

**OTOMOBİL DIŞ AYDINLATMA GRUPLARINDA
İNÖVATİF SOĞUTMA UYGULAMALARI**

Mehmet AKTAŞ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOBİL DIŞ AYDINLATMA GRUPLARINDA İNOVATİF SOĞUTMA
UYGULAMALARI**

Mehmet AKTAŞ
0000-0003-1552-9946

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Mehmet AKTAŞ tarafından hazırlanan "OTOMOBİL DIŞ AYDINLATMA GRUPLARINDA İNOVATİF SOĞUTMA UYGULAMALARI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

- Başkan** : Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
0000-0003-2113-4510
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Doç. Dr. Gökhan SEVİLGİN
0000-0002-7746-2014
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Doç. Dr. M. Özgün KORUKÇU
0000-0002-4761-4304
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Doç. Dr. Ümit ÜNVER
0000-0002-6968-6181
Yalova Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE
0000-0003-1387-907X
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

İmza

İmza

İmza

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

..../..../..

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26/06/2020

Mehmet AKTAŞ

ÖZET

Doktora Tezi

OTOMOBİL DIŞ AYDINLATMA GRUPLARINDA İNOVATİF SOĞUTMA UYGULAMALARI

Mehmet AKTAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Günümüzde kaliteli ışık çıktısı, estetik tasarıma elverişliliği, düşük güç tüketimi gibi bir çok avantaja sahip LED (Light Emitted Diode)'li otomotiv aydınlatma ürünleri yeni otomobillerde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Üzerinden geçen elektrik enerjisini 70-80% oranında ısı olarak açığa çıkaran LED yongalarında etkili ısıl yönetim yapılmadığı takdirde kalitesiz ve yoğunluğu az ışık çıktısı, kısa ömür gibi problemler meydana getirmektedir. Artan LED güçlerinde ısınma problemlerinin çözümünde geleneksel soğutma yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Fakat otomotiv aydınlatma sistemlerinin araca uygulanmasında sınırlı ürün gövde hacminin olması, soğutma ünitelerine yeterli hacminin verilememesi, ürün üzerinde ağırlık artışları, homojen soğutmanın olmayışı gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Sıvı soğutmalı sistemlerin yüksek soğutma kapasitesi, ortam koşullarından fazla etkilenmemesi ve kararlı yapısı, LED'li sistemlerin homojen soğutulmasına imkân sağlamaktadır. Bu avantajlarından dolayı bu tez çalışması kapsamında LED'li otomotiv aydınlatma elemanlarının soğutulmasında sıvı soğutmalı blok uygulamalarının hidrolik ve ısıl performansları incelenmiştir. Yapılan araştırma çalışmaları kapsamında ön aydınlatma ürünlerinde kullanılabilir özgül LED baskı devre kartları tasarlanmış ve prototipi imal edilmiştir. Tasarlanan ve üretilen devre kartlarının sıvı soğutmalı blok tasarımları ile soğutulması hedeflenmiştir. Sıvı soğutmalı bloklarda ısıl performansının yüksek olması ve homojen soğutma yapması istenirken en az pompa gücü ve blok içi basınç düşümü sağlanması için tasarımda optimizasyon çalışması gerekmektedir. Bu nedenle farklı blok yapısı, LED gücü ve akışkan debi değerlerinde çalışılarak soğutma performansının iyileştirilmesi ve blok içi akışta basınç düşümünün en aza indirilmesine yönelik iyileştirme amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri gerçekleştirilmiştir. En az blok içi akış basınç düşüşüne sahip, homojen soğutma ve en iyi ısı transferini sağlayan iki blok yapısının prototipi imal edilerek LED baskı devre kartının soğutulması deneysel olarak incelenmiştir. Tasarımı ve üretimi yapılan LED baskı devre kartı ve optimize edilmiş blok yapısı seri üretimde olan ön aydınlatma kompleksi içerisine yerleştirilerek HAD analizleri yapılmış ve deneysel olarak incelenmiştir. Geleneksel soğutmaya sahip seri üretimdeki otomotiv ön aydınlatma ürünü ile sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanının soğutma performansları ve ışık yoğunlukları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv aydınlatma, HAD, baskı devre kartı, LED, sıvı Soğutma, bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı, laminer akış.

ABSTRACT

PhD Thesis

INNOVATIVE COOLING APPLICATIONS ON AUTOMOTIVE EXTERIOR LIGHTING GROUPS

Mehmet AKTAŞ

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

Supervisor: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Today, automotive lighting products which has light emitting diodes with many advantages such as light output quality, aesthetic design, low power consumption have begun to be widely used in new cars. Unless effective thermal management is performed in LED (Light Emitted Diode) chips, which reveal the electrical energy passing through it as 70-80 % of heat, it creates problems such as poor quality and low light output and short life. Traditional cooling methods are insufficient in solving heating problems with increasing LED powers. Additionally, in the application of automotive lighting systems to the vehicle, there are problems such as limited body volume, insufficient volume for cooling units, weight limitations for product and lack of homogeneous cooling. Liquid cooled systems with high cooling capacity, not being affected by environmental conditions and stable structure allows homogeneous cooling for LED systems. Because of these advantages, hydraulic and thermal performances of liquid cooled block applications were investigated in the cooling of LED automotive lighting components within the scope of this thesis. Within the scope of the research studies, original LED printed circuit boards that can be used in front lighting products have been designed and prototypes have been manufactured. It is aimed to cool the designed and manufactured circuit boards with liquid cooled block designs. While it is desired to have a high thermal performance and homogeneous cooling in liquid cooled blocks, optimization work is required in the design to provide minimum pump power and pressure drop within the block. For this reason, computational fluid dynamics (CFD) analyzes were performed to improve cooling performance and to minimize pressure drop in block flow by working with different block structure, LED power and fluid flow values. The prototype of two block structures with minimum in block flow pressure drop, providing homogeneous cooling and the best heat transfer was manufactured and cooling of the LED printed circuit board was experimentally examined. Designed and produced LED printed circuit board and optimized block structure were placed in the front lighting assembly which is already in mass production and CFD analyzes were conducted and examined experimentally. The cooling performances and light output of the liquid cooled automotive lighting component and the automotive lighting product in mass production with traditional cooling were compared.

Key Words: Automotive lighting, CFD, Printed circuit board, LED, Liquid cooling, Junction temperature, Laminar flow.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, TÜBİTAK 1505 Üniversite-Sanayi işbirliği kapsamında desteklenen 5160107 numaralı projenin yürütücülüğünü Prof.Dr. Muhsin KILIÇ'ın yaptığı “*Otomotiv LED Aydınlatma Ürünleri İçin Yenilikçi Soğutma Sistemi Geliştirilmesi, Tasarımı Ve Prototip İmalatı Projesi*” konu başlıklı Uludağ Üniversitesi ve Marelli Mako Turkey Elektrik Sanayi Ticaret A.Ş ortaklığıyla gerçekleştirilmiştir. Üniversite-Sanayi İşbirliğinin gerçekleştirilerek gerek bilimsel alanda gerek ticari alanda, ülkemizin uluslararası ortamlarda tanınırlığını ve rekabet gücünün artırılmasına katkı sağlayarak yeni ürünlerin geliştirilmesine vesile olan TÜBİTAK’a teşekkürlerimi sunuyorum.

Teknik ve bilimsel anlamda kendimi geliştirmemde büyük katkısı olan ve tez süresince beni yönlendirip bilimsel bakış açımı ve ufkumu genişleten değerli danışman hocam Prof. Dr. Muhsin KILIÇ'a, tez ve proje süresince değerlerli vakitlerini ayırıp, hesaplamalı akışkanlar dinamiği alanında bana büyük katkılar sağlayan Doç. Dr. Gökhan SEVİLGİN'e, tez öncesi ve sonrasında maddi ve manevi desteklerinden dolayı Ar&Ge müdürüm Teoman ŞENYILDIZ ve kısım müdürüm Emre ÖZTÜRK'e, proje ve tez süresince tüm kordinasyonu sağlayan Hakan Oğuz ERÖZKAN'a, özellikle tez süresince tüm prototip ve çalışma süreçlerinde bana yardımlarını esirgemeyen prototip ve elektronik tasarım departmanında çalışan arkadaşlarıma ve Marelli Mako Turkey Ar&Ge biriminde çalışan herkese teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatım boyunca desteklerini hissettiğim ve her zaman yanımda olan, canım annem Mine AKTAŞ ve canım babam Recep AKTAŞ'a, desteğini, anlayışını ve sabrını esirgemeyerek çalışmalarımı tamamlayabilmemde bana güç veren sevgili eşim Dilek AKTAŞ'a ve huzur kaynağımız, biricik kızım Zeynep Azra AKTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet AKTAŞ
26/06/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Otomotiv Dış Aydınlatma Gruplarının Tarihsel Gelişimi	4
2.2. LED’lerin Tarihçesi ve Otomotiv Aydınlatma Ürünlerinde Kullanılması	6
2.3. Aydınlatma ile İlgili Standartlar ve Patentler.....	8
2.4. LED Aydınlatma Sistemlerindeki Isıl Problemler	10
2.5. LED’ler ve Elektronik Ekipmanlar İçin Geleneksel Soğutma Teknikleri.....	13
2.6. LED ve Elektronik Ekipmanların Sıvı Soğutmalı Sistem ile Soğutulması.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Problemin Tanımı	23
3.2. Sayısal Çalışmalar	27
3.2.1. Çözüm ağının oluşturulması	28
3.2.2. Sınır şartları.....	30
3.2.3. Korunum denklemleri	31
3.2.4. Çözüm koşullarının belirlenmesi	33
3.2.5. LED baskı devre kartı modelleri	33
3.2.6. Sıvı soğutmalı blok modelleri	34
3.2.7. Soğutucu blok tasarımının araç ön aydınlatma ürününe uygulanması.....	39
3.3. Deneysel Çalışmalar.....	40
3.3.1. Soğutucu blok test düzeneği	41
3.3.2. Test düzeneği için güç kontrol ünitesinin geliştirilmesi	43
3.3.3. Güç kontrol ünitesi ve test düzeneğinin prototip blok ile birleştirilmesi	44
3.3.4. LED baskı devre kartının üretilmesi ve testlere hazır hale getirilmesi	46
3.3.5. Soğutucu blok prototipleri	47
3.3.6. Termal macun kalınlığının belirlenerek LED baskı devre kartının soğutucu blok ile montajlanması	49
3.3.7. İki hücreli blok prototipinin ön aydınlatma ürününe uygulanması.....	50
3.3.8. Hata analizi.....	51
3.4. Teorik Çalışmalar.....	52
3.4.1. Toplam basınç düşüşünün hesaplanması	52
3.4.2. Isı transfer analizi	56
3.4.3. LED ışık çıktısının hesaplanması	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
4.1. LED Baskı Devre Kartının Soğutmasız Ortamda Doğrulanması	62
4.2. LED Baskı Devre Kartının Soğutmalı Durumda Doğrulanması	63
4.3. Ön Tasarım Blok Sonuçlarının İncelenmesi	66
4.3.1. Birinci aşama blok tasarım çalışması	66
4.3.2. İkinci aşama blok tasarım çalışması.....	67
4.3.3. Üçüncü aşama blok tasarım çalışması	70

4.4. Ön Tasarım Blok Çalışmalarının Sonuçlarının İredelenmesi ve Nihai Blok Tasarımı Seçimi.....	71
4.5. Tek Hücreli Blok Sonuçları	72
4.5.1. 9 mm tek hücreli blok sonuçları.....	72
4.5.2. 7 mm tek hücreli blok sonuçları.....	82
4.5.3. Tek hücreli blok sonuçlarının iredelenmesi	92
4.6. İki Hücreli Blok Sonuçları	96
4.6.1. Tek LED’li iki hücreli blok sonuçları	97
4.6.2. Dört LED’li iki hücreli blok sonuçları	102
4.6.3. Tek LED’li ve dört LED’li baskı devre kartı sonuçlarının karşılaştırılması.....	104
4.7. İki Hücreli Blok Tasarımının Ön Aydınlatma Elemanı Üzerine Uygulanması	107
5. SONUÇ	115
KAYNAKLAR	123
ÖZGEÇMİŞ	127

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A_s	Toplam ısı transfer yüzey alanı [m^2]
A_1	Sıvı ile temas eden toplam yan yüzey alanı [m^2]
A_2	Sıvı ile temas eden toplam alt yüzey alanı [m^2]
A_{out}	Daralma bölgesi için çıkışın kesit alanı [m^2]
A_{in}	Genişleme bölgesi için kesit giriş alanı [m^2]
c	Uygunluk faktörü
C	Eğrilik oranı
c_p	Özgül ısı [J/kgK]
D_h	Hidrolik çap [m]
f	Fanning sürtünme faktörü
f_{app}	Apparent sürtünme faktörü
$h_{avg.}$	Ortalama ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
H_c	Kanal yüksekliği [m]
I	Akım [A]
k	Isı iletim katsayısı [W/m^2K]
$K(\infty)$	Tamamen gelişmiş akış için artan basınç düşüşü
$K_{b,j}$	Dönüş kayıp katsayısı
K_c	Ani daralma kayıp katsayısı
K_e	Ani genişleme kayıp katsayısı
L	Toplam kanal uzunluğu [m]
L_h	Hidrodinamik giriş uzunluğu [m]
L^+	Boyutsuz kanal uzunluğu
\dot{m}	Toplam debi [kg/s]
n	Soğutucu kanal dönüş sayısı
Nu	Nusselt sayısı
P_{LED}	LED gücü [W]
Pr	Prandtl sayısı
$\Delta P_{bj,90^\circ}$	90° dönüş için basınç kaybı [Pa]
$\Delta P_{bi,180^\circ}$	180° dönüş için basınç kaybı [Pa]
ΔP_c	Ani daralmadan kaynaklı basınç düşüşü [Pa]
ΔP_e	Ani genişlemeden kaynaklı basınç düşüşü [Pa]
ΔP_f	Sürtünmeden kaynaklı basınç düşüşü [Pa]
ΔP_{total}	Toplam basınç düşüşü [Pa]
q_{loss}	Isı kaybı [W]
\dot{Q}_b	Soğutucu blok üzerinde oluşan toplam ısı transferi oranı [W]
R_{bc-TM}	Alt bakır yüzeyden termal manuna olan ısı direnci [$^\circ C/W$]
R_{br-bc}	Dielektrik katmandan alt bakır yüzeye olan ısı direnci [$^\circ C/W$]
Re	Reynolds sayısı
$R_{th,Jp}$	Bağlantı noktası (jonksiyon) noktası için ısı direnci [$^\circ C/W$]
S	LED için güç terimi [m^3/s]
T	Sıcaklık [$^\circ C$]
$T_{b,i}$	Soğutucu akışkanın bloğa girdiği sıcaklık
$T_{b,o}$	Soğutucu akışkanın bloktan çıktığı sıcaklık

$T_{h,i}$	Soğutucu akışkanın ısı değıştircisine girdiği sıcaklık
$T_{h,o}$	Soğutucu akışkanın ısı değıştircisinden çıktığı sıcaklık
T_j	LED bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı [°C]
T_{max}	Maksimum sıcaklık [°C]
u, v, w	Komponent hızı [m/s]
U_{ch}	Kanal içerisindeki ortalama akış hızı [m/s].
V	Voltaj [V]
W_c	Kanal genişliği [m]
W_t	Kanal kalınlığı [m]
α	En boy oranı
α_t	Malzeme termal yayılımı [m ² /s].
β	Kanal yükseklik oranı
ρ	Yoğunluk [kg/m ³]
ν	Kinematik vizkozite [m ² /s]
ξ	Dönüş bölgesi kayıp katsayısı
μ_f	Akışkan dinamik vizkozitesi [Pa.s]

Kısaltmalar Açıklama

<i>Avg.</i>	Ortalama
<i>b</i>	Blok
<i>f</i>	Akışkan
<i>fd</i>	Tam gelişmiş
<i>HAD</i>	Hesaplama akışkanlar mekaniği
<i>i, in</i>	Giriş
<i>o, out</i>	Çıkış
<i>Lm</i>	Lümen
<i>LED</i>	Light emitting diode
<i>max.</i>	Maksimum
<i>min.</i>	Minimum
<i>ECE</i>	Economic Commission For Europe
<i>SAE</i>	Society of Automotive Engineers

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Gaz yağlı otomotiv aydınlatma ürünü.....	4
Şekil 2.2. Reflektör Halojen ampul uygulaması	4
Şekil 2.3. H7 halojen ampul ve Xenon gazlı Halojen ampul	5
Şekil 2.4. Renault Clio LED Pure Vision Farlar	5
Şekil 2.5. Audi A8 LED Far grubu	6
Şekil 2.6. Matrix far ve konvansiyonel far karşılaştırılması	7
Şekil 2.7. Renault Clio Full LED uygulaması	8
Şekil 3.1. Genel iş akış şeması	22
Şekil 3.2. LED baskı devre kartı yapısı a) LED genel görünüşü b) Baskı devre kartı kesiti	25
Şekil 3.3. Sıvı soğutmalı bloklu LED baskı devre kart kesiti	25
Şekil 3.4. Soğutucu blok için katı ve akışkan bölgeleri	26
Şekil 3.5. Sayısal çalışmalar için iş akış şeması	27
Şekil 3.6. HAD yönteminde kullanılan bazı iki boyutlu üçgen(a), kare(b) ve üç boyutlu tetrahedron(c), hexahedron(d), prizmatik(e), piramit(f) ve polihedron(g) elemanlar	28
Şekil 3.7. Ön tasarım baskı devre kartı ağ yapısı	29
Şekil 3.8. Nihai tasarım baskı devre kartı ve soğutucu blok ağ yapısı.....	29
Şekil 3.9. Birleşik ısı transferi için şematik gösterimi	32
Şekil 3.10. LED devre kartı modelleri a) Tek LED'li baskı devre kartı b) Dört LED'li baskı devre kartı	33
Şekil 3.11. Birinci aşama soğutucu blok tasarımları.....	35
Şekil 3.12. İkinci aşama soğutucu blok tasarımları	36
Şekil 3.13. Üçüncü aşama soğutucu blok tasarımları	37
Şekil 3.14. İki hücreli, on kanallı blok tasarımı. a) Genel görünüş b) İç görünüş	38
Şekil 3.15. İki hücreli blok ölçüleri.....	38
Şekil 3.16. Soğutucu bloğun reflektör üzerine yerleştirilmesi.....	39
Şekil 3.17. Soğutucu bloğun araç ön aydınlatma ürünü üzerine uygulanması	39
Şekil 3.18. Deneysel çalışmalar için iş akış şeması	40
Şekil 3.19. Pompa ve ısı değiştiricisi	41
Şekil 3.20. Test düzeneği için satın alınmış debimetre ve gösterge.....	42
Şekil 3.21. Güç ünitesi	43
Şekil 3.22. Test düzeneği	44
Şekil 3.23. Wiess termal kabin ve test düzeneğinin kabin içi yerleşimi	45
Şekil 3.24. Testler süresince kullanılan ısı-çift ve veri toplama cihazı.....	45
Şekil 3.25. Baskı devre kartının mikroskop ile kalınlık analizi	46
Şekil 3.26. a) Isıl-çift yerleşimi b) Ölçüm noktaları	47
Şekil 3.27. Tek hücreli blok prototipi ve ölçülendirilmiş üç boyutlu modeli	48
Şekil 3.28. İki hücreli blok prototipi ve ölçülendirilmiş üç boyutlu modeli	48
Şekil 3.29. Termal macun uygulaması	49
Şekil 3.30. Termal macun uygulaması sonrası LED baskı devre kartı	49
Şekil 3.31. Soğutucu blok tasarımının ön aydınlatma elemanında konumlandırılması ..	50
Şekil 3.32. Ön aydınlatma elemanı montaj sıralaması	50
Şekil 3.33. Ön aydınlatma elemanı test düzeneği	51
Şekil 3.34. Blokları için basınç kayıpları a) Tek hücreli blok b) Çift hücreli blok.....	52
Şekil 3.35. LED soğutma sistemi.....	56
Şekil 3.36. a) Toplam ısı transfer alanı b) Referans düzlemi.....	57

Şekil 3.37. Teorik lümen hesabı için akış şeması	59
Şekil 3.38. LED çıktısının hesaplanması için gerekli çizelgeler.....	60
Şekil 4.1. Alt ve üst yüzey için analiz sonuçları	62
Şekil 4.2. Isıl-çift pozisyonları ve deney sonuçları	62
Şekil 4.3. Blok doğrulama için üç boyutlu model ve ısıl-çift pozisyonları.....	64
Şekil 4.4. a) Simülasyon sonuçları b) Test sonuçları	65
Şekil 4.5. Birinci aşama soğutma blokları için analiz sonuçları	66
Şekil 4.6. Birinci aşama blok tasarımları için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı	67
Şekil 4.7. 4mm kanatçıklı kapak için sonuçlar	68
Şekil 4.8. 4mm kanatçıklı kapak için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı.....	68
Şekil 4.9. 5mm kanatçıklı kapak için sonuçlar	69
Şekil 4.10. 5mm kanatçıklı kapak için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı...	70
Şekil 4.11. Üçüncü aşama blok tasarımı için sonuçlar.....	70
Şekil 4.12. Üçüncü aşama blok tasarımı için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı	71
Şekil 4.13. 9 mm 3W LED baskı devre kartı sıcaklık dağılımları	73
Şekil 4.14. 9 mm 3W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları	75
Şekil 4.15. 9 mm 3W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan hız dağılımları	76
Şekil 4.16. 9 mm 7W LED baskı devre kartı sıcaklık dağılımları	78
Şekil 4.17. 9 mm 7W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları	80
Şekil 4.18. 9 mm 7W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan hız dağılımları	81
Şekil 4.19. 7 mm 3W LED baskı devre kartı sıcaklık dağılımları	83
Şekil 4.20. 7 mm 3W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları	85
Şekil 4.21. 7 mm 3W LED baskı devre kartı soğutucu sıvı hız dağılımları	86
Şekil 4.22. 7 mm 7W LED baskı devre kartı sıcaklık dağılımları	88
Şekil 4.23. 7 mm 7W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları	90
Şekil 4.24. 7 mm 7W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan hız dağılımları	91
Şekil 4.25. Tek hücreli blok için basınç düşüş değerleri a) 3W Sonuçları b) 7W Sonuçları	92
Şekil 4.26. Tek hücreli blok için LED bağlantı noktası sıcaklıkları a) 3W sonuçları b) 7W sonuçları	93
Şekil 4.27. Tek hücreli blok için ortalama Nusselt sayıları a) 3W sonuçları b) 7W sonuçları	95
Şekil 4.28. Kanatçıksız kapaklı bloklar için teorik ve HAD ile elde edilmiş basınç düşüş değerleri.....	96
Şekil 4.29. Tek LED'li iki hücreli blok analizleri için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımları	97
Şekil 4.30. Tek LED'li iki hücreli blok analizleri için soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları	98
Şekil 4.31. Tek LED'li iki hücreli blok analizleri için soğutucu akışkan hız dağılımları.....	99
Şekil 4.32. İki hücreli blok analizleri için teorik hesaplama ve HAD analizleri sonucunda elde edilen basınç düşüşleri.....	100
Şekil 4.33. Dört LED'li iki hücreli blok analizleri için baskı devre kartı üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları.....	102
Şekil 4.34. Dört LED'li iki hücreli blok analizleri için soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları	103

Şekil 4.35. Dört LED'li iki hücreli blok analizleri için soğutucu akışkan hız dağılımları	104
Şekil 4.36. İki hücreli blok analizleri için çıkış su sıcaklığı.....	105
Şekil 4.37. İki hücreli blok analizleri için basınç düşüş miktarları	105
Şekil 4.38. İki hücreli blok için ortalama Nusselt sayıları	106
Şekil 4.39. İki hücreli blok tasarımının ön aydınlatma elemanına uygulanması a) üç boyutlu model b) Sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanı prototipi.....	108
Şekil 4.40. İki hücreli blok tasarımının ön aydınlatma elemanı üzerinde termal analiz sonuçları a) Baskı devre kartı analiz sonuçları b) Reflektör analiz sonuçları.....	108
Şekil 4.41. Sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanı test sonucu	109
Şekil 4.42. Mevcut far grubunda kullanılan LED baskı devre kartı	110
Şekil 4.43. Ön aydınlatma elemanı üç boyutlu modeli a) Kanatçıklı soğutma b) Sıvı soğutma	110
Şekil 4.44. Kanatçıklı soğutma için sıcaklık dağılımı	111
Şekil 4.45. Sıvı soğutma için sıcaklık dağılımı.....	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. LED aydınlatma sistemlerindeki ısıl problemler üzerine yapılmış çalışmalar	12
Çizelge 2.2. LED'ler ve elektronik ekipmanlar için geleneksel soğutma teknikleri.....	14
Çizelge 2.3. LED ve elektronik ekipmanların sıvı ile soğutulması	20
Çizelge 3.1. Sınır şartları.....	30
Çizelge 3.2. Ölçüm cihazları, ölçüm aralığı ve tolerans aralığı	46
Çizelge 3.3. Kullanılan LED için maksimum ve minimum kullanım şartları	58
Çizelge 3.4. Kullanılan LED için ışık çıktı grupları(Flux bin) (Anonim 2020)	59
Çizelge 4.1. Simülasyon ve analiz sonuçları.....	63
Çizelge 4.2. Test ve simülasyon değerleri	65
Çizelge 4.3. Tek hücreli blok için incelenen debi değerleri ve Reynolds sayıları	72
Çizelge 4.4. Tek hücreli blok için çıkış su sıcaklık değerleri	94
Çizelge 4.5. İki hücreli tek LED'li baskı devre kartı için blok çıkış su sıcaklık değerleri	99
Çizelge 4.6. Tek LED'li iki hücreli blok tasarım sonuçları	101
Çizelge 4.7. İki hücreli blok için maksimum bağlantı sıcaklık ve ışık çıktı değerleri ...	107
Çizelge 4.8. Sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanı sonuçları	109
Çizelge 4.9. Kanatçıklı soğutma sonuçları.....	111
Çizelge 4.10. Sıvı soğutma sonuçları	113
Çizelge 4.11. 85°C ortam koşulunda ön aydınlatma elemanı için kanatçıklı ve sıvı soğutmalı blok sistem sonuçlarının karşılaştırması	114

1. GİRİŞ

Araç aydınlatma teknolojisindeki hızlı ilerleme ve yenilikler, sistemlerde kullanılan ışık üreten birimlerin günden güne gelişmesini sağlamıştır. Günümüz ürünlerinde, ışık üretmek ve aydınlatma fonksiyonunu sağlamak amacıyla, tasarımında ve üretiminde ileri teknoloji gerektiren elektronik kontrol kartları ile donatılmış LED’li (Light Emitting Diode) sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Aydınlatma fonksiyonunu tam olarak sağlamasının yanında, uzun ömürlü olmaları, enerji sarfiyatlarının az olması ve tepki sürelerinin kısa olması LED’li sistemlerin başlıca kullanım nedenleridir.

Çok büyük avantajlarının yanında elektronik komponentlerdeki ve LED’lerdeki ısınma problemini doğrudan etkileyerek, veriminin azalmasına ve ömürlerinin kısılmasına yol açmaktadır. Bu da LED’li sistemler üzerinde ısıl analizler yapmayı ve soğutma teknikleri uygulamayı mecbur kılar. Doğru ısıl yönetim ile LED’in ömrünün kısılmasına etkisi olan yüksek sıcaklıklar önlendiğinde, kullanım süresini bir kaç yüz saatten yüz bin saate çıkartmak mümkündür.

Otomotivin insan hayatına girişinden bu yana aydınlatma sistemleri bir ihtiyaç olarak var olmuştur. Yakın döneme kadar da bu ihtiyaç akkor ve Xenon’lu lambalarla giderilmiştir. Fakat ilerleyen LED teknolojisi gün geçtikçe diğer ürünlerin yerini almaktadır. Tasarımdaki sınırlamaların azaltılması, kalite problemlerine daha az rastlanması, kullanım ömrünün çok daha uzun olması ve düşük ısı yayılımı LED’i bundan sonraki otomotiv aydınlatma ürünlerinin vazgeçilmezi yapacaktır. Bu sebeplerden dolayı otomotiv aydınlatmasında elektronik tasarım önemli bir yer tutmaktadır. Tasarım denilince ürünün üretilmesi ve hayata geçirilmesi konusunda çok farklı parametreler devreye girmektedir. Devrenin tasarımı yapılırken, EMC (Elektromanyetik Uyumluluk) standartlarına uygun çalışması, çalışırken ısıl etkenlerden etkilenmemesi ve müşterinin elektriksel olarak bütün taleplerini karşılaması gibi ana parametreleri sağlaması gerekmektedir.

Ampüllü sistemlerde ışık yayılımı sadece bir noktadan ve çok yoğun bir şekilde olmaktadır. Bunun yanında LED’lerde;

- İstendiğinde bir noktadan çok veya az ışık yayılabilir
- Çıkan ışığın belirli bir ışınma açısı olduğundan belli bir yöne doğrultulabilir

- Doğrultulan ışığı yansıtıcı prizmalarla istenildiği kadar bir yüzeye yayılabilir şekil verilebilir.

LED’li far tasarımında dikkat edilen optik ve mekanik uluslararası şartnameler günümüzde özelleştirilmiştir. LED ile aydınlatma sağlanan otomotiv ön far elemanları üzerinde ECE R112 numaralı şartname baz alınarak tasarımlar yapılmaktadır. Uluslararası geçerliliğe sahip ve ürünün minimum gereksinimler ile piyasaya çıkarılabilmesi için gerekli koşullar bu metin ile düzenlenmiştir. Sürüş güvenliği veya görünürlüğü, yol üzeri ışık dağılımları gibi tüm durumlar detaylı olarak verilmiştir.

LED’li sistemlerin geleneksel filamanlı aydınlatma elemanlarına göre daha kaliteli ışık çıktısının elde edilmesi ve bu ışık hüzmelerinin optik olarak daha kolay yönlendirilmesi otomotiv üreticilerini LED’li sistemlere yönlendirmektedir. LED üzerinden çıkan ışık hüzmelerinin ışık tüpleri, yansıtıcı yüzeyler veya projeksiyon tip merceklerden geçirilmesiyle daha kaliteli ve estetik otomotiv aydınlatma ürünleri tasarlanmasına imkânı vermektedir. LED’lerin bu avantajlarının yanı sıra en büyük problemlerinden biri üzerinden geçen elektriksel gücün %70-80 oranında ısıya dönüşmesinden kaynaklı LED yongalarında aşırı ısınma meydana gelmesidir. Bu problemlerin önlenmesinde en önemli konu termal yönetimidir. Sistemin sınır sıcaklıklara ulaşmaması, uzun ömürlü olmaları ve kaliteli ışık çıktısının elde edilmesi için soğutulması gerekir. Mevcut otomotiv aydınlatma ürünlerinde kanatçıklı ve fanlı soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Fakat sınırlı motor altı kaput hacmi, ürün gövde içi kısıtları ve ekstra ağırlık problemlerinden kaynaklı bu çözümlerle etkin soğutma yapılamamaktadır. Ayrıca LED’ler arasında homojen soğutmanın olmayışı ve düşük sıcaklıklarda LED’in sınır değerlerine erkenden erişmesinden kaynaklı akım düşürme gereklilikleri ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin sonucunda yeterli ve kaliteli aydınlatma fonksiyonu yerine getirilememektedir. Bu tez kapsamında bu problemlere sıvı soğutmalı blok tasarımlarıyla daha etkin çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Sıvı soğutmalı blok tasarımı ile LED’ler üzerinde daha fazla ve homojen soğutma yapılarak LED ışık çıktı kalitesi ve miktarında iyileştirme hedeflenmiştir. Ayrıca LED’in sınır değerlerine daha yüksek ortam sıcaklıklarında erişmesi amaçlanarak mevcut sistemlere göre daha uzun ömürlü olmaları planlanmıştır. Tüm bu hedeflerin yanında daha az güç tüketiminin, daha düşük blok içi basınç düşüşünün elde edileceği blok tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Blok ve LED baskı

devre kartı arasında en yüksek ısı transferi ile optimum soğutucu bloğun elde edilmesi hedeflenmiştir. Mevcut soğutma sisteminin eksikleri ve açıkları kapatılarak sıvı soğutmalı blok tasarımları ile etkin soğutma yapılması amaçlanmıştır

Tez kapsamında, 2. Bölümde kaynak araştırması yapılarak literatürde benzer konularda yapılan çalışmalar konularına göre ayrılarak incelenmiştir. Tezin 3. Bölümü olan materyal metot kısmında çalışma süresince kullanılacak olan sınır şartları, çözüm için kullanılan denklemler, deneysel çalışmalar ve teorik hesaplamalar ele alınmıştır. Tez süresince yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler 4. Bölüm olan tartışmalar ve bulgular bölümünde incelenmiştir. Tezin 5. Bölümünde yapılan çalışmaların genel değerlendirme ve sonuçları verilmiştir.

Tez çalışması araştırma soruları:

- Soğutmasız LED’li baskı devre kartı ve sıvı blok soğutmalı LED’li baskı devre kartı üzerinde oluşan sıcaklık farkları nedir ve blok içi debi değişiminin etkisi nedir?
- Soğutmasız LED’li baskı devre kartı ve sıvı soğutmalı bloklu baskı devre kartı arasındaki aydınlatma miktarı nedir?
- Sıvı soğutmalı blok yapısının soğutmaya etkisi nedir?
- Farklı LED gücündeki ve LED sayısındaki baskı devre kartı üzerinde oluşan sıcaklıklar için sıvı soğutmalı bloğun etkisi nedir?
- Blok içi debi miktarının değiştirilmesiyle Nusselt sayısı, basınç düşüşü, ışık çıktısı, LED üzerinde oluşan bağlantı noktası sıcaklığı üzerine etkisi nedir?
- Akış bölgesinde toplam blok içi basınç düşüşleri nasıl değişmektedir?
- Teorik basınç düşüşü ve HAD yönetmi sonucunda elde edilen basınç düşüşü arasındaki fark miktarı nedir ve blok içi debinin değişmesiyle sonuçlar nasıl etkilenmektedir?
- Sıvı soğutmalı blok tasarımı ile mevcut seri üretimde olan ön aydınlatma elemanı üzerinde kullanılan baskı devre kartındaki LED bağlantı noktası sıcaklıkları nasıl değişmektedir? Nihai olarak LED’ler üzerinden çıkan ışık çıktıları arasındaki fark ne kadardır? Sıvı soğutmalı blok sistemiyle LED akım düşüş noktaları üzerine etkisi nedir ve mevcut sisteme göre ne avantaj sağlayacaktır?

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Otomotiv Dış Aydınlatma Gruplarının Tarihsel Gelişimi

Otomotiv dış aydınlatma sistemlerinin kullanımı araçlarda şarj dinamoları ve elektrikli ampullerin 1910 yılında kullanılmasıyla başlamıştır. Bu tarihten önce ilk yöntemlerle gaz yağı vb. fosil yakıtların yakılmasıyla aydınlatma yapılmıştır. 1917 yılına gelindiğinde metal kaplamalı reflektörlerin kullanılmasına başlanılarak aydınlatma miktarı iyileştirilmiştir.



Şekil 2.1. Gaz yağlı otomotiv aydınlatma ürünü (Anonim 2019)

1919 yılına gelindiğinde kısa ve uzun hüzmeye için ayrı reflektör kullanılarak aydınlatma işlemi sağlanmıştır. Bu işlem ile daha uzun mesafelerin aydınlatılmasının temelleri atılmıştır. 1945 yılında karşı yönden gelen sürücülerin daha az rahatsız olması amacıyla asimetric kısa far tasarımları yapılarak sürüş güvenliği artırılmıştır. Günümüzde de kullanılmakta olan ilk halojen ampuller 1962 yılında H1 serisi ile yaşamımıza girmiştir. H1 serisi ampullerin ardından 1971 yılında H4 serisi ampuller ile kısa ve uzun hüzmeye fonksiyonlarının tek bir ampul ile yapılmasına başlanmıştır. Ampul teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak 1980'li yıllarda ilk elipsoidal ön aydınlatma grupları üretilerek serbest yüzeyli yansıtıcılar aracılığıyla daha fazla ışık çıktısı elde edilmiştir.



Şekil 2.2. Reflektör Halojen ampul uygulaması

1990'lı yılların başında günümüzde halen kullanılmakta olan H7 ampulleri üretilmiştir. H7 ampulleri ile daha az hacimde daha fazla ışık çıktısı elde edilmiştir. Halojen ampullerin geliştirilmesi çalışmalarında, ileri bir atılım ile ampul içi argon gazı yerine Xenon gazı içeren yüksek ışık çıktısı veren halojen ampuller 1997 yılında üretilmiştir. Xenon gazlı ampullerin üretilmesinin ardından 2000'li yılların başında projektör tipli bi-xenon farlar, otomotiv aydınlatmasında kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.3. H7 halojen ampul ve Xenon gazlı Halojen ampul

Halojen ampullerin gelişmesine paralel olarak 1960 yılların başlarında Nick Holonyak ilk kırmızı ışık yayan LED'i üretmiştir. Yıllar içinde LED teknolojisi gelişerek 1990 yılların başında otomotiv aydınlatma ürünlerinde kullanımı başlamıştır. İlk LED aydınlatmalı ürün 3. stop lambası olarak otomotiv de kullanılmıştır. LED aydınlatmalı ürünler süreç içerisinde arka aydınlatma gruplarında ve ön aydınlatma elemanlarında kullanılmıştır. Ön aydınlatma gruplarında 2003 yılında ilk kez LED'li park ve gündüz sürüş farı (DRL: Daytime Running Light) uygulamaları üretilmiştir. LED teknolojisinin hızlı gelişmesine paralel olarak 2007 yılında ilk tam LED'li far grubu üretilerek otomotiv ürünlerinde kullanıma sürülmüştür. Tam LED'li ürünlerde uzun hüzme, kısa hüzme, sinyal ve gündüz sürüş farı fonksiyonlarını içeren ön aydınlatma ürünleri günümüzde alt segment araçlarda standart teknoloji olarak sunulmaya başlanmıştır.



Şekil 2.4. Renault Clio LED Pure Vision Farlar (Renault,2018)

2.2. LED'lerin Tarihçesi ve Otomotiv Aydınlatma Ürünlerinde Kullanılması

Bender ve ark. (2015) LED'lerin tarihçesi üzerine çalışmalarda bulunmuştur. LED'in tarihçesi 1900'lü yılların başına kadar gitmektedir. 1907'de Henry Joseph Round, bazı malzemelere elektrik akımı uygulandığında ışık yaydığını belirtmiştir. 1962 yılına kadar bu alanda çalışmalar olmamıştır fakat 1962'de Nick Holonyak ilk görünür kırmızı LED'i yapmıştır. Bu erken dönem LED ürünleri, yüksek ışık çıktısı gerektirmeyen gösterge cihaz uygulamalarında kullanılmıştır. Daha sonra, iletişim ve veri aktarımı cihazlarında kullanılmaya başlanmıştır. 1994 yılında Shuji Nakamura çalışmaları sonucunda, mavi renkli ışık çıktısı veren LED ürününü yapmıştır.

2000'li yılların başında otomotiv ön aydınlatma ürünlerinde LED'li sistemlerin kullanılmasına başlanmıştır. Far sistemlerinde kullanılan LED'ler araç tasarımı ve stili açısından düşünüldüğünde büyük etkisi olmuştur. Küçük yapılı ve yüksek ışık çıktıları nedeniyle otomotiv tasarımcılarına büyük çalışma alanları açmıştır. Farları otomobillerin gözleri olarak gören otomotiv üreticilerine daha etkili ve çarpıcı tasarımlar yapmasına imkân vermiştir. LED'ler otomobil ön tasarımlarının still açısından daha esnek ve kendilerine has kimlik vermesi nedeniyle otomotiv aydınlatma ürünleri açısından devrim niteliği taşımaktadır (Fratty ve ark. 2009).



Şekil 2.5. Audi A8 LED Far grubu

LED'ler ampuller ile karşılaştırıldığında boyutsal olarak çok küçük olmaları nedeniyle otomotiv aydınlatma uygulamalarında sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Ufak yapılı olmaları ve çeşitli miktarlarda ışık çıktısı sağlamaları nedeniyle yeni nesil araçlarda gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Boyutlarının ufak olması daha esnek ve özgür tasarımların yapılmasına imkân sağlamaktadır. Ayrıca LED'ler enerji verimliliği yönünden halojen ampullere göre avantajlı konumdadır. Ön aydınlatma gruplarında genelde 55W – 60W güce sahip H serisi ampuller ile yapılan uzun veya kısa hüzme fonksiyonları LED'ler ile

yapılmak istenildiğinde 15W – 20W güç değerleri arasında gerçekleştirilebilir. Üçte bir oranında daha verimli olan LED’ler gelecekte ucuzlaştıkça halojen ampullerin yerini alacaktır (Fratty ve ark. 2009).

LED tekonolojili farların en büyük avantajlarından biri sürüş güvenliğine olan katkısıdır. Halojen ampullere göre daha parlak ve ışık çıktı miktarı daha fazla olmasından dolayı sürücü ve yaya güvenliği açısından önemlidir. LED teknolojilerin gelişmesiyle Matrix farların geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu teknoloji ile yol üzerinde istenilen bölgelerin aydınlatılarak sürüş güvenliği artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca LED’li sistemler kullanılarak projeksiyon şeklinde yola yansıtılan figürler ve uyarıcı sembollerle sürüş güvenliği açısından gelişimini devam ettirmesi öngörülmektedir.



Şekil 2.6. Matrix far ve konvansiyonel far karşılaştırılması

Otomotiv aydınlatma ürünlerinde kullanılan LED’lerin tüm fonksiyonlarda kullanılmasıyla ortaya çıkan ısınma problemlerinin geleneksel soğutma yöntemlerinin uygulanmasını zorlaştırmakta ve alternatif soğutma sistemlerine yönelmeyi ortaya çıkarmaktadır. Özellikle yeni nesil araçlarda yaygın olarak kullanılan LED’lerin yeterli performansta ışık verebilmesi için üzerinde oluşan ısının dışarıya atılabilmesi şarttır. Bunun sağlanması için uygun soğutma sisteminin tasarlanarak araç üreticilerinin istediği ömür hedeflerine ulaşılması ve LED aydınlatma sistemlerinde kaliteyi arttırması hedeflenmektedir. Ayrıca teknolojinin gelişmesiyle araç üreticileri tercihlerini LED’li sistemlerden yana kullanmakta ve ürünlerinde LED kullanımlarını gün geçtikçe arttırmaktadır.

LED’li sistemlerin çalışmasıyla açığa çıkan yüksek sıcaklık problemi için önlemlerin alınması ve sorunun giderilmesi üretilen aydınlatma ürünü için hayati önem taşımaktadır.

Ayrıca yüksek sıcaklıklarda çalışan LED’li sistemlerin verimi ve ömürlerinin kısa olmasının yanı sıra aydınlatma fonksiyonunu gerçekleştirememesine ve komponentlerde hasarların oluşmasına yol açmaktadır. Bu problemlerle birlikte son kullanıcı tarafından bakıldığında kullanım ömrü ve kalitesi düşük ürünler kullanıcı memnuniyetsizliklerine yol açmaktadır. Bu sorunları en az maliyetle ve kolay bir şekilde aşmanın yolu bilgisayar destekli analizler yapmak ve bu analizlere uygun soğutma sistemleri tasarlamaktır. Yapılan analizlerin deneysel sonuçlarla doğrulanması ile daha az maliyetli ürünlerin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.



Şekil 2.7. Renault Clio Full LED uygulaması

LED’li sistemlerin en büyük problemlerinden biri yüksek sıcaklıkların meydana gelmesidir. Bu problemlerinin önlenmesinde en önemli konu termal yönetimidir. Sistemin sınır sıcaklıklara ulaşmaması ve uzun ömürlü olmaları için soğutulması gerekmektedir. Bunun için; kanatçıklı, fanlı ve sıvı soğutmalı sistemler geliştirilmiştir. Otomotiv sektöründe gün geçtikçe LED kullanımının artması özellikle ön aydınlatma sistemlerin tüm fonksiyonlarının LED teknolojilerine kaymasıyla birlikte geleneksel soğutma sistemleri yeterli olmamaktadır. Ayrıca daha dar hacimde büyük kanatçık sistemleri kullanılarak ek ağırlık artışlarına neden olmaktadır ve etkin soğuma yapılamamaktadır. Bu problemlerin getirdiği gereksinimler doğrultusunda daha fazla soğutma yapılması ihtiyacını açığa çıkarmaktadır.

2.3. Aydınlatma ile İlgili Standartlar ve Patentler

Otomotiv ön aydınlatma elemanlarının soğutulması üzerine patent araştırılması yapıldığında farklı yöntemlerin bulunduğu ve geliştirildiği görülmüştür. Ayrıca aydınlatma miktarları, yol üstü ışık dağılımları, test yöntemleri uluslararası standartlar ile

belirlenmiştir. Yeni ürün tasarımlarının bu standartları karşılayacak şekilde üretilmesi zorunlu koşullu ve homologasyon izinleri belirlenmiştir.

Ön aydınlatma ürünleri tasarımları yapıırken aracın çıkacağı ülkelerle ve onların bağı oldu normlara göre tasarımları yapılmaktadır. Bu durumda Avrupa normlarına tabi olan araçlar ECE R112 şartnamesine göre Amerika normlarına tabi olan araçlar SAE J138 ve FMVSS108 şartnamelerinin gereksinimlerini sağlaması istenmektedir. Amerika piyasası için otomobil üreticileri ön aydınlatma elamanı tasarımları yapıırken sadece FMVSS108 şartnamesinin yanında SAE J138 şartnamesinide geçmek isterler bu durum üretici tercihinine bağıdır. Türkiye piyasasına çıkacak aydınlatma ürünleri için ECE R112 normlarının sağlanması gerekmektedir. ECE 112 şartlarına uygun olmayan tasarımlarının homologasyon belgesi alamamasından kaynaklı ürünler piyasaya sürülemeyecektir. ECE 112 şartnamesine göre kısa hüzme için asgari 1000 lümen ışık çıktısı istenmektedir. Ayrıca bu şartname kapsamında üretilecek ürünün hangi koşullarda testlere tabi olacağı açıkça belirtilmiştir. Bu testleri geçen ve asgari gereksinimleri sağlayan ürünlerin homologasyon belgesi alacağı belirtilmiştir.

