

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİCARİ ARAÇLARIN YÜKSEK AKIM GÜÇ DEVRELERİ İÇİN
PASİF SOĞUTUCU TASARIMI VE TERMAL PERFORMANS
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamdi YILDIZ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Bilim Dalı

HAZİRAN 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİCARİ ARAÇLARIN YÜKSEK AKIM GÜÇ DEVRELERİ İÇİN
PASİF SOĞUTUCU TASARIMI VE TERMAL PERFORMANS
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamdi YILDIZ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zekeriya PARLAK

HAZİRAN 2024

Hamdi YILDIZ tarafından hazırlanan “Ticari Araçların Yüksek Akım Güç Devreleri İçin Pasif Soğutucu Tasarımı Ve Termal Performans Analizi ” adlı tez çalışması 16.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı **Enerji** Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “TİCARİ ARAÇLARIN YÜKSEK AKIM GÜÇ DEVRELERİ İÇİN PASİF SOĞUTUCU TASARIMI VE TERMAL PERFORMANS ANALİZİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../2024).

(imza)

Hamdi YILDIZ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Zekeriya PARLAK'a, bu süreçte beni destekleyen ve her konuda yardımlarını esirgemeyen, SANEL AŞ. Firmasına ve yine tüm destekleriyle yanımda olan değerli eşim ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Hamdi YILDIZ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Elektronik Bileşenleri.....	5
2.1.1. Çalışma koşulları ve çevresel faktörler	6
2.2. Güç Elektroniği	6
2.3. Termal Yönetimin Önemi	7
2.4. Pasif Soğutmaya Genel Bakış	8
2.5. Isı Emiciler	9
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER.....	11
3.1. Isının Mekanizması	11
3.2. Fourier Kanunu	13
3.3. Isı İletim Katsayısı	15
3.4. Newton'un Soğutma Yasası	15
3.5. Işınım ile Isı Transferi	16
3.6. Kanatlı Yapılarda Isı Transferi.....	17
3.7. Grashof Sayısı	18
3.8. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Temel Denklemleri.....	18
3.8.1. Süreklilik	19
3.8.2. Navier- Stokes (momentum) denklemi	19
3.8.3. Enerji denkliği.....	20
3.9. Otomotiv Endüstrisi Mekanik Test Standartları.....	20
3.10. Yöntemler	21
3.10.1. Tasarım hususları	24
3.10.2. Tasarım süreci	25
3.10.2.1. Elektronik performans bilgileri	26
3.10.2.2. Tasarım kriterleri.....	27
3.10.2.3. Isı emici tasarımı	34
3.10.2.4. Yan kapak ve üst kapak tasarımı.....	41
3.10.2.5. Ürün genel tasarımı	43
3.10.3. Prototip Süreci.....	44
4. HAD ANALİZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA.....	47
4.1. Analizlere Uygun Tasarım Basitleştirilmesi	47

4.2. Sınır Koşullarının Belirlenmesi	48
4.3. Çözüm Ağı Oluşturulması	56
5. HAD ANALİZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI.....	59
5.1. HAD Analizi Sonuçları	59
5.2. Prototipin Deneysel Testleri	62
5.2.1. Test düzeneği kurulumu	63
5.2.2. Testlerin işleyişi	66
5.2.3. Test sonuçları	66
5.3. HAD Analizi ve Prototip Testlerinin Karşılaştırılması	69
5.4. Optimal Tasarım	70
5.5. Optimal Tasarım HAD Analizi Sonuçları	74
5.6. İlk Tasarım ve Optimal Tasarım HAD Analizi Kıyaslaması	77
6. SONUÇ.....	81
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	87



KISALTMALAR

CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplama Akışkanlar Dinamiği)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
HAD	: Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
IC	: Integrated Circuit (Entegre Devre)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
TAM	: Termal Arayüz Malzemesi
MOSFET	: Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör)



SİMGELER

ρ	: Yoğunluk [kg/m ³]
h	: Entalpi [kJ/kg]
t	: Zaman [s]
m	: Kütle [kg]
A	: Alan [m ²]
V	: Hacim [m ³]
L	: Dikey Uzunluk [m]
p	: Basınç [Pa]
T	: Sıcaklık [K]
T_s	: Yüzey Sıcaklığı [K]
T_∞	: Çevre Sıcaklığı [K]
μ	: Dinamik Viskozite [Pa.s]
ν	: Kinematik Viskozite [m ² /s]
u, v, w	: Hız Bileşenleri [m.s]
k	: Isıl İletkenlik Katsayısı [W/m·K]
h	: Isı Transfer Katsayısı [W/m ² ·K]
σ	: Stefan-Boltzmann Sabiti [W/m ² ·K ⁴]
ε	: Yayıcılık Değeri
Δ	: Değişim Operatörü
Gr	: Grashof Sayısı
β	: Hacimsel Genleşme Katsayısı [1/K]
∇	: Nabla Operatörü (Gradient)
Φ	: Viskoz Yitim Fonksiyonu
g_x, g_y, g_z	: Yerçekimi Bileşenleri [m/s ²]
Q_{iletim}	: İletimle Transfer Edilen Isı Miktarı [W]
$Q_{taşınım}$	: Taşınım ile Transfer Edilen Isı Miktarı [W]
$Q_{ışınım}$	: Işınım ile Transfer Edilen Isı Miktarı [W]
q	: Isı Akısı [W/m ²]
∇^2	: Laplace Operatörü
P	: Güç [W]

I : Akım [A]
R, Ω : Direnç [ohm]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Alüminyum ve Bakır Malzeme Özellikleri.....	28
Tablo 4.1. Çözüm Ağı Detayları	58





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Elektronik bileşen örnekleri.....	5
Şekil 2.2..Elektronik cihazların bozulma sebepleri [7].....	8
Şekil 2.3. Pasif soğutma sistemine sahip ısı emici tipleri [2]	10
Şekil 3.1. Isı transfer mekanizmaları [12].....	12
Şekil 3.2. Tek boyutlu ısı iletim mekanizması [13]	13
Şekil 3.3. İki boyutlu ısı iletim mekanizması [14].....	14
Şekil 3.4. Sıcaklık değişim hızına bağlı olarak ısı geçiş yönleri [14].....	14
Şekil 3.5. Farklı maddelerin ısı iletim katsayıları (Normal şartlar altında) [14].....	15
Şekil 3.6. Sıcaklık homojen kabul edildiğinde kanat yapısında ısı transferi [13].....	17
Şekil 3.7. Isı emici tasarım aşamaları algoritması	23
Şekil 3.8. Isı emici tasarım aşamalarına genel bakış	25
Şekil 3.9. Yüzey montaj teknolojisi ile tasarlanmış elektronik devre kartı	27
Şekil 3.10. Isı geçişi bölgesindeki katmanlar.....	29
Şekil 3.11. Elektronik devre ebatları	35
Şekil 3.12. Isı emici ebatları (mm).....	36
Şekil 3.13. Isı emici kanat yapısı	36
Şekil 3.14. Kanatlar arası mesafe ve kanat uzunluğu (mm)	37
Şekil 3.15. Kanat kalınlığı ve taban yüzey kalınlığı (mm)	38
Şekil 3.16. Isı emici yüzey alanı arttırıcı bölgeler	40
Şekil 3.17. Isı emici ile Elektronik Kartın Montajı.....	40
Şekil 3.18. Yan kapak ve üst kapak tasarımları (a) yan kapaklar (b) üst kapak	43
Şekil 3.19. DC-DC Dönüştürücü genel ürün tasarımı	44
Şekil 4.1. Elektronik devrenin ağ yapısına uygun basitleştirilmesi (a) gerçek hali (b) basitleştirilmiş hali.....	48
Şekil 4.2. Ürünün ağ yapısına uygun basitleştirilmesi (a) gerçek hali (b) basitleştirilmiş hali.....	48
Şekil 4.3. DC-DC Dönüştürücü analiz geometri datası muhafaza hacmi.....	49
Şekil 4.4. Muhafaza hacmi sınır koşulları	51
Şekil 4.5. Isı kaynağı olarak belirlenen bileşenler	52
Şekil 4.6. Bobin teknik dokümanı direnç değeri	54
Şekil 4.7. N Ch Mosfet akım sıcaklık direnç eğrisi	55
Şekil 4.8. P Ch Mosfet akım sıcaklık direnç eğrisi.....	55
Şekil 4.9. Elektronik bileşenler güç değerleri.....	56
Şekil 4.10. Çözüm ağı yapısı	57
Şekil 5.1. HAD analizi sıcaklık dağılımı	59
Şekil 5.2. HAD analizi katı cisim sıcaklık sonucu 120°C gösterge.....	60
Şekil 5.3. HAD analizi katı cisim sıcaklık sonucu 90°C gösterge.....	60
Şekil 5.4. HAD analizi hız vektörleri.....	61
Şekil 5.5. HAD analizi akış desenleri	62
Şekil 5.6. DC güç kaynağı	63
Şekil 5.7. Prototip DC-DC dönüştürücü	64

Şekil 5.8. Elektronik yük cihazı	64
Şekil 5.9. Akım ölçüm cihazı	65
Şekil 5.10. Termal kamera	65
Şekil 5.11. Deney düzeneği.....	66
Şekil 5.12. Deneysel test sıcaklık grafiği	67
Şekil 5.13. Ürün kapak bölgesi termal kamera ölçümü	68
Şekil 5.14. Isı emici termal kamera ölçümü.....	69
Şekil 5.15. HAD analizi ve prototip deneysel test kıyaslaması (a) HAD analiz sonucu (b) Prototip deneysel test sonucu	70
Şekil 5.16. Optimal ısı emici tasarımı (a) Analizleri yapılan ısı emici (b) Geliştirilmiş ısı emici	72
Şekil 5.17. Optimal üst kapak tasarımı (a) Analizleri yapılan üst kapak (b) Geliştirilmiş üst kapak.....	73
Şekil 5.18. Optimal yan kapakların tasarımı (a) Analizleri yapılan konnektör boşluklu yan kapak (b) Geliştirilmiş konnektör boşluklu yan kapak.....	73
Şekil 5.19. Optimal yan kapakların tasarımı (a) Analizleri yapılan yan kapak (b) Geliştirilmiş yan kapak	74
Şekil 5.20. Optimal tasarım HAD analizi sıcaklık dağılımı	74
Şekil 5.21. Optimal tasarım HAD analizi katı cisim sıcaklık sonucu 120°C gösterge	75
Şekil 5.22. Optimal tasarım HAD analizi katı cisim sıcaklık sonucu 90°C gösterge	76
Şekil 5.23. Optimal tasarım HAD analizi hız vektörleri.....	76
Şekil 5.24. Optimal tasarım HAD analizi akış desenleri	77
Şekil 5.25. İlk tasarım ile optimal tasarım HAD analizi sıcaklık sonucu karşılaştırması (a) İlk tasarım (b) Optimum tasarım	78
Şekil 5.16. İlk tasarım ile optimal tasarım HAD analizi hız sonucu karşılaştırması (a) İlk tasarım (b) Optimum tasarım	79

TİCARİ ARAÇLARIN YÜKSEK AKIM GÜÇ DEVRELERİ İÇİN PASİF SOĞUTUCU TASARIMI VE TERMAL PERFORMANS ANALİZİ

ÖZET

Elektronik cihazların çağımızdaki hızlı gelişimi ve yaygın kullanımı, teknolojik ilerlemenin bir yansıması olarak öne çıkmaktadır. Özellikle endüstriyel sektörlerden tüketici elektroniğine kadar geniş bir yelpazede yaygınlaşan yüksek güç gerektiren elektronik devreler, bu gelişmenin önemli bir itici gücü haline gelmiştir. Bu devreler, enerji dönüşümü, kontrolü ve iletimi gibi kritik işlevleri yerine getirirler ve modern teknolojik altyapının temel taşlarından birini oluştururlar.

Yüksek güç gerektiren elektronik devrelerden birisi olan DC-DC dönüştürücüler, bir elektrik enerjisi dönüştürücüsü türüdür ve doğru akım (DC) kaynağından gelen elektrik enerjisini farklı bir gerilim seviyesine dönüştürürler. Bu dönüşüm işlemi genellikle bir gerilim seviyesinden daha yüksek veya daha düşük bir gerilim seviyesine gerçekleştirilir.

Bu dönüştürücüler, elektronik cihazlarda, endüstriyel donanımlarda, güneş enerjisi sistemlerinde, elektrikli araçlarda ve birçok diğer uygulamada yaygın olarak kullanılır. Örneğin, bir aküden gelen düşük gerilimli bir güç kaynağının, yüksek gerilimli bir cihaza veya devreye uygun hale getirilmesi için kullanılabilirler. Benzer şekilde, bir güneş paneli tarafından üretilen enerjinin, ev elektrik sistemine veya pil sistemlerine uygun gerilim seviyelerine dönüştürülmesi için de kullanılabilirler.

DC-DC dönüştürücüler, verimli enerji dönüşümü sağlamak için tasarlanır ve genellikle elektrik devrelerinin verimliliğini artırmak, güç kaynaklarını optimize etmek ve elektrikli sistemlerin performansını iyileştirmek için kullanılırlar. Bu dönüştürücüler, elektrik enerjisinin farklı gerilim seviyelerine dönüştürülmesi gerektiğinde önemli bir rol oynarlar ve modern elektronik cihazların işlevselliğini ve performansını desteklerler. Ancak, bu elektronik devrelerin sağlıklı, güvenilir ve etkin bir şekilde çalışabilmesi için sadece elektriksel tasarım yeterli değildir; aynı zamanda termal yönetim de hayati bir öneme sahiptir.

Elektronik bileşenlerin, belirli bir sıcaklık aralığında çalışması, cihazların performansı, güvenilirliği ve kullanım ömrü açısından kritik bir faktördür. Kontrolsüz bir şekilde artan sıcaklıklar, bileşenlerin fonksiyonlarını yerine getirebilme yeteneklerini olumsuz etkileyebilir ve hatta hasar görmelerine yol açabilir. Dolayısıyla, elektronik cihazların termal yönetimi, bileşenlerin sıcaklığını kontrol altında tutarak, istenmeyen ısınma sorunlarını önlemeyi amaçlar. Termal yönetim stratejileri, devrelerin çalışma sıcaklıklarını optimize etmek ve aşırı ısınma durumlarında uygun soğutma sağlamak için çeşitli teknikler kullanır. Bunlar arasında ısı emiciler, fanlı soğutucular, termal ara yüz malzemeleri ve çevresel hava akışının düzenlemesi gibi çözümler bulunmaktadır. Bu tekniklerin kullanımı, elektronik cihazların belirli sıcaklık sınırları içinde kalmasını sağlayarak, uzun ömürlü ve güvenilir çalışmalarını garanti altına alır.

Sonuç olarak, yüksek güç gerektiren elektronik devrelerin güvenilir ve etkin bir şekilde işlev görmesi için uygun termal yönetim stratejilerinin benimsenmesi, teknolojik

ilerlemenin sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, elektronik cihazların tasarımı ve üretimi aşamasında termal yönetim stratejilerine odaklanmak, günümüzün karmaşık ve yoğun kullanılan elektronik sistemlerinin başarılı bir şekilde işlemlerini sağlamak bir zorunluluktur.

Bu tez çalışması, ticari araçların yüksek akım güç devreleri için pasif soğutucu tasarımı ve termal performans analizini kapsamaktadır. Çalışmanın temel amacı, yüksek akım taşıyan devrelerin ısıl yönetimini optimize ederek, sistemlerin performans ve güvenilirliğini artırmaktır. Bu doğrultuda, elektronik cihazların soğutulması için kullanılan pasif soğutucuların tasarımı ve bu tasarımların termal performanslarının analiz edilmesi hedeflenmiştir. Mevcut soğutma yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlar incelenmiş ve daha etkin çözümler geliştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, elektronik bileşenlerin çalışma koşulları, çevresel faktörler ve güç elektroniği üzerine kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Termal yönetim kavramı ve önemi ele alınarak, elektronik cihazların ısıl yönetiminin, devrelerin belirli sıcaklık aralıklarında çalışmasını sağlamak ve aşırı ısınma durumlarında uygun soğutma sağlamak için çeşitli teknikler kullanıldığı belirtilmiştir. Bu teknikler arasında ısı alıcıları, fan soğutmalı ısı alıcıları, termal ara yüz malzemeleri ve çevresel hava akışının düzenlenmesi bulunur. Isı emicilerin tasarımı ve çalışma prensipleri üzerinde durulmuş, ısının mekanizması, Fourier Kanunu, ısı iletim katsayısı ve Newton'un soğutma yasası gibi temel ısıl prensipleri açıklanmıştır.

Bu kapsamda, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) temel denklemleri, süreklilik denklemi, Navier-Stokes denklemleri ve enerji denklemi incelenmiştir. Tasarım süreci, elektronik performans bilgileri ve tasarım kriterleri belirlenerek devam etmiştir. Pasif soğutucunun tasarımı için öncelikle ısı emici tasarımı yapılmış ve yan kapak ile üst kapak tasarımları oluşturulmuştur. Prototip üretimi için 6060 serisi Alüminyum alaşımından tel erozyon yöntemiyle yüksek doğrulukta bir ısı emici prototipi üretilmiştir. Elektronik kart için belirlenen ebatlarda bir ön prototip üretimi gerçekleştirilmiş, yan ve üst kapaklar için silikon kalıplama yöntemi kullanılmıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar arasında ısı emici tasarımı, prototip üretimi, HAD analizleri ve deneysel testler yer almaktadır. Isı emiciler, termal performansı artıracak şekilde tasarlanmış ve optimize edilmiştir. Yüksek doğrulukta prototipler üretilmiş ve bu prototipler üzerinden termal performans testleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak ısı transferi ve akış analizleri yapılmış, tasarımların etkinliği değerlendirilmiştir. Üretilen prototipler üzerinde deneysel testler yapılmış ve test sonuçları analiz edilmiştir.

Deneysel ve HAD analiz sonuçları, DC dönüştürücünün kritik bölgelerinde yüksek sıcaklıkların oluştuğunu ve bu durumun cihazın güvenilirliğini etkileyebileceğini göstermiştir. Özellikle ısı emici yüzeyindeki yüksek sıcaklık, cihazın soğutulması gerektiğini vurgulamaktadır. Üst kapak bölgesindeki sıcaklık farklılıkları ise, soğutma stratejilerinin gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, cihazın termal yönetim sisteminin optimize edilmesi ve daha etkin soğutma çözümlerinin uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Bu doğrultuda, ısı emici yüzeyinin genişletilmesi, daha etkin malzemelerin kullanılması ve cihazın iç bileşenlerinin yeniden konumlandırılması gibi önerilerde bulunulmuştur. Bu önerilerin uygulanması ile cihazın termal performansının artırılması ve daha güvenilir bir kullanım sağlanması hedeflenmektedir.

Bu tez çalışması, ticari araçların yüksek akım güç devreleri için pasif soğutucu tasarımı ve termal performans analizi konusuna önemli katkılar sağlamış olup, bu alanda

gelecekte yapılacak çalışmalara da rehberlik edecek niteliktedir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, ticari araçlarda kullanılan elektronik bileşenlerin daha verimli ve güvenilir bir şekilde soğutulmasına yönelik yeni tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, ticari araçların elektronik sistemlerinin ömrü uzatılmakta ve performansı artırılmaktadır. Tez çalışmasının sonuçları, ticari araç endüstrisi ve güç elektroniği alanında faaliyet gösteren araştırmacılar ve mühendisler için önemli bilgiler sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, ticari araçların yüksek akım güç devrelerinde kullanılacak etkili bir pasif soğutucu tasarımı sunmaktadır. Geliştirilen soğutucu, devrelerin termal performansını artırarak, sistemlerin güvenilirliğini ve verimliliğini sağlamaktadır. Çalışmanın sonuçları, elektronik cihazların tasarım ve üretim aşamalarında uygun termal yönetim stratejilerinin benimsenmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu sayede, günümüzün karmaşık ve yoğun kullanılan elektronik sistemlerinin başarılı bir şekilde çalışması sağlanabilir. Tez, gelecekte yapılacak çalışmalar için bir temel oluşturmakta ve mevcut sistemlerin iyileştirilmesine yönelik önemli katkılar sunmaktadır.



PASSIVE COOLER DESIGN AND THERMAL PERFORMANCE ANALYSIS FOR HIGH CURRENT POWER CIRCUITS OF COMMERCIAL VEHICLES

SUMMARY

The rapid development and widespread use of electronic devices in our era stand out as a reflection of technological advancement. High-power electronic circuits, which have become widespread across a broad spectrum from industrial sectors to consumer electronics, have become a significant driving force behind this development. These circuits perform critical functions such as energy conversion, control, and transmission, forming one of the fundamental pillars of modern technological infrastructure.

One of the high-power electronic circuits, DC-DC converters, are a type of electrical energy converter that transform electrical energy from a direct current (DC) source to a different voltage level. This conversion process is typically carried out from one voltage level to a higher or lower voltage level.

These converters are widely used in electronic devices, industrial equipment, solar energy systems, electric vehicles, and many other applications. For example, they can be used to convert the low-voltage power source from a battery to a suitable high-voltage level for a device or circuit. Similarly, they are also used to convert the energy generated by a solar panel to voltage levels suitable for household electrical systems or battery systems.

DC-DC converters are designed to provide efficient energy conversion and are commonly used to enhance the efficiency of electrical circuits, optimize power sources, and improve the performance of electrical systems. These converters play a crucial role when it is necessary to convert electrical energy to different voltage levels, supporting the functionality and performance of modern electronic devices. However, for these electronic circuits to operate healthily, reliably, and efficiently, electrical design alone is not sufficient; thermal management is also of critical importance.

The operation of electronic components within a specific temperature range is a critical factor for the performance, reliability, and lifespan of devices. Uncontrolled temperature increases can negatively affect the ability of components to perform their functions and even lead to damage. Therefore, the thermal management of electronic devices aims to prevent undesirable heating issues by keeping the temperature of components under control. Thermal management strategies use various techniques to optimize the operating temperatures of circuits and provide adequate cooling in cases of overheating. These solutions include heat sinks, fan-cooled heat sinks, thermal interface materials, and the regulation of ambient airflow. The use of these techniques ensures that electronic devices remain within specific temperature limits, guaranteeing long-term and reliable operation.

In conclusion, the adoption of appropriate thermal management strategies is vital for the reliable and efficient functioning of high-power electronic circuits, ensuring the sustainability of technological advancement. Therefore, focusing on thermal

management strategies during the design and production stages of electronic devices is essential for the successful operation of today's complex and heavily used electronic systems.

This thesis work encompasses the design of passive coolers and thermal performance analysis for high-current power circuits in commercial vehicles. The primary aim of the study is to optimize the thermal management of high-current carrying circuits, thereby enhancing the performance and reliability of the systems. In this context, the design of passive coolers used for cooling electronic devices and the analysis of the thermal performance of these designs are targeted. Situations where existing cooling methods are inadequate have been examined, and more effective solutions have been developed.

In the first phase of the study, a comprehensive literature review was conducted on the operating conditions of electronic components, environmental factors, and power electronics. The concept and importance of thermal management were addressed, highlighting that thermal management of electronic devices uses various techniques to ensure that circuits operate within specific temperature ranges and provide adequate cooling in cases of overheating. These techniques include heat sinks, fan-cooled heat sinks, thermal interface materials, and the regulation of ambient airflow. The design and operating principles of heat sinks were focused on, and fundamental thermal principles such as the mechanism of heat, Fourier's Law, thermal conductivity coefficient, and Newton's law of cooling were explained.

In this context, the fundamental equations of computational fluid dynamics (CFD), continuity equation, Navier-Stokes equations, and energy equation were examined. The design process continued by determining the electronic performance data and design criteria. For the design of the passive cooler, a heat sink design was first made, and side and top cover designs were created. For prototype production, a high-precision heat sink prototype was produced from the 6060 series aluminum alloy using the wire erosion method. A preliminary prototype was produced in the determined dimensions for the electronic board, and silicone molding was used for the side and top covers.

The studies conducted within the scope of the thesis include heat sink design, prototype production, CFD analyses, and experimental tests. The heat sinks were designed and optimized to enhance thermal performance. High-precision prototypes were produced, and thermal performance tests were conducted on these prototypes. Heat transfer and flow analyses were performed using computational fluid dynamics (CFD), and the effectiveness of the designs was evaluated. Experimental tests were conducted on the produced prototypes, and the test results were analyzed.

Experimental and CFD analysis results showed that high temperatures occurred in the critical areas of the DC converter, which could affect the reliability of the device. The high temperature on the heat sink surface especially emphasized the need for cooling the device. The temperature differences in the top cover area revealed that the cooling strategies needed to be reviewed. Consequently, it was determined that the thermal management system of the device needed to be optimized, and more effective cooling solutions needed to be applied. Recommendations such as expanding the heat sink surface, using more effective materials, and repositioning the internal components of the device were made. The implementation of these recommendations aims to enhance the thermal performance of the device and ensure more reliable operation.

This thesis work has made significant contributions to the design of passive coolers and thermal performance analysis for high-current power circuits in commercial vehicles, providing guidance for future studies in this field. The findings obtained within the scope of the study enable the development of new design approaches for the more efficient and reliable cooling of electronic components used in commercial vehicles. Thus, the lifespan and performance of the electronic systems in commercial vehicles are extended. The results of the thesis provide important information for researchers and engineers working in the commercial vehicle industry and power electronics field.

In conclusion, this thesis presents an effective passive cooler design to be used in high-current power circuits of commercial vehicles. The developed cooler enhances the thermal performance of the circuits, ensuring the reliability and efficiency of the systems. The results of the study emphasize the importance of adopting appropriate thermal management strategies during the design and production stages of electronic devices. In this way, the successful operation of today's complex and heavily used electronic systems can be ensured. The thesis forms a basis for future studies and makes significant contributions to the improvement of existing systems.



1. GİRİŞ

Otomotiv mühendisliğinin sürekli evrim geçiren ve çevresel sürdürülebilirlik ile verimlilik arayışının etkisiyle, ticari araçların elektrifikasyonu hızla artmaktadır. Bu dönüşümde, otomotiv endüstrisi elektrikli tahrik sistemlerine doğru önemli bir değişim yaşarken, aynı zamanda modern araçlarda bulunan gelişmiş sürücü destek teknolojileri, performans, güvenlik ve konforu artırmak için elektronik bileşenlerden yararlanmaktadır. Ancak, elektronik sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, yüksek akımlı güç devrelerinin ürettiği ısıyı etkin bir şekilde yönetme zorluğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum, özellikle yüksek akım uygulamalarında güç elektroniği alanında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorlukların merkezinde, performans, güvenilirlik ve sistem bütünlüğü için tehdit oluşturan kritik bileşenlerdeki ısı dağılımının verimli bir şekilde yönetilmesi bulunmaktadır.

Şehir içi teslimat kamyonetlerinden ağır nakliye kamyonlarına kadar uzanan ticari araçlar, aracın elektrik sistemi içinde elektrik gücünün kesintisiz dönüşümünü ve dağıtımını sağlayan karmaşık güç dağıtım ünitelerini barındıran yüksek akım DC-DC dönüştürücülerle donatılmıştır. Bu araçların elektronik bileşenleri, çalışma süreleri boyunca elektrik enerjisinin bir kısmını ısı enerjisine dönüştürmektedir. Bu yüksek ısının etkilerini minimize etmek ve sistemin verimliliğini korumak için, ısı kaynağının etkili bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Otomotiv endüstrisinde elektronik devrelerin uygun şekilde soğutulması, sadece verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda, güvenlik ve performans açısından büyük bir öneme sahiptir. Otomobil üreticileri ve otomotiv parça tedarikçileri, elektronik parçaların dinamik değişken koşullarda sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla bu alanda sürekli olarak yenilikler yapmaktadırlar.

Günümüzde, elektronik yarı iletken bileşenlerinin boyutlarındaki küçülme ve işlevlerinin artması beraberinde artan sistem karmaşıklığı ve sistem hızını da getirmektedir. Bu durum, elektronik cihazların hacim başına daha fazla ısı üretmesine neden olur, bu da üreticiler ve araştırmacılar için önemli bir zorluk oluşturur. Eğer bu artan ısı üretimi etkili bir şekilde giderilmezse, çeşitli sonuçlara neden olabilir; bunlar

arasında kullanım ömrünün kısılması, cihazın veriminin düşmesi gibi durumlar yer alır ve en kötü durumda cihazların çalışmasını olumsuz etkileyerek arıza durumuna sebep olur [1].

Elektrikle çalışan araçlardaki teknolojik ilerlemelerin yol açtığı artan güç talepleri, elektronik bileşenlerin aşırı sıcaklıkla karşılaşmasını önlemek için yenilikçi termal yönetim çözümlerinin benimsenmesi gereklidir. Otomotiv sektöründe fanlar ve sıvı soğutma gibi aktif soğutma sistemleri yaygın olarak kullanılmakla birlikte, pasif soğutma teknikleri farklı avantajlara sahip alternatif bir çözüm sunmaktadır. Pasif soğutma sistemleri, doğal termal iletim, konveksiyon ve radyasyon mekanizmalarından yararlanarak ek güç tüketimi veya karmaşık bakım gereksinimleri olmaksızın ısıyı dağıtır. Bu şekilde, verimli soğutma sağlanarak elektronik devrenin sürekli termal sınırlamalarla karşılaşmadan optimum performansla çalışması sağlanır. Soğutma sistemleri, aktif veya pasif olması fark etmeksizin, elektronik bileşenlerin uygun çalışma sıcaklıklarında kalmasını ve belirlenen ürün ömrü boyunca güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla tasarlanmalıdır. Tüm bunlar göz önüne alındığında, elektronik devrelerin soğutulması, araştırmacıların ve mühendislerin yeni malzemeler, tasarımlar ve tekniklerle soğutma verimliliğini artırmak için sürekli olarak çaba gösterdiği bir alandır. Günden güne gelişen termal malzemeler ve tasarımsal olarak gelişen yeni ısı emiciler, modern elektronik cihazların artan soğutma gereksinimlerini karşılamayı amaçlamaktadır. Güç elektroniğinde genellikle büyük boyutlar ve yüksek ağırlıkta olan mevcut soğutma sistemlerini daha kompakt tasarımın yanında gelişmiş optimal ısı yönetim performansını bir arada sağlayarak dönüştürme gibi iki önemli hedefi karşılamak gerekmektedir.

Pasif soğutma teknolojileri, güç elektroniğinde genellikle tercih edilen bir yöntem olmanın yanında, aktif soğutma sistemlerine kıyasla, sıfır enerji tüketimi gibi birçok avantaj da sunarlar. Ayrıca harici mekanik parçaların, örneğin fanlar ve pompaların olmaması, yüksek güvenilirlik ve sessiz çalışma gibi özelliklerine de sahiptir. Bu özellikleri, pasif soğutmayı aynı zamanda çevre dostu bir seçenek haline gelmesini sağlar. Bununla birlikte fan gibi ısı transferi hızını arttıran unsurların olmaması nedeniyle pasif soğutulan sistemlerde ısı transfer hızı genellikle düşüktür. Bu durum, özellikle yüksek güçlü yarı iletken cihazlarda termal verimliliği korumak, termal stresi azaltmak ve termal kaçakları önlemek için daha fazla ısı dağıtılması gerektiği anlamına gelir. Bu nedenle, güvenilir güç elektroniği ürünlerinde bu tür pasif soğutma

sistemlerinin kapasitesinin sınırlarının zorlanması ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi çok önemli bir gereklilik haline gelmektedir [2].

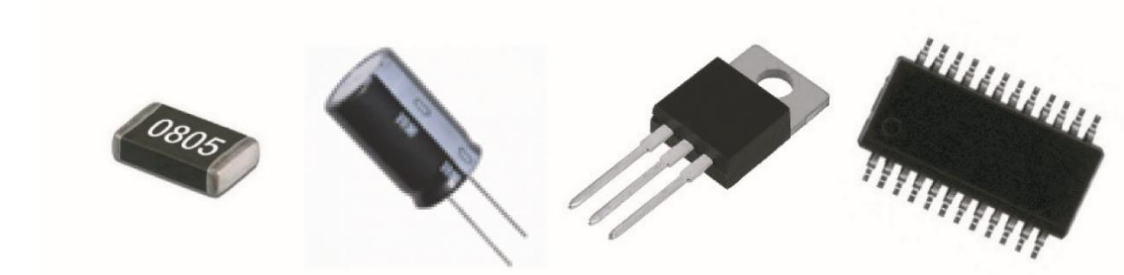
Bu çalışmanın esas amacı, ticari araçlardaki yüksek akımlı DC-DC dönüştürücüler için işlev görecektir, kompakt ve hafif bir pasif soğutucu tasarlamaktır. Bu araştırma, yalnızca araç montaj standartlarına uygun olmakla kalmayıp aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda soğutma verimliliğini artıracak yenilikçi bir kanatlı soğutucu geliştirerek mevcut soğutma yöntemlerinin sınırlamalarını aşmayı hedeflemektedir. Ayrıca, bu çalışma elektronik kartların ve bileşenlerin dış etkenlerden korunmasını, güç dağıtım ünitesinin uzun vadeli güvenilirliğini ve sağlamlığını sağlamayı da hedeflemektedir. Bu hedefler doğrultusunda, sıcaklık analizi, sınır koşullarının belirlenmesi, soğutucunun bilgisayar destekli tasarımı (CAD), deneysel sıcaklık testleri, bilgisayar destekli akış ve ısı analizleri ve optimizasyon süreçlerini içerecektir. Bu araştırma yoluyla, ticari araçlardaki yüksek akım güç devrelerine yönelik ısı yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmak, daha güvenilir ve verimli elektrikli ulaşım çözümlerinin geliştirilmesini amaçlanmaktadır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Elektronik Bileşenleri

Günümüzde kullanılan akıllı telefonlardan havacılık ve otomotiv sektörüne kadar çeşitli cihazların üretiminde büyük öneme sahip olan modern teknolojinin temel yapı taşları elektronik bileşenlerdir. Şekil 2.1’de örnekleri görüldüğü üzere elektronik bileşenler, basit dirençler ve diyotlar gibi temel unsurlardan başlayıp transistörler ve diğer karmaşık yarı iletken cihazları içeren entegre devreler (IC'ler) gibi daha kompleks yapılarla da karşılaşabilir. Bu bileşenler, elektronik sistemlerin işlevselliğini ve performansını sağlarken aynı zamanda işlem sırasında ısı üretirler. Elektronik bileşenlerin bu ısı üretim sürecini anlamak, etkili bir termal yönetim sağlamak ve elektronik cihazların güvenilirliğini ve uzun ömürlülüğünü garanti altına almak açısından son derece önemlidir.



