



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**M1 VE M2 KATEGORİSİNDE TANIMLANAN YOL
AYDINLATMA SINIFLARINA UYGUN VE YÜKSEK VERİMLİ
LED'Lİ YOL AYDINLATMA ARMATÜR MODELLERİNİN
TASARIMI VE TERMAL ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Burcu ÇİÇEK

DANIŞMAN

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

AKSARAY, 2019



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**M1 VE M2 KATEGORİSİNDE TANIMLANAN YOL
AYDINLATMA SINIFLARINA UYGUN VE YÜKSEK VERİMLİ
LED'Lİ YOL AYDINLATMA ARMATÜR MODELLERİNİN
TASARIMI VE TERMAL ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Burcu ÇİÇEK

DANIŞMAN

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162318301 numaralı Doktora öğrencisi, **Burcu ÇİÇEK** tarafından hazırlanan "**M1 VE M2 KATEGORİSİNDE TANIMLANAN YOL AYDINLATMA SINIFLARINA UYGUN VE YÜKSEK VERİMLİ LED'Lİ YOL AYDINLATMA ARMATÜR MODELLERİNİN TASARIMI VE TERMAL ANALİZİ**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

Aksaray Üniversitesi

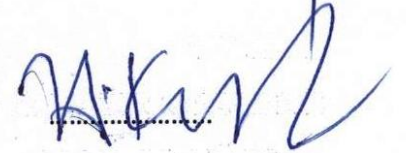
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Yüksel KAPLAN

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

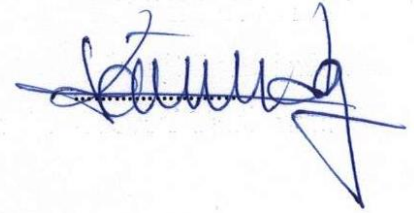
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Kemal ALDAŞ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Mahmut ALKAN

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi. Filiz Sarı

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 15/02/2019

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



Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduđum bu çalıřmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlâk ve geleneklere aykırı dűşecek bir yol ve yardıma bařvurmaksızın yazdıđımı, yararlandıđım eserlerin kaynakçada gűsterilenlerden olduđuunu, çalıřmamda kullandıđım verilerin orijinalliđini ve her tűrlű intihalden uzak olduđuunu beyan ederim.

Enstitű tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durum saptanması durumunda ortaya çıkacak tűm ahlâki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.



Burcu ÇİÇEK

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bana yol gösteren, destekleyen ve deneyimleriyle yoluma ışık tutan çok değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN'e saygı ve şükranlarımı sunarım. Yine doktora sürecinde yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Kemal ALDAŞ, Doç. Dr. Mahmut ALKAN ve Dr. Öğretim Üyesi Filiz SARI'ya teşekkürü borç bilirim. Ayrıca tezimin her aşamasında desteğini eksik etmeyen değerli mesai arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AYDIN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında manevi desteklerini eksik etmeyen, varlıklarıyla beni güçlü kılan aileme gönülden teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde 5160068 numaralı 1505 TÜBİTAK projesi ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK kurumuna teşekkür ederim.

Burcu ÇİÇEK
AKSARAY, 2019

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Aydınlatma	2
1.2 LED Teknolojileri	3
1.3 LED Teknolojisinin Avantajları.....	5
1.4 LED'lerde Termal Yönetim ve Önemi	6
1.5 Isı Borusu Teorisi ve Çalışma Prensipleri.....	9
1.6 Isı Borusunun Avantajları	10
1.7 Isı Borusu Uygulama Alanları	11
1.7.1 Enerji depolama sistemleri.....	11
1.7.2 Taşıma sistemleri	11
1.7.3 Elektronik cihazların soğutulması.....	11
1.8 Isı Borusunun Bileşenleri.....	11
1.8.1 Isı borusu duvarı ve konteynır.....	11
1.8.2 Fitil veya kapiler yapı.....	12
1.8.2.1 Sinterlenmiş metal parçalı fitil	12
1.8.2.2 Oluklu fitil.....	13
1.8.2.3 Kafes örgü fitil	13
1.9 Çalışma Akışkanı	14
1.10 Isı Borusu Tipleri	15
1.10.1 Silindirik ısı borusu	15
1.10.2 Düz plakalı ısı borusu	16
1.10.3 Mikro ısı boruları	16
1.10.4 Titreşimli ısı boruları	17
1.11 Isı Borularındaki Isı Transfer Limitleri.....	18
1.12 Termal Direnç Ağ Modeli.....	19
1.13 Jonksiyon Sıcaklığı	21
2. KAYNAK ÖZETİ	23
2.1 Termal Kanal Kullanımı	23
2.2 Soğutucu Plaka ve Kanatçıkların Geometrisi ve Malzeme Özellikleri.....	24
2.3 Isı Pompası veya Isı Borusu Kullanımı.....	28
2.4 Sıvı Soğutma	34
2.5 Termoelektrik Soğutma.....	34
2.6 Çoklu Çip Kullanımı	35
2.7 LED'lerde Kullanılan Elektronik Devre Kartı Üzerinde Yapılan Çalışmalar ..	36
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
3.1 Sayısal Analiz.....	40
3.1.1 Matematiksel model	42
3.1.1.1 Ön işlemci	43
3.1.1.2 Çözücü.....	43
3.1.1.3 Son işlemci.....	49
3.2 Deneysel Çalışma.....	49

3.2.1 Deney düzeneğinin hazırlanması	49
3.3 M1 ve M2 Aydınlatma Sınıfı	54
3.3.1 LED seçimi.....	55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	56
4.1 Sayısal Analiz Sonuçları	56
4.2 Termal Direnç Ağ Modeli	62
4.3 Optimum Kanatçık Aralığı.....	69
4.4 Malzeme Etkisi.....	82
4.5 LED Çip Hacminin Maksimum Sıcaklığa Etkisi	90
4.6 Farklı Türbülans Modelleri ve Duvar Yaklaşımlarının Maksimum Sıcaklığa Etkisi	93
4.7 Deneysel Ölçümler	94
4.7.1 Deneysel belirsizlik	95
4.7.2 Deneysel ve sayısal çözümlerin karşılaştırılması.....	96
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	98
KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	109

DOKTORA TEZİ

M1 VE M2 KATEGORİSİNDE TANIMLANAN YOL AYDINLATMA SINIFLARINA UYGUN VE YÜKSEK VERİMLİ LED'Lİ YOL AYDINLATMA ARMATÜR MODELLERİNİN TASARIMI VE TERMAL ANALİZİ

Burcu ÇİÇEK

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

ÖZET

Işık yayan diyotlar (LED'ler) elektrik enerjisini doğrudan ışık enerjisine dönüştüren yarı-iletken cihazlardır. Bununla birlikte LED'ler kendisine uygulanan elektrik enerjisinin ancak % 20'sini ışık enerjisine dönüştürebilmektedir. Geri kalan enerji ısı enerjisine dönüşerek LED çiplerinde yüksek sıcaklığa sebep olmaktadır. LED'lerde oluşan yüksek ısı akısı, LED'lerin ömür, kararlılık ve güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle yüksek güçlü LED'lerde jonksiyon sıcaklığını izin verilen sınırın altında tutmak şarttır. Bu nedenle LED paketlerinin etkili termal yönetimi LED'lerin performansını geliştirmek açısından önemlidir.

Bu tez çalışmasında, sokak aydınlatmasında kullanılmak üzere yüksek güçlü LED paketlerinin ve bu LED'lerde oluşan ısıyı uzaklaştırmak amacıyla ısı borulu soğutucu plakanın tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan LED paketine entegre edilen ısı borulu soğutucu plaka ve kanatçıkların termal davranışları ANSYS Fluent yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Tasarımda U-tipi silindirik bakır ısı boruları kullanılmıştır. İlk olarak soğutucu plaka üzerinde bulunan kanatçıkların optimum boyutları belirlenmiştir. İkinci olarak, farklı sayı, çap ve uzunluklarda ısı boruları için termal analiz yapılmış ve optimum değerler elde edilmiştir. Sonrasında, LED paketlerin bileşenleri olarak kullanılacak uygun malzemeler belirlenmiştir. Son olarak LED çip hacminin maksimum sıcaklık üzerindeki etkisini belirlemek için dört farklı çip hacmine sahip yüksek güçlü LED modelleri kullanılarak termal analizler yapılmıştır. Akışın sürekli rejimde ve sıkıştırılmaz olduğu varsayılarak her bir LED modeli için farklı türbülans modellerinin ve duvar yaklaşımlarının etkileri değerlendirilmiştir. ANSYS Fluent programında yapılan analizlerin doğrulanması için deneysel bir düzenek oluşturulmuş ve sistemin belirli noktalarında sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlar sayısal sonuçlarla uyumlu çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek güçlü LED, Termal analiz, HAD, Türbülans modeli.

Şubat, 2019; 109 sayfa

PhD. THESIS

DESIGN AND THERMAL ANALYSIS OF HIGH EFFICIENCY LEDS FOR STREET ILLUMINATION ARMATURES in M1 and M2 CATEGORIES

Burcu ÇİÇEK

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN**

ABSTRACT

Light emitting diodes (LED's) are solid state semiconductor devices that directly convert electrical energy into light energy. However, LEDs convert only about 20% of the applied electric energy to light energy. The remaining energy is converted into heat energy, causing high temperatures in the LED chips. High heat fluxes in the LEDs limit the reliability, stability and lifetime of them. Especially in high power LEDs, it is necessary to keep the junction temperature below the allowable limit. So, effective thermal management of the LED package is critical to improve LED performance.

In this thesis, LED packages were designed to be used in street lighting. In order to remove the heat generated from the LED's, a heat sink heat pipe geometry was designed and modeled. Thermal behavior of the heat sink heat pipe model with fins integrated into the LED packages are simulated using the ANSYS Fluent software. U-shaped cylindrical copper heat pipes are used in the design. Firstly, the optimum dimensions of the fins on the heat sink were determined. Secondly, thermal analyses were performed for different numbers, diameters and lengths of heat pipes and optimum values were obtained. Afterwards, suitable materials to be used as components of LED packages were determined. Finally, thermal analyses were performed using high power LED models with four different chip volumes to determine the effect of the LED chip volume on the maximum temperature. The effects of different turbulence models and wall approaches were evaluated by assumed continuous conditions and incompressible flow conditions for each LED model. An experimental set up was established for the verification of analyzes performed at ANSYS Fluent and temperature measurements were taken at certain points of the system. The experimental results were consistent with the numerical results.

Keywords: High power LED, Thermal analysis, CFD, Turbulence model.

February, 2019; 109 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bir LED çipindeki ışık yayma süreci.....	4
Şekil 1.2. Bağlı ışık akısı vs jonksiyon sıcaklığı ($I_F = 700\text{mA}$).....	8
Şekil 1.3. Isı borusu çalışma prensibi.	10
Şekil 1.4. Sinterlenmiş metal parçalı fitil.	12
Şekil 1.5. Oluklu fitil.	13
Şekil 1.6. Kafes örgü fitil.....	13
Şekil 1.7. Silindirik ısı borusu.	15
Şekil 1.8. Düz plakalı ısı borusunun şematik resmi a. ısı borusu geometrisi b. ısı borusunun kesit alan görünüşü.	16
Şekil 1.9. a. Mikro ısı borularının farklı kesit alanlarının geometrisi: i) kare yıldız oluk, ii) altıgen yıldız, iii) sekizgen yıldız oluk, iv) eşkenar üçgen b.eşkenar üçgen ve yıldız oluklu ısı borularının optimum yüklenmesi.	17
Şekil 1.10. Titreşimli bir ısı borusunun şematik resmi.	18
Şekil 1.12. Üç ana dirençten oluşan termal direnç modeli.	20
Şekil 1.13. Dört LED için termal direnç modeli.....	20
Şekil 2.1. Dikdörtgen kanallarla birleştirilmiş alüminyum ısı borusu.	29
Şekil 2.2. 100 W soket tip COP LED lambasının alüminyum düz ısı borusuna entegre edilmesi.	30
Şekil 2.3. Radyatör model.....	31
Şekil 2.4. a. LED paketinin basit yapısı, b. DBC ve IMS'nin yapısı.....	38
Şekil 3.1. Tasarlanan sistemin geometrisi.....	41
Şekil 3.3. Tasarlanan modelin ANSYS Mesh'de oluşturulmuş ağ yapısı (akış alanı ile birlikte).	44
Şekil 3.4. Tasarlanan modelin ANSYS Mesh'de oluşturulmuş ağ yapısı (akış alanı hariç).	45
Şekil 3.4. ANSYS Fluent programı çözücü ve yer çekimi ara yüzü.	46
Şekil 3.5. ANSYS Fluent programı ısı üretimi veri girişi.	47
Şekil 3.6. ANSYS Fluent programı çözüm metotları modülü.	48
Şekil 3.7. Fluent çözücü kısmında analizin yakınsama diyagramı.	48
Şekil 3.8. Isı borulu soğutucu plaka prototipi.	49
Şekil 3.9. LED paketlerinin elektriksel bağlantısı.	50
Şekil 3.10. TT-T-ECNİ-C RXN 605D ayarlanabilir güç kaynağı.	51
Şekil 3.11. Tipik ileri akım ve ileri voltaj grafiği.	52
Şekil 3.12. LED paketlerine termal macun uygulaması.	52
Şekil 3.13. a. Bıçak sigorta ve sigorta yuvası, b. On-off düğmesi.	53
Şekil 3.14. Termokupl ölçüm noktaları.	54
Şekil 3.15. Deney düzeneğinin görüntüsü.	54
Şekil 4.1. Tek ısı borulu sistemin sıcaklık dağılımı.....	56
Şekil 4.2. Çift ısı borulu sistemin sıcaklık dağılımı.....	57
Şekil 4.3. Üç ısı borulu sistemin sıcaklık dağılımı.....	57
Şekil 4.4. Dört ısı borulu sistemin sıcaklık dağılımı.....	58
Şekil 4.5. Tasarlanan geometrideki belirtilen sıcaklık noktaları.....	58
Şekil 4.6. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (8 mm boru çapı için).	59
Şekil 4.7. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (10 mm boru çapı için).	60
Şekil 4.8. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemin verilen noktalardaki	

sıcaklık değerlerine etkisi (12 mm boru çapı için).....	60
Şekil 4.9. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (14 mm boru çapı için).....	61
Şekil 4.10. Sistemde ısı boru sayısının farklı boru çaplarına (8, 10, 12 ve 14 mm) göre jonksiyon sıcaklığına etkisi.	61
Şekil 4.11. Alüminyum kolon ile modellenen sistemin sıcaklık dağılımı.	62
Şekil 4.12. Tasarlanan sistemin termal direnç şeması.	63
Şekil 4.13. Sistemde ısı boru sayısının farklı boru çaplarına (8,10,12 ve 14 mm) göre toplam termal direnç etkisi.	65
Şekil 4.14. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemlerde LED gücünün LED maksimum sıcaklığına etkisi.	66
Şekil 4.15. Isı borusu kondenser uzunluğunun verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.	67
Şekil 4.16. Isı borusu kondenser uzunluğunun verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.	67
Şekil 4.17. Isı borusu kondenser uzunluğunun verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.	68
Şekil 4.18. Isı borusu kondenser uzunluğunun jonksiyon sıcaklığına etkisi.	68
Şekil 4.19. Isı borusu kondenser uzunluğunun toplam termal dirence etkisi.	69
Şekil 4.20. Kanatçıklar arası mesafeye göre ortalama ısı transfer katsayısının değişimi.	72
Şekil 4.21. Ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısına göre değişimi.	73
Şekil 4.22. Ortalama Nusselt sayısının kanatçıklar arası mesafeye göre değişimi (Elenbaas formülasyonu ve Bar Kohen-Rohsenow formülasyonlarına göre hesaplanmıştır).	73
Şekil 4.23. Transfer edilen ısı gücünün kanatçıklar arası mesafeye göre değişimi (Elenbaas formülasyonu ve Bar Kohen-Rohsenow formülasyonlarına göre hesaplanmıştır).	74
Şekil 4.25. Kanatçık yüksekliğinin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.	75
Şekil 4.26. Kanatçık yüksekliğinin jonksiyon sıcaklığına etkisi.	76
Şekil 4.27. Kanatçık yüksekliğinin toplam termal dirence etkisi.	76
Şekil 4.28. Kanatçık kalınlığının verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.	77
Şekil 4.29. Kanatçık kalınlığının jonksiyon sıcaklığına etkisi.	77
Şekil 4.30. Kanatçık kalınlığının toplam termal dirence etkisi.	78
Şekil 4.31. Çift yönlü kanatçık geometrisi ile oluşturulan ağ yapısı.	79
Şekil 4.32. Dışa doğru kanatçık geometrisi ile oluşturulan ağ yapısı.	79
Şekil 4.33. Çift yönlü kanatçık geometrisi ile sistemin sıcaklık dağılımı.	80
Şekil 4.34. Dışa doğru kanatçık geometrisi ile sistemin sıcaklık dağılımı.	80
Şekil 4.35. Kanatçık yönünün verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (İD-İçe doğru, ÇY-Çift yönlü, DD- Dışa doğru)	81
Şekil 4.36. Kanatçık yönünün jonksiyon sıcaklığına etkisi	81
Şekil 4.37. Kanatçık yönünün toplam termal dirence etkisi	82
Şekil 4.38. Soğutucu plaka malzemelerinin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (SS-Paslanmaz Çelik, Mg-Magnezyum, Al, Alüminyum 6061- Cu- Bakır).	83
Şekil 4.39. Soğutucu plaka malzemesinin jonksiyon sıcaklığına etkisi (SS-Paslanmaz Çelik, Mg-Magnezyum, Al, Alüminyum 6061, Cu- Bakır).	83

Şekil 4.40. Soğutucu plaka malzemesinin toplam termal dirence etkisi (SS-Paslanmaz Çelik, Mg-Magnezyum, Al, Alüminyum 6061, Cu- Bakır).	84
Şekil 4.41. LED kalıp malzemelerinin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (Si-Silikoni, SiC-Silikon karbon).	85
Şekil 4.42. LED kalıp malzemelerinin jonksiyon sıcaklığına etkisi (Si-Silikoni, SiC-Silikon karbon).	85
Şekil 4.43. LED kalıp malzemelerinin toplam termal dirence etkisi (Si-Silikoni, SiC-Silikon karbon).	86
Şekil 4.44. Al ₂ O ₃ DBC, Si ₃ N ₄ AMB, AlN DBC ve IMC PCB kullanılan LED paketlerinin belirtilen noktalardaki sıcaklık dağılımı.	87
Şekil 4.45. Al ₂ O ₃ DBC, Si ₃ N ₄ AMB, AlN DBC ve IMC PCB kullanılan LED paketlerinin jonksiyon sıcaklığına etkisi.	87
Şekil 4.46. Al ₂ O ₃ DBC, Si ₃ N ₄ AMB, AlN DBC ve IMC PCB kullanılan LED paketlerinin toplam termal dirence etkisi.	88
Şekil 4.47. Toplam termal direncin ısı yük ve rüzgâr hızlarına göre değişimi (35°C ortam sıcaklığı).	89
Şekil 4.48. 25 °C, 30 °C ve 35 °C ortam sıcaklıklarında 4 eşdeğer LED'e uygulanan farklı ısı yüklerin (15 W, 20 W ve 25 W) LED çipi maksimum sıcaklığa etkisi.	89
Şekil 4.49. a. Cree® XLamp® CXA1520 LED (Cree, 2018a), b. OSRAM SOLERIQ S 13 (Sarnikon, 2018), c. SEQUALZC25 – Z-Power COB (Mouser, 2018), d. Cree® XLamp® CXA2530 LED (Cree, 2018b).	91
Şekil 4.50. Cree® XLamp® CXA1520 LED çipi ile tasarlanan modelin sıcaklık dağılım grafiği.	91
Şekil 4.51. OSRAM SOLERIQ S 13 LED çipi ile tasarlanan modelin sıcaklık dağılım grafiği.	92
Şekil 4.52. SEQUALZC25– Z-Power COB LED çipi ile tasarlanan modelin sıcaklık dağılım grafiği.	92
Şekil 4.53. Cree® XLamp® CXA2530 LED çipi ile tasarlanan modelin sıcaklık dağılım grafiği.	93
Şekil 4.62. Sistemde belirlenen noktaların başlangıç süreci ve zamana göre sıcaklık dağılımı.	95
Şekil 4.63. Sistemin termal kamera ile ölçümü.	96
Şekil 4.64. Ansys Workbench'de tasarlanan model.	97
Şekil 4.65. Ansys Fluent'te iterasyon sonucu elde edilen sıcaklık dağılımı.	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Çeşitli ışık kaynaklarının ışık şiddeti ve verimliliği.....	5
Çizelge 1.2. Değişik aydınlatma kaynaklarının ömür süreleri.....	6
Çizelge 1.3. Beyaz ışık kaynakları için güç dönüşümü	7
Çizelge 1.4. Isı borusu çalışma akışkanı özellikleri.....	14
Çizelge 1.5. Çalışma akışkanıyla uyumlu konteynır malzemesi	15
Çizelge 3.1. Tasarlanan LED paketinin yapısal boyutları ve termal iletkenlikleri....	41
Çizelge 3.2. Soğutucu plaka ve kanatçık özellikleri.....	42
Çizelge 3.3. Isı borusu özellikleri	42
Çizelge 3.4. Suyun termofiziksel özellikleri.....	42
Çizelge 3.5. LED paketi ve soğutucu plakanın boyutları ve termal iletkenlikleri.....	50
Çizelge 3.6. M1 ve M2 aydınlatma sınıfı yol tanımı.	55
Çizelge 4.1. LED paketlerinde kullanılan elektronik/baskılı devre kartlarının özellikleri.....	88
Çizelge 4.2. LED çip modelleri ve özellikleri..	91
Çizelge 4.3. Farklı türbülans modeli ve duvar yaklaşımlarına göre maksimum LED sıcaklık değerleri	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

AMB	Aktif Metal Sert Lehim Tabaka
DBC	Doğrudan bağlı bakır tabaka
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HID	Metal buharlı lamba
LED	Işık yayan diyot
PCB	Baskılı devre kartı
b	Kanatçıklar arası mesafe
b_{opt}	Kanatçıklar arası optimum mesafe
C_p	Özgül ısı kapasite
g	Yerçekimi kuvveti
k	Isı iletim katsayısı
K	Kelvin
L	Soğutucu plaka uzunluğu
q	Yoğunluk
Nu	Nusselt sayısı
P_{th}	Termal güç
P_{giriş}	Elektriksel giriş gücü
P_{ışık}	LED'ten ışık formunda emilen güç
Pr	Prandtl sayısı
Ra	Rayleigh sayısı
R_{a-b}	a noktasından b noktasına kadar olan termal direnç
R_{th}	LED'in termal direnci
R_{j-sp}	Jonksiyon noktasından lehimli noktaya kadar olan termal direnç
R_{sp-hs}	Lehimli noktadan soğutucu plakaya kadar olan termal direnç
R_{hs-a}	Soğutucu plakadan dış ortam havasına kadar olan termal direnç
R_{j-sp}	Jonksiyon noktasından lehimli noktaya kadar olan termal direnç
R_{sp-hs}	Lehimli noktadan soğutucu plakaya kadar olan termal direnç
R_{hs-a}	Soğutucu plakadan dış ortam havasına kadar olan termal direnç
T_a	a noktasındaki sıcaklık değeri
T_f	Film sıcaklığı
T_s	Yüzey sıcaklığı
T_{sp}	Ölçülen lehim noktası sıcaklığı
T_b	b noktasındaki sıcaklık değeri
W	Watt
ΔT	Kanatçık ile ortam sıcaklığı arasındaki fark
η_{sürücü}	LED'lerde kullanılan sürücü verimliliği
η_{LED}	LED'in optik verimliliği
μ	Dinamik viskozite
v	Kinematik viskozite
°C	Santigrat

1. GİRİŞ

Türkiye'nin enerji tüketimi verilerine bakıldığında aydınlatmanın % 20-25'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. Aydınlatma için tipik akkor ampuller ve floransan gibi geleneksel ışık kaynaklarının yanı sıra günümüzde ışık yayan diyotlar (LED) oldukça popülerdir. LED'ler, son yıllarda cep telefonlarının arka aydınlatmaları, LCD ekranlar, farlar, işaretler, sinyaller ve aydınlatma gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. LED'ler, 21. yüzyılda katı aydınlatma cihazlarına yeni bir rakip olarak gösterilmektedir. Geleneksel ışık kaynaklarıyla karşılaştırıldıklarında yüksek verimlilik, güvenilirlik, uzun ömürlülük, değişen renk skalası ve düşük güç üretimi gibi kendine özgü avantajlarından dolayı geleneksel aydınlatma araçlarına göre tercih edilmektedir. Ayrıca LED'ler yüksek mekanik sağlamlık ve basit yapıları sayesinde diğer geleneksel aydınlatma araçlarına göre avantajlıdır.

Modern LED sokak lambalarının performansları için iki kritik faktör ön plana çıkmaktadır. Birincisi optik analiz, ikincisi ise termal yönetimidir. Bu tez çalışmasında, LED'li yol aydınlatma armatürlerin termal yönetimi üzerinde durulacaktır. LED'lere elektriksel güç verildiğinde, gücün yaklaşık % 20 si aydınlatmaya, % 80'i ise ısı enerjisine dönüşür (Cheng vd., 2012). Dönüştürülen ısı enerjisi, LED jonksiyon sıcaklığında artışa neden olur. Jonksiyon sıcaklığı, LED modüllerinde önemli bir parametredir. Bu sıcaklık değeri maksimum sınırı aştığında, LED aydınlatmaların optik çekmesi ve dayanıklılığı tehlikeye girer. Yapılan deneysel bir çalışmada jonksiyon sıcaklığı arttıkça, LED ömrünün azaldığı görülmüştür (Narendan ve Gu, 2005). Çip jonksiyon sıcaklığının yüksek olması, ışıma dalga boyunun kaymasına, optik verimin azalmasına ve fosfor parçalanma süresinin azalmasına da neden olur. LED'lerdeki güç yoğunluğu ile işletme sıcaklığı arasında ters bir bağıntı vardır. Yüksek güce ihtiyaç duyulan LED sokak lambalarında, istenilen parlaklığı elde etmek için düşük işletme sıcaklığı sağlamak gerekir (Luo ve Xiong, 2009). Bu nedenle, LED'li sokak aydınlatmaları için düşük işletme sıcaklığı esastır.

LED'li ışık kaynaklarının ısı verimliliğini yüksek tutmak için, soğutmada çok az veya hiç güç gerektirmeyen yöntemler kullanılmak zorundadır. Genellikle, ek bir hareketli parçaya ihtiyaç duyulmayan pasif soğutma yöntemi kullanılarak, LED'lerin

uzun ömür, yüksek verim ve düşük enerji tüketimi ile çalışması sağlanır. Kanatçıklı yapıya sahip bir soğutucu plaka ile doğal taşınım ile LED modülleri pasif olarak soğutulur. Bu yöntemle ilgili daha ayrıntılı bilgi için (Ha ve Graham, 2012; Christensen ve Graham, 2009) referanslarına bakılabilir.

LED'li aydınlatma armatürlerinin tasarımı yapılırken, ışık kaynağı, optik, soğutucu gövde ve sürücü verimlerinin yüksek olması istenir. LED'lerin optik ve fotometrik özelliklerinin korunması önemli ölçüde etkin bir termal yönetime bağımlı olduğundan, bu tez çalışmasında tasarımda kullanılan LED'ler için termal özelliklerine yönelik iyileştirmeler yapılmıştır. Çalışmada, M1 ve M2 kategorisinde tanımlanan yol aydınlatma sınıflarına uygun yüksek güçlü LED paketleri tasarlanmıştır. LED paketlerinde oluşan yüksek sıcaklık problemini çözmek için bir ısı borulu soğutucu plaka tasarımı yapılmıştır. Tez çalışmasında tasarlanan sistemin sayısal simülasyonları, sonlu hacimler yöntemi kullanarak çözüm yapan ANSYS Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, deneysel çalışma ile doğrulanmıştır.

1.1 Genel Aydınlatma

Toplum için genel gerekliliklerden biri ışıktır. Thomas Edison tarafından, 1880 yılında ilk ticari ampulün üretilmesinden bu yana, genel aydınlatma yıllar içerisinde gelişmiştir. Enerji maliyetleri arttıkça daha verimli ışık kaynaklarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Aydınlatmada maliyetin yanı sıra kaliteli ışık talebi de artmıştır.

Genel aydınlatmalar, sektör bazında, yerleşim birimi aydınlatması, ticari aydınlatma, endüstriyel aydınlatma ve dış ortam aydınlatması olarak sınıflandırılır. Aydınlatma teknolojileri ise, akkor lamba, halojen lamba, kompakt flüoresan lamba (CFL), yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba, cıva buharlı lamba, LED lambaları ve armatürleri olarak sıralanabilir. Akkor lambalarda enerjinin yalnızca % 8'i ışık enerjisine dönüşür, geri kalan enerjinin % 73'ü IR ışıma enerjisine, % 19'u ise ısı enerjisine dönüşerek kaybolur (URL-1). Bu verimsiz aydınlatma, birçok ülkede akkor ampul kullanımının durdurulmasına sebep olmuştur (Gajewski, 2007).

Akkor ampulün yerini sonrasında kompakt flüoresan teknolojisi almıştır. Akkor ve flüoresan ampullerin her ikisi de ışığı yaymak için tasarlanmıştır fakat çalışma

teknolojileri farklıdır. Akkor ampul metal flaman telinin yüksek sıcaklıklara ısıtılması ve bu ısınma sonucunda flaman telinin ışıma yapması esasına dayanır. Flüoresan teknolojisi ise daha karmaşıktır, ancak enerji verimi yüksektir. Flüoresan aydınlatmanın temel unsuru kapalı cam bir tüptür. Bu tüpün içinde var olan cıva ve atıl gaz, düşük basınç altında tutulur. Camın içersinde bulunan fosfor tozu beyaz ışık sağlar. Güç elektronlarını camın bir ucundan diğerine geçirmek için elektrotlar yardımıyla alternatif bir akım geçer ve elektronlar tüpün içinden geçerken gaz cıva atomlarıyla çarpışırlar. Cıva atomları orijinal enerji durumlarına geri döndükçe ışık fotonunu serbest bırakırlar.

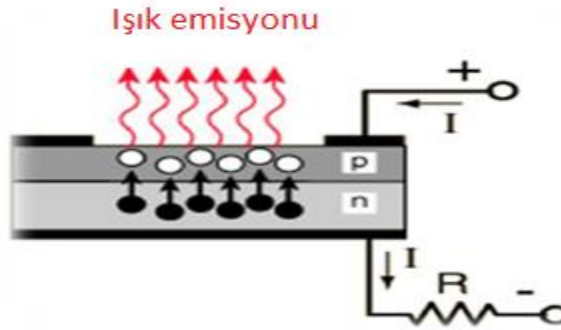
Son yıllarda gelişen ve popüler olan LED teknolojisi, akkor ve flüoresan gibi geleneksel ışık kaynaklarını geride bırakmıştır. Özellikle yüksek güçteki LED aydınlatma paketlerini flüoresanla karşılaştırdığımızda LED paketleri flüoresanlar gibi cıva içermez ve flüoresana göre uzun ömürlüdür. LED aydınlatma paketlerinin geleneksel yöntemlere göre daha az yer kapladığı, uzun ömürlü ve daha verimli olduğu bilinmektedir. LED'ler flüoresanlar gibi cıva içermez. Geleneksel aydınlatma yöntemlerine göre, LED'ler daha az yer kaplar, uzun ömürlü ve verimlidirler.

1.2 LED Teknolojileri

Yüksek verimlilikte bir LED tasarımı yapmak için LED teknolojisinin çalışma prensibini bilmek gerekir. Işık yayan diyotlar (LED'ler), elektrik akımı yarı-iletken malzemenin birleşme yerinden geçtiğinde, elektrominesans ile ışık üreten yarı iletken cihazlardır. LED'ler galyum fosfat (GaP), Galyum arsenür (GaAs) veya galyum arsenit fosfatı (GaAsP) gibi yarı-iletken malzemelerden oluşur. Örneğin saf galyum arsenür içeren LED'lerde atomlar mükemmel bir şekilde bağlanır ve elektrik akımı iletmek için serbest elektron bırakmazlar. Katkılı bir materyalde ek atomlar dengeyi değiştirir ve elektronların hareketi için ya serbest elektronlar ekler ya da boşluk oluşturur. Bu değişiklikler materyali daha iletken hale getirir. LED'ler, P-tipi ve N-tipi malzemelerin birleşiminden oluşur. Malzeme iletkenliğini büyük ölçüde artıran serbest elektronlu yarı iletkene, N-tipi malzeme denir. N-tipi bir malzemede, serbest elektronlar negatif yüklü bir alandan pozitif yüklü bir alana doğru hareket eder. P-tipi malzemeler ise ekstra pozitif yüklü parçacıklara sahip yarı iletken malzemelerdir. Elektronlar negatif yüklü bir alandan pozitif yüklü bir alana geçerek boşluktan boşluğa atlar (URL-2).

LED'lere elektrik akımı verildiğinde, N-tipi ve P-tipi malzemedeki elektronlar P-N birleşim yüzeyinden geçerek boşluklarla birleşir. Böylece sürekli akım muhafaza edilip, akım bir yönde akar ve bu şekilde basit bir diyot üretilir. Elektrominesans olarak adlandırılan bu süreçte, yarı iletken yüzey ışık yayar. LED'lere elektrik akımı verildiğinde yayılan ışığın dalga boyu malzemelere bağlıdır (URL-3). Bir LED çipinin ışık yayma süreci Şekil 1.1'de verilmiştir.

LED'ler, 1960'ların başından beri elektronik bileşenler olarak kullanılmaktadır. İlk geliştirildiğinde, gösterge ışıkları gibi düşük güçlü uygulamalarda sınırlıydı. Daha sonra yüksek güçlü LED'ler geliştirilmiş ve trafik ışıkları gibi uygulamalarda kullanılmıştır. Ancak son zamanlarda LED'ler, aydınlatma endüstrisinin dikkatini çekmiş ve büyük ölçekte ve pratik bir ışık kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde LED'ler, LCD arka planı, ekranlar, ulaşım ekipmanı ve genel aydınlatmaları içerir. Genel aydınlatmada ise özellikle sokak, köprü ve stadyum aydınlatması gibi dış ortam aydınlatmaları, yerleşim birimi ve endüstriyel aydınlatmalar gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Robert vd., 2011).



Şekil 1.1. Bir LED çipindeki ışık yayma süreci.

LED aydınlatma pazarı, günümüzde dünyanın en hızlı büyüyen pazarlarından biridir. Akkor ve kompakt flüoresan lambalar gibi eski aydınlatma teknolojileri, LED'lerin yüksek verimliliği, mekanik sağlamlığı, güvenliği (düşük voltaj ve sıcaklıktan dolayı) ve uzun ömürlülüğünden dolayı artık tercih edilmemektedir.

LED'ler gün geçtikçe akkor lamba, kompakt flüoresan ve halojen gibi geleneksel ışık kaynaklarının yerine daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Kompakt flüoresan lambalardan yaklaşık % 40 daha az güç tüketir ve ömür 6-7 kat daha uzundur

(Robert vd., 2011). LED'lerin başlıca avantajı verimliliğidir. Geleneksel akkor ampuller yaklaşık % 95'e kadar ısı üretir. LED'lerin ise nispeten daha düşük ısı üretimi vardır. LED'lere verilen elektriksel gücün yaklaşık % 20 ile % 30'luk oranı doğrudan aydınlatmaya gider. LED'ler, geleneksel ışık kaynaklarından daha fazla lümen çıkışa sahiptir. Örneğin LED ampulleri, 81 lm/W üretirken klasik akkor lambalar 10,3 lm/W üretirler (URL-4).

1.3 LED Teknolojisinin Avantajları

Genel aydınlatmada LED'lerin kullanımıyla birçok avantaj elde edilir. Her şeyden önce LED'ler yüksek aydınlatma verimliliğine sahiptir. Çizelge 1.1'de akkor, flüoresan, metal buharlı lambalar ve yüksek güçlü beyaz LED'lerin ışık şiddeti ve verimliliğini gösteren tablo verilmiştir (URL-5).

Bir ışık kaynağının enerji verimliliği, ışık kaynağı tarafından tüketilen her bir Watt elektrik için üretilen ışık olarak bilinen ışık şiddeti ile ölçülür. Işık verimliliği ise gerçek ışık etkinliğinin teorik olarak hesaplanan maksimum etkinliğe oranını ifade eder. LED'lerin verimlilik değerinin akkor lambadan çok yüksek olmakla birlikte flüoresan lambalar ve metal buharlı aydınlatmalara kıyasla daha yüksek olduğu bilinmektedir.

Çizelge 1.1. Çeşitli ışık kaynaklarının ışık şiddeti ve verimliliği.

Işık Kaynağı	Tip	Işık Şiddeti (lm/W)	Işık Verimliliği
Akkor Lambalar	40 W tungsten akkor (120V)	12,6	% 1,9
	100 W tungsten incandescent	17,5	% 2,6
	Kuvars halojen	24	% 3,5
Floresan Lambalar	9-26 W kompakt floresan	57-72	% 8-11
	T8 tüp manyetik balastlı floresan	80-100	% 12-15
HID	Metal buharlı	65-115	% 9,5-16,8
LED	Yüksek güçteki beyaz LED'ler	115	% 16,8

LED'ler aynı zamanda oldukça uzun ömürlüdür. Çeşitli ışık kaynaklarının ömrü Çizelge 1.2'de verilmiştir (URL-6). LED'lerin ömürlerini standartlaştırmak için L_{70} ve L_{50} terimleri kullanılmaktadır. Bu terimler sırasıyla ışık akısının ilk durumdaki haline göre % 70'e ve % 50'ye düştüğü zamanı saat cinsinden vermektedir. Çoğu yüksek güçlü beyaz LED üreticisi, 350 mA sabit akımla çalışan LED'in ömrünü yaklaşık 35000-50000 saat arası ve jonksiyon sıcaklığını 90 °C'den daha düşük olarak hesaplamaktadır.

Çizelge 1.2. Değişik aydınlatma kaynaklarının ömür süreleri.

Işık Kaynağı	Ömür Süresi (Saat)
Akkor Lamba	750-2000
Halojen Akkor Lamba	3000-4000
Kompakt Flüoresan	8000-10000
Metal Buharlı Lamba	7500-20000
Lineer Flüoresan	20000-30000
Yüksek Güçte Beyaz LED	35000-50000

LED'lerin bir diğer avantajı ise, muadillerine göre oldukça küçük bir yapıya sahip olmasıdır. Kompakt boyutlara sahip LED'ler hem daha hafif hem de küçük boyutlara sahip olduğundan aydınlatmada mükemmel bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. LED'ler, bu büyük faydalara ek olarak birçok başka avantajlara sahiptir. LED lambaları yapısal olarak daha dayanıklı ve toksin değildir. LED'ler yarı iletken cihazlardır ve akkor, flüoresan ve metal buharlı lambaların aksine cam ve filament (lamba teli) kullanılmaz. LED'ler flüoresan lambaların aksine cıva içermez. LED'lerin çok yönlü olması ışık emisyonu boşa harcanan ışığı azaltır. Diğer ışık kaynakları her yönde ışık yayarken, LED'ler ışığı yarı küresel olarak yaymaktadır. Çok yönlü ışık kaynağı yapmak için reflektörler ve kristal optik kullanılır. Bu da ışık kaybına ve ek maliyete neden olabilir.

1.4 LED'lerde Termal Yönetim ve Önemi

Normal bir diyotta olduğu gibi LED'lerde bulunan P-tipi ve N-tipi malzemeler, P-N bağlantı noktasını oluşturur. Güç uygulandığında, bu P-N bağlantı noktasında luminesans reaksiyonu oluşur ve ışık akısı olarak da bilinen ışık formunda enerji açığa çıkar. Reaksiyonda enerjinin yalnızca bir kısmı ışık akısına, geri kalan kısmı ise ısı formuna dönüşür. Bu ısı üretimi sırasında P-N bağlantı noktası, cihazda en yüksek sıcaklığa sahiptir. Bu noktaya jonksiyon sıcaklığı adı verilir. LED'lerde

jonksiyon sıcaklığı oldukça önemli bir parametredir. LED ömrü ve ışık akısı gibi parametreler büyük ölçüde jonksiyon sıcaklığına bağlıdır. LED ile birlikte diğer ışık kaynakları da elektrik enerjisini ışık ve termal enerjiye değişik oranlarda dönüştürür (URL-7). Çizelge 1.3'te beyaz ışık kaynakları için güç dönüşüm değerleri verilmiştir. Diğer ışık kaynaklarına göre elektrik enerjisi daha büyük oranda ısı enerjisine dönüştüğü için oluşan bu ısının iletim ve taşınımıyla atılması gerekmektedir.

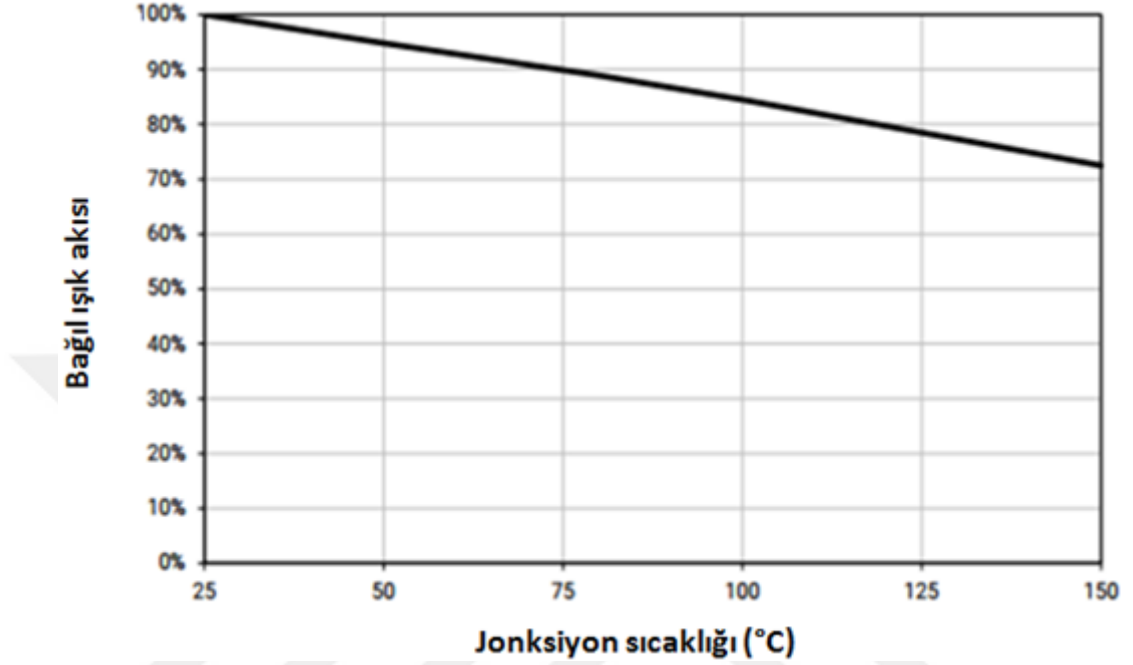
Çizelge 1.3. Beyaz ışık kaynakları için güç dönüşümü.

	Akkor Lamba (60W)	Flüoresan (Tipik)	Sodyum Buharlı	LED
Görünebilir Işık	% 8	% 21	% 27	% 15-25
IR	% 73	% 37	% 18	% 0
UV	% 0	% 0	% 19	% 0
Toplam Işık Enerjisi	%81	% 58	% 63	% 15-25
Isı (İletim+Taşınım)	% 19	% 42	% 37	% 75-85
Toplam	% 100	% 100	% 100	% 100

LED'ler, ışık üretmenin en etkili yollarından biri olmasına rağmen fotoelektrik dönüştürme verimliliği halen göreceli olarak düşüktür. LED'lere verilen elektrik enerjisinin önemli bir kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. LED'lerin verimliliği bir üreticiden başka bir üreticiye göre değişiklik göstermekle birlikte, genellikle iyi tasarlanmış LED paketlerinde, girilen elektrik enerjisinin yaklaşık % 80'i ısıya, geriye kalan % 20'lik kısmı ise ışık enerjisine dönüşür (Cheng vd., 2012). Herhangi bir LED'in güvenilirliği ve ömrü, jonksiyon noktasının sıcaklığından etkilenir. LED'ler çalışırken izin verilen maksimum jonksiyon sıcaklığı LED tipine göre değişir. Jonksiyon sıcaklığı, bu maksimum sınırı aştığı takdirde LED ya arızalanır ya da zamanla zarar görür. Uygun olmayan termal yönetim maksimum çalışma sıcaklığının aşılmasına sebep olur. Sonuç olarak LED modülü tasarlarken, LED çipinde oluşan ısı akısını uzaklaştırmaya yönelik bir tasarım üstünde durulmalıdır.

LED'lerin performans özellikleri ayrıntılı olarak ürün veri sayfalarında sunulmaktadır. LED üreticileri ürünü tasarlarken çalışma koşullarını hesaba katarlar. Işık çıkışı, renk, voltaj ve kullanım ömrü doğrudan jonksiyon sıcaklığına bağlıdır. Yüksek jonksiyon sıcaklıkları, ışık çıkışı düşüşüne neden olur ve ısı akısı ile jonksiyon noktası arasındaki ilişki LED veri sayfasında bulunur. Jonksiyon sıcaklığı arttıkça LED'in ışık çıkışı azalır ve LED soğuyunca toparlanır. Örneğin Cree®

XLamp® XM-L LED'lerinde bağıl ışık akısı ile jonksiyon sıcaklığının değişimini veren grafik Şekil 1.2'de verilmiştir (CREE XLamp XM-L LED Datasheet, 2016). Jonksiyon sıcaklığı alabileceği maksimum değerlere yaklaştığında veya bu sıcaklık değerini geçtiğinde LED'i geri kurtarmak başarısız olabilir.



Şekil 1.2. Bağıl ışık akısı vs jonksiyon sıcaklığı ($I_F = 700\text{mA}$).

Jonksiyon sıcaklığının artmasıyla birlikte, LED'in renkleri hafifçe kayar. Bu da sahne aydınlatması gibi daha renk duyarlı tasarımlarda önem kazanır. Akımda meydana gelen olası bir artış, yüksek ısı üretimi ve buna bağlı olarak düşük verimliliğe neden olur. Bunun için, LED'in gücüne göre jonksiyon noktası sıcaklığını kontrol altına almak gerekmektedir.

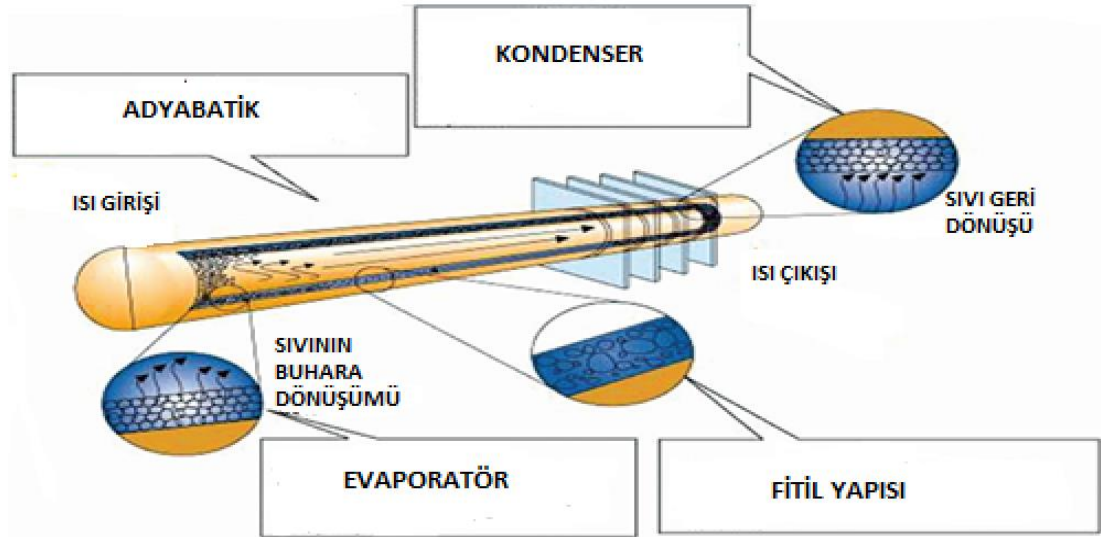
Elektronik cihazların güvenilirliği ve verimliliği için elektronik bileşenlerin etkili soğutulması önemlidir. Mikroişlemcilerdeki hızlı gelişmeler, daha hızlı işlemler sağlamak için geliştirilmiş bir işlem gücü gerektirir. Elektronik cihazlarda yüksek ısı akısı üreten entegre devreler bulunur ve bu da cihazların çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir ve elektronik cihazların kullanım ömrünü kısaltır (Ma vd., 2011). Sonuç olarak ısıyı dağıtmak için soğutma tekniklerine ihtiyaç duyulur. Isı boruları, basit yapısı, esnekliği ve özellikle yüksek verimliliği sayesinde bu amaca ulaşmak için ulaşılabilir ve umut verici seçeneklerden biri olmuştur. Isı boruları, ısı transferini sağlamak için çalışma akışkanı içerisindeki faz değişikliklerini kullanırlar.