EP1502066B1 ve EP1804014B1 numaralı patent çalışmalarında Olsen ve arkadaşları üniversal tip soğutucu blok tasarımı yaparak ürünlerini patentlemişlerdir. Ürünlerini diğere soğutucu bloklarından ayıran en büyük özelliğı; soğutucu yüzeyini küçük hücrelere ayırarak blok üst yüzeyinde homojen soğutma sağlamışlardır. Ayrıca bu hücrelerin her biri bir birinden bağımsız bir şekilde davranmaktadır. Tasarladıkları blok sisteminin seri bağlayarak soğutma kapasitesinin artırılabilceğini sunmuşlardır.

US5841634 numaralı patent çalışmasında Roy Alan Visser iki katmanlı ayrı odacıklı tek girişli soğutucu blok tasarımına amerika kıtasını kapsayacak patent çalışması yapmıştır. Blok içi küçük odacıklar oluşturarak soğutma işlemi yapmaya çalışmıştır. Tasarımını soğutucu modüller şeklinde yaparak isteğe bağı miktarda soğutma yapmayı hedeflemektedir.

US5934364 numaralı patent çalışmasında Gregory ve arkadaşları tek noktadan girişli ve çıkışlı, iki bağımsız soğutucu kanallı blok çalışması yapmıştır. Tasarladıkları ürünlerinde soğutulacak yüzeyin altında iki bağımsız soğutucu kanalın gezdirilmesiyle soğutma işlemi yapmaktadır.

US 2005/0011635A1 numaralı patent çalışmasında Min-Sheng ve arkadaşları sıvı soğutma bloğu üzerindeki kapak için farklı tasarımlarda bulunarak sıvı soğutmalı blok tasarımı yapmıştır. Patent çalışmalarında blok kapağı üzerinde farklı geometrik yapılar aracılığıyla soğutma miktarlarını arttırmayı hedeflemişlerdir.

2.4. LED Aydınlatma Sistemlerindeki Isıl Problemler

Yung ve ark. (2010) PCB üzerindeki yüksek ışık çıktılı LED dizi paketlerinin termal performanslarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, 0° - 180° arasındaki çalışma eğiminde 3x3 dizilimli yüksek parlaklıklı LED baskı devre kartının (PCB) doğal konveksiyon ile ısı tranferi analizlerini yaparak deneylerle doğrulama çalışması yapmışlardır. Sıcaklık dağılımı IR kamera ve ısıl-çiftler kullanılarak değerlendirilmiştir. Simülasyonlar suncunda elde edilen sıcaklık değerlerine bağlı olarak bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklıkları hesaplanmıştır. Buna ek olarak, paket yapısının termal performansı üzerine tasarım çalışması yapılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, LED paketin ısı dağılımı üzerinde konum ve açının önemli rol oynadığı görülmüştür. Yapılan çalışma ile çeşitli çalışma koşulları altında açık veya kapalı LED PCB ünitesinin termal davranışlarının anlaşılmasını sağlamıştır.

Cheng ve ark. (2010) genel analitik çözüme dayalı çoklu LED paketlerinin termal analizi ve optimizasyonu adlı çalışmalarında 80W güce sahip sokak aydınlatma elemanı üzerinde bulunan LED paketinin dizilişlerini değiştirerek optimum sıcaklık dağılımı bulmaya çalışmışlardır. Çeşitli LED dizilimleri yapılarak LED üzerinde oluşan maksimum sıcaklıklar düşürülmüş ve kart üzerindeki sıcaklık dağılımı uniform hale getirilmiştir. Oluşan maksimum sıcaklıklara bağlı olarak bağlantı noktası sıcaklıkları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Choi ve ark. (2011) Doğal taşınım ile LED'lerin bağlantı noktası sıcaklığını teorik olarak hesaplanması konusunda çalışmışlardır. LED'lerin halojen ampullere göre birçok avantajı olması nedeniyle son zamanlarda otomotiv aydınlatmada LED kullanımı artmaktadır. LED'ler sıcaklık karşısında çok hasastırlar. Ayrıca LED bağlantı noktası sıcaklıklarının izin verilen maksimum sıcaklığın altında olması gerekmektedir. Genellikle 3-boyutlu termal analiz ile uygun tasarımlar yapılabilir. Bu geliştirme maaliyetlerini ve

zaman kullanımını yükseltecektir. Bundan dolayı LED bağlantı noktası sıcaklığını önceden hesaplayan program yapmanın nedeni ortaya çıkmaktadır. LED'lerin termal direnci, LED'in malzemesi, akımı, şekline bağlı olarak bağlantı noktası sıcaklığı hesaplanarak ön görülmeye çalışılmıştır. Çalışmada süresince termal direnci etkileyen faktörler arasındaki ilişki ve bu faktörler kullanılarak bağlantı noktası sıcaklığı hesaplanmıştır. Ayrıca çalışmada sonunda hazırlanan programın dizayn aşamasında ürün tasarımcılarına yardımda bulunması istenmiştir.

Kikuchi (2011) makalesinde, alüminyum kanatçık ve plastik yansıtıcılı Nissan LEAF modelinde ki kısa hüzmeye fonksiyonu için termal simülasyon metodolojisi ve prosedürü tanımlanmıştır. Ayrıca, Çoklu LED yongasının termal simülasyonu için uygun modelleme yapılmıştır. Termal simülasyon ile hesaplanan plastik reflektörün deformasyon sıcaklık limitlerinin aşağısında tutulmasıyla çalışma başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca arka aydınlatma elemanlarının termal simülasyon metodolojisi içinde geçerli olabileceği gösterilmiştir.

Keppens ve ark. (2011) LED'lerin bağlantı noktası sıcaklığının, giriş-çıkış güçleri ve sürülen akımla tanımlanabileceği üzerine çalışmışlardır. Bu durum ısı direnci tanımına dayanarak, bağlantı noktası sıcaklığı ile LED'lerde harcanan güç arasındaki ilişki ile analiz edilmiştir. Elektriksel güç ve LED radyan akısı değişkenleri, sıcaklık ve akım ile modellenmiş ve testleri yapılmıştır. Bu yapılan modelleme ile LED bağlantı noktası sıcaklığı hesabının pratik uygulamalarda kullanılabilir olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda elektriksel güç ve optik güç sürülen akım için de hesaplanmıştır. Kullanılan bu yöntem, iki kanatçıklı soğutucuya monte edilmiş LED'ler üzerinden ölçülen ve simülasyonu yapılmış modelden elde edilen sıcaklık ve güç değerleri karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır. Doğrulan bu metod yaklaşımı ile LED aydınlatma performansını tahmin etmek için LED üreticileri ve LED uygulaması yapan üreticiler tarafından kolayca kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

Tsai ve ark. (2012) Düşük maliyetli yüksek güçlü LED paketlerinin ve modüllerinin termal olarak ölçülmesi ve analizleri üzerine çalışmışlardır. Yüksek güçlü plakalı LED yonga (çip) paketlerinin (COP) termal davranışları ısı-çift, ve termal görüntüleyici vasıtasıyla deneysel olarak araştırılmıştır. LED bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı (T_j)

analizler ve deneysel veriler ile hesaplanmıştır. COP paketlerinin termal dirençleri ve bağlantı noktası sıcaklığı, 2D ANSYS, 3D TRC and 3D Cfdesign programları vasıtasıyla hesaplanarak, deneysel sonuçlarla tutarlılığı görülmüştür. COP modülünün termal analizi için TRC programı ile elde edilen sonuçları dikkatle incelenip Cfdesign programı sonucunda edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak deyatlıca irdelemiştir. COP modülün parametrik çalışmaları için ANSYS ve Cfdesign modelleri kullanılmıştır

Çizelge 2.1. LED aydınlatma sistemlerindeki ısıl problemler üzerine yapılmış çalışmalar

Yazar, Yıl	Yapılan çalışmanın konusu
Yung ve ark. (2010)	Yüksek ışık çıktılı LED dizi paketlerinin termal performanslarının incelenmesi.
Cheng ve ark. (2010)	Genel analitik çözüme dayalı çoklu LED paketlerinin termal analizi ve optimizasyonu
Choi ve ark. (2011)	Doğal taşınım ile LED'lerin bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığını teorik olarak hesaplanması
Kikuchi (2011)	LED'li Ön ve arka aydınlatma elemanlarının termal analizleri
Keppens ve ark (2011)	LED'lerin bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığının ve gücünün sürülen akımla belirlenmesi
Tsai ve ark. (2012)	Düşük maliyetli yüksek güçlü LED paketlerinin ve modüllerinin termal analizleri ve ölçümleri

Çizelge 2.1'de LED aydınlatma sistemlerindeki ısıl problemler üzerine yapılmış çalışmalar verilmiştir. Tez süresince incelenecek olan otomotiv ön aydınlatma ürünlerinde kullanılan LED'li sistemlerin bağlantı noktası sıcaklıklarının hesaplanması incelenerek doğru ışık çıktısının bulunması hedeflenmiştir. LED analizlerinin doğru yapılması ve LED yongası üzerinde oluşan bağlantı noktası sıcaklığının doğru hesaplanması tüm işlemlerin sonucu için önem teşkil etmektedir. LED bağlantı sıcaklıklarının yanlış hesaplanması sonucunda doğru ışık çıktısı ve doğru soğutma performansının tespit edilememesi ortaya çıkmaktadır.

2.5. LED'ler ve Elektronik Ekipmanlar İçin Geleneksel Soğutma Teknikleri

Wang ve ark. (2010) Yüksek güçlü LED'lerin termal yönetimi için fan ile soğutma sistemi konusunda çalışmışlardır. LED'ler üzerindeki ısı dağılımını iyileştirmek için fan ile soğutma sistemi önermişlerdir. Soğutulacak sistem, 26°C ortam sıcaklığında her biri 3W olan altı LED'den oluşmaktadır. Çalışma sonucunda fanlı ve fansız sistemde LED'lerin yüzey sıcaklığı sırasıyla 62 °C ve 32 °C çıkmıştır. Ayrıca fanlı sistem üzerinde yapılan değişikliklerle LED sıcaklığı üzerinde ekstra soğutma yapılarak 30 °C düşürülmüştür. Deneysel sonuçlar fanlı soğutma ile etkin soğutma yapılmış ve gerekli optimizasyonlar ile bu sonuç daha aşağı çekilmiştir.

Yeo ark. (2011) Araçlarda kullanılması amacıyla LED far sisteminin buhar hazne tipli ısı borusuyla soğutulmasını önermişlerdir. Isı borusunun buhar haznesinin hacminin şarj oranı 50, 70, 100% olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, orijinal LED soğutma sisteminin termal direnci 6.02°C/W'dir. Buhar hazne tipli ısı borusunun termal direnci 2,65°C/W olarak ölçülmüştür. Çalışmalar göstermektedir ki buhar hazne tipli ısı borusu araçlar için LED farın soğutma performansını olumlu yönde etkilemektedir.

Sufian ve ark. (2014) makalelerinde piezoelektrik fanlar kullanarak yüksek güçlü LED dizisi tarafından üretilen ısı dağılımının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Birden çok titreşimli fanlar altında faaliyet gösteren yüksek güçlü LED paketlerinin sıcaklık dağılımı nümerik ve deneysel çalışmalar yapılarak incelenmiştir. İki piezoelektrik fanı LED paketine dikey yönlü olacak şekilde yerleştirilmiş ve A konfigürasyonu (köşeden köşeye), B konfigürasyonu (yüz yüze) olarak düzenlenmiştir. Çalışma sonuçları göstermektedir ki tek fan LED paket için ısı transferi performansını yaklaşık olarak 1,8 kat arttırmıştır. Çift fan A konfigürasyonu için ısı transferi performansını 2,3 kat artmış ve B konfigürasyonu için 2,4 kat arttırmıştır. Fan ayırma mesafesi düşürüldüğünde, tüm konfigürasyonlar için termal direncin önemli ölçüde düştüğü görülmüştür. Çalışma sonucunda en verimli piezoelektrik fanlı sistem tespit edilmiştir.

Zhao ve ark. (2015) yüksek güçlü LED'li farlarda kullanılan geleneksel plaka-fin kanatçığının termal performansı ve ısı iletim plakaları (HCPS) ile entegre edilmiş yeni soğutma aracı üzerine çalışmışlardır. Bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığının hesaplanması için termal direnç ağ yapısının modeli oluşturulmuştur. Analizler FloEFD

yazılımı kullanılarak yapılmıştır ve deneylerle karşılaştırılmıştır. LED modül ve LED reflektörünün sıcaklık dağılımı, sistemdeki termal direncin HCPS uzunluğuna etkisi, ve ortalama ısı transfer katsayısı elde edilmiştir. Bağlantı noktası sıcaklığı üzerinde etkili olan ortam sıcaklığı, yonga paket derinliği, eğim açıları ve fan dönüş hızı incelenmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki hava akışı yonga paket derinliği arttıkça zayıflamaktadır. Buna ek olarak, dışarıdan uygulanan hava hızının varlığı ile bağlantı noktası sıcaklığı 116,61 °C den 78,05 °C'ye düşürülmüştür.

Liu ve ark. (2015) çalışmalarında bilgisayar işlemcisini mini termoelektrik soğutucu ile soğutulmasını amaçlanmıştır. Analizler göstermektedir ki maksimum COP (Performans katsayısı) ile Q_c arasında ilişki vardır. Tam ölçekli deneyler termoelektrik çalışma gerilimi, ısı kaynağının güç girişi ve termoelektrik modül sayısının etkisini araştırmak için yapılmıştır. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki termoelektrik çalışma gerilim miktarı soğumayı artırmaktadır. CPU ısı kaynağının yüzey sıcaklığı giriş gücünün artmasıyla lineer olarak artmaktadır ve prototip CPU gücü 84 W olduğunda maksimum sıcaklık değeri 70°C olmuştur. Ek olarak CPU ölçüleriyle termoelektrik modül yüzeyi tamamen örtüştürüldüğünde soğutma sisteminin termal performansında artmaktadır.

Çizelge 2.2. LED'ler ve elektronik ekipmanlar için geleneksel soğutma teknikleri

Yazar, yıl	Yayın orjinal ismi
Wang ve ark. (2010)	Yüksek güçlü LED'lerin fan ile soğutma sistemi kullanılarak termal yönetimi
Yeo ark. (2011)	Araçlarda kullanılan LED far sisteminin buhar hazne tipli ısı borusuyla soğutulması
Sufian ve ark. (2014)	Yüksek güçlü LED dizisinin piezoelektrik fan ile soğutulması
Zhao ve ark. (2015)	Yüksek güçlü LED'li otomotiv farı için soğutma elemanının termal modelinin oluşturulması ve analizi
Liu ve ark. (2015)	Bilgisayar işlemcisini mini termoelektrik soğutucu ile soğutulmasını

Çizelge 2.2'de literatür araştırılması yapılırken yıllara göre sıralanmış LED'ler ve elektronik ekipmanlar üzerinde farklı soğutma teknikleri uygulanarak yapılan çalışmalar

verilmiştir. LED’li sistemlerin ve elektronik ekipmanların ısınma problemlerinin giderilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Sıvı soğutma dışında ısı boruları, fanlı çözümler, kanatçıklı yapılara sahip pasif soğutma sistemleri araştırılarak sıvı soğutma sisteminin avantajlı yönleri araştırılmıştır.

2.6. LED ve Elektronik Ekipmanların Sıvı Soğutmalı Sistem ile Soğutulması

Olsen ve ark. (2006) “ShowerPower” adlı otomotiv uygulamaları için geliştirdikleri yeni soğutma konsepti çalışmalarında; Güç modüllerinin sıvıyla soğutulmasıyla ortaya çıkan iki büyük problemi çözmeye çalışmışlardır. Bu problemler karmaşık şekilli ve pahalı metal parçalar ile soğutulacak olan yüzeyde homojen sıcaklık dağılımının olmamasıdır. Ortaya koydukları yeni konsept ile yüksek termal performans, düşük maliyet ile problemi çözmeyi hedeflemişlerdir. Basit ve düşük maliyetli plastik parçalar kullanarak güç modüllerini soğutmayı başarmışlardır. Pahalı metal yapıları soğutucular plastik parçalar ile değiştirilerek maliyet düşüşü sağlanmıştır. Tasarladıkları soğutma bloğu üzerine karmaşık düzlemsel yapıları ısı kaynaklarını kolaylıkla uygulanabilmektedir. Blok içindeki soğutma hücreleri arasında biriyle paralel yapılar kurularak homojen sıcaklık dağılımı elde edilmiştir.

Liu ve ark. (2006) aktif radar ve yüksek güç gereksinimli LED’lerin mikrojet soğutma sistemi ile termal yönetimi konulu çalışmalarında bir önceki yayınlarına atıfta bulunarak sıvı soğutma sistemi üzerinde doğrulama yapmışlardır. Bu çalışmada mikrojet çapı, sıvı debisi, blok malzemesi değiştirilerek nümerik çalışma ile soğutma sistemini optimize etmeye çalışmışlardır.

Kang ve ark.(2007) Yüksek performanslı bilgisayarlar için kapalı devre sıvı soğutma sistemi üzerine çalışmışlardır. Silikon kalıp sıcaklıklarının değişmediği veya düşürülmediği sürece, yüksek performanslı kişisel bilgisayarların güç tüketimi hızla artacaktır. İleri havalı soğutma çözümleri, CPU ve GPU gibi yüksek ısı kaynaklı modüllerde kullanılan ısı borusu ve yüksek akışlı fanlarla ısının yönetilmesi sonucunda yüksek ses problemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. 500 W/cm² ısı akısı değerlerinin kolayca aşıldığı durumlarda kapalı devre sıvı soğutma sistemleri verimliliği, düşük termal direnç ve düşük ses çözümleri önermektedir. Bu çalışmada bilgisayar sistemleri içindeki tek veya daha fazla ısı kaynakları için gelişmiş sıvı soğutma sistemi

tasarımı yapılmıştır. Soğutucu sistem, CPU ve GPU tipli ısı kaynaklarının üzerinde küçük kanallı bakır soğutucu plaka ile zorlanmış taşınma maruz kalmış yüksek performanslı ısı değiştiriciden oluşmaktadır. Kapalı devrede sıvının devir daim ettirilmesi için yüksek güvenilirlikli pompa kullanılmıştır. Tüm sistemin uzun ömürlü olması için sızdırmazlık etkili malzemeler ve montaj metotları ile çalışma sürdürülmüştür.

Liu ve ark. (2008) yüksek güçlü LED'ler için mikrojet tabanlı soğutma bloğu üzerine yapısal optimizasyonu konusunda araştırmalarda bulunmuşlardır. 220W toplam güce sahip LED sisteminin üç farklı mikrojetli sıvı soğutma bloğu üstünde çalışmalar yapılmıştır. Tasarlanan sıvı soğutma bloğu için optimizasyon çalışmaları yürütmüşlerdir. Bu optimizasyon işlemleri sonucunda en düşük LED sıcaklığının elde edilmesi hedeflenmiştir.

Lai ve ark. (2009) çalışmalarında otomobil far uygulamalarında kullanılan LED'lerin sıvıyla soğutulması üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır. GaIN teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, yüksek parlaklıkta beyaz ışık yayan diyotlar (LED'ler) son yıllarda gelişerek, dış aydınlatma, dekoratif aydınlatma gibi birçok yeni aydınlatma uygulamalarının yanı sıra uçak ve otomobil aydınlatmaları içinde gelecek vaat etmektedir. Bu çalışma süresince LED'li baskı devre kartının hava soğutma ve sıvı soğutma üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bir çok aktif sıvı soğutma sistemleri üzerinde çalışılmış ve optimum termal performans dikkate alınarak soğutma sistemi üzerinde optimizasyon yapılmıştır.

Yang ve ark. (2009) Yüksek ısı akılı elektronik cihazlar için mini sıvı soğutmalı sistem geliştirmesi üzerine çalışmışlardır. Günümüzde ticari amaçlı sıvı soğutma sistemlerinin birçoğunun boyutları dizüstü bilgisayarlar ve mini masa üstü bilgisayarlara montajı için çok büyük boyutlardadır. Bu çalışmada, yerel bir üretici tarafından önerilen mikro pompa konseptiyle mikro ısı değiştiricili dizaynın yüksek performanslı sıvı soğutmalı sistem için geliştirilmesi yapılmıştır. Sistem boyutunun düşürülmesi için entegre pompa ve plakalı soğutucu düzenek geliştirilmiştir. Ticari ürünler ile karşılaştırmalarda, test sonuçları göstermektedirki mikro pompa, maksimum basınç ve maksimum akış hızı performansı sağlamaktadır. Soğutucu plaka orta ve yüksek akış hızlarında düşük termal dirence sahiptir ve geliştirilen sıvı sistemi son zamanlarda piyasaya çıkan ürünlerle benzer

özelliklere sahiptir ayrıca geliştirilen bu ürünün soğutucu plakası, pompası ve sıvı soğutma sistemi diğer tüm ticari ürünlerden daha küçüktür.

Deng ve ark. (2009) çalışmalarında, mikro kanallı soğutma araçlarının kapasitelerini önemli ölçüde yükselten ve yeni gelişmekte olan erime noktası düşük güçlü soğutucu sıvı metali incelenmişlerdir. Deneysel çalışmalar boyunca değişik akışkanlar ve debilerde çalışılmış, sıvı metal ile su karşılaştırılarak değişik soğutma teknikleri incelenmiştir. Bunlara ek olarak sıvı metal bazlı mikro kanallı soğutucu sistemin soğutma kapasitesi değerlendirilmiş, hidrodinamik ve ısı transfer teorileri ile tartışılmıştır. Çalışma sonuçları göstermektedir ki, sistem yüksek bağıl hızlarda çalıştırıldığı zaman sıvı metal ile mikro kanal soğutma sistemi geleneksel soğutma sıvılarına göre daha fazla taşınım katsayısı üretmektedir. Aynı pompa gücü altında, sıvı metal bazlı mikro kanalın termal direncinin daha küçük olduğu görülmüştür. Ayrıca yüksek verimli sessiz elektromanyetik pompa kullanımı sağlanmıştır. Dolayısıyla, daha iyi soğutma kapasitesine sahip kompakt ve enerji tasarruflu mikro kanal soğutma sistemleri gerçekleştirilmiştir.

Deng ve ark. (2010) Yüksek güçlü LED'lerin termal yönetimi için sıvı metal ile soğutma sistemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada tipik sıvı metalin fiziksel özellikleri verilerek farklı ortam koşullarında sıvı metal soğutma sistemiyle bir dizi deneysel çalışmalar yapmışlardır. Sıvı metal sonuçları su soğutmalı sistem ile karşılaştırılmıştır. Sıvı metal soğutma sistemlerinin soğutma kapasitelerinin daha iyi anlaşılabilmesi için teorik termal direnç modeli kurulmuş ve bu konu üzerinde yorumlarda bulunulmuştur. Çalışma sonucunda deneyler ve teorik analizler göstermektedir ki sıvı metal soğutma sistemi yüksek güçlü LED'lerin soğutulmasında ve LED sistemi üzerindeki sıcaklık dağılımında daha iyi olduğunu göstermiştir.

Jou ve ark. (2010) yüksek güç gereksinimli LED paketlerinin sıvı soğutma ile ısı transferinin incelenmesi başlıklı çalışmalarında aydınlatma sistemi üzerinde farklı soğutucu akışkanlar(hava, silikon yağ, FC 40) kullanarak farklı güç, farklı açılarda değerlerinde termal direnci hesaplamışlardır ve optimum soğutma performansını bulmaya çalışmışlardır.

Lui ve ark. (2010) yakıt hücreleri, kimyasal yakıt prosesleri ve diğer endüstriyel araçlardaki homojen akış dağılımı konusunda çalışmışlardır. Homojen akış dağılımı için

yeni bir metot önermiş ve kanal çatallaşmaları ve kanal boyutlarını nümerik olarak hesaplamışlardır. Her çatallaşmadaki, akış kanallarının uzunluğu, genişliği, akış kanallarının dönüş çaplarının etkisi araştırılmıştır. En iyi akış dağılımını veren yapı düşük basınç kaybı ve homojen akış dağılımına göre belirlenmiştir. Çalışma boyunca yeni akış dağılımındaki paralel kanalların homojenliği dikkat çekmektedir, akış dağılım yapısı yakıt hücrelerinde, yakıt hücre sistemlerinde, değişik endüstriyel reaktörlerde ve ısı değiştiricilerin performanslarını dikkat edilecek şekilde geliştirmiştir. Çalışma laminar akış rejiminde yapılmıştır ve simülasyonlarda Ansys Fluent programı kullanılmıştır. Taşınım terimlerinin nümerik çözümlerinde QUICK şeması temel alınmıştır ve basınç ve hız alanları için hesaplama yönetmi birleştirilmiş SIMPLE algoritmasına dayalı yapılmıştır.

Sorensel ve ark. (2011) LED'ler için miyatür sıvı soğutucu tasarımı üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu çalışmada LED'lerin soğutulması için kullanılan ısı değiştiricilerde ortalama ısı transfer katsayısı CFD metodu kullanılarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Tam ölçekli model üzerinden alınan veriler ile simülasyon ve deneysel çalışmaların birbirine çok yakın olduğu saptanmıştır. CFD analizler ve deneyler göstermektedir ki, 1000 ile 10000 arasındaki Reynold sayısının değişimiyle elde edilen ortalama ısı transfer katsayısı, klasik analitik ifadeler dayalı ısı transfer katsayısı için beklenen değerlerden 5 kat daha fazladır. Ortalama ısı transfer kat sayısındaki bu artışın ısı değiştirici borusundaki girdaplı akışın neden olduğu ile açıklanmaktadır.

Alvardo ve ark. (2011) Elektronikler, yakıt hücreleri ve yoğunlaştırılmış güneş hücreleri için mikro kanal akış konfigürasyonu ile kanatçıklı sıvı soğutma üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada elektronik parçalarının, yakıt hücrelerinin ve yoğunlaştırılmış güneş pilleri uygulamalarının geleneksel ve yeni mikro kanal akış rejimli kanatçıklı sıvı soğutma sistemi kullanılarak ısı tranferi incelenmiştir. Simülasyonlar ANSYS FLUENT programı kullanılarak yapılmış ve kanatçık üzerindeki akış rejimi laminar seçilmiştir. Çalışma süresince kanatçıklar üzerinden geçen ısı miktarı, soğutulan yüzey üzerindeki sıcaklık dağılımı, giriş-çıkış arasındaki basınç kayıpları ve pompa güçleri hesaplanmıştır. Çalışmada incelenen soğutma bloğu içindeki yeni kanatçık tasarımının akış üzerine etkili faydalar sergilediği sonucuna varılmıştır.

Faranda ve ark. (2012) soğutma sıvısı içine daldırılmış LED baskı devre kartının termal yönetim sistemi uygulaması önermiş ve incelenmişlerdir. LED baskı devre kartının soğutucu sıvı içine yerleştirilerek farklı sıvı yüksekliklerinde ki sıcaklık dağılımını ve performansı incelemişlerdir. Ayrıca soğutucu sıvı bazlı prototipin optik karakterisitikleri için bir dizi deney yapılmışlardır. Sonuçlar göstermektedir ki soğutucu sıvı seviyesi yükseldikçe bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığında düşmektedir ve ışık çıktı miktarını pozitif yönde etkilemektedir. Önerilen çözümde optimum termal performansı veren sıvı yüksekliği bulunmuştur.

Liu ve ark. (2012) çalışmalarında simetrik yapıya sahip kanallarındaki akış çatalaşma bölgesinde ki dağılımın homojen olması amacıyla öneriler sunmuştur. Kanal çatalaşmasındaki akışın yapısı iki katagoride tanımlanmıştır. Kanal çatalaşma yapısının karakteristik parametreleri tanımlanmış ve standardize edilmiştir. Altı adet dağıtıcı kanal modeli deneysel olarak test edilmiştir. Kanal dağıtıcılarının çıkışındaki hava akışının aksel hızları deneysel olarak ölçülmüştür ve her dağıtıcı için akışın homojenliği araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda ortaya koyulan yeni konsept ile endüstriyel ürünler, ısı değiştiriciler, yakıt hücrelerinin soğutma performanslarının artırılması için olumlu sonuçlar elde edilmiştir

Tamdogan ve ark.(2013) yüksek LED akısına sahip LED sistemlerinin direkt sıvı soğutma ile LED üzerinde oluşan hot spot miktarının azaltılması konulu çalışmasında LED sistemi üzerine direk dielektrik soğutma suyu verilerek LED'in soğutma performansını incelemişlerdir. Farklı LED güçleri kullanılarak soğutma performansı ve soğutma suyunun davranışlarını, sıralı dizilmiş 5 LED yongası üzerinde 2 farklı akışkan kullanılarak LED'ler soğutulmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada farklı LED güçleri farklı soğutucu akışkan ve değişik Reynolds sayılarında en düşük termal direncin bulunması hedeflenmiştir.

Alvarado ve ark (2013) Yüksek güçlü LED dizileri elektronik, yakıt hücreleri ve yoğunlaştırılmış güneş pilleri için mikro kanal akış alanı konfigürasyonlarına sahip sıvı soğutmalı soğutucuların HAD ile incelenmesi konulu çalışmasında 8 farklı akış dağıtıcı mikro kanal yapısı sistem üzerine çalışmışlardır. Çalışma süresince basınç düşüşü,

sıcaklık dağılımı, pompa gücü değerleri karşılaştırılarak en iyi dağıtıcının hangisi olduğunun tespit edilmesini hedeflemişlerdir

Sakanova ve ark. (2016) gelecekteki hava araçlarında kullanılacak güç elektroniği dönüştürücüsü için sıvı metal soğutma teknolojisi konulu çalışmasında güç elektroniklerinin su yerine sıvı metal ile soğutarak karşılaştırmasını yapmışlardır. Araştırmada esnasında farklı pompa gücü ve debide su, GaIn ve fuel akışkanları ile soğutma yapılarak elektronik komponentler üzerine oluşan bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklıkları ölçülmüştür. Çalışma süresince en iyi termal performans araştırılmıştır.

Çizelge 2.3. LED ve elektronik ekipmanların sıvı ile soğutulması

Yazar, yıl	Yayın orjinal ismi
Olsen ve ark. (2006)	Otomotiv uygulamaları için yeni soğutma konsepti olan “Shower Power” ile soğutulması
Liu ve ark. (2006)	Aktif radar ve yüksek ışık çıktılı LED’lerin mikrojet soğutma sistemi ile termal yönetimi.
Kang ve ark.(2007)	Yüksek performanslı bilgisayarlar için kapalı devre sıvı soğutma sistemi.
Liu ve ark. (2008)	Yüksek güçlü LED’ler için mikrojet tabanlı soğutma bloğunun yapısal optimizasyonu.
Lai ve ark. (2009)	Otomobil far uygulamalarında kullanılan LED’lerin sıvıyla soğutulması.
Yang ve ark. (2009)	Yüksek ısı akılı elektronik cihazlar için mini sıvı soğutmalı sisteminin geliştirmesi.
Deng ve ark. (2009)	Sıvı metal soğutucu akışkan temelli mikro kanallı soğutma araçlarının geliştirilmesi.
Deng ve ark. (2010)	Yüksek güçlü LED’lerin termal yönetimi için sıvı metal bazlı soğutma sistemi.
Jou ve ark. (2010)	Yüksek güç gereksinimli LED paketlerinin sıvı soğutma ile ısı transferinin incelenmesi.

Çizelge 2.3. LED ve elektronik ekipmanların sıvı ile soğutulması (devam)

Yazar, yıl	Yayın orjinal ismi
Lui ve ark. (2010)	Yakıt hücreleri, kimyasal yakıt prosesleri ve diğer endüstriyel araçların soğutulmasında kullanılan kanalların homojen akış dağılımı.
Sorensen ve ark. (2011)	LED'ler için minyatür sıvı soğutma tasarımı.
Alvardo ve ark. (2011)	Elektronikler, yakıt hücreleri ve konsantre güneş hücreleri için mikro kanal akış konfigürasyonu ile kanatçıklı sıvı soğutma sistemi.
Faranda ve ark. (2012)	Soğutma sıvısı içine daldırılmış LED baskı devre kartının termal yönetimi .
Liu ve ark. (2012)	Simetrik yapıya sahip kanallarındaki akış çatallaşma bölgesinde ki dağılımın incelenmesi.
Tamdogan ve ark. (2013)	Yüksek LED akısına sahip LED sistemlerinin direkt sıvı soğutma ile LED üzerinde oluşan Hot Spot miktarının azaltılması.
Alvardo ve ark (2013)	Yüksek güçlü LED dizilerinin ısı dağılımı için tek fazlı sıvı soğutma cihazlarının karşılaştırılması ve optimizasyonu.
Sakanova ve ark. (2016)	Güç elektroniği dönüştürücüsü için sıvı metal soğutma ile soğutulması.

Çizelge 2.3'de tez süresince yararlanılan LED'lerin ve elektronik ekipmanların sıvı soğutmalı sistemler ile soğutulması üzerine yapılan çalışmaların listesi verilmiştir. Ayrıca akış karakteristiklerinin ve blok tasarımlarındaki teorik hesapların yapılması için literatür araştırılması yapılmıştır. Sıvı soğutma sistemlerinin LED'ler ve elektronik ekipmanların soğutma performansı ve ısı transferi hesaplamaları incelenerek tasarlanan blokların verimleri araştırılmıştır

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Günlük hayatta kullanımı yakın zamanda artan LED, ilerleyen yıllarda otomotiv sektöründe değişmez parçası haline gelecektir. Ürün olarak otomotiv sektörünün talep ettiği, LED'ler tasarımcılara diğer akkor veya Xenon farlarından çok daha fazla özgürlük tanımaktadır. Bu nedenden dolayı LED'li sistemlerin kullanımı günümüzde kullanımı gittikçe artmaktadır.



Şekil 3.1. Genel iş akış şeması

Şekil 3.1’de tez süresince incelenen iş akış şeması verilmiştir. Tez süresince otomotiv ön aydınlatma elemanı üzerinde kullanılan pasif soğutma sistemli LED devre kartlarının sıvı ile soğutulmuş LED ve ışık çıktısı incelenmiştir. Ayrıca blok içi basınç düşüşü, soğutma performanslarının incelenmesi, baskı devre kartı üzerinde homojen soğutma durumları da incelenmiştir. Çalışma başında ilk olarak literatürde sıvı soğutmalı LED uygulamalarının

olduğu bilimsel kaynaklar ve patent çalışmaları incelenmiştir. Daha sonra sıvı soğutmanın uygulanabileceği ürün grubu ve çeşiti, LED baskı devre kartı, aydınlatma miktarı, homologasyon ve ana sanayi istemleri incelenerek yeni LED baskı devre kartı tasarımının yapılmasına karar verilmiştir. Mevcut ürün üzerinde kullanılan baskı devre kartının detaylı kart şemasının olmaması, kart üzerinde farklı elektronik komponentlerin olması nedeniyle daha sade ve kart üzerindeki sıcaklıkları manipüle etmeyecek baskı devre kartı tasarlanarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Buna paralel olarak termal analizleri gerçekleştirilmiş ve testler ile karşılaştırılarak simulasyon programının ve modelin doğruluğu görülmüştür. Baskı devre kartı tasarımı ve doğrulamasından sonra ön blok tasarımları yapılarak sıvı soğutmanın davranışları, debi aralıklarının belirlenmesi, LED baskı devre kartı ile uyumlarının incelendiği aşama tamamlanmıştır. Bu aşama sonucunda seçilen ilk prototip model ile analizler karşılaştırılarak modelin çalıştığı görülmüştür. Ön tasarım aşaması tamamlanmasının ardından nihai blok tasarımları üzerinde teorik basınç düşüşün hesaplanması, ışık çıktı miktarının belirlenmesi, soğutma performanslarının belirlenmesi çalışmaları yürütülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda nihai prototip ön aydınlatma elemanı üzerine yerleştirilerek doğrulama çalışmaları başarıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut seride üretilmekte olan sistem ile tüm aydınlatma fonksiyonunu yerine getiren devre kartlarının sıvı ile soğutulması durumunda sıcaklık oluşumu ve ışık miktarı incelenerek sistemin avantajları gösterilmiştir.

3.1. Problemin Tanımı

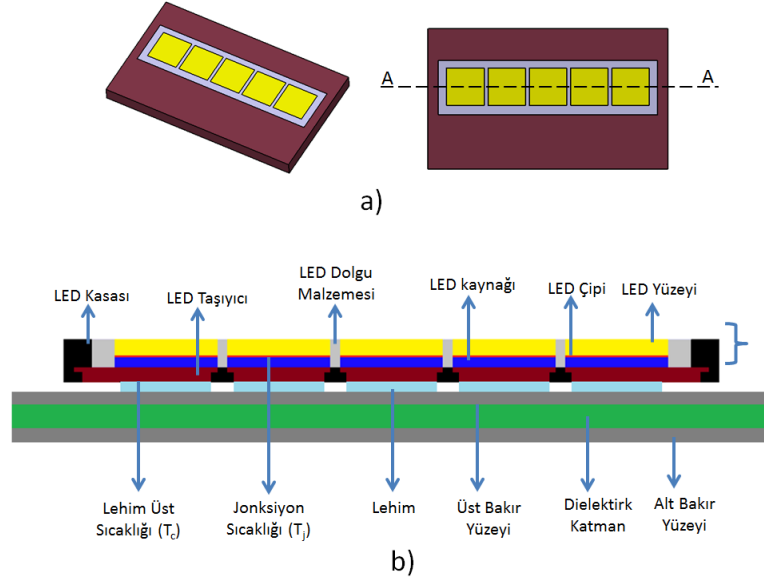
Kanatçıklı sistemlerin kullanıldığı aydınlatma ürünlerinde fazla hacim kaplaması ve ağırlık artışının getirdiği sorunların yanında kısıtlı, kontrol edilemeyen ve homojen olmayan soğutmanın olması araştırmacıları sıvı soğutmalı sistemler gibi alternatif yöntemlerin kullanılmasını yönlendirmektedir. Otomotiv ön aydınlatma elemanalarında LED’li sistemlerin kullanmaya başlamasıyla devre kartları üzerinde oluşan sıcaklıkların yönetilmesinin önemi daha da artmıştır. Elektronik komponentlerin tüm koşullarda sorunsuzca çalışarak otomotiv ana sanayi üreticilerinin istediği ürün ömrünü sağlaması gerekmektedir. Tüm bu ihtiyaçlar doğrultusunda tasarımların yapılması, ürünlerin geliştirilmesi yapılmaktadır. Bu geliştirme faaliyetlerinde bazı problemler baş göstermektedir. Tasarım kriterleri dikkate alındığında uzun hüzme ve kısa hüzme fonksiyonları ayrı ayrı LED devre kartlarıyla sağlanmaktadır. Bu kartlar gövde içerisinde

motor kompartmanın müsaade ettiği hacim içerisinde yerleştirilmektedir. Yeterince soğutma hacminin bulunamaması veya her LED baskı devre kartına aynı hacmin sağlanamaması başlıca problemler arasında gelmektedir. Aynı baskı devre kartı ve aynı soğutucu kanatçık sistemleri kullanılsa bile ürün gövde yapısı gereği aynı soğutma performansını sağlayamamaktadır ve LED'ler arası sıcaklık farklılıkları oluşmaktadır. Bu farklılıklar nedeniyle ürün üzerinde kullanılan her bir LED'in bağlantı noktası sıcaklığına veya lehim noktası sıcaklık limitine ulaşmalarıda eşit olmamaktadır. Bu farklar her baskı devre kartından farklı ışık çıktıklarına, farklı LED ömürlerine neden olmakla birlikte ürün ömründe de kısalmalara neden olmaktadır.

Ön aydınlatma elemanları aracın çıkacağı piyasaya göre amerika veya avrupa normları istemlerine doğrultusunda tasarlanmaktadır. Bu normların istemleri sağlandığı vakit homologasyon alabilmektedir. Avrupa normlarına tabi olan araçlar ECE R112 şartnamesine göre Amerika normlarına tabi olan araçlar SAE J138 ve FMVSS108 şartnamelerini sağlamaktadır. Amerika piyasası için otomobil üreticileri ön aydınlatma elamanı tasarımları yapılırken sadece FMVSS108 şartnamesinin yanında SAE J138 şartnamesinide geçmek isterler bu durum üretici tercihinine bağlıdır. Fakat ECE normları için sadece R112 istemlerini geçmek yeterlidir. ECE R112 şartnamesinde uzun ve kısa hüzme yapan ışık kaynaklarının her birinden 1000 lm ışık miktarını 23°C ortam koşulunda sağlanması gerekmektedir. Bu gereksinimleri sağlamayan fonksiyonlar homologasyon belgesi alamayıp piyasaya sürülemez. Amerika piyasası için istenen ışık çıktı miktarları avrupa normlarından daha fazladır ve SAE için ayrı tasarımlar yapılmaktadır.

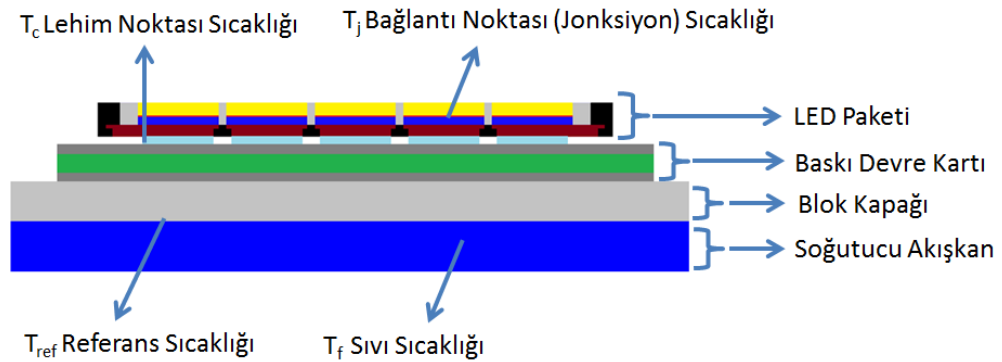
Üretilen araçlar tek ülkeye veya benzer ortam koşullarında kullanılmadığı için farklı sıcaklıklarda farklı ortam koşullarında da sorunsuz çalışması istenmektedir. Bu durumun getirdiği diğer bir problem ise yüksek sıcaklık koşullarında LED'lerin çalışma limitlerinin aşılmasıdır. Bu problemler baskı devre kartı teknolojilerinin değiştirilip geliştirilmesiyle aşılabilir istense bile kısıtlı çalışma limitlerinden kaynaklı problemler çıkmaktadır. Bunun yanında ekstra maliyetler getirmektedir. Bu problemlerin en başında LED çalışma sıcaklığının aşılmasının istenmemesinden kaynaklı sürülen akım değerinin düşürülerek güce bağlı sıcaklık kontrolü yapılmasıdır. Bu durum sonucunda aydınlatma miktarında kayıpların yaşanmasıdır. Işık çıktı değerlerinin homologasyon değerlerine göre %40-50

oranında düşmesi sürüş güvenliğinin ve yol üzerinde aydınlatılan alanın azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca farklı sıcaklıklarda çalışan LED'lerden kaynaklı ışık yoğunluğunun değişmesiyle yol üzerinde homojen ışık dağılımı problemleri meydana gelmektedir.



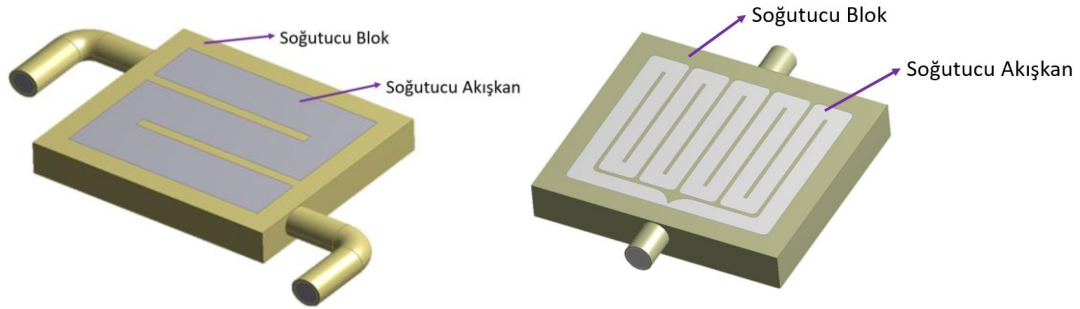
Şekil 3.2. LED baskı devre kartı yapısı a) LED genel görünüşü b) Baskı devre kartı kesiti

Şekil 3.2’de tez süresince kullanılan ve prototipi üretilen LED baskı devre kartında kullanılan LED’in genel görünüşü ve baskı devre kartının kesiti verilmiştir. Otomotiv üreticileri, aydınlatma ürününden yol üzerinde homojen ışık dağılımı ve tüm ortam koşullarında aynı miktarda ışık çıktısı istemektedir. Bunun yanında yeni nesil tasarımlarla birlikte daha estetik ve cesur ön aydınlatma uygulamaları yapılmaktadır. Bu durumlar LED’li sistemleri daha zorlu koşullarda çalışmaya sürüklemektedir. Yüksek akım ve güç değerlerinde çalışmalarını bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı ve lehim sıcaklık limitlerini zorlamaktadır.



Şekil 3.3. Sıvı soğutmalı bloklu LED baskı devre kart kesiti

Şekil 3.3’de Sıvı soğutmalı bloklu LED baskı devre kart kesiti ve sıcaklık noktaları verilmiştir. LED yongası üzerinde açığa çıkan sıcaklığa bağlantı noktası (Jonksiyon; T_j) sıcaklığı denir ve üretici firma tarafından 150°C sıcaklık limiti olduğu bildirilmiştir. Ayrıca diğer bir kısıt ise lehim noktası sıcaklığıdır (T_c) ve üretici firma tarafından çalışma sıcaklığı olarak bildirilmiştir. Lehim noktası sıcaklığı 125°C ile sınırlandırılmıştır. Bu sıcaklıklar ön aydınlatma ürünleri için genel olarak alınabilir. Ayrıca arka aydınlatma ürünlerinde kullanılan eski nesil LED’lerde bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı 125°C olarak bildirilmiştir. LED’in üzerinden akımın geçmesiyle LED yongasının ürettiği ışık çıktısı LED yüzeyinden geçerek reflektörlerin veya merceklerin yansıtmasıyla yol ve çevre aydınlatmasını sağlamaktadır. LED Yongası üzerindeki sıcaklığın artmasına bağlı olarak ışık çıktısı düşmekte ve üst limitlere ulaşıldığında elektronik kontrol ünitesi vasıtasıyla sistem üzerinden geçen akım düşürülmektedir. Yonga üzerindeki sıcaklık ve akım düşmesinden kaynaklı LED üzerinden çıkan ışık miktarında azalmaktadır. Gerek sürüş güvenliği gerek otomotiv üreticilerinin istemlerinden kaynaklı problemler yaşanmaktadır.



Şekil 3.4. Soğutucu blok için katı ve akışkan bölgeleri

Şekil 3.4’de tez süresince kullanılan soğutucu blok modelleri üzerinde akışkan ve katı bölgeleri gösterilmiştir. Soğutucu blok malzemesi alüminyum ve soğutucu akışkan olarak su tanımlanmıştır. Her iki modelde farklı debi aralıklarında daha az pompa gücü tüketilmesi amacıyla laminer bölgede çalışılmıştır.

3.2. Sayısal Çalışmalar

Elektronik komponentler ve LED üzerinde oluşan maksimum sıcaklıkların tespiti, sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi, homojen bir soğutulma yapılabilmesi ve soğutma güçlerinin tespit edilebilmesi için yapılan bilgisayar destekli analiz çalışmaları kapsamında aşağıda verilen iş akışı takip edilmiştir.



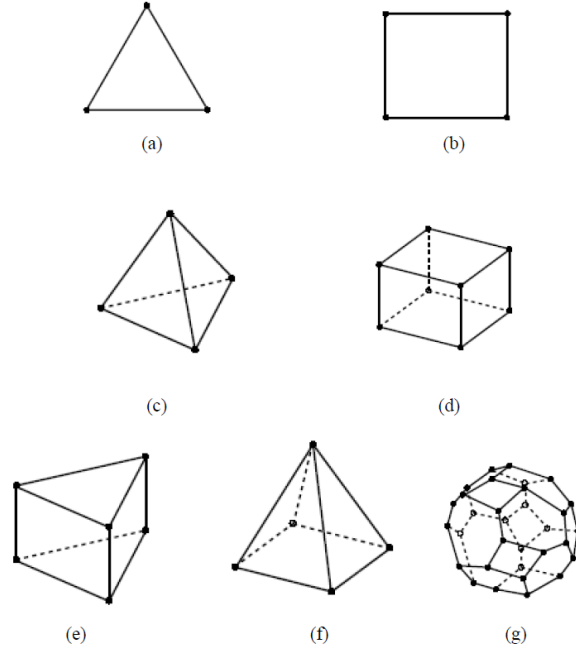
Şekil 3.5. Sayısal çalışmalar için iş akışı şeması

Şekil 3.5’de sayısal çalışmalar süresince yapılan faaliyetler için iş akış diyagramı verilmiştir. Sayısal Çalışmalar iki ana bölümden oluşmuştur. İlk olarak baskı devre kartının ve blok modelinin oluşturularak Ansys Fluent ve Mentor Graphics FloEFD programları yardımıyla analizlerinin yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında farklı blok tasarımları yapılmış ve optimum blok yapısı bulunmuştur. İkinci aşama olarak optimum

blok yapısının otomotiv ön aydınlatma elemanı üzerine yerleştirilerek analizlerinin yapılmasıdır. Bu aşamada mevcut sistemle soğutulan LED aydınlatma sistemi ile sıvı soğutuculu blok sistemin karşılaştırılması yapılmıştır.

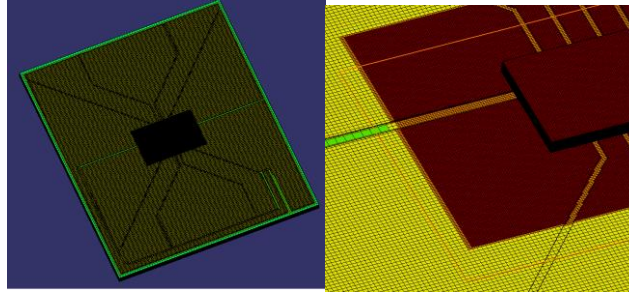
3.2.1. Çözüm ağının oluşturulması

CAD ortamında hazırlanan modeller HAD yöntemiyle hesaplanabilmesi için ağ yapılarının oluşturulması gerekmektedir. Bu sebeple çözücü programlar için çeşitli yapılarda ve şekillerde ağ yapılarının oluşturma imkânları vardır. Çözüm esnasında en uygun ağ yapısının belirlenmesi doğru sonuçların elde edilmesinde önemli etkiye sahiptir. LED baskı devre kartı ve soğutucu blok için uygun ağ yapısı çeşitleri incelenerek modeller oluşturulmuştur.



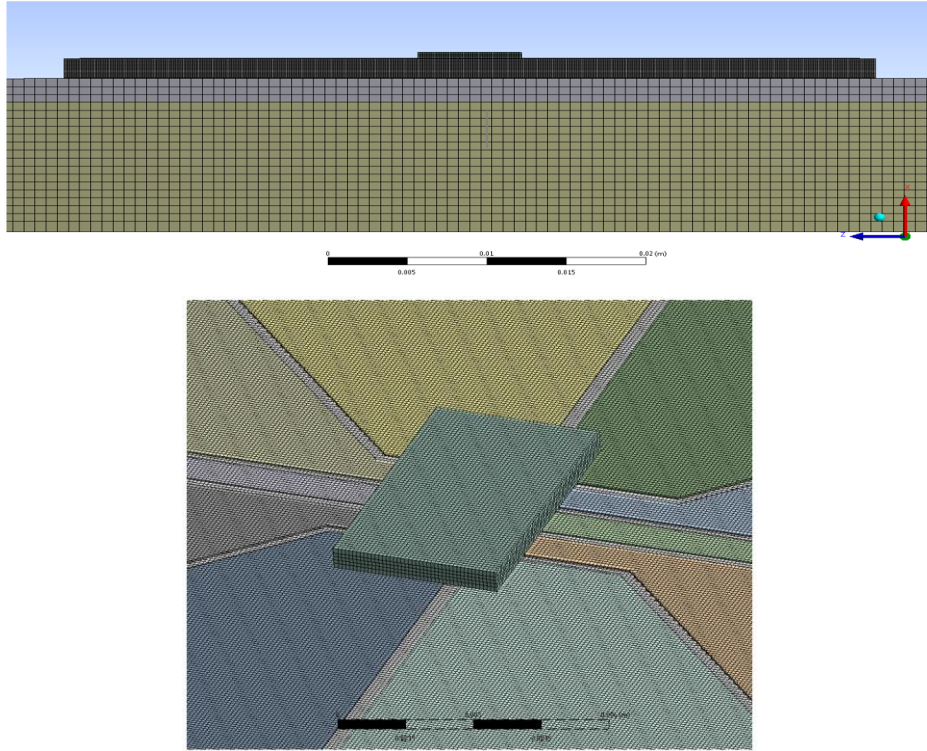
Şekil 3.6. HAD yönteminde kullanılan bazı iki boyutlu üçgen(a), kare(b) ve üç boyutlu tetrahedron(c), hexahedron(d), prizmatik(e), piramit(f) ve polihedron(g) elemanlar (Anonim 2006)

Şekil 3.6'da Çözücü program için oluşturulabilecek ağ yapısı modelleri verilmiştir. LED baskı devre kartı için prizmatik ağ yapısı seçilmiştir. Blok yapısı ve baskı devre kartı köşe yapılı olduğu için tetrahedral veya polihedral ağ yapısı seçilmemiştir. Ayrıca tez süresince incelemek modeller için çözüm süreleri ve ağ yapısının oluşturulma süreleri karşılaştırıldığında prizmatik ağ yapısı diğer üç boyutlu ağ yapılarına göre daha avantajlıdır.



Şekil 3.7. Ön tasarım baskı devre kartı ağ yapısı

Şekil 3.7’de ön tasarım analizlerin de kullanılan ağ yapısı gösterilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan model için yaklaşık yedi milyon eleman kullanılmıştır. Yedi milyon toplam elemanın bir milyonu akışkan bölgesi olan hava için, geri kalan altı milyon eleman katı bölgede kullanılmıştır. LED yongası etrafında sıcaklık değişimlerinin çok hızlı olduğu göz önüne alındığında LED merkezi referans alınarak 10mm eninde 15mm boyundaki alana hassas ağ yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. Nihai tasarım baskı devre kartı ve soğutucu blok ağ yapısı

Ön tasarım sonuçlarında karar verilen model için çalışmalar Ansys Fluent programı kullanılmıştır. Basınç düşüşü ve sıcaklık dağılımlarının hesaplanması için cutcell ağ yapısı kullanılmıştır. Modellerin üzerinde yaklaşık dört milyon ağ elemanı kullanılmıştır.

Model üzerinde sıcaklık dağılımının ve blok içi akışın hassas ve doğru tespit edilebilmesi için homojen ağ yapısı oluşturulmasına dikkat edilmiştir.

3.2.2. Sınır şartları

LED baskı devre kartı alt ve üst katmanda 35 mikron kalınlığında bakır yüzeyle kaplı 1,55mm dielektrik katman olmak üzere toplam baskı devre kartı kalınlığı 1.62mm alınmıştır. Baskı devre kartı üzerinde beş hücreli 15W nominal güç değerine sahip LED yongası kullanılmıştır. Simülasyonlarda baskı devre kartı 13,5V 300mA ve 600mA’de güçte çalıştırılmıştır ve güç değeri hacimsel ısı kaynağı olarak tanımlanmıştır. LED yongası ve baskı devre kartı arasındaki yüzey temas direnci ihmal edilerek ortam sıcaklığı 23°C alınmıştır. Tüm duvar ve cidarlarda hız gradyanları sıfır kabul edilmiştir

Çizelge 3.1. Sınır şartları

Yüzey/Hacim	Sınır şartları	
Ortam sıcaklığı	Sabit 23,45 °C	
Ortdam basıncı	0 Pa	
Soğutucu akışkan debisi	0,00025 kg/s ile 0,025 kg/s	
LED yongası	Sıcaklığa bağlı güç üretimi	
Katı dış yüzey özellikleri	Birleşik ısı transferi	
Katı Hacim Malzeme	Malzeme	Isı iletim katsayısı (W/mK)
LED yongası	Bakır	390
Üst ve alt bakır katman	Bakır	390
Baskı devre kartı yalıtım	Cam elyaf	0,5
Termal Macun	ZP360	1,2
Blok Kapağı	Alüminyum	220
Soğutucu Blok	Alüminyum	220

Çizelge 3.1’de analizler süresince kullanılan sınır şartları ve katı hacimlerde kullanılan malzeme özellikleri verilmiştir. Soğutucu blok alüminyumdan imal edilmiş ve analizlerde alüminyum malzeme özellikleri girilmiştir. Ayrıca LED yongasının tasarım zorlukları nedeniyle analizlerde güç tüm LED hacminden verilmiştir. LED’in altındaki lehim katmanı ihmal edilmiştir.

3.2.3. Korunum denklemleri

Sayısal çalışmalarda modellenen soğutucu bloklar için aşağıda kabulleri yapılmış denklem sistemleri kullanılmıştır. Akış çözümleri modellenirken Navier-Stokes denklemlerine bağlı süreklilik, momentum ve enerji denklemleri çözdürülmüştür.

Süreklilik denklemi

Üç boyutlu süreklilik denklemi denklem 3.1’de yazılmıştır.

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

Tez süresince sıkıştırılamaz akış ve sürekli rejim durumları incelendiğinde $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ olacağından tez süresince incelenecek durum için süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılacaktır.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.2)$$

Momentum denklemi

Tez süresince gerçekleştirilen sayısal analizlerde sürekli rejimde laminer akış kullanıldığı için momentum denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

x-yönü

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

y-yönü

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

z-yönü

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.5)$$

Enerji denklemi

Sürekli rejimde enerji korunum denklemi, kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki gibi yazılabilir.

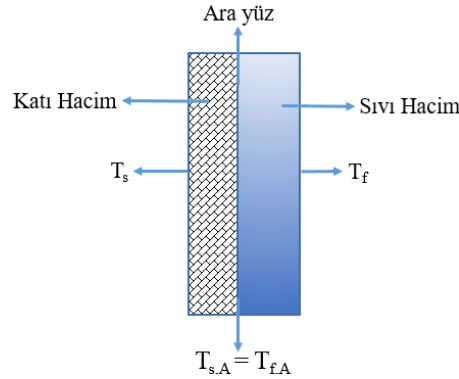
$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k_f \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.6)$$

Katı hacimlerde sabit iletim katsayısı için ısı iletim denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (3.7)$$

Birleşik ısı transferi

Boru içi akışlarda birleşik ısı transferi, boru cidarlarında iletim ve taşınım ile ısı transferini birlikte ele alan koşuldur. Soğutucu blok ile yapılan analizlerde LED baskı devre kartının soğutulması için akışkan-blok içi duvarlar ve akışkan-kapak arasında birleşik ısı transferi meydana gelmektedir.



Şekil 3.9. Birleşik ısı transferi için şematik gösterimi

Şekil 3.9'da katı ve sıvı hacim arasındaki konjuge ısı transfer durumu için şematik gösterim verilmiştir. Katı hacim ve sıvı hacim yüzey ara yüzünün bulunduğu konumda katı sıcaklığı ve sıvı sıcaklığı aynı değildir. Ayrıca ısı transferi Fourier kanununa göre aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$-k_s \left. \frac{\partial T_s}{\partial n} \right|_{s,A} = -k_f \left. \frac{\partial T_f}{\partial n} \right|_{f,A} \quad , \quad u = v = w = 0 \quad (3.8)$$

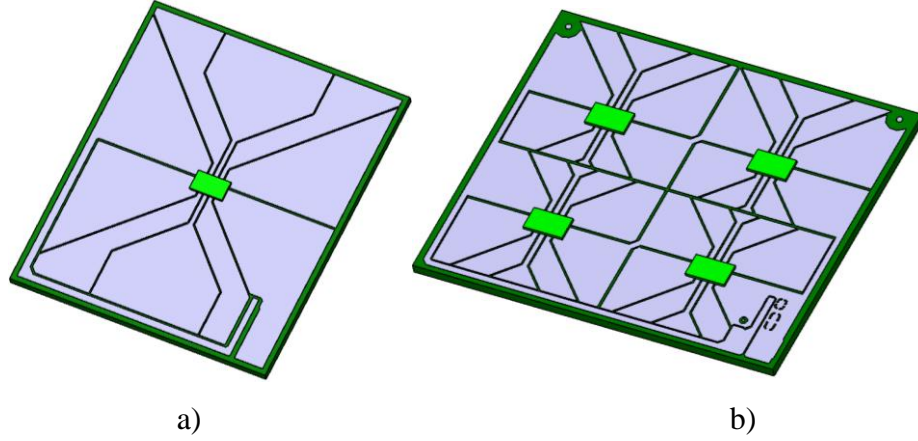
3.2.4. Çözüm koşullarının belirlenmesi

Tüm analizler de aşağıdaki koşullar göz önüne alınarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

- Üç boyutlu sürekli rejim kabul edilmiştir.
- Soğutucu akışkan şıkıştırılmaz laminer akış alınmıştır.
- Tüm yüzeylerde hız sıfır kabul edilmiştir.
- Dış ortam sıcaklığı sabit 23°C alınmıştır.
- İletim ve taşınım ile ısı transferinin yanında radyasyonla ısı transferide çözdürülmüştür.
- LED için hacimsel ısı kaynağı tanımlanmıştır.
- Akışkan için viskoz dağılım ihmal edilmiştir

3.2.5. LED baskı devre kartı modelleri

Tez süresince iki farklı LED baskı devre modeli üzerinde çalışılmıştır. Çalışılan bu iki modelden bir prototip olarak üretilmiştir. Modeller oluşturulduken otomotiv ön aydınlatma elemanı ürende kullanılabilecek LED ve baskı devre kartı tipi seçilmiştir. Ön aydınlatma elemanı üzerine montajlanması sırasında orjinal model ile estetiksel bir farkın olmamasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.10. LED devre kartı modelleri a) Tek LED'li baskı devre kartı b) Dört LED'li baskı devre kartı

Şekil 3.10'da tez süresince incelenen LED devre modelleri verilmiştir. Her iki model için üst ve alt bakır katman kalınlığı 35µm, dielektrik katman kalınlığı 1,55 mm alınmıştır. Baskı devre kartı üzerinde Osram markalı oslon black flat seri beş hücreli Oslon Black

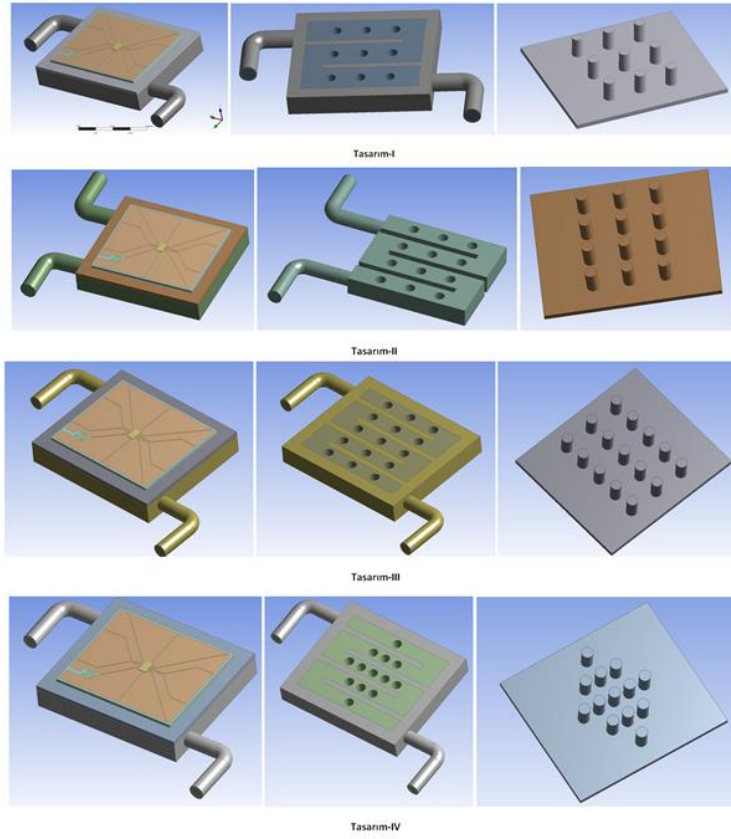
Flat, KW H5L531.TE LED modeli kullanılmıştır. LED sayısının artırılmasıyla çoklu LED uygulamalarında soğutucu blok için homojen soğutma durumunun görülmesi hedeflenmiştir. Çoklu LED baskı devre modeli üzerinde veri yollarının tekli LED ile simetrik olacak şekilde olacak tasarımı yapılmıştır. Tekli devre kartından farklı olarak dört LED'in haberleşmesi için orta konumda veri bağlantıları yolları tasarımı yapılmıştır.

3.2.6. Sıvı soğutmalı blok modelleri

Tez kapsamında birçok blok modeli ile çalışılmıştır. Bu çalışmalar iki aşamada ele alınmıştır. İlk aşamada çeşitli blok modelleri oluşturularak ön tasarım aşaması yapılmıştır. Bu aşamada farklı tipte bloklar tasarlanarak soğutma davranışları ve kart üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Daha sonra nihai blok tasarımları belirlenerek LED baskı devre kartının soğutma performansı ve basınç düşüşleri incelenmiştir.

a) Birinci aşama blok tasarım çalışması

Birinci aşamada blok içerisindeki perde sayısı artırılarak kart üzerinde oluşan sıcaklık değerleri incelenmiştir. Bunun için blok içerisinde iki, üç ve dört perde sayısında her kanal için üç adet kanatçıklı kapak yapısı kullanılmıştır. Dört perdeli blok için şaşırtmalı kanatçıklı kapak yapısı kullanılmıştır. Birinci model ayrıca doğrulama modeli olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Birinci aşama soğutucu blok tasarımları

Şekil 3.11’de birinci aşama soğutma bloğu için dört farklı tasarımın resimleri verilmiştir. Blok tasarımlarının üzerine yeni üretilen LED baskı devre kartı eklenmiştir. Tasarımlarda blok kanal boyutları ve kapak üzerindeki kanatçık dizilimleri değiştirilerek soğutma performansı incelenmek istenmiştir. Ayrıca tasarım üç ve dörtte kanatçık dizilimi değiştirilerek düzenli dizilim ve şaşırtmalı dizilimin soğutma üzerine etkisi gözlemlenmek istenmiştir.

b) İkinci aşama blok tasarım çalışması

İkinci aşama blok tasarım çalışmalarında önceden perde sayısı artırılmış modeller üzerinde kanatçık sayısının daha fazla artırılarak sıcaklık üzerine etkisi incelenmiştir. Tasarlanan kapaklar üzerindeki kanatçıklar 4mm ve 5mm çap ile iki farklı durum için sıvı soğutmalı sistemin performansı termal analizlerle araştırılmıştır.

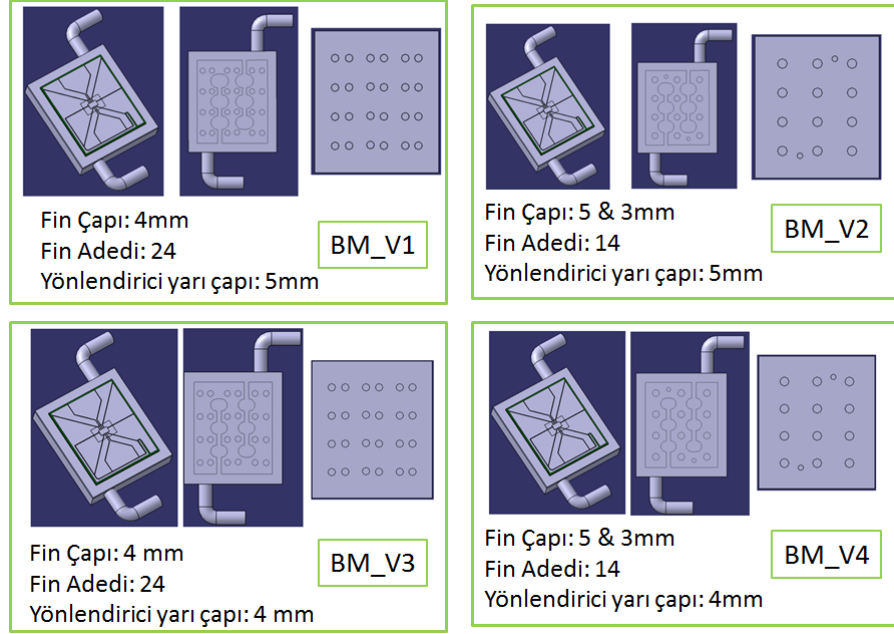


Şekil 3.12. İkinci aşama soğutucu blok tasarımları

Şekil 3.12’de ikinci aşama tasarım modelleri verilmiştir. iki perdeli model de kanal içerisinde iki sıra kanatçıklı yapı tasarlanmıştır. Üç ve dört perdeli durumlarda kanal arası mesafenin daralmasından kaynaklı tek sıra kanatçıklı yapı tasarlanmıştır. Tüm modellerde kanatçık çapı değiştirilerek ısı transferi üzerine etkisi incelenmiştir.

c) Üçüncü aşama blok tasarım çalışması

Üçüncü aşama blok tasarımlarında perde sayısının ve kanatçık sayılarının arttırılmasıyla ısı transferinde önemli bir düşüş sağlanmadığı görülmüştür. Bundan dolayı iki perdeli blok tasarımı için perde yüzeylerine yönlendiriciler eklemesine karar verilmiştir. Yönlendiriciler eklenerek akış içerisinde vorteksler meydana getirilip ısı transferinin arttırılması hedeflenmiştir.

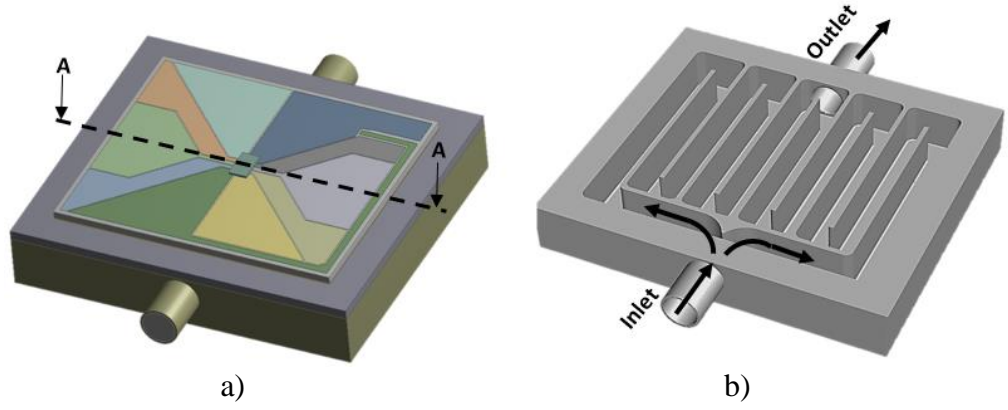


Şekil 3.13. Üçüncü aşama soğutucu blok tasarımları

Şekil 3.13’de üçüncü aşama için tasarlanan blok modelleri verilmiştir. Önceden yapılan analizler neticesinde perde sayısının ve kanatçık miktarının artırılması sıcaklıklar üzerinde büyük etkiler yapmamıştır. Bundan dolayı iki perdeli blok üzerine 4mm ve 5mm çaplı yarım daire yönlendiriciler eklenmiştir. Ayrıca iki farklı kapak tasarımı yapılarak sıcaklık oluşumları incelenmiştir.

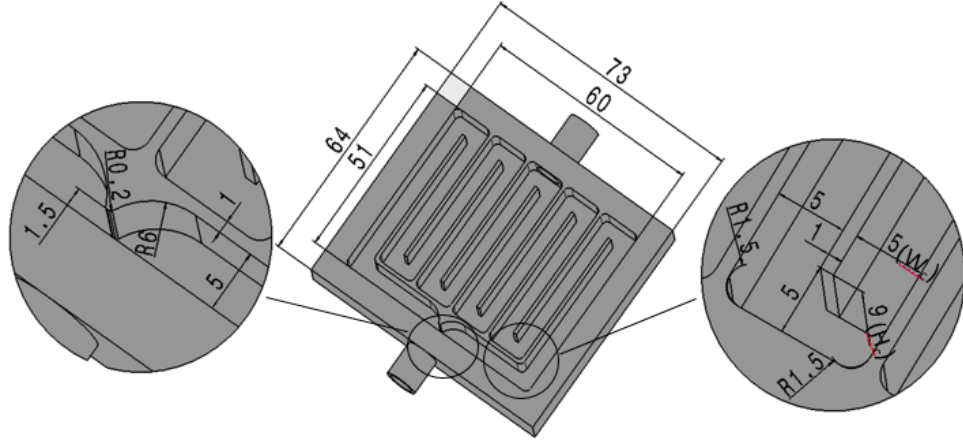
d) İki hücreli on kanallı soğutucu blok çalışması

Çoklu baskı devre kartı tasarımı ve analizlerinden sonra oluşturulan soğutucu blok üzerinde iki soğutucu hücre tasarımı yapılmıştır. LED’ler arasındaki sıcaklık farkının azaltılması ve daha homojen sıcaklık dağılımı elde edilmek istenmiştir. Bu gereksimler doğrultusunda tek hücrede beş kanala sahip çift hücreli tasarım yapılmıştır.



Şekil 3.14. İki hücreli, on kanallı blok tasarımı. a) Genel görünüş b) İç görünüş

Şekil 3.14’de iki hücreli on kanallı blok tasarımı için üstten ve yandan görünüşleri verilmiştir. Tasarımda giriş kısmında basınç düşüşünü azaltmak için V yapısı oluşturularak soğutucu akışkanın akışı kolaylaştırılmıştır. Blok üzerine herhangi bir fin yapısı bulunmayan düz 1mm kalınlıkta kapak tasarımı yapılmıştır. Blok içerisinde dolaşan sıvı orta hatta toplanarak tek çıkış üzerinden tahliye edilmiştir.

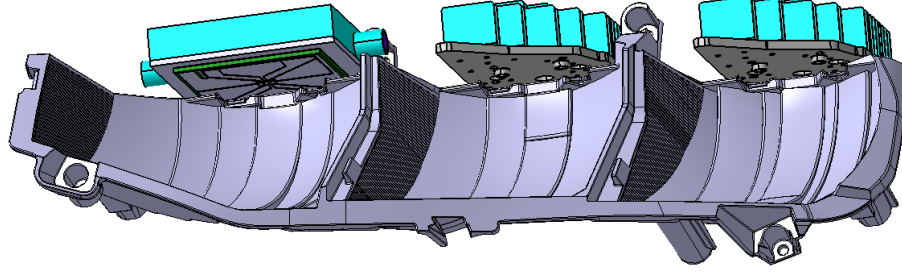


Şekil 3.15. İki hücreli blok ölçüleri

Şekil 3.15’de iki hücreli blok için giriş kesiti ve kanal içi ölçüleri verilmiştir. Blok, perde kalınlıkları 1mm ve perdeler arası mesafe 5mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Blok taban kalınlığı 1mm seçilmiştir. on kanallı blok tasarımı için farklı debilerde analizler yapılmıştır. Soğutucu akışkan debisinin etkisi baskı devre kartı üzerinde oluşan sıcaklıklara etkisi araştırılmıştır.

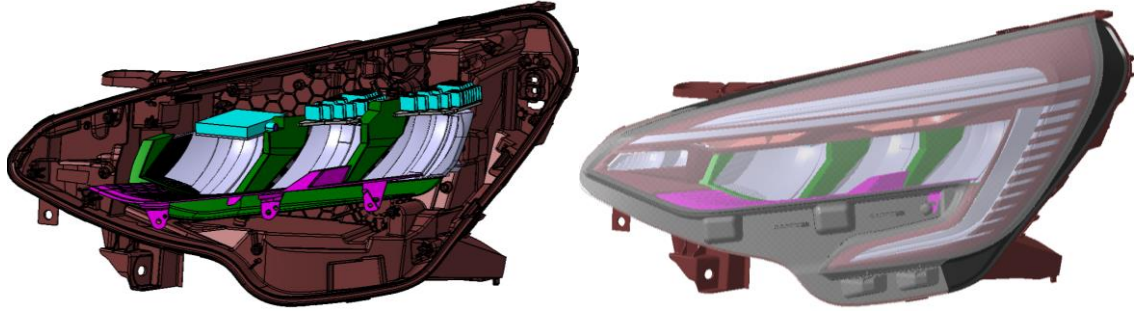
3.2.7. Soğutucu blok tasarımının araç ön aydınlatma ürününe uygulanması

Nihai olarak seçilen iki hücreli 9mm kalınlığındaki bloğun tüm aydınlatma fonksiyonlarının LED ile sağlanan araç ön aydınlatma ürününe uygulaması yapılmıştır. Blok üç boyutlu model üzerinde uzun hüzme fonksiyonu yerine montajlanarak kısa hüzme fonksiyonu kanatçıklı pasif soğutma ve uzun hüzme blok ile soğutma olacak şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 3.16. Soğutucu bloğun reflektör üzerine yerleştirilmesi

Şekil 3.16’da Soğutucu blok ve LED baskı devre kartının reflektör üzerine yerleştirilmiş üç boyutlu model resmi verilmiştir. Kısa hüzme fonksiyonunu yapacak LED ve soğutucu yapı mevcut ürün üzerinde değişiklik yapılmamıştır. Uzun hüzme fonksiyonu için soğutucu kanatçıklı yapı kaldırılarak prototipi imal edilen LED baskı devre kartı ve soğutucu blok kullanılmıştır.



Şekil 3.17. Soğutucu bloğun araç ön aydınlatma ürünü üzerine uygulanması

Şekil 3.17’de Soğutucu bloğun tüm parça üzerine uygulanmış hali verilmiştir. Soğutucu blok uygulaması diğer estetik ve fonksiyonel parçalar ile uyumlu olacak şekilde yerleştirilerek simülasyonlara hazır hale getirilmiştir. Mevcut seri üretimdeki ürün ile sıvı soğutmalı sistemin görsel olarak değişiklik göstermemesine dikkat edilerek ön aydınlatma ürünlerinde kullanılabilirliği görülmüştür. Soğutucu blok montaj modeli ile mevcut ürün üzerinde estetiksel problemlerin olmadığı tespit edilmiştir.

3.3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışma bölümünde elde edilen sayısal sonuçların doğrulanması ve tasarıma doğru bir şekilde yön verilmesi açısından deney kabinlerinde bazı testler yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar kapsamında;



Şekil 3.18. Deneysel çalışmalar için iş akış şeması

Şekil 3.18’de deneysel çalışmalar için iş akış şeması verilmiştir. Deneysel çalışmalara başlamadan önce sıvı soğutucu blok testlerinin yapılabilmesi için test platformu kurulmuştur. Daha sonra ilk prototip üzerinden testler yapılarak analizlerle doğrulama yapılmış ve blok davranışları incelenmiştir. Elde edilen bu veriler ışığında soğutucu blok üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmış ve analiz sonuçlarıyla karşılaştırmalar yapılmıştır. Nihai soğutucu blok ile otomotiv ön aydınlatma elemanı üzerinde test

aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada ilk olarak sıvı soğutmalı blok ürün üzerine montajlanmış ve estetik olarak orjinal ürün ile farkının olmaması amaçlanmıştır. Daha sonra ön aydınlatma ürünü ile test platformu birleştirilerek teste hazır hale getirilmiştir. Sıvı soğutmalı LED ön aydınlatma elemanı ve test platformu iklimatik kabin içerisine yerleştirilerek otomotiv aydınlatma şartnamelerine göre testleri gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Soğutucu blok test düzeneği

Suyun sirküle edilebilmesi için yeterli güce sahip pompa belirlenmiştir. Seçim aşamasında suyu sirküle etmenin yanında yüksek sıcaklıklarda çalışabilen bir pompa ihtiyacı doğmuştur. İleri aşamalarda soğutma bloğunun 50°C ortam şartında ve su sıcaklığın 80°C'ye kadar pompa içerisinde emniyetli bir şekilde sirküle edilmesi hedeflenmiştir. Bu şartlar altında pompa seçilmiş ve satın alınmıştır. Satın alınan pompanın ürün katalog verilerine göre maksimum 8 L/dk debi, maksimum üç metre basma yüksekliğine sahip olduğu üretici firma tarafından bildirilmiştir. Ayrıca pompanın 90°C sıcaklıkta suyu sirküle edebilmektedir.

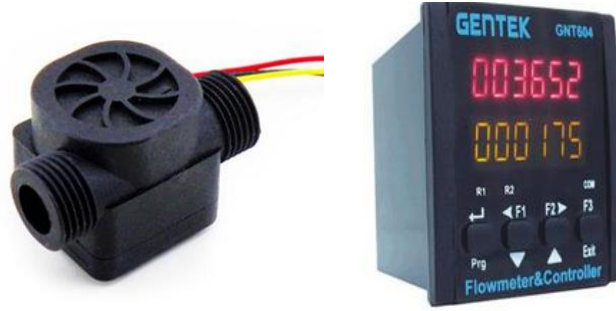
Sistemde sirküle olan suyun sıcaklığının sabit kalması amacıyla alüminyum ısı değiştiricisi ihtiyacı doğmaktadır. İleride yapılacak testler dikkate alındığında küçük boyutlu montaj edilmesi kolay bir ısı değiştiricisine ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaçtan dolayı hazır üretilmiş fanlı ısı değiştiricisi araştırılıp satın alınmıştır.



Şekil 3.19. Pompa ve ısı değiştiricisi

Şekil 3.20'de test çalışmaları kapsamında kullanılan pompa ve ısı değiştiricisi göresli verilmiştir. Sistemde sirküle edilecek su için 15 cm uzunluğunda 5 cm genişliğinde ve yüksekliğinde plastikten su tankı imal edilmiştir. Belirlenen ürünlerin temini sağlandıktan sonra bir plaka üzerine montaj işlemleri yapılmıştır. Su tankı üzerine su sıcaklığını takip edebilmek için J bayonet tip ısıl-çift eklenmiştir. Pompa ve su tankı montajında sızdırmazlık sağlanmış ve parçalar arası akış için 8 mm çaplı PVC borular kullanılmıştır.

Türbin debimetre akışkanın mekanik enerjisini kullanarak rotor denilen türbini döndürür. Türbinin üzerindeki bıçaklar enerjiyi akış yönünden rotasyonel enerjiye dönüştürmek için açılanmıştır. Akışkanın hızı bu dönüşün hızı ile orantılıdır. Milin dönüşü mekanik olarak veya bıçakların hareketi ile algılanır. Bıçak hareketi genelde her bıçağın üzerine yerleştirilmiş pulse üreten mıknatısları yaklaşım sensörünün okumasını sağlar. Türbin debimetreler yakıt, su, gaz ve türevleri, kimya ve güç santralleri, gıda, havacılık, vb. pek çok alanda kullanılmaktadır.



Şekil 3.20. Test düzeneği için satın alınmış debimetre ve gösterge

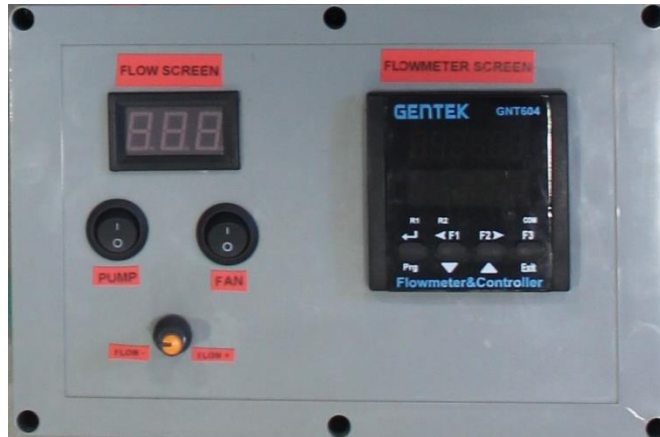
Şekil 3.20’de test çalışmaları kapsamında kullanılan debimetrenin göresli verilmiştir. Seçilen debi metre 0-30 litre/dakika ölçüm aralığında -20°C ile 120°C sıcaklıkta çalışabilen ABS plastik malzemeden imal edilmiştir. Seçilen debimetre düşük ve normal sıvı akışlarını ölçmek ve gözlemlemek için tasarlanmış olup, hassas bir şekilde ölçüm yapmaya elverişli cihazdır. İçerisinde yer alan her bir türbin pervanesine monte edilmiş mıknatıslar, sensör önünden her geçişinde vuruş darbesi üretir. Bu darbelerin miktarı cihaz içerisinden geçen akış miktarını belirler.

Debi ölçüm ve kontrol cihazı mikro denetleyici tabanlı olup her türlü pulse çıkışlı debimetreler için anlık değer, batch toplam değer ve global toplam değeri sayma ve kontrol amaçlı kullanılmıştır. İki adet debimetrenin cihaza aynı anda bağlanabilmesi, tüm değerlerin haberleşme çıkışı ile bilgisayara aktarılabilmesi ve aynı zamanda röleler ile çıkışların kontrol edilmesi sayesinde gelişmiş fonksiyonel bir cihazdır.

Soğutucu bloğun test düzeneği dışında olması, görsel olarak kötü görünmesi ve test esnasında bloğun sabitlenmesi zorluklarını getirmektedir. Bundan dolayı test düzeneği 150cm eninde ve boyunda 1,5cm kalınlığında şeffaf pleksiglas malzeme üzerine yerleştirilmiştir. Ayrıca güç ünitesi geliştirilerek tabla üzerine montajlanmıştır.

3.3.2. Test düzeneği için güç kontrol ünitesinin geliştirilmesi

Pompa ve fan bağlantılarının güç kaynağına bağlantılarının sağlanması, ekipmanların açma/kapama işlemlerinin yapılması ve debi kontrolünün yapılması için kontrol mekanizmasına ihtiyaç duyulmuştur. 25cm eninde 35cm boyunda 15cm kalınlığında plastik elektrik kutusu satın alınmış ve ekipmanların yerleştirilmesi için üst kapağı üzerinde yerleri açılmıştır. Güç ünitesin tek kabloda 220V şebeke elektriğinden beslenmesi için 220V'tan 12V'ta dönüşüm yapacak konverter satın alınmış ve test düzeneğinde çalışacak fan, pompa ve debimetre bu dönüştürücü üzerinden beslenmiştir. Kutu üzerinde 6 adet muz tipi jak fiş girişi, pompa ve fan için açma kapama düğmesi, debi kontrolü için bir adet potansiyometre takılmıştır. Pompa debisi, pompa üzerinden geçen voltajın kontrol edilmesiyle sağlanmak istenmiştir. Bundan dolayı hazır voltaj regülatör devresi satın alınarak kutu içerisindeki bağlantılar yapılmıştır. Pompa üzerinden maksimum voltaj geçişi ve voltaj ayarı yapılarak ünite üzerinden takibi sağlanmıştır.

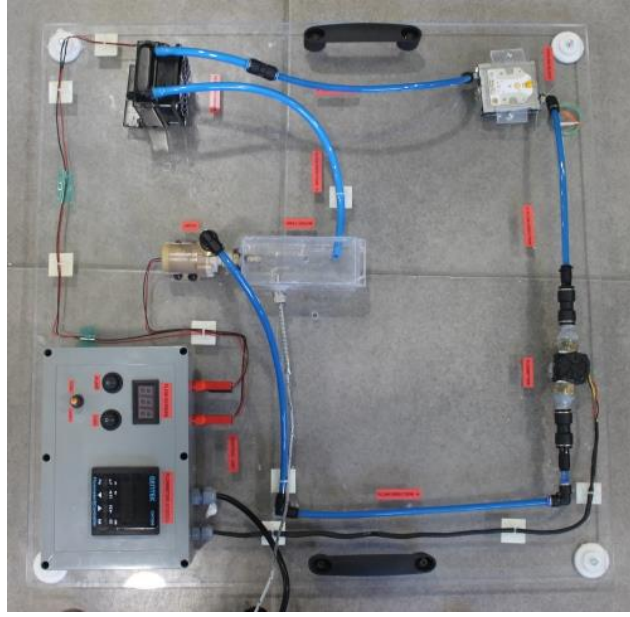


Şekil 3.21. Güç ünitesi

Şekil 3.21'de güç kaynağı ünitesi görseli verilmiştir. Güç ünitesinin doğrudan 220V ile çalışmasıyla test düzeneğinin mobilite sorunu ortadan kalkmıştır. Debimetre gösterge panelinin güç ünitesine montajlanarak sistem üzerindeki su akışının kontrolü esnasında anlık olarak debi miktarı izlenmektedir. Güç ünitesinin geliştirilmesiyle test düzeneği daha profesyonel yapıya ulaşmıştır.

3.3.3. Güç kontrol ünitesi ve test düzeneğinin prototip blok ile birleştirilmesi

İmal edilen test düzeneğinde pompa, tank ve ısı değıştirici ekipmanları bir tabla üzerine yerleştirilmiştir. Soğutucu blok dışarıdan bir mengene yardımıyla sabitlenip pompa ile irtibatı PVC boru ile sağlanmaktadır. Ayrıca güç kaynağının bu tabla üzerinde sabitlenmemiş olması test esnasında karışıklığa neden olmaktadır. Tüm bu eksiklikler göz önünde bulunarak bütün ekipmanlar bir tabla üzerine yerleştirilmiş ve düzenek daha derli toplu hale getirilmiştir.



Şekil 3.22. Test düzeneği

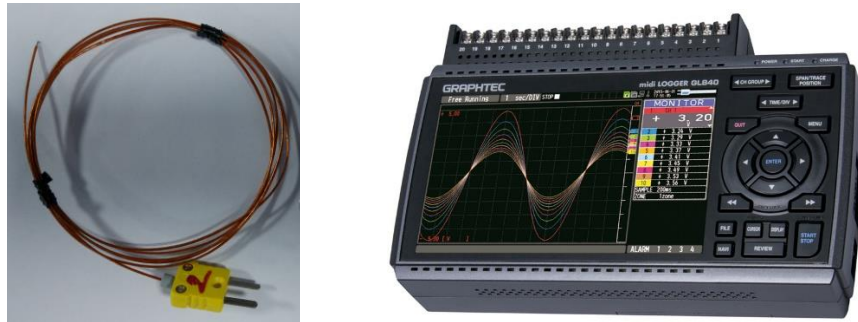
Şekil3.23'te nihai test düzeneği görseli verilmiştir. Test düzeneği için 150cm X 150cm X 1,5cm boyutlarında şeffaf pleksiglass malzeme satın alınmıştır. Tabla üzerine güç kaynağı, pompa, ısı değıştirici, soğutucu blok ve debimetre yerleştirilmiştir. Güç kaynağı hariç diğer test ekipmanları PVC borular ile birleştirilerek sıvı akışı sağlanmıştır. Tabla üzerine sıvı akış yönleri ve ekipmanların isimleri yazılarak görselliği artırılmıştır. Tabla altına beş adet ayak eklenerek yerden yükseltilmiş ve her iki köşesine tutamaçlar monte edilerek taşıma kolaylığı sağlanmıştır. Test düzeneğiyle tüm ekipmanlar bir parça haline getirilmiştir. Test esnasında karışıklığa engel olunarak mobilite imkânı daha da artırılmıştır. Test parçalarının tek bir yerde toplanmasıyla ileride yapılacak testlerin kolaylığı sağlanmış ve görsel açıdan daha iyi olması hedeflenmiştir.

Testlere alüminyum blok prototipi ile başlanmış ve test düzeneği oluşturulmuştur. Blok üzerine Oslon Black Flat KW H4L531.TE marka LED'in olduğu PCB yerleştirilmiştir. LED 3W elektriksel güç ile sürülmektedir. Pompa, blok ve ısı değiştiricisi arasındaki bağlantılar 8mm PVC borular ile sağlanmıştır. Tank içerisindeki su sıcaklığı anlık olarak J tipi ısıl-çift ölçümünü destekleyen termometre ile takibi yapılmıştır.



Şekil 3.23. Wiess termal kabin ve test düzeneğinin kabin içi yerleşimi

Şekil 3.24'de Farklı ortam koşullarını simüle edebilecek termal kabin fotoğrafı ve test düzeneğinin yerleşimi verilmiştir. Farklı ortam şartlarında termal testlerin yapılması için Weiss marka termal kabin kullanılmıştır. Kabinin iç hacimi toplam 1000lt kapasinde olup testler süresince -40°C - 120°C ortam sıcaklığı ve 10 – 100% ortam nemlendirmesi yapabilmektedir. Test düzeneği hazırlanırken termal kabin ölçüleri ve boyutları dikkate alınmıştır.



Şekil 3.24. Testler süresince kullanılan ısıl-çift ve veri toplama cihazı

Şekil 3.25'de ölçümler süresince kullanılan ısıl-çift ve veri toplama cihazı için görseller verilmiştir. Kart üzerinde altı farklı noktadan alınan sıcaklık değerleri kampton kaplı 36AWG K tipi ısıl-çift ile yapılmıştır. Kullanılan ısıl-çiftler -240°C ile $+260^{\circ}\text{C}$ ölçüm

aralığına sahiptir. Kart üzerinde oluşan sıcaklıklar Graphtech GL840 model veri toplama cihazı ile ölçülmüştür ve alınan veriler bir saniye aralıklarla toplanmıştır.

Çizelge 3.2. Ölçüm cihazları, ölçüm aralığı ve tolerans aralığı

Ölçüm Cihazı	Ölçüm aralığı	Tolerans aralığı
Sıcaklık Ölçümü	-40°C / 400°C	± 0,75 %
K-tipi ısı-çift		
Debi Ölçümü	0-30 l/min	± 1 %
Debimetre		

3.3.4. LED baskı devre kartının üretilmesi ve testlere hazır hale getirilmesi

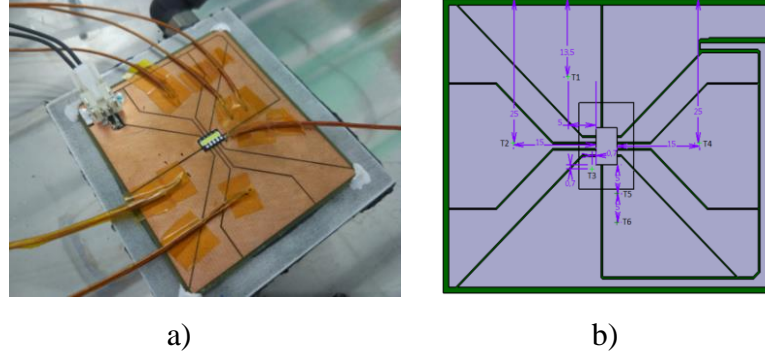
Blok dış boyutlarının değiştirilmek istenmemesinden dolayı önceki boyutlara sadık kalınarak 51mm eninde 60mm boyunda LED baskı devre kartının tasarımı yapılmıştır. Baskı devre kartı üzerinde kullanılan LED yongası 3.85mm eninde 6,5mm boyunda ve 0,5mm kalınlığındadır. LED için bakır malzemesi tüm simülasyonlarda tanımlanmıştır. Ayrıca LED baskı devre kartının imal edildiği plaka üzerinden mikroskopik kalınlık ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.25. Baskı devre kartının mikroskop ile kalınlık analizi

Şekil 3.26'da Baskı devre kartının mikroskop ile kalınlık analizi sonuçları verilmiştir. Kart üzerinde minimum 32,4µm maksimum 40,2µm bakır kalınlığı ölçülmüştür. Kart üzerinde bakır ile dielektrik katman (FR4) arasında homojen bir yüzeyin olmadığı görülmüştür. Ara yalıtkan özellikteki malzemenin lifli yapıda ve ortalama 1,54mm kalınlığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Simülasyonlarda baskı devre kartının her iki yüzeydeki bakır kalınlığı 35 mikron alınmıştır. Ayrıca bakır yüzeylere herhangi bir

kaplama yapılmamıştır. Tasarımda üst yüzey bakır kaplama alanı %83 oranında alt yüzey bakır kaplama oranı %89 oranında alınmıştır.

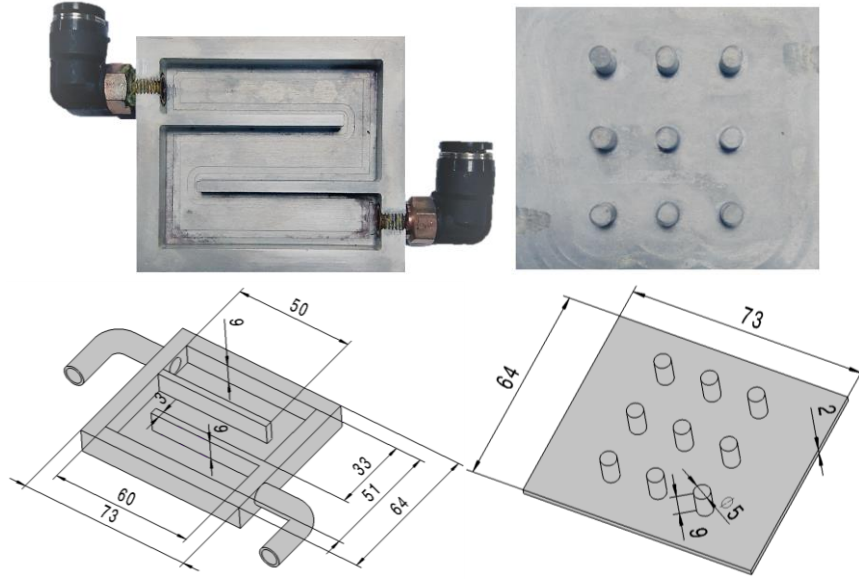


Şekil 3.26. a) Isıl-çift yerleşimi b) Ölçüm noktaları

Şekil 3.27’de LED baskı devre kartı alt ve üst katmanda 35 mikron kalınlığında bakır yüzeyle kaplı 1,55mm FR4 malzemeden imal edilen baskı devre kartı için model resmi verilmiştir. Kartın toplam kalınlığı 1,62mm olarak alınmıştır. Baskı devre kartı üzerinde beş hücreli 15W nominal güç değerine sahip LED yongası kullanılmıştır. Simülasyonlarda baskı devre kartı 13,5V 300mA’de hacimsel ısı kaynağı olarak tanımlanmıştır. LED yongası ve kart arasındaki yüzey temas direnci ihmal edilerek ortam sıcaklığı 23°C alınmıştır.

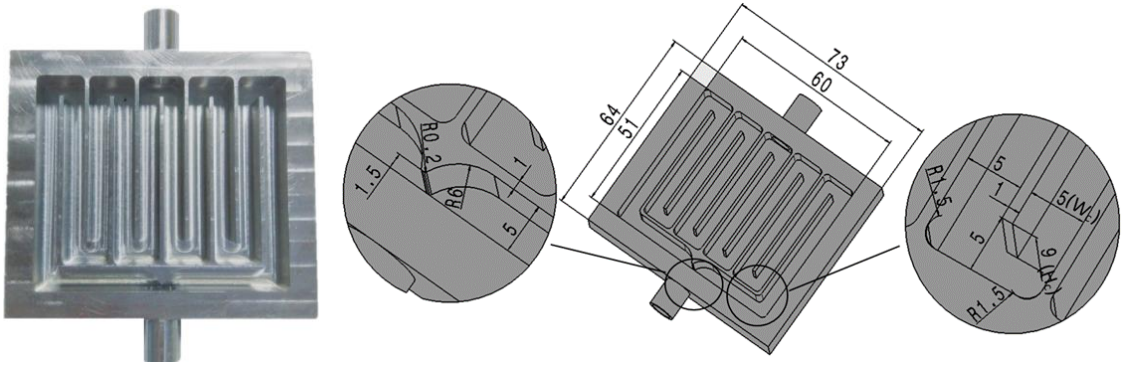
3.3.5. Soğutucu blok prototipleri

Tez süresince yapılan analizler doğrultusunda iki adet blok prototipi üretimi yapılmıştır. Blok üretimleri yapılırken üretimi kolay ve optimize edilmiş blok tasarımları kullanılmak istenmiştir. Bu amaç doğrultusunda tasarımlar arasında en kolay üretime sahip tek hücreli bir numaralı blok tasarımı ve optimize edilmiş homojen sıcaklık dağılımı oluşturabilen iki hücreli blok tasarımının prototipleri üretilmiştir.



Şekil 3.27. Tek hücreli blok prototipi ve ölçülendirilmiş üç boyutlu modeli

Şekil 3.28’de tek hücreli blok için üretilen prototip resmi ve ölçülendirilmiş üç boyutlu modeli verilmiştir. Soğutucu blok ve kapak alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Kapak üzerine dokuz adet 5mm çapında 9mm yükseklikte silindirik kanatçıklar eklenmiştir. Tek hücreli blok derinliği 9mm kapak kalınlığı 2mm olarak tasarlanmıştır. Blok içi 15mm kanal genişliğinde üç adet olacak şekilde tasarlanmıştır ve prototipi üretilmiştir.

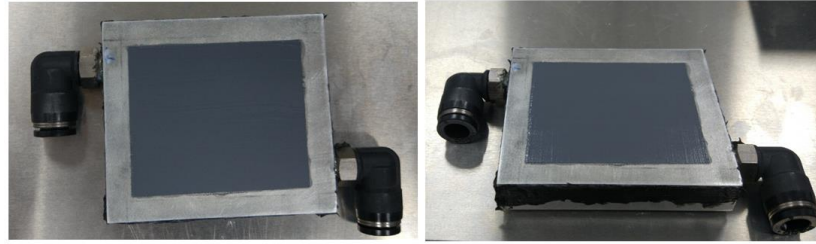


Şekil 3.28. İki hücreli blok prototipi ve ölçülendirilmiş üç boyutlu modeli

Şekil 3.29’da iki hücreli blok prototipi ve ölçülendirilmiş üç boyutlu resmi verilmiştir. İki hücreli blok tasarımında 9mm blok derinliği 5mm kanal genişliği olacak şekilde iki bağımsız hücre tasarımı yapılmıştır. Blok giriş kısmında akışı ortadan ikiye ayırmak ve basınç düşüşünü azaltmak amaçlı kanal girişi tasarlanmıştır. Blok malzemesi ve kapağı alüminyum malzemeden seçilmiş ve prototipi imal edilmiştir.

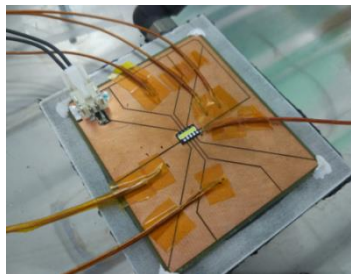
3.3.6. Termal macun kalınlığının belirlenerek LED baskı devre kartının soğutucu blok ile montajlanması

Önceden de yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere termal macun kalınlığının simülasyonlarda ve testlerde önemi büyüktür. Doğru kalınlığın bilinmesiyle baskı devre kartı üzerinde oluşan sıcaklıklar arasındaki hata oranları azaltılabilmektedir. Bundan dolayı yeni üretilen LED baskı devre kartı blok üzerine monte edilirken kalınlık kontrolü yapılmıştır.



Şekil 3.29. Termal macun uygulaması

Şekil 3.30'da blok üzerine 100µm kalınlığında termal macun uygulaması gösterilmiştir. Blok üzerine Star ZP-360 marka termal macun uygulaması yapılmadan önce 100µm kalınlığında şeffaf asetat kâğıdı üzerinde kart boyutunda olacak şekilde dikdörtgen boşluk oluşturulmuştur. Daha sonra asetat kâğıdı blok üst yüzeyine yapıştırılarak termal macun sıkılmıştır. Spatula yardımıyla termal macununun fazlalığı alınarak düz homojen bir yüzey elde edilmiştir. Elde edilen homojen yüzey üzerine baskı devre kartı hafifçe bastırılarak tüm yüzeyinin termal macun ile temas etmesi sağlanmıştır. İleride kartın çıkartılıp başka bloklarda kullanılabilmesi için yapıştıktan sonra kuruma özelliği olmayan termal macun seçilmiştir. Bundan dolayı kartın dört köşesine sabitlemek amacıyla iletkenliği yüksek kuruyabilen termal macun damlatılmıştır.



Şekil 3.30. Termal macun uygulaması sonrası LED baskı devre kartı

3.3.7. İki hücreli blok prototipinin ön aydınlatma ürününe uygulanması

Nihai blok tasarımlarından olan iki hücreli blok tasarımı 9mm kalınlığında prototip olarak üretilmiştir. Üretilen bu blok ilk önce dış ortamda LED kartı ile testleri yapılmış daha sonra otomotiv ön aydınlatma ürünü üzerine montajlanarak testleri gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu modeline uygun olarak blok far içinde uzun hüzme fonksiyonu yerine montajlanmıştır ve 23°C ortam sıcaklığında homologasyon şartnamesini yerine getirecek şekilde testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.31. Soğutucu blok tasarımının ön aydınlatma elemanında konumlandırılması

İki hücreli blok sağ ön far grubunda uzun hüzme fonksiyonunu yerine getirecek şekilde ürün üzerine konumlandırılmıştır. Soğutucu akışkanın giriş çıkışı 10mm çapına sahip PCV boru ile sağlanmıştır. Far grubu toplanırken orjinal haline uygun olacak şekilde tüm estetik parçalarla beraber montajlanmıştır. Sıvı soğutma bloğunun araç üzerinde son kullanıcı gözüyle bakıldığında orjinal pasif soğutma ürününden hiç bir farkının olmaması için hassas ve estetik montajlama yapılmıştır. Soğutucu blok montajı esnasında LED baskı devre kartı üzerine iki adet ısıl-çift yerleştirilerek kart üzerinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.32. Ön aydınlatma elemanı montaj sıralaması

Şekil 3.33’de blok konumlandırıldıktan sonra estetik parçalarla beraber ürünün montaj sıralaması verilmiştir. Estetik parçalar ürün üzerine yerleştirilerek son kullanıcı ve araç

tasarımına uygun hale getirilmiştir. Baskı devre kartı üzerine yerleştirilen ısıl-çift ürün içinde zarar gelmeyecek şekilde dışarı alınarak veri toplama cihazına bağlanmıştır. Estetik parçalar üzerinde gündüz sürüş farı ve hoş geldin efektini sağlayan LED devre kartları montajlanarak tüm fonksiyonları çalıştırılacak hale getirilmiştir.



Şekil 3.33. Ön aydınlatma elemanı test düzeneği

Şekil 3.34’de termal test kabini içerisindeki test düzeneği verilmiştir. Termal test kabini iki ayrı kısma ayrılarak far düzeni ve besleme kontrol ünitesi olacak şekilde kullanılmıştır. Ön aydınlatma elemanı araç konumunda test edilebilmesi için ürün metal test aparatı üzerinde yerleştirilmiştir. Alt kısmında soğutucu blok düzeneği için kontrol ünitesi ve besleme-soğutma tertibatından oluşan test tablası konumlandırılmıştır. 23°C homologasyon test şartnamesine uygun olacak şekilde uzun ve kısa hüzme aynı anda çalıştırılarak 30 dakika boyunca baskı devre kartı üzerinden ölçüm alınmıştır.

3.3.8. Hata analizi

Testler sırasında gerçekleştirilen ölçümlerde meydana gelen hatayı belirlemek için kullanılan deneysel cihazların ölçüm hassasiyetleri ve aralıkları dikkate alınarak Moffat (1988)’in önerdiği hata ifadesi gösterildiği şekilde düzenlenebilir.

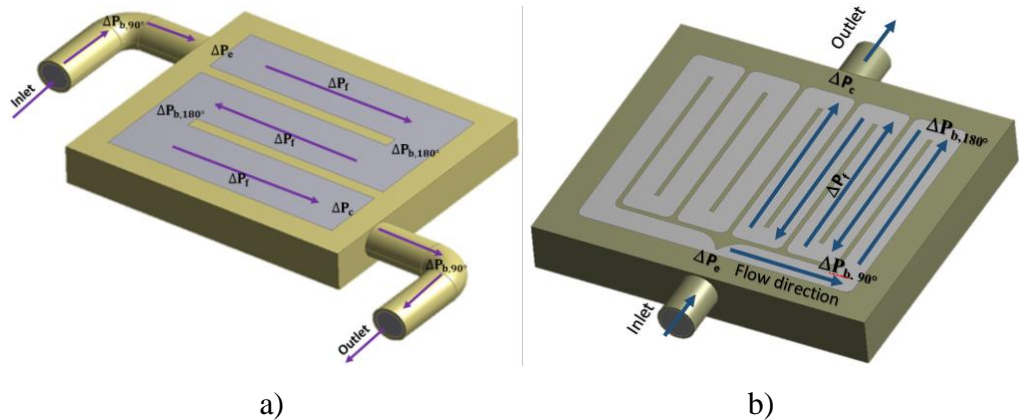
$$Hata (\%) = \left[\left(\frac{\Delta T}{T} \right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.9)$$

Moffat (1988) ın önerdiği eşitlikte yer alan kesirli ifadelerin payındaki değerler cihazın ölçüm hassasiyetini, paydadaki değerler ise ölçüm değerlerini ifade etmektedir. (Kılıç ve Sevilgen 2009). Yapılan hesaplamalarda deneysel hata oranı(maksimum belirsizlik) yaklaşık olarak $\pm \%3$ arasında hesaplanmıştır

3.4. Teorik Çalışmalar

3.4.1. Toplam basınç düşüşünün hesaplanması

Tek hücreli ve iki hücreli soğutma bloğu içerisinde toplam basınç düşüşü hesaplanırken minor ve major basınç düşüşleri göz önüne alınarak hesap yapılmıştır. Blok tasarımında blok içi minör basınç kayıpları üç farklı yol ile meydana gelmektedir. İlk olarak giriş ve çıkış kısımlarında oluşan ani genişleme (ΔP_e) ve ani daralma ile gelen basınç düşüşleri göz önüne alınmıştır. Major kayıplar soğutucu blok içi sürtünmeden ΔP_f ve 180° dönüşlerden ($\Delta P_{bi,180^\circ}$) meydana gelmektedir. Tek hücreli blok için giriş ve çıkış kısmındaki 90° dönüş kayıpları ve iki hücreli blok için üçüncü minor kayıp olarak sıvının blok içine girişinden sonra V formundan kaynaklı 90° ($\Delta P_{bj,90^\circ}$) dönüş kaybı hesaplanmıştır. İki hücreli blok tasarımında akışın blok girişinde iki ayrı simetrik hücreye ayrılmasından dolayı tek taraf için hesaplanarak toplam basınç düşüşü verilebileceği görülmüştür. Ayrıca şekil 3.35’de blok içi kayıplar verilmiştir.



Şekil 3.34. Blokları için basınç kayıpları a) Tek hücreli blok b) Çift hücreli blok

Sürtünmeden kaynaklı major basınç düşüşünde hidrodinamik giriş uzunluğu dikdörtgen kesitli kanal için denklem 3.20 ile hesaplanmaktadır.

$$L_h = 0,05 \text{ Re } D_h \quad (3.10)$$

Dikdörtgen kesitli soğutma kanallarında akış için hidrolik çapa dayanan Reynolds sayısı denklem 3.10 kullanılarak hesaplanabilir. Denklem 3.11’de , ρ_f yoğunluğu ve μ_f suyun dinamik vizkozitesini temsil etmektedir. Yoğunluk ve dinamik vizkozite giriş ve çıkış sıcaklığının ortalama değeri ile hesaplanmaktadır (Denklem 3.12). Kanal içi debi ile ortalama akış hızı U_{ch} denklem 3.13 ile hesaplanmaktadır. Kanal çapına bağlı hidrolik çap denklem 3.14 ile yazılabilir. Burada W_c kanal genişliğini ve H_c kanal yüksekliğini ifade etmektedir.

$$\text{Re} = \frac{\rho_f U_{ch} D_h}{\mu_f} \quad (3.11)$$

$$T_{avg} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (3.12)$$

$$U_{ch} = \frac{\dot{m}}{\rho_f A_{ch}} \quad (3.13)$$

$$D_h = \frac{2(W_c H_c)}{(W_c + H_c)} \quad (3.14)$$

Hidrodinamik giriş uzunluğu ve sürtünmeden kaynaklı toplam basınç düşüşleri hesaplanırken iki durum göz önüne alınmalıdır. Bu durumlar, gelişmekte olan bölge ve gelişmiş bölgedeki sürtünmeye bağlı basınç düşüşleri ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Sürtünme kayıpları, cidardaki sürtünme kuvvetlerinin atalet kuvvetlerine oranı olarak tanımlanan faning sürtünme faktörü ile hesaplanabilir. Öte yandan, apparent sürtünme faktörü (f_{app}) gelişen akış durumlarında kullanılabilir. Ayrıca tek fazlı akış için dairesel ve dairesel olmayan kanallar için denklem 3.15 kullanılabilir. L^+ boyutsuz kanal uzunluğunu temsil etmektedir ve deklemler 3.16 yoluyla hesaplanabilir. L toplam soğutucu kanal uzunluğunu, $K(\infty)$ tam gelişmiş akış için kademeli basınç düşüşünü ve c düzeltme katsayısını temsil etmektedir. $K(\infty)$ ve c en-boy oranına bağlı deklemler 3.17 ve 3.18 yardımıyla hesaplanabilir. En boy oranı soğutucu kanalın kısa kenar uzunluğunun (W) uzun kenar yüksekliğine bağlı olarak denklem 3.19 yoluyla hesaplanabilir (Shah 1978, Mirmanto 2013).

$$f_{app} = \frac{3,44}{Re\sqrt{L^+}} + \frac{(f_{fd} \cdot Re)_{fd} + \frac{K(\infty)}{4L^+} - \frac{3,44}{\sqrt{L^+}}}{Re \left(1 + \frac{c}{(L^+)^2}\right)} \quad (3.15)$$

$$L^+ = \frac{L/D_h}{Re} \quad (3.16)$$

$$K(\infty) = 0,674 + 1,2501\alpha + 0,3417\alpha^2 - 0,8358\alpha^3 \quad (3.17)$$

$$c = (0,1811 + 4,3488\alpha + 1,6027\alpha^2) \times 10^{-4} \quad (3.18)$$

$$\alpha = \frac{W_c}{H_c} \quad (3.19)$$

Denklem 3.20'da, dikdörtgen bir kanalda tam gelişmiş laminer akış için fanning sürtünme faktörü (f_{fd}) en boy oranıyla hesaplanabilir (Shah ve ark. 1978).

$$f_{fd} = \frac{24}{Re} (1 - 1,3553\alpha + 1,9467\alpha^2 - 1,7012\alpha^3 + 0,9567\alpha^4 - 0,2537\alpha^5) \quad (3.20)$$

Dikdörtgen soğutucu kanaldaki sürtünme faktörü göz önüne alındığında toplam basınç düşüşü deklemler 3.21 yardımıyla hesaplanabilir. L toplam kanal içi uzunluğu temsil etmektedir.

$$\Delta P_f = \frac{\rho_f \cdot U_{ch}^2}{2} \left(\frac{4f_{app} L}{D_h} \right) \quad (3.21)$$

Soğutma kanalı içerisindeki diğer bir major kayıp 180° dönüş kayıplarından meydana gelmektedir. 180° dönüş kayıpları deklemler 3.22 yardımıyla hesaplanabilir. n toplam 180° dönüş sayısını ve ξ dönüş kaybı katsayısını temsil etmektedir ve deklemler 3.23 yardımıyla hesaplanmaktadır. C eğrilik oranıdır ve eğrilik yarıçapının kanalın hidrolik çapına oranı olarak tanımlanmaktadır ve keskin köşe dönüşü olduğundan sıfır olarak alınmıştır. β kanal yüksekliğinin kanal genişliğine oranı olarak alınmıştır ve W_t kanal kalınlığı olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Eğrilik oranı için detaylı hesaplamalar referans belirtilmiştir (Maharudrayya ve ark. 2004).

$$\Delta P_{b,180^\circ} = \frac{1}{2} \rho_f \cdot U_{ch}^2 \sum_{i=1}^n \xi_i \quad (3.22)$$

$$100 < Re < 1000 \text{ için} \quad (3.23)$$

$$\xi = 0,46(Re)^{1/3}(1 - 0,18C + 0,016C^2) \\ \times (1 - 0,2\beta - 0,0022\beta^2) \left(1 + 0,26 \left(\frac{W_t}{D_h} \right)^{2/3} - 0,0018 \left(\frac{W_t}{D_h} \right)^2 \right)$$

$$1000 < Re < 2200 \text{ için} \quad (3.24)$$

$$\xi = 3,8(1 - 0,22C + 0,022C^2) \times (1 - 0,1\beta - 0,0063\beta^2) \\ \times \left(1 + 0,12 \left(\frac{W_t}{D_h} \right)^{2/3} - 0,0002 \left(\frac{W_t}{D_h} \right)^2 \right)$$

Soğutma kanalı içerisinde meydana gelen ani genişleme ve daralmadan kaynaklı minor basınç düşüşleri denklem 3.35 ile hesaplanmıştır. K_e ve K_c soğutma bloğu içerisinde ani genişleme ve daralmadan kaynaklı kayıp katsayısıdır ve denklem 3.26 – 3.27 yardımıyla hesaplanmaktadır. A_{out} ve A_{in} genişleme ve daralma bölgelerindeki kesit alanlarını ifade etmektedir (Ahmed F ve ark. 2014, Idelchik 1986).

$$\Delta P_{e(or c)} = K_{e,(or K_c)} \frac{1}{2} \rho U_{ch}^2 \quad (3.25)$$

$$K_e = \left(1 - \frac{A_{out}}{A_{in}} \right)^2 \quad (3.26)$$

$$K_c = 0,42 \left(1 - \frac{A_{out}}{A_{in}} \right) \quad (3.27)$$

Soğutma bloğu giriş kısmında bulunan 90° dönüşten kaynaklı minor basınç düşüşü denklem 3.28 yardımıyla hesaplanmaktadır. $K_{b,j}$ 1,2 sabit olarak kabul edilmiş dönüş kaybı katsayısıdır (Philips 1978).

$$\Delta P_{bj,90^\circ} = K_{b,j} \frac{1}{2} \rho U_{ch}^2 \quad (3.28)$$

Toplam basınç düşüşü denklem 3.29 ve 3.30 halinde tekrar yazılabilir.

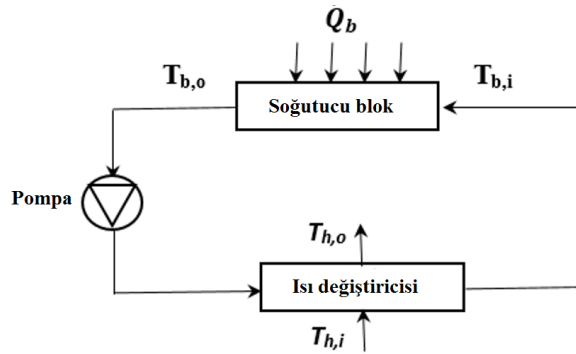
$$\Delta P_{total} = \Delta P_f + \Delta P_{bj,90^\circ} + \Delta P_{bi,180^\circ} + \Delta P_e + \Delta P_c \quad (3.29)$$

$$\Delta P_{total} = \frac{\rho_f \cdot U_{ch}^2}{2} \left(\frac{4f_{app} L}{D_h} + \sum_{i=1}^n \xi_i + K_c + K_e + K_{b,j} \right) \quad (3.30)$$

Teorik hesaplamalarda, daha düşük pompa gücü ile daha yüksek ısıl performans elde etmek için laminar akış rejimi dikkate alınmıştır.

3.4.2. Isı transfer analizi

Şekil 3.36'de LED soğutma sisteminin şematik durumu verilmiştir. Sistem soğutma bloğu, sirkülasyon pompası ve ısı değiştiricisinden meydana gelmektedir. Q_b , soğutma bloğuna giren soğutma sıvısı tarafından çekilen toplam ısı transferi miktarını temsil etmektedir ve denklem 3.31 kullanılarak sabit şartlar altında hesaplanabilir. \dot{m} akışkan debisini, $T_{b,i}$ ve $T_{h,i}$ sırasıyla soğutucu blok ve ısı değiştiricisinin sıvı giriş sıcaklığını temsil etmektedir. Ayrıca $T_{b,o}$ and $T_{h,o}$ sırasıyla soğutucu blok ve ısı değiştiricisinin sıvı çıkış sıcaklığını göstermektedir. V ve I LED üzerinden geçen voltaj ve akım değerini veren ifadeler olarak tanımlanmıştır, q_{loss} bu çalışmada kullanılan tek bir LED'in aydınlatma fonksiyonu için gerekli ısı kaybı miktarıdır.

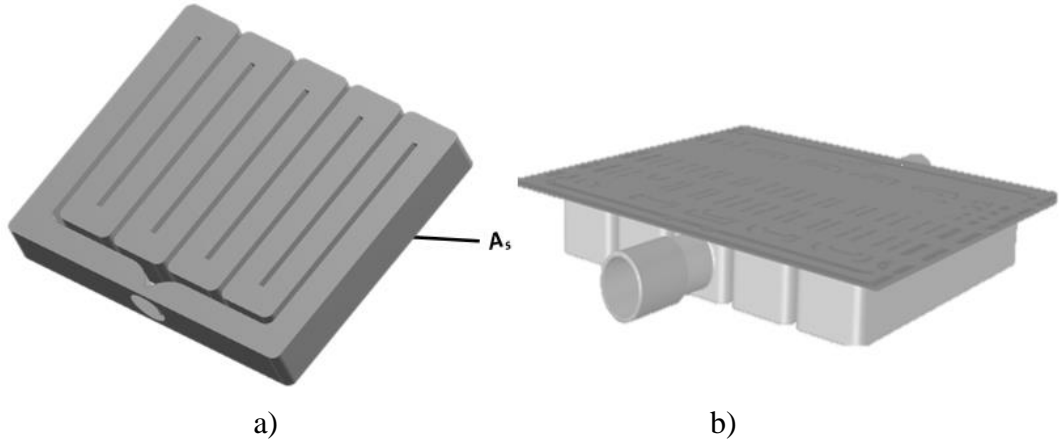


Şekil 3.35. LED soğutma sistemi

$$Q_b = \dot{m} c_p (T_{b,i} - T_{b,o}) = I \cdot V - q_{loss} \quad (3.31)$$

Toplam ısı transferi denklem 3.32'deki LMDT metodu kullanılarak tekrar yazılabilir. h_{avg} ortalama taşınım katsayısını temsil etmektedir. Ayrıca toplam soğutucu ısı transfer yüzey alanı şekil 3.36'de gösterilmiştir. LMTD değeri denklem 3.33 ve 3.34 kullanılarak toplam ısı transfer alanı ve referans düzlemi arasındaki sıcaklık farkı dikkate alınarak hesaplanabilir. Nümerik analizlerde, referans sıcaklığı değerinin hesaplanması için, akışkan bölgesine yakın olan bir referans düzlemi tanımlanmış ve bu düzlemin ortalama yüzey sıcaklığı, ısı transfer hesaplamalarında kullanılmıştır.

$$Q_b = h_{avg} \cdot A_s \Delta T_{lm} \quad (3.32)$$



Şekil 3.36. a) Toplam ısı transfer alanı b) Referans düzlemi

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (3.33)$$

$$\Delta T_1 = T_{ref} - T_{b,i} , \Delta T_2 = T_{ref} - T_{b,o} \quad (3.34)$$

Ortalama taşınım katsayısı ile Nusselt sayısı denkleme 3.35 kullanılarak hesaplanabilir. k_f Soğutucu akışkanın termal iletim katsayısını ve D_h dikdörtgen kesitli kanalın hidrolik çapını temsil etmektedir.

$$Nu = \frac{h_{avg} D_h}{k_f} \quad (3.35)$$

$\sum R_t$ soğutucu sistemdeki toplam direnci temsil etmektedir. $\sum R_t$, LED sistemi, kanatçıklı/kanatçıksız blok kapağı ve soğutucu bloktan gelen üç ana terimden oluşmaktadır. Sistem yaklaşımı ile LED bağlantı noktasından soğutucu blok arasında toplam direnç denklem 3.37 ile ifade edilebilir. Ayrıca LED bağlantı noktası sıcaklığı denklem 3.48 ile hesaplanabilir.

$$\sum R_t = R_{j-s} + R_{s-tc} + R_{tc-br} + R_{br-bc} + R_{bc-TM} + R_{TM-hs} + \frac{1}{h_{avg} A_s} \quad (3.37)$$

$$T_j = \sum R_t \dot{Q}_b + T_{b,i} \quad (3.38)$$

Bağlantı noktası sıcaklığının düşürülmesinde soğutma bloğu direncinin etkisi sistemdeki diğer dirençlerden daha etkilidir. R_{j-s} bağlantı noktası noktasından lehime olan direnci,

R_{s-tc} lehimden üst bakır noktasına R_{tc-br} üst bakırdan epoxy kart malzemesine, R_{br-bc} epoxy kart malzemesinden alt bakır katmanına, R_{bc-TM} alt bakır katmanından termal macun yüzeyine ve R_{TM-hs} termal macun yüzeyinden kanatçıklı/kanatçıksız blok kapağına olan termal direnci ifade etmektedir. Bu direnclere ek olarak blok kapağından soğutucu akışkana olan taşınım direncide eklenmelidir. LED üzerindeki bağlantı noktası sıcaklığı denklem 3.38 ile hesaplanabilir.

3.4.3. LED ışık çıktısının hesaplanması

Analizlerde ve testlerde otomotiv aydınlatma elemanlarında yaygın olarak kullanılan Osram markalı oslon black flat seri 5 hücreli Oslon Black Flat, KW H5L531.TE LED kullanılmıştır. Kullanılan ürün ön aydınlatma gruplarında uzun ve kısa hüzme fonksiyonlarında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.3. Kullanılan LED için maksimum ve minimum kullanım şartları

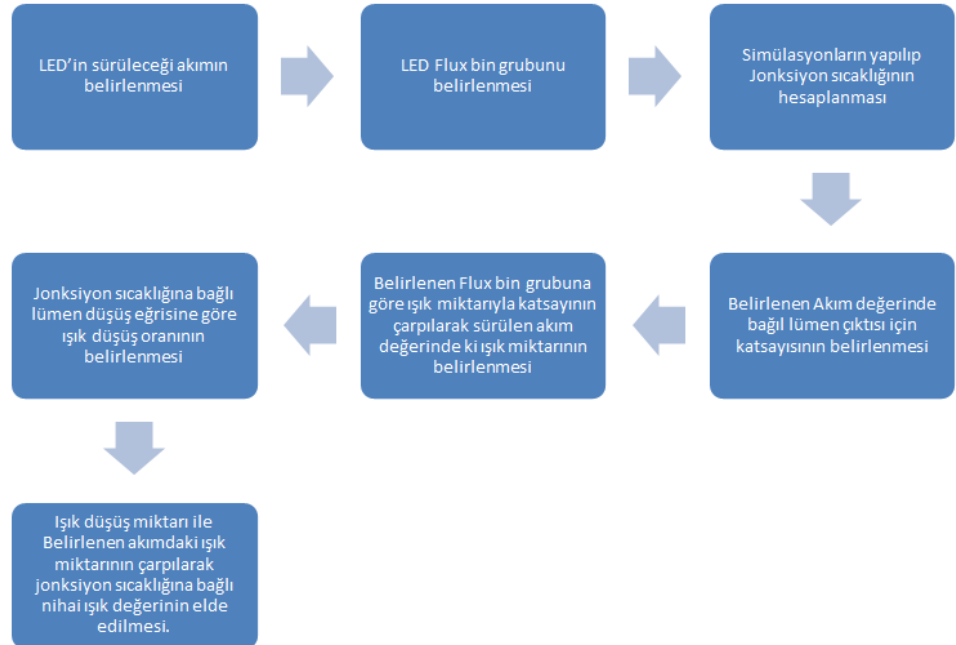
Parametre	Sembol	Değer
Çalışma Sıcaklığı	T_{op}	$-40^{\circ}\text{C} - 125^{\circ}\text{C}$
Depolama Sıcaklığı	T_{stg}	$-40^{\circ}\text{C} - 125^{\circ}\text{C}$
Bağlantı noktası sıcaklığı	T_j	150°C
Kısa süreli Bağlantı noktası sıcaklığı	T_j	175°C
Akım aralığı ($T_s = 25^{\circ}\text{C}$)	I_f	$50\text{mA} - 1200\text{mA}$
Lehim-Bağlantı noktası arası termal ısı direnç	$R_{th JS re}$	Etkin $0,90 \text{ K/W}$
		Maks. $1,10 \text{ K/W}$
Lehim ve Bağlantı noktası arası elektriksel ısı direnç	$R_{th JS el}$	Etkin $0,63 \text{ K/W}$
		Maks. $0,77 \text{ K/W}$

Çizelge 3.3’de beş hücreli LED için kullanım şartları verilmiştir. LED maksimum 125°C ortam koşulunda kullanılabilir. LED yongası üzerindeki maksimum oluşabilecek bağlantı noktası sıcaklığı 150°C ’ye kadar izin verilmiştir. Ayrıca LED için maksimum 1200mA ile LED’in sürülmesine izin verilmiştir. Bağlantı noktası sıcaklığının hesaplanabilmesi için LED’in termal ısı direnci $0,9\text{K/W}$ olarak belirtilmiştir. LED’ler üretilen levhadaki konumlarına göre değişik ışık miktarlarında aydınlatma sağlamaktadır. Bu aydınlatma miktarları LED üreticisi tarafından kullanıcılara bildirilmektedir.

Çizelge 3.4. Kullanılan LED için ışık çıktı grupları(Flux bin) (Anonim 2020)

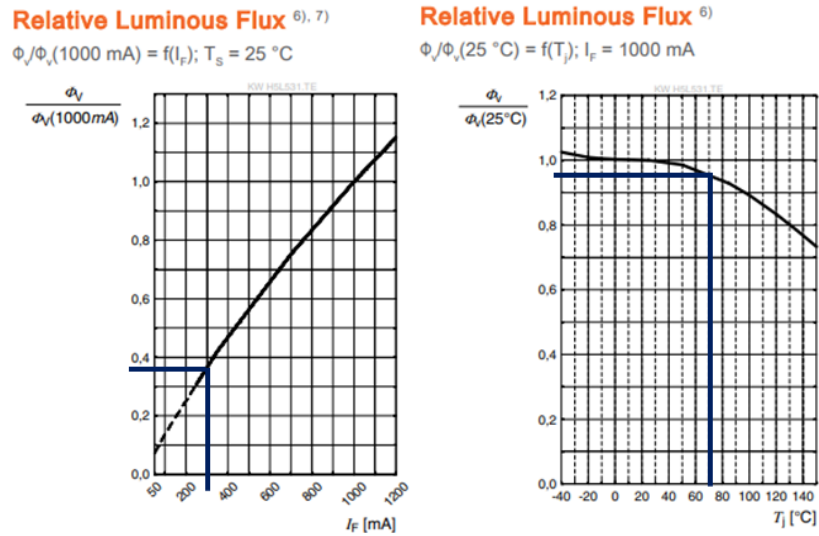
LED Grupları	Min. Lümen Çıkışı	Maks. Lümen Çıkışı	Lümen Yoğunluğu
	$I_F = 1000\text{mA}$	$I_F = 1000\text{mA}$	$I_F = 1000\text{mA}$
7R	1400	1590	493 cd
7RF	1490	1690	525 cd
8R	1590	1800	559 cd
8RF	1690	1900	592 cd
5S	1800	2010	629 cd
5SF	1900	2120	663 cd
6S	2010	2240	701 cd

Çizelge 3.4’de tez boyunca kullanılan LED için ışık çıktı miktarlarını gösteren gruplar verilmiştir. Beş hücreli oslon black flat LED 7 ayrı grupta 1000 mA ile sürüldüğünde 1400 lm ile 2240 lm arasında ışık vermektedir. Tez süresince kullanılan LED 8R grubunda olduğu tedarikçi firma aracılığıyla bildirilmiş ve hesaplamalar bu gruba göre yapılmıştır.



Şekil 3.37. Teorik lümen hesabı için akış şeması

Şekil 3.38'de teorik olarak ışık çıktı miktarının belirlenmesi için akış şeması verilmiştir. Analizler sonucu elde edilen sıcaklık değerine göre teorik olarak LED'in verdiği ışık miktarı üretici firmanın verdiği datasheet bilgileri ile hesaplanması mümkündür. Tez süresince kullanılan beş hücreli oslon black flat LED 8R flux bin grubunda 300 mA ile sürülmüştür. En düşük debide 71°C bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı hesaplandığı göz önüne alınmıştır. Bu bilgiler ışığında aşağıda gösterilen grafikler aracılığı ile teorik lümen hesabı yapılmıştır.



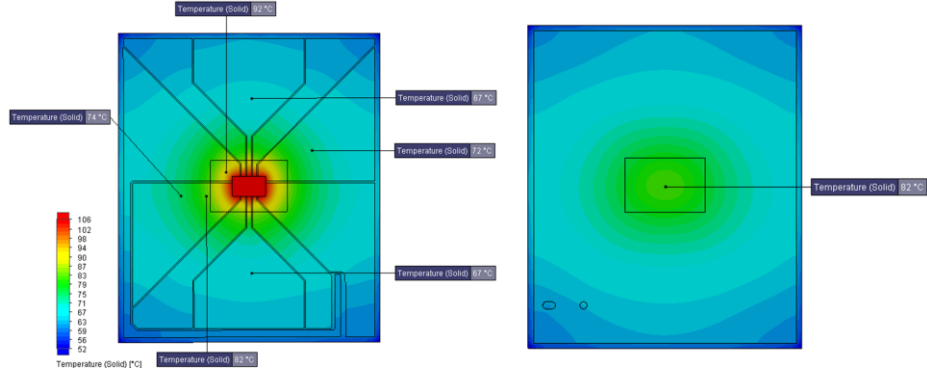
Şekil 3.38. LED çıktısının hesaplanması için gerekli çizelgeler (Anonim 2020)

Işık çıktısı için ilk çizelge 1000 mA akımda sürüldüğünde buna bağlı diğer akım değerlerinde nominal ışık miktarının hesaplanması için gerekli katsayıyı veren tablodur. 300 mA için bu katsayı yaklaşık 0,375 olarak belirlenmiştir. 1000mA'de 8R grupta LED minimum 1590 lm ışık verdiği üretici firma tarafından bildirilmiştir. O halde 300 mA için nominal ışık miktarı $1590 \cdot 0,375 = 596 \text{ lm}$ hesaplanmıştır. LED'ler ısındıkça ortama verdikleri ışık miktarları düşmektedir. Bundan dolayı iyi soğutuldukları sürece ortama daha fazla ışık vermeleri beklenmektedir. İkinci çizelge ile 25°C bağlantı noktası sıcaklığına bağlı olarak diğer bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklıkları için ışık düşüş miktarları verilmiştir. En düşük debi ile bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı 71°C hesaplanmıştır. Bu değer çizelge üzerinden verilen eğri ile kesleştirildiğinde yaklaşık 0,95 (95%) ışık düşüşünün olacağı hesaplanmıştır. Nominal olarak 300 mA'de 25°C bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığında 596 lm ışık çıktığını önceden hesaplanmıştır. 71°C bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı için nihai ışık çıktısı yaklaşık olarak

$596 \cdot 0,95 = 566 \text{ lm}$ ışık çıkışı olacağı bulunmuştur. Bu değerler el ile kabaca kesiştirme yöntemiyle elde edilmiştir. Daha detaylı ve kesin hesap için tüm eğriler matematiksel denklemler ile ifade edilerek hassas çözümler elde edilebilir. Tez süresince yapılan ışık çıktısı hesaplamaları hassas yöntemlerle belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

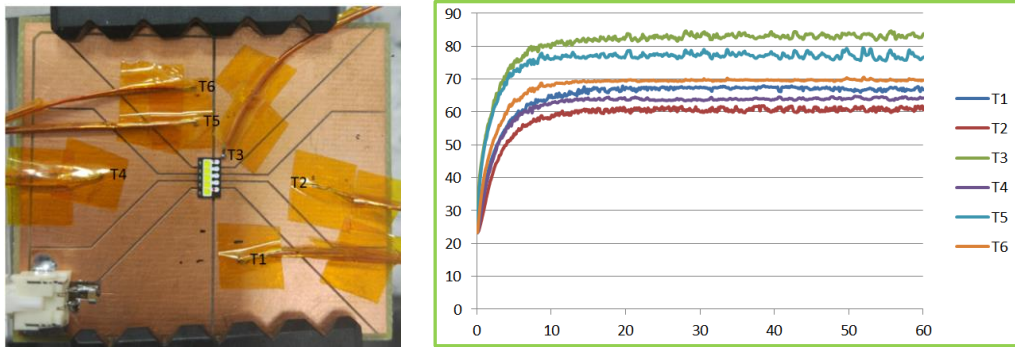
4.1. LED Baskı Devre Kartının Soğutmasız Ortamda Doğrulanması



Şekil 4.1. Alt ve üst yüzey için analiz sonuçları

Şekil 4.1’de 23°C ortam sıcaklığında yapılmış baskı devre kartının üst ve alt yüzey analiz sonucu verilmiştir. Nümerik çalışma sonucunda LED üzerinde 106 °C, kart alt yüzeyinde maksimum 82 °C hesaplanmıştır. Önceden belirlenmiş altı ısı-çift noktasında hesaplanan sıcaklık değerleri verilmiştir. Sırasıyla T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆ noktalarında elde edilen sıcaklıklar 73°C, 67°C, 92°C, 67°C, 82°C, 74°C derecedir.

Tasarlanan LED baskı devre kartı imal edilerek 23°C ortam sıcaklığında laboratuvar koşullarında test edilmiştir. LED baskı devre kartı elektronik kontrol ünitesi aracılığıyla 13,5V, 300mA sürülmüştür. Baskı devre kartı üzerine önceden belirlenen noktalara ısı-çiftler yerleştirilerek bir saat sürede iki saniyede bir ölçüm alınmıştır.



Şekil 4.2. Isıl-çift pozisyonları ve deney sonuçları

Şekil 4.2’de ısı-çift pozisyonları ve bir saatlik deney sonucu verilmiştir. Analizlerde olduğu gibi LED’e en yakın konumda olan T₃ ısı-çifti ile en yüksek sıcaklık değeri ölçülmüştür. T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆ ısı-çiftleri ile sırasıyla maksimum 68°C, 62°C, 85°C,

65°C, 80°C, 71°C sıcaklıkları elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde analizlerdeki gibi LED' yakın bölgelerde kısa mesafe değişimlerinde sıcaklık değişimleri hızlı olmaktadır.

Çizelge 4.1. Simülasyon ve analiz sonuçları

	Simülasyon (°C)	Test (°C)	Hata
T1	72	68	5%
T2	67	62	7%
T3	92	85	8%
T4	67	65	3%
T5	82	80	3%
T6	74	71	4%

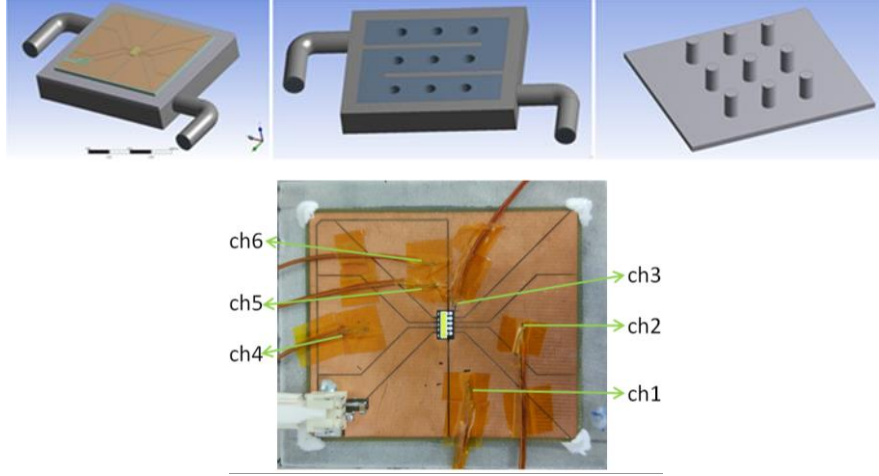
Çizelge 4.1'de simülasyon ve analiz sonuçları verilmiştir. Her iki durumda karşılaştırıldığında en yüksek sıcaklık T3 noktasıdır bunu T5 noktası takip etmektedir. En yüksek hata noktası T3 ısı-çift noktası olduğu gözlemlenmiştir. LED etrafında sıcaklık değişimi çok hızlı değiştiği için ısı-çift noktasının hassasiyetinin önemli olduğu görülmüştür. En düşük hata oranları T4 ve T5 noktaları olmuştur. Ölçüm ve analiz sonuçları arasında 2°C sıcaklık farkı vardır. Ayrıca kart üzerinde sıcaklık dağılımı incelendiğinde LED yongasının bakır yüzeylere değme oranlarına göre dağılımın etkilendiği görülmüştür. Orta kısımdaki veri yollarının dar başlaması sıcaklık dağılımını negatif olarak etkilemiştir.

Çalışma sonucunda üzerinde LED yongası bulunduran baskı devre kartının detaylı analizi ve testi başarıyla sonuçlandırılmıştır. Test ve deneysel olarak sonuçlar arasında hata oranları %10 altında bulunarak ileride devam edecek olan çalışmalar için validasyon işlemi sağlanmıştır. LED yongası üzerinden sıcaklık ölçümünün çok zor olduğu göze alındığında simülasyon aracılığıyla bağlantı noktası sıcaklığı 108,4°C hesaplanmıştır. LED yongasının baskı devre kartı üzerinde bağlantı noktası sıcaklığının altında çalışmakta olduğu tespit edilmiştir

4.2. LED Baskı Devre Kartının Soğutmalı Durumda Doğrulması

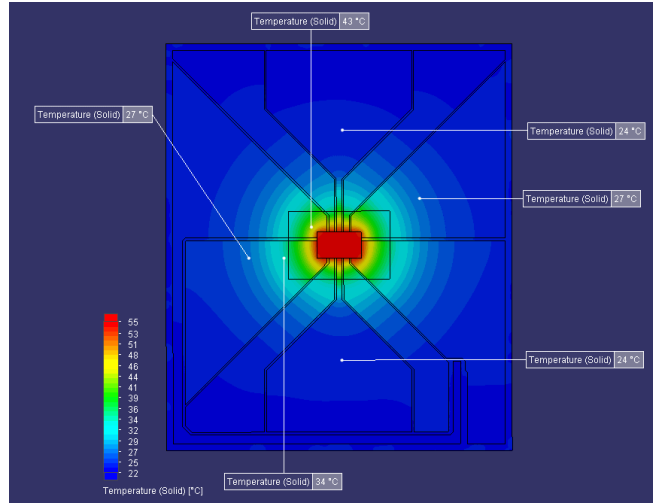
Tasarımlara geçilmeden önce mevcut prototip ve yeni LED kartıyla doğrulaması yapılmıştır. Bunun için alüminyum blok ve kanatçıklı kapak ile FR4 malzemeli baskı

devre kartı termal macun ile birleştirilerek 1,5 kg/s debide 23°C su ve ortam sıcaklığında testi yapılmıştır. CAD model ile termal analizleri yapılarak doğrulaması yapılmıştır.

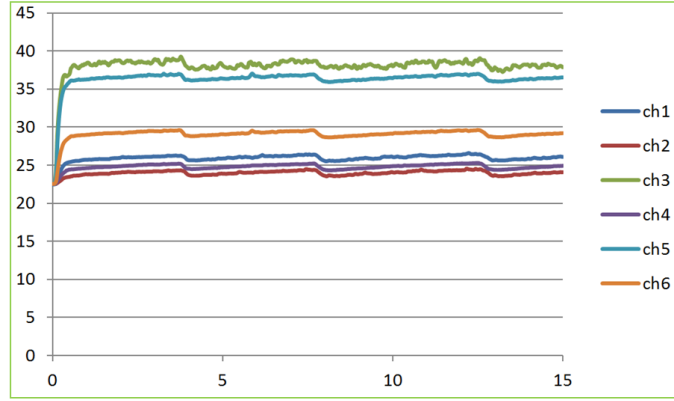


Şekil 4.3. Blok doğrulama için üç boyutlu model ve ısı-çift pozisyonları

Şekil 4.3’de sıvı soğutma analizleri için yeni LED kartıyla birleştirilmiş CAD modeli ve ısı-çift pozisyonları verilmiştir. Baskı devre kartı ile blok arasında 100µm kalınlığında termal macun tanımlanmıştır. Önceden belirlenmiş kart üzerindeki altı noktadan ısı-çift ile sıcaklık değerleri alınarak karşılaştırılmıştır.



a)



b)

Şekil 4.4. a) Simülasyon sonuçları b) Test sonuçları

Şekil 4.4’de Termal analiz ve test sonuçları verilmiştir. Termal analiz sonuçlarına göre sırasıyla ch1, ch2, ch3, ch4, ch5, ch6 noktalarında elde edilen sıcaklıklar 27°C, 24°C, 43°C, 24°C, 34°C, 27°C derecedir.

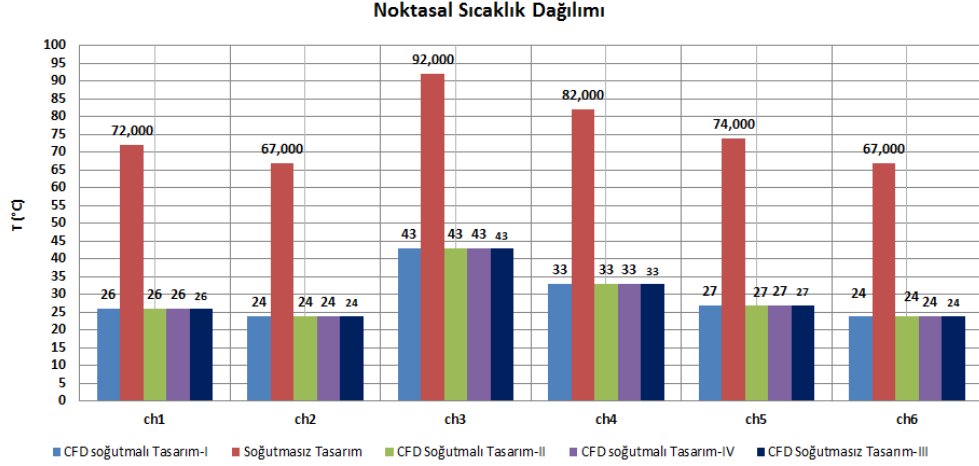
Çizelge 4.2. Test ve simülasyon değerleri

	Simülasyon (°C)	Test (°C)
Ch – 1	27	27
Ch – 2	24	25
Ch – 3	43	39
Ch – 4	24	25
Ch – 5	34	37
Ch – 6	27	30

Çizelge 4.2’de simülasyon ve test sonuçları bir arada verilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında birbirine çok yakın çıkmıştır. Simülasyon ve test arasındaki maksimum fark 4°C ile ch3 noktasındadır. LED etrafında sıcaklık gradyanlarının hızlı değişmesinden dolayı farkın çok olması normal görülmüştür.

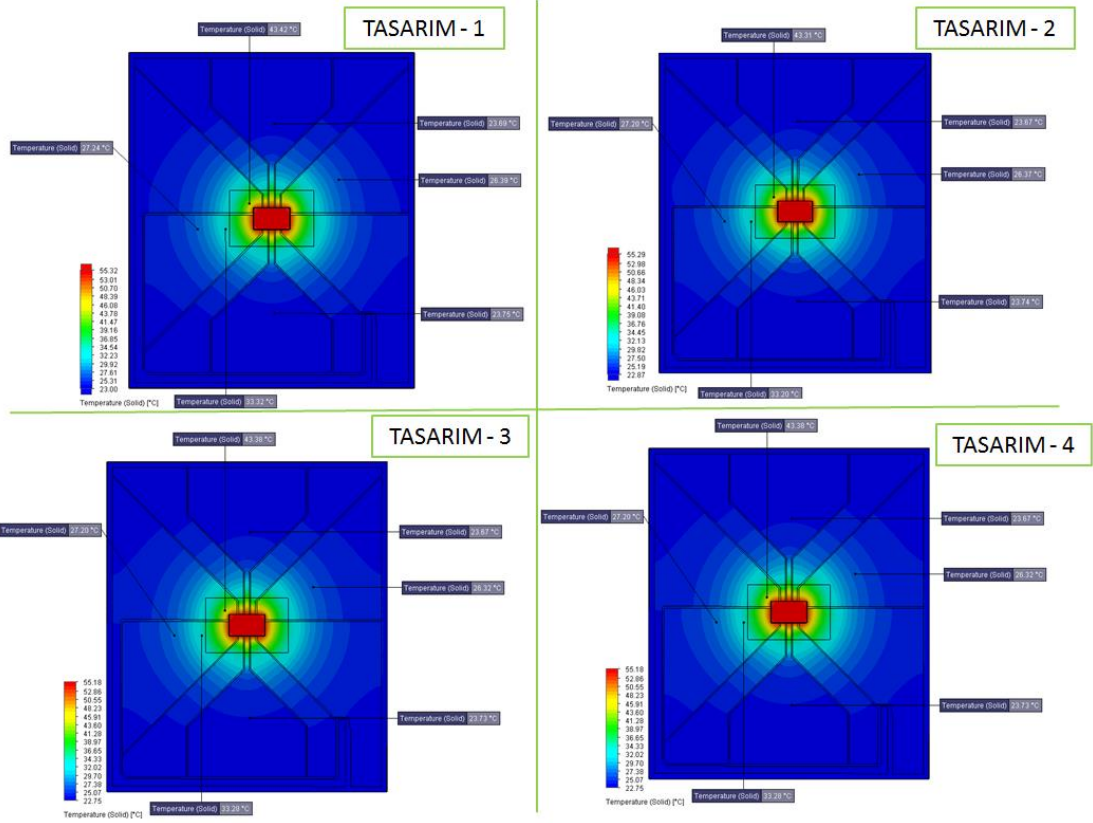
4.3. Ön Tasarım Blok Sonuçlarının İncelenmesi

4.3.1. Birinci aşama blok tasarım çalışması



Şekil 4.5. Birinci aşama soğutma blokları için analiz sonuçları

Şekil 4.5’de önceden verilen ölçüm noktaları için hesaplanan sıcaklık değerleri verilmiştir. Yapılan tüm tasarımlar için 13,5V 300mA güç değerinde analizler yapılmıştır. Tüm analizlerde soğutucu akışkan debisi 1,5 kg/s kabul edilmiştir. Grafikler incelendiğinde bloklu soğutma, kart üzerinde soğutmasız sisteme göre ciddi sıcaklık düşüşlerine neden olmuştur. Soğutmalı tasarımlar kendi arasında incelendiğinde soğutma performanslarının bir birine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.



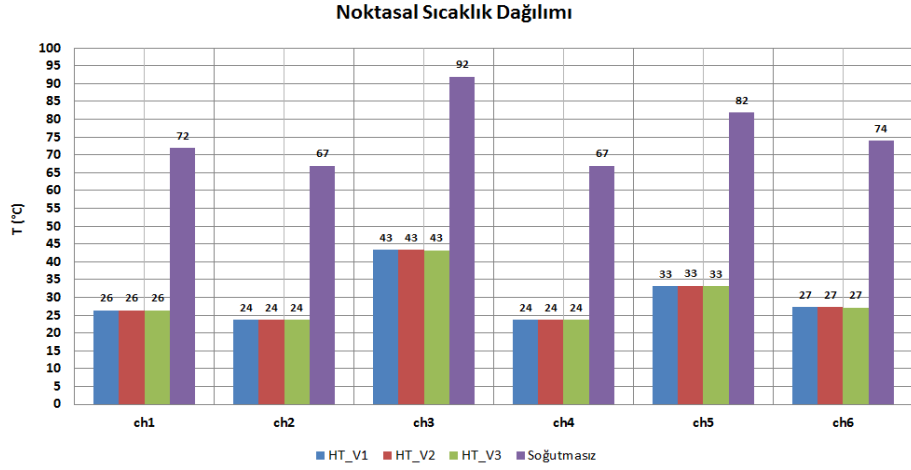
Şekil 4.6. Birinci aşama blok tasarımları için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.6’da tasarlanan bloklar üzerinde baskı devre kartındaki sıcaklık dağılımları verilmiştir. Önceden belirlenen ölçüm noktaları karşılaştırıldığında hesaplanan sıcaklık değerleri bir birine yakın çıkmıştır. Tasarlanan blok kapakları üzerindeki kanatçık tasarımlarının iyileştirilmesi gerekliliği görülmüştür. Analizler sonucunda sırasıyla Tasarım I, Tasarım II, Tasarım III, Tasarım IV, için maksimum 55,32°C, 55,29 °C, 55,18°C, 55,18°C hesaplanmıştır.

4.3.2. İkinci aşama blok tasarım çalışması

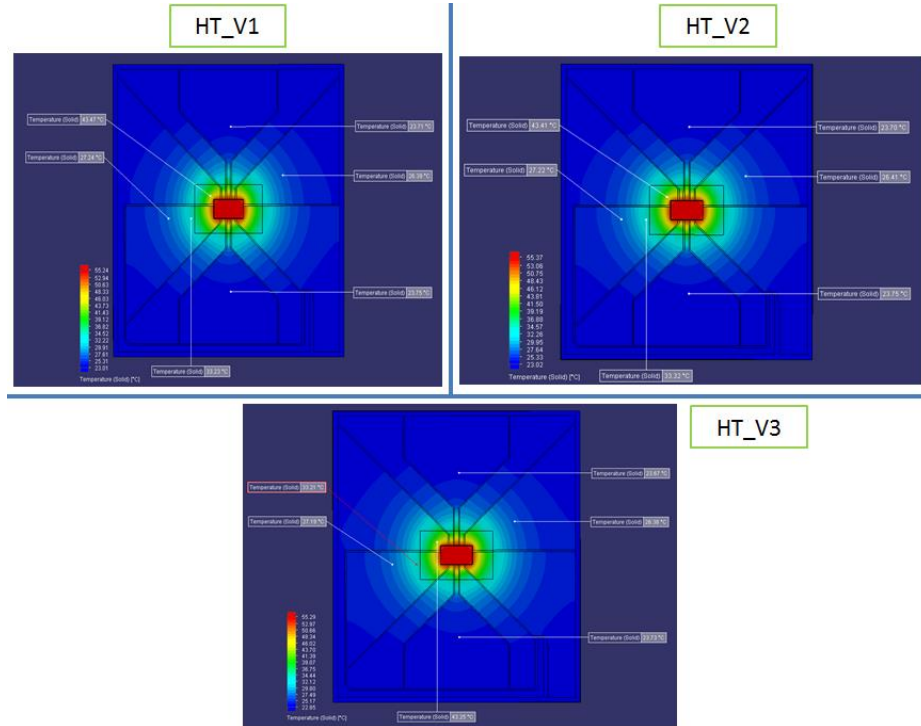
a) 4mm Kanatçıklı Analiz Sonuçları

Analizlerde ilk önce hafiflik kriteri dikkate alınarak 4mm kanatçıklı yapı ile başlanmıştır. 4mm kanatçıklı iki, üç ve dört perdeli model için sırasıyla 42, 28 ve 39 adet silindirik kanat yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu kanatçıklar ile kanal içerisinde ısı transferinin artırılması hedeflenmiştir. Üç farklı analiz yapılarak soğutmasız sistem ile karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.7. 4mm kanatçıklı kapak için sonuçlar

Şekil 4.7’de önceden verilen ölçüm noktaları için 4mm kanatçıklı soğutmalı ve soğutmasız durum için hesaplanan sıcaklık değerleri verilmiştir. Yapılan tüm tasarımlar için 13,5V 300mA güç değerinde analizler yapılmıştır. Tüm analizlerde soğutucu akışkan debisi 1,5 kg/s kabul edilmiştir. Grafikler incelendiğinde bloklı soğutma, kart üzerinde soğutmasız sisteme göre ciddi sıcaklık düşüşlerine neden olmuştur. Soğutmalı tasarımlar kendi arasında incelendiğinde önceki tasarımlarda olduğu gibi soğutma performanslarının bir birine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

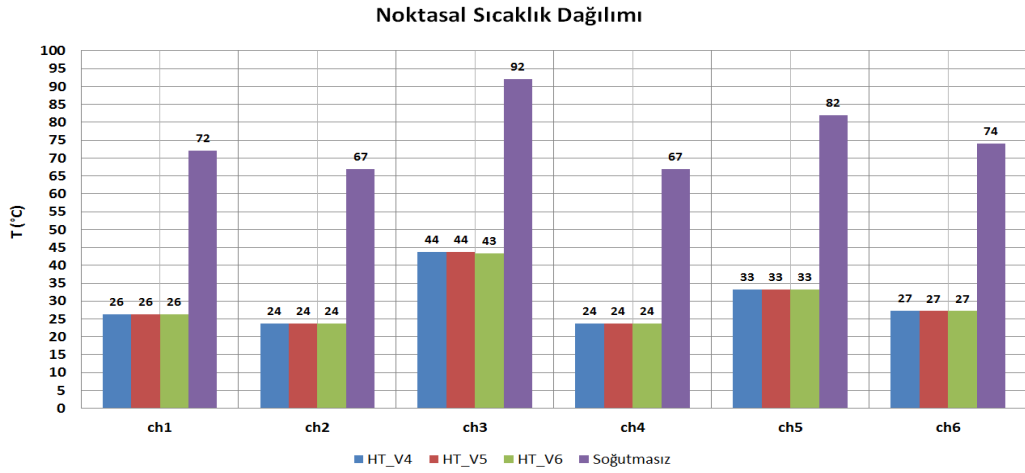


Şekil 4.8. 4mm kanatçıklı kapak için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.8’de tasarlanan bloklar üzerinde baskı devre kartında ki sıcaklık dağılımları verilmiştir. Önceden belirlenen ölçüm noktaları karşılaştırıldığında hesaplanan sıcaklık değerleri bir birine yakın çıkmıştır. Sırasıyla HT_V1, HT_V2 ve HT_V3, için maksimum 55,24°C, 55,37°C, 55,29°C hesaplanmıştır.

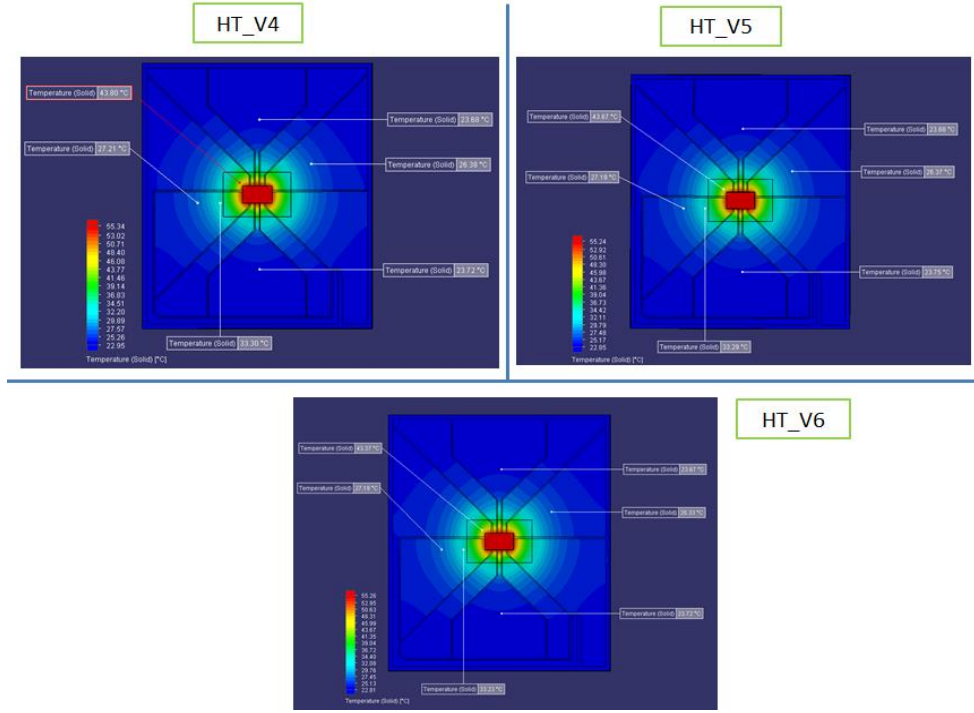
b) 5mm Kanatçıklı Analiz Sonuçları

4mm analizlerinin tamamlanmasından sonra kanatçık çapının kanal genişliğide dikkate alınarak 5mm çıkarılmıştır. Bu çalışma ile sıvı soğutmalı sistemde kanatçık çapının ısı transferine etkisi incelenmek istenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar soğutmasız sistem ile karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.9. 5mm kanatçıklı kapak için sonuçlar

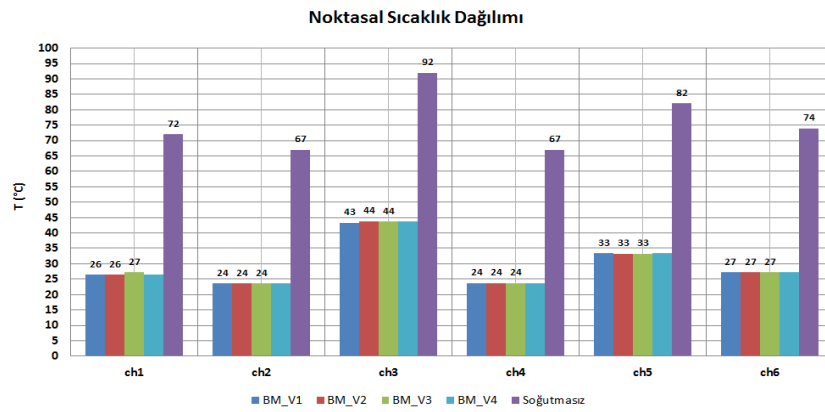
Şekil 4.9’da önceden verilen ölçüm noktaları için 5mm kanatçıklı soğutmalı ve soğutmasız durum için hesaplanan sıcaklık değerleri verilmiştir. Yapılan tüm tasarımlar için 13,5V 300mA güç değerinde analizler yapılmıştır. Tüm analizlerde soğutucu akışkan debisi 1,5 kg/s kabul edilmiştir. Soğutmalı tasarımlar kendi arasında incelendiğinde önceki tasarımlarda olduğu gibi soğutma performanslarının bir birine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. 4mm ve 5mm kanatçıklı kapak yapılarının kart üzerinde oluşan sıcaklık değerine kayda değer değişiklikler yapmadığı görülmüştür.



Şekil 4.10. 5mm kanatçıklı kapak için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.10'da tasarlanan bloklar üzerinde baskı devre kartında ki sıcaklık dağılımları verilmiştir. Önceden belirlenen ölçüm noktaları karşılaştırıldığında hesaplanan sıcaklık değerleri bir birine yakın çıkmıştır. Sırasıyla HT_V4, HT_V5 ve HT_V6, için maksimum 55,34°C, 55,24°C, 55,26°C hesaplanmıştır.

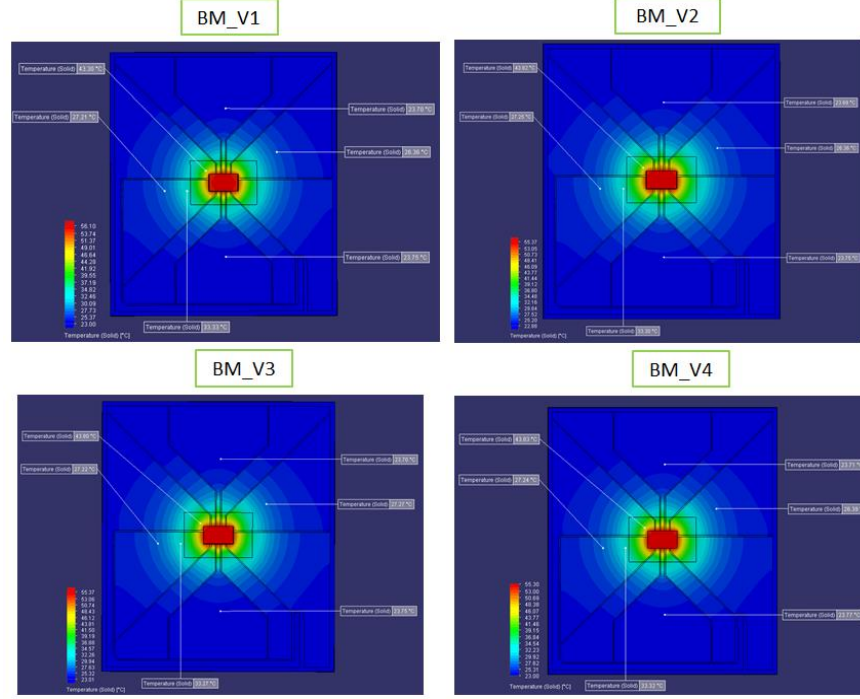
4.3.3. Üçüncü aşama blok tasarım çalışması



Şekil 4.11. Üçüncü aşama blok tasarımı için sonuçlar

Şekil 4.11'de önceden verilen ölçüm noktaları için hesaplanan sıcaklık değerleri verilmiştir. Yapılan tüm tasarımlar için 13,5V 300mA güç değerinde analizler yapılmıştır. Tüm analizlerde soğutucu akışkan debisi 1,5 kg/dk kabul edilmiştir. Soğutmalı tasarımlar

kendi arasında incelendiğinde soğutma performanslarının bir birine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Sirküle edilen debi değerinde yönlendirici eklenmesinin sıcaklık üzerine etkisinin büyük olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.12. Üçüncü aşama blok tasarımı için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.12’de tasarlanan bloklar üzerindeki baskı devre kartındaki sıcaklık dağılımları verilmiştir. Önceden belirlenen ölçüm noktaları üzerinde sırasıyla BM_V1, BM_V2, BM_V3 ve BM_V4, için maksimum 56,1°C, 55,37°C, 55,37°C, 55,3°C hesaplanmıştır.

4.4. Ön Tasarım Blok Çalışmalarının Sonuçlarının İredelenmesi ve Nihai Blok Tasarımı Seçimi

Ön tasarım çalışmalarında üç ana tip blok üzerinde çalışılmıştır. Analizler 0,025kg/s debi ile yapılmış ve baskı devre kartı üzerinden altı farklı noktadan ölçüm sonuçları alınmıştır. Tüm analizlerde LED 300mA akımda sürülmüş ve sonuçlar elde edilmiştir. Soğutmasız durum ile soğutmalı durumlar karşılaştırıldığında kart üzerinde yüksek sıcaklık düşüşleri olduğu tespit edilmiştir. LED’e yakın bölgelerde sıcaklık dağılımının hızlıca değiştiği tespit edilmiş ve LED’den uzaklaştıkça sıcaklık değişimlerinin yavaşladığı görülmüştür.

Analizler tek debi değerinde yapıldığı için kanatçıklı yapıdaki blokların sıcaklık üzerindeki değişkenliği tam anlamıyla görülmemiştir. Ayrıca analizler sonucunda yüksek

debide çalışıldığı görülmüş ve nihai blok çalışmalarında debi değerlerinin düşürülerek sıcaklıklar üzerindeki etkisinin incelenmesine karar verilmiştir. Ayrıca düşük debiler ile çalışmaya başlanıp optimum debi aralığı tespitinin yapılmasına karar verilmiştir.

Nihai blok tasarımı için iki hücreli blok tasarımı ile kart üzerinde iki bağımsız soğutma hücresi yaratılarak kart üzerinde homojen soğutma yapılması hedeflenmiştir. Ayrıca üretilebilirliğinin kolay olmasından dolayı birinci aşama bir numaralı blok tasarımı seçilerek üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Seçilen 9mm kalınlıkta bir numaralı tasarıma ek olarak 7mm blok kalınlığında tasarım yapılmış ve basınç düşüşü, kart üzerinde sıcaklık dağılımı incelenmiştir.

4.5. Tek Hücreli Blok Sonuçları

Tek hücreli blok çalışmaları iki farklı kalınlıkta ve iki farklı güç değerinde yürütülmüştür. 9mm ve 7mm kalınlığında 3W ve 7W güç değerinde beş farklı debide durumlar incelenerek LED baskı devre kartı üzerinde oluşan jonksiyon sıcaklıkları ve bunlara bağlı olarak ışık çıktıları incelenmiştir. Ayrıca blok kapakları üzerinde dokuz adet silindirik yapıda kanatçık eklenerek ısı transferinin artırılması hedeflenmiştir.

Çizelge 4.3. Tek hücreli blok için incelenen debi değerleri ve Reynolds sayıları

Durumlar	1	2	3	4	5
Debi (kg/s)	0,0005	0,001	0,0025	0,005	0,01
Re	50,04	99,26	246,90	492,89	985,14

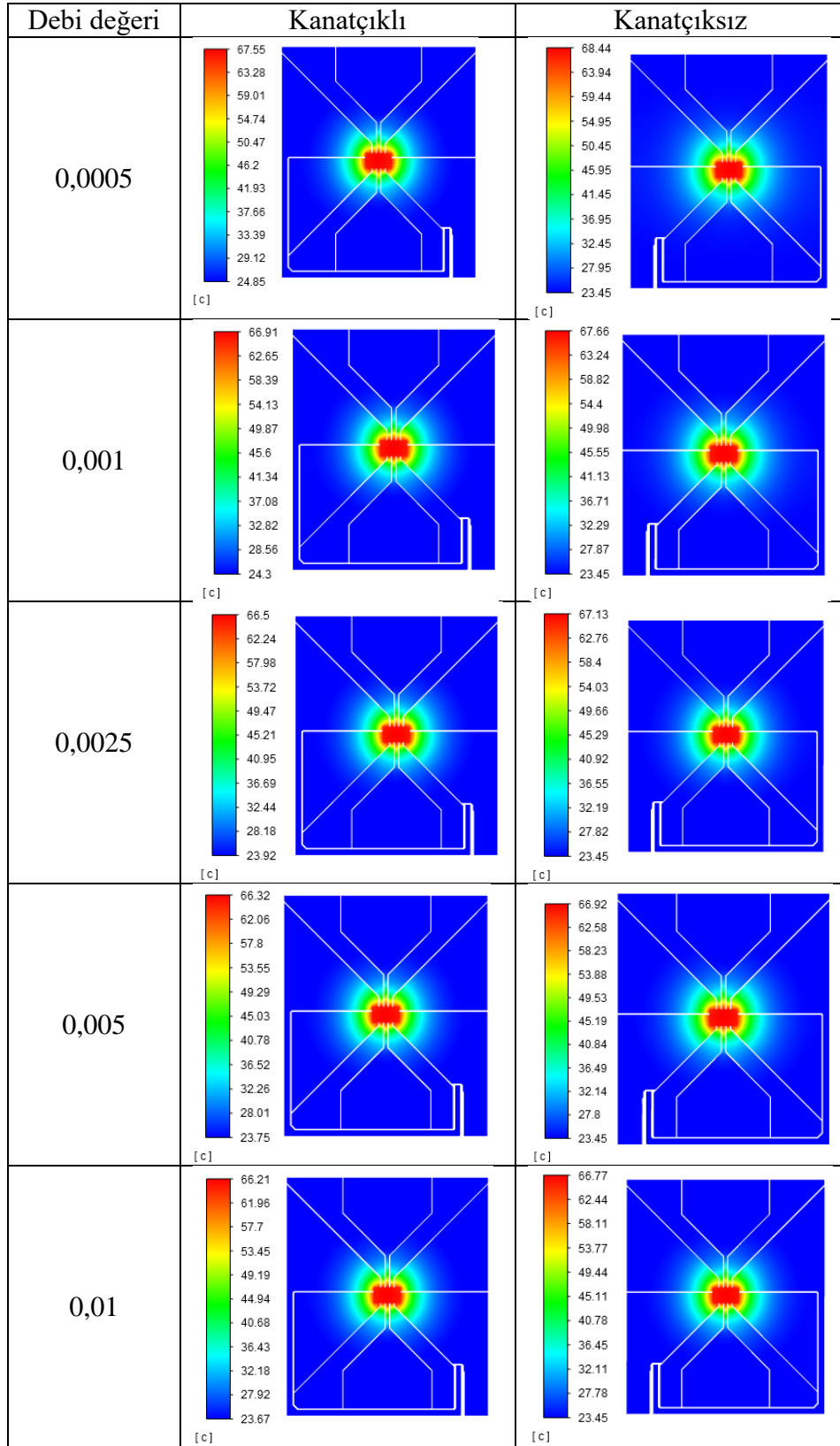
Çizelge 4.3'de tek hücreli çalışma süresince incelenen debi değerleri ve buna bağlı Reynolds sayıları verilmiştir. Blok içi akış, laminar gelişmekte olan akış olarak seçilmiş ve daha az pompa gücü kullanılması hedeflenmiştir. Ayrıca soğutmanın etkisinin tam olarak görülmesi hedeflenmiştir.

4.5.1. 9 mm tek hücreli blok sonuçları

9mm blok kalınlığında 3W ve 7W gücünde kanatçıklı ve kanatçiksız blok kapağı üzerinde analizler yapılmıştır. Laminar akış bölgesinde düşük debi değerlerinde soğutucu blok üzerindeki LED baskı devre kartının sıcaklık dağılımı, soğutucu akışkanın blok içerisindeki sıcaklık ve hız dağılımları verilmiştir.

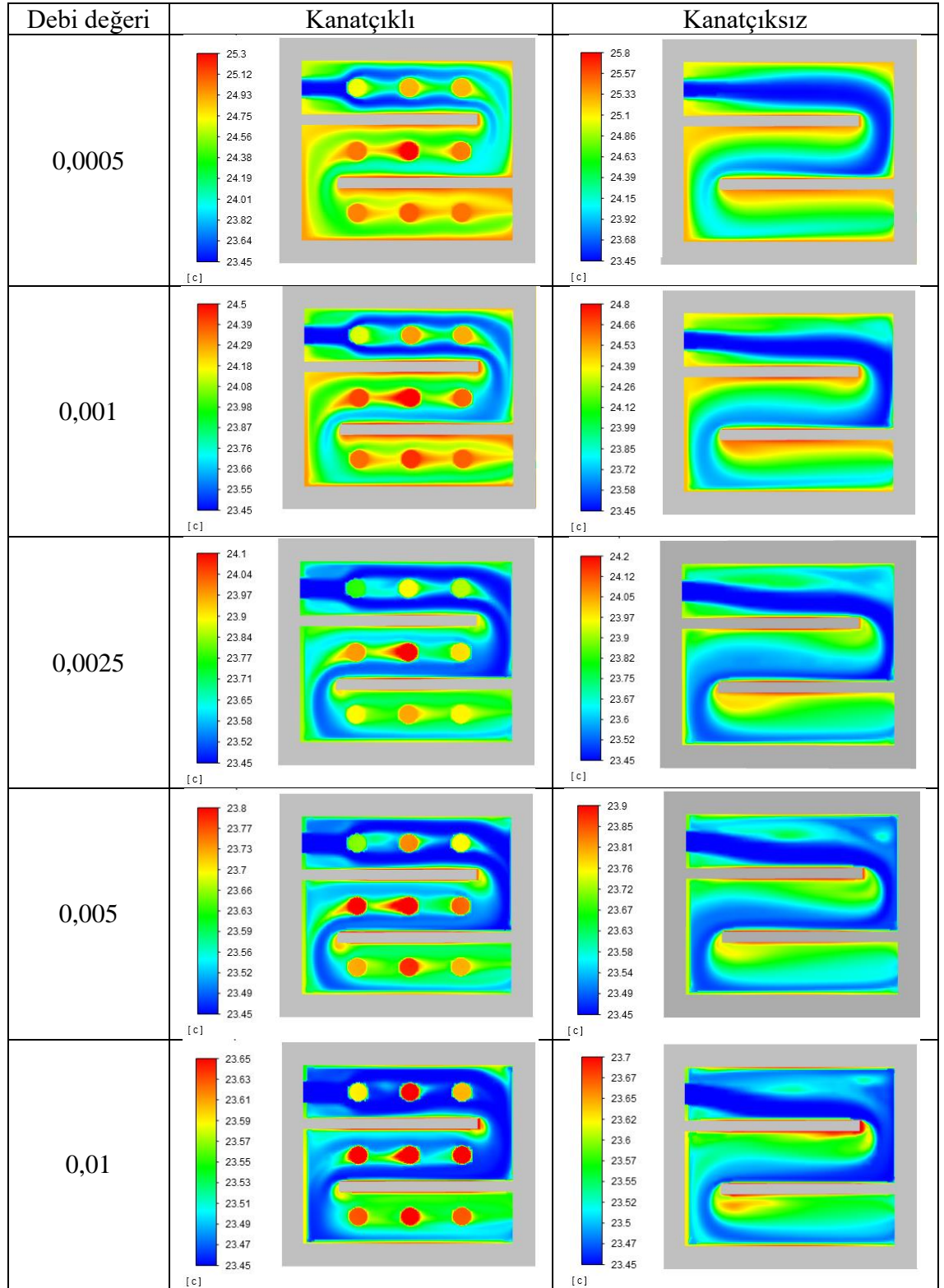
a) 3W sonuçları

Şekil 4.13. 9 mm 3W LED baskı devre kartı sıcaklık dağılımları



Şekil 4.13’de kanatçıklı ve kanatçıksız kapak üzerindeki LED baskı devre kartını tüm debi değerlerindeki sıcaklık dağılımları verilmiştir. Kanatçıksız durum ile kanatçıklı durumlar karşılaştırıldığında kanatçıksız soğutucu blok üzerindeki LED baskı devre kartının daha sıcak olduğu görülmüştür. En düşük debide sıcaklık farkı yaklaşık 1°C ’ iken en yüksek debide bu fark yaklaşık $0,5^{\circ}\text{C}$ ’ye düşmüştür. Kart üzerindeki sıcaklık dağılımları benzer çıkmıştır. Debi yükseldikçe her iki durumda da kart üzerindeki maksimum sıcaklık düşmüştür.

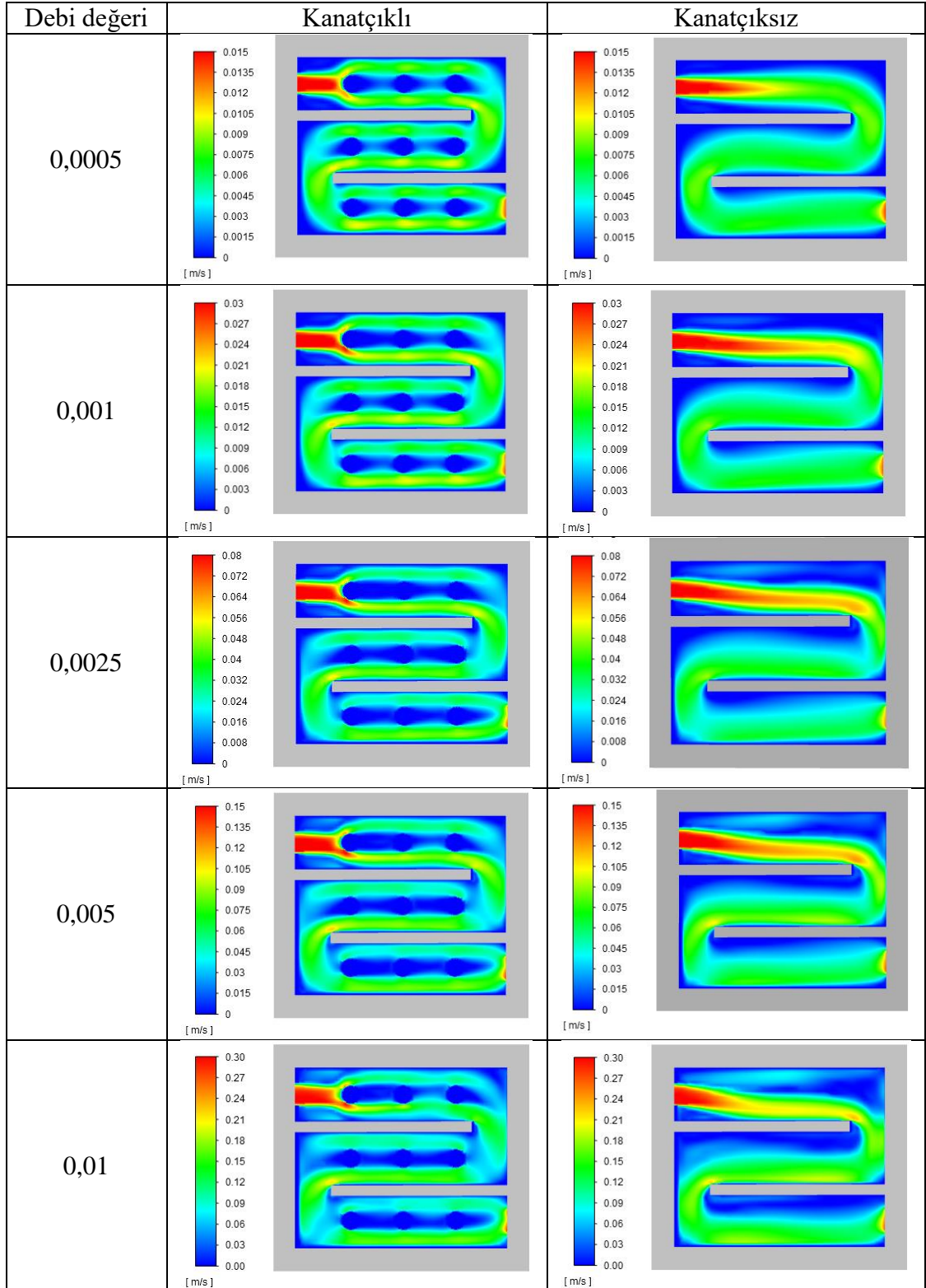
Şekil 4.14. 9 mm 3W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları



Şekil 4.14’de 9mm 3W güç değerinde kanatçıklı ve kanatçıksız durumda ki soğutucu blok içerisindeki sıvının sıcaklık dağılımı verilmiştir. Sıcaklık diyagramları blok içi orta

noktadaki düzlemden türetilmiştir. Debi miktarı arttıkça akışkan sıcaklığının düştüğü ve çıkış noktasına ilerledikçe akışkan sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir.

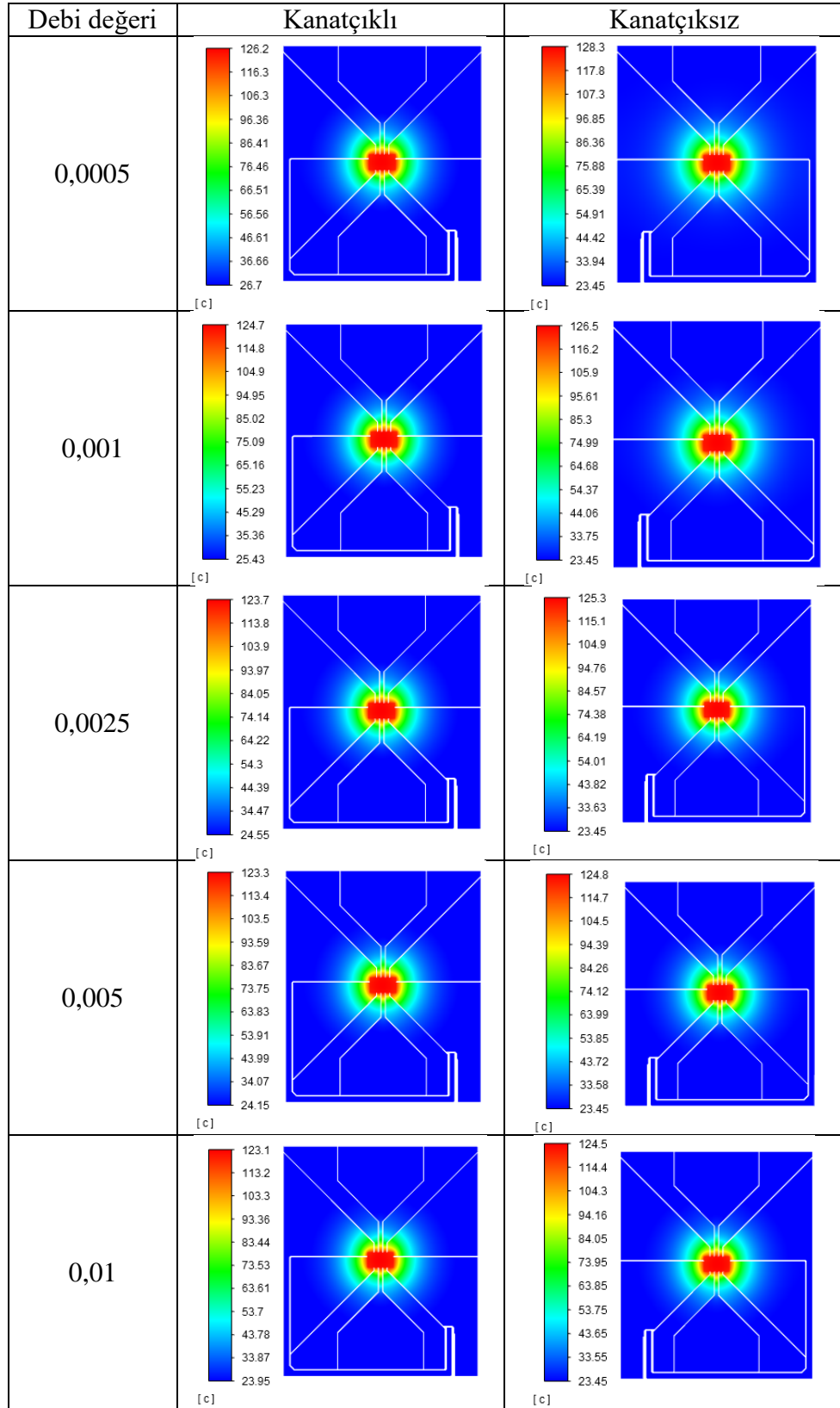
Şekil 4.15. 9 mm 3W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan hız dağılımları



Şekil 4.15’de 3W LED gücünde 9mm kalınlıklı blok için orta düzlem konumundaki hız dağılımları verilmiştir. Debi arttıkça soğutucu blok içerisindeki hızların arttığı gözlemlenmiştir. Debi miktarı arttıkça her iki model içinde ölü bölgelerin arttığı görülmüştür fakat kanatçıklı blok tasarımında kanal köşelerinde ölü noktalar kanatçıksız duruma göre daha az oluşmuştur. Silindirik kanatçık yapıları blok içi akışı iki ye ayırarak soğutucu sıvının yönlendirilmesine yardımcı olmuştur. Silindirik kanatçıkların arkasında kalan bölgelerde akışın sıfıra yakın olduğu tespit edilmiştir. Kanatçıksız blok içerisinde kanal içi dönüşlerdeki perde uçlarında hızlar kanatçıklı yapıya göre daha düşük hesaplanmıştır. Her iki model incelendiğinde akışın en kısa mesafeyi kat etme durumu gözlemlenmiştir. Bu durum debi arttıkça daha belirgin hale gelmiştir.

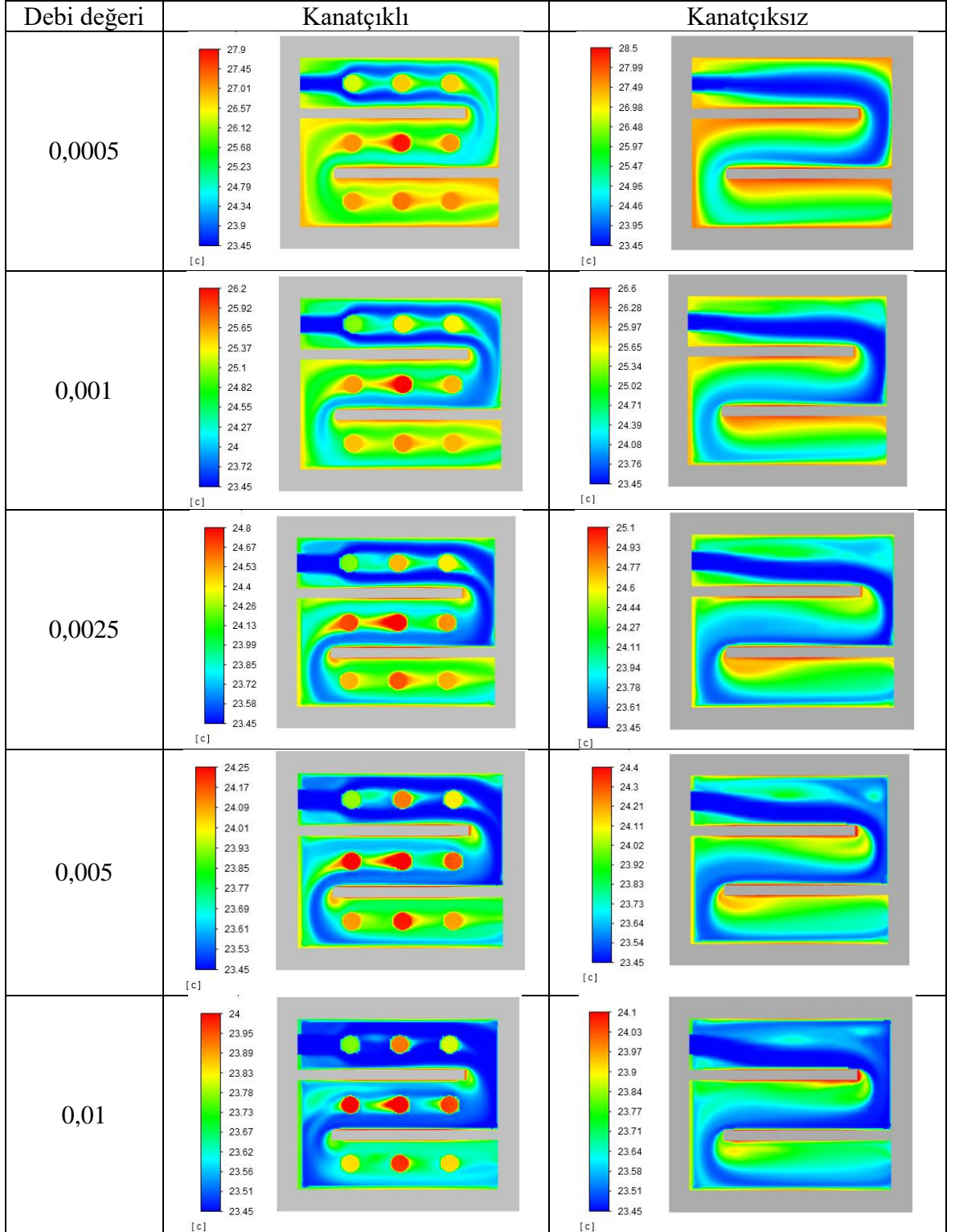
b) 7W sonuçları

Şekil 4.16. 9 mm 7W LED baskı devre kartı sıcaklık dağılımları



Şekil 4.16'da 7W güç değerinde 9mm blok kalınlığındaki soğutucu bloklar üzerindeki LED devre kartlarının sıcaklık dağılımları verilmiştir. 3W analizlerinde olduğu gibi 7W analizlerinde de debi miktarı arttıkça baskı baskı devre kartı üzerinde oluşan maksimum sıcaklık miktarı düşmüştür. En yüksek debi değerinde kart üzerindeki sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık 2°C fark olduğu görülmüştür. Debi miktarı arttırıldıkça bu fark 1°C'ye düşmüştür. En iyi soğutma durumunda kart üzerinde 123°C sıcaklık hesaplanmıştır ayrıca en kötü soğutma durumunda baskı baskı devre kartı üzerinde 128,3°C sıcaklık bulunmuştur. Yüksek güç değerlerinde soğutma performansı debinin değişmesiyle daha net ortaya çıkmıştır. Kanatçıklı durum kendi arasında karşılaştırıldığında en yüksek debi ve en düşük debi durumlarında sıcaklık farkı yaklaşık 3°C hesaplanmıştır. Kanatçıksız durum için bu farkın 4°C olduğu görülmüştür.

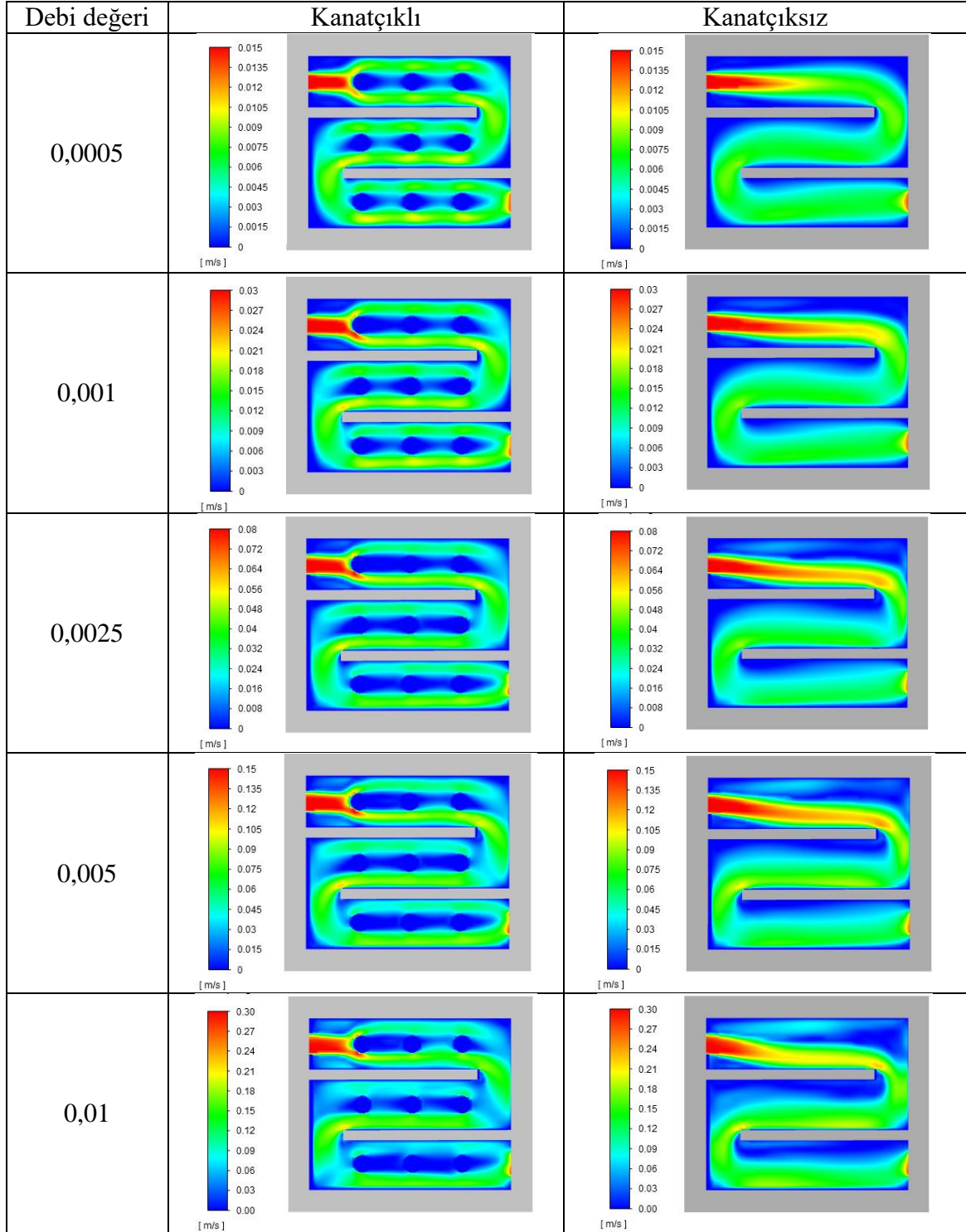
Şekil 4.17. 9 mm 7W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları



Şekil 4.17'de 7W güç değerinde 9 mm kalınlıkta orta düzlemsel konumda soğutucu akışkanın sıcaklık dağılımı verilmiştir. Güç değeri 3W'tan 7W'a arttırıldığında akışkanın

sıcaklığının arttığı görülmüştür. Ayrıca debi miktarı arttırıldıkça blok içerisindeki akışkanın üçüncü perdeye doğru ısındığı gözlemlenmiştir. Debi miktarı arttıkça giriş ve çıkış noktasındaki sıvı sıcaklık farkının azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.18. 9 mm 7W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan hız dağılımları



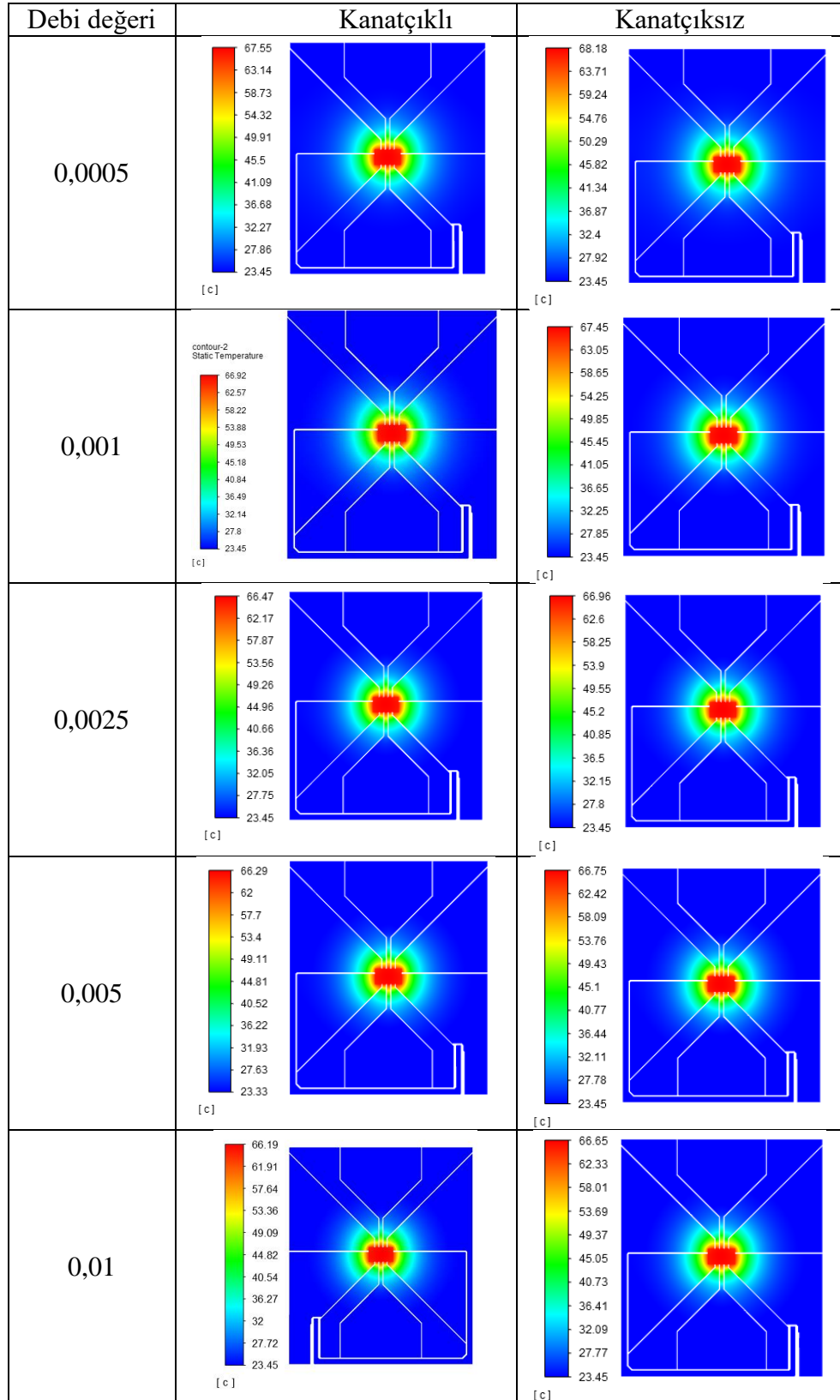
Şekil 4.18’de 7W güç değerinde 9mm blok kalınlığında orta düzlem konumundaki akışkanın hız diyagramları verilmiştir. Hız dağılımları incelendiğinde 3W sonuçlarıyla benzer çıkmaktadır. Debi miktarı arttıkça blok içi akışkan hızı artmıştır ve silindirik kanatçıklar akışkanı yönlendirme görevi göstermiştir. Kantçıksız blok içerisinde debinin artmasıyla perde uç dönüş noktalarında ölü bölgelerin arttığı görülmüştür.

4.5.2. 7 mm tek hücreli blok sonuçları

7mm blok kalınlığında 3W ve 7W gücünde kanatçıklı ve kanatçıksız blok kapağı üzerinde analizler yapılmıştır. Blok kalınlığı düşürülerek laminar akış bölgesinde düşük debi güçlerinde soğutucu blok üzerindeki LED baskı devre kartının sıcaklık dağılımı, soğutucu akışkanın blok içerisindeki sıcaklık ve hız dağılımları verilerek blok kalınlığının etkisi incelenmek istenmiştir.

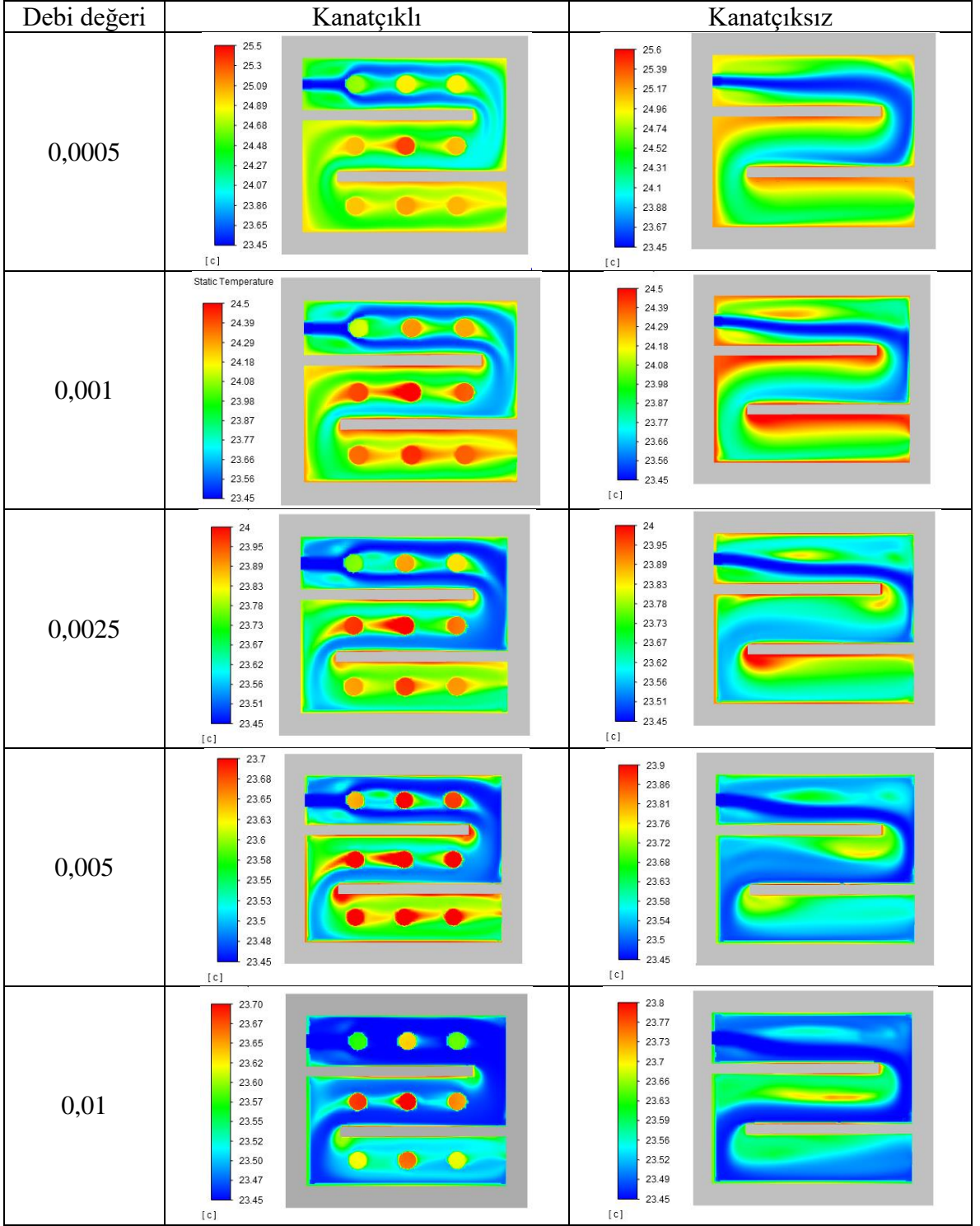
a) 3W sonuçları

Şekil 4.19. 7 mm 3W LED baskı devre kartı sıcaklık dağılımları



Şekil 4.19’da 7mm kalınlıkta 3W gücündeki LED baskı devre kartının sıcaklık dağılımları verilmiştir. Sıcaklık dağılımları 9mm kalınlıklı soğutucu blok ile benzer davranışlar sergilemiştir. Kanatçiksız durumda ki LED devre kartları kanatçıklı durum ile karşılaştırıldığında daha sıcak olduğu görülmüştür. En düşük debide, sıcaklık farkı 9mm sonuçlarında olduğu gibi yaklaşık 1°C hesaplanmıştır. Ayrıca en yüksek debide sıcaklık farkı yaklaşık 0,5°C olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 9mm sonuçlarında olduğu gibi debi yükseldikçe her iki durumda da kart üzerindeki maksimum sıcaklık düşmüştür.

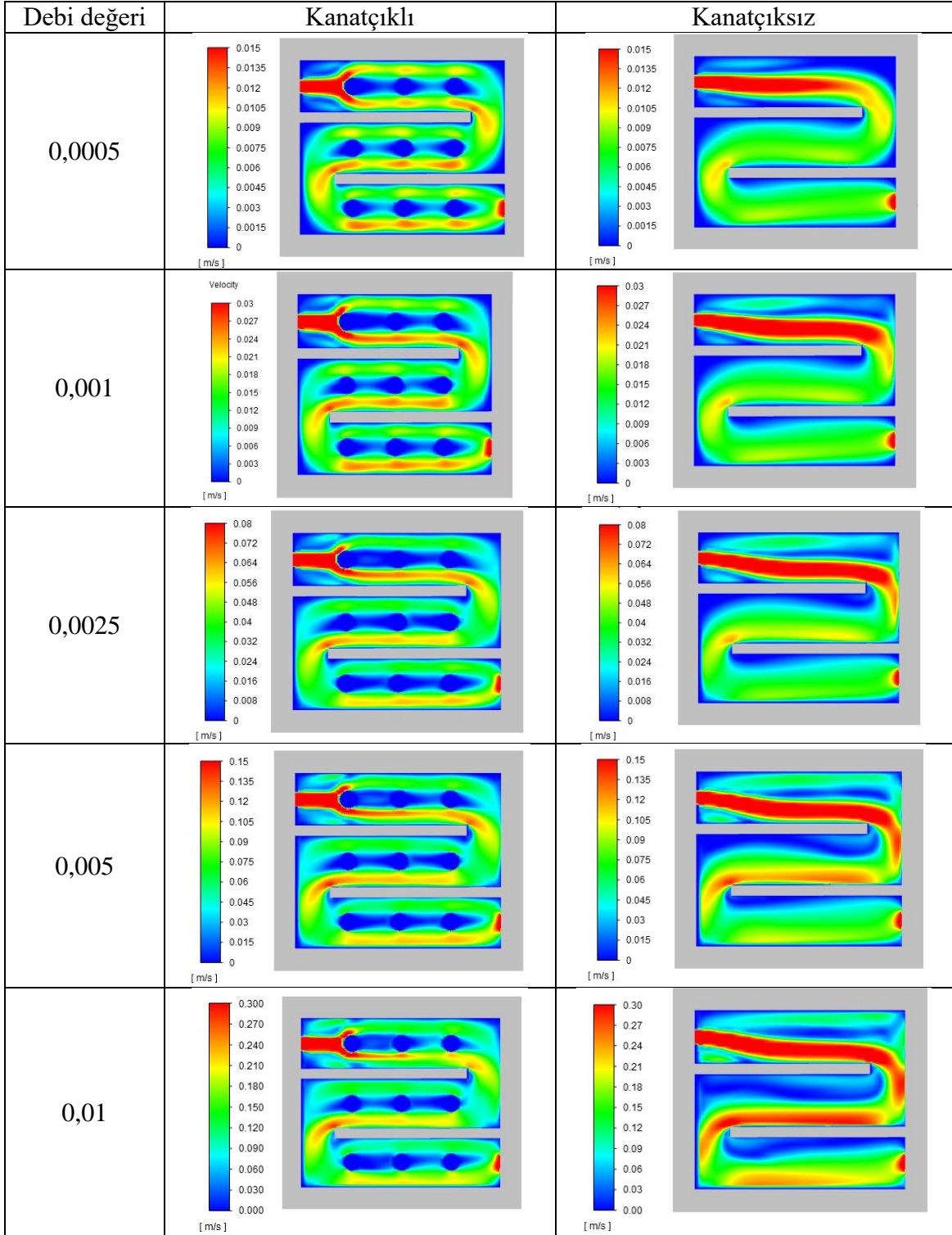
Şekil 4.20. 7 mm 3W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları



Şekil 4.20’de 7mm blok kalınlığında 3W LED gücündeki soğutucu blokların orta düzlemlerinden elde edilmiş soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları verilmiştir. Debi miktarı arttıkça soğutucu akışkanın sıcaklığının düştüğü gözlemlenmiştir. Blok içinde

dolaşan sıvının en az ısındığı durum kanatçıklı blok en yüksek debi olan 0,01Kg/s de meydana gelmiştir. 7mm 3W analizleri incelendiğinde 9mm 3W sonuçlarıyla benzer davranışlar sergilemiştir.

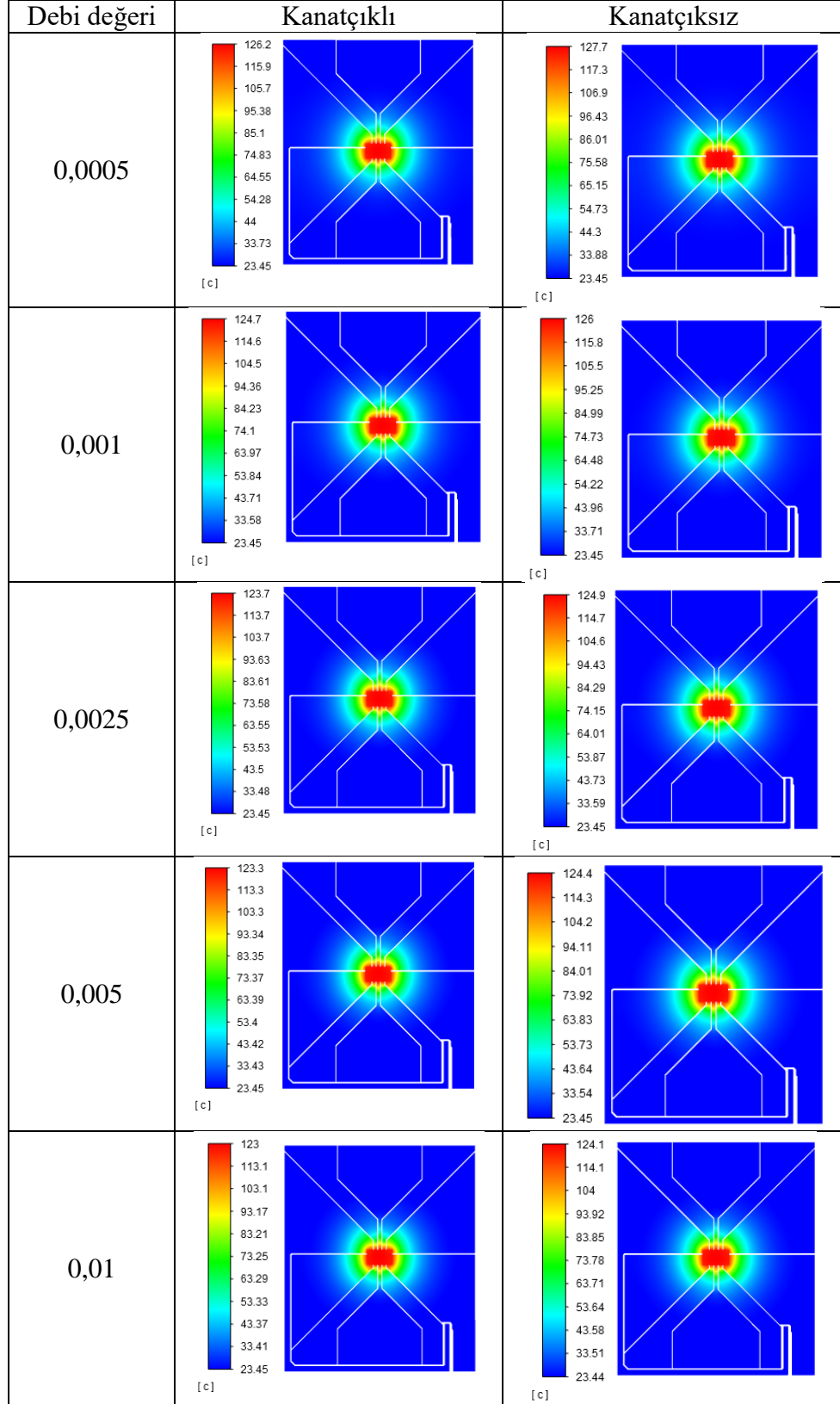
Şekil 4.21. 7 mm 3W LED baskı devre kartı soğutucu sıvı hız dağılımları



Şekil 4.21’de 3W LED gücünde 7mm kalınlıklı blok için orta düzlem konumundaki hız dağılımları verilmiştir. Diğer blok analizlerinde olduğu gibi debi arttıkça soğutucu blok içindeki hızların arttığı gözlemlenmiştir. Kanatçiksız blok analizlerinde debi arttıkça akış perde duvarına doğru yönlenerak kanal üst kısımlarında ölü bölgeler oluşturma eğiliminde olduğu görülmüştür. Ayrıca debi miktarı arttıkça perde dönüş köşelerinde hızın arttığı tespit edilmiştir.

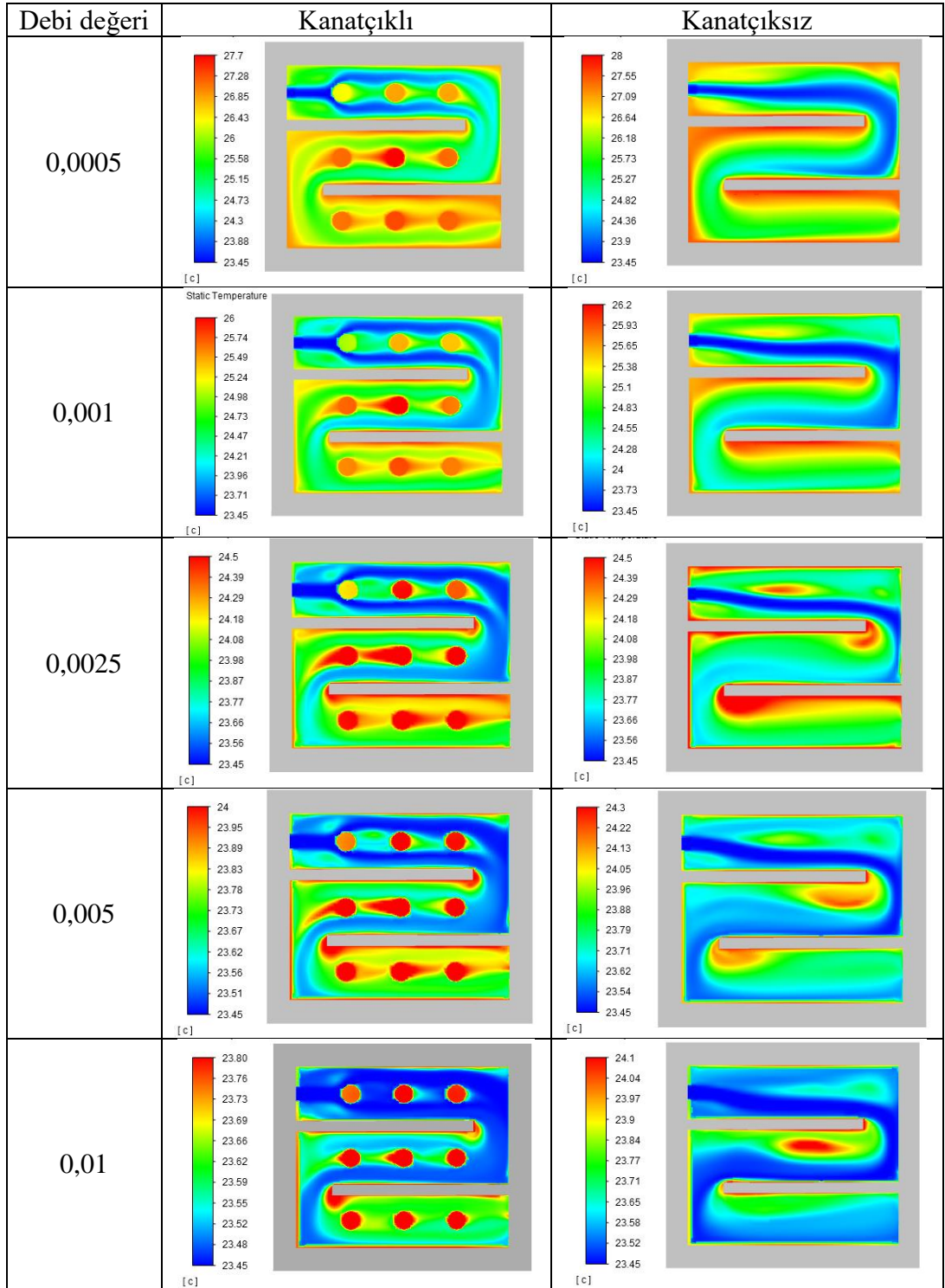
b) 7W sonuçları

Şekil 4.22. 7 mm 7W LED baskı devre kartı sıcaklık dağılımları



Şekil 4.22’de 7W güç değerinde 7mm blok kalınlığındaki soğutucu sistem üzerindeki LED devre kartlarının sıcaklık dağılımları verilmiştir. 9mm analizlerinde olduğu gibi 7mm 7W analizlerinde de debi miktarı arttıkça maksimum sıcaklık miktarı düşmüştür. En yüksek debi değerinde kart üzerindeki sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık 1°C fark olduğu görülmüştür. 9mm sonuçlarında fark 2°C hesaplanmıştır. En düşük debi değerinde kartlar üzerindeki sıcaklık farkı 3°C çıkmıştır. En iyi soğutma durumunda kart üzerinde 123 °C sıcaklık hesaplanmıştır ayrıca en kötü soğutma durumunda baskı baskı devre kartı üzerinde 127,7°C bulunmuştur.

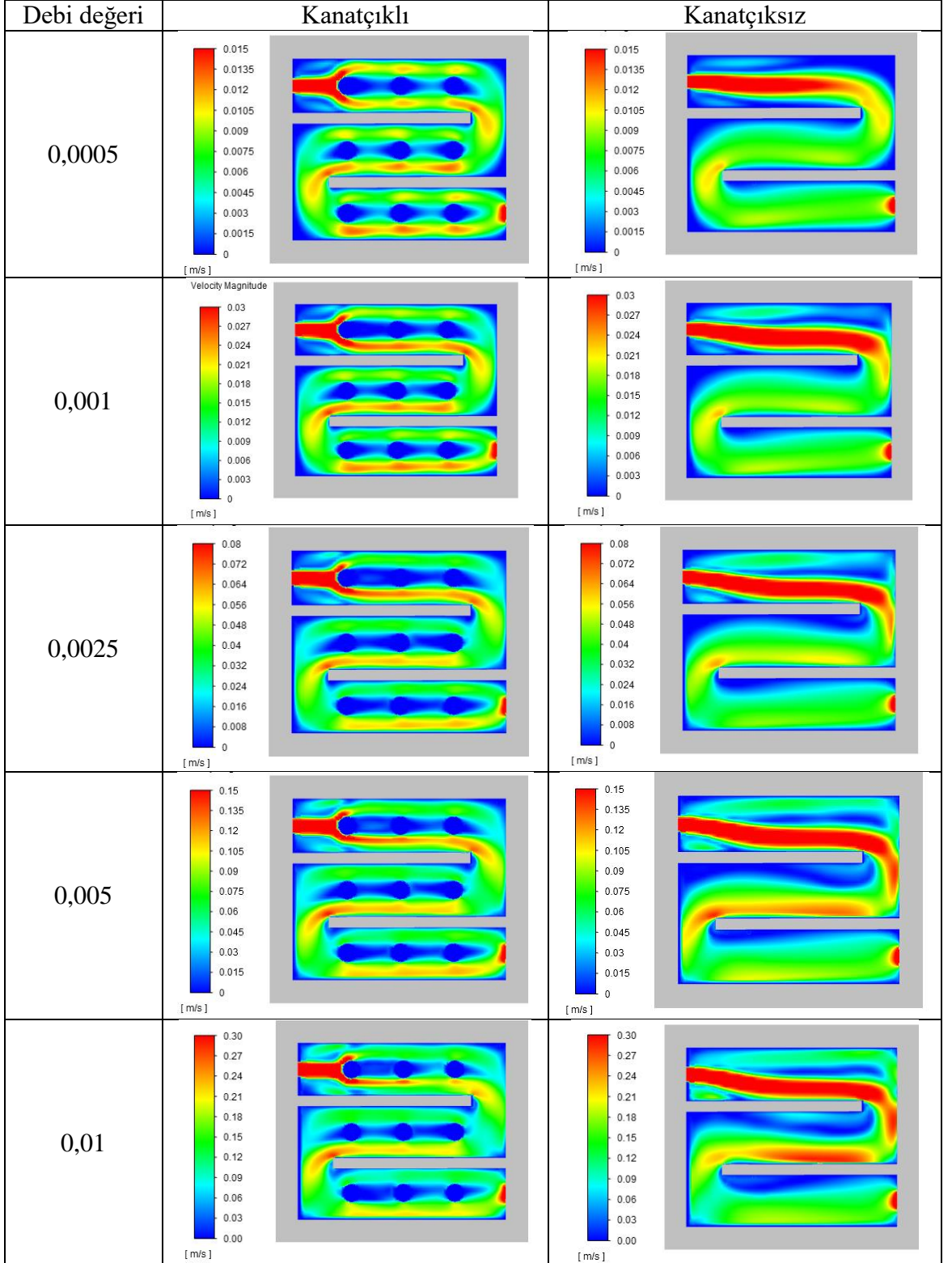
Şekil 4.23. 7 mm 7W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları



Şekil 4.23'de 7W gü değerinde 7mm kalınlıkta orta düzlemsel konumda soğutucu akışkanın sıcaklık dağılımı verilmiştir. Güç değeri 7W'a arttırıldığında soğutucu akışkanın sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca debi miktarı arttıkça giriş ve çıkış

noktasındaki sıvı sıcaklık farkının azaldığı tespit edilmiştir. Giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki en düşük fark en yüksek debideki kanatçıklı blok analizlerinde görülmüştür.

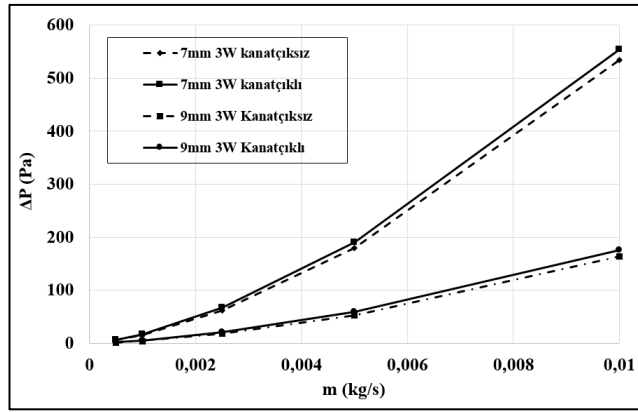
Şekil 4.24. 7 mm 7W LED baskı devre kartı soğutucu akışkan hız dağılımları



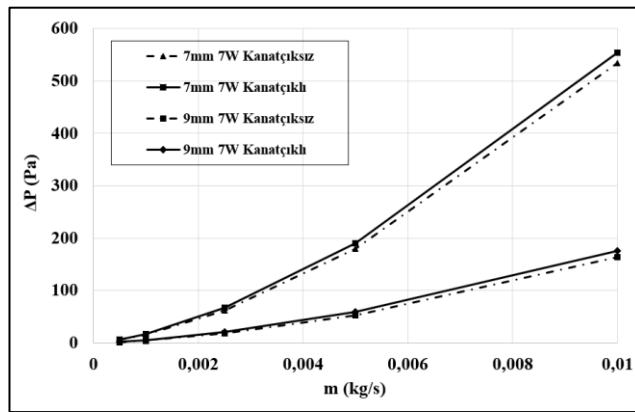
Şekil 4.24'de 7W güç değerinde 7mm blok kalınlığında orta düzlem konumundaki akışkanın hız diyagramları verilmiştir. Hız dağılımları incelendiğinde önceki 7W sonuçlarıyla benzer davranışlar sergilemiştir. Debi miktarı arttıkça blok içi akışkan hızı artmıştır ve kanatçiksız modellerde akışın birinci perdeye doğru yöneldiği kanal içi üst kısımlarda akış ayrılmasının olduğu görülmüştür. Kanatçıklı blok modellerinde silindirik kanatçıkların arkasında akış hızlarının sıfıra yakın olduğu görülmüştür.

4.5.3. Tek hücreli blok sonuçlarının iredelenmesi

Tek hücreli blok analizlerinde tüm durumlardaki basınç düşüşleri, LED üzerinde oluşan bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığının hesaplanması, çıkış noktasındaki soğutucu akışkan sıcaklıklarının karşılaştırılması yapılmıştır.



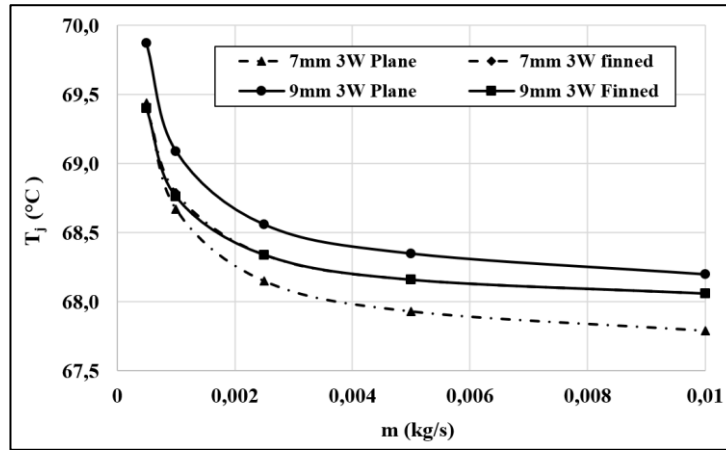
a)



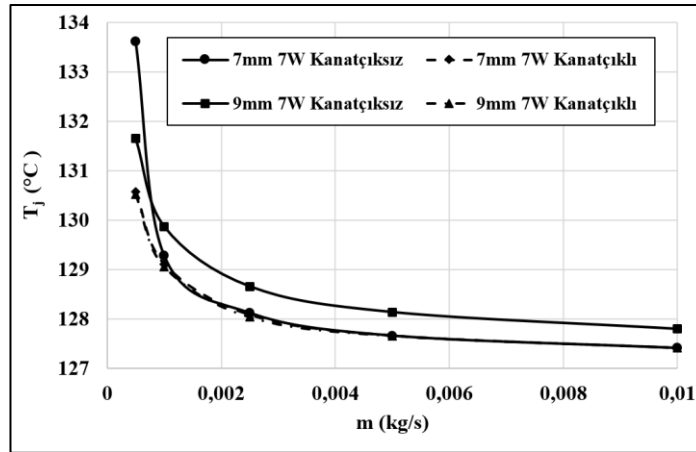
b)

Şekil 4.25. Tek hücreli blok için basınç düşüş değerleri a) 3W Sonuçları b) 7W Sonuçları

Şekil 4.25’de Tüm durumlar için basınç düşüşlerini veren grafikler verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 3W ve 7W güç değerlerinde basınç düşüşleri benzer eğilimler sergilemiştir. Kapaklar üzerine kanatçıkların eklenmesi basınç düşüşlerinde az etki yapmıştır. Debi miktarı arttıkça basınç düşüşlerinde büyük artışlar meydana getirmiştir. 7mm kalınlıklı blok tasarımında bu etki daha fazla görülmüştür. LED gücünün artışı basınç düşüşleri üzerinde etki yapmadığı tespit edilmiştir. Basınç düşüşünü etkileyen en büyük unsurun blok kalınlığı daha sonra debi miktarının olduğu görülmüştür.



a)



b)

Şekil 4.26. Tek hücreli blok için LED bağlantı noktası sıcaklıkları a) 3W sonuçları b) 7W sonuçları

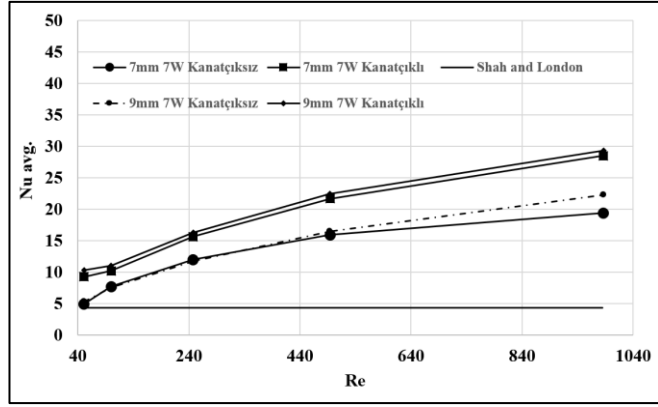
Şekil 4.26’da tek hücreli blok için LED üzerinde oluşan bağlantı noktası sıcaklıkları verilmiştir. Bağlantı noktası sıcaklıkları debinin artmasıyla azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum her iki güç değeri içinde benzer davranış şekilleri sergilemiştir. 3W analizleri için en yüksek ve en düşük debi arasında sıcaklık farkı yaklaşık 2°C hesaplanmıştır. 7W güç

değerinde bu durum 4°C sıcaklık farkına çıkmıştır. Baskı devre kartı üzerinde kullanılan LED için üreticisi tarafından belirtilen maksimum bağlantı noktası sıcaklık limiti 150°C verilmiştir ve tüm durumlarda bu sıcaklığın altında kalınmıştır.

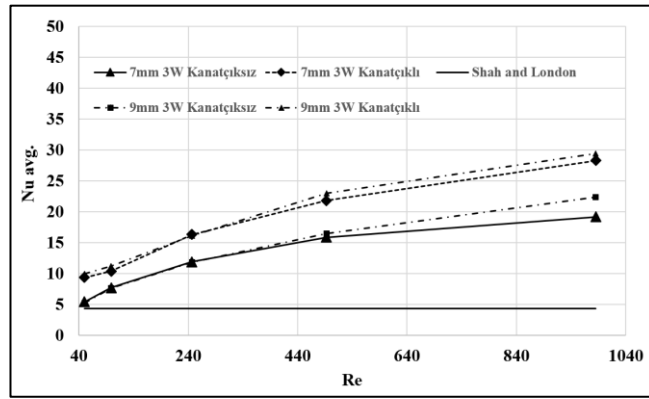
Çizelge 4.4. Tek hücreli blok için çıkış su sıcaklık değerleri

		Kanatçıklı Analiz Sonuçları					Kanatçıksız Analiz Sonuçları				
		Debi (Kg/s)					Debi (Kg/s)				
		0,0005	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,0005	0,001	0,0025	0,005	0,01
9mm	3W	24,79	24,12	23,72	23,59	23,52	24,86	24,14	23,73	23,59	23,52
	7W	26,57	25,01	24,09	23,77	23,61	26,70	25,05	24,10	23,78	23,62
7mm	3W	24,79	24,13	23,73	23,59	23,52	24,78	24,12	23,73	23,59	23,52
	7W	26,58	25,03	24,10	23,78	23,61	26,54	25,01	24,09	23,78	23,61

Çizelge 4.4’de tek hücreli blok için çıkış noktasındaki soğutucu akışkanın sıcaklık değerleri verilmiştir. Tüm durumlar için sıvı giriş sıcaklığı 23,45°C alınmıştır. İncelenen blok modelleri için blok kalınlığının sıvı çıkış sıcaklığında kayda değer bir artışının olmadığını göstermiştir. Ayrıca kanatçıklı ve kanatçıksız durumlar arasında da benzer çıkış sıcaklıkları meydana gelmiştir. 3W güç değerinde en yüksek debi ve en düşük debi değerinde sıcaklık farkı yaklaşık 1°C hesaplanmıştır. 7W güç değeri için çıkış noktalarındaki sıcaklık düşüşü 3°C olduğu görülmüştür. Debi miktarı arttıkça çıkış noktasındaki sıvı sıcaklığının düştüğü gözlemlenmiş ve giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı azalmıştır. 3W güç değerinde en yüksek ve en düşük debi durumunda giriş çıkış sıcaklık farkı sırasıyla 0,07°C ve 1,04°C olmuştur. 7W güç değerinde en yüksek ve en düşük debi giriş çıkış sıcaklık farkı sırasıyla 0,16°C ve 3,12°C olarak hesaplanmıştır.



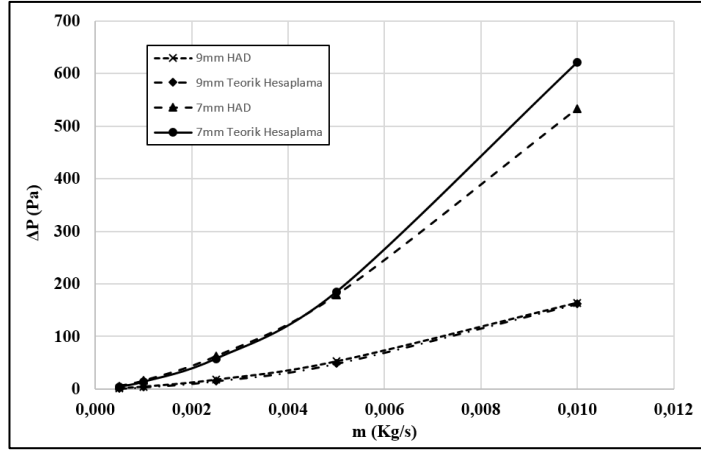
a)



b)

Şekil 4.27. Tek hücreli blok için ortalama Nusselt sayıları a) 3W sonuçları b) 7W sonuçları

Şekil 4.27’de Tüm durumlar için ortalama nusslet sayıları verilmiştir. Tam gelişmiş laminar akış için literatürde Shan and London 4,36 olduğunu belirtmiştir. İncelenen tüm durumlarda gelişmekte olan akış durumu geçerlidir bundan dolayı sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı durumu yoktur. Tüm durumlarda Reynold sayısı arttıkça ortalama Nusselt sayısında artmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde LED gücünün ortalama Nusselt sayısına çok etki etmediği gözlemlenmiştir. Fakat kanatçıklı yapının, ortama Nusselt sayısı üzerinde etkisinin büyük olduğu görülmüştür. Tüm durumlarda Nusselt sayısının artış miktarı benzer davranış sergilemektedir. En yüksek ve en düşük Nusselt sayıları sırasıyla 9mm kanatçıklı ve 7mm kanatçıksız durumlarda gerçekleşmiştir.



Şekil 4.28. Kanatçiksız kapaklı bloklar için teorik ve HAD ile elde edilmiş basınç düşüş değerleri

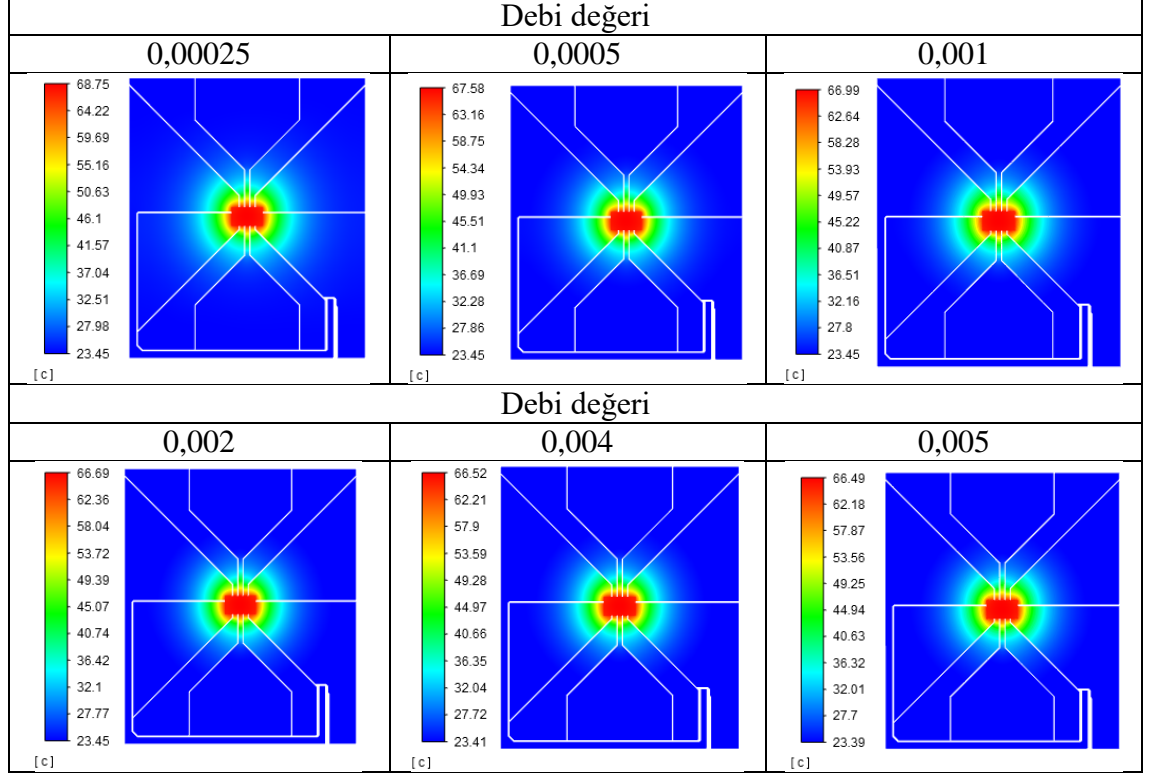
Şekil 4.28’de kanatçiksız yapıya sahip bloklar için teorik ve HAD ile hesaplanan basınç düşüşü değerleri verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 9mm blok kalınlığı için basınç düşüşleri çok yakın çıkmıştır. 7mm kalınlık için yüksek debilerde teorik ve simülasyonlar arasında farklar çıkmıştır. 7mm blok durumu için en yüksek debide teorik ve analiz sonuçları arasındaki farklar 15%’in altındadır. 7mm blok için yüksek debilerde akışkanın türbülanslı bölgeye yaklaşmasından kaynaklı teorik ve analiz sonuçlarında farklar artmıştır. Tek hücreli blok modelinde L-şeklindeki blok bağlantı borularında ki kayıplarda dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda basınç düşüşleri en fazla bu bölgede oluşmaktadır. Bu hesaplamalar doğrultusunda iki hücreli blok için bağlantı borusu kısa ve düz olacak şekilde tasarlanarak basınç düşüşlerinin en aza düşürülmesi hedeflenmiştir.

4.6. İki Hücreli Blok Sonuçları

İki hücreli blok tasarımında daha homojen soğutma durumu hedeflenmiştir. Tek noktadan giren soğutucu akışkan blok içerisinde ikiye ayrılarak bağımsız iki soğutucu hücre aracılığıyla soğutma işlemini gerçekleştirmektedir. İki hücreli soğutucu blok tasarımında kart üzerinde oluşan sıcaklık, LED üzerindeki ışık çıktısı hesaplanmıştır. Ayrıca blok içi basınç düşüşü, soğutucu akışkan sıcaklık dağılımı ve giriş çıkış noktaları arasındaki sıvı sıcaklıkları incelenmiştir.

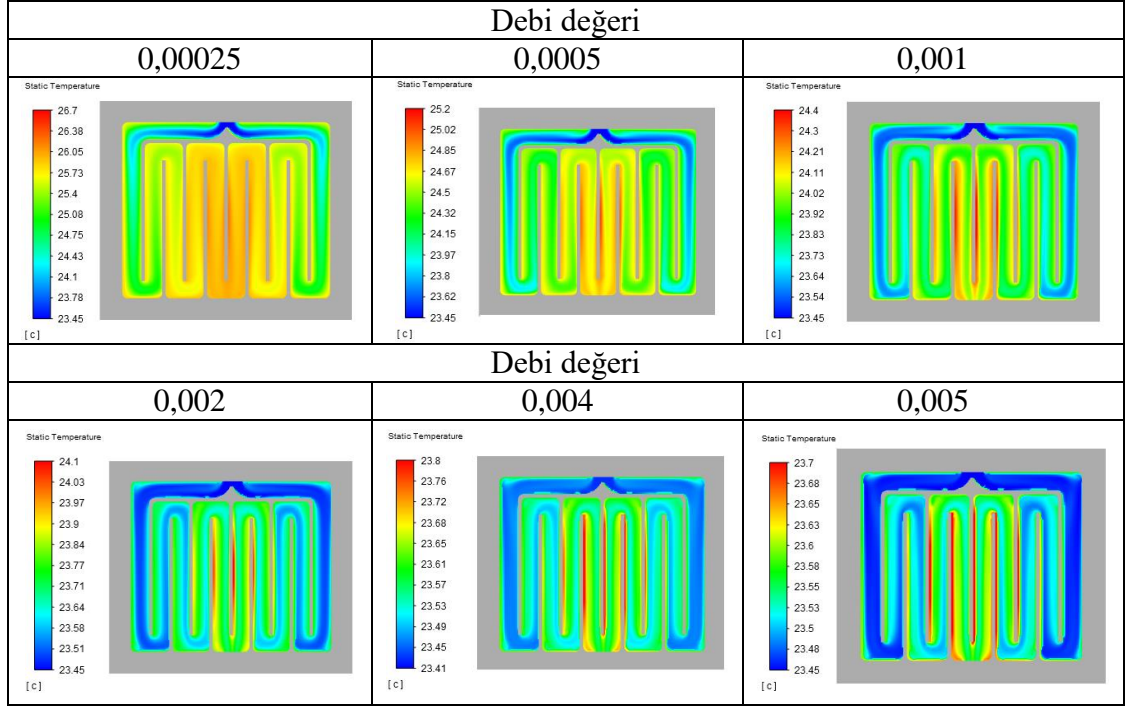
4.6.1. Tek LED'li iki hücreli blok sonuçları

Şekil 4.29. Tek LED'li iki hücreli blok analizleri için baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımları



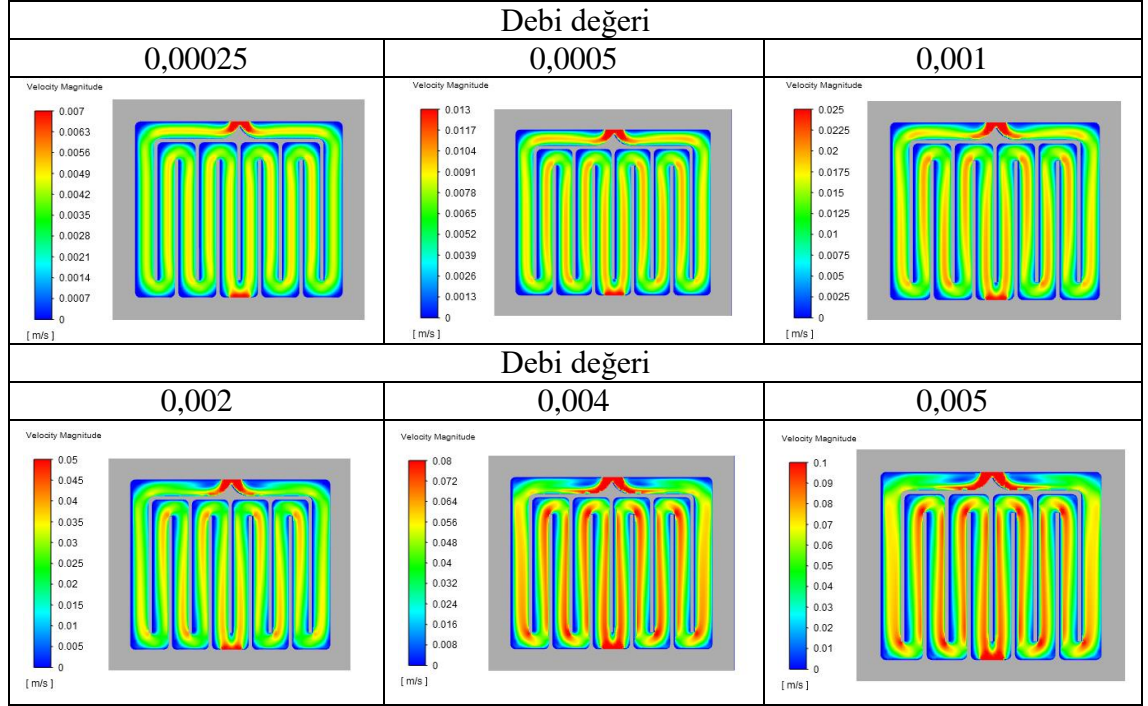
Şekil 4.29'da tek LED'li baskı devre kartı üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları verilmiştir. Tek bloklu analizlerde olduğu gibi LED üzerinde oluşan maksimum sıcaklık debi arttıkça düşmektedir. En düşük debi ve en yüksek debi ile soğutma yapıldığında sıcaklık farkı 2°C olarak hesaplanmıştır. Baskı devre kartı üzerinde sıcaklık dağılımları incelendiğinde bezer sıcaklık dağılımlarının olduğu görülmüştür. Soğutmasız durumda baskı devre kartı üzerinde maksimum sıcaklık 107,63°C çıkmıştır. Aynı baskı devre kartı iki hücreli blok tasarımı ile soğutulduğunda en yüksek debi durumunda 66,49°C hesaplanmıştır. Sıvı soğutma ile baskı devre kartı üzerinde 41,14°C soğutma yapılmıştır.

Şekil 4.30. Tek LED’li iki hücreli blok anazleri için soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları



Şekil 4.30’da iki hücreli blok için orta düzlemlerinden elde edilmiş soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları verilmiştir. Debi miktarı arttıkça soğutucu akışkanın sıcaklığının düştüğü gözlemlenmiştir. En düşük debi durumunda blok içine giren soğutucu akışkan giriş noktasından itibaren ısınmaya başlamıştır. Debi miktarı arttıkça soğutucu akışkan bağımsız hücrelerin içinde ısındığı gözlemlenmiştir. En yüksek sıcaklık LED’in alt kısmında toplanma kanallarında oluşmuştur.

Şekil 4.31. Tek LED’li iki hücreli blok anazleri için soğutucu akışkan hız dağılımları



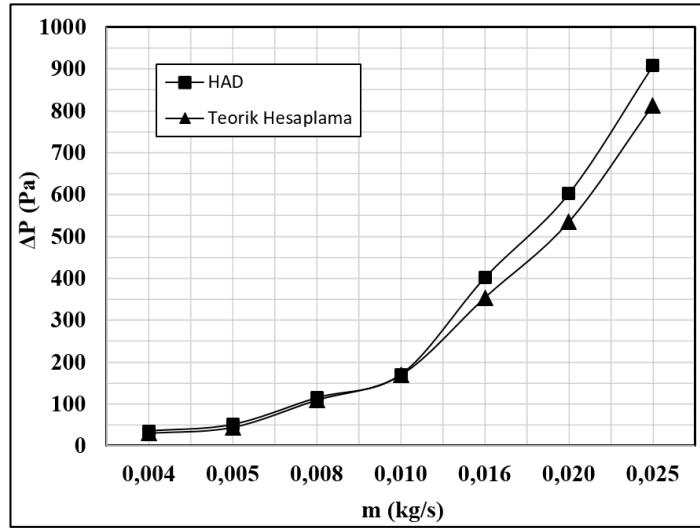
Şekil 4.31’de Tek LED’li iki hücreli blok için orta düzlem konumundaki hız dağılımları verilmiştir. Debi arttıkça soğutucu blok içerisindeki hızların arttığı gözlemlenmiştir. Debi miktarı arttıkça hücreler içindeki kanal dönüşlerinde hızların arttığı ve sıvının en kolay akış yönünü seçtiği daha rahat gözlemlenmektedir. Ayrıca debinin artmasıyla çıkış noktasında iki hücrenin toplanma noktasında ki akışkan hızının arttığı gözlemlenmiştir. Blok girişindeki tasarımın akışı teorik olarak ikiye bölünmüş ve akışkan yönlendiricisinin etkinliği debi arttıkça daha rahat görülmüştür. Düşük debide hücreler içinde dönüş noktalarında ölü bölgeler her iki köşede oluşmuştur. Debi arttıkça soğutucu sıvının en kolay yolu seçmesinden dolayı dönüşlerdeki ölü bölgelerin yeri değişmiştir.

Çizelge 4.5. İki hücreli tek LED’li baskı devre kartı için blok çıkış su sıcaklık değerleri

Debi (kg/s)	0,00025	0,0005	0,001	0,002	0,004	0,005	0,01	0,02
Sıcaklık (°C)	26,27	24,89	24,19	23,83	23,64	23,61	23,53	23,49

Çizelge 4.5’de iki hücreli blok tasarımı için çıkış noktasındaki soğutucu akışkanın sıcaklık değerleri verilmiştir. Tüm durumlar için sıvı giriş sıcaklığı 23.45°C alınmıştır. İncelenen durumlarda debi miktarı arttıkça çıkış noktasındaki sıvı sıcaklığının düştüğü

gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak debi miktarı arttıkça giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı da azalmaktadır. En yüksek ve en düşük debi durumunda giriş çıkış sıcaklık farkı sırasıyla 2,82°C ve 0,05°C olmuştur. Blok içerisindeki debinin artmasıyla giriş çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkının azalması sistemde sirküle edilen sıvının giriş sıcaklık değerine geri soğutmasının kolay olmasını sağlamaktadır. Bu kolay soğutmanın getirdiği avantajın yanında pompa gücünün ve basınç düşüşünün artması durumu göz ardı edilmemelidir.



Şekil 4.32. İki hücreli blok anazleri için teorik hesaplama ve HAD analizleri sonucunda elde edilen basınç düşüşleri

Şekil 4.32’de iki hücreli blok tasarımı için teorik olarak hesaplanan ve HAD yöntemi ile elde edilen basınç düşüşleri verilmiştir. Her iki durumda da debi arttıkça basınç düşüşleri artmaktadır. Bu artış, eksponansiyel artış trendini takip etmektedir. Debinin artmasıyla teorik hesaplanan ve HAD ile elde edilen basınç düşüşleri arasındaki fark artmaktadır. Teorik hesap yapılırken blok içi giriş çıkış noktaları üzerinden hesaplama yapılmıştır. HAD yönteminde blok dışında bağlantı borularındaki giriş ve çıkış noktalarından veriler alınmıştır. Teorik hesaplamada blok içine kadar olan boru içi basınç düşüşü göz önüne alınmamıştır. Bu farklardan dolayı HAD yöntemi ve teorik hesaplama arasında fark oluşmuştur. Ayrıca türbülanslı akışa yaklaştıkça aradaki fark açılmıştır. Düşük debilerde boru içi kayıpların az olmasından kaynaklı basınç düşüşleri benzer çıkmıştır. En yüksek debi durumunda %10 fark oluşmuştur. 0.025kg/s debinin türbülanslı bölgeye yakın olduğu düşünüldüğünde laminar bölgede teorik basınç düşüşünde giriş boru kabının göz ardı edilmesi durumunda %10 farkların olabileceği görülmüştür. Türbülanslı akışlarda

giriş kısmındaki basınç düşüşünün göz ardı edilmesi durumunda teorik ve HAD arasındaki farkın daha da artabileceği görülmüştür.

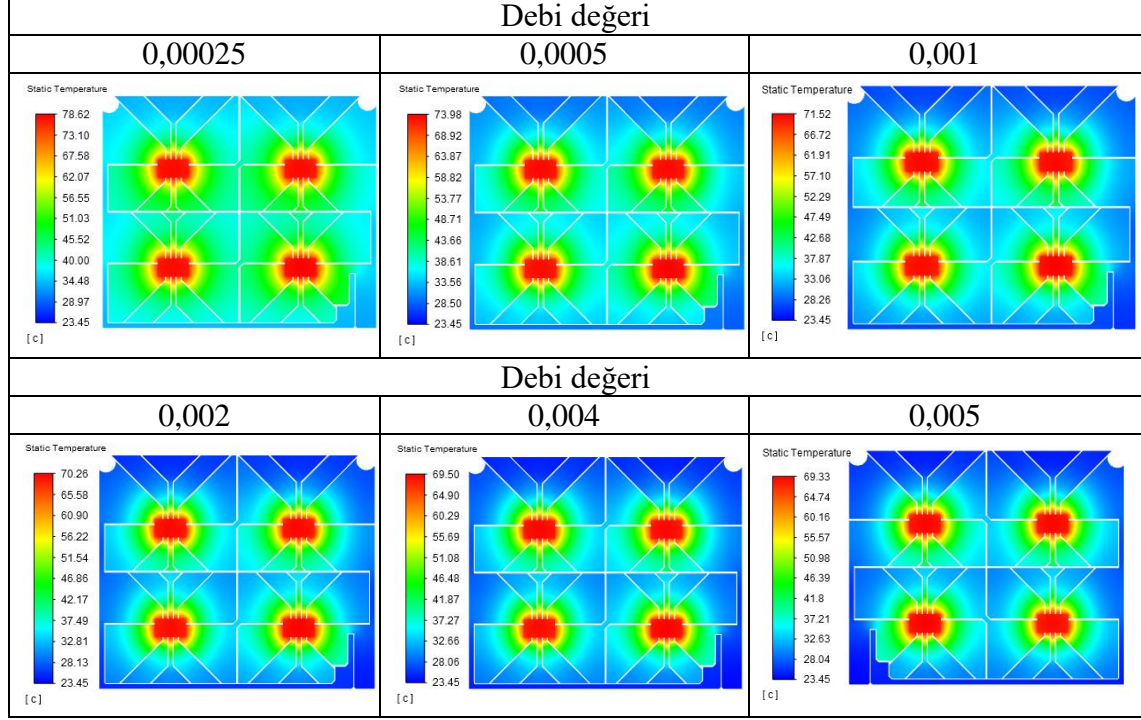
Çizelge 4.6. Tek LED’li iki hücreli blok tasarım sonuçları

Debi (kg/s)	T_j	ΔP (Pa)	Ortamala Nusselt Sayısı	Işık Çıktısı (lm)
0,00025	70,51	0,74	1,95	562
0,0005	70,21	1,71	5,17	562
0,001	69,56	4,28	9,01	562
0,002	69,23	11,70	10,31	562
0,004	69,05	34,98	13,17	563
0,005	69,01	50,69	14,20	563
0,01	68,91	169,15	20,82	563
0,02	68,85	594,92	31,24	563
Soğutmasız durum	110,50	----	---	510

Çizelge 4.6’da iki hücreli blok için debiye bağlı bağlantı noktası (jonksiyon) sıcaklığı, ortalama Nusselt sayısı, basınç düşüşü ve ışık çıktısı verilmiştir. Debinin artmasıyla bağlantı noktası sıcaklıkları düşmektedir. Fakat bu düşüş 0,02kg/s debi değerinden sonra kayda değer bir düşüş değildir. En yüksek ve en düşük debi değerlerinde jonsyon sıcaklık düşüşü 2,24°C’dir. Debi arttıkça basınç düşüşüde ekponansiyel olarak artmaktadır. 0,005 kg/s debi değerinden sonra artış miktarı önceki debi değerlerine göre daha fazladır ve daha çok pompa gücü gerektirmektedir. Debi miktarının artmasıyla ortalama Nusselt sayıları da artmaktadır. 0,004 kg/s debiden sonra bu artışın sınırlı miktarda kaldığı gözlemlenmiştir. Debinin artmasıyla LED bağlantı noktası sıcaklığının düştüğü görülmüştür. Bu duruma bağlı olarak ışık çıktısında artışlar olmuştur fakat bu artışlar gerek LED tipinden gerek sınırlı jonksiyon sıcaklığı düşüşünden kaynaklı 1lm artmıştır. Soğutmasız LED baskı devre kartından 510 lm ışık çıktısı elde edilmektedir. Aynı kartın sıvı ile soğutulması durumunda 563 lm ışık çıktısı meydana gelmiştir ve 10% fazla ışık elde edilmiştir. Ayrıca daha düşük LED bağlantı noktası sıcaklıklarından kaynaklı LED ömründe artışlar meydana gelmiştir.

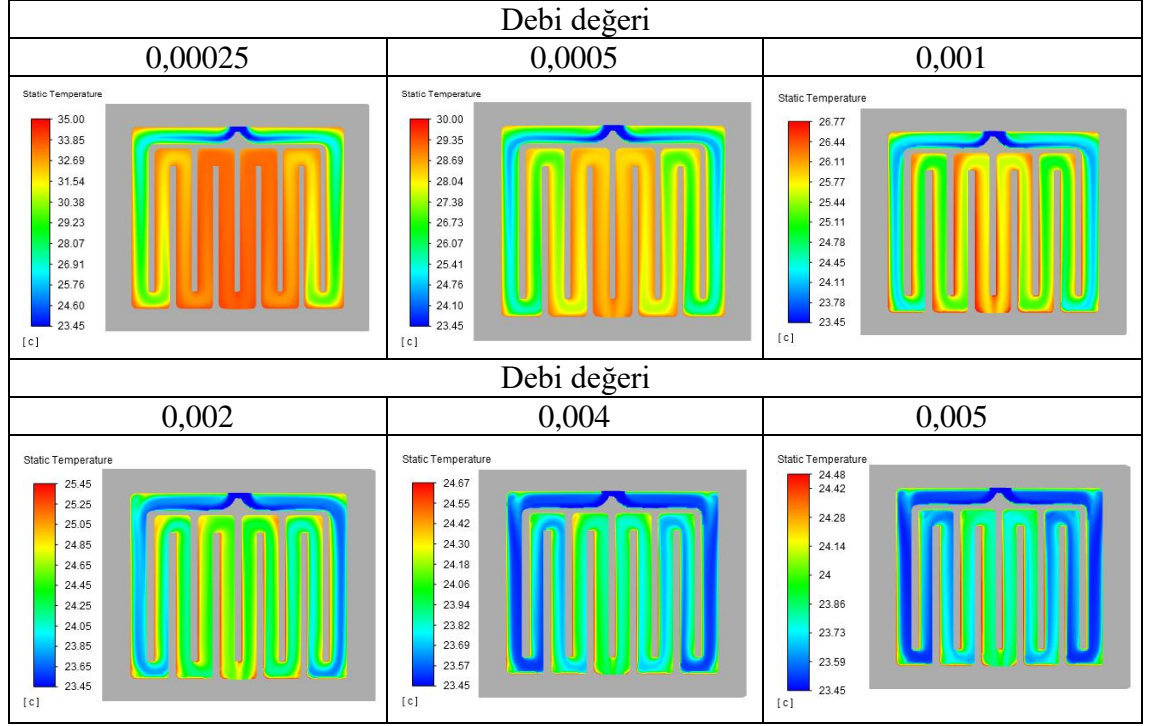
4.6.2. Dört LED'li iki hücreli blok sonuçları

Şekil 4.33. Dört LED'li iki hücreli blok anazleri için baskı devre kartı üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları



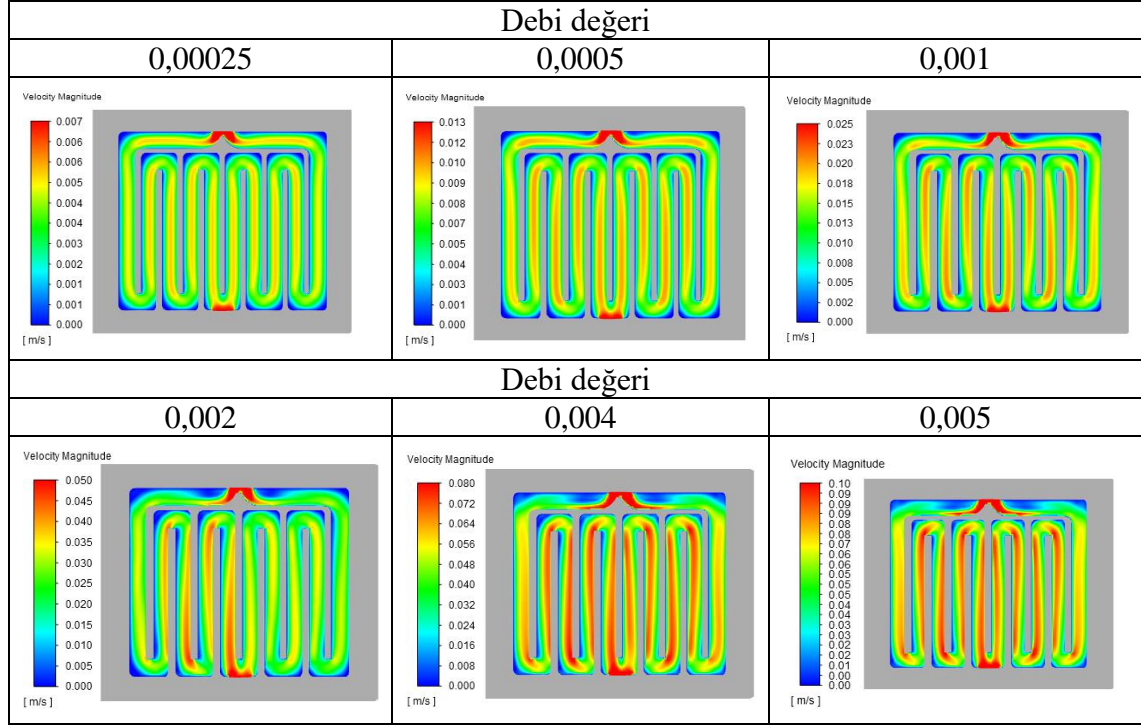
Şekil 4.33'de Dört LED'li kart üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları verilmiştir. Blok içi debi miktarı arttıkça LED'ler üzerinde oluşan maksimum sıcaklık düşmüştür. En düşük debi ve en yüksek değerinde sırasıyla LED'ler üzerinde 78,62°C, 69,33°C sıcaklık hesaplanmıştır. İki hücreli blok ile LED'ler arasında ve kart yüzeyinde homojen sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Devre kartı üzerindeki LED'lerin arttırılmasıyla debi değişimine bağlı sıcaklık oluşumları daha belirgin görülmüştür. Debinin arttırılmasıyla yaklaşık 10°C sıcaklık düşüşü sağlanmıştır. mevcut LED devre kartının soğutlmaması durumunda baskı devre kartı üzerinde oluşan sıcaklıkların bağlantı sıcaklığı limitlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Sıvı soğutmalı sistem ile LED baskı devre kartı üzerinde sıcaklıklar limitlerin aşığına çekilmiştir.

Şekil 4.34. Dört LED’li iki hücreli blok analizleri için soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları



Şekil 4.34’de dört LED’li iki hücreli blok için orta düzlemlerinden elde edilmiş soğutucu akışkan sıcaklık dağılımları verilmiştir. Debi miktarı arttıkça soğutucu akışkanın blok içerisindeki sıcaklığının düştüğü gözlemlenmiştir. En düşük debi değerlerinde tek LED’li baskı devre kartının soğutulmasında blok içi soğutucu akışkan sıcaklığı ile dört LED’li baskı devre kartını soğutan soğutucu akışkan sıcaklığı arasında yaklaşık 11°C sıcaklık farkı oluşmuştur ayrıca en yüksek debi değerlerinde sıcaklık farkının yaklaşık 2°C olduğu gözlemlenmiştir. En düşük debi durumunda blok içine giren soğutucu akışkan giriş noktasından itibaren ısınmaya başlamıştır. Debi miktarı arttıkça soğutucu akışkan bağımsız hücrelerin içinde ısınmıştır. En yüksek sıcaklık LED’in alt kısmında toplanma kanallarında oluşmuştur.

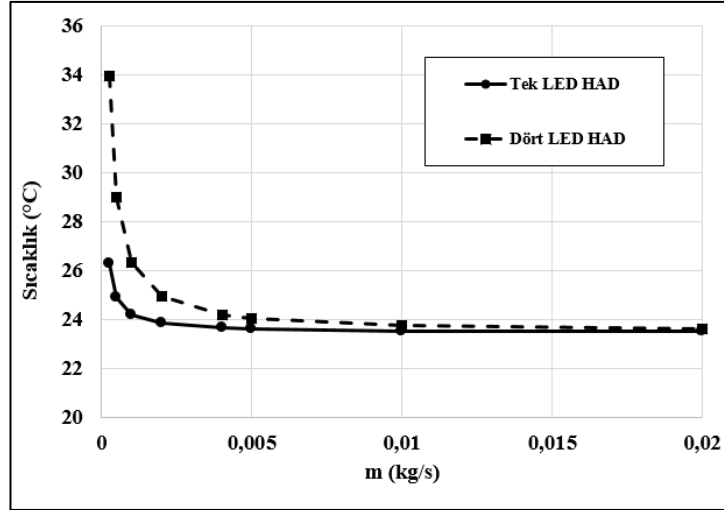
Şekil 4.35. Dört LED’li iki hücreli blok analizleri için soğutucu akışkan hız dağılımları



Şekil 4.35’de dört LED’li iki hücreli blok için orta düzlem konumundaki hız dağılımları verilmiştir. Önceki sonuçlarda olduğu gibi debinin artmasıyla blok içi akışkan hızıda artmıştır. Ayrıca debi miktarının artmasıyla blok giriş kısmında ölü bölgelerin artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Blok içi hız değerlerin artmasıyla blok perde dönüş kısımlarında dönüş hızlarının görülmüştür. Düşük debide dış dağıtıcı kanal dönüş noktalarında hızın sıfıra yakın olduğu gözlemlenmiştir. ayrıca debi arttıkça soğutucu sıvının hücre içinde en kolay yolu seçmesinden kaynaklı dönüşlerdeki ölü bölgelerin yeri değişmiştir.

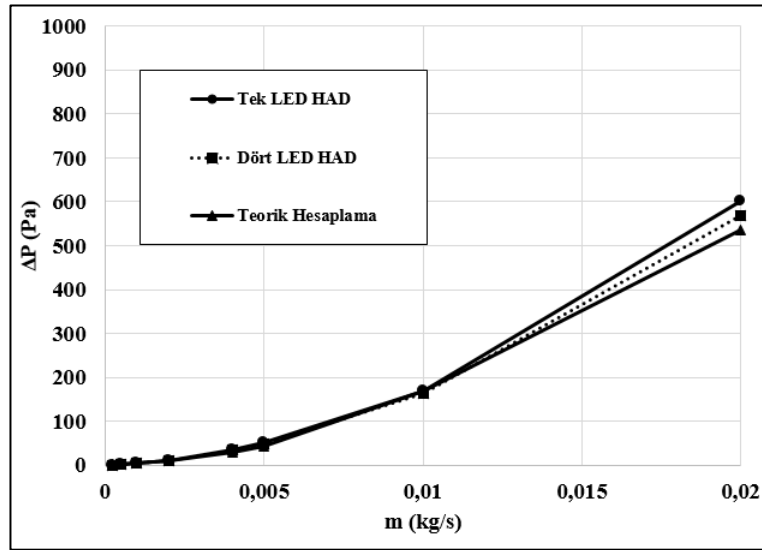
4.6.3. Tek LED’li ve dört LED’li baskı devre kartı sonuçlarının karşılaştırılması

İki hücreli blok tasarımı için tek LED’li baskı devre kartı ve dört LED’li baskı devre kartı tasarımı yapılmış ve farklı debi değerlerinde simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Her iki model için basınç düşüşü, ışık çıktısı, bağlantı sıcaklığı noktası değerleri karşılaştırılmıştır. Nihai blok yapısı gereği çok LED’li baskı devre kartı için homojen sıcaklık dağılımı elde edilmesi hedeflenmiştir.



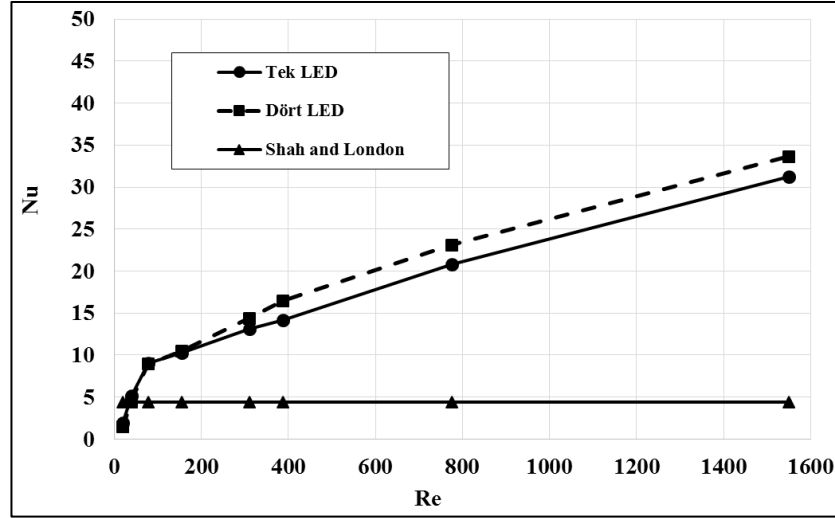
Şekil 4.36. İki hücreli blok anazleri için çıkış su sıcaklığı

Şekil 4.36’da tek LED’li ve dört LED’li baskı devresinin için iki hücreli blok çıkış su sıcaklığı sonuçları verilmiştir. En düşük debi durumunda çıkış sıcaklıkları arasında yaklaşık 8°C sıcaklık farkı vardır. Debi miktarı arttıkça çıkış su sıcaklığı farkları azalmış ve en yüksek debi durumunda yaklaşık 1°C sıcaklık farkı oluşmuştur. Tek LED li durum için optimum çıkış sıcaklığını veren debi değeri 0,002kg/s olduğu gözlemlenmiştir fakat dört LED’li baskı devre kartında bu durum 0,005Kg/s çıkmıştır. Debinin artmasıyla çıkış suyu eksponansiyel olarak düşmüştür ve belirli bi değerden sonra kayda değer düşüşler sergilememiştir.



Şekil 4.37. İki hücreli blok anazleri için basınç düşüş miktarları

Şekil 4.37’de tek LED’li ve dört LED’li baskı devresinin için iki hücreli blok için basınç düşüş miktarları verilmiştir. Tek LED’li ve dört LED’li baskı devre kartları için basınç düşüşleri çıkmıştır. Akışın türbülantlı bölgeye yaklaşmasıyla teorik ve HAD sonucunda farklar artmaya başlamıştır fakat bu fark %10’nun altındadır. Düşük debilerde boru için kayıpların az olmasından kaynaklı basınç düşüşleri benzer çıkmıştır. Tüm durumlar için basınç düşüşü eksponansiyel artış trendinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.38. İki hücreli blok için ortalama Nusselt sayıları

Şekil 4.38’de iki hücreli blok için Nusselt sayılarını gösteren diyagram verilmiştir. Dört LED ve tek LED için Nusselt sayıları benzer davranış sergilemektedir. Reynolds sayısının artmasıyla tek LED ve dört LED’li durumlar arasındaki Nusselt sayılarının farkları açılmaktadır. Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayıları da artmaktadır. Shah and London çalışmasında göre gelişmiş laminar akışta ortalama Nusselt sayısı 4,36 hesaplanmıştır. İncelenen tüm durumlarda gelişmekte olan akış durumu geçerlidir bundan dolayı sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı durumu yoktur. İki hücreli blok analizlerinde akış gelişmekte olan bölgede olduğu için Reynolds sayısına bağlı olarak değişmektedir.

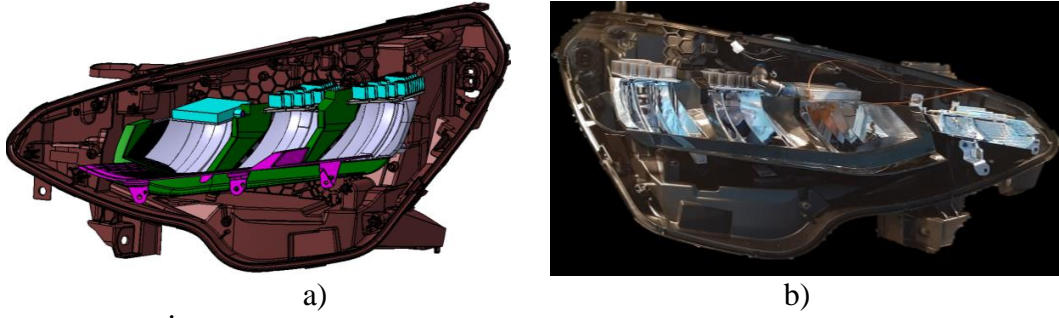
Çizelge 4.7. İki hücreli blok için maksimum bağlantı sıcaklık ve ışık çıktı değerleri

Debi (kg/s)	Maksimum T_j (°C)		Işık Çıktısı (lm)	
	Tek LED	Dört LED	Tek LED	Dört LED
0,00025	70,51	81,78	562	551
0,0005	70,21	76,13	562	556
0,001	69,56	73,67	562	559
0,002	69,23	72,41	562	560
0,004	69,05	71,65	563	561
0,005	69,01	71,48	563	561
0,01	68,91	71,12	563	561
0,2	68,85	69,95	563	562
Soğutmasız durum	110,50	245,12	510	---

Çizelge 4.7’de iki hücreli blok için tek LED ve Dörtli devre kartı üzerinde oluşan maksimum bağlantı noktası sıcaklık ve ışık çıktı değerleri verilmiştir. Debi değeri arttıkça bağlantı noktası sıcaklık değeri ve ışık çıktı miktarları artmaktadır. Tek LED için debinin artmasıyla bağlantı noktası sıcaklık değeri yaklaşık 2°C düşmüştür. Dört LED’li baskı devre kartı için debinin artmasıyla yaklaşık 11°C düşüş ve 11 lümen fazla fazla ışık çıktısı elde edilmiştir. Bağımsız iki hücre nedeniyle LED’ler arasında homojen soğutma yapılmış ve ortalama aynı miktarda ışık çıktısı elde edilmiştir. Dört LED’li baskı devre kartının sabit akımda sürülmesiyle simülasyon ortamında 245,12°C sıcaklık elde edilmiştir. Normal şartlar altında tasarlanan bu devre kartının çalışamayacağı görülmüş ve ekstra soğutma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç sıvı soğutma ile başarıyla yapılarak kart üzerinden yaklaşık 2248 lm ışık çıktısı elde edilmiştir.

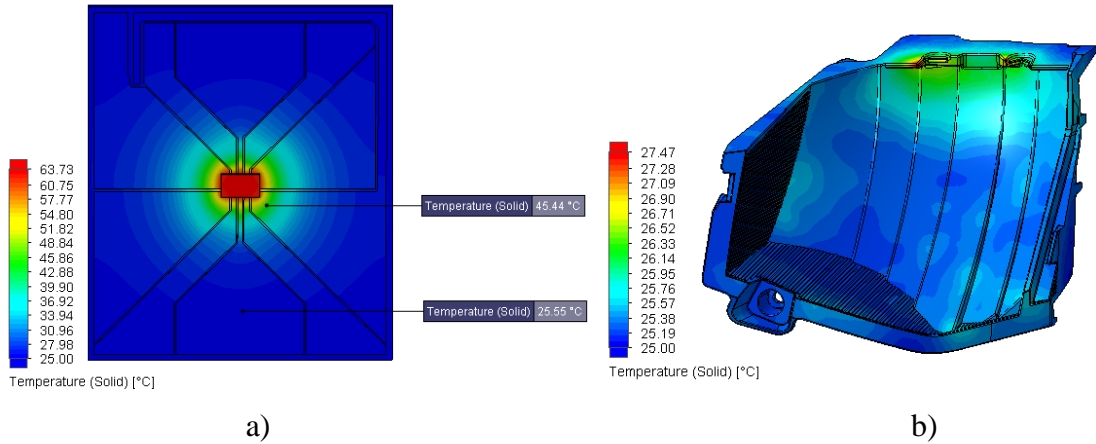
4.7. İki Hücreli Blok Tasarımının Ön Aydınlatma Elemanı Üzerine Uygulanması

Nihai olarak karar verilen iki hücreli blok tasarımı CAD ortamında ve üretilmiş bir far üzerine montajlanarak testlere ve simülasyonlara uygun hale getirilmiştir. Testler süresince iki adet K tipi ısıl-çift baskı devre kartı üzerine yerleştirilerek sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Bir adet ısıl-çift LED’e yakın konumda, bir adet ısıl-çift ise kart üzerinde konumlandırılarak iki farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Bu ölçümler simülasyon ile karşılaştırılarak doğrulama yapılmıştır



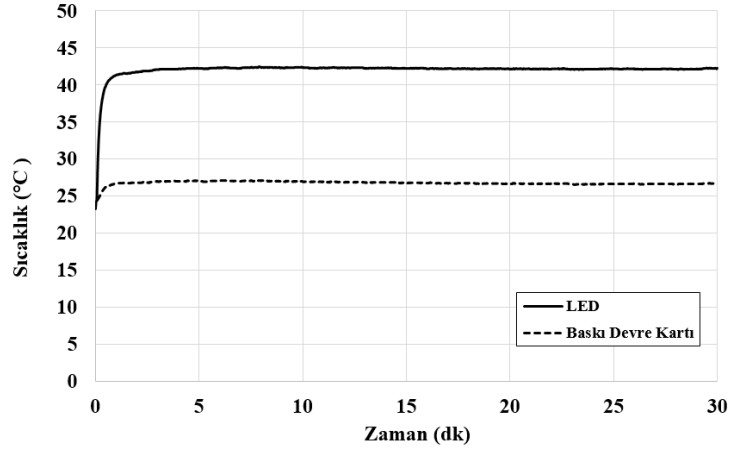
Şekil 4.39. İki hücreli blok tasarımının ön aydınlatma elemanına uygulanması a) üç boyutlu model b) Sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanı prototipi

Şekil 4.39'da iki hücreli blok tasarımının ön aydınlatma elemanı üzerinde montajlanmış CAD modeli ve prototip uygulaması verilmiştir. İki hücre hücreli blok, uzun hüzmeye fonksiyonunu yerine getiren reflektör bölümüne yerleştirilmiştir. Prototip üzerindeki blok için giriş çıkış bağlantıları 10mm PCV boru ile yapılarak gövde arkasındaki iki yuvarlak açıklıktan su tankına bağlanmıştır. Blok prototipi ile seri üretimde olan far estetik olarak hiç bir farkının olmaması için azami özen gösterilmiş ve başarılı çalışma ile uygulama yapılmıştır.



Şekil 4.40. İki hücreli blok tasarımının ön aydınlatma elemanı üzerinde termal analiz sonuçları a) Baskı devre kartı analiz sonuçları b) Reflektör analiz sonuçları

Şekil 4.40'da ön aydınlatma elemanı üzerine uygulanmış soğutucu blok için analiz sonuçları verilmiştir. Baskı devre kartı üzerinde $63,73^{\circ}\text{C}$ sıcaklık hesaplanmıştır. Baskı devre kartının üzerine montajlanan reflektör için maksimum sıcaklık $27,47^{\circ}\text{C}$ oluşmuştur. Isıl-çift noktalarında sonuçlar sırasıyla $45,44^{\circ}\text{C}$ ve $25,55^{\circ}\text{C}$ hesaplanmıştır. Baskı devre kartı üzerindeki sıcaklık dağılımı dış ortam koşulunda yapılan simülasyonlar ile benzer olduğu görülmüştür.



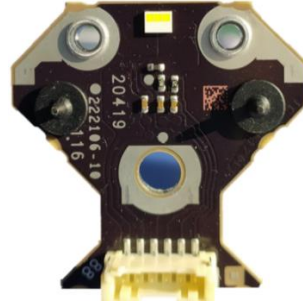
Şekil 4.41. Sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanı test sonucu

Şekil 4.41’de iki hücreli sıvı soğutmalı blok için test sonucu verilmiştir. Prototip üzerinde uzun hüzme fonksiyonu için resmi homologasyon onay testi yapılmıştır. Kısa ve uzun hüzme fonksiyonu, 23°C ortam koşulunda 30 dakika sürekli açık konumda iklimik kabin içerisinde testi yapılmıştır. Test süresince soğutucu akışkan 1,2 kg/dk (0,02 kg/s) debi ile sirküle edilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde farklı iki konuma yerleştirilmiş ısı-çiftin sıcaklıkları ilk 10 dakika içinde sabitlenmiş ve test sonuna kadar sıcaklıklarının sabit kalarak kararlı konuma gelmiştir.

Çizelge 4.8. Sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanı sonuçları

Isıl-çift Noktası	Simülasyon (°C)	Test (°C)	Hata (%)
LED	45,44	42,35	7,3
PCB	25,55	26,73	4,4

Çizelge 4.8’de ön aydınlatma elemanı üzerinde yapılan analiz ve test sonuçları verilmiştir. LED’e yakın noktadan alınan test sonucu ile analiz sonucu arasında 7,3%’lük fark çıkmıştır. LED etrafında sıcaklık dağılımı 1mm’lik mesafede hızlı değiştiği için hata oranının yüksek çıkması beklenmektedir. LED’den uzak bölgede PCB üzerinde sıcaklık farkı 1,18°C hesaplanmıştır ve hata oranı 4,4% olarak bulunmuştur. Ön aydınlatma elemanı üzerinde yapılan test ve analiz sonuçları bir birine yakın çıkararak doğrulama işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.42. Mevcut far grubunda kullanılan LED baskı devre kartı

Şekil 4.42’de mevcut seri üretimde olan far grubunda kullanılan LED baskı devre kartının göreseli verilmiştir. Seri üretimde kullanılan LED baskı devre kartı Marelli-Automotive Lighting şirketinin üretip kullandığı alüminyum nitrit (AlN) katkılı FR4 baskı devre kartı teknolojisine sahip uzun ve kısa hüzmeye fonksiyonunu meydana getirmektedir. Baskı devre kartı üzerinde LumiLEDs marka Luxeon Altilon SMD 1x3 serisi H flux bin grubu LED bulunmaktadır. Baskı devre kartı üretici firma tarafından termal macun katmanından LED’in lehim noktası arasındaki ısı direnci 1,6 K/W olarak verilmiştir. Seri üretimde kullanılan LED baskı devre kartı ileri teknolojiye sahip yüksek güç tüketen ve verimli LED elemanından oluşmaktadır. Homologasyon ve ana sanayi isteği olarak uzun ve kısa hüzmeye fonksiyonunda 25°C ortam koşulunda 720 lümen çıkışı istenmektedir.



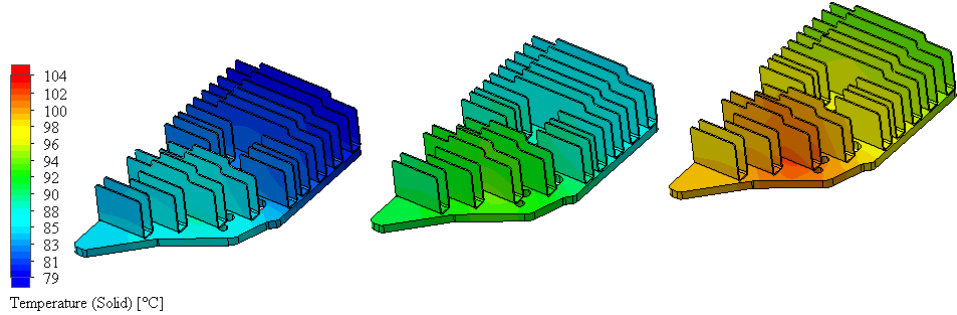
a)

b)

Şekil 4.43. Ön aydınlatma elemanı üç boyutlu modeli a) Kanatçıklı soğutma b) Sıvı soğutma

Şekil 4.43’de ön aydınlatma ürüne yerleştirilmiş kanatçıklı soğutma ve sıvı soğutma blokları verilmiştir. Mevcut seri üretimde bulunan kanatçıklı yapı ile soğutulan LED’lerin konumu değiştirilmeden üzerine sıvı soğutma blokları montajlanmıştır. Kısa hüzmeye fonksiyonu iki LED üzerinden, uzun hüzmeye fonksiyonu tek LED üzerinden aydınlatacak şekilde optik tasarımı yapılmıştır. Bu nedenden dolayı far üzerinde üç ayrı LED baskı devre kartı bulunmaktadır. Simülasyonlar, 25°C homologasyon durumu ve 85°C motor altı kaput sıcaklığında far üzerindeki tüm elemanlar ile yapılmıştır. Sıvı soğutmalı

sistemde 0,02 Kg/s debi ile soğutucu akışkan sirküle edilmiştir. Uzun hüzme ve kısa hüzme fonksiyonları sürekli açık gece sürüş koşulları düşünülerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.



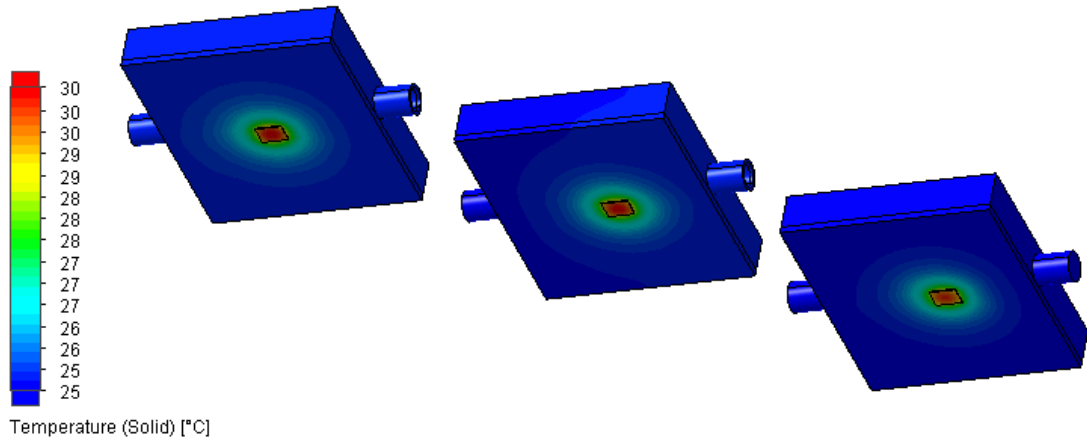
Şekil 4.44. Kanatçıklı soğutma için sıcaklık dağılımı

Şekil 4.44’de ön aydınlatma ürünü üzerine mantajlanarak 25°C ortam koşulunda kanatçıklı soğutucu için sıcaklık dağılımı verilmiştir. Tüm fonksiyonlar sürekli açık konumda kanatçıklar üzerinde 104°C sıcaklık hesaplanmıştır. Sırasıyla diğer iki kanatçıkta 96°C ve 90°C bulunmuştur. Far gövdesinin yapısı nedeniyle kanatçıklar arasında 14°C sıcaklık oluşmaktadır. Kısa hüzme fonksiyonunu yerine getiren ilk LED baskı devre kartı ve soğutucu kanatçığın üzerinden gövde duvarı geçmesinden kaynaklı diğer kartlara nazaran limitli soğutma yapılmıştır.

Çizelge 4.9. Kanatçıklı soğutma sonuçları

		Kısa Hüzme-1		Kısa Hüzme-2		Uzun Hüzme	
Ortam Sıcaklığı	[°C]	25°C	85°C	25°C	85°C	25°C	85°C
Sürülen akım	[%]	100	45	100	48	100	52
I _f , LED	[mA]	1200	539	1200	570	1200	619
P _{el} , LED	[W]	10,50	4,50	10,56	4,77	10,61	5,20
P _{th} , LED	[W]	7,56	3,02	7,51	3,22	7,49	3,54
T _{hs}	[°C]	104	120	96	120	90	119
T _c , LED	[°C]	116	125	108	125	102	125
T _j , LED	[°C]	136	133	128	134	122	134
T_j, LED, limit	[°C]	150	150	150	150	150	150
LED Lümen Çıkışı	[lm]	934	468	970	490	993	525
Hedef	[lm]	720	---	720	---	720	---

Çizelge 4.9’da kanatçıklı soğutma sistemine sahip LED baskı devre kartının 25°C ve 85°C ortam koşulundaki sonuçları verilmiştir. Simülasyonlar sonucunda 25°C homologasyon istemleri sağlanmıştır. 85°C ortam koşulunda LED lehim noktalarında müsaade edilen 125°C sıcaklık limitine ulaşılmasından ve bu noktada aşılmasının istenmemesinden dolayı LED üzerinden geçen akım düşürülmüştür. LED üzerinde 25°C ortam koşulunda kısa hüzmeye fonksiyonunda sırasıyla 934 lm, 970 lm ve uzun hüzmeye fonksiyonunda 993 lm ışık çıktısı elde edilmiştir. 85°C motor altı kaput sıcaklığı durumunda kısa hüzmeye fonksiyonu için sırasıyla 468 lm, 490 lm ve uzun hüzmeye fonksiyonunda 525 lm ışık çıktısı elde edilmiştir. Kanatçıklı soğutma ile ortam sıcaklıkları arttırıldığında LED lehim noktası sıcaklığı ve bağlantı noktası sıcaklıkları limitlerinden dolayı akım düşüşü gerekmektedir. LED üzerinden geçen akımın düşmesinden kaynaklı LED’ler üzerinden kısa hüzmeye fonksiyonu için sırasıyla 468lm, 490lm ve uzun hüzmeye fonksiyonunda 525 lümen ışık çıktısı elde edilmiştir. LED üzerinden geçen akımın düşüşmesinden kaynaklı LED ışık çıktılarında düşmüştür.



Şekil 4.45. Sıvı soğutma için sıcaklık dağılımı

Şekil 4.45’de sıvı soğutmalı durumda bloklar üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde uzun hüzmeye ve kısa hüzmeye LED’lerinin homojen soğutulduğu görülmüştür. 25°C ortam koşulunda LED’ler üzerinde 63°C bağlantı noktası sıcaklığı hesaplanmıştır. Sıvı soğutmalı sistemde kanatçıklı soğutmaya göre LED’ler arasında sıcaklık farkının çok düşük olduğu gözlemlenmiş ve homojen sıcaklıklar elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Sıvı soğutma sonuçları

		Kısa Hüzme-1		Kısa Hüzme-2		Uzun Hüzme	
Ortam sıcaklığı	[°C]	25	85	25	85	25	85
Sürülen akım	[%]	100	100	100	100	100	100
I _f , LED	[mA]	1200	1200	1200	1200	1200	1200
P _{el} , LED	[W]	11,12	10,61	11,12	10,61	11,12	10,61
P _{th} , LED	[W]	7,67	7,49	7,67	7,49	7,67	7,49
T _{hs}	[°C]	30	90	30	90	30	90
T _c , LED	[°C]	42	102	42	102	42	102
T _j , LED	[°C]	63	122	63	122	63	122
T_j, LED, limit	[°C]	150	150	150	150	150	150
LED Lümen Çıkışı	[lm]	1099	995	1099	995	1099	995
Hedef	[lm]	720	---	720	---	720	---

Çizelge 4.10’da sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanın ait simülasyon sonuçları verilmiştir. 25°C ortam koşulunda bağlantı noktası sıcaklıkları 63°C hesaplanmıştır. Ortam koşulları 85°C olduğunda bağlantı noktası sıcaklıkları 122°C hesaplanmıştır. Kanatçıklı soğutmada 85°C ortam koşulunda LED’lerin güvenli bölge tutulması için akım düşüşü yapılmışken sıvı soğutmalı sistemde bu durum gözlemlenmemiştir. Tüm ortam koşullarında LED 1200mA akım değerinde sürülerek kısıtlı lümen düşüşleri görülmüştür. Sıvı soğutma ile LED sıcaklıkları arasında ışık çıktı miktarını etkileyecek kadar sıcaklık farkı olmadığından tüm LED’lerden 1099 lümen ışık çıktısı elde edilmektedir. 85°C ortam koşulunda akım düşüşü yaşanmadan güvenli limitler içerisinde tüm LED’lerden 995 lümen çıktısı elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. 85°C ortam koşulunda ön aydınlatma elemanı için kantçıklı ve sıvı soğutmalı blok sistem sonuçlarının karşılaştırması

		Kısa Hüzme-1		Kısa Hüzme-2		Uzun Hüzme	
		Sıvı Soğt.	Kanatçıklı Soğt.	Sıvı Soğt.	Kanatçıklı Soğt.	Sıvı Soğt.	Kanatçıklı Soğt.
Sürülen akım	[%]	100	45	100	48	100	52
I_f, LED	[mA]	1200	539	1200	570	1200	619
T _{hs}	[°C]	90	120	90	120	90	119
T _c , LED	[°C]	102	125	102	125	102	125
T _j , LED	[°C]	122	133	122	134	122	134
T_j, LED, limit	[°C]	150	150	150	150	150	150
LED Lümen Çıkışı	[lm]	995	468	995	490	995	525

Çizelge 4.11’de 85°C ortam koşulunda ön aydınlatma elemanı için kantçıklı ve sıvı soğutmalı blok sistem sonuçlarının karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Sıvı soğutmalı sistem ile akım düşüşü engellenmiştir. Aydınlatma miktarı kanatçıklı sisteme göre 2 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Sıvı soğutmalı sistem ile ön aydınlatma elemanı üzerinde kullanılan alüminyum nitrit (AlN) katkılı yüksek iletkenliğe sahip baskı devre kartıyla aydınlatma sağlandığında yüksek sıcaklıklara sahip ortam koşullarında sıvı soğutma sistemleriyle akım düşüşlerinin olmadığı görülmüştür. Buna paralel olarak LED ışık miktarlarının homologasyon değerleri üzerinde seyredilebileceği görülmüştür. Bu durumda tüm zorlu koşullara rağmen ışık çıktılarının yüksek kaldığı ve sürüş güvenliğine önemli derecede katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca sıvı soğutma sistem ile LED arasındaki sıcaklık farkı en aza indirilerek LED ömürlerinin aynı olması sağlanmıştır.

5. SONUÇ

Teknolojinin gelişmesiyle beraber otomotiv aydınlatma elemanlarında LED’li sistemlerin kullanılması giderek artmaktadır ve bu durum far gruplarında karşılaşılan problemleri değiştirmeye başlamıştır. Geleneksel filamanlı aydınlatma elemanlarında mekanik parçalar üzerinde oluşan problemler elektronik devre kartlarına kayarak daha karmaşık bir hal almıştır. Bu durum, LED’lerin ve elektronik komponentlerin termal yönetiminin önemini arttırmaktadır. Mevcut ön aydınlatma elemanlarında kullanılan geleneksel soğutma sistemleri sınırlı gövde hacimleri, homojen olmayan hacim ve sıcaklık dağılımları, düşük ortam sıcaklıklarında LED’lerin sınır sıcaklıklarına ulaşması gibi problemlere cevap verememektedir. Ayrıca sıcaklık artışına bağlı olarak ışık kalitesinde düşmelere neden olmaktadır. Bu problemlerin giderilmesi için alternatif soğutma tekniklerine yönelinerek araştırmalar yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında LED’lerde ısınma problemine sıvı soğutmalı blok tasarımlarıyla çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda iki farklı LED baskı devre kartı tasarımı yapılmış ve farklı sıvı soğutuculu blok tasarımları ile LED’li sistemlerin soğutma performansları HAD analizleri ve deneysel olarak incelenmiştir. Baskı devre kartının termal davranışlarını daha kolay inceleyebilmek amacıyla tasarlanan LED’li sistemin soğutmasız durumunun analizi ve deneysel çalışması yapılarak doğrulama işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Daha sonra tasarlanan devre kartları için farklı kanal yapısında blok tasarımları yapılarak HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda blok içi basınç düşüşleri teorik ve HAD yönetimiyle hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca LED üreticisinin bildirdiği kullanım kılavuzu doğrultusunda ışık çıktıları hesaplanmıştır. Soğutucu blok performansları incelenerek akış ve debi açısından çalışma aralıkları belirlenmiştir. Soğutucu blok tasarımları HAD simülasyonları ve testler ile desteklenerek doğrulaması yapılmıştır. Testlerin gerçekleştirilmesi için soğutucu akışkanın sirküle edileceği pompa tank grubu imal edilmiş ve blok çıkışındaki sıvının soğutulması için ısı değiştiricisi satın alınarak test düzeneği oluşturulmuştur. Test düzeneği üzerinde dolaşan sıvının debisini ölçmek için türbin tipi debimetre kullanılarak kontrol ünitesi üzerinden takip edilmiştir. Test düzeneğinin çalışabilmesi için 220V üzerinden beslenen kontrol ünitesi tasarlanarak imal edilmiştir. Bu ünite ile ısı değiştiricisi fanının açılıp kapanması, pompa voltajı üzerinden

debi kontrolü ve sistemdeki debinin takip edilebilmesi için gösterge yerleştirilerek testler başarıyla icra edilmiştir. İmal edilen iki farklı soğutucu blok prototipi ile dış ortamda baskı devre kartı üzerinden sıcaklıklar alınarak testler yapılmıştır. Karar verilen iki hücreli blok tasarımı ön aydınlatma elemanı üzerine yerleştirilerek homologasyon testi yapılmış ve sıcaklık ölçümleri alınarak simülasyonlar ile karşılaştırılmıştır. Ön aydınlatma elemanı üzerinde başarılı şekilde yapılan doğrulama çalışmasından sonra seri üretimde olan kanatçıklı soğutmaya sahip ön aydınlatma elemanı ile tüm fonksiyonların sıvı ile soğutulması durumunda oluşacak farklar incelenmiştir. Homologasyon durumu ve motor altı kaput sıcaklığında analizler yapılarak sıvı soğutmanın avantajları incelenmiştir. Sıvı soğutma ile yüksek sıcaklıklarda akım düşüşünün önlenilebileceği görülmüş ve gelecek çalışmalar için fikirler edinilmiştir.

Elde edilen önemli sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Genel değerlendirmeler

- Mevcut seri üretimde olan LED baskı devre kartının dışında LED sıcaklığını manüpüle etmeyecek tek LED'in olduğu baskı devre kartı başarıyla imal edilmiş ve analizler ile karşılaştırılmıştır. Baskı devre kartı üzerinden altı farklı noktadan sıcaklık ölçümü alınmış ve 10% hata oranının altında doğrulaması yapılmıştır.
- Soğutmasız ortamda doğrulaması yapılan LED baskı devre kartında en yüksek sıcaklık LED'e en yakın noktada meydana gelmiştir. LED etrafında hızlı sıcaklık eğiliminden kaynaklı ısıl-çift noktasının ve hassasiyetinin önemli olduğu görülmüştür. LED'in etrafındaki sıcaklık dağılımı yaklaşık 10mm/°C olarak gerçekleşmiştir.
- Soğutmasız LED baskı devre kartı üzerinde maksimum 108 °C hesaplanmış ve 510 lm ışık çıktısı alınabileceği görülmüştür. LED miktarının artmasıyla güçlü soğutma gerekliliği ortaya çıkmıştır.
- Soğutmasız LED baskı devre kartı üzerinde yapılan testlerde sıcaklığın 15-20 dakika içerisinde Sürekli rejime geçtiği görülmüş bir saatlik test sonunda sıcaklıkların değişmediği tespit edilmiştir.
- Soğutmasız LED baskı devre kartı kanatçıklı kapaklı tek hücreli blok ile birleştirilip doğrulama testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Soğutmasız durumda

olduğu gibi en yüksek hata değeri 3 numaralı ısıl-çift noktasında bulunmuştur. Tüm ölçüm noklarında hata oranları 10%'un altındadır.

- Üç aşamada ön tasarım çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar ışığında nihai blok tasarımları başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ön çalışmalar sonucunda LED üzerinde oluşan maksimum sıcaklık yüzde 47 oranında düşüş sağlanmıştır.
- Kurulan test düzeneğinde kullanılan pompanın minimum debi değerinde çalışılıp doğrulama çalışması yapılmış ve ön tasarım aşaması sonucunda tek debi değerinin yeterli olmadığı görülmüştür. Blok tasarımları sonucunda oluşan sıcaklıklar arasında belirgin farkların olmadığı tespit edilmiş, laminar akış bölgesinde debi miktarları düşürülmüştür.
- Nihai olarak tek hücreli kanatçıklı ve kanatçıksız kapaklara sahip soğutucu blok ve iki hücreli kanatçıksız kapak tasarımına sahip soğutucu blok üzerine çalışılmıştır. İki hücreli blok tasarımı ürün üzerinde uygulanarak başarılı şekilde doğrulaması yapılmıştır.
- Tüm blok tasarımlarında debinin artmasıyla blok içi soğutucu akışkan sıvı sıcaklığı düşmektedir. Ayrıca LED gücünün artmasıyla blok içi soğutucu akışkan sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Tek hücreli blok tasarımlarında blok içine giren soğutucu akışkan giriş noktasından itibaren ısınmaya başlamıştır. Fakat iki hücreli blok tasarımlarında soğutucu akışkan bağımsız hücrelerin içinde ısınmıştır.
- Basınç düşüşünü arttıran en önemli etkenin sirküle edilen debi miktarı ve blok kalınlığı olduğu görülmüştür. Debi arttıkça basınç düşüşlerinde eksponansiyel artışlar meydana gelmiştir. Baskı devre kartı üzerinde tüketilen gücün artışı basınç düşüşleri üzerinde etki yapmadığı görülmüştür.
- Blok içerisindeki debinin artmasıyla giriş çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkının azalması sistemde sirküle edilen sıvının giriş sıcaklık değerine geri soğutmasının kolay olmasını sağlamaktadır. Bu kolay soğutmanın getirdiği avantajın yanında pompa gücünün ve basınç düşüşünün artması durumu göz ardı edilmemelidir.
- LED gücünün ortalama Nusselt sayısına kayda değer etki etmediği gözlemlenmiştir. Kanatçıklı yapının kanatçıksız yapıya göre ortama Nusselt sayısı daha fazla olduğu görülmüştür. Tüm durumlarda Nusselt sayısının artış miktarı benzer davranış sergilemektedir.

Tek hücreli Blok tasarımı sonucunda elde edilen sonuçlar

- 3W tek hücreli kanatçiksız blok ile kanatçıklı durumlar karşılaştırıldığında kanatçiksız soğutucu blok üzerindeki LED baskı devre kartının daha sıcak olduğu görülmüştür. En düşük debide kanatçıklı ve kanatçiksız bloklar arasında sıcaklık farkı yaklaşık 1°C ' iken en yüksek debide bu fark yaklaşık $0,5^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmüştür.
- 3W kanatçiksız blok ile en düşük ve en yüksek debide sırasıyla $68,44^{\circ}\text{C}$ ve $66,77^{\circ}\text{C}$ hesaplanarak $1,67^{\circ}\text{C}$ fark olduğu görülmüştür. Ayrıca 3W kanatçıklı blok ile en düşük ve en yüksek debide sırasıyla $67,55^{\circ}\text{C}$ ve $66,21^{\circ}\text{C}$ elde edilmiş ve $1,45^{\circ}\text{C}$ fark hesaplanmıştır. Kanatçıklı ve kanatçiksız yapıda debilere göre sıcaklık düşüşleri birbirine yakın olmuştur. Kanatçıklı yapı ile daha fazla soğutma yapılsada farkın çok olmadığı görülmüştür.
- 7W analizlerindedeki debi miktarı arttıkça maksimum sıcaklık miktarı düşmüştür. Kanatçıklı ve kanatçiksız soğutucu bloklar karşılaştırıldığında en yüksek debi değerinde kart üzerindeki sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık 2°C fark olduğu görülmüştür. Debi miktarı arttırıldıkça bu fark 1°C 'ye düşmüştür.
- 7W kanatçiksız blok ile en düşük ve en yüksek debide sırasıyla $126,2^{\circ}\text{C}$ ve $123,1^{\circ}\text{C}$ hesaplanarak $3,1^{\circ}\text{C}$ fark olduğu görülmüştür. Ayrıca 7W kanatçıklı blok ile en düşük ve en yüksek debide sırasıyla $128,3^{\circ}\text{C}$ ve $124,5^{\circ}\text{C}$ elde edilmiş ve $3,8^{\circ}\text{C}$ fark hesaplanmıştır. Sıvı soğutma ile LED baskı devre kartı çalışma aralıklarına kadar soğutulmuştur.
- Düşük güç değerlerinde kanatçıklı ve kanatçiksız kapak ile soğutmanın etkisi kısıtlı olmuştur. Güç değerleri arttırıldığında kapak üzerine eklenen soğutucu yapıların etkisi daha belirgin görülmüştür.
- 3W ve 7W güç değerlerinde blok içi akış hızlarına bir etki olmamıştır. Kanatçıklı yapıyla kapak ile blok içi akışta silindirik yapıların olmasından kaynaklı hızlanmalar ve silindirik yapıların arka kısımlarında akış için ölü bölgeler oluşmuştur. Akışkanın her zaman en kolay yolu tercih etmesi kanatçiksız blok tasarımında daha belirgin halde görülmüştür.
- Tek hücreli blok tasarımında 3W ve 7W güç değerlerinde basınç düşüşleri benzer eğilimler sergilemiştir. Kapaklar üzerine kanatçıkların eklenmesi basınç düşüşlerinde az etki yapmıştır.

İki hücreli Blok tasarımı sonucunda elde edilen sonuçlar

- İki hücreli blok için debi miktarı arttıkça hücreler içindeki kanal dönüşlerinde hızların artış gösterdiği ve sıvının en kolay akış yönünü seçtiği daha rahat gözlemlenmektedir.
- Blok girişinde ki akışkanı yönlendirici ve ayırıcı tasarımın etkinliği debi arttıkça daha rahat görülmüş teorik olarak akışı ikiye böldüğü görülmüştür. Düşük debide hücreler içinde dönüş noktalarında ölü bölgeler her iki köşede oluşmuştur. Debi arttıkça soğutucu sıvının en kolay yolu seçmesinden kaynaklı dönüşlerdeki ölü bölgelerin yeri değişmiştir
- İki hücreli blok tasarımında debi miktarı arttıkça giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı da azalmaktadır. Tek LED'li baskı devre kartı için en yüksek ve en düşük debi durumunda giriş çıkış sıcaklık farkı sırasıyla 2,82°C ve 0,05°C olmuştur. Dört LED'li baskı devre kartı için bu durum sırasıyla 10,47°C ve 0,15°C gerçekleşmiştir.
- İki hücreli blok tasarımlarında teorik ve HAD ile hesaplanan basınç düşüşleri arasında fazla %10 fark oluşmuştur. Debi miktarı arttıkça teorik ve HAD basınç düşüşleri arasındaki fark artmıştır. Bu durum nedeni akışın türbülanslı bölgeye yaklaşmasından kaynaklı olduğu görülmüştür. Teorik hesapların laminar bölge için yapıldığı ve türbülanslı bölge yaklaştıkça basınç düşüşleri arasındaki farklar açılmıştır. Ayrıca LED sayısının artırılmasıyla blok içi basınç düşüşünün etkilenmediği gözlemlenmiştir.
- İki hücreli blok tasarımlarda debinin artmasıyla jonksion sıcaklıkları düşmektedir. Tek LED'li baskı devre kartı için bu düşüş 0,02kg/s debi değerinden sonra kayda değer bir düşüş değildir ve en yüksek ve en düşük debi değerlerinde bağlantı noktası sıcaklık düşüşü 2,24°C olmuştur. Baskı devre kartında LED sayısının artmasıyla bağlantı noktası sıcaklıklarında yaklaşık 10°C düşüş sağlanmıştır.
- Soğutmasız LED baskı devre kartından 510 lm ışık çıktısı elde edilmektedir. Aynı kartın iki hücreli sıvı soğutmalı durumunda yaklaşık 562 lm ışık çıktısı elde edilerek 10% daha fazla ışık çıktısı elde edilmiştir. Ayrıca daha düşük jonksion sıcaklıklarından kaynaklı LED ömründe artışlar medana gelmiştir

Sıvı soğutmalı ön aydınlatma elemanı için sonuçlar

- Ön aydınlatma elemanı uzun hüzme fonksiyonu üzerine yerleştirilen iki hücreli soğutucu blok ile yapılan testler ve simülasyonlar başarıyla gerçekleştirilmiştir. Baskı devre kartı üzerinden iki farklı noktadan sıcaklık değeri alınarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda hata oranlarının 10% altında olduğu görülmüştür.
- Sıvı soğutmalı far grubu üzerine yerleştirilen LED baskı devre kartı üzerinde 66,58°C jonksion sıcaklığı hesaplanmış ve teorik olarak 563 lm ışık çıktısı elde edilmiştir.
- Sıvı soğutmanın etkisini daha iyi inceleyebilmek için seri üretimde olan doğal taşınım ile soğutma yapılan kanatçıklı sistem ile sıvı soğutmalı sistem başarıyla karşılaştırılmıştır.
- Mevcut seri üretimdeki ürün ile istenilen homologasyon değeri başarıyla sağlanmış 85°C ortam koşulunda 125°C LED lehim altı sıcaklık limitinin geçilmemesi için akım düşüşü sağlanmıştır. Tüm foksionlar sürekli açık konumda kanatçıklar üzerinde maksimum 104°C sıcaklık hesaplanmıştır. Sırasıyla diğer iki kanatçıkta 96°C ve 90°C sıcaklık oluşmuştur. Far gövdesinin yapısı nedeniyle kanatçıklar arasında 14°C sıcaklık hesaplanmıştır.
- 25°C ortam koşulunda kısa hüzme fonksiyonunda sırasıyla 934 lm, 970 lm ve uzun hüzme fonksiyonunda 993 lm ışık çıktısı elde edilmiştir. 85°C motor altı kaput sıcaklığı durumunda akım düşüşü nedeniyle kısa hüzme fonksiyonu için sırasıyla 468 lm, 490 lm ve uzun hüzme fonksiyonunda 525 lm ışık çıktısı elde edilmiştir.
- Sıvı soğutmalı sistem ile 25°C ortam koşulunda LED bağlantı noktası sıcaklıkları 63°C hesaplanmıştır. Ortam koşulları 85°C olduğunda bağlantı noktası sıcaklıkları 122°C hesaplanmıştır. Kanatçıklı soğutmada 85°C ortam koşulunda LED'lerin güvenli bölge tutulması için akım düşüşü yapılmışken sıvı soğutmalı sistemde bu durum gözlemlenmemiştir
- Tüm ortam koşullarında sabit 1200mA akım değerinde sürülerek kısıtlı lümen düşüşleri görülmüştür. Sıvı soğutma ile LED sıcaklıkları arasında ışık çıktı miktarını etkileyecek kadar sıcaklık farkı olmadığından tüm LED'lerden 1099 lümen ışık çıktısı elde edilmektedir. 85°C ortam koşulunda akım düşüşü

yaşanmadan güvenli limitler içerisinde tüm LED'lerden 995 lümen çıktısı elde edilmiştir.

- Sıvı soğutmalı durumda düşük ısıl dirençli baskı devre kartı kullanıldığı takdirde 85°C ortam koşulunda bile homologasyon değerleri elde edilebileceği görülmüştür. Geleneksel soğutma sistemlerinin getirdiği yüksek sıcaklıklara sahip ortam koşullarında akım düşüşü gerekliliğinin ortadan kalktığı ortaya çıkmıştır.
- Sıvı soğutmalı sistemlerde ışık çıktılarının yüksek kaldığı ve sürüş güvenliğine önemli derecede katkı sağlayacağı görülmüştür. Ayrıca sıvı soğutma sistem ile LED arasındaki sıcaklık farkı en aza indirilerek LED ömürlerinin sıcaklıktan kaynaklı ömürlerinin birbirine yakın olması sağlanmıştır.
- Geleneksel soğutma sistemlerine sahip LED devre kartları arasındaki sıcaklık farkından dolayı LED ömürlerinde değişiklik olacaktır. Bu LED'ler arasındaki farklardan kaynaklı ön aydınlatma elemanının kullanım ömründe kısılcaktır. Bu nedenden kaynaklı sıvı soğutma ile homojen LED sıcaklıklarının elde edilmesinden dolayı uzun ömürlü ürünler elde edilebilecektir.

Gelecek Çalışmalar için öneriler

Tez süresince laminar akış bölgesinde sıvı soğutmalı LED baskı devre kartının çalışmaları yapılmış ve mevcut seri üretimde olan pasif soğutmalı ön aydınlatma elemanı ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmalar süresince blok içi laminar akış bölgesinde çalışılmış ve teorik hesaplamalar bu bölge için yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda blok içi akışlar için türbülanslı akış bölgesinde çalışılıp teorik basınç düşüşleri hesaplanıp HAD ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.

Tez süresince ön aydınlatma elemanı için blok tasarımı ve uygulaması üzerine çalışılmıştır. Gelecek çalışmalarda sıvı soğutmalı far grubunun araç üzerine montajlanarak araç üstü tasarımları yapılabilir. Sirkülasyon pompası, soğutucu akışkanın motor kompartmanından temin edilip soğutucu sisteminin belirlenmesi üzerine çalışarak araç üstü test ve simülasyonları yapılabilir. Araç üzerine montajlanan sıvı soğutmalı far grubunun yol testleri yapılarak araç üstü ışık dağılımı ve lümen ölçümleri alınarak mevcut seri ürün ile karşılaştırılması yapılabilir. Ayrıca sıvı soğutmalı tek kart üzerinden uzun hüzme ve kısa hüzme fonksiyonunu yerine getirebilecek mercekli far grupları

tasarlanabilir. Yüksek teknolojikli baskı devre kartı kullanılarak motor altı kaput sıcaklıklarında akım düşüşü olmadan yol aydınlatması sağlanabilir.

Tez süresince incelenen blok tasarımları elektrikli araçlar üzerindeki batarya sistemlerinin termal açıdan yönetilmesi konusundaki çalışmaların yürütülmesine imkân sağlayacaktır. Batarya hücrelerinin homojen olarak soğutulmasıyla araç menzili ve batarya ömrü üzerine çalışmalar yürütülmesine imkân vermesi düşünülmektedir. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların termal yönetim sistemine entegre edilmesiyle ön aydınlatma sistemlerinin sıvı ile soğutulması imkanı dahada kolaylaşarak sürüş güvenliğine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

Alvarado, b., Li, P., Liu, H., Guerrero, A. 2011. CFD study of liquid-cooled heat sinks with microchannel flow field configurations for electronics, fuel cells, and concentrated solar cells. *Applied Thermal Engineering*, 31: 2494 – 2507.

Alvarado, B., Feng, B., Peterson, G. 2013. Comparison and optimization of single-phase liquid cooling devices for the heat dissipation of high-power LED arrays. *Applied Thermal Engineering*, 59: 648 – 659.

Al-Neama, A. F., Kapur, N., Summers, J., Thompson, H.M. 2017. An experimental and numerical investigation of the use of liquid flow in serpentine microchannels for microelectronics cooling. *Applied Thermal Engineering*, 116: 709-723.

Bender V. C., Marchesan T. B., Alonso J. M. 2015. Solid-State Lighting: A Concise Review of the State of the Art on LED and OLED Modeling. *IEEE Industrial electronics Magazine*. 9 (2): 6 – 16.

Cheng T., Luo X., Huang S., 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.

Choi, S., Kim, Y., Byun S., Choi K. 2011. A Study on Predictable Program of LED Junction Temperature in Natural Convection. 9th International Symposium on Automotive Lighting, 27-28 September, Darmstadt, Germany.

Deng, Y., Liu, J., Zhou Y. 2009. Liquid Metal Based Mini/Micro Channel Cooling Device. 7th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels 22-24 June, 2009, Pohang, South Korea.

Deng, Y., Liu, J. 2010. A liquid metal cooling system for the thermal management of high power LEDs. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37: 788–791.

Fratty H., Stern D., Berner S., Benoit C. 2009. LED Technologies In Automotive Exterior Lighting, *Driving Vision News Technical Survey*, www.drivingvisionnews.com

Faranda, R., Guzzetti, S., Lazaroiu G., Leva, S. 2012. Refrigerating liquid prototype for LED's thermal management. *Applied Thermal Engineering*, 48: 155 – 163

Idelchik, I.E. 1986. Handbook of Hydraulic Resistance. *Hemisphere Publishing*. New York.

Jou R.Y. 2010. Heat transfer analysis of the high-power LED lamp with liquid cooled package. *Proceedings of the ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, 12-18 November, Vancouver, British Columbia, Canada.

Kang S., Miller D., Cennamo J. 2007. Closed loop liquid cooling for high performance computer systems. *Proceedings of IPACK2007*, 8-12 July, Vancouver, British Columbia, Canada.

Keppens A., Chen h., Lu Y., Chen Z., Gao Y., Deconinck G., 2011. Hanselaer P., Light-emitting diode junction temperature and power Determination from forward current. *Light & Engineering*, 19(1): 34-44.

Kikuchi, K. 2011. Thermal simulation of LED unit for Headlamp and Rear lamp. 9th International Symposium on Automotive Lighting, 27-28 September, Darmstadt, Germany.

Lai, Y., Cordero, N., Barthel, F., Tebbe, F., Kuhn, J., Apfelbeck, R., Würtenberger D. 2009. Liquid Cooling of Bright LEDs for Automotive Applications. *Applied Thermal Engineering*, 29: 1239 – 1244

Liu S., Lin T., Luo X, Chen M., Jiang X. 2006. A microjet array cooling system for thermal management of active radars and high-brightness LEDs. 56th Electronic Components and Technology Conference, 30 May-2 June, San Diego, CA, USA

Liu, S., Yang, J., Gan. Z., Luo, X. 2008. Structural optimization of a microjet based cooling system for high power LEDs. *International Journal of Thermal Sciences*, 47: 1086 – 1095

Liu, H., Li, P., Lew, J. 2010. CFD study on flow distribution uniformity in fuel distributors having multiple structural bifurcations of flow channels *International Journal Of Hydrogen Energy*, 35: 9186 – 9198.

Liu, H., Li, P., Lew J., Robles D. 2012. Experimental study of the flow distribution uniformity in flow distributors having novel flow channel bifurcation structures. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 37: 142 – 153.

Liu, D., Zhao, F., Yang H., Tang, G. 2015. Thermoelectric mini cooler coupled with micro thermosiphon for CPU cooling system. *Energy*, 83: 29 – 36

Luo X., Liu S. 2007. A microjet array cooling system for thermal management of high-brightness LEDs. *IEEE Transactions On Advanced Packaging*, 30(3)

Maharudrayya, S., Jayanti, S., Deshpande, A.P. 2004. Pressure losses in laminar flow through serpentine channels in fuel cell stacks. *Journal Power Sources* 138: 1-13.

Mirmanto, M. 2013. Developing Flow Pressure Drop and Friction Factor of Water in Copper Microchannels. *Journal of Mechanics Engineering and Automation* 3(2013): 641-649.

Moffat R. J. 1988. Describing the Uncertainties in Experimental Results. *Experimental Thermal. Fluid Science*, 1: 3–17.

- Olesen, K., Bredtmann, R., Eisele, R. 2006.** Shower power: new cooling concept for automotive applications. *Proceedings of the Automotive Power Electronic*.
- Philips, R.J. 1987.** Forced-convection. Liquid-cooled microchannel heat sinks. Master Thesis. *Massachusetts Institute of Technology*. Cambridge. MA
- Rada, N., Triplett G. 2010.** Thermal and spectral analysis of self-heating effects in high-power LEDs. *Solid-State Electronics*, 54: 378 – 381
- Sakanova A., Tong CF, Tseng K. J., Simanjorang R., Gupta A. K., 2016.** Weight consideration of liquid metal cooling technology for power electronics converter in future aircraft. *IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference*, 5-8 December, Auckland, New Zealand
- Shah, R.K., London, A.L. 1978.** Laminar Flow Forced Convection in Ducts. *Supplement 1 to Advances in Heat Transfer*. Academic Press. New York. 1978.
- Shah, R.K. 1978.** A correlation for laminar hydrodynamics entry length solution for circular and noncircular ducts. *J. Fluids Engineering* 100:177-179.
- Sorensen H, Bertel S. N. 2011.** Design of miniature liquid cooler for LED. 8th Thermal Engineering Joint Conference, 13-17 March, Honolulu, Hawaii, USA.
- Sufian, S., Fairuz, Z., Zubair M., Abdullah, M., Mohamed J. 2014.** Thermal analysis of dual piezoelectric fans for cooling multi-LED packages *Microelectronics Reliability*, 54: 1534 – 1543
- Tamdogan E., Arik M., Dogruoz M. B. 2013.** Direct liquid cooling of high flux LED systems: hot spot abatement. *Proceedings of the ASME 2013 International Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Microsystems* 16-18 July, Burlingame, CA, USA
- Tsai, M., Chen, C., Kang, C. 2012.** Thermal measurements and analyses of low-cost high-power LED packages and their modules. *Microelectronics Reliability*, 52: 845 – 854
- Wang, R., Li, J., 2010.** A Cooling System with a Fan for Thermal Management of High-Power LEDs. *Journal of Modern Physics*, 1: 196-199.
- Yang C., Yeh C., Huang K., Tsai S. 2009.** Development of a mini liquid cooling system for high heat flux electronic devices, *Proceedings of the ASME 2009 7th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels*, 22-24 June, Pohang, South Korea.
- Yung, K., Liem, H., Choy, H., Lun W., 2010.** Thermal performance of high brightness LED array package on PCB. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37: 1266 – 1272

Yeo, J., Leea, H., Haa, S., Leea, S., Gub, Y., Kimc J. 2011. Development of Cooling System of LED Headlamp for Vehicle Using Vapor Chamber Type Heat Pipe. 10th International Heat Pipe Symposium, 6-9 November, Taipei, Taiwan

Zhao, X., Cai, Y., Wang, J., Li, X., Zhang C. 2015. Thermal model design and analysis of the high-power LED automotive headlight cooling device. *Applied Thermal Engineering*, 75: 248 – 258

Anonim 2006. Fluent 6.3 User's Guide, Lebanon NH USA Fluent Inc., 183

Anonim 2019. <http://knowhow.napaonline.com/fire-automotive-lighting-history/>

Anonim 2020. Osram Oslon Black flat LED dataset
<https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-6185529/KW%20H5L531.T E EN.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet AKTAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Amasya 05.06.1989
Yabancı Dil : İngilizce, İtalyanca

Eğitim Durumu

Lise : Bozüyük Anadolu Öğretmen Lisesi
Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği / 2011
Yüksek Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D,
Enerji-Termodinamik B.D. / 2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Starwood Orman Ürünleri A.Ş 2015
: Marelli Mako Turkey Elektrik Sanayi Ticaret A.Ş
2015- Günümüz.

İletişim (e-posta): mehmet.aktas@marelli.com

Yayımları:

Kılıç M., Aktaş M., Sevilgen G., 2020. Thermal assessment of laminar flow liquid cooling blocks for led circuit boards used in automotive headlight assemblies. *Energies* 13(5), 1202.

Öztürk, E. Aktaş, M. Şenyüz. T. 2020. Sunload analysis and testing on automotive front lighting products. *Light & Engineering*, Vol. 28(1), 116–122.

Aktaş, M.; Şenyüz, T.; Şenyıldız, T. Kılıç, M. 2018. Liquid Cooling Applications on Automotive Exterior LED Lighting. *AIP Conference Proceedings* 1935, 060003.

Aktaş M., Sevilgen G., Kılıç M., 2019. Design and performance evaluation of liquid cooling blocks with fins for LED circuit boards used in automotive lighting systems” ULIBTK’19 22th Congress of Thermal Sciences and Technology, 11-14 September Kocaeli.

Bayraktar M.E., Aktaş M. 2017. Impact of sizing on the temperature of automotive lighting products” 4. International Conference On Heat Transfer And Fluid Flow, 8-10 June, Roma, Italy.

Ediz, B.; Öz, M.; Aktaş, M.; Şenyüz, T. Sözügüzel, B. Ö. 2018. A multiphysics approach to an automotive headlamp low beam cut-off line. *AIP Conference Proceedings*, 2042, 020003.

Kılıç M., Aktaş M., Sevilgen G., 2019."Liquid Cooling Performance of the Single and Multi LED Circuit Boards Used in Automotive Lighting Systems" 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies, 18-21 June, Split, Croatia.

Kılıç M., Aktaş M., Sevilgen G., Kaya Ş., 2018."the numerical and experimental investigation of the thermal performance of led circuit boards used in automotive lighting systems" 9th International Automotive Technologies Congress,7-8 May, Bursa.

Öz M., Aktaş M., 2018. Araç aydınlatma sistemlerinde farklı polimer malzemelerin parça üzerindeki etkisinin incelenmesi" Uluslararası Katılımlı VII. Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi, 9 - 12 Eylül, Eskişehir.

Tekkalmaz M, Aktaş M., 2013. Sinüsoidal duvarlı kapalı kare geometride yüzey ışınımı ile doğal taşınımın sayısal incelenmesi, 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 09-12 Eylül, Samsun.

Patentler:

Patent Numarası: 2015/11428. *Bir Taşıt Lambası Tertibatı.* Türk Patent ve Marka Kurumu.

Projeler:

TÜBİTAK 1505, Proje Numarası 5160107. Otomotiv LED Aydınlatma Ürünleri İçin Yenilikçi Soğutma Sistemi Geliştirilmesi, Tasarımı Ve Prototip İmalatı Projesi.