

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**HAFİF TİCARİ TİP ELEKTRİKLİ BİR ARACIN KABİN İÇİ
ISITMA PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Safa SARI

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Alpaslan ALKAN

Ocak 2025

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HAFİF TİCARİ TİP ELEKTRİKLİ BİR ARACIN KABİN İÇİ
ISITMA PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Safa SARI

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 17/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç Dr. Hüseyin KAHRAMAN	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Alpaslan ALKAN	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Üsame DEMİR	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Safa SARI

17/01/2025

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 Dr. Öğr. Üyesi Alpaslan ALKAN'na ve iş yerimde bulunan takım liderim Onur Özcan'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	v
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2

BÖLÜM 2.

TİCARİ ARAÇLAR VE HVAC SİSTEMLERİ	12
2.1. Ticari Araçlar	12
2.1.1. Hafif Ticari Araçlar.....	12
2.1.2. Ağır Ticari Araçlar	12
2.1.3. Ticari araç ve hafif ticari araç arasındaki farklar	13
2.2. Ticari Araçlarda HVAC Sistemleri	13
2.2.1. Kompresör.....	13
2.2.1.1. Kondanser (Yoğuşturucu)	14
2.2.1.2. Evaporatörler (Buharlaştırıcılar)	15
2.2.1.3. Genleşme valfi	15
2.2.2. İçten yanmalı ve elektrikli araçlarda ısıtma sistemi	15
2.2.2.1. İçten yanmalı araçlarda kalorifer sistemi	16
2.2.3. Elektrikli araçların kalorifer sistemi	20
2.2.3.1. PTC ısıtıcılar	20
2.2.3.2. Isı pompası	21
2.2.4. Manyetokalorik ısıtma	23
2.2.5. Radyant ısıtma.....	25

BÖLÜM 3.

TASARIM ÇALIŞMASI	26
3.1. Tasarım Kriterleri	26
3.2. Regülasyon Tasarım Kriteri ECE R-122	27
3.3. Opsiyonlara Göre Tasarım Çalışmaları	30
3.3.1. Isıtma sistemini geliştirme amaçlı çalışmada kullanılan malzemeler	30
3.4. Isıtma Sistemini Geliştirme Amaçlı Yapılan Tasarım Çalışması	31
3.4.1. Tasarım 1 ve tasarım 2 çalışması	32

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMA	34
4.1. Test Yöntemi	35
4.1.1. Test Ekipmanları	35
4.1.2. Test hazırlığı ve metodu	36
4.1.3. Sıcaklık sensörü yerleri	37
4.2. Çalışmadaki Test Verileri	41
4.2.1. PTC ısıtıcıya sahip Faz-2 P3 test verileri	41
4.2.2. Dizel ısıtıcıya sahip Faz-2 D5 test verileri	45

BÖLÜM 5.

TEORİK ÇALIŞMA	51
-----------------------------	-----------

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR	55
6.1. Deneysel ve Teorik Sonuçlar	55
6.2. Öneriler	56

KAYNAKLAR	57
------------------------	-----------

EKLER	61
--------------------	-----------

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
CAD	: Computer Aided Design
CFD	: Computational Fluid Dynamics
COP	: Coefficient of Performance
EMC	: Electromagnetic Compatibility
FRP	: Fiber Takviyeli Plastikler
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HRT	: Hafif Raylı Taşıt
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
MCM	: Manyetokalorik Malzeme
NEDC	: New European Driving Cycle
PTC	: Positive Temperature Coefficient

SİMGELER

Δt	: Sıcaklık değişimi
C_p	: Isı sığası
$h(o)$	: Dış ortam ısı taşınım katsayısı
$h(i)$	: İç ortam ısı taşınım katsayısı
k	: Isı iletim katsayısı
$\dot{m}$	: Kütleli debi
$\dot{V}$	: Isı transferi miktarı
ρ	: Isı akısı yoğunluğu
t	: Zaman
v	: Hız

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. İstıma sistemlerinin kıyaslanması.....	25
Tablo 3.1 Yapılan tasarım ve opsiyon çalışmaları.....	32
Tablo 4.1 Klimatik test odası özellikleri.....	36
Tablo 4.2 Sıcaklık sensörü yerleşim listesi.....	37
Tablo 5.1. FRP malzeme yerine cam elyaf kullanımı sonucunda kabinin Δt değeri kadar fazla ısıtma değerleri.....	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Elektrikli klima kompresör örneği (Kafkas Oto Klima, 2024).....	14
Şekil 2.2 : Kondenser ısı değiştiricisi (Kafkas Oto Klima, 2024).....	14
Şekil 2.3 : Isı değiştiricisi evaporatör (Kafkas Oto Klima, 2024).....	15
Şekil 2.4 : İçten yanmalı motorlu aracın basit olarak kalorifer hattı ve motor suyu devre şeması (Eren, 2018, s.38).	16
Şekil 2.5 : Bir otobüsün ısıtma şeması.	18
Şekil 2.6 : Yakıtlı bir ısıtıcının araçta ki görünümü. (Eren, 2018, s.40).	18
Şekil 2.7 : Yakıtlı ısıtıcının su hattı (Eren, 2018, s.41).	18
Şekil 2.8 : Otobüslerde kalorifer sistemi aracın önden görünümü (Eren, 2018, s.41).	19
Şekil 2.9 : Otobüslerde kalorifer sistemi aracın arkasından görünümü (Eren, 2018, s.42).	19
Şekil 2.10 : PTC ısıtıcı. (Pake PTC, "PTC Heater for Vehicle with Controller", 2024).....	21
Şekil 2.11 : Isı pompası sisteminin elektrikli bir araçta uygulanması. (Arabam.com, 2024).	23
Şekil 2.12 : Manyetokalorik soğutma çevrimi çalışma prensibi (Mühendisiz.net, 2024).....	24
Şekil 3.1 : PTC ısıtıcıya sahip Faz-2 P3.....	30
Şekil 3.2 : Dizel ısıtıcıya sahip Faz-2 D5.....	30
Şekil 4.1 : Klimatik test odası.	36
Şekil 4.2 : Araç içi test noktaları.	38
Şekil 4.3 : Sıcaklık sensörleri yerleşim yerleri.....	38
Şekil 4.4 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre sürücü gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	41
Şekil 4.5 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre fren pedal bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	42
Şekil 4.6 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu baş bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	42
Şekil 4.7 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	43
Şekil 4.8 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	43
Şekil 4.9 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	44
Şekil 4.10 : Faz-2 P3 Aracının Farklı Tasarımlara Göre ΔT Sıcaklık Değişimi-Lokasyon Bazlı Grafiği	45
Şekil 4.11 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü baş bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	46

Şekil 4.12 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	46
Şekil 4.13 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre fren pedal bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	47
Şekil 4.14 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu baş bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	47
Şekil 4.15 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	48
Şekil 4.16 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	48
Şekil 4.17 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü sol ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.....	49
Şekil 4.18 : Faz-2 D5 Aracının Farklı Tasarımlara Göre ΔT Sıcaklık Değişimi-Lokasyon Bazlı Grafiği.....	50
Şekil 5.1 : Kabin tabanında kullanılan parça.	52



HAFİF TİCARİ TİP ELEKTRİKLİ BİR ARACIN KABİN İÇİ ISITMA PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışma, hafif ticari bir elektrikli aracın kabin içi ısıtma sistemlerinde enerji verimliliğini artırmayı ve ısı konfor seviyesini iyileştirmeyi amaçlayan kapsamlı bir araştırmayı içermektedir. Elektrikli araçlarda ısıtma sistemleri, geleneksel içten yanmalı motorlu araçlardan farklı olarak atık ısı kaynaklarının yetersizliği nedeniyle tasarım ve performans açısından özel bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, çalışmada PTC (Pozitif Sıcaklık Katsayılı) ve dizel ısıtıcılar kullanılarak sistemlerin performansına yönelik iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, literatürdeki mevcut boşlukları doldurmayı hedefleyen iki farklı tasarım üzerinde durulmuştur. İlk tasarımda, hortum tesisatı adaptör çıkışları üzerinden düzenlenirken, ikinci tasarımda ısıtıcı merkezlerinden doğrudan çıkışlar sağlanmıştır. Bu tasarımların her biri için akış dinamikleri, malzeme seçimi ve enerji verimliliği açısından kapsamlı mühendislik analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, kontrollü laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiş ve sıcaklık sensörleri yardımıyla farklı test senaryolarında detaylı veriler toplanmıştır. Bu test verileri ışığında PTC ısıtıcıya sahip Faz-2 P3 aracında 1. tasarımda ölçülen sıcaklık değişimleri (ΔT), lokasyonlara göre ortalama %19 daha yüksektir. Dizel ısıtıcıya sahip Faz-2 D5 aracında 2. tasarımdaki sıcaklık değişimleri (ΔT) lokasyonlara göre oranlandığında ortalama %11 daha yüksektir. Ayrıca yeni yapılan tasarımlar ile birlikte tavana yakın konfor bölgelerinde sıcaklıklar düşmektedir ancak kabin tabanına yakın bölgelerde sıcaklık artışı görülmektedir. Bunun nedeni menfezlere giden sıcak havanın tasarım 1 ve tasarım 2 de ek menfezlere ayrılması olmuştur. Tasarımsal düzenlemeler sonucunda, hortum tesisatında yapılan iyileştirmelerin ısı transfer performansını %12 oranında artırdığı görülmüştür. Teorik analizler kapsamında, araç tabanında FRP yerine cam elyaf malzeme kullanımı incelenmiş ve bu değişikliğin ısı tutma kapasitesini %18 oranında artırdığı belirlenmiştir. İzolasyon çözümlerinin sistemlere entegre edilmesiyle enerji kayıpları azaltılmış ve kabin içi sıcaklık kararlılığı sağlanmıştır. Bu iyileştirmeler, özellikle soğuk iklimlerde enerji tüketimini düşürmüş ve ısı konforu artırmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, elektrikli araçlarda kabin içi ısıtma sistemlerinin verimliliğini artırmaya yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmanın sonuçları, enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra kullanıcı konforunu artırmayı hedefleyen sektörel uygulamalar için yol gösterici niteliktedir. Elde edilen bulgular, elektrikli araçların popülerliği göz önüne alındığında, gelecekteki tasarım süreçlerinde değerlendirilebilecek ve sürdürülebilir çözümler için temel oluşturabilecek kapasitededir.

Anahtar Kelimeler: PTC Isıtıcı, Dizel Isıtıcı, FRP Malzeme, Cam Elyaf Malzeme, İzolasyon, Elektrikli Araç, Hafif Ticari Araç.

IMPROVEMENT OF CABIN HEATING PERFORMANCE IN A LIGHT COMMERCIAL ELECTRIC VEHICLE

ABSTRACT

This study encompasses a comprehensive investigation aimed at enhancing the energy efficiency and thermal comfort levels of cabin heating systems in a light commercial electric vehicle. Unlike conventional internal combustion engine vehicles, heating systems in electric vehicles (EVs) hold special importance due to the lack of waste heat sources, posing unique challenges in design and performance. Within this context, improvements were implemented for systems utilizing Positive Temperature Coefficient (PTC) heaters and diesel heaters. The research focuses on addressing existing gaps in the literature by analyzing two distinct design approaches. In the first design, the hose system was arranged through adapter outlets, while in the second design, direct outlets from the heater centers were employed. Comprehensive engineering analyses were performed for each design, examining flow dynamics, material selection, and energy efficiency. Experimental studies were conducted under controlled laboratory conditions, where detailed data were collected using temperature sensors across various test scenarios. According to the test results, temperature variations (ΔT) measured in the Phase-2 P3 vehicle equipped with a PTC heater were, on average, 19% higher in the first design across different locations. In the Phase-2 D5 vehicle with a diesel heater, temperature variations (ΔT) in the second design were, on average, 11% higher at various locations. Additionally, the new designs resulted in reduced temperatures in comfort zones near the roof while increasing temperatures near the cabin floor. This was attributed to the redistribution of hot air to additional vents introduced in both design approaches. The design modifications demonstrated a 12% improvement in heat transfer performance through the enhancements made to the hose system. Within the scope of theoretical analyses, the replacement of FRP with fiberglass material for the vehicle floor was examined, resulting in an 18% increase in heat retention capacity. By integrating insulation solutions into the systems, energy losses were mitigated, and cabin temperature stability was achieved. These improvements notably reduced energy consumption and enhanced thermal comfort, particularly in cold climates. In conclusion, this study presents an innovative approach to improving the efficiency of cabin heating systems in electric vehicles. The findings offer valuable guidance for industry applications aimed at achieving energy savings and enhancing user comfort. Given the rising popularity of electric vehicles, the results obtained hold potential for informing future design processes and providing a foundation for sustainable solutions.

Keywords: PTC Heater, Diesel Heater, FRP Material, Fiber Glass Material, Insulation, Electric Vehicle, Light Commerical Vehicle.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında taşıtların rolü, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda giderek önem kazanan bir konu olmuştur. Küresel ısınma, hava kirliliği ve enerji tasarrufu gibi meseleler, özellikle ulaşım sektörünün çevresel etkilerini gözler önüne sermektedir. Elektrikli taşıtların (EV) benimsenmesi, bu sorunların üstesinden gelmenin ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamanın kritik bir yolu olarak değerlendirilmektedir. Elektrikli araçlar, sürdürülebilirlik açısından birçok avantaj sunmakta; atmosfere salınan karbondioksit düzeyini azaltmakta ve fosil yakıt tüketimini minimize etmektedir. Bu durum, şehirlerin hava kalitesini artırırken, ekosistem üzerinde de olumlu etkiler yaratmaktadır.

Hafif ticari araçlar (HTA), günümüz ulaşım ve lojistik sistemleri içinde önemli bir yer tutmaktadır. Küçük işletmelerden büyük taşımacılık firmalarına kadar geniş bir kullanıcı kitlesine hitap eden hafif ticari araçlar, ürün taşımacılığında ve hizmet sunumunda kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle modern ticaretin hızla değişen dinamiklerinde, bu araçların verimliliği ve performansı, işletmelerin rekabet gücünü doğrudan etkileyen unsurlar arasındadır. Dolayısıyla, hafif ticari araç kullanıcılarının ihtiyaçları doğrultusunda ısı konforu sağlanması, sürüş tercihlerinin ve genel memnuniyetin artırılmasında önemli bir faktör haline gelmiştir.

Isı konforu, iç mekan ortamının sıcaklık, nem, hava akışı ve genel konfor algısı gibi faktörleri kapsayan bir kavramdır. Araç içindeki iklimlendirme sistemlerinin etkinliği, bu konforu sağlarken, enerji verimliliği açısından da kritik öneme sahiptir. Elektrikli araçlarda, ısıtma ve soğutma sistemlerinin performansı, aynı zamanda aracın toplam enerji tüketimi ile de doğrudan ilişkili olduğu için, bu sistemlerin tasarımında yapılacak iyileştirmeler, hem kullanıcı memnuniyeti hem de menzil performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Araç sahiplerine sunulan konfor düzeyi, hem iş gücü verimliliğini hem de kullanıcı deneyimini artırmaktadır.

Literatürde, elektrikli ve dizel araçların ısıtma sistemleri ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmış, bu sistemlerin performansı üzerinde farklı bileşen ve tasarım optimizasyonları üzerinde durulmuştur. Örneğin, farklı malzeme kullanımları ile ısı iletim katsayısının düşürülmesi, ısıtma sistemlerinin etkinliğini artırarak enerji ihtiyaçlarını minimize etmiştir. Ayrıca, kullanıcı konforunu artırmaya yönelik yapılan bu çalışmalar, gelişmiş iklimlendirme teknolojilerinin entegrasyonu, akıllı kontrol sistemleri ile desteklenmektedir. Bu tür iyileştirmeler, araç içindeki sıcaklık değişikliklerini optimize etmekte ve tüketime bağlı enerji kayıplarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Özellikle hafif ticari araç kullanıcılarının ısı konforunu sağlamanın gerekliliği, yalnızca estetik ve konforla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda bu araçların performansını ve genel verimliliğini etkileyen belirleyici bir faktör olmaktadır. Yüksek sıcaklık değişimleri, kullanıcıların sürüş konforunu olumsuz etkileyebilirken, bu durum aynı zamanda sürüş güvenliğini de tehdit edebilir. Bu bağlamda, tasarımda yapılacak iyileştirmeler hem kullanıcı konforunu artıracak hem de enerji verimliliğini optimize edecektir.

Bu tez çalışması, hafif ticari tip elektrikli araçların ısıtma sistemlerine yönelik detaylı bir analiz ve tasarım iyileştirmeleri üzerinde durarak, literatürdeki mevcut boşlukları doldurmayı hedeflemektedir. Araştırma sürecinde, çeşitli laboratuvar testleri ve mühendislik analizleri aracılığıyla elde edilecek bulgular, hem mevcut sistemlerin iyileştirilmesi hem de gelecekteki çalışmalar için değerli bir kaynak sağlayacaktır. Böylelikle, bu çalışma yalnızca akademik bir katkı sunmakla kalmayacak, aynı zamanda sektördeki uygulayıcılar için de yol gösterici bir referans niteliği taşıyacaktır.

1.1. Literatür Araştırması

Alahmer ve meslektaşları yaptıkları çalışmada, gerekli test koşulları sağlanarak araç kabinlerinin termal konfor bölgelerini Fanger ve Berkeley modellemesi ile incelemiştir. Bu çalışmada, araç kabinlerinde yaz ve kış mevsimlerine göre giydirilen sanal bir mankenin termal konfor bölgeleri incelenmiştir. Sonuçlar; yaz konfor penceresi için üst ve alt sınırın Fanger modelinde 23,1 ve 27,4 °C, Berkeley modelinde ise 22,4 ve 27,3 °C standart koşullarda olduğunu göstermiştir. Öte yandan, kış koşullarına bakılacak olursa, Fanger modelinde 28,6 ve 24,6 °C,

Berkeley modelinde ise 19,8 ve 25,2 °C'dir. Ayrıca bu çalışma, metabolizma, kabin hava hızı ve giysi yalıtım değerlerini değiştirerek çalışma hassasiyet analizini geliştirmiştir.[1]

Pala ve meslektaşları yaptıkları çalışmada, bir otobüs için HVAC tasarımının sonucunda ısı konfor değerlendirmesi maksadıyla test ve hesaplama modeli kullanmışlardır. Bu değişen koşullar ve parametrelerin, yolcu ısı konforu üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.[2]

Ünal'ın yaptığı çalışmada, otobüsün klima sisteminin; yolcu kapasitesi, yakıt tüketimi ve yerel iklim koşulları gibi parametreleri göz önünde bulundurarak seçilmesi gerektiğinden bahsedilmektedir. Çalışma içeriğinde, otobüs iklimlendirme sistem konforunun ve tasarımının beklenen gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığının deneysel yöntemlerle nasıl doğrulanacağını araştırmaktadır. Prototip otobüs üzerinde deneysel çalışma yapılmış ve Türkiye'de Ceyhan-Adana karayolunda test edilmiştir. Bağıl nem değerleri, evaporatör giriş ve çıkış sıcaklıkları ve iç-dış sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu değerlere göre termal duyum değerleri hesaplanmıştır.[3]

Uçan, elektrikli araçlarda bulunan ısıtma ve soğutma durumlarında harcanan enerjinin yönetimi hakkında çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, pil durumu ile yakından ilgili olan sürüş menzilini artırmak amaçlanmıştır. Çalışmada MATLAB Simulink ortamında elektrikli araçlarda bulunan sistemlerin tamamını içeren enerji yönetim modeli hazırlanarak, elektrikli araçlarda soğutma ve ısıtma sistemleri farklı tipte çalışma koşullarında incelenmiştir. Çalışma modelinde, soğutma ve ısıtma için PTC ısıtıcı ve ısı pompası kullanılmıştır. Modelde, standart olarak uluslararası tanınan FTP75 ve NEDC koşullarının yanında sabit hızlı araç çevrimi ile iletılarak kabin içindeki enerji ve sıcaklık kullanım analizleri tamamlanmıştır. Bu veriler ışığında soğutma ve ısıtma süreçlerindeki şarj oranı, enerji tüketimi ve menzil üzerindeki etkisi sentezlenip yorumlanmıştır.[4]

Bayram, yaptığı çalışmada, geleneksel içten yanmalı motorlarda kabin içi ısıtmanın motordan çıkan sıcak su ile atık ısıdan faydalanarak sağlandığından bahsetmiş ve elektrikli motorlarda atık ısıdan faydalanılamayacağı için ısı pompası sistemleri, elektrikli ısıtıcılar gibi farklı çözümler geliştirildiğinden söz etmiştir. Bu çalışmada, bahsi geçen bu olumsuzluğun giderilmesine yönelik elektrikli araçtaki atık enerjiden

yararlanabilen ve çevre koşullarında farklı çalışma yöntemleri sergileyen bir boyutlu taşıt iklimlendirme modeli geliştirerek farklı ortamlarda NEDC sürüş çevrimi içerisinde performans incelemesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, tekil ısıtıcı kullanmak yerine daha az enerji tüketen ve düşük sıcaklık ortamlarında yeterli ısıtma performansı sergileyen, taşıttaki atık ısıdan faydalanabilen, elektrikli ısıtıcı ve ısı pompası birlikte olan hibrit ısıtma sistemi kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.[5]

Sayaral, yaptığı çalışmada, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi ile hafif raylı taşıtta (HRT) bulunan yolcuların ısı konforunu hesaplamak için analiz çalışmaları yapmıştır. TS EN 14750-1 standardına göre yorumlamıştır.[6]

Chiriac ve meslektaşları yaptığı çalışmada, ısı dengesi yönetimi, ısı transferi teorisi ve U-değeri tahmini kullanılarak, tipik bir 12 m'lik elektrikli otobüs için sert bir kış günündeki ısı kaybı tahmin edilmektedir. Isısal simülasyonlar, otobüsün yapısı boyunca (taban, duvarlar, çatı ve pencereler) ısı akısını tahmin etmek için yapılmıştır. Otobüsü ısıtmak için gerekli olan enerji, bir elektrikli otobüsün ısıtma sisteminin verileriyle kıyaslanmıştır. Gerekli yardımcı enerji tüketimi optimize edilmiş olup, elektrik üretimi kaynağında emisyonlar önemli ölçüde azaltılmıştır.[7]

Edwards, yaptığı çalışmada, otobüslerin kabin içi ve tavan pencerelerinin açık olmasıyla taze hava alışverişinin sıcaklık ve hava akışı üzerindeki etkisini anlamlandırmak amacıyla çalışma yapmıştır. COVID-19 pandemisine cevap olarak, kapalı alanların virüse maruziyeti artırdığı ve insanların kapalı alanlardan kaçınma eğiliminde olduğu gözler önüne serilmiştir. Kapı ve pencerelerin açık tutulması yolculara güven hissi verip virüs bulaşma riskini azaltıcı etkide bulunabilir ancak bu şartlarda HVAC sistemlerini etkisiz hale getirip getirmeyeceği ve yolcu rahatlığını nasıl etkileyeceği belirlenmelidir. Bu test, pencerelerin açık ve kapalı olduğu durumlarda hava akışı ve sıcaklık farklarını ölçmeyi amaçlamaktadır.[8]

Büyükalaca ve meslektaşları yaptığı çalışmada, bir otobüsün soğutma yükü hesaplanması için 'Işıma Zaman Serisi' tekniği kullanılmaktadır. Işıma Zaman Serisi yönteminden kısaca bahsedilmiş olup yöntemin bir otobüse uygulanması noktasında önemli noktalara değinilmiştir.[9]

Lin ve meslektaşları yaptığı çalışmada, toplu taşıma araçlarında hizmet kalitesi, termal konfor ve enerji tüketimi ele alınmıştır. Bu çalışma, termal konforu 2129

katılımcıdan veri toplanarak anket araştırması ve eş zamanlı fiziksel ölçümler içeren bir rapor içermektedir. Deneysel sonuçlar, düşük hava hareketinin, yüksek hava sıcaklığının ve güçlü güneş ışınlarının yolcular üzerindeki termal olarak rahatsız hissetmelerinin nedenini açıklamıştır. Bu çalışma, enerji tasarrufu ile yolcuların termal konfor memnuniyeti arasında bir denge sağlama konusuna katkı sağlar.[10]

Göhlich ve meslektaşları yaptığı çalışmada, elektrikli otobüslerde iklimlendirme sistemlerinin çalışmasında aracın menzili azalması konusu ele alınarak enerji simülasyonları yapılmıştır. Enerji simülasyonlarında elektrik dirençli ısıtıcı kullanılmasının menzil azalmasının olağan olduğu, ancak ısı pompası kullanılırsa bu azalmanın sınırlı olduğu irdelenmiştir. Çalışmanın ana amacı, farklı HVAC sistemlerinin maliyet analizini yapıp, geleneksel sistemlerin ısı pompası sistemlerine oranla daha fazla enerji harcadığını belirlemektir. Ancak, ısı pompası sistemlerinin maliyetinin uzun zamanda telafi edilmediği belirtilmiştir.[11]

Mezarcıöz ve meslektaşları yaptığı çalışmada, aracın tabanı üzerinden yolcu tarafına ısı transferi miktarını normal çalışma şartlarında incelemişlerdir. Detaylı olarak araştırma için, bölge altındaki termal koşullar, malzeme özellikleri ve yolcu bölümü tabanını termal koşullar altında 11 bölümde incelemişlerdir. Bazı varsayımlar ve test koşullarına başvurularak, tabanın altında bulunan bölgelerin ortalama sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Daha sonrasında, aracın altından yolcu tarafına geçen ısı transferi hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak, ısı akımları, ortalama sıcaklıkları ve ısı transferleri incelenmiş ve ekonomi ile ısı transferi açısından bazı iyileştirme önerileri sunulmuştur.[12]

Valiyev yaptığı çalışmada, HVAC sistemlerinin iyileştirilmesi için iki farklı otobüste akış analizleri yapılmıştır. HVAC hava kanalları CATIA V5R20 CAD yazılımı kullanılarak tasarlanmış, SOLIDWORKS CAD yazılımı ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modülü ile analiz edilmiştir. Elektrikli ve içten yanmalı motorlu otobüslerin hava kanalları incelenmiş olup yolcu kabinindeki hız, basınç ve sıcaklık dağılımları simülasyonlar yardımı ile belirlenmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, ortam sıcaklığının 30°C'den 16°C'ye kadar düşürülmeye çalışıldığı görülmüştür. Ayrıca, prototip kanalların maliyet analizleri yapılarak performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, yolcu kabini içinde düzgün sıcaklık dağılımı sağlanmış ve sıcaklık değeri 17°C'ye kadar düşürülmüştür. [13]

Pala yaptığı çalışmada, otobüs yolcularının ısı konfor değişimini bir soğutma testi sırasında deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Otobüs, iklimik odada 7 saat boyunca 40°C'de ısıtılmış olup klima test başlangıcında açılmıştır. Yolcuların fizyolojik tepkileri ve termal konforu üzerindeki etkileri gözlemlemek için nem, hava hızı ve sıcaklık belirli zaman dilimlerinde ölçülmüştür. İnsan vücudunun deri ve gövde bölümlerinden oluştuğu varsayılarak Geçici Enerji Dengesi Modeli kullanılarak ısı koşullardaki farklar hesaplanmıştır. Soğutma testinde, yolcular ile otobüs iç ortamı arasındaki geçici kütle ve ısı transferi matematiksel model ile hesaplanmıştır. Bu çalışmanın amacı, otobüs klima sisteminin soğutma performansının yolcu termal konforu yönünden değerlendirilmesi için termal konfor ve test hesaplama metodunun geliştirilmesi olmuştur. [14]

Feng ve meslektaşları tarafından yapılan çalışmada, mevcut araç klima sistemini değiştirerek elektrikli araçlar için özel olarak tasarlanmış bir ısı pompası sisteminin performansı incelenmiştir. Yapılan deneylerde, kompresör hızının, hava debisi ve ısıtma kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmış ve özellikle çok düşük dış ortam sıcaklıklarında araç içinde yeterli ısıtmanın sağlanabilmesi için sisteme ek bir ısı değiştirici gerekliliği belirtilmiştir. [15]

Cai ve meslektaşları tarafından yapılan çalışmada, tekstil atıklarından üretilen sürdürülebilir hafif izolasyon malzemelerinin otomotiv endüstrisinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş ve doğal yün liflerinin ses ve ısı yalıtımında ticari sentetik malzemelerle karşılaştırılabilir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, bu doğal yün malzemelerinin biyobozunur özelliklere sahip olduğu ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağladığı vurgulanmaktadır. [16]

Rajadurai ve meslektaşları tarafından yapılan çalışmada, otomotiv egzoz sistemlerinde termal zorlukları ele almak için ısı kalkanı izolasyonunun önemi vurgulanmıştır. Bu araştırma, yalıtım malzemesi türü, bileşimi ve kalınlığının sistem üzerindeki etkilerini matematiksel modelleme ve CFD (Computational Fluid Dynamics) simülasyonları ile analiz etmiştir. Bu çalışmalar, optimal yalıtım kalınlığı ve malzeme yoğunluğunun, dış yüzey sıcaklığını önemli ölçüde azaltarak ısı korumasını artırdığını göstermektedir. [17]

Blaga ve meslektaşları tarafından yapılan çalışmada, elektrikli araçlarda iç konforu artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için yeni yaklaşımlar sunulmaktadır. Bu araştırma, araç içi soğutma sistemlerinin verimliliğini artırmak için yenilikçi çözümler geliştirmektedir. Özellikle koltuk havalandırma konsepti ve ter algılama teknolojileri gibi bireysel termal konforu artıran sistemler üzerinde durulmaktadır. [18]

Park ve meslektaşları tarafından yapılan çalışmada, elektrikli araçlarda kullanılan yüksek kapasiteli PTC (Positive Temperature Coefficient) ısıtıcılarının performansını artırmak amacıyla radyatör kanatçıklarının geometrik şekillerinde yapılan değişiklikler analiz edilmiştir. Bu çalışma, özellikle ısıtma performansının iyileştirilmesi ve verimliliğin artırılması üzerine odaklanmaktadır. Deneysel sonuçlar, ısıtıcı prototipinin verimliliğini yaklaşık %15,7 oranında artırdığını göstermektedir. Bu çalışma, PTC ısıtıcı tasarımında yapılan modifikasyonların enerji verimliliği ve ısıtma performansı üzerindeki etkilerini gözler önüne sermektedir.[19]

Kim ve meslektaşları tarafından yapılan çalışmada, elektrikli araçlarda PTC ısıtıcı ve ısı pompası kombinasyonunun ısıtma performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma, bu sistemlerin enerji verimliliği ile yolcuların termal konforu arasında denge sağlanmasında önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır.[20]

Bakhouya ve meslektaşları 2020 yılında yaptığı çalışmada, elektrikli araçlarda yolcu konforu ve araç menzili arasında bir denge sağlamak amacıyla termal konforun yönetimi üzerine odaklanılmıştır. Araç HVAC sisteminin enerji tüketimi, özellikle kentsel koşullarda aracın toplam enerji tüketiminin %60'ına kadar çıkabileceği ve bu nedenle enerji verimliliğinin artırılması gerektiği vurgulanmıştır.[21]

Kim ve meslektaşları yaptığı çalışmada, elektrikli araçlarda yerel kızılötesi ısıtıcılarla yolcu termal konforunu artırmak için makine öğrenimi tabanlı kişisel konfor modelleri geliştirilmiştir. Çalışma, yolcu fizyolojik farklılıklarının dikkate alındığı modellerin, ısıtma sistemlerinin daha verimli kullanımına olanak sağladığını göstermektedir.[22]

Tan ve meslektaşları çalışmasında, yarı saydam fotovoltaiik pencere sistemlerinin enerji performansı ve termal konfor üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, çeşitli kontrol stratejileri ile termal konforun sağlanması ve enerji tüketiminin optimize edilmesi incelenmiştir.[23]

Wirth ve meslektaşları çalışmasında, elektrikli araçlarda yolcu kabini termal yalıtımının iyileştirilmesi üzerine analizler yapılmıştır. Çalışma, kış koşullarında yalıtım sistemlerinin performansını artırmak ve böylece enerji tasarrufu sağlamak amacıyla yapılmıştır.[24]

Hemaida ve meslektaşlarının çalışması, elektrikli araçlarda termal konforu artırmak için elektrokromik ve radyatif soğutma tekniklerini birleştirerek enerji verimliliğini artırmayı hedeflemiştir. Deneysel sonuçlar, camın uyarlanabilir özelliklerinin iç mekân sıcaklıklarını dengelemek için önemli bir rol oynadığını göstermiştir.[25]

Johnson ve meslektaşları yaptıkları çalışmada, elektrikli araçlarda kullanılan batarya ısınma ve soğutma sistemlerinin araç menzili üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada, farklı batarya termal yönetim sistemlerinin (BTMS) performansı karşılaştırılmış ve batarya ömrü ile enerji tüketimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar, aktif soğutma sistemlerinin batarya ömrünü uzattığını, ancak enerji tüketimini artırarak araç menzilini olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir. Öte yandan, pasif soğutma sistemlerinin düşük enerji tüketimine sahip olduğu, ancak batarya sıcaklığını yeterince düşüremediği tespit edilmiştir.[26]

Kim ve meslektaşları, termal konforun elektrikli araçlarda enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, araç içi sıcaklık ayarlarının menzile etkisi değerlendirilmiştir. Testler, daha yüksek kabin sıcaklıklarının (20-25°C) enerji tüketimini %15 oranında artırdığını, ancak daha düşük sıcaklık ayarlarının (15-20°C) yolcu konforunu olumsuz etkileyebileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, yolcu konforu ve enerji verimliliği arasında bir denge sağlanması gerektiği vurgulanmıştır.[27]

Lee ve meslektaşları ise, elektrikli araçların klima sistemleri üzerine yaptıkları çalışmada, HVAC sistemlerinin verimliliğini artırmak için farklı hava akış modelleri ve yeni nesil soğutucu akışkanlar üzerinde durmuştur. Araştırma, araç içinde optimal hava dağılımı sağlanarak enerji tüketiminin %10-12 oranında azaltılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, yeni soğutucu akışkanların kullanımı ile enerji verimliliğinin %8 oranında artırılabilceği belirtilmiştir.[28]

Brown ve meslektaşları, elektrikli araçlarda kullanılan batarya termal yönetim sistemleri (BTMS) ile menzil kayıplarını azaltma yollarını incelemiştir. Çalışma, bataryaların aşırı ısınmasını engellemek ve performansı optimize etmek amacıyla

kullanılan sıvı soğutmalı ve hava soğutmalı sistemleri karşılaştırmıştır. Sonuçlar, sıvı soğutmalı sistemlerin, bataryaların sıcaklık dağılımını daha homojen hale getirdiğini ve menzil kayıplarını %8 oranında azalttığını göstermiştir. Ancak, bu sistemlerin maliyet ve karmaşıklık açısından dezavantajları olduğu belirtilmiştir.[29]

Singh ve meslektaşları, elektrikli araçlarda enerji verimliliğini artırmak için termal yönetim stratejilerini ele almıştır. Çalışmada, batarya ısısı yönetiminin enerji tüketimi üzerindeki etkileri analiz edilmiş ve düşük sıcaklıkların batarya performansını olumsuz etkileyebileceği vurgulanmıştır. Özellikle, soğuk iklimlerde bataryaların daha verimli çalışması için ek ısıtıcılar kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Bu stratejinin, enerji tüketimini artırmasına rağmen batarya ömrünü uzatmada önemli olduğu ifade edilmiştir.[30]

Miller ve meslektaşları, PTC ısıtıcıların elektrikli araçlarda kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada, bu sistemlerin enerji tüketimi ve kabin içi termal konfor üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmada, PTC ısıtıcıların düşük sıcaklık koşullarında performansını değerlendiren testler yapılmıştır. Sonuçlar, PTC ısıtıcıların kısa süre içinde kabin sıcaklığını artırabildiğini, ancak yüksek enerji tüketimine yol açtığını göstermiştir. Çalışma ayrıca, PTC ısıtıcıların enerji verimliliğini artırmak için sıcaklık kontrol algoritmalarının kullanılmasının gerekliliğine dikkat çekmiştir.[31]

Garcia ve meslektaşları, dizel ısıtıcıların ticari araçlarda termal verimlilik üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada, dizel ısıtıcıların düşük sıcaklıklarda etkili bir ısıtma çözümü sunduğu, ancak yakıt tüketimi ve çevresel etkiler açısından dikkate alınması gereken unsurlar olduğu vurgulanmıştır. Araştırma, dizel ısıtıcıların özellikle uzun mesafeli yolculuklarda enerji açısından avantaj sağladığını ortaya koymuştur.[32]

Chang ve meslektaşları, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin enerji verimliliği ve yolcu konforu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, HVAC sistemlerinde kullanılan hava akış modelleri ve soğutucu akışkanların performansı karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, optimize edilmiş hava akış modellerinin kabin içi sıcaklık dağılımını iyileştirerek enerji tüketimini %15 oranında azaltabileceğini göstermiştir. Ayrıca, yeni nesil soğutucu akışkanların enerji verimliliğini %10'a kadar artırabileceği belirtilmiştir.[33]

Smith ve meslektaşları, elektrikli araçlarda kullanılan PTC ısıtıcıların performansını artırmak amacıyla kabin izolasyonunun etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, farklı izolasyon malzemelerinin (cam elyafı, köpük, vb.) kabin içi sıcaklık ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri test edilmiştir. Sonuçlar, yüksek kaliteli izolasyonun PTC ısıtıcıların enerji verimliliğini %20 oranında artırabileceğini ve kabin içi sıcaklığın daha hızlı stabilize olmasını sağladığını göstermiştir.[34]

Wang ve meslektaşları, HVAC sistemlerinde izolasyonun rolünü araştırmışlardır. Çalışmada, araç kabinlerinde ısı kaybını azaltmaya yönelik izolasyon çözümlerinin enerji tüketimi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Sonuçlar, HVAC sistemlerinin izolasyon ile desteklendiğinde, enerji tüketiminin %25 oranında azaldığını ve sistemin daha verimli çalıştığını göstermiştir. Bu da özellikle uzun mesafeli yolculuklarda araç bataryasının daha az tüketilmesini sağlamıştır.[35]

Lopez ve meslektaşları, dizel ısıtıcılarla kullanılan araçlarda kabin izolasyonunun yakıt tüketimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada, zayıf izolasyona sahip kabinlerin, dizel ısıtıcıların sürekli çalışmasını gerektirdiği ve yakıt tüketimini %15'e kadar artırdığı tespit edilmiştir. Buna karşın, daha iyi izolasyon malzemeleri kullanılarak bu oran %8'e düşürülebilmektedir.[36]

Bu tez çalışmasında, hafif ticari tip elektrikli araçların kabin içi ısıtma sisteminin verimliliği ve geliştirilmesi amacıyla yapılan tasarım ve analiz sonuçları ele alınmaktadır. Birinci bölüm, ısıtma sistemlerinin tarihçesi ve mevcut teknolojiler hakkında genel bilgiler sunmaktadır. Bu bölümde, kabin içi ısıtma sistemlerinin temel işlevleri ve tarihsel gelişimi ele alınmıştır. Elektrikli araçların artan popülaritesi ile birlikte, hızlı bir şekilde değişen teknolojilerin ve malzemelerin rolü incelenmektedir. Ayrıca, mevcut ısıtma sistemleri arasındaki temel farklılıklar ve bu sistemlerin enerji verimliliği üzerindeki etkileri de bu bölümde tartışılmaktadır. İkinci bölüm, elektrikli araçlarda kullanılan ısıtma sistemleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Burada, PTC (Positive Temperature Coefficient) ısıtıcılar, dizel ısıtıcılar ve diğer alternatif ısıtma yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Her bir sistemin mekanizması, enerji tüketimi, kolaylıkları ve zorlukları üzerine derinlemesine bir analiz yapılmıştır. Aynı zamanda, yolcu konforunu artırmak için yapılan teknolojik yenilikler ve tasarım değişiklikleri de bu bölümde ele alınmaktadır. Üçüncü bölüm, literatürde sık rastlanan sistem tasarım hataları ve verimlilik kayıpları üzerine odaklanarak, bu kontrolsüz durumların neden olduğu

problemleri çözmek için öneriler geliştirilmiştir. Ayrıca, farklı malzeme ve tasarım kriterlerinin, kabin içi ısıtma verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Dördüncü bölüm, deneysel sonuçlar ve bu sonuçların analizi üzerinde durmaktadır. Burada, kabin içi ısıtma sistemi için uygulanan deneyler, kullanılan metodolojiler ve elde edilen veriler detaylı bir şekilde sunulmuştur. Veri toplama teknikleri, deneysel düzeneğin açıklamaları ve analiz yöntemleri ile birlikte, sonuçların güvenilirliği ve geçerliliği tartışılmıştır. Elde edilen bulgular, test sonuçlarının grafiksel sunumuyla desteklenmiştir. Son olarak, beşinci bölüm, elde edilen bulguları değerlendirerek genel sonuçlar ve öneriler ortaya koymaktadır. Bu bölümde, çalışmanın sektörel uygulamaları, elektrikli araçların kabin ısıtma sistemlerinde yenilikçi tasarım yaklaşımlarının nasıl entegre edilebileceği, potansiyel iyileştirme alanları ve gelecekteki çalışmalar için yönlendirmeler sunulmaktadır. Ayrıca çalışmanın özgün yönleri ve literatüre katkısı üzerinde de durulmaktadır.

Sonuç olarak, bu tez yalnızca mevcut kabin içi ısıtma sistemlerinin iyileştirilmesine değil, aynı zamanda elektrikli araç tasarımındaki yenilikçi düşüncelere de yol açmayı hedeflemektedir. Özgün analiz ve uygulamalarla, mevcut literatürdeki eksiklikleri gidermeyi ve gelecekteki çalışmalara ışık tutmayı amaçlamaktadır.

BÖLÜM 2. TİCARİ ARAÇLAR VE HVAC SİSTEMLERİ

Bu bölümde ticari araçlar hakkında bilgilere yer verilip ticari araçlarda bulunan HVAC sistem komponentleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Ticari Araçlar

Ticari araçlar, ticari amaç doğrultusunda firmalar tarafından eşya, insan veya yük taşımak amacıyla kullanılan araçlardır. Arka kısmında yük taşımaya yarayan açık ya da kapalı kasaları mevcuttur. Hafif ticari ve ticari araçlar olarak ayrılmaktadır.

Bu bölümde otomotiv sektöründe yolcu ve yük taşıma ile alakalı ticari araçlar hakkında bilgi verilmiş olup ticari ve hafif ticari araçlara değinilmiştir.

2.1.1. Hafif Ticari Araçlar

Hafif ticari araç, AB'ye göre brüt ağırlığı 3.5 tonun altında olup ticari araç yer almaktadır. Bu gruba uyan; Minibüs, minivan, panelvan ve kamyonet gibi araçlar bulunmaktadır.

Hafif ticari araçların özellikleri Şunlardır:

- Ticari araç ruhsatına sahiptir.
- Düşük hız sınırına sahiptir.
- Hafif ticari araçların vergi oranı daha düşüktür.
- Hafif ticari araçların muayenesi her yıl tekrarlanmaktadır.
- Hafif ticari araçlar geniş iç hacme sahiptir.
- Hafif ticari araçların tüm yollarda geçiş hakkı bulunmamaktadır.

2.1.2. Ağır Ticari Araçlar

Ağır Ticari araç, AB'ye göre brüt ağırlığı 3.5 tonun üstünde olup ticari araç kategorisinden yer almalıdır.

Ticari araçların özellikleri ise şunlardır:

- Ticari araçların ruhsatları farklı şekilde düzenlenir.
- Binek araçlarda 2 yıl da bir muayene gerektirirken ticari araçlar her yıl muayene gerektirir.
- Yıllık vergi oranları binek araçlar göre daha düşüktür.
- Hız sınırları binek araçlara göre daha düşüktür.
- Ticari araç şoförleri alkol kullanım 0 olması zorunludur.
- Yük taşınacağından dolayı lastik seçimine dikkat edilir.
- Ücretli yollarda geçiş ücreti binek araçlara göre daha yüksektir.
- Bazı yollarda geçiş hakkı yoktur.

2.1.3. Ticari araç ve hafif ticari araç arasındaki farklar

Bu iki terim genellikle karıştırılmaktadır. Bu araçlar arasında birbirinden ayıran farklar bulunur. Temel fark ise ticari araçlar daha ağır eşya ve yük taşıyabilme özelliği bulunmaktadır. Buna istinaden hafif ticari araçlar AB'ye göre brüt 3,5 tonun altındaki yükü taşır. Bu fark dışında her iki aracın sahip olduğu özellikler aynıdır.[15]

2.2. Ticari Araçlarda HVAC Sistemleri

Bu bölümde ticari araçlarda bulunan HVAC sistemlerinde bulunan elemanlar ve özelliklerine yer verilmiştir. Isıtıcılar çalışma konusuyla yakından alakalı olduğu için bir sonraki başlık altında verilmiştir.

2.2.1. Kompresör

Otomobil klima sistemlerinde kullanılan kompresörler, soğutucu akışkanın buharlaştırıcıdan kondensere taşınmasını sağlayan temel elemanlardır. Bu sistemler, sabit kapasiteli ve değişken kapasiteli olmak üzere iki farklı kompresör türü kullanır. Sabit kapasiteli kompresörler, değişken hava koşullarında sabit bir performans sunarken, değişken kapasiteli kompresörler ortam şartlarına göre kapasitesini ayarlayarak daha yüksek verimlilik sağlar. Her iki kompresör türü de klima

sisteminin genel verimliliği ve soğutma performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 2.1’de kompresör örneği verilmiştir.



Şekil 2.1 : Elektrikli klima kompresör örneği (Kafkas Oto Klima, 2024).

2.2.1.1. Kondanser (Yoğusturucu)

Kondanser, otomobil klima sisteminde soğutucu akışkanın gaz halinden sıvı hale dönüşmesini sağlayan bir elemandır. Sistemde soğutucu akışkan, kompresörden yüksek basınçlı kızgın buhar halinde çıkar ve kondenserden geçerken dış ortam havası ile ısı değişimi yaparak yoğunlaşır. Kondenserlerde genellikle paralel akışlı veya mikrokanaallı yapı kullanılır. Bu yapılar, ısı transfer verimliliğini artırarak soğutma kapasitesini destekler. Böylece, kondenserin etkili çalışması klima sisteminin genel performansını doğrudan etkiler. Şekil 2.2’de Kondanser ısı değiştiricisinin örneği verilmiştir.



Şekil 2.2 : Kondanser ısı değiştiricisi (Kafkas Oto Klima, 2024).

2.2.1.2. Evaporatörler (Buharlaştırıcılar)

Evaporatör (Buharlaştırıcılar), otomobil klima sistemlerinde soğutucu akışkanın düşük basınç altında buharlaştığı ve ortamdan ısı çektiği bileşendir. Soğutucu akışkan, evaporatörde düşük basınç altında buharlaşarak ortamdan ısı emer ve böylece araç içi hava soğutulur. Lamine tip veya boru-kanatçık yapısında tasarlanan evaporatörler, geniş yüzey alanları sayesinde ısı transferini optimize eder. Evaporatörün verimli çalışması, klima sisteminin genel soğutma performansı ve iç mekan konforunu doğrudan etkiler. Şekil 2.3’ de Evaporatör örneği verilmiştir.



Şekil 2.3 : Isı değıştircisi evaporatör (Kafkas Oto Klima, 2024).

2.2.1.3. Genleşme valfi

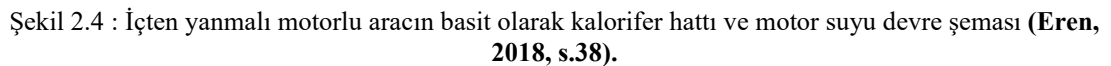
Otobüs klima sistemlerinde kullanılan genleşme valfi, soğutucu akışkanın hacmindeki değışimlere uyum sağlayan kritik bir bileşendir. Sistem içerisindeki basınç düşürücülüğü nedeniyle soğutucu akışkanın akışını düzenler. Özellikle yüksek basınç altında sıvı halde bulunan soğutucu akışkan, genleşme valfinden geçerek düşük basınçlı bir buhar haline dönüşür ve böylece evaporatörde etkin bir şekilde soğutma sağlanır[39,40].

2.2.2. İçten yanmalı ve elektrikli araçlarda ısıtma sistemi

Bu bölümde çalışma konusu ile yakından alakalı olan elektrikli araçlardaki ısıtıcılara değinilmiştir.

2.2.2.1. İçten yanmalı araçlarda kalorifer sistemi

İçten yanmalı motorlarda yolcu kabin içi ısıtmanın kaynağı olarak bu atık ısıdan yararlanılır. Motor soğutma suyuna aktarılmış olan bu atık ısı, araç kaloriferlerinden ve dolaşım hattından geçerek kabini ısıtmaktadır. Şekil 2.4’de İçten yanmalı motorlu aracın basit olarak kalorifer hattı ve motor suyu devre şeması verilmiştir.

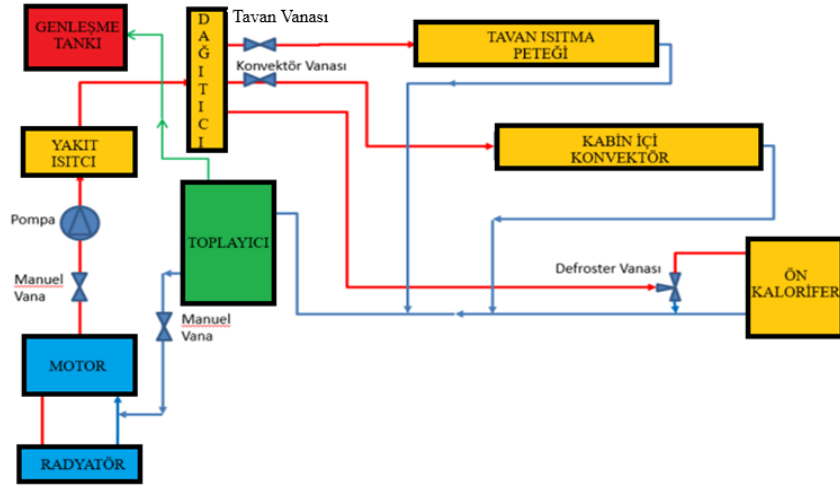


16

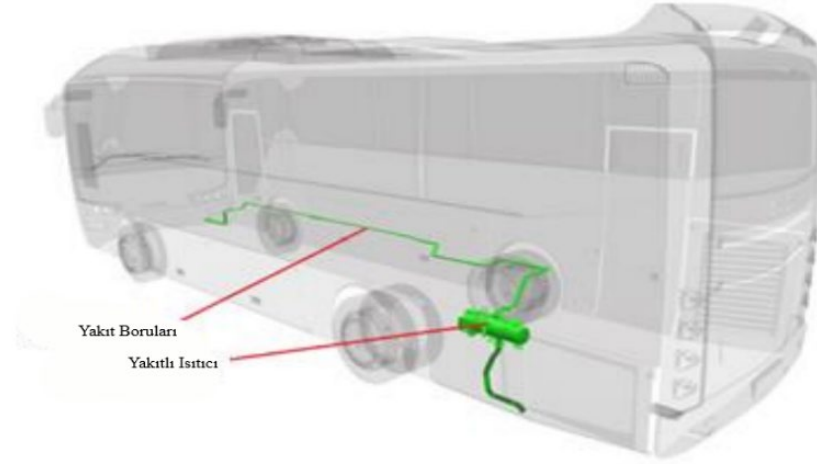
Kalorifer peteklerinde bulunan sıcak su, sahip olduğu ısının bir kısmını kabine giden ve üzerinden geçen havaya iletir. Bu olay fan desteği ile doğal veya zorlanmış taşınım yoluyla sağlanabilir.

Sistemde bulunan, kalorifer peteğinin üstünden geçen havanın hız ayarı, yolcu kabin içi sıcaklığı ve kalorifer peteğine doğru giden sıcak suyun debisi vana ile kontrol edilir.