Elektronik cihazların soğutulmasında, ısı borusu kullanımı iyi bir alternatiftir çünkü ısı borusunun efektif termal ısı iletim katsayısı bakır bir çubuktan binlerce kat yüksek olabilir. Isı borusunun temel amacı, pasif iki fazlı iki transfer cihazıyla maksimum miktarda ısı transfer etmektir. Isı boruları, klimalar, buzdolapları, ısı değiştiricileri, transistörler ve kapasitörler gibi geniş bir yelpazede kullanılır. Isı boruları aynı zamanda masaüstü bilgisayar ve dizüstü bilgisayarın yanı sıra LED’li aydınlatmalarda daha iyi bir performans sağlamak amacıyla çalışma sıcaklığını düşürmesi için kullanılır. Isı boruları ticari olarak, 1960’lı yılların ortalarından beri piyasaya sunulmaktadır. Elektronik soğutmalarda karmaşık soğutma uygulamaları için ısı boruları güvenilir ve uygun maliyetli bir çözüm olarak görülmektedir.

1.5 Isı Borusu Teorisi ve Çalışma Prensibi

Şekil 1.3'te ısı borusu çalışma prensibi kısaca açıklanmıştır (Scott ve Garner, 1996).

- Isı borusunun duvarı boyunca iletim yoluyla evaporatöre eklenen ısı, çalışma akışkanının buharlaşmasını sağlar.
- Çalışma akışkanının buharlaşması sonucu oluşan buhar basınç düşüşünün etkisiyle buhar, evaporatörden kondensere geçiş yapar.
- Buhar, kondenser bölümünde yoğunlaşır ve gizli buharlaşma ısını serbest bırakır.
- Yoğunlaşan çalışma akışkanı kondenserden evaporatöre sıvı basınç düşüşü ve kapiler kuvvet etkisi altındaki fitil sayesinde geri döner.



Şekil 1.3. Isı borusu çalışma prensibi.

1.6 Isı Borusunun Avantajları

Isı borusu, diğer soğutma cihazlarıyla karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. Bunlar;

- Isı borusu kapalı bir iki fazlı devrede çalıştığı için efektif termal iletkenlik katsayısı çok yüksektir. Bu yüzden çok büyük miktarda ısıyı düşük sıcaklık farkları ile evaporatörden kondensere taşıyabilir.
- Isı borusu herhangi bir hareketli parça olmaksızın ısıyı aktarabilir. Böylece gürültüsüz, bakım gerektirmeyen ve güvenilir bir çalışma sağlar.
- Küçük ebat ve ağırlığı sayesinde, elektronik cihazların soğutulmasında kullanılabilir.
- Isıyı bir yerden başka bir yere transfer eden, herhangi bir oryantasyonda çalışan basit cihazlardır.
- Isı boruları tam izotermal kontrole sahip olduğunu kanıtlamıştır çünkü çalışma sıcaklığında önemli değişiklikler yapmak zorunda kalmadan girişteki ısı akısı değişebilir (Yeh ve Chu, 2002).
- Evaporatör ve kondenser bölgesi bağımsız olarak çalışır ve yalnızca ortak sıvıya ve buhara ihtiyaç duyarlar, bu nedenle ısı eklenen bölgenin şekli ve büyüklüğü ısı dağıtılan bölgeden farklıdır. Böylece, daha küçük alanlar üzerinde üretilen ısı akıları daha düşük ısı akılarıyla daha geniş alanlara yayılabilir.

1.7 Isı Borusu Uygulama Alanları

Isı boruları, günümüzde değişik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı uygulamalardaki ısı borularının görevi, genel olarak ısıyı uzaklaştırmaktır. Aşağıda ısı boruların bazı uygulama alanları özetlenmiştir.

1.7.1 Enerji depolama sistemleri

Isı borularının en yaygın kullanım yerlerinden birisi enerji depolama sistemleridir. Faz değişim malzemelerinin kötü iletkenlik özelliklerini tolere edebilmek amacıyla gizli bir ısı depolama sisteminde, ısı boruları etkin bir şekilde ısıyı iletir. Özellikle güneş enerji sistemlerinde ısı boruları güneş enerjisini emip ya suya aktarır ya da boşlukları ısıtmak için ısıya dönüştürür.

1.7.2 Taşıma sistemleri

Isı boruları ve bir enerji kaynağı, yol, havaalanı pistleri ve köprüler üzerindeki buz ve karı eritmek için kullanılır. Isı kaynağı ve ısı boruları içeren bu sistemler soğuk bölgelerde verimli bir şekilde kullanılabilir.

1.7.3 Elektronik cihazların soğutulması

Elektronik cihazlarda ısı boruları maruz kalınan sıcaklıkları azaltarak elektronik cihazların ömrünü artırır. Isı borularının ısı iletim katsayıları elektronik cihazlarda kullanılan malzemelerinkinden çok daha büyüktür.

1.8 Isı Borusunun Bileşenleri

Bir ısı borusunun verimliliğinde ısı borusunu oluşturan bileşenler önemli rol oynar. Birçok araştırmacı, konteynır, fitil yapısı ve çalışma akışkanı gibi ısı borusunu oluşturan bileşenler üzerinde araştırma yapmıştır. Bu çalışmalar, deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

1.8.1 Isı borusu duvarı ve konteynır

Bir konteynır, iş akışkanına ısı iletirebilen metal cıvadır. Bu metaller iyi ısı iletkenliğine sahiptir. Örneğin ısılanabilirlik, ağırlık oranına mukavemet,

işlenebilirlik, süneklik, dış ortamla uyumluluk, çalışma akışkanı, termal iletkenlik, kaynaklanabilirlik ve porozite gibi birçok faktör kabın malzemesinin seçimini etkiler. konteynır malzemesi, yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olmalıdır. Isı borusu içerisindeki buhar parçacıklarının, herhangi bir difüzyonunu önlemek için gözeneksiz olması ve aynı zamanda fitil ile ısı kaynağı arasındaki minimum sıcaklık farkını koruması ve yüksek ısı iletkenliğe sahip olması istenir.

1.8.2 Fitil veya kapiler yapı

Isı borusunun en önemli bileşeni fitil yapısıdır. Fitiller, kılcal özelliği sayesinde kondenser bölgesindeki akışkanı, evaporatör bölgesine göndermekle yükümlüdür. Fitilin varlığı ısı borularının tüm yönde çalışmasını sağlar. Isı borularında birçok fitil kullanılır ama bunların içinde en çok yivli fitil (the grooved wick), sinterlenmiş fitil (sintered wick) ve kafes örgü fitil (screen mesh wick) bolca kullanılır. Bu fitil türleri elektronikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.8.2.1 Sinterlenmiş metal parçalı fitil

Şekil 1.4’de görünen fitil türünün gözenek boyutu oldukça küçüktür. Bu da yer çekimine karşı olan uygulamalarda, yüksek kılcal kuvvetler oluşmasına sebep olur. Bu tür fitilleri taşıyan ısı borularındaki evaporatör ve kondenser kısmı arasında sıcaklık farkı düşüktür. Bu durum, ısı borusunun termal direncini azaltıp, efektif termal iletkenliğini artırır (Elnaggar ve Edwan, 2016).



Şekil 1.4. Sinterlenmiş metal parçalı fitil.

1.8.2.2 Oluklu fitil

Yapısal olarak şekil 1.5’de gösterilen oluklu fitil küçük bir kılcal itici güç üretir. Ancak yatay olarak veya yerçekimi yönünde çalışan düşük güçlü ısı boruları için uygun ve yeterlidir (Elnaggar ve Edwan, 2016).



Şekil 1.5. Oluklu fitil.

1.8.2.3 Kafes örgü fitil

Şekil 1.6’da yapısal olarak görülen kafes örgü fitil birçok uygulamada kullanılmaktadır. Kafes örgü fitilin verimliliği, yönlendirme hassasiyeti ve kolayca değişen ısı taşınım karakteristiğinden dolayı, kullanılan katman tabakası ve ağ sayısına bağlıdır (Elnaggar ve Edwan, 2016).



Şekil 1.6. Kafes örgü fitil.

1.9 Çalışma Akışkanı

Isı borusu temel prensibi çalışma akışkanının buharlaşma ve yoğunlaşma sürecine dayandığından ısı borusunda çalışma akışkanının seçimi, buhar sıcaklık aralığına bağlıdır. Isı borularında uygun çalışma akışkanının seçilmesi için aşağıdaki faktörler dikkate alınır.

- Çok yüksek yüzey gerilimine sahip olmalı
- Termal kararlılığı iyi olmalı
- Gizli ısı değeri yüksek olmalı
- Yüksek termal iletkenliğe sahip olmalı
- Sıvı ve buhar viskozitesi düşük olmalı
- Duvar malzemesi ve fitille uyumlu olmalıdır.

Çalışma akışkanının en önemli özelliği yüksek yüzey gerilimine sahip olmasıdır. Böylece ısı borusu yerçekimine karşı yüksek kılcallık sağlar. Çizelge 1.4'de bazı çalışma akışkanlarının özellikleri uygun sıcaklık aralıklarıyla tanımlanmıştır. Buradan elektronik cihazların soğutulmasında kullanılan ısı boruları için uygun çalışma akışkanının, damıtılmış su olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.4. Isı borusu çalışma akışkanı özellikleri.

Çalışma Akışkanı	Donma Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Kullanılabilir Aralık (°C)
Helyum	-271	-261	(-271)-(-269)
Nitrojen	-210	-196	(-203)-(-160)
Amonyak	-78	-33	(-60)-100
Aseton	-95	57	0-120
Metanol	-98	64	10-130
Flutec F22	-50	76	10-160
Etanol	-112	78	0-130
Su	0	100	30-200
Tolüen	-95	110	50-200

Çizelge 1.5'de ise çalışma akışkanlarıyla uyumlu konteynır malzemeleri verilmiştir (Dunn ve Reay, 2012).

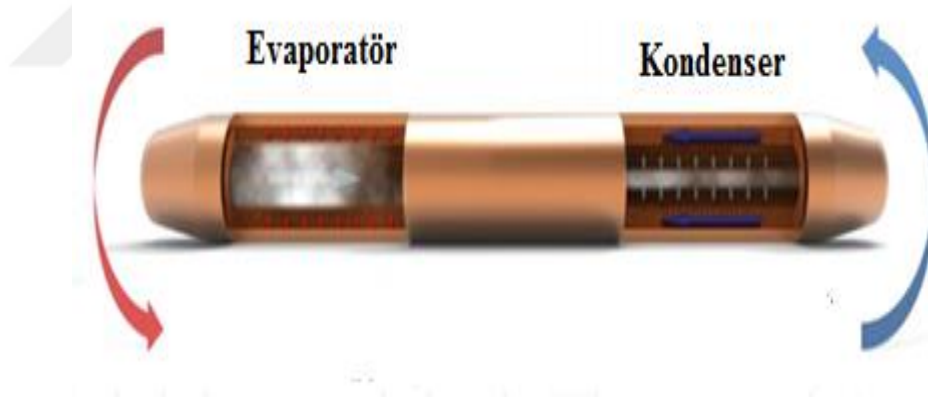
Çizelge 1.5. Çalışma akışkanıyla uyumlu konteynır malzemesi.

Fıtıl Malzemesi	Çalışma Akışkanı				
	Su	Aseton	Amonyak	Metanol	Dow-A
Bakır	RU	RU	NU	RU	RU
Alüminyum	GNC	RL	RU	NR	UK
Paslanmaz Çelik	GNT	PC	RU	GNT	RU
Nikel	PC	PC	RU	RL	RU
RU, geçmiş başarılı uygulamalara göre tavsiye edilen; RL, literatüre göre tavsiye edilen; PC, muhtemel uyumlu; NR, tavsiye edilmez; UK; bilinmiyor; GNC, tüm sıcaklıklarda gaz üretiyor; GNT; oksit varlığında yüksek sıcaklıklarda gaz üretimi.					

1.10 Isı Borusu Tipleri

1.10.1 Silindirik ısı borusu

Kapalı uçlu silindirik ısı borusu, yaygın ve geleneksel bir ısı borusu türüdür. İçerisindeki çalışma akışkanının dolaşımı ve kondenser bölgesindeki akışkanın geri dönüşünü sağlamak için fitil içerir. Temel olarak şekil 1.7’te görüldüğü gibi evaporatör, adyabatik ve kondenser bölgelerinden oluşur.



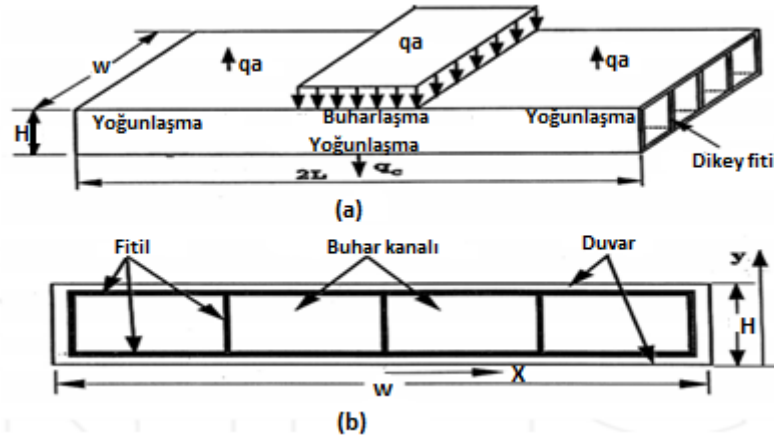
Şekil 1.7. Silindirik ısı borusu.

Silindirik ısı borusuyla ilgili literatürde mevcut birçok çalışma vardır. El-Genk ve Lianmin, (1993) tarafından yapılan deneysel çalışmada, silindirik bakır bir ısı borusu incelenmiştir. Çalışma akışkanı olarak su, fitil yapısı olarak da kafes örgü fitil ısı borusu için tercih edilmiştir. Deney sonucunda, evaporatör ile kondenser arasındaki sıcaklık farkının $-268,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den düşük olduğu görülmüştür. Isı borusuna giren ısı yük arttıkça veya çalışma akışkanının akış hızı azaldıkça, kararlı yapıdaki buhar sıcaklığının azaldığı gözlenmiştir. Başka bir çalışmada ise, fitilli ve fitilsiz iki farklı silindirik ısı borusu deneysel olarak incelenmiştir (Said ve Akash, 1999). Aynı

zamanda 30° , 60° , 90° gibi farklı açılardaki ısı borularının performansa etkisi araştırılmıştır. En iyi ısı transfer katsayısı, 90° 'lik açıya sahip ısı borusunda bulunmuştur.

1.10.2 Düz plakalı ısı borusu

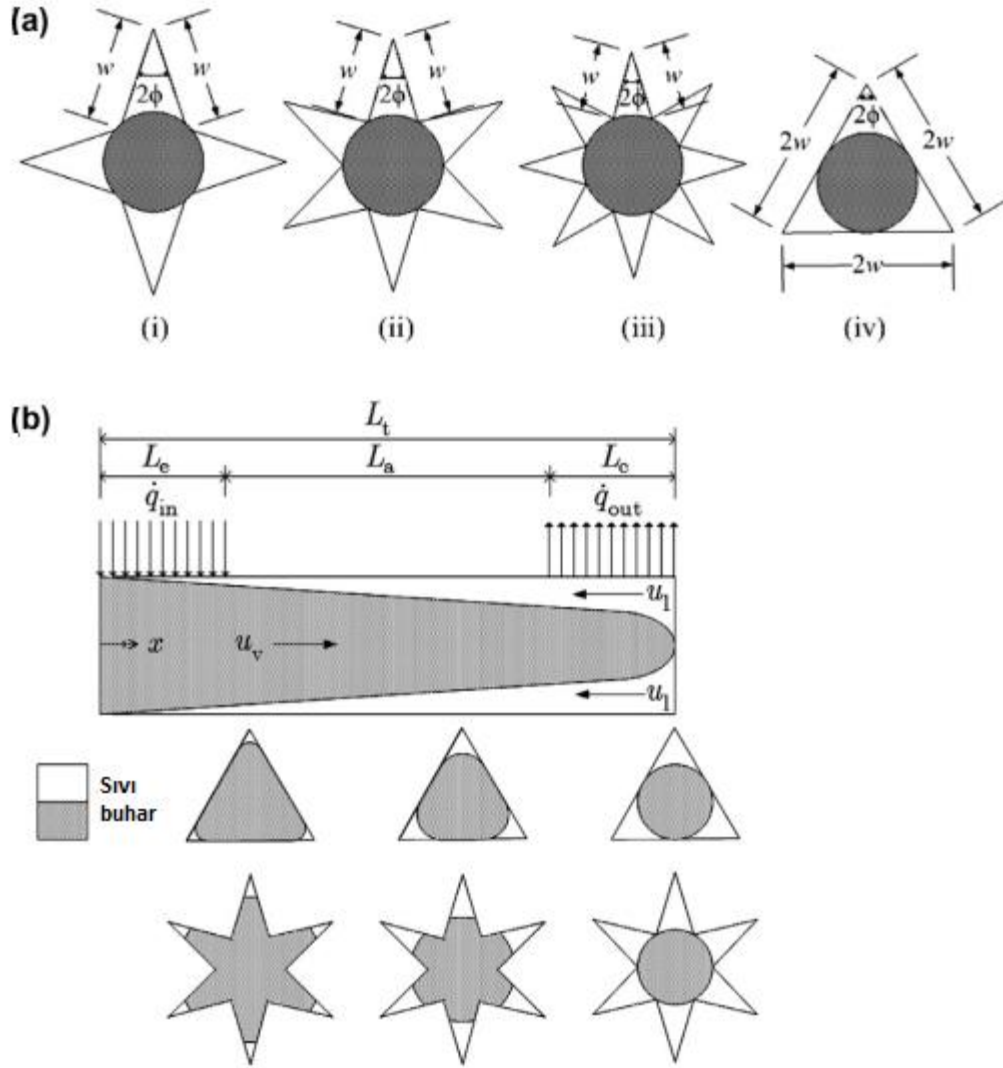
Düz plakalı ısı borusu, ısı transferi sağlamak için kullanılan başka bir ısı borusu çeşididir. Düz plakalı ısı borusuyla ilgili Wang ve Vafai, (2000) deneysel bir çalışma yapmışlardır. Şekil 1.8'te, incelenen ısı borusunun şematik resmi verilmiştir. Buna göre düz plakalı ısı borusu ortada bir evaporatör bölgesi ve üç kondenser bölgesi olmak üzere toplam dört bölgeden oluşmuştur. Deney boyunca, ısı transfer katsayısı ve sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Sonuçlar, duvar yüzeyleri boyunca sıcaklığın eşit olduğunu ve evaporatör bölgesindeki fitil gözeneginin ısı direnci üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 1.8. Düz plakalı ısı borusunun şematik resmi **a)** ısı borusu geometrisi **b)** ısı borusunun kesit alan görünüşü.

1.10.3 Mikro ısı boruları

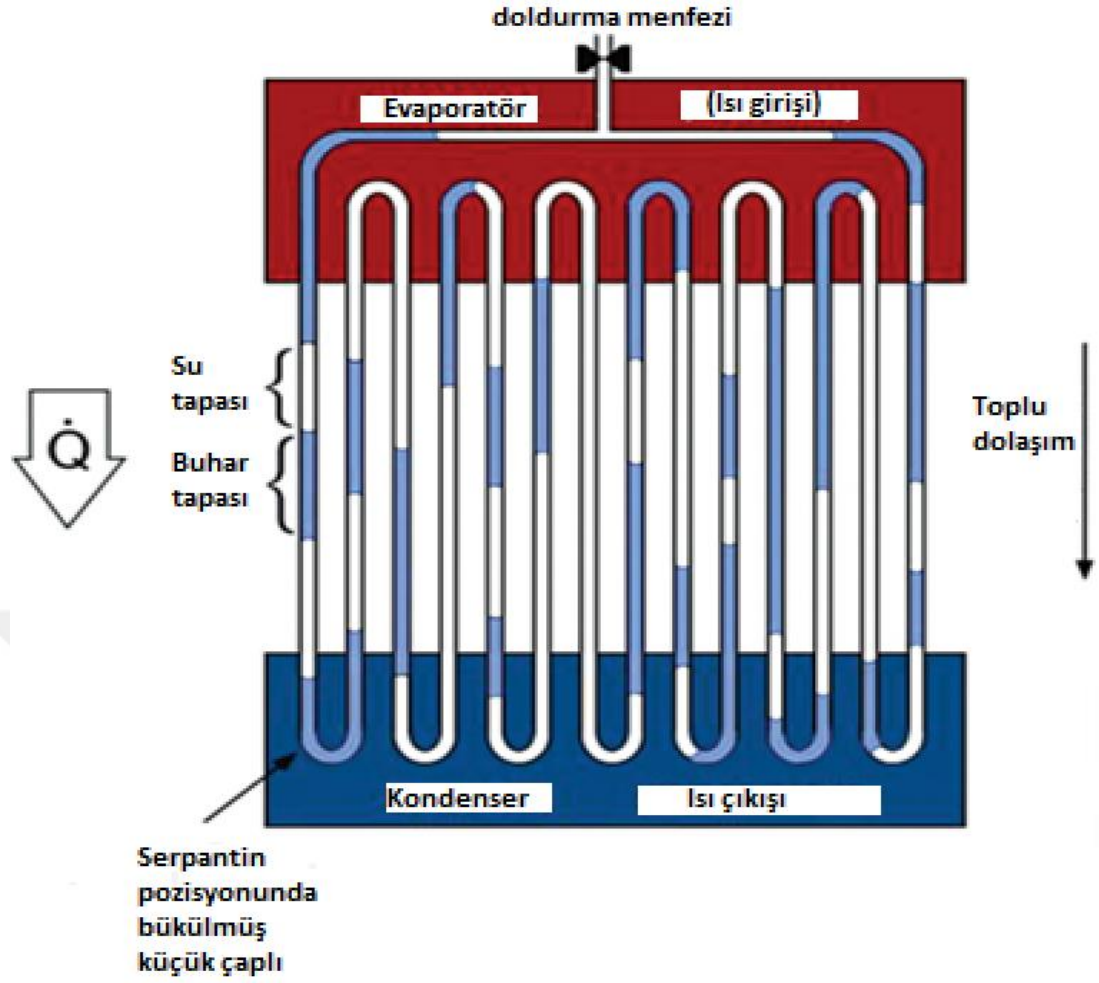
Mikro ısı borularının geleneksel ısı borularından farkı, akışkanı kondenser bölgesinden evaporatör bölgesine göndermek için kapiler basınç sağlayan fitil yerine keskin açılı olan köşeli yapılar kullanmasıdır. Yapılan bir çalışmada, yıldız oluklu mikro ısı borusunun geometrik tasarımının termal performansa etkisi incelenmiştir (Hung ve Seng, 2011). Şekil 1.9'da üç farklı tipte mikro ısı borularının kesit alanları verilmiştir. Isı borularının köşe tepe açısı 20° ila 60° arasında değişmiştir.



Şekil 1.9. a. Mikro ısı borularının farklı kesit alanlarının geometrisi: i) kare yıldız oluk, ii) altıgen yıldız, iii) sekizgen yıldız oluk, iv) eşkenar üçgen **b.** eşkenar üçgen ve yıldız oluklu ısı borularının optimum yüklenmesi.

1.10.4 Titreşimli ısı boruları

Titreşimli ısı boruları, herhangi bir yönelimde, ısıyı hızlı bir şekilde taşıyabilen soğutma cihazlarından biridir. Şekil 1.10'da, salınlı mekanizma sayesinde ısı taşınımı sağlayan titreşimli bir ısı borusunun şematik resmi verilmiştir (Taft ve Laun, 2014). Geleneksel ısı borularıyla karşılaştırıldıklarında, akışkanı kondenser bölgesinden, evaporatör bölgesine taşıyan bir fitil yapısı mevcut değildir. Bu yüzden sıvı ve buhar arasında ters yönlü bir akım yoktur (Zhang ve Faghri, 2008). Isı borusu, içinde kendinden oluşan salınlı basınç dalgaları içinde değişim yaratır, bu da salınlı uçtan uca ısı transferini hızlandırır (Nine vd., 2014).



Şekil 1.10. Titreşimli bir ısı borusunun şematik resmi.

1.11 Isı Borularındaki Isı Transfer Limitleri

Isı borusu tasarımında dikkate alınması gereken en önemli husus, ısı borusunun ısı aktarma kapasitesidir. Isı boruları uygulamaya bağlı olarak, değişik güçlerde ısı taşınması için tasarlanabilir. Isı boruları genellikle, en iyi metal iletkenlerden bile daha yüksek güç aktarabilir. Bununla birlikte ısı borusuna kapasitesinden fazla ısı verilirse efektif ısı iletim katsayısı azalır. Bu nedenle, ısı borusunun gereken ısı yükünü güvenli bir şekilde taşımak üzere tasarlandığından emin olunması önemlidir. Isı borusunun maksimum ısı taşıma kapasitesi, bir ısı borusu tasarlanırken ele alınması gereken bir dizi sınırlayıcı faktöre tabidir. Isı borusu için başlıca beş ısı transfer limiti tanımlanmaktadır. Isı borusu çalışma sıcaklığına bağlı değişen bu limitler, vizkoz, sonik, kapiler, sürüklenme ve kaynama olarak ayrılır.

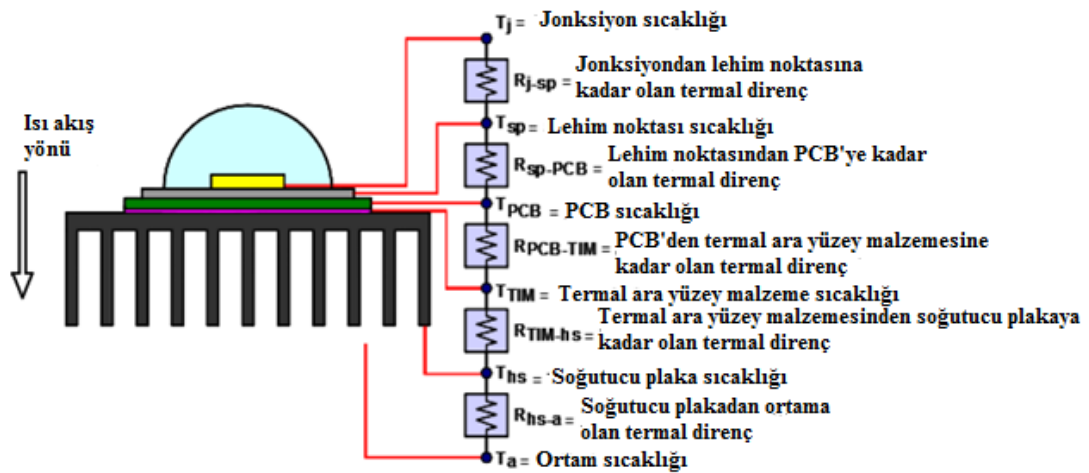
1.12 Termal Direnç Ağ Modeli

Termal (ısı) direnç, verilen güç için, sıcaklık artış oranı olarak tanımlanır ve ısı dağıtma kapasitesi olarak da bilinir.

LED'lerde termal direncin bilinmesi:

- Çalışma koşulları altında LED jonksiyon sıcaklığını tahmini,
- Verilen güç dağılımı için, izin verilen en yüksek ortam sıcaklığı hesabı,
- Termal yönetim modelinin belirlenmesi uygun soğutucu tasarımı için gereklidir.

Isı farkı, ısı transferinin itici gücüdür. LED paketi ve soğutucu plakadan oluşan sistemin termal yolu, bir elektrik devresine benzer ve basit bir direnç ağıyla gösterilebilir. Elektrik devresindeki dirençler, termal dirence, elektrik akımı, ısı akısına ve elektrik voltajları da sistem içersindeki sıcaklıklara karşılık gelir. Şekil 1.11'de bir LED paketi ve LED paketine entegre edilmiş soğutucu plakanın, detaylı termal direnç modeli gösterilmiştir. Burada ısı, LED jonksiyon noktasından bileşenlere, bileşenlerden baskılı devre kartına (PCB), baskılı devre kartından ise soğutucu plakaya, farklı direnç ağlarıyla iletim yoluyla aktarılırken, soğutucu plakadan ortam havasına ise ışınlım ve taşınım ile aktarılır.

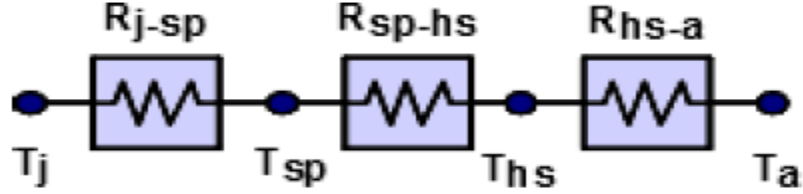


Şekil 1.11. Bir LED cihazında ısı geçişinin termal direnç modeliyle gösterimi.

Devrelerdeki düğümler, her bir bölümde ölçülen sıcaklığı temsil eder. Denklem (1.9)'da verilen eşitlikte, a noktasından b noktasına kadar olan termal direnç hesabı verilmiştir.

$$R_{a-b} = (T_a - T_b) / P_{th} \quad (1.9)$$

Termal direnç hesabı yapılırken, lehim bölgesinden baskılı devre kartına (R_{sp-PCB}) ve baskılı devre kartından termal ara yüzeye kadar olan ($R_{PCB-TIM}$) bölgelerde, termal direnç değerleri diğer bölgelerdekilere kıyasla çok küçük olduğu için, hesaplamalarda genellikle ihmal edilir. Şekil 1.12'de ana dirençler hesaba katılarak oluşturulan bir termal modeli verilmiştir.



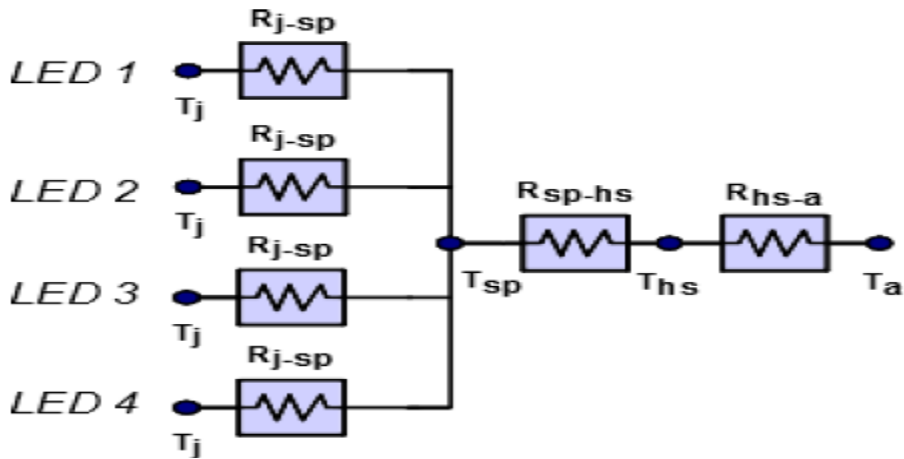
Şekil 1.12. Üç ana dirençten oluşan termal direnç modeli.

Jonksiyon noktasından, dış ortama kadar olan toplam termal direnç (R_{j-a}) denklem (1.10)'da verilmiştir.

$$R_{j-a} = R_{j-sp} + R_{sp-hs} + R_{hs-a} \quad (1.10)$$

Çoklu LED'lerin termal direnç modellerinde, seri dirençlerin yanı sıra paralel dirençler devreye girer. Jonksiyon noktasından lehim noktasına kadar oluşan termal dirençler, LED sayısına (n) bölünebilir. Denklem (1.11)'de çoklu LED'lerde termal direnç modelinin hesaplanması ve Şekil 1.13'te de çoklu LED'ler için termal direnç modeli verilmiştir.

$$R_{j-a} = R_{j-sp}/n + R_{sp-hs} + R_{hs-a} \quad (1.11)$$



Şekil 1.13. Dört LED için termal direnç modeli.

Termal güç (P_{th}) hesaplamalarında dikkat edilmesi gereken önemli bir husus da, sisteme giren elektriksel gücün, dağıtılan ısı gücünden daha büyük olduğudur. Çünkü

sisteme giren elektriksel gücün belirli bir kısmı, foton emisyonlarına dönüşü (hem görünür hem görünmez), elektriksel güçten geriye kalan dönüştürme gücü kaybı, ısı formunda açığa çıkar. LED'lerin kendisi tarafından tüketilen giriş gücünün yaklaşık % 70-80'i ve daha sonra LED sürücüsünün güç kaybı ısıya dönüşür. LED'ler girilen gücün yaklaşık %20'ini ışık enerjine, geriye kalanını ısı enerjine dönüştürür. Bu tahmin, akım yoğunluğu, parlaklık ve LED'in modeline ve en önemlisi LED tasarımına göre değişir.

LED sürücüsünün verimliliği, duruma göre değişmekle birlikte, iyi bir sürücü yaklaşık % 95'lik verime ulaşmaktadır. Sistemin başlangıçtaki giriş gücünün geriye kalan % 5'lik kısmı ise ısıya dönüşür.

Denklem (1.12)'de termal güç hesabı verilmiştir:

$$P_{th} = P_{giriş} - P_{ışık} \quad (1.12)$$

LED'e verilen elektriksel güç ($P_{giriş}$), sürücüye uygulanan ileri akım ile gerilimin çarpımıyla hesaplanır (Denklem 1.13).

$$P_{giriş} = V_f \times I_f \quad (1.13)$$

V_f ve I_f doğrudan ölçülebilir veya hesaplanabilir. Böylece termal güç kolayca belirlenebilir. Girişteki gücün ne kadarının ışık enerjisine dönüştüğü denklem (1.14)'den hesaplanabilir.

$$P_{ışık} = (P_{giriş} \times \eta_{sürücü}) \times \eta_{LED} \quad (1.14)$$

Burada,

η_{LED} , LED'in optik verimliliğini tanımlar ve η_{LED} , yaklaşık % 20-30 civarındadır.

1.13 Jonksiyon Sıcaklığı

İyi bir LED tasarımının en önemli etkenlerinden biri, LED armatürü veya lambasının başarılı termal yönetimidir. LED jonksiyon sıcaklığı arttığında, LED'in performansı azalır. Bu da sistemdeki ışık çıkışının düşmesine sebep olur. Jonksiyon sıcaklığının artması aynı zamanda LED'in ömrünü azaltır.

LED jonksiyon sıcaklığı doğrudan ölçülemez. Jonksiyon sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve toplam termal dirence bağı olarak denklem (1.15)'deki gibi hesaplanır.

$$T_j = T_a + R_{th} \times P_{giriş} \quad (1.15)$$



2. KAYNAK ÖZETİ

LED'li aydınlatmaların performansını, LED'in termal ve optik davranışları belirler. Yüksek performansa sahip bir LED tasarımı yapmak için, diğer elektronik cihazlarda olduğu gibi uygun bir termal yönetim gereklidir. Literatürde, LED'lerdeki ısınma problemini çözmeye yönelik birçok çalışma mevcuttur.

2.1 Termal Kanal Kullanımı

LED paketi ve soğutucu plakanın yüzeylerinde, gözle görülmeyecek düzeyde pürüzler bulunur. Soğutucu plakanın üzerine LED paketi yerleştirildiği zaman, paket ile plaka arasında boşluk olmadığı düşünülse de, gerçekte aralarında çıplak gözle görülemeyecek, mikroskobik düzeyde boşluklar vardır ve bu boşluklar havayla doludur. LED ile soğutucu arasındaki ısı iletimini artırmak için, soğutucu plaka ile LED arasında termal macun veya termal kanallar kullanılır. Termal macun, LED ile soğutucu yüzeyler arasındaki çıplak gözle görülemeyen boşluklara ince bir şekilde sürülen, LED yüzeyindeki ısıyı soğutucuya hızla ileten ve böylece LED'in sıcaklığını düşüren bir bileşimdir. Termal kanallar ise soğutucu plaka ve LED'in arasında olacak şekilde boydan boya delinen, ısı dağılımına yardımcı olan yapılardır (URL-8).

Yang vd., (2006) yaptıkları çalışmada, GaN tabanlı bir LED çipi için üç seramik paket tasarlamıştır. Bu paketler farklı boyutlarda ve yayılımlarda termal kanallardan oluşmuştur. İlk modelde, bakır termal kanallar kullanılırken, ikinci ve üçüncü modelde, farklı boyutlarda gümüş termal kanallar kullanılmıştır. Oluşturulan bu modellerin termal davranışları sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda test edilen modellerin termal dirençleri sırasıyla 48,9 °C/W, 61,8 °C/W ve 58,5 °C/W olarak bulunmuştur.

Yang vd., (2009) başka bir çalışmada, termal kanalın etkisini incelemek için, LED paketi ve kanatçıklı soğutucu plakadan oluşan bir sistem tasarlamıştır. Sistemin sıcaklık dağılımı, LED paketi bileşenleri ve kanatçıklar olmak üzere iki aşamada incelenmiştir. Termal kanal kullanılan bir LED paketi ile kullanılmayan bir LED paketindeki termal dirençler hesaplanarak, karşılaştırılmıştır. Termal kanal ile modellenen sistemin, termal kanal olmadan tasarlanan sisteme göre toplam termal

direnci oldukça yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte, termal kanalların içi dolu modellendiğinde, toplam termal direnci daha da azalttığı görülmüştür.

Bir LED üretim firması olan Cree tarafından, FR-4 tabanlı PCB'lerde termal kanal kullanılması incelenmiştir (URL-9). FR-4 tabanlı PCB'lere termal kanal yerleştirilen model, MCPCB kullanılan modelle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak her iki modelin termal direncinin hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Sonrasında, termal kanal kalınlıklarına ve termal kanal içlerinin lehim veya bakır ile doldurulması durumuna göre termal direnç davranışı kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda PCB üzerindeki kanalların optimum yerleşimi teknik resimle sunulmuştur.

2.2 Soğutucu Plaka ve Kanatçıkların Geometrisi ve Malzeme Özellikleri

LED'leri soğutmak için kullanılan soğutucu plaka ve kanatçıkların geometrisi ve malzemesi, toplam termal direnci etkileyen iki önemli parametredir. Bu iki parametrenin optimizasyonu için literatürde birçok çalışma mevcuttur. Örneğin, Lai ve Cordero, (2006) otomobillerde kullanılan LED farının termal iyileştirmesi üzerine çalışmışlardır. Toplamda 15 LED çipinden oluşan bu otomobil aydınlatma sisteminde, artırılmış yüzeyler (kanatçıklar) kullanılmıştır. Kanatçıklar üzerindeki yüzey eleman sayısının, termal performans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre belirli bir yüzey eleman sayısına kadar ısı direncin düştüğü fakat daha sonra ısı direncin arttığı gözlenmiştir. Sonrasında, yüzey eleman sayısının, kalınlığının, uzunluğunun ısı dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yüzey eleman uzunluğunun termal performans üzerindeki etkisinin diğer parametrelere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

2008'de yapılan bir çalışmada, Arularasan ve Velraj, (2008) paralel plakalı kanatçık üzerindeki akışkan akışı ve ısı transfer özelliklerini belirlemek için CFD modeli oluşturmuş ve model simüle edilmiştir. Bunun için bir ticari paket programı olan Fluent Inc. kullanılmıştır. Analizlerde, kanatçık yüksekliği, kalınlığı, aralığı ve taban plaka yüksekliği gibi parametreler incelenmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar, deneysel çalışma sonucu doğrulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, optimum kanatçık yüksekliği, kalınlığı, aralığı ve taban plaka yüksekliği sırasıyla 48 mm, 1.6 mm, 4 mm ve 8 mm olarak belirlenmiştir.

Luo vd., (2009) yüksek güçlü LED'li sokak aydınlatmaları için deneysel ve analitik bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, yatay olarak konumlandırılmış plakalı kanatçıkların, termal performansa etkisi incelenmiştir. Analitik sonuçlar, MATLAB programından elde edilmiştir. Deneysel ve analitik sonuçlar uyumlu çıkmıştır. Tasarlanan soğutucu plakanın, sistemin sıcaklık dağılımını olumlu etkilediği gözlenmiştir. Söz konusu soğutucu plakanın, LED'ler için değil diğer tüm elektronik cihazlar için uygun olduğu belirtilmiştir.

Channamallikarjun, (2014) tarafından yapılan çalışmada, CPU'nun zorlanmış taşınımıyla soğutulması incelenmiştir. CPU'daki ısınma sorununu çözmek için bakır alaşımları kullanılarak yassı kanatçıklı ve silindirik kanatçıklı soğutucu plaka tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan sistem, ANSYS programında, farklı geometrilerde modellenip simüle edilmiş ve optimum tasarım elde edilmeye çalışılmıştır. Taban plaka kalınlığı, kanatçık profil kalınlığı ve malzeme gibi parametreler, alan sınırlamaları da göz önüne alınarak incelenmiştir. ANSYS'den elde edilen sonuçların, deneysel verilerle uyumlu olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonunda, özellikle taban plaka malzemesi olarak alüminyum yerine bakır kullanılmasının, sistemin termal performansını arttığı görülmüştür.

Channamallikarjun'un çalışmasının bir benzeri olarak Kansal vd., (2015) elektronik cihazların etkili soğutulması için optimum soğutucu plaka ve kanatçık tasarımını incelemişlerdir. Bu çalışmada, elektronik cihazlarda ısı transferini artırmak için dikdörtgen, trapez, dikdörtgen kesitli, kare, dairesel dizilimli ve kademeli kanatçık profiline sahip soğutucu plakaların karşılaştırması yapılmıştır. Elektronik bileşenleri soğutma için, alüminyum alaşımlı (Al6063) soğutucu plaka ve kanatçık kullanılmıştır. Optimum kanatçık tasarımı için kanatçık uzunluğu, kalınlığı, sayısı, aralığı, taban plaka kalınlığı ve kullanılan malzeme gibi birçok geometrik parametre belirlenmiştir. Optimum soğutucu plaka tasarımı için simülasyonlar ANSYS 14.0'de yürütülmüştür. Korunum denklemleri, sonlu hacimler metodu ile çözülmüştür. Isı transferinin sadece doğal taşınımıyla gerçekleştiği kabul edilmiştir. Farklı kanatçık tasarımlarının termal performanslarını ölçmek için 15 W'lık sabit ısı girişi ve 22 °C 'lik hava giriş sıcaklığında termal direnç, yüzey Nusselt sayısı, basınç düşüşü ve ısı transfer katsayısı ile birlikte soğutucu plaka ve kanatçıklar boyunca minimum sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda optimum soğutmanın,

dairesel kanatçık profiline sahip soğutucu plakalarda elde edildiği görülmüştür. Aynı yıl benzer bir çalışma Kulkarni ve Dotihal, (2015) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada zigzag, eğimli, iğne ve kademeli gibi farklı tasarımlarda kanatçıklı yapılar tasarlanmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ve birleşik ısı transferi analizi, düşük termal direnç ve minimum basınç düşüşü elde edebilmek için yapılmıştır. Sayısal simülasyonlar yukarıda belirtilen kanatçık geometrilerinin her biri için 50 W, 75 W ve 100 W'lık ısı yüklerinde gerçekleştirilmiştir. HAD analizinde hava giriş sıcaklığı ve giriş hızı, sırasıyla 25 °C ve 3,933 m/s olarak alınmıştır. Sonuç olarak, tasarlanan her bir geometrinin termal performansı karşılaştırılmıştır. Buna göre, eğimli kanatçığa sahip tasarımın minimum basınç düşüşü için en iyi performansı verdiği görülmüştür. Ortalama ısı transfer katsayısı zigzag, eğimli, iğne ve kademeli kanatçık için sırasıyla 164 W/m²K, 215 W/m²K, 157 W/m²K ve 145 W/m²K olarak verilmiştir.

Jang vd., (2014) bir LED aydınlatma ampulünün soğutulması için silindirik soğutucu plaka tasarlanmıştır. Soğutucu plakanın artan eğim açısıyla birlikte soğutma performansına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Analizlerde, ısı geçişinin doğal taşınım ve ışınlım ile olduğu kabul edilmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar, deneysel olarak doğrulanmıştır. Analizlerde model geometrisi, sürtünme katsayısı ve akış karakteristiği gibi parametrelerin, soğutucu plakanın termal performansına etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, eğim açısı arttıkça plakalı kanatçıklarının eğim açısını engellediği, durgun noktalar ve akış ayrımı ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Sudhakarbabu vd., (2015) silikon tabanlı, tek mikro kanallı soğutucu plakanın, elektronik çipleri soğutma etkisini zorlanmış taşınım koşullarında incelemiştir. Simülasyonlar, ticari yazılım programı olan ANSYS Fluent ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucu, giriş ve çıkıştaki basınç, hız ve sıcaklık konturları akış doğrultusu boyunca elde edilmiştir. Tek mikro kanallı soğutucu plakanın analizi ile silikon altlık için uygun sonuçlar elde edilmiştir. Akış boyunca Nusselt sayısı elde edilmiş ve 3 farklı akış oranı için karşılaştırılmıştır. Soğutucu plakalar, bakır, alüminyum, titanyum ve çelik soğutucu plakalar zamana bağlı olarak analiz edilmiştir.

Kanatçıklarda, zayıf havalandırma sonucu ortama ısı transferi azalır. Soğutucu plaka ve kanatçıklar üzerine delikler açılmasıyla ısı transferinde artışlar görülür. Örneğin Tseng vd., (2008) baskılı bir devre kartına delikler açarak, ısı transfer oranını % 12 artırmıştır. Benzer bir çalışmada kanatçıklı soğutma plakalarının üzerine dairesel boşluklar açarak, ısı transfer oranını % 16.7 artırılmıştır (Meng vd., 2011). Huang vd., (2014) ise, kanatçık tabanına dikdörtgen şeklinde delikler açarak, ısı transfer katsayısını 2,8 kat yükseltmiştir. Son olarak Jeong vd., (2015) LED modüllerinin soğutma performansını artırmak ve kanatçıklı soğutma plakalarının hava sirkülasyonunu sağlamak için hem soğutucu plaka tabanına hem de kanatçıklara delikler açmıştır. Deliklerle modifiye edilmiş yatay kanatçıklı soğutucunun geometrisi, *Response surface methodology (RSM)* metodu kullanılarak optimize edilmiş ve soğutma performansı karşılaştırılmıştır.

Sokmen vd., (2016) LED'li aydınlatmalarda kullanılan kanatçık geometrisi ve malzemesinin, LED jonksiyon sıcaklığı üzerindeki etkisini, doğal ve zorlanmış taşınımda incelemiştir. Analizler için ANSYS CFX 14 programı kullanılmıştır. Optimum silindirik kanat yapısını belirlemek için, verilen sınırlar dâhilinde yeni bir metot geliştirilmiştir. 25 °C, 50 °C ve 80 °C 'lik ortam sıcaklıkları ve LED güç dağılımları (0.5 W, 0,75 W, 1 W, 1,25 W) için analizler yapılmıştır. Sonrasında analizler, farklı ısı transfer katsayıları ve kanat malzemeleri için tekrarlanmıştır. Sonuç olarak güvenilir bir jonksiyon sıcaklık aralığı için, düşük ortam sıcaklıklarında baskılı devre kartının arkasına alüminyum ve bakır plaka eklenmesi uygun görülmüştür. Bunla birlikte, yüksek ısı iletim katsayısına sahip bakırın, kanatçıklarda kullanılmasının jonksiyon sıcaklığını düşürdüğü gözlenmiştir.

Laad vd., (2016) dikdörtgen, trapez, kesikli dikdörtgen, hizalı dairesel ve zikzaklı dairesel gibi farklı geometrilerdeki kanatçık yapısının, soğutucunun termal performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Isı transferinin doğal taşınımda gerçekleştiği kabul edilmiştir. Kanatçık malzemesi olarak, alüminyum 6063 tercih edilmiştir. Her bir geometrideki kanatçık yapısı, 15 W, 20 W ve 25 W'lık ısı yükleri için ANSYS 14 programında modellenip, simüle edilmiştir. Simülasyon sonucu, 22 °C'lik dış ortam sıcaklığı için Nusselt sayısı ve sistemin maksimum sıcaklığı elde edilmiştir. Ayrıca belirli bir ısı yük değeri için optimum kanatçık yüksekliği, aralığı, sayısı belirlenmiştir. Sonuç olarak, optimum soğutmanın dairesel iğne tipi

kanatçıklarda gerçekleştiği, ayrıca dairesel iğne tipi kanatçıklarda Nusselt sayısının da maksimum değer aldığı ortaya çıkmıştır. Sonrasında, dairesel iğne tipi kanatçık için farklı yüksekliklerinin soğutma performansına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak kanatçık yüksekliği arttıkça, maksimum sıcaklığın düştüğü görülmüştür.

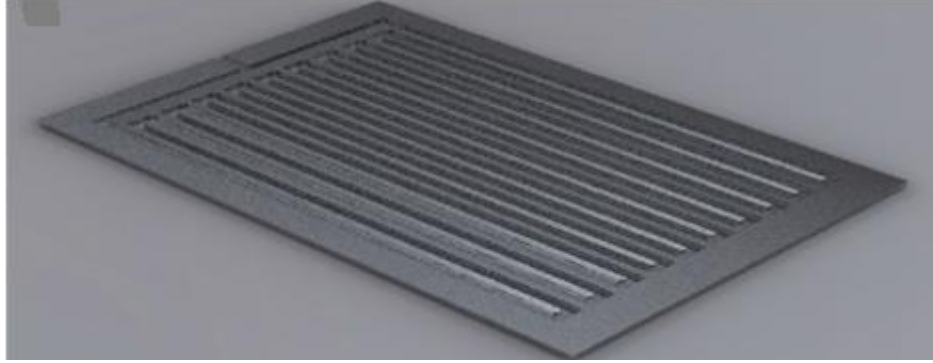
2.3 Isı Pompası veya Isı Borusu Kullanımı

Kim vd., (2006a) yaptıkları çalışmada iki farklı LED paketi tasarlamış ve LED paketlerinin termal analizini yapmışlardır. İlkinde, çoklu LED çipini metal tabanlı baskılı devre kartının (MCPCB) üzerine lehimleyerek, ikincisinde bu sisteme ısı borusu ekleyerek iki farklı model oluşturmuştur. Her iki modelin ortam sıcaklığı ve akış hızlarını T3ster isimli cihaz (bir yapının içindeki termal direnç haritasını belirlemek için kullanılır) ile ölçüp daha sonra bu iki modelin termal performansını karşılaştırmıştır. Çalışmada, sisteme ısı borusu eklenmesi ve hava hızının 2 m/s'den yüksek olmasının, sistemin toplam termal direncini önemli ölçüde düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Luo vd., (2009) tasarladıkları LED paketinin termal özelliklerini iyileştirmek için kıvrımlı ısı pompası (LHP) kullanmışlardır. Çalışmada, yüksek güçlü LED'lerin ısı dağılım özellikleri analiz edilmiştir. LHP'nin termal özellikleri, farklı yükler ve eğim açıları altında deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonunda, 100 W'lık ısı yük için ısı pompası ile soğutucu plaka arasındaki termal direncin 0,19–3,1 K/W aralığında değiştiği ve evaporatör sıcaklığının 1,5°C değerlerinde kaldığı belirlenmiştir. LED'lerin çalışması sırasında jonksiyon sıcaklığının 100 °C'nin üstüne çıkmadığı görülmüştür.

Lin vd., (2011) paralel ve kare kanallardan oluşan alüminyum plakalı salınlı ısı borularının ısı transfer özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Şekil 2.1'de alüminyum plakalı salınlı ısı borusunun dikdörtgen kanallarla birleştirilmiş hali verilmiştir. Isı boruları, farklı kesit alanları, dönüş sayıları ve boyutlarda tasarlanmıştır. Deneylerde çalışma akışkanı olarak aseton kullanılmıştır. Salınlı ısı borularındaki sıvı ve buhar akışının ısı transfer özellikleri ve akış görüntüleri incelenmiştir. Bunun yanı sıra, 64 W'lık bir LED'in soğutulması için plaka salınlı, ısı borulu bir soğutucu plaka geliştirmiştir. Sonuçlar, LED'li aydınlatmalarda

kullanılan soğutucu plakalarda ısı borusu kullanımının, LED maksimum sıcaklığını önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir.



Şekil 2.1. Dikdörtgen kanallarla birleştirilmiş alüminyum ısı borusu.

Wang, (2011) yaptığı çalışmada, LED'li aydınlatmalar için alüminyum, bakır ve buhar odası tabanlı plakaları tasarlayıp deneysel, teorik ve simülasyonla sistemin termal davranışını incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, 5 W'lık ısı yük için buhar odası tabanlı plakalı LED'in, bakır tabanlı plakalı LED'e göre toplam termal direncinin düşük olduğunu göstermiştir. Deneysel sonuçlar ise, 6 W'lık ısı yük için bakır tabanlı ve buhar odası tabanlı plakaların termal dirençlerini sırasıyla, 0,41 W/K ve 0,38 W/K olarak vermiştir. Buhar odası tabanlı LED'in aydınlatma verimliliği alüminyum tabanlıdan yaklaşık % 5 büyük çıkmıştır. Bu yüzden 5 W'lık ısı yükte buhar tabanlı plakanın LED aydınlatmalar için en iyi alternatif olduğu belirlenmiştir.

Shen vd., (2013) LED paketlerinde devre kartı olarak klasik FR-4 tabanlı PCB'ler yerine metal tabanlı PCB (MCPCB)'leri kullanmışlardır. MCPCB'ler bakır film, dielektrik ve metal tabandan oluşmaktadır. Metal tabanı, bakır veya alüminyumdan yapıldığı için ısıyı LED çipinden soğutucu plakaya hızlı bir şekilde iletirler. Bununla birlikte MCPCB'nin ortasında bulunan düşük termal iletkenliğe sahip dielektrik tabaka az da olsa ısının yükselmesine sebep olabilmektedir. Çalışmada, dielektrik tabaka dolgu malzemesi olarak % 30 oranında elmas tozu kullanılan ve metal tabanı olmayan PCB ve düz levhali ısı borusu birleştirilerek yeni bir prototip elde edilmiştir (PCP-FPHP). Deneysel çalışma için PCB-FPHP, bakır tabanlı MCPCB, alüminyum tabanlı MCPCB, ve ısı borulu MCPCB'den oluşan dört farklı prototip üretilmiştir. Prototiplerin sıcaklık dağılımları, termal kamera kullanılarak ölçülmüş ve termal dirençleri hesaplanmıştır. PCB-FPHP kullanılarak üretilen prototipin termal direncinin, bakır tabanlı MCPCB, alüminyum tabanlı MCPCB, ve ısı borulu MCPCB

ile üretilen prototiplerin termal dirençlerinden sırasıyla % 36, % 78 ve % 86 daha düşük olduğu görülmüştür. LED modüllerinde ısı borusu kullanılmasının her durumda termal performansı artırdığı, burada ısı borusuna monte edilen ve dielektrik tabakasında dolgu malzemesi olarak elmas tozu kullanılan PCB'nin LED'lerde en düşük termal direnci verdiği belirtilmiştir.

Tang vd., (2014) yüksek güçlü LED'li aydınlatma için kurşun çerçeveli sütun ısı borusu (CHP) geliştirmişlerdir. Kurşun çerçeveli ısı borusu, radyal alüminyum soğutucu plakaya monte edilmiştir. Isı borulu LED'li aydınlatmanın termal performansı, parlaklığı ve kromatikliği deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda kurşun çerçeveden soğutucu plakaya olan ve çipten dış ortama olan termal direnç değerleri sırasıyla 0,23 °C/W ve 1,65 °C/W olarak belirlenmiştir. LED'lerin ışık verimliliği 66,23 lm/W bulunmuştur. Bu değer ısı borusu kullanılmayan bakır tabanlı LED'li aydınlatmaya göre % 19,2 daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak, yüksek güçlü LED aydınlatmalarda, kurşun çerçeveli sütun ısı borusunun iyi bir performans sergilediği görülmüştür.

Moon vd., (2016) tarafından yüksek güçlü LED'li aydınlatma için ısı borusu geliştirmiştir. Isı borusunun etrafına U şeklinde düz alüminyum kanatçıklar yerleştirilmiştir. 100 W'lık tekli LED çipi oluşturulan soğutucunun üstüne monte edilmiştir (Şekil 2.2). Tasarlanan ısı borulu sistem, alüminyum kanatçıkların farklı boyutları için modellenerek, simüle edilmiştir. Simülasyon sonucu optimum boyutlar belirlenmiştir. Sistem optimum boyutlarda tasarlandığında, LED jonksiyon sıcaklığı 85 °C olarak hesaplanmıştır.

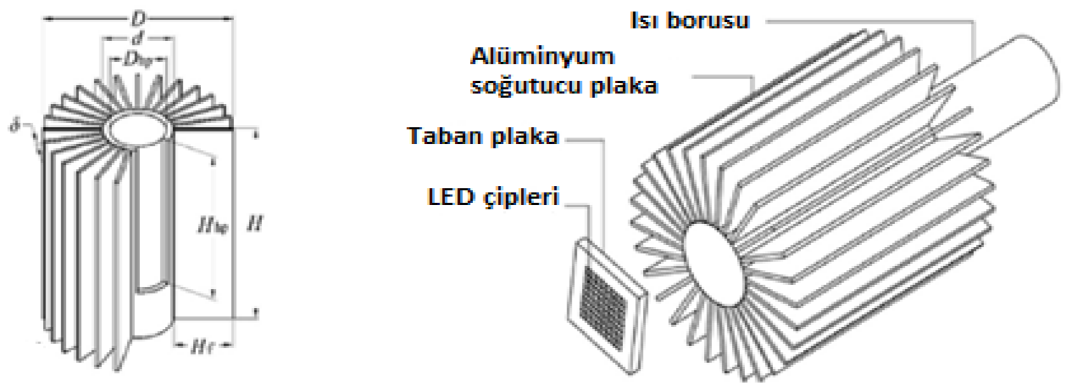


Şekil 2.2. 100 W soket tip COP LED lambasının alüminyum düz ısı borusuna entegre edilmesi.

Schmid vd., (2017) 150 W'lık LED sokak aydınlatmaları için, aktif bir hava soğutma sisteminin parçası olarak, çift borulu bir ısı değiştiricisini deneysel ve sayısal olarak

incelemişlerdir. Deneysel çalışmada, havanın bir fan yardımı ile lambanın içinde kapalı bir döngü oluşturacak şekilde sirkülasyonu ayarlanmıştır. Isının dış ortama olan ısı dağılımı doğal konveksiyon ile gerçekleşmiştir. Sonuçlar, LED maksimum sıcaklığının 42 °C'ye kadar düştüğünü göstermiştir. Sayısal olarak, iki boyutlu, simetrik eksenli bir model oluşturulup, boru uzunluğu, malzeme iletkenliği, akış yönü, boru çap oranı, kütle akış hızı ve ısı aktarım hızı gibi değişen parametrelerin sistemin termal davranışına etkisi incelenmiştir. Sayısal çalışmadan alınan veriler, deneysel verilerle uyumlu çıkmıştır. Buna göre, lambda direğinin uzatılması ile oluşan ısı kaybının, büyük oranda akış hızına bağlı olduğu görülmüştür.

Wang vd., (2017) yüksek güçlü LED'leri soğutmak için soğutucu plaka olarak alüminyumdan yapılmış radyatör modeli kullanmışlardır. Radyatör modelinde, Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, bir mandrel etrafına radyal tipi düz kanatçıklar eklenmiştir. Daha sonra mandrel kısmına bir ısı borusu monte ederek elde edilen modelin termal davranışını nümerik çalışma ile incelemişlerdir. Sonrasında nümerik çalışmadan elde edilen verilerin doğrulanması için deneysel testler yapılmıştır. Isı borusu kullanılan ve kullanılmayan tasarım için Nu sayısının korelasyonu yapılmıştır. Sonuçlar, radyatör yüksekliği, kanatçık sayısı ve yüksekliği artırıldığında, LED jonksiyon sıcaklığının düştüğünü ve kanatçık kalınlığının, Nu sayısı üzerindeki etkisinin % 1'den az olduğunu göstermektedir. Isı borusunun devreye girmesiyle üst ve alt kanatçıklar arasındaki sıcaklık farkının azaldığı ve ısı dağılımının arttığı görülmüştür.



Şekil 2.3. Radyatör model.

Carbajal vd., (2006) düz ısı borulu termal yayıcının termal davranışı, 3D-quasi matematiksel model tarafından tanımlamış ve sayısal olarak modellemişlerdir. Buhar fazındaki hesaplamalar için açık sonlu hacimler metodu kullanılmıştır. Isı yayıcının ön ve arkası için geçici sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Aynı zamanda buhar çekirdeğindeki hız dağılımı da elde edilmiştir. Sonuçlar, buhar fazındaki yüksek ısı yayılımının, buhar çekirdeğindeki sıcaklık dağılımını hızlandırdığı ve işlem boyunca üniform hale gelmesini sağladığını göstermiştir.

Naveenkumar vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada, 0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm gibi fitil kalınlıkları ve farklı fitil yapılarında ısı boruları tasarlanmıştır. Tasarlanan bu ısı boruları, ANSYS CFX programında modellenerek simüle edilmiştir. Isı borusu malzemesi olarak silika, fitil malzemesi olarak nikel alaşımı ve çalışma akışkanı olarak da su, metanol ve sıvı metanol kullanılmıştır. Her bir fitil yapısı, kalınlığı ve çalışma akışkanı için sıcaklık gradyanı ve ısı transfer katsayıları elde edilmiştir. Bir başka çalışmada ise 1 m uzunluğunda ve 0,031 m dış çapında silindirik ısı borusu üretilmiştir (Annamalai ve Ramalingam, 2011). Hem kararlı hem geçici koşullarda yüzey ve buhar sıcaklığı belirlenmesi için deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Aynı zamanda kararlı durum koşulları altında CFD'de yapılan analizler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Suresh ve Bhramara, (2016) iki fazlı bir ısı değiştirici olan titreşimli ısı borusu (PHP) tasarlanmıştır. Tasarlanan ısı borusu, ANSYS CFX'de modellenip simüle edilmiştir. Çalışma akışkanı olarak aseton kullanılmış ve doluluk oranı % 60 olarak belirlenmiştir. Evaporatör sınırında 9 W'dan 15 W'a kadar ısı girişi sağlanmış ve kondenser girişine sınır şartı olarak yaklaşık 7945 W/m² aralığında ısı akısı girilmiştir. Adyabatik bölgesinde ise ısı akısı sıfır alınmıştır. Buharlaştırıcıdaki aseton sıcaklığındaki düşüş, ısının kondenser bölgesine taşındığını göstermiştir. Isı borusunu oluşturan evaporatör, kondenser ve adyabatik bölgelerindeki hava ve aseton hacimsel oranın PHP içindeki akış modeline yansıdığı görülmüştür.

Asmaie vd., (2013) iki fazlı akış ile ısı transferi sağlayan termosifonun simülasyonu için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modeli geliştirmiştir. Çalışma akışkanı olarak damıtılmış su ve CuO/su nanoakışkanı kullanılmıştır. Sonuçlar, nanoakışkandaki ısı transferinin, suya göre yaklaşık % 46 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte nanoakışkan konsantrasyonu artırılarak duvar

sıcaklığının azaldığı ve optimum konsantrasyon değerinin ağırlıkça % 1 olduğu görülmüştür. Ashish vd., (2016) ısı borusunun termal davranışını farklı işletme koşullarında deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Tasarlanan modelin simülasyonu ANSYS Fluent programında yapılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlar birbiriyle uyumlu çıkmıştır. Isı borusu damıtılmış su ve 40 nm ve 70 nm çapındaki CuO + BN hibrit nanoparçacıkları ile yüklenmiştir. Sonrasında güç girişleri, ısı borusu eğim açısı ve nanopartikül konsantrasyonunun ısı borusu termal dirence etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, % 2'lik hacimsel konsantrasyondaki CuO+BN / H₂O hybrid nanoakışkanların maksimum ısı transferi sağlamak için etkili olduğunu göstermiştir.

Lin vd., (2013) minyatür salınlı ısı borularının (MOPH) ısı transfer mekanizmalarını incelemek ve ısı transfer kapasitelerini tahmin etmek amacıyla fiziksel ve matematiksel model oluşturmuştur. Simülasyonlar ANSYS Fluent programında yapılmıştır. Çalışma akışkanı olarak su kullanılmıştır. Çözüm modeli olarak *Volume of Fluid* (VOF) ve *Mixture Model* kullanılmış ve iki model karşılaştırılmıştır. Sonuçlar MOPH'da, mixture modelinin iki fazlı akış simülasyonları için daha uygun olduğunu göstermiştir.

Dev ve Budania, (2016) ısı borusunun kararlı hal performanslarını analiz etmek için iki boyutlu sonlu elemanlar metodunu geliştirmiştir. Geliştirdikleri modeli ANSYS Fluent programında kullanmışlardır. Çalışmada, ısı borusu duvar malzemesi, fitil efektif ısıl iletkenliği, ısı borusuna giren ısı akısı ve çalışma akışkanları gibi parametreleri değiştirilerek ısı borusu boyunca sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Isı borusu duvarı ve fitil malzemesi için uygun malzeme ve termal iletkenlikler seçilmiştir. Elnaggar vd., (2011) PC-CPU soğutması için U şeklinde ısı borusu kullanmışlardır. Isı borusuna kanatçıklı soğutucu plaka monte edilmiştir. Sistem, dikdörtgensel bir tünel içersinde yer alan bir ısı kaynağı üzerine dikey olarak monte edilmiştir. Bir üfleyici vasıtasıyla zorlanmış taşınım şartları oluşturulmuştur. Toplam termal direnç ve ısı transfer katsayısının belirlenmesi için zorlanmış taşınımın yanı sıra doğal taşınım koşulları da incelenmiştir. Deneysel sonuçların doğrulanması için ANSYS 10 yazılımında simülasyonlar yürütülmüş ve elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uygun olduğu görülmüştür.

2.4 Sıvı Soğutma

Lai vd., (2008) otomobillerde kullanılan LED'li farların termal yönetimi ile ilgili incelemeler yapmıştır. Farın üzerine, toplamda 40,5 W'lık 15 adet LED yerleştirilmiştir. Bu LED'lerin hem hava ile hem de pasif sıvı ile soğutulması denenmiş ve istenen sonuç alınamamıştır. Bu nedenle zorlanmış sıvı soğutma yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, yalın haldeki LED çipleri 200 W/m.K ısı iletim katsayısına sahip AlN malzeme ile paketlenmiş ve termal davranışı analiz edilmiştir. LED ile AlN arasındaki termal direnç 2 °C/W'ın altında bulunmuştur. Oluşturulan bu LED ürünü MCPCB üzerine yerleştirilmiştir. Isı dağılımını artırmak için kanatçıklı yüzeyler tasarlanmıştır. Kanatçık arasındaki mesafe, kanatçık kalınlığı, uzunluğu ve sayısının ısı geçişine etkisi incelenmiştir. Tasarlanan sistemin uygulanabilir ve düşük maliyetli olduğu görülmüştür.

Deng ve Liu, (2010) 100 W'lık bir LED'te oluşan ısıyı soğutmak için su ve sıvı metal GaIn20 kullanarak, bu iki sistemi karşılaştırmıştır. Çalışma sonunda, sıvı metal ile soğutmanın daha etkili olduğu görülmüştür.

2.5 Termoelektrik Soğutma

Led'lerde ısı dağılımı sağlamak için kullanılan etkili metotlardan birisi de termoelektrik soğutmadır. Termoelektrik, ısı ve elektrik enerjisinin birbirine dönüşümüdür. Seebeck isimli bilim adamı iki farklı metal plakayı, iki ucundan birbirine temas ettirerek bir devre kurmuş ve bu devreyi bir ucundan ısıtmıştır. 1834 yılında Charles Peltier ise termoelektrik etkinin çift yönlü olduğunu gözlemlemiştir. Seebeck etkisinin tersi şekilde bu sefer metallere elektrik akımı uyguladığında, metallere birisinin ısındığını diğersinin ise soğuduğunu keşfetmiştir. Bu duruma Peltier etkisi adı verilmiştir. Literatürde Peltier etkisi kullanarak elektronik cihazların soğutulmasını inceleyen birçok yayın mevcuttur.

Cheng vd., (2005) yüksek güçlü LED'lerin soğutulmasında silikon tabanlı termoelektrik cihaz kullanmıştır. Termoelektrik ve alüminyum soğutucu plakaya dayalı deneysel sistem sonucunda termoelektrikli cihazların yüksek güçlü LED'lerde termal direnci etkili bir şekilde soğuttuğu görülmüştür. Chang vd., (2009) elektronik cihazların soğutulmasında termoelektrik cihazların kullanılmasını incelemişlerdir.

Çalışma sonunda, daha düşük güçte çalışan elektronik cihazlar için termoelektronik cihazların uygun olduğu görülmüştür. Li vd., (2011) yüksek güçlü LED'leri soğutmak için termoelektrik soğutma cihazı tasarlamışlardır. Sonuç olarak optimum akımda çalışan LED'in jonksiyon sıcaklığı, termoelektrik soğutma ile 45°C elde edilmiştir. Wang, (2013) iki farklı LED modül sisteminin güç üretim performansını incelemiştir. Çalışmada, yüksek güçlü LED'li aydınlatmalarda elektrik giriş gücünün ısı enerjisine dönüşen kısmı, termoelektrik üretim modülü tarafından kullanılmıştır. Wang vd., (2015) yüksek güçlü LED'li aydınlatmaların soğutulması için termoelektrik cihazları hem hava hem sıvı soğutma sistemi ile entegre etmiş ve termal sonuçlar karşılaştırılmıştır. 35 °C 'deki ortam sıcaklığı için hava soğutma ile entegre edilmiş termoelektrik sisteminin jonksiyon sıcaklığı 85,6 °C iken sıvı soğutma ile entegre edilmiş sistemin jonksiyon sıcaklığı 59,5 °C olarak belirlenmiştir.

Todorov ve Kapisazov, (2008) LED'lerde çip ile lehim noktası arasındaki termal direncin ve artan jonksiyon sıcaklığının renk dalgalanması, voltaj değişimi, LED ömrü ve ışık düşüşü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bununla birlikte türbülanslı hava akımı üreten Synjet ürününü ve soğutma üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

2.6 Çoklu Çip Kullanımı

Grujicic vd., (2005) çoklu çip tasarımının termal yayılma direnci üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Elektronik soğutmada, hem devre kartı hem çip seviyesinde termal yayılma direnci teorisinin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Kim vd., (2006b) LED paketi üzerinde bir, iki ve üç adet eş çip kullanarak, tasarladığı yeni LED paketlerinin termal dirençlerini incelemiştir. Çalışma sonucunda kullanılan çip sayısının artması ile LED çipinden soğutucu plakaya kadar olan ısı geçişindeki termal direncin orantılı olarak düştüğü belirlenmiştir.

Çoklu LED paketlerinde, termal yayılma direnci sistemin tüm termal performansını etkilediği için önemli bir parametredir. Cgeng, (2010) çalışmasında LED paket yüzeyinin tüm sıcaklık alanını incelemek için genel bir analitik çözüm kullanmıştır. Bu çözüm, dikdörtgensel bir akış kanalı üzerinde, eksantrik ısı kaynaklarının termal yayılma direncini veya değişken ayırım metodunu temel alır. 80 W'lık LED'li sokak lambası için yapılan analitik çözümde elde edilen sıcaklık değerleri, deneysel

sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Devre kartı üzerindeki çip, düzenlenerek sıcaklık-alan optimizasyonu yapılmıştır. Sonuçlar termal yayılma direncinin sıcaklık alanını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Kailin vd., (2011) tek kanatçık üzerinde dört adet GaN tabanlı çip içeren iki farklı LED paketini termal olarak incelemiştir. Bu iki modelin termal direnci, analitik olarak ve simülasyon sonucu elde edilen verilerle hesaplanmıştır. Analitik yaklaşım sonucu termal direnç ve maksimum çip sıcaklığı 6,53 K/W ve 77,2 °C iken simülasyon sonucu 7,14 K/W ve 82,12 °C olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda toplam termal direnç, kanatçık termal direnci, iletim termal direnci, taşınım termal direnci ve yayılım termal direnci ayrı ayrı analitik olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda bu beş parametrenin optimum değeri belirlenmiştir.

2.7 LED'lerde Kullanılan Elektronik Devre Kartı Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Elektronik devre kartları, elektrik devresi oluşturmak için (baskılı devre kartı gibi) bağlantıları sağlamak ve bileşenleri soğutmak için kullanılır. Bu tabakaların malzeme ve teknik olarak diğer devre kartları ile karşılaştırıldığında daha yüksek akım taşıdığı ve yüksek voltaj izolasyonu sağladığı görülmektedir. Elektronik devre kartları 150 °C veya 200 °C'ye kadar geniş bir sıcaklık aralıklarında çalışmaktadırlar. Elektronik devre kartları, üretim şekilleri ve kullanılan malzemeye göre, Doğrudan Bağlı Bakır Tabaka (DBC), Doğrudan Bağlı Alüminyum Tabaka (DBA), Aktif Metal Sert Lehim Tabaka (AMB), Metal Tabanlı Baskılı Devre Kartı (MCPCB) olarak sıralanabilir. Literatürde LED'lerde kullanılan elektronik ve baskılı devre kartlarının (PCB) termal ve elektriksel davranışını inceleyen birçok çalışma mevcuttur.

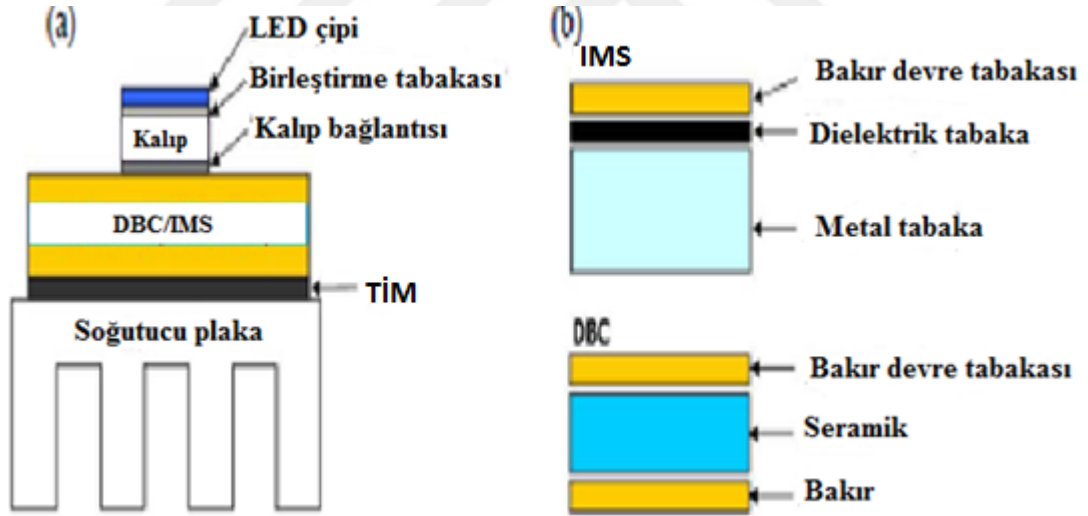
Arık ve Wiewer, (2004) çalışmasında, LED'in PCB'ye monte edilmesini ve aynı zamanda LED çipinde üretilen ısının PCB'ye iletilmesini sağlayan tümseklerin LED'deki termal stabilite üzerindeki etkisini ANSYS yazılımı ile incelemiştir. Sonuç olarak, tümseklerde oluşan deformasyonların ısı iletimini engellemesinden dolayı, LED üzerinde asimetrik sıcaklık dağılımı olduğu görülmüştür. Ayrıca LED'lerde yarı iletken malzeme olarak safir ve SiC (silikon karbür) kullanılıp sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yüksek ısı iletim katsayısına sahip SiC kullanılan LED'lerde, safire göre ortaya çıkan tümsek hatalarının daha az olduğu görülmüştür.

Plesca, (2008) FR-4 tabanlı baskılı devre kartları (PCB) üzerinde çalışmıştır. Dört tabakalı PCB üzerinde kullanılan termal kanalların, sayısının ve geometrik dizimlerinin, termal performansa etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, termal kanalların geometrik dizimlerinin, termal direnç üzerinde fazla bir etkisi olmadığı fakat termal kanal sayısının büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte termal kanallar arasındaki uzaklık mesafesinin, termal direnç üzerindeki etkisi de incelenmiş olup, uzaklık mesafesi arttıkça termal direncin arttığı gözlenmiştir. Buna karşılık yapılan başka bir çalışmada Huber, (2008) standart LED paketinde, FR-4 tabanlı PCB yerine MCPCB kullanmış ve MCPCB ile soğutucu plaka arasına çeşitli dolgu malzemeleri entegre ederek termal etkileri incelemiştir. Sonuç olarak, MCPCB kullanılan LED paketinin termal performansının % 30 arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda, doğal taşınım ile ısı dağılımı için kullanılan alüminyum kanatçıkların yatay ve dikey pozisyonlardaki etkisini incelemiştir. Buna göre yatay konumlandırılmış kanatçık yapısının termal direncinin daha az olduğu görülmüştür. Yapılan başka bir çalışmada, 30 W'lık otomobil LED farı sisteminde MCPCB kullanmıştır (Jang ve Shin, 2008). Bunun yanı sıra, araç hareket halinde iken farın kenarlarından toplanan hava akımının, ısı geçişine etkisi incelenmiştir. Buna göre MCPCB kullanılan bir otomobil LED farında, farın kenarından gelen hava akımının LED'lerin soğutulmasında yeterli olduğu belirtilmiştir.

LED'lerde kullanılan PCB'lerin boyutları, sıcaklık dağılımını etkilemektedir. Weng, (2009) hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile PCB kullanılan bir LED sisteminin termal simülasyonunu yapmıştır. Ortam akışkanının hareketli ve durgun olması durumunda yani iki farklı dış ortam koşulunda, farklı boyutlarda PCB kullanılan LED'lerdeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Hava akış hızını durgun halden belirli hızlara kadar artırarak, sistemin termal direnci üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Sonuç olarak, artan hava hızıyla birlikte termal direncin azaldığı gözlenmiştir.

Elektronik cihazlarda yüksek ısı iletkenliklerinden dolayı Doğrudan Bağlı Bakır Tabakalar (DBC) da yaygın olarak kullanılmaktadır. DBC'ler yüksek sıcaklıkta oksidasyon işlemi ile seramik bir karonun (genellikle Al_2O_3) bir veya her iki tarafına bakır levha bağlanması ile oluşur. Üst bakır katman, bir elektrik devresi oluşturmak için baskılı devre kartı teknolojisi olarak kullanılır. Alt bakır katman ise genellikle ısı

dağılımı için soğutucu plakaya lehimle bağlanır. Ha, (2009) yaptığı tez çalışmasında yüksek güçlü COB LED paketi tasarlamıştır. Tasarımda, elektronik devre kartı olarak Yalıtılmış Metal Alt Tabakalar (IMS) ve Doğrudan Bağlı Bakır (DBC) Tabakalar kullanılmıştır. Şekil 2.4'te LED paketinin ve kullanılan elektronik devre kartlarının basit yapısı gösterilmiştir. Çalışmada, hem dielektrik tabakanın termal direnci hem de bakır devre tabakanın ısı dağılımı incelenmiştir. Sistemin termal direnç modeli, sadece geometrinin ve ısı iletkenliğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Sonlu elemanlar analizi yapan ANSYS programı kullanılarak, geometrinin ve ısı iletiminin termal direnç üzerindeki etkisi incelenmiştir. LED paketinde, kurşunsuz lehim ve termal ara yüzey malzemesi kullanılmıştır. Analizler, tek ve çoklu çipler için tekrarlanmıştır. Aynı hesaplama yükünü baypas etmek için bir ısıl direnç geliştirilmiştir. Özellikle alt tabakalardaki ısı dağılımına odaklanarak termal direncin analitik ifadeleri geliştirilmiştir. Son olarak, çoklu LED çipleri sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Burada kalıp aralığının, jonksiyon noktası sıcaklığını etkileyen bir parametre olduğu görülmüştür.



Şekil 2.4.a. LED paketinin basit yapısı, **b.** DBC ve IMS'nin yapısı.

Chen vd., (2011) LED'li aydınlatma ile tasarlanmış bir otomobil farını, optik ve termal açıdan incelemiştir. Toplamda 10 adet, mavi ışık veren LED çipi, Doğrudan Bağlı Bakır Tabaka (DBC)'ya monte edilmiştir. DBC'nin seramik ve bakır plakaları ayrı ayrı incelenerek termal direnç değerleri hesaplanmıştır. LED'lerin soğutulması için kanatçık üzerine hava üfleyen bir fan kullanılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen

LED'in, optik ve termal açıdan halojen ve HID ampuller ile rekabet edebileceği görülmüştür.

Ling, (2012) ise iki ayrı model üzerinde çalışmıştır. 1,2 W'lık LED'leri ayrı ayrı hem MCPCB hem de çift katmanlı FR-4 PCB üzerine monte etmiştir. Geliştirilen modeller, FLOTHERM programı yardımıyla ile sayısal olarak modellenmiş ve simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçları doğrulamak için deneysel çalışma yapan Ling, LED'lerin jonksiyon sıcaklıklarını ve termal direnç değerlerini belirlemiştir. Simülasyon ile deneysel sonuçlar arasında % 8 lik bir hata payı tespit edilmiştir. MCPCB ile kullanılan modelde, termal direnç değeri, 25 °C/W iken, FR4 çift katmanlı PCB kullanılan modelde termal direnç değeri 37 °C/W olarak hesaplanmıştır.

Yung vd., (2014) PCB üzerine monte edilen yüksek güçlü LED'lerin termal performansını incelemiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodu ile SolidWorks programında, PCB üzerindeki LED diziliminin ısı transfer süreci simüle edilmiştir. PCB olarak metal tabanlı MCPCB'ler kullanılmıştır. MCPCB'ler dielektrik tabaka ve iki metal tabakadan oluşmaktadır. Çalışmada iki parametre üzerinde durulmuştur. Birincisi, MCPCB üzerine monte edilen çoklu LED'lerin farklı dizilimi, yüksek optik verimlilik ve daha efektif bir ısı dağılımı için incelemiştir. İkinci olarak da farklı ısı iletkenliklere sahip dielektrik tabaka kullanarak LED yüzey sıcaklığı ve parlaklığı ölçülmüştür. Buna göre, kullanılan dielektrik tabakanın ısı iletkenliği arttıkça, LED yüzey sıcaklığının azaldığı ve ışık akısının arttığı gözlenmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar deneysel testlerle doğrulanmıştır.

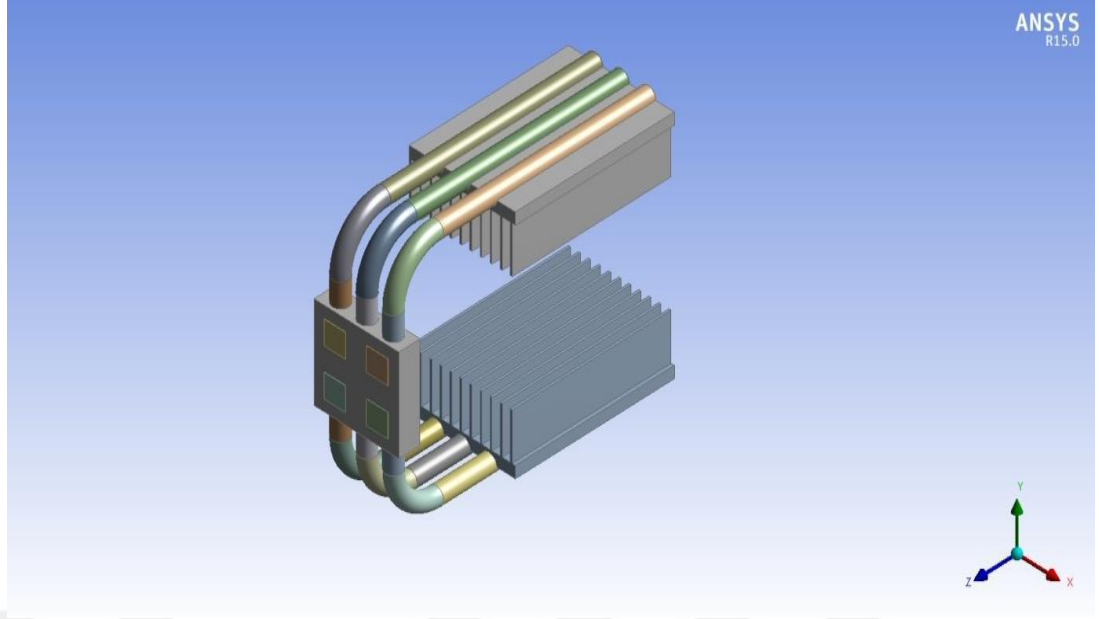
Özdil, (2015) tez çalışmasında, otomotiv aydınlatma sistemlerinde sıkça kullanılan LED'ler ve LED'li elektronik devre kartlarının termal davranışını incelemek için sayısal analiz ve deneysel çalışma yapmıştır. Yapılan analizlerin deneysel çalışma ile uyumluluğu kontrol edilmiştir. LED'lerin elektronik, termal ve optik davranışları araştırılarak, LED'ler için termal yönetimin önemi ortaya konmuştur. Ayrıca LED'ler ve elektronik devre kartlarının soğutulmaları amacıyla sıkça kullanılan kanatçıklar üzerindeki artırılmış yüzey geometrilerinin termal davranışları analitik metotlar ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, sokak aydınlatmaları için yüksek güçlü LED paketleri tasarlanmıştır. Her bir LED paketi, sırasıyla bir InGaN LED çipi, ötektik malzeme, kalıp, kalıp bağlantı malzemesi, elektronik devre kartı ve termal ara yüzey malzemesinden oluşmaktadır. Tasarlanan LED paketinin boyutları ve ısı iletkenliği Çizelge 1.1'de verilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte yüksek güçlü LED'ler daha küçük boyutlarda üretilmeye başlanmıştır. Bu durum birim hacim başına üretilen ısı miktarında artışa sebep olmaktadır. Tasarlanan LED paketlerinde oluşan ısı akısını LED'lerden uzaklaştırmak için soğutucu plaka ve ısı borusu tasarımı yapılmıştır. Akış, termodinamik ve ısı transferinin olduğu mühendislik sistemlerinin tasarımı ve analizinde, iki temel yaklaşım vardır. Bunlardan ilki deneysel çalışma yapmak ikincisi ise sayısal analizdir. Bu tez çalışmasında, M1 ve M2 kategorisinde tanımlanan yol aydınlatma sınıflarına uygun, yeni geliştirilen LED'li yol aydınlatma armatür modellerinin termal analizi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak yapılmıştır. ANSYS Fluent programında yapılan simülasyonları doğrulamak için deneysel düzenek oluşturulmuştur. Sistemin sıcaklık ölçümleri, hem K-tipi termokupllar, hem de termal kamera ile alınarak tamamlanmıştır. Termokupllar bir datalogera bağlanarak veri kaydı sağlanmıştır.

3.1 Sayısal Analiz

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi ANSYS Workbench'de tasarlanan sistemde 4 adet 25 W'lık LED çipinin bulunduğu LED paketinin soğutulması için U-tipi silindirik bir ısı borusu kullanılmıştır. Isı borusu 3 adet bileşenden oluşmaktadır. Bunlar evaporatör, adyabatik ve kondenser bölgeleridir. Evaporatör bölgesi, ısıyı alıp kondenser bölgesine iletmek için kurulan bir mekanizmadır ve bu yüzden ısı üretiminin maksimum olduğu LED paketinin hemen altındaki alüminyum plakaya yerleştirilmiştir. Sistemden taşınım yoluyla maksimum oranda ısı atılabilmesi için kondenser bölgesine alüminyum soğutucu plaka entegre edilmiştir. Soğutucu plakanın üzerinde ısı transfer yüzey alanını genişletmek amacıyla kanatçıklı yapı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Tasarlanan sistemin geometrisi.

Çizelge 3.1. Tasarlanan LED paketinin yapısal boyutları ve termal iletkenlikleri.

	Genişlik (mm)	Boyut (mm)	Malzeme	Termal İletkenlik (W/m.K)
LED Çipi	0,6	R=17	GaN	130
Metalizasyon Malzemesi	0,01	"	Au-Si ötektik bağlama	27
Kalıp	0,375	"	Silikon	124
Kalıp Bağlantısı	0,05	"	Au-20Sn	57
Elektronik Devre Kartı	0,3/ 0,38 / 0,3	19×19	Al ₂ O ₃ DBC	24
	0,3/ 0,38 / 0,3		Si ₃ N ₄ AMB	80
	0,3/ 0,64 / 0,3		AlN DBC	180
	0,127/ 0,075 / 1		IMS	1,1
TIM	0,05	"	Termal ara yüzey malzemesi	3
Soğutucu Plaka	15	80x80	Alüminyum	202

LED paketlerinin soğutulması için tasarlanan soğutucu plaka ve kanatçıkların özellikleri Çizelge 3.2'de, U şeklinde ısı borusunun özellikleri ise Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Soğutucu plaka ve kanatçık özellikleri.

Parametre	Değer
Kanatçık uzunluğu	0,150 m
Kanatçık genişliği	0,100 m
İki kanatçık arasındaki mesafe	0,012 m
Kanatçık yüksekliği	0,035 m
Kanatçık kalınlığı	0,001 m
Kanatçık sayısı	9
Ortam sıcaklığı	35 °C

Çizelge 3.3. Isı borusu özellikleri.

Parametre	Değer
Toplam ısı borusu uzunluğu	0,58 m
Isı borusu kondenser uzunluğu	0,20 m
Isı borusu evaporatör uzunluğu	0,10 m
Isı borusu çapı (D)	0,010 m
Isı borusu malzemesi	Bakır
Toplam ısı girişi	100 W
Isı borusu ısı iletim katsayısı	10000 W/m.K
Çalışma akışkanı	Su

U şeklinde silindirik bakır ısı borularında, çalışma akışkanı olarak su kullanılmıştır. Isı borusunun başlangıç sıcaklığı 71 °C olarak belirlenmiştir ve bu sıcaklıktaki çalışma sıvısının standart termofiziksel özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Suyun termofiziksel özellikleri.

Tanım	Sıvı	Buhar
Termal İletkenlik (W/m.K)	0,663	0,0221
Yoğunluk (kg/m ³)	9,77 E+2	0,206
Dinamik Viskosite (Pa.s)	3,89 E-4	1,13 E-5
Özgül Isı (J/kg.K)	4,07 E+3	1,98 E+3
Gizli Isı (kJ/kg)	-	2470

3.1.1 Matematiksel model

Isı borusu içindeki akışkanın akışı ve ısı transferi çok karmaşık bir süreçtir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde, karmaşık bir problemin parametrik analizlerin

yapılması ve detaylı sonuçların elde edilmesi kolaydır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yönteminde hesaplama adımlarını, korunum denklemleri ve sınır koşullarının girilmesi, sonlu farklar veya sonlu hacimler ile ayrıştırma yönteminin belirlenmesi ve sayısal çözüm yöntemleri seçilerek hesaplama bölgesi için yaklaşık sonuçların alınması olarak sıralayabiliriz. Buna bağlı olarak, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde termal simülasyon birçok faktöre bağlıdır. Geometrik modelin oluşturulması, fiziksel alana entegrasyonu, ağ yapısının oluşması ve uygun bir sayısal hesaplama düzeni seçimi, simülasyon sürecinin başarı düzeyini belirleyebilen önemli faktörlerdir. Bu çalışmada tasarlanan sistemin termal analizi sayısal olarak Ansys 15.0 Fluent programında üç aşamada çözülmüştür.

3.1.1.1 Ön işlemci

Ön işlemcide, LED paketinin, ısı borusu ve kanatçıklı soğutucu plakaya entegre edilmesi ile tamamlanan sistem ANSYS Workbench'de modellenmiştir. Daha sonra sonlu elemanlar ağ yapısı, *Patch Conforming Method* kullanılarak oluşturulmuştur. üçgen elemanlardan oluşan bir ağ yapısı oluşturulmasına dikkat edilmiştir. Soğutucu plakanın ağ yapısına, doğal taşınımında gerçekçi bir sonuç elde edebilmek için *inflation* (Şişirme) katmanlar eklenmiştir. Tasarlanan sistemde, iç içe iki akış alanı tanımlanmıştır. İçteki akış alanında daha sık, dıştaki akış alanında daha seyrek bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapısı oluşturma işlemi sonunda model üzerinde 5643861 eleman ve 1305380 düğüm noktası meydana gelmiştir. Ağ yapısı oluşturulurken minimum eleman boyutu ve kenar uzunluğu sırasıyla 0,10 mm ve 5 E-002 mm olarak seçilmiştir. Skewness faktörü, ağ yapısı oluşturulurken dikkat edilen en önemli ölçütlerden biridir. Bir yüzey ya da hücrenin ideale ne kadar yakın olduğunu gösterir. İyi bir ağ yapısı oluşturmak için Skewness faktörün değerinin 0,96'nın altında olması gereklidir. Oluşturulan ağ yapısı detaylı resimleri Şekil 3.3 ve 3.4' de gösterilmiştir.

3.1.1.2 Çözücü

Çözümde *Couple* çözüm metodu, akış modeli olarak da *Turbulent Mixing Length* modeli kullanılmıştır. Modeli tanımlarken enerji denklemleri açık tutulmuş ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği problemlerinde genel olarak kullanılan 3 adet denklem kullanılmıştır. Bunlar süreklilik, momentum ve enerji denklemleridir. Bu 3

denkleme genel olarak *Navier-Stokes* denklemleri adı verilir. Akıştaki çoğu akışkanın genel olarak matematiksel olarak çözümü son iki denklemde gerçekleşir. Bu 3 denklem sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

Momentum denklemi

x-yönü

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.2)$$

y-yönü

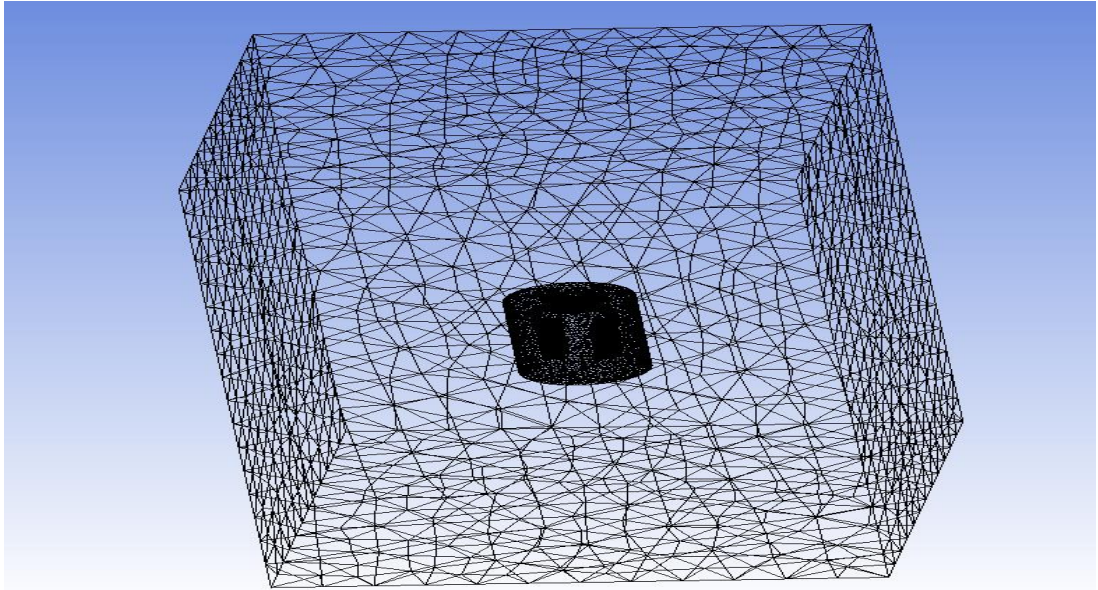
$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3.3)$$

z-yönü

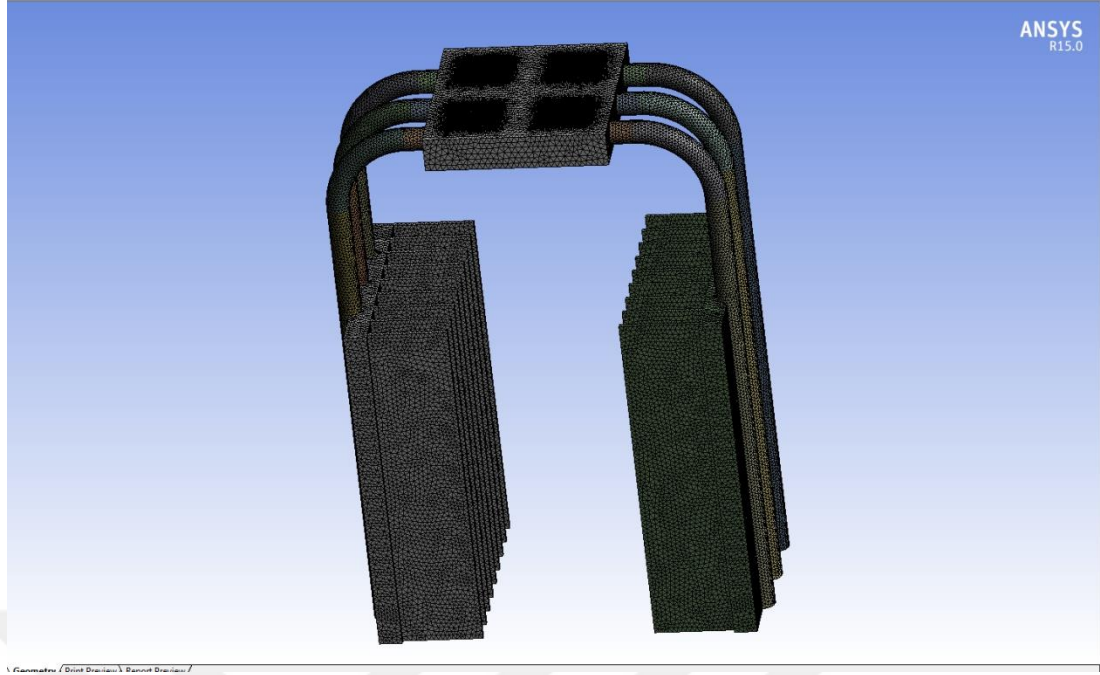
$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.4)$$

Enerji denklemi

$$\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{1}{\alpha} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.5)$$



Şekil 3.3. Tasarlanan modelin ANSYS Mesh'de oluşturulmuş ağ yapısı (akış alanı ile birlikte).



Şekil 3.4. Tasarlanan modelin ANSYS Mesh'de oluşturulmuş ağ yapısı (akış alanı hariç).

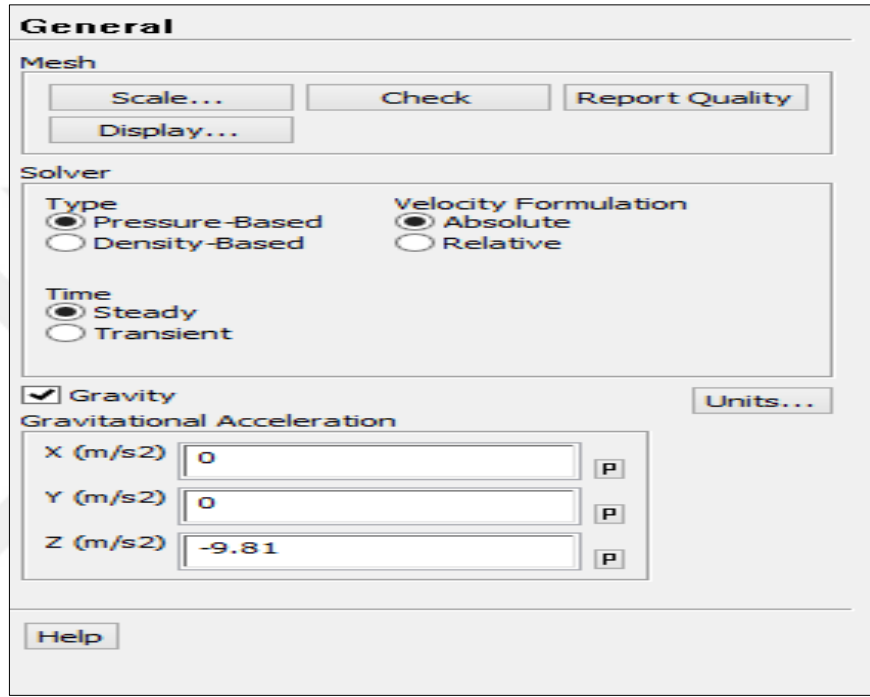
Analizlerde ısı borusu için bazı varsayımlar yapılmıştır. Bunlar aşağıda listelenmiştir.

- Sıvı akışkan laminar ve sıkıştırılamaz, buhar ise doymuş ideal bir gazdır.
- Akışkan akışı kararlı hal koşullarındadır.
- Tüm işlem boyunca sıvının tüm özellikleri sabittir.
- Yoğuşma ve buharlaşma sadece sıvı buhar ara yüzünde meydana gelir.
- Sıvı buhar ara yüzünde, termodinamik denge korunur.
- Isı borusu ile dış ortam arasında herhangi bir ısı alışverişi yoktur, yani adyabatiktir.

Analizler yapılırken, ortam sıcaklığı 35 °C ve rüzgar hızı 0,1 m/s olarak kabul edilmiştir. Bir LED çipindeki ısı akısı sabittir ve Q / A_b ile hesaplanır. Daha önce belirtildiği gibi LED'ler, uygulanan elektrik enerjisinin % 20'sini ışık enerjisine ve geri kalanını ısı enerjisine dönüştürülür. Böylece, 25 W'lık bir LED çipi için, ısı girişinin $Q = 25 \text{ W} \times 0,80 = 20 \text{ W}$ olduğu varsayılmıştır. A_b , LED çipinin yüzey alanıdır ve 961625 mm² olarak alınmıştır.

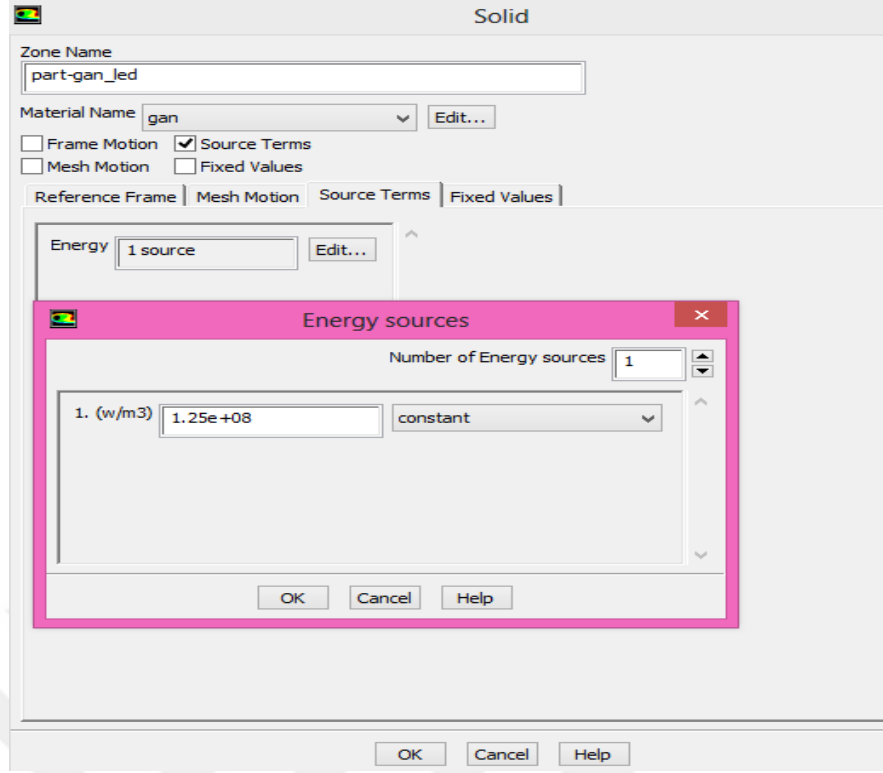
Fluent çözücü kısmında basınç tabanlı bir algoritma kullanılmıştır. Bu algorithmada basınç alanları, süreklilik ve momentum denklemleri kullanılarak oluşturulan basınç ve basınç düzeltme denklemlerinin çözülmesi ile elde edilir. Basınç tabanlı

algoritma, geleneksel olarak sıkıştırılamaz ve hafif sıkıştırılabilir akışlar için kullanılırken, yoğunluk tabanlı algoritma yüksek hızlı sıkıştırılabilir akışlar için kullanılır. Şekil 3.4'de ANSYS Fluent programının *Solver* ara yüzü verilmiştir. Sistemin bulunduğu ortam akışkanı olan hava sıkıştırılamaz olduğu için basınç tabanlı algoritma seçilmiştir. Analizler, zamana bağlı değil kararlı hal koşullarına göre çalıştırılmıştır. Tasarlanan modelde yer çekimi yönü, kanatçıklar aşağı doğru gelecek şekilde (-z yönünde) seçilmiştir.



Şekil 3.4. ANSYS Fluent programı çözücü ve yer çekimi ara yüzü.

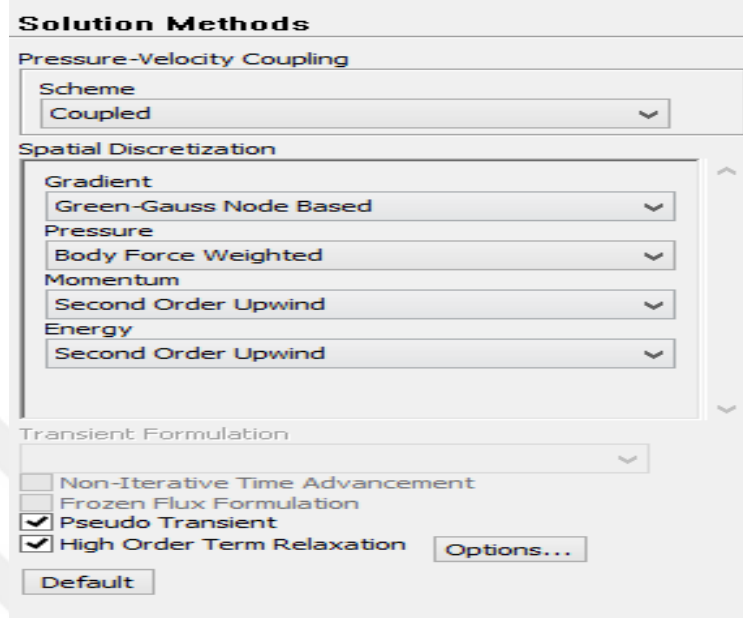
Fluent programı çözücü kısmında, sistem bileşenlerin (soğutucu plaka, ısı borusu, LED çipi, elektronik devre kartı vb.) termo fiziksel özellikleri tek tek girilmiştir. LED paketinde, ısı üretiminin olduğu LED çipine ısı kaynağı girilmiştir. Her bir LED için birim hacim başına üretilen ısı miktarı girilmiştir. Her bir LED'e yaklaşık 25 W'lık güç girişi verildiği ve bu güç girişinin yaklaşık % 80'inin ise ısı enerjisine dönüştüğü varsayılmıştır. Buna göre ısı enerjisine dönüşen gücü, birim hacim başına hesaplayarak Şekil 3.5'deki görüldüğü gibi sisteme girilmiştir.



Şekil 3.5. ANSYS Fluent programı ısı üretimi veri girişi.

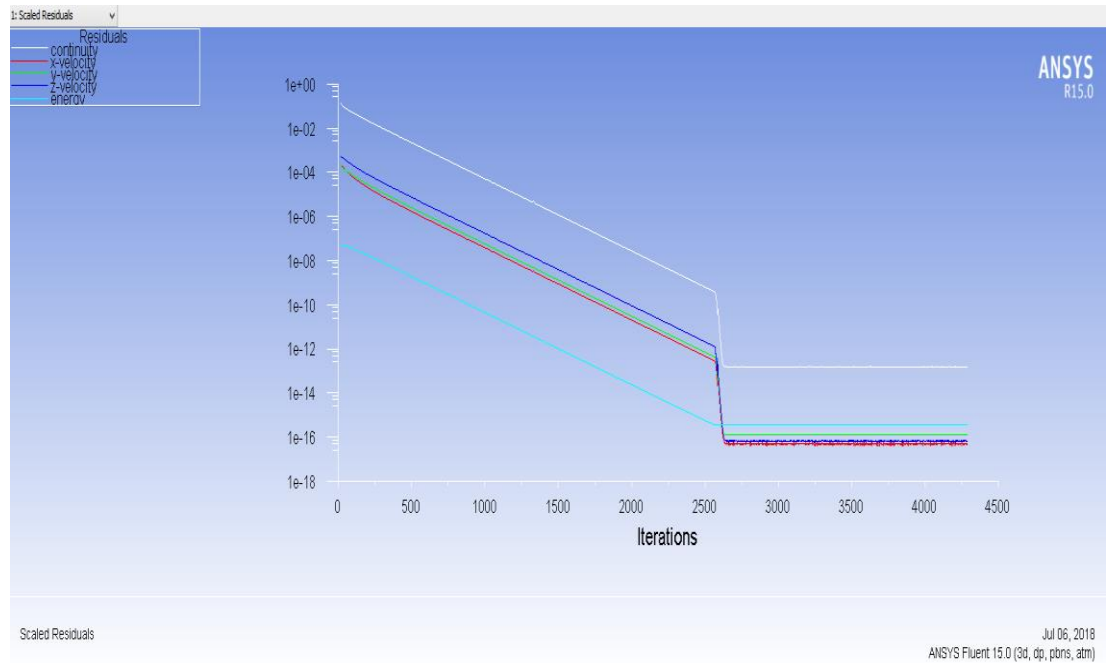
Navier-Stokes denklemlerinin sayısal olarak çözülebilmesi için ayrıklaştırma yapmak gerekmektedir. Bunun için sonlu hacimler, sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi çeşitli ayrıklaştırma yöntemlerinden faydalanılır. Kısmi diferansiyel denklemleri cebirsel denklemler biçiminde tanımlamak ve değerlendirmek için kullanılan Sonlu hacimler Metodu bu çalışmada ayrıklaştırma metodu olarak kullanılmıştır. Fluent, dört ayrı ayrıştırma algoritması sağlar. Bunlar SIMPLE, SIMPLEC, PISO ve COUPLED'dir. Bu şemalar, basınç tabanlı ayrımlı algoritma olarak adlandırılır. Kararlı hal durumlarında, hesaplamalarda genellikle SIMPLE veya SIMPLEC kullanır, PISO geçici hesaplamalar için önerilir. Fluent programında, COUPLED algoritmasının kullanılması, tam basınç-hız kuplajı sağlar, dolayısıyla basınca dayalı birleştirilmiş algoritma olarak adlandırılır. Bu çalışmada, COUPLED ayrıştırma algoritması kullanılmıştır. Fluent programında, Şekil 3.6'da görüldüğü gibi uzamsal ayrıklaştırma (*Spatial Discretization*) olarak gradyanlar, basınç, momentum ve enerji sekmeleri bulunmaktadır. Gradyanlar, sadece hücre yüzeylerinde skaler değerlerin oluşturulması için değil aynı zamanda ikincil difüzyon terimleri ve hız türevlerinin hesaplanması için de gereklidir. Çözüm gradyanları olarak, *Green-Gauss Cell-Based*, *Green-Gauss Node-Based* ve *Least-Squares Cell-Based* olmak üzere üç yaklaşım kullanılır. *Green-Gauss Node-Based* den doğru yaklaşım için önerilirken, *Least-*

Squares Cell-Based, çok yüzlü kafesler için kullanılır. Karmaşık modellerde doğruluğu artırdığı için, enerji ve momentum denklemlerinde *Second Order Upwind* şeması seçilmiştir.



Şekil 3.6. ANSYS Fluent programı çözüm metotları modülü.

Şekil 3.7'de analizin yakınsama diyagramı verilmiştir. Yaklaşık 4400 iterasyon sonucu programın yakınsadığı görülmüştür.



Şekil 3.7. Fluent çözümü kısmında analizin yakınsama diyagramı.

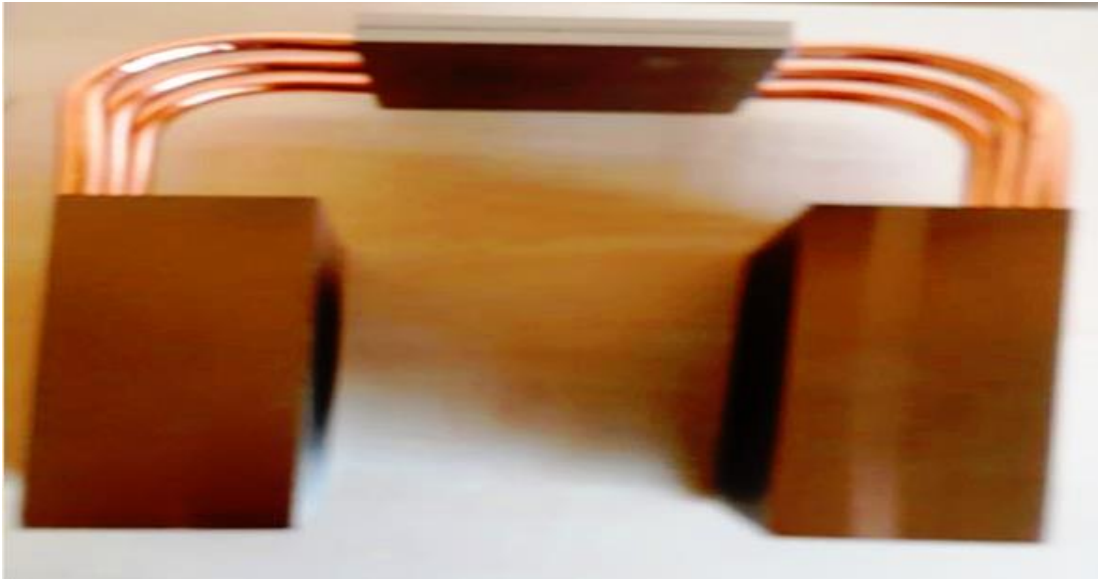
3.1.1.3 Son işlemci

Son işlemcide süreç açık bir şekilde görselleştirilmiştir ve sistemin sıcaklık konturleri belirlenmiştir.

3.2 Deneysel Çalışma

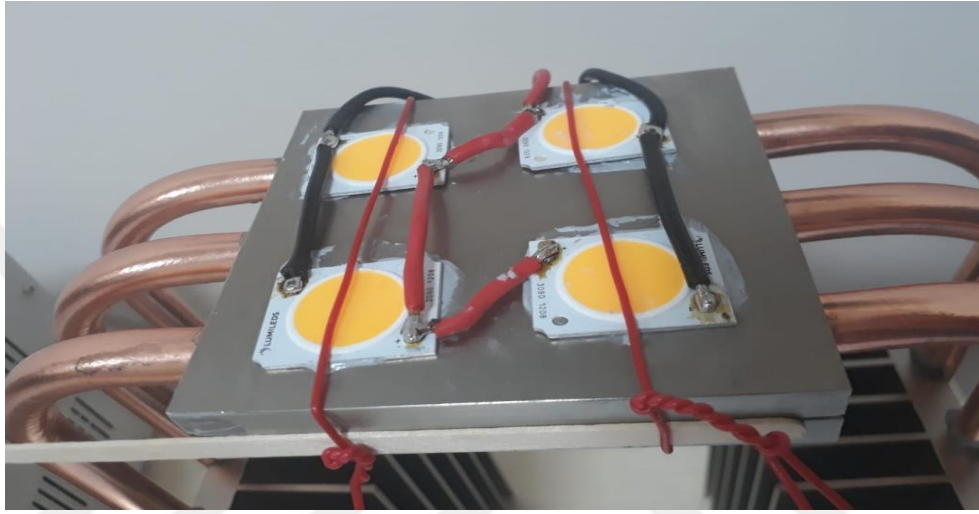
3.2.1 Deney düzeneğinin hazırlanması

Deneysel çalışma için, iç ve dış çapı sırasıyla 0,3 mm ve 10 mm olan U şeklinde bakır ısı boruları imal edilmiştir. Isı borusu evaporatör bölgesi, 80 x 80 mm'lik bir soğutucu plaka içine monte edilmiştir. Sonrasında LED paketleri, ısıyı iletmesi için bu soğutucu plaka üzerine yerleştirilmiştir. Isı borusu kondenser bölgesine alüminyum soğutucu plaka monte edilmiştir. Bu soğutucu plaka üzerine, ısı transfer yüzey alanını artırmak için kanatçıklı yapılar yerleştirilmiştir. Kanatçıklı yapıların profili dikdörtgen şeklinde olup, 35 mm kalınlığında ve 2 mm genişliğindedir. Şekil 3.8'de ısı borulu soğutucu plaka modeli verilmiştir. Isı borularının içinde, kapiler etki ve ısı iletkenliği sağlaması için *Sintered Powder* adı verilen Sinterlenmiş Metal Fitol yapısı kullanılmıştır. Sinterlenmiş Metal Fitol yapısı, metal partiküllerinin kalıplarda preslenerek şekil verilmesi ve fırınlarda sinterlenmesi ile oluşmaktadır. Isı borularında, dış duvar malzemesi olarak ısı iletim katsayısı oldukça yüksek olan bakır malzemesi, çalışma akışkanı olarak da saf su kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Isı borulu soğutucu plaka prototipi.

Bu çalışmada ısı borulu soğutucu plakaya monte etmek üzere 25 W güce çıkabilen 4 adet Lumileds Luxeon 1208 model COB LED paketi kullanılmıştır. COB LED paketlerinin enerji beslemesi için LED'lere lehim yoluyla bağlantı yapılmıştır. Lehim yaparken lehim sıcaklığının 300 °C'yi geçmemesine ve enerji beslemesi yapılırken kablolardan yüksek oranda akım geçeceğinden çok ince kablolarla bağlantı yapılmamasına dikkat edilmiştir. LED'leri çalıştırmak için paralel bağlama yapılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. LED paketlerinin elektriksel bağlantısı.

Sistemde kullanılan LED paketinin özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. LED paketi ve soğutucu plakanın boyutları ve termal iletkenlikleri

	Genişlik (mm)	Boyut (mm)	Malzeme	Termal İletkenlik (W/m.K)
LED Çipi	0,5	R=17,5	GaN	130
Elektronik Devre Kartı	1	20x24	PCB	24
TIM	0,05	"	Termal ara yüzey malzemesi	8
Soğutucu Plaka	15	80x80	Alüminyum 6061	202

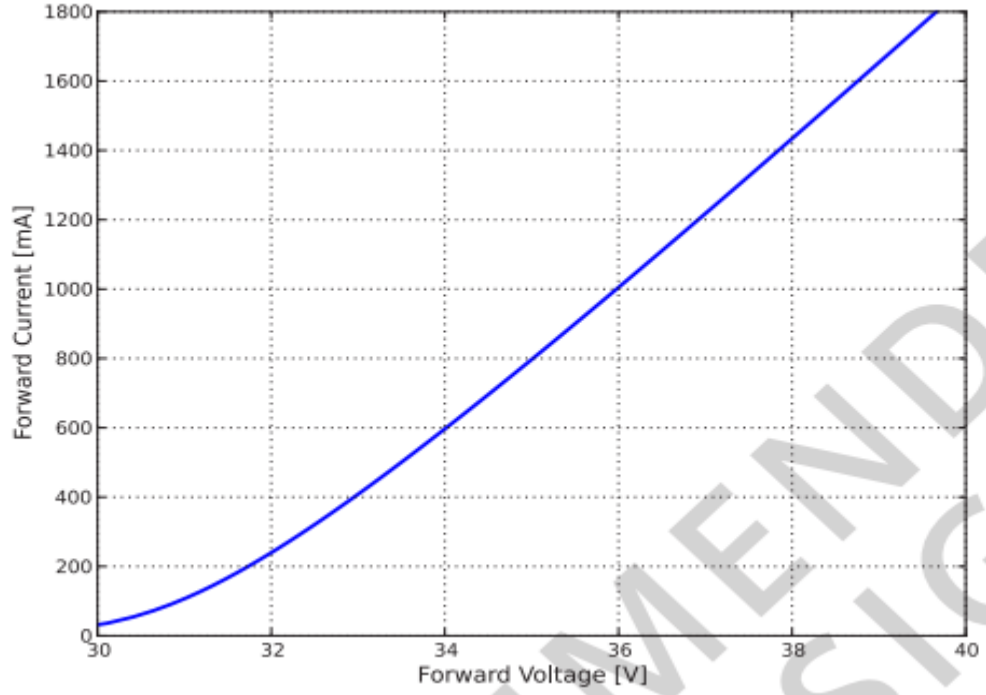
LED çipi ve bakılı devre kartından (PCB) oluşan LED paketi ile soğutucu plaka arasında termal ara yüzey malzemesi bulunmaktadır. Elektriksel bağlantısı yapılan LED'lerin çalıştırılması için, 60 volt gerilim ve 5 amper akıma kadar güç sağlayan TT-T-ECNİ-C RXN 605D model ayarlanabilir güç kaynağı kullanılmıştır (Şekil 3.10).



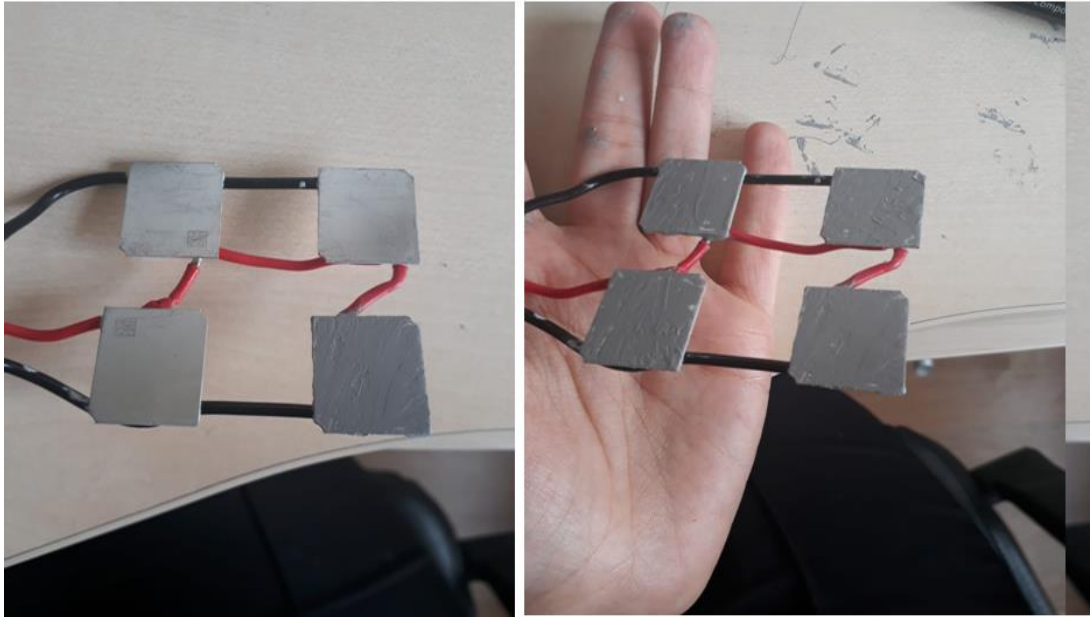
Şekil 3.10. TT-T-ECNİ-C RXN 605D ayarlanabilir güç kaynağı.

Lumileds Luxeon 1208 COB LED'lerin veri föyündeki gerilim ve akım diyagramından (Şekil 3.11) faydalanılarak, her bir LED'te 25 W'lık güç elde etmek için yaklaşık 0,720 mA akım ve 34,5 V'luk bir gerilim uygulanması düşünülmüştür. LED'ler paralel bağlandığı için güç kaynağına $0,720 \times 4 = 2,880$ Amper değerinde akım ve 34,5 V değerinde gerilim değeri girilmiştir.

Elektronik soğutmada içinde ısı üretimi olan elektronik bileşen ile soğutucu plaka arasında bulunan hava boşlukları, elektronik bileşenden soğutucu plakaya olan ısı geçişini olumsuz etkiler. Ara yüzey arasındaki termal direnci azaltmak için termal ara yüzey malzemesi kullanılır. Saf metaller hariç termal ara yüzey malzemeleri, termal olarak iletken olan polimer veya silikon matris parçacıklardan oluşur (Gwinn, 2003). Orta derece bir iletkenlik sağlayabilmek için termal ara yüzey malzeme kalınlığı kullanım yerine göre 2 ila 25 nm arasında değişir (Schelling Patrick, 2005).



Şekil 3.11. Tipik ileri akım ve ileri voltaj grafiği (URL-10).



Şekil 3.12. LED paketlerine termal macun uygulaması.

Deneysel çalışmada, soğutucu plaka üzerine LED'ler monte edilirken, soğutucu plaka ve LED paketi arasındaki hava boşluklarını önlemek ve ısı iletkenliği artırmak için 8 W/m.K'lık ısı iletkenliğe sahip termal macun kullanılmıştır. Şekil 3.12'de termal ara yüzey malzemesinin LED paketlerine uygulanması gösterilmiştir. Termal macunun,

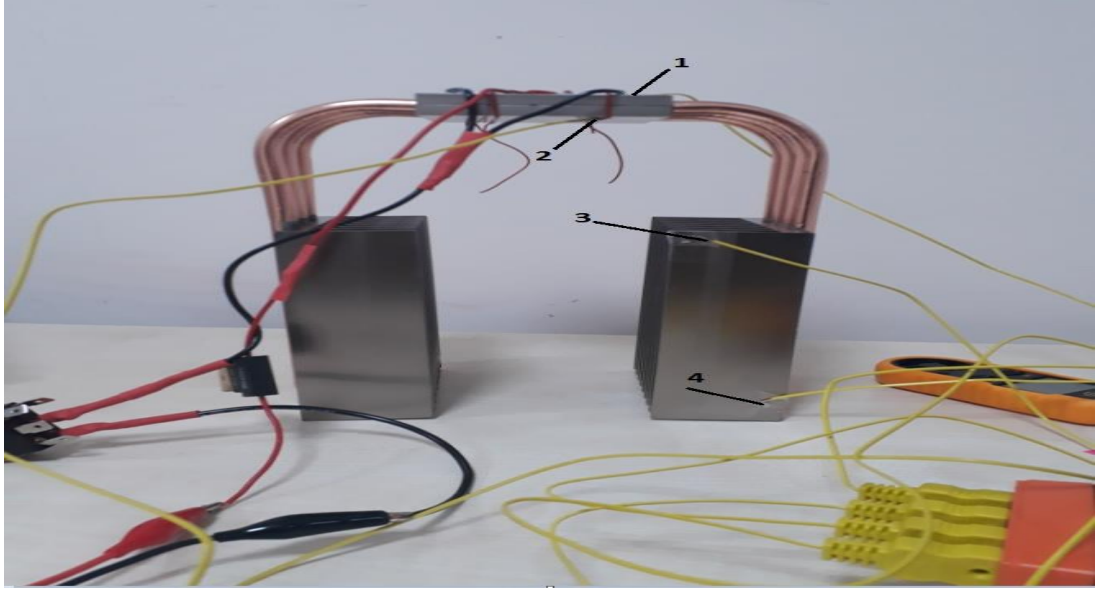
her bir LED'in yüzeyine ince bir tabaka halinde homojen olarak sürülmesine dikkat edilmiştir.

Sistemi çalıştırırken olası bir akım artışından LED'lerin etkilenmemesi için elektriksel devreye 3 amperlik bir bıçak sigorta (Şekil 3.13-a) ve yine olası bir tehlike durumunda erken müdahale etmek için sisteme bir on-off düğmesi (Şekil 3.13-b) yerleştirilmiştir.



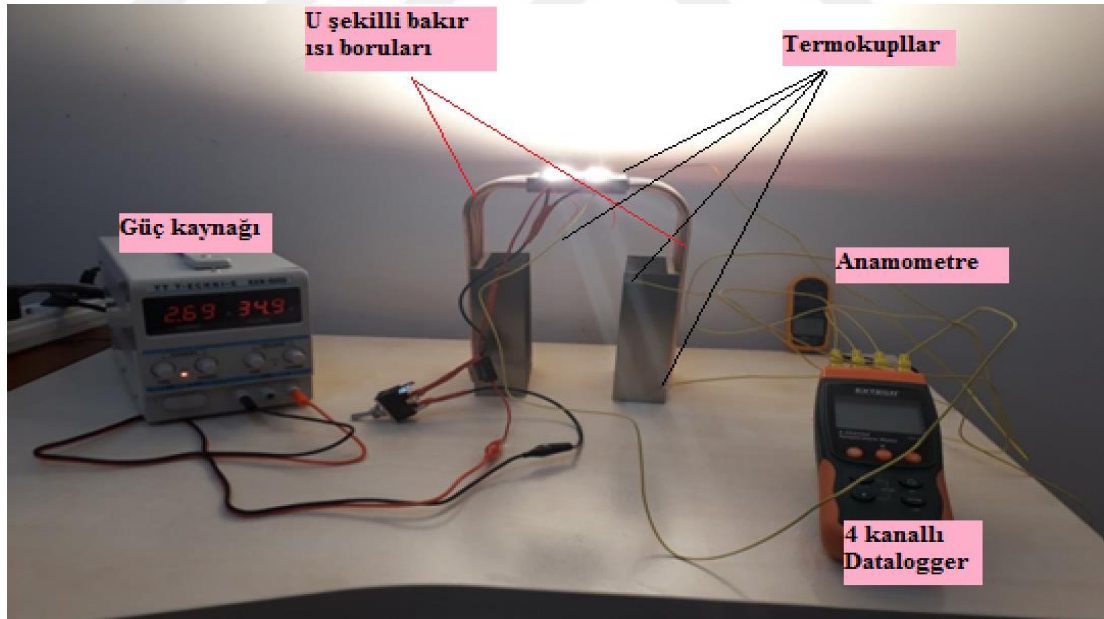
Şekil 3.13.a. Bıçak sigorta ve sigorta yuvası, **b.** On-off düğmesi.

Sıcaklık ölçümü yapmak için 4 adet K tipi termokupl kullanılmıştır. Sıcaklık ölçüm değerlerini belirli zaman aralıklarıyla kaydetmek için termokupllar, Extech SDL200 marka veri toplayıcısına bağlanmıştır. LED'lere güç verildikten sistemin ısı dengeye gelmesi beklenmiştir. Şekil 3.14'de belirtilen noktalara monte edilen termokupllar sayesinde sıcaklık değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.14. Termokupl ölçüm noktaları.

Ölçümler yapılırken ortam sıcaklığı $24,7 \pm 0,3$ °C ve hava hızı 0,1 m/s olarak bir anemometre tarafından ölçülmüştür. Şekil 3.15'de deney düzeneğinin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.15. Deney düzeneğinin görüntüsü.

3.3 M1 ve M2 Aydınlatma Sınıfı

Yol, cadde ve sokak aydınlatmalarında, yol tipleri aydınlatma sınıflarına ayrılmıştır. Bunlar M1, M2, M3, M4 ve M5 olarak adlandırılmıştır. Farklı aydınlatma sınıfları

için yolun ortalama parıltısı, ortalama düzgünlük, boyuna düzgünlük, bağıl eğik artışı ve çevreleme oranının belirli standartlarda olması istenmektedir. M1 ve M2 aydınlatma sınıflarını içeren yol tanımı Çizelge 3.6'da verilmiştir. Bu çalışmada M1 ve M2 aydınlatma sınıflarına uygun, yüksek güçlü LED paketleri tasarlanmıştır (TEDAŞ-MLZ/95-009.B).

Çizelge 3.6. M1 ve M2 aydınlatma sınıfı yol tanımı.

Yol Tanımı	Aydınlatma Sınıfı
Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü, kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dâhil)	
- Hız $\geq$ 90 km/sa;	M1
- Hız < 90 km/sa;	M2
Şehiriçi ana güzergâhlar (bulvarlar ve caddeler; ring yolları; dağıtıcı yollar)	
-50 km/sa $\leq$ Hız < 90 km/sa; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var;	M1
-50 km/sa $\leq$ Hız < 90 km/sa; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M2

TEDAŞ'ın LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartname'sinde verilen fotometrik özelliklere göre LED'ler seçilmiştir. Bu özellikler;

1. LED'li armatürlerin tasarımında kullanılan LED paketlerin renk sıcaklıkları (CCT) 4000 K $\pm$ % 5 olacaktır.
2. LED'li armatürlerin tasarımında kullanılan LED paketlerin renksel geri verim endeksi (CRI) en az 70 olacaktır.
3. LED'li armatür etkinlik faktörü minimum 115 lm/W olacaktır.

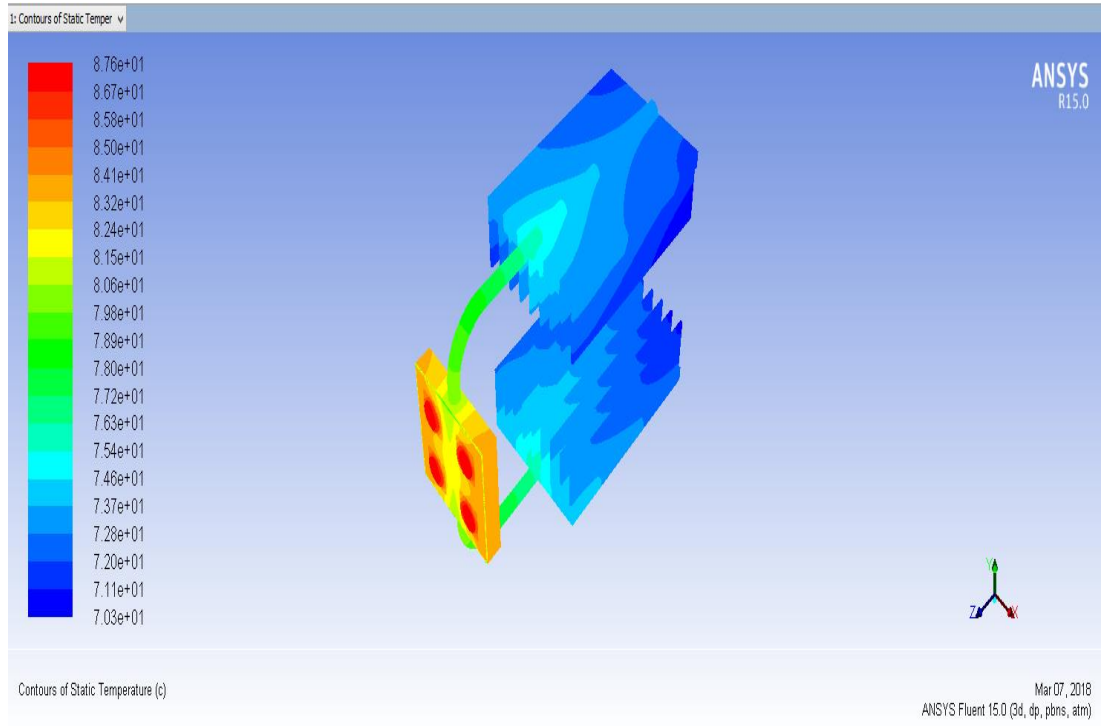
3.3.1 LED seçimi

Bu çalışmada, TEDAŞ'ın LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi' ne uygun olarak 25 W'lık 4 eş LED seçilmiştir. Bunun için LUMİLEDs Luxeon COB 1208 model, L2C5-40801208F1500 parça numaralı LED çipi kullanılmıştır. ANSYS Workbench'de LED'i modelleyebilmek için LED veri sayfasındaki teknik çizimlerden faydalanılmıştır.

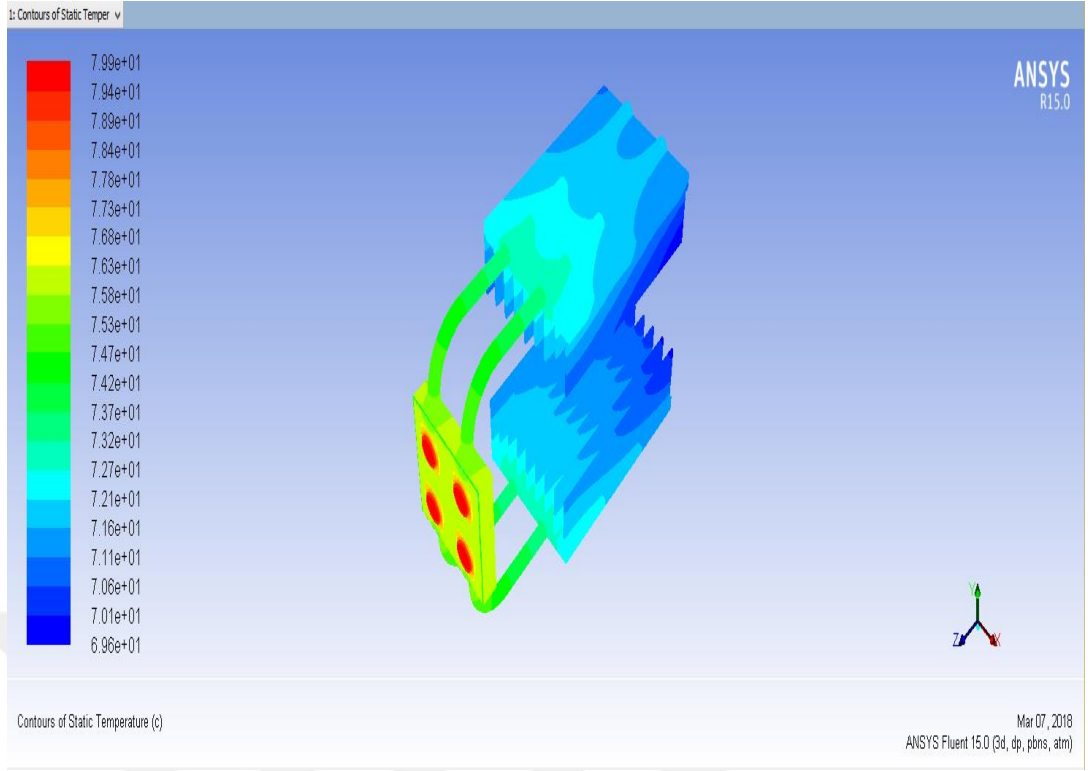
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Sayısal Analiz Sonuçları

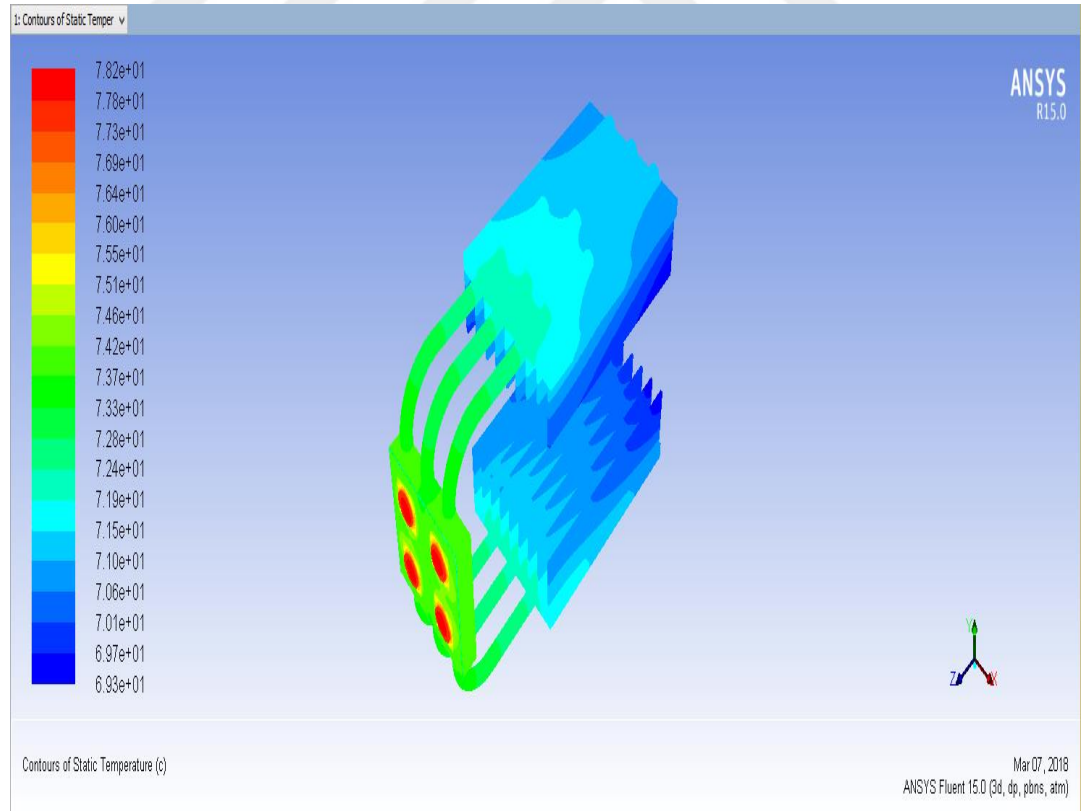
Elektronik sistemlerin soğutulması için tasarlanan sistemin geometrisi ve kullanılan malzeme oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında sistemi oluşturan bileşenlerden LED paketi, ısı borusu, ısı borusuna entegre edilen soğutucu plaka ve kanatçık geometrilerinin farklı parametrelerde sistemin termal dirence ve LED maksimum sıcaklığa etkisi incelenmiştir. İlk olarak, ısı borusu sayısının tüm sistemin sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisini incelemek için modelin tek, çift ve dörtlü ısı boruları modelleri tasarlanmış ve her biri aynı sınır koşulları altında sayısal olarak analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 4.1'den Şekil 4.4'e kadar verilmiştir. Buna göre tek ısı borulu sistemde maksimum sıcaklık, 87,6 °C, çift ısı borulu sistemde, 79,9 °C, üç ısı borulu sistemde, 78,2 °C ve dörtlü sistemde 77,2 °C olarak belirlenmiştir. Buna göre ısı borusu sayısı arttıkça LED'lerdeki maksimum sıcaklığın düştüğü görülmüştür. Tek ısı borulu sistem ile çift ısı borulu sistem arasındaki sıcaklık farkı 7,7 °C iken, üç ve dörtlü ısı borulu sistemlerdeki maksimum sıcaklık farkı 1 °C'ye kadar inmiştir. Maliyeti de göz önünde alınınca iki veya üç ısı borulu sistemin iyi bir termal tasarım için uygun olduğu görülmektedir.



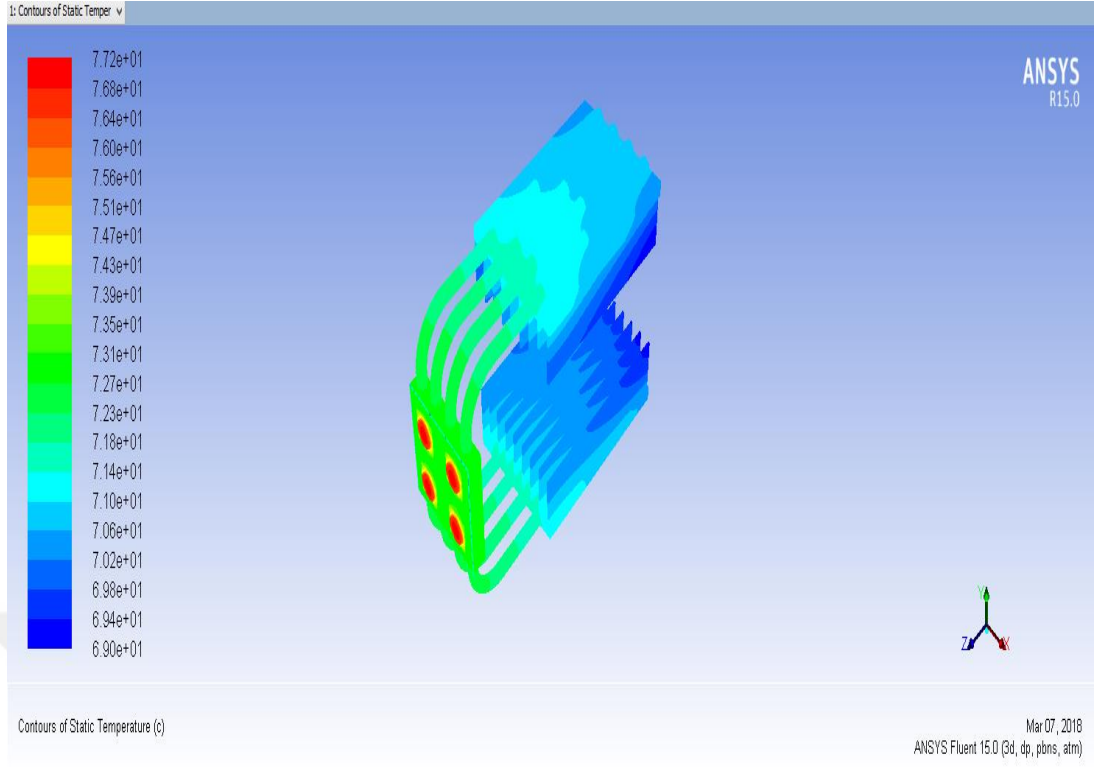
Şekil 4.1. Tek ısı borulu sistemin sıcaklık dağılımı.



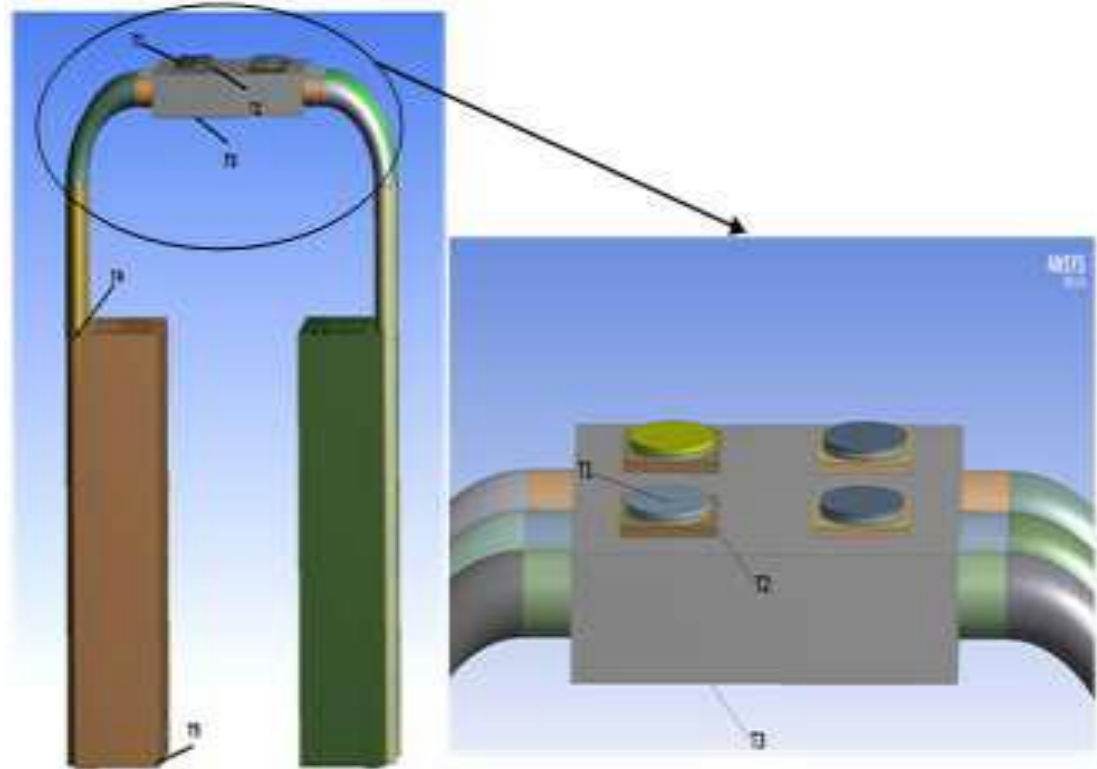
Şekil 4.2. Çift ısı borulu sistemin sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.3. Üç ısı borulu sistemin sıcaklık dağılımı.



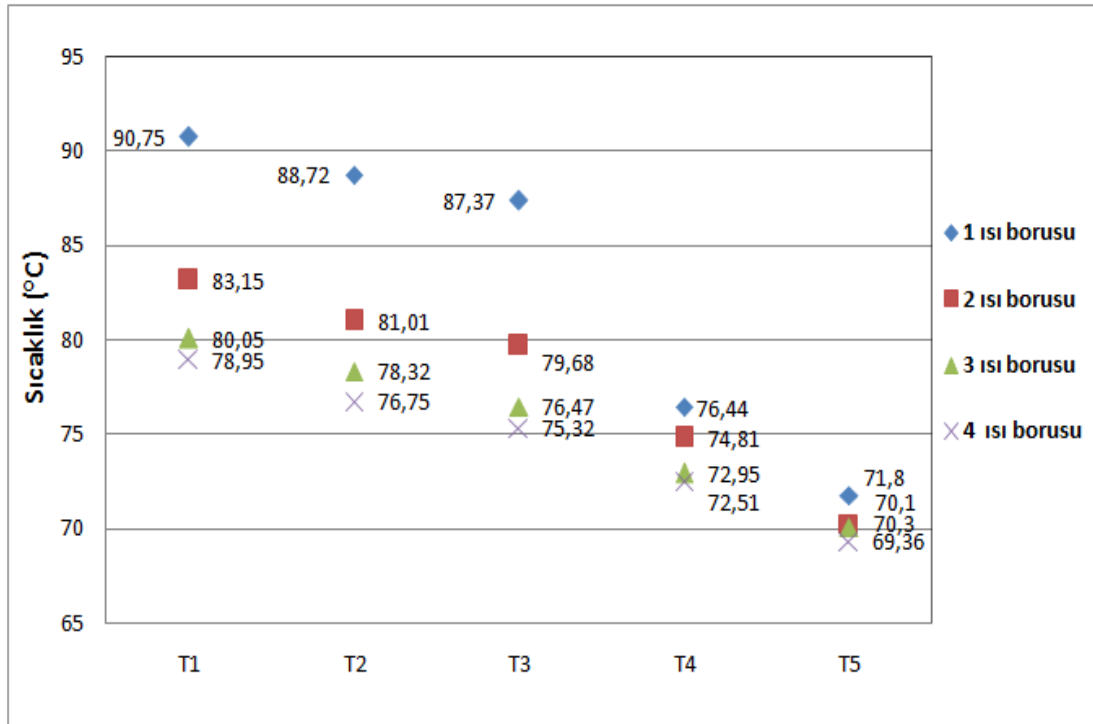
Şekil 4.4. Dört ısı borulu sistemin sıcaklık dağılımı.



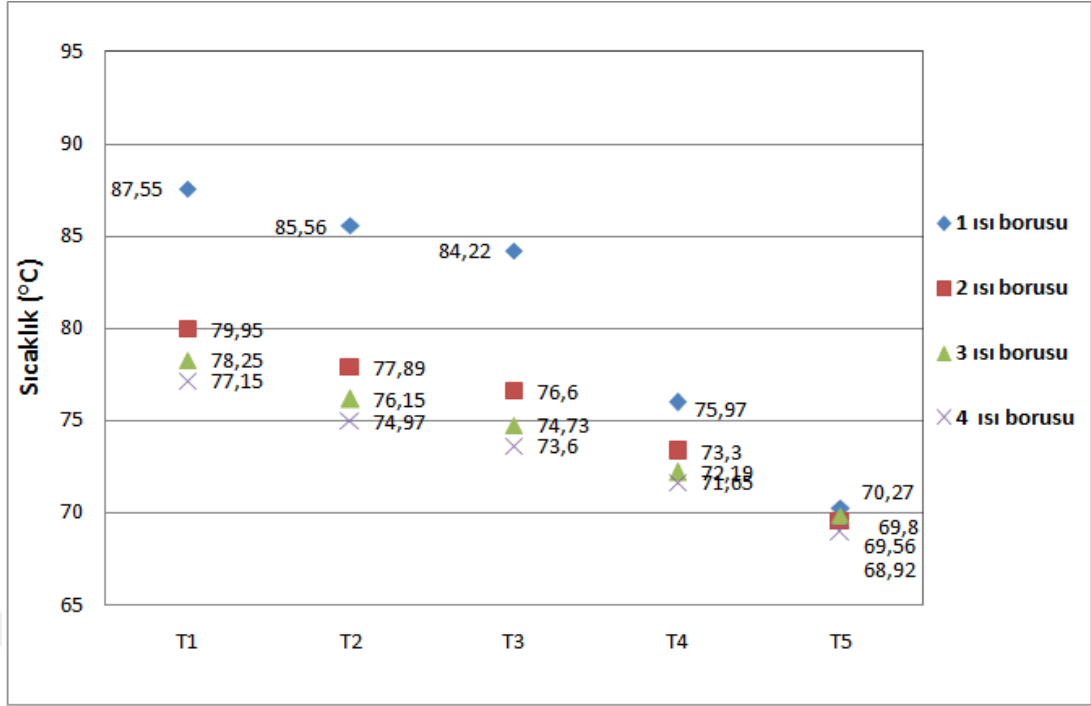
Şekil 4.5. Tasarlanan geometrideki belirtilen sıcaklık noktaları.

Buna göre T1 noktası, LED çipinde oluşan maksimum sıcaklığı, T2 noktası, elektronik veya baskılı devre kartının üst yüzeyinde oluşan sıcaklık, T3 noktası, evaporatör bölgesi sıcaklığı, T4 ve T5 ise sırasıyla soğutucu plaka ve kanatçıklı yapının alt ve üst köşelerindeki sıcaklıkları göstermektedir.

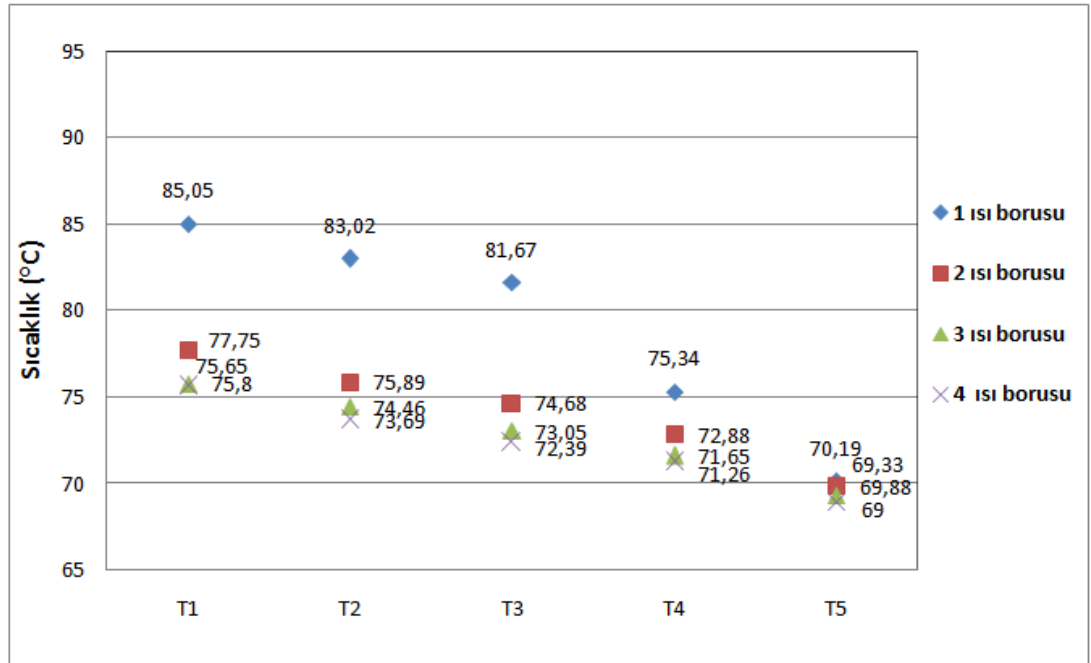
Isı borusu çapı, sistem sıcaklık dağılımını etkileyen başka bir parametredir. ANSYS Workbench'de ısı borusu çapları, 8 mm, 12 mm ve 14 mm olacak şekilde farklı ısı borusu sayıları için tek tek modellenmiş ve her biri ANSYS Fluent programında simüle edilmiştir. Buna göre Şekil 4.5'de belirtilen noktaların sıcaklık değerleri alınmış ve grafiklere aktarılmıştır. Şekil 4.6'dan Şekil 4.9'a kadar sırasıyla farklı ısı borusu sayıları için sistemin belirtilen noktalardaki sıcaklık değerleri verilmiştir. Buna göre boru çapı arttıkça, sistemde belirtilen noktalardaki sıcaklık değerinin de azaldığı görülmüştür.



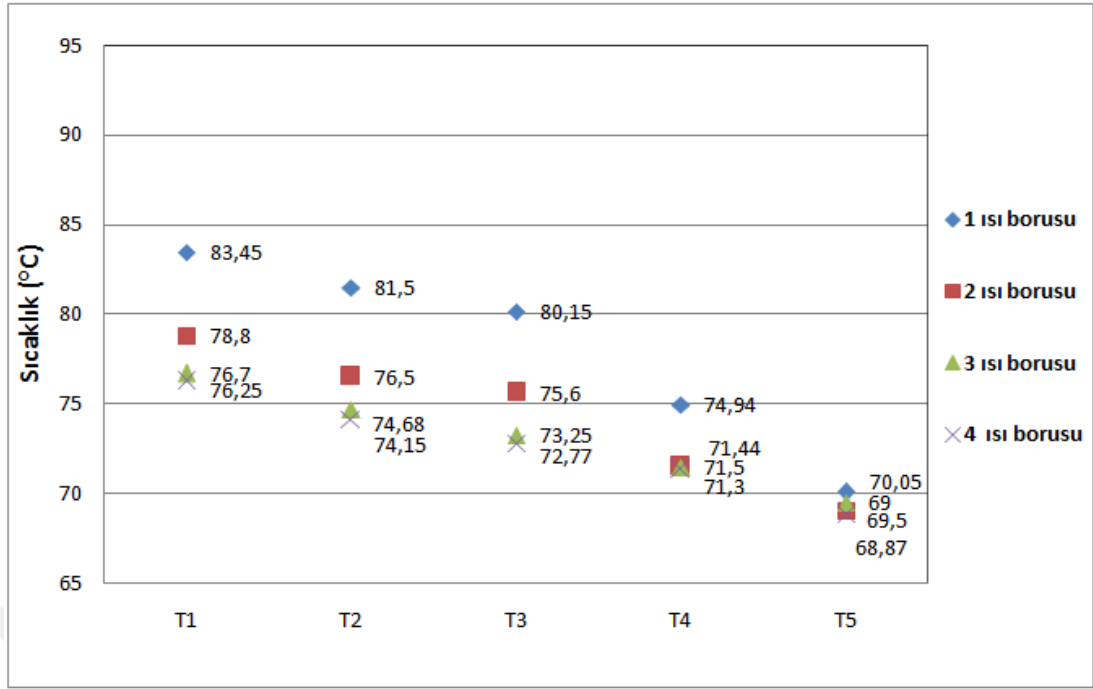
Şekil 4.6. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (8 mm boru çapı için).



Şekil 4.7. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (10 mm boru çapı için).

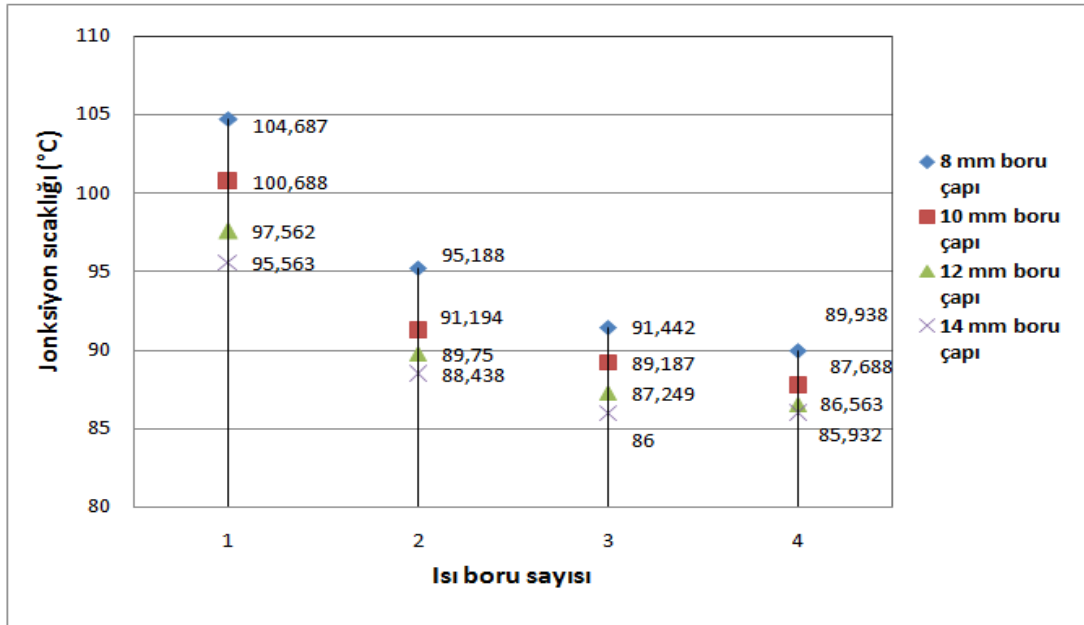


Şekil 4.8. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (12 mm boru çapı için).



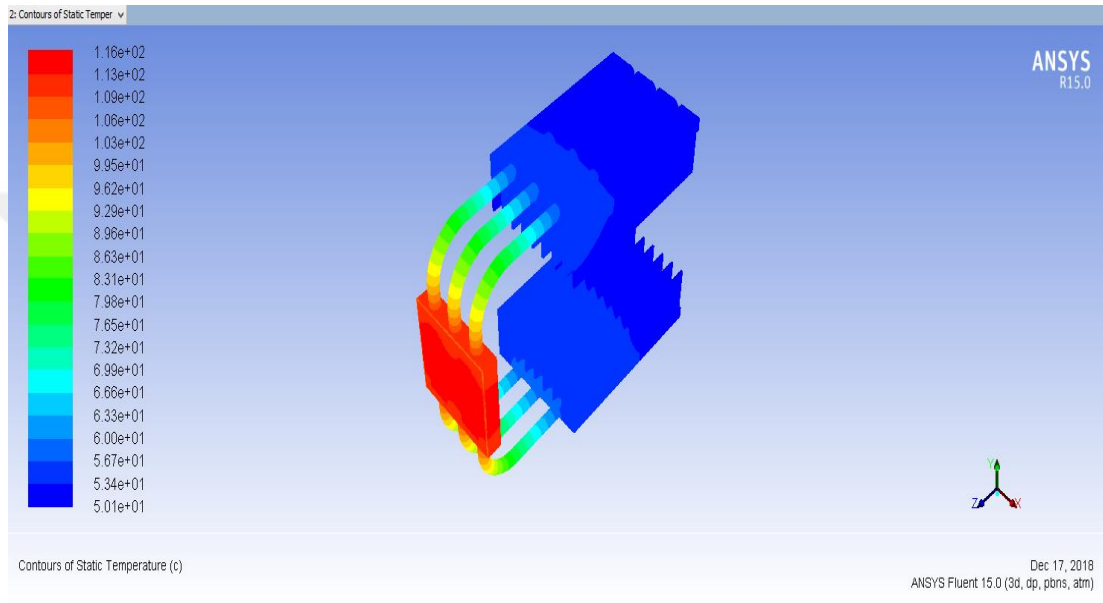
Şekil 4.9. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (14 mm boru çapı için).

LED ömrü ve ışık kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri olan LED jonksiyon sıcaklıkları, denklem (1.15)'ten faydalanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.10'da, farklı ısı boru sayısı ve çapları için LED jonksiyon sıcaklık değerleri verilmiştir.



Şekil 4.10. Sistemde ısı boru sayısının farklı boru çaplarına (8, 10, 12 ve 14 mm) göre jonksiyon sıcaklığına etkisi.

Sistemde, ısı borusunun etkisini görmek için ısı borusu yerine aynı geometrik özelliklerde alüminyum kolon olarak adlandırılan içi dolu alüminyum borular kullanılmıştır. Sistem benzer sınır şartlarında simüle edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen sistemin sıcaklık konturları Şekil 4.11’de verilmiştir. Buna göre alüminyum kolon ile tasarlanmış sistemin LED maksimum sıcaklığı 115 °C bulunmuştur. Isı borusu yerine alüminyum kolon kullanıldığında LED maksimum sıcaklığında yaklaşık 37 °C kadar bir artış görülmüştür.



Şekil 4.11. Alüminyum kolon ile modellenen sistemin sıcaklık dağılımı.

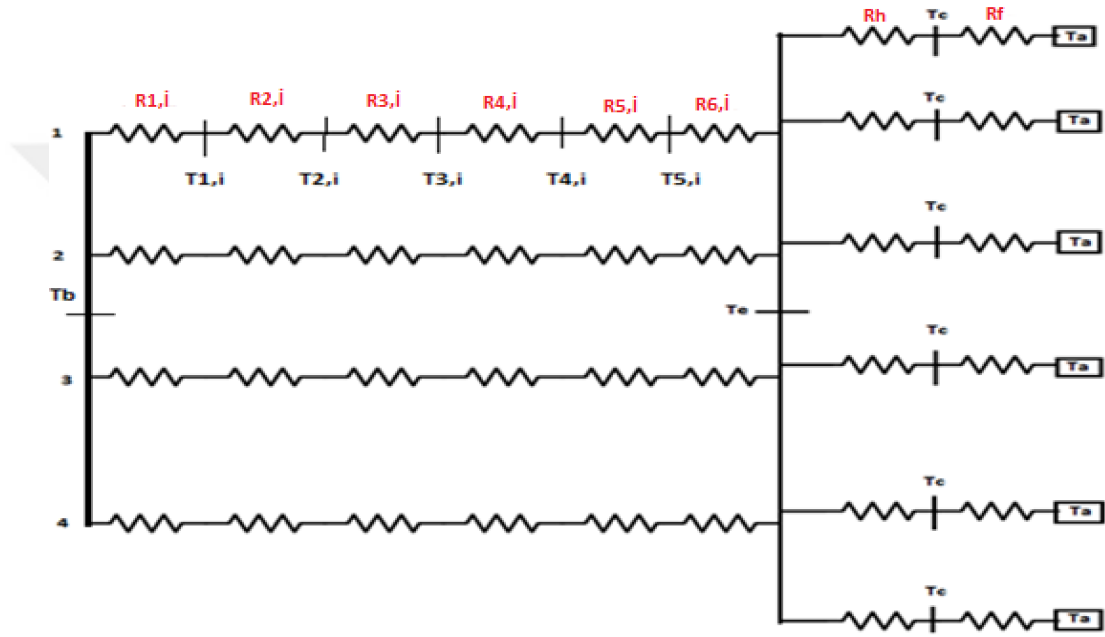
4.2 Termal Direnç Ağ Modeli

Termal direnç, karmaşık sistemleri görselleştirmek ve analizi kolaylaştırmak için bazı ısı transferi problemlerini elektriksel bir benzetme kullanarak analiz etmenin kolay bir yoludur. Termal direnç Ohm yasasındaki bir analogiye dayanmaktadır. Tasarlanan sistemin termal direnç ağ modeli Şekil 4.12’de verilmiştir. Buna göre sistemin toplam termal direnci hesaplanırken sistem ikiye ayrılmış ve LED çipinden soğutucu plakaya kadar olan kısmın toplam termal direnci R_{th1} olarak, ısı borusu ve kanatları kapsayan diğer kısmın toplam termal direnci ise R_{th2} olarak tanımlanmıştır. Toplam termal direnç, denklem (4.1)’de verilmiştir.

$$R_{th} = R_{th1} + R_{th2} \quad (4.1)$$

$$R_{LEDi} = R_{1,i} + R_{2,i} + R_{3,i} + R_{4,i} + R_{5,i} + R_{6,i} \quad (4.2)$$

R_{LEDi} sistemdeki 4 adet LED paketinin her biri için hesaplanan termal direnç değeridir. Genel olarak LED paketinin ısı akışını etkileyecek dışarıdan herhangi bir etki olmadığı durumlarda LED paketleri simetrik olarak yerleştiği için termal dirençler aynı olur. LED paketindeki bileşenler seri olarak dizildiği için R_{LEDi} denklem (4.2)'deki gibi hesaplanır.



Şekil 4.12. Tasarlanan sistemin termal direnç şeması.

$R_{1,i}$ sistemde LED çipinin üst ve alt yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından doğan termal direnci, $R_{2,i}$ sistemde metalizasyon malzemesinin (Au-Si) üst ve alt yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından doğan termal direnci, $R_{3,i}$ sistemde kalıp malzemesinin (silikon) üst ve alt yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından doğan termal direnci, $R_{4,i}$ sistemde kalıp bağlantı malzemesinin (Au-20Sn) üst ve alt yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından doğan termal direnci; $R_{5,i}$ sistemde elektronik devre kartının üst ve alt yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından doğan termal direnci; $R_{6,i}$ sistemde termal ara yüzey malzemesinin üst ve alt yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından doğan termal direnci temsil eder. R_{LEDi} hesaplanırken $R_{2,i}$, $R_{4,i}$ ve $R_{6,i}$ çok küçük değerlerde oldukları için ihmal edilir. T_b LED çipinde oluşan maksimum sıcaklığı, T_c ısı borusu evaporatör kısmının sıcaklığını, T_c kondenser bölgesinin ortalama sıcaklığını, T_a ise

ortam sıcaklığını temsil eder. Sisteme giren toplam güç 100 W olarak kabul edildiğinden ve bu değerin yüzde 80'i ısı güce dönüştüğünden, toplam ısı güç 80W olarak kabul edilir. LED paketlerindeki termal direnci hesaplarken her bir LED paketine etki eden ısı güç (Q_{i1}), $80 \text{ W} / 4 = 20 \text{ W}$ olarak kabul edilir. $R_{1,i}$ 'den $R_{6,i}$ 'ye kadar olan termal direnç hesapları sırasıyla denklem (4.3-4.8)'de verilmiştir.

$$R_{1,i} = \frac{T_b - T_{1,i}}{Q_{i1}} \quad (4.3)$$

$$R_{2,i} = \frac{T_{2,i} - T_{1,i}}{Q_{i1}} \quad (4.4)$$

$$R_{3,i} = \frac{T_{3,i} - T_{2,i}}{Q_{i1}} \quad (4.5)$$

$$R_{4,i} = \frac{T_{4,i} - T_{3,i}}{Q_{i1}} \quad (4.6)$$

$$R_{5,i} = \frac{T_{5,i} - T_{4,i}}{Q_{i1}} \quad (4.7)$$

$$R_{6,i} = \frac{T_e - T_{5,i}}{Q_{i1}} \quad (4.8)$$

Sistemde LED paketleri birbirine paralel bağlandığı varsayıldığı için R_{th1} denklem (4.9)'daki gibi hesaplanır.

$$R_{th1} = \left(\sum_{i=1}^4 \frac{1}{R_{LEDi}} \right)^{-1} \quad (4.9)$$

İkinci kısmın toplam termal direncinin hesabı için, öncelikle ısı borusunun evaporatörle kondenser kısmı arasındaki termal direnci $R_{h,i}$, (denklem 4.11) ve kanatçıklarla dış ortam arasındaki termal direnci $R_{f,i}$, (denklem 4.12) hesaplanır.

Sistemde U şeklinde 3 adet ısı borusu ve 6 adet kondenser bölgesi olduğundan R_{th2} , denklem (4.10)'daki gibi hesaplanır.

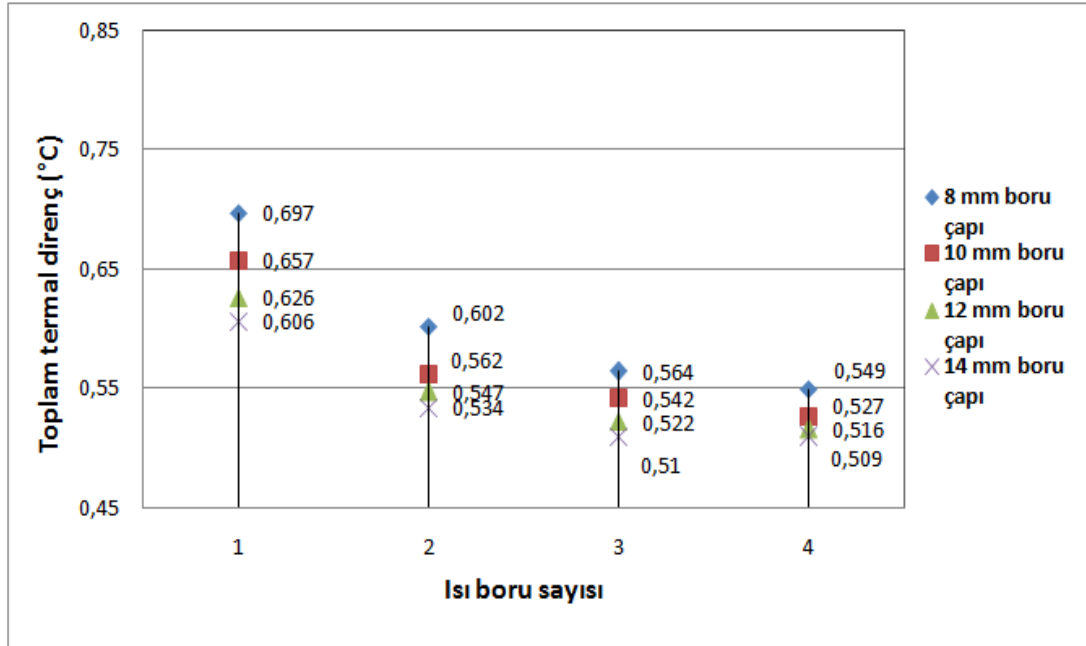
$$R_{th2} = \left(\sum_{i=1}^6 \frac{1}{R_{h,i} + R_{f,i}} \right)^{-1} \quad (4.10)$$

$$R_{h,i} = \frac{T_e - T_c}{Q_{i2}} \quad (4.11)$$

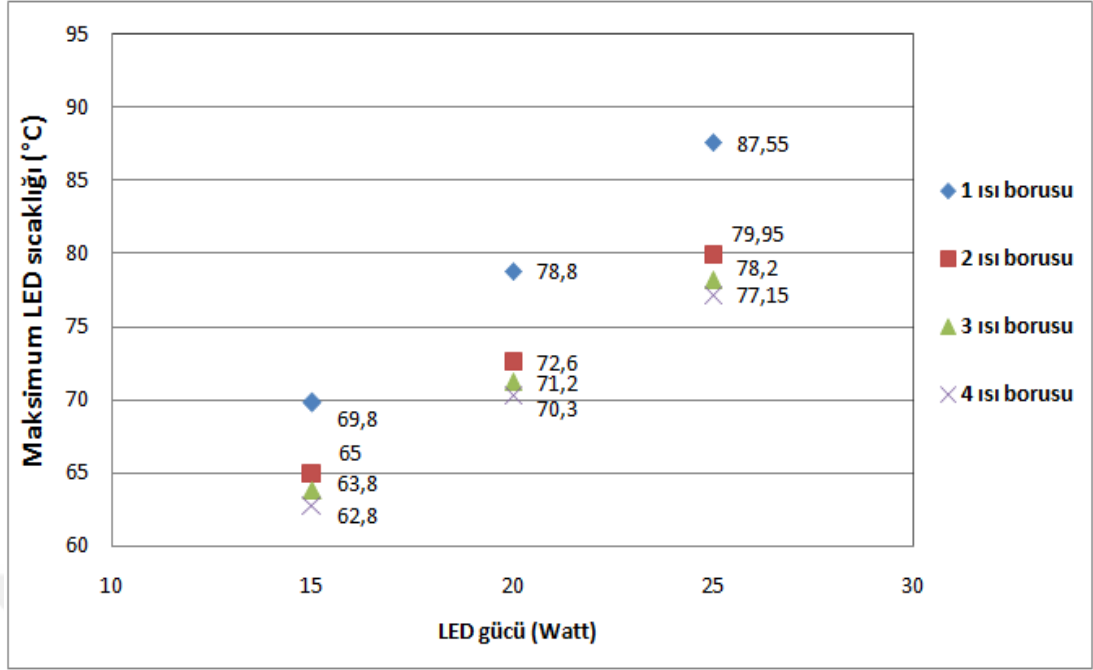
$$R_{f,i} = \frac{T_c - T_a}{Q_{i2}} \quad (4.12)$$

$R_{h,i}$ ve $R_{f,i}$ hesaplanırken, her bir kondenser kısmına $80 / 6 = 13,3$ W ısı gücün (Q_{i2}) etki ettiği kabul edilir.

Bu çalışmada, Şekil 4.11'de oluşturulan termal direnç ağ modelinden yola çıkarak ANSYS Fluent programından elde edilen veriler kullanılarak, farklı parametreler için toplam termal direnç değerleri (R_{th}) hesaplanmıştır. Şekil (4.14)'de farklı ısı borusu ve çaplarının termal dirence etkisi gösterilmiştir. Buna göre ısı borusu sayısı ve çapı arttıkça toplam termal direncin azaldığı görülmüştür.

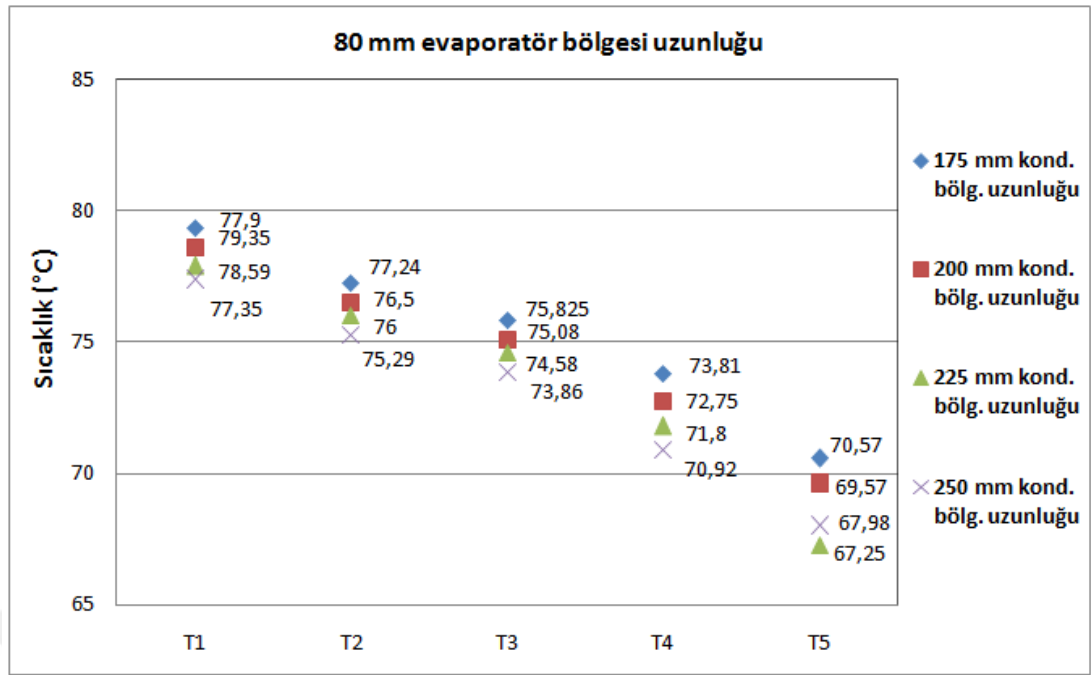


Şekil 4.13. Sistemde ısı borusu sayısının farklı boru çaplarına (8, 10, 12 ve 14 mm) göre toplam termal direnç etkisi.

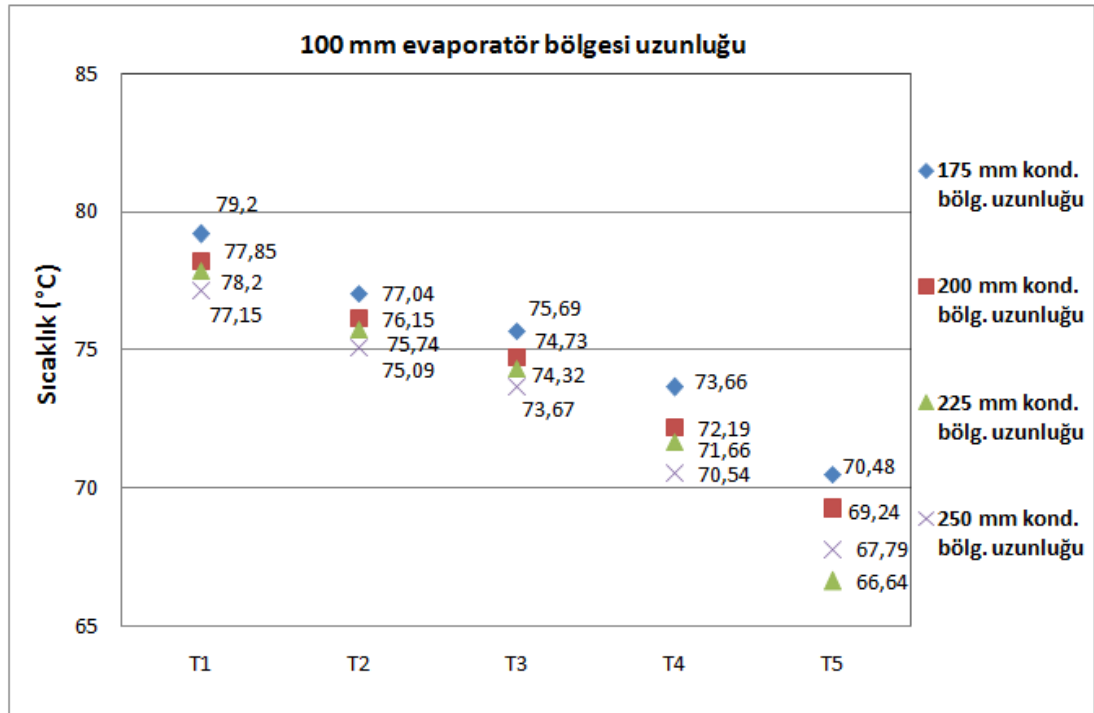


Şekil 4.14. Bir, iki, üç ve dört ısı borusuna sahip sistemlerde LED gücünün LED maksimum sıcaklığına etkisi.

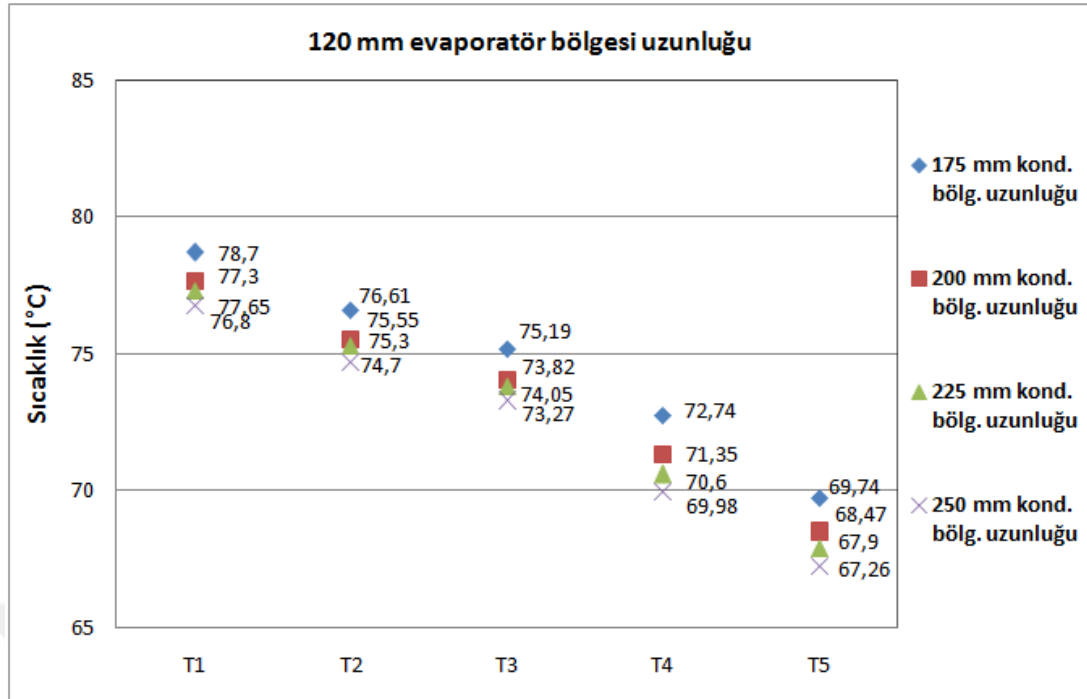
Tasarlanan sistemdeki ısı boruları, evaporatör, adyabatik ve kondenser bölgelerinden oluşmaktadır. Isı borusunu oluşturan evaporatör ve kondenser bölgelerinin uzunluklarının sistem sıcaklık dağılımlarına etkisi incelemek için 175 mm, 200 mm, 225 mm ve 250 mm uzunluklarında kondenser bölgesi modellenmiştir ve farklı evaporatör bölgesi uzunlukları için her biri tek tek aynı sınır koşullarında analiz edilmiştir. 80 mm, 100 mm ve 120 mm evaporatör uzunlukları için belirtilen noktalardaki sıcaklık değerleri grafiklere sırasıyla Şekil 4.15'ten Şekil 4.17'ye kadar aktarılmıştır. Buna göre 80 mm ve 100 mm evaporatör bölgesi uzunluklarında maksimum sıcaklığın hemen hemen aynı olduğu, 120 mm evaporatör bölgesi uzunluğunda ise çok az azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte kondenser uzunluğu arttıkça maksimum sıcaklığın azaldığı, bu azalmanın da her 25 mm'lik artışta yaklaşık 1 °C olduğu görülmüştür. Şekil 4.18'de ısı borusu evaporatör ve kondenser bölgelerinin jonksiyon sıcaklık değerine ve benzer şekilde Şekil 4.19'de ise toplam termal dirence etkisi verilmiştir.



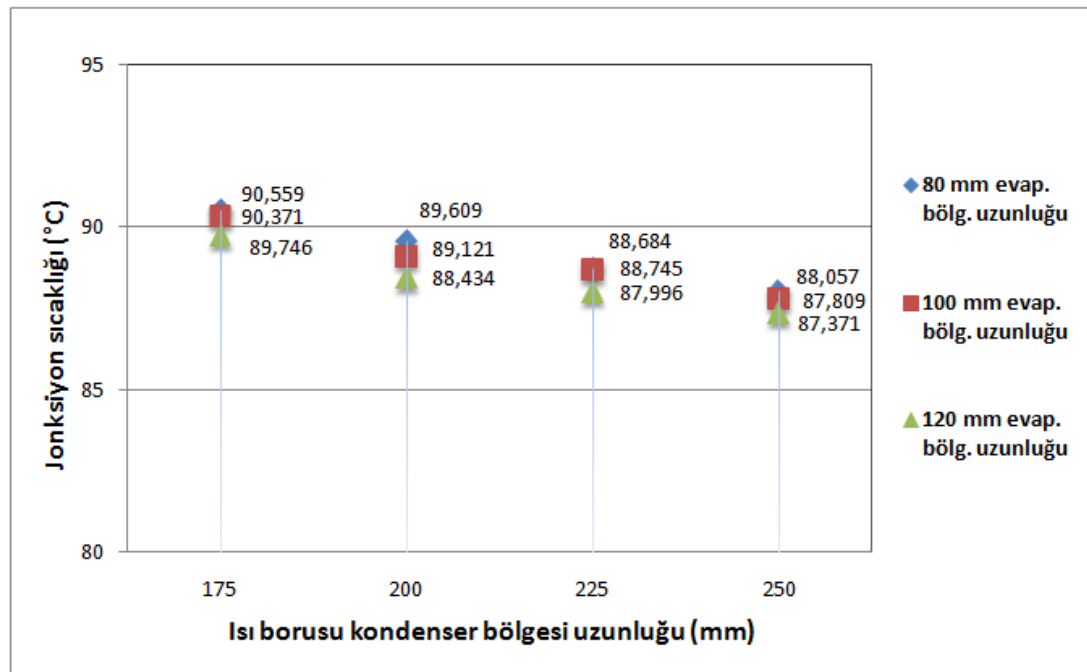
Şekil 4.15. Isı borusu kondenser uzunluğunun verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.



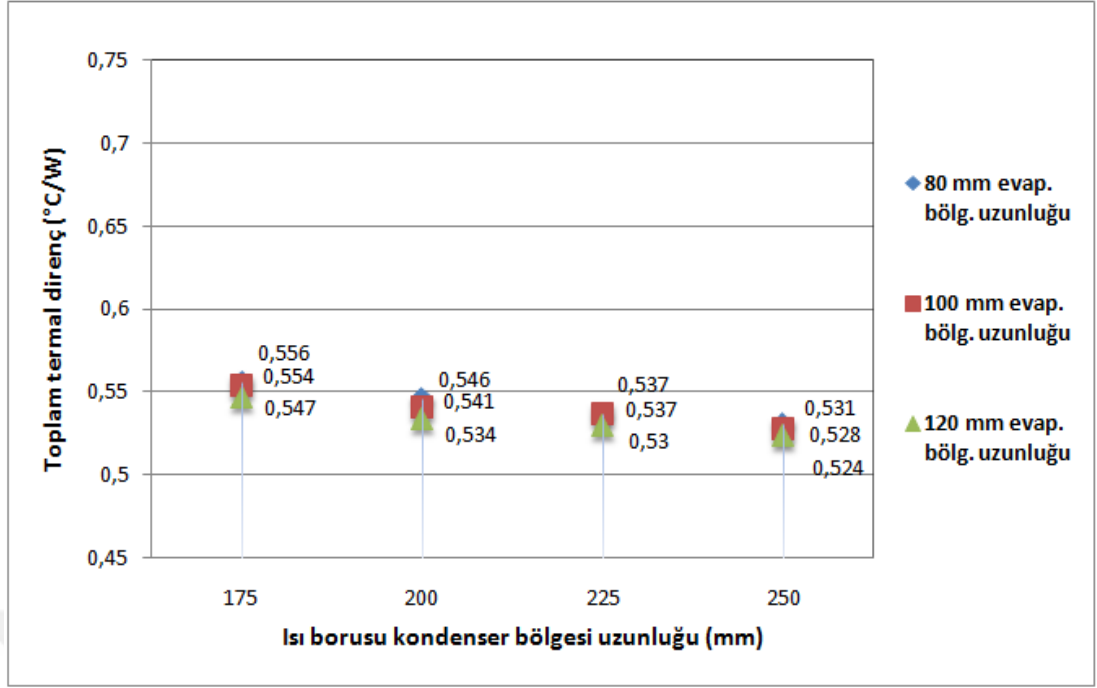
Şekil 4.16. Isı borusu kondenser uzunluğunun verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.



Şekil 4.17. Isı borusu kondenser uzunluğunun verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.



Şekil 4.18. Isı borusu kondenser uzunluğunun jonksiyon sıcaklığına etkisi.



Şekil 4.19. Isı borusu kondenser uzunluğunun toplam termal dirence etkisi.

4.3 Optimum Kanatçık Aralığı

Soğutucu plaka üzerindeki kanatçıkların arasındaki mesafenin, kanatçıklardan aktarılan ısı transferini etkilediğinden dolayı optimum geometrilerinin belirlenmesi gereklidir. Yüzeyler arası bu mesafe ne çok fazla ne de az olmalıdır çünkü mesafe fazla olduğunda yüzey boyunca oluşan sınır tabakalar birbirine girmez. Bu durumda kanatçığın her birinin ısı transfer katsayısı tek olarak yerleştirilmiş bir kanatçığına aynı olacaktır. Kanatçıklar arasındaki mesafe az olduğunda ise bitişik kanatlara ait sınır tabakalar birleşirler. Isı transfer katsayısı, tek olarak yerleştirilmiş bir kanatçığın ısı transfer katsayısının altına düşer. Elenbaas, (1942) tarafından, sabit yüzey sıcaklığına sahip izotermal paralel kanatçıkların yüzeylerinde oluşan ortalama ısı transfer katsayılarının hesaplanması ve kanatçıklar arasındaki optimum mesafenin belirlenmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Elenbaas, Nu ve Ra sayılarının hesaplanmasına ilişkin eşitlikleri ortaya çıkarmıştır. Bu eşitlikler sırasıyla denklem (4.13) ve denklem (4.14)'te verilmiştir.

$$Nu = \frac{Ra}{24} * (1 - e^{\frac{-35}{Ra}})^{0.75} = \frac{h \times b}{k} \quad (4.13)$$

$$Ra = \frac{q^2 * g * \beta * C_p * b^4 * \Delta T}{\mu * k * L} \quad (4.14)$$

Yapılan hesaplamalarda h, ortalama ısı transfer katsayısı, k, Cp, μ ve q sırasıyla havanın film sıcaklığındaki ısı iletim katsayısı, özgül ısı kapasitesi, dinamik viskozite ve yoğunluk değerleri olarak alınmıştır. ΔT kanatçık sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farktır. Kanatçıklar arasındaki mesafe b, kanatçık uzunluğu ise L olarak tanımlanmıştır. Kanatçıkların ısı taşınım katsayısını hesaplamak için yüzey sıcaklığı sabit alınmıştır. Kanatçık tabanındaki boyutlar, sabit tutularak kanatçık sayıları ve arasındaki mesafe değiştirilerek hesaplamalar yapılmış ve optimum bir geometri oluşturmak istenmiştir.

Elenbaas formülasyonlarıyla kanatçıklar arasındaki optimum mesafe denklem (4.15)'te verilen eşitlikteki gibi hesaplanabilir.

$$b_{opt} = (2.659) * \left(\frac{\mu * k * L}{g * \beta * C_p * \Delta T} \right)^{0.25} * q^{-0.5} \quad (4.15)$$

Elenbaas formülasyonu kullanılarak tasarlanan sistem için optimum kanatçıklar arası mesafe hesaplanmıştır. Kanatçık yüzey sıcaklığı sabit 75 °C ve ortam sıcaklığı 35 °C olarak varsayılmıştır. Buna göre havanın film sıcaklığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$T_f = (T_s + T_a)/2 = (75 + 35)/2 = 55^\circ\text{C} + 273.15 = 328.15 \text{ K}$$

$$\beta = 1/T_f = 0.003047(1/\text{K})$$

55°C olarak hesaplanan film sıcaklığı kullanılarak havanın diğer termo-fiziksel özellikleri tablodan (Cengel, 2011c) bulunmuştur.

$$\mu = 1,9855 * 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

$$k = 0,027715 \text{ W/m.k}$$

$$q = 1,0755 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1007 \text{ J/kg.K}$$

$$\nu = 1,847 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\rho = 0,7215 \text{ kg/m}^3$$

Yukarıdaki parametreler kullanılarak b_{opt} değeri 7,38 mm bulunmuştur. Kanatçıklar arası mesafe arttıkça ortalama ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısının nasıl değiştiğini görmek için her bir b (kanatçık arası mesafe) değeri için h ve Nu sayıları hesaplanmıştır.

Elenbaas'ın yaptığı çalışmalara ek olarak 1984 yılında Bar-Kohen ve Rohsenow'u yaptıkları çalışmalara göre Nu ve Ra sayılarının hesabında farklı eşitlikler sunmuşlardır. Bu eşitlikler sırasıyla denklem (4.16) ve denklem (4.17)'de verilmiştir.

$$Nu = \left[\frac{576}{\left(\frac{Ra \cdot b}{L}\right)^2} + \frac{2.873}{\left(\frac{Ra \cdot b}{L}\right)^{0.5}} \right]^{-0.5} = \frac{h \times b}{k} \quad (4.16)$$

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_s - T_a) * b^3 * \rho}{\nu^2} \quad (4.17)$$

Bar-Kohen ve Rohsenow, (1984)' a göre artırılmış yüzeylerin arasındaki optimum mesafenin hesabı denklem (4.18)'de verilmiştir.

$$b_{opt} = 2.714 * \left(\frac{b^3 * L}{Ra} \right)^{0.25} \quad (4.18)$$

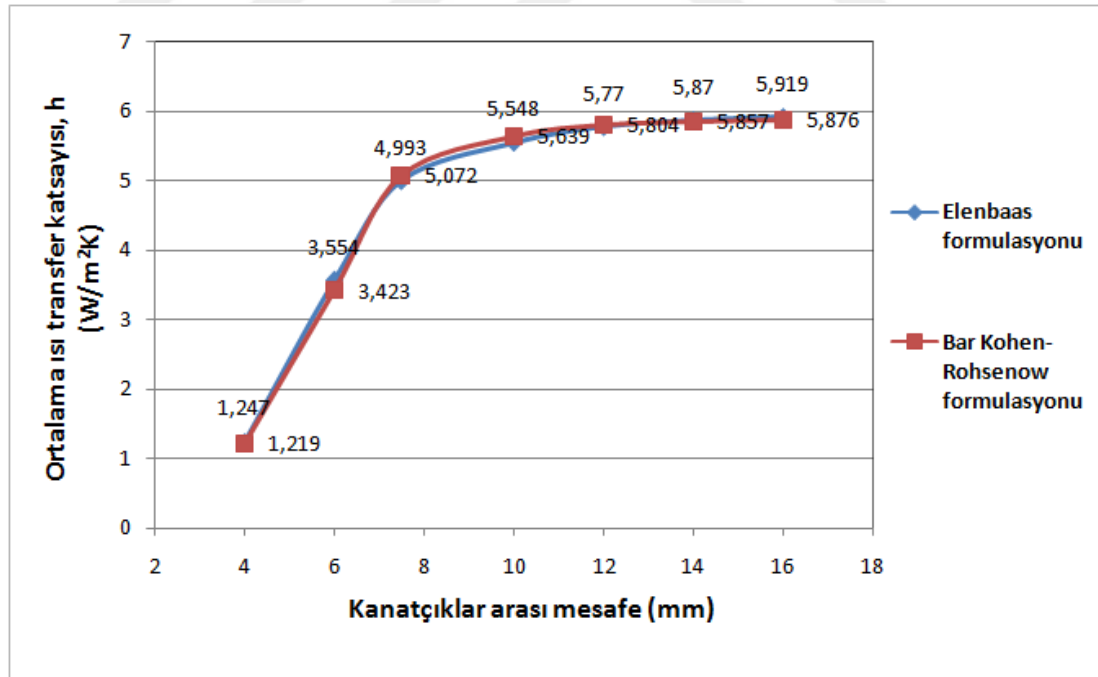
Bar-Kohen ve Rohsenow'un verdiği eşitliğe göre hesaplanan b_{opt} değeri 7,53 mm olarak bulunmuştur. Daha sonra yukarıda verilen havanın termofiziksel özellikleri kullanılarak her bir b değeri için h , Ra ve Nu sayıları hesaplanmıştır. Şekil 4.20'de ortalama ısı transfer katsayısının, kanatçıklar arası mesafeye göre değişimi hem Elenbaas hem de Bar-Kohen ve Rohsenow eşitliklerine göre verilmiştir. Şekil 4.21'de Ortalama Nusselt sayısının, Rayleigh sayısının göre, Şekil 4.22'de ise kanatçık arası mesafeye göre değişimi yine her iki eşitliğe göre verilmiştir. Buna göre kanatçıklar arası mesafe arttıkça ortalama ısı transfer katsayısının belirli bir değere kadar arttığı daha sonra yakınsadığı, Nusselt sayısının ise artırılmış yüzey aralığıyla orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Taşıymımla ısı transferinde transfer edilen ısıl güç denklem (4.19)'dan hesaplanır.

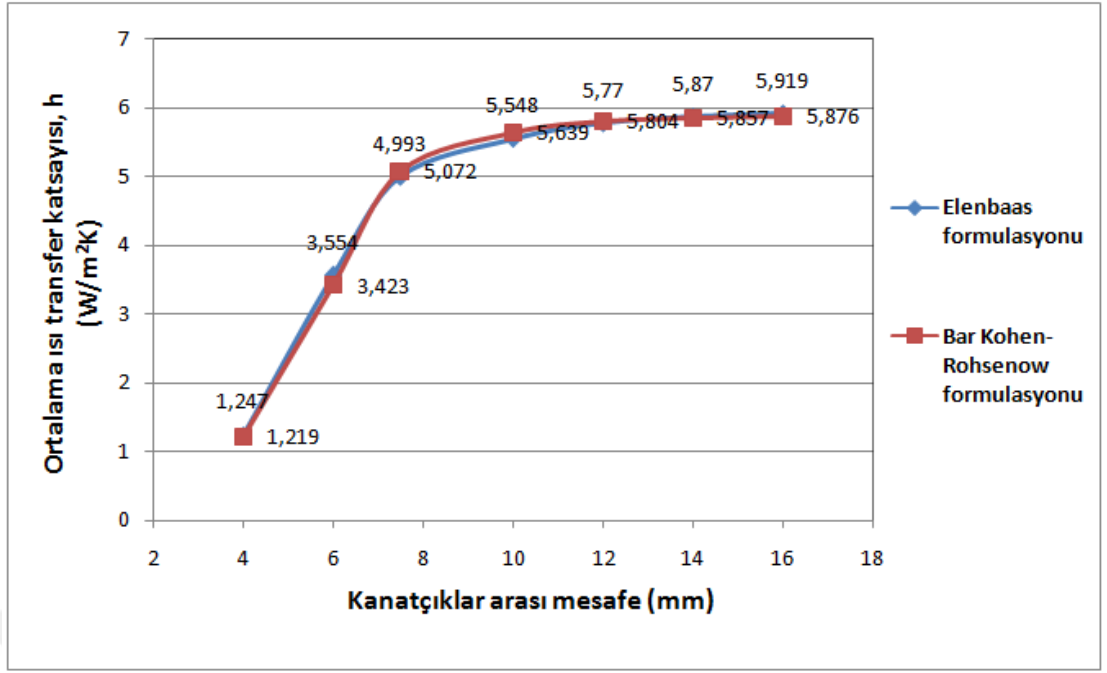
$$Q = h * A * \Delta T \quad (4.19)$$

Buna göre transfer edilen ısıl güç, sabit sıcaklık farkında, ortalama ısı transfer katsayısı ve toplam yüzey alanına bağlıdır. Ortalama ısı transfer katsayısı arttıkça her zaman transfer edilen ısıl güç artmayabilir. Eğer ısı transfer katsayı arttıkça toplam yüzey alanı daha fazla azalıyorsa, transfer edilen ısıl güç azalabilir. Bu yüzden her kanat profili için optimum bir kanatçıklar arası mesafe hesaplanmalıdır. Şekil 4.23'de görüldüğü gibi kanatçıklar arası mesafenin hesaplanan optimum aralığında kanatlardan en fazla ısıl güç transfer edilmiştir.

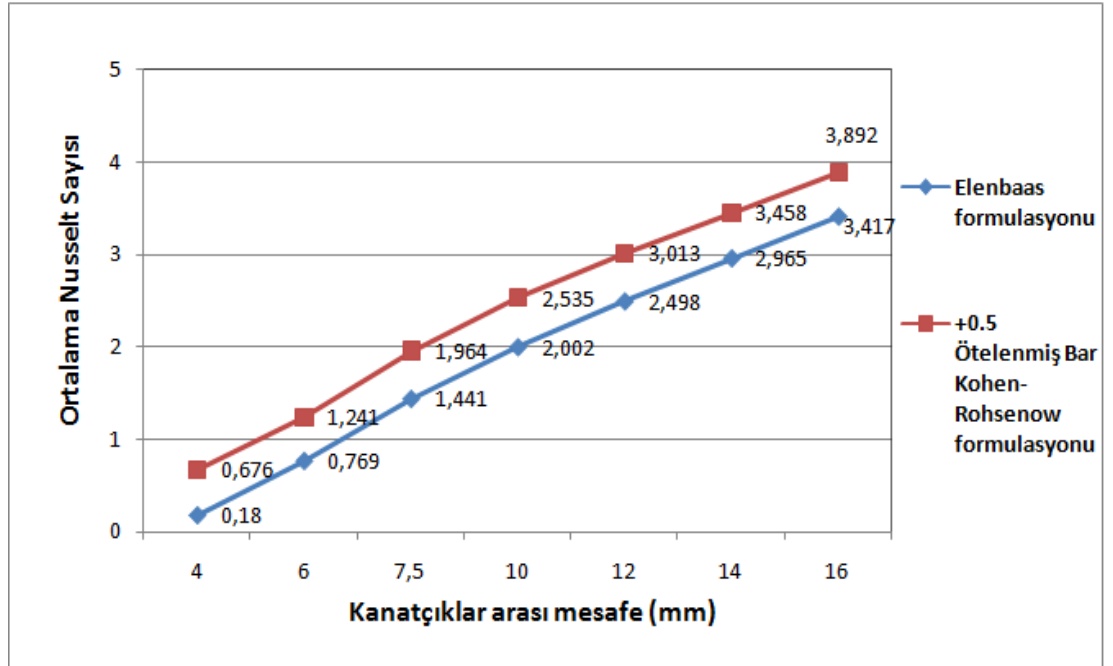
Sistem, her bir b değeri için modellenmiş ve ANSYS Fluent programında simülasyonlar tekrarlanmıştır. LED maksimum sıcaklığı en düşük çıkan b değeri, analitik hesaplamalar sonucu elde edilen b_{opt} ile karşılaştırılmıştır. Kanatçıklar arası mesafenin, maksimum LED sıcaklığına etkisi Şekil 4.24'de verilmiştir. Analitik ve nümerik hesaplar birbiriyle uyumlu çıkmıştır.



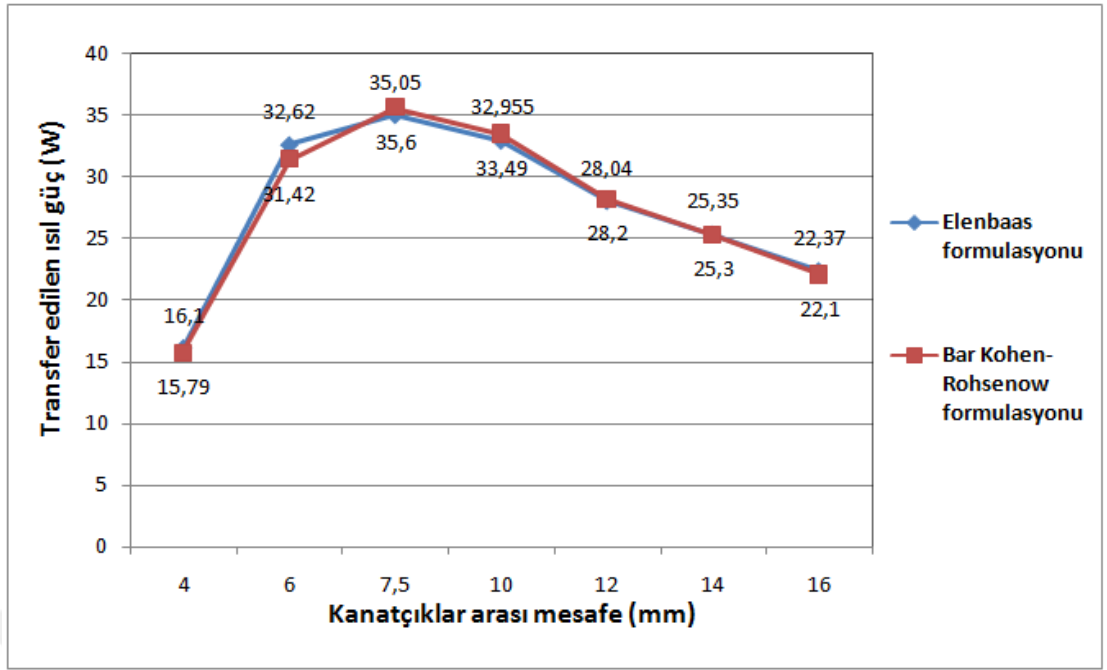
Şekil 4.20. Kanatçıklar arası mesafeye göre ortalama ısı transfer katsayısının değişimi.



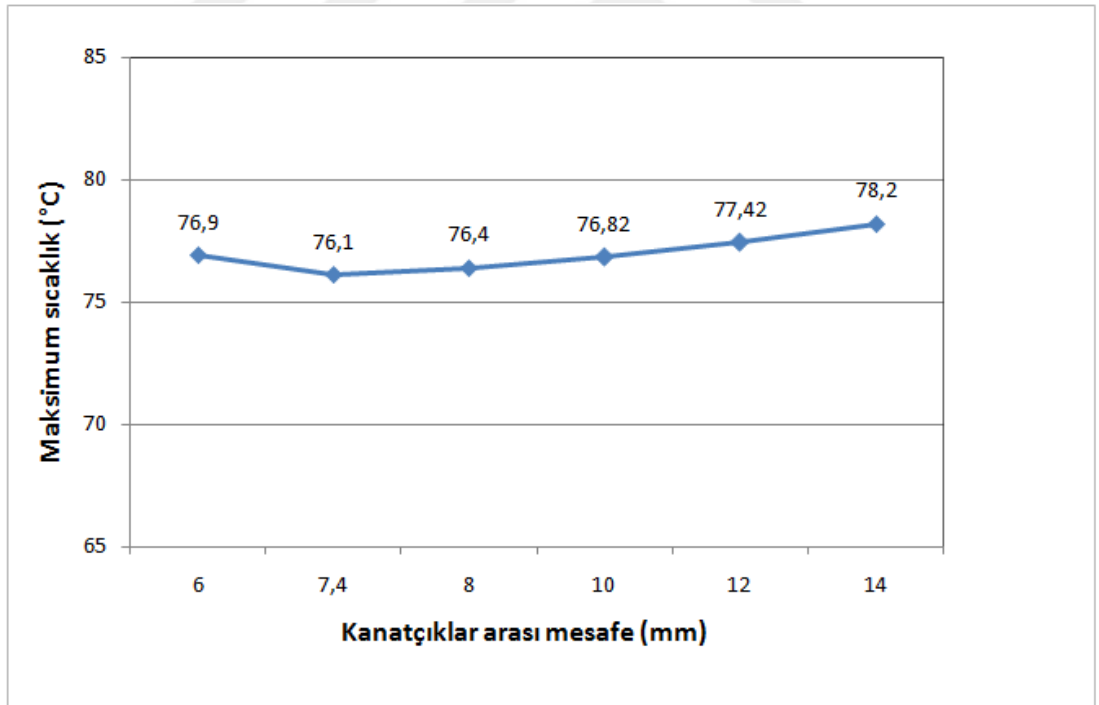
Şekil 4.21. Ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısına göre değişimi.



Şekil 4.22. Ortalama Nusselt sayısının kanatçıklar arası mesafeye göre değişimi (Elenbaas formülasyonu ve Bar Kohen-Rohsenow formülasyonlarına göre hesaplanmıştır).



Şekil 4.23. Transfer edilen ısı gücünün kanatçıklar arası mesafeye göre değişimi (Elenbaas formülasyonu ve Bar Kohen-Rohsenow formülasyonlarına göre hesaplanmıştır).

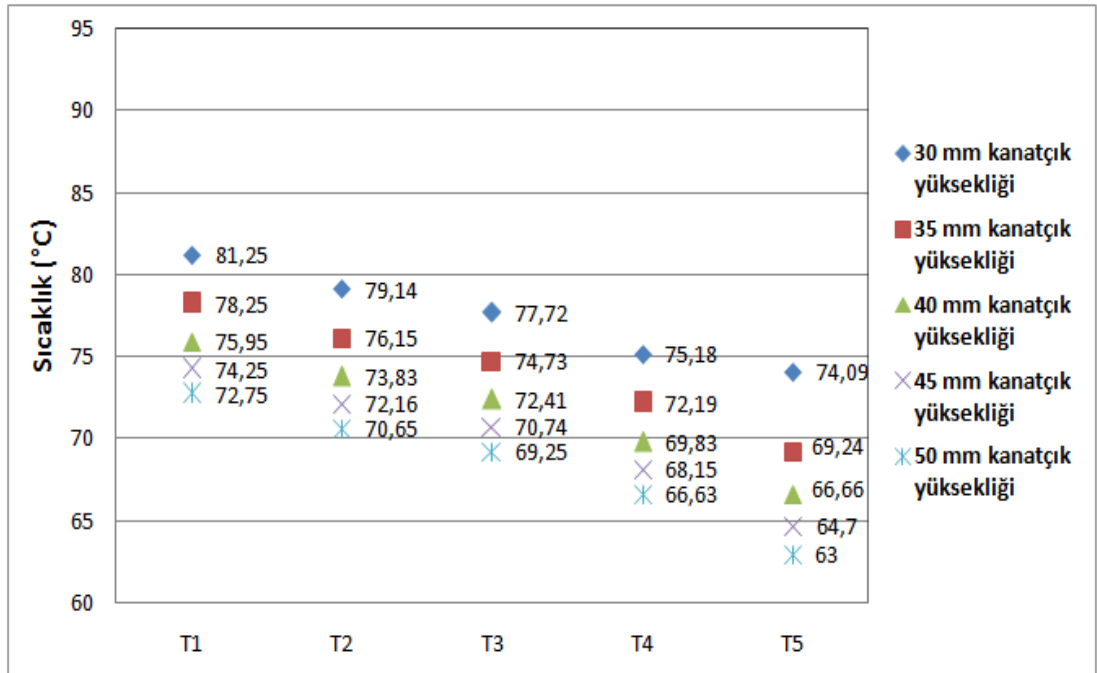


Şekil 4.24. Kanatçıklar arası mesafenin LED maksimum sıcaklığına etkisi (ANSYS Fluent programından sıcaklık değerleri alınmıştır).

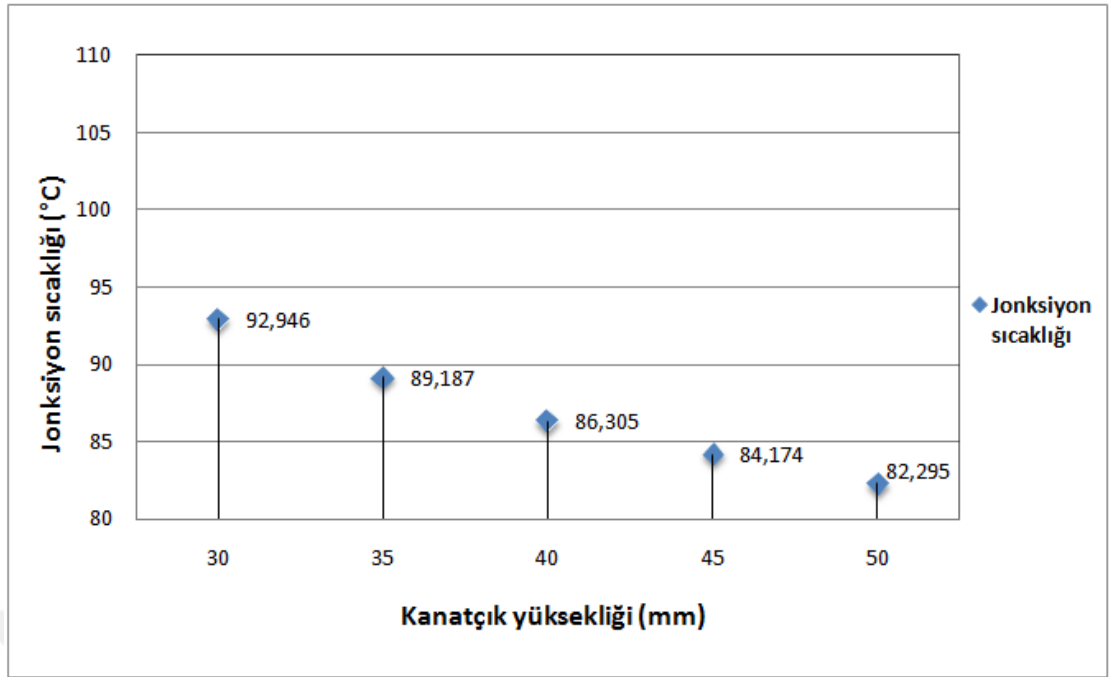
Kanatçıklı yapılarda, hedeflenen ısı transfer oranını yakalayabilmek için farklı özelliklerin optimize edilmesi gereklidir. Bu yüzden, kanatçıklar arası mesafenin yanı sıra, kanatçık yüksekliği ve genişliğinin, LED maksimum sıcaklığı, jonksiyon

sıcaklığı ve toplam termal dirence etkisi incelenmiştir. 30 mm'den 50 mm'ye kadar kanatçık yüksekliği 5'er milimetre artırılarak sistem modellenmiş ve simülasyonlar tekrarlanmıştır. Şekil 4.25'da kanatçık yüksekliğinin, sistemin verilen noktalardaki sıcaklık dağılımına etkisi gösterilmiştir. Buna göre kanatçık yüksekliği arttıkça transfer edilen ısıl gücün arttığı görülmüştür. LED maksimum sıcaklık değeri, 30 mm kanatçık yüksekliğinde 81,25 °C iken, 35 mm, 40 mm, 45 mm ve 50 mm' de sırasıyla 78,25 °C, 75,95 °C, 74,25 °C ve 72,75 °C olarak bulunmuştur. Şekil 4.26 ve 4.27'de sırasıyla, her bir kanatçık yüksekliği için hesaplanan jonksiyon sıcaklığı ve toplam termal direnç değerleri verilmiştir. Jonksiyon sıcaklığının LED maksimum sıcaklığı ile orantılı olarak kanatçık yüksekliği arttıkça azaldığı belirlenmiştir.

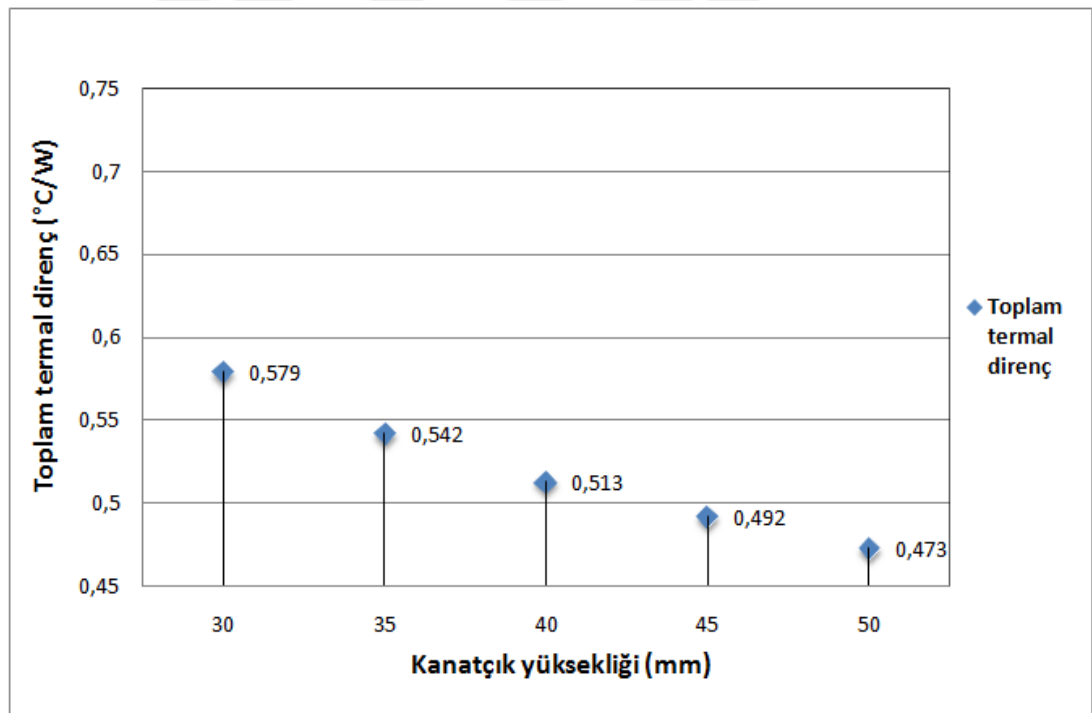
Hesaplamalar, jonksiyon sıcaklığı azaldıkça termal direncin de düştüğünü göstermektedir. Benzer şekilde sistem sıcaklık dağılımına etkisini incelemek adına 2 mm'den 4 mm' ye kadar olan kanatçık kalınlıkları 0,5 mm artırılarak modellenmiş ve simüle edilmiştir. Kanatçık kalınlıklarının, sistem sıcaklığı, jonksiyon sıcaklığı ve toplam termal dirence etkisi sırasıyla Şekil 4.28 - 4.29 - 4.30'da verilmiştir.



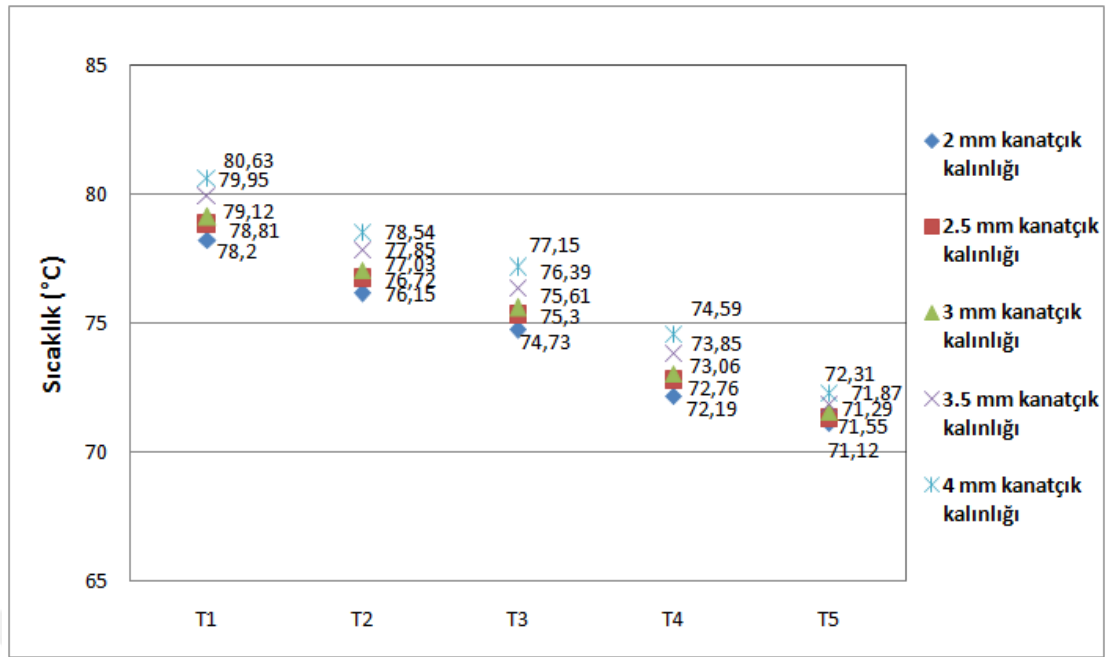
Şekil 4.25. Kanatçık yüksekliğinin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.



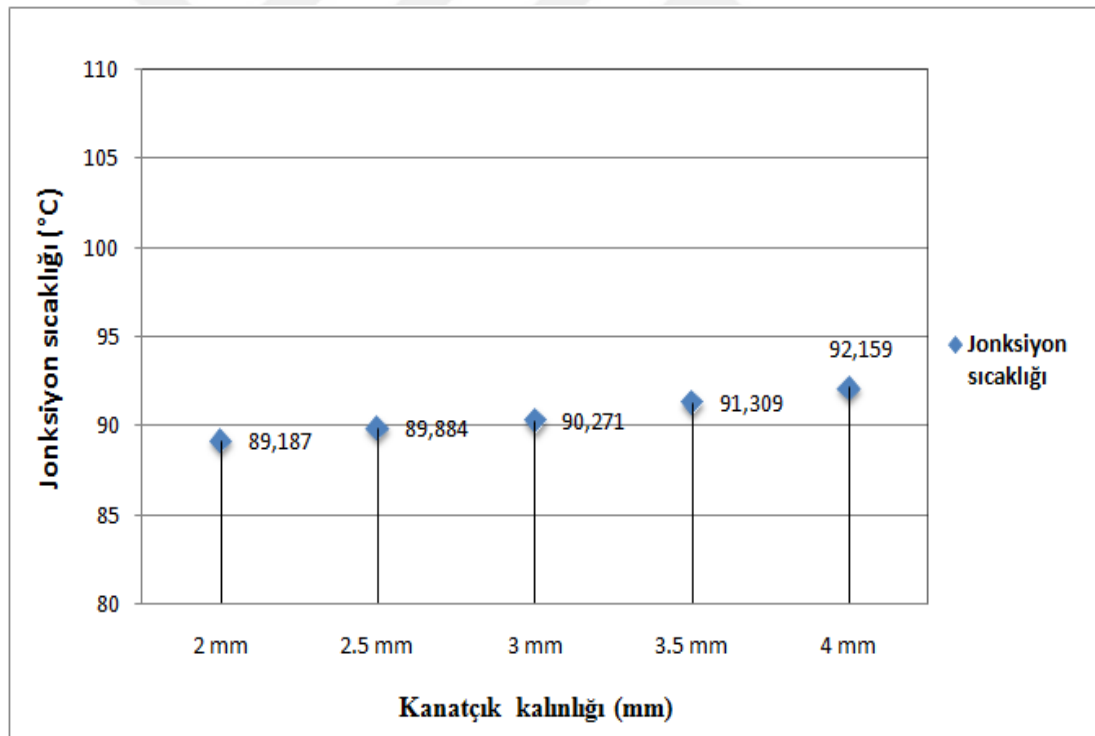
Şekil 4.26. Kanatçık yüksekliğinin jonksiyon sıcaklığına etkisi.



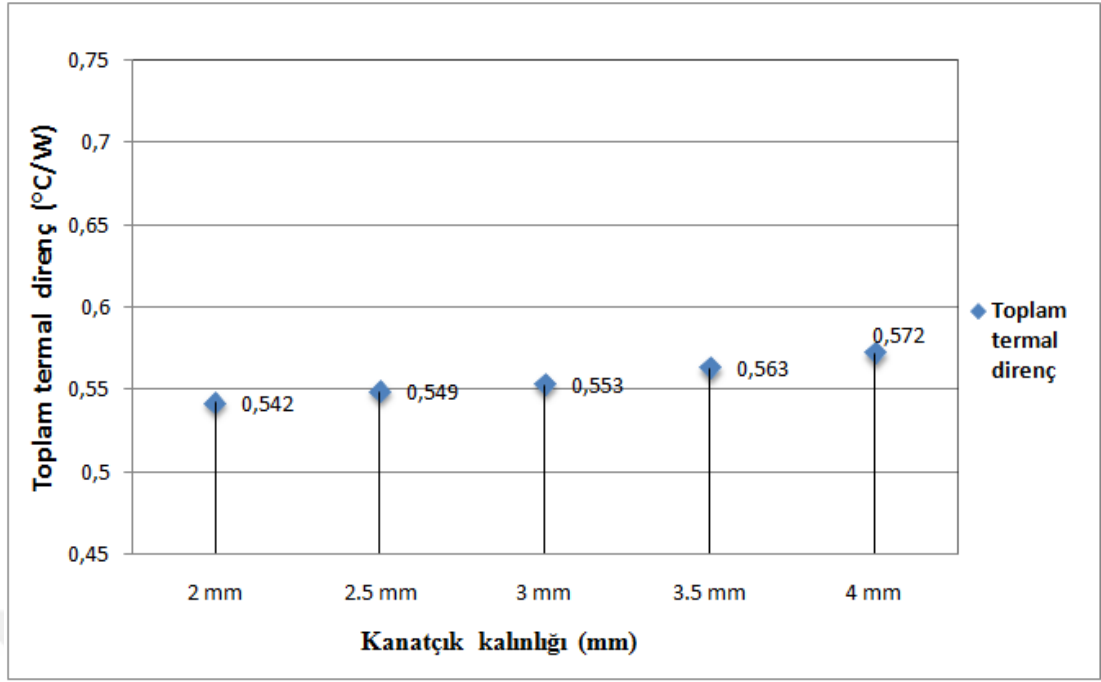
Şekil 4.27. Kanatçık yüksekliğinin toplam termal dirence etkisi.



Şekil 4.28. Kanatçık kalınlığının verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi.

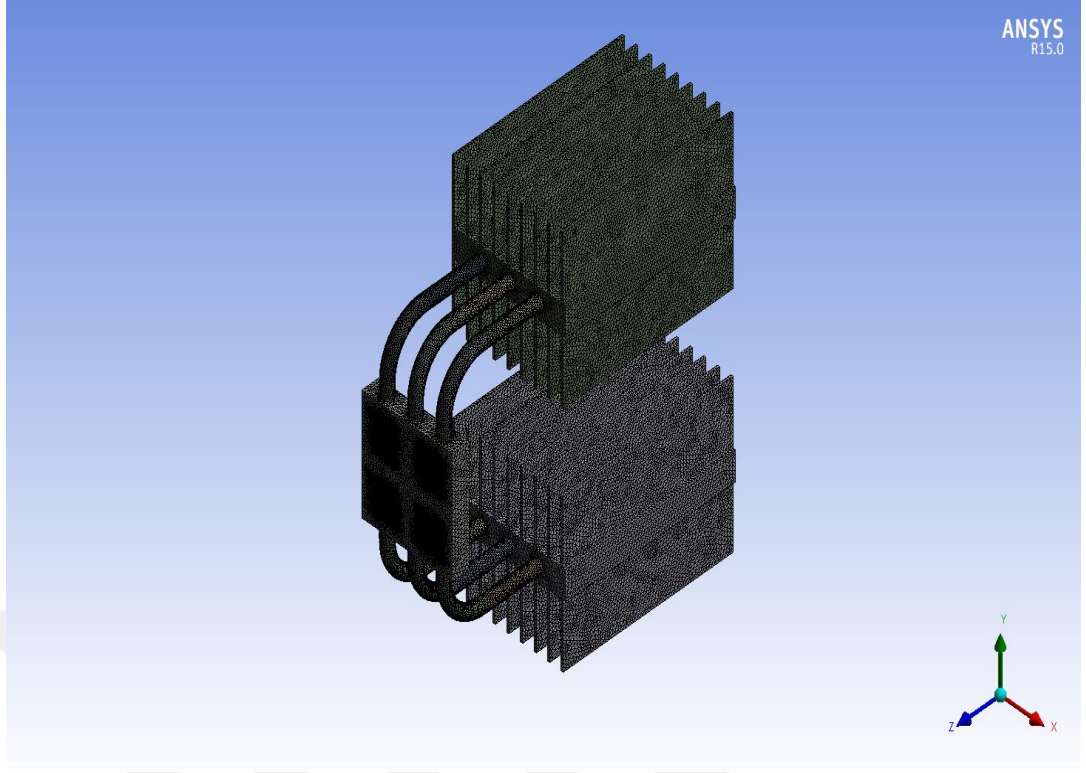


Şekil 4.29. Kanatçık kalınlığının jonksiyon sıcaklığına etkisi.

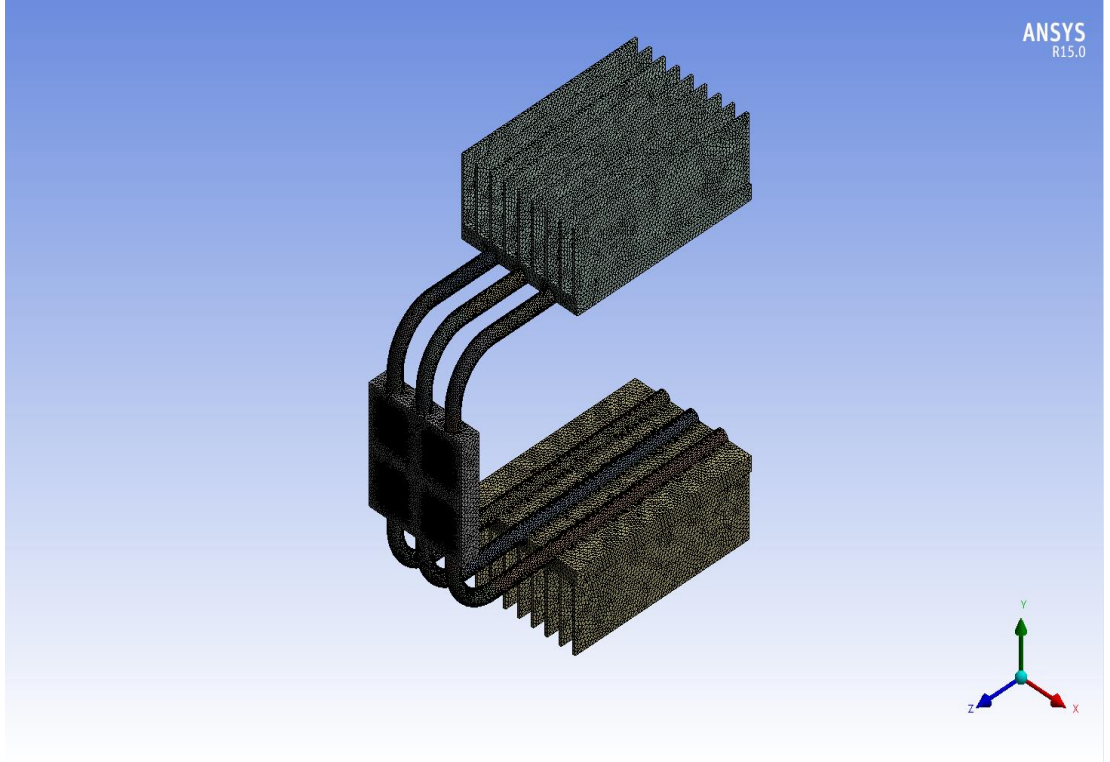


Şekil 4.30. Kanatçık kalınlığının toplam termal dirence etkisi.

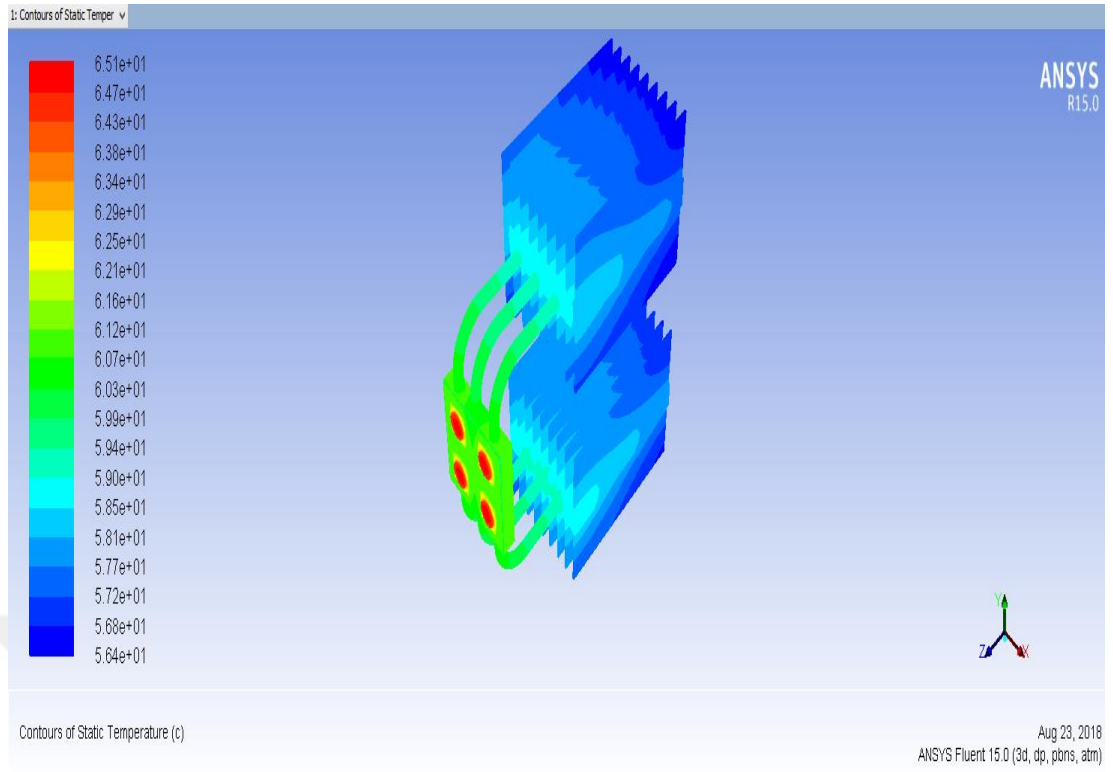
Kanatçık yönünün aktarılan ısı güce etkisini analiz etmek için mevcut yönü içe doğru olan kanatçık değiştirilerek hem dışa doğru hem de çift yönde kanatçık modellenmiştir. Tasarlanan modeller, Mesh'e gönderilerek ağ yapısı oluşturulmuştur. Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de sırasıyla çift yönlü ve dışa doğru kanatçık modellerinin ağ yapısı görülmektedir. ANSYS Fluent programında elde edilen sonuçlar Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'te verilmiştir. Analiz sonucunda ısı transfer yüzey alanı aynı olmasına rağmen dışa doğru kanatçık modelinde daha fazla ısı aktarımı olduğu, çift yönlü kanatçık modelinde ise en fazla ısı aktarımı olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.35'te ise içe doğru, çift yönlü ve dışa doğru kanatçık modellerinin belirtilen noktalardaki sıcaklık değerleri verilmiştir. Benzer şekilde Şekil 4.36 ve 4.37'de sırasıyla kanatçık yönünün jonksiyon sıcaklığına ve toplam termal dirence etkisi gösterilmiştir. Buna göre 72,77 °C jonksiyon sıcaklığı ve 0,378 °C/W'lık toplam termal direnci ile en çok ısı transferi sağlayan modelin, çift yönlü kanatçıklı model olduğu görülmüştür. Bu sistemin LED paketlerinin soğutulması için tasarlandığı düşünüldüğünde, ışığı yansıtma sorunu teşkil edebileceğini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir.



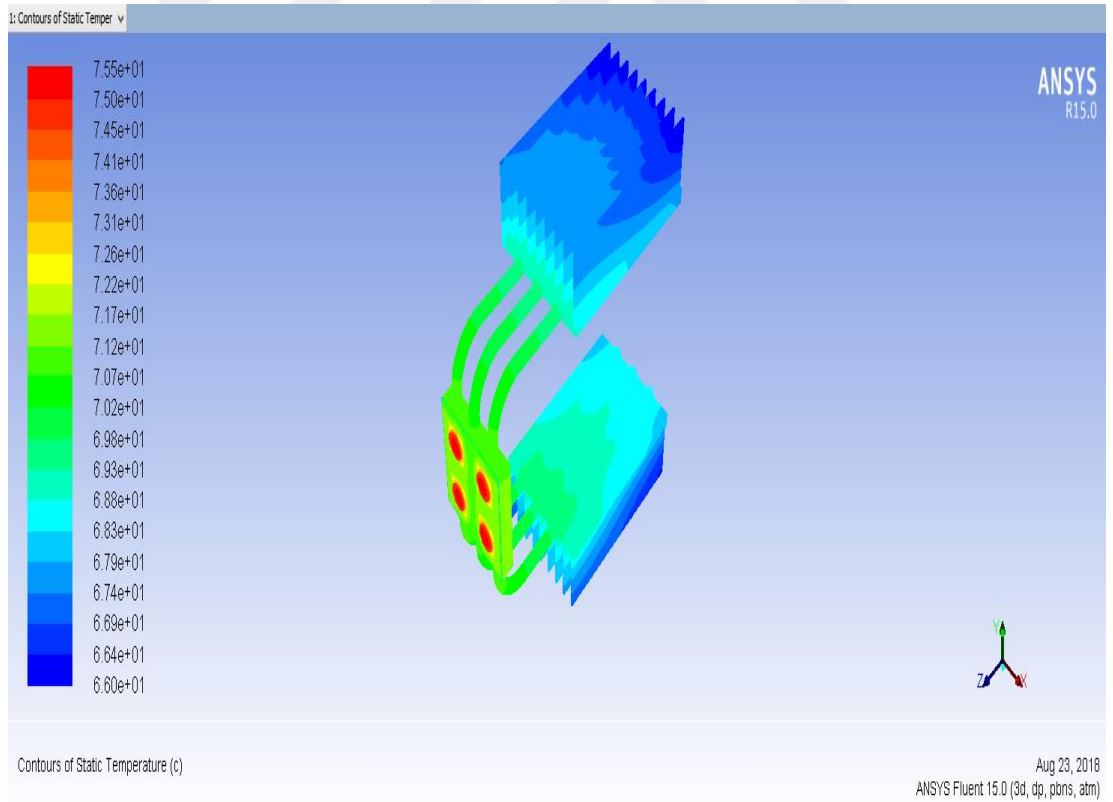
Şekil 4.31. Çift yönlü kanatçık geometrisi ile oluşturulan ağ yapısı.



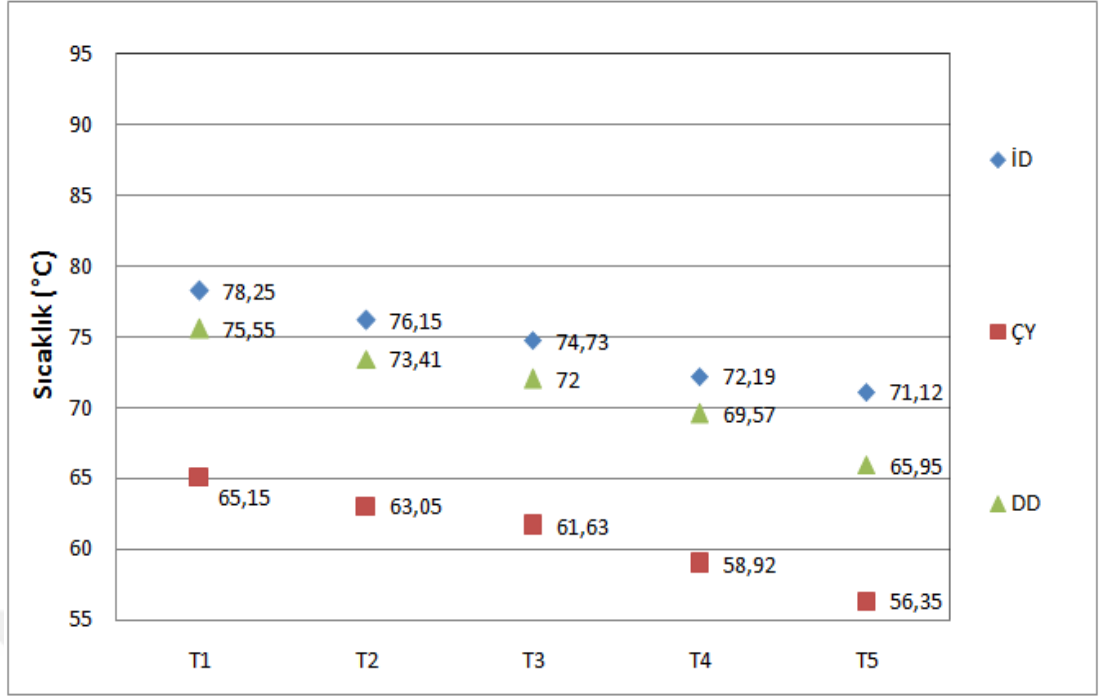
Şekil 4.32. Dışa doğru kanatçık geometrisi ile oluşturulan ağ yapısı.



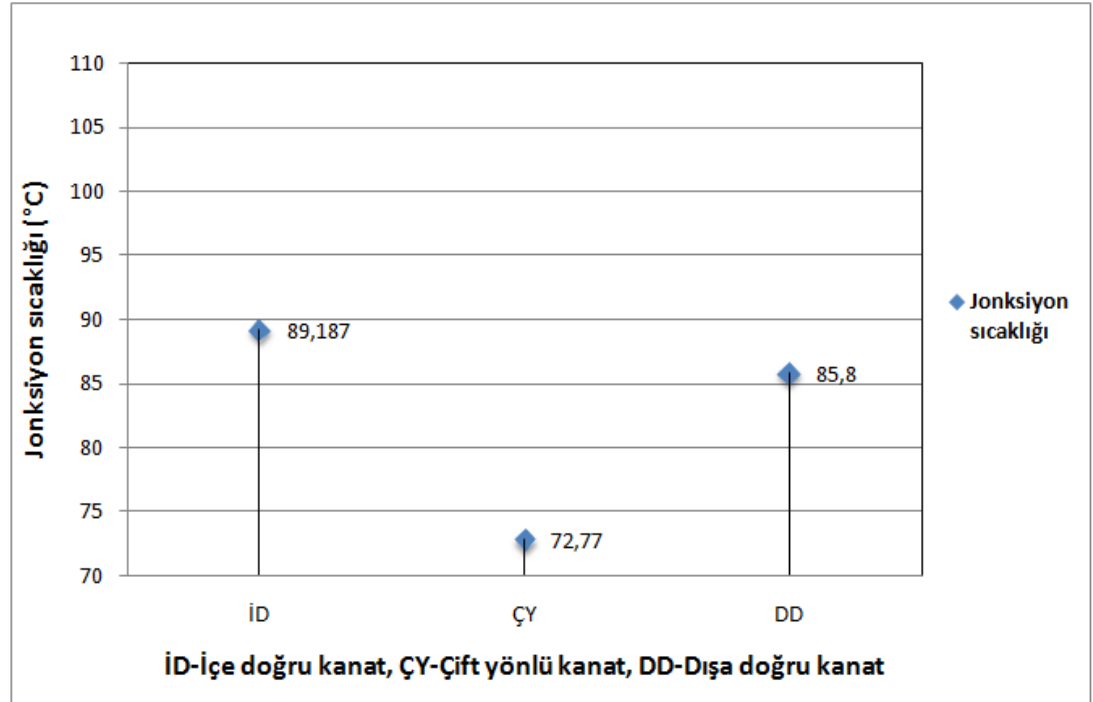
Şekil 4.33. Çift yönlü kanatçık geometrisi ile sistemin sıcaklık dağılımı.



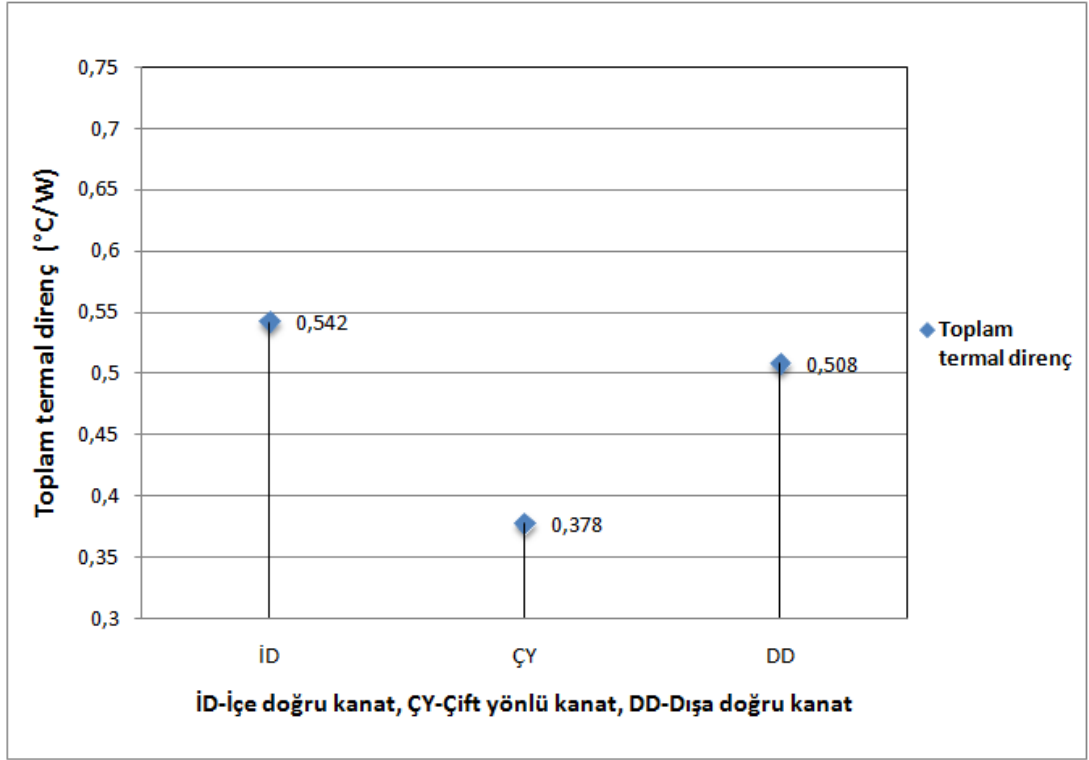
Şekil 4.34. Dışa doğru kanatçık geometrisi ile sistemin sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.35. Kanatçık yönünün verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (İD-İçe doğru, ÇY-Çift yönlü, DD- Dışa doğru).



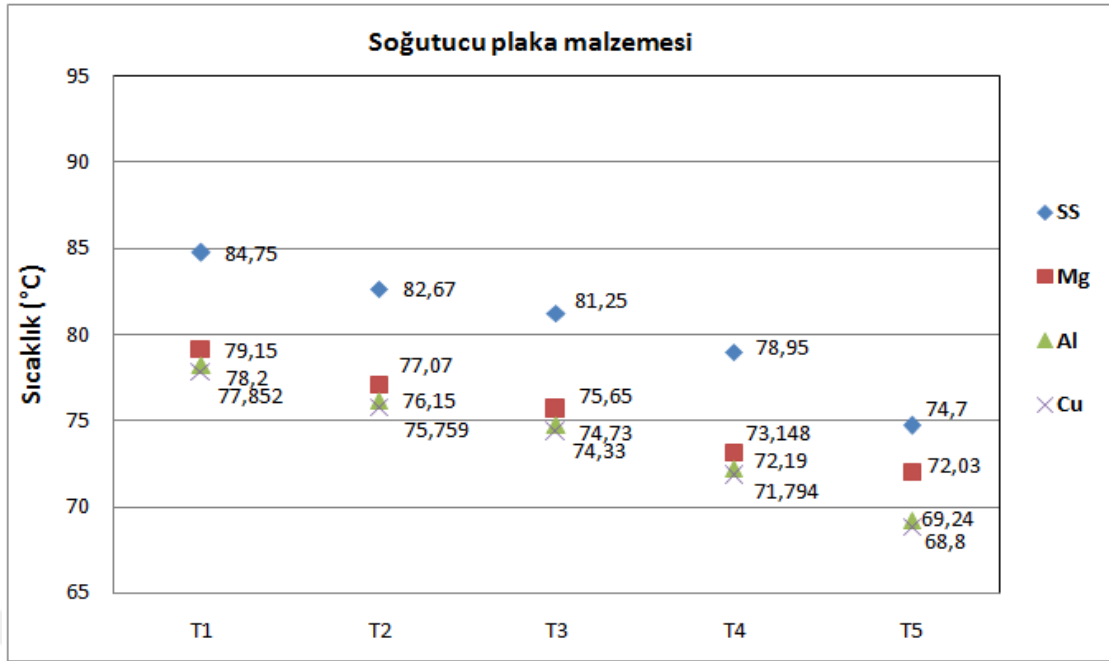
Şekil 4.36. Kanatçık yönünün jonksiyon sıcaklığına etkisi.



Şekil 4.37. Kanatçık yönünün toplam termal dirence etkisi.

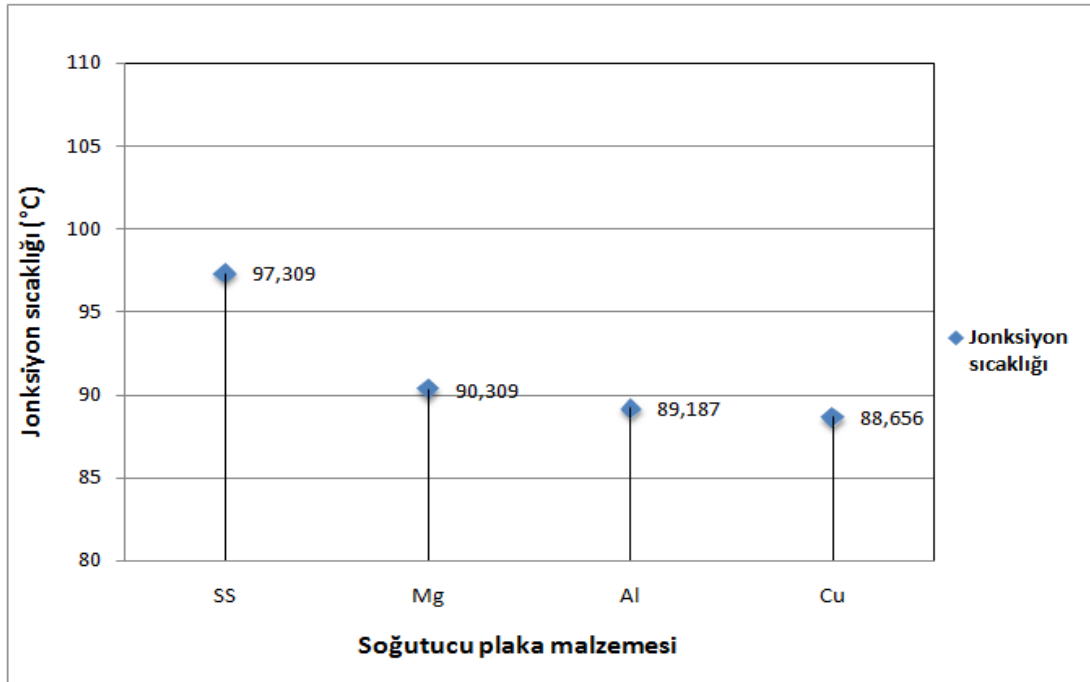
4.4. Malzeme Etkisi

Elektronik sistemlerde soğutucu plaka malzemesi olarak, alüminyum ve bakır alaşımları kullanılmaktadır. Soğutucu plaka tasarımı yapılırken, kullanılan malzemenin iletkenlik özellikleri dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada farklı ısı emme kabiliyeti ve ısı iletim katsayısı olan paslanmaz çelik (14 W/m.K), magnezyum (79 W/m.K), alüminyum (202 W/m.K) ve bakırdan (394 W/m.K) oluşan soğutucu plakalar kullanılmıştır. ANSYS Fluent programında, soğutucu plaka malzemesi olarak sırayla paslanmaz çelik, magnezyum, alüminyum ve bakır alaşımlarının termofiziksel özellikleri tanımlanmış ve analizler tekrarlanmıştır. Hesaplamalar, ısı iletim katsayısı 79 W/m.K olan magnezyumun, alüminyum ve bakır alaşımlı soğutucu plakaya göre ısı dağılımında çok fark oluşturmadığını göstermiştir (Şekil 4.38). Magnezyum ve alaşımları düşük yoğunluklu, hafif, ısıya dayanıklı ve iyi bir korozyon direncine sahip olduğu için soğutucu plaka malzeme seçiminde iyi bir alternatif olarak görülmüştür.

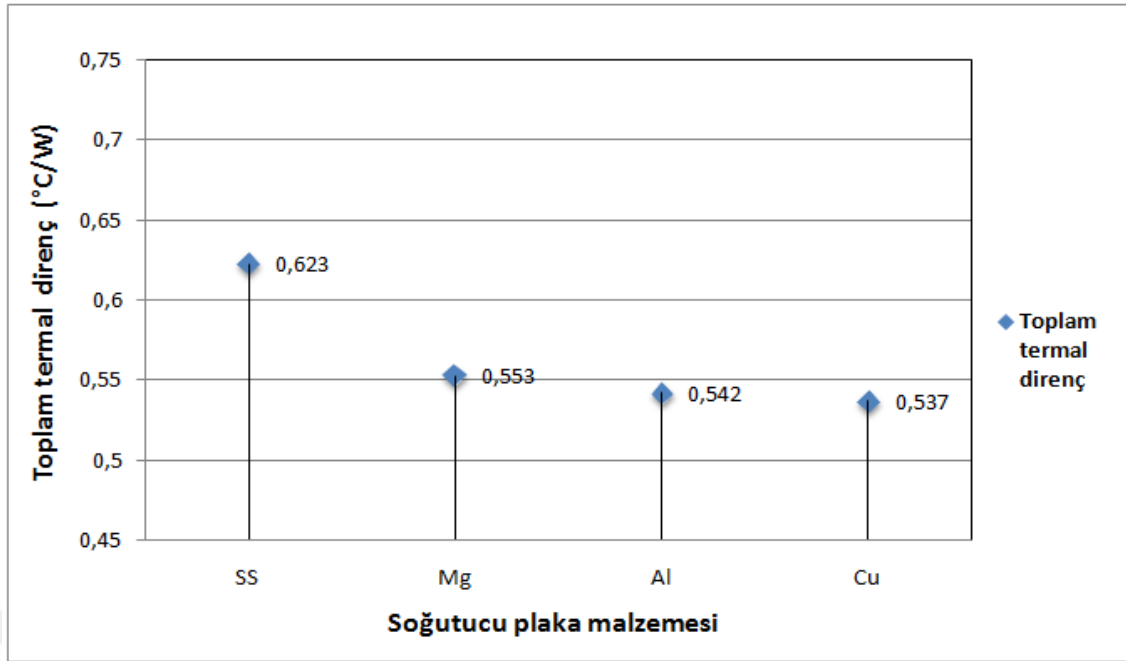


Şekil 4.38. Soğutucu plaka malzemelerinin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (SS-Paslanmaz Çelik, Mg-Magnezyum, Al, Alüminyum 6061-Cu-Bakır).

Analizlerden elde edilen sıcaklık değerleri ile farklı soğutucu plaka malzemeleri için jonksiyon sıcaklığı (Şekil 4.39) ve toplam termal direnç değerleri (Şekil 4.40) hesaplanmıştır.

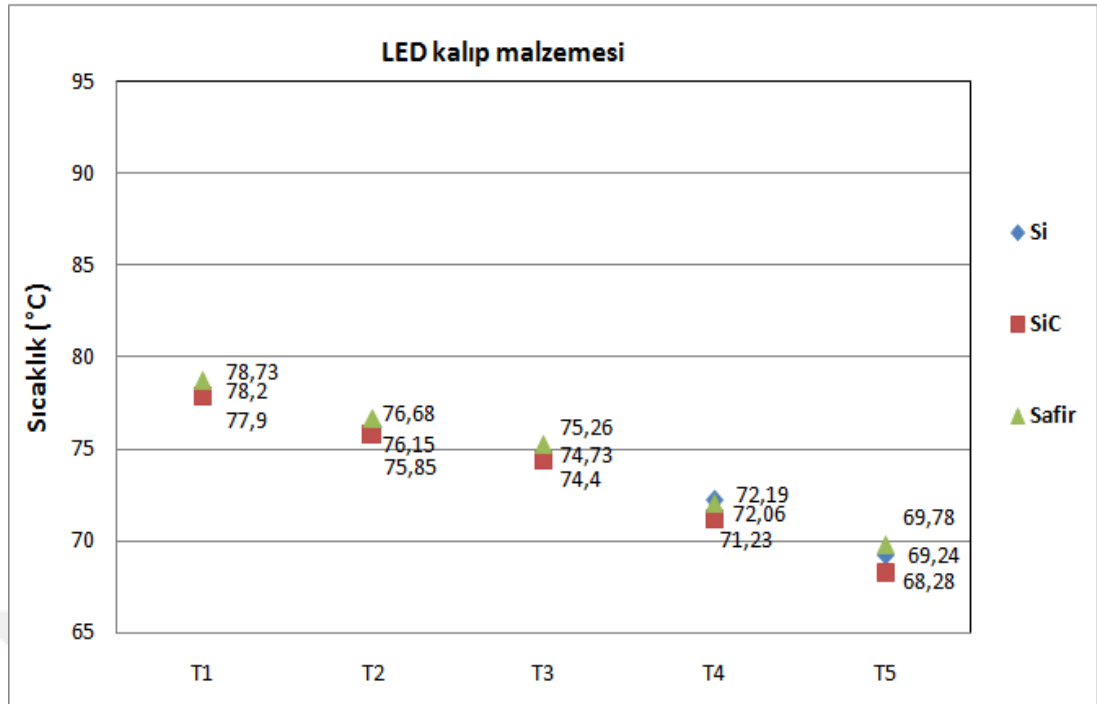


Şekil 4.39. Soğutucu plaka malzemesinin jonksiyon sıcaklığına etkisi (SS-Paslanmaz Çelik, Mg-Magnezyum, Al, Alüminyum 601- Cu- Bakır).

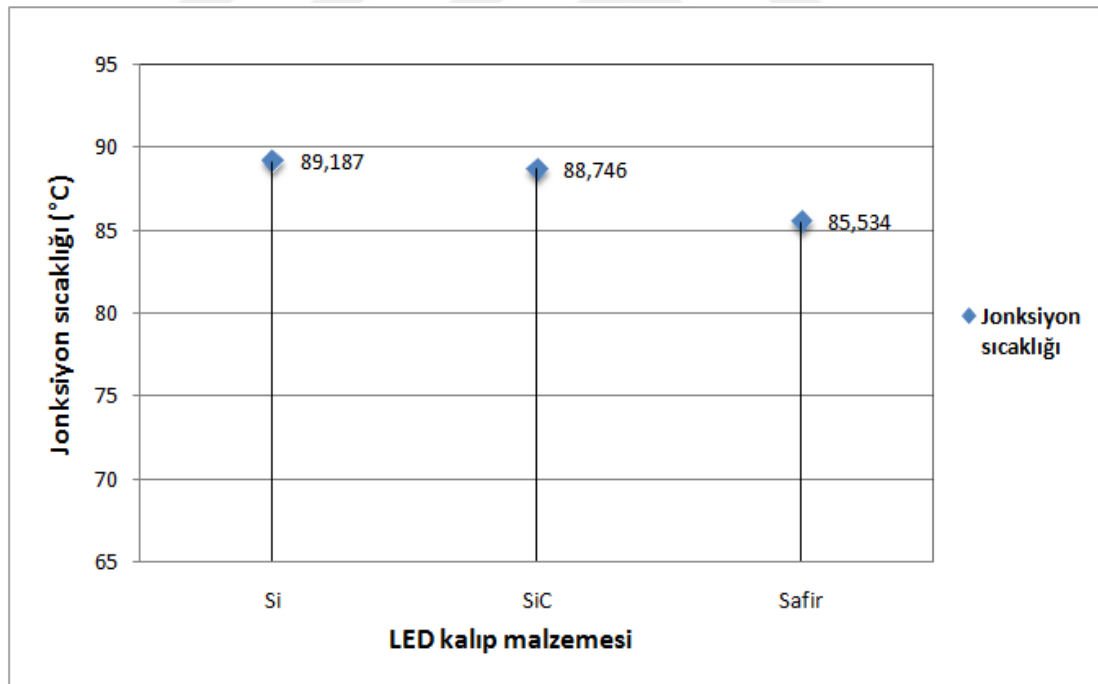


Şekil 4.40. Soğutucu plaka malzemesinin toplam termal dirence etkisi (SS-Paslanmaz Çelik, Mg-Magnezyum, Al, Alüminyum 6061, Cu - Bakır).

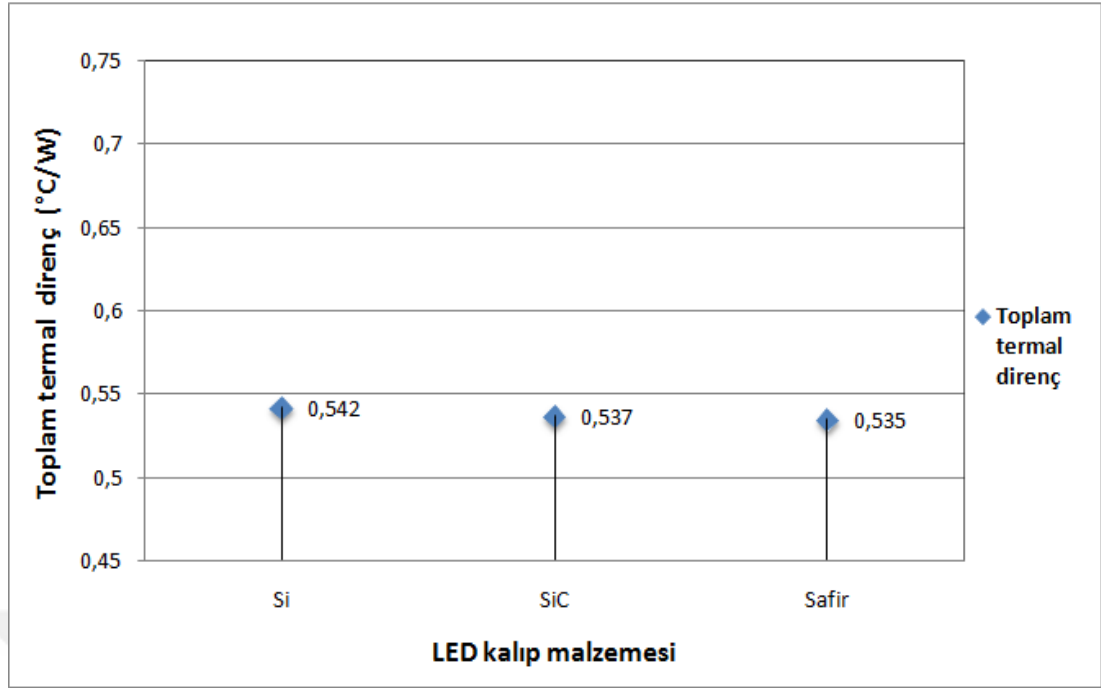
Bu çalışmada sokak aydınlatmaları için tasarlanan LED paketi, LED çipi, kalıp, kalıp bağlantı malzemesi ve elektronik devre kartı gibi bazı bileşenlerden oluşmaktaydı. LED çipini elektronik devre kartına bağlayan LED kalıp malzemesinin sistemin sıcaklık dağılımına etkisi incelenmiştir. LED'lerde kalıp malzemesi olarak silikon, silikon karbür ve safir (Al_2O_3) gibi farklı termofiziksel özelliklere sahip yüzey malzemeleri kullanılmıştır. Isıl iletkenlikleri farklı olmasına rağmen hesaplamalar sonucu elde edilen maksimum LED sıcaklıkları arasında önemli bir fark görülmemiştir (Şekil 4.41). Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te sırasıyla farklı LED kalıp malzemelerinin jonksiyon sıcaklığı ve toplam termal dirence etkisi verilmiştir.



Şekil 4.41. LED kalıp malzemelerinin verilen noktalardaki sıcaklık değerlerine etkisi (Si-Silikoni, SiC-Silikon karbon).

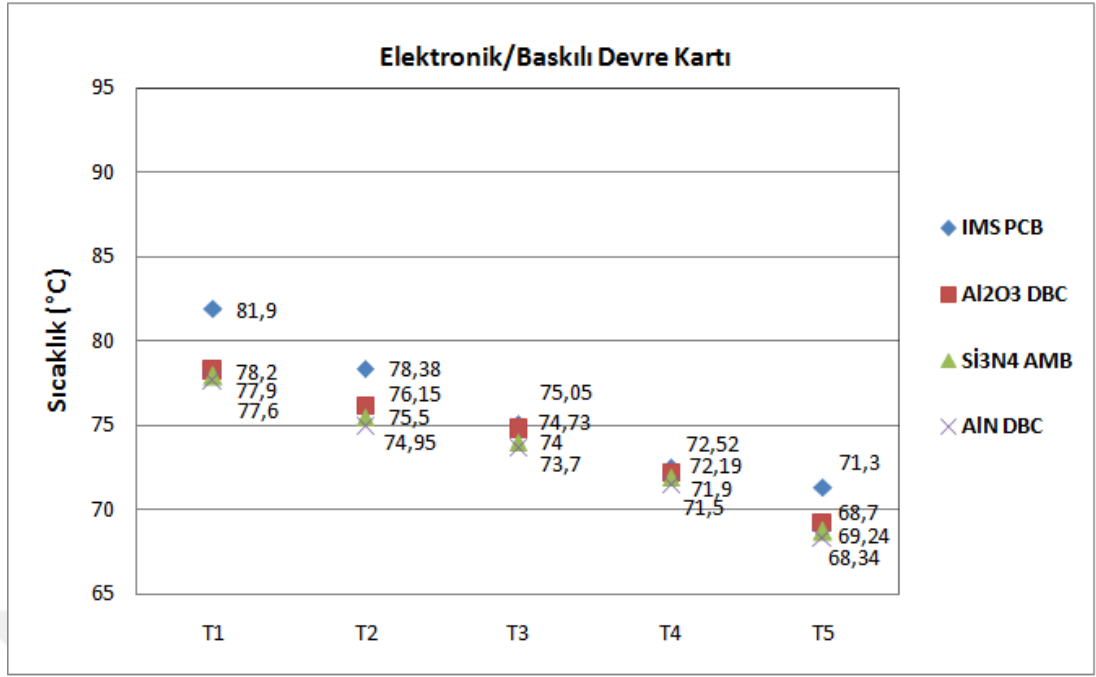


Şekil 4.42. LED kalıp malzemelerinin jonksiyon sıcaklığına etkisi (Si-Silikoni, SiC-Silikon karbon).



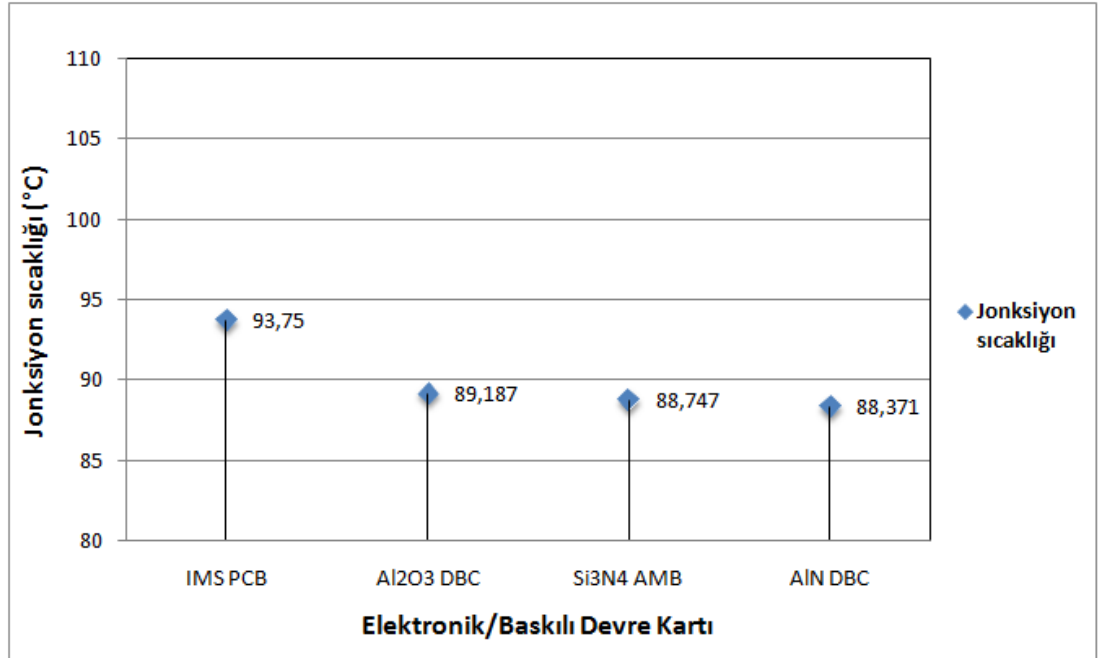
Şekil 4.43. LED kalıp malzemelerinin toplam termal dirence etkisi (Si-Silikoni, SiC-Silikon karbon).

LED paketlerinde elektrik devresi oluşturmak amacıyla Al_2O_3 DBC, Si_3N_4 AMB, AlN DBC ve IMS gibi farklı yöntemlerle üretilen ve farklı özelliklere sahip elektronik ve baskılı devre kartları kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de verilen elektronik ve baskılı devre kartlarına ait özelliklere göre ANSYS Fluent programında sistemin diğer geometrik ve sınır koşulları sabit kalmak suretiyle her bir devre kartı kullanılan modelin termal analiz yapılmış ve maksimum sıcaklığa etkisi Şekil 4.44'te görüldüğü gibi belirlenmiştir. Buna göre ısı iletim katsayısı en düşük olan IMS baskılı devre kartı kullanılarak oluşturulan modelde sistemin maksimum sıcaklığı en yüksek çıkmıştır. Elektronik ve baskılı devre kartlarının ısı iletim katsayıları arttıkça sistemde oluşan maksimum sıcaklığın düştüğü ancak ısı iletim katsayısı 24 W/m.K olan Al_2O_3 DBC ile 180 W/m.K olan AlN DBC kullanılan modellerin maksimum sıcaklıkları arasında 1°C 'den daha az bir fark olduğu gözlenmiştir.

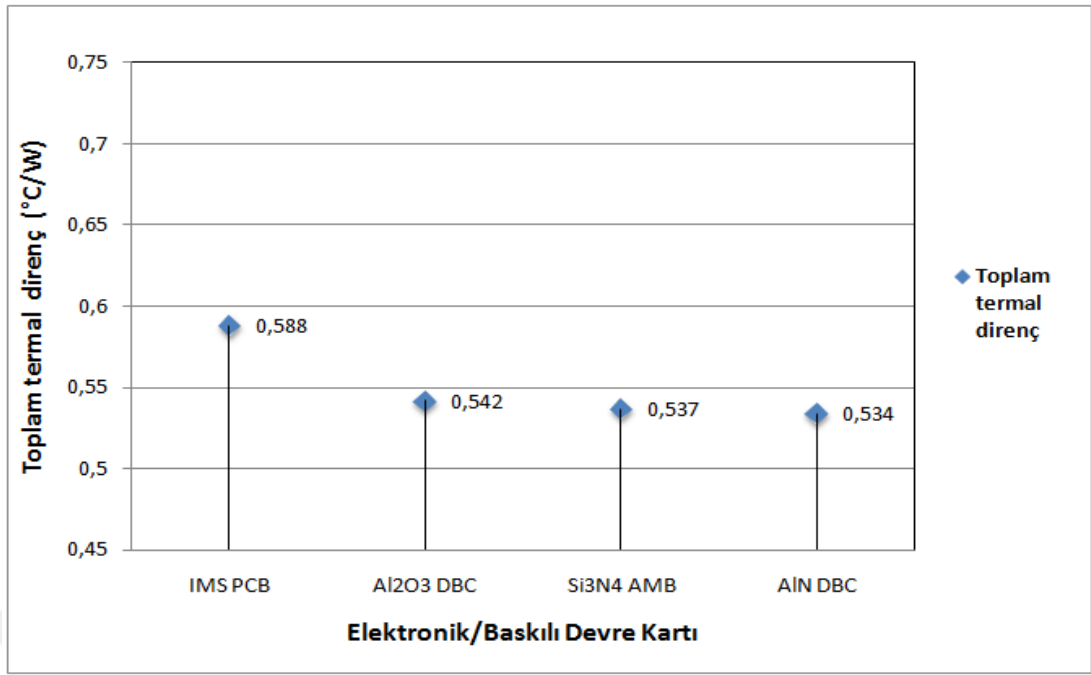


Şekil 4.44. Al₂O₃ DBC, Si₃N₄ AMB, AlN DBC ve IMC PCB kullanılan LED paketlerinin belirtilen noktadaki sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da sırasıyla elektronik/baskılı devre kartlarının jonksiyon sıcaklığı ve toplam termal dirence etkisi verilmiştir.



Şekil 4.45. Al₂O₃ DBC, Si₃N₄ AMB, AlN DBC ve IMC PCB kullanılan LED paketlerinin jonksiyon sıcaklığına etkisi.



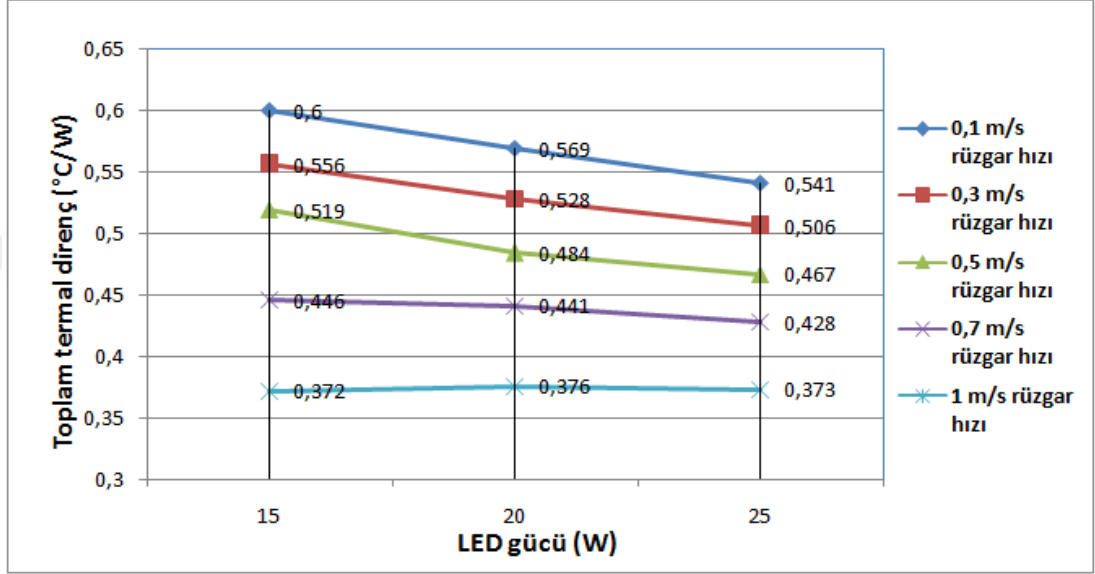
Şekil 4.46. Al₂O₃ DBC, Si₃N₄ AMB, AlN DBC ve IMC PCB kullanılan LED paketlerinin toplam termal dirence etkisi

Çizelge 4.1. LED paketlerinde kullanılan elektronik/baskılı devre kartlarının özellikleri.

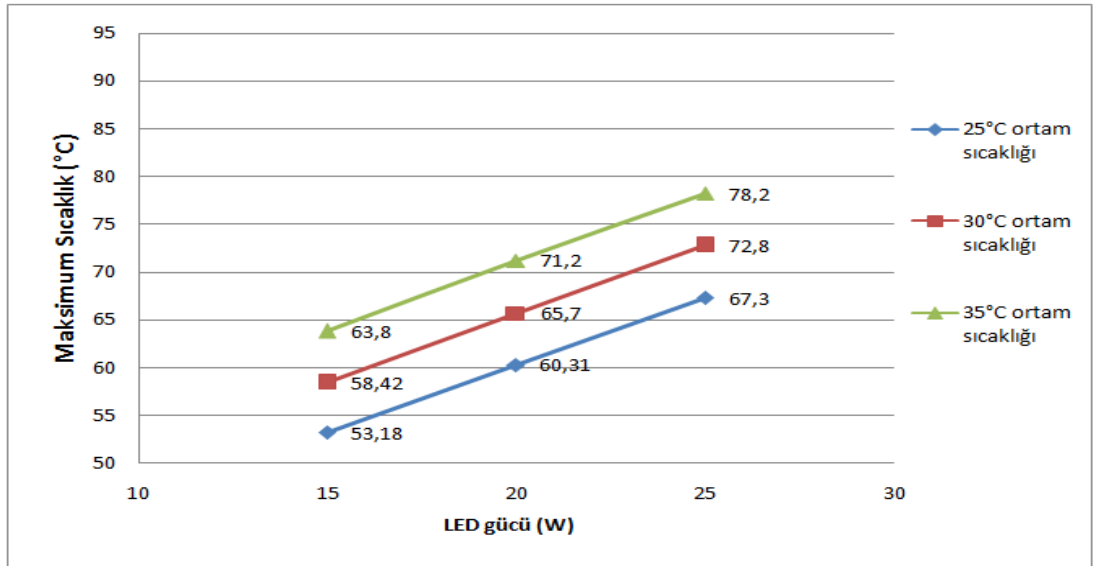
	Malzemeler	Kalınlık (mm)	Isı iletim katsayıları (W/m.K)
Al ₂ O ₃ DBC	Bakır (Cu)	0,3	385
	Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)	0,38	24
	Bakır (Cu)	0,3	385
Si ₃ N ₄ AMB	Bakır (Cu)	0,3	385
	Silisyum Nitrit (Si ₃ N ₄)	0,38	80
	Bakır (Cu)	0,3	385
AlN DBC	Bakır (Cu)	0,3	385
	Alüminyum Nitrit (AlN)	0,64	180
	Bakır (Cu)	0,3	385
IMS	Bakır (Cu)	0,127	385
	Dielektrik Malzeme	0,075	1,1
	Alüminyum (Al)	1	202

Bu çalışmada LED paketleri sokak aydınlatmaları için tasarlanmıştır. Bu yüzden LED'lerde oluşan ısınma problemini çözmek için tasarlanan sistemde termal analizler yapılırken rüzgâr hızı ve dış ortam sıcaklığı gibi faktörleri de göz önünde bulundurmak gerekir. Yine hesaplamalar yapılırken her bir LED'e 25 W'lık güç girişi verildiği varsayılmaktadır. Şekil 4.47'da verilen grafikte 15 W, 20 W ve 25 W

değerlerinde farklı güç girişleri için toplam termal direnç değerleri verilmiştir. Burada her bir güç girişi için 0,1 m /s'den 1 m/s'ye kadar rüzgâr hızları için de toplam termal direnç değerleri verilmiştir. Buna göre ısı yük ve rüzgâr hızı arttıkça toplam termal direncin azaldığı görülmüştür. Daha önce yapılan analizlerde dış ortam sıcaklığı 35 °C olarak alınmıştır. Şekil 4.48'de 25°C, 30°C ve 35°C dış ortam sıcaklıklarının farklı ısı yüklerinde LED maksimum sıcaklığa etkisi görülmektedir.



Şekil 4.47. Toplam termal direncin ısı yük ve rüzgâr hızlarına göre değişimi (35°C ortam sıcaklığı).



Şekil 4.48. 25 °C, 30 °C ve 35 °C ortam sıcaklıklarında 4 eşdeğer LED'e uygulanan farklı ısı yüklerin (15 W, 20 W ve 25 W) LED çipi maksimum sıcaklığı etkisi.

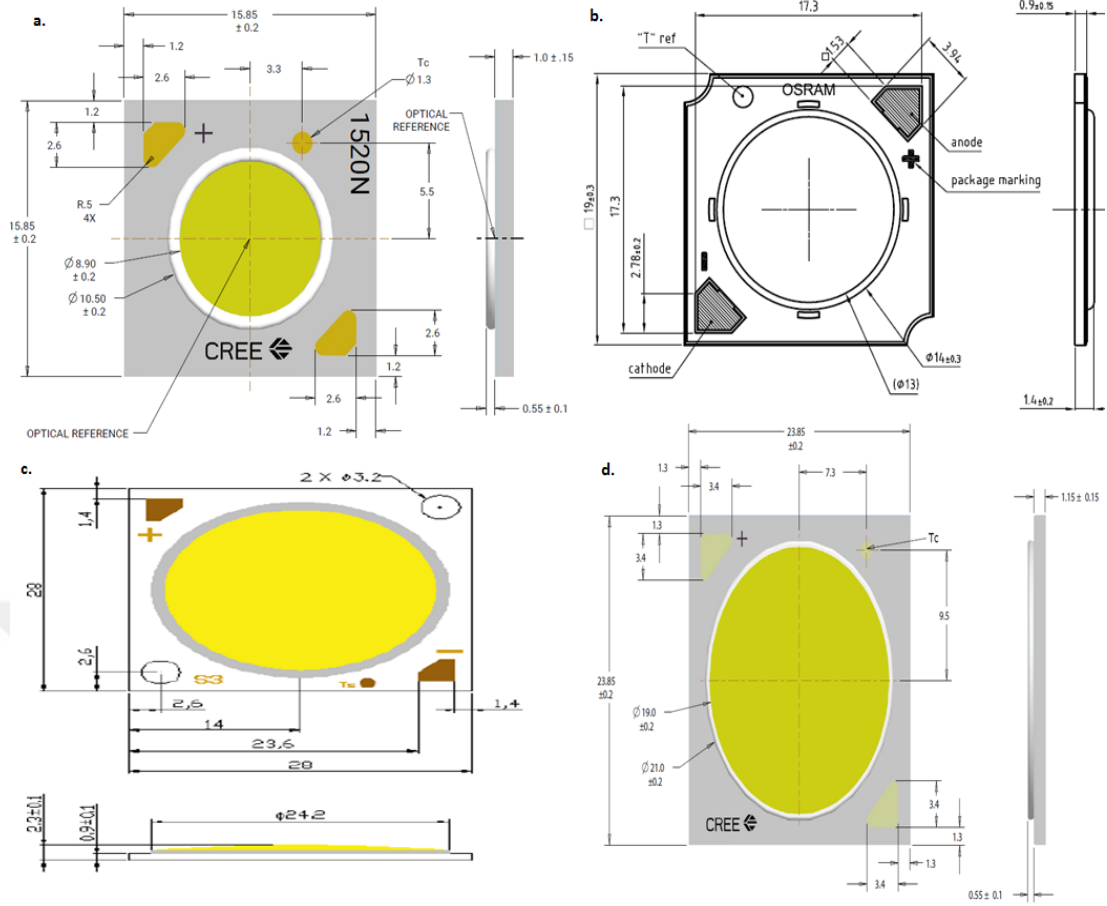
4.5 LED Çip Hacminin Maksimum Sıcaklığa Etkisi

Son yıllarda LED teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, yüksek güçlü LED çipleri daha küçük boyutlarda üretilmeye başlanmıştır. LED çipinin küçük boyutlarda olması, birim hacim başına üretilen ısı miktarında artışa neden olmaktadır. Bu çalışmada, LED çip hacminin, sistem sıcaklık dağılımına etkisini incelemek için mevcut olarak kullanılan Lumiled Luxeon marka LED paketine ek olarak, farklı hacim ve modellerde dört LED paketi daha modellenmiştir. Şekil 4.1'de verilen model üzerine bu LED çipleri entegre edilmiş ve aynı sınır koşulları altında ANSYS Fluent yazılımıyla analizler tekrarlanmıştır. Cree-Xlamp, Osram ve Sequel gibi farklı markalardan oluşan LED'lerin boyutları ve özellikleri her bir LED'in veri sayfasından alınmıştır. Şekil 4.49'da, analizde kullanılan farklı hacimlerdeki LED çiplerinin boyutları verilmiştir. Buna göre, her bir LED'e 25 W'lık güç verilerek benzer sınır şartlarında analizler yapılmıştır. Elde edilen sıcaklık dağılımları ve optik özellikleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.2'de analiz sonucu elde edilen LED'lerin modeli, LED hacmi, birim başına üretilen ısı miktarı ve izin verilen maksimum jonksiyon sıcaklıkları verilmiştir.

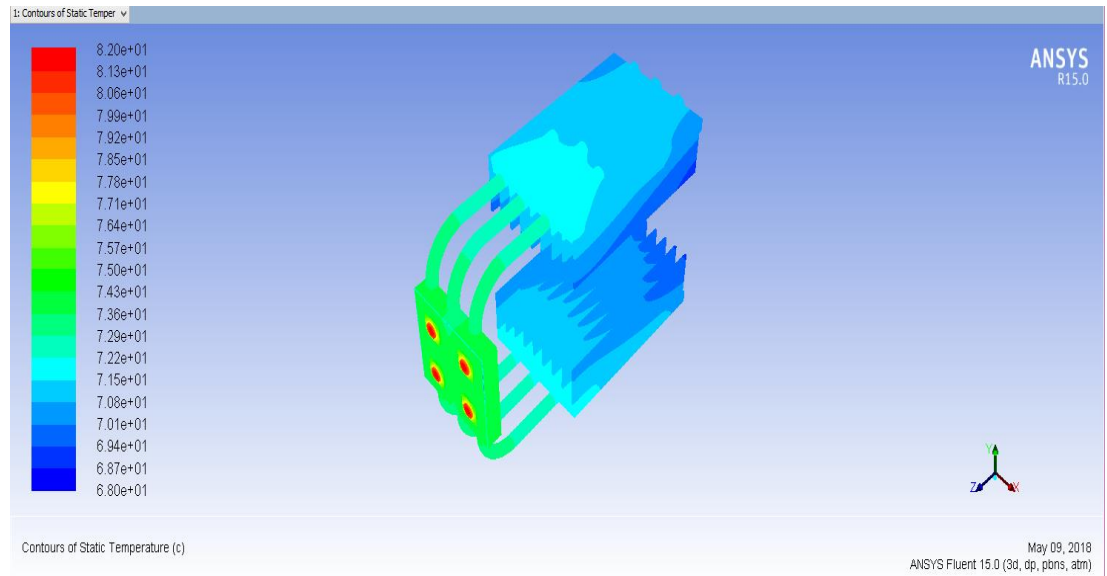
Çizelge 4.2. LED çip modelleri ve özellikleri.

LED Markası	Modeli	LED çip hacmi	Birim başına üretilen ısı miktarı	İzin verilen maksimum Jonksiyon Sıcaklığı
Cree® XLamp®	CXA1520 LED	47,625 mm ³	3,83 E+08 W/m ³	150 °C
OSRAM	SOLERIQ® S 13	77,299 mm ³	2,36 E+08 W/m ³	125 °C
SEQUL	ZC25 – Z-Power COB	183,98 mm ³	9,97 E+07 W/m ³	125 °C
Cree® XLamp®	CXA2530 LED	190,5 mm ³	9,58 E+07 W/m ³	150 °C

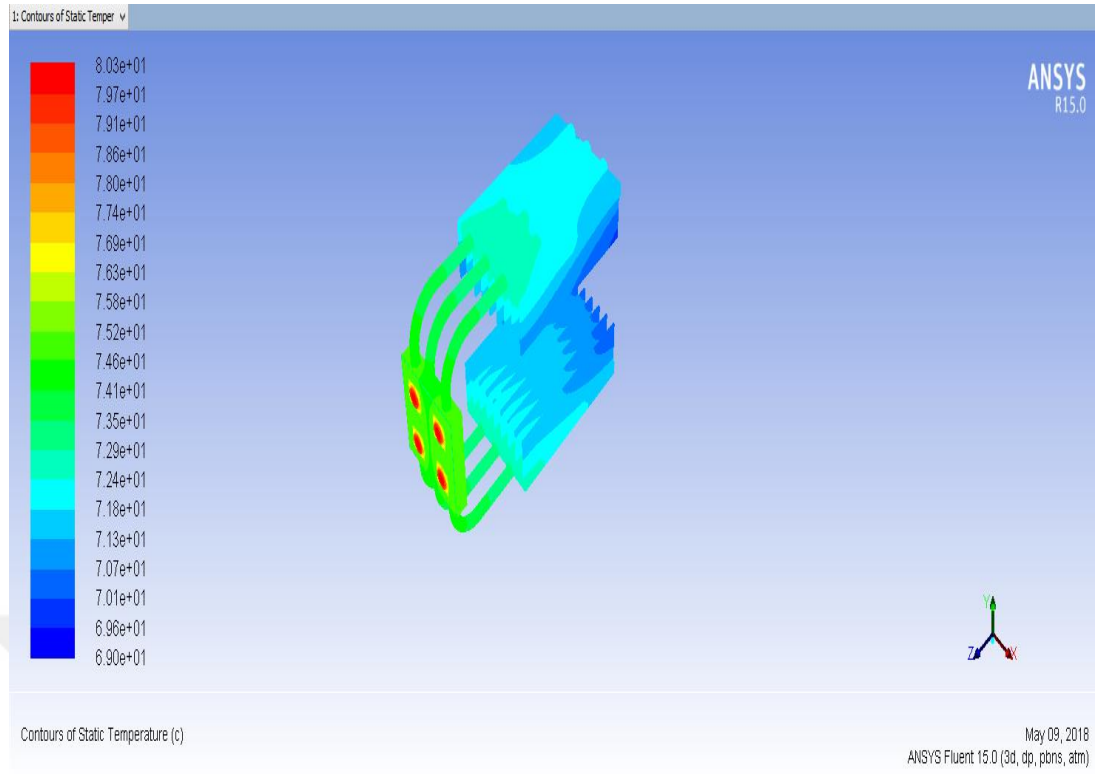
Şekil 4.49'da teknik çizimleri verilen LED paketleri, ısı borulu soğutucu plakaya entegre olacak şekilde ANSYS Workbench'de modellenip sonrasında analizler aynı sınır koşullarında tekrar edilmiştir. Şekil 4.50'den Şekil 4.53'e kadar her bir analiz sonucu elde edilen sıcaklık dağılımları verilmiştir.



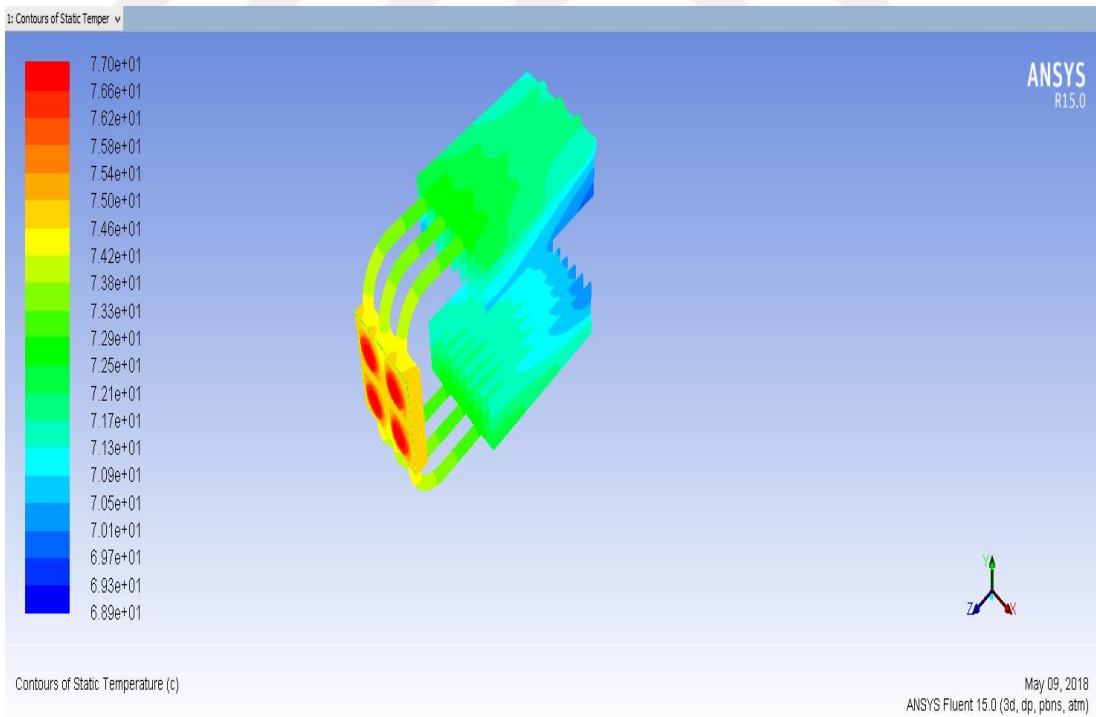
Şekil 4.49. a. Cree® XLamp® CXA1520 LED (Cree, 2018a), b. OSRAM SOLERIQR S 13 (Sarnikon, 2018), c. SEQUZC25 – Z-Power COB (Mouser, 2018), d. Cree® XLamp® CXA2530 LED (Cree, 2018b).



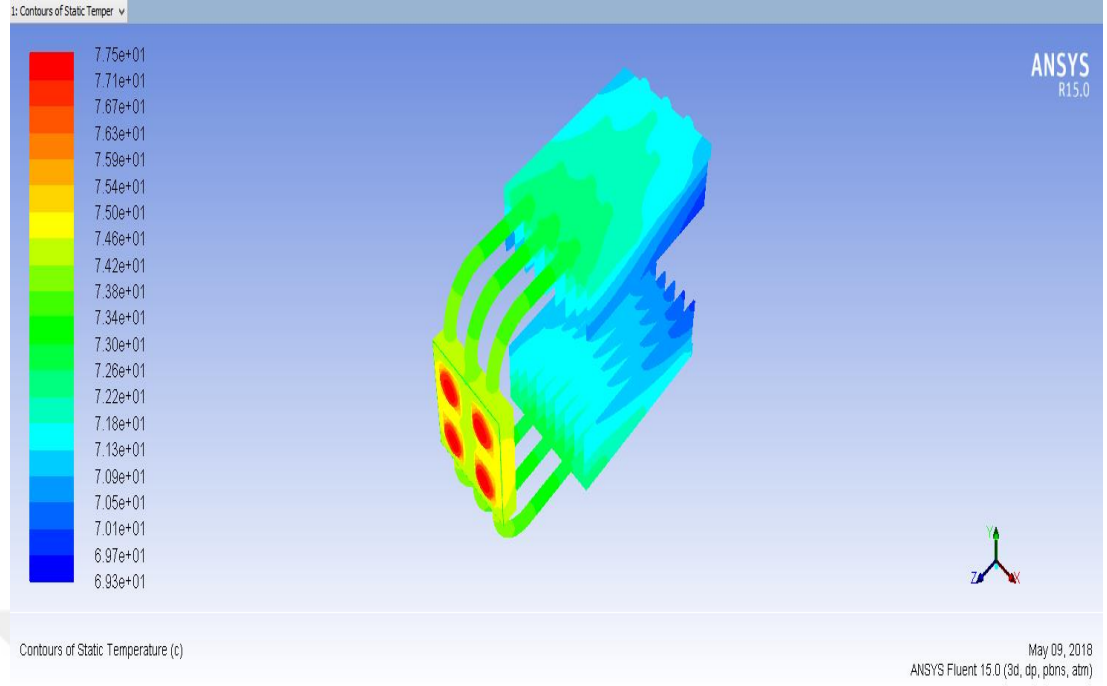
Şekil 4.50. Cree® XLamp® CXA1520 LED çipi ile tasarlanan modelin sıcaklık dağılım grafiği.



Şekil 4.51. OSRAM SOLERIQR S 13 LED çipi ile tasarlanan modelin sıcaklık dağılım grafiği.



Şekil 4.52. SEQUALZC25– Z-Power COB LED çipi ile tasarlanan modelin sıcaklık dağılım grafiği.



Şekil 4.53. Cree® XLamp® CXA2530 LED çipi ile tasarlanan modelin sıcaklık dağılım grafiği.

4.6 Farklı Türbülans Modelleri ve Duvar Yaklaşımlarının Maksimum Sıcaklığa Etkisi

Duvar fonksiyonları, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde yaygın olarak kullanılır ve hesaplamalarda oldukça kolaylık sağlar. Tasarlanan sistemin termal analizlerinde, türbülans modeli olarak *Turbulent Mixing Length* modeli ve duvar yaklaşımı olarak da Standart Duvar Fonksiyonu fonksiyonları kullanılmıştır. Bu çalışmada ek olarak Standart k- ϵ , Rng-k- ϵ , Realizable k- ϵ , Standart k-w ve SST-k-w gibi türbülans modelleri, Standart Duvar Fonksiyonu, Geliştirilmiş Duvar Fonksiyonu ve Denge Dışı Duvar Fonksiyonu gibi farklı duvar yaklaşımlarıyla birlikte uygulanmış ve maksimum LED sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Birim başına üretilen ısı miktarı farklı 4 LED çipi için, farklı türbülans modelleri ve duvar yaklaşımları ile birlikte sayısal analizler yapılmış ve elde edilen maksimum LED sıcaklıkları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

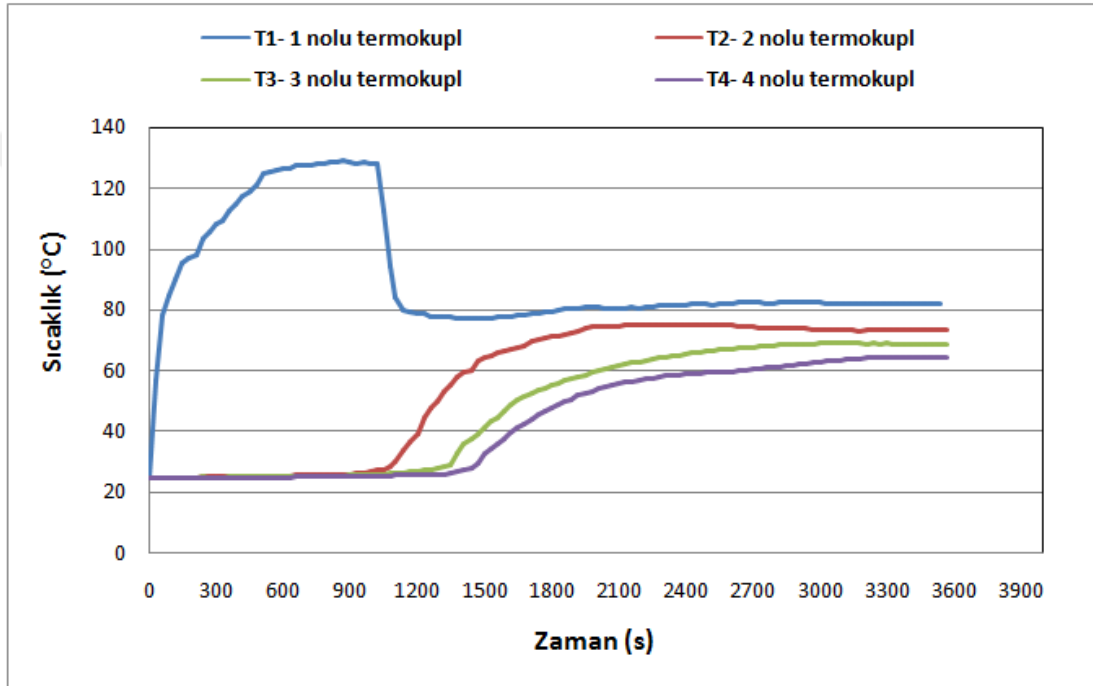
Çizelge 4.3. Farklı türbülans modeli ve duvar yaklaşımlarına göre maksimum LED sıcaklık değerleri.

Türbülans Modeli	Duvar Yaklaşımı	LED maksimum sıcaklığı (°C)			
		Cree® XLamp® CXA1520 LED	OSRAM SOLERIQ R S 13	SEQUALZC25 – Z-Power COB	Cree® XLamp® CXA2530 LED
Turbulent Mixing Length	-	82,0	80,3	77	77,5
Standart k-ε	Standart Duvar Fonksiyonu	84,9	83,04	79,8	80,4
	Geliştirilmiş Duvar Fonksiyonu	87,2	85,42	82,1	82,7
	Denge Dışı Duvar Fonksiyonu	78,9	77,1	73,9	74,4
Rng-k- ε	Standart Duvar Fonksiyonu	87,1	85,32	82	82,6
	Geliştirilmiş Duvar Fonksiyonu	87,8	86,02	82,7	83,3
	Denge Dışı Duvar Fonksiyonu	87,3	85,52	82,2	82,8
Realizable k-ε	Standart Duvar Fonksiyonu	87,4	85,6	82,3	82,7
Realizable k-ε	Geliştirilmiş Duvar Fonksiyonu	87,33	85,5	82,2	82,6
	Denge Dışı Duvar Fonksiyonu	80,2	78,4	75,1	75,7
Standart k-w	-	87,25	85,4	82	82,5
SST-k-w	-	88,13	86,3	82,9	83,55

4.7 Deneysel Ölçümler

Sistem sıcaklık verileri, SDL 200 EXTECH marka veri toplayıcısı cihaza bağlanan 4 adet K-tipi termokupl tarafından alınmıştır. Bu 4 termokupl, sisteme Şekil 3.14’de belirtilen noktalara monte edilmiştir. Sistemin sıcaklık ölçümleri 60 dk boyunca devam etmiş ve 30 s aralıklarla kaydedilmiştir. Kayıt işlemi bittikten sonra veri toplayıcısı SD kartını, bilgisayara bağlayarak veriler Excel programına aktarılmıştır.

Daha sonra bu veriler kullanılarak Şekil 4.62'de görülen sıcaklık-zaman grafiği oluşturulmuştur. Buna göre T1, LED çipi maksimum sıcaklığı, T2, içinde ısı borusu evaporatör kısmı bulunan soğutucu plakanın alt bölge sıcaklığı, T3, kanatçıklı alüminyum plakanın üst ve alt bölgelerinin sıcaklık değerlerini göstermektedir. T1 noktasının sıcaklığı, ilk olarak hızlı bir artış gösterip daha sonra ısının, sistemin alt kısımlarına doğru aktarılması ile bir miktar azalmaktadır. Sistem çalıştıktan sonra LED çipinden kanatçıklara doğru ısı aktarımı gerçekleştikçe T2, T3 ve T4 noktası sıcaklığı artmakta ve zamanla stabil hale gelmektedir.



Şekil 4.62. Sistemde belirlenen noktaların başlangıç süreci ve zamana göre sıcaklık dağılımı.

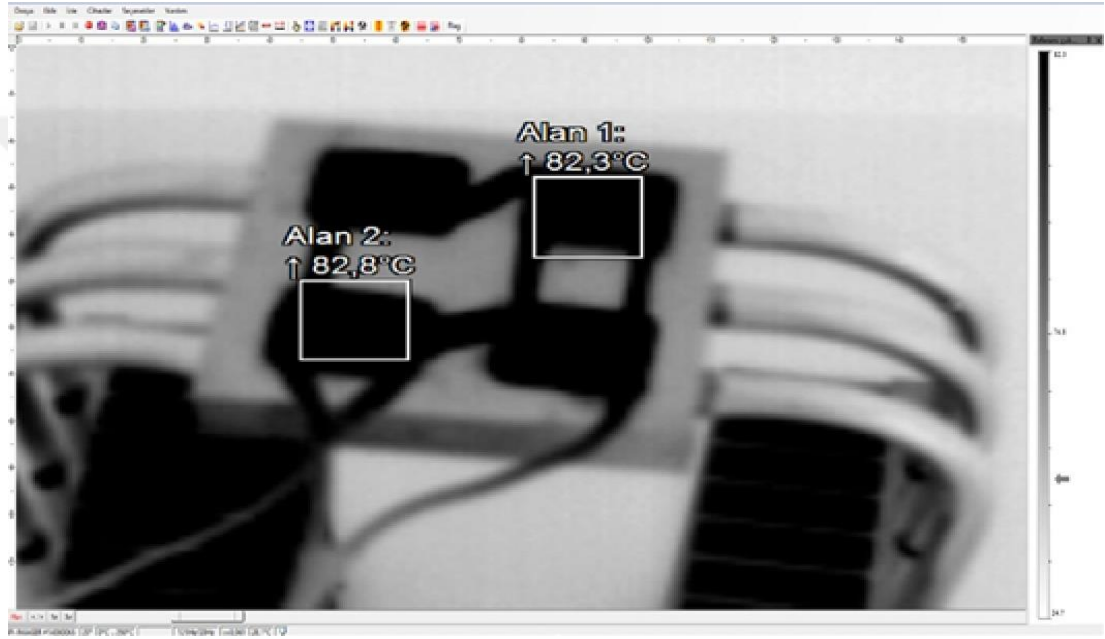
4.7.1 Deneysel belirsizlik

Deneysel belirsizlik temel olarak sıcaklık ölçüm sürecinin rastlantısal hatasıdır. Belirsizliklerin ısı gücü ve sıcaklık ölçümleri için ölçüm değişimleri ve kalibrasyonlardaki hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Termokuplların ölçüm hassasiyeti $\pm 0,1$ °C'dir. Bu nedenle sıcaklık ölçümünün mutlak belirsizliği dT , $0,1$ °C olarak alınmıştır. DC güç kaynağının verdiği belirsizlik gerilimde $\pm 0,5$ volt, dU , akımda ise $\pm 0,5$ Amper olarak, dI ve SD kart çözünürlüğünün verdiği hata $\pm 0,1$ °C, dT_{data} belirlenmiştir. Her belirsizliği göz önünde bulundurarak ve kare formülü

kullanarak sıcaklık ölçüm belirsizliği denklem (4.20)' deki gibi ifade edilir (Kline, 1985).

$$U_T = \sqrt{\left(\frac{dT}{T_{ave}}\right)^2 + \left(\frac{dT_{data}}{T_{ave}}\right)^2 + \left(\frac{dU}{U}\right)^2 + \left(\frac{dI}{I}\right)^2} \quad (4.20)$$

Hesaplamalar sonucu belirsizlik değeri % 1,5'dan % 2,2'ye kadar değiştiği görülmüştür. Burada Tave, her sıcaklık ölçüm noktasının ortalama değerini ifade etmektedir.



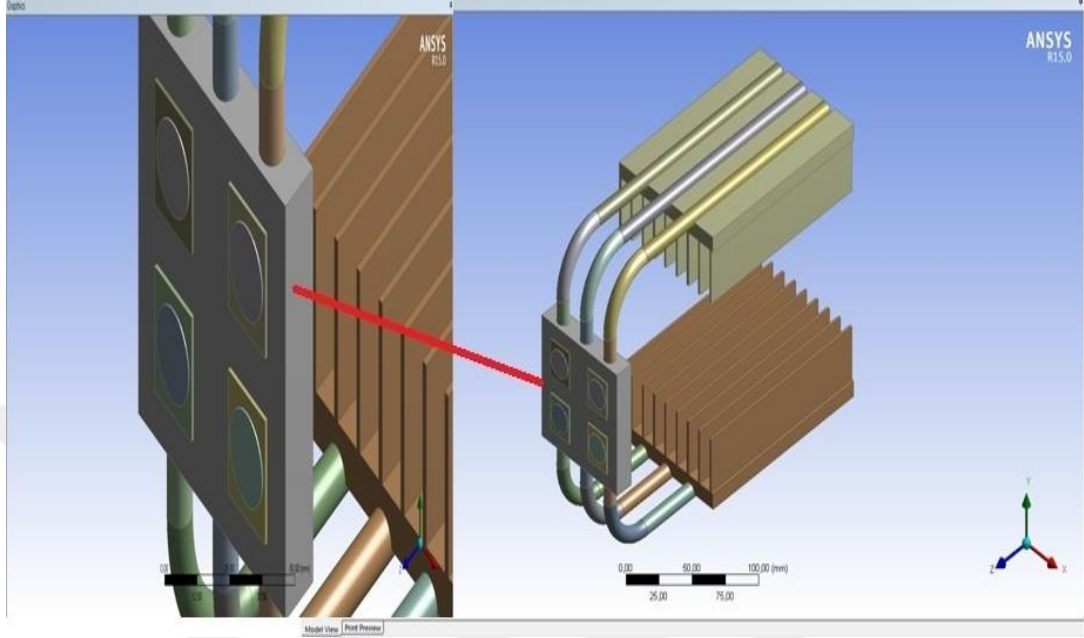
Şekil 4.63. Sistemin termal kamera ile ölçümü.

Sistemin sıcaklık ölçümlerini doğrulamak adına termal kamera kullanılmıştır. Ölçümler 160 x 120 pixel çözünürlüğe sahip Optris PI marka termal kamera ile yapılmıştır. Sistem kararlı hale geldikten sonra LED çiplerinin maksimum sıcaklık değerleri termal kamera ile ölçülmüştür (Şekil 4.63). Buna göre termal kamera ile veri toplayıcısından alınan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

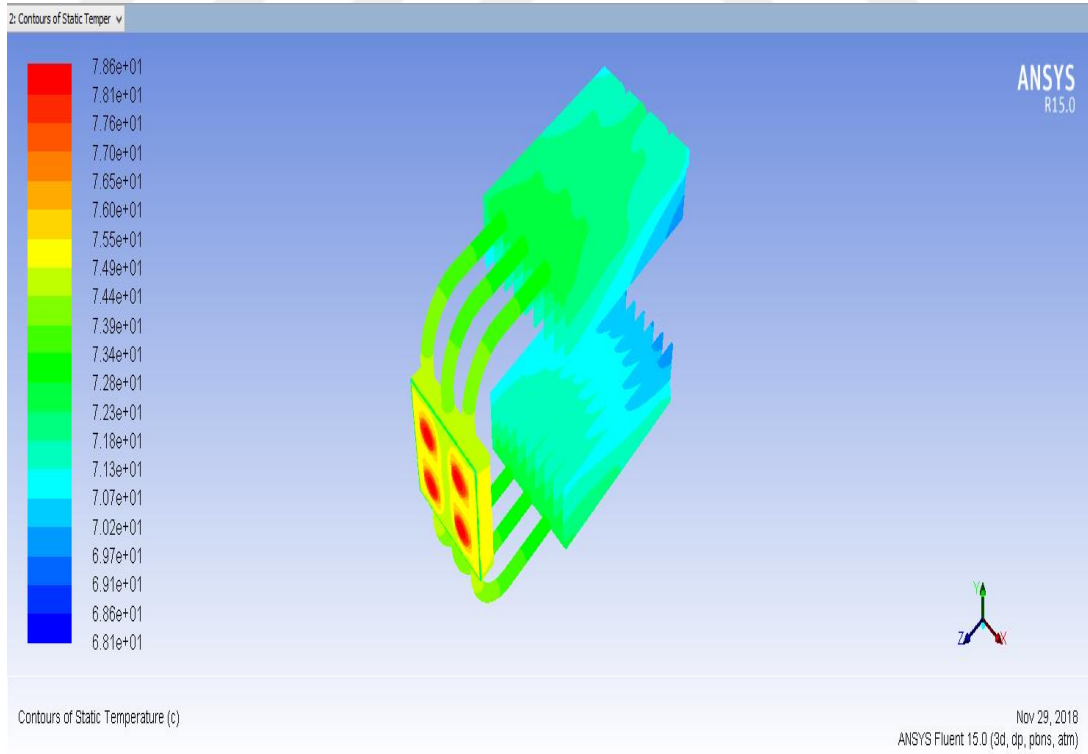
4.7.2 Deneysel ve sayısal çözümlerin karşılaştırılması

Bu çalışmada deneysel düzeneği, Ansys Fluent programında yapılan analizlerin doğrulaması amacıyla kurulmuştur. Bu amaçlar prototip olarak üretilen sistem birebir Ansys Workbench'de modellenerek (Şekil 4.64) aynı sınır şartları ve daha önceki analizleri kullanılan akış modelleri uygulanarak analiz yapılmıştır. Program

yakınsadıktan sonra sistemin sıcaklık konturları Şekil 4.65'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Buna göre deneysel ve sayısal çalışmada elde edilen sıcaklık değerleri arasında genel olarak bir uyumluluk gözlenmiştir.



Şekil 4.64. Ansys Workbench'de tasarlanan model.



Şekil 4.65. Ansys Fluent'te iterasyon sonucu elde edilen sıcaklık dağılımı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında yüksek güçlü LED’lerde, oluşan ısınma problemine yönelik çözümler aranmıştır. Bunun için, bir ısı borulu soğutucu plaka modeli tasarlanmıştır. Yüksek güçlü LED’lerin ısı borulu soğutucu plakaya entegre edilmesiyle sistem tasarımı tamamlanmıştır. Tasarlanan bu sistem sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS Fluent programı kullanılarak girilen sınır şartlarında simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, LED’lerin performansı ve dayanırlığı açısından oldukça önemli bir parametre olan jonksiyon sıcaklığı hesaplanmıştır. Buna göre 35 °C dış ortam sıcaklığı ve 0,1 m/s rüzgâr hızı için maksimum LED sıcaklığı 78,2 °C ve jonksiyon sıcaklığı ise 87,68 °C olarak bulunmuştur. Sistemde kullanılan LED’lerin veri sayfasında, izin verilen maksimum jonksiyon sıcaklığı 140 °C olarak verilmiştir (Lumileds, 2018). Buna göre, tasarlanan ısı borulu soğutucu plakanın, kullanılan LED paketi için yeterli soğutmayı sağladığı görülmüştür.

Sistem tasarımında hem maliyeti azaltacak hem de etkili bir soğutma yapacak optimum sonuçlar elde edebilmek için sistem, geometri, malzeme, dış ortam koşulları gibi parametrelere çeşitli değerler vererek, ANSYS Fluent programında tek tek simüle edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunun için ilk olarak ısı borusu sayısı ve çap değerlerinin sistem sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Isı borusu sayısı ve çapı arttıkça, sistem termal direncinin ve maksimum LED sıcaklığının azaldığı görülmüştür. Tekli ısı borusu kullanılan modelde, sistemin toplam termal direnci 0,687 °C/W iken, çift, üçlü ve dörtlü ısı borulu modellerde sırasıyla 0,602 °C/W, 0,564 °C/W ve 0,549 °C/W olarak hesaplanmıştır. Buradan en uygun ısı borusu sayısının üç olduğu sonucuna varılmıştır. Maliyeti de göz önünde alınınca iki veya üç ısı borulu sistemin iyi bir termal tasarım için uygun olduğu görülmektedir.

Sistemde ısı borularının ısı geçişine etkisini görmek için sistem, ısı borusu yerine içi dolu alüminyum borular ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Üç ısı borusu yerine, alüminyum boru ile modellenen sistemin, maksimum LED sıcaklığında yaklaşık 37 °C artış gözlenmiştir.

Isı borusunu oluşturan bileşenlerden evaporatör ve kondenser bölgesi uzunluk değerlerinin, sistemin sıcaklık dağılımına, jonksiyon sıcaklığına ve toplam termal dirence etkisi incelenmiştir. Böylece, ısı borusu geometrik parametrelerinin

sistemden dış ortama transfer edilen ısı miktarına etkisi genel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, tasarlanan LED paketlerinden ısıyı uzaklaştırabilmek için gerekli ideal ısı borusu boyutları hakkında bilgi vermiştir.

Sistemde LED'leri soğutmak için kullanılan soğutucu plaka üzerindeki kanatçıkların optimum boyutları belirlenmiştir. İlk olarak, Elenbaas ve Bar-Kohen formülasyonları kullanılarak b_{opt} , Nu , h ve ortama transfer edilen ısı güç değerleri analitik olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, her bir kanatçık aralığı için, tüm sistem Ansys Workbench'de yeniden modellenmiş ve aynı sınır şartlarda Fluent programında simüle edilmiştir. ANSYS Fluent programından elde edilen maksimum sıcaklık değerleri, analitik olarak hesaplanan transfer edilen ısı güç değerleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar uyumlu çıkmıştır. Elenbaas ve Bar-Kohen formülasyonlarında b_{opt} değeri sırasıyla 7,53 mm ve 7,38 mm olarak hesaplanmıştır. Bu noktalarda transfer edilen ısı güç değeri maksimum değere ulaşmıştır. ANSYS Fluent programından elde edilen sonuçlarda yaklaşık 7,4 mm kanatçık aralığında LED'lerde oluşan maksimum sıcaklık değeri 80,5 °C bulunmuştur. Bu değer tüm b değerleri içinde gözlemlenen en düşük maksimum sıcaklık değeridir.

Tasarlanan sistem için b_{opt} değeri hesaplandıktan sonra sistemin optimum kanatçık yüksekliği ve kalınlığı, ANSYS Fluent analizleri ile belirlenmiştir. Kanatçık yüksekliği 30 mm'den 50 mm'ye kadar, 5 mm aralıklara modellenmiş ve hepsi ayrı ayrı simüle edilmiştir. ANSYS Fluent simülasyonlarından elde edilen sonuçlarda, 30 mm'lik kanatçık yüksekliğinde, maksimum LED sıcaklığı 81,25 °C iken, 35 mm, 40 mm, 45 mm ve 50 mm'lik kanatçık yüksekliğinde bu değerlerin sırasıyla 78,25 °C, 75,95 °C, 74,25 °C ve 72,75 °C olduğunu görülmüştür. Buna göre kanatçık yüksekliği arttıkça sistemden transfer edilen ısıнын arttığı gözlemlenmiştir.

Sistemde LED'lerden dış ortama ısı transferinin iletim ve taşınım yoluyla gerçekleştiği varsayılmaktadır. Isı transfer mekanizmalarından biri olan ışınlama ısı transferi, çok küçük olduğu için bu çalışmada ihmal edilmiştir. Taşınım ısı transferinde, ısı taşınım katsayısı ve ısı transfer yüzey alanı olmak üzere iki parametre etkindir. Ortam akışkanı olarak kabul edilen havanın ısı transfer katsayısı değiştirilemeyeceğinden, ilk olarak, ısı transferini artırabilmek için ısı transfer yüzey alanını artırma yolu seçilmiştir. Bu amaçla, soğutucu plakaya kanatçıklar eklenmiştir. İletimle ısı transferinde ise ısı iletim katsayısının payı oldukça büyüktür. Bu nedenle,

ısı borusu, soğutucu plaka ve LED paketini oluşturan bileşenlerin, farklı termofiziksel özelliklerdeki malzemelerle tasarlanmasının sistem sıcaklık dağılımını nasıl etkilediği incelenmiştir. İlk olarak, sistemin bileşenlerinden biri olan soğutucu plaka, farklı ısı iletkenliklere sahip paslanmaz çelik, magnezyum, alüminyum alaşımları ve bakır alaşımları kullanılarak modellenmiş ve sistem ANSYS Fluent programında simüle edilmiştir. Sonuç olarak, ısı iletim katsayısı 79 W/m.K olan magnezyumun, ısı iletkenliği ve maliyeti çok daha yüksek alüminyum ve bakır soğutucu plakaya göre ısı dağılımında önemli bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir. Soğutucu plaka malzemesi olarak ısı iletim katsayısı 14 W/m.K olan paslanmaz çelik kullanıldığında ise maksimum LED sıcaklığının magnezyuma göre yaklaşık 6 derece yükseldiği görülmüştür.

LED paketini oluşturan bileşenlerden LED çipi ile elektrik devresi oluşturmak için kullanılan baskılı/elektronik devre kartını birleştirmek için çok ince bir tabaka halinde LED kalıp malzemesi kullanılır. Sistem modellenirken, kalıp malzemesi olarak silikon, silikon karbür ve safir kullanılmış ve tek tek simüle edilmiştir. Analiz sonucu, farklı ısı iletkenliklere sahip olan LED kalıp malzemelerinin sistem sıcaklık dağılımında önemli bir fark yaratmadığı görülmüştür.

Elektronik cihazlarda elektrik devresi oluşturmak için genelde PCB kullanılmaktadır. Yüksek güçlü uygulamalarda PCB'ler düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle pek tercih edilmemektedir. Bunun yerine, yüksek ısı iletkenliklerinden dolayı, DBC ve AMB'ler yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu tez çalışmasında Al_2O_3 DBC, Si_3N_4 AMB, AlN DBC ve IMS gibi farklı ısı iletkenliklere ve üretim yöntemlerine sahip baskılı/elektronik devre kartları kullanılmıştır. Isı iletim katsayısı 24 W/m.K olan Al_2O_3 DBC ile 180 W/m.K olan AlN DBC LED paketinde modellenip simüle edildiğinde maksimum LED sıcaklıkları arasında 1 °C'den az bir fark olduğu, ısı iletim katsayısı 1,1 W/m.K olan IMS kullanıldığında ise LED maksimum sıcaklığında yaklaşık 4 °C'lik bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu da ısı iletkenlik değerinin, sistemden uzaklaştırılan ısı güce, belirli bir noktaya kadar etkili olduğunu, o noktadan sonra önemli bir fark yaratmadığını göstermiştir.

Tasarlanan modelde, farklı hacimlerde LED çipleri kullanılmış ve aynı güç girişi için simülasyonlar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, LED çip hacmi arttıkça, LED çipinin maksimum sıcaklığında bir miktar düşme olduğunu göstermektedir. Bunun

nedeninin, artan LED ip hacmiyle birim hacim başına üretilen ısı miktarının azalması olabileceği düşünülmektedir. LED ip hacmi 47,625 mm³ olan Cree® XLamp® CXA1520 LED ile 190,5 mm³ olan Cree® XLamp® CXA2530 LED'e aynı g uygulandığında oluşan maksimum sıcaklıklar arasındaki farkının yaklaşık 5°C olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, SEQUAL ZC2-Z-Power COB'un birim hacim başına üretilen ısı miktarının Cree® XLamp® CXA2530'dan daha büyük olmasına rağmen elektronik devre kartı boyutunun etkisinden dolayı, SEQUAL ZC2-Z-Power COB'un analizde elde edilen maksimum sıcaklığı daha düşük bulunmuştur. Bu sonuçlar elektronik devre kartı boyutunun da maksimum sıcaklığa etkili olduğunu göstermektedir.

İkinci olarak da analizlerde 6 farklı türbülans modeli ve 3 farklı duvar yaklaşımı kullanılmıştır. Hesaplamalar sonunda, analizlerde farklı türbülans ve duvar yaklaşımları kullanılması, elde edilen maksimum LED sıcaklık değerlerinde görülür şekilde farklılıklar oluşturduğu grlmştir. Aynı türbülans modelinde farklı duvar yaklaşımları kullanıldığında maksimum LED sıcaklık değerleri arasında yaklaşık 6 - 7 °C'ye kadar farklılık gözlenmiştir.

Deneyssel doğrulama amacıyla ANSYS Workbench'de modellenen sistemin prototipi üretilmiştir. nce ısı borulu soğutucu plaka üretimi yapılmış ve daha sonra dört eş 25 W'lık yüksek g COP LED paketi termal ara yüzey malzemesi kullanılarak soğutucu plakaya entegre edilmiştir. Sistem alıştırıldığında, LED'lerde oluşan ısı akısının, LED ipinden uzaklaştırabilmesi için, ısının soğutucu plakaya iletim yoluyla aktarılması gerekmektedir. Eğer LED paketi ile soğutucu plaka arasında tam bir temas oluşmazsa, LED'lerde oluşan ısı, soğutucu plakaya ve dolayısıyla ısı borusu evaporatör bölgesine ulaşamaz. Bu durum ısı dirençte artışa sebep olur. Ölçümler sırasında, termal ara yüzey malzemesinin düzgün bir şekilde uygulanmadığı zaman LED'lerde ısı direnç oluştuğu ve maksimum LED sıcaklığının arttığı grlmştir. Bu da termal ara yüzey malzemesinin doğru kullanımının ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Deneyssel alışma sonuçları, ANSYS Fluent programından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Deneyssel doğrulamada en iyi sonucu Standart k - e türbülans modelinde Gelişmiş Duvar Yaklaşımı yaklaşımı vermektedir.

KAYNAKLAR

- Arık, M. ve Weaver S., 2004. Chip scale thermal management of high brightness led packages, Fourth International Conference on Solid State Lighting, Bellingham, 5530, 214-223.
- Arularasan, R. ve Velraj, R., 2008. Cfd analysis in a heat sink for cooling of electronic devices, International Journal of The Computer, The Internet and Management, 16, 3, 1-11.
- Asmaie, L., Haghshenasfard, M., Mehrabani-Zeinabad, A. ve Esfahany, M.N., 2013. Thermal performance analysis of nanofluids in a thermosyphon heat pipe using cfd modeling, Heat and Mass Transfer, 49, 5, 667-678.
- Ashish, R., Chaudhari ve Bhosale, S.Y., 2016. CFD validation and experimental investigation of circular heat pipe using hybrid nanofluid, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 5, 9, 16058-16064.
- Bar-Cohen, A. ve Rohsenow, W.M., 1984. Thermally optimum spacing of vertical, natural convection cooled, parallel plates. Journal of Heat Transfer, 106, 1, 116-123.
- Carbajal, G., Sobhan, C.B., Peterson, G.P., Queheillalt, D.T. ve Wadley, H.N.G., 2006. Thermal response of a flat heat pipe sandwich structure to a localized heat flux, International Journal of Heat and Mass Transfer, 49 (21-22), 4070-4081.
- Cgeng, T., Luo, X., Huang, S. ve Liu, S., 2010. Thermal analysis and optimization of multiple LED packaging based on a general analytical solution, International Journal of Thermal Sciences, 49, 196-201.
- Chang, Y.W., Chang, C.C., Ke, M.T. ve Chen, S.L., 2009. Thermoelectric air-cooling module for electronic devices, Applied Thermal Engineering, 29, 13, 2731-2737.
- Chen, F., Wang, K., Zhao, M., Mao, Z., Yao, J., Li, C. ve Liu, S., 2011. Design of LED packaging module for automotive forward-lighting application, In Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), Singapore, 213-217.
- Cheng, J. H., Liu, C. K., Chao, Y. L. ve Tain, R. M., 2005. Cooling performance of silicon-based thermoelectric device on high power LED, 24th International Conference on Thermoelectrics, Clemson, 53-56.
- Cheng, H.H., Huang, D.S. ve Lin, M.T., 2012. Heat dissipation design and analysis of high power LED array using the finite element method, Microelectronics Reliability, 52, 905-911.

- Channamallikarjun, 2014. Thermal analysis of cpu with variable base plate heatsink using cfd, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3, 3, 510-515.
- Christensen, A. ve Graham, S., 2009. Thermal effects in packaging high power light emitting diode arrays, *Applied Thermal Engineering*, 29 (2-3), 364-371.
- Deng, Y. ve Liu, J., 2010. A liquid metal cooling system for the thermal management of high power LED's, *Elsevier International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 788-791.
- Dev, K. ve Budania, B., 2016. Simulation and modeling of heat pipe, *International Journal of Technical Research*, 5, 1.
- Dunn, P.D. ve Reay, D., 2012. Heat pipes, Elsevier.
- El-Genk, M.S. ve Lianmin, H., 1993. An experimental investigation of the transient response of a water heat pipe, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 36, 15, 3823-3830.
- Elenbaas, W., 1942. Heat dissipation of parallel plates by free convection, *Pyhsica*, 9, 1-28.
- Elnaggar, M., 2013. The effect of thickness and permeability of wick structure on L-shape heat pipe performance using different working fluids, *Frontiers in Heat Pipes (FHP)*, 3, 4.
- Elnaggar, M.H. ve Edwan, E., 2016. Heat pipes for computer cooling applications, In *Electronics Cooling*, InTech.
- Grujicic, M., Zhao, C.L. ve Dusel, E.C., 2005. The effect of thermal contact resistance on heat management in the electronic packaging, *Applied Surface Science*, 246, 1, 290-302.
- Gwinn, J.P, Webb, R.L., 2003. Performance and testing of thermal interface materials, *Microelectron Journal*, 34, 215-22.
- Ha, M. ve Graham, S., 2012. Development of a thermal resistance model for chip-on-board packaging of high power LED arrays, *Microelectronics Reliability*, 52,5, 836-844.
- Gajewski, K., 2007. Nations set goals to phase out the use and sale of incandescent light bulbs, *The Humanist*.
- Ha, M.S., 2009. Thermal analysis of high power LEDs arrays, *Yüksek Lisans Tezi*, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Ha, M. ve Graham, S., 2012. Development of a thermal resistance model for chip-on-board packaging of high power LED arrays, *Microelectronics Reliability*, 52, 5, 836-844.

- Hung, Y.M. ve Seng, Q.B., 2011. Effects of geometric design on thermal performance of star-groove micro-heat pipes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, 5, 1198-1209.
- Huang, G.J., Wong, S.C. ve Lin, C.P., 2014. Enhancement of natural convection heat transfer from horizontal rectangular fin arrays with perforations in fin base, *International Journal of Thermal Science*, 84, 164-174.
- Huber, R., 2008. Thermal management of golden dragon LED, OSRAM - Opto Semiconductors, 1-11.
- Jang, S. ve Shin, M.W., 2008. Thermal analysis of LED arrays for automotive headlamp with a novel cooling system, *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 8, 3, 561-564.
- Jang, D., Park, S.J., Yook, S.J. ve Lee, K.S., 2014. The orientation effect for cylindrical heat sinks with application to LED light bulbs, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 71, 496-502.
- Jeong, M.W., Jeon, S.W. ve Kim, Y., 2015. Optimal thermal design of a horizontal fin heat sink with a modified-opening model mounted on an LED module, *Applied Thermal Engineering*, 91, 105-115.
- Kailin, P., Guotao, R., Peng, L. ve Peng H., 2011. Thermal analysis of multi-chip module high power LED packaging, *International Conference on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging*, Guilin, 1124-1127.
- Kansal, S. ve Laad, P., 2015. Performance and thermal analysis of heat sink with fins of different configuration using cfd, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 6, 6, 1487-1495.
- Kim, K.S., Won, M.H., Kim, J.W. ve Back, B.J., 2003. Heat pipe cooling technology for desktop pc CPU, *Applied Thermal Engineering*, 23, 9, 1137-1144.
- Kim, L., Choi, J.H., Jang, S.H., Shin, M.W., 2006a. Thermal analysis of LED array system with heat pipe, *Thermochimica Acta*, 455, 21-25.
- Kim, L., W.J. Hwang, M.W. ve Shin, M.W., 2006b. Thermal resistance analysis of high power LEDs with multi-chip package, *Electronic Components and Technology Conference*, 1076-1081.
- Kline, S.J., 1985. The purposes of uncertainty analysis, *Journal of Fluids Engineering*, 107, 2, 153-160.
- Kreith, F. ve Bohn, M.S., 2001. Principles of heat transfer, 6th Edition, Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Kulkarni, V.M. ve Dotihal, B., 2015. Cfd and conjugate heat transfer analysis of heat sinks with different fin geometries subjected to forced convection used in

electronics cooling, International Journal of Research in Engineering and Technology, 4, 6, 158-163.

Laad, P., Akhare, B. ve Chaurasia, P., 2016. Thermal analysis of heat sink with fins of different configuration using ansys workbench 14.0, International Journal of Engineering Sciences and Research Technology, 5, 6, 82-93.

Lai, Y. ve Cordero, N., 2006. Thermal management of bright LED's for automotive applications, 7th International Conference on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems, Como, 20, 1-5.

Lai Y., Cordero, N., Barthel F., Tebbe, F., Kuhn, J., Apfelbeck, R., Würtenberger, D., 2008. Liquid cooling of bright LED's for automotive applications, Applied Thermal Engineering, 29, 1239–1244.

Li, J., Ma, B., Wang, R. ve Han, L., 2011. Study on a cooling system based on thermoelectric cooler for thermal management of high-power LED's. Microelectronics Reliability, 51, 12, 2210-2215.

Lin, Z., Wang, S., Shirakashi, R. ve Zhang, L.W., 2013. Simulation of a miniature oscillating heat pipe in bottom heating mode using cfd with unsteady modeling, International Journal of Heat and Mass Transfer, 57, 2, 642-656.

Ling, O.S., 2012. Thermal modeling of high power LED's, Avago Technologies Technical Report.

Luo, X., Xiong, W., Cheng, T. ve Liu, S., 2009. Design and optimization of horizontally located plate fin heat sink for high power LED street lamps, Electronic Components and Technology Conference, 854-859.

Ma, S. P., Park, K.M., Joung, W. ve Lee, J., 2011. Operating characteristics of a loop heat pipe with a novel flat evaporator. In 10th International Heat Pipe Symposium, Taipei, 133-137.

Meng, X.R., Ma, X.L., Lu, J.F. ve Wei, X.L., 2011. A study on improving in natural convection heat transfer for heat sink of high power LED's, In Advanced Materials Research, 383, 6834-6839.

Moon, S. H., Park, Y. W. ve Yang, H. M., 2016. A single unit cooling fins aluminum flat heat pipe for 100 W socket type COB LED lamp, Applied Thermal Engineering, 126, 1164-1169.

Narendran, N. ve Gu, Y., 2005. Life of LED-based white light sources, Journal of display technology, 1, 1, 167.

Naveenkumar, C., Kumar, P.V. ve Kumar, K.D., 2015. Simulation and CFD analysis of heat pipe with different wick geometry using CFX, International Journal of Thermal Technologies, 5, 3, 210-213.

- Nemec, P., Čaja, A. ve Malcho, M., 2013. Mathematical model for heat transfer limitations of heat pipe, *Mathematical and Computer Modelling*, 57, 1, 126-136.
- Nine, M.J., Tanshen, M.R., Munkhbayar, B., Chung, H. ve Jeong, H., 2014. Analysis of pressure fluctuations to evaluate thermal performance of oscillating heat pipe, *Energy*, 70, 135-142.
- Özdil, İ., 2015, Otomotiv aydınlatma sistemlerinde kullanılan LED’li elektronik devre kartlarının hesaplamalı ısı analiz, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Peterson, G.P., 1994. An introduction to heat pipes: modeling, testing, and applications, Wiley.
- Plesca, A., 2008. Optimum kanals distribution to a printed circuit board. *Journal of Lectrical Engineering*, 59, 6, 332-338.
- Paynter, R.T., Toby Boydell, B.J., 2011. Introduce to electricity, Prentice Hall published, 1146.
- Said, S.A. ve Akash, B.A., 1999. Experimental performance of a heat pipe. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 26, 5, 679-684.
- Schmid, G., Huang, Z.L., Yang, T.H. ve Chen, S.L., 2017. Numerical analysis of a vertical double-pipe single-flow heat exchanger applied in an active cooling system for high-power LED street lights, *Applied Energy*, 195, 426-438.
- Scott, D. ve Garner, P. E., 1996. Heat Pipes for Electronics Cooling Applications, *Electronics Cooling Magazine*, Thermacore Inc.
- Schütt, E., 2014. Thermal management and design optimization for a high power LED work light.
- Shen, S.C., Huang, H.J. ve Shaw, H.J., 2013. Design and estimation of a MCPCB-flat plate heat pipe for LED array module, I International Conference on Mechatronics and Automation, Takamatsu, *Proceedings of 20EEE13*, 158-163.
- Sokmen, K.F., Yürüklü, E. ve Yamankaradeniz., N., 2016. Computational thermal analysis of cylindrical fin design parameters and a new methodology for defining fin structure in LED automobile headlamp cooling applications, *Applied Thermal Engineering*, 94, 534–542.
- Sudhakarbabu, K., ve Sankar, K.G., 2015, Process of cooling of the heat sink using the Ansys, *International Journal of Computer Science information and Engineering Technology*.
- Suresh, Z.V. ve Bhramara, B., 2016. CFD analysis of single turn pulsating heat pipe, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 7, 6, 238-244.

- Taft, B. ve Laun, F., 2014. Experimental investigation of in situ pressure measurement of an oscillating heat pipe, *Frontiers in Heat Pipes (FHP)*, 5,1.
- Tang, Y., Ding, X., Li, Z. ve Li, B., 2014. A high power LED device with chips directly mounted on heat pipes, *Applied Thermal Engineering*, 66, 632-639.
- Todorov, D.G. ve Kapisazov, L.G., 2008. LED thermal management, *Electronics' 2008 Conference, Sozopol*, 139-144.
- Tseng, Y.S., Hung, T.C. ve Pei, B.S., 2008. Enhancement of cooling characteristics for electronic cooling by modifying substrate under natural convection, *Journal of Electronic Packaging*, 130, 1, 11006.
- Yang, L., Jang, S., Hwang, W. ve Shin, M., 2006. Thermal analysis of high power GaN-based LED's with ceramic package, *Thermochimica Acta*, 455, 95–99.
- Yang, K.S., Wu, Y.L., Chen I.Y. ve Wang, C.C., 2009. An investigation of thermal spreading device with thermal channel in high power's, In *Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference 4th International* , Taiwan, 195-198.
- Yeh, L.T. ve Chu, R.C., 2002. *Thermoelectric Coolers*, ASME Press.
- Yung, K.C., Liem, H., Choy, H.S., 2014. Heat transfer analysis of a high-brighness LED array on PCB under different placement configurations, *International Communicaiton in Heat and Mass Transfer*, 53, 79-86.
- Wang, Y. ve Vafai, K., 2000. An experimental investigation of the thermal performance of an asymmetrical flat plate heat pipe, *International journal of heat and mass transfer*, 43, 15, 2657-2668.
- Wang, C.J., 2011. Thermal investigations on LED vapor chamber-based plates, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 1206-1212.
- Wang, J. C., 2013, Thermoelectric transformation and illuminative performance analysis of a novel LED-MGVC device, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 48, 80-85.
- Wang, J., Zhao, X.J., Cai, Y. X., Zhang, C. ve Bao, W.W., 2015. Experimental study on the thermal management of high-power LED headlight cooling device integrated with thermoelectric cooler package, *Energy Conversion and Management*, 101, 532-540.
- Wang, M., Tao, H., Sun, Z., Zhang, C., 2017. The development and performance of the high power LED radiator, *International Journal of Thermal Sciences*, 113, 65-72.
- Weng, C.J., 2009. Advanced thermal enhancement and management of LED packages, *Elsevier International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 245 –248.

Zhang, Y. ve Faghri, A., 2008. Advances and unsolved issues in pulsating heat pipes, Heat Transfer Engineering, 29, 1, 20-44.

URL-1 < http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/comparing_lights.html>: Erişim tarihi:17.01.2017.

URL-2 <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Electronic/led.html>>: Erişim tarihi: 20.01.2017.

URL-3< [http:// www. hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/led.htm](http://www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/led.htm)>: Erişim tarihi: 17.01.2017.

URL-4< <http://en.wikipedia.org/wiki/Led>>: Erişim tarihi: 24.01.2017.

URL-4< http://www.osram.com/osram_com/index.jsp>: Erişim tarihi: 24.01.2017.

URL-6< http://emergencetechnologyconsultants.com/comparing_lights.php>: Erişim tarih:30.01.2017.

URL-7<https://ledlight.osram-os.com/wpcontent/uploads/2013/01/OSRAMOS_LED_FUNDAMENTALS_Internal_Thermal_Resistance_of_LEDs_v4_09-07_11_SCRIPT.pdf>: Erişim tarihi: 30.01.2017.

URL-8<<https://www.electronics-cooling.com/2004/08/thermal-vias-a-packaging-engineers-best-friend/>>: Erişim tarih:12.02.2017.

URL-9< https://www.cree.com/led-component/media/documents/XLamp_PCB_Thermal.pdf>: Erişim tarihi: 01.03.2017.

URL-10<<https://www.lumileds.com/uploads/419/DS115-pdf/>>: Erişim tarihi: 12.04.2018.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Burcu ÇİÇEK

Adres : Aksaray Üni., Mühendislik Fak., Makina Müh. Böl.

E-posta adresi : cicekb@aksaray.edu.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Balıkesir Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü (2004-2009)

Yüksek Lisans: İstanbul Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü (2009-2012)

MESLEKİ DENEYİMLERİ

: Aksaray Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü-Araştırma
Gör. (2011- Devam)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1- Cicek, B., Sahin, N., 2018, A Numerical Analysis of Thermal Management For High Power Led Street Lights, International Journal of Research in Engineering and Technology, eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308 (Yayınlandı).

2- Cicek, B., Sahin, N., Alkan, M., 2018, Thermal Analysis Of Chip On Board Packaging Of High Power Led's With Heat Pipe Using Cfd For Street Lights,Gazi University Journal of Science (Yayınlandı).

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1- Cicek, B., Sahin, N., 2018, Thermal Analysis of Various High Power LED's with Different Turbulance Models and Wall Approaches using CFD for Street Lighths, International Conference on Sciene and Technology, Prizren- KOSOVO (Tam metin sunuldu ve bildiri kitapçığında basıldı).