Şekil 2.1. Elektronik bileşen örnekleri

Elektronik bileşenler öncelikle iki faktörden dolayı ısı üretirler.

Güç Dağılımı: Akım bir direnç veya yarı iletken cihazdan aktığında, Joule Yasasına göre elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüştürülür. Dirençler, transistörler ve entegre devreler gibi bileşenler, iç dirençleri nedeniyle veya anahtarlama geçişleri sırasında gücü ısı olarak dağıtır.

İç Direnç: Elektronik bileşenlerin, özellikle de transistörler, diyotlar ve entegre devreler gibi yarı iletken cihazlarda iç direnç, ısı üretimine katkıda bulunur. Bu cihazlardan akım geçtiğinde, elektrik enerjisinin bir kısmı cihazın kendisinde

karşılaşılan direnç nedeniyle ısıya dönüşür. Bu iç direnç, yarı iletken malzemenin fiziksel özelliklerinden ve cihazın yapısından kaynaklanmaktadır.

Akım bu bileşenlerin üzerinden geçerken, cihaz içerisinde karşılaşılan direnç nedeniyle ısı şeklinde enerji kaybı yaşanır.

$$P = I^2 R t \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de görüleceği üzere Joule’un birinci kanunu, bir iletkenin üzerinden geçen elektrik akımı ile bu akımın neden olduğu ısı arasındaki ilişkiyi tanımlayan temel bir fizik kanunudur. Bu kanun, bir iletken üzerinden geçen sabit bir akımın belirli bir süre içinde (t saniye) direnç tarafından tüketilen gücü (P) ifade eder. Güç (P), direnç (R) olan bir iletken üzerinden geçen sabit akımın (I amper) neden olduğu ısıdır. Bu durumda, birim olarak joule cinsinden ifade edilir [3].

2.1.1. Çalışma koşulları ve çevresel faktörler

Elektronik bileşenlerdeki ısı üretiminin boyutunu çeşitli faktörler etkiler:

Bileşen Yoğunluğu: Elektronik cihazlar küçüldükçe ve kompaktlaştıkça devre kartı üzerindeki bileşenlerin yoğunluğu da artar. Bu daha yüksek bileşen yoğunluğu, ısının daha küçük bir alanda yoğunlaşmasına yol açarak termal sorunları şiddetlendirir.

Çalışma Frekansı: Yüksek frekanslarda çalışan bileşenler, artan anahtarlama etkinliği nedeniyle daha fazla ısı üretir. Bu özellikle dijital devrelerde kullanılan mikroişlemciler ve alan etkili transistörler gibi cihazlar için geçerlidir.

Ortam Sıcaklığı: Elektronik bileşenleri çevreleyen ortam sıcaklığı, çalışma sıcaklıklarını etkiler. Yüksek ortam sıcaklıkları, ısı dağıtım verimliliğini azaltarak bileşen sıcaklıklarının artmasına neden olur.

2.2. Güç Elektroniği

Güç elektroniği, elektrik gücünün yönetimi ve dönüştürülmesine odaklanan teknolojik sistemlerdir. Bu teknolojiler, ev aletlerinden bilgisayarlara ve büyük ölçekli rüzgar türbinlerine kadar geniş bir yelpazede yaygın olarak kullanılmakta ve telekomünikasyon, otomotiv, havacılık ve yenilenebilir enerji gibi modern mühendislik sistemlerinde hayati bir rol oynamaktadır. Sürekli olarak ilerleyen teknoloji, güç elektroniğine olan talebi artırmaktadır. ABD’de üretilen elektrik

enerjisinin en az yarısının güç elektroniği dönüştürücülerinden geçtiği ve bu oranın önümüzdeki birkaç on yıl içinde %100'e ulaşmasının beklendiği öngörülmektedir [4].

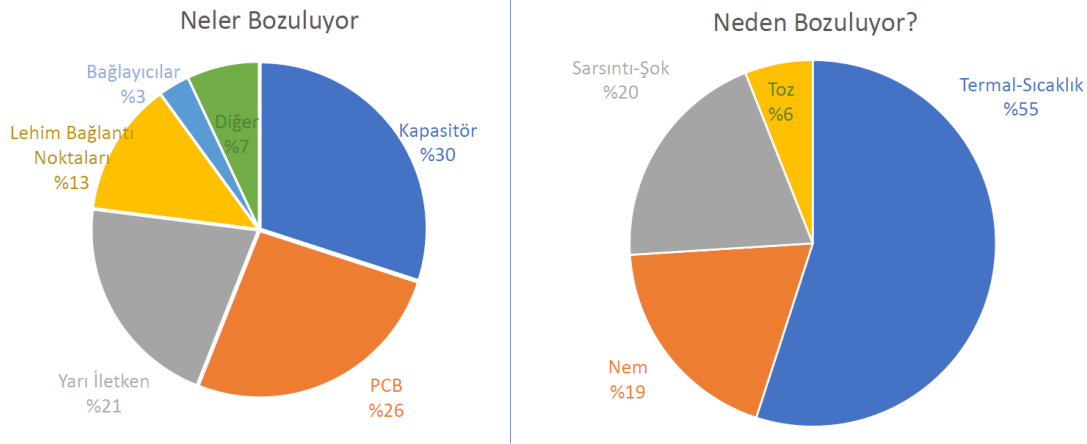
Güç elektroniğinin önemi, özellikle dünya genelinde artan bir eğilim olan ulaşım sistemlerinin elektrifikasyonu göz önüne alındığında dikkate değerdir. İçten yanmalı motorlardan elektrik motorlarına geçiş, sadece yerleşik elektronikler için yeni zorluklar yaratmakla kalmaz, aynı zamanda güvenli ve verimli hızlı şarj istasyonlarına ihtiyaç duyar. Güç elektroniği endüstrisi, son yıllarda öne çıkan ana alanlardan biri haline gelmiştir. Küresel elektrikli araç pazarının 2022'ye kadar %11,0 büyüme oranıyla 127,7 milyar ABD dolarına ulaşması beklenmektedir. Bu durum, güç elektroniği pazarının 2023 sonunda 51,1 milyar ABD dolarına ulaşmasını tahmin etmektedir [5].

2.3. Termal Yönetimin Önemi

Elektrik devrelerinde kaybolan enerji, cihazların içinde birikir ve etkin bir şekilde dışarı aktarılmadığında iç sıcaklık artışına neden olur. Bu durum, cihazların aşırı ısınmasına hatta yanmaya veya alev almasına yol açarak ciddi fonksiyon arızalarına neden olabilir. Şekil 2.2'de de görüldüğü gibi, modern elektronik cihazlardaki arızaların yarısından fazlasının, zayıf sıcaklık kontrolü veya termal düzenlemeyle ilgili olduğu rapor edilmektedir [6]. Cihaz sıcaklıklarından kaynaklanan üç ana arızası türü vardır; mekanik, korozyon ve elektrik arızaları [7].

Mekanik arızalar, cihazlardaki aşırı deformasyonlardan (örneğin kırıklar, çatlaklar ve bağlantı noktalarının ayrılması) kaynaklanır, bu da farklı termal genleşme oranlarına sahip malzemelerin, örneğin kalıp ve altlık gibi, farklı davranışlarından kaynaklanır. Korozyon arızası, yüksek sıcaklık nedeniyle atık ısı birikiminin alüminyum oksidasyonunu hızlandırması veya nemli bir ortamda ıslak korozyonun sürecini hızlandırmasıyla ilgilidir.

Elektrik arızası, sıcaklığın ters bir etkiye sahip olması ve direnç üzerinde aşırı gerilim oluşturması ve bileşenler üzerinde aşırı gerilim oluşturması nedeniyle doğrudan etki eder [7].



Şekil 2.2..Elektronik cihazların bozulma sebepleri [7]

Genel olarak, güç elektroniği sistemlerinin izin verilen maksimum sıcaklık altında çalıştırılması önerilir ve bu, arızalar arasındaki ortalama süreyi katlanarak azaltacaktır [7]. Doğru termal yönetim, bileşenlerin performansını ve güvenilirliğini artırmanın yanı sıra beklenen operasyonel ömrü uzatacak ve işletme maliyetini kümülatif olarak azaltacaktır. Yarı iletken cihazlarda boyutların küçültülmesi ve güç yoğunluğunun artması eğilimiyle birlikte, etkin ve verimli termal yönetim teknolojileri her zaman güç elektroniği sektörünün merkezinde olacaktır.

2.4. Pasif Soğutmaya Genel Bakış

Elektronik sistemlerde termal yönetimin temel amacı, elektrik devrelerinde üretilen aşırı ısıyı verimli bir şekilde dağıtmak, böylece genel sistem performansını tehlikeye atabilecek bileşenlerin aşırı ısınmasını önlemektir. Termal yönetim hususlarını sonradan akla gelen bir düşünce olarak ele almak yerine, tasarım sürecinin başlarında entegre etmek önemlidir. Soğutma tekniğinin seçimi uygulama, gerekli ısı giderme kapasitesi, güvenilirlik ve maliyet gibi faktörlere bağlıdır. Bu nedenle soğutma çözümlerinin maliyet etkinliği ile karmaşıklık arasında bir denge kurması ve genel operasyon için ekonomik açıdan uygun olmalarını sağlaması gerekir. Doğal konveksiyonlu hava/sıvı soğutma, termal radyasyon, ısı boruları, buhar odaları gibi yöntemleri içeren pasif soğutma sistemleri, güç elektroniği cihazlarındaki atık ısınn etkili bir şekilde işlenmesi için yaygın olarak kabul edilmektedir. Bu sistemler, elektronik cihazlardan veya sistemlerden fazla ısıyı dağıtmak için aktif mekanik parçalara, örneğin fanlara veya pompalara, gereksinim duymadan kullanılan bir

yöntemdir. Bunun yerine, doğal ısı transfer mekanizmaları olan iletim, konveksiyon ve radyasyon gibi süreçleri kullanarak ısıyı ortamdan uzaklaştırır. Genellikle yerçekimi veya faz geçişinin yardımıyla, ısı kaynağı ile soğutma ortamı arasındaki sıcaklık gradyanlarından yararlanır. Pasif soğutma düzenlemeleri, basitlikleri, güvenilirlikleri ve enerji verimlilikleri nedeniyle sıklıkla tercih edilir. Sonuç olarak sessiz çalışma, minimum enerji tüketimi, minimum bakım gereksinimleri, düşük maliyet ve yüksek güvenilirlik gibi önemli faydalar sunarlar.

Pasif soğutucular hareketli ek soğutma mekanizmaları barındırmaması nedeniyle gürültüsüz çalışma, düşük maliyet ve yüksek güvenilirlik gibi üstün avantajlar sunarlar. Özellikle otomotiv, askeri ve petrol arama gibi zorlu ortam uygulamalarında, güvenilirlikleri yüksektir ve çoğunlukla bu alanlarda kullanılırlar [8].

2.5. Isı Emiciler

Isı emiciler, elektronik soğutması için en sık tercih edilen termal yönetim çözümlerinden biridir. Temel amacı, elektronik bileşenlerin ürettiği ısıyı dağıtmak ve çevreye aktarmaktır. Günümüzdeki son teknoloji ürünü elektronik devreler, daha fazla ısı üretmektedir ve aynı zamanda soğutma için ayrılan alanın daralmasına neden olan küçük boyutlara sahiptir. Bu ısı, etkili bir şekilde dağıtılmazsa aşırı ısınmaya neden olabilir ve bileşenlerin performansını düşürebilir veya arızalanmasına yol açabilir. Bu durum, tasarım mühendislerini daha etkili ısı emici teknolojiler aramaya yönlendirmiştir. Son yıllarda soğutma teknolojilerinin gelişimine bakıldığında, genellikle ısı emicilerdeki kanat yapılarına rastlanmaktadır. Isı emici, bileşenlerden daha büyük bir yüzey alanı sağlayarak çalışır ve bu sayede ısıyı çevredeki havaya daha etkili bir şekilde aktarır. Isı emiciler, yüzey alanını artırmak için kanatçıklar veya benzeri çıkıntılar kullanır. Oluşturulan kanat yapıları sayesinde ısı emicinin yüzey alanını artırarak elektronik bileşenlerin termal yönetimi iyileştirilir. Kanatlı ısı emicilerin kullanıldığı uygulamalar, ısı akısı yoğunluğundaki artış ve ürünlerin ve bileşenlerin boyutlarının küçülmesiyle birlikte son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Kanat tasarımı, büyük bir soğutma gücü üretmek için yüzey alanını artırır ve sınırlı alana sahip yüksek ısıya sahip cihazlar ve uygulamalar için son derece uygun hale getirir [9]. Isı emicilerin tipik olarak çok sayıda çok dar kanatçık veya pime bağlı bir tabandan oluşmasının nedeni geniş bir yüzey alanına duyulan ihtiyaçtır. Bu form, belirli bir hacme mümkün olduğunca fazla yüzey alanı sığdırmanın en iyi yoludur. [10]

Bazı durumlarda, ısı emiciler fanlarla birleştirilerek (aktif soğutma) ısı dağılımı daha da artırılır. Ayrıca ısı emiciler, ısı borusu, termoelektrik soğutma, sentetik jet akışı soğutma, sıvı soğutma sistemleri gibi diğer termal çözümlerle de değiştirilebilir. Pasif çözümler, basit yapısı, kolay imalatı, uygulama esnekliği ve düşük maliyet gibi avantajlara sahip olduğundan, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında tercih edilmektedir [10].

Isı emiciler genellikle sağlam bir tabandan ve bu tabana bağlı kanatlı yapılardan oluşur. Bu kanatların şekli ve boyutu, ısı emicinin performansını belirler. Şekil 2.3’de örnekleri görüleceği gibi farklı tiplerde üretilen ısı emiciler mevcuttur. En yaygın ısı emici tipleri şunlardır [11].

- Pim kanatlı ısı emici: Bu tür ısı emiciler, tabandan uzanan pimlere sahiptir. Diğer türlerden daha geniş bir yüzey alanı sunarlar ve düşük hava akışı veya rastgele/çok yönlü hava akışı durumlarında en etkilidirler. Pimler farklı şekillerde olabilir: Silindirik, Eliptik, Kare.
- Plaka kanatlı ısı emici: Plaka kanatlı ısı emiciler, tabandan uzanan dikdörtgen kanatlara sahiptir ve pim kanatlı ısı emicilerden daha yaygındır. Hava akışı tek yönlü olduğunda en uygun ısı emici türüdür.
- Genişletilmiş kanatlı ısı emici: Bu tür ısı emiciler, plaka kanatlı ısı emicilerin bir tür varyasyonudur ve genişletilmiş bir kanat düzenine sahiptir, akış direncini azaltır. Bazı ısı emicilerde fanlar bulunur ve bu tür ısı emicilere aktif ısı emiciler veya fan soğutmalı ısı emiciler denir. Fan olmayanlar pasif ısı emiciler olarak adlandırılır. Fanlar, sabit bir hava akışı kaynağı sağlayarak ısı emicinin performansını artırır [11].



Şekil 2.3. Pasif soğutma sistemine sahip ısı emici tipleri [2]

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1. Isının Mekanizması

Tabiatın olayları sırasında, enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür ve belli kurallara göre kaynağından çevresine yayılır. Isı, bir tür enerjidir ve dönüşümü mümkündür. Ancak, enerji dönüşümü geri dönüşü olmayan bir süreç olduğundan, her dönüşümün sonucunda entropi artar ve bir miktar enerji ısıya dönüşür [12].

Enerjinin ısı enerjisiye dönüşmesi ve yayılması, çeşitli doğa olaylarının temelini oluşturur. Örneğin, güneş ışığının enerjisi, atmosferdeki gazları ve yüzeyleri ısıtarak rüzgârların oluşmasına ve su buharının yoğunlaşmasına yol açar, bu da yağış ve fırtınalara neden olur. Bunun yanı sıra, enerjinin ısıya dönüşümü, endüstriyel faaliyetlerden doğal olaylara kadar pek çok alanda önemlidir. Örneğin, bir araba motorundaki yanma sürecindeki kimyasal enerjinin hem hareket enerjisine hem de ısıya dönüşümüne baktığımızda, bu ısı daha sonra aracın soğutma sistemi tarafından dağıtılır ve çevreye salınır. Bu nedenle, enerjinin ısı forma dönüşümü ve dağılması, birçok çevresel olayın temelini oluşturur ve yaşamın devamı için kritik bir süreçtir.

Isının çevreye yayılması, termodinamiğin ve ısı transferinin farklı temel prensiplerine dayanır. Şekil 3.1’de de görüleceği üzere üç ana mekanizma bulunmaktadır.

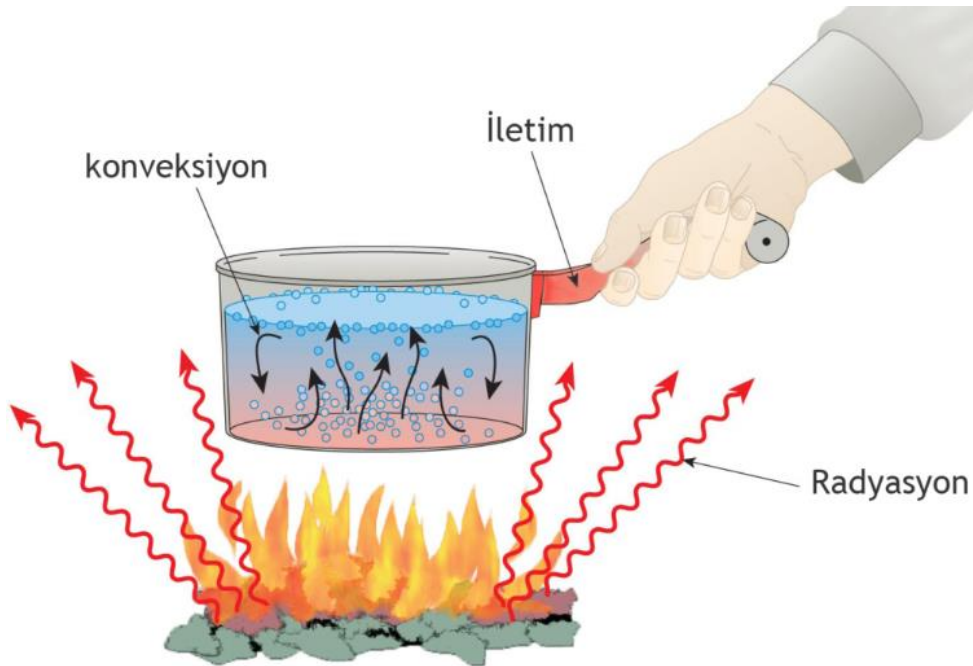
İletim: İletim yoluyla ısı transferi, malzemeler arasındaki doğrudan temasla gerçekleşir. Bir madde ısıtıldığında, molekülleri enerji kazanır ve daha hızlı hareket etmeye başlar. Bu hızlı hareket eden moleküller, enerjiyi komşu moleküllere aktararak onların da hareketlenmesine neden olur. Bu süreç, ısı malzeme içinde yavaş yavaş yayılmasına yol açar. Çevresel bağlamda, iletim farklı malzemeler arasında, örneğin hava, su, toprak ve katı maddeler arasında meydana gelebilir. Isı aktarımı daima yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğrudur. Yoğun maddeler genelde iyi iletkenlerdir; örneğin metaller çok iyi iletkenlerdir [12].

Konveksiyon (Taşınım): Katı yüzey ile akışkan arasında gerçekleşen ısı transferinin bir çeşididir. Genellikle doğal konveksiyon ve zorlanmış konveksiyon olarak iki kısma ayrılır. Doğal konveksiyon yoğunluk farkından dolayı meydana gelen hareket neticesinde ısı taşınımıdır. Hareket; pompa, vantilatör vs. ile zorunlu olarak

meydana getiriliyorsa bu durumdaki taşınımda zorunlu konveksiyon söz konusudur. Doğal konveksiyon, akışkan içindeki sıcaklık farkları nedeniyle ortaya çıkan ve akışkanın hareketine dayanan bir konveksiyon türüdür. Örneğin, sıcak hava yükselerek radyatör yüzeyinden yukarı doğru hareket eder. Doğal konveksiyonun ana ilkesi, ısınan akışkanın yükselme eğiliminde olması ve daha soğuk akışkanın aşağı doğru inmesidir. Zorlanmış konveksiyon ise dış bir etki ile (örneğin, bir pompa veya fan tarafından) oluşur. Örneğin, fanlı ısıtıcılar, fanın soğuk havayı ısıtma elemanına üflemesiyle zorlanmış konveksiyonu kullanır ve havanın ısınmasıyla hareket eder [11].

Radyasyon (Işınım) : Radyasyon, ısı enerjisinin elektromanyetik dalgalar aracılığıyla transferidir. İletim ve konveksiyonun aksine, radyasyon herhangi bir ortama ihtiyaç duymaz ve boşlukta bile gerçekleşebilir. Tüm nesneler, kızılötesi dalgalar biçiminde elektromanyetik radyasyon yayarlar ve bu yayılım miktarı, nesnenin sıcaklığına ve emisyonuna bağlıdır. Güneş gibi, çevredeki nesneler Dünya'ya ısı enerjisi yayarak yüzeyini ısıtır ve atmosferin sıcaklık değişimlerine katkıda bulunur [12].

Bilim insanları ve mühendisler, bu ısı transferi ilkelerini anlayarak, ısının çevreye yayılma şeklini, hava koşullarını, iklimi ve ekosistemlerin termal dengesini analiz edebilir ve tahmin edebilirler.

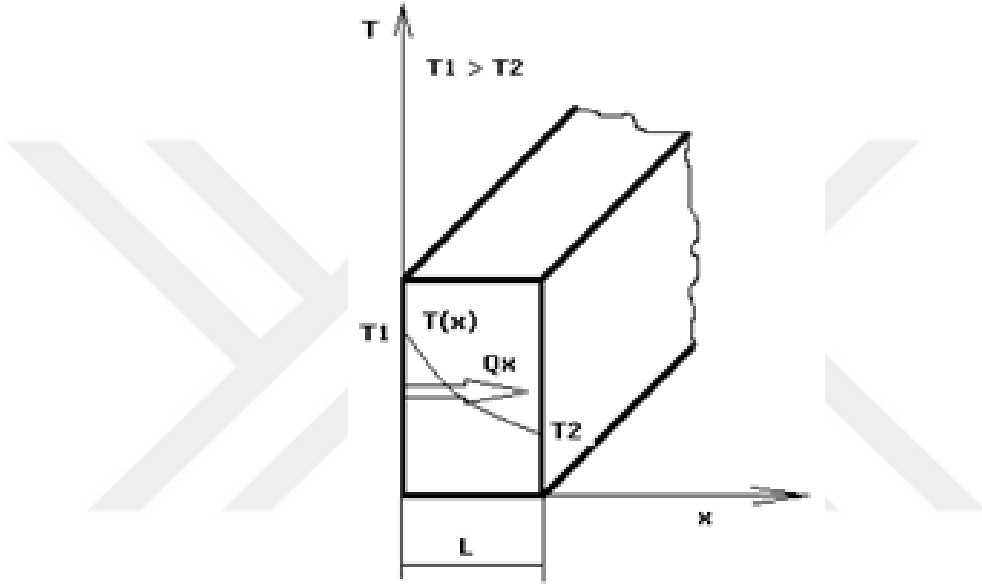


Şekil 3.1. Isı transfer mekanizmaları [12]

3.2. Fourier Kanunu

Fourier Kanunu, ısı transferinin temel bir prensibidir ve ısı iletiminin matematiksel olarak açıklanmasında kullanılır (Denklem 3.1). Bu kanun, bir maddenin ısı iletkenliğinin, ısı akısının yoğunluğuna ve sıcaklık gradyanına bağlı olduğunu belirtir [12].

$$\mathbf{q} = -k\vec{\nabla}T \quad (3.1)$$

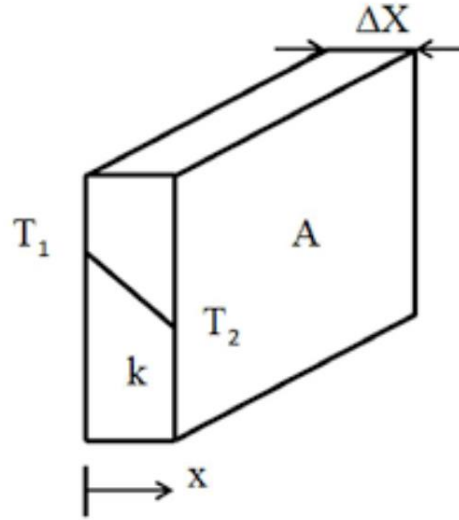


Şekil 3.2. Tek boyutlu ısı iletim mekanizması [13]

Tek boyutlu düz bir duvarın kalınlığı boyunca ısı iletimi mekanizması Şekil 3.2 ‘de görülmektedir. x- yönünde ısı iletiminden dolayı ısı akısı,

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de, k cismin ısı iletkenliği (ısı iletim katsayısı), $\frac{dT}{dx}$ x- yönünde birim uzunluktaki sıcaklık dağılımıdır (sıcaklık eğimi/gradyenti). Bağıntının sağ tarafındaki (-) işareti, ısı akısını pozitif yapar. Çünkü ∂T negatiftir.



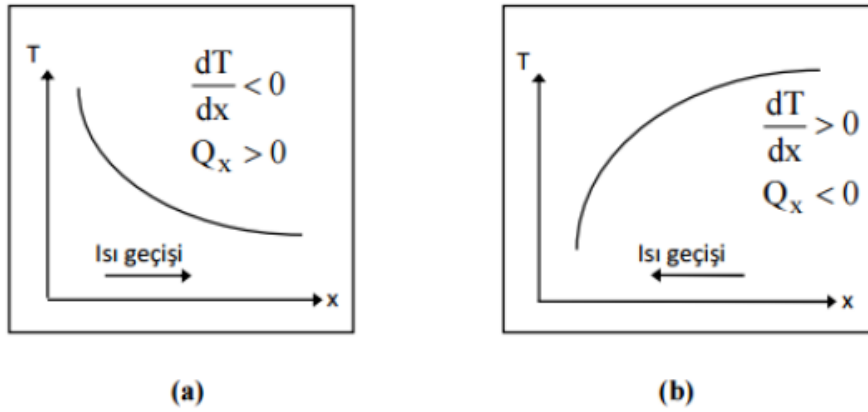
Şekil 3.3. İki boyutlu ısı iletim mekanizması [14]

Şekil 3.3’de gösterildiği gibi belirli bir alana sahip bir duvarın kalınlığı boyunca ısı iletimi mekanizması yine Fourier kanununa göre geçen ısı miktarı, x yönündeki sıcaklık gradyanı (sıcaklık değişim miktarı) $\frac{dT}{dx}$ ve ısı geçiş yönüne dik alan A ile orantılıdır. Fourier kanununun matematiksel ifadesi;

$$Q_x = kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (W) \quad (3.3)$$

Burada; Q_x , x yönünde ve bu x yönüne dik A alanı üzerinden geçen ısı miktarıdır.

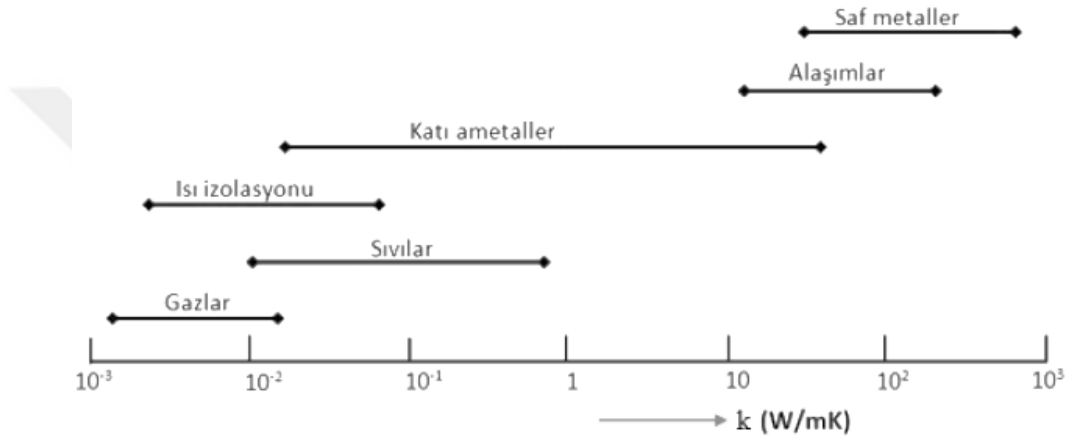
Şekil 3.4 (a)’da görüldüğü gibi eğer sıcaklık x yönünde azalıyorsa $\frac{dT}{dx}$ negatiftir ve ısı geçişi pozitif x yönünde olmalıdır. Şekil 3.4 (b)’de görüldüğü gibi eğer $\frac{dT}{dx}$ pozitifse Q_x negatif olur ve bu durumda da ısı akışı negatif x yönündedir [14].



Şekil 3.4. Sıcaklık değişim hızına bağlı olarak ısı geçiş yönleri [14]

3.3. Isı İletim Katsayısı

Isı iletim katsayısı (k), bir malzemenin ısıyı iletme yeteneğine verilen isimdir. Malzemenin birim kalınlık ve birim sıcaklık gradyanı olduğunda, birim alan başına geçen ısı akısını belirler. Bu nedenle, daha yüksek bir ısı iletim katsayısına sahip bir malzemenin daha iyi ısı iletme yeteneği olduğunu gösterir. Şekil 3.5’de farklı malzemelere ait ısı iletim katsayıları gösterilmektedir. Isı iletim katsayısı, katılarda en büyük değerlere sahipken, en küçük değerlere gazlarda sahiptir. Isı iletim katsayısı SI birim sisteminde Watt/metre-Kelvin ($\frac{W}{mK}$) birimiyle ifade edilir.



Şekil 3.5. Farklı maddelerin ısı iletim katsayıları (Normal şartlar altında) [14]

3.4. Newton’un Soğutma Yasası

Taşınım enerji transferinin bir türüdür ve katı bir yüzey ile yanındaki hareket eden sıvı veya gaz arasında gerçekleşir. Bu tür enerji aktarımı, iletimin ve akışkan hareketinin etkileşimini kapsar. Akışkanın hızı arttıkça, ısı transferi de artar. Eğer akışkan hareketi, akışkan içindeki sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan yoğunluk farkı ile gerçekleşiyorsa, bu doğal taşınım olarak adlandırılır. Taşınım ile ısı transfer hızı, sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. Bu tür bir ısı transferi, Newton'un soğutma kanunu olarak bilinir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Q_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (3.4)$$

Q : Taşınım ile transfer edilen ısı miktarı (W)

h : Isı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)

A_s : Isının transfer edildiği alan (m^2)

T_s : Yüzey sıcaklığı (K)

T_∞ : Akışkan sıcaklığı (K)' dir.

Burada, h taşınım ısı transfer katsayısını temsil eder. Akışkanın özelliği değildir; bunun yerine, yüzey geometrisine, akışkan hareketine, akışkanın özelliklerine ve akışkanın hızına bağlı olarak deneysel olarak belirlenen bir parametredir [11].

3.5. Işınım ile Isı Transferi

İletim ve taşınımın aksine, ışınlama ısı transferi bir ara ortama ihtiyaç duymaz. Isı transferi türleri arasında en hızlı olan ışınlama tipi ısı transferidir ve boşlukta hızı azalmaz. Herhangi bir sıcaklıkta, tüm cisimler ısısal radyasyon yayılarak enerji transfer ederler. Katılar, sıvılar ve gazlar, farklı seviyelerde ışınlama yayarlar, soğurlar veya geçirirler [11]. Termal radyasyonu açıklamak için kullanılan temel denklem, Stefan-Boltzmann denklemidir. Isı emici yüzeyler arasında çevreye radyatif ısı transferi genellikle şu şekilde gerçekleşir.

$$Q_{yayılan,maks} = \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ Stefan- Boltzmann sabiti olarak tanımlanır. Bu ifadedeki Q değeri maksimum değeridir ve kara cisim olarak adlandırılır. Gerçek yüzeylerde yayılan ışınlama miktarı kara cisimlerden yayılana göre daha az olacağı için denklem;

$$Q_{yayılan} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 şeklinde ifade edilebilir. ε değeri yüzeyin yayıcılığını ifade eder ve bu değer $0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığındadır. Siyah cisimlerde ise $\varepsilon = 1$ olarak alınır.

En genel şekilde iki yüzey arasındaki ışınlama ısı transferi ifadesini yazdığımızda;

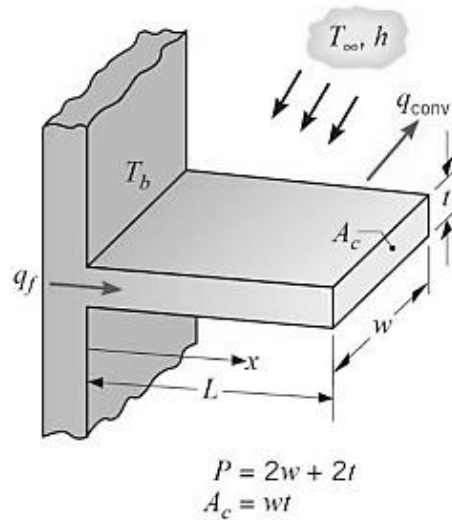
$$Q_{ışınım} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{çevre}^4) \quad (W) \quad (3.7)$$

Denklem 3.7 şeklinde yazılabilir.

3.6. Kanatlı Yapılarda Isı Transferi

Newton'un soğutma kanunundan da görülebileceği gibi ısı transferini arttırmak için, sıcaklık farkını, toplam ısı transfer alanını veya toplam ısı taşınım katsayısı (h)'ı arttırmak gerekir. Sistemlerin çalışma sıcaklık farkları genellikle verildiğinden dolayı pratikte sıcaklık farkları sınırlıdır. Taşınım ile ısı transferi bölümünde açıklandığı gibi taşınımı hızlandırmak için (h) taşınım ısı taşınım katsayısını arttırmak gerekir. (h)'ı arttırmak için bir pompa veya fan gibi mekanizmalar kullanmak gerekir veya varsa olanı daha büyüğüyle değiştirmek gerekir. Bunlar da soğutma konusunda ek maliyetlere sebep olur [15]. Alternatif ise, ısı akımını arttırmak için en basit yöntem ısı transferi yüzeyini arttırmaktır. Bu nedenle yüzeylere yüksek iletkenlikli malzemelerden yapılmış ve kanatçık olarak adlandırılan genişletilmiş yüzeyler ekleyerek yüzey alanı artırılır. Şekil 3.6'da kanat sıcaklığı kanat tabanında T_b dır ve kanat ucuna gidildikçe azalır. Kanatların yüzeyinde olan taşınım, kanat kesitinde sıcaklığın orta kısmından dış yüzeylere doğru bir miktar düşmesinde neden olur. Kanatların kesit alanının düşük olması göz önünde bulundurulursa, sıcaklığın her kesitte homojen şekilde dağıldığı kabul edilebilir [13]. Sıcaklığın üniform kabul edildiği durumda kanatlarda oluşan ısı transferi Denklem 3.8'deki gibi olmaktadır.

$$Q_{kanat,maks} = hA_{kanat}(T_b - T_{\infty}) \quad (W) \quad (3.8)$$



Şekil 3.6. Sıcaklık homojen kabul edildiğinde kanat yapısında ısı transferi [13]

3.7. Grashof Sayısı

Akışkan mekaniği ve özellikle akışkan termodinamiği alanında, Grashof sayısı, bir akışkan üzerinde etkili olan boyutsuz bir değişkeni ifade eder ve akışkanın üzerindeki kaldırma kuvveti ile viskoz kuvvetler arasındaki oranı tahmin eder. Bu, doğal konveksiyon içeren durumların analizinde yaygın olarak kullanılır [16]. Serbest konveksiyon, bir akışkanın sıcaklık değişimi nedeniyle yoğunluğunda meydana gelen değişikliklerden kaynaklanır. Tipik olarak, sıcaklık arttıkça yoğunluk azalır, bu da sıvının yükselmesine neden olur. Bu yükseliş hareketi, kaldırma kuvveti tarafından yönlendirilirken, bu harekete karşı olan temel direnç viskoz kuvvetlerden kaynaklanır. Dolayısıyla, Grashof sayısı, bu iki karşıt kuvvet arasındaki dengeyi ölçen önemli bir parametre olarak kabul edilir [17].

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’da;

g , yerçekimi ivmesi $[\frac{m}{s^2}]$

β , hacimsel genleşme katsayısı $[\frac{1}{K}]$

T_s , yüzey sıcaklığı $[K]$

T_∞ , çevre sıcaklığı $[K]$

L , dikey uzunluk $[m]$

ν , kinematik viskozite $[\frac{m^2}{s}]$

3.8. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Temel Denklemleri

HAD analizi sırasında kullanılan temel denklemler, akışkanların karakteristik davranışlarını açıklamak ve analiz etmek için temel birer araçtır. Bu denklemler, akışkanın akış hızını, basınç dağılımını, sıcaklık değişimlerini ve diğer önemli özelliklerini belirlemede kullanılır. Bu temel denklemler, analiz sürecinde akışkanın davranışını anlamak ve gelecekteki akışkan hareketlerini tahmin etmek için kritik öneme sahiptir.

3.8.1. Süreklilik

Süreklilik denklemi, bir akışkanın hareketini matematiksel olarak ifade eden ve akışkanın herhangi bir noktasında kütle korunumu ilkesini yansıtan temel bir denklemdir (Denklem 3.10). Bu denklem, bir akışkanın belirli bir noktasındaki kütle akışının değişimini ifade ederken, aynı zamanda akışkanın hacim değişimini ve akış hızlarının zamanla nasıl evirildiğini dikkate alır. Süreklilik denklemi, akışkanın akış hızı ve basınç dağılımını belirlemek için kullanılan önemli bir araçtır ve akışkan mekaniği analizlerinde sıklıkla kullanılır [18].

Süreklilik Denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.10)$$

3.8.2. Navier- Stokes (momentum) denklemi

Navier-Stokes denklemleri, akışkan mekaniği alanında belirleyici bir rol oynayan temel matematiksel ifadelerdir. Bu denklemler, bir akışkanın hareketini tanımlamak için kullanılır ve akışkanın hızı ile basıncı arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak açıklar. Bu denklemler, akışkanın akışını, basıncını, sıcaklığını ve diğer önemli özelliklerini incelemek ve analiz etmek için kullanılır [19].

X- Momentum Denklemi:

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial x} (\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = \rho \frac{Du}{Dt} \quad (3.11)$$

Y- Momentum Denklemi:

$$\rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial y} (\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = \rho \frac{Dv}{Dt} \quad (3.12)$$

Z- Momentum Denklemi

$$\rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial z} (\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = \rho \frac{Dw}{Dt} \quad (3.13)$$

3.8.3. Enerji denkliği

HAD analizinde enerji denklemi, bir sıvı veya gazın içinde bulunduğu akışkan ortamdaki enerji değişimini tanımlar. Şekil 3.14'te gösterilen denklem, ısı transferi, sıcaklık dağılımı ve akışkanın iç enerjisi üzerindeki etkileri hesaba katar. Enerji denklemi, konveksiyon, iletim ve iç enerji üretimi bileşenleri aracılığıyla akışkanın sıcaklık dağılımını ve enerji alışverişini belirlemek için kullanılır. Böylelikle, akışkanın davranışı daha iyi anlaşılabilir ve gelecekteki akışkan hareketleri tahmin edilebilir hale gelir [18].

Enerji Denklemi ;

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \nabla(k\nabla T) + \Phi \quad (3.14)$$

P: Basınç [Pa]

h: Entalpi [kJ/kg]

ρ : Yoğunluk [kg/m³]

k: İletim katsayısı [W/m·K]

Φ : Viskoz Yitim Fonksiyonu

3.9. Otomotiv Endüstrisi Mekanik Test Standartları

Standartlar ve yönergeler, farklı sektörler için tasarlanan ve üretilen ürünlerin, hizmetlerin ve işlemlerin kalitesini, güvenliğini, uyumunu ve performansını sağlamak amacıyla belirlenen kurallar ve yönergelerdir. Bu standart ve yönergelere uygunluğu sağlamak çeşitli yönlerden avantajlar sağlamaktadır. Otomotiv endüstrisinde kullanılan elektronik sistemler, geniş sıcaklık aralıklarında ve değişken yük koşullarında, zorlu çalışma koşullarıyla karşı karşıyadır. Otomotiv parçaları tasarlanırken, ISO 16750 yönetmeliğine uygun olmaları gerekmektedir ki bu standart zamanla otomotiv üreticileri tarafından belirlenmiştir ve belirli aralıklarla güncellenmektedir. Ayrıca büyük otomotiv firmaların ISO16750 dışında kendilerine ait olan test kabul şartları ve yönetmelikleri bulunmaktadır. Bu yönetmeliklerin tamamı, tasarımda sınır koşullarının oluşmasına, tasarımda ve malzeme seçimlerinde zorluklara sebebiyet vermektedir. Standart, elektrik ve elektronik cihazların çeşitli çevresel koşullara maruz kaldığı durumları simüle etmek için çeşitli test yöntemlerini

içerir. Bu koşullar arasında yüksek ve düşük sıcaklıklar, nem, titreşim, darbe, tuzlu sisleme ve diğer aşındırıcı maddeler yer alır. ISO 16750-4, otomotiv endüstrisindeki üreticiler ve tedarikçiler için önemli bir referans kaynağıdır. Bu standart, elektrik ve elektronik sistemlerin dayanıklılığını belirlemek için temel bir referans noktası sağlar ve otomotiv sistemlerinin güvenlik, performans ve dayanıklılık açısından yüksek standartlara uygun olmasına yardımcı olur. Örneğin, sıcaklık testleri farklı iklim koşullarına dayanıklılığı test ederken, titreşim testleri yolculuk sırasında oluşabilecek titreşimlerin etkilerini değerlendirir. Bu standart, bileşenlerin ve sistemlerin belirli çevresel koşullara ne kadar dayanıklı olduğunu değerlendirmek için kullanılır ve bu da araçların güvenilirliğini ve performansını artırmak için kritik bir adımdır. Bu yüzden, yönergede bulunan testlerden herhangi birini sağlayamayan ürün, seri üretime uygun hale gelememektedir. Bu da itibar, zaman ve maddi kayıplara sebebiyet vermektedir.

3.10. Yöntemler

Bu araştırma, DC-DC dönüştürücülerin tasarım ve değerlendirme süreçlerini ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır. Temel hedef, enerji verimliliğini artırmak ve ısı kayıplarını azaltmak için gerekli adımları detaylandırmaktır. Şekil 3.7'de görülen ısı emici tasarım aşamaları algoritması, bu süreçte izlenen adımları özetlemektedir.

İlk aşama olan ısı emici modelinin oluşturulması, analizde kullanılacak geometrik modelin bilgisayar destekli yazılım programı ile tasarlanmasını içermektedir. Bu aşamada, ısı emicinin boyutları, malzeme özellikleri ve fiziksel konfigürasyonu belirlenir. Modelin doğruluğu, termal analiz sonuçlarının güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

Isı transferi ve akışkan dinamiği modellemelerinin birleştirildiği eşlenik HAD analizi, cihazın termal performansını daha gerçekçi bir şekilde değerlendirmek için kullanılır. Malzeme özellikleri ve sınır koşulları, bu modülde detaylı bir şekilde tanımlanır.

HAD analizi, cihazın termal ve mekanik analizlerinin gerçekleştirilmesi için seçilir. Bu yöntem, karmaşık geometrilerin ve sınır koşullarının analiz edilmesine olanak tanır. Şekil 3.7'deki algoritmada görüldüğü gibi, model değişikliği gerektiğinde, geometrik model tekrar gözden geçirilir.

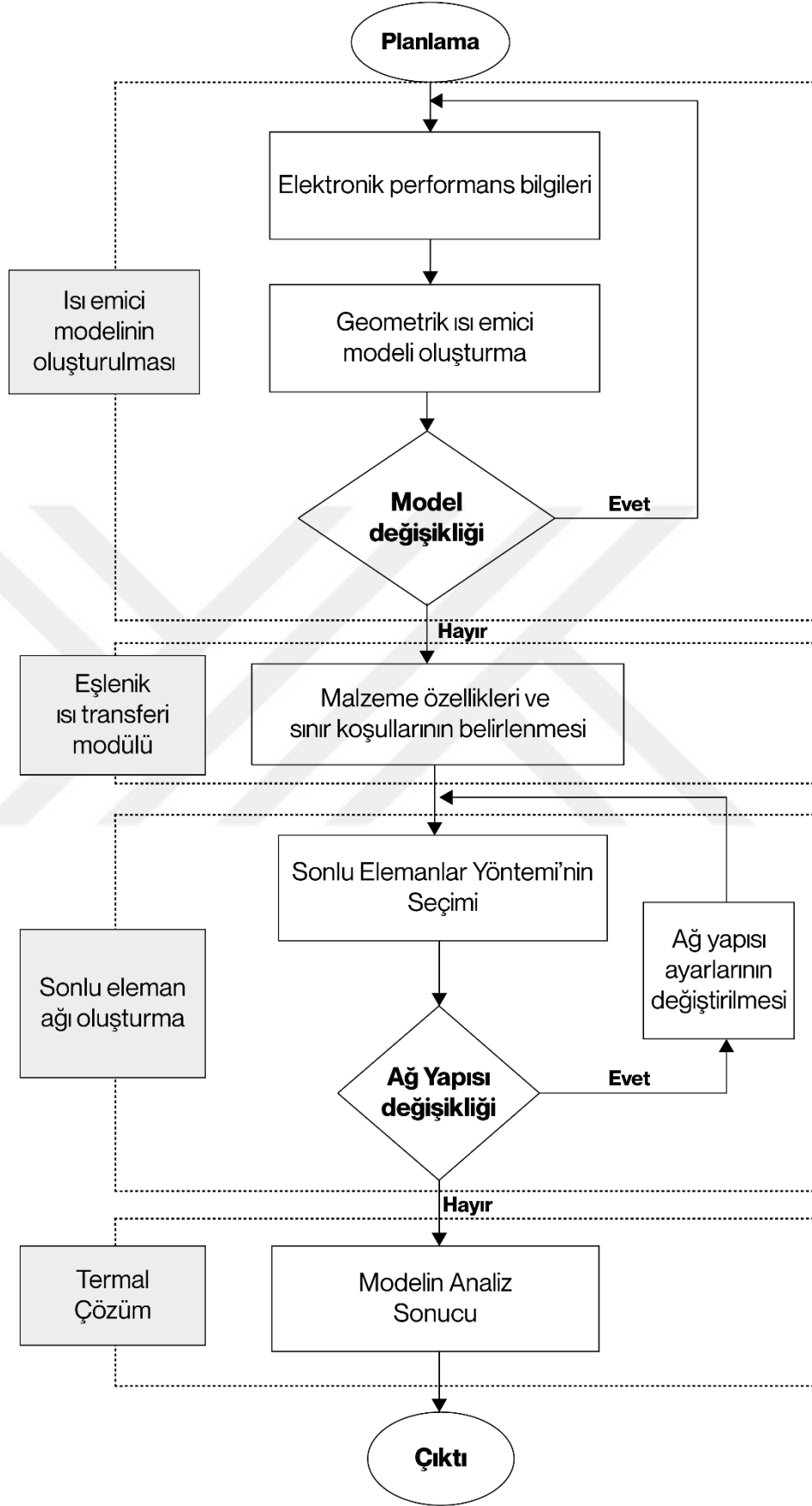
HAD analizleri için gerekli olan çözüm ağ yapısı oluşturulur. Çözüm ağ yapısı, modelin hassasiyetini ve doğruluğunu doğrudan etkiler. Bu aşamada, çözüm ağ yapısının uygunluğu test edilir ve gerektiğinde ayarlar değiştirilir.

Son olarak, termal çözüm gerçekleştirilir ve model analiz sonuçları elde edilir. Bu sonuçlar, cihazın termal performansının değerlendirilmesi ve optimize edilmesi için kullanılır. Analiz sonuçlarına göre, modelde gerekli değişiklikler yapılarak tasarım süreci tamamlanır.

Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen simülasyonlar, dönüştürücünün farklı çalışma koşulları ve yük senaryoları altındaki davranışını analiz etmek için kullanılır. Bu simülasyonlar, tasarımın teorik ve pratik yönlerinin doğrulanmasına olanak tanımakta ve tasarım sürecinin etkinliğini değerlendirmek için önemli bir araç sağlamaktadır. Prototip üretimi ve deneysel testler, teorik modellemeler ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırılarak gerçek koşullarda doğrulanmaktadır.

Simülasyon ve deneysel test sonuçlarının karşılaştırmalı analizi, tasarımın başarısını ölçmek ve potansiyel iyileştirme alanlarını belirlemek için kullanılır. Bu analizler sonucunda elde edilen bulgular, DC-DC dönüştürücülerin daha etkin ve verimli bir şekilde tasarlanmasına yönelik veriler sunmaktadır. Şekil 3.7'deki algoritma, tüm bu süreci adım adım özetleyerek, tasarım ve değerlendirme süreçlerinin ayrıntılı bir incelemesini sağlamaktadır.

Bu yöntemler, DC-DC dönüştürücülerin termal ve akış performansını optimize etmek ve enerji verimliliğini artırmak için kapsamlı bir kılavuz sunmaktadır. Tasarım ve değerlendirme süreçlerinin ayrıntılı bir incelemesi, cihazın performansını optimize etmek ve daha uzun ömürlü bir kullanım sağlamak için önemli stratejiler belirlemeye yardımcı olur.



Şekil 3.7. Isı emici tasarım aşamaları algoritması

3.10.1. Tasarım hususları

Isı, elektronik güç devresi içinde üretilir ve bu ısı genellikle soğutucu bir gövdeye iletilerek dağıtılır. Radyasyon ve doğal konveksiyon gibi mekanizmalarla bir kısmı dışarı yayılabilir, ancak çoğu ısı, soğutucuya iletim yoluyla geçer. İletim yoluyla aktarılan bu ısı, optimize edilmiş bir soğutucu kullanılarak çevreye konveksiyon yoluyla dağıtılacaktır. Elektronik devrelerin termal yönetiminde, ısı genellikle soğutucu aracılığıyla çevreye doğal konveksiyon ve radyasyon yoluyla aktarılmalıdır. Doğal konveksiyon, akışkanın koşullarına, soğutucunun yapısına ve akışkan akış moduna bağlı olarak değişiklik gösterebilir [20]. Bir soğutucu, termal enerjiyi daha yüksek bir sıcaklığa sahip bir cihazdan daha düşük sıcaklığa sahip ve genellikle hava olan akışkan ortama aktarır [21].

Arulmurugan L. ve ekibi, elektronik devreden soğutucuya ısı iletiminin gerçekleştiği bir deney yaptılar. Soğutucunun kanatları daha düşük bir sıcaklıkta olduğundan, soğutucunun ısıyı başarıyla uzaklaştırdığını gözlemlediler. Deney, doğal konveksiyon altında soğutucunun elektronik devreden gelen ısı enerjisini etkili bir şekilde yok ettiğini göstermektedir. Bu, doğal taşınma sırasında ısı transferinin, havanın yalnızca ısıyı taşıdığı yüzey alanından geçmesiyle gerçekleşebileceğini doğrular. Ayrıca, konveksiyon oranının soğutucunun tüm alanı boyunca eşit şekilde dağıldığını gözlemlediler [22].

Lee, malzeme ve üretim maliyetlerinde en az ödün vererek, soğutucu tasarımlarını optimize etmiş, farklı tipte ısı emicilere ve kanat kalınlığı ile kanat aralığı gibi tasarım parametrelerine optimizasyon yöntemi sunmuştur [23].

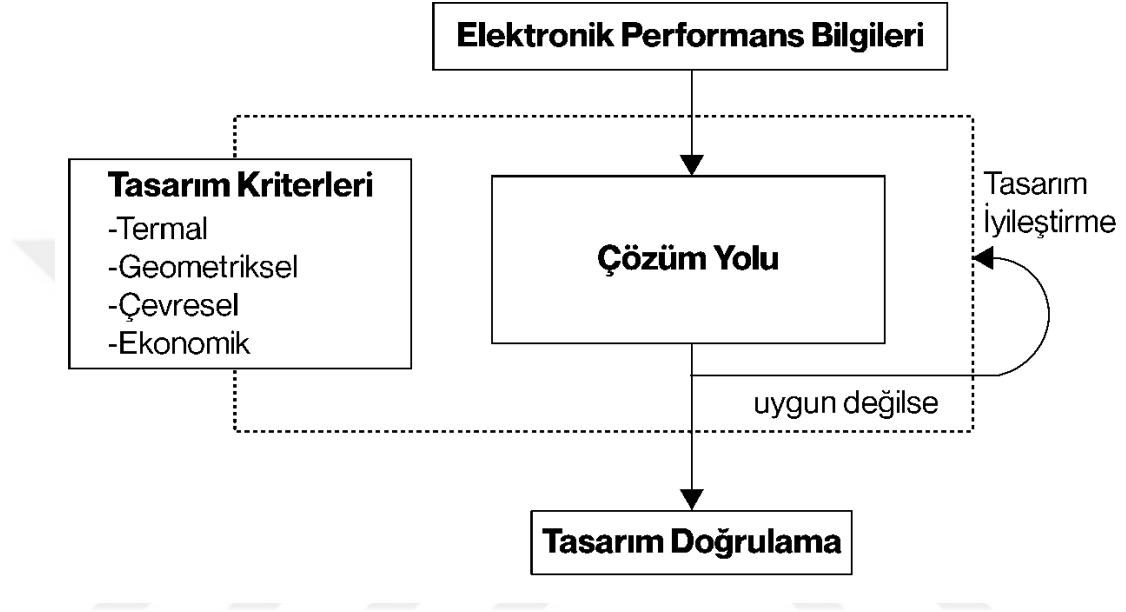
Iyengar ile Bar-Cohen, sabit hacimli izotermal kanat dizisi için kanat aralık optimizasyonu üzerine çalıştılar. Kanatçık uzunluğunun optimum yatay aralık ve üzerindeki etkisini ve optimum ısı dağılımının ortaya koyulduğu bir araştırma yaptılar [24].

Morrison, sabit bir kanatçık aralığında dikdörtgen kesitli kanatlara sahip doğal konveksiyondaki ısı emiciler için kanat geometrisinin optimizasyonunu sunmuş ve uygulamıştır [25].

Optimum soğutucuyu seçerken, soğutucu boyut parametresi, kullanılan malzeme, hava akışı ve elektronsel performans bilgileri vb. diğerleri gibi dikkate alınması gereken birçok ölçüt vardır [1]. Soğutucu akışkanla temas eden yüzey alanı ile ısı değiştirici

hacmi arasındaki oran, kanalın hidrolik çapının küçültülmesiyle artar. Bu özellik, ısı değiştirici boyutunun en aza indirilmesine, ısı değiştirici imalatında kullanılan malzeme miktarının az olmasına ve soğutucu miktarının azaltılmasına olanak sağlar. Bu yönler yalnızca imalat maliyetini değil aynı zamanda çevresel yönleri de etkiler [26].

3.10.2. Tasarım süreci



Şekil 3.8. Isı emici tasarım aşamalarına genel bakış

Bilgisayar ortamında ürünü modellemeyi önce Şekil 3.8’de gösterildiği gibi tasarım girdilerinin belirlenmesi önemlidir. Ürün en temelde elektronik performansı desteklemeli ve termal olarak elektronik işlemleri dar boğaz etmeyecek şekilde soğutulmasına destek olmalıdır. Bu yüzden elektronik kartta kritik olan yani yüksek sıcaklıklara çıkması öngörülen bileşenlerin belirlenmesi ve bu bileşenlerin performans bilgileri önem arz eder. Yine bu bileşenlerin elektronik kartta da uygun yerlere konularak soğutma alanının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamak gerekir. Tasarım şartlarının sağlanması için; termal, geometrik, çevresel ve ekonomik tasarımsal ölçütler göz önünde bulundurularak model tasarımı oluşturulmalıdır. Bu dört ana parametre birbiri ile bağıntılı olup dört parametrenin en uygun değerleri sağlanarak tasarım oluşturulabilmektedir. Bu model tasarımının testler ile doğruluğu ispatlanmalı eğer uygunluğu yoksa tekrar aynı aşamalardan geçilerek tasarım iyileştirilmelerinde bulunulmalıdır. Bu süreç model tasarım doğrulanması sağlanana dek devam eder.

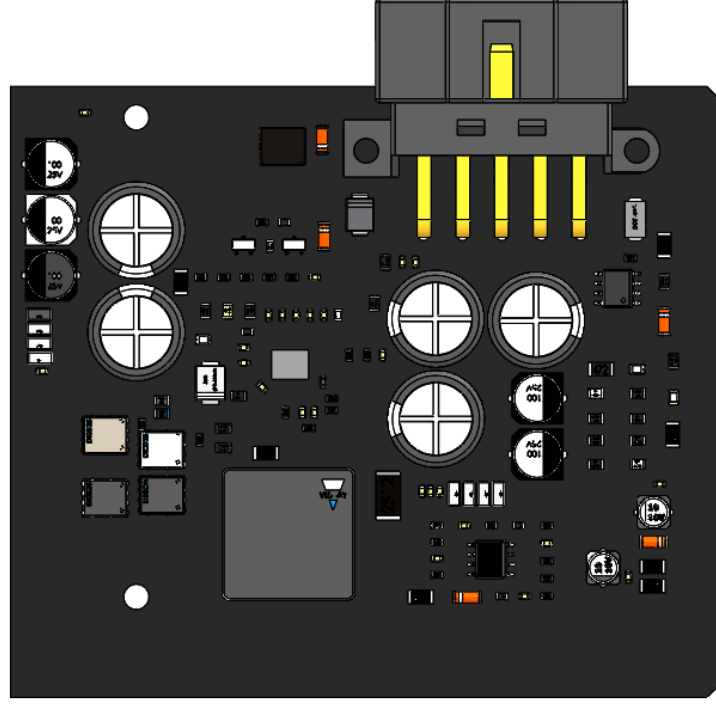
3.10.2.1. Elektronik performans bilgileri

Günümüzde elektronik bileşenlerin üretim süreçlerinde kullanılan montaj teknolojileri, ürünlerin boyutlarını küçültmek, daha hafif ve kompakt cihazlar üretmek, mekanik dayanıklılığı artırmak ve seri üretim hızlarını artırmak gibi önemli avantajlar sağlamak amacıyla sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu bağlamda, geleneksel olarak kullanılan delikli montaj tekniğine alternatif olarak, yüzey montaj teknolojisi giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Yüzey montaj teknolojisi, bileşenlerin kart yüzeyine doğrudan monte edilmesini sağlayarak, ürünlerin boyutlarını küçülterek daha kompakt tasarımların yapılmasına olanak tanır. Ayrıca, bu teknoloji sayesinde ürünler, mekanik titreşimlere ve sallantılara karşı daha dayanıklı hale gelir. Bununla birlikte, yüzey montaj teknolojisi, yüksek hızlarda seri üretim yapılmasına imkân tanıyan hatları kullanarak verimliliği artırır. Şekil 3.9.'deki gibi yüzey montaj teknolojisine sahip elektronik kart devresinin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Elektronik kart tasarımında, Mosfet grubu, Entegre (IC) ve Bobin kritik bileşen olarak seçildi. Bu bileşenler ürünün çalışma akımlarında diğer bileşenlere göre yüksek sıcaklıklara çıkarak elektronik kartın ısınmasına sebebiyet verecektir. Bu bileşenler soğutulmadığı takdirde ürünün güvenilirliğine zarar vereceği ve ardından arızaya sebep olabileceği ön görülmüştür. Bu nedenle, bu tür bileşenlerin soğutulması ve uygun ısı yönetimi stratejilerinin uygulanması gerekmektedir.

Yüzey montaj teknolojisiyle üretilen ürünlerde, bileşenlerin kart ile tam bir birleşme sağlanmakta ve ısı transferi büyük ölçüde iletim yoluyla gerçekleşmektedir. Bu nedenle, belirli bileşen gruplarının alt bölgelerinde soğutucu yüzeylerle doğrudan temasın sağlanması, önemli bir husustur. Bu sayede, bileşenlerin sıcaklıklarının kontrol altında tutulması ve ürünün güvenilirliğinin artırılması sağlanabilir.



Şekil 3.9. Yüzey montaj teknolojisi ile tasarlanmış elektronik devre kartı

3.10.2.2. Tasarım kriterleri

Şekil 3.7'de belirtildiği üzere, tasarım kısıtlarının belirlenmesi, Termal, Geometrik, Çevresel ve Ekonomik faktörlerin dikkate alınmasıyla gerçekleştirilir. Bu kısıtlar, tasarım sürecinde göz önünde bulundurulması gereken sınırlayıcı koşulları temsil eder. Elektronik performans girdileri göz önünde bulundurularak, bu koşullar içinde ve tasarımın bütünlüğünü sağlamak için mühendislik çabası gereklidir. Isı emici tasarımında dikkate alınması gereken bu parametreler, ısı transferinin etkinliği ve performansı açısından kritiktir. Her bir parametre, tasarım sürecinde özenle ele alınmalı ve optimize edilmelidir. Bu parametrelerin birbiriyle uygun seviyede olduğu tasarımın gerçekleştirilmesi için, her bir değişkenin en uygun seviyede tutulması gerekmektedir. Bu nedenle, bu parametrelerin birbiriyle olan ilişkileri detaylı bir şekilde incelenmeli ve her bir değişkenin en uygun düzeyde tutulması sağlanmalıdır.

3.10.2.2.1. Termal ölçütler

Termal tasarım, ürünün çalışma sıcaklıklarını yönetmek ve ısıyı etkili bir şekilde dağıtmak için hayati önem taşır. Malzeme seçimi, ısı genleşme, ısıl iletkenlik ve ısı kapasitesi gibi faktörler bu kategoride değerlendirilir.

Malzeme seçimi, ısı emicinin tasarımında önemli bir role sahiptir, çünkü kullanılan malzeme, ısı iletimini ve dolayısıyla ürünün genel performansına doğrudan etki eder.

Doğru malzeme seçildiği takdirde, daha etkili bir ısı transferi sağlanarak ısı emicinin performansı olumlu yönde artar. Yüksek ısı iletkenliğine sahip malzemeler ısıyı daha hızlı ve etkili şekilde uzaklaştırır. Dolayısıyla böyle malzemeleri tercih etmek, ısıyı daha hızlı şekilde elektronik bileşen üzerinden ortama geçişini sağlar. Böylece elektronik devre üzerinde bulunan bileşenler daha etkin bir şekilde soğutulur. Ayrıca, malzeme seçimi, ısı emicinin dayanıklılığı, mekanik özellikleri ve işlenebilirliği gibi faktörler üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Sonuç olarak, uygun malzeme seçimiyle ısı emici tasarımının verimliliği artırılabilir ve elektronik sistemlerin performansı ve güvenilirliği geliştirilebilir.

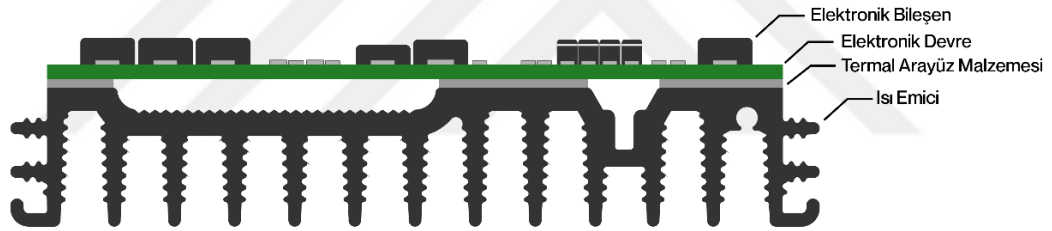
Tablo 3.1. Alüminyum ve bakır malzeme özellikleri

Özellikler	Birim	Alüminyum(Al)	Bakır (Cu)
Özgül Ağırlık	g/cm ³	2,70	8,96
Isıl İletkenlik	W/(mK)	237	401

Isıl iletkenlik, malzemenin birim zamanda birim yüzeyden birim kalınlıkta ve birim sıcaklık farkı için geçen ısı miktarını ifade eder. Yüksek ısıl iletkenlik değerleri, ısı transferinin daha etkin olmasını sağlar ve bu da soğutma sistemlerinin performansını iyileştirir. Isı iletkenliğini arttırmak için; genellikle ısı emicilerde, alüminyum veya bakır malzemeler tercih edilmektedir. Yüksek ısı iletkenliğiyle bilinen bu malzemeler ekonomik oluşuyla da özellikle aktif ve pasif soğutmalarda sıkça karşımıza çıkmaktadırlar. Tablo 1’de görüldüğü üzere bakırın alüminyuma nazaran daha yüksek bir ısı iletim katsayısı bulunmasına rağmen alüminyumun daha ekonomik ve hafif oluşu ısı emiciler için daha uygun bir çözüm olduğunu göstermektedir [27].

Termal yünden ürünün korunması ve arızaların önlenmesi için, ısıl iletkenliğin etkin bir şekilde sağlanması gereklidir. Bu bağlamda, ürünün termal performansını artırmak, ısı emicinin en kritik parametresidir. Belirlenen Mosfet grubu, Entegre Devre (IC) ve Bobin gibi kritik bileşenlerin, ısı emicisi aracılığıyla ısılarını iletmeleri kritiktir ve bu bileşenler ısılarını öncelikle elektronik karta ileteceklerdir. Şekil 3.10’da gösterildiği gibi elektronik kartın ısı kaynağı olarak işlev gördüğü ve ısı emicinin de bu ısıyı dışarıya atmak için kullanıldığı düşünüldüğünde, aralarında iyi bir ısıl iletimin sağlanması gereklidir. Ancak, bu iletim yolunun sağlanması için uygun bir iletken

malzeme kullanılmalıdır; doğrudan temas yerine TAM (termal ara yüz malzemesi) aracılığıyla ısı iletim sağlanmalıdır. Bu ara yüz malzemesi, elektriksel olarak iletken olan ısı emici ile elektronik kart arasında elektriksel yalıtımı sağlarken aynı zamanda ısı iletimini de gerçekleştirir. Termal ara yüz malzemesi seçiminde, malzemenin termal iletim katsayısı kritik bir öneme sahiptir, çünkü yüksek termal iletim katsayısına sahip parçalar ısıyı daha iyi iletir. Ancak, ekonomik koşullar da göz önüne alındığında, uygun bir termal ara yüz malzemesi seçimi önemlidir. Isı iletimini artırmak için, elektronik kart ile ısı emicinin maksimum yüzey alanından temas etmesi sağlanmalıdır, çünkü Fourier Kanunu'na göre yüzey alanının artışı, ısı iletimini de arttıracaktır. Montaj yöntemi de ısı iletimini olumlu veya olumsuz etkileyebilir; bu nedenle, montaj sonrasında ısı emici yüzeyi ile elektronik kart arasında hava boşluğu oluşmaması veya herhangi bir boşluk oluşturacak yapı bulunmaması önemlidir. Tam bir birleşme sağlanmadığı takdirde, ısı iletimi olumsuz etkilenebilir ve ısı tam olarak ısı emicisine aktarılamaz.



Şekil 3.10. Isı geçişi bölgesindeki katmanlar

3.10.2.2.2. Çevresel ölçütler

Isı emici tasarımında ISO 16750 standartlarına uygun olarak çalışma ortamı koşullarının belirlenmesi ve bu koşullar altında ısı emicinin performansının değerlendirilmesi önemlidir. Bu standart, belirli sıcaklık aralıklarında (genellikle -40°C ila +85°C arası) testlerin yapılmasını gerektirir. Isı emici tasarımı, bu geniş sıcaklık aralığında istikrarlı bir şekilde çalışacak şekilde optimize edilmelidir ve sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklılık dikkate alınmalıdır. Ayrıca, standart yüksek nem seviyelerinde (genellikle %95'e kadar) ve düşük nem seviyelerinde (genellikle %5'e kadar) testlerin yapılmasını öngörür. Bu nedenle, ısı emici tasarımı nemin neden olabileceği korozyon veya elektriksel problemlere karşı dayanıklı olmalıdır.

Hava akışı, ısı emici tasarımında önemli bir faktördür çünkü ısı emici üzerinden geçen hava, ısı transferini gerçekleştirerek ısıyı uzaklaştırır. Bu nedenle, ısı emicinin performansını artırmak için uygun bir hava akışının sağlanması kritiktir. Hava akışı genellikle fanlar veya doğal konveksiyon gibi mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşir. Fanlar kullanılmadığında veya yardımcı bir hava akımı gerekmediğinde, doğal hava akışı tercih edilir. Bu durumda, ısı emici tasarımı doğal konveksiyonun etkin bir şekilde çalışması için optimize edilir. Ancak, doğal hava akışı fanlı sistemlere kıyasla daha sınırlı bir soğutma kapasitesine sahip olabilir ve dış ortamın sıcaklık ve basınç değişimlerinden daha fazla etkilenebilir. Uygun hava akışının sağlanması için, ısı emici tasarımı ve sisteminin konumu dikkatle incelenmelidir. Isı emicinin etrafındaki engeller, hava akışını engelleyebilir ve soğutma etkinliğini azaltabilir. Bu nedenle, ısı emicinin yerleştirileceği ortam ve sistemin genel konfigürasyonu, uygun hava akımını sağlamak üzere titizlikle değerlendirilmelidir.

DC-DC dönüştürücü ürünü için ISO 16750 standartları gereği -40°C ila $+85^{\circ}\text{C}$ arası sıcaklık çalışma sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Seçilen malzemeler bu sıcaklıklara dayanıklı malzemelerden oluşması gerekmektedir.

Seçilecek olan ısı emici malzemesi, yüksek mukavemet, rijitlik ve dayanıklılık gereksinimlerini sağlamalıdır. Isı emicinin, ISO 16750 standartlarındaki titreşim, yorulma, düşme gibi mekanik testlere dayanıklı olacak şekilde tasarlanması için bu test koşullarını sağlayan malzeme seçilmesi önemlidir.

Isı emici her ne kadar aracın iç ortam koşullarında kullanılıyor olsa da ISO 16750 gereği ilgili korozyon direnci testlerinden başarıyla geçebiliyor olması gereklidir. Korozyon malzemenin performansını ve ömrünü olumsuz yönde etkileyebilir. Ürünün işlevini kaybetmesine sebep olabilir. Bu yüzden korozyon direnci malzeme seçimi için kritik öneme sahiptir.

Testler, referans ortam sıcaklığı olarak kabul edilen 25°C değerinde gerçekleştirilecektir. Bu sıcaklık, deneysel ve bilgisayar simülasyonları arasında karşılaştırma yapabilmek için gerekli termal oda koşullarının oluşturulmasını mümkün kılar. Ürünün, genellikle zorlanmış konveksiyonun (hava akımı) olmadığı, araç içi gibi kapalı alanlarda kullanılması öngörüldüğünden, testler sırasında doğal konveksiyon koşulları altında analizler yürütülecektir. Bu, ürünün gerçek koşullarında nasıl performans göstereceğine dair daha doğru bir tahmin sağlar.

3.10.2.2.3. Ekonomik ölçütler

Mühendislik tasarım süreçlerinde, ekonomik faktörler, bir ürünün pazar performansını belirleyen kritik değişkenler arasında bulunmaktadır. Bu faktörler, malzeme seçiminden üretim yöntemlerine, üretim kabiliyetinden üretim kütlesi ve enerji verimliliğine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamakta ve tasarımın maliyet etkinliği ile pazardaki konumunu doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma, mühendislik tasarımındaki ekonomik parametrelerin merkezi rolünü ve bunların malzeme seçimi, üretim kabiliyeti, kütsel özellikler ve enerji verimliliği bağlamında incelenmesini detaylandırmaktadır.

Malzeme seçimi, mühendislik tasarımında ekonomik açıdan stratejik bir faktördür; zira uygun malzeme tercihi, ürünün maliyetini, dayanımını ve performansını direkt olarak etkilemektedir. Üretim kabiliyeti, tasarım aşamasında üretim kolaylığı ve maliyetleri dikkate alarak, ürünün toplam üretim maliyetini tayin etmektedir. Malzemenin işlenebilirliği, yani üretim kabiliyeti tasarımın esnekliğini arttırmakta ve bu da kanat yapıları ve aralıklarındaki boşluklarda daha fazla esneklik sağlamaktadır. Ayrıca, ısı emici bileşenlerin seri üretimi sırasında, boyutsal doğruluk ve tolerans uyumluluğunu iyileştirmekte, bu da atık miktarını azaltmakta ve üretim verimliliğini arttırmaktadır.

Genel olarak, malzeme seçimi maliyetle yakından ilişkilidir. Büyük ölçekli üretimlerde, düşük maliyetli malzemelerin tercih edilmesi, üretim maliyetlerini düşürme ve rekabetçi bir avantaj sağlama amacıyla yaygın bir pratiktir. Örneğin, düşük maliyetli ve yüksek termal iletkenlik özelliklerine sahip alüminyum, soğutucu bileşenlerin üretiminde sıkça kullanılmaktadır. Bununla birlikte, malzeme seçiminde maliyetin yanı sıra performans faktörleri de göz önünde bulundurulmalıdır; çünkü malzemenin mekanik dayanımı, uzun ömürlülüğü ve işlevselliği, ürün kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, maliyet ve performans arasında optimal bir denge kurularak malzeme seçimi yapılmalıdır.

Kütlenin azaltılması, taşıma ve lojistik maliyetlerini etkilemekte ve özellikle elektrikli araçların pazar payının arttığı ve menzil rekabetinin yoğunlaştığı otomotiv sektöründe, ağırlık azalımı kritik bir faktör haline gelmektedir. Örneğin, DC-DC dönüştürücülerde, kütlenin büyük bir kısmı genellikle ısı emici bileşenlere aittir. Isı emici bileşenlerin tasarımında, mekanik özellikler göz önünde bulundurularak hafif malzeme seçimi,

ürünün rekabetçi piyasa koşullarında öne çıkmasını sağlayabilir ve elektrikli araçlarda menzil artışına katkıda bulunabilir.

Enerji verimliliği, hem üretim hem de kullanım aşamalarında maliyetleri azaltarak uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirliği desteklemektedir. Alüminyum ve alaşımları, düşük maliyetli, yüksek dayanım ve özellikle termal iletkenlik özellikleri nedeniyle soğutucu bileşenlerin üretiminde tercih edilen malzemeler arasındadır.

Alüminyum ve alaşımları, genellikle düşük maliyetli, dayanıklı ve özellikle yüksek termal iletkenlikleri nedeniyle soğutucu üretiminde en çok tercih edilen malzemelerdir [2]. Ayrıca, geri dönüştürülebilir bir malzeme olmaları, çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli bir avantaj sağlar. Bu özelliklerin bir araya gelmesi, alüminyum ve alaşımlarının endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlamaktadır.

Yapılan kapsamlı analizler ve sektördeki genel kabul görmüş uygulamalar dikkate alındığında, maliyet etkinliğiyle bilinen, işlenebilirliği ve boyutsal doğruluğu yüksek olan, ayrıca ISO 16750 mekanik ve kimyasal test şartlarını karşılayabilen 6000 serisi alüminyum alaşımından olan 6060 cinsi alüminyum alaşımı tercih edilmiştir. Bu seçim hem teknik gereksinimleri hem de ekonomik ve çevresel faktörleri dengeli bir şekilde karşılayarak, tasarımın başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Üretim sürecinin maliyeti, hızı ve verimliliği, ekonomik tasarımın belirleyici unsurlarından biridir. Bu da üretim yönteminin maliyet üzerinde etkisini önemli ölçüde belirlemektedir. Alüminyum alaşımı malzemeden üretilen ısı emicileri genellikle çeşitli üretim metotları kullanılarak imal edilir. Bu metotlar arasında en yaygın olanları döküm ve ekstrüzyon işlemleridir, çünkü bunlar genellikle en uygun maliyetli üretim çözümleridir.

Isı emici parçalar döküm yöntemiyle üretilebilir. Bu işlemde, eriyik halde bulunan alüminyum alaşımı bir kalıba dökülür ve eriyik alaşım kalıpta soğuduktan sonra istenilen şekle sahip parçalar elde edilir. Döküm işlemi, karmaşık ve büyük boyutlu parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılır.

Ekstrüzyon işlemi, alüminyum alaşımının ısıtılarak bir ekstrüzyon kalıbından geçirilmesiyle yapılır. Bu işlem sırasında, alaşım kalıptan geçerken istenilen profile sahip uzun bir çubuk şeklinde parça elde edilir. Daha sonra bu çubuk istenen ebatlarda

kesilerek parça elde edilir. Bu yöntem, genellikle uzun, ince ve karmaşık şekillerin üretiminde kullanılır.

Çoğu seri üretim alüminyum ısı emici, genellikle ekstrüzyon veya döküm yöntemleri kullanılarak üretilir [2]. Bu yöntemler, alüminyum alaşımlı ısı emicilerin üretiminde yaygın olarak tercih edilir ve ürünün özelliklerine, boyutuna ve kullanım amaçlarına bağlı olarak seçilir. Ekstrüzyon ve döküm yöntemleri, maliyet açısından etkili bir seçenek sunar. Ekstrüzyon ile yapılan kanatlı ısı emiciler, basit, düşük maliyetli ve hafif olmalarıyla dikkat çeker. Bu tür bir ısı emici, kolay üretilebilir, düşük maliyetlidir ve yeterli soğutma sağlayarak güvenilirlik sunabilir.

Optimal ısı emici boyutu, ısı kaynağının gücüne bağlı olarak belirlenir. Termal tasarım sürecinde, elektronik bileşenlerin soğutulması için kullanılan ısı transfer tekniğinin seçimi, uygulama gereksinimlerine, istenen soğutma kapasitesine, güvenilirliğe ve maliyete bağlıdır. Bu nedenle, soğutma çözümleri uygun maliyetli olmalı ve sistemde minimum karmaşıklık sağlamalıdır [28].

Bu ısı emici tasarımında seri üretim için ekstrüzyon yöntemi seçilmiştir. Bu seçimdeki en önemli kistas, ürünün boyutunda değişikliğe gidilebilmesi için daha esnek oluşudur. Örneğin, 20 Amper DC-DC dönüştürücü yerine farklı ürünlerle de elektronik kartın uzunluğunda farklılaştırma yapılarak tasarımsal olarak uyumlu hale getirilebilir. Bu durum, ürünün daha maliyet etkin olmasına ve yüksek adetlerde uygun maliyetlerde üretim yapılabilmesine olanak tanır.

3.10.2.2.4. Geometrik ölçütler

Termal, çevresel ve ekonomik ölçütlerin belirlenmesinin ardından elde edilen sınırlamalar göz önünde bulundurularak, ürünün geometrik ölçütlerinin belirlenmesi hedeflendi. Bu sınırlamaların çerçevesinde, boyutlandırma, form ve şekil belirlenmesi, uyum ve modelleme adımları ön plana çıkmaktadır.

Geometrik tasarımın başlangıç noktası boyutlandırmadır. Bu adım, ısı emicisinin belirlenen gereksinimlere uygun boyutlarının belirlenmesini içerir. Isı emicinin genişliği, uzunluğu ve kalınlığı gibi temel boyutlar, elektronik bileşenlerin montajı için uygun olmalı ve aynı zamanda etkili bir ısı transferi sağlamak için optimize edilmelidir. Boyutlandırma süreci, ısı emicisinin tasarımı için temel bir çerçeve oluşturur ve diğer geometrik özelliklerin belirlenmesinde rehberlik eder.

Isı emicisinin etkili bir şekilde ısı transferi yapabilmesi için doğru form ve şeklinin belirlenmesi önemlidir. Doğru form ve şekil seçimi, ısı emicisinin elektronik bileşenlere maksimum temas sağlamasını ve uygun bir soğutma performansını elde etmesini sağlar. Bu adımda, ısı emicisi üzerindeki kanatların boyutu, şekli ve konumu gibi detaylar da dikkate alınmalıdır. Form ve şekil belirlenmesi, tasarımın elektronik devreyle uyumlu olmasını sağlayarak, ısı emicisinin etkili bir şekilde çalışmasını sağlar.

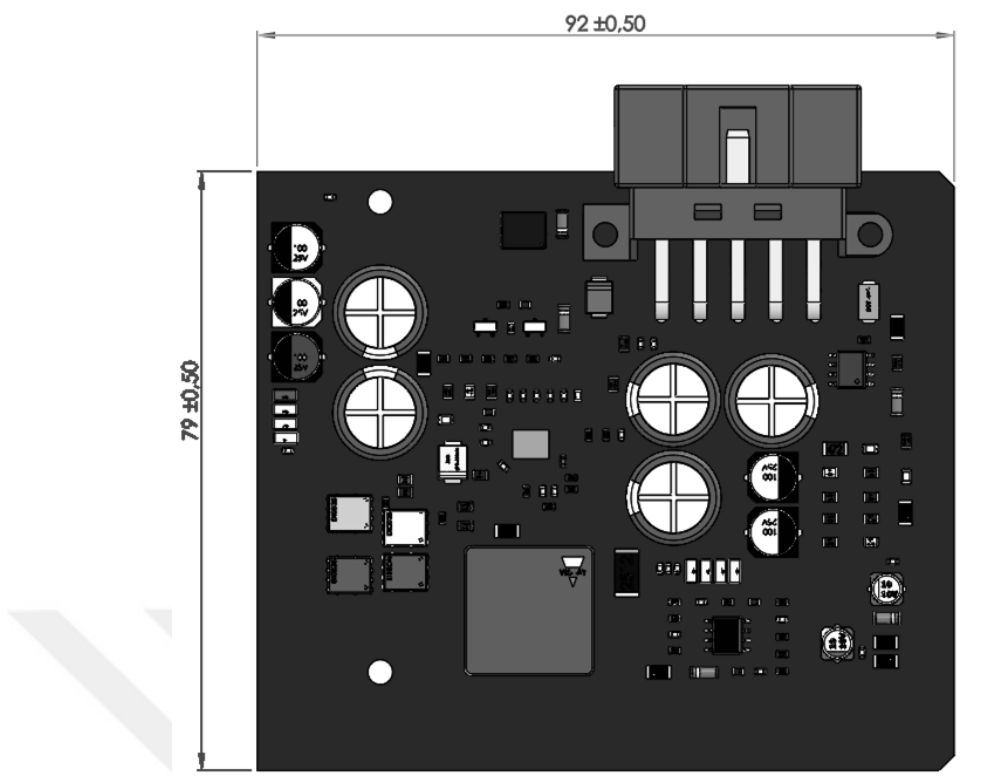
Isı emicisinin diğer sistemlerle uyumlu olması ve montaj kolaylığı sağlaması önemlidir. Tasarım sürecinde, ısı emicisinin elektronik devreyle uyumlu olmasına ve montaj esnasında herhangi bir soruna neden olmamasına özen gösterilmelidir. Ayrıca, ısı emicisinin montajı sırasında mekanik uyumun sağlanması da önemlidir. Bu adım, ısı emicisinin sorunsuz bir şekilde diğer bileşenlerle entegre edilmesini sağlar ve montaj sürecini kolaylaştırır.

Isı emicisinin tasarımının detaylı olarak modellenmesi ve görselleştirilmesi, tasarım sürecinin önemli bir parçasını oluşturur. Modelleme sayesinde, ısı emicisinin tasarımı üzerinde yapılan değişikliklerin etkileri daha iyi anlaşılabilir ve tasarım sürecindeki hataların erken tespit edilmesi mümkün olur. Ayrıca, modelleme sayesinde ısı emicisinin prototip üretimi ve üretim sürecinde kullanılacak kalıp veya matrislerin oluşturulması kolaylaşır. Bu adım, tasarımın detaylı bir şekilde incelenmesini ve optimize edilmesini sağlar.

Bu bilgiler ışığında, ısı emici tasarımında termal, çevresel ve ekonomik ölçütlerin belirlenmesiyle birlikte geometrik tasarım çerçeveleri olan boyutlandırma, form ve şekil belirlenmesi, uyum ve modelleme adımları dikkate alınarak bir tasarım oluşturulacaktır.

3.10.2.3. Isı emici tasarımı

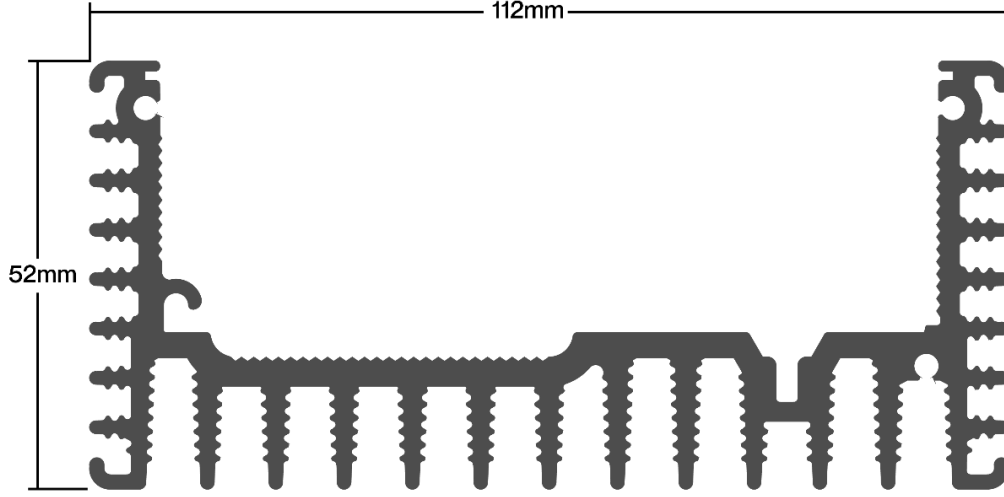
Isı emici tasarımında ilk öncelik olarak ısı emicinin genel boyutlarının belirlenmesi gereklidir. Benzer çalışmaların incelenmesi sonucunda, genellikle ısı emicilerin ebatları elektronik devreyi kapsayan optimum ebatlarda bir gövde ve bu gövdeye bağlı kanatlı yapılardan ibaret olmaktadır. Şekil 3.11’de gösterilen elektronik devre kartı tasarlandı. Bu elektronik devre kartı ebatları çerçevesinde yaklaşık ebatlar belirlendi.



Şekil 3.11. Elektronik devre ebatları

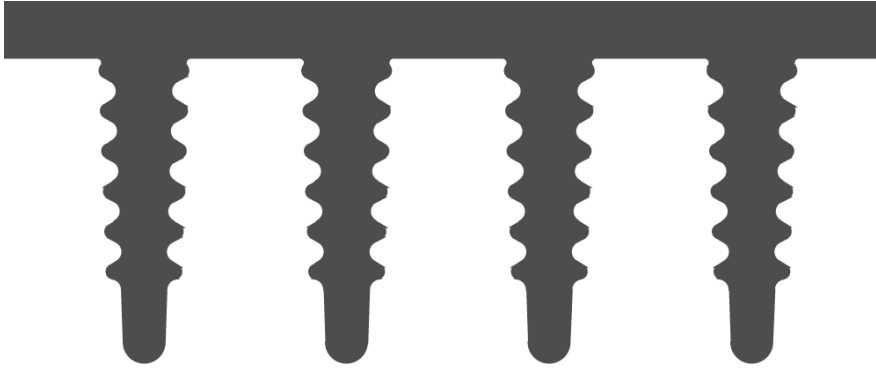
Üretim metot ve kolaylıklar da düşünüldüğünde, ısı emicinin ekstrüzyon yöntemiyle üretilmesi ısı emiciyi maliyet etkin bir hale getireceğinden seçim bu yönde yapıldı. Böylece ısı emicide boyutsal doğruluk ön planda olması ve istenen ölçülerde farklı ürünleri veya gelecekte olabilecek elektronik kart revizeleri sonrası ısı emicinin boyutsal değişikliklere de uyumlu hale gelebilmesi sağlandı. Ekstrüzyon yöntemiyle imal edilecek ısı emicinin tasarımında; elektronik kartın genişliği olan 92 mm’lik ölçü referans alınarak, bu ebata uygun montaj yapılabilir genişlikte bir ısı emici ebadı belirlendi.

Şekil 3.11’da gösterilen elektronik kartın 79 mm’lik uzunluğu ise ekstrüzyon profilin imalat yönünde olacak şekilde tasarlandı. Böylece 79 mm’lik uzunlukta herhangi bir revizyon yapılsa dahi ısı emici uzunluğu elektronik karta uyum sağlayacak şekilde imal edilebilir.



Şekil 3.12. Isı emici ebatları (mm)

Şekil 3.12’de görülen ısı emici tasarımı yapıldı. Bu tasarımda ön ebatlar belirlendi. Isı emici için minimum hacim kaplayacak şekilde bir tasarım öngörüldü. Servis edilebilirlik şartları da düşünülerek, tasarım sınır koşulu olan montaj tipi ve elektronik kart üzerindeki konektör yerini de değiştirmeden bir tasarım yapılması gerekti. Araç montaj noktalarını ısı emici üzerinden değil de yan kapaklar üzerinden yapılması planlanarak daha küçük hacimli bir ısı emici tasarımı gerçekleştirildi.

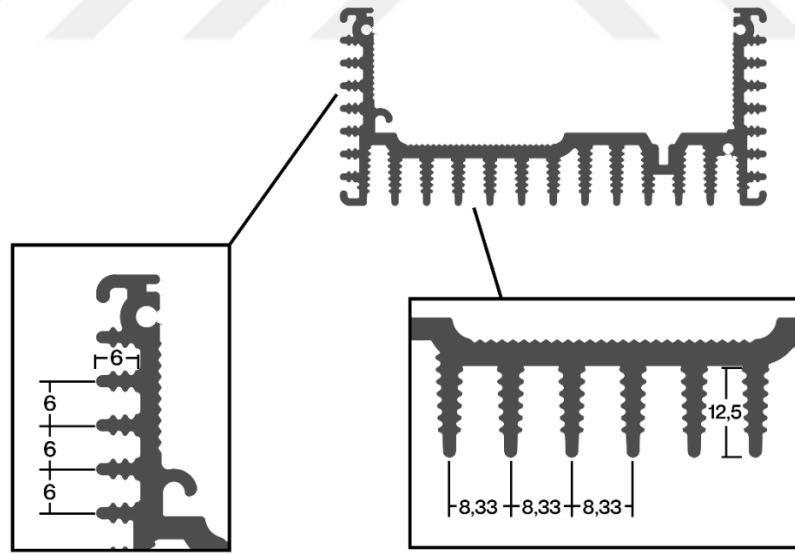


Şekil 3.13. Isı emici kanat yapısı

Isı emici kanat tasarımı, ısı emicinin soğutma performansını önemli ölçüde belirler ve en etkin ısı transferini sağlamak için titizlikle optimize edilmelidir. Her bir faktör, tasarımın belirli gereksinimlerini karşılamak için özenle değerlendirilmelidir. Bu faktörlerin dikkatlice incelenmesi, ısı emicinin belirli bir uygulama veya ortamda en iyi şekilde çalışmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Isı emici tasarımında, kanat profili, kanatlar arası mesafe ve kanat kalınlığı gibi parametrelerin belirlenmesi için benzer ürünler incelendi ve bu ürünlerdeki ölçümler referans alındı. Maksimum yüzey alanını sağlamak ve en küçük hacimde etkin bir soğutma performansı elde etmek için ön bir tasarım yapıldı. Bu tasarımın ekstrüzyon profil üretimi için uygun olması ve seri üretim şartlarını karşılaması gerekiyordu. Tasarlanacak kanat yapısının boyutsal doğruluğu yüksek olmalı ve seri üretimde kullanılan kalıplarla uyumlu olmalıdır. Bu nedenle, kanatlar arası mesafe, kalıp yapısı ve üretim teknikleri göz önünde bulundurularak belirlendi.

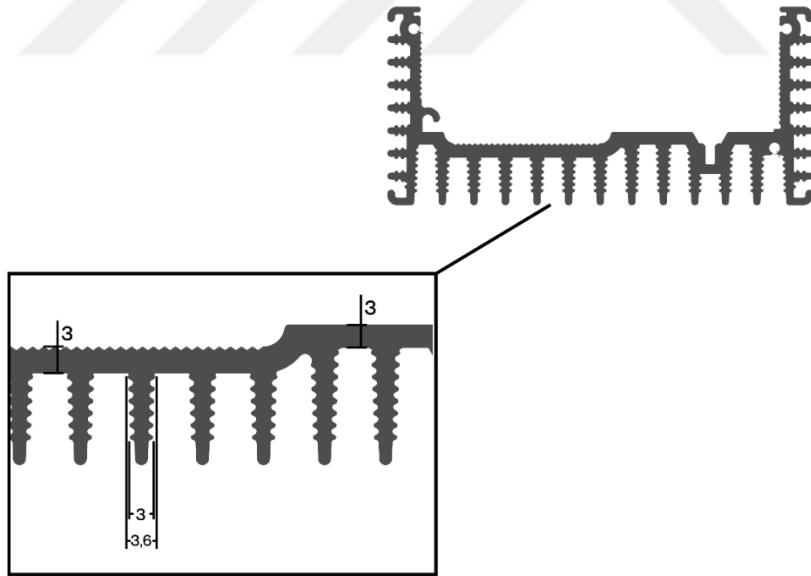
Kanatlar arası mesafenin belirlenmesi, kalıp üretimi açısından kritik öneme sahiptir. Çok düşük bir mesafe, kalıptan çıkma işlemi sırasında zorlanmaya ve kalıp hasarına yol açabilir. Ayrıca, fazla açık bir mesafe ise ısı emici profilin etkinliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, ideal bir aralık belirlenerek kalıp üretimi için uygun bir tasarım yapıldı. Kanat yapısının uzunluğu ve profilinin, kanatlar arası boşluğa olan etkisi dikkate alınarak bu ideal aralık belirlenmiştir. Sonuç olarak, belirlenen ebatlarda maksimum kanat yapısına sahip bir tasarım elde edildi. Hem kalıpcılık esaslarına uygunluğu hem de etkili bir soğutma performansını sağlamayı amaçlandı.



Şekil 3.14. Kanatlar arası mesafe ve kanat uzunluğu (mm)

Kanatların kalınlığı ve yüksekliği, ısı emici tasarımında kritik öneme sahip olan faktörlerdir ve bu ölçütler, kullanılan malzemenin ısı iletkenliği ve mekanik dayanıklılığına bağlı olarak belirlenir. Yüksek ısı ileten malzemeler, daha ince kanat kalınlıklarını destekleyerek daha hafif ve kompakt tasarımlara olanak sağlarken, daha

dayanıklı malzemeler daha kalın kanatların kullanılmasına olanak tanır. Daha ince kanatlar genellikle ısıyı daha hızlı bir şekilde iletebilir çünkü ısı, daha kısa mesafelerde taşınır. Ancak, daha kalın kanatlar daha fazla yüzey alanı sunarak daha etkili bir ısı transferi sağlayabilir. Bununla birlikte, kanatların yeterli mukavemeti sağlaması da son derece önemlidir ve bu durumda daha kalın ve sağlam kanatlar tercih edilir. Kanatların kalınlığı ve yüksekliği, üretim sürecinin gereksinimlerine uygun olarak belirlenir ve özellikle ekstrüzyon gibi üretim yöntemlerinde belirli bir kalınlık ve yükseklik aralığı tercih edilir. Ancak, çok kalın ve yüksek kanatlar seçildiğinde, kanat aralıklarının artırılması gerekebilir ve bu da verimliliği azaltabilir. Diğer yandan, çok ince kanatlar, kalıp tasarımı açısından sorunlara neden olabilir. Ayrıca, çok kalın veya yüksek kanatlar hava akışını engelleyebilir ve bu da ısı transferini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, kanat boyutları, optimum hava akımını sağlamak için dikkatle belirlenmelidir. Bu kritik faktörler göz önüne alındığında, kanatların kalınlığı ve yüksekliği, belirli uygulama gereksinimlerini karşılamak için titizlikle optimize edilmelidir. Bu, etkili bir ısı transferi sağlamanın yanı sıra mekanik dayanıklılığı ve üretim kolaylığını sağlamak için de önemlidir.



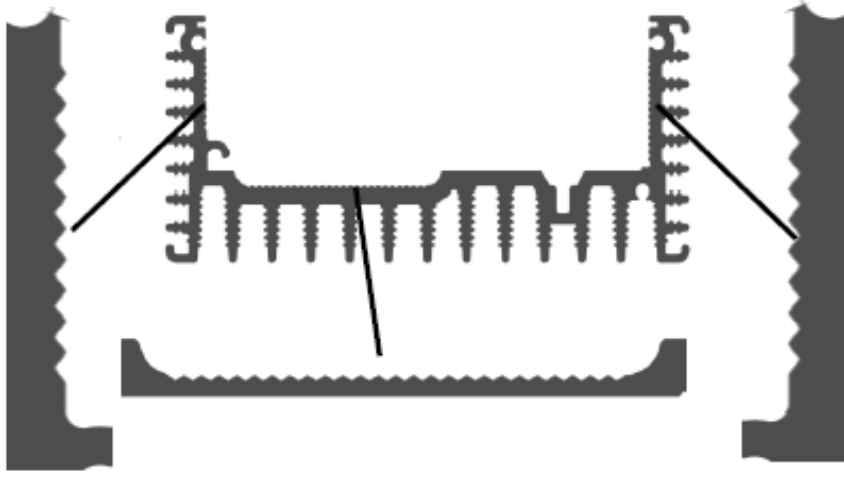
Şekil 3.15. Kanat kalınlığı ve taban yüzey kalınlığı (mm)

Isı emicilerde, genellikle belirli uygulama gereksinimlerini karşılamak ve en uygun şartlarda ısı transferini sağlamak amacıyla kanat şekli belirlenir. Kanat şekli, maksimum ısı transferi verimliliğini sağlamak için optimize edilir ve genellikle daha büyük bir yüzey alanı oluşturacak şekilde tasarlanır. Ayrıca, kanat şekli içinden geçen

hava veya sıvı akışını optimize etmek için de belirlenir; çünkü düzgün bir akış, ısı transferini artırabilir. Kanat şekli aynı zamanda mekanik streslere karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanır ve üretim sürecine uygunluğu göz önünde bulundurulur. Bu tasarım sürecinde, yüzey alanını arttırmak için yapılan kanatlarının keskin kenarlardan kaçınılması ve yapılacak kenar kıvrımlarının kalıp çıktısına uygun olması önemlidir. Tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak kanat şekli tasarlanır ve benzer ürünlerdeki kanat şekilleri analiz edilerek en uygun tasarım çeşitli denemeler sonucunda belirlenir.

Yapılan tüm bu analizlerden sonra Şekil 3.15’de belirlenen tipte bir kanat şekli belirlendi. Bu kanat şeklinin üretilebilirlik anlamında kenar kıvrımlarının uygunluğu sağlandı. Diplerde en geniş uzadıkça daralan bir tasarım izlenerek ısı transferinin artırılması hedeflendi. Ayrıca tüm kanat profil yüzeyi düz tasarlanması yerine girinti çıkıntılar yapılarak yüzey alanı arttırıldı.

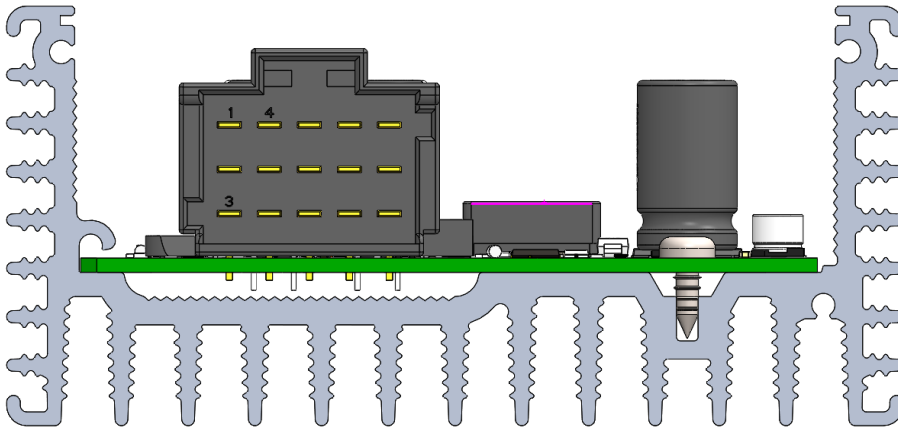
Isı emici tasarımında, yüzey pürüzlülüğü, ısı transferi verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip kritik bir parametredir. Daha pürüzlü bir yüzey, temas alanını artırarak ısı transferini artırabilir. Ancak, aşırı pürüzlü bir yüzey, sıvı veya hava akışını engelleyebilir ve ısı transferini olumsuz yönde etkileyebilir. Yüzey pürüzlülüğü ayrıca ısı emicinin mekanik dayanıklılığını da etkileyebilir. Özellikle alüminyum gibi yumuşak malzemelerin kullanıldığı ısı emicilerde, pürüzlü bir yüzey daha fazla mekanik dayanıklılık sağlayabilir. Ancak, pürüzlülük malzemenin korozyona karşı direncini olumsuz etkileyebilir. Daha düzgün bir yüzey genellikle daha az korozyona duyarlı olsa da, uygun kaplama veya yüzey işleme teknikleri kullanılarak pürüzlü yüzeylerin korozyona karşı korunması mümkündür. Ekstrüzyon yöntemiyle imalatta yüzey pürüzlülüğü çok düşüktür ve genellikle parlak bir yüzey şeklinde parçalar çıkar. Ayrıca pürüzlülük profilin boyunca olacağından tasarım anlamında estetik durmaz ve profillerde genellikle yüzey pürüzlülüğü istenmez. Bu yüzden Şekil 3.16’da gösterildiği gibi düz yüzeylere tasarımsal olarak girinti çıkıntılar eklenerek yüzey alanı arttırmayı amaçlayacak şekilde tasarım elde edildi. Bu yüzey artışları sayesinde ısı transferini arttırmak amaçlandı. Olası korozyon sorunlarını önlemek amacıyla ürün yüzeylerinin naturel eloksallı kaplama ile kaplanması planlandı. Bu sayede, ısı emicinin yüzey deformasyonlarının ortadan kaldırılması ve estetik kaygıların giderilmesinin yanı sıra korozyon direncinin artırılması hedeflendi.



Şekil 3.16. Isı emici yüzey alanı artırıcı bölgeler

Montaj kolaylığı ve mekanik uyum, ısı emicinin tasarımında büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, ürünün diğer bileşenlerinin ısı emiciye uyumlu ve kolayca monte edilebilmesi gerekmektedir. Montaj süreci, termal ara yüz malzemesinin ısı emici üzerine yerleştirilmesi ile başlar, ardından elektronik kartın montajı gerçekleştirilir. Elektronik kartın montajı için genellikle kullanılan bir yöntem, ısı emicinin dört köşesine cıvata bağlantısı yapılmasıdır. Ancak, Üretim hızını artırmak ve montaj işlemlerini hızlandırmak için daha az cıvata kullanımı öngörüldü.

Bu yeni yöntemde, Şekil 3.17’de gösterildiği gibi elektronik kartın bir kenarı ısı emicinin içine sıkıştırılarak monte edilirken, diğer bir kenarı ise özel olarak tasarlanan bir kanala cıvata bağlantısı ile montajlanır. Bu sayede, hem hava boşluğu oluşumu engellenir ve ısı iletimi optimize edilir, hem de mekanik uyum sağlanmış olur. Bu montaj şekli, avantajlı bir şekilde maliyet tasarrufu sağlar; her bir üründe daha az cıvata kullanımıyla hem maliyet azaltılır hem de üretim sürecinde zaman kazanılır.



Şekil 3.17. Isı emici ile Elektronik Kartın Montajı

Ürünün yan kapakları için ise dört adet cıvata ile montajlanması öngörüldü. Daha önce kanala sıkıştırılan elektronik kart ile yan kapakları montajlamak için cıvata kanalları ortaklaştırılarak hem ısı emicide hafifletme ve basitlik sağlandı hem de yan kapak cıvatası ile sıkıştırılan elektronik kartın cıvata ile de ısı emiciye bastırılması sağlanarak titreşimlere karşı da dayanıklı bir montaj elde edilmesi sağlandı.

Üst kapak için ise ısı emicide üst bölgede kanal yapılarak bağlantı elemanları kullanılmadan sıkı geçme yapılarak bir montaj öngörüldü. Buraya üst kapak sürülerek yan bölgelerden yan kapakların kapatmasıyla tam bir kapalı kutu olacak bir tasarım öngörüldü.

3.10.2.4. Yan kapak ve üst kapak tasarımı

DC-DC dönüştürücü sistemlerinde kullanılan yan ve üst kapakların üretimi, genellikle metal sac malzemelerden ve bu malzemelerin işlenmesi için geleneksel lazer kesim ve büküm prosesleriyle gerçekleştirilmektedir. Yan kapaklarda ise cıvata bağlantıları için havşa açma işlemleri, talaşlı imalat yöntemleri aracılığıyla yapılmaktadır. Bu prosesler, üretim sürecinde zaman ve maliyet açısından kayıplara yol açabilmektedir. Bu bağlamda, yan ve üst kapaklar için alternatif bir malzeme olarak plastik kullanımı değerlendirilmiş ve kalıp maliyetleri dikkate alınarak bir fizibilite çalışması yürütüldü.

Yapılan analizlerde, plastik kapakların üretim maliyetleri ile metal kapakların üretiminde gereken tüm işlemlerin maliyetleri karşılaştırıldığında; plastik kapakların, kalıp maliyetlerine rağmen, maliyet avantajı sağladığı tespit edildi. Bu bulgu, yan ve üst kapaklar için plastik malzeme kullanımının tercih edilmesine gerekçe oluşturur. Plastik kapakların, montaj sırasında araç montaj bölgesini de kapsayacağı varsayıldığından, yüksek mukavemetli bir malzeme seçimi ön planda olması gerekir. Bu doğrultuda, mekanik titreşim testlerinden başarıyla geçebilecek bir ürün tasarımı gerçekleştirilerek ve seçilen hammadde, belirlenen mekanik koşullara uygun olarak tespit edildi.

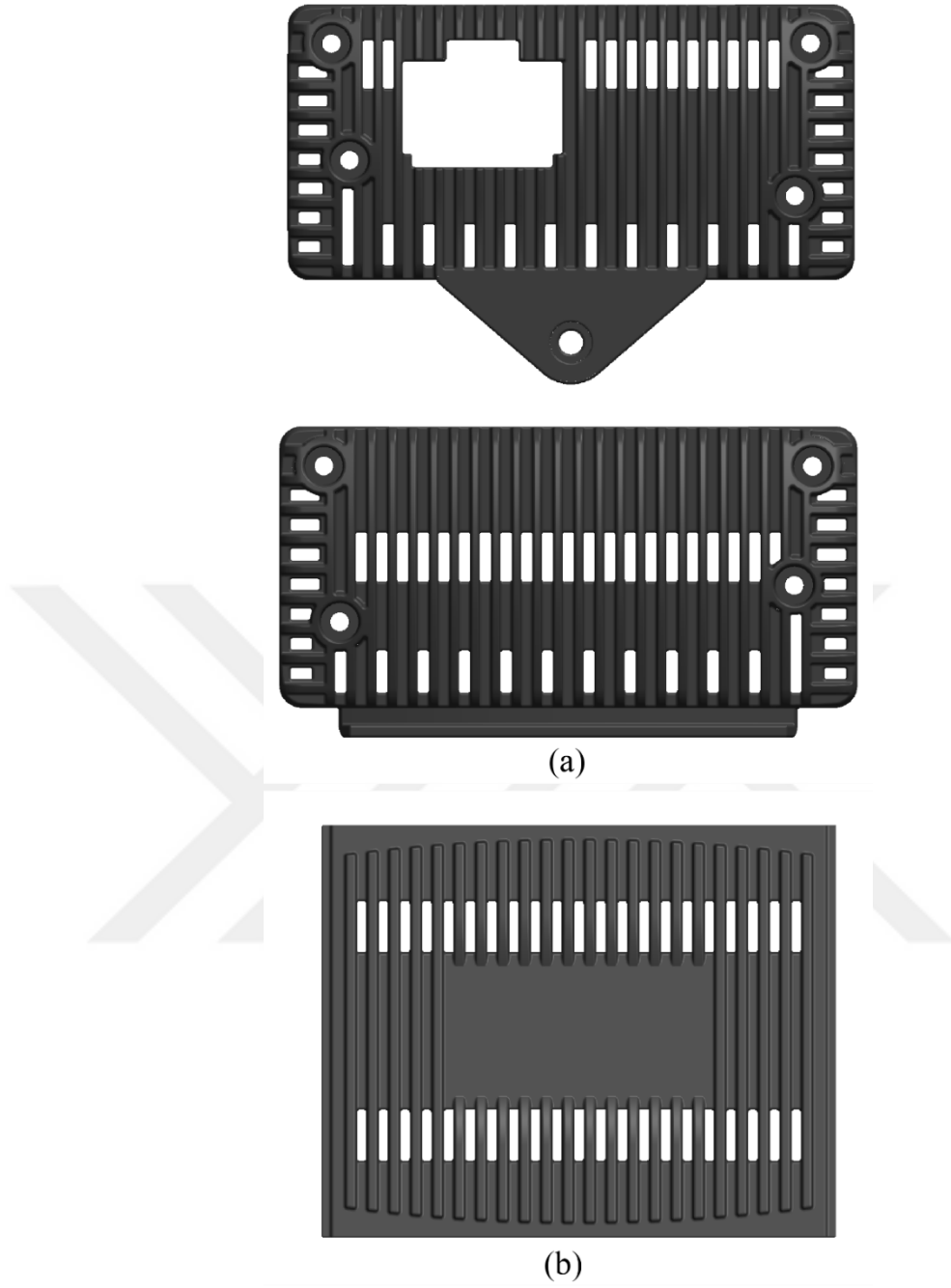
Tasarım sürecinde, plastik kapaklar için malzeme seçimi, ürünün mekanik, termal ve elektriksel özelliklerini doğrudan etkiler. PA66 GF15 malzemesi, yüksek mukavemet, sertlik ve iyi termal stabilite sunar. Cam elyaf takviyesi, malzemenin mekanik dayanımını artırırken, yanmazlık özelliği elektronik bileşenler için ek bir güvenlik katmanı sağlar. Ayrıca, bu malzeme UV ışınlarına ve kimyasal maddelere karşı da dirençlidir, bu da dış mekan uygulamaları için uygunluğunu artırır.

Plastik kapakların tasarımında, elektronik kart ile çevresi arasındaki ısı transferini optimize etmek amacıyla hava boşlukları entegre edildi. Üst kapakta konumlandırılan boşluklar ile iç ortamdaki sıcak havanın konveksiyon prensibiyle dışarıya aktarılmasını hızlandırması hedeflendi. Yan kapaklardaki hava boşlukları ise, elektronik kartın seviyesinde yer alarak, dış ortam havasının içeriye girişini kolaylaştırmak üzere düzenlendi. Hava boşluklarının stratejik konumlandırılması, sıcak havanın uzaklaşmasıyla oluşan basınç düşüşünü kullanarak, soğuk havanın elektronik bileşenlerin bulunduğu alana doğru hareketini sağlamaktadır. Bu düzenleme, doğal hava akışını destekleyerek ısı transferini artırmayı hedeflemektedir.

Plastik kapakların üretimi, enjeksiyon kalıplama gibi seri üretim yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu yöntem, yüksek üretim hacimlerinde maliyet etkinliği sağlar ve karmaşık geometrilerin üretimine olanak tanır. Kalıp maliyetleri başlangıçta yüksek olsa da, yıllık üretim hacimleri arttıkça birim başına düşen maliyet avantajı sunar. Ayrıca, enjeksiyon kalıplama ile üretim süreci otomatize edilebilir, bu da işçilik maliyetlerini ve üretim süresini azaltır.

Plastik malzemelerin kullanımı, sürdürülebilirlik açısından da değerlendirilmelidir. PA66 GF15 gibi malzemelerin geri dönüştürülebilir olması, ürünün çevresel ayak izini azaltabilir. Ayrıca, metal kapakların üretiminde kullanılan talaşlı imalat yöntemlerine kıyasla, plastik enjeksiyon kalıplama daha az atık üretir ve enerji tüketimini düşürür.

Yan ve üst kapakların plastik malzemeden üretimi, maliyet, üretim süreci, termal yönetim ve çevresel etkiler açısından birçok avantaj sunmaktadır. PA66 GF15 malzemesinin seçimi, ürünün performansını ve güvenilirliğini artırırken, enjeksiyon kalıplama yöntemi, üretim verimliliğini ve sürdürülebilirliği destekler. Tüm bu bilgiler ışığında Şekil 3.18’de gösterilen yan kapak ve üst kapak tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Yan kapak ve üst kapak tasarımları (a) Yan kapaklar (b) Üst kapak

3.10.2.5. Ürün genel tasarımı

Şekil 3.19'daki gibi bilgisayar ortamında ön tasarımı tamamlanan ürünün, prototip üretimi gerçekleştirilip ürün deneysel testlere tabi tutulacaktır. Bu deneylerin yanı sıra, mevcut veriler kullanılarak bilgisayar destekli HAD analizi çalışmaları yapılacak ve benzer sonuçlar elde edilmesi beklenmektedir. İki testin sonuçları karşılaştırılarak, üründe eksik veya zayıf noktalar tespit edilecek ve değerlendirilecektir. Daha sonra, seri üretime geçilebilecek geliştirilmiş bir sürüm tasarlanacaktır. Bu tasarımda,

özellikle kanat şekilleri, yapıları veya aralıkları gibi tasarım kriterleri bölümlerinde belirlenen parametrelerde iyileştirmeler öngörülebilir.



Şekil 3.19. DC-DC Dönüştürücü genel ürün tasarımı

3.10.3. Prototip Süreci

Isı emici ve yan kapakların prototiplerinin üretilmesi, ürün tasarımının seri üretim safhasına geçişinde önemli bir aşamadır. Bu aşama, bilgisayar ortamında bulunan soyut fikirleri somut bir forma dönüştürerek ürünün işlevsel ve estetik gereksinimlerini karşılamasını sağlar. Prototip üretim süreci, tasarımın test edilmesiyle birlikte ürünün nihai şeklinin belirlenmesinde kritik bir rol oynar.

Prototip üretim sürecinde, 6060 serisi Alüminyum alaşımından tel erozyon yöntemiyle yüksek doğrulukta bir ısı emici prototipi üretilmeyi planlanmaktadır. Ayrıca, elektronik kart için belirlenen ebatlarda bir ön prototip üretimi gerçekleştirilecektir. Yan kapaklar ve üst kapaklar için ise silikon kalıplama yöntemiyle üretim yapılması öngörülmekte olup, bu sayede enjeksiyon baskı üretim yöntemine benzer teknik özelliklere sahip bir ürün elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu yöntemin tercih edilmesindeki temel amaç, seri üretim şartlarına en uygun mekanik ve ısı dayanımını

sağlamaktır. Gerçek koşullara yakın bir prototip, seri üretim şartlarına dair kritik bilgilerin elde edilmesini hedeflemektedir.

Silikon kalıplama yöntemiyle üretim için seri üretimde kullanılacak olan PA66 GF15 malzemesine en yakın hammadde seçilerek kullanılacaktır. Bu malzeme, enjeksiyon işlemi sonrası gerçeğe en yakın prototipi elde etmeyi hedeflemektedir. Bu sebeplerden dolayı Synthene PR700 + GF15 elyaf katkılı malzeme, silikon kalıplama işlemi için seçilmiştir.

Silikon kalıp yönteminin bir avantajı da, yaklaşık olarak her kalıptan 15-20 adetlik bir parça çıktısı alınabilmesidir. Bu durum, daha fazla deneme ve prototip test fırsatı sunarak ürünün geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.





4. HAD ANALİZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA

HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizi ile bir ürünün ısı yayılımını ve sıcaklık profillerini inceleyerek, ürün performansı değerlendirilir. Bu analiz, ürün tasarımında ve malzeme seçiminde optimize edilmiş bir ısı yönetimi sağlamak için önemlidir. Isı dağılımının doğru bir şekilde değerlendirilmesi, ürün bileşenlerinin ve malzemelerinin dayanıklılığını değerlendirmeye yardımcı olur ve aşırı ısınma durumlarında oluşabilecek hasarları önceden tespit etmek ürün güvenilirliğini artırır. HAD analizi, tasarım değişiklikleri yaparak enerji verimliliğini artırmaya imkân tanır ve bu da daha az enerji tüketen ve çevre dostu ürünlerin geliştirilmesine katkı sağlar. Bilgisayar ortamında yapılan HAD analizleri, prototip üretim maliyetlerini azaltır ve tasarım aşamasında ısı transferiyle ilgili sorunları tespit ederek, prototip sayılarını azaltarak olabilecek en verimli bir şekilde test edilmesini sağlar. Ayrıca, bilgisayar ortamında yapılan HAD analizler, ürünlerin belirli standartlara uygunluğunu değerlendirmek için önemli bir araçtır. Sonuçta bilgisayar ortamında HAD analizi yapılması, ürün performansını artırmak, güvenilirliğini sağlamak, enerji verimliliğini optimize etmek, maliyetleri azaltmak ve standartlara uygunluğunu sağlamak için hayati bir öneme sahiptir.

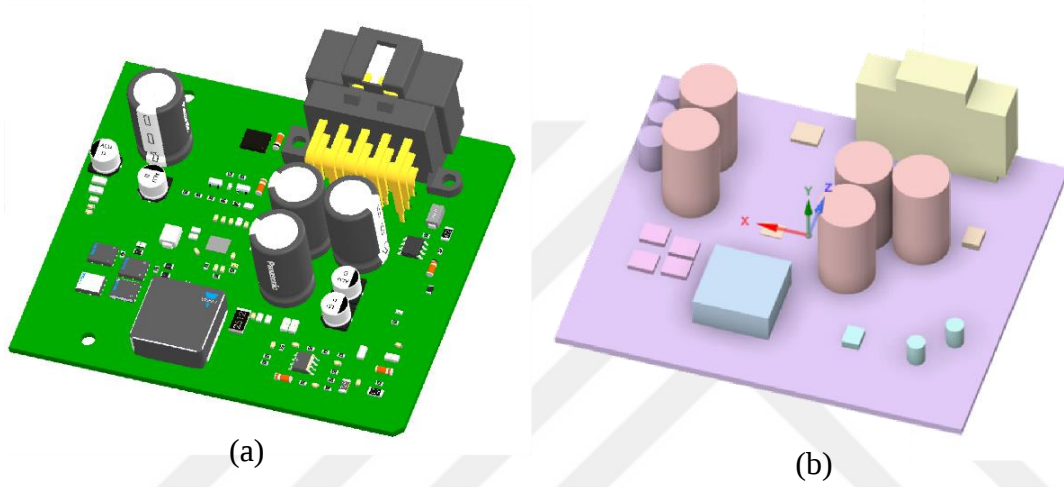
4.1. Analizlere Uygun Tasarım Basitleştirilmesi

Analiz aşamasına geçmeden önce, model üzerinde bir çözüm ağı oluşturulması gerekmektedir. Bu çözüm ağı, modelin geometrisini küçük parçalara böler ve bu parçalar üzerinde denklemlerin çözülmesini sağlar. Ancak, karmaşık geometriler ve detaylar, çözüm ağı yapısını gereksiz yere büyütebilir ve analizin doğruluğunu ve hızını olumsuz etkileyebilir. Analizin doğru ve hızlı bir şekilde yakınsamasını sağlamak için analiz öncesinde üç boyutlu modelde basitleştirmeler yapılması gereklidir.

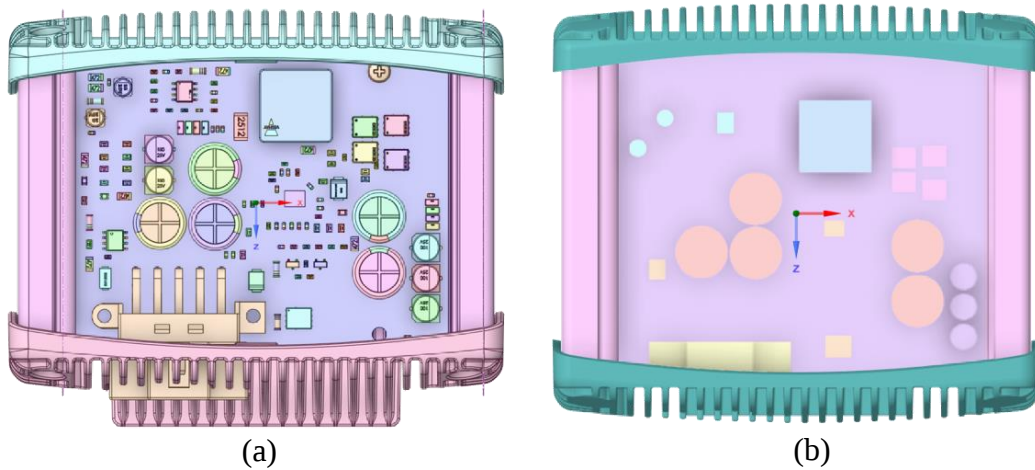
Çözüm ağı basitleştirme, model üzerindeki gereksiz detayların kaldırılması ve çözüm ağı boyutunun azaltılması işlemidir. Basitleştirme, modelin temel özelliklerini ve analiz için gerekli detayları korurken, hesaplama yükünü azaltmayı amaçlar. Küçük ölçekli detaylar genellikle analizin sonucuna minimal etki eder.

Şekil 4.1'deki gibi elektronik devrede, çözüm üzerinde etkisi olmayan küçük elektronik bileşenler modelden çıkarıldı. Isıl yüke sahip olmayan ancak akış hacminde etkisi olan bileşenler ise geometri üzerinde bırakıldı.

Eğimli yüzeyler yerine düz yüzeyler kullanmak, mesh eleman sayısını genellikle azaltır. Şekil 4.2'de görülen katı parçalar üzerindeki tüm kenar yuvarlatmaları yeniden incelenerek düzenlenmiş ve modelin çözüm ağı için basit bir duruma getirilmiştir. Bu adımlar, analiz sürecinin verimliliğini artırırken, sonuçların doğruluğunu korumaya yönelik önemli katkılar sağlar.



Şekil 4.1. Elektronik devrenin ağ yapısına uygun basitleştirilmesi (a) gerçek hali (b) basitleştirilmiş hali

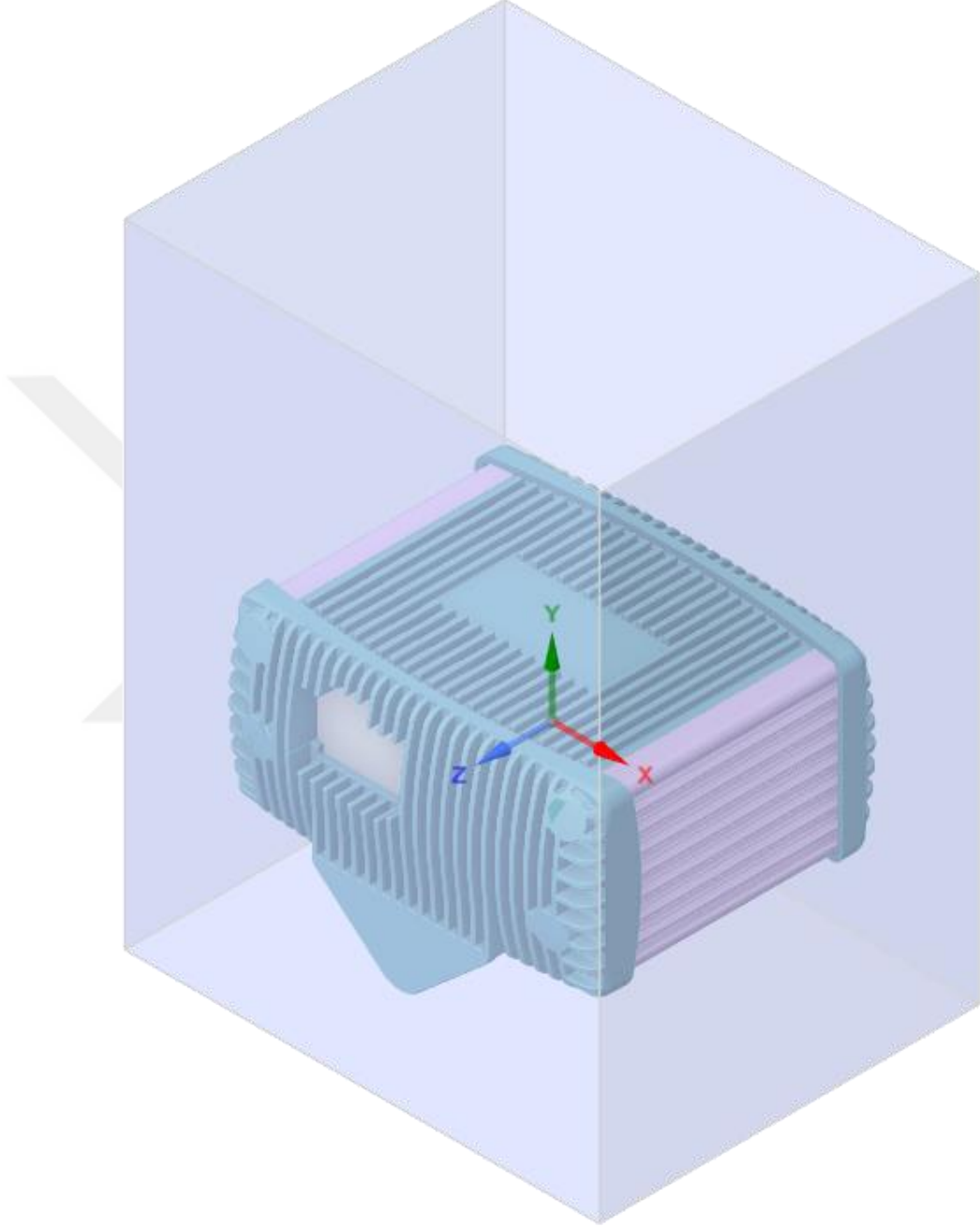


Şekil 4.2. Ürünün ağ yapısına uygun basitleştirilmesi (a) gerçek hali (b) basitleştirilmiş hali

4.2. Sınır Koşullarının Belirlenmesi

Analiz verilerinin doğru bir şekilde girilmesi, hesaplamaların doğruluğu ve analiz sonuçlarının güvenilirliği açısından kritiktir. Analizde dış ortamı simüle etmek için,

bir muhafaza hacmi belirlendi. Bu hacim içerisine aracın montajı doğrultusunda ürün yerleştirildi. Ürünün çevresindeki hacim, araç içindeki montaj konumunu ve çevresini simüle edecek şekilde tanımlandı (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. DC-DC Dönüştürücü analiz geometri datası muhafaza hacmi

Şekil 4.4’de şematize edilen muhafaza hacmi için tanımlanan sınır koşulları şu şekildedir:

Muhafaza hacminin yan yüzeyleri, izole duvar (adyabatik) olarak tanımlandı. Bu sayede, dış ortamdan gelen etkilerin ürüne etkisi minimize edildi ve muhafaza

içindeki akışın dış ortamla etkileşimi sınırlanarak analizdeki akışın yönlendirilmesi sağlandı.

Alt yüzey, basınç girişi (0 Pa) olarak tanımlandı. Bu, muhafaza içindeki hava akışını simüle etmek ve dış ortamla etkileşimi modellemek için gereklidir. Basınç girişi olarak tanımlanan bu yüzey, analizdeki akışın başlangıç noktasıdır.

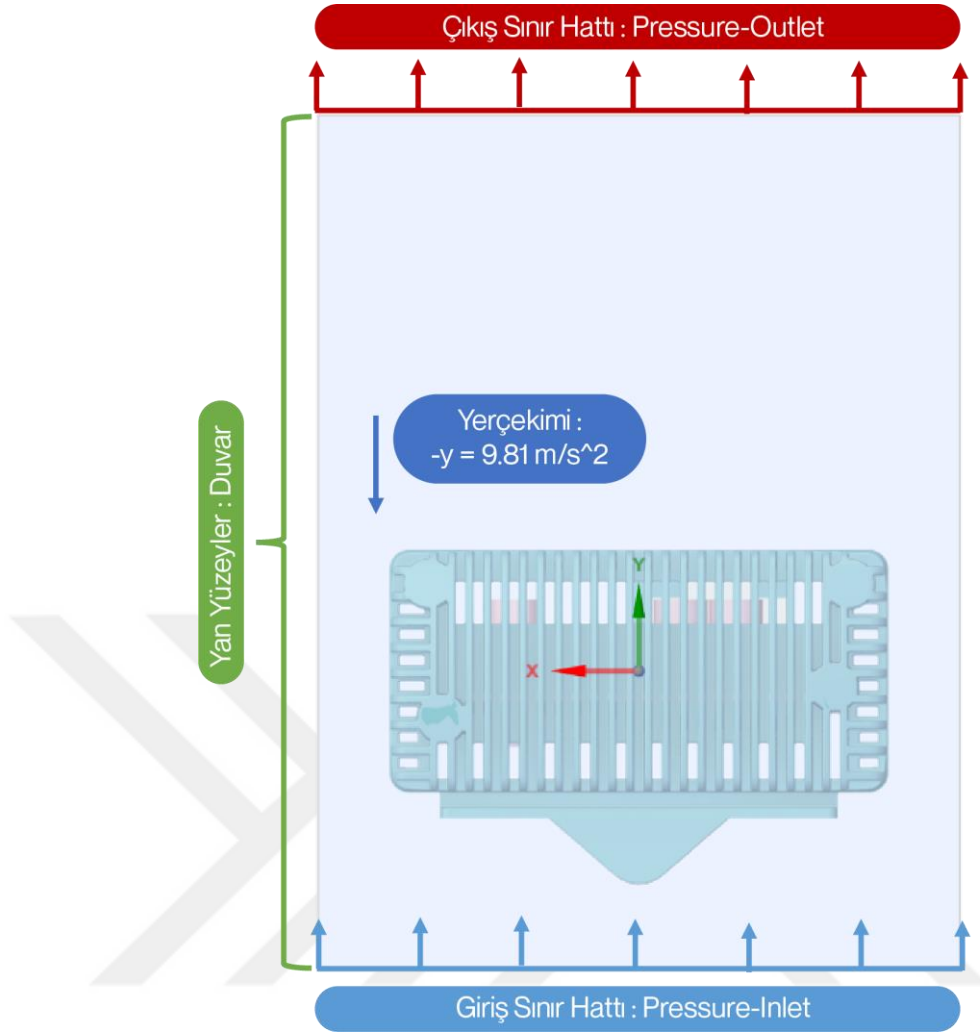
Üst yüzey, basınç çıkışı (0 Pa) olarak tanımlandı. Bu sayede, muhafaza içerisinde oluşabilecek basınç değişimleri hesaplanarak, muhafazadan dışarıya doğru olan hava akışının ve bu akışın sıcaklık ile basınç dağılımının simülasyonu gerçekleştirilir.

Ortam sıcaklığı, 25°C olarak belirlendi. Bu değer, dış ortamın sabit bir sıcaklıkta olduğunu simgeler.

Giriş ve çıkış basınç şartları, atmosfer şartlarına eşitlendi. Bu, dış ortamla olan etkileşimi doğru bir şekilde modellemektedir.

Yerçekimi ivmesi, -y yönünde tanımlandı. Bu, analizde yoğunluk değişiminden kaynaklanan yukarı-aşağı yönlü hareketin doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlar.

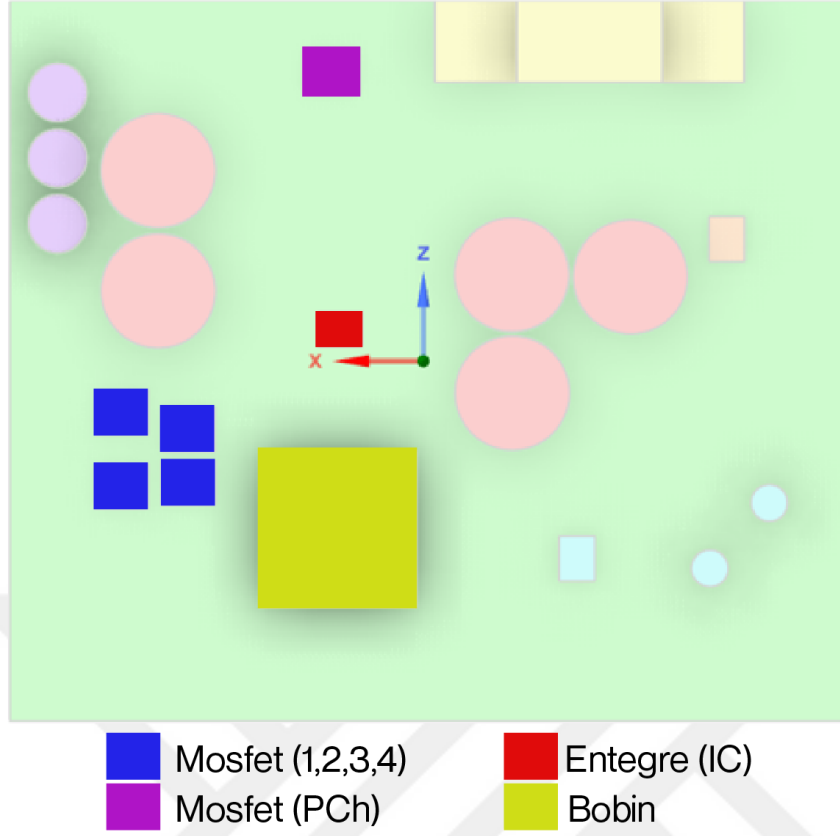
Araç montaj bölgesinin koşulları ve montaj sistemi, yukarıdaki sınır koşullarının belirlenmesine rehberlik etmiştir. Bu şekilde, analiz daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar üretebilecek şekilde yapılandırılmıştır.



Şekil 4.4. Muhafaza hacmi sınır koşulları

Şekil 4.5’ de belirtilen mosfetler, entegre ve bobinler kritik öneme sahip bileşenler olarak belirlendi. Bu bileşenlerin güç değerleri, üreticiler tarafından yayınlanan teknik belgelerden elde edilen veriler ve deneysel olarak yapılan ölçümlerin birleştirilmesiyle belirlenmiştir.

Bileşenlerin güç değerlerinin belirlenmesi, üreticiler tarafından sağlanan teknik belgelerin yanı sıra deneysel testlerle de desteklenmiştir. Bu süreç, yapılan deneylerin teknik verilerle birleştirilmesiyle tamamlandı. Teknik belgeler, bileşenlerin teorik güç kapasitelerini sağlarken, deneyler gerçek koşullar altında bileşenlerin performansını göstermesini sağladı. Bu yöntem, bileşenlerin güç değerlerini daha doğru ve güvenilir bir şekilde belirleme sürecine katkı sağladı.



Şekil 4.5. Isı kaynağı olarak belirlenen bileşenler

LTC7891 (IC) entegresi, senkron anahtarlama bir düşürücü kontrolörü olarak işlev görmektedir. Bu entegre devre, hem galyum nitrit (GaNfet) hem de geleneksel MOSFET yapılarını destekleyerek, bu yapıların uygun anahtarlama kontrolünü sağlayarak yüksek verimlilik elde edilmesine olanak tanır. Anahtarlama işlemi sırasında meydana gelen kayıplar, ısı ve güç kaybı olarak kendini gösterir. Bu entegre, 250 kHz frekansında anahtarlama yapmakta olup, bu frekansa uygun yardımcı bileşenlerin kullanılmasını gerektirir. Bu özellikleriyle LTC7891, güç dönüştürme verimliliğini artırarak, enerji tasarrufuna katkı sağlamaktadır. Termal analiz yapılırken, cihazın güç tüketiminin güvenli çalışma sınırlarını aşmadığından emin olmak kritik öneme sahiptir.

LTC7891 teknik dokümanından elde edilen parametreler [29]:

Termal direnç (θ_{JA}): 43°C/W

Ortam sıcaklığı (T_A): 70°C

Verimlilik, giriş ve çıkış güç değerlerinin oranı olarak tanımlanır ve bu oran üzerinden güç hesaplaması mümkündür. Ancak, bir kontrolcü entegrenin birden fazla giriş ve

çıkış noktası bulunmaktadır. Teorik veriler ile deneysel verilerin korelasyonu esas alınarak güç değerinin doğrulanması ve belirlenmesi süreci izlenecektir.

Entegrenin temel işlevsellik için gereksinim duyduğu akım değeri, üretici teknik dokümanlarına göre 39mA'dır. Bu akım sağlandığında, yaklaşık 0,8W'lık bir güç tüketimi ölçülür. Teorik hesaplamaların deneysel sonuçlarla uyumlu olması beklenmektedir. Uyumluluğun deneysel olarak doğrulanması amacıyla, entegrenin sıcaklık ölçümleri üzerinden analiz yapıldı.

Çıkıştan güç beslemesi yapılmadığında, 70°C ortam sıcaklığında beklenen jonksiyon sıcaklığı değerleri şu şekilde hesaplanır:

0.8 W'lık bir güç dağılımı (P_D) için jonksiyon sıcaklığını (T_j) hesaplamak amacıyla aşağıdaki ilişki kullanılmıştır:

$$T_j = T_A + (P_D \times \theta_{JA}) \quad (4.2)$$

Denklem (4.1) kullanılarak yapılan hesaplamada:

$$T_j = 70^\circ C + \left(0.8 \text{ W} \times 43 \frac{^\circ C}{W}\right) = 104.4^\circ C$$

Bu hesaplamalar, 0.8 W'lık güç dağılımı durumunda jonksiyon sıcaklığının 104.4°C olacağını öngörmektedir. Gerçekleştirilen deneysel ölçümler, bu teorik sıcaklık değeri ile deneysel sıcaklık değerinin uyumlu olduğunu gösterir. Bu uyumluluk, 0.8 W'lık güç değerinin entegre için kabul edilebilir olduğunu gösterir.

Bobin için güç değerinin hesaplanmasında Denklem 2.1'deki ifade kullanılmaktadır.

$$P = I^2 R t \quad (2.3)$$

Şekil 4.6'da bobin teknik dokümanında da gösterildiği gibi bobin iç direnci 41 A akım altında 4.19 mΩ olarak belirlendiği gözlemlenmektedir [30]. DC-DC dönüştücü için akım değeri 20A olarak belirlenmekle beraber, Denklem 2.1'de değerler yerine yazıldığında:

41 A akım altında 4.19 mΩ olarak belirlenen direnç, lineer bir ifade olduğundan dolayı 20 A akım altında 2.095 mΩ değerine sahiptir.

$$P = (20A)^2 \times \frac{2.095m\Omega}{1000} = 0,838 \text{ W}$$

Güç değerine sahip olacağı hesaplandı. 0,838 Watt'lık değer yaklaşık 0,85 W olarak analiz sınır koşulu olarak eklendi.

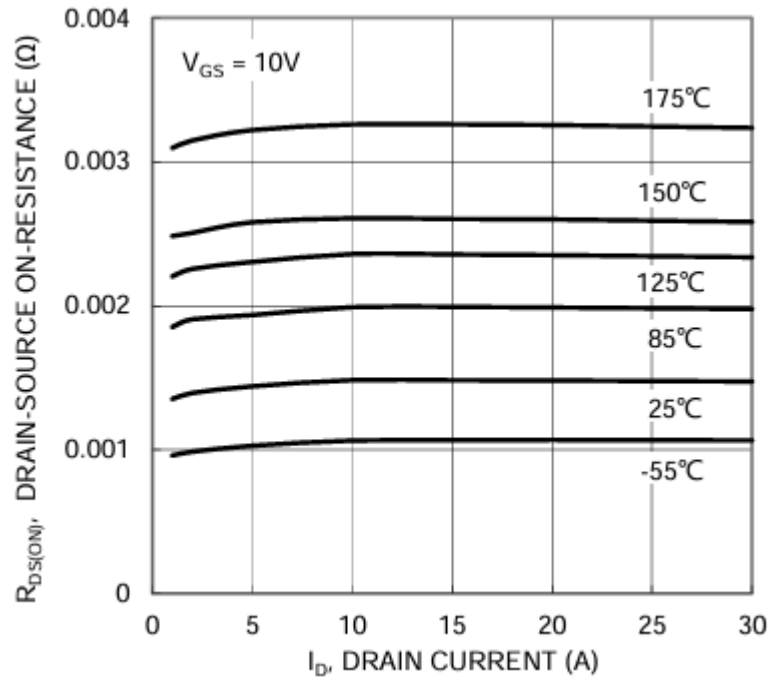
Test Item	Specifications	Test conditions	Typ.	Test Instrument
L	4.7uH +- 20%	@100KHz 0.25V	4.35uH	WK3260B
L Load	+41A: L Drop 30% MAX	@100KHz 0.25V	3.42uH	WK3260B
DCR	5.11mΩ MAX		4.19mΩ	ChenHwa502
I sat.	41A (L Drop 30% MAX)			WK3260B
I sat	50A (L Drop 30% TYP)			WK3260B
I rms.	20A (ΔT=40℃ MAX)			WK3260B
I rms	33A (ΔT=40℃ TYP)			WK3260B
Ope.Temp.	-55℃ TO 125℃			Testo608-H2
Weight.	12.53g/pcs			

Şekil 4.6.Bobin teknik dokümanı direnç değeri

Mosfet güç değerleri için üretici tarafından belirlenen teknik dokümanlardaki grafikler üzerinden deneysel olarak hesaplandı [31].

20 Amper akımla sürülen N Ch Mosfet üzerinde 125°C sıcaklık ölçüldü. Üretici teknik dokümanında Şekil 4.7 'de gösterilen grafikte 0.0023 Ω değerine sahip olduğu görüldü. Deneysel olarak hesaplanarak grafik üzerinden okunan değerler Denklem 2.1'de yerine yazıldığında,

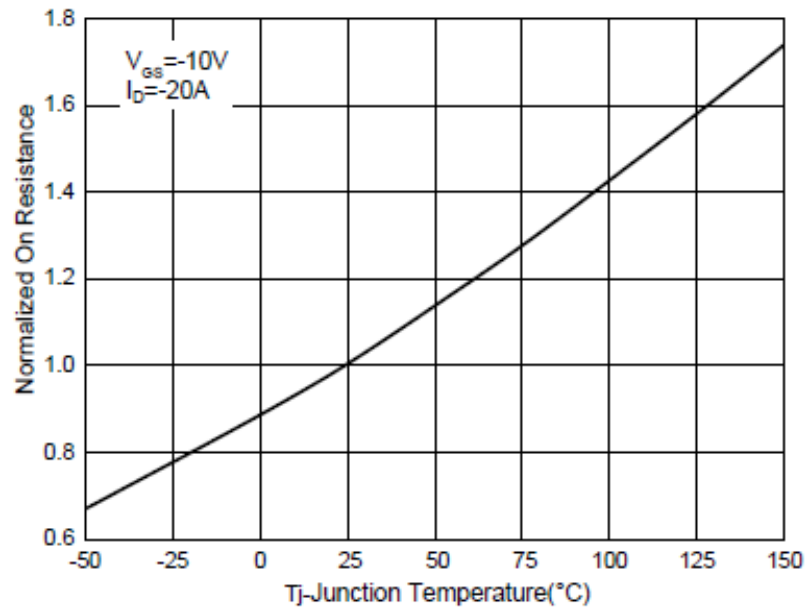
$$P = (20A)^2 \times 0.0023 \Omega = 0,92 W \text{ değeri elde edilir.}$$



Şekil 4.7. N Ch Mosfet akım sıcaklık direnç eğrisi

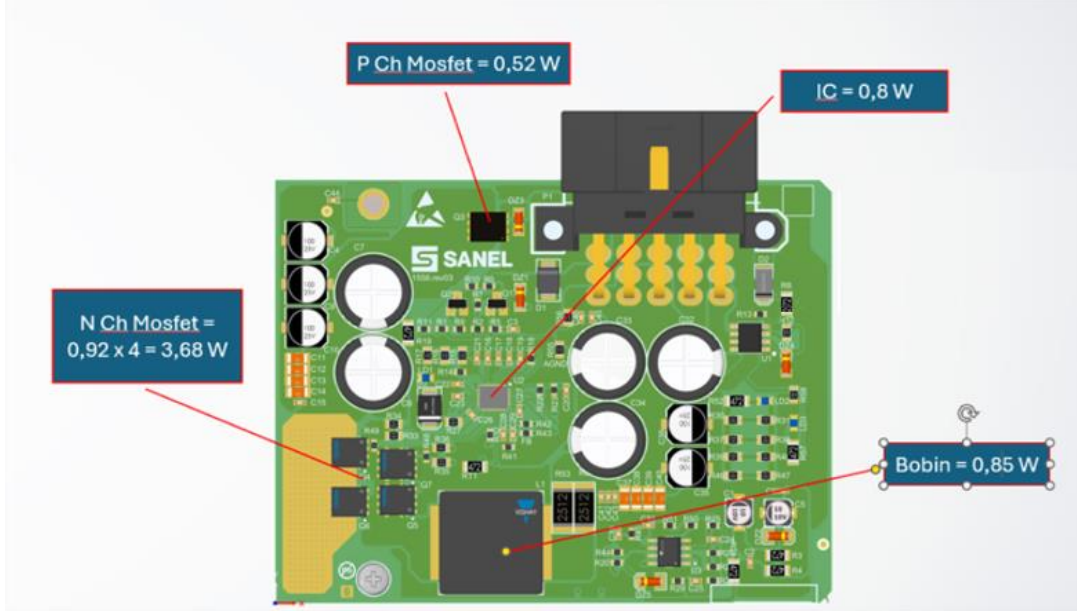
20 Amper akımla sürülen P Ch Mosfet üzerinde 81°C sıcaklık ölçüldü. Üretici teknik dokümanında Şekil 4.8 ‘de gösterilen grafikte 0.0013 Ω değerine sahip olduğu görüldü [32]. Deneysel olarak hesaplanarak grafik üzerinden okunan değerler Denklem 2.1’de yerine yazıldığında,

$$P = (20A)^2 \times 0.0013 \Omega = 0,52 \text{ W değeri elde edilir.}$$



Şekil 4.8. P Ch Mosfet akım sıcaklık direnç eğrisi

Şekil 4.9’da gösterilen gibi ısı yönünden kritik olarak belirlenen elektronik bileşenlerin güç değerleri belirlendi. Bu güç değerleri sınır koşulu olarak analiz girdilerini oluşturdu.



Şekil 4.9. Elektronik bileşenler güç değerleri

4.3. Çözüm Ağı Oluşturulması

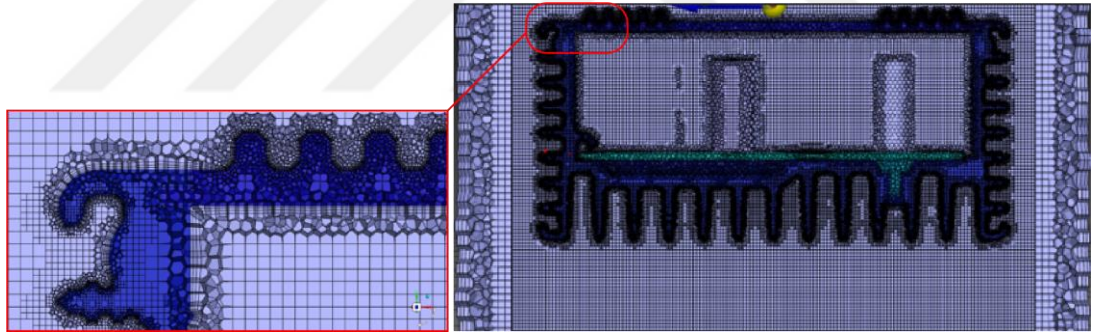
Analiz öncesinde çözüm ağı yapısının kurulması işlemi son derece önemlidir. Çünkü doğru bir çözüm ağı yapısı oluşturma, analizin doğruluğunu ve güvenilirliğini önemli ölçüde etkiler. Bu süreç, analizde kullanılan geometriyi küçük parçalara böler ve her parçayı hesaplama noktası olarak kullanır. Çözüm ağı yapısının doğruluğu, gerçek geometriyi en iyi şekilde temsil etmeye çalışır ve bu da analizin sonuçlarının gerçek koşulları daha iyi yansıtmasını sağlar. Daha yoğun bir çözüm ağı yapısı, daha fazla hesaplama noktası içerir ve bu da sonuçların daha hassas olmasını sağlar. Ancak, daha fazla hesaplama noktası, daha uzun hesaplama süreleri ve daha fazla kaynak gerektirir. Bu nedenle, optimize edilmiş bir çözüm ağı yapısı oluşturmak, hem analiz süresini kısaltır hem de kaynak kullanımını etkin hale getirir. Çözüm ağı, analiz edilecek gerçek geometriyle uyumlu olması gereklidir. Bu, çözüm ağının karmaşık geometrileri ve küçük detayları doğru bir şekilde modellemesini gerektirir.

Analiz edilen bölgelerde yeterli yoğunlukta ağ elemanı bulundurmamak, sonuçların doğruluğunu artırır. Özellikle yüksek gradyanlı bölgelerde (örneğin, akışın hızla değiştiği yerlerde) daha yoğun bir ağ yapısı gereklidir.

Daha yoğun bir çözüm ağı, daha fazla hesaplama gücü ve zaman gerektirir. Bu nedenle, ağ yoğunluğunu optimize etmek ve sadece gerekli bölgelerde yoğunlaştırmak önemlidir.

Farklı ağ türleri (örneğin, üçgen, dörtgen, tetrahedral) ve şekilleri, farklı analizlerde farklı performans gösterebilir. Doğru ağ tipi ve şeklinin seçilmesi, hem hesaplama süresini kısaltır hem de sonuçların doğruluğunu artırır.

Şekil 4.10'da gösterildiği gibi muhafaza hacminin tüm geometrik detayları doğru bir şekilde çözüm ağına dahil edilerek çözüm ağı eklenir. Muhafaza içerisindeki kritik bölgeler belirlenerek bu bölgelere daha yoğun bir çözüm ağı yapısı uygulanır. Isı emici için özellikle kanat bölgelerinde ve iç yüzeylerde çözüm ağı sayısının artırılması önem arz eder. Böylece bu bölgelerde daha hassas sonuçlar elde edilmesi sağlanır. Hesaplama süresini ve kaynak kullanımını optimize etmek amacıyla, sadece gerekli bölgelerde ağ yoğunluğu artırılır, diğer bölgelerde daha geniş çözüm ağ elemanları tercih edilir. Isı emici dışarısında kalan muhafaza hacminde daha geniş bir çözüm ağ yapısı kullanılır.



Şekil 4.10. Çözüm ağı yapısı

Analizde kullanılan çözüm ağı, 31 808 331 eleman sayısına sahip olup, maksimum skewness değeri 0,86 olarak belirlendi.

Skewness değeri, elemanların şekil kalitesini belirleyen önemli bir metriktir ve genellikle 0 ile 1 arasında değer alır. Skewness değeri 0'a yaklaştıkça elemanlar ideal forma yaklaşırken, 1'e yaklaştıkça elemanların kalitesi düşer ve sonuçların doğruluğu olumsuz etkilenebilir [33].

Bu çalışmada elde edilen maksimum 0,86 skewness değeri, çözüm ağının kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu göstermektedir ve bu da HAD analizlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaktadır. Tablo 2'de sunulan bu çözüm ağı

özellikleri, cihazın termal ve akış performansını değerlendirmede güvenilir ve doğru sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu sonuçlar, DC-DC dönüştürücünün tasarım ve optimizasyon süreçlerinde önemli veriler sağlamakla beraber tasarımın etkinliğini artırmak için kritik bir rol oynamaktadır.

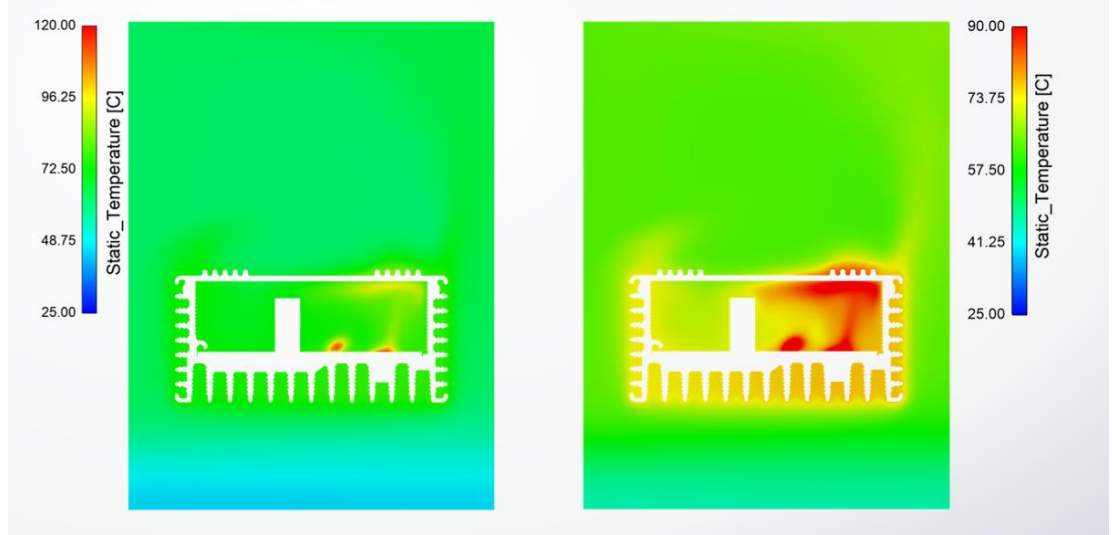
Tablo 4.1. Çözüm ağı detayları

Çözüm Ağı Özellikleri	Değer
Eleman Sayısı	31 808 331
Maksimum Skewness	0,86

5. HAD ANALİZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

5.1. HAD Analizi Sonuçları

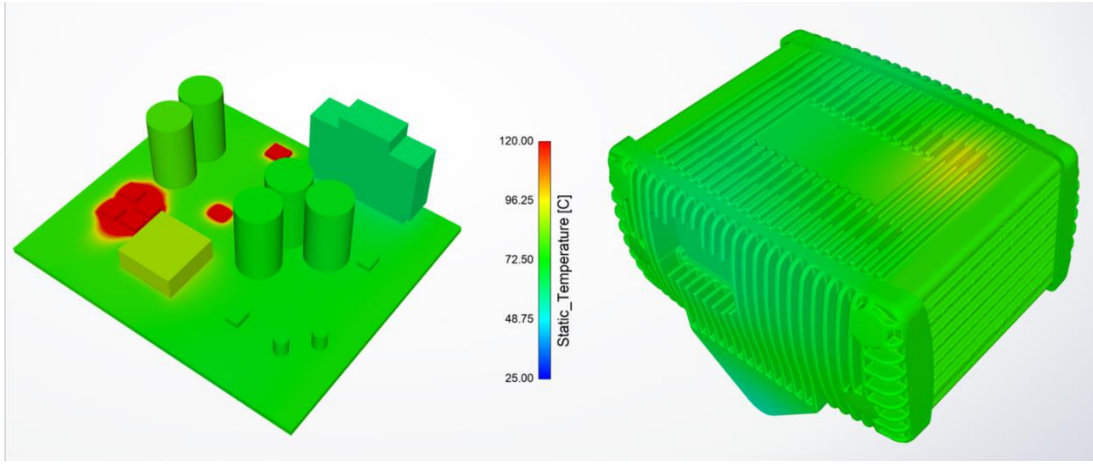
HAD analizi ile elde edilen sıcaklık dağılımları, cihazın çeşitli bölgelerinde oluşan sıcaklık farklarını göstermektedir. Şekil 5.1'de görülen genel sıcaklık dağılımı, cihazın ısı emici yüzeyinde maksimum sıcaklık noktalarını belirlemektedir. Özellikle, ısı emici yüzeydeki maksimum sıcaklık 75°C olarak kaydedilmiştir. Bu sıcaklık, cihazın kritik bölgelerinde termal yönetim stratejilerinin gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. 90°C sıcaklık göstergesi baz alınarak gösterilen ifadede ısınan havanın hangi bölgelerde yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Mosfet, entegre ve bobinin olduğu bölümde oluşan ısı yoğunluğun plastik kapak bölgesinde biriktiği ve diğer bölgelere yayıldığı gözlemlenmektedir. 120°C sıcaklık göstergesi baz alınarak da mevcut sıcaklıkların daha iyi bir şekilde okunması sağlanmıştır. Böylece içerideki havanın yaklaşık 80 °C civarlarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.1. HAD analizi sıcaklık dağılımı

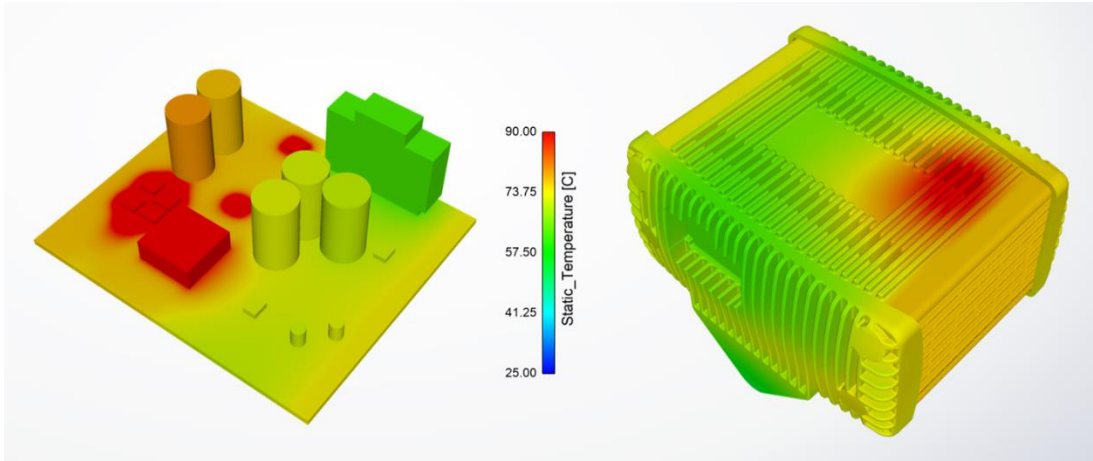
Şekil 5.2'de 120°C gösterge alınarak oluşturulan görselde elektronik bileşenler üzerindeki sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Burada elektronik devre üzerindeki sıcaklıkların bobin mosfet grupları ve entegre üzerinde olduğu gözlemlenmektedir. Bu

da yine Şekil 5.2’de gösterilen DC-DC dönüştürücü üzerinde ilgili bölgede ısı artışına neden olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.2. HAD analizi katı cisim sıcaklık sonucu 120°C gösterge

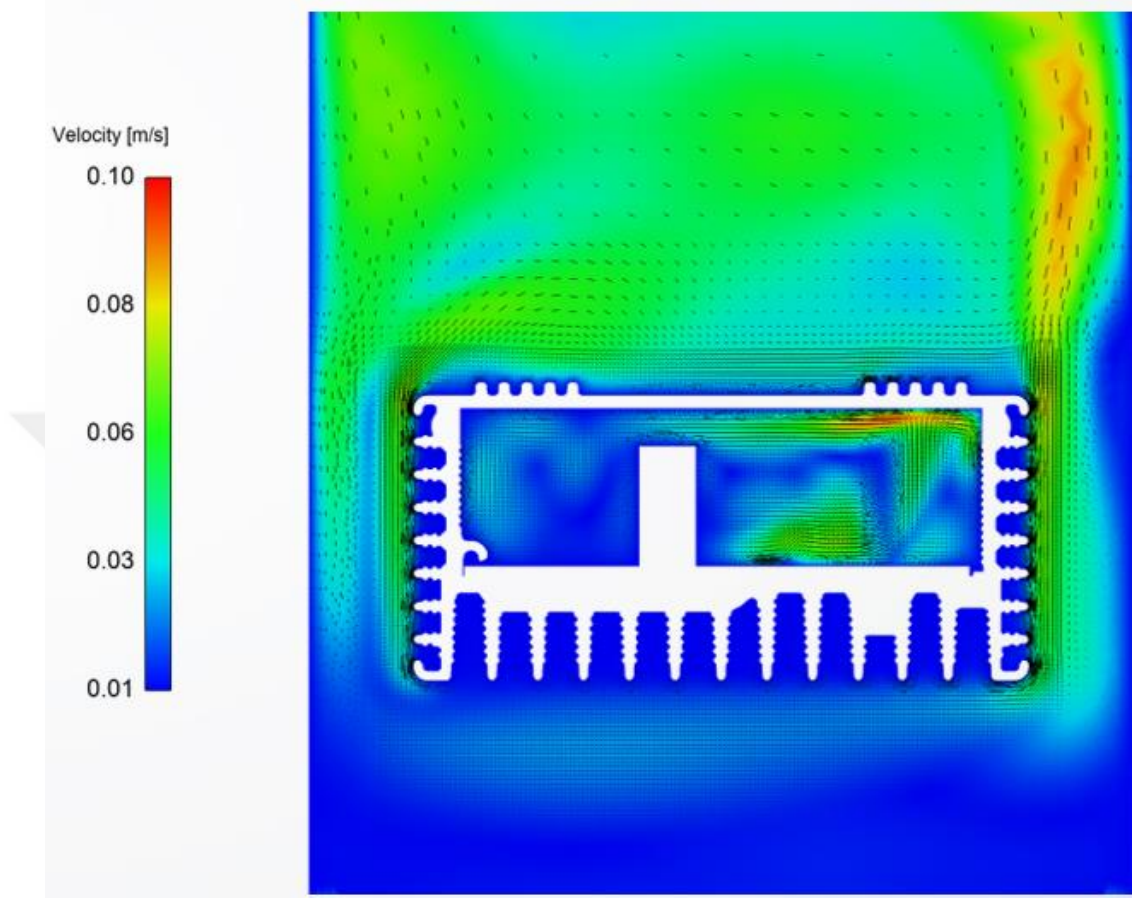
Şekil 5.3’te 90°C gösterge alınarak DC-DC dönüştürücüsüne bakıldığında cihazın belirli bileşenlerinin daha fazla ısındığı ve sıcaklık dağılımının homojen olmadığı gözlemlenmiştir. Cihazın üst kapağında belirli noktalarda sıcaklık 85°C'ye ulaşırken, diğer bölgelerde bu sıcaklık 55°C seviyesinde kalmıştır. Isı emici üzerindeki ısı değeri ise 75°C civarlarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3. HAD analizi katı cisim sıcaklık sonucu 90°C gösterge

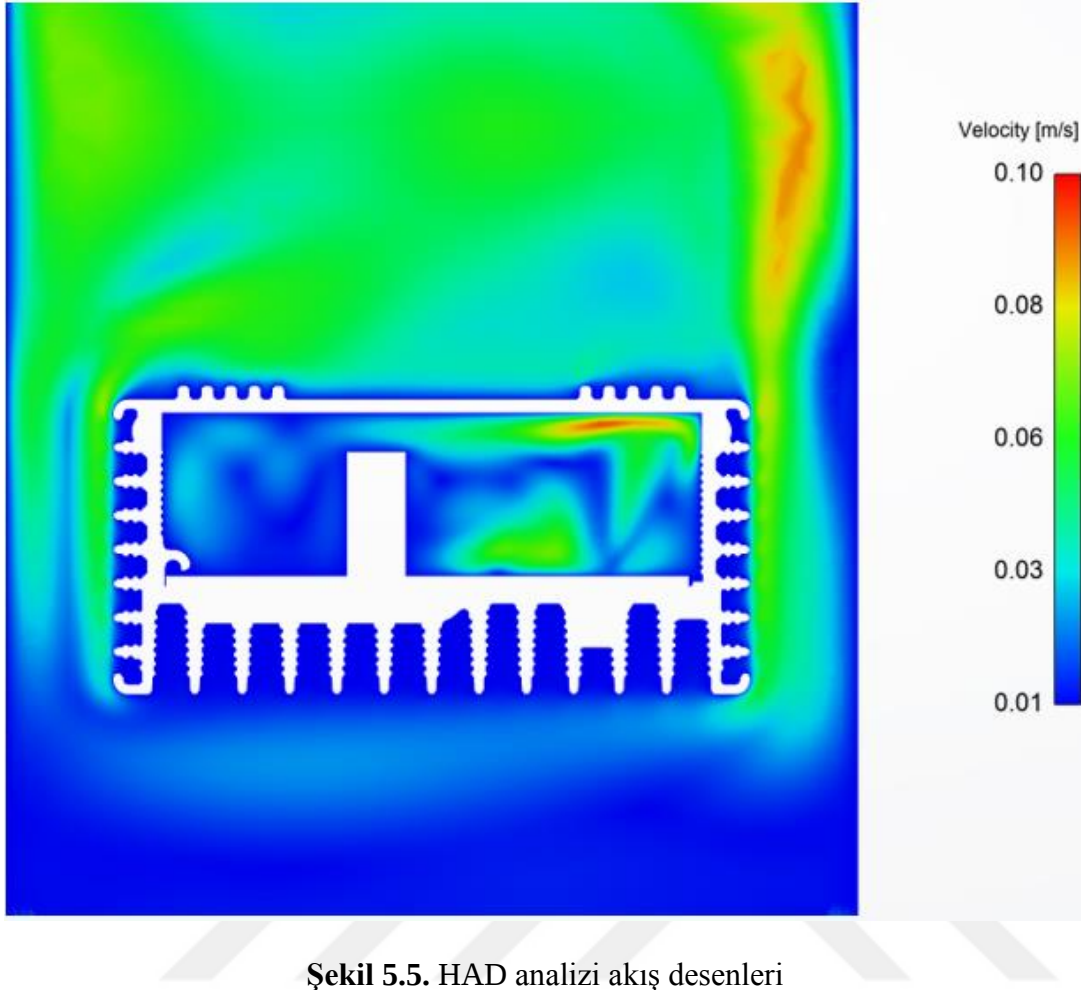
HAD analizinde elde edilen hız vektörleri, cihaz içindeki akışkanın hareketini ve hız dağılımını göstermektedir. Şekil 5.4’te sunulan hız vektörleri, cihaz içindeki hava akışının yönünü ve hızını detaylandırmaktadır. Bu görseller, soğutma hava akışının belirli bölgelerde yetersiz kaldığını ve bu bölgelerde sıcaklığın daha yüksek

olabileceğini göstermektedir. Cihazın alt bölgelerinde hava akışı daha yavaş iken, üst bölgelerde daha hızlıdır. Bu durum, alt bölgelerde daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olabilir.



Şekil 5.4. HAD analizi hız vektörleri

Şekil 5.5'te, cihaz içindeki akış desenleri detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Bu desenler, hava akışının cihazın belirli bölgelerinde nasıl davrandığını ve potansiyel tıkanma veya yavaşlama noktalarını göstermektedir. Akışın düzgün olmadığı bölgelerde, termal yönetim sorunlarının ortaya çıkabileceği ve bu bölgelerin iyileştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. DC-DC dönüştürücünün sağ köşe bölgesinde hava akışının yavaşladığı ve bu bölgelerde sıcaklık birikiminin olduğu gözlemlenmiştir. Bu hava akışının oluşturduğu sıcaklık birikimi Şekil 5.3'te gösterilen plastik parçanın sıcaklık değerinin yükselmesinin nedenini göstermektedir. Hava akışının bu bölgede ürün dışına çıkamaması nedeniyle diğer bölgelere de yayıldığı ve cihaz içerisinde bulunan havanın sıcaklık değerini yükselttiği gözlemlenmektedir.



Şekil 5.5. HAD analizi akış desenleri

HAD analizleri sonucunda, DC dönüştürücünün belirli bölgelerinde yüksek sıcaklıkların ve yetersiz hava akışının olduğu tespit edildi. Bu bulgular, cihazın termal ve akış performansını optimize etmek için çeşitli stratejilerin uygulanması gerektiğini göstermektedir.

5.2. Prototipin Deneysel Testleri

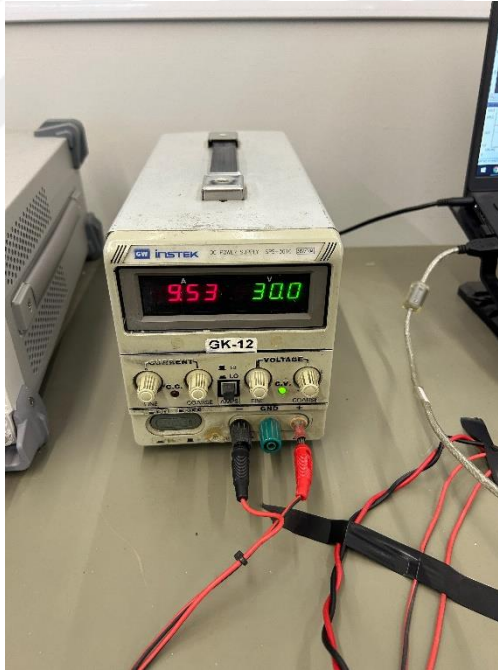
Prototipi imal edilen ürünün analizi yapılırken aynı zamanda deneysel olarak da gerçek koşullar test edildi. Bu deneysel testler, ısı emicinin tasarımının doğruluğunu ve etkinliğini değerlendirmek için önemlidir. Gerçek koşullarda yapılan testler, ürünün performansını belirlemek ve tasarımın gerçek koşullarda nasıl çalıştığını gözlemlemek için kritik bir role sahiptir. Deneysel testler, simülasyon ve teorik analizlerle elde edilen sonuçların doğrulanmasına olanak tanır ve tasarım sürecindeki iyileştirme alanlarını belirlemeye yardımcı olur. Ayrıca, deneysel testler, ürünün güvenilirliğini değerlendirmek ve gerektiğinde tasarım değişiklikleri yapmak için önemli bir geri bildirim sağlar. Bu nedenle, prototip üretimi sırasında yapılan deneysel testler,

tasarımın gerçek koşullarında nasıl performans göstereceğini anlamak için kritik bir adımdır.

5.2.1. Test düzeneği kurulumu

Ürün prototipinin deneysel olarak testi, 25°C sabit sıcaklığa sahip iklimlendirilmeli bir test odasında yapılması planlandı. DC-DC dönüştürücünün test edileceği bir test düzeni oluşturuldu. Bu düzen, güvenlik önlemleri göz önünde bulundurularak tasarlandı. Test düzeneği, DC güç kaynağı, DC-DC dönüştürücü, Elektronik yük cihazı, akım ölçüm cihazı ve termal kamera gibi temel bileşenleri içermektedir.

DC güç kaynağı, test edilen dönüştürücünün beslenmesini sağlar. Test sırasında dönüştürücünün çalışma gerilimi ve akımı sabit bir şekilde tutulmalıdır. Güç kaynağı, istenen akım ve gerilimi sağlayacak şekilde ayarlanır. Test için kullanılan güç kaynağı, dönüştürücünün beslemesi için 20A akım sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. DC güç kaynağı

Test edilecek DC-DC dönüştürücü, güç kaynağından gelen akımı alacak ve çıkışta belirli bir yük altında çalışacaktır. Şekil 5.7’de gösterilen prototipin montajı yapılmış bir şekilde son ürüne en yakın haliyle testte yük altında çalışacaktır.



Şekil 5.7. Prototip DC-DC dönüştürücü

Şekil 5.7’de gösterilen DC-DC dönüştürücü Şekil 5.8’de gösterilen elektronik yük cihazında ürün için maksimum şart olan 20A akım altında çalıştırılacaktır. Çıkışta 20A sabit akımı görmek cihazın verimli şekilde çalıştığını göstermektedir.



Şekil 5.8. Elektronik yük cihazı

Akım ölçüm cihazı, test edilen dönüştürücünün çıkış akımını doğru bir şekilde ölçer (Şekil 5.9.). Dönüştürücünün tasarımına bağlı olarak belirli bir akım değeri sağlanmalıdır ve bu değer test sırasında sürekli olarak izlenmelidir. Dönüştürücünün çıkış akımını ölçmek için kullanılan akım ölçüm cihazı, belirlenen 20A değerini izleyecek şekilde bağlanır.



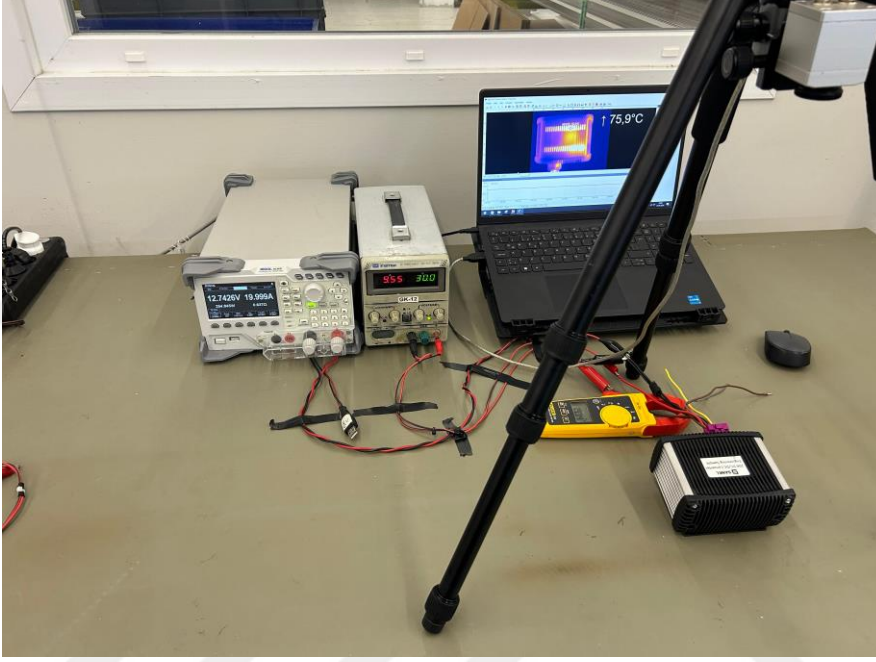
Şekil 5.9. Akım ölçüm cihazı

Termal kamera, dönüştürücünün yüzey sıcaklığını ölçer. Termal performans testlerinde, dönüştürücünün aşırı ısınma durumlarını tespit etmek önemlidir. Termal kamera, dönüştürücünün sıcak noktalarını belirleyerek aşırı ısınma veya termal sorunların varlığını tespit etmemize yardımcı olur. Dönüştürücünün yüzey sıcaklığını izlemek için termal kamera, uygun bir konumda yerleştirilir. (Şekil 5.10)



Şekil 5.10. Termal kamera

Şekil 5.11’de gösterildiği gibi uygun ortam koşullarında deney düzeneği hazırlanır. Bu düzenek, dönüştürücünün sıcaklık dağılımını ve olası ısınma noktalarını tespit etmek amacıyla kurulmuştur. Termal kamera yardımıyla elde edilen veriler, bilgisayar ortamında kaydedilir. Böylece cihazın termal yönetimi ve performansı hakkında bilgiler sağlar.



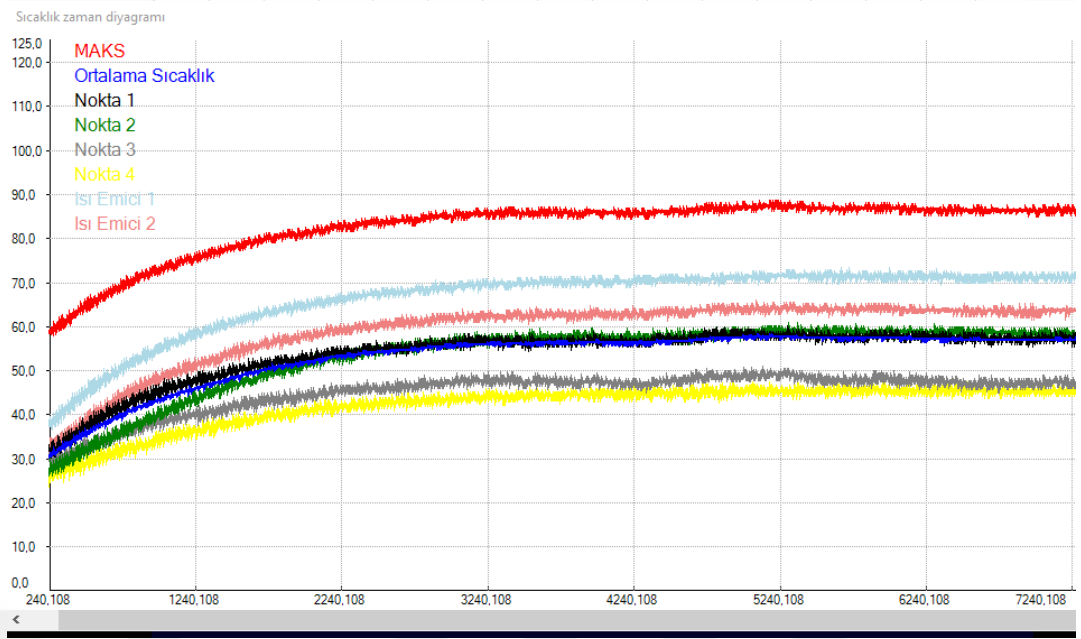
Şekil 5.11. Deney düzeneği

5.2.2. Testlerin işleyişi

DC güç kaynağı açılarak belirlenen 20A akım, dönüştürücüye uygulanır. Akım ölçüm cihazı aracılığıyla akım değeri doğrulanır ve istenen değere ulaşıp ulaşmadığı kontrol edilir. Termal kamera başlatılır ve dönüştürücünün yüzey sıcaklığı izlenmeye başlanır. Dönüştürücü belirli bir süre boyunca sabit bir akım altında çalışır ve termal dengeye ulaşır. Termal dengeye ulaşmış olan dönüştürücünün sıcaklık değerleri termal kamera ile okunur ve analiz edilir. Görseller alınarak veriler kaydedilir.

5.2.3. Test sonuçları

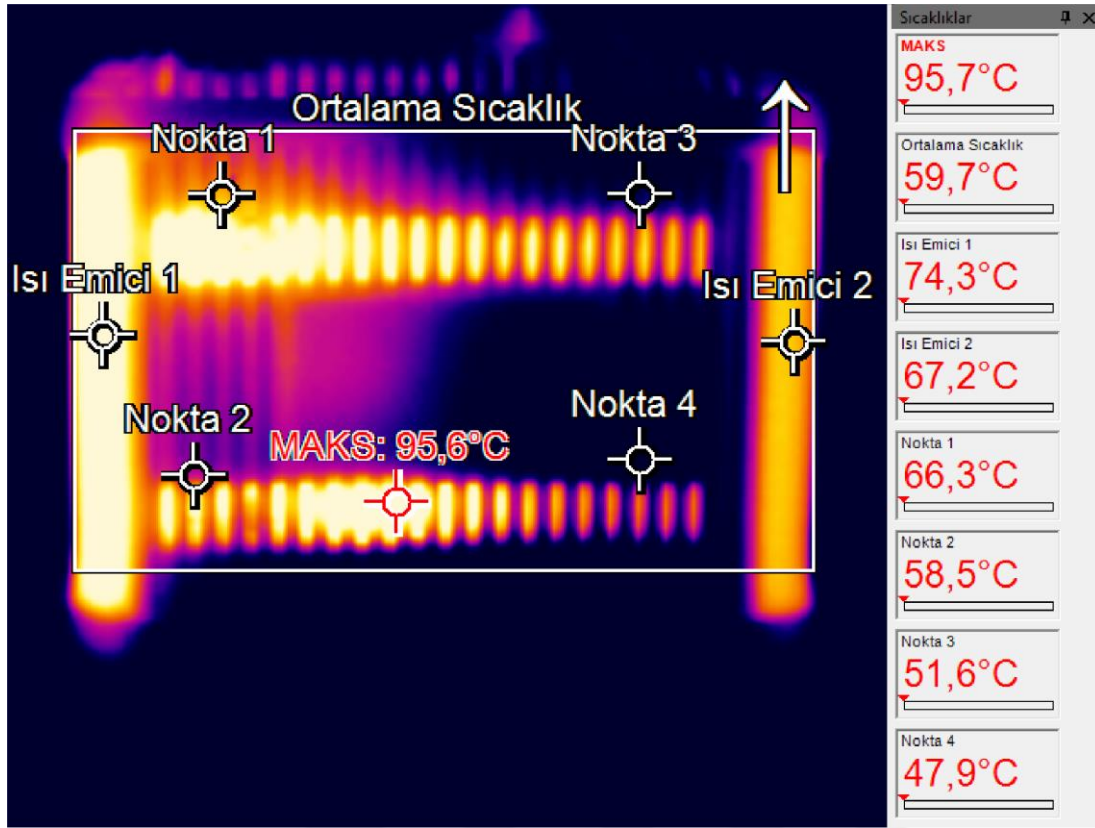
Şekil 5.12’de gösterilen sıcaklık-zaman grafiği, DC-DC dönüştürücünün çalışma süresince belirlenen noktalardaki sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Grafik analizinde, cihazın 54 dakika sonra termal dengeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.12’de gösterilen grafik, Şekil 5.13’de belirtilen noktalar ve ortalama sıcaklık baz alınarak oluşturulmuştur.



Şekil 5.12. Deneysel test sıcaklık grafiği

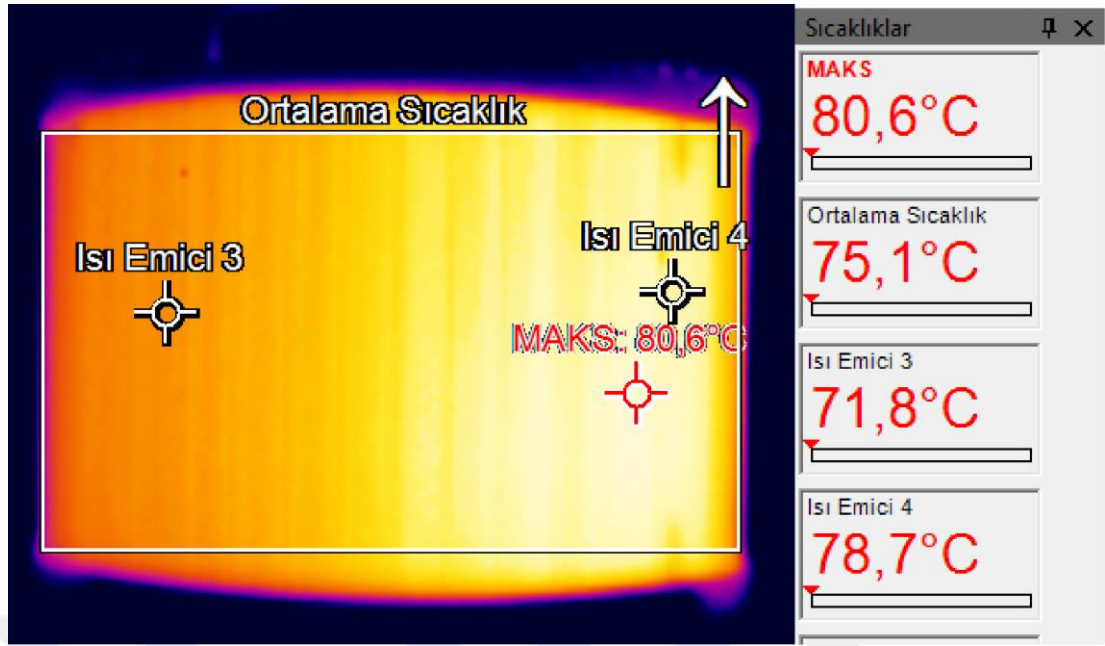
Grafikte gösterilen Nokta 1-2-3-4 bölgeleri Şekil 5.13'de gösterilen plastik kapak üzerindeki sıcaklıkları göstermektedir. Yine Şekil 5.13'de gösterilen Isı emici 1-2 ile gösterilen bölge ise sağ ve sol bölgelerde ısı emicinin olduğu bölümdür.

Şekil 5.13'e göre Nokta 1 bölgesi kritik bölge olmaktadır. Bu bölgede plastik kapak 66°C değerini görmektedir. Bu bölgenin altında elektronik devre üzerinde mosfet grubu, entegre ve bobin yer almaktadır. Isı emici bölgelerine bakıldığında ise Isı Emici 1 bölgesinin Isı Emici 2 bölgesine göre daha fazla ısındığı gözlemlenmektedir. Yine burada elektronik devredeki kritik bileşenlerin sıcaklığa olan etkisi gözlemlenmektedir. Ayrıca Nokta 1 ve Nokta 2 bölgelerindeki sıcaklık değerinin Nokta 3 ve Nokta 4'ten fazla olması, cihazın soğutma sisteminde bölgesel farklılıklar olduğunu ve bu farklılıkların optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 5.13. Ürün kapak bölgesi termal kamera ölçümü

Şekil 5.14’de DC-DC Dönüştürücü ürünü için alt bölgesinin sıcaklık test sonucu gösterilmektedir. Bu bölgede ısı emici 3-4 noktaları gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde ısı emicinin ortalama sıcaklık değerinin 75,1 °C olduğu, Isı emici 3 noktasında sıcaklık 71,8 °C ve Isı emici 4 noktasında sıcaklık 78,7 °C olduğu gözlemlenmektedir. Maksimum sıcaklık değerine bakıldığında ise 80,6°C olduğu gözlenmektedir. Isı emici 4 ve Maksimum sıcaklık noktasının olduğu bölgeler yine mosfet grubu ve entegrenin olduğu bölgeler olmaktadır. Isı emici yüzeyinde bu kadar yüksek sıcaklıkların oluşması, cihazın etkin bir soğutma mekanizmasına ihtiyaç duyduğunu ve mevcut soğutma çözümünün yetersiz olabileceğini göstermektedir. Isı emici üzerindeki sıcaklık dağılımı, cihazın soğutma performansının farklı bölgelerde değişiklik gösterdiğini de ortaya koymaktadır.

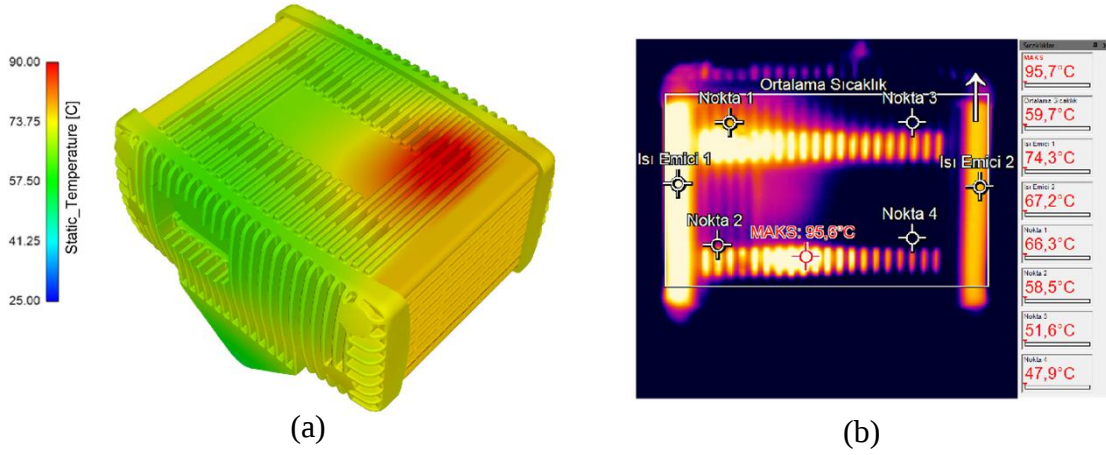


Şekil 5.14. Isı emici termal kamera ölçümü

Yapılan termal kamera altındaki test sonucuna göre DC-DC dönüştürücünün belirli bölgelerinde yüksek sıcaklıkların oluştuğunu ve bu durumun cihazın güvenilirliğini ve performansını etkileyebileceğini ortaya koymuştur. Özellikle ısı emici yüzeyindeki ortalama 75°C'lik sıcaklık, cihazın verimli bir şekilde soğutulması gerektiğini vurgulamaktadır. Üst kapak bölgesindeki sıcaklık farklılıkları ise, cihazın iç bileşenlerinin yerleşim düzeni ve soğutma stratejilerinin gözden geçirilmesi gerektiğini göstermektedir.

5.3. HAD Analizi ve Prototip Testlerinin Karşılaştırılması

Deneyssel ve simülasyon sonuçları, DC dönüştürücünün termal ve akış performansını değerlendirmek ve optimize etmek için önemli veriler sağlamaktadır. Şekil 5.15'te her iki yöntemin birbiriyle örtüştüğü gözlemlenmektedir. Cihazın kritik bölgelerinde oluşan yüksek sıcaklıklar ve yetersiz hava akışı belirlemiştir. Bu bulgular, cihazın termal yönetim sisteminin optimize edilmesi gerektiğini ve daha verimli soğutma çözümlerinin uygulanması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 5.15. HAD analizi ve prototip deneysel test kıyaslaması (a) HAD analiz sonucu (b) Prototip deneysel test sonucu

Bu bulgular ışığında, DC-DC dönüştürücünün termal yönetim sisteminin optimize edilmesi için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Isı emici yüzeyinin genişletilmesi veya daha etkin bir ısı dağılımı sağlayacak malzemelerin kullanılması.
- Üst kapak bölgesindeki soğutma verimliliğinin artırılması için ek soğutma boşlukları veya tasarım iyileştirilmesine gidilmesi.
- Cihazın iç bileşenlerinin, sıcaklık dağılımını optimize edecek şekilde yeniden konumlandırılması.

Bu önerilerin uygulanması, cihazın termal performansını artırarak daha güvenilir ve uzun ömürlü bir kullanım sağlamasına yardımcı olacaktır.

Yapılan analizlerin sonuçlarına dayanarak, ürün üzerinde iyileştirmeler yapılacaktır. Ürünün üst kapağındaki sıcak havanın etkili bir şekilde tahliyesini sağlamak için tahliye boşluklarının boyutları ve sayısı artırılacak ve bu sayede sıcak havanın daha hızlı bir şekilde uzaklaştırılması sağlanacaktır.

5.4. Optimal Tasarım

Bu çalışmada, DC-DC dönüştürücüsünün termal performansını optimize etmek amacıyla HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizi ve prototip üzerinde yapılan termal kamera ölçümleri karşılaştırıldı ve bu doğrultuda çeşitli iyileştirmeler yapılması öngörüldü. Özellikle ısı emici, üst kapak ve yan kapaklarda yapılan tasarım değişiklikleri termal yönetim performansını artırmak üzere planlanmıştır.

Elektronik devrede bileşenlerin yerleşiminde bir değişiklik yapılamadığı için, yalnızca ebatlarında küçülme sağlanarak ısı emicinin dış ebatlarının sabit tutulması ancak kanat alanlarının artırılması hedeflendi. Bu sayede içyapısında önemli iyileştirmelere gidildi. Bu bağlamda, ısı emicinin performansını artırmak amacıyla yapılan detaylı düzenlemeler şu şekildedir:

Öncelikle, ısı emici kanatlarının sayısı ve boyutları önemli ölçüde artırıldı. Kanat sayısının ve kanat uzunluklarının artırılması, ısı emicinin toplam yüzey alanını genişletmiştir. Yüzey alanının genişlemesi, daha fazla ısıнын emilmesine ve etkili bir şekilde dağıtılmasına olanak tanımaktadır. Bu şekilde, elektronik devrede üretilen fazla ısıнын daha verimli bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmıştır.

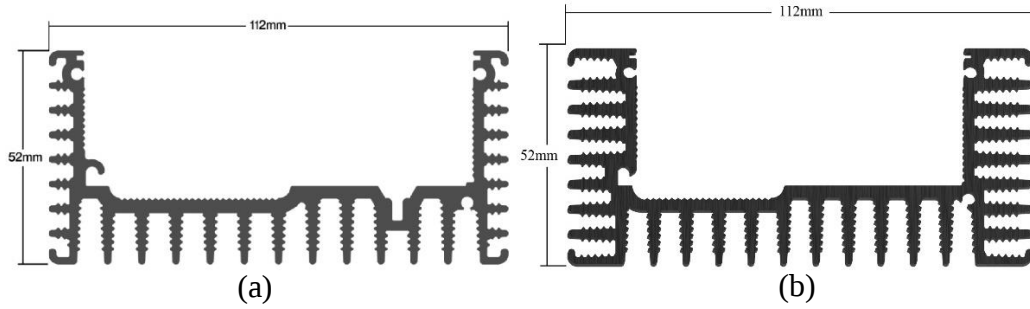
Kanat yapısındaki düzenlemeler, hava akışının optimize edilmesine katkıda bulunmuştur. Artan kanat sayısı ve yüzey alanı, hava akışının daha düzgün ve hızlı bir şekilde kanatlar arasından geçmesine olanak tanımaktadır. Bu, ısıнын daha hızlı ve etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.

Isı emici ile elektronik devre arasındaki termal iletimi artırmak amacıyla, montaj yönteminde önemli bir değişiklik yapıldı. Geleneksel cıvata bağlantısı yerine termal bant kullanılarak, devre ısı emiciye yapıştırılarak sabitlendi. Bu değişiklik sayesinde yüzey temas alanında artırma ve ısı transfer verimliliğinin artırılması hedeflendi.

Cıvata bağlantısı, sınırlı temas noktaları oluşturarak ısıнын geçişini kısıtlayabilir. Termal bant kullanımı ise, ısı emici ve elektronik devre arasındaki temas yüzeyini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu, daha geniş bir yüzey alanından ısıнын aktarılmasını sağlamakta ve termal iletimi önemli ölçüde iyileştirmektedir. Termal bant, yüksek termal iletkenlik özelliklerine sahiptir ve cıvata bağlantısına göre daha homojen bir ısı transferi sağlamaktadır. Bu, elektronik devreden ısı emiciye daha verimli bir ısı transferi sağlayarak, cihazın genel termal performansını artırmaktadır.

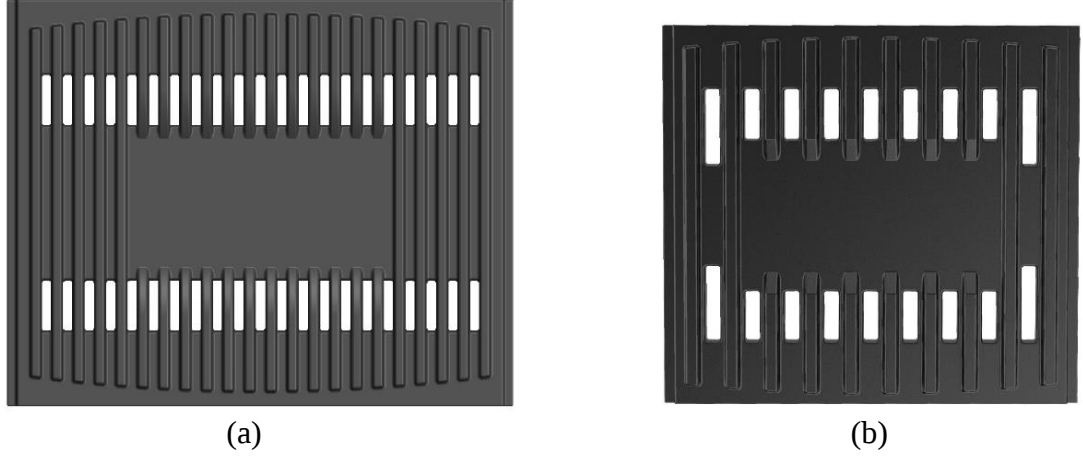
Yapılan değişiklikler sonucunda, Şekil 5.16 (b)'de gösterilen yeni ısı emici tasarımı oluşturulmuştur. Bu yeni tasarım, Şekil 5.16 (a) ile karşılaştırıldığında daha gelişmiş bir kanat yapısına ve artırılmış bir termal iletim alanına sahiptir. Bu iyileştirmeler, ısı emicinin genişlik ve yükseklik ölçüleri değiştirilmeden ve 4 mm'lik bir derinlik azalmasına rağmen gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, geliştirilmiş ısı emicinin toplam yüzey alanında %21,1 ve toplam kanat yüzey alanında %24,2

oranında bir artış elde edilmiştir. Bu yüzey alanı artışı, ısıнын daha etkin bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlayacaktır.



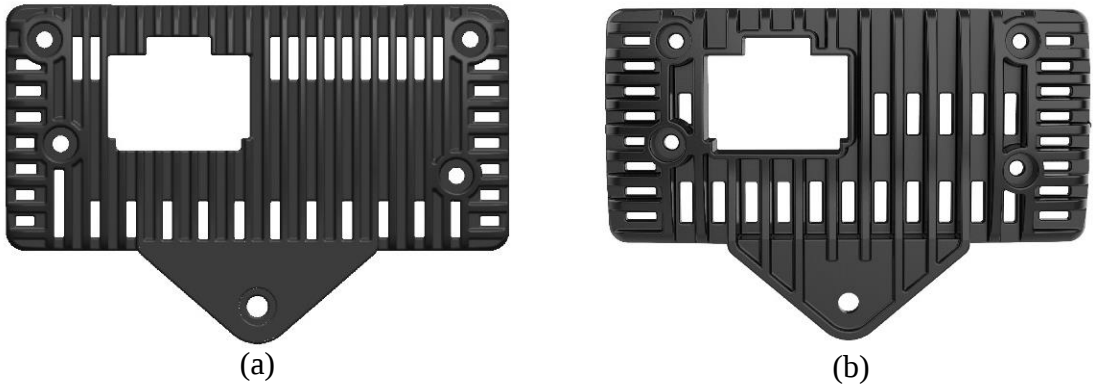
Şekil 5.16. Optimal ısı emici tasarımı (a) Analizleri yapılan ısı emici (b) Geliştirilmiş ısı emici

Elektronik devrenin boyutlarındaki değişiklik nedeniyle, Şekil 5.17 (b)'de görüldüğü gibi üst kapak boyutlarında da farklılık meydana gelmiştir. Bu değişikliklere paralel olarak, küçülen üst kapak boyutlarının yanı sıra Şekil 5.17 (a)'da gösterilen üst kapaktaki tahliye boşluklarının şekli değiştirilmiş ve boyutları artırılmıştır. Tahliye boşluklarının şekillerinin değiştirilmesi ve boyutlarının artırılması, sıcak havanın cihaz içerisinden daha hızlı ve etkili bir şekilde dışarı atılmasını sağlayacaktır. Daha büyük ve geniş tahliye boşlukları, cihaz içinde daha iyi bir hava dolaşımı yaratarak sıcak noktaların soğutulmasını kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Şekil 5.17'de gösterilen tasarımlar benzer ebatlara sahip olmadıklarından, kıyaslama için genel alanlarındaki tahliye boşluk oranları referans alınmıştır. Genel alandaki tahliye boşluk oranı, Şekil 5.17 (a)'da %12,83 iken, geliştirilmiş versiyon olan Şekil 5.17 (b)'de %14,93'e yükseltilmiştir. Yaklaşık %2,1'lik bir artış sağlanmıştır. Bu iyileştirmelerin, cihazın içindeki sıcak hava birikiminin önlenmesine ve genel termal performansın artırılmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.



Şekil 5.17. Optimal üst kapak tasarımı (a) Analizleri yapılan üst kapak (b) Geliştirilmiş üst kapak

Yan kapaklardaki hava boşlukları stratejik konumlandırılması, sıcak havanın uzaklaşmasıyla oluşan basınç düşüşünü kullanarak, soğuk havanın elektronik bileşenlerin bulunduğu alana doğru hareketini sağlamaktadır. Bu düzenleme, doğal hava akışını destekleyerek ısı transferini artırmayı hedeflemektedir. Şekil 5.18 (b)'de görüldüğü gibi Şekil 5.18 (a)'ya göre yan kapakta da tahliye boşluklarının ebatları büyütülmüştür. Yan kapak üzerindeki tahliye boşluklarının boyutlarının büyütülmesi, sıcak havanın daha geniş bir alandan içeri girmesine olanak tanımıştır. Yan kapaklardaki boşluk oranları hesaplandığında %2,8'lik bir tahliye boşluğu artışı sağlanmıştır.



Şekil 5.18. Optimal yan kapakların tasarımı (a) Analizleri yapılan konnektör boşluklu yan kapak (b) Geliştirilmiş konnektör boşluklu yan kapak

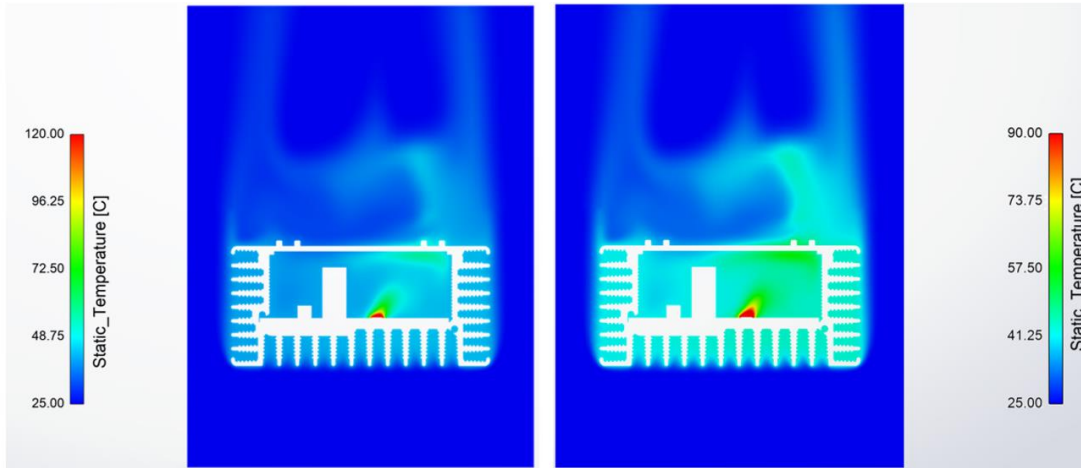
Şekil 5.19 (b)'de görüldüğü gibi, Şekil 5.19 (a)'ya kıyasla yan kapakta tahliye boşluklarının ebatları büyütülmüştür. Yan kapaklardaki boşluk oranları hesaplandığında, %35,63 oranında bir tahliye boşluğu artışı sağlanmıştır. Yan kapak tahliye boşluklarının genişletilmesi ile cihaz içindeki hava akışının iyileştirilmesi ve sıcak noktaların daha hızlı soğumasının sağlanması hedeflendi.



Şekil 5.19. Optimal yan kapakların tasarımı (a) Analizleri yapılan yan kapak (b) Geliştirilmiş yan kapak

5.5. Optimal Tasarım HAD Analizi Sonuçları

Optimal tasarıma sahip DC-DC dönüştürücünün termal performansını ve verimliliğini incelemek amacıyla gerçekleştirilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri, tasarım sürecinde, mevcut sistemin termal davranışını daha iyi anlamak ve için deneysel yöntemler ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, mevcut tasarımın HAD analizleri ve laboratuvar testleri gerçekleştirilmiş ve bu analizlerden elde edilen veriler ışığında yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Yeni tasarımın HAD analizleri de detaylı bir şekilde incelenmiş ve sonuçlar, tasarımın termal performansını ne ölçüde iyileştirdiğini değerlendirmek amacıyla analizler yapılmıştır.

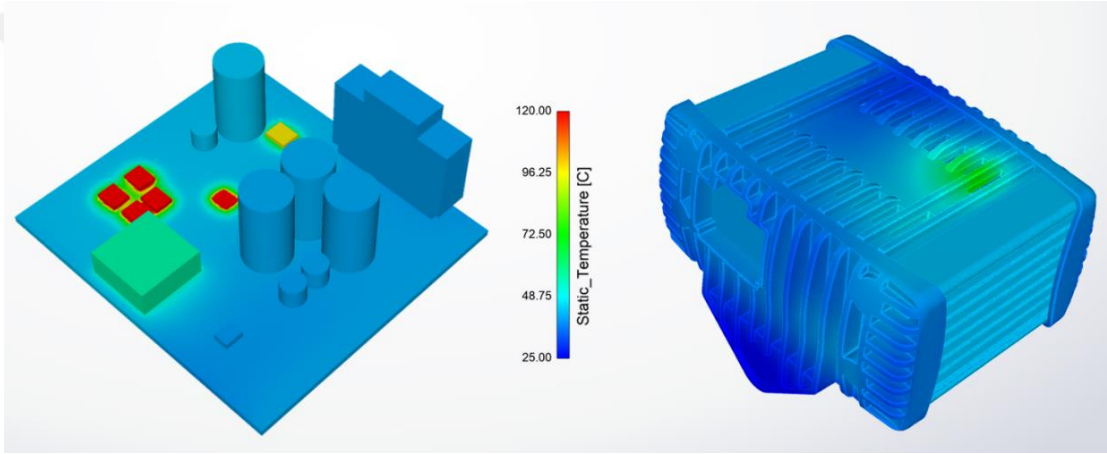


Şekil 5.20. Optimal tasarım HAD analizi sıcaklık dağılımı

Şekil 5.20'de görülen genel sıcaklık dağılımı, cihazın ısı emici yüzeyinde maksimum sıcaklık noktalarını belirlemektedir. Özellikle, ısı emici yüzeydeki maksimum sıcaklık yaklaşık 50°C civarlarında olduğu gözlemlenmiştir. 90°C sıcaklık göstergesi baz alınarak gösterilen ifadede ısınan havanın hangi bölgelerde yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Mosfet, entegre ve bobinin olduğu bölümde oluşan ısı

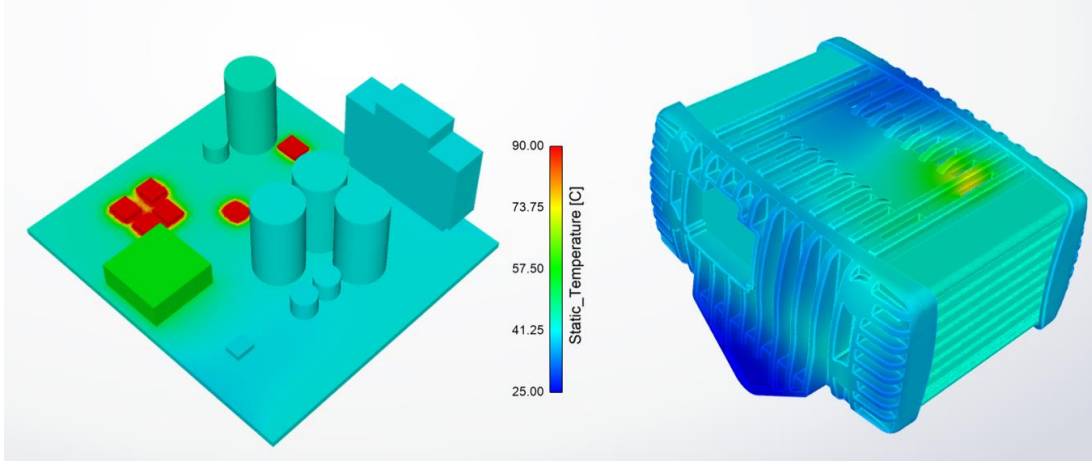
yoğunluğun plastik kapak bölgesinden tahliye edildiği gözlenmektedir. 120°C sıcaklık göstergesi baz alınarak da mevcut sıcaklıkların daha iyi bir şekilde okunması sağlanmıştır. Böylece içerideki havanın yaklaşık 60 °C civarlarında olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 5.21’de 120°C gösterge alınarak oluşturulan görselde elektronik bileşenler üzerindeki sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Burada elektronik devre üzerindeki sıcaklıkların bobin mosfet grupları ve entegre üzerinde olduğu gözlemlenmektedir. Bu da yine Şekil 5.21’de gösterilen DC-DC dönüştürücü üzerinde ilgili bölgede ısı artışına neden olduğu gözlemlenmektedir. Plastik kapak üzerinde ısı artışı olan bu bölgede yaklaşık olarak 72 °C değeri okunmaktadır.



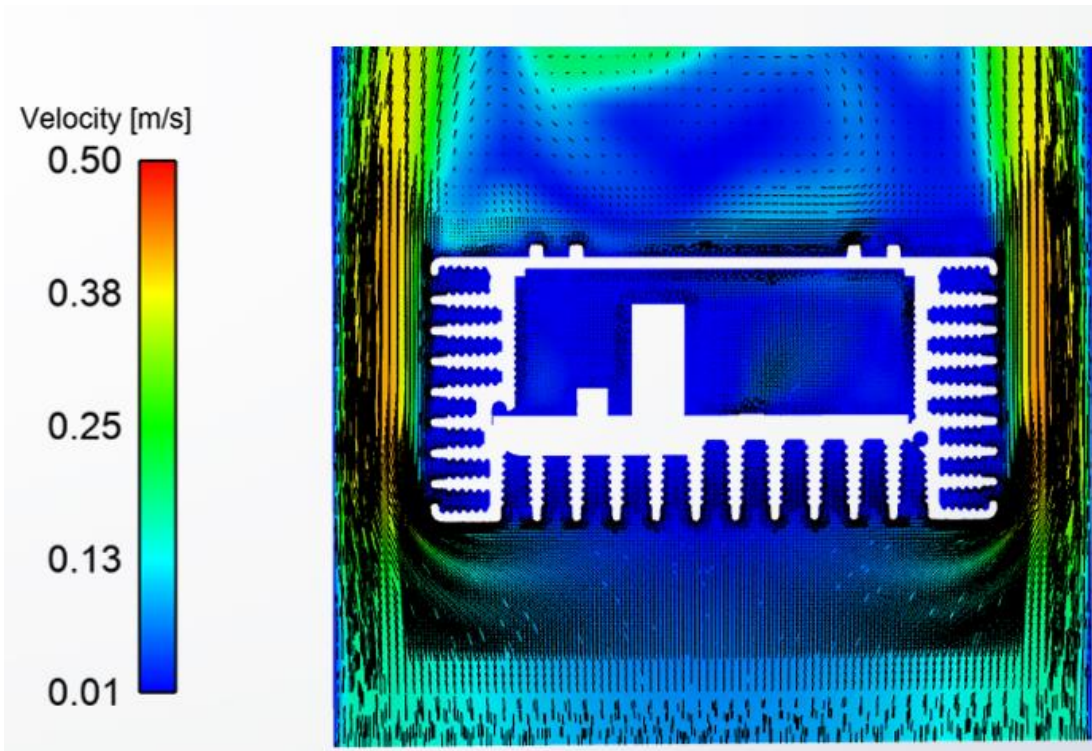
Şekil 5.21. Optimal tasarım HAD analizi katı cisim sıcaklık sonucu 120°C gösterge

Şekil 5.22’de 90°C gösterge alınarak DC-DC dönüştürücüsüne bakıldığında cihazın belirli bileşenlerinin daha fazla ısındığı ve ancak buna rağmen sıcaklık dağılımının homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. Cihazın üst kapağında belirli noktalarda sıcaklık 72°C’ye ulaşırken, diğer bölgelerde bu sıcaklık 45°C ile 50°C seviyelerinde kalmıştır. Isı emici üzerindeki ısı değeri ise 50°C civarlarında olduğu gözlemlenmektedir.



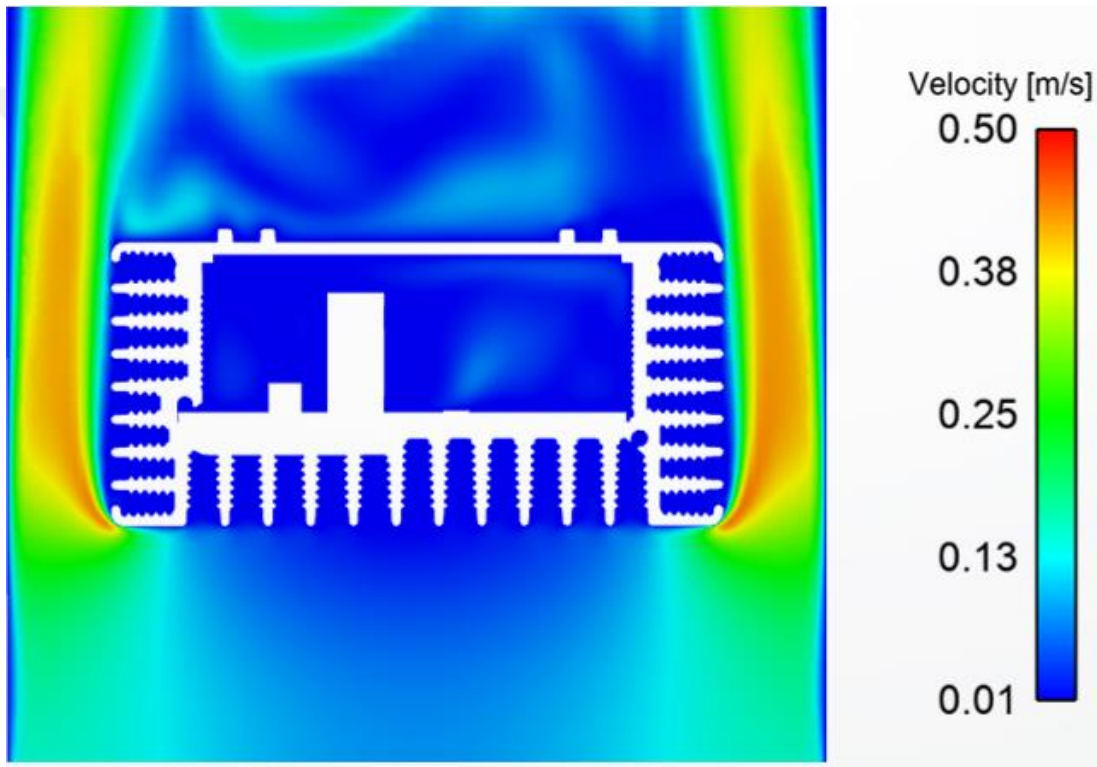
Şekil 5.22. Optimal tasarım HAD analizi katı cisim sıcaklık sonucu 90°C gösterge

Şekil 5.23'te HAD analizinde elde edilen hız vektörleri, cihaz içindeki akışkanın hareketini ve hız dağılımını göstermektedir. Bu hız vektörleri, cihaz içindeki hava akışının yönünü ve hızını detaylı bir şekilde göstermektedir. Bu görseller, soğutma hava akışının ısı emicinin her iki bölgesinde de homojen dağıldığını ve bu bölgelerde hızın diğer bölgelere göre daha hızlı olduğunu ortaya koymaktadır. Isı emici kanat yapısının optimizasyonu sayesinde her iki bölgede de hava akışının 0.4 m/s değerlerine ulaştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.23. Optimal tasarım HAD analizi hız vektörleri

Şekil 5.24'te, cihaz içindeki hava akışı hız desenleri detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu desenler, hava akışının cihazın belirli bölgelerinde nasıl davrandığını gösterir ve potansiyel tıkanma veya yavaşlama noktalarını ortaya çıkarır. Akış deseni incelendiğinde, ısı emicinin yan bölgelerinde istenen homojen hava akışının olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, cihazın iç bölgesinde yapılan incelemede, ısınan havanın yükselmesini engelleyecek potansiyel tıkanma veya yavaşlama noktalarının olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, cihazın içindeki hava akışının optimizasyonunu vurgulayarak, ısınan havanın etkin bir şekilde tahliye edildiğini ve böylece cihazın verimliliğini artırdığını göstermektedir.



Şekil 5.24. Optimal tasarım HAD analizi akış desenleri

5.6. İlk Tasarım ve Optimal Tasarım HAD Analizi Kıyaslaması

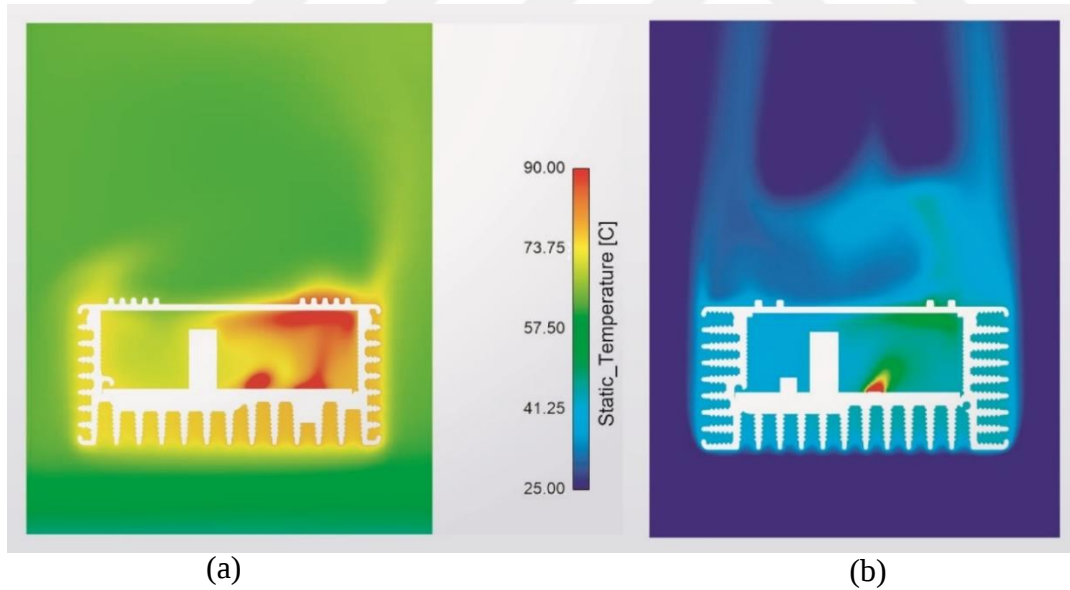
Şekil 5.25'te, iki farklı tasarım için gerçekleştirilen (HAD) analizinin sıcaklık sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, sağdaki geliştirilmiş tasarımın, soldaki ilk tasarıma kıyasla daha üstün bir termal performans sergilediği belirlenmiştir.

İlk tasarımda iç hava sıcaklığında gözlemlenen maksimum sıcaklık değeri yaklaşık 90°C'ye ulaşmakta ve sıcaklık dağılımının cihazın belirli bölgelerinde yoğunlaştığı

tespit edilmektedir. Buna karşılık, geliştirilmiş tasarımda stratejik olarak konumlandırılan ve tasarlanan hava boşlukları sayesinde maksimum sıcaklık değeri belirgin şekilde düşürülerek yaklaşık 58°C'ye indirgenmiştir. Bu iyileştirme, sıcaklık dağılımının daha homojen hale gelmesini sağlamış ve termal performansın artırıldığını göstermektedir. Sonuç olarak, maksimum iç hava sıcaklığında yaklaşık %36 oranında bir düşüş elde edilmiştir.

Geliştirilmiş tasarımda yapılan geometrik değişiklikler, termal iletkenliği artırarak cihazın genel performansını iyileştirmiştir. İlk tasarımda ısı emici yüzey sıcaklığının yaklaşık 75°C olduğu gözlemlenmektedir. Geliştirilen tasarımın ardından, ısı emici yüzey sıcaklıkları yaklaşık 42°C seviyelerine düşmüştür. Bu durum, ısı emici yüzeyinde yaklaşık %44 oranında bir sıcaklık düşüşü sağlandığını ortaya koymaktadır.

Bu bulgular, geliştirilmiş tasarımın ısı transfer etkinliğini artırarak sıcak noktaların oluşumunu engellediğini ve homojen bir sıcaklık dağılımı sağlandığını ortaya koymaktadır. Cihazın termal performansında önemli bir iyileşme sağlanmış ve genel işlevselliği artırılmıştır.



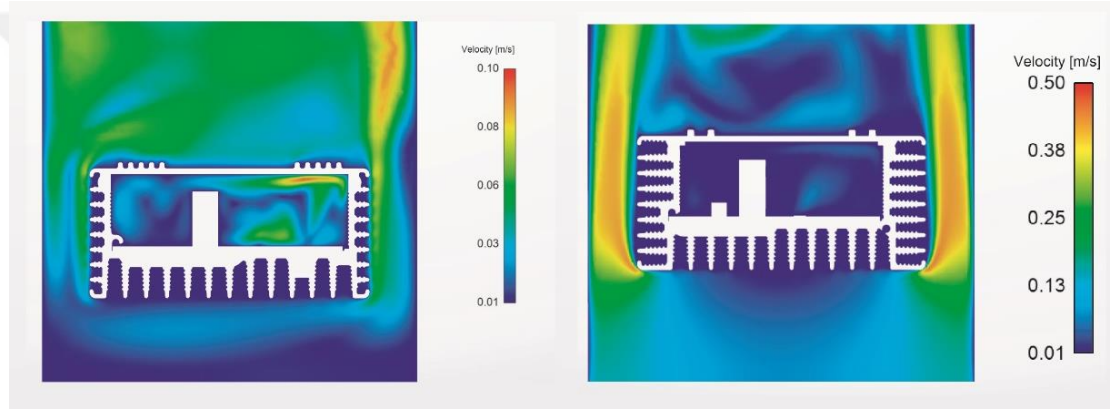
Şekil 5.25. İlk tasarım ile optimal tasarım HAD analizi sıcaklık sonucu karşılaştırması
(a) İlk tasarım (b) Optimum tasarım

Şekil 5.26'da iki farklı tasarım için gerçekleştirilen HAD analizinin hız desenleri sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

İlk tasarımda, sağ köşe bölgesinde hava akışının yavaşladığı ve bu bölgelerde sıcaklık birikiminin meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sıcaklık birikimi, Şekil 5.3'te gösterilen plastik parçanın sıcaklık değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Hava

akışının bu bölgede ürün dışına çıkamaması nedeniyle, sıcak hava diğer bölgelere yayılmakta ve cihaz içerisinde bulunan havanın genel sıcaklık değerini yükseltmektedir.

Optimum tasarımda ise ısı emici üzerinde yapılan geometrik değişiklikler sayesinde hava akışının ısı emicinin her iki bölgesinde de homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu düzenleme, hava akış hızındaki artışa da katkı sağlayarak ısı transfer hızının artmasını sağlamaktadır. Dönüştürücünün iç bölgesindeki hava akışının, plastik kapaklar üzerinde bulunan hava boşluklarının optimize edilmesiyle kolayca tahliye edildiği ve böylece ilk tasarımda görülen içerideki havanın yavaşlaması ve birikmesi durumunun önüne geçildiği tespit edilmiştir.



(a) (b)
Şekil 5.26. İlk tasarım ile optimal tasarım HAD analizi hız sonucu karşılaştırması
(a) İlk tasarım (b) Optimum tasarım



6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, bir DC-DC dönüştürücünün termal performansını artırmak amacıyla HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizi ve deneysel testler kullanılarak kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, dönüştürücünün ısı yönetim performansını iyileştirmek ve cihazın daha güvenilir ve uzun ömürlü çalışmasını sağlamaktır. Bu bölümde, gerçekleştirilen analizler, prototip testleri ve optimizasyon çalışmalarının sonuçları özetlenmektedir.

Çalışmada öncelikle tasarlanan ilk ürünün HAD analizi gerçekleştirilmiş ve bu analiz sonuçlarına dayanarak cihazın belirli bölgelerinde yüksek sıcaklıkların bulunduğu ve hava akışının yeterince homojen olmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, yapılan deneysel testlerle de doğrulanmış ve cihazın termal yönetiminde iyileştirmeler yapılması gerektiği ortaya konmuştur.

Optimizasyon çalışmaları sonucunda, cihazın termal performansını artırmak amacıyla çeşitli yapısal ve fonksiyonel iyileştirmeler yapılmıştır. İlk olarak, ısı emicinin kanat sayısı ve yüzey alanı artırılarak daha fazla ısının emilip dağıtılması sağlanmıştır. Bu değişiklikler, ısı emicinin toplam yüzey alanını %21,1 toplam kanat yüzey alanını ise %24,2 oranında artırmıştır. Ayrıca, yan kapaklar ve üst kapakta bulunan tahliye boşlukları yeniden düzenlenerek hava akışı optimize edilmiştir. Bu optimizasyonlar sonucunda üst kapakta genel alandaki tahliye boşluğu alanı oranı %12,83'den %14,93'e, konnektör bulunan kapakta %2,8 diğer yan kapakta %35,63'lik bir artış sağlanmıştır. Bu iyileştirmeler, cihazın içindeki ısının daha hızlı uzaklaştırılmasını sağlamış ve termal yönetim performansını artırmıştır. Termal bant kullanımı ile elektronik devre ile ısı emici arasındaki yüzey teması artırılmış ve ısı transfer verimliliği yükseltilmiştir.

Sonuç olarak, yapılan bu yapısal ve fonksiyonel iyileştirmeler, cihazın daha güvenilir ve uzun ömürlü bir şekilde çalışmasına katkı sağlamaktadır. Bu optimizasyon çalışması sonucunda yapılan HAD analizi verilerine göre ilk tasarıma kıyasla 75°C olan ısı emici sıcaklığı 42°C civarlarına düşürülerek %44'lük bir sıcaklık düşüşü sağlanmıştır. Yine iç havadaki maksimum sıcaklık 90°C seviyelerinden optimum

tasarımda 58°C seviyelerine getirilerek yaklaşık %36'lık bir sıcaklık düşüşü sağlanmıştır. Dış havadaki akış ilk tasarımda homojen değilken optimizasyon sonucunda tüm ısı emicide homojen ısınma sağlanmasıyla homojen bir akış elde edilmiştir.

Çalışma, ısı emicinin yapısal ve fonksiyonel iyileştirilmesi yoluyla elektronik cihazların termal yönetim performansının nasıl artırılabilirliğini göstermektedir. Elde edilen bulgular ve yapılan iyileştirmeler, cihazın genel performansını artırarak, daha verimli ve sürdürülebilir bir kullanım sağlamaktadır.

Bu tez çalışması, termal yönetim sistemlerinin optimizasyonunun cihaz performansı üzerindeki kritik önemini vurgulamakta ve gelecekteki tasarım çalışmaları için değerli bir referans oluşturması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] K. A. M. Annuar and F. S. Ismail, "Optimal pin fin arrangement of heat sink design and thermal analysis for central processing unit," IEEE Xplore, Jun. 01, 2014. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6869537>
- [2] Z. Zhongchen, "Passive Cooling System: An Integrated Solution to the Application in Power Electronics," Simon Fraser University Mechatronic Systems Engineering, 2019.
- [3] Y. Xu et al., "Joule's law for organic transistors exploration: Case of contact resistance," Journal of applied physics, vol. 113, no. 6, Feb. 2013, doi: <https://doi.org/10.1063/1.4792066>.
- [4] Andrzej Trzynadlowski, Introduction to modern power electronics. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2016.
- [5] BCC Research Team, "Global Market for Electric Vehicles and Fuel Cell Vehicles Global Market for Electric Vehicles and Fuel Cell Vehicles," www.bccresearch.com, Aug. 2022. <https://www.bccresearch.com/market-research/fuel-cell-and-battery-technologies/electric-vehicles-and-fuel-cell-vehicles-global-markets.html>
- [6] S. Anandan and V. Ramalingam, "Thermal management of electronics: A review of literature," Thermal Science, vol. 12, no. 2, pp. 5–26, 2008, doi: <https://doi.org/10.2298/tsci0802005a>.
- [7] Younes Shabany, Heat Transfer. Informa, 2009. doi: <https://doi.org/10.1201/9781439814680>.
- [8] M. Ohadi and None Lin Qi, "Thermal management of harsh-environment electronics," Microscale Heat Transfer Fundamentals and Applications, pp. 479–498, May 2004, doi: <https://doi.org/10.1109/stherm.2004.1291329>.
- [9] R. Junaidi and R. Rao, "Thermal Analysis of Splayed Pin Fin Heat Sink," International Journal of Modern Communication Technologies & Research (IJMCTR), vol. 2, no. 4, p. 48, 2014, Available: <https://www.neliti.com/publications/265801/thermal-analysis-of-splayed-pin-fin-heat-sink>
- [10] R. YE, "What Are Heat Sinks and How Are They made? - 3ERP," Rapid Prototyping & Low Volume Production, Aug. 11, 2021. <https://www.3erp.com/blog/what-are-heat-sinks-and-how-are-they-made/>
- [11] S. Gök, "Alüminyum Köpük kanatlı Yüzeyde Isı Transferinin İncelenmesi," Yök, 2016. Available: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=r_Y2U0BsbRJIIiF6uqUSGQ&no=GpuVU5-SVuzQEGXr1H-4yA
- [12] K. Yakut, R. Selbaş, and M. Z. Yakut, Mühendislikte Isı Transferi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Yayını, 2022. Accessed: 2022. [Online]. Available: <https://kutuphane.isparta.edu.tr/kutuphanedosyalar/fa0fcaf0-d42d-41e8-8bba-795a41ecdf7f.pdf>
- [13] ÇengelY. A. and A. J. Ghajar, *Heat and mass transfer : fundamentals & applications*. New York: Mcgraw-Hill, 2011.

- [14] 19 Mayıs Üniversitesi, “Malzeme Üretim Laboratuvarı Termal İletkenlik Deney Föyü,” On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 2020. Accessed: 2020.[Online].Available:<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mert.doleker/132789/3.hafta.pdf>
- [15] İ. Kotcioğlu and A. Bölükbaşı, “Düşey Dikdörtgen Kesitli Bir Kanalda Farklı Kanatçıklı Yüzeylerde Isı Transferlerinin İncelenmesi,” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 89–102, 2006, Available: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/590798>
- [16] C. J. Sanders and J. P. Holman, “Franz Grashof and the Grashof number,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 15, no. 3, pp. 562–563, Mar. 1972, doi: [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(72\)90220-7](https://doi.org/10.1016/0017-9310(72)90220-7).
- [17] R Byron Bird, W. E. Stewart, and E. N. Lightfoot, *Transport Phenomena*. New Delhi: Wiley India Pvt. Ltd, 2014.
- [18] D. McLean, *Understanding Aerodynamics*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118454190>.
- [19] Giri and B. Das, “A numerical study of entry region laminar mixed convection over shrouded vertical fin arrays,” *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 60, pp. 212–224, Oct. 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2012.05.007>.
- [20] H. Ye and G. Zhang, “A review of passive thermal management of LED module,” *Journal of Semiconductors*, vol. 32, no. 1, p. 014008, Jan. 2011, doi: <https://doi.org/10.1088/1674-4926/32/1/014008>.
- [21] G. Deepak, V. Vignesh, and N. Rakesh, “CFD & Thermal Analysis of Heat Sink and its Application in CPU,” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 8, pp. 198–201, Aug. 2014.
- [22] L. Arulmurugan and M. Ilankumaran, “Experimental investigation on Thermal Performance of Copper with Aluminium Based Finned Heat sinks for Electronics Cooling System,” *Journal of Advances in Chemistry*, vol. 12,no.12,Oct.2016,Available:<https://rajpub.com/index.php/jac/article/view/787/769>
- [23] S. Lee, “Optimum design and selection of heat sinks,” *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology: Part A*, vol. 18, no. 4, pp. 812–817, 1995, doi: <https://doi.org/10.1109/95.477468>.
- [24] Madhusudan Iyengar and Avram Bar Cohen, “OPTIMIZATION OF VERTICAL PIN-FIN HEAT SINKS IN NATURAL CONVECTIVE HEAT TRANSFER,” *Proceeding of International Heat Transfer Conference 11*, Jan. 1998, doi: <https://doi.org/10.1615/ihtc11.3540>.
- [25] T. Morrison, “Optimization of heat sink fin geometries for heat sinks in natural convection,” Jan. 2003, doi: <https://doi.org/10.1109/itherm.1992.187753>.
- [26] H. E. Ahmed, B. H. Salman, A. Sh. Kherbeet, and M. I. Ahmed, “Optimization of thermal design of heat sinks: A review,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 118, pp. 129–153, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.099>.
- [27] P. Asimakopoulou, Konstantinos Papastergiou, Torbjörn Thiringer, and M. Bongiorno, “Heat sink design considerations in medium power electronic applications with long power cycles,” *17th European Conference on Power*

- Electronics and Applications*, Sep. 2015, doi: <https://doi.org/10.1109/epe.2015.7309150>.
- [28] C. Alvin, W. Chu, C.-H. Cheng, and James, “Thermal analysis of extruded aluminum fin heat sink for LED cooling application,” Oct. 2011, doi: <https://doi.org/10.1109/impact.2011.6117207>.
- [29] “Data Sheet LTC7891 100 V, Low I Q, Synchronous Step-Down Controller for GaN FETs.” Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc7891.pdf>
- [30] 3lcoil. <https://www.3lcoil.com/home/upfiles/3L-UPIMB.pdf>
- [31] “DMTH6002LPSWQ N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE MOSFET,” 2021. Accessed: Jul. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/DMTH6002LPSWQ.pdf>
- [32] “P-CHANNEL MOSFET DFN5060.” Accessed: Jul. 16, 2024. [Online]. Available: [https://www.mccsemi.com/pdf/Products/MCAC80P06YHE3\(DFN5060\).pdf](https://www.mccsemi.com/pdf/Products/MCAC80P06YHE3(DFN5060).pdf)
- [33] Halil KARTAL, Burak KURŞUN, Korhan ÖKTEN, and Levent UĞUR, “Numerical Investigation of Mixed Blade Structure in Radial Fans,” *Düzce Üniversitesi bilim ve teknoloji dergisi*, vol. 11, no. 3, pp. 1303–1317, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.29130/dubited.1094817>



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Hamdi YILDIZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2016, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- Yükseklisans** : 2024, Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2017-2018 yılları arasında Kara Kuvvetleri Komutanlığında Asteğmen olarak görev yaptı.
- 2018 yılında RMK Yangın Firmasında çalıştı.
- 2019 yılında Armada Yazılım A.Ş. firmasında çalıştı.
- 2019 yılında Sanel A.Ş. firmasında çalışmaya başladı ve halen çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Yıldız H. , Parlak Z. , Akıner O. , Taşdemir N. , Yavuz C. (2023, 02-03, Aralık). Yüksek Akım Devrelerinde Isının Yönetimi: Ticari Araçlarda Pasif Soğutucuların Tasarımı. *ISARC 7. INTERNATIONAL PALANDÖKEN SCIENTIFIC STUDIES CONGRESS - İksad Yayınları*, Erzurum, Turkey.