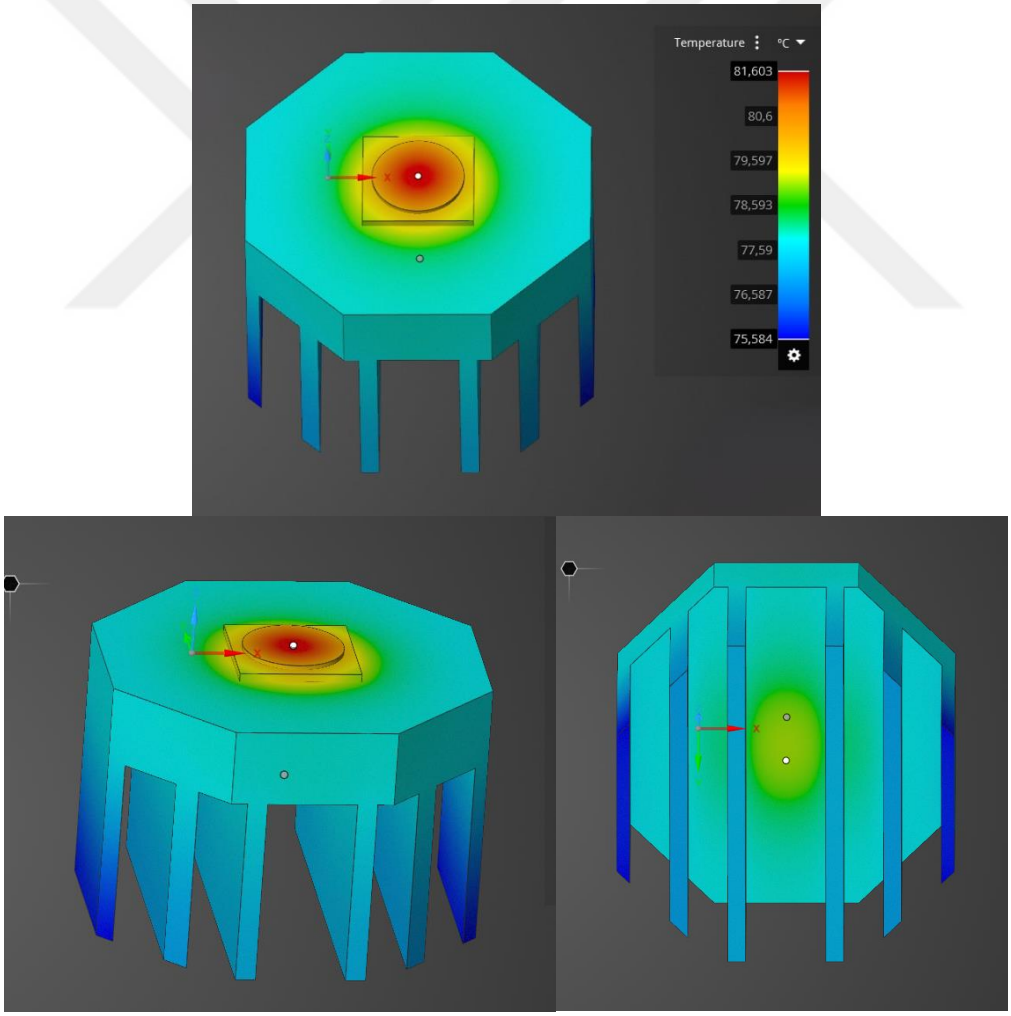
18 W COB LED ile 6063 Ø70 soğutucu (3 numaralı COB LED, 4 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. 18 W COB LED – 6063 Ø70 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.9'da verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 66,5 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 58,5 °C sıcaklığındadır. Arada 8 °C fark olması sıcaklığın iyi iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında homojen bir şekilde dağılmıştır. Kanatçıkların en alt sıcaklığının ortalamadan çok aşağıda olması, kanatçık boyunun bu LED kullanımı için fazlasıyla yeterli taşınıma sahip olduğu anlamına gelir. Ortalama sıcaklık çizgisi COB LED'e fazla uzak değildir, bu sebeple taşınım ortalama seviyededir. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aşmadığı için 6063 Ø70 soğutucu, 18 W COB LED'e uygundur.

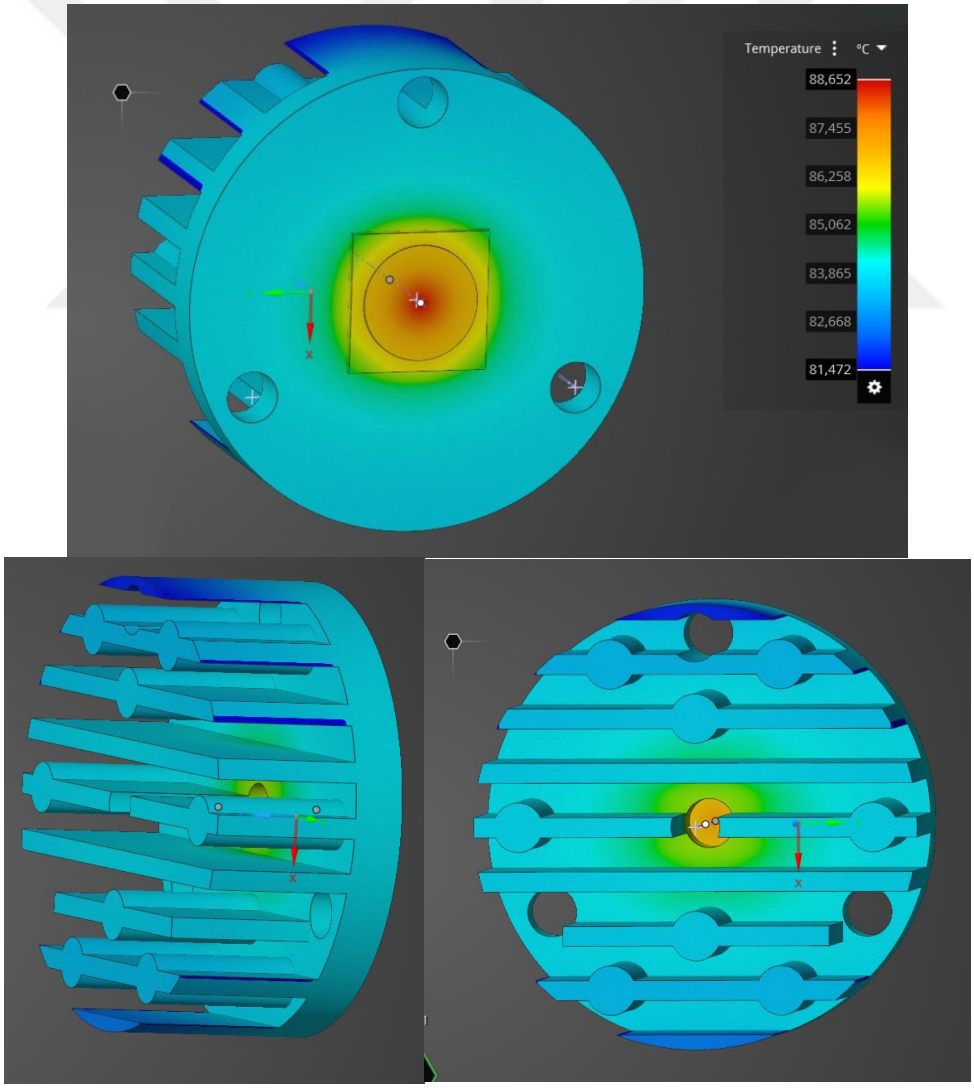
10 W COB LED ile 6063 Ø43 soğutucu (4 numaralı COB LED, 5 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. 10 W COB LED – 6063 Ø43 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.10'da verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 81,6 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 75,5 °C sıcaklığındadır. Arada 6 °C fark olması sıcaklığın iyi iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında homojen bir şekilde dağılmıştır. Kanatçıkların en alt sıcaklığının ortalamadan çok aşağıda olması, kanatçık boyunun bu LED kullanımı için fazlasıyla yeterli taşınıma sahip olduğu anlamına gelir. Ortalama sıcaklık çizgisinin (yeşil bölge) COB LED'e oldukça yakın olması ısının ortama hızlı bir taşınımı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aşmadığı için 6063 Ø43 soğutucu, 10 W COB LED'e uygundur.

10 W COB LED ile Etial150 Ø45 soğutucu (4 numaralı COB LED, 6 numaralı soğutucu) kombinasyonunun simülasyonu Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 soğutucu ANSYS görüntüsü

Şekil 5.11'de verilen simülasyon görüntülerine göre COB jonksiyon sıcaklığı 88,6 °C olarak görünürken soğutucu üzerindeki en soğuk nokta 81,4 °C sıcaklığındadır. Arada 7 °C fark olması sıcaklığın iyi iletildiğini göstermektedir. COB LED sıcaklığı, soğutunun ortasında homojen bir şekilde dağılmıştır. Ortalama sıcaklık çizgisinin COB LED'e oldukça yakın olması ısının ortama hızlı bir taşınımı olduğunu göstermektedir. Bu kadar iyi özelliğe sahip olmasına rağmen soğutucu malzemesi veya soğutucu boyutları COB LED ısısının transferini yeterli ölçüde sağlayamamıştır. Sonuç olarak; COB LED jonksiyon sıcaklığı standart sınır değeri olan 85 °C'yi aştığı için Etial150 Ø45 soğutucu, 10 W COB LED'e uygun değildir.

5.2. Deneysel Ölçümler için Hazırlık Aşamaları

Bütün deneysel uygulamalar için ayrı ayrı yapılan aşamalar tek bir başlık altında gösterilmiştir. Ölçümlerden önce; COB LED, soğutucu, LED sürücü ve bağlantı elemanlarıyla LED armatürler oluşturulmuştur. Optik sistemlerin bulunup bulunmaması sıcaklığa etki etmediği için deneysel uygulamalarda kullanılmamıştır.

5.2.1. LED armatür oluşturma aşaması

Deneysel uygulamalarda 4 COB LED arasından seçilen COB'ye öncelikle LED sürücüden enerji alması için bağlantı kabloları lehimlenir. Lehimlemeden sonra bağlantı kablolarından COB LED'in Anot (+) ucuna lehimlenen kablo, LED sürücünün "LED+" ucuna; Katot (-) ucuna lehimlenen kablo, LED sürücünün "LED-" ucuna bağlanır.

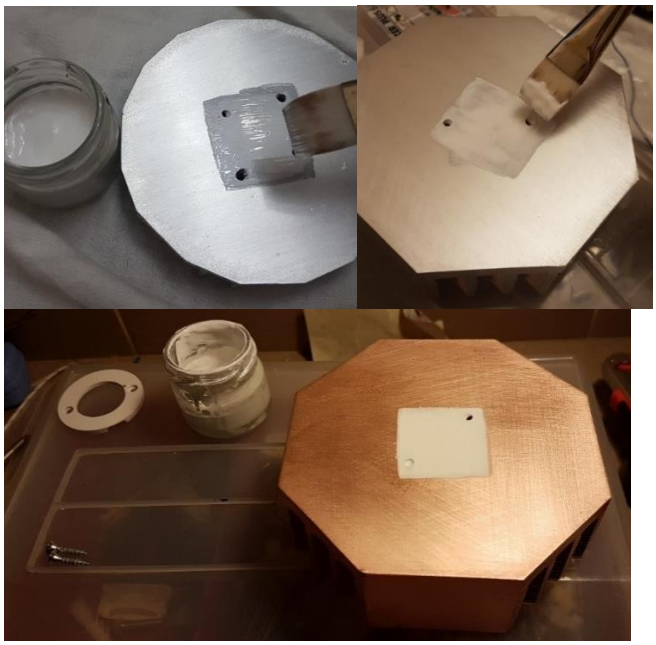
Normal lehimlemenin yanı sıra LED Standartlarında belirtildiği üzere COB LED'in kılıf sıcaklığını (T_c) ölçmek için K tipi sıcaklık probunun COB'nin katot (-) ucuna lehimlenmesi gerekir. Sıcaklık probu lehimlemesi yapılırken "-" bağlantı ucunun üzeri veya sağı tercih edilmiştir. Çünkü sıcaklık probununda bağlantı kablolarında olduğu gibi COB'yi soğutucuya monte eden Holder'a (tutacak) uyumlu olması gerekir. Uyumlu olmayacak bir şekilde lehimleme yapılırsa Holder COB ile yeterli ölçüde temas edemez ve COB soğutucuya yeterli ölçüde monte edilemez. Soğutucuya yetersiz monte edilen COB ile soğutucu arasında bir hava boşluğu meydana gelir ve böylece COB ısısını soğutucuya aktaramaz. Isısını soğutucuya aktaramayan COB, kısa sürede bozulmaya uğrar.



Şekil 5.12. COB LED'e bağlantı kabloları ve sıcaklık probu lehimlenmesi

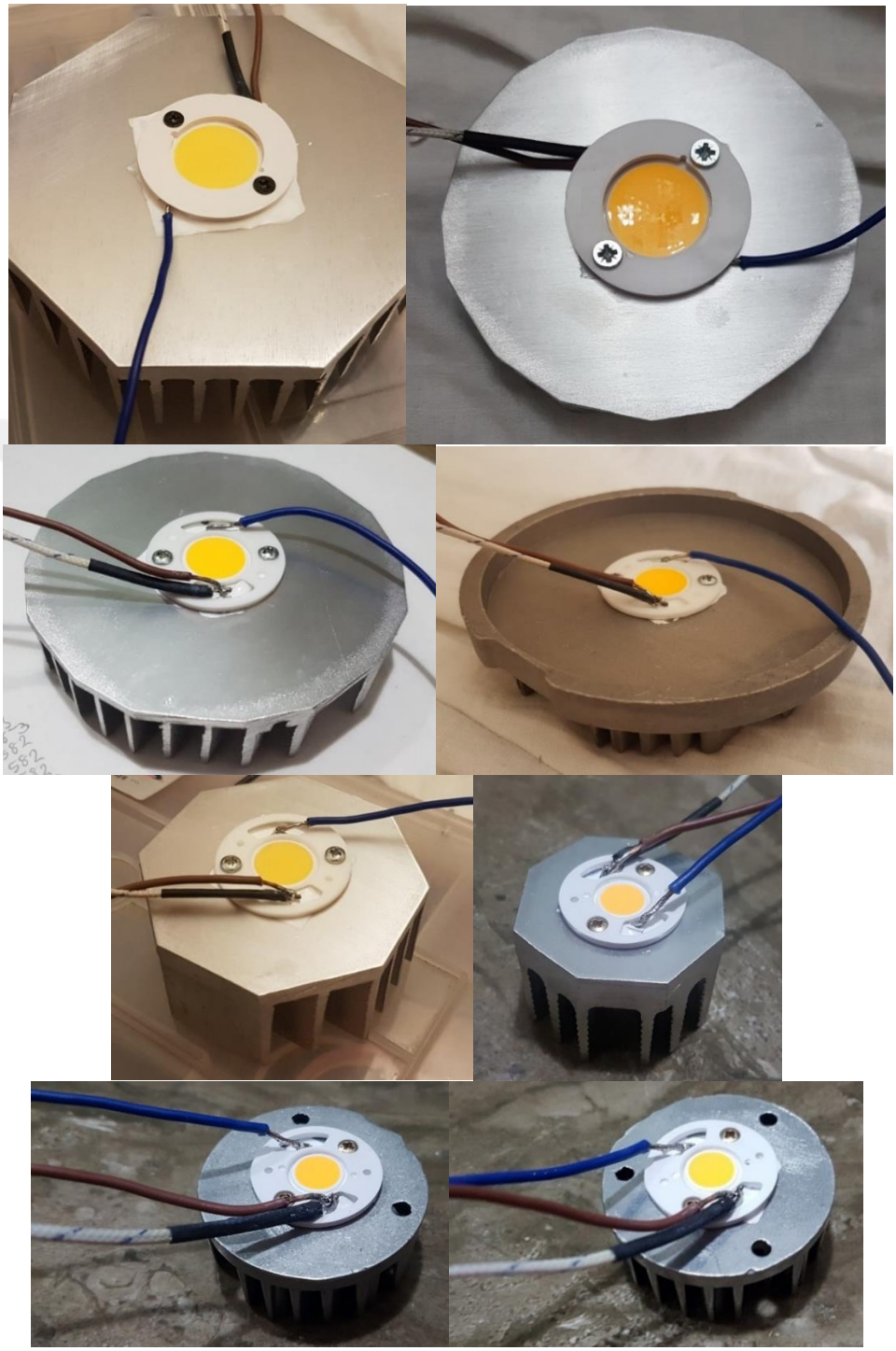
Lehimleme işleminden sonra COB LED'ler holderlarıyla beraber soğutucuya monte edilmeden önce kullanılması zaruri olan termal arayüz malzemesi uygulanması işlemi vardır.

Termal arayüz malzemesi COB LED'ler için silikon termal macun olarak seçilir. Termal arayüz malzemesi, soğutucu ile COB yüzeyi arasındaki pürüzlülüğün neden olacağı hava kabarcığını engellemek amacıyla kullanılır. Standartlara göre max 0,1 mm kalınlığa kadar sürülebilir. Termal macun soğutucuya, COB yüzey alanı boyutunda sürülmelidir.



Şekil 5.13. Soğutucuların üzerine termal macun uygulanması

Termal macun sürülmüş soğutucu yüzeyine COB LED dikkatlice yerleştirilir ve holder ile soğucuya vidalanır. Ardından COB LED'in bağlantı kabloları LED sürücüye bağlanır.



Şekil 5.14. COB LED – Soğutucu kombinasyonları

LED armatür tamamlandıktan sonra ölçüm cihazları bağlantıları ve ölçüm için gerekli ortam hazırlanır.

5.2.2. Ölçüm cihaz bağlantı ve ölçüm ortamı hazırlık aşaması

4 farklı ölçüm cihazı kullanılmıştır: 1 adet Ampermetre, 2 adet dijital sıcaklık ölçüm cihazı ve 1 adet Lüksmetre.

Ampermetre; LED sürücünün "+" çıkışına seri bağlanır. Dijital ölçüm cihazlarından birinin sıcaklık probu, COB LED'in "-" ucuna lehimlenir (T_C noktası). Dijital ölçüm cihazlarından diğerinin sıcaklık probu, soğutucunun orta kanatçıklarından birine Şekil 5.15'deki gibi termal bant ile bantlanır (T_S noktası).



Şekil 5.15. Soğutucu kanatçığına bantlanan sıcaklık probu

LED armatür cihazların bağlantısı yapıldıktan sonra Lambert yüzeyi ile kaplanmış kara kutu içerisine yerleştirilir. Kara kutunun üzerine Lüksmetrenin fotodiyotu yerleştirilir. Şekil 5.16'da kara kutu ve üzerindeki deliğe gelecek şekilde oturtulmuş Lüksmetreye değer aktaran fotodiyot görülmektedir.



Şekil 5.16. Kara kutu ve ölçüm cihazları

LED armatür kara kutuya yerleştirildikten sonra ortam sıcaklığı 25°C'ye getirilir. Ortam sıcaklığı da uygun olduğunda sisteme enerji verilerek ölçüm başlatılır.

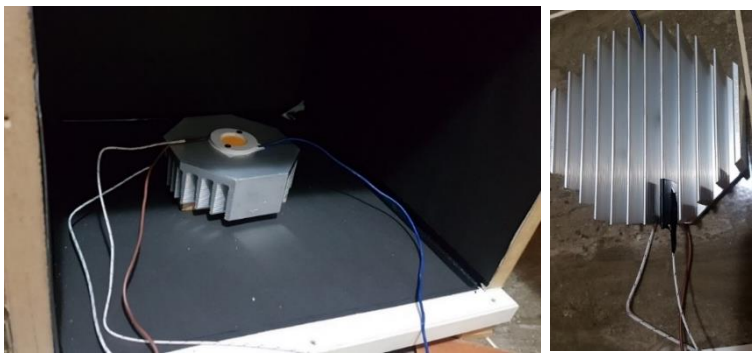
Sıcaklık ölçümleri LED Standartlarında belirtildiği üzere, LED armatür ısıl kararlı hale (sıcaklığın 1 saatte 1 °C'den daha az değişmesi) gelinceye kadar devam eder. Kararlı haldeki sıcaklık ise gerçek sıcaklık olarak kabul edilir ve 85°C değerinin üzerinde olmaması gerekir.



Şekil 5.17. Deneysel uygulama sürecinde ölçüm cihazlarında değerlerin okunması

5.3. 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W güce sahip COB LED (1. COB LED) ile kaplama yapılmamış 6063 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş 8gen şekilde 114x114x39 mm ölçülerinde (6063 Ø114) (1. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.18. 40W COB LED – 6063 Ø114 soğutucu ile yapılan test düzeneği

Teorik hesaplamalarda görüldüğü (bknz: Tablo 4.15) gibi deneysel uygulamada da 1. COB LED ile 1. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olduğu LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmemesinden anlaşılmaktadır.

Tablo 5.2. 40 W COB LED – 6063 Ø114 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	21	15650	**1080**	57	54	14530
30	26	22	15620	**1140**	57	55	14520
50	28	23	15580	**1200**	58	55	14480
60	28	24	15580	**1260**	59	55	14450
90	30	25	15550	**1320**	59	57	14420
120	31	26	15510	**1380**	60	57	14400
150	32	28	15470	**1440**	61	58	14400
180	33	29	15420	**1500**	61	59	14370
210	35	30	15390	**1560**	62	59	14320
240	36	32	15350	**1620**	62	59	14360
270	37	33	15320	**1680**	62	60	14340
300	38	34	15280	**1740**	63	60	14310
330	39	35	15240	**1800**	63	61	14300
360	40	36	15190	**1920**	63	61	14300
390	41	37	15160	**2040**	64	62	14270
420	42	38	15110	**2160**	64	62	14260
450	43	39	15080	**2280**	65	62	14250
480	44	40	15050	**2400**	65	63	14240
510	45	41	15000	**2700**	66	63	14210
540	46	42	14980	**3000**	66	64	14210
570	47	43	14940	**3300**	66	64	14200
600	47	44	14920	**3600**	66	64	14200
630	48	45	14890	**4200**	66	65	14190
660	49	45	14860	**4800**	67	65	14160
720	50	47	14800	**5400**	67	65	14170
780	51	48	14780	**6300**	67	65	14170
840	53	49	14710	**7200**	67	65	14190
900	54	50	14680	**9000**	67	65	14210
960	55	52	14640	**10800**	67	65	14190
1020	56	53	14600				

5.4. 40W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W güce sahip COB LED (1. COB LED) ile kaplama yapılmamış 6063 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş 16gen şekilde 95x95x20 mm ölçülerinde (6063 Ø95) (2. Soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.19. 40 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği

Teorik hesaplamalarda görüldüğü (bknz: Tablo 4.15) gibi deneysel uygulamada da 1. COB LED ile 2. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olmadığı LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmesinden anlaşılmaktadır. LED'lerin zarar görmemesi açısından T_c sıcaklığı 85 °C'yi aştığında deney sonlandırılmıştır.

Tablo 5.3. 40 W COB LED – 6063 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	27	21	13750
30	30	24	13660
50	32	27	13560
60	35	30	13480
90	38	33	13360
120	43	38	13210
150	47	42	13100
180	50	46	12960
210	54	50	12820
240	57	53	12730
270	60	57	12650
300	63	60	12540
330	66	63	12440
360	68	66	12360
390	71	68	12270
420	73	71	12200
450	75	73	12130
480	77	75	12060
510	79	77	12000
540	81	79	11920
570	82	81	11870
600	84	82	11820
630	85	84	11780

5.5. 40W COB LED – Etial150 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W güce sahip COB LED (1. COB LED) ile kaplama yapılmamış Etial150 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş daire şekilde 95x21 mm ölçülerinde (Etial150 Ø95) (3. Soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.20. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği

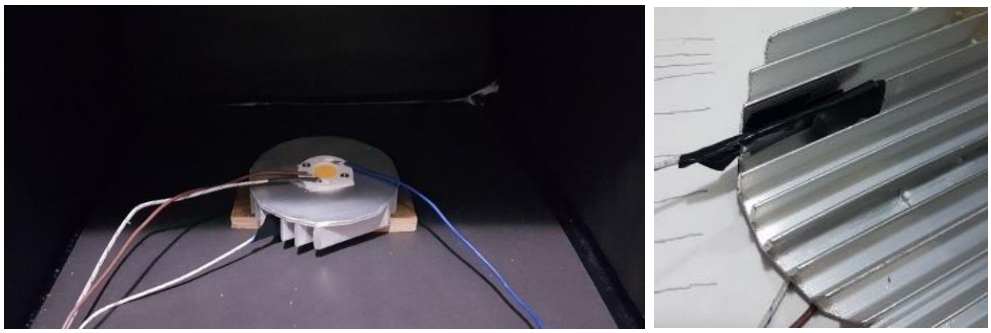
Teorik hesaplamalarda görüldüğü (bknz: Tablo 4.15) gibi deneysel uygulamada da 1. COB LED ile 3. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olmadığı LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmesinden anlaşılmaktadır. LED'lerin zarar görmemesi açısından T_c sıcaklığı 85 °C'yi aştığında deney sonlandırılmıştır.

Tablo 5.4. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	21	13780	**480**	**60**	**55**	**12730**
30	28	23	13720	**510**	62	57	12640
50	30	25	13660	**540**	64	59	12600
60	31	26	13620	**570**	65	60	12550
90	34	28	13550	**600**	67	63	12480
120	36	31	13470	**630**	69	64	12450
150	39	33	13400	**660**	70	65	12410
180	41	35	13330	**720**	72	67	12370
210	43	38	13260	**780**	73	69	12280
240	45	40	13190	**840**	75	71	12220
270	47	42	13120	**900**	76	72	12180
300	49	44	13060	**960**	78	73	12130
330	51	46	12990	**1020**	79	74	12090
360	53	48	12930	**1080**	81	76	12020
390	55	49	12870	**1140**	83	79	11950
420	56	51	12820	**1200**	84	80	11880
450	58	53	12770	**1260**	85	81	11840

5.6. 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W güce sahip COB LED (2. COB LED) ile kaplama yapılmamış 6063 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş 16gen şekilde 95x95x20 mm ölçülerinde (6063 Ø95) (2. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.21. 30 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği

2. COB LED ile 2. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olduğu LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmemesinden anlaşılmaktadır.

Tablo 5.5. 30 W COB LED – 6063 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	29	20	8480	**1080**	79	73	7340
30	32	22	8420	**1140**	78	74	7340
50	34	24	8380	**1200**	79	75	7330
60	35	24	8340	**1260**	79	75	7320
90	38	28	8280	**1320**	79	75	7310
120	41	32	8220	**1380**	79	76	7310
150	44	35	8160	**1440**	80	76	7300
180	47	38	8090	**1500**	80	76	7290
210	49	40	8050	**1560**	80	77	7290
240	51	43	7990	**1620**	80	77	7290
270	54	45	7950	**1680**	80	77	7290
300	56	48	7890	**1740**	81	77	7290
330	57	50	7850	**1800**	81	77	7280
360	59	51	7810	**1920**	82	77	7270
390	60	54	7760	**2040**	82	78	7270
420	62	55	7730	**2160**	82	78	7270
450	62	57	7690	**2280**	82	78	7260
480	64	58	7660	**2400**	83	78	7260
510	65	60	7640	**2700**	83	78	7250
540	66	61	7610	**3000**	84	79	7240
570	67	62	7590	**3300**	84	79	7240
600	68	63	7570	**3600**	84	79	7240
630	70	64	7550	**4200**	84	79	7240
660	71	65	7530	**4800**	84	79	7240
720	72	67	7500	**5400**	84	79	7240
780	74	68	7450	**6300**	84	79	7240
840	76	70	7410	**7200**	84	79	7240
900	77	71	7400	**9000**	84	79	7240
960	78	72	7390	**10800**	84	79	7240
1020	78	73	7370				

5.7. 30W COB LED – Etial150 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W güce sahip COB LED (2. COB LED) ile kaplama yapılmamış Etial150 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş daire şekilde 95x21 mm ölçülerinde (Etial150 Ø95) (3. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.22. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği

2. COB LED ile 3. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olduğu LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmemesinden anlaşılmaktadır.

Tablo 5.6. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	30	20	8580	**1080**	68	62	7670
30	32	21	8550	**1140**	68	63	7660
50	33	22	8520	**1200**	69	64	7650
60	34	23	8510	**1260**	70	65	7620
90	36	25	8470	**1320**	70	66	7610
120	38	27	8420	**1380**	71	66	7600
150	39	28	8390	**1440**	72	67	7600
180	41	30	8360	**1500**	72	68	7570
210	42	31	8310	**1560**	72	68	7560
240	44	33	8280	**1620**	73	69	7550
270	45	34	8250	**1680**	73	69	7540
300	46	36	8220	**1740**	73	70	7530
330	48	37	8190	**1800**	74	70	7520
360	49	39	8150	**1920**	75	70	7510
390	50	40	8130	**2040**	75	71	7490
420	51	42	8090	**2160**	75	71	7490
450	53	43	8070	**2280**	76	72	7480
480	54	44	8040	**2400**	76	72	7470
510	55	46	8010	**2700**	76	73	7470
540	56	47	7990	**3000**	76	73	7470
570	57	48	7970	**3300**	77	73	7460
600	57	50	7940	**3600**	77	74	7450
630	58	51	7920	**4200**	77	74	7450
660	59	52	7900	**4800**	78	74	7440
720	61	54	7860	**5400**	77	74	7440
780	63	56	7810	**6300**	78	74	7430
840	64	57	7780	**7200**	78	75	7430
900	65	59	7760	**9000**	78	75	7420
960	66	60	7700	**10800**	78	75	7420
1020	67	61	7700				

5.8. 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W güce sahip COB LED (2. COB LED) ile kaplama yapılmamış 6063 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş 8gen şekilde 70x70x35 mm ölçülerinde (6063 Ø70) (4. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.23. 30 W COB LED – 6063 Ø70 soğutucu ile yapılan test düzeneği

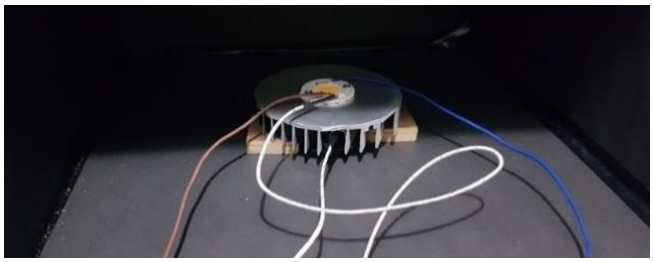
2. COB LED ile 4. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olduğu LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmemesinden anlaşılmaktadır.

Tablo 5.7. 30 W COB LED – 6063 Ø70 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	30	23	9150	**1080**	74	66	8070
30	33	25	9090	**1140**	74	66	8050
50	35	27	9040	**1200**	75	67	8040
60	36	28	9020	**1260**	76	68	8030
90	39	31	8950	**1320**	76	68	8030
120	42	34	8880	**1380**	76	68	8020
150	45	37	8820	**1440**	76	68	8010
180	47	39	8770	**1500**	77	69	8010
210	50	42	8710	**1560**	77	69	8010
240	52	44	8650	**1620**	77	69	8010
270	53	46	8610	**1680**	77	69	8000
300	55	48	8560	**1740**	77	69	8000
330	57	49	8510	**1800**	77	69	8000
360	59	51	8480	**1920**	77	69	8000
390	60	53	8430	**2040**	77	70	7990
420	61	54	8410	**2160**	77	69	7990
450	63	55	8380	**2280**	78	70	7990
480	64	56	8350	**2400**	78	70	8000
510	65	57	8330	**2700**	77	70	7990
540	66	58	8300	**3000**	77	70	7990
570	66	59	8290	**3300**	78	70	7980
600	68	60	8260	**3600**	78	70	7980
630	68	60	8240	**4200**	78	70	7970
660	69	61	8220	**4800**	78	70	7980
720	70	62	8190	**5400**	78	70	7980
780	71	63	8160	**6300**	78	70	7980
840	72	64	8130	**7200**	78	70	7980
900	73	65	8110	**9000**	78	70	7980
960	73	65	8100	**10800**	78	70	7980
1020	74	66	8080				

5.9. 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W güce sahip COB LED (3. COB LED) ile kaplama yapılmamış 6063 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş 16gen şekilde 95x95x20 mm ölçülerinde (6063 Ø95) (2. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.24. 18 W COB LED – 6063 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği

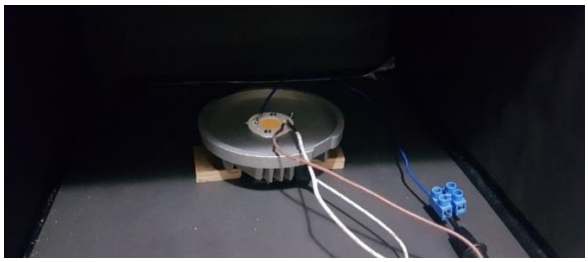
3. COB LED ile 2. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olduğu LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmemesinden anlaşılmaktadır.

Tablo 5.8. 18 W COB LED – 6063 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	28	22	5930	**1080**	68	67	5320
30	30	24	5900	**1140**	68	67	5320
50	32	26	5860	**1200**	69	68	5310
60	33	27	5870	**1260**	70	68	5300
90	36	30	5830	**1320**	70	69	5290
120	37	32	5800	**1380**	70	69	5290
150	40	34	5770	**1440**	71	69	5280
180	42	37	5740	**1500**	70	69	5280
210	44	39	5710	**1560**	71	70	5270
240	46	41	5680	**1620**	71	70	5270
270	47	43	5660	**1680**	71	70	5270
300	49	45	5630	**1740**	71	70	5270
330	51	47	5610	**1800**	72	70	5260
360	52	48	5580	**1920**	72	71	5260
390	53	50	5560	**2040**	72	71	5260
420	55	51	5540	**2160**	72	71	5260
450	56	52	5530	**2280**	72	71	5260
480	57	54	5510	**2400**	73	71	5250
510	58	55	5490	**2700**	73	71	5250
540	59	56	5490	**3000**	73	71	5250
570	59	57	5470	**3300**	73	72	5240
600	60	58	5450	**3600**	73	72	5240
630	61	59	5440	**4200**	73	71	5260
660	62	60	5420	**4800**	73	71	5260
720	63	61	5410	**5400**	73	72	5260
780	64	62	5390	**6300**	73	72	5250
840	65	63	5370	**7200**	73	72	5250
900	66	64	5360	**9000**	73	72	5250
960	67	65	5340	**10800**	73	72	5250
1020	68	66	5330				

5.10. 18W COB LED – Etial150 Ø95 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W güce sahip COB LED (3. COB LED) ile kaplama yapılmamış Etial150 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş daire şekilde 95x21 mm ölçülerinde (Etial150 Ø95) (3. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.25. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucu ile yapılan test düzeneği

3. COB LED ile 3. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olduğu LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmemesinden anlaşılmaktadır.

Tablo 5.9. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	28	21	6020	**1080**	58	54	5560
30	30	22	6010	**1140**	59	55	5540
50	31	22	5990	**1200**	59	56	5530
60	32	23	5980	**1260**	60	56	5520
90	33	25	5960	**1320**	61	57	5510
120	34	26	5940	**1380**	61	58	5500
150	36	28	5920	**1440**	62	58	5500
180	37	29	5910	**1500**	62	59	5490
210	38	31	5890	**1560**	62	59	5490
240	39	32	5870	**1620**	63	60	5480
270	40	33	5850	**1680**	63	60	5470
300	41	34	5840	**1740**	63	60	5470
330	42	35	5820	**1800**	63	61	5460
360	43	36	5810	**1920**	64	61	5450
390	44	37	5790	**2040**	64	62	5440
420	45	39	5780	**2160**	65	62	5440
450	46	40	5760	**2280**	65	63	5430
480	47	41	5750	**2400**	65	63	5430
510	48	42	5730	**2700**	66	64	5420
540	49	43	5720	**3000**	66	64	5420
570	49	43	5710	**3300**	66	65	5420
600	50	44	5700	**3600**	66	64	5420
630	50	45	5690	**4200**	66	64	5420
660	51	46	5670	**4800**	67	64	5410
720	52	47	5650	**5400**	67	64	5410
780	54	49	5630	**6300**	67	64	5420
840	55	50	5620	**7200**	67	65	5400
900	55	51	5610	**9000**	67	65	5390
960	57	52	5580	**10800**	67	65	5390
1020	57	53	5570				

5.11. 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W güce sahip COB LED (3. COB LED) ile kaplama yapılmamış 6063 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş 8gen şekilde 70x70x35 mm ölçülerinde (6063 Ø70) (4. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.26. 18 W COB LED – 6063 Ø70 soğutucu ile yapılan test düzeneği

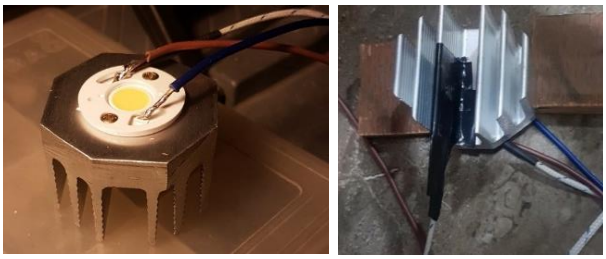
3. COB LED ile 4. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olduğu LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmemesinden anlaşılmaktadır.

Tablo 5.10. 18 W COB LED – 6063 Ø70 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	22	6480	**1080**	65	59	5840
30	29	23	6450	**1140**	66	59	5840
50	31	24	6420	**1200**	66	60	5830
60	32	25	6410	**1260**	66	60	5830
90	35	27	6370	**1320**	66	60	5820
120	37	29	6330	**1380**	67	61	5820
150	39	31	6300	**1440**	67	61	5820
180	41	33	6260	**1500**	67	61	5820
210	44	35	6230	**1560**	66	61	5810
240	45	38	6200	**1620**	67	61	5810
270	47	40	6170	**1680**	67	61	5810
300	49	41	6150	**1740**	67	61	5800
330	50	42	6120	**1800**	67	62	5800
360	51	44	6090	**1920**	68	62	5800
390	53	46	6070	**2040**	68	62	5800
420	54	48	6050	**2160**	68	62	5790
450	55	48	6030	**2280**	68	62	5790
480	56	49	6010	**2400**	68	62	5800
510	57	51	6000	**2700**	68	62	5800
540	58	52	5990	**3000**	68	63	5790
570	59	52	5970	**3300**	68	63	5790
600	59	53	5960	**3600**	69	63	5780
630	60	54	5940	**4200**	69	63	5790
660	60	55	5930	**4800**	69	63	5780
720	62	56	5910	**5400**	69	63	5770
780	63	56	5890	**6300**	69	64	5780
840	63	57	5880	**7200**	70	64	5770
900	64	57	5870	**9000**	70	64	5770
960	64	58	5860	**10800**	69	64	5770
1020	65	58	5850	**12600**	69	63	5770

5.12. 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W güce sahip COB LED (4. COB LED) ile kaplama yapılmamış 6063 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş 8gen şekilde 42x42x29,5 mm ölçülerinde (6063 Ø43) (5. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.27. 10 W COB LED – 6063 Ø43 soğutucu ile yapılan test düzeneği

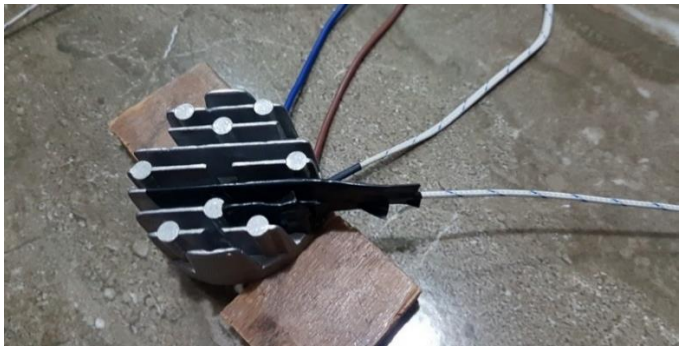
4. COB LED ile 5. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olduğu LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmemesinden anlaşılmaktadır.

Tablo 5.11. 10 W COB LED – 6063 Ø43 deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	28	24	3714	**1080**	74	71	3287
30	30	25	3699	**1140**	75	72	3265
50	32	27	3687	**1200**	75	73	3266
60	33	28	3676	**1260**	76	73	3252
90	35	31	3653	**1320**	77	74	3256
120	37	34	3632	**1380**	77	74	3243
150	40	36	3614	**1440**	78	75	3237
180	42	39	3593	**1500**	78	75	3248
210	44	41	3575	**1560**	78	76	3246
240	46	43	3556	**1620**	78	76	3242
270	48	45	3537	**1680**	79	76	3240
300	50	47	3519	**1740**	79	76	3238
330	51	49	3504	**1800**	80	77	3234
360	53	51	3486	**1920**	80	77	3228
390	55	53	3471	**2040**	80	77	3226
420	56	54	3456	**2160**	80	77	3230
450	58	55	3444	**2280**	80	77	3224
480	59	56	3429	**2400**	81	77	3225
510	60	57	3419	**2700**	81	78	3228
540	61	58	3408	**3000**	81	78	3226
570	62	59	3395	**3300**	81	78	3244
600	63	60	3383	**3600**	81	78	3243
630	65	61	3371	**4200**	81	78	3242
660	65	62	3364	**4800**	81	78	3229
720	67	64	3332	**5400**	82	78	3231
780	69	65	3328	**6300**	82	78	3231
840	70	67	3317	**7200**	82	78	3230
900	71	68	3305	**9000**	82	78	3232
960	73	69	3299	**10800**	82	78	3231
1020	74	70	3291				

5.13. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (Mat) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W güce sahip COB LED (4. COB LED) ile kaplama yapılmamış Etial150 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş daire şekilde 45x20 mm ölçülerinde (Etial150 Ø45) (6. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır. Diğerlerinden farklı olarak aynı boyutlarda bu soğutucunun hem mat yüzeylisi hem parlak yüzeylisi vardır. Bu deneysel uygulamada mat yüzeyli Etial150 Ø45 soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.28. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (Mat) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Teorik hesaplamalarda görüldüğü (bknz: Tablo 4.15) gibi deneysel uygulamada da 4. COB LED ile 6. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olmadığı LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmesinden anlaşılmaktadır. LED'lerin zarar görmemesi açısından T_c sıcaklığı 85 °C'yi aştığında deney sonlandırılmıştır.

Tablo 5.12. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (Mat) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	28	23	3532
30	31	25	3512
50	33	28	3490
60	35	30	3478
90	39	33	3448
120	42	37	3415
150	45	41	3387
180	49	44	3359
210	52	47	3331
240	55	51	3306
270	57	53	3287
300	59	56	3264
330	62	58	3244
360	64	60	3231
390	66	63	3207
420	68	65	3190
450	70	67	3175
480	71	69	3160
510	73	70	3147
540	74	72	3134
570	76	74	3121
600	77	75	3109
630	78	77	3099
660	79	78	3088
720	81	80	3070
780	82	82	3049
840	84	84	3035
900	85	85	3016
960	86	86	3005

5.14. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (Parlak) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W güce sahip COB LED (4. COB LED) ile kaplama yapılmamış Etial150 alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiş daire şekilde 45x20 mm ölçülerinde (Etial150 Ø45) (6. soğutucu) soğutucu kullanılmıştır. Diğerlerinden farklı olarak aynı boyutlarda bu soğutucunun hem mat yüzeylisi hem parlak yüzeylisi vardır. Bu deneysel uygulamada parlak yüzeyli Etial150 Ø45 soğutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.29. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (Parlak) soğutucu ile yapılan test düzeneği

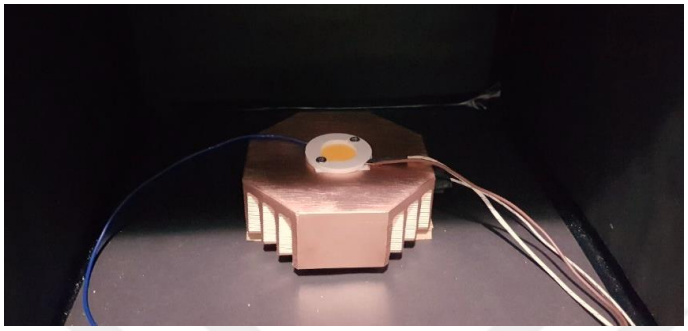
Teorik hesaplamalarda görüldüğü (bknz: Tablo 4.15) gibi deneysel uygulamada da 4. COB LED ile 6. Soğutucunun bir arada kullanılması uygun olmadığı LED kılıf sıcaklığının 85 °C'yi geçmesinden anlaşılmaktadır. LED'lerin zarar görmemesi açısından T_c sıcaklığı 85 °C'yi aştığında deney sonlandırılmıştır.

Tablo 5.13. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (Parlak) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (T_c)	Soğutucu Sıcaklığı (T_s)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	28	24	3523	**420**	68	66	3170
30	31	26	3498	**450**	69	67	3167
50	34	29	3474	**480**	71	69	3147
60	35	30	3463	**510**	72	71	3134
90	39	34	3432	**540**	74	73	3109
120	43	38	3402	**570**	75	74	3105
150	46	42	3372	**600**	76	75	3086
180	49	45	3344	**630**	77	76	3093
210	52	49	3316	**660**	78	77	3078
240	54	52	3292	**720**	80	79	3060
270	57	54	3264	**780**	81	81	3052
300	59	57	3254	**840**	82	83	3031
330	62	59	3235	**900**	84	84	3025
360	64	62	3217	**960**	85	85	3016
390	66	64	3198	**1020**	86	86	3006

5.15. 40W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø114 soğutucu (1. soğutucu) kullanılmıştır.



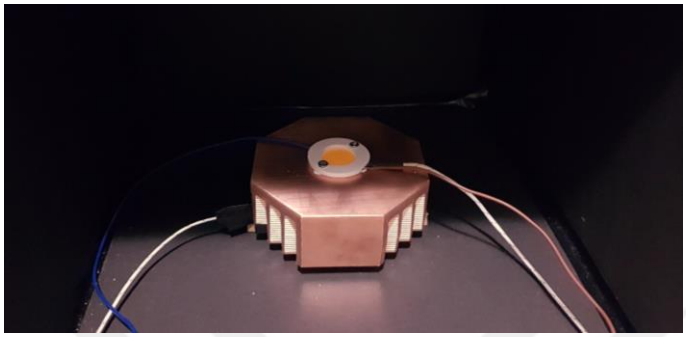
Şekil 5.30. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.14. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	25	21	15540	**1080**	55	52	14540
30	26	22	15520	**1140**	56	53	14510
50	27	23	15490	**1200**	56	54	14480
60	28	23	15470	**1260**	57	55	14460
90	29	25	15440	**1320**	58	55	14430
120	30	26	15400	**1380**	59	56	14410
150	31	27	15370	**1440**	59	57	14390
180	32	28	15330	**1500**	59	57	14370
210	34	30	15290	**1560**	60	58	14360
240	35	31	15260	**1620**	60	58	14340
270	36	32	15220	**1680**	61	58	14330
300	37	33	15180	**1740**	61	59	14320
330	38	35	15150	**1800**	61	59	14310
360	39	36	15110	**1920**	62	60	14280
390	40	37	15080	**2040**	62	60	14260
420	41	38	15050	**2160**	63	61	14240
450	42	39	15010	**2280**	63	61	14230
480	43	39	14980	**2400**	64	61	14220
510	44	40	14950	**2700**	64	61	14200
540	44	41	14930	**3000**	65	62	14180
570	45	42	14900	**3300**	65	62	14170
600	46	43	14870	**3600**	65	62	14170
630	47	44	14850	**4200**	65	63	14160
660	47	44	14820	**4800**	66	63	14160
720	49	46	14770	**5400**	66	63	14160
780	50	47	14720	**6300**	66	63	14160
840	51	48	14680	**7200**	66	63	14160
900	52	49	14650	**9000**	66	63	14150
960	53	51	14610	**10800**	66	63	14150
1020	54	51	14570				

5.16. 40W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø114 soğutucu (1. soğutucu) kullanılmıştır.



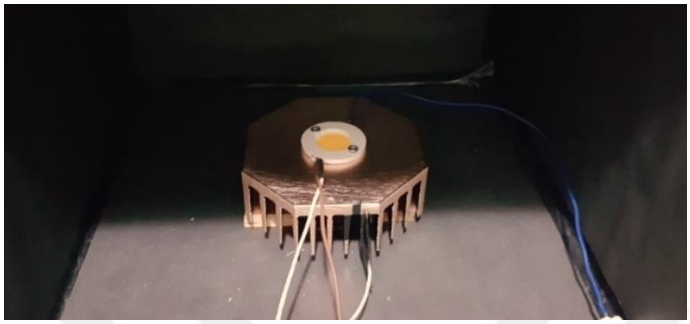
Şekil 5.31. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.15. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	22	15510	**1080**	55	52	14450
30	28	22	15470	**1140**	56	53	14420
50	29	23	15440	**1200**	57	54	14390
60	29	24	15440	**1260**	57	54	14370
90	30	25	15390	**1320**	58	55	14350
120	31	26	15350	**1380**	59	55	14320
150	33	28	15300	**1440**	59	56	14300
180	34	29	15270	**1500**	59	57	14280
210	35	29	15220	**1560**	60	57	14260
240	36	31	15180	**1620**	60	57	14250
270	37	32	15140	**1680**	61	58	14240
300	38	33	15110	**1740**	61	58	14220
330	39	35	15060	**1800**	61	59	14210
360	40	36	15030	**1920**	62	59	14190
390	41	37	15000	**2040**	62	60	14170
420	42	38	14970	**2160**	63	60	14150
450	43	39	14930	**2280**	63	61	14140
480	44	39	14900	**2400**	63	61	14130
510	45	40	14870	**2700**	64	61	14110
540	45	41	14840	**3000**	64	62	14100
570	46	42	14810	**3300**	65	62	14080
600	47	43	14780	**3600**	65	63	14070
630	48	44	14750	**4200**	65	63	14060
660	48	44	14730	**4800**	66	63	14050
720	49	46	14680	**5400**	66	64	14040
780	51	47	14640	**6300**	66	64	14040
840	52	48	14600	**7200**	66	64	14030
900	53	49	14550	**9000**	66	64	14030
960	54	50	14510	**10800**	66	64	14030
1020	55	51	14480				

5.17. 40W COB LED – 6063 Ø114 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø114 soğutucu (1. soğutucu) kullanılmıştır.



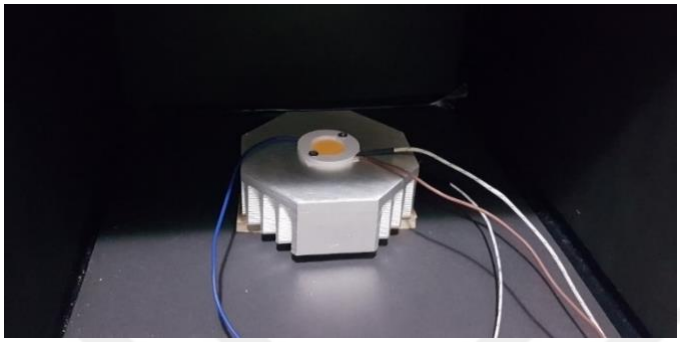
Şekil 5.32. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.16. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	25	20	15580	**1080**	56	52	14530
30	26	21	15550	**1140**	56	53	14500
50	27	22	15530	**1200**	57	54	14470
60	27	22	15510	**1260**	58	55	14440
90	29	24	15470	**1320**	59	56	14420
120	30	25	15430	**1380**	59	56	14400
150	31	26	15400	**1440**	60	57	14370
180	32	28	15360	**1500**	60	57	14350
210	33	29	15310	**1560**	61	58	14330
240	34	30	15290	**1620**	61	59	14320
270	36	31	15250	**1680**	62	59	14290
300	37	32	15220	**1740**	62	59	14280
330	38	33	15180	**1800**	63	60	14260
360	39	34	15150	**1920**	63	61	14230
390	40	35	15100	**2040**	63	61	14220
420	41	36	15070	**2160**	64	62	14200
450	42	37	15040	**2280**	65	62	14180
480	43	38	15010	**2400**	65	63	14170
510	44	39	14970	**2700**	66	64	14150
540	44	40	14940	**3000**	66	64	14130
570	45	41	14920	**3300**	66	64	14120
600	46	42	14890	**3600**	67	65	14110
630	47	42	14860	**4200**	67	65	14100
660	48	43	14830	**4800**	67	65	14100
720	49	45	14780	**5400**	67	65	14100
780	50	46	14730	**6300**	68	66	14070
840	52	48	14680	**7200**	68	66	14060
900	53	49	14640	**9000**	68	66	14060
960	54	50	14600	**10800**	68	66	14060
1020	55	51	14570				

5.18. 40W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø114 soğutucu (1. soğutucu) kullanılmıştır.



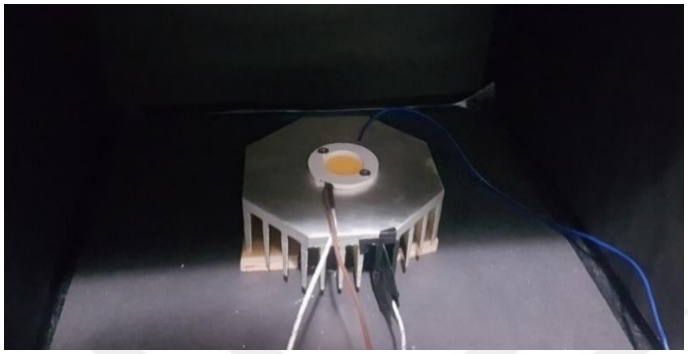
Şekil 5.33. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.17. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	25	21	15580	**1080**	56	53	14530
30	26	21	15550	**1140**	56	54	14490
50	27	23	15520	**1200**	57	55	14470
60	28	24	15480	**1260**	58	55	14440
90	29	25	15490	**1320**	58	56	14420
120	30	26	15420	**1380**	59	57	14400
150	32	28	15380	**1440**	59	58	14380
180	33	29	15350	**1500**	60	58	14350
210	34	30	15310	**1560**	60	58	14330
240	35	32	15270	**1620**	61	59	14320
270	36	33	15230	**1680**	61	59	14310
300	37	34	15190	**1740**	62	60	14290
330	39	35	15150	**1800**	62	60	14280
360	40	36	15120	**1920**	63	61	14260
390	41	37	15080	**2040**	63	61	14230
420	41	38	15040	**2160**	63	61	14230
450	42	39	15010	**2280**	64	62	14220
480	43	40	14980	**2400**	64	62	14210
510	44	41	14950	**2700**	65	63	14180
540	45	42	14920	**3000**	66	63	14160
570	46	43	14890	**3300**	66	63	14170
600	47	44	14860	**3600**	66	64	14160
630	47	44	14840	**4200**	65	63	14170
660	48	45	14800	**4800**	65	63	14160
720	49	47	14750	**5400**	67	64	14140
780	51	48	14720	**6300**	66	64	14130
840	52	49	14670	**7200**	67	63	14140
900	53	50	14630	**9000**	67	64	14140
960	54	52	14590	**10800**	67	64	14140
1020	55	52	14560				

5.19. 40W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø114 soğutucu (1. soğutucu) kullanılmıştır.



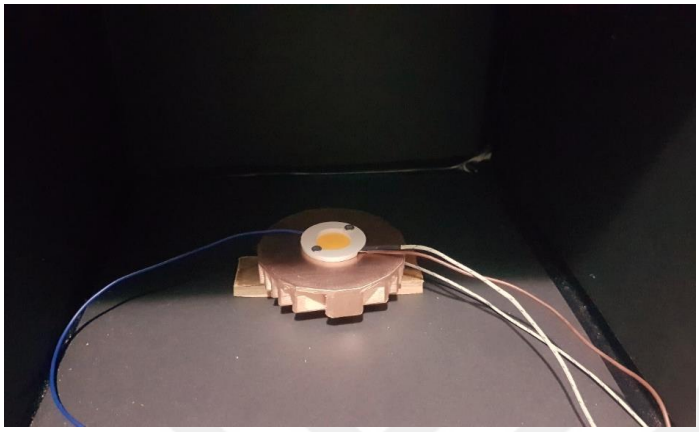
Şekil 5.34. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.18. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	25	21	15720	**1080**	54	52	14600
30	26	22	15660	**1140**	55	53	14570
50	27	23	15520	**1200**	56	54	14540
60	27	24	15500	**1260**	57	55	14510
90	29	25	15470	**1320**	57	56	14490
120	30	26	15430	**1380**	58	56	14460
150	31	27	15400	**1440**	58	57	14440
180	32	29	15390	**1500**	59	57	14420
210	34	30	15360	**1560**	59	58	14400
240	35	31	15330	**1620**	60	58	14380
270	36	33	15300	**1680**	60	59	14370
300	37	34	15260	**1740**	60	59	14350
330	38	35	15220	**1800**	61	60	14340
360	39	36	15190	**1920**	61	60	14320
390	40	37	15150	**2040**	62	61	14300
420	41	38	15120	**2160**	63	62	14270
450	41	39	15090	**2280**	63	62	14240
480	42	40	15050	**2400**	64	63	14240
510	43	41	15030	**2700**	66	64	14210
540	44	42	15000	**3000**	66	64	14190
570	45	42	14960	**3300**	66	64	14180
600	45	43	14940	**3600**	66	64	14180
630	46	44	14910	**4200**	66	64	14180
660	47	45	14880	**4800**	66	64	14170
720	48	46	14830	**5400**	66	64	14170
780	50	48	14780	**6300**	66	64	14170
840	51	49	14730	**7200**	66	64	14170
900	52	50	14700	**9000**	66	64	14170
960	53	51	14660	**10800**	66	64	14170
1020	54	52	14630				

5.20. 40W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



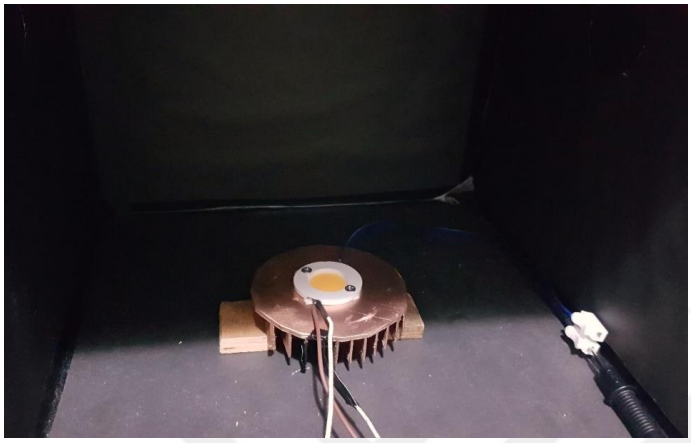
Şekil 5.35. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.19. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	20	13690
30	30	23	13600
50	33	26	13500
60	34	28	13490
90	39	32	13320
120	43	36	13200
150	47	40	13070
180	51	44	12950
210	54	48	12830
240	57	51	12730
270	60	54	12640
300	63	54	12550
330	66	60	12470
360	68	62	12390
390	71	64	12320
420	73	66	12240
450	75	68	12180
480	76	70	12120
510	78	72	12070
540	80	74	12010
570	82	75	11950
600	83	77	11900
630	84	78	11850
660	85	80	11770

5.21. 40W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



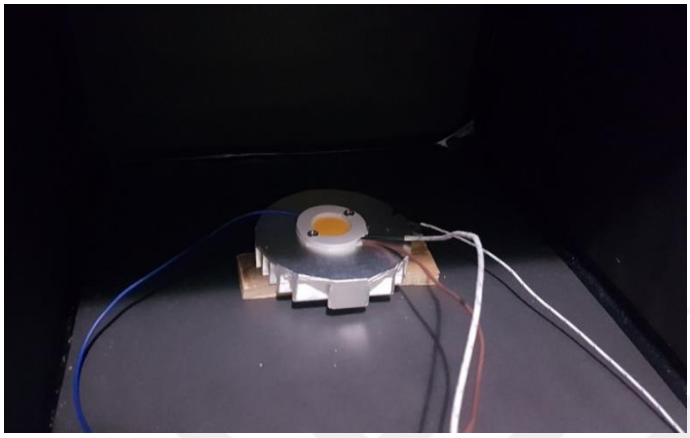
Şekil 5.36. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.20. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	21	13690
30	30	24	13590
50	33	27	13490
60	34	28	13440
90	39	33	13300
120	43	37	13170
150	47	41	13040
180	50	45	12920
210	54	51	12810
240	57	52	12710
270	60	55	12620
300	63	58	12520
330	65	61	12440
360	68	63	12360
390	70	66	12280
420	72	68	12210
450	74	70	12140
480	76	72	12080
510	79	75	12000
540	80	76	11960
570	81	77	11910
600	82	79	11870
630	84	81	11810
660	85	83	11750
720	87	86	11680

5.22. 40W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



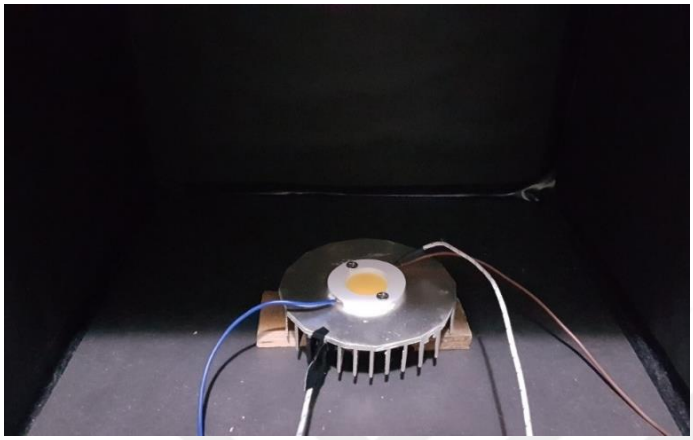
Şekil 5.37. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.21. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	21	13670
30	30	24	13540
50	33	27	13430
60	35	29	13390
90	39	34	13230
120	43	38	13120
150	47	42	12980
180	51	46	12850
210	54	50	12760
240	58	53	12660
270	61	57	12560
300	64	60	12470
330	67	63	12380
360	69	65	12290
390	71	68	12230
420	74	70	12150
450	76	73	12080
480	78	75	12020
510	79	77	11950
540	81	79	11890
570	82	80	11860
600	83	80	11820
630	84	81	11800
660	85	83	11750

5.23. 40W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



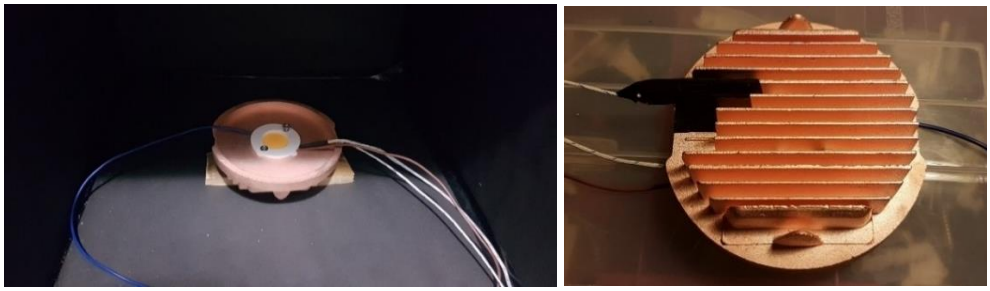
Şekil 5.38. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.22. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	21	13710
30	30	24	13600
50	33	27	13510
60	34	28	13460
90	39	33	13320
120	43	37	13190
150	46	41	13060
180	50	45	12940
210	53	49	12810
240	56	51	12710
270	59	55	12630
300	62	59	12530
330	64	61	12460
360	67	64	12370
390	69	66	12300
420	71	69	12230
450	73	71	12160
480	75	73	12090
510	77	75	12030
540	78	77	11970
570	80	79	11920
600	82	81	11840
630	84	83	11810
660	85	83	11780
720	87	85	11720

5.24. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



Şekil 5.39. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.23. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	19	13780
30	28	21	13710
50	30	24	13660
60	31	24	13630
90	34	27	13550
120	36	30	13470
150	39	32	13400
180	41	35	13320
210	43	37	13250
240	46	40	13180
270	47	42	13110
300	50	44	13030
330	52	47	12970
360	54	49	12900
390	55	50	12840
420	57	52	12780
450	59	54	12730
480	61	56	12680
510	62	58	12630
540	64	60	12580
570	65	61	12520
600	67	63	12480
630	68	64	12430
660	69	66	12390
720	72	68	12310
780	74	71	12230
840	76	73	12160
900	78	75	12090
960	80	77	12030
1020	81	79	11970
1080	83	81	11920
1140	84	82	11870
1200	86	84	11820

5.25. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



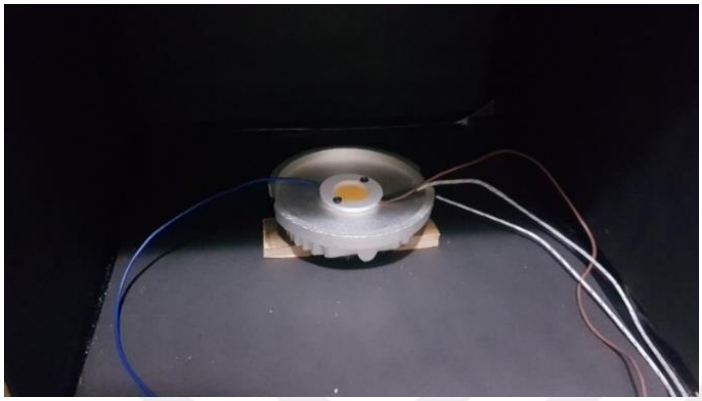
Şekil 5.40. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.24. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	29	20	13620
30	32	23	13540
50	34	24	13480
60	35	25	13450
90	38	29	13370
120	41	32	13290
150	43	34	13200
180	45	36	13130
210	48	39	13050
240	50	41	12980
270	52	43	12900
300	54	45	12830
330	56	47	12770
360	58	50	12710
390	59	51	12650
420	61	53	12590
450	63	55	12530
480	65	57	12480
510	66	59	12420
540	68	62	12370
570	69	63	12320
600	71	64	12280
630	73	67	12230
660	74	68	12180
720	77	71	12100
780	79	74	12020
840	81	76	11950
900	83	79	11880
960	85	82	11830
1020	87	84	11770

5.26. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



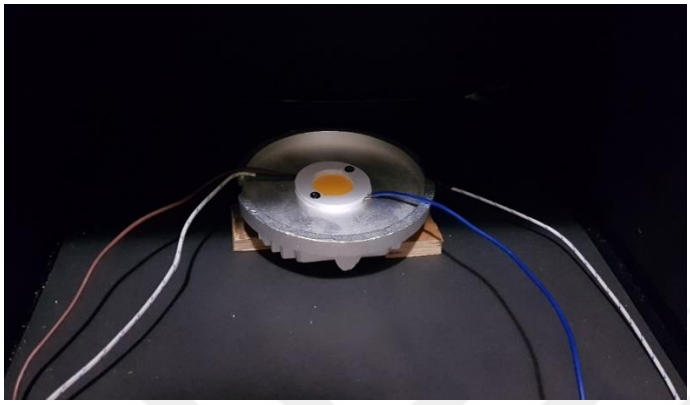
Şekil 5.41. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.25. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	21	13800	**510**	61	57	12640
30	29	22	13720	**540**	62	59	12590
50	30	24	13660	**570**	64	61	12550
60	31	26	13620	**600**	65	62	12500
90	34	28	13560	**630**	66	63	12450
120	36	30	13470	**660**	68	65	12410
150	39	33	13400	**720**	69	67	12340
180	41	35	13320	**780**	72	70	12260
210	43	38	13250	**840**	74	72	12180
240	45	40	13180	**900**	76	74	12130
270	47	42	13110	**960**	77	76	12080
300	49	44	13040	**1020**	79	77	12020
330	51	47	12970	**1080**	80	79	11970
360	53	48	12910	**1140**	81	81	11930
390	55	50	12840	**1200**	83	82	11880
420	56	52	12790	**1260**	84	83	11850
450	58	54	12740	**1320**	85	84	11820
480	59	56	12690				

5.27. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



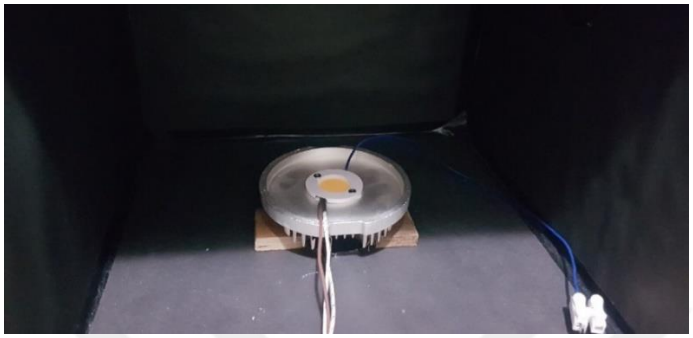
Şekil 5.42. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.26. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	30	22	13670
30	33	24	13610
50	35	27	13550
60	36	30	13520
90	38	31	13460
120	40	33	13400
150	43	36	13320
180	45	40	13240
210	47	42	13160
240	50	44	13100
270	52	47	13020
300	54	49	12950
330	56	51	12880
360	58	53	12820
390	60	56	12760
420	62	58	12700
450	63	60	12650
480	65	62	12600
510	67	63	12540
540	69	65	12490
570	70	67	12440
600	72	69	12390
630	74	71	12330
660	75	73	12290
720	77	75	12210
780	79	78	12130
840	82	80	12060
900	84	82	11990
960	86	84	11920

5.28. 40W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 40 W COB LED (1. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



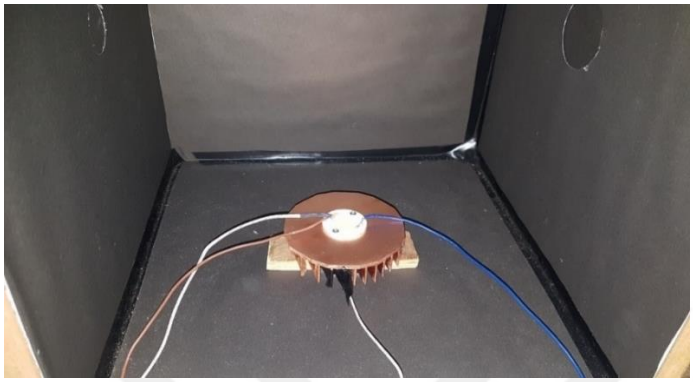
Şekil 5.43. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.27. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	20	13860
30	30	22	13790
50	31	23	13720
60	32	24	13690
90	35	27	13610
120	37	29	13530
150	40	33	13450
180	42	35	13360
210	45	38	13290
240	47	41	13210
270	49	43	13140
300	51	46	13060
330	53	47	12980
360	55	50	12910
390	57	53	12850
420	59	55	12780
450	61	57	12730
480	62	58	12680
510	64	60	12620
540	65	61	12570
570	67	63	12510
600	68	65	12470
630	70	66	12390
660	72	69	12350
720	74	71	12260
780	77	75	12180
840	78	76	12110
900	80	78	12030
960	82	80	11960
1020	84	82	11900
1080	86	84	11840

5.29. 30W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



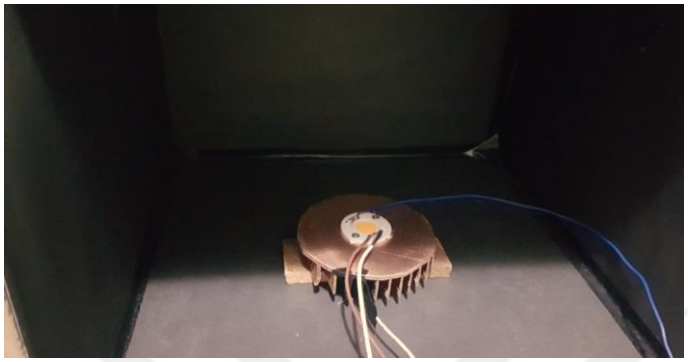
Şekil 5.44. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.28. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	30	18	8390	**1080**	79	74	7290
30	34	20	8350	**1140**	80	75	7270
50	36	22	8310	**1200**	80	75	7250
60	37	23	8280	**1260**	81	76	7240
90	40	27	8220	**1320**	81	76	7230
120	43	30	8170	**1380**	82	76	7210
150	45	33	8100	**1440**	83	77	7200
180	48	36	8050	**1500**	83	77	7210
210	50	39	7990	**1560**	83	78	7190
240	52	41	7940	**1620**	83	78	7190
270	55	45	7870	**1680**	83	78	7180
300	56	46	7840	**1740**	83	78	7180
330	58	48	7800	**1800**	84	78	7170
360	60	50	7750	**1920**	83	79	7170
390	61	52	7720	**2040**	84	79	7170
420	63	54	7690	**2160**	84	79	7170
450	64	56	7660	**2280**	84	79	7170
480	65	57	7630	**2400**	83	79	7170
510	67	59	7600	**2700**	84	79	7170
540	68	60	7570	**3000**	84	79	7160
570	68	62	7550	**3300**	84	79	7170
600	70	63	7520	**3600**	84	78	7170
630	70	64	7500	**4200**	84	79	7160
660	71	65	7480	**4800**	85	79	7160
720	73	67	7440	**5400**	85	80	7160
780	74	68	7400	**6300**	85	80	7160
840	75	70	7360	**7200**	85	80	7160
900	76	71	7350	**9000**	85	80	7160
960	78	72	7330	**10800**	85	80	7160
1020	78	73	7300				

5.30. 30W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



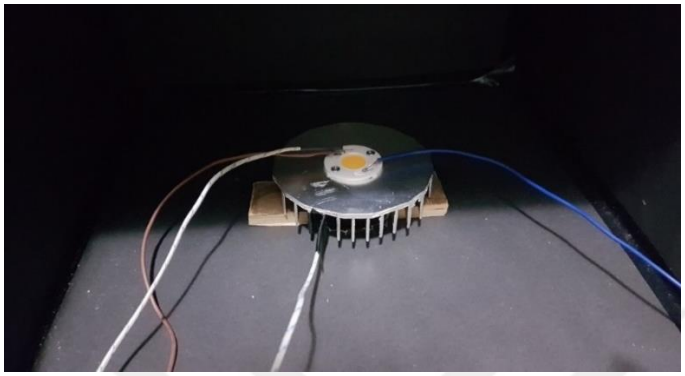
Şekil 5.45. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.29. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	28	18	8330	**1080**	77	74	7240
30	30	20	8280	**1140**	77	75	7220
50	32	22	8230	**1200**	78	75	7210
60	34	23	8210	**1260**	78	75	7210
90	36	26	8150	**1320**	78	76	7200
120	39	30	8090	**1380**	78	76	7190
150	42	33	8030	**1440**	79	76	7190
180	44	36	7980	**1500**	79	77	7180
210	47	39	7920	**1560**	79	77	7180
240	49	41	7870	**1620**	79	77	7170
270	51	44	7820	**1680**	80	78	7160
300	54	46	7770	**1740**	80	78	7160
330	56	49	7720	**1800**	80	78	7150
360	57	50	7690	**1920**	80	78	7150
390	59	52	7660	**2040**	81	79	7140
420	61	54	7620	**2160**	81	79	7140
450	62	56	7590	**2280**	81	79	7130
480	63	57	7560	**2400**	82	80	7120
510	64	59	7530	**2700**	82	80	7110
540	66	60	7500	**3000**	82	80	7110
570	67	62	7480	**3300**	82	80	7110
600	68	63	7460	**3600**	82	80	7110
630	69	64	7430	**4200**	82	80	7110
660	70	65	7410	**4800**	82	80	7110
720	71	67	7380	**5400**	82	80	7110
780	72	69	7360	**6300**	82	80	7110
840	74	70	7310	**7200**	82	80	7110
900	75	71	7290	**9000**	82	80	7110
960	75	72	7280	**10800**	82	80	7110
1020	76	73	7250				

5.31. 30W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



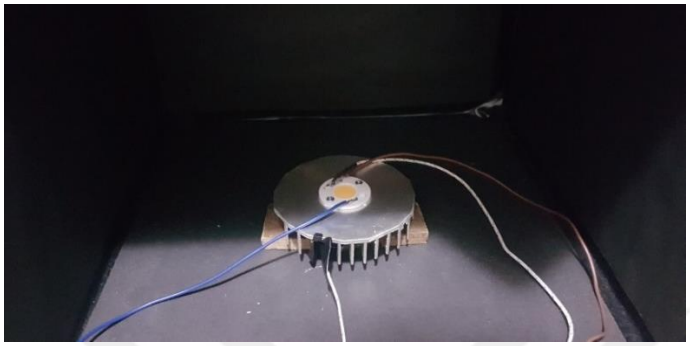
Şekil 5.46. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.30. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	28	18	8390	**1080**	80	74	7260
30	31	19	8350	**1140**	80	75	7250
50	34	23	8300	**1200**	81	76	7240
60	35	24	8280	**1260**	82	76	7220
90	39	26	8210	**1320**	82	77	7210
120	41	29	8150	**1380**	83	77	7200
150	44	33	8090	**1440**	83	77	7190
180	47	36	8030	**1500**	83	78	7190
210	49	38	7970	**1560**	84	78	7180
240	52	41	7920	**1620**	84	78	7170
270	54	43	7870	**1680**	84	79	7170
300	56	46	7820	**1740**	84	79	7170
330	58	48	7780	**1800**	84	79	7170
360	59	50	7750	**1920**	84	79	7170
390	61	52	7700	**2040**	84	79	7170
420	63	54	7660	**2160**	84	79	7170
450	64	56	7630	**2280**	84	79	7170
480	66	57	7600	**2400**	84	79	7170
510	67	59	7570	**2700**	84	79	7170
540	68	60	7540	**3000**	84	79	7170
570	70	61	7510	**3300**	84	79	7170
600	71	63	7480	**3600**	84	79	7170
630	72	64	7450	**4200**	84	79	7170
660	73	65	7440	**4800**	84	79	7170
720	74	67	7400	**5400**	84	79	7170
780	75	68	7380	**6300**	84	79	7170
840	76	70	7350	**7200**	84	79	7170
900	77	71	7320	**9000**	84	79	7170
960	78	72	7300	**10800**	84	79	7170
1020	79	73	7280				

5.32. 30W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



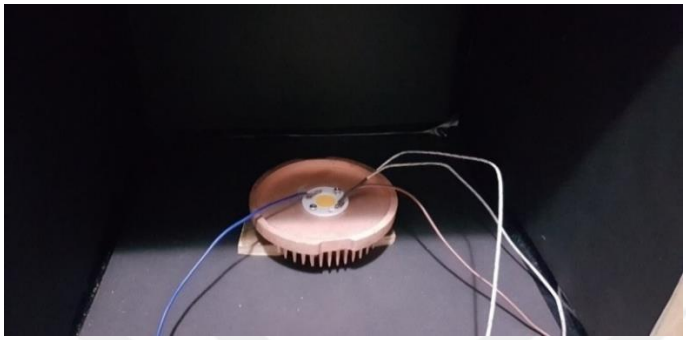
Şekil 5.47. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.31. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm sonuçları

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	28	19	8310	**1080**	78	76	7200
30	32	22	8270	**1140**	78	77	7180
50	34	24	8230	**1200**	79	77	7170
60	35	25	8200	**1260**	79	77	7170
90	38	28	8140	**1320**	79	77	7160
120	41	32	8070	**1380**	79	77	7160
150	43	35	8020	**1440**	79	78	7160
180	45	38	7960	**1500**	80	78	7160
210	48	41	7900	**1560**	80	78	7150
240	50	43	7860	**1620**	80	78	7150
270	52	46	7800	**1680**	80	78	7150
300	54	48	7760	**1740**	80	78	7150
330	56	50	7710	**1800**	80	78	7150
360	57	52	7670	**1920**	80	79	7140
390	58	54	7640	**2040**	81	80	7130
420	60	56	7610	**2160**	82	80	7120
450	61	58	7580	**2280**	83	81	7110
480	62	59	7550	**2400**	83	81	7100
510	64	60	7530	**2700**	84	82	7070
540	65	62	7490	**3000**	84	83	7060
570	66	63	7460	**3300**	84	83	7060
600	67	64	7450	**3600**	84	83	7060
630	69	65	7420	**4200**	84	83	7060
660	69	66	7400	**4800**	84	83	7060
720	71	68	7370	**5400**	84	83	7060
780	72	70	7320	**6300**	84	83	7060
840	73	71	7290	**7200**	84	83	7060
900	76	73	7260	**9000**	84	83	7060
960	77	74	7240	**10800**	84	83	7060
1020	77	75	7220				

5.33. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



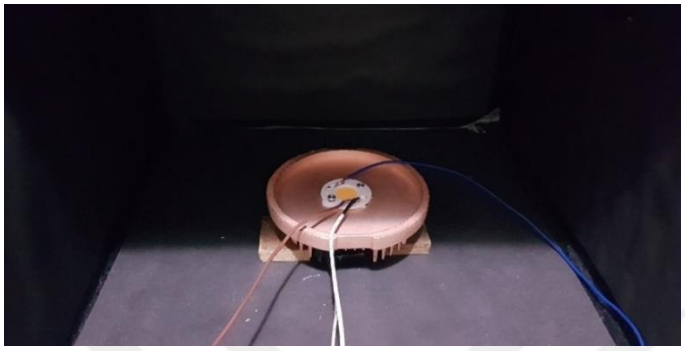
Şekil 5.48. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.32. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	29	20	8550	**1080**	68	64	7640
30	32	21	8510	**1140**	69	65	7610
50	34	23	8490	**1200**	70	66	7580
60	35	23	8470	**1260**	70	67	7570
90	37	26	8430	**1320**	72	68	7530
120	38	27	8410	**1380**	72	69	7530
150	40	29	8380	**1440**	73	70	7510
180	41	31	8340	**1500**	73	70	7490
210	43	33	8310	**1560**	74	71	7480
240	44	34	8280	**1620**	74	72	7460
270	46	36	8250	**1680**	75	72	7450
300	48	38	8220	**1740**	76	73	7430
330	50	39	8180	**1800**	76	73	7430
360	51	41	8150	**1920**	77	73	7400
390	52	42	8120	**2040**	77	75	7380
420	53	43	8090	**2160**	78	76	7380
450	54	45	8070	**2280**	79	76	7350
480	55	46	8040	**2400**	79	76	7340
510	56	47	8010	**2700**	80	77	7310
540	57	48	7980	**3000**	81	78	7300
570	57	50	7960	**3300**	81	78	7290
600	58	51	7930	**3600**	82	79	7280
630	59	52	7910	**4200**	82	79	7280
660	59	53	7880	**4800**	81	78	7290
720	60	55	7840	**5400**	81	78	7290
780	62	57	7800	**6300**	81	78	7290
840	63	58	7760	**7200**	81	78	7280
900	65	60	7720	**9000**	81	78	7280
960	66	61	7700	**10800**	81	78	7280
1020	67	62	7680				

5.34. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



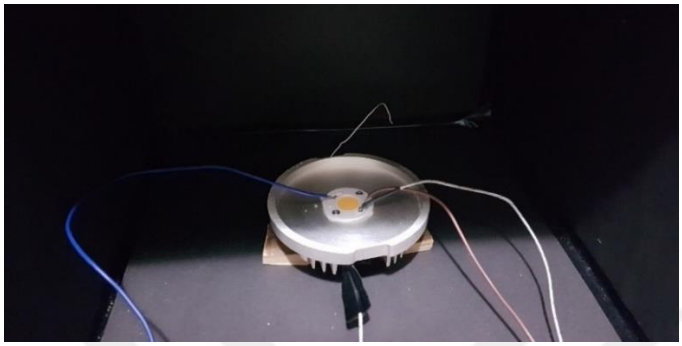
Şekil 5.49. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.33. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	29	19	8420	**1080**	68	62	7530
30	31	21	8380	**1140**	70	63	7500
50	32	22	8350	**1200**	71	64	7480
60	33	23	8340	**1260**	71	65	7460
90	35	25	8310	**1320**	72	67	7440
120	37	26	8270	**1380**	73	68	7430
150	38	28	8240	**1440**	74	68	7400
180	40	30	8210	**1500**	75	69	7390
210	41	31	8180	**1560**	75	70	7370
240	43	33	8140	**1620**	75	71	7350
270	44	35	8110	**1680**	76	71	7340
300	45	36	8080	**1740**	76	72	7330
330	47	38	8050	**1800**	77	72	7320
360	48	39	8020	**1920**	78	73	7310
390	49	40	7990	**2040**	79	74	7280
420	50	42	7960	**2160**	79	75	7260
450	51	43	7940	**2280**	80	75	7250
480	52	44	7910	**2400**	80	76	7240
510	54	46	7880	**2700**	81	77	7220
540	55	47	7860	**3000**	82	78	7200
570	55	48	7830	**3300**	83	79	7180
600	57	49	7810	**3600**	83	79	7170
630	58	50	7790	**4200**	84	80	7160
660	58	51	7760	**4800**	84	80	7160
720	60	53	7720	**5400**	84	80	7150
780	62	55	7680	**6300**	85	81	7150
840	63	57	7650	**7200**	85	81	7140
900	64	58	7620	**9000**	85	81	7140
960	66	59	7580	**10800**	85	81	7140
1020	67	61	7560				

5.35. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



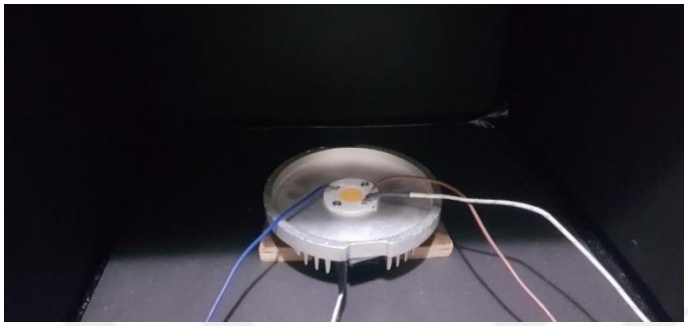
Şekil 5.50. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.34. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	29	20	8550	**1080**	68	63	7660
30	32	21	8520	**1140**	69	64	7630
50	33	22	8490	**1200**	70	65	7610
60	34	23	8470	**1260**	71	66	7590
90	36	25	8440	**1320**	72	67	7570
120	37	27	8400	**1380**	72	68	7560
150	39	29	8370	**1440**	73	69	7540
180	41	30	8330	**1500**	73	69	7530
210	42	32	8300	**1560**	74	70	7510
240	43	34	8270	**1620**	74	71	7500
270	45	35	8230	**1680**	75	71	7490
300	46	37	8200	**1740**	75	72	7480
330	47	38	8170	**1800**	76	72	7460
360	49	40	8140	**1920**	76	73	7450
390	50	41	8110	**2040**	77	74	7440
420	51	42	8080	**2160**	77	74	7420
450	52	44	8050	**2280**	78	75	7410
480	53	45	8020	**2400**	79	75	7400
510	55	46	8000	**2700**	79	77	7390
540	55	48	7990	**3000**	79	77	7370
570	57	49	7950	**3300**	79	77	7370
600	58	50	7920	**3600**	79	78	7370
630	58	51	7900	**4200**	79	77	7380
660	59	52	7880	**4800**	79	77	7380
720	61	54	7840	**5400**	80	77	7370
780	62	56	7800	**6300**	80	78	7370
840	64	57	7770	**7200**	79	77	7380
900	65	59	7730	**9000**	80	78	7370
960	66	60	7700	**10800**	80	78	7370
1020	67	62	7670				

5.36. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



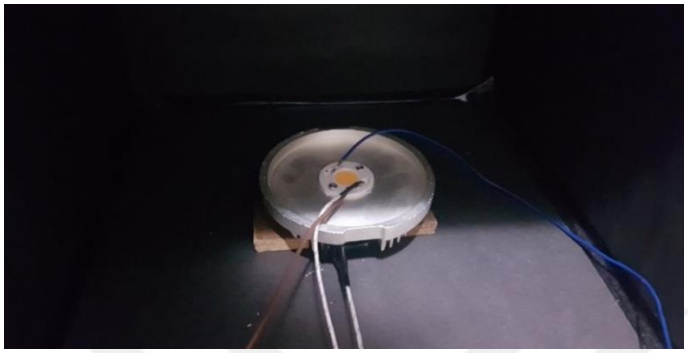
Şekil 5.51. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.35. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	30	17	8550	**1080**	70	63	7630
30	31	19	8520	**1140**	71	65	7610
50	33	20	8500	**1200**	72	66	7590
60	34	21	8480	**1260**	73	67	7560
90	35	23	8450	**1320**	74	68	7540
120	37	25	8410	**1380**	75	69	7520
150	39	27	8370	**1440**	76	70	7500
180	41	29	8340	**1500**	77	70	7480
210	42	31	8310	**1560**	77	71	7470
240	43	32	8280	**1620**	77	72	7460
270	45	34	8240	**1680**	78	72	7450
300	46	36	8210	**1740**	78	73	7420
330	48	37	8180	**1800**	78	74	7420
360	49	39	8150	**1920**	79	75	7400
390	51	40	8120	**2040**	79	75	7380
420	52	42	8080	**2160**	79	76	7360
450	53	43	8060	**2280**	80	76	7360
480	54	45	8040	**2400**	80	77	7350
510	55	46	8010	**2700**	80	77	7350
540	57	47	7980	**3000**	80	77	7340
570	58	48	7950	**3300**	81	78	7330
600	58	50	7930	**3600**	81	78	7320
630	59	51	7900	**4200**	81	79	7320
660	60	52	7880	**4800**	82	79	7310
720	62	54	7840	**5400**	82	79	7310
780	64	56	7800	**6300**	82	79	7300
840	65	57	7760	**7200**	83	80	7290
900	67	59	7710	**9000**	83	80	7290
960	68	61	7680	**10800**	83	80	7280
1020	69	62	7650				

5.37. 30W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



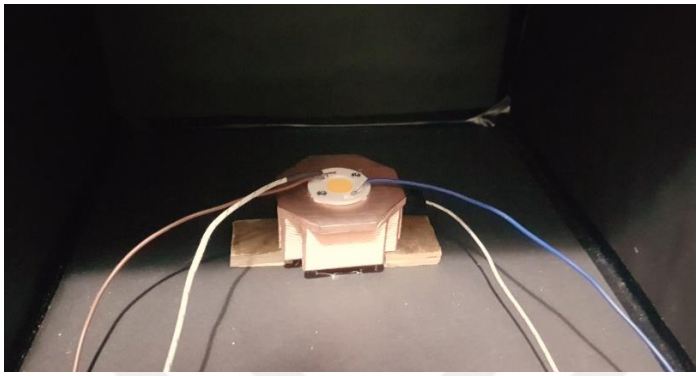
Şekil 5.52. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.36. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	28	18	8450	**1080**	66	64	7550
30	31	20	8410	**1140**	67	65	7520
50	32	21	8390	**1200**	68	66	7490
60	33	22	8380	**1260**	69	67	7470
90	35	24	8340	**1320**	70	68	7460
120	37	26	8310	**1380**	71	68	7450
150	38	27	8270	**1440**	71	69	7430
180	39	29	8240	**1500**	72	70	7410
210	41	31	8200	**1560**	73	71	7400
240	42	33	8170	**1620**	73	72	7380
270	43	34	8140	**1680**	74	72	7370
300	45	36	8100	**1740**	74	73	7360
330	45	38	8070	**1800**	75	73	7350
360	47	39	8050	**1920**	75	74	7320
390	47	41	8020	**2040**	76	75	7310
420	49	42	7990	**2160**	77	76	7300
450	49	43	7960	**2280**	78	76	7280
480	50	45	7940	**2400**	78	77	7270
510	51	46	7910	**2700**	79	78	7250
540	53	47	7880	**3000**	80	79	7230
570	54	49	7850	**3300**	81	80	7220
600	55	50	7830	**3600**	82	81	7200
630	55	51	7810	**4200**	82	81	7190
660	56	52	7780	**4800**	83	82	7190
720	57	54	7750	**5400**	83	82	7180
780	59	56	7700	**6300**	84	83	7180
840	62	58	7660	**7200**	84	83	7180
900	62	58	7640	**9000**	84	83	7170
960	64	61	7610	**10800**	84	83	7170
1020	64	62	7580				

5.38. 30W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



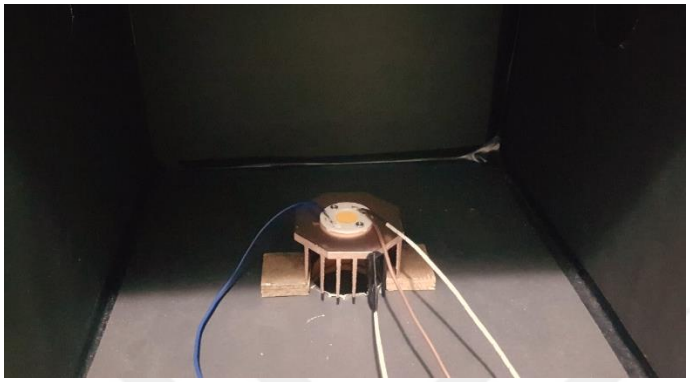
Şekil 5.53. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.37. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	17	9230	**1080**	75	66	8030
30	29	20	9180	**1140**	76	66	8020
50	32	22	9130	**1200**	76	66	8000
60	33	23	9100	**1260**	76	66	7990
90	36	27	9030	**1320**	77	67	7980
120	40	30	8950	**1380**	77	67	7970
150	42	33	8910	**1440**	77	67	7970
180	45	36	8840	**1500**	77	67	7960
210	47	39	8780	**1560**	78	67	7950
240	49	41	8730	**1620**	78	67	7950
270	51	43	8670	**1680**	78	67	7950
300	53	45	8620	**1740**	78	67	7940
330	55	47	8570	**1800**	78	67	7940
360	57	49	8530	**1920**	79	67	7930
390	59	51	8490	**2040**	79	67	7930
420	60	52	8450	**2160**	78	67	7940
450	62	54	8410	**2280**	78	67	7940
480	63	55	8380	**2400**	78	67	7940
510	64	57	8350	**2700**	78	67	7940
540	65	58	8320	**3000**	78	67	7940
570	66	59	8290	**3300**	78	67	7940
600	67	60	8260	**3600**	78	67	7940
630	68	61	8240	**4200**	78	67	7940
660	68	62	8200	**4800**	78	67	7940
720	69	63	8180	**5400**	78	67	7940
780	71	64	8160	**6300**	78	67	7940
840	72	64	8110	**7200**	78	67	7940
900	73	65	8090	**9000**	78	67	7940
960	74	65	8070	**10800**	78	67	7940
1020	75	66	8050				

5.39. 30W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



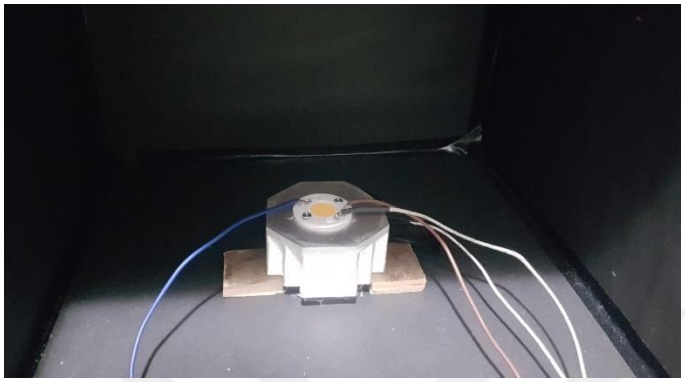
Şekil 5.54. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.38. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	18	9230	**1080**	78	74	7990
30	29	21	9180	**1140**	78	74	7980
50	31	23	9130	**1200**	79	75	7970
60	32	24	9110	**1260**	79	75	7960
90	36	27	9030	**1320**	80	75	7950
120	39	30	8970	**1380**	80	75	7930
150	42	33	8890	**1440**	80	75	7940
180	44	36	8850	**1500**	80	76	7930
210	47	39	8780	**1560**	80	76	7930
240	49	43	8750	**1620**	80	76	7920
270	52	45	8670	**1680**	81	76	7910
300	54	47	8620	**1740**	81	76	7910
330	56	50	8580	**1800**	81	76	7910
360	58	52	8530	**1920**	81	76	7910
390	59	54	8490	**2040**	81	77	7910
420	61	55	8440	**2160**	81	77	7910
450	62	57	8400	**2280**	81	77	7900
480	64	58	8370	**2400**	81	77	7900
510	65	60	8340	**2700**	82	78	7870
540	66	61	8310	**3000**	82	78	7860
570	67	62	8280	**3300**	82	78	7860
600	69	64	8240	**3600**	83	78	7860
630	69	65	8230	**4200**	83	78	7860
660	70	66	8210	**4800**	83	78	7860
720	72	68	8160	**5400**	83	78	7860
780	73	69	8120	**6300**	83	78	7860
840	75	70	8080	**7200**	83	78	7860
900	76	71	8050	**9000**	83	78	7860
960	76	73	8030	**10800**	83	78	7860
1020	77	73	8010				

5.40. 30W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



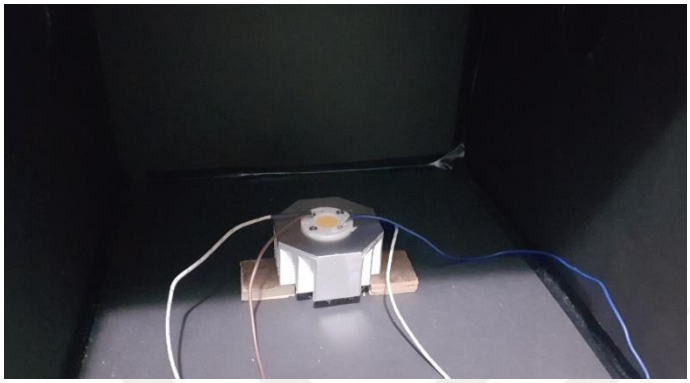
Şekil 5.55. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.39. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	29	18	9170	**1080**	72	64	8110
30	32	24	9110	**1140**	72	64	8110
50	34	26	9050	**1200**	72	64	8120
60	35	27	9030	**1260**	72	65	8110
90	39	31	8950	**1320**	73	65	8100
120	42	34	8890	**1380**	73	65	8090
150	44	37	8830	**1440**	73	65	8090
180	47	40	8770	**1500**	73	65	8080
210	49	42	8720	**1560**	73	65	8080
240	52	44	8660	**1620**	73	65	8080
270	54	47	8570	**1680**	73	65	8080
300	55	48	8560	**1740**	73	65	8080
330	57	50	8520	**1800**	73	65	8080
360	59	53	8460	**1920**	73	65	8080
390	60	53	8440	**2040**	73	65	8080
420	62	55	8390	**2160**	73	65	8080
450	63	56	8370	**2280**	73	65	8080
480	64	57	8350	**2400**	73	65	8080
510	65	59	8310	**2700**	73	65	8080
540	66	60	8300	**3000**	73	65	8080
570	67	61	8270	**3300**	73	65	8080
600	68	61	8250	**3600**	73	65	8080
630	68	62	8230	**4200**	73	65	8080
660	69	63	8210	**4800**	73	65	8080
720	70	64	8180	**5400**	73	65	8080
780	71	64	8150	**6300**	73	65	8080
840	72	65	8130	**7200**	73	65	8080
900	72	65	8120	**9000**	73	65	8080
960	72	65	8110	**10800**	73	65	8080
1020	72	64	8110				

5.41. 30W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



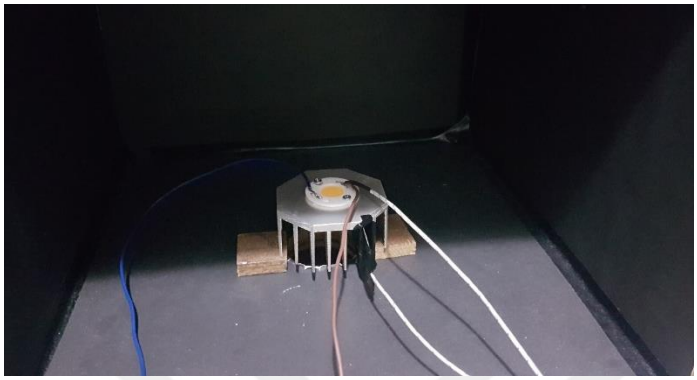
Şekil 5.56. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.40. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	27	19	9230	**1080**	74	68	8080
30	30	21	9180	**1140**	74	68	8070
50	32	23	9130	**1200**	74	68	8070
60	33	24	9100	**1260**	74	68	8060
90	36	28	9030	**1320**	74	68	8060
120	40	31	8980	**1380**	75	68	8060
150	42	34	8900	**1440**	75	69	8050
180	45	37	8830	**1500**	75	69	8050
210	48	40	8770	**1560**	75	69	8040
240	50	43	8710	**1620**	75	69	8030
270	52	45	8660	**1680**	75	69	8030
300	54	47	8610	**1740**	76	69	8020
330	55	49	8560	**1800**	76	69	8020
360	57	51	8510	**1920**	76	69	8010
390	59	53	8480	**2040**	76	69	8000
420	60	54	8450	**2160**	77	69	8000
450	61	55	8400	**2280**	77	70	7990
480	63	57	8380	**2400**	77	70	7980
510	64	58	8340	**2700**	77	70	7980
540	65	59	8320	**3000**	77	70	7980
570	66	60	8280	**3300**	77	70	7980
600	67	61	8270	**3600**	77	70	7980
630	68	62	8250	**4200**	77	70	7980
660	68	63	8230	**4800**	77	70	7980
720	69	65	8190	**5400**	77	70	7980
780	71	66	8150	**6300**	77	70	7980
840	72	66	8130	**7200**	77	70	7980
900	72	67	8120	**9000**	77	70	7980
960	73	67	8110	**10800**	77	70	7980
1020	74	68	8090				

5.42. 30W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 30 W COB LED (2. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



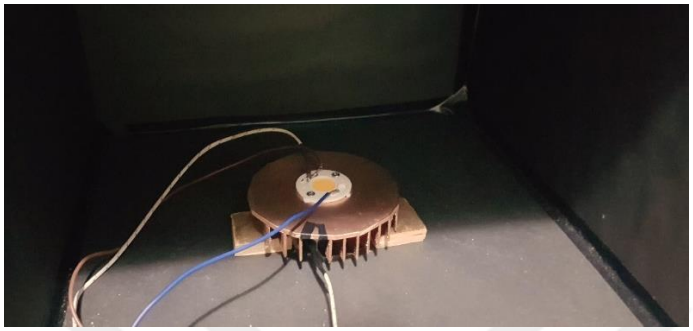
Şekil 5.57. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.41. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	26	16	9260	**1080**	76	72	8050
30	29	22	9200	**1140**	76	73	8050
50	32	25	9140	**1200**	77	73	8020
60	34	27	9100	**1260**	77	74	8020
90	36	29	9040	**1320**	77	74	8020
120	39	33	8980	**1380**	77	74	8010
150	42	36	8920	**1440**	77	74	8010
180	45	39	8850	**1500**	78	75	8000
210	47	41	8800	**1560**	78	75	7990
240	50	44	8740	**1620**	78	75	7990
270	52	47	8670	**1680**	78	75	7980
300	54	49	8630	**1740**	78	75	7980
330	56	51	8580	**1800**	78	75	7980
360	58	53	8530	**1920**	78	75	7980
390	60	54	8490	**2040**	78	75	7980
420	61	56	8460	**2160**	79	75	7970
450	63	58	8420	**2280**	79	75	7970
480	64	59	8390	**2400**	79	75	7970
510	65	60	8360	**2700**	79	75	7970
540	66	62	8330	**3000**	79	76	7960
570	67	63	8310	**3300**	79	76	7960
600	68	64	8290	**3600**	80	76	7950
630	69	65	8260	**4200**	80	77	7940
660	69	66	8240	**4800**	80	77	7940
720	71	67	8210	**5400**	80	77	7940
780	72	68	8170	**6300**	80	77	7940
840	73	69	8120	**7200**	80	77	7940
900	74	70	8110	**9000**	80	77	7940
960	75	71	8090	**10800**	80	77	7940
1020	75	72	8080				

5.43. 18W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



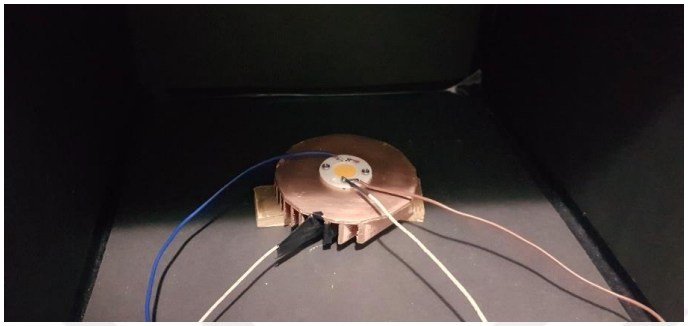
Şekil 5.58. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.42. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	20	5830	**1080**	67	64	5240
30	28	21	5810	**1140**	68	65	5230
50	30	23	5780	**1200**	68	66	5220
60	31	24	5770	**1260**	69	66	5210
90	33	26	5740	**1320**	69	67	5210
120	35	28	5710	**1380**	69	67	5200
150	38	31	5680	**1440**	70	67	5190
180	40	33	5660	**1500**	70	67	5180
210	41	35	5630	**1560**	70	68	5180
240	43	37	5600	**1620**	70	68	5180
270	45	40	5570	**1680**	70	68	5180
300	47	41	5550	**1740**	71	68	5180
330	48	43	5530	**1800**	71	68	5180
360	50	44	5510	**1920**	71	69	5180
390	52	46	5480	**2040**	71	69	5170
420	52	47	5470	**2160**	71	69	5170
450	53	49	5450	**2280**	71	69	5170
480	55	50	5430	**2400**	71	69	5170
510	55	51	5420	**2700**	72	69	5160
540	57	52	5410	**3000**	72	70	5160
570	58	53	5390	**3300**	72	70	5160
600	59	54	5370	**3600**	72	70	5160
630	59	55	5360	**4200**	72	70	5160
660	60	56	5350	**4800**	72	70	5160
720	62	58	5320	**5400**	72	70	5160
780	63	59	5310	**6300**	72	70	5160
840	64	61	5290	**7200**	72	70	5160
900	65	62	5280	**9000**	72	70	5160
960	66	62	5260	**10800**	72	70	5160
1020	66	64	5250				

5.44. 18W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



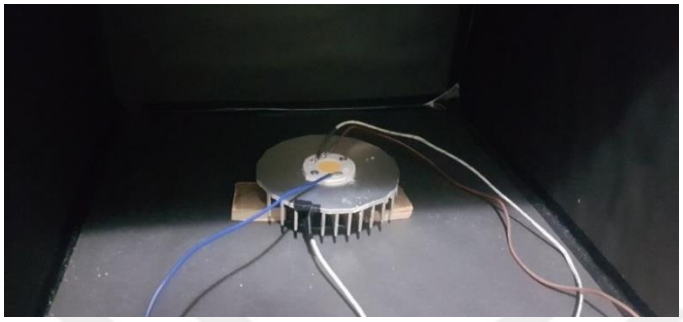
Şekil 5.59. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.43. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	18	5830	**1080**	65	62	5250
30	29	20	5810	**1140**	66	63	5250
50	30	22	5800	**1200**	67	63	5240
60	31	23	5770	**1260**	67	64	5230
90	33	26	5740	**1320**	67	64	5220
120	35	28	5710	**1380**	68	65	5210
150	38	31	5680	**1440**	68	65	5220
180	40	33	5650	**1500**	68	65	5210
210	41	35	5630	**1560**	68	65	5210
240	43	37	5600	**1620**	68	66	5200
270	45	39	5700	**1680**	68	66	5200
300	46	41	5550	**1740**	68	66	5200
330	48	42	5530	**1800**	69	66	5200
360	49	44	5510	**1920**	69	66	5190
390	50	46	5490	**2040**	69	67	5190
420	52	47	5480	**2160**	69	67	5190
450	53	48	5460	**2280**	69	67	5190
480	54	49	5440	**2400**	69	67	5190
510	55	50	5420	**2700**	70	67	5180
540	56	51	5410	**3000**	70	67	5180
570	57	53	5400	**3300**	70	67	5180
600	58	53	5380	**3600**	70	67	5180
630	58	54	5370	**4200**	70	67	5180
660	59	55	5360	**4800**	70	67	5180
720	60	56	5330	**5400**	70	67	5180
780	62	57	5320	**6300**	70	67	5180
840	63	58	5300	**7200**	70	67	5180
900	64	59	5290	**9000**	70	67	5180
960	64	61	5280	**10800**	70	67	5180
1020	65	61	5270				

5.45. 18W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



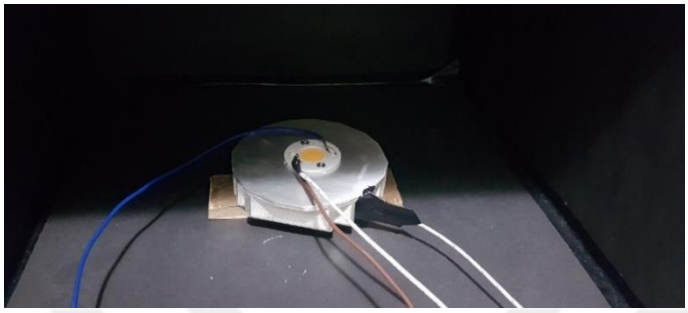
Şekil 5.60. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.44. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	27	20	5830	**1080**	68	65	5250
30	29	22	5800	**1140**	68	65	5240
50	31	24	5780	**1200**	68	66	5230
60	32	25	5780	**1260**	69	66	5230
90	35	26	5740	**1320**	69	67	5220
120	36	29	5700	**1380**	70	67	5220
150	39	32	5670	**1440**	70	67	5210
180	40	34	5650	**1500**	70	67	5210
210	42	36	5620	**1560**	70	68	5210
240	44	39	5590	**1620**	70	68	5210
270	46	41	5570	**1680**	71	68	5210
300	47	43	5550	**1740**	71	68	5200
330	49	45	5510	**1800**	71	68	5190
360	50	46	5500	**1920**	71	68	5190
390	52	47	5480	**2040**	71	68	5190
420	53	48	5460	**2160**	71	68	5190
450	54	49	5440	**2280**	72	69	5180
480	55	50	5430	**2400**	72	69	5180
510	56	51	5410	**2700**	72	69	5180
540	57	52	5400	**3000**	71	68	5200
570	58	53	5390	**3300**	71	68	5200
600	59	54	5380	**3600**	71	68	5200
630	59	55	5370	**4200**	71	68	5200
660	60	57	5360	**4800**	71	68	5200
720	62	58	5340	**5400**	71	68	5200
780	63	60	5320	**6300**	71	68	5200
840	64	61	5310	**7200**	71	68	5200
900	65	62	5290	**9000**	71	68	5200
960	66	63	5280	**10800**	71	68	5200
1020	67	64	5260				

5.46. 18W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø95 soğutucu (2. soğutucu) kullanılmıştır.



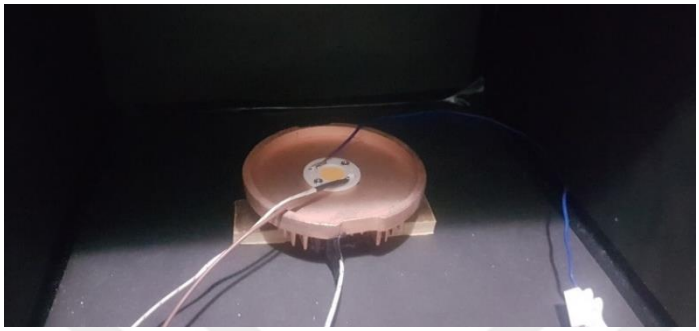
Şekil 5.61. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.45. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm sonuçları

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	27	19	5810	**1080**	64	61	5240
30	28	20	5780	**1140**	65	61	5230
50	30	22	5760	**1200**	66	62	5230
60	32	23	5750	**1260**	66	62	5220
90	34	26	5720	**1320**	66	63	5210
120	37	28	5690	**1380**	67	63	5200
150	40	30	5650	**1440**	67	63	5200
180	42	33	5630	**1500**	67	64	5200
210	43	35	5600	**1560**	68	64	5190
240	46	38	5580	**1620**	68	64	5190
270	47	39	5560	**1680**	68	64	5190
300	49	40	5530	**1740**	68	64	5190
330	50	42	5510	**1800**	68	64	5180
360	51	44	5490	**1920**	68	65	5180
390	52	45	5470	**2040**	68	65	5180
420	53	46	5460	**2160**	68	65	5180
450	54	47	5440	**2280**	68	65	5180
480	55	49	5430	**2400**	68	65	5180
510	55	50	5410	**2700**	69	65	5190
540	56	51	5400	**3000**	69	65	5180
570	57	52	5380	**3300**	69	65	5180
600	57	53	5370	**3600**	69	65	5190
630	58	53	5360	**4200**	69	65	5190
660	59	54	5350	**4800**	69	65	5180
720	60	55	5320	**5400**	69	65	5180
780	61	57	5310	**6300**	69	65	5180
840	62	58	5300	**7200**	69	65	5180
900	62	59	5280	**9000**	69	65	5180
960	63	59	5260	**10800**	69	65	5180
1020	64	60	5240				

5.47. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



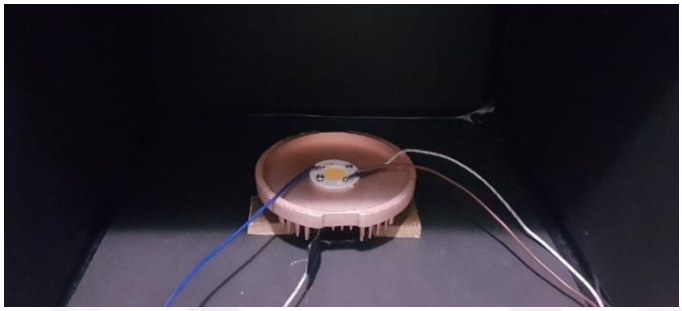
Şekil 5.62. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.46. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	18	5900	**1080**	59	53	5450
30	29	19	5890	**1140**	60	54	5430
50	30	20	5880	**1200**	60	55	5420
60	30	21	5870	**1260**	61	56	5400
90	32	23	5850	**1320**	62	56	5400
120	33	24	5830	**1380**	62	57	5390
150	34	25	5820	**1440**	63	58	5380
180	36	27	5800	**1500**	64	58	5360
210	37	28	5780	**1560**	64	59	5350
240	38	29	5760	**1620**	65	60	5350
270	39	30	5750	**1680**	65	60	5340
300	40	32	5740	**1740**	66	61	5330
330	41	33	5720	**1800**	66	61	5330
360	42	34	5710	**1920**	67	62	5310
390	43	35	5690	**2040**	67	63	5300
420	44	36	5680	**2160**	68	63	5290
450	45	37	5660	**2280**	68	64	5290
480	46	38	5650	**2400**	69	64	5280
510	47	39	5640	**2700**	70	65	5260
540	48	40	5630	**3000**	70	66	5250
570	48	41	5620	**3300**	70	66	5250
600	49	42	5600	**3600**	70	66	5250
630	50	43	5590	**4200**	70	66	5250
660	51	44	5580	**4800**	70	66	5250
720	52	45	5550	**5400**	70	66	5250
780	53	47	5530	**6300**	70	66	5250
840	54	48	5510	**7200**	70	66	5250
900	56	49	5500	**9000**	70	66	5250
960	57	51	5480	**10800**	70	66	5250
1020	58	52	5460				

5.48. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



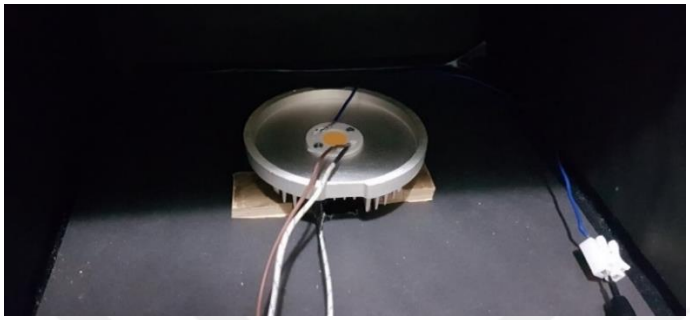
Şekil 5.63. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.47. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	16	5900	**1080**	57	50	5450
30	27	17	5880	**1140**	58	51	5440
50	28	18	5870	**1200**	59	51	5430
60	29	19	5870	**1260**	59	52	5420
90	30	20	5850	**1320**	60	53	5410
120	31	22	5840	**1380**	60	54	5390
150	32	23	5820	**1440**	61	55	5380
180	34	24	5800	**1500**	61	55	5370
210	35	26	5790	**1560**	62	56	5360
240	36	27	5770	**1620**	62	56	5360
270	37	28	5760	**1680**	63	57	5350
300	38	29	5740	**1740**	63	57	5340
330	39	30	5730	**1800**	64	58	5340
360	40	31	5710	**1920**	65	58	5320
390	41	32	5700	**2040**	65	59	5310
420	42	34	5690	**2160**	66	59	5310
450	43	35	5670	**2280**	66	60	5300
480	44	36	5660	**2400**	66	60	5290
510	45	36	5650	**2700**	67	61	5280
540	46	37	5630	**3000**	68	62	5270
570	47	38	5620	**3300**	68	62	5260
600	48	39	5610	**3600**	68	62	5260
630	49	40	5590	**4200**	69	63	5260
660	49	40	5580	**4800**	69	63	5250
720	51	42	5560	**5400**	69	63	5250
780	52	44	5540	**6300**	69	63	5250
840	53	45	5520	**7200**	69	63	5250
900	54	46	5510	**9000**	69	63	5250
960	55	47	5480	**10800**	69	63	5250
1020	56	48	5470				

5.49. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



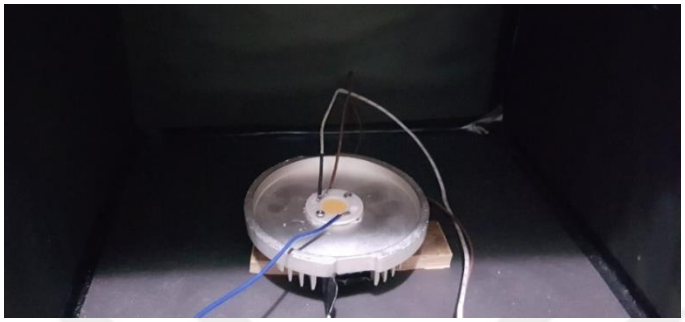
Şekil 5.64. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.48. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	19	5910	**1080**	57	54	5460
30	28	20	5900	**1140**	58	55	5450
50	29	21	5880	**1200**	58	56	5440
60	29	22	5880	**1260**	59	56	5420
90	31	24	5860	**1320**	60	57	5410
120	32	25	5840	**1380**	61	58	5400
150	33	26	5830	**1440**	61	58	5390
180	34	28	5810	**1500**	62	59	5380
210	35	29	5790	**1560**	62	60	5370
240	37	30	5770	**1620**	63	60	5370
270	38	32	5760	**1680**	63	61	5360
300	39	33	5750	**1740**	63	61	5350
330	40	34	5730	**1800**	63	61	5350
360	41	35	5710	**1920**	64	62	5340
390	42	37	5700	**2040**	65	62	5330
420	43	37	5690	**2160**	66	63	5320
450	44	38	5670	**2280**	66	64	5310
480	45	39	5660	**2400**	66	64	5310
510	45	40	5650	**2700**	67	65	5300
540	46	41	5640	**3000**	67	65	5290
570	47	42	5620	**3300**	67	65	5290
600	48	43	5610	**3600**	68	65	5280
630	49	44	5600	**4200**	69	65	5270
660	49	45	5590	**4800**	68	66	5270
720	51	46	5570	**5400**	68	66	5270
780	52	48	5540	**6300**	68	66	5260
840	53	49	5530	**7200**	68	66	5260
900	55	51	5510	**9000**	68	66	5260
960	55	52	5490	**10800**	68	66	5260
1020	56	53	5470				

5.50. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



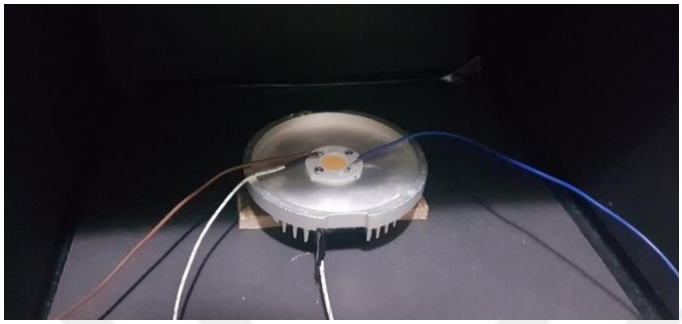
Şekil 5.65. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.49. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	27	21	5890	**1080**	59	55	5420
30	29	22	5870	**1140**	60	55	5410
50	30	23	5860	**1200**	61	56	5400
60	31	23	5850	**1260**	61	57	5390
90	32	24	5840	**1320**	62	58	5380
120	34	26	5820	**1380**	63	59	5370
150	35	27	5800	**1440**	63	59	5360
180	36	29	5780	**1500**	64	60	5350
210	37	30	5760	**1560**	64	60	5340
240	38	31	5750	**1620**	65	61	5330
270	39	33	5730	**1680**	65	61	5320
300	41	34	5720	**1740**	66	62	5320
330	42	35	5700	**1800**	66	62	5310
360	43	36	5680	**1920**	67	63	5290
390	44	37	5670	**2040**	68	64	5280
420	45	38	5660	**2160**	68	64	5280
450	45	39	5650	**2280**	69	65	5270
480	46	40	5630	**2400**	69	65	5270
510	47	41	5610	**2700**	70	66	5250
540	48	42	5600	**3000**	71	67	5240
570	49	43	5590	**3300**	71	67	5230
600	50	44	5570	**3600**	71	68	5230
630	50	45	5560	**4200**	71	68	5230
660	51	46	5550	**4800**	71	68	5230
720	52	47	5530	**5400**	71	68	5230
780	54	48	5510	**6300**	71	68	5230
840	55	50	5490	**7200**	71	68	5230
900	56	51	5470	**9000**	71	68	5230
960	57	52	5450	**10800**	71	68	5230
1020	58	53	5440				

5.51. 18W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø95 soğutucu (3. soğutucu) kullanılmıştır.



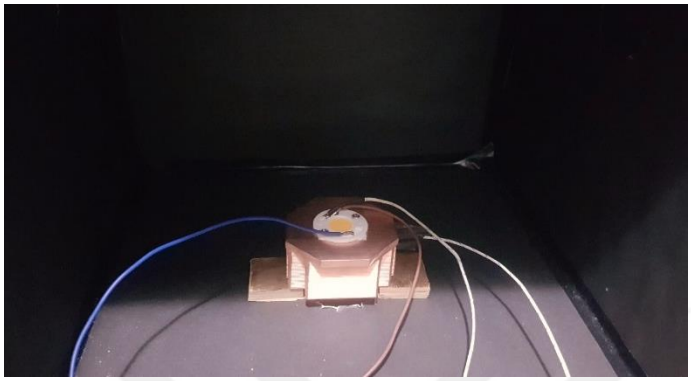
Şekil 5.66. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.50. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	17	5920	**1080**	57	52	5470
30	28	18	5910	**1140**	58	52	5460
50	29	19	5890	**1200**	59	53	5440
60	30	20	5890	**1260**	60	54	5430
90	31	22	5870	**1320**	60	55	5420
120	32	23	5850	**1380**	61	56	5410
150	34	24	5830	**1440**	61	56	5400
180	35	26	5820	**1500**	62	57	5390
210	36	27	5800	**1560**	63	57	5380
240	37	28	5790	**1620**	63	58	5380
270	38	30	5770	**1680**	63	58	5370
300	39	31	5750	**1740**	64	59	5360
330	41	32	5740	**1800**	64	59	5360
360	41	33	5730	**1920**	64	60	5350
390	42	34	5710	**2040**	65	60	5340
420	43	35	5700	**2160**	65	61	5330
450	44	36	5690	**2280**	65	61	5330
480	45	37	5670	**2400**	66	62	5320
510	46	38	5660	**2700**	66	62	5320
540	47	39	5640	**3000**	66	63	5310
570	48	40	5630	**3300**	67	63	5310
600	48	41	5620	**3600**	67	64	5300
630	49	42	5610	**4200**	67	64	5300
660	49	43	5600	**4800**	67	64	5290
720	51	44	5570	**5400**	68	64	5290
780	52	46	5560	**6300**	68	65	5290
840	53	47	5540	**7200**	69	65	5280
900	54	48	5520	**9000**	69	66	5280
960	56	49	5500	**10800**	69	66	5280
1020	56	50	5480				

5.52. 18W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



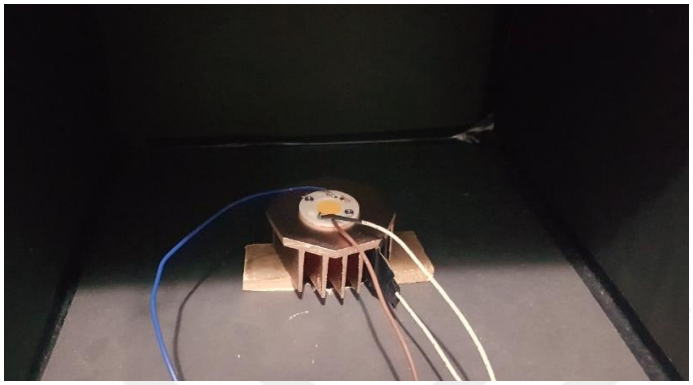
Şekil 5.67. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.51. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	19	6360	**1080**	65	61	5760
30	28	21	6340	**1140**	66	61	5750
50	30	23	6310	**1200**	66	62	5750
60	31	24	6300	**1260**	67	62	5750
90	33	26	6270	**1320**	67	62	5740
120	35	29	6240	**1380**	67	63	5730
150	37	31	6190	**1440**	67	63	5730
180	40	33	6170	**1500**	67	63	5730
210	42	35	6140	**1560**	68	63	5720
240	43	37	6110	**1620**	68	63	5720
270	45	39	6080	**1680**	68	63	5720
300	47	41	6060	**1740**	68	63	5720
330	48	42	6040	**1800**	68	63	5720
360	50	44	6020	**1920**	68	63	5710
390	51	45	6000	**2040**	68	63	5710
420	52	46	5980	**2160**	68	63	5710
450	53	47	5960	**2280**	68	63	5710
480	54	49	5940	**2400**	68	63	5710
510	55	50	5920	**2700**	69	63	5710
540	57	51	5910	**3000**	69	63	5710
570	57	51	5900	**3300**	68	63	5710
600	58	52	5890	**3600**	68	63	5710
630	58	53	5870	**4200**	68	62	5710
660	59	53	5860	**4800**	69	63	5710
720	60	54	5850	**5400**	69	63	5710
780	61	56	5830	**6300**	69	63	5710
840	62	57	5820	**7200**	69	63	5710
900	63	58	5800	**9000**	69	63	5710
960	64	59	5790	**10800**	69	63	5710
1020	65	60	5780				

5.53. 18W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



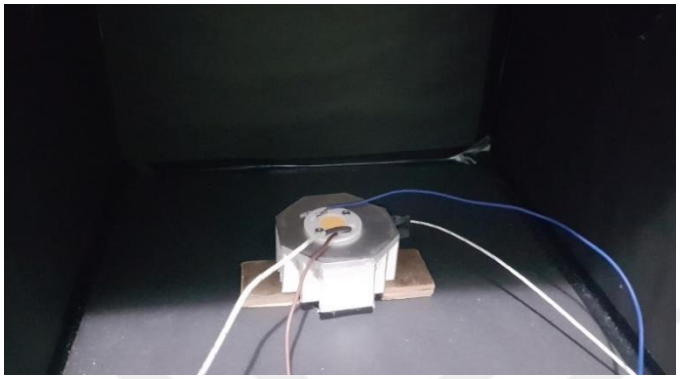
Şekil 5.68. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.52. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	19	6340	**1080**	65	62	5720
30	29	21	6310	**1140**	66	62	5700
50	31	23	6280	**1200**	66	63	5700
60	32	23	6270	**1260**	66	63	5690
90	34	26	6240	**1320**	67	63	5680
120	36	29	6200	**1380**	67	64	5680
150	38	31	6170	**1440**	67	64	5680
180	40	33	6140	**1500**	68	64	5680
210	42	35	6110	**1560**	68	64	5680
240	44	37	6080	**1620**	68	64	5670
270	45	39	6050	**1680**	68	64	5670
300	47	41	6020	**1740**	68	64	5670
330	49	43	6000	**1800**	68	64	5670
360	50	44	5980	**1920**	68	64	5670
390	51	46	5950	**2040**	68	64	5670
420	52	47	5940	**2160**	68	64	5660
450	54	48	5920	**2280**	68	65	5660
480	55	49	5890	**2400**	68	65	5660
510	55	51	5880	**2700**	69	66	5650
540	56	51	5870	**3000**	69	66	5640
570	57	52	5850	**3300**	69	66	5640
600	58	53	5840	**3600**	70	67	5640
630	59	54	5830	**4200**	70	67	5640
660	59	55	5820	**4800**	70	67	5640
720	61	56	5790	**5400**	70	67	5640
780	62	57	5780	**6300**	70	67	5640
840	63	59	5750	**7200**	70	67	5640
900	64	60	5740	**9000**	70	67	5640
960	64	60	5730	**10800**	70	67	5640
1020	65	61	5720				

5.54. 18W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



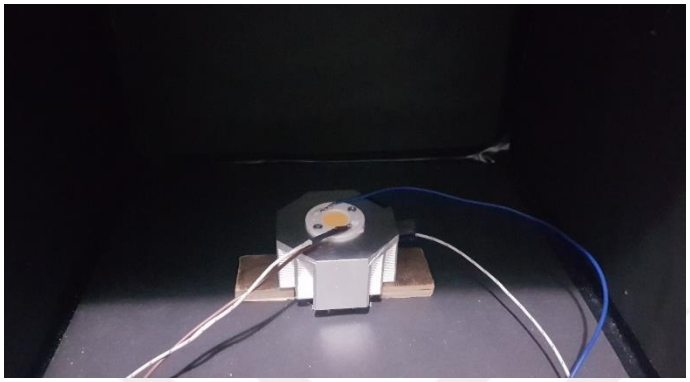
Şekil 5.69. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.53. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	26	20	6390	**1080**	63	58	5820
30	28	21	6370	**1140**	63	59	5810
50	31	23	6340	**1200**	63	59	5810
60	31	24	6330	**1260**	63	60	5800
90	34	27	6290	**1320**	64	60	5800
120	36	29	6260	**1380**	64	60	5790
150	38	31	6220	**1440**	64	60	5790
180	41	34	6190	**1500**	64	60	5790
210	42	36	6160	**1560**	64	60	5780
240	44	38	6130	**1620**	64	60	5780
270	46	40	6110	**1680**	64	61	5780
300	47	42	6080	**1740**	64	61	5780
330	48	43	6060	**1800**	65	61	5780
360	50	44	6040	**1920**	65	61	5780
390	51	46	6020	**2040**	65	61	5780
420	52	47	6000	**2160**	65	61	5770
450	53	48	5990	**2280**	65	61	5770
480	53	49	5970	**2400**	65	61	5770
510	54	50	5960	**2700**	65	61	5770
540	55	51	5950	**3000**	65	61	5770
570	56	51	5940	**3300**	65	61	5770
600	57	53	5920	**3600**	65	61	5770
630	57	53	5910	**4200**	65	61	5770
660	58	54	5900	**4800**	65	61	5770
720	58	55	5880	**5400**	65	61	5770
780	60	56	5870	**6300**	65	61	5770
840	60	56	5850	**7200**	65	61	5770
900	61	57	5840	**9000**	65	61	5770
960	61	58	5830	**10800**	65	61	5770
1020	62	58	5820				

5.55. 18W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



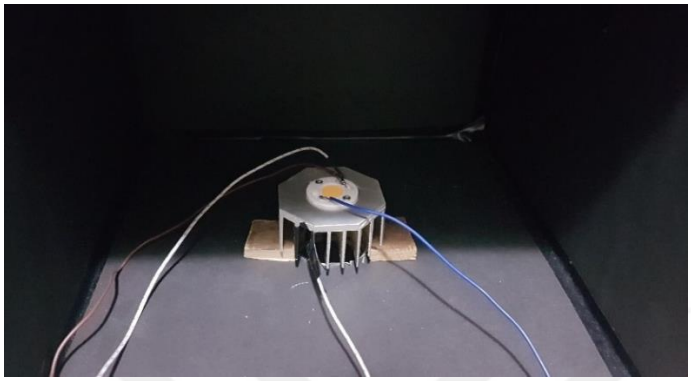
Şekil 5.70. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.54. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	21	6360	**1080**	63	58	5790
30	28	22	6340	**1140**	64	58	5780
50	30	24	6310	**1200**	64	59	5770
60	31	25	6290	**1260**	64	59	5770
90	33	27	6260	**1320**	64	59	5770
120	36	30	6220	**1380**	65	59	5760
150	38	32	6190	**1440**	65	59	5760
180	40	34	6160	**1500**	65	60	5760
210	42	36	6130	**1560**	65	60	5760
240	44	38	6110	**1620**	65	60	5760
270	45	40	6080	**1680**	65	60	5750
300	47	41	6050	**1740**	65	60	5750
330	48	43	6040	**1800**	65	60	5750
360	49	44	6010	**1920**	66	60	5750
390	51	45	5990	**2040**	65	60	5750
420	51	46	5980	**2160**	66	60	5750
450	52	47	5960	**2280**	66	61	5750
480	53	48	5950	**2400**	66	61	5740
510	54	49	5930	**2700**	65	60	5750
540	55	50	5920	**3000**	65	60	5750
570	56	51	5910	**3300**	65	60	5750
600	57	52	5900	**3600**	65	60	5750
630	57	52	5880	**4200**	65	60	5750
660	58	53	5870	**4800**	65	60	5750
720	59	54	5860	**5400**	65	60	5750
780	60	55	5840	**6300**	65	60	5750
840	61	56	5830	**7200**	65	60	5750
900	62	56	5810	**9000**	65	60	5750
960	62	57	5800	**10800**	65	60	5750
1020	63	57	5790				

5.56. 18W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 18 W COB LED (3. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø70 soğutucu (4. soğutucu) kullanılmıştır.



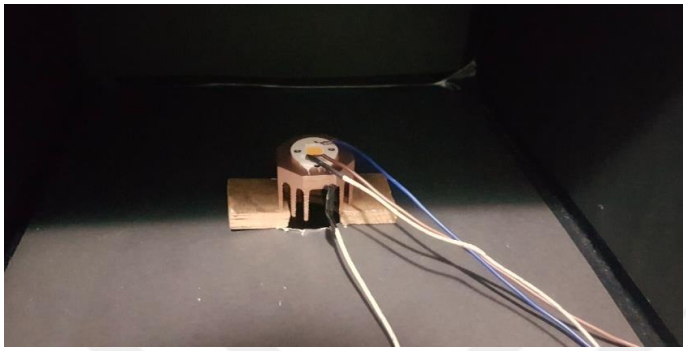
Şekil 5.71. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.55. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	27	19	6390	**1080**	64	60	5770
30	29	21	6360	**1140**	64	61	5770
50	30	22	6330	**1200**	65	61	5760
60	31	22	6320	**1260**	65	61	5760
90	34	25	6290	**1320**	65	61	5750
120	36	27	6250	**1380**	65	62	5750
150	39	30	6210	**1440**	66	62	5750
180	40	32	6180	**1500**	66	62	5750
210	42	34	6150	**1560**	66	62	5750
240	44	36	6130	**1620**	66	62	5750
270	46	38	6100	**1680**	66	62	5750
300	47	40	6070	**1740**	66	62	5740
330	49	42	6050	**1800**	66	62	5740
360	50	43	6030	**1920**	66	62	5740
390	51	44	6010	**2040**	66	62	5740
420	52	46	5990	**2160**	66	63	5740
450	53	47	5970	**2280**	66	63	5740
480	54	48	5950	**2400**	66	63	5740
510	55	49	5940	**2700**	66	63	5740
540	55	50	5920	**3000**	66	63	5740
570	57	51	5910	**3300**	66	63	5740
600	58	52	5890	**3600**	66	63	5740
630	58	52	5880	**4200**	67	64	5730
660	59	53	5870	**4800**	67	64	5730
720	60	55	5850	**5400**	67	64	5730
780	61	56	5830	**6300**	67	64	5730
840	62	57	5820	**7200**	67	64	5730
900	63	58	5800	**9000**	67	64	5730
960	63	58	5790	**10800**	67	64	5730
1020	64	59	5780				

5.57. 10W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø43 soğutucu (5. soğutucu) kullanılmıştır.



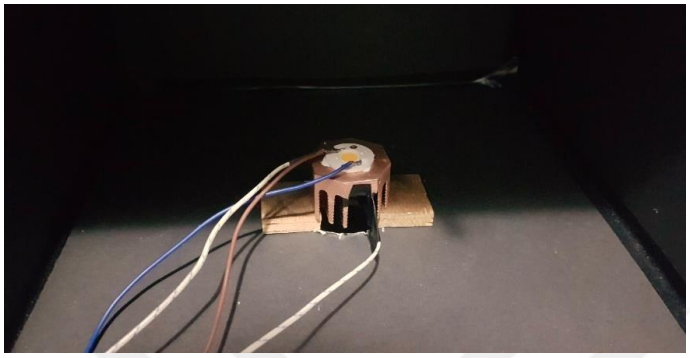
Şekil 5.72. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.56. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	18	3697	**1080**	70	66	3274
30	28	20	3682	**1140**	71	67	3273
50	30	22	3669	**1200**	71	68	3271
60	31	23	3659	**1260**	72	69	3252
90	34	26	3638	**1320**	72	69	3246
120	36	29	3617	**1380**	73	70	3248
150	38	31	3594	**1440**	73	71	3230
180	40	34	3574	**1500**	74	71	3228
210	43	37	3558	**1560**	74	71	3228
240	44	38	3555	**1620**	74	71	3227
270	47	41	3522	**1680**	74	71	3227
300	48	42	3504	**1740**	74	71	3227
330	50	44	3490	**1800**	75	72	3227
360	51	46	3478	**1920**	75	72	3226
390	53	47	3462	**2040**	75	73	3217
420	54	49	3453	**2160**	76	73	3214
450	55	50	3441	**2280**	76	73	3212
480	57	52	3428	**2400**	76	73	3206
510	58	53	3413	**2700**	77	74	3200
540	59	54	3404	**3000**	77	74	3194
570	60	55	3395	**3300**	77	74	3192
600	61	56	3387	**3600**	77	74	3192
630	62	57	3372	**4200**	77	74	3192
660	63	58	3366	**4800**	77	74	3192
720	64	60	3349	**5400**	77	74	3192
780	65	61	3327	**6300**	77	74	3192
840	67	62	3320	**7200**	77	74	3192
900	67	64	3316	**9000**	77	74	3192
960	68	65	3298	**10800**	77	74	3192
1020	69	66	3280				

5.58. 10W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø43 soğutucu (5. soğutucu) kullanılmıştır.



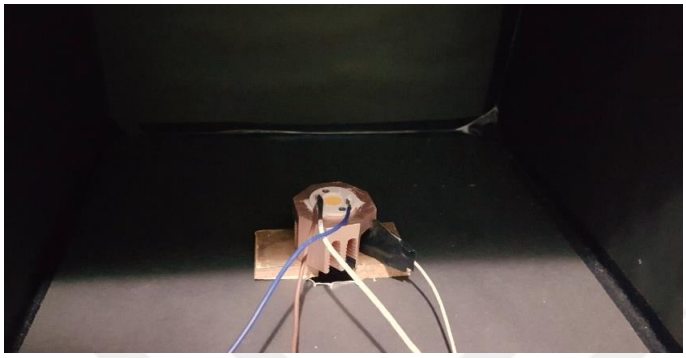
Şekil 5.73. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.57. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	19	3717	**1080**	68	63	3296
30	27	21	3701	**1140**	68	63	3292
50	29	22	3688	**1200**	69	64	3282
60	30	23	3682	**1260**	70	65	3281
90	32	26	3659	**1320**	71	65	3278
120	34	28	3640	**1380**	71	66	3273
150	37	30	3620	**1440**	71	66	3267
180	38	32	3602	**1500**	71	66	3265
210	41	35	3588	**1560**	71	67	3261
240	42	36	3565	**1620**	72	67	3259
270	44	38	3552	**1680**	72	67	3256
300	46	40	3532	**1740**	72	68	3250
330	47	42	3518	**1800**	72	68	3246
360	49	43	3506	**1920**	72	69	3244
390	51	45	3484	**2040**	73	69	3239
420	52	46	3471	**2160**	73	70	3236
450	53	47	3454	**2280**	73	70	3235
480	54	49	3448	**2400**	73	70	3234
510	55	50	3427	**2700**	73	70	3234
540	56	51	3415	**3000**	74	70	3234
570	57	52	3407	**3300**	74	71	3233
600	58	53	3403	**3600**	74	71	3233
630	59	54	3391	**4200**	74	71	3233
660	60	55	3381	**4800**	74	71	3233
720	62	57	3363	**5400**	74	71	3233
780	63	58	3348	**6300**	74	71	3233
840	64	58	3339	**7200**	74	71	3233
900	65	60	3322	**9000**	74	71	3233
960	67	61	3317	**10800**	74	71	3233
1020	67	62	3304				

5.59. 10W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış 6063 Ø43 soğutucu (5. soğutucu) kullanılmıştır.



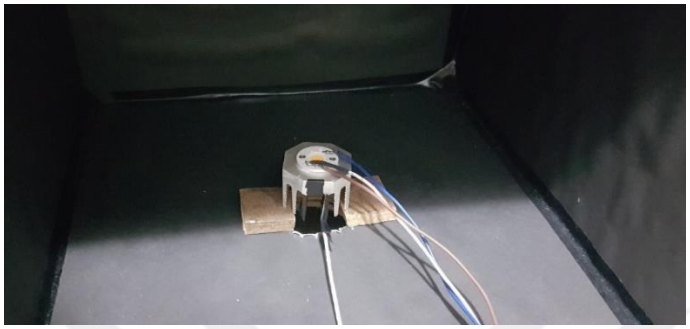
Şekil 5.74. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.58. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi	Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)	(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	28	20	3712	**1080**	71	68	3257
30	29	22	3696	**1140**	72	68	3238
50	30	23	3678	**1200**	72	69	3233
60	31	24	3674	**1260**	73	70	3222
90	34	27	3651	**1320**	73	71	3217
120	37	29	3637	**1380**	74	71	3215
150	39	32	3613	**1440**	74	71	3211
180	42	34	3593	**1500**	75	72	3206
210	44	36	3570	**1560**	75	72	3203
240	45	38	3549	**1620**	76	72	3199
270	46	40	3539	**1680**	76	73	3198
300	48	42	3520	**1740**	76	73	3191
330	50	44	3499	**1800**	76	73	3189
360	51	46	3471	**1920**	77	74	3187
390	53	47	3464	**2040**	77	74	3180
420	54	49	3442	**2160**	77	74	3176
450	55	50	3433	**2280**	77	74	3171
480	56	52	3421	**2400**	78	74	3164
510	58	53	3417	**2700**	78	75	3159
540	59	54	3398	**3000**	78	75	3152
570	60	55	3384	**3300**	79	75	3147
600	61	56	3373	**3600**	79	76	3145
630	62	57	3356	**4200**	79	76	3143
660	63	59	3338	**4800**	79	76	3143
720	65	61	3332	**5400**	79	76	3143
780	66	62	3324	**6300**	79	76	3143
840	68	63	3303	**7200**	79	76	3142
900	69	65	3292	**9000**	79	76	3142
960	70	66	3273	**10800**	79	76	3142
1020	71	67	3262				

5.60. 10W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø43 soğutucu (5. soğutucu) kullanılmıştır.



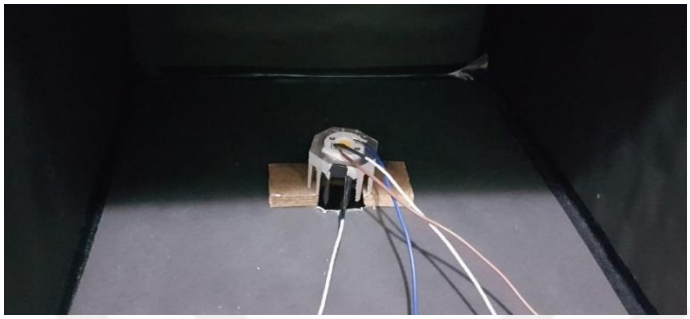
Şekil 5.75. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.59. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	27	20	3703	**1080**	73	71	3257
30	29	21	3690	**1140**	74	71	3253
50	31	23	3673	**1200**	74	72	3238
60	32	24	3669	**1260**	75	73	3232
90	34	26	3649	**1320**	76	73	3221
120	37	29	3625	**1380**	76	74	3216
150	39	31	3607	**1440**	76	74	3208
180	42	34	3578	**1500**	77	75	3206
210	44	37	3553	**1560**	77	75	3204
240	46	38	3545	**1620**	78	75	3204
270	48	41	3524	**1680**	78	76	3192
300	50	43	3510	**1740**	78	76	3191
330	51	45	3488	**1800**	78	76	3189
360	53	47	3480	**1920**	79	77	3200
390	54	49	3461	**2040**	79	77	3188
420	56	50	3450	**2160**	79	77	3189
450	57	52	3431	**2280**	79	77	3191
480	59	53	3420	**2400**	80	77	3190
510	59	55	3411	**2700**	80	77	3190
540	60	56	3393	**3000**	80	77	3190
570	62	57	3383	**3300**	80	77	3190
600	63	58	3371	**3600**	80	77	3190
630	64	59	3359	**4200**	80	77	3190
660	65	60	3349	**4800**	80	77	3190
720	67	62	3321	**5400**	80	77	3190
780	68	64	3316	**6300**	80	77	3190
840	69	65	3300	**7200**	80	77	3190
900	70	67	3287	**9000**	80	77	3190
960	71	68	3280	**10800**	80	77	3190
1020	72	70	3270				

5.61. 10W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø43 soğutucu (5. soğutucu) kullanılmıştır.



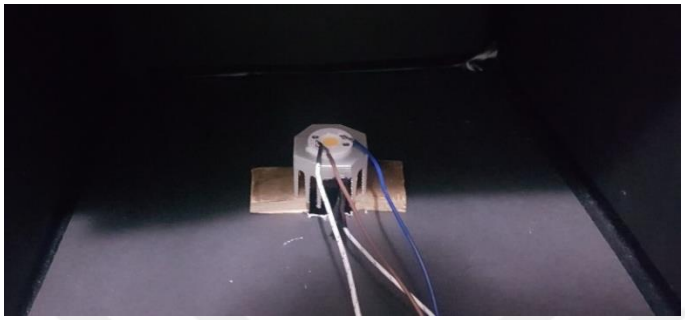
Şekil 5.76. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.60. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	27	23	3707	**1080**	72	66	3283
30	30	24	3692	**1140**	73	67	3275
50	32	25	3677	**1200**	74	67	3271
60	33	26	3670	**1260**	74	68	3264
90	35	29	3650	**1320**	75	68	3261
120	38	31	3632	**1380**	75	69	3254
150	40	33	3612	**1440**	75	69	3242
180	42	35	3595	**1500**	76	70	3238
210	44	37	3575	**1560**	76	70	3235
240	46	39	3549	**1620**	77	71	3226
270	47	41	3539	**1680**	77	71	3224
300	49	43	3515	**1740**	77	72	3225
330	51	44	3503	**1800**	77	72	3218
360	52	46	3487	**1920**	77	72	3214
390	54	47	3470	**2040**	78	73	3216
420	55	49	3455	**2160**	78	73	3206
450	56	50	3438	**2280**	79	74	3200
480	58	52	3433	**2400**	79	74	3199
510	59	53	3412	**2700**	79	74	3219
540	60	54	3396	**3000**	79	74	3218
570	61	55	3390	**3300**	79	74	3218
600	62	56	3381	**3600**	79	74	3218
630	63	57	3368	**4200**	79	74	3218
660	64	59	3357	**4800**	79	74	3218
720	65	60	3348	**5400**	79	74	3218
780	67	61	3322	**6300**	79	74	3218
840	68	63	3317	**7200**	79	74	3218
900	70	64	3302	**9000**	79	74	3218
960	70	65	3287	**10800**	79	74	3218
1020	71	65	3285				

5.62. 10W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış 6063 Ø43 soğutucu (5. soğutucu) kullanılmıştır.



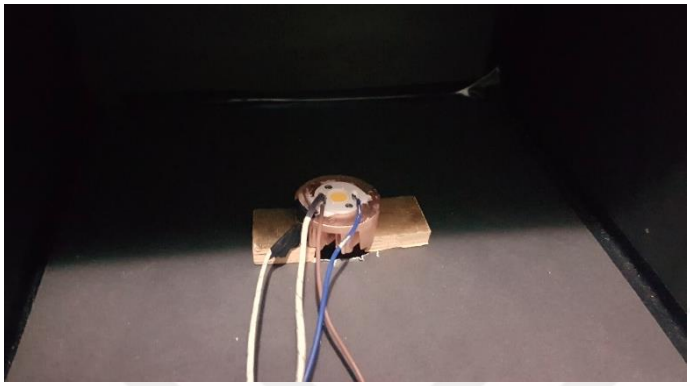
Şekil 5.77. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.61. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)	Test Süresi (sn)	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc) (°C)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts) (°C)	Aydınlık Düzeyi (Lüx)
10	26	18	3695	**1080**	70	66	3273
30	28	20	3680	**1140**	71	67	3264
50	29	22	3667	**1200**	71	67	3259
60	30	24	3661	**1260**	72	68	3250
90	33	27	3642	**1320**	72	68	3248
120	35	29	3622	**1380**	73	69	3245
150	37	31	3604	**1440**	73	69	3237
180	39	33	3587	**1500**	74	69	3234
210	42	36	3567	**1560**	74	70	3232
240	43	38	3550	**1620**	74	70	3227
270	45	40	3532	**1680**	74	70	3223
300	47	42	3514	**1740**	75	70	3221
330	48	44	3499	**1800**	75	70	3219
360	50	45	3484	**1920**	76	71	3213
390	51	47	3469	**2040**	76	71	3202
420	53	49	3451	**2160**	77	72	3199
450	55	50	3442	**2280**	77	72	3187
480	56	51	3428	**2400**	77	72	3183
510	57	52	3414	**2700**	77	73	3172
540	58	54	3388	**3000**	78	73	3180
570	59	55	3378	**3300**	78	73	3175
600	60	56	3366	**3600**	78	74	3169
630	61	57	3359	**4200**	78	74	3169
660	62	58	3357	**4800**	78	74	3169
720	63	59	3347	**5400**	78	74	3169
780	65	61	3329	**6300**	78	74	3168
840	66	62	3318	**7200**	78	74	3168
900	68	63	3306	**9000**	78	75	3168
960	69	64	3292	**10800**	78	75	3168
1020	70	65	3281				

5.63. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø45 soğutucu (6. soğutucu) kullanılmıştır.



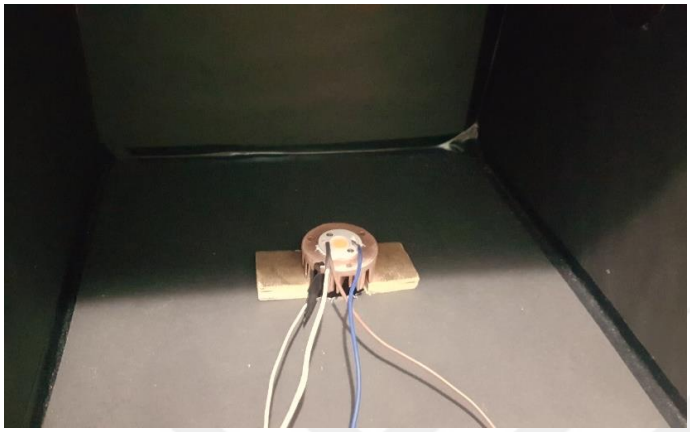
Şekil 5.78. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.62. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	26	19	3498
30	33	22	3476
50	36	25	3458
60	39	27	3448
90	42	30	3412
120	44	34	3387
150	46	37	3369
180	49	40	3340
210	52	43	3315
240	57	48	3278
270	59	50	3264
300	62	54	3242
330	64	56	3225
360	66	58	3200
390	67	60	3188
420	70	63	3170
450	71	64	3156
480	72	65	3143
510	73	68	3132
540	75	69	3110
570	76	71	3103
600	77	72	3097
630	78	73	3072
660	79	75	3066
720	81	77	3046
780	83	79	3034
840	84	80	3004
900	85	81	3002
960	86	82	3000

5.64. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø45 soğutucu (6. soğutucu) kullanılmıştır.



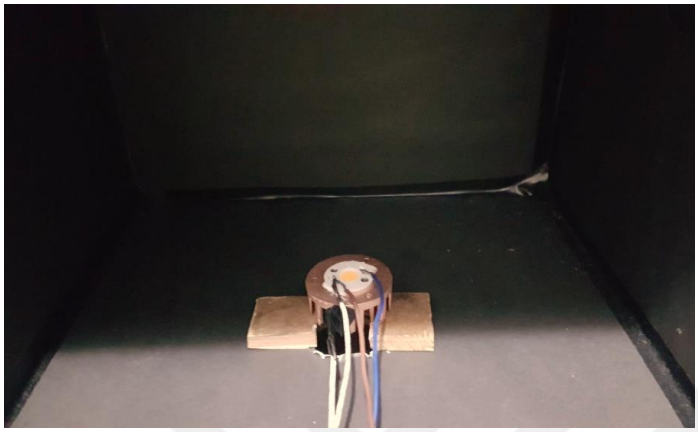
Şekil 5.79. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.63. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	20	3499
30	35	22	3472
50	39	24	3450
60	40	26	3443
90	42	29	3415
120	45	33	3386
150	48	36	3361
180	51	40	3334
210	54	43	3308
240	57	47	3282
270	59	49	3266
300	62	52	3236
330	63	55	3224
360	66	57	3200
390	67	59	3173
420	69	62	3169
450	70	64	3155
480	72	66	3136
510	73	67	3123
540	75	69	3102
570	76	71	3098
600	77	72	3085
630	79	74	3072
660	80	75	3063
720	83	78	3038
780	85	80	3024
840	86	81	3006

5.65. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Bakır Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki bakır kaplama yapılmış Etial150 Ø45 soğutucu (6. soğutucu) kullanılmıştır.



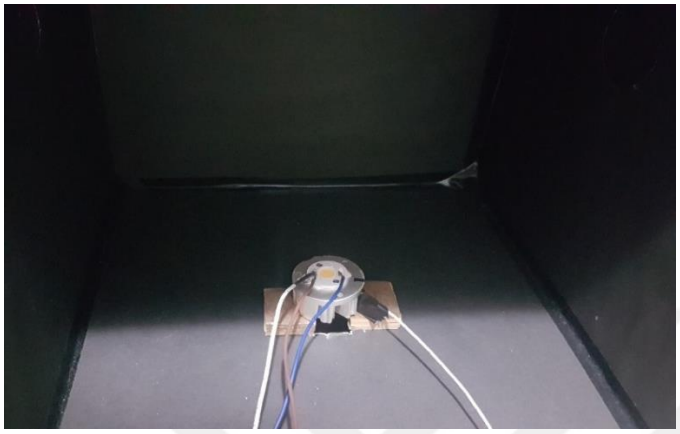
Şekil 5.80. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.64. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Bakır kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	33	20	3472
30	36	22	3457
50	39	25	3438
60	40	26	3428
90	42	30	3398
120	46	34	3371
150	49	37	3344
180	51	41	3317
210	54	44	3297
240	57	47	3270
270	59	50	3258
300	62	53	3225
330	65	55	3212
360	66	57	3191
390	68	59	3176
420	70	61	3153
450	72	64	3144
480	73	65	3131
510	74	67	3116
540	76	69	3109
570	77	70	3084
600	78	71	3076
630	79	73	3068
660	80	74	3047
720	82	77	3032
780	85	78	3026
840	86	81	3000

5.66. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø45 soğutucu (6. soğutucu) kullanılmıştır.



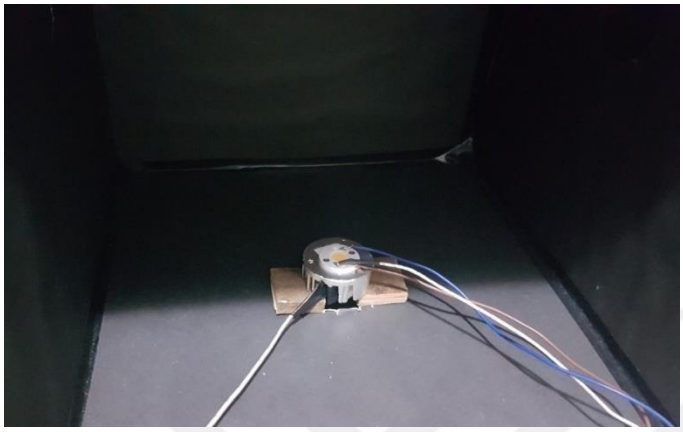
Şekil 5.81. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.65. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	20	3503
30	36	23	3479
50	39	26	3450
60	42	27	3443
90	45	30	3429
120	47	34	3389
150	49	39	3359
180	51	42	3333
210	52	45	3312
240	55	48	3284
270	57	51	3263
300	59	54	3239
330	62	57	3220
360	66	59	3201
390	68	62	3178
420	70	64	3162
450	72	66	3147
480	73	68	3128
510	75	70	3115
540	76	72	3095
570	78	73	3088
600	80	75	3068
630	81	77	3057
660	82	78	3040
720	84	80	3023
780	85	83	3003

5.67. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø45 soğutucu (6. soğutucu) kullanılmıştır.



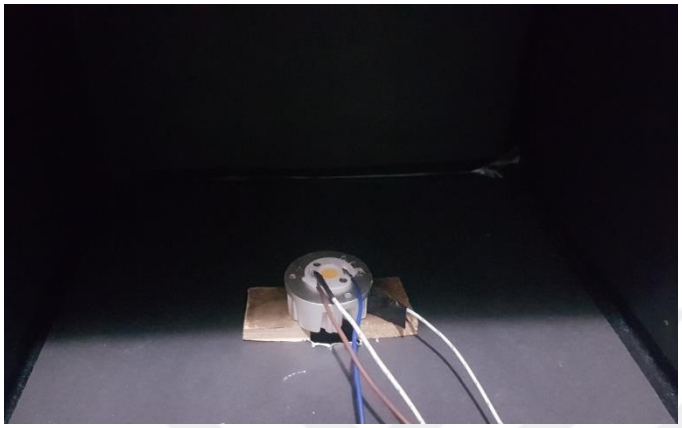
Şekil 5.82. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.66. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	27	20	3507
30	34	23	3485
50	36	26	3462
60	38	27	3452
90	41	31	3417
120	44	35	3392
150	49	39	3359
180	51	43	3335
210	52	46	3312
240	55	50	3285
270	58	53	3261
300	60	55	3245
330	62	58	3223
360	66	60	3200
390	68	62	3184
420	70	65	3161
450	72	67	3141
480	74	69	3137
510	75	71	3120
540	76	73	3106
570	77	74	3088
600	78	76	3076
630	80	78	3067
660	81	79	3057
720	83	81	3018
780	85	83	3004

5.68. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Gümüş Kaplamalı) Soğutucu ile Yapılan Test Düzeneği ve Ölçüm Değerleri

LED armatür bileşenleri olarak; 10 W COB LED (4. COB LED) ile 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplama yapılmış Etial150 Ø45 soğutucu (6. soğutucu) kullanılmıştır.



Şekil 5.83. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucu ile yapılan test düzeneği

Tablo 5.67. 10 W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Gümüş kaplamalı) deneysel uygulama ölçüm değerleri

Test Süresi	LED Kılıf Sıcaklığı (Tc)	Soğutucu Sıcaklığı (Ts)	Aydınlık Düzeyi
(sn)	(°C)	(°C)	(Lüx)
10	33	20	3473
30	37	23	3452
50	40	25	3431
60	41	27	3420
90	44	31	3390
120	47	34	3362
150	51	38	3334
180	54	42	3309
210	55	45	3285
240	57	48	3256
270	60	51	3239
300	63	55	3214
330	64	56	3192
360	67	59	3181
390	69	61	3166
420	71	63	3152
450	72	65	3136
480	74	67	3120
510	76	69	3106
540	77	71	3092
570	78	72	3080
600	80	74	3073
630	81	75	3058
660	82	76	3037
720	84	79	3023
780	86	81	2999

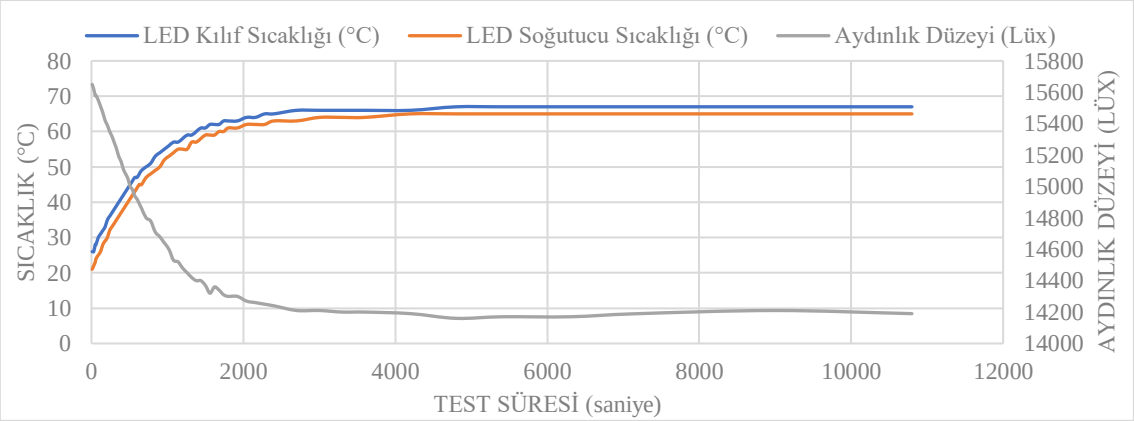
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde; önceki bölümlerde yapılan teorik hesaplar ve deneysel uygulamaların sonuçları karşılaştırılıp çıkarımlarda bulunulmuştur.

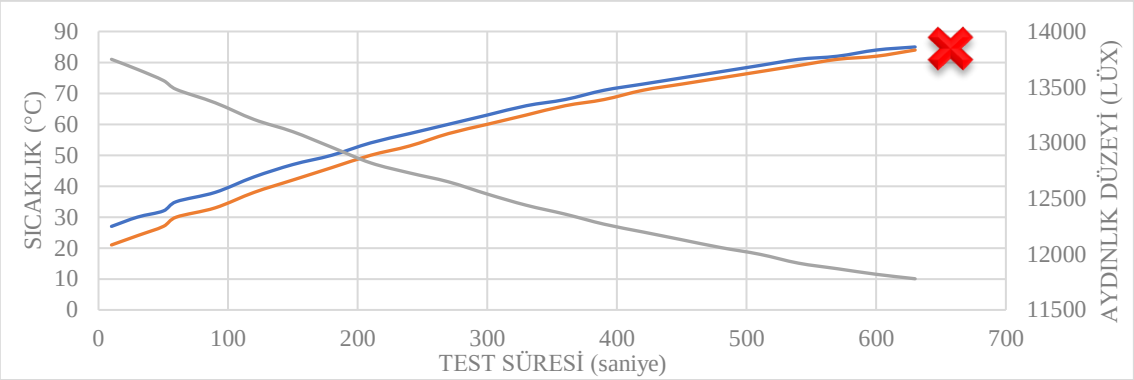
Bölüm 5'de yapılan deneysel uygulamaların ölçüm değerleri ışığında her bir deneysel uygulama için ölçüm sonuçlarını gösteren grafikler çizilmiştir. Bu grafikler, soğutucuların kıyaslanmasını kolaylaştırmış ve ölçüm değerlerinin değişimlerini görselleştirmiştir. Soğutucular; üretilen malzeme, boyutlar, kaplama malzemesi ve kaplama kalınlığı olmak üzere pek çok yapıda kıyaslanmıştır.

Deneysel uygulama ölçüm değerlerine göre çizilen grafiklerde, iki dikey eksenli bir grafik modeli tercih edilmiştir. Sol dikey eksende, LED kılıf sıcaklığı değerleri ve LED soğutucunun sıcaklık değerlerinin değişimi gösterilirken sağ dikey eksende LED armatürün aydınlık düzeyi değişimi gösterilmektedir. Yatay eksen ise "saniye" cinsinden zamanı göstermektedir.

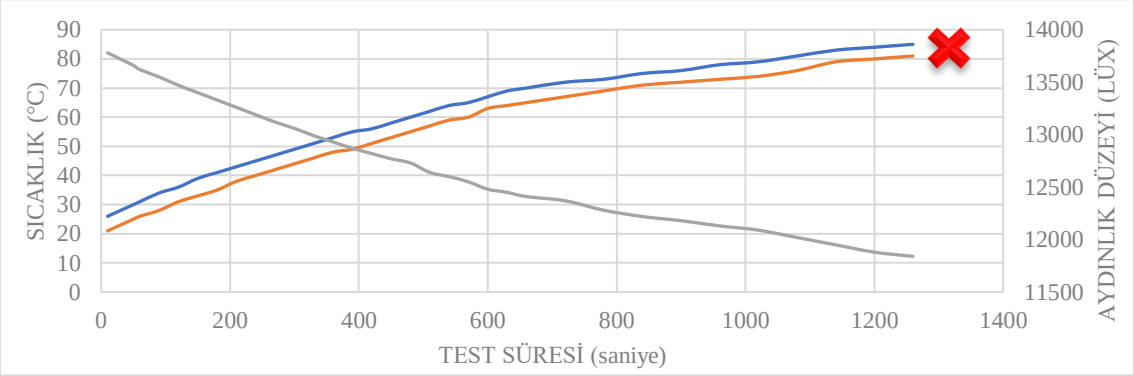
Önce kaplamasız (çıplak) soğutucuların ölçüm sonuçları sonra kaplamalı soğutucuların ölçüm sonuçları grafikleri verilmiş ve daha sonra yorumlama yapılmıştır.



Şekil 6.1. 40W COB LED – 6063 Ø114 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.2. 40W COB LED – 6063 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.3. 40W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de; 40 W COB LED, 3 farklı kaplamasız soğutucuya bağlanmış ve ölçüm sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. 40 W COB LED 1 Amper doğru akımla çalışan yüksek güçlü bir LED'dir. Dolayısıyla çalışma esnasında fazlasıyla ısınmaktadır. Bu LED kullanılırken soğutucu performansının çok iyi olması beklenir.

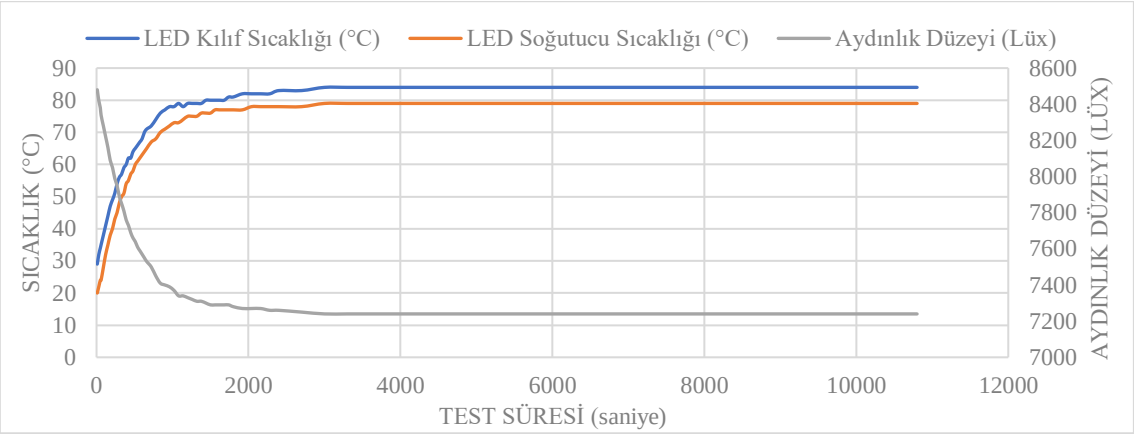
Şekil 6.1'de grafiği verilen 6063 malzemeden yapılmış "Ø114" soğutucu ile Şekil 6.2'de grafiği verilen 6063 malzemeden yapılmış "Ø95" soğutucu kıyaslandığında; aynı güç değerinde aynı boyutta COB LED kullanılmasına ve soğutucu malzemesinin aynı olmasına rağmen "6063 Ø114" soğutucu sıcaklık testinden geçerken "6063 Ø95" soğutucu testi geçememiştir. İki soğutucu arasında; genişlikleri arasındaki 2 cm fark, kanatçık uzunlukları arasındaki 1,5 cm fark, taban kalınlık ve kanatçık kalınlık farkı vardır. Bu boyut farkı soğutucu performansını büyük ölçüde etkilemiştir. "6063 Ø114" soğutucu maksimum 67 °C sıcaklıkta sabit kalırken "6063 Ø95" soğutucu 10,5 dakikada (630 saniye) COB LED'in ışık ve ömür performansının sınır değeri olan 85 °C'yi aştığı için ölçüm sonlandırılarak başarısız kabul edilmiştir. Bölüm 5'deki ANSYS

simülasyonunda ise 40W COB LED için “6063 Ø114” soğutucunun maksimum sabit sıcaklığı değeri 66 °C olarak okunurken “6063 Ø95” soğutucunun değeri 108 °C olarak okunur. Deney 85 °C’de sonlandırılmasaydı, COB LED Tablo 4.2’de verilen “Maksimum Kılıf Sıcaklığı” değeri olan 105 °C’yi aştığı için kullanım dışı olacak ölçüde bozulmaya uğrayacaktı. Aydındık değeri ayrıca ışık akısı değeri sıcaklığın artışına bağlı olarak belirli bir düşüş yaşamış ve sıcaklığın sabitlenmesi ile sabitlenmiştir. Bu düşüş, “6063 Ø114” soğutucuda 42 °C sıcaklık değişiminde 1460 Lüx iken “6063 Ø95” soğutucuda 60 °C sıcaklık değişimde 1970 Lüx olmuştur.

Şekil 6.2’de grafiği verilen 6063 malzemeden yapılmış “Ø95” soğutucu ile Şekil 6.3’te grafiği verilen Etial150 malzemeden yapılmış “Ø95” soğutucu, aynı güç değerinde aynı boyutta COB LED ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ölçümler sonucunda iki soğutucu da testi geçememiş ve sonlandırılmıştır. “6063 Ø95 soğutucunun genişlik ve kanatçık boyutu gibi faktörlerden dolayı COB LED’in ışık ve ömür performansının sınır değeri olan 85 °C’yi aştığı yorumlanmıştır. “Etial150 Ø95” soğutucu “6063 Ø95” soğutucuyla hemen hemen aynı boyutlara sahiptir ancak üretilen malzeme ve kanatçık sayısı bakımından birbirlerinden farklıdır. “Etial150 Ø95” soğutucu Tablo 4.8’de görüldüğü üzere 205 W/m.K ısıl iletkenlik katsayısına sahip bir malzeme iken “6063 Ø95” soğutucu Tablo 4.9’da görüldüğü üzere 215 W/m.K civarında ısıl iletkenlik katsayısına sahiptir. “Etial150 Ø95” soğutucu 16 adet kanatçığa sahip iken “6063 Ø95” soğutucu 12 adet kanatçığa sahiptir. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’e bakıldığında; “6063 Ø95” soğutucu 10,5 dakikada 85 °C sıcaklığa ulaşmıştır, “Etial150 Ø95” soğutucu ise 21 dakikada 85 °C sıcaklığa ulaşmıştır. “Etial150 Ø95” soğutucunun daha geç ısınması, ısı transferinin daha iyi olduğunun göstergesidir. Ancak Etial150 alüminyum alaşım malzemesinin ısıl iletkenliği, 6063 alüminyum alaşım malzemesinin ısıl iletkenliğinden düşüktür. Isıl iletkenlik katsayısı daha düşük olmasına rağmen “Etial150 Ø95” soğutucunun ısı transferinin daha iyi olmasının nedeni fazladan 4 adet kanatçığı olduğu yorumlanmıştır. Böylece kanatçık sayısının yüzey alanı arttırılıp ısıl taşınımı hızlandırdığı teorik hesaplarda görüldüğü gibi deneysel uygulamalarda da görülmüştür.

Isıl iletim katsayısın önemi ise “COB LED kılıf sıcaklığı” ile “soğutucu sıcaklığı” değerlerinin ölçüm sonuçlarında ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de kullanılan 6063 alüminyum alaşım malzemesinin LED kılıf sıcaklığı ve soğutucu sıcaklığı eğrileri deney boyunca bitişik devam ederken Şekil 6.3’deki Etial150 alüminyum alaşımı

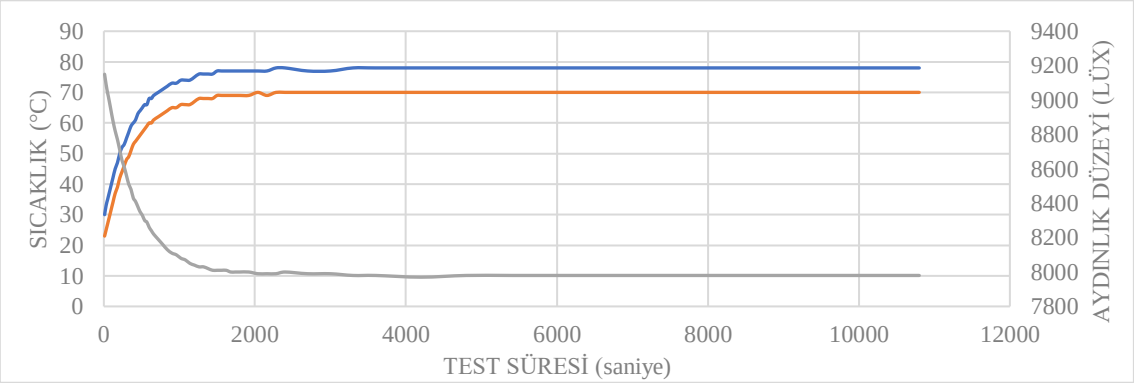
malzemesinin sıcaklık eğrileri oldukça aralıklıdır. Aralıklı olması ısıl iletimin daha yavaş olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.4. 30W COB LED – 6063 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



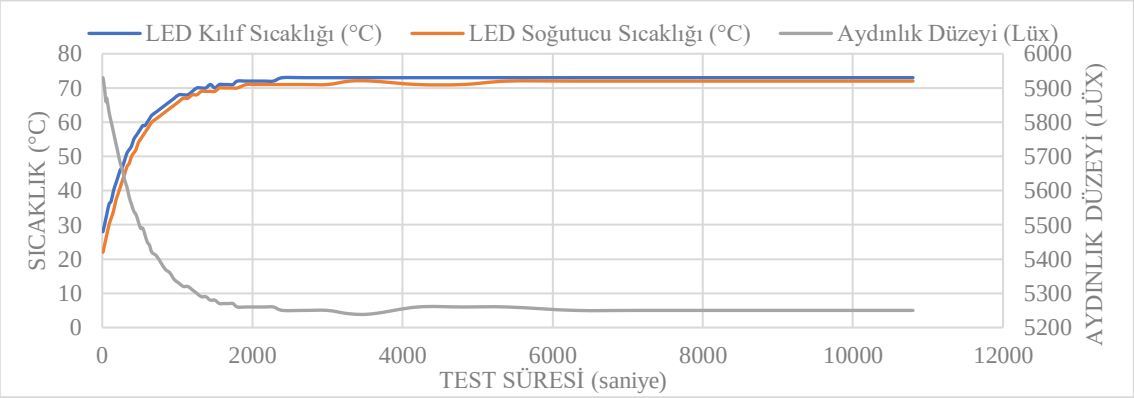
Şekil 6.5. 30W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



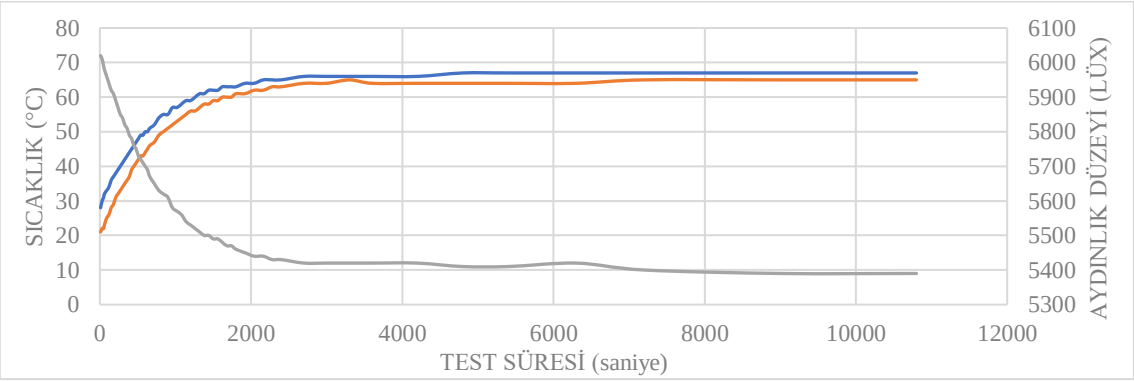
Şekil 6.6. 30W COB LED – 6063 Ø70 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'de; 30 W COB LED, 3 farklı kaplamasız soğutucuya bağlanmış ve ölçüm sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. 40 W COB LED aksine 30 W COB LED kullanıldığında Şekil 6.4'deki "6063 Ø95" ve Şekil 6.5'deki "Etial150 Ø95" soğutucu deneysel uygulamaları standartlara uygun bir şekilde tamamlamıştır. Ayrıca Şekil 6.6'da, genişliği diğer ikisinden daha küçük, 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden üretilmiş "6063 Ø70" soğutucu kullanılmıştır.

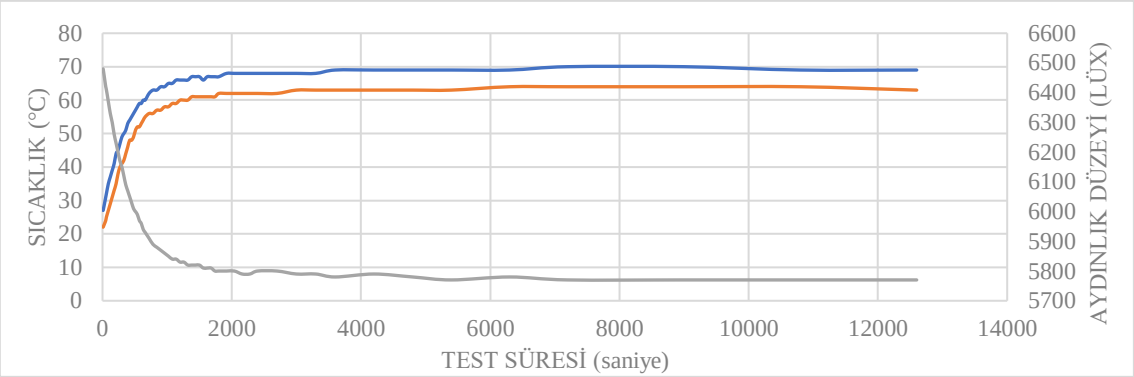
3 soğutucu arasında en yüksek değerdeki maksimum sabitlenen sıcaklığa sahip (84 °C) "6063 Ø95" soğutucu olmuştur. "6063 Ø70" soğutucunun genişlik değeri daha küçük olmasına karşın maksimum sabitlenen sıcaklığı (78 °C), "6063 Ø95" soğutucunun maksimum sabitlenen sıcaklığından (84 °C) düşüktür. Isı transferinin "6063 Ø70" soğutucuda daha yüksek olmasının nedeni kanatçıklarının 1,3 cm daha uzun olması ve tırtıklar ile daha fazla yüzey alanına sahip olmasıdır. Kanatçıkların uzun olması "COB LED kılıf sıcaklığı" ile "soğutucu sıcaklığı" değerleri arasındaki farkı arttırmaktadır.



Şekil 6.7. 18W COB LED – 6063 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

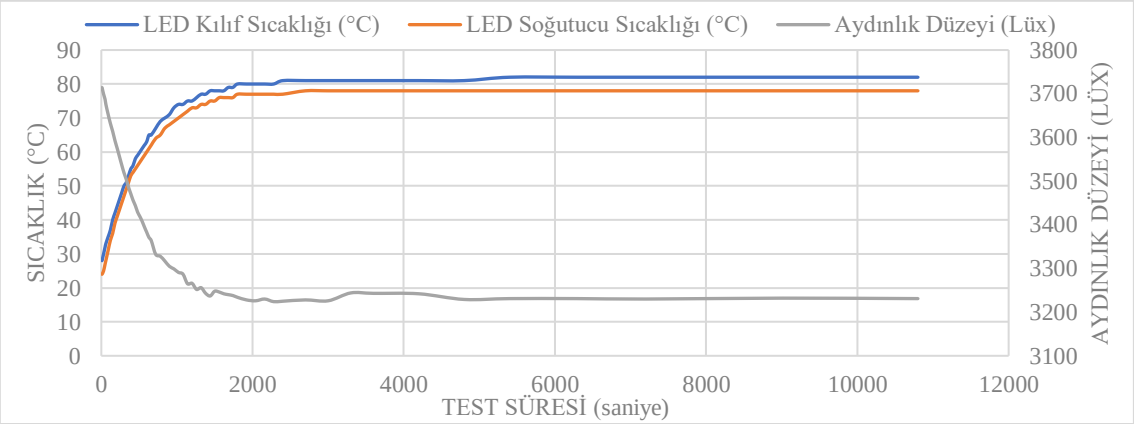


Şekil 6.8. 18W COB LED – Etial150 Ø95 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

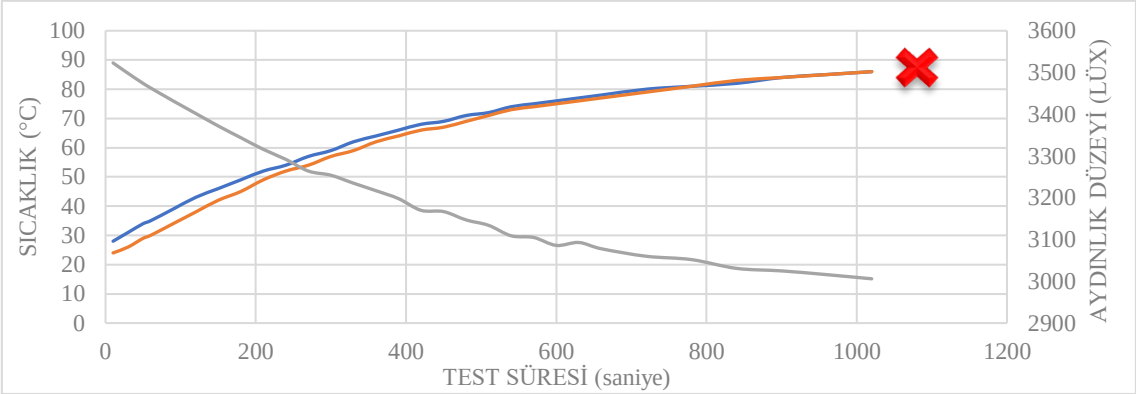


Şekil 6.9. 18W COB LED – 6063 Ø70 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

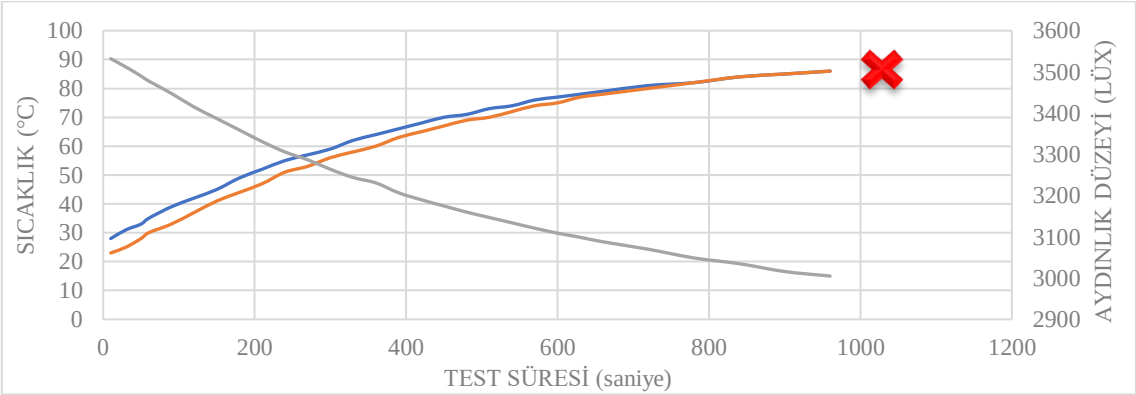
Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da; 18 W COB LED, 3 farklı kaplamasız soğutucuya bağlanmış ve ölçüm sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. Kullanılan soğutucular 30 W COB LED'de kullanılan soğutucular ile aynıdır. Maksimum sabitlenen sıcaklık değerleri LED gücü ile orantılı olarak azalmıştır. Ancak 30 W COB LED kullanıldığında maksimum sabitlenen kılıf sıcaklığı değerleri eşit olan "Etial150 Ø95" ile "6063 Ø70" soğutucunun 18 W COB LED kullanıldığında aralarında 2 °C fark oluşmuştur. "Etial150 Ø95" soğutucunun ısıl transferi az da olsa daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 6.10. 10W COB LED – 6063 Ø43 soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.11. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (Parlak) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.12. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (Mat) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

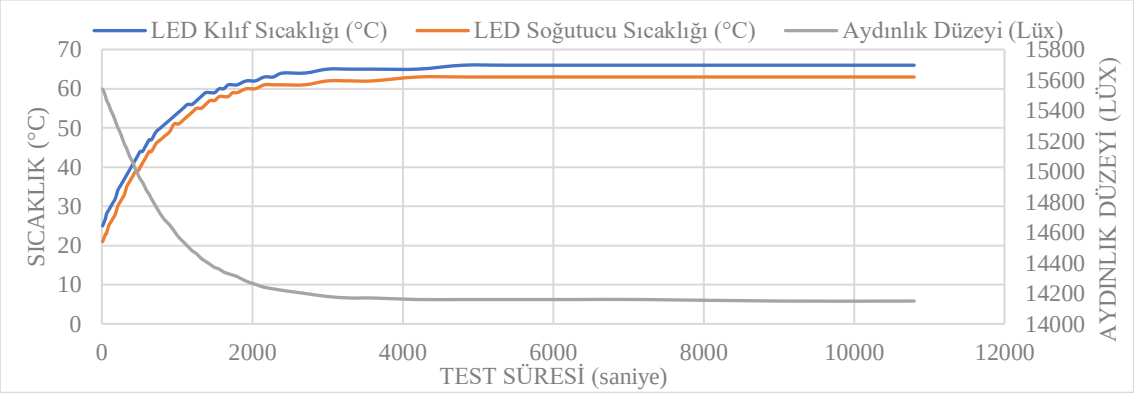
Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de; 10 W COB LED, 3 farklı kaplamasız soğutucuya bağlanmış ve ölçüm sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. Soğutuculardan Şekil 6.10'daki 6063 alüminyum alaşımdan üretilmiş küçük boyutlardaki soğutucunun (6063 Ø43) ısıl değerleri standartlara uygun iken Şekil 6.11'de verilen Etial150 alüminyum alaşımdan üretilmiş yüzeyi parlatılmış küçük boyutlardaki soğutucunun ve Şekil 6.12'de verilen Etial150 alüminyum alaşımdan üretilmiş yüzeyi mat olan küçük boyutlardaki soğutucunun ısıl değerleri standartlara uygun değildir.

Kullanılan 3 soğutucunun genişlikleri eşittir ancak "6063 Ø43" soğutucunun kanatçık uzunluğu diğerlerinden 0,5 cm daha fazladır. "Etial150 Ø45 (Parlak)" ile "Etial150 Ø45 (Mat)" arasında hiçbir boyut farkı yoktur ancak yüzey parlatılması farkı mevcuttur.

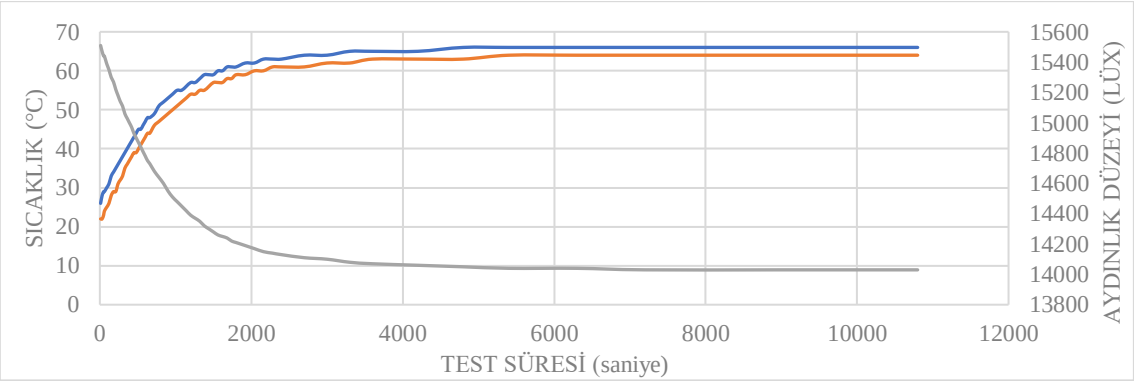
"6063 Ø43" soğutucu 82 °C'lik maksimum sabit kılıf sıcaklığına sabittir. Soğutucu sıcaklığı ile kılıf sıcaklığının 4 °C'lik bir farka sahiptir. "Etial150 Ø45 (Parlak)" ile

“Etial150 Ø45 (Mat)” sırasıyla 17. ve 16. dakikalarda 85°C değerini aşmıştır. İki Etial150 malzemeli soğutucunun kıyaslaması yapıldığında 1 dakikalık fark ile parlatılmış yüzeyli olanın ısı transferinde daha başarılı olduğu görülmüştür. Teorik hesaplarda bu durum ısıl ışıma katsayısının parlak yüzeylerde artması ve böylelikle ışıma ile ısı transferinin daha yüksek olması ile açıklanmaktadır.

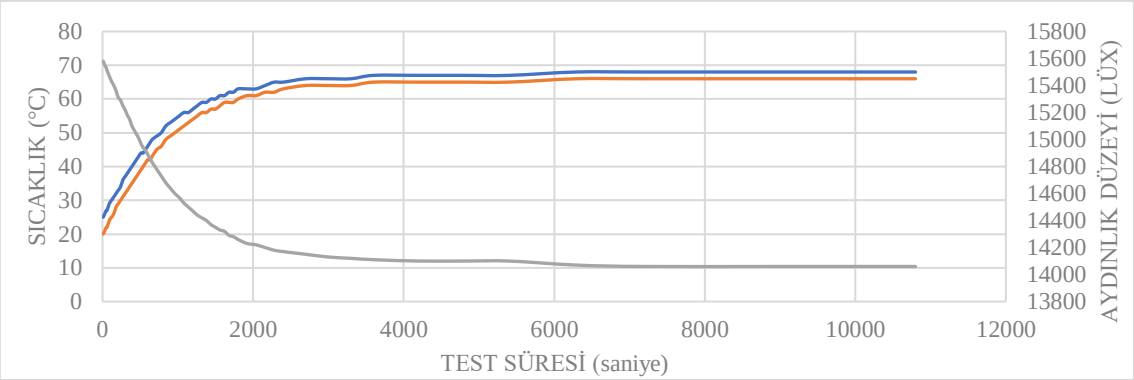
Kaplamasız ölçümlerden sonra aynı soğutuculara bakır ve gümüş malzeme olmak üzere 10, 25 ve 40 mikrometre kalınlığında kaplamalar uygulanmış ve her bir kaplama malzemesi ve kaplama kalınlığı ayrı ayrı ölçülmüştür. Sonuçlar grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.13. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

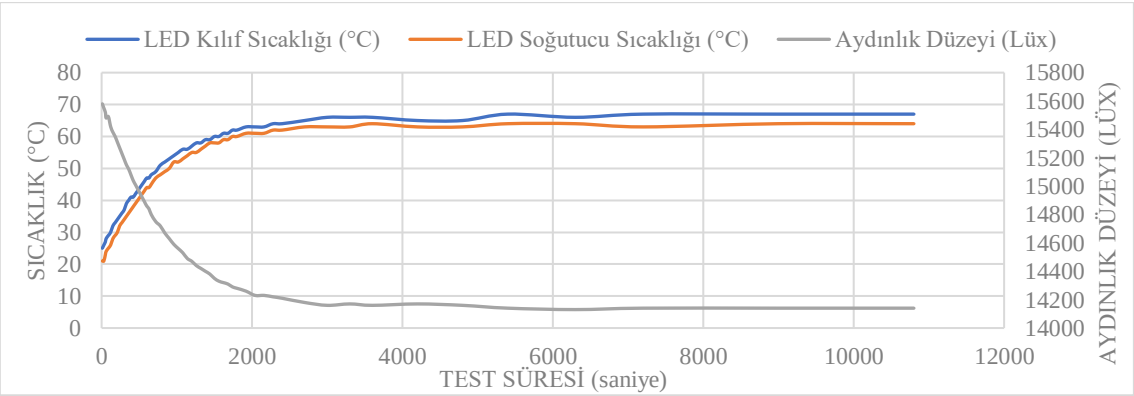


Şekil 6.14. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

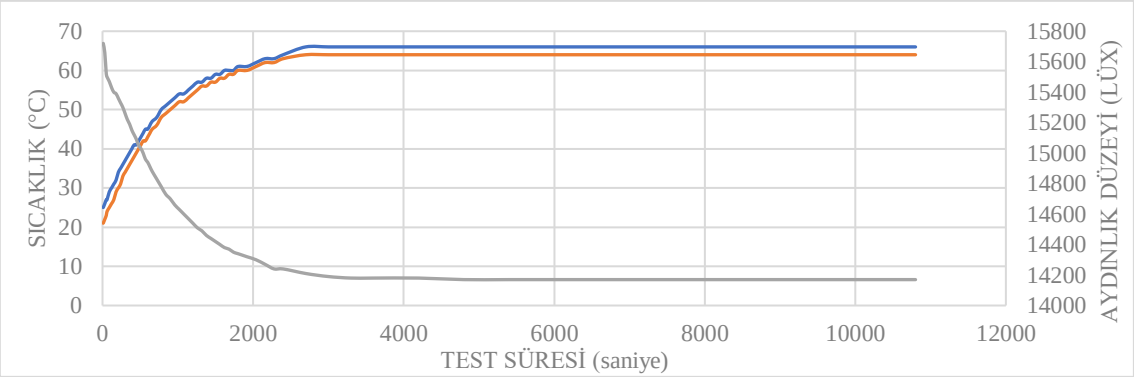


Şekil 6.15. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

40W gücündeki COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø114" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'de verilmiştir. Kaplama kalınlığı 10 µm'den 40 µm'ye arttıkça LED kılıf sıcaklığı değeri yükselmiş ve COB LED daha fazla ısınmıştır. Kaplama kalınlığının artması genel ısı transferini olumsuz etkilediği görülmektedir. Ancak soğutucu sıcaklıklarına bakıldığında; 10 µm bakır kaplamalı soğutucunun LED kılıf sıcaklığı ile soğutucu sıcaklığı arasındaki fark 3°C iken, 25 µm ve 40 µm bakır kaplamalı soğutucularda bu fark 2°C'ye düşmüştür. Yani kaplama kalınlığı arttığında genel ısı transferi azalırken ısı iletiminde bir artık meydana gelir. Isı iletimindeki bu artış bakır malzemenin ısıl iletiminin çok yüksek olmasından kaynaklı olabileceği ve kaplama yüzeyinde ısının daha kolay iletildiği tahmin edilmektedir. Genel ısı transferinin düşmesi; kaplamanın tırtıklı yüzeyi azalttığı ve böylece yüzey alanını azaltması veya kaplamadan soğutucunun kendi malzemesine geçen ısının kaplama kalınlığı arttıkça sınırlanması nedeniyle olabilmektedir.



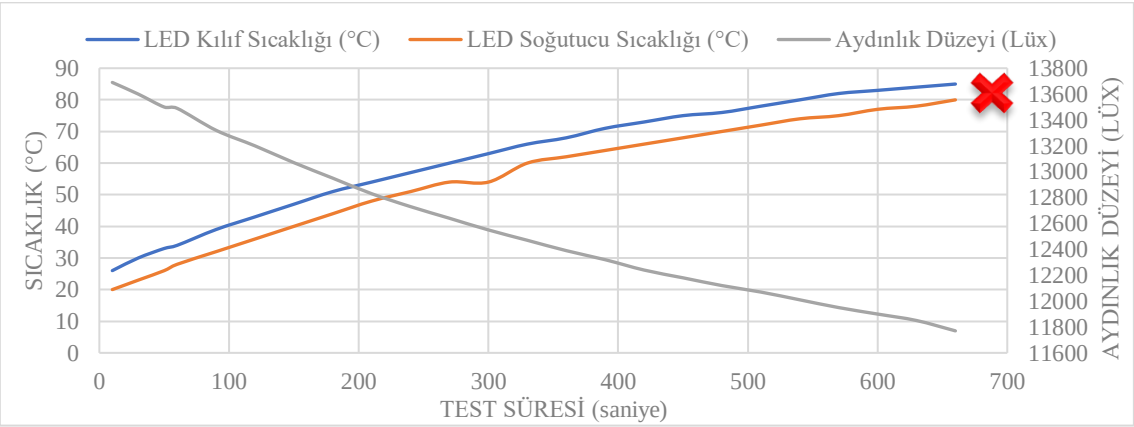
Şekil 6.16. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.17. 40 W COB LED – 6063 Ø114 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

40W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø114" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de verilmiştir. Gümüş kaplanmış soğutucularda bakır kaplanmış soğutucularda olduğundan tersi olmuş, 10 µm kaplama kalınlığından 25 µm kalınlığına geçerken COB LED kılıf sıcaklığı düşmüştür.

40W COB LED bağlanmış kaplamasız "6063 Ø114" soğutucu ile bakır ve gümüş kaplamalı soğutucular kıyaslandığında ise 10 ile 25 µm kalınlıktaki kaplamalar gerek kılıf sıcaklığı gerek aydınlık düzeyi değerleri bakımından kaplamasız soğutucudan üstün çıkmıştır. Ancak 40 µm kaplama sonucundaki değerler kaplamasız soğutucu değerlerinden dezavantajlı ölçülmüştür.

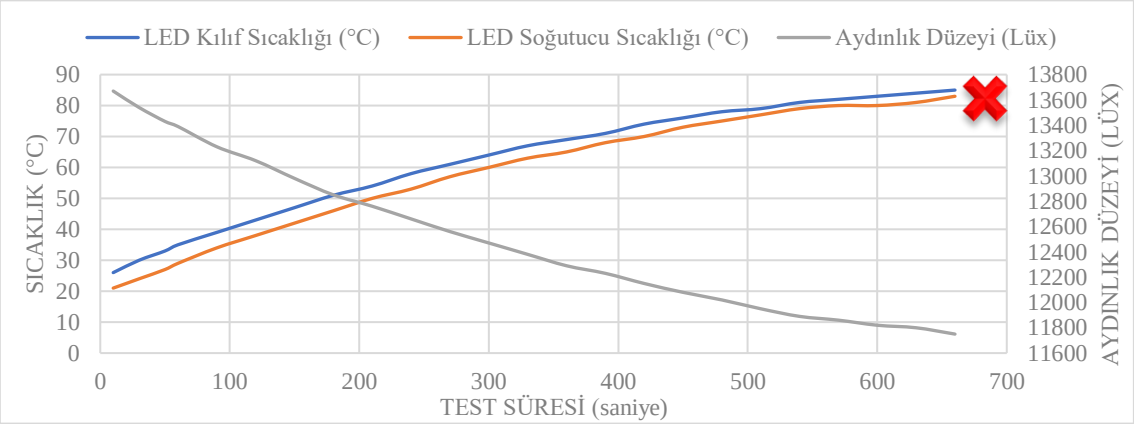


Şekil 6.18. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.19. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

40W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.18 ve Şekil 6.19'da verilmiştir. 40W COB LED kullanılmış kaplamasız "6063 Ø95" soğutucunun standartlara uygun olmadığı gibi bu soğutucunun kaplamalı halleri de standartlara uymamıştır.

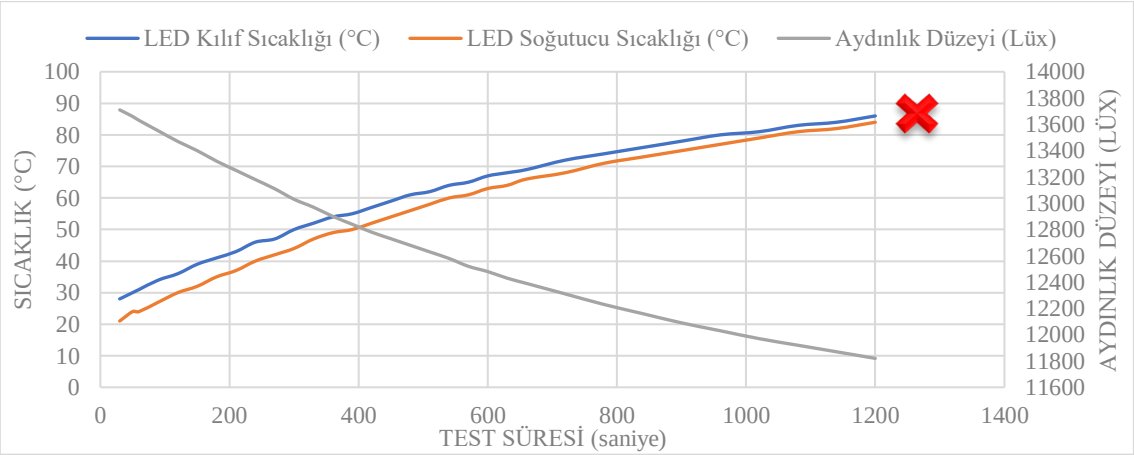


Şekil 6.20. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

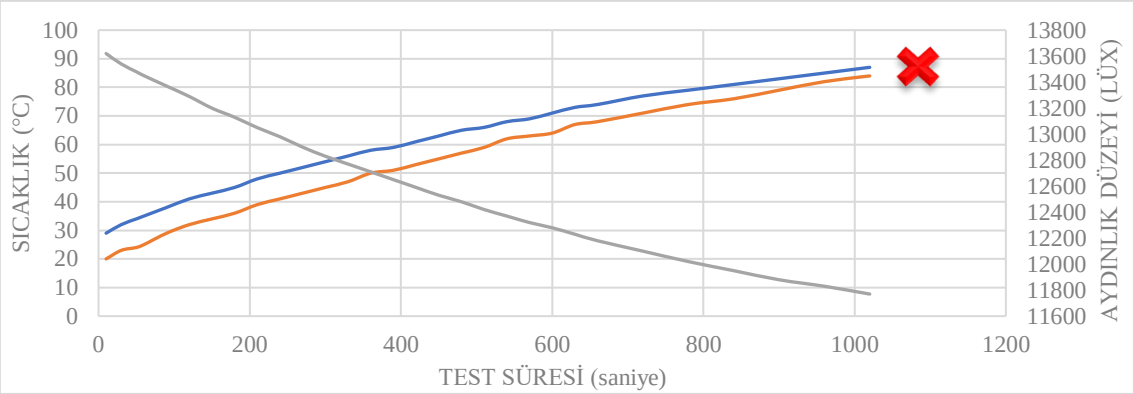


Şekil 6.21. 40 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

40W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de verilmiştir. "6063 Ø95" soğutucuda kaplama malzemesinin değişmesi, LED kılıf sıcaklığının 85°C'ye vardığı süreyi değiştirmemiştir. 85°C'ye vardığı süre kaplamasız ve kaplamalı soğutucularda değişime uğramıştır. "6063 Ø95" soğutucunun kaplamasız hali 10,5 dakikada, 25 µm kalınlıklı bakır ve gümüş kaplamalı hali 11 dakikada, 40 µm kalınlıklı bakır ve gümüş kaplamalı hali 12 dakikada 85°C'yi aşmıştır. Bu soğutucu için kaplama kalınlığı arttıkça ısı transferi performansı artmıştır.

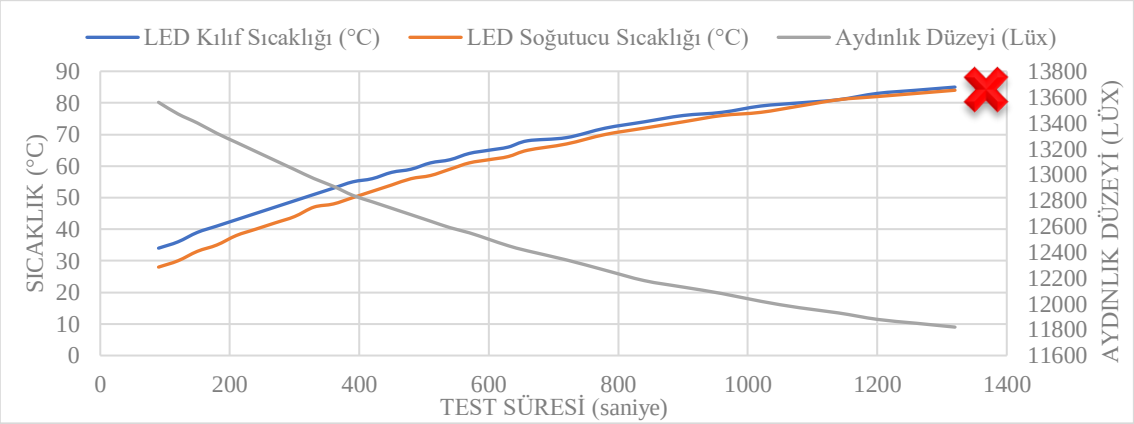


Şekil 6.22. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

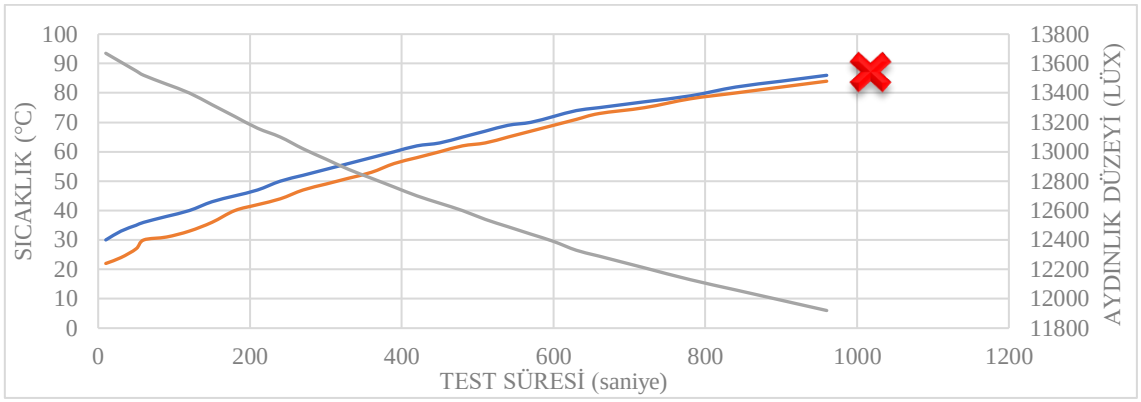


Şekil 6.23. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

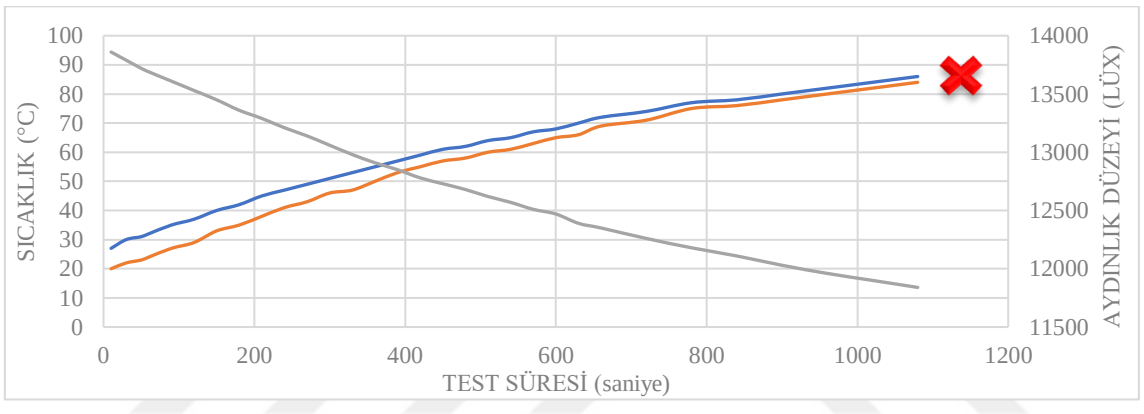
40W COB LED kullanılarak Etial150 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'te verilmiştir. "Etial150 Ø95" soğutuşu kaplamasız halinde olduğu gibi kaplamalı halinde de standartları sağlayamamıştır. "Etial150 Ø95" soğutucunun kaplamasız hali 21 dakikada, 25 µm bakır kaplamalı hali 20 dakikada, 40 µm bakır kaplamalı hali 17 dakikada sınır sıcaklık değerini aşar. Kaplamanın olumlu özelliği, ısıl iletim katsayısı yüksek malzeme ile kaplamadan dolayı iki kaplama kalınlığında da kaplamasız soğutucudan 2 derece daha iyi soğutucu sıcaklığı derecesi mevcuttur.



Şekil 6.24. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.25. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



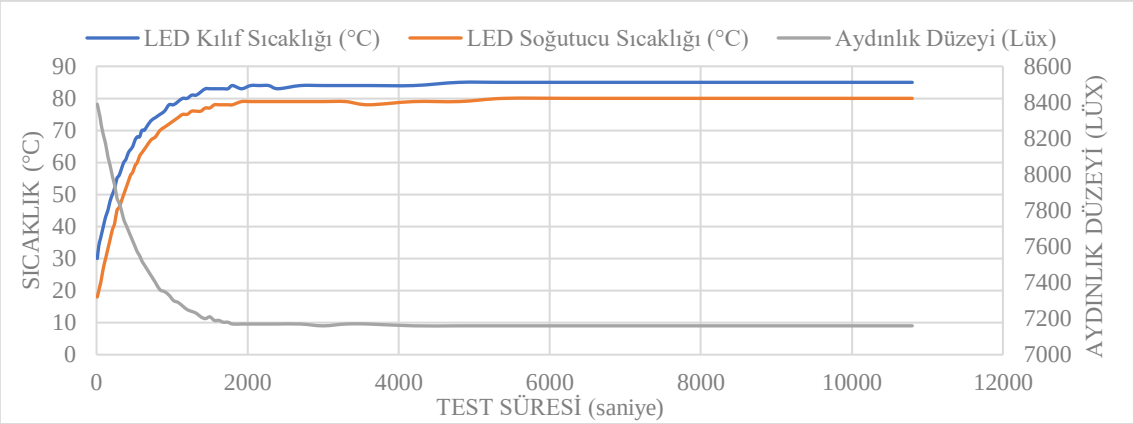
Şekil 6.26. 40 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

40W COB LED kullanılarak Etial150 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.24, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da verilmiştir. "Etial150 Ø95" soğutucunun kaplamasız hali 21 dakikada, 10 µm gümüş kaplamalı hali 22 dakikada, 25 µm gümüş kaplamalı hali 16 dakikada ve 40 µm gümüş kaplamalı hali 18 dakikada sınır sıcaklık değerini aşar. Gümüş kaplama kalınlığı 10 µm olan soğutucu değerleri, kaplamasız soğutucudan 1 dakika daha iyi bir durumdadır ve aydınlık düzeyi değerleri de aynı şekilde daha olumlu devam etmiştir. Gümüş kaplama kalınlığı 25 µm ve 40 µm olan soğutucular, kaplamasız soğutucuya göre daha olumsuz değerlere sahip olmuştur.

Aynı kalınlıktaki; 40 µm bakır kaplamalı ve 40 µm gümüş kaplamalı "Etial150 Ø95" soğutucu kıyaslandığında ise ısıl iletim katsayısı yüksek olan gümüş malzemenin etkisi

gözükmektedir. Gümüş kaplamalı soğutucu, 1 dakika daha geç sürede sınır sıcaklık değerine ulaşmıştır.

Yüksek güçlü 40W COB LED kullanımında soğutucu üzerine kaplama yapmanın LED sıcaklığını azaltmada büyük bir faydası olmadığı görülmüştür. Ancak LED gücü azaldıkça soğutucu kaplamanın etkisi daha çok belirginleşmiştir.



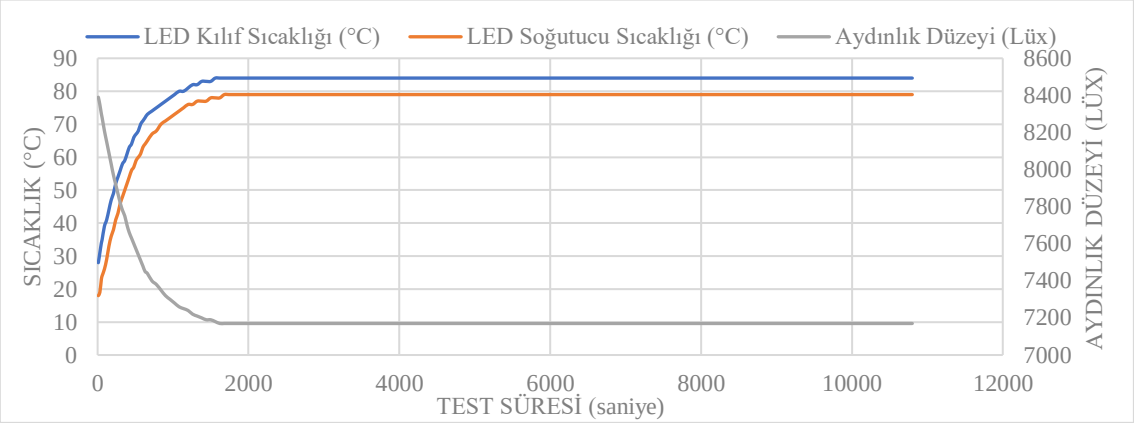
Şekil 6.27. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



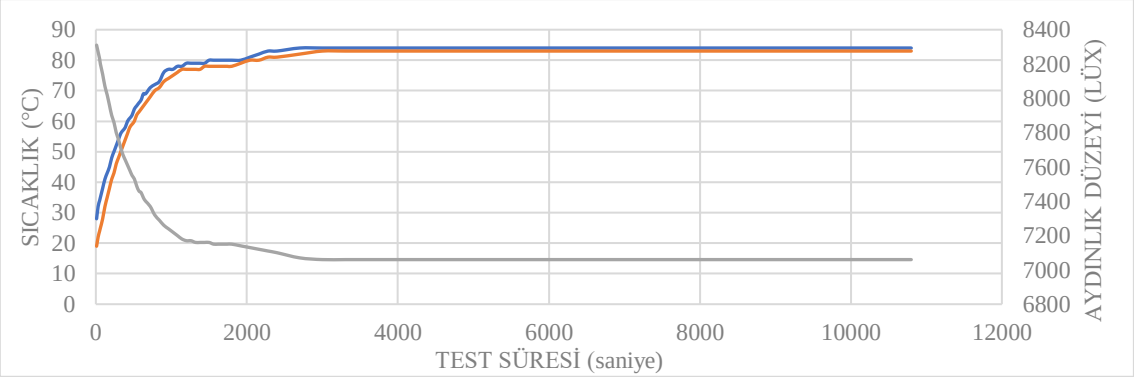
Şekil 6.28. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

30W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de verilmiştir. Bakır kaplama kalınlığı 25 µm olan (Şekil 6.27) soğutucu ile bakır kaplama kalınlığı 40 µm olan (Şekil 6.28) soğutucu arasında olumlu veya olumsuz büyük bir değişim yaşanmamıştır ancak kaplamasız soğutucuya göre daha olumsuz sıcaklık değerleri vermiştir. 25 µm bakır kaplamada LED kılıf sıcaklığı ile soğutucu sıcaklığı arası fark, kaplamasız

soğutucununkilerle aynı iken 40 µm bakır kaplamada LED kılıf sıcaklığı ile soğutucu sıcaklığı arası fark, kaplamasız soğutucununkilerden 3°C daha azdır. Bu da ısıl iletimin iyi bir oranda arttığı ancak genel ısı transferinde azalmanın meydana geldiğinin sonucudur.



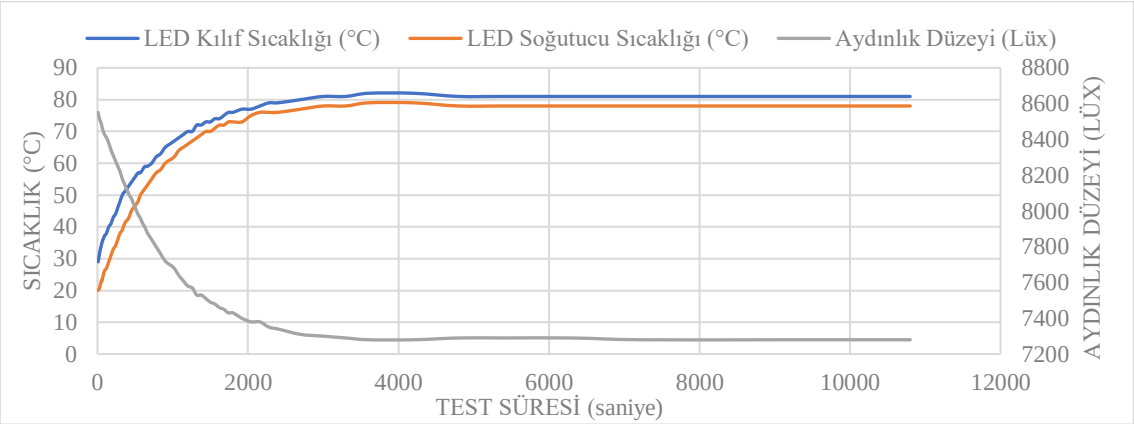
Şekil 6.29. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.30. 30 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

30W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da verilmiştir. Gümüş kaplama yapılmış kalınlığı 25 µm olan (Şekil 6.29) ve kalınlığı 40 µm olan (Şekil 6.30) "6063 Ø95" soğutucular da aynı soğutucunun bakır kaplanmış halinde olduğu gibi aralarında olumlu veya olumsuz büyük bir değişim yaşanmamıştır ancak kaplamasız soğutucuya göre daha olumsuz sıcaklık değerleri vermiştir. Gümüş kaplama kalınlığı 40 µm olan soğutucu, bakır kaplama kalınlığı 40 µm olan soğutucu gibi davranmış ve LED kılıf

sıcaklığı ile soğutucu sıcaklığı arasındaki fark 25 µm gümüş kaplama ve kaplamasız hallere göre 3°C daha olumlu bir sonuç vermiştir.

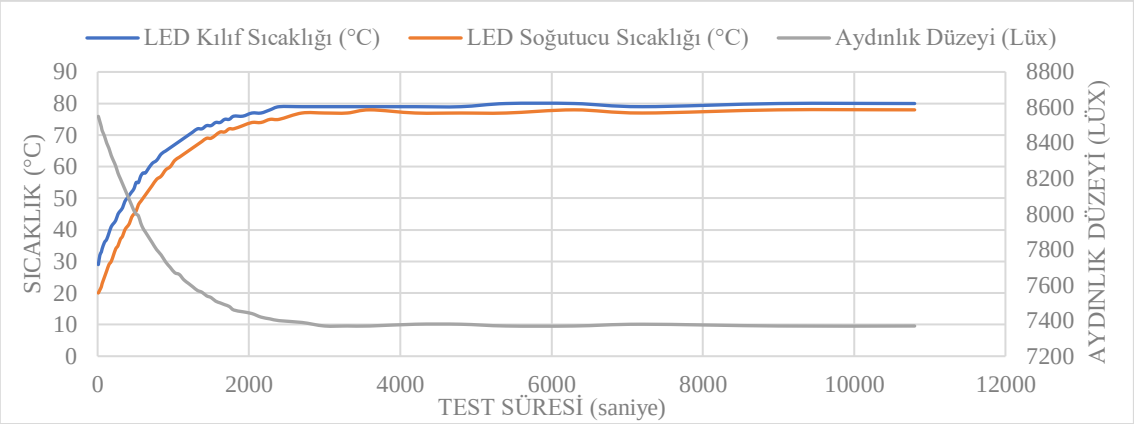


Şekil 6.31. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

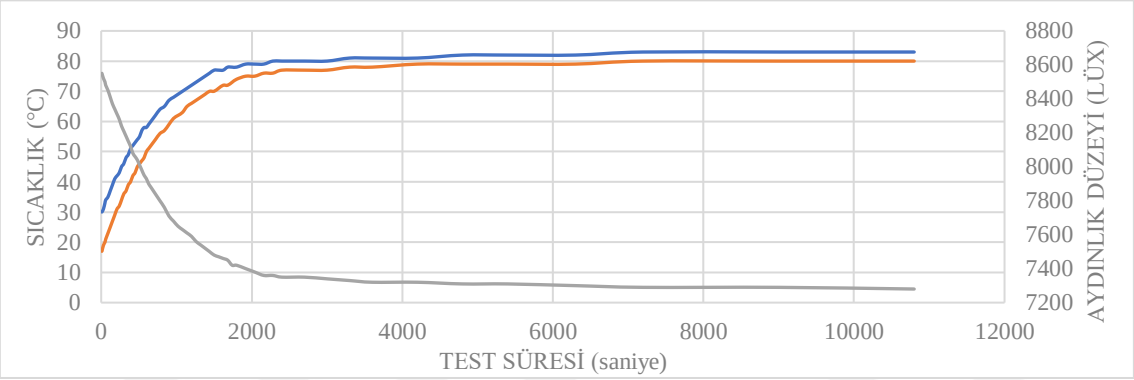


Şekil 6.32. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

30W COB LED kullanılarak Etial150 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.31 ve Şekil 6.32'de verilmiştir. 25 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu, kaplamasız soğutucuya göre 3°C daha fazla ısınmıştır. 40 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu da, kaplamasız soğutucuya göre 7°C daha fazla ısınmıştır.



Şekil 6.33. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



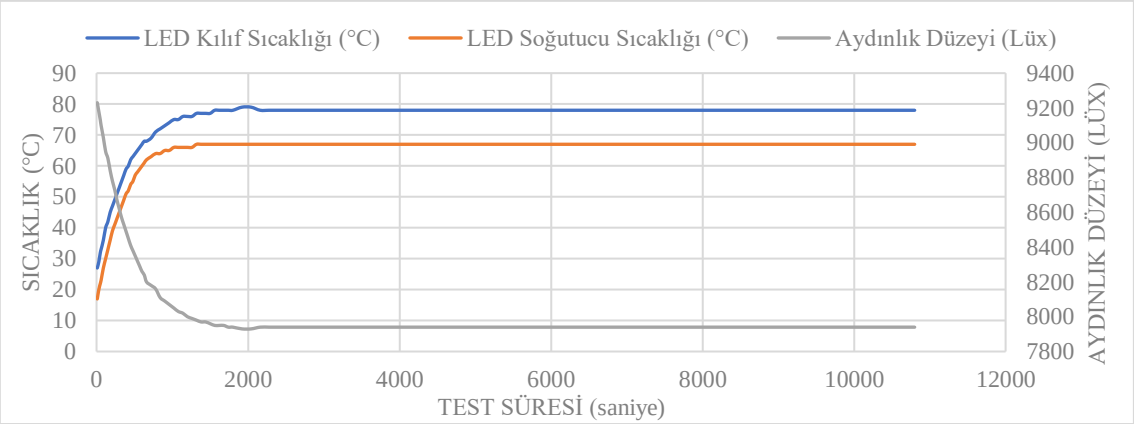
Şekil 6.34. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.35. 30 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

30W COB LED kullanılarak Etial150 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.33, Şekil 6.34 ve Şekil 6.35'te verilmiştir.

10 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 2°C daha fazla, 25 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 5°C daha fazla, 40 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 6°C daha fazla ısınmıştır. Kaplamanın olumlu özellikleri "Etial150 Ø95" soğutucunun hiçbir uygulamasında geçerli olmamıştır.

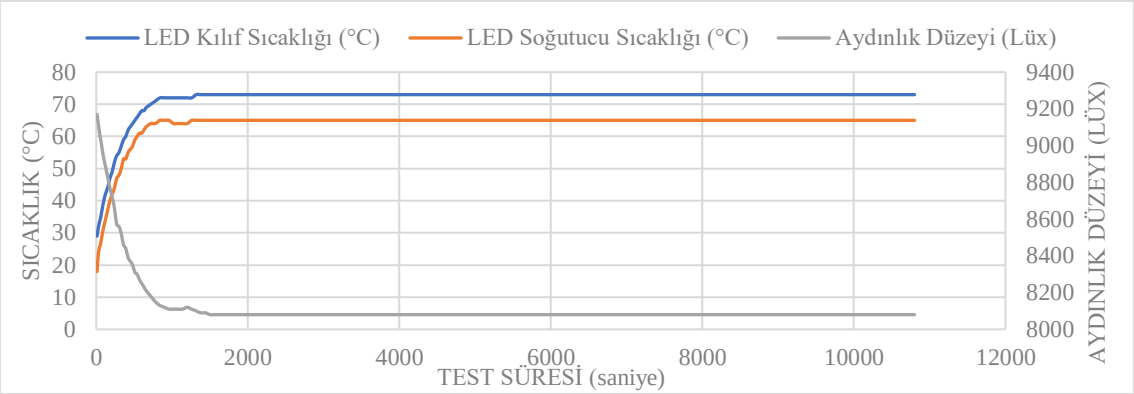


Şekil 6.36. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.37. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

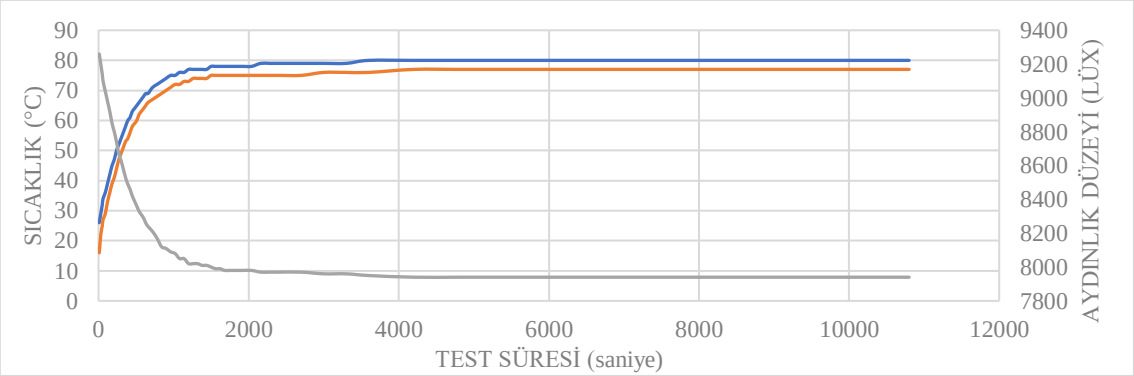
30W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø70" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.36 ve Şekil 6.37'de verilmiştir. 10 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucu ile aynı sıcaklık değerlerini verirken 40 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 5°C daha fazla sıcaklık değeri verir.



Şekil 6.38. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.39. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

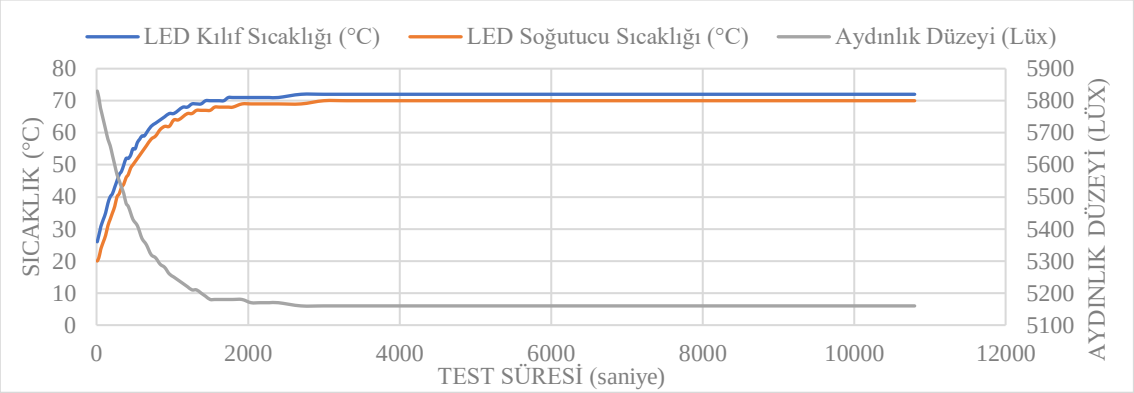


Şekil 6.40. 30 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

30W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø70" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.38, Şekil 6.39 ve Şekil 6.40'ta verilmiştir. 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplamalı soğutucu, olumlu özellik göstererek kaplamasız

soğutucudan 5°C daha düşük bir LED kılıf sıcaklığına sahip olmuştur. Bu sıcaklık iyileşmesi aydınlık düzeyinde 100 Lüx kazanç sağlamıştır. 25 µm kalınlıktaki gümüş kaplamalı soğutucu, kaplamasız soğutucudan 1°C düşük sıcaklık değerlerine sahip iken 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplamalı soğutucu 2°C daha fazla ısınmıştır.

Soğutucunun dış yüzeyindeki ısı iletimi "6063 Ø70" soğutucuda çok daha belirgin bir hal almıştır. Kaplamasız halinde LED kılıf sıcaklığı ile soğutucu sıcaklığı arasındaki fark 8°C iken 40 µm kaplama kalınlığında bu fark 3-5 °C arası bir değere inmiştir. Şekil 6.38, Şekil 6.39 ve Şekil 6.40 grafikleri incelendiğinde iki sıcaklık arasındaki fark kaplama kalınlığı arttıkça bariz bir şekilde azalmaktadır.



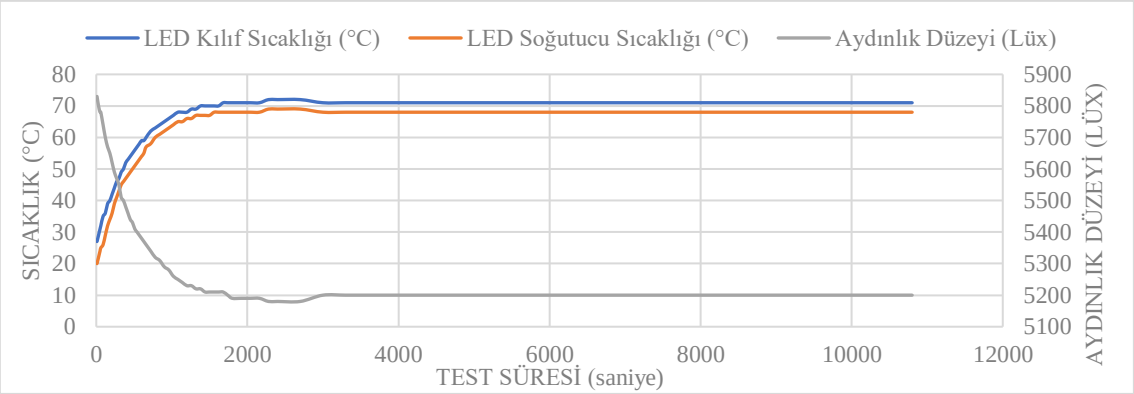
Şekil 6.41. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



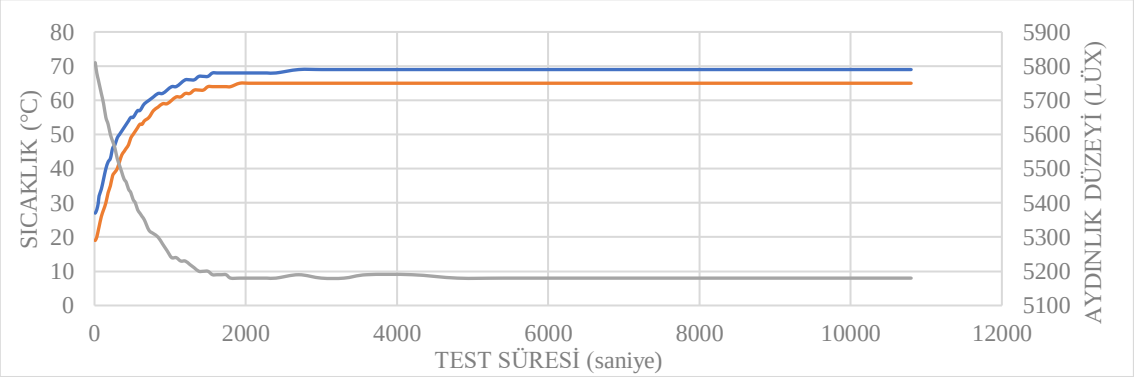
Şekil 6.42. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

18W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.41 ve Şekil 6.42'de verilmiştir. Bakır kaplama kalınlığı 25 µm ve 40 µm olan soğutucular, 18W COB LED kullanımında farklı olarak

kılıf sıcaklığının azalmasını sağlayarak olumlu bir etki sağlamıştır. 25 µm bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucudan 1°C, 40 µm bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucudan 3°C daha soğuk bir sıcaklık ölçülmüştür. Bu olumlu etki LED armatürlerin aydınlık düzeyi değerlerini yükseltmemesi, sıcaklık değişiminin bu soğutucuda ışıksal performans değerini etkilemediğini göstermektedir.



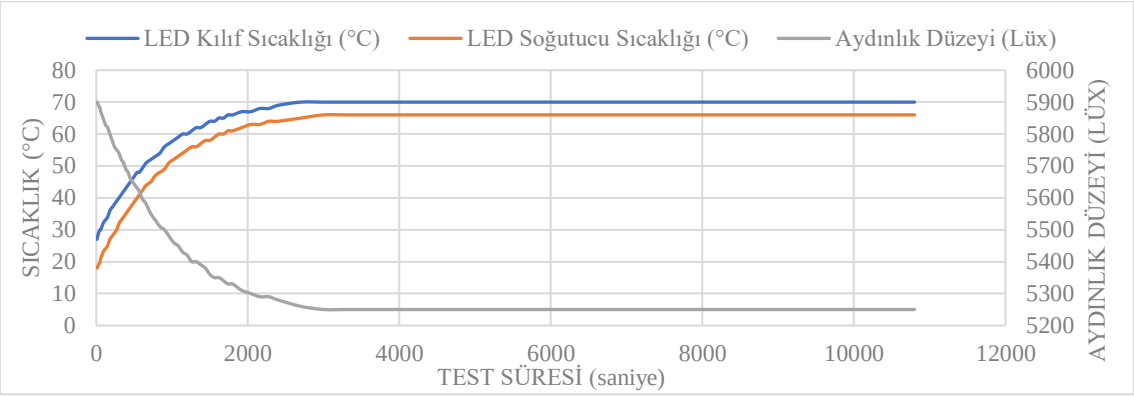
Şekil 6.43. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



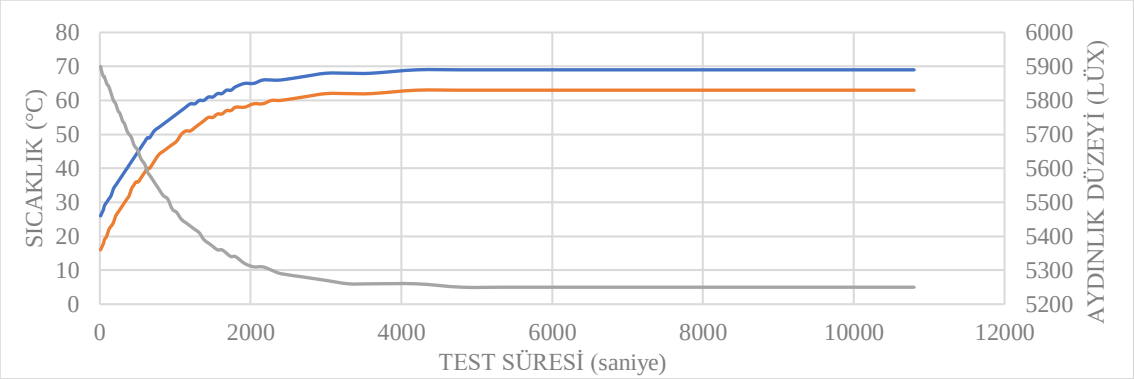
Şekil 6.44. 18 W COB LED – 6063 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

18W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.43 ve Şekil 6.44'te verilmiştir. "6063 Ø95" soğutucu bu COB LED kullanıldığında, bakır kaplanmış halinde olduğu gibi gümüş kaplanmış halinde de aynı etkiyi göstermiştir. 25 µm gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucudan 2°C, 40 µm gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucudan 4°C daha soğuk bir sıcaklık ölçülmüştür. Bu olumlu etki LED armatürlerin aydınlık

düzeyi değerlerini yükseltmemesi, sıcaklık değişiminin bu soğutucuda ışıksal performans değerini etkilemediğini göstermektedir.

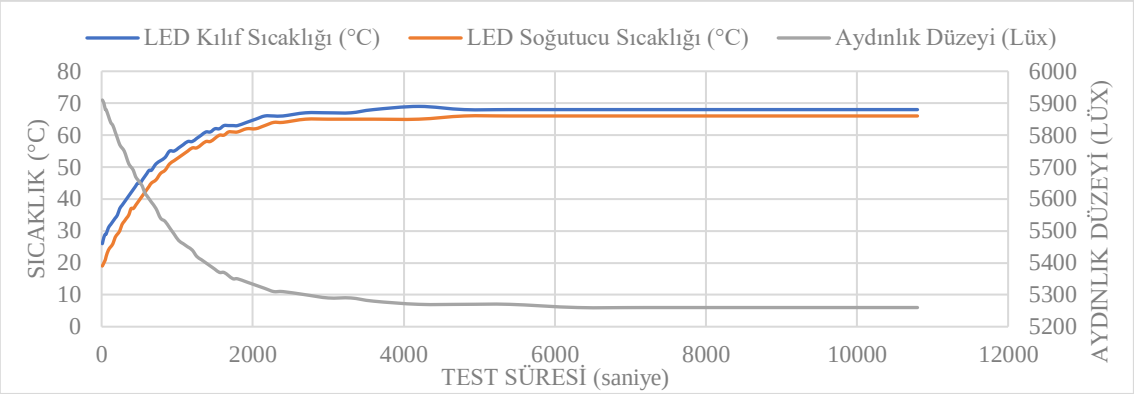


Şekil 6.45. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

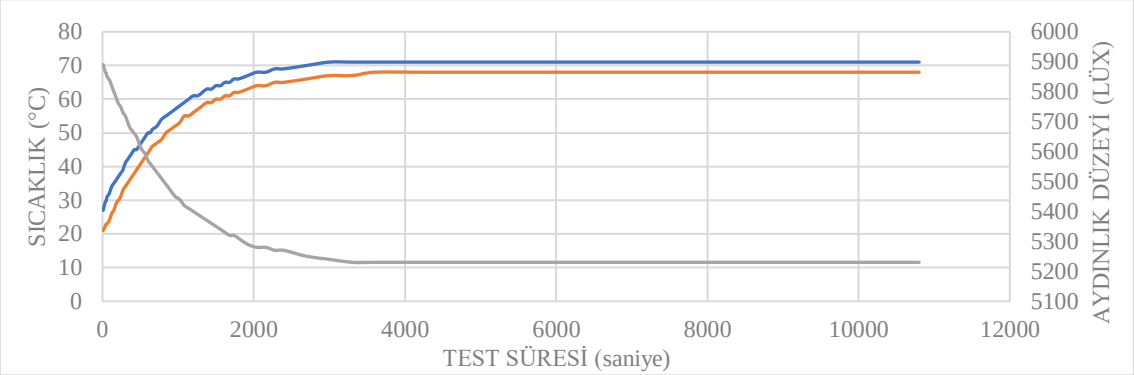


Şekil 6.46. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

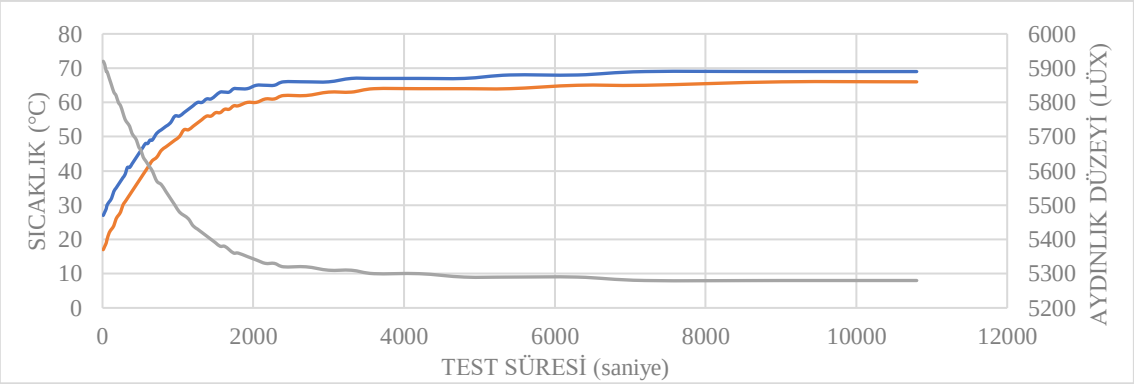
18W COB LED kullanılarak Etial150 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.45 ve Şekil 6.46'da verilmiştir. 25 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucudan 3°C daha fazla, 40 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucudan yine 3°C daha fazla sıcaklık değeri verir.



Şekil 6.47. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



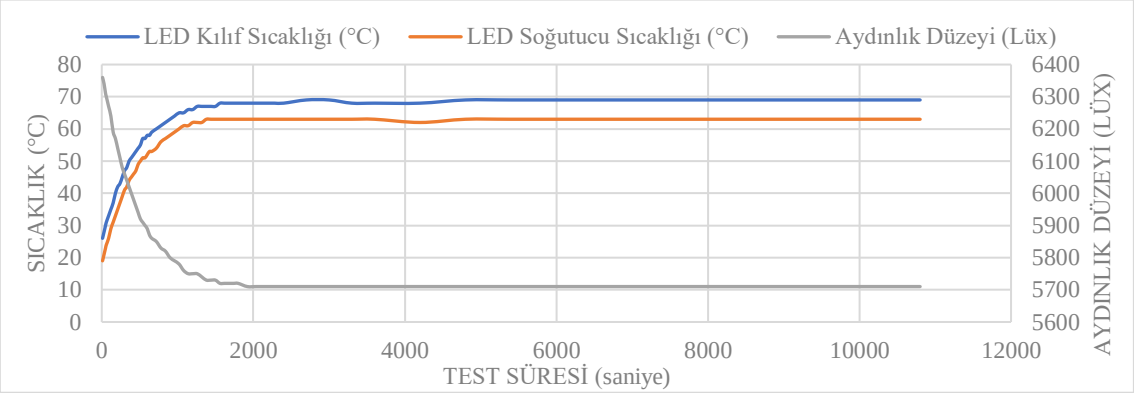
Şekil 6.48. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



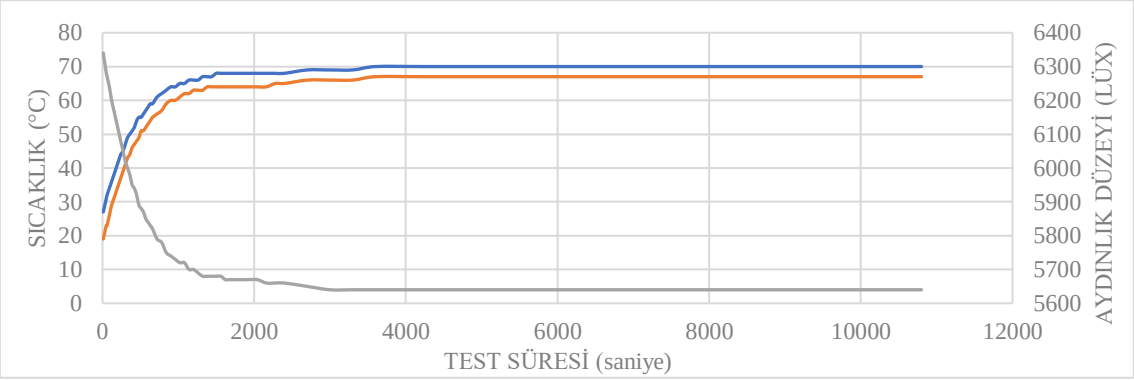
Şekil 6.49. 18 W COB LED – Etial150 Ø95 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

18W COB LED kullanılarak Etial150 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø95" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.47, Şekil 6.48 ve Şekil 6.49'da verilmiştir. 10 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucu ile aynı sıcaklık değerlerini verirken 25 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız

soğutucuya göre 4°C daha fazla sıcaklık değeri, 40 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 2°C daha fazla sıcaklık değeri verir. Diğer deneysel uygulamalardan farkı 40 µm kaplamanın 25 µm kaplamaya göre daha iyi sonuç vermesidir.

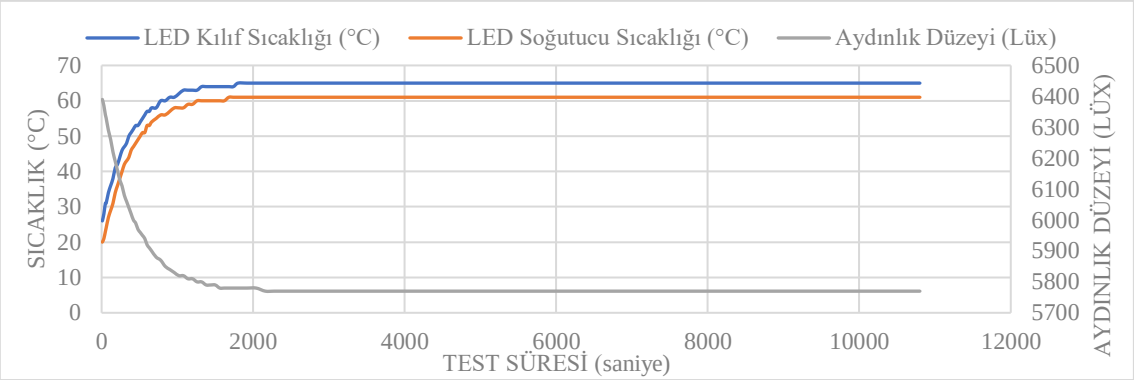


Şekil 6.50. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.51. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

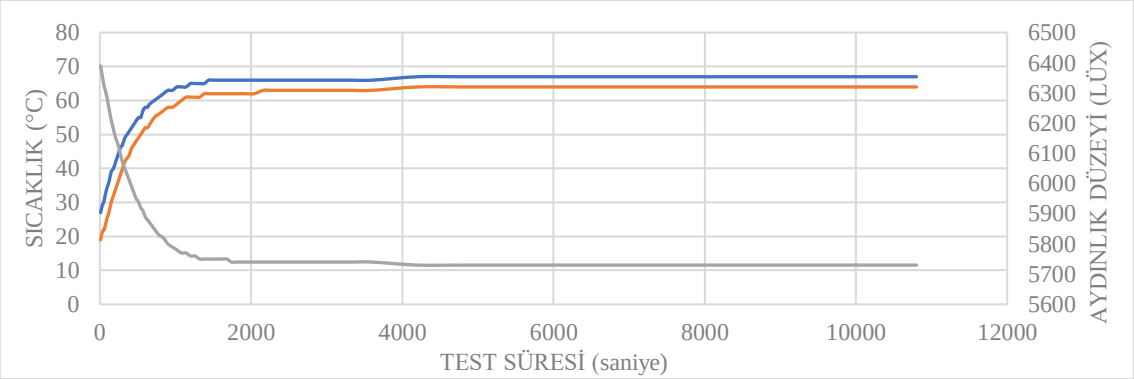
18W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø70" soğutucuların dışına farklı 2 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.50 ve Şekil 6.51'de verilmiştir. 10 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucu ile aynı sıcaklık değerlerini verirken 40 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 1°C daha fazla sıcaklık değeri vermiştir. Kaplamasız ve 10 µm bakır kaplamalı soğutucuda LED kılıf sıcaklığı ile soğutucu sıcaklığı arasındaki fark 6°C iken 40 µm bakır kaplamalı soğutucuda fark 3°C'ye düşmüştür. "6063 Ø70" soğutucuda kılıf sıcaklığı-soğutucu sıcaklık farkı belirgindir.



Şekil 6.52. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



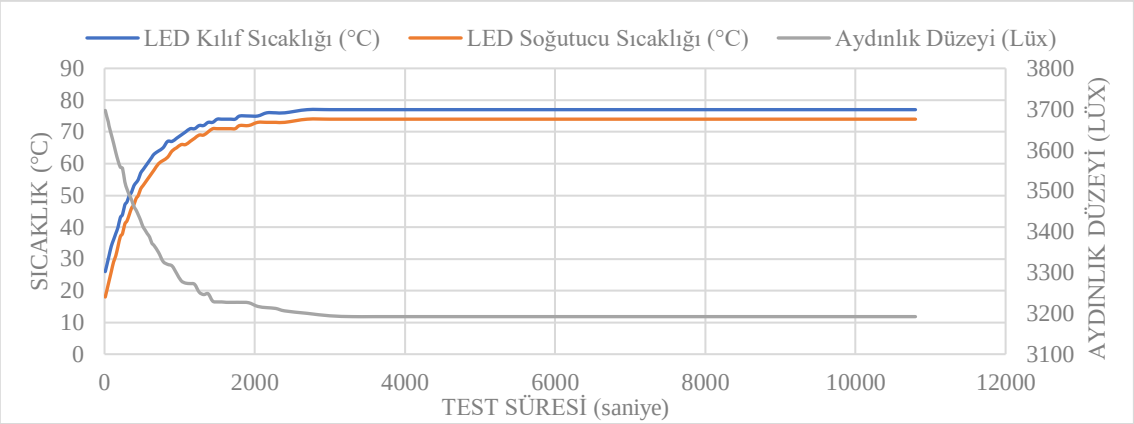
Şekil 6.53. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



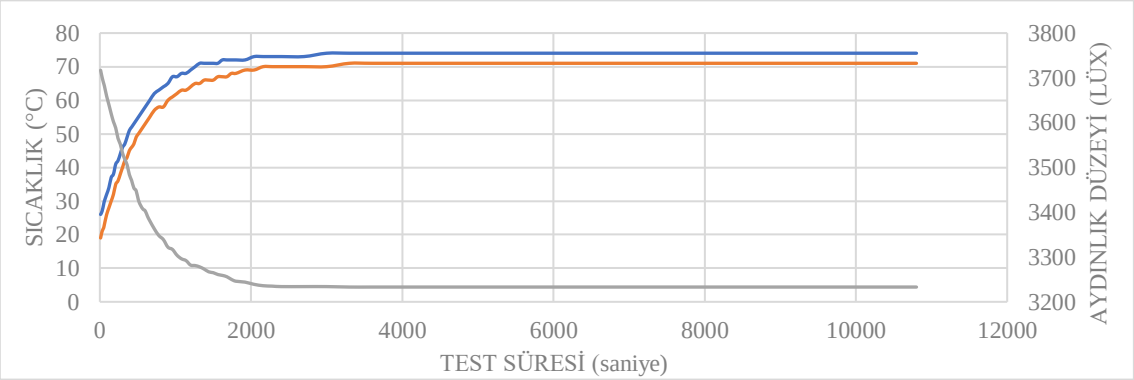
Şekil 6.54. 18 W COB LED – 6063 Ø70 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

18W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø70" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.52, Şekil 6.53 ve Şekil 6.54'te verilmiştir. 10 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 4°C daha az yine 25 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 4°C daha az ve 40

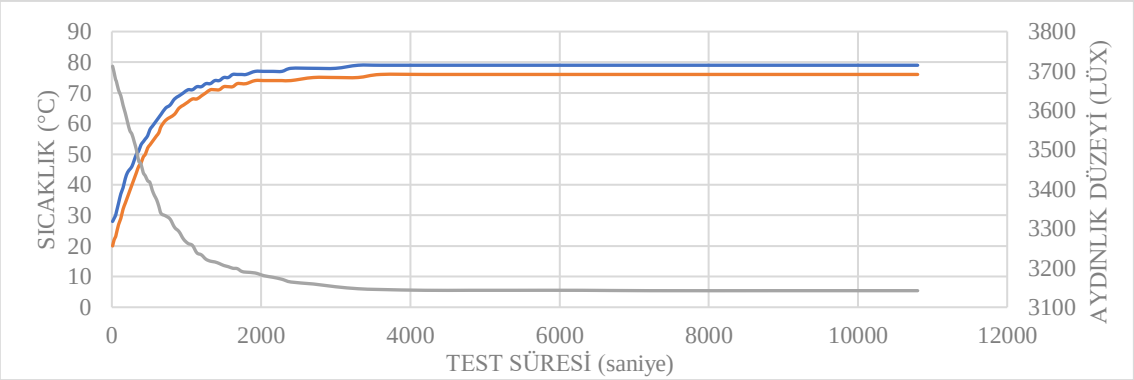
µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 2°C daha az sıcaklık değeri vermiştir. Soğutucudaki gümüş kaplamaların hepsi, kaplamasız hale göre daha iyi ısıl sonuçlar vermiştir. LED kılıf sıcaklığı ile soğutucu sıcaklığı arasındaki fark kaplamasız soğutucuda 6°C iken 40 µm kalınlıktaki gümüş kaplamada bu fark 3°C'ye kadar düşmüştür. Isıl iletim, soğutucunun dış yüzeyinde yüksek hale gelmiştir.



Şekil 6.55. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

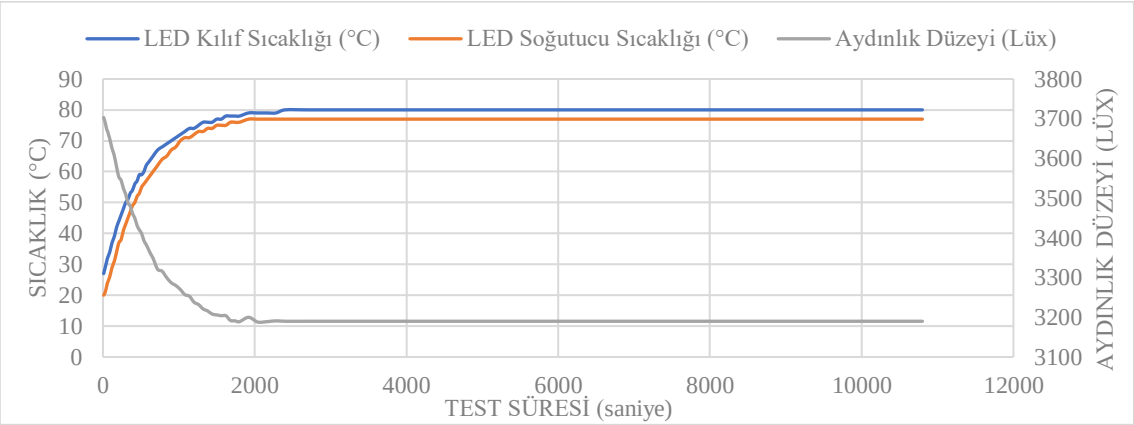


Şekil 6.56. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

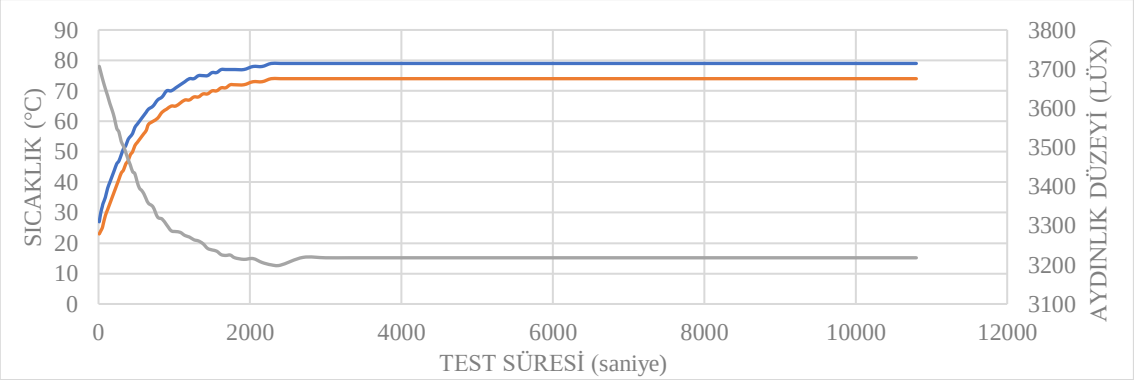


Şekil 6.57. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

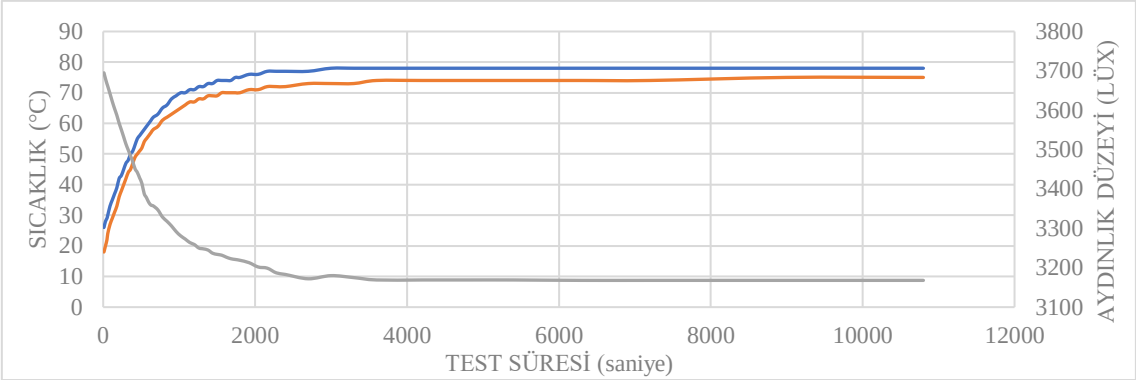
10W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış “Ø43” soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.55, Şekil 6.56 ve Şekil 6.57’de verilmiştir. Kaplama bu soğutucu için olumlu değerler oluşturmuştur. 10 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 5°C daha az, 25 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 8°C daha az ve 40 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 3°C daha az sıcaklık değeri vermiştir. Soğutucuda bakır kaplama kalınlığının artması LED kılıf sıcaklığı ile soğutucu sıcaklığı arasındaki farkı etkilememiştir.



Şekil 6.58. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



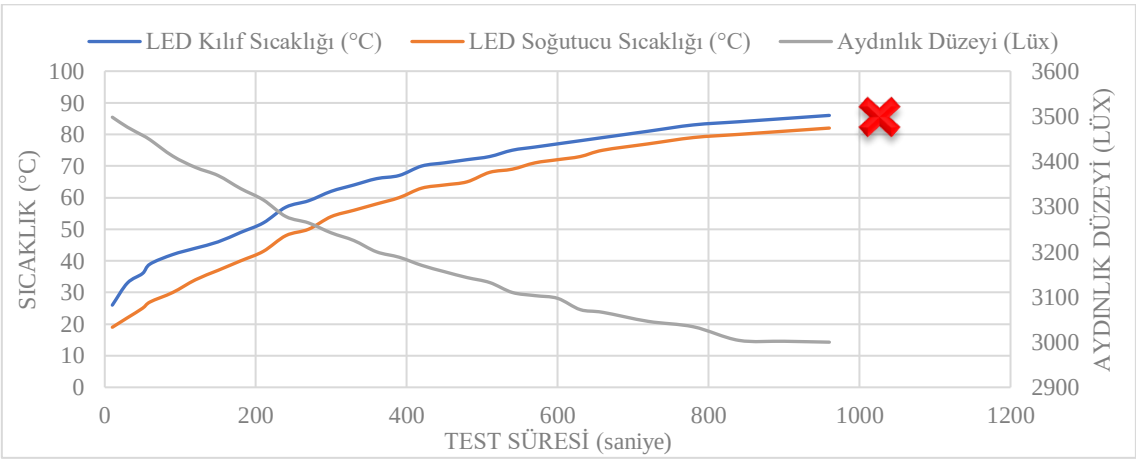
Şekil 6.59. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



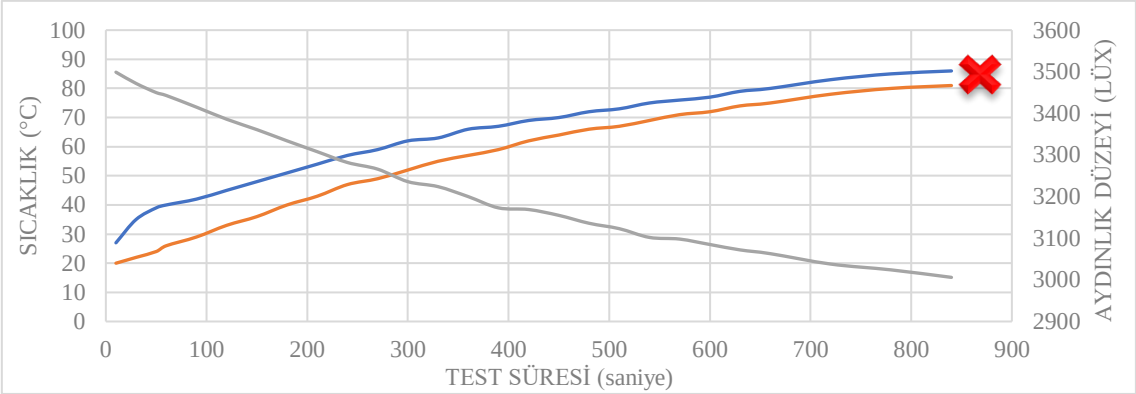
Şekil 6.60. 10 W COB LED – 6063 Ø43 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

10W COB LED kullanılarak 6063 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø43" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.58, Şekil 6.59 ve Şekil 6.60'ta verilmiştir. 10 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 2°C daha az, 25 µm kalınlıkta gümüş kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 3°C daha az ve yine 40 µm kalınlıkta bakır kaplamalı soğutucu kaplamasız soğutucuya göre 3°C daha az sıcaklık değeri vermiştir. "6063 Ø43" soğutucu bütün gümüş kaplama işlemlerinde olumlu sonuç vermiştir.

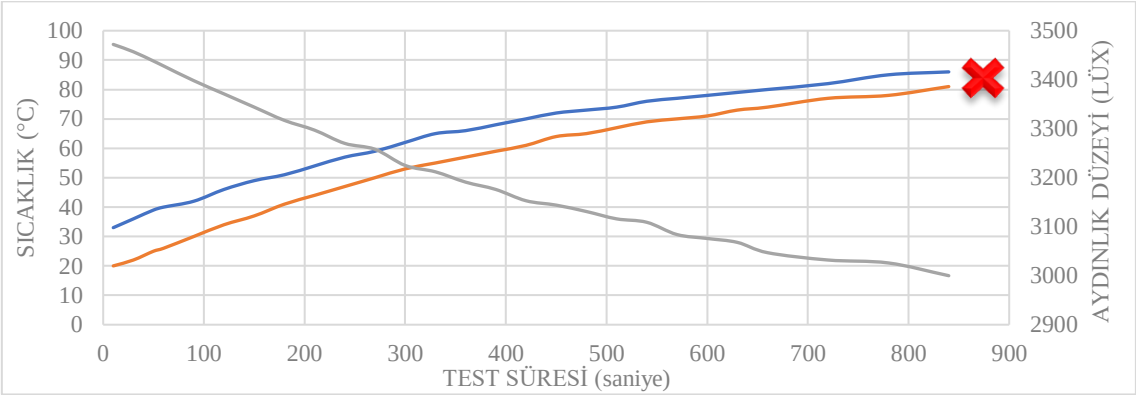
Küçük boyutlara sahip soğutucular ile güç değeri daha az olan COB LED kombinasyonlarında kaplamanın olumlu etkisi büyük oranda belirgindir.



Şekil 6.61. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

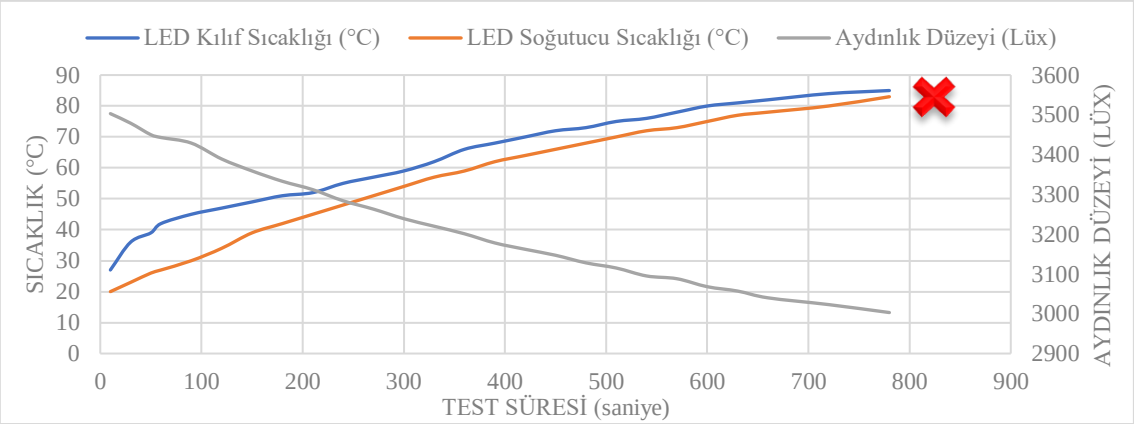


Şekil 6.62. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

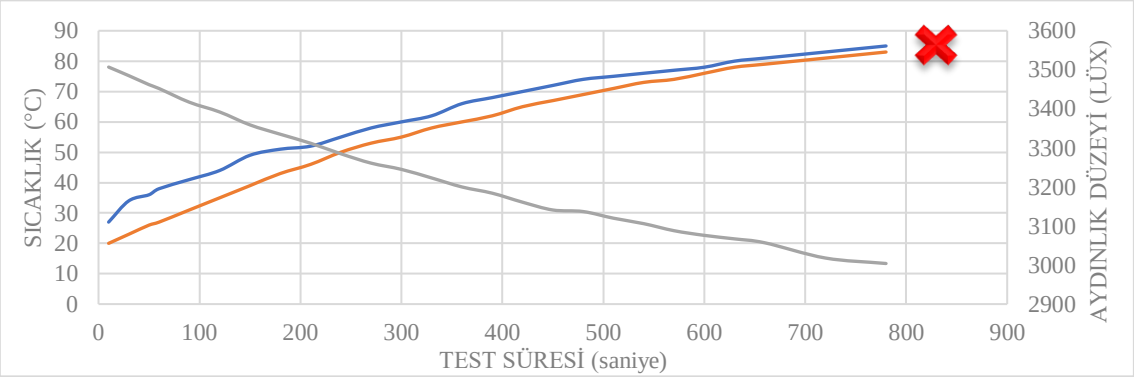


Şekil 6.63. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Bakır kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

10W COB LED kullanılarak Etial150 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø45" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan bakır kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.61, Şekil 6.62 ve Şekil 6.63'te verilmiştir. "Etial150 Ø45" soğutucu kaplamasız durumunda olduğu gibi °kaplamalı durumlarında da standartları sağlayamamıştır. Kaplamasız ölçümlerde yüzeyi parlatılmış ve mat hali kıyaslanmıştır ancak esas hali mat yüzeyde olduğu için kaplama işleminden sonraki ölçüm sonuçları kıyaslaması, kaplamasız mat yüzey hali ile yapılması daha uygundur. Soğutucu kaplamasız durumda iken COB LED kılıf sıcaklığı sınır değeri 16 dakikada aşmıştı. 10 µm kalınlıklı bakır kaplama sonucunda 16 dakikada, 25 µm kalınlıklı bakır kaplama sonucunda 14 dakikada ve 40 µm kalınlıklı bakır kaplama sonucunda 14 dakikada sıcaklık sınır değeri aşılmıştır. Bakır kaplama yapılması COB LED sıcaklık değerlerini olumlu etkilememiş hatta 25 ve 40 µm kalınlıkta olumsuz etkide bulunmuştur.



Şekil 6.64. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (10µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.65. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (25µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.66. 10W COB LED – Etial150 Ø45 (40µm Gümüş kaplamalı) soğutucunun sıcaklık ve aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları grafiği

10W COB LED kullanılarak Etial150 alüminyum alaşımı malzemesinden yapılmış "Ø45" soğutucuların dışına farklı 3 kalınlıkta uygulanan gümüş kaplama sonucunda yapılan ölçümlerin grafikleştirilmiş hali Şekil 6.64, Şekil 6.65 ve Şekil 6.66'da

verilmiştir. Gümüş malzemeden 10 µm kalınlıklı kaplama sonucunda, 25 µm kalınlıklı kaplama sonucunda ve 40 µm kalınlıklı kaplama sonucunda aynı süre hesaplanarak 13 dakikada sıcaklık sınır değeri aşılmıştır. Bakır kaplamasında olduğu gibi gümüş kaplaması da "Etial150 Ø45" soğutucu için hiçbir olumlu etki göstermemiştir.

Sonuç olarak; 66 ayrı deneysel uygulama yapılmış, soğutucular farklı güç değerlerindeki COB LED'lerle test edilmiş, soğutuculara farklı malzemeler ve farklı kalınlıkta kaplamalar uygulanmıştır. Amaç; COB LED sıcaklığını düşürerek LED ömrü ve ışıksal verim ile beraber pek çok önemli özelliği daha iyi hale getirmektir. Bütün deneysel uygulamaların başarısı ve başarısızlığını yüzde olarak belirtmek çok daha aydınlatıcı olacaktır. Başarılı kabul edilme durumu; kaplama yapılmış soğutucunun kaplama yapılmamış durumuna göre COB LED Kılıf sıcaklığının daha düşük ölçülmesidir. Başarısız kabul edilme durumu ise; kaplama yapılmış soğutucunun kaplama yapılmamış durumuna göre COB LED Kılıf sıcaklığının daha yüksek ölçülmesidir. Başarı yüzdesi için, ölçüm sonuçları arasından standart maksimum sıcaklık değerinin üzerine çıkan 40W COB LED – 6063 Ø95 (kaplamasızlar ve kaplamalılar) Soğutucu, 40W COB LED – Etial150 Ø95 (kaplamasızlar ve kaplamalılar) Soğutucu ve 10W COB LED – 6063 Ø43 (kaplamasızlar ve kaplamalılar) Soğutucu kombinasyonlarından oluşan LED armatürlerin sonuçları çıkarıldı. Ayrıca Etial150 Ø95 soğutucu, üretildiği malzemeden kaynaklı olarak üzerine yapılan bütün kaplama işlemlerinin ardından kaplamasız haline göre daha yüksek sıcaklık değerleri vermiş olmasından dolayı yanıltıcı etkisi göz önünde bulundurularak başarı yüzdesi sonuçları arasına dahil edilmemiştir.

Kaplamasız soğutucular ile çeşitli kalınlıklarda bakır malzeme ile kaplanmış soğutucular kıyaslanırsa;

- 10 µm bakır kaplama uygulanmış soğutucuların kaplamasız hallerine göre "% sıcaklık değişimi" değerleri; 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucuda %1,49 iyileşme, 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %0 değişim, 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %0 değişim ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucuda %6,1 iyileşme olarak gözlemlenmiştir. 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucu ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumlu; 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ve 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş halleri ile aynı LED kılıf sıcaklığı değerlerini

vermişlerdir. **10 µm bakır kaplama ile yapılan testlerde; ölçüm sonuçlarına göre % sıcaklık değişimi değerlerinin ortalaması alındığında, %1,90 oranında kaplamasız soğutuculardan daha başarılı olduğu** tespit edilmiştir.

- 25 µm bakır kaplama uygulanmış soğutucuların kaplamasız hallerine göre "% sıcaklık değişimi" değerleri; 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucuda %1,49 iyileşme, 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucuda %1,19 kötüleşme, 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucuda %1,37 iyileşme ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucuda %9,76 iyileşme olarak gözlemlenmiştir. 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucu, 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumlu; 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumsuz LED kılıf sıcaklığı değerlerini vermişlerdir. **25 µm bakır kaplama ile yapılan testlerde; ölçüm sonuçlarına göre % sıcaklık değişimi değerlerinin ortalaması alındığında, %2,86 oranında kaplamasız soğutuculardan daha başarılı olduğu** tespit edilmiştir.
- 40 µm bakır kaplama uygulanmış soğutucuların kaplamasız hallerine göre "% sıcaklık değişimi" değerleri; 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucuda %1,49 kötüleşme, 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucuda %2,38 iyileşme, 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %6,4 kötüleşme, 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucuda %4,11 iyileşme, 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %1,45 kötüleşme ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucuda %3,66 iyileşme olarak gözlemlenmiştir. 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu, 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumlu; 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucu, 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ve 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumsuz LED kılıf sıcaklığı değerlerini vermişlerdir. **40 µm bakır kaplama ile yapılan testlerde; ölçüm sonuçlarına göre % sıcaklık değişimi değerlerinin ortalaması alındığında, %0,135 oranında kaplamasız soğutuculardan daha başarılı olduğu** tespit edilmiştir.

Bakır kaplamalı soğutuculara bakıldığında %2,86 başarı oranı ile en uygulanabilir kalınlık değeri 25 µm olmuştur. Soğutuculardaki 40 µm kalınlıklı kaplama %0,135 başarı

oranı ile bütün kaplamalar arasında en başarısız kaplama olmuştur. Bakır kaplama uygulanmış soğutucuların tamamının ortalama başarı değeri **%1,63** olmaktadır.

Kaplamasız soğutucular ile çeşitli kalınlıklarda gümüş malzeme ile kaplanmış soğutucular kıyaslanırsa;

- 10 µm gümüş kaplama uygulanmış soğutucuların kaplamasız hallerine göre "% sıcaklık değişimi" değerleri; 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucuda %0 değişim, 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %6,4 iyileşme, 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %5,8 iyileşme ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucuda %2,44 iyileşme olarak gözlemlenmiştir. 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu, 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumlu; 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş halleri ile aynı LED kılıf sıcaklığı değerlerini vermişlerdir. **10 µm gümüş kaplama ile yapılan testlerde; ölçüm sonuçlarına göre % sıcaklık değişimi değerlerinin ortalaması alındığında, %3,66 oranında kaplamasız soğutuculardan daha başarılı olduğu** tespit edilmiştir.
- 25 µm gümüş kaplama uygulanmış soğutucuların kaplamasız hallerine göre "% sıcaklık değişimi" değerleri; 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucuda %1,49 iyileşme, 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucuda %0 değişim, 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %1,28 iyileşme, 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucuda %2,74 iyileşme, 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %5,8 iyileşme ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucuda %3,66 iyileşme olarak gözlemlenmiştir. 40W COB LED – 6063 Ø114 Soğutucu, 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu, 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu, 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumlu; 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş halleri ile aynı LED kılıf sıcaklığı değerlerini vermişlerdir. **25 µm gümüş kaplama ile yapılan testlerde; ölçüm sonuçlarına göre % sıcaklık değişimi değerlerinin ortalaması alındığında, %2,50 oranında kaplamasız soğutuculardan daha başarılı olduğu** tespit edilmiştir.
- 40 µm gümüş kaplama uygulanmış soğutucuların kaplamasız hallerine göre "% sıcaklık değişimi" değerleri; 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucuda %0

değişim, 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %2,56 kötüleşme, 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucuda %5,48 iyileşme, 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucuda %2,9 iyileşme ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucuda %4,88 iyileşme olarak gözlemlenmiştir. 18W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu, 18W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu ve 10W COB LED – 6063 Ø43 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumlu; 30W COB LED – 6063 Ø95 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş halleri ile aynı; 30W COB LED – 6063 Ø70 Soğutucu kaplamasız ölçülmüş hallerine göre olumsuz LED kılıf sıcaklığı değerlerini vermişlerdir. **40 µm gümüş kaplama ile yapılan testlerde; ölçüm sonuçlarına göre % sıcaklık değişimi değerlerinin ortalaması alındığında, %2,14 oranında kaplamasız soğutuculardan daha başarılı olduğu** tespit edilmiştir.

Gümüş kaplamalı soğutuculara bakıldığında %3,66 başarı oranı ile en uygulanabilir kalınlık değeri, bakır kaplamalı soğutuculardan farklı olarak 10 µm olmuştur. En başarısız kaplama kalınlığı, bakır soğutucularda olduğu gibi 40 µm kalınlıkta gözlenmiştir. Ayrıca gümüş kaplamalı soğutucular arasında tek olumsuz LED kılıf sıcaklığı değeri 40 µm kaplama kalınlığında görülmüştür. Gümüş kaplama uygulanmış soğutucuların tamamının ortalama başarı değeri **%2,76** olmaktadır.

Sonuç olarak, en başarılı soğutucu kaplaması 10 µm kalınlıktaki gümüş kaplama olmuştur. 10 µm gümüş kaplama LED Kılıf sıcaklığını düşürmesi ile COB LED ömrü üzerinde ve ışık akısı yönünden olumlu etki gösterdiği aşikardır. Kaplamanın COB LED ömrü ve ışık akısı üzerindeki olumlu etki ile kaplama maliyeti mutlaka kıyaslanmalıdır. Kaplama yapılmış soğutucu ile oluşturulan LED armatürün ömür ve ışık akısına olan katkısı, kaplama işlemi maliyetini karşılaması ticari açıdan önemli bir rol oynamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Subramani, S., Devarajan, M. (2014) Thermal Transient Analysis of High-Power Green LED Fixed on BN Coated Al Substrates as Heatsink. IEEE Transactions on Electron Devices, 61(9), 3213-3216.

[2] Perera, I. U., Narendran, N. (2013) Thermal management of the remote phosphor layer in LED systems. LED-based Illumination Systems, 8835, 883504-1 - 883504-7.

[3] Zhang, K., Chai, Y., Yuen, M. M. F., Xiao, D. G. W., Chan, P. C. H. (2008) Carbon nanotube thermal interface material for high-brightness light-emitting-diode cooling. Nanotechnology 19, 215706, 1-8.

[4] Panaccione, P., Wang, T., Chen, X., Luo, S., Lu, G. Q. (2010) Improved Heat Dissipation and Optical Performance of High-Power LED Packaging with Sintered Nanosilver Die-Attach Material. Journal of Microelectronics and Electronic Packaging, 7(3), 164-168.

[5] Ahmed, A. A., Devarajan, M., Raypah, M. E., Afzal, N. (2018) Growth and Characterization of NiO Films on Aluminum Substrate as Thermal Interface Material for LED Application. Surface and Coatings Technology, 350, 462-468.

[6] Lim, W. Q., Shanmugan, S., Devarajan, M. (2016) Influence of Annealed Cu–Al_2O_3 Thin Film on the Performance of High Power LED: Thermal and Optical Analysis. Optical and Quantum Electronics, 48 (2), 166.

[7] Ong, Z. Y., Shanmugan, S., Mutharasu, D. (2015) Thermal Performance of High Power LED on Boron Doped Aluminium Nitride Thin Film Coated Copper Substrates. Journal of Scientific Research and Reports, 5 (2), 109-119.

[8] Sim, L. C., Ramanan, S. R., Ismail, H., Seetharamu, K. N., Goh, T. J. (2005) Thermal Characterization of Al_2O_3 and ZnO Reinforced Silicone Rubber as Thermal Pads for Heat Dissipation Purposes. Thermochimica Acta, 430, 155-165.

[9] Fu, Y. X., He, Z. X., Mo, D. C., Lu, S. S. (2014) Thermal Conductivity Enhancement with Different Fillers for Epoxy Resin Adhesives. Applied Thermal Engineering, 66, 493-498.

[10] Devarajan, M., Subramani, S., Permal, A., Ong, Z. Y. (2013) Performance Testing of 3-W LED Mounted on ZnO Thin Film Coated Al as Heat Sink Using Dual Interface Method. IEEE Transactions on Electron Devices, 60(7), 2290 – 2295.

[11] He, F., Chen, Q. H., Liu, J. F., Liu, J., Chai, W. W. (2014) Thermal Analysis of High Mast Integrated LED Lamp with New Heatsink Structure of Laminated Pure Aluminum Plate. Chinese Journal of Luminescence, 35(6), 742-747.

[12] Seo, B. S., Lee, K. J., Cho, Y. S., Park, D. H. (2013) A Study on Improving the Efficiency of a Heat Dissipation Design for 30 W COB LED Light Source. J. Kieeme, 26(2), 158-163.

[13] Chai, W. W., Chen, Q. H., Li L. H., Tang W. Y. (2011) Heat Dissipation Analysis of High Power LED Connected to Copper Coated Heat Sink by Soldering. Chinese Journal of Luminescence, 32(11), 1171-1175.

[14] Wikipedia. LED. https://tr.wikipedia.org/wiki/LED (13.02.2020)

[15] Gündüz, N. (2012) LED Işık Kaynaklı Enerji Verimli Endüstriyel Aydınlatma Armatürü Optik Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[16] Yurtseven, M. B. (2017) LED Işık Kaynaklı Armatür Isıl Modellenmesi ve Isıl Tasarımı Etkileyen Faktörlerin İstatistiksel Analizi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[17] Mottier, P. (2009) LEDs for Lighting, Wiley.

[18] Uslu, B. (2013) Powerled Ömür Test Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

[19] Pimputkar, S., Speck, J. S., DenBaars, S. P., Nakamura, S. (2009) Prospects for LED Lighting. Nature Photonics, 3, 180–182.

[20] Durak, M. (2011) LED Tabanlı Sokak Lambası Tasarımı ve Fotometrik Ölçümleri. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu, 13 -14 Ocak, İstanbul, 50-53.

[21] Elektrik Mühendisleri Odası, LED'li Işık Kaynakları. https://www.emo.org.tr/ekler/11a405701da4a51_ek.pdf?tipi=2 (03.03.2020)

[22] Sun, L., Zhu, J., Wong, H. (2016) Simulation and Evaluation of the Peak Temperature in LED Light Bulb Heatsink. Microelectronics Reliability, 61, 140-144.

[23] Gardner, N. F., Müller, G. O., Shen, Y. C., Chen, G., Watanabe, S., Götz, W., Krames, M. R. (2007) Blue-Emitting InGaN–GaN Double-Heterostructure Light-Emitting Diodes Reaching Maximum Quantum Efficiency Above 200 A/cm^2. Applied Physics Letters, 91, 243-506.

[24] Liu, J., Tam, W. S., Wong, H., Filip, V. (2009) Temperature-Dependent Light-Emitting Characteristics of InGaN/GaN Diodes. Microelectronics Reliability, 49, 38-41.

[25] Lamp83. Teknik Bilgiler. https://lamp83.com.tr/teknik-bilgiler/37/led-nedir/ (16.04.2020)

[26] Diyotnet. LED Nedir. https://diyot.net/led/ (20.02.2020)

[27] 3faz Teknik Ekibi (2018) LED Aydınlatma Nedir. https://www.aydinlatma.org/led-aydinlatma-nedir.html (09.03.2020)

[28] Yüce, D., Perdahçı, C., Ünsalan, H. (2015) Aydınlatmada Geleneksel Işık Kaynaklarından LED'e Kadar Uzanan Tarihçe. EMO VIII. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 21-24 Ekim, İzmir, 17-22.

[29] Cole, M., Driscoll, T. (2014) The Lighting Revolution: If We Were Experts Before, We're Novices Now. IEEE Transactions on Industry Applications, 50(2), 1509 – 1520.

[30] Luo, M. R. (2001) The Quality of Light Sources. Coloration Technology, 127(2), 75-87.

[31] Rea, M. S. (2000). The Iesna Lighting Handbook: Reference & Application. Illuminating Engineering Society of North America, NewYork, Amerika Birleşik Devletleri.

[32] Filsinger, D. H., Bourrie, D. B. (1990) Silica to Silicon: Key Carbothermic Reactions and Kinetics. Journal of the American Ceramic Society, 73(6), 1726-1732.

[33] Round, H. J. (1907) A Note on Carborundum. Electrical World. 19(309).

[34] Loebner, E. E. (1976) Subhistories of the Light Emitting Diode. IEEE Transactions on Electron Devices, 23(7), 675-699.

[35] Edmond, J. A., Kong, H. S., Carter, C. H. (1993) Blue LEDs, UV Photodiodes and High-Temperature Rectifiers in 6H-SiC. Physica B: Condensed Matter, 185(1-4), 453-460.

[36] Lightology. Nick Holonyak – Father of LED Lighting https://www.lightology.com/index.php?module=how_to&sub=nick_holonyak_led (11.05.2021)

[37] Pimputkar, S., Speck, J. S., DenBaars, S. P., Nakamura, S. (2009) Prospects for LED Lighting. Nature Photonics, 3, 180-182.

[38] Silverled. (2018) En İyi LED Aydınlatma Tekniği https://www.silverled.net/aydinlatma-teknigi.html (14.12.2020)

[39] Khanh, T. Q., Bodrogi, P., Vinh, Q. T., Winkler, H. (2015) LED Lighting. Wiley-VCH Verlag, Darmstadt, Almanya.

[40] Novaled. Led Aydınlatma Yapısı. https://novaledaydinlatma.com/haber/led-aydinlatma-yapisi-2.html (08.11.2020)

[41] Dutta, P. S., Liotta, K. M. (2018) Full Spectrum White LEDs of Any Color Temperature with Color Rendering Index Higher Than 90 Using a Single Broad-Band Phosphor. ECS Journal of Solid State Science and Technology, 7, 3194-3198.

[42] Ohno, Y. (2004) Color Rendering and Luminous Efficacy of White LED Spectra. Fourth International Conference on Solid State Lighting, 5530, 89.

[43] Tanabe, S., Fujita, S., Yoshihara, S., Sakamoto, A., Yamamoto, S. (2005) YAG Glass-Ceramic Phosphor for White LED (II): Luminescence Characteristics. Fifth International Conference on Solid State Lighting, 5941, 594112.

[44] Moreno, I., Contreras, U. (2007) Color Distribution from Multicolor LED Arrays. Optics Express, 15(6), 3607-3618.

[45] Schubert, E. F., Kim, J. K. (2005) Solid-State Light Sources Getting Smart. Science, 308(5726), 1274-1278.

[46] Nimz, T., Hailer, F., Jensen, K. (2012) Sensors and Feedback Control of Multicolor LED Systems. LED Professional Review: Trends & Technologie for Future Lighting Solutions, LED Professional, (34), 2–5.

[47] SolarLED. LED Teknolojileri Arasındaki Farklılıklar: DIP / SMD ile COB-MCOB karşılaştırması. http://tr.solar-led-lights.com/info/differences-between-led-technologies-dip-smd-23859099.html (27.10.2020)

[48] Aydınlatma Portalı (2016) 5mm LED'ler Genel Aydınlatma Maksatlı Kullanılabilir mi. https://www.aydinlatma.org/5-mm-ledler-genel-aydinlatma-maksatli-kullanilabilir-mi.html (27.10.2020)

[49] Direnç.net. Sarı Flux LED https://www.direnc.net/sari-flux-led (24.04.2021)

[50] SMD LED https://tr.pinterest.com/pin/465770786438365238/ (25.04.2021)

[51] Yılmaz, E. (2020) COB LED ve SMD LED Arasındaki Farklar Nelerdir. https://www.aydinlatma.org/cob-led-ve-smd-led-arasindaki-farklar-nelerdir.html (02.11.2020)

[52] SilverLED (2018) LED Nedir Çeşitleri ve Avantajları. https://www.silverled.net/led-nedir.html (02.11.2020)

[53] 3W Power LED – Yeşil. https://www.domirobot.com/3w-power-led-yesil-pmu1672 (25.04.2021)

[54] Can, Ö. (2014) PowerLED nedir. https://www.ledportali.com/powerled-nedir/ (05.11.2020)

[55] İzgöl, K. (2017) LED Nedir, Tüm LED Çeşitleri ve Özellikleri. https://maker.robotistan.com/led/ (07.11.2020)

[56] Kocadağ, N. Y. (2019) Power LED Nedir, Nasıl Çalışır. https://www.aydinlatma.org/power-led-nedir-nasil-calisir.html (07.11.2020)

[57] Edison 40W GÜNIŞIĞI COB LED. https://www.ledstok.com/Edison-40W-GUNISIGI-COB-Led (25.04.2021)

[58] Diyot.net. COB LED Nedir. https://diyot.net/cob-led/ (19.12.2020)

[59] LED Portalı. (2018) MCOB LED Nedir. https://www.aydinlatma.org/mcob-led-nedir.html (19.12.2020)

[60] Diyot.net. LED Çeşitleri. https://diyot.net/led-cesitleri/ (02.11.2020)

[61] Uysal, Ö. (2011) Tarımsal Aydınlatmada LED Işık Kaynaklarının Kullanım Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

[62] Gustafson, R. J. (1988) Fundamentals of Electricity for Agriculture. 3nd Edition, Avi Publishing Company, Kalifornia, ABD.

[63] Yavuzcan, G. (1994) Tarımsal Elektrifikasyon. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1342(5).

[64] Yağcıoğlu, A. (1996) Tarımsal Elektrifikasyon. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 488.

[65] Doğan, A. Işık Kaynakları ve Aydınlatma. https://em.erciyes.edu.tr/adogan/aydinlatma_slayt.pdf (10.01.2021)

[66] Yılmaz, E. (2018) Düzgünlük. https://www.aydinlatma.org/duzgunluk.html (07.01.2021)

[67] Spor, A., Kıyak, İ. (2018) Illumination Design of Educational Environment with Efficient Lighting Luminaries. International Conference on Innovative Engineering Applications, 408-416, 20-22 Eylül, Sivas, Türkiye.

[68] Paschotta, R. (2008) Encyclopedia of Laser Physics and Technology. Wiley, 219.

[69] Nimz, T., Hailer, F., Jensen, K. (2012) Sensors and Feedback Control of Multi-Color LED Systems. LED Professional Review: Trends & Technologie for Future Lighting Solutions, 2–5.

[70] Sándor, N., Schanda, J. (2006) Visual Colour Rendering Based on Colour Difference Evaluations. Lighting Research and Technology, 38(3), 225–239.

[71] Yılmaz, E. (2019) Flicker. https://www.aydinlatma.org/flicker.html (04.02.2021)

[72] Özkiper, A. (2020) Direkt ve Endirekt Aydınlatma Nedir. https://www.aydinlatma.org/direkt-ve-endirekt-aydinlatma-nedir.html (13.02.2021)

[73] Onaygil, Ş. (2016) Aydınlatma Tekniği, Verimlilik, Planlama ve Yönetim. Aydınlatmada Planlama ve Yönetimin Önemi, 26 Şubat, Gaziantep, Türkiye.

[74] Pelsan. Ömür. Teknik Bilgiler, 396-397 https://www.pelsan.com.tr/resources/files/omur.pdf (26.01.2021)

[75] LED Portalı. (2017) LED Armatür Tasarımında Mühendislik ve Isıl Denetimin Önemi. https://www.aydinlatma.org/led-armatur-tasariminda-muhendislik-isil-denetimin-onemi.html (29.04.2021)

[76] Fan, J., Yung, K. C., Pecht, M. (2012) Comparison of Statistical Models for the Lumen Lifetime Distribution of High Power White LEDs. 2012 Prognostics and System Health Management Conference, 23-25 Mayıs, Beijing, 1-7.

[77] Kocadağ, N. Y. (2018) LED Sürücü Nasıl Çalışır. https://www.aydinlatma.org/led-surucu-nasil-calisir.html (26.01.2021)

[78] Güler, H. G. (2007) Aydınlatma Armatür Tasarımında Gerçek Değer ile Tasarım Değerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[79] Onaygil, S., Yurtseven, M. B., Gündüz, N., Erkin, E. (2011) Verimli LED Armatürü için Optik ve Isıl Tasarım Süreçleri. 8. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 14-15 Nisan, İstanbul.

[80] LED Soğutucu. https://www.ledstok.com/led-sogutucu (29.04.2021)

[81] Jang, J. W., Choi, S. Y., Son, J. K. (2011) Degradation Model of LED Based on Accelerated Life Test. 18th IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA), 4-7 Temmuz, Incheon, Güney Kore.

[82] Erol, Y., Canpolat, T. (2011) Aydınlatma Sektöründe Yeni Nesli Power Led Teknolojileri. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 5-7 Ekim, 239-242, Elazığ, Türkiye.

[83] Peck, J., Ashbuner, G., Schratz, M. (2011) Solid State LED Lighting Technology for Hazardous Environments; Lowering Total Cost of Ownership While Improving Safety,

Quality of Light and Reliability. Petroleum and Chemical Industry Conference Europe, 7-8 Haziran, Roma, İtalya.

[84] Fan, J., Yung, K. C., Pecht, M. (2011) Physics-of-Failure-Based Prognostics and Health Management for High-Power White Light-Emitting Diode Lighting. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 11(3), 407-416.

[85] Kıyak, İ. (2010) Rüzgar-Güneş Hibrid Güç Sistem Beslemeli Bir Mekanın Aydınlık Düzeyinin LED'li Armatürler Kullanılarak Kontrolü. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[86] Kale, S. (2010) Aydınlatma Amaçlı LED Matrisi Üretimi ve Isıl Özelliklerinin Çözümlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 116, Ankara.

[87] Jinsuk, L., Ryan, E., Changwon, S., Wesley, J. (2010) Step-Stress Accelerated Degradation Testing (SSADT) For Photovoltaic (PV) Devices and Cells. Workshop on Accelerated Stress Testing & Reliability (ASTR), IEEE 2010, 6-8 Ekim, Denver, ABD.

[88] Dilaura, D. L., Houser, K. W., Mistrick, R. G., Steffy, G. R. (2011) Illuminating Engineering Society Lighting Handbook: Reference & Application. Illuminating Engineering Society of North America, New York, Amerika Birleşik Devletleri.

[89] Yurtseven, M. B., Onaygil, S. (2011) Katı Hal Aydınlatma ve LED Standartlarındaki Gelişmeler, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27 Kasım, İzmir, Türkiye.

[90] Incropera, F. P., DeWitt, D. P. (2017) Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri. Literatür Yayıncılık, 7. Basım, New York, ABD.

[91] Göktürkler, G. (2002) Yerbilimlerinde Isı Transferi Modellemesi: Kararlı-Hal Kondüktif Isı İletimi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(3), 67-80.

[92] Yüncü H., Kakaç S. (1999) Temel Isı Transferi. Bilim Yayıncılık, Ankara, Türkiye.

[93] Ülker, S. (2009) Isı Yalıtım Malzemelerinin Özelliklerinin Uygulamaya Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

[94] Çengel, Y. A. (2012) Isı ve Kütle Transferleri: Pratik Bir Yaklaşım. Güven Bilimsel Kitabevi, 3. Basım, İzmir, Türkiye.

[95] Çolak, A., Ayık, M. Isı Tekniği. Ankara Üniversitesi https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/59521/mod_resource/content/1/10.%20HAFTA.pdf

[96] Özerinç, S. (2010) Heat Transfer Enhancement with Nanofluids. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

[97] Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L. (2004) Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme. Literatür Yayınevi, İstanbul, Türkiye.

[98] Sanver, M. (1983) Yerkürenin Isıl Evrimi ve Günümüzde Yeriçinin Sıcaklığı. İstanbul Teknik Üniversitesi, 798, İstanbul, Türkiye.

[99] Kayataş, N. Y. Isı Transferi. Erciyes Üniversitesi, Kayseri https://avesis.erciyes.edu.tr/downloadfile/nkayatas (31.03.2021)

[100] Gültekin, N. (2011) ETİAL 150 Alüminyum Alaşımının Talaşlı İşlenebilme ve Mekanik Özelliklerine Enjeksiyon Parametrelerinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

[101] Sarnikon. (2017) LED Aydınlatma Armatürlerinde Soğutucu Nasıl Seçilmelidir. https://www.aydinlatma.org/led-aydinlatma-armaturlerinde-sogutucu-nasil-secilmelidir.html (05.05.2021)

[102] Polmear, I., J. (1981) Light Metals. E. Arnorld Publishers, London, İngiltere.

[103] Lee, S. (1995) Optimum Design and Selection of Heat Sinks. IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing. 18(4).

[104] Lee, S. (1995) How to Select a Heat Sink. Aavid Thermal Technologies, Laconia, ABD.

[105] Markstein, H. (1995) Optimizing Heat Sink Performance. Electronic Packaging and Production, 35(10), 38.

[106] Özen Alüminyum. Alüminyum Soğutucular http://www.ozenaluminyum.com/haberler/aluminyum-sogutucular/ (10.05.2021)

[107] Cooliance. (2014) Copper heatsinks. https://web.archive.org/web/20141011082149/http://www.cooliance.com/resources/copper-heatsinks.html (10.05.2021)

[108] Bakır İşlemci Soğutucu https://tr.aliexpress.com/i/32985574913.html (10.05.2021)

[109] ABL Heatsinks. Heatsink Design and Selection: Material. http://www.abl-heatsinks.co.uk/heatsink/heatsink-selection-material.htm (13.04.2021)

[110] CVD Soğutucu http://cuttingtoolchina.com/4-4-cvd-diamond-heat-sinks.html (10.05.2021)

[111] Steigerwald, D. A., Bhat, J. C., Collins, D., Fletcher, R. M., Holcomb, M. O., Ludowise, M. J. (2002) Illumination with Solid State Lighting Technology. IEEE J Sel Top Quantum Electron, 8, 310–320.

[112] Nguyen, F., Terao, B., Laski, J. (2005) Realizing LED Illumination Lighting Applications. Proc SPIE, 5941, 31–36.

[113] Biber, C. (2008) LED Light Emission as a Function of Thermal Conditions. Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, 16-20 Mart, 180-184, San Jose, ABD.

[114] Jayasınghe, L., Gu, Y., Narendran, N. (2006) Characterization of Thermal Resistance Coefficent of High-Power LEDs. Sixth International Conference on Solid State Lighting, 14-17 Ağustos, 6337-6370, San Diego, ABD.

[115] Ibbetton, J. (2006) White Light Emitting Diode Development for General Illumination Applications. Final Report, Cree Santa Barbara Technology Center Publishing, ABD.

[116] Kim, L., Choi, J. H., Jang, S. H., Shin, M. W. (2009) Thermal Analysis of LED Array System with Heat Pipe. Thermochimica Acta, Elsevier, 455, 21-25.

[117] Christensen, A., Graham, S. (2009) Thermal Effects in Packaging High Power Light Emitting Diode Arrays. Applied Thermal Engineering, Elsevier, 29, 364–371.

[118] Cooper, J. (2007) Driving LED Lamps, LEDs Magazine. https://www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/thermal/article/16695157/driving-led-lamps-some-simple-design-guidelines

[119] Bechoua, L., Rehiouia, O., Deshayesa, Y., Gilardb, O., Quadrib, G., Ousten, Y. (2008) Measurement of the Thermal Characteristics of Packaged Double-Heterostructure Light Emitting Diodes for Space Applications Using Spontaneous Optical Spectrum Properties. Optics & Laser Technology, Elsevier, 40, 589-601.

[120] Kaminski, M. S., Garcia, K. J., Stevenson, M. A., Frate, M., Koshel, R. J. (2002) Advanced Topics in Source Modeling. Proc SPIE, 4775, 46–57.

[121] Dreiho, H. Z., Haack, U., Weber, T., Wendt, D. (2002) Light Source Modeling for Automotive Lighting Devices. Proc SPIE, 4775, 58–66.

[122] Omiya, H. (2006) Structural, Electrical Optical Characterization of High Brightness Phosphor-Free White Light Emitting Diodes. Doktora Tezi, 3-4, Arizona State University, Tempe, ABD.

[123] Chan, P. C. (2005) Electronic Packaging for Solid State Lighting. 6th International Conference on Electronic Packaging Technology, 13-16, 30 Ağustos-2 Eylül, Shenzhen, Çin.

[124] EdiPower V 2PHE10, EdiPower V 2PHE18, EdiPower V 2PHE30, EdiPower V 2PHE40 https://www.edison-opto.com.tw/en/general-lighting/cob-collection/ (11.02.2020)

[125] Driver LC 50W 350–1050mA flexC lp EXCITE series https://www.izaydinlatma.com/urun/tridonic-driver-lc-50w-350-1050ma-flexc-lp-exc/ (21.10.2020)

[126] Ramsden, E. (2000) Sıcaklık Ölçümü https://www.fierceelectronics.com/components/temperature-measurement (07.04.2021)

[127] Wikipedia. Termokupl. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple (07.04.2021)

[128] UNIT Multimetre https://www.uni-t.com.tr/multimetreler (18.05.2021)

[129] PROSKIT Multimetre https://www.yigitelektromarket.com/Proskit-3PK-345-MU-CIFT-EKRAN-DIJITAL-MULTIMETRE,PR-12994.html (18.05.2021)

[130] LUTRON Lüksmetre http://www.siliconinstrument.com.sg/pdf/Lutron/LX-1102.pdf (18.05.2021)

[131] Koppal, S. J. (2014) Lambertian Reflectance. Encyclopedia of Computer Vision, Springer, 441–443.

[132] Sarnikon. Alüminyum Soğutucu ve LED Kasalar https://sarnikon.com/tr/aluminyum-sogutucu-ve-led-kasalar-115-c (02.04.2021)

[133] Potter, C. M., Wiggert, D. C. (2002) Mechanics of Fluid. 3. Baskı, Brooks/Cole, Boston, ABD.

[134] White, F. M. (1999) Fluid Mechanics. 4. Baskı, McGraw-Hill International, Boston, ABD.

[135] BarCohen, A., Rohsenow, W. M. (1984) Thermally Optimum Spacing of Vertical, Natural Convection Cooled, Parallel Plates. Journal of Heat Transfer, 106, 116-123.

[136] Simons, R. (2001) Simplified Formula for Estimating Natural Convection Heat Transfer Coefficient on a Flat Plate. Electronics Cooling, (August 2001).

[137] Incropera, F. P., DeWitt, D. P. (1985) Introduction to Heat Transfer. John Wiley, New York, ABD.

[138] Lee, S., Song, S., Au, V., Moran, K. P. (1995) Constriction/Spreading Resistance Model for Electronic Packaging. Proceedings of ASME/JSME Engineering Conference, 4, 19-24 Mart, Lahaina, Hawaii.

[139] Incropera, F. P., DeWitt, D. (1990) Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 3. Baskı. Wiley, New York, ABD.

EKLER

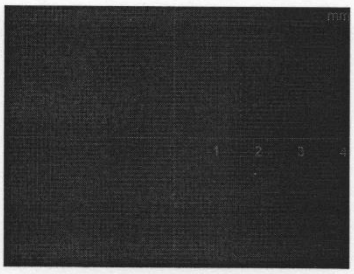
EK-1. 6063 Ø114 SOĞUTUCUNUN XRAY CİHAZ İLE KAPLAMA KALINLIĞI ÖLÇÜMÜ

EK-1.1. 6063 Ø114 Soğutucuya 10 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 102



n=	1	Cu	=	17.9 µm
n=	2	Cu	=	17.8 µm
n=	3	Cu	=	18.0 µm
n=	4	Cu	=	18.6 µm
n=	5	Cu	=	18.1 µm
n=	6	Cu	=	18.1 µm
n=	7	Cu	=	18.4 µm
n=	8	Cu	=	18.8 µm
n=	9	Cu	=	18.4 µm
n=	10	Cu	=	18.2 µm
n=	11	Cu	=	17.9 µm
n=	12	Cu	=	18.1 µm
n=	13	Cu	=	17.7 µm
n=	14	Cu	=	17.4 µm
n=	15	Cu	=	18.2 µm
n=	16	Cu	=	18.1 µm

Mean	18.1 µm
Standard deviation	0.337 µm
Range (max-min)	1.38 µm
Number of readings	16
Min. reading	17.4 µm
Max. reading	18.8 µm
Measuring time	20 sec

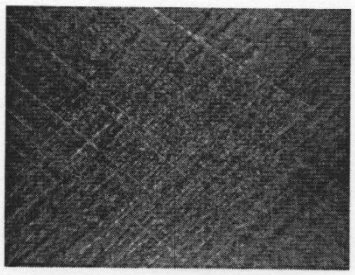
Operator: Ayse 10 mikron Bakır soğutucu 1
Date: 5 Oca 2021 Time: 17:18:33

EK-1.2. 6063 Ø114 Soğutucuya 25 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 94



n=	1	Cu	=	29.7 µm
n=	2	Cu	=	28.0 µm
n=	3	Cu	=	28.1 µm
n=	4	Cu	=	29.0 µm
n=	5	Cu	=	28.8 µm
n=	6	Cu	=	27.7 µm
n=	7	Cu	=	30.1 µm
n=	8	Cu	=	28.9 µm
n=	9	Cu	=	29.2 µm
n=	10	Cu	=	29.8 µm
n=	11	Cu	=	26.5 µm
n=	12	Cu	=	30.7 µm
n=	13	Cu	=	29.1 µm
n=	14	Cu	=	27.7 µm
n=	15	Cu	=	31.9 µm
n=	16	Cu	=	29.2 µm

Mean	29.0 µm
Standard deviation	1.30 µm
Range (max-min)	5.37 µm
Number of readings	16
Min. reading	26.5 µm
Max. reading	31.9 µm
Measuring time	20 sec

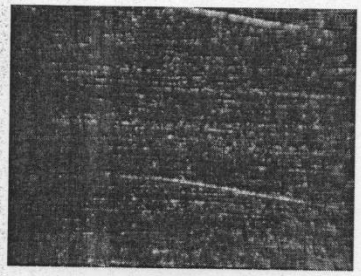
Operator: Ayse **25 mikron bakır soğutucu 1**
Date: 4 Oca 2021 Time: 12:27:12

EK-1.3. 6063 Ø114 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 2901060 / Cu/Al **Block: 121**



n=	1	Cu	=	38.3 µm
n=	2	Cu	=	41.8 µm
n=	3	Cu	=	42.5 µm
n=	4	Cu	=	37.9 µm
n=	5	Cu	=	39.2 µm

Mean	39.9 µm
Standard deviation	2.08 µm
Range (max-min)	4.60 µm
Number of readings	5
Min. reading	37.9 µm
Max. reading	42.5 µm
Measuring time	20 sec

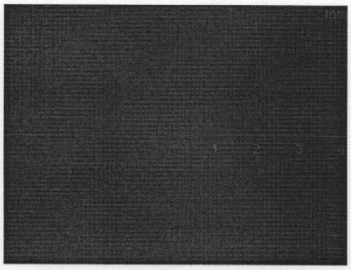
Operator: Ayse ölçm
Date: 10 Þub 2021 Time: 13:50:50

EK-1.4. 6063 Ø114 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 116**



n=	1	Ag 1 =	10.3	µm
n=	2	Ag 1 =	10.1	µm
n=	3	Ag 1 =	10.2	µm
n=	4	Ag 1 =	10.3	µm
n=	5	Ag 1 =	10.2	µm
n=	6	Ag 1 =	10.1	µm
n=	7	Ag 1 =	10.2	µm
n=	8	Ag 1 =	10.2	µm
n=	9	Ag 1 =	10.2	µm
n=	10	Ag 1 =	9.92	µm
n=	11	Ag 1 =	10.2	µm
n=	12	Ag 1 =	10.1	µm
n=	13	Ag 1 =	10.3	µm
n=	14	Ag 1 =	10.3	µm
n=	15	Ag 1 =	10.1	µm
n=	16	Ag 1 =	10.2	µm

Mean	10.17	µm
Standard deviation	0.099	µm
Range (max-min)	0.371	µm
Number of readings	16	
Min. reading	9.92	µm
Max. reading	10.3	µm
Measuring time	20	sec

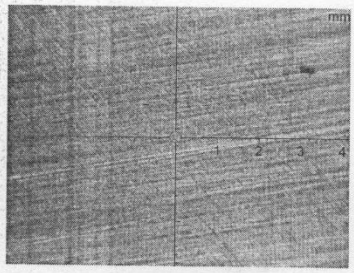
Operator: Ayse 10 mikron gümüş soğutucu 1
Date: 5 Oca 2021 Time: 16:33:57

EK-1.5. 6063 Ø114 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 127**



n=	1	Ag 1 =	25.3	µm
n=	2	Ag 1 =	25.3	µm
n=	3	Ag 1 =	25.5	µm
n=	4	Ag 1 =	25.6	µm
n=	5	Ag 1 =	25.4	µm

Mean	25.40	µm
Standard deviation	0.130	µm
Range (max-min)	0.328	µm
Number of readings	5	
Min. reading	25.3	µm
Max. reading	25.6	µm
Measuring time	20	sec

Operator: Ayse ölçüm
Date: 10 Þub 2021 Time: 14:25:58

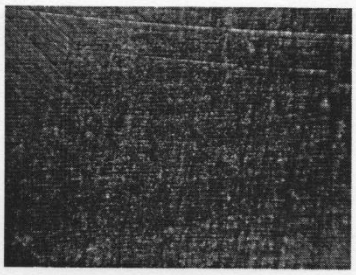
EK-2. 6063 Ø95 SOĞUTUCUNUN XRAY CİHAZ İLE KAPLAMA KALINLIĞI ÖLÇÜMÜ

EK-2.1. 6063 Ø95 Soğutucuya 25 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 97



n=	1	Cu	=	26.7 µm
n=	2	Cu	=	28.9 µm
n=	3	Cu	=	28.5 µm
n=	4	Cu	=	27.8 µm
n=	5	Cu	=	26.8 µm
n=	6	Cu	=	27.9 µm
n=	7	Cu	=	28.4 µm
n=	8	Cu	=	29.0 µm
n=	9	Cu	=	28.2 µm
n=	10	Cu	=	28.8 µm
n=	11	Cu	=	28.9 µm
n=	12	Cu	=	26.4 µm
n=	13	Cu	=	31.5 µm
n=	14	Cu	=	30.5 µm
n=	15	Cu	=	29.8 µm
n=	16	Cu	=	31.3 µm

Mean	28.7 µm
Standard deviation	1.50 µm
Range (max-min)	5.10 µm
Number of readings	16
Min. reading	26.4 µm
Max. reading	31.5 µm
Measuring time	20 sec

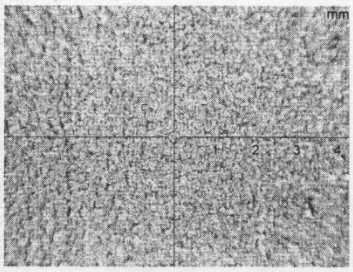
Operator: Ayse **25 mikron Bakır soğutucu 3**
Date: 4 Oca 2021 Time: 12:58:29

EK-2.2. 6063 Ø95 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 130



n=	1	Cu	=	40.1 µm
n=	2	Cu	=	41.9 µm
n=	3	Cu	=	45.1 µm
n=	4	Cu	=	43.2 µm
n=	5	Cu	=	42.6 µm

Mean	43.2 µm
Standard deviation	3.60 µm
Range (max-min)	9.44 µm
Number of readings	5
Min. reading	40.1 µm
Max. reading	45.1 µm
Measuring time	20 sec

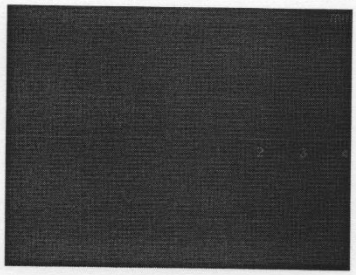
Operator: Ayse ölçm
Date: 10 Þub 2021 Time: 16:36:29

EK-2.3. 6063 Ø95 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 112**



n=	1	Ag 1 =	32.1	µm
n=	2	Ag 1 =	32.5	µm
n=	3	Ag 1 =	31.9	µm
n=	4	Ag 1 =	32.3	µm
n=	5	Ag 1 =	32.8	µm
n=	6	Ag 1 =	32.1	µm
n=	7	Ag 1 =	32.5	µm
n=	8	Ag 1 =	33.1	µm
n=	9	Ag 1 =	31.6	µm
n=	10	Ag 1 =	32.4	µm
n=	11	Ag 1 =	31.9	µm
n=	12	Ag 1 =	32.8	µm
n=	13	Ag 1 =	32.9	µ
n=	15	Ag 1 =	32.2	µm
n=	16	Ag 1 =	33.3	µm

Mean	32.45	µm
Standard deviation	0.468	µm
Range (max-min)	1.62	µm
Number of readings	16	
Min. reading	31.6	µm
Max. reading	33.3	µm
Measuring time	20	sec

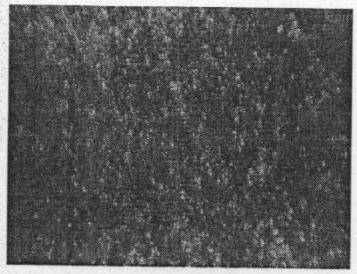
Operator: Ayse 25 mikron gümüş soğutucu 2
Date: 5 Oca 2021 Time: 15:44:25

EK-2.4. 6063 Ø95 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 128**



n=	1	Ag 1 =	48.7	µm
n=	2	Ag 1 =	49.4	µm
n=	3	Ag 1 =	46.7	µm
n=	4	Ag 1 =	48.5	µm
n=	5	Ag 1 =	47.6	µm
n=	6	Ag 1 =	48.5	µm

Mean	48.21	µm
Standard deviation	0.946	µm
Range (max-min)	2.73	µm
Number of readings	6	
Min. reading	46.7	µm
Max. reading	49.4	µm
Measuring time	20	sec

Operator: Ayse ölçüm
Date: 10 Þub 2021 Time: 14:35:07

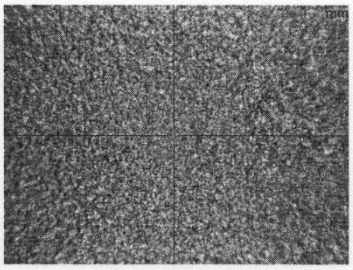
EK-3. ETIAL150 Ø95 SOĞUTUCUNUN XRAY CİHAZ İLE KAPLAMA KALINLIĞI ÖLÇÜMÜ

EK-3.1. Etial150 Ø95 Soğutucuya 25 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al



n=	1	Cu	=	23.1 µm
n=	2	Cu	=	21.5 µm
n=	3	Cu	=	27.3 µm
n=	5	Cu	=	21.7 µm
n=	6	Cu	=	17.6 µm
n=	7	Cu	=	25.0 µm
n=	9	Cu	=	18.9 µm
n=	10	Cu	=	15.8 µm
n=	11	Cu	=	29.4 µm
n=	12	Cu	=	25.0 µm
n=	13	Cu	=	27.3 µm
n=	14	Cu	=	28.0 µm
n=	15	Cu	=	32.1 µm
n=	16	Cu	=	22.0 µm
n=	17	Cu	=	28.0 µm
n=	18	Cu	=	33.5 µm

Mean	24.8 µm
Standard deviation	5.06 µm
Range (max-min)	17.8 µm
Number of readings	16
Min. reading	15.8 µm
Max. reading	33.5 µm
Measuring time	20 sec

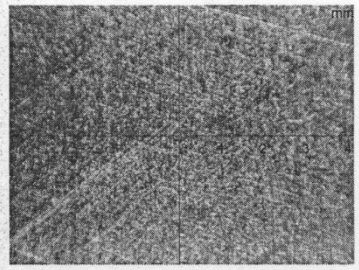
Operator: Ayse **25 mikron bakır soğutucu 2**
Date: 4 Oca 2021 Time: 12:49:53

EK-3.2. Etial150 Ø95 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 132



n=	1	Cu	=	37.4	µm
n=	2	Cu	=	43.4	µm
n=	3	Cu	=	38.6	µm
n=	4	Cu	=	39.5	µm
n=	5	Cu	=	41.9	µm

Mean	40.2	µm
Standard deviation	2.47	µm
Range (max-min)	6.02	µm
Number of readings	5	
Min. reading	37.4	µm
Max. reading	43.4	µm
Measuring time	20	sec

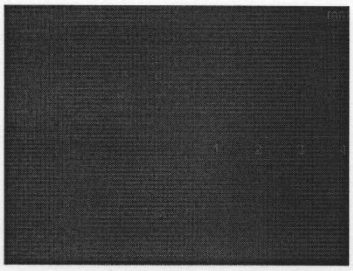
Operator: Ayse ölçm
Date: 10 Þub 2021 Time: 16:27:43

EK-3.3. Etial150 Ø95 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 117**



n=	1	Ag 1 =	12.1	µm
n=	2	Ag 1 =	12.1	µm
n=	3	Ag 1 =	12.2	µm
n=	4	Ag 1 =	12.2	µm
n=	5	Ag 1 =	12.2	µm
n=	6	Ag 1 =	12.1	µm
n=	7	Ag 1 =	12.3	µm
n=	8	Ag 1 =	12.0	µm
n=	9	Ag 1 =	12.0	µm
n=	10	Ag 1 =	12.2	µm
n=	11	Ag 1 =	11.9	µm
n=	12	Ag 1 =	12.2	µm
n=	13	Ag 1 =	12.3	µm
n=	14	Ag 1 =	12.1	µm
n=	15	Ag 1 =	12.3	µm
n=	16	Ag 1 =	12.3	µm

Mean	12.15	µm
Standard deviation	0.122	µm
Range (max-min)	0.452	µm
Number of readings	16	
Min. reading	11.9	µm
Max. reading	12.3	µm
Measuring time	20	sec

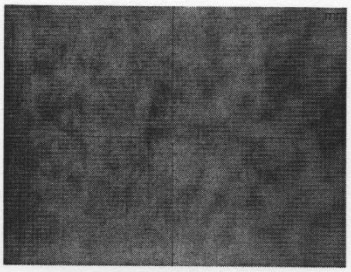
Operator: Ayse 10 mikron gümüş soğutucu 2
Date: 5 Oca 2021 Time: 16:33:00

EK-3.4. Etial150 Ø95 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 111**



n=	1	Ag 1 =	25.9	µm
n=	2	Ag 1 =	25.7	µm
n=	3	Ag 1 =	25.9	µm
n=	4	Ag 1 =	25.0	µm
n=	5	Ag 1 =	26.4	µm
n=	6	Ag 1 =	25.7	µm
n=	7	Ag 1 =	25.6	µm
n=	8	Ag 1 =	25.6	µm
n=	9	Ag 1 =	25.5	µm
n=	10	Ag 1 =	25.9	µm
n=	11	Ag 1 =	25.4	µm
n=	12	Ag 1 =	25.5	µm
n=	13	Ag 1 =	24.5	µm
n=	14	Ag 1 =	25.3	µm
n=	15	Ag 1 =	24.6	µm
n=	16	Ag 1 =	24.3	µm

Mean	25.43	µm
Standard deviation	0.557	µm
Range (max-min)	2.05	µm
Number of readings	16	
Min. reading	24.3	µm
Max. reading	26.4	µm
Measuring time	20	sec

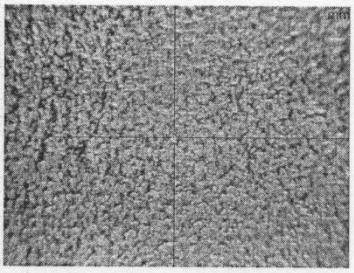
Operator: Ayse 25 mikron gümüş soğutucu 1
Date: 5 Oca 2021 Time: 15:11:27

EK-3.5. Etial150 Ø95 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 129**



n=	1	Ag 1 =	41.0	µm
n=	2	Ag 1 =	40.7	µm
n=	3	Ag 1 =	39.9	µm
n=	4	Ag 1 =	41.1	µm
n=	5	Ag 1 =	41.0	µm
n=	6	Ag 1 =	40.1	µm
n=	7	Ag 1 =	41.0	µm

Mean	40.69	µm
Standard deviation	0.483	µm
Range (max-min)	1.25	µm
Number of readings	7	
Min. reading	39.9	µm
Max. reading	41.1	µm
Measuring time	20	sec

Operator: Ayse ölçüm
Date: 10 Þub 2021 Time: 14:41:25

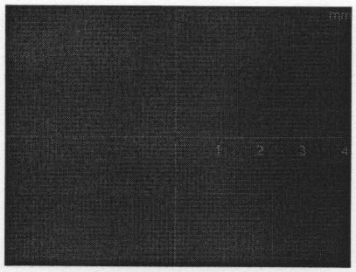
EK-4. 6063 Ø70 SOĞUTUCUNUN XRAY CİHAZ İLE KAPLAMA KALINLIĞI ÖLÇÜMÜ

EK-4.1. 6063 Ø70 Soğutucuya 10 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 103



n=	1	Cu	=	21.1 µm
n=	2	Cu	=	20.7 µm
n=	3	Cu	=	20.9 µm
n=	4	Cu	=	20.3 µm
n=	5	Cu	=	20.6 µm
n=	6	Cu	=	20.7 µm
n=	7	Cu	=	21.0 µm
n=	8	Cu	=	20.6 µm
n=	9	Cu	=	20.7 µm
n=	10	Cu	=	20.3 µm
n=	11	Cu	=	20.4 µm
n=	12	Cu	=	21.0 µm
n=	13	Cu	=	20.7 µm
n=	14	Cu	=	20.8 µm
n=	15	Cu	=	20.8 µm
n=	16	Cu	=	20.8 µm

Mean	20.7 µm
Standard deviation	0.236 µm
Range (max-min)	0.78 µm
Number of readings	16
Min. reading	20.3 µm
Max. reading	21.1 µm
Measuring time	20 sec

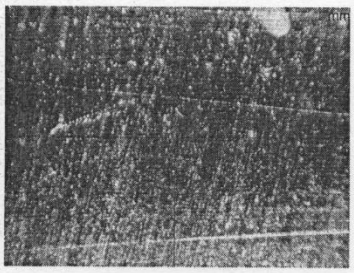
Operator: Ayse 10 mikron Bakır soğutucu 2
Date: 5 Oca 2021 Time: 17:18:10

EK-4.2. 6063 Ø70 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 130



n=	1	Cu	=	40.1 µm
n=	2	Cu	=	41.9 µm
n=	3	Cu	=	45.1 µm
n=	4	Cu	=	43.2 µm
n=	5	Cu	=	35.6 µm

Mean	41.2 µm
Standard deviation	3.60 µm
Range (max-min)	9.44 µm
Number of readings	5
Min. reading	35.6 µm
Max. reading	45.1 µm
Measuring time	20 sec

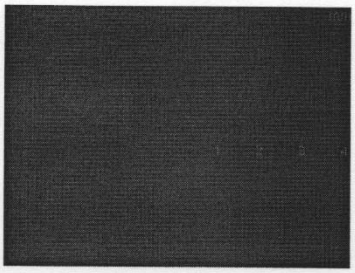
Operator: Ayse ölçm
Date: 10 Þub 2021 Time: 15:54:56

EK-4.3. 6063 Ø70 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 118**



n=	1	Ag 1 =	11.4	µm
n=	2	Ag 1 =	11.6	µm
n=	3	Ag 1 =	11.2	µm
n=	4	Ag 1 =	11.5	µm
n=	5	Ag 1 =	11.5	µm
n=	6	Ag 1 =	11.5	µm
n=	7	Ag 1 =	11.0	µm
n=	8	Ag 1 =	11.1	µm
n=	9	Ag 1 =	11.4	µm
n=	10	Ag 1 =	11.5	µm
n=	11	Ag 1 =	11.4	µm
n=	12	Ag 1 =	11.3	µm
n=	13	Ag 1 =	11.5	µm
n=	14	Ag 1 =	11.5	µm
n=	15	Ag 1 =	11.4	µm
n=	16	Ag 1 =	11.3	µm

Mean	11.38	µm
Standard deviation	0.167	µm
Range (max-min)	0.565	µm
Number of readings	16	
Min. reading	11.0	µm
Max. reading	11.6	µm
Measuring time	20	sec

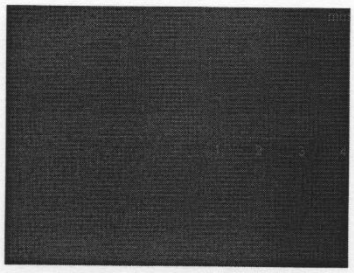
Operator: Ayse 10 mikron gümüş soğutucu 3
Date: 5 Oca 2021 Time: 16:32:12

EK-4.4. 6063 Ø70 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 113**



n=	1	Ag 1 =	37.4	µm
n=	2	Ag 1 =	37.0	µm
n=	3	Ag 1 =	36.6	µm
n=	4	Ag 1 =	38.4	µm
n=	5	Ag 1 =	36.9	µm
n=	6	Ag 1 =	37.5	µm
n=	7	Ag 1 =	38.8	µm
n=	8	Ag 1 =	37.9	µm
n=	9	Ag 1 =	37.8	µm
n=	10	Ag 1 =	39.2	µm
n=	11	Ag 1 =	37.4	µm
n=	12	Ag 1 =	37.7	µm
n=	13	Ag 1 =	37.2	µm
n=	14	Ag 1 =	38.1	µm
n=	15	Ag 1 =	37.3	µm
n=	16	Ag 1 =	38.2	µm

Mean	37.71	µm
Standard deviation	0.704	µm
Range (max-min)	2.59	µm
Number of readings	16	
Min. reading	36.6	µm
Max. reading	39.2	µm
Measuring time	20	sec

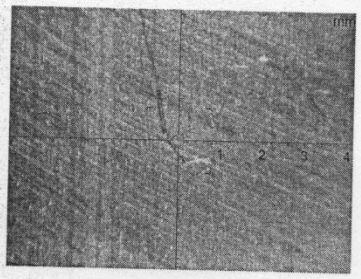
Operator: Ayse 25 mikron gümüş soğutucu 3
Date: 5 Oca 2021 Time: 15:45:21

EK-4.5. 6063 Ø70 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 131**



n=	1	Ag	1	=	52.1 µm
n=	2	Ag	1	=	54.8 µm
n=	3	Ag	1	=	52.7 µm
n=	4	Ag	1	=	55.5 µm
n=	5	Ag	1	=	52.8 µm

Mean	53.59 µm
Standard deviation	1.501 µm
Range (max-min)	3.47 µm
Number of readings	5
Min. reading	52.1 µm
Max. reading	55.5 µm
Measuring time	20 sec

Operator: Ayse ölçüm
Date: 10 sub 2021 Time: 14:48:40

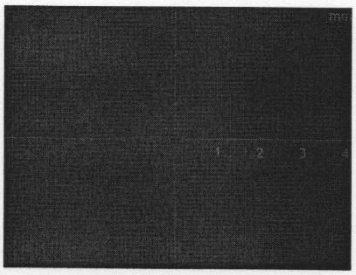
EK-5. 6063 Ø43 SOĞUTUCUNUN XRAY CİHAZ İLE KAPLAMA KALINLIĞI ÖLÇÜMÜ

EK-5.1. 6063 Ø43 Soğutucuya 10 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 104



n=	1	Cu	=	25.6 µm
n=	2	Cu	=	25.4 µm
n=	3	Cu	=	24.9 µm
n=	4	Cu	=	25.3 µm
n=	5	Cu	=	25.5 µm
n=	6	Cu	=	23.3 µm
n=	7	Cu	=	25.8 µm
n=	8	Cu	=	26.3 µm
n=	9	Cu	=	24.3 µm
n=	10	Cu	=	25.3 µm
n=	11	Cu	=	25.3 µm
n=	12	Cu	=	25.3 µm
n=	13	Cu	=	25.1 µm
n=	14	Cu	=	25.9 µm
n=	15	Cu	=	25.2 µm
n=	16	Cu	=	26.5 µm

Mean	25.3 µm
Standard deviation	0.753 µm
Range (max-min)	3.19 µm
Number of readings	16
Min. reading	23.3 µm
Max. reading	26.5 µm
Measuring time	20 sec

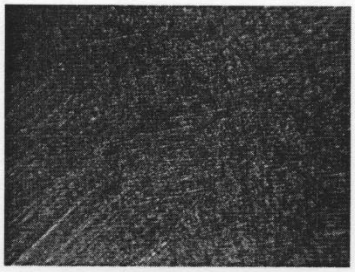
Operator: Ayse 10 mikron Bakır soğutucu 3
Date: 5 Oca 2021 Time: 17:17:42

EK-5.2. 6063 Ø43 Soğutucuya 20 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 100



n=	1	Cu	=	39.6 µm
n=	2	Cu	=	41.3 µm
n=	3	Cu	=	40.6 µm
n=	4	Cu	=	36.3 µm
n=	5	Cu	=	34.6 µm
n=	6	Cu	=	40.4 µm
n=	7	Cu	=	36.6 µm
n=	8	Cu	=	41.3 µm
n=	9	Cu	=	39.1 µm
n=	10	Cu	=	39.3 µm
n=	11	Cu	=	39.2 µm
n=	12	Cu	=	37.6 µm
n=	13	Cu	=	37.7 µm
n=	14	Cu	=	36.8 µm
n=	15	Cu	=	33.7 µm
n=	16	Cu	=	37.8 µm

Mean	38.2 µm
Standard deviation	2.26 µm
Range (max-min)	7.53 µm
Number of readings	16
Min. reading	33.7 µm
Max. reading	41.3 µm
Measuring time	20 sec

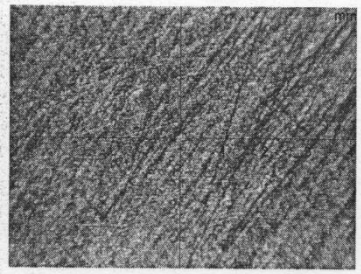
Operator: Ayse 25 mikron Bakır sogutucu 4
Date: 5 Oca 2021 Time: 14:29:24

EK-5.3. 6063 Ø43 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 129



n=	1	Cu	=	39.6 µm
n=	2	Cu	=	36.5 µm
n=	3	Cu	=	45.2 µm
n=	4	Cu	=	41.8 µm
n=	5	Cu	=	37.7 µm

Mean	40.16 µm
Standard deviation	2.33 µm
Range (max-min)	5.33 µm
Number of readings	4
Min. reading	36.5 µm
Max. reading	45.2 µm
Measuring time	20 sec

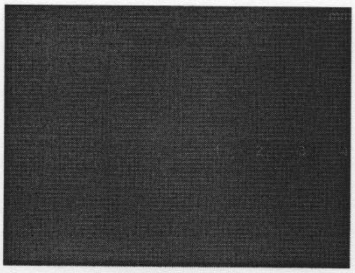
Operator: Ayse ölçm
Date: 10 Þub 2021 Time: 15:49:29

EK-5.4. 6063 Ø43 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 119**



n=	1	Ag 1 =	17.8	µm
n=	2	Ag 1 =	17.7	µm
n=	3	Ag 1 =	17.9	µm
n=	4	Ag 1 =	17.7	µm
n=	5	Ag 1 =	18.0	µm
n=	6	Ag 1 =	17.9	µm
n=	7	Ag 1 =	17.9	µm
n=	8	Ag 1 =	18.1	µm
n=	9	Ag 1 =	18.4	µm
n=	10	Ag 1 =	17.8	µm
n=	11	Ag 1 =	17.6	µm
n=	12	Ag 1 =	17.8	µm
n=	13	Ag 1 =	18.2	µm
n=	14	Ag 1 =	18.0	µm
n=	15	Ag 1 =	18.3	µm
n=	16	Ag 1 =	18.1	µm

Mean	17.95	µm
Standard deviation	0.214	µm
Range (max-min)	0.745	µm
Number of readings	16	
Min. reading	17.6	µm
Max. reading	18.4	µm
Measuring time	20	sec

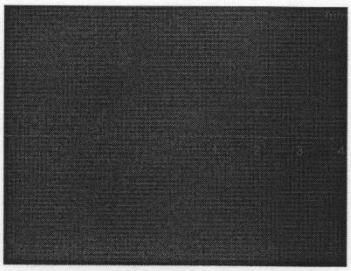
Operator: Ayse 10 mikron gümüş soğutucu 4
Date: 5 Oca 2021 Time: 16:29:43

EK-5.5. 6063 Ø43 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 3 / Ag/Cu/Al Block: 114



n=	1	Ag 1 =	54.8	µm
n=	2	Ag 1 =	54.8	µm
n=	3	Ag 1 =	56.9	µm
n=	4	Ag 1 =	57.7	µm
n=	5	Ag 1 =	56.9	µm
n=	6	Ag 1 =	56.7	µm
n=	7	Ag 1 =	53.2	µm
n=	8	Ag 1 =	55.4	µm
n=	9	Ag 1 =	57.5	µm
n=	10	Ag 1 =	58.9	µm
n=	11	Ag 1 =	55.4	µm
n=	12	Ag 1 =	56.4	µm
n=	13	Ag 1 =	56.8	µm
n=	14	Ag 1 =	57.7	µm
n=	15	Ag 1 =	57.8	µm
n=	16	Ag 1 =	54.4	µm

Mean	56.33	µm
Standard deviation	1.542	µm
Range (max-min)	5.74	µm
Number of readings	16	
Min. reading	53.2	µm
Max. reading	58.9	µm
Measuring time	20	sec

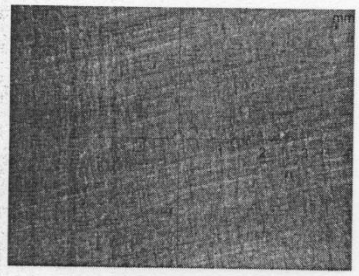
Operator: Ayse 25 mikron gümüş soğutucu 4
Date: 5 Oca 2021 Time: 15:46:13

EK-5.6. 6063 Ø43 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al



n=	1	Ag 1 =	41.0	µm
n=	2	Ag 1 =	40.7	µm
n=	3	Ag 1 =	42.1	µm
n=	4	Ag 1 =	41.1	µm
n=	5	Ag 1 =	41.0	µm
n=	6	Ag 1 =	40.1	µm
n=	7	Ag 1 =	41.0	µm

Mean	41.69	µm
Standard deviation	0.483	µm
Range (max-min)	1.25	µm
Number of readings	7	
Min. reading	40.1	µm
Max. reading	42.1	µm
Measuring time	20	sec

Operator: Ayse ölçüm
Date: 10 Þub 2021 Time: 14:58:51

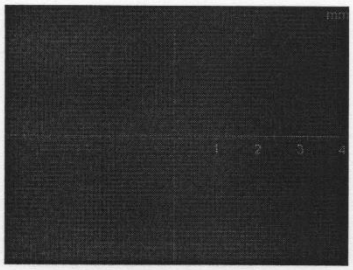
EK-6. ETIAL150 Ø45 SOĞUTUCUNUN XRAY CİHAZ İLE KAPLAMA KALINLIĞI ÖLÇÜMÜ

EK-6.1. Etial150 Ø45 Soğutucuya 10 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 105



n=	1	Cu	=	19.5 µm
n=	2	Cu	=	24.5 µm
n=	3	Cu	=	31.7 µm
n=	4	Cu	=	-------- µm
n=	5	Cu	=	23.2 µm
n=	6	Cu	=	21.9 µm
n=	7	Cu	=	29.3 µm
n=	8	Cu	=	-------- µm
n=	9	Cu	=	28.0 µm
n=	10	Cu	=	26.0 µm
n=	11	Cu	=	29.0 µm
n=	12	Cu	=	35.5 µm
n=	13	Cu	=	19.1 µm
n=	14	Cu	=	29.1 µm
n=	15	Cu	=	30.5 µm
n=	16	Cu	=	32.6 µm

Mean	27.1 µm
Standard deviation	4.94 µm
Range (max-min)	16.3 µm
Number of readings	14
Min. reading	19.1 µm
Max. reading	35.5 µm
Measuring time	20 sec

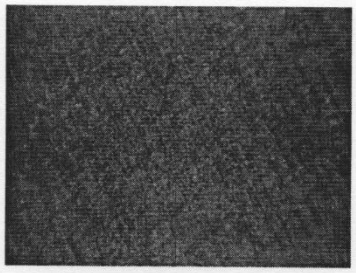
Operator: Ayse **10 mikron Bakır soğutucu 4**
Date: 5 Oca 2021 Time: 17:17:01

EK-6.2. Etial150 Ø45 Soğutucuya 25 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al Block: 101



n=	1	Cu	=	35.3 µm
n=	2	Cu	=	33.3 µm
n=	3	Cu	=	38.0 µm
n=	4	Cu	=	34.5 µm
n=	5	Cu	=	31.1 µm
n=	6	Cu	=	35.8 µm
n=	7	Cu	=	27.3 µm
n=	8	Cu	=	25.7 µm
n=	9	Cu	=	35.7 µm
n=	10	Cu	=	31.6 µm
n=	11	Cu	=	32.0 µm
n=	12	Cu	=	34.8 µm
n=	13	Cu	=	30.6 µm
n=	14	Cu	=	34.1 µm
n=	15	Cu	=	31.7 µm
n=	16	Cu	=	35.1 µm

Mean	32.9 µm
Standard deviation	3.22 µm
Range (max-min)	12.2 µm
Number of readings	16
Min. reading	25.7 µm
Max. reading	38.0 µm
Measuring time	20 sec

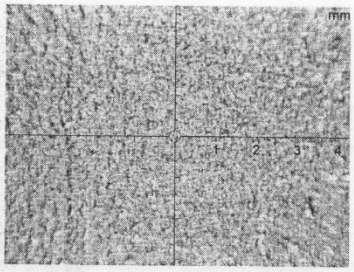
Operator: Ayse 25 mikron Bakır soğutucu 5
Date: 5 Oca 2021 Time: 14:48:51

EK-6.3. Etial150 Ø45 Soğutucuya 40 µm Bakır Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 2901060 / Cu/Al



n=	1	Cu	=	43.1 µm
n=	2	Cu	=	44.9 µm
n=	3	Cu	=	45.3 µm
n=	4	Cu	=	43.5 µm
n=	5	Cu	=	44.7 µm

Mean	44.3 µm
Standard deviation	3.60 µm
Range (max-min)	9.44 µm
Number of readings	5
Min. reading	43.1 µm
Max. reading	45.3 µm
Measuring time	20 sec

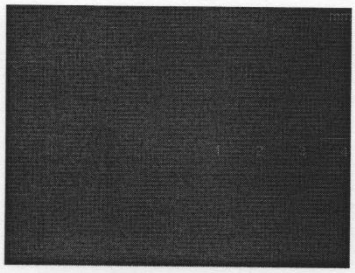
Operator: Ayse ölçm
Date: 10 Þub 2021 Time: 16:36:29

EK-6.4. Etial150 Ø45 Soğutucuya 10 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al **Block: 120**



n=	1	Ag 1 =	16.1	µm
n=	2	Ag 1 =	15.8	µm
n=	3	Ag 1 =	16.1	µm
n=	4	Ag 1 =	16.5	µm
n=	5	Ag 1 =	15.7	µm
n=	6	Ag 1 =	16.6	µm
n=	7	Ag 1 =	16.3	µm
n=	8	Ag 1 =	16.4	µm
n=	9	Ag 1 =	16.3	µm
n=	10	Ag 1 =	16.7	µm
n=	11	Ag 1 =	16.2	µm
n=	12	Ag 1 =	16.3	µm
n=	13	Ag 1 =	16.3	µm
n=	14	Ag 1 =	16.1	µm
n=	15	Ag 1 =	16.2	µm
n=	16	Ag 1 =	17.3	µm

Mean	16.32	µm
Standard deviation	0.373	µm
Range (max-min)	1.59	µm
Number of readings	16	
Min. reading	15.7	µm
Max. reading	17.3	µm
Measuring time	20	sec

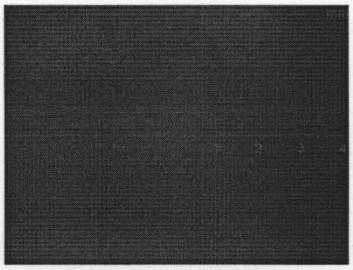
Operator: Ayse 10 mikron gümüş soğutucu 5
Date: 5 Oca 2021 Time: 16:28:15

EK-6.5. Etial150 Ø45 Soğutucuya 25 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® XRAY XDLM 237
Product: 3 / Ag/Cu/Al Block: 115



n=	1	Ag 1 =	50.1	µm
n=	2	Ag 1 =	49.0	µm
n=	3	Ag 1 =	49.6	µm
n=	4	Ag 1 =	49.6	µm
n=	5	Ag 1 =	48.0	µm
n=	6	Ag 1 =	50.5	µm
n=	7	Ag 1 =	49.5	µm
n=	8	Ag 1 =	48.1	µm
n=	9	Ag 1 =	49.2	µm
n=	10	Ag 1 =	50.6	µm
n=	11	Ag 1 =	49.7	µm
n=	12	Ag 1 =	50.8	µm
n=	13	Ag 1 =	47.9	µm
n=	14	Ag 1 =	49.0	µm
n=	15	Ag 1 =	49.5	µm
n=	16	Ag 1 =	50.3	µm

Mean	49.45	µm
Standard deviation	0.915	µm
Range (max-min)	2.92	µm
Number of readings	16	
Min. reading	47.9	µm
Max. reading	50.8	µm
Measuring time	20	sec

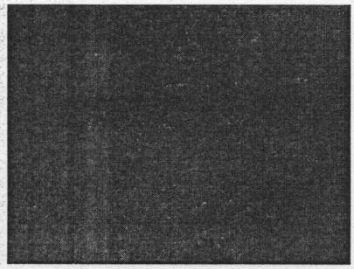
Operator: Ayse 25 mikron gümüş soğutucu 5
Date: 5 Oca 2021 Time: 15:47:14

EK-6.6. Etial150 Ø45 Soğutucuya 40 µm Gümüş Kaplama

HELMUT FISCHER GmbH
Industriestrasse 21
71069 Sindelfingen

ASSA METAL KAPLAMA
İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Fischerscope® **XRAY XDLM 237**
Product: 3 / Ag/Cu/Al



n=	1	Ag 1 =	48.7	µm
n=	2	Ag 1 =	49.4	µm
n=	3	Ag 1 =	46.7	µm
n=	4	Ag 1 =	48.5	µm
n=	5	Ag 1 =	47.6	µm
n=	6	Ag 1 =	46.5	µm

Mean	47.62	µm
Standard deviation	0.946	µm
Range (max-min)	2.73	µm
Number of readings	6	
Min. reading	46.5	µm
Max. reading	49.4	µm
Measuring time	20	sec

Operator: Ayse ölçüm
Date: 10 Þub 2021 Time: 15:32:55

ÖZGEÇMİŞ

Ad : Aslı

Soyad : SPOR

Eğitim Bilgileri

2018 Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı, Tezli Yüksek Lisans Programı.

2014 Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Lisans, İstanbul.

2013 Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Lisans, İstanbul.

2009 Mustafa Saffet Anadolu Lisesi, İstanbul.

Akademik Yayınlar

Spor, A., Kıyak, İ., Solak, G. (2019) Artificial Intelligence Supported Tunnel Lighting System. The 3rd International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID 2019), 25-27 Eylül, Elazığ, Türkiye.

Spor, A., Kıyak, İ. (2018) Illumination Design of Educational Environment with Efficient Lighting Luminaries. International Conference on Innovative Engineering Applications (CIEA 2018), 20-22 Eylül, Sivas, Türkiye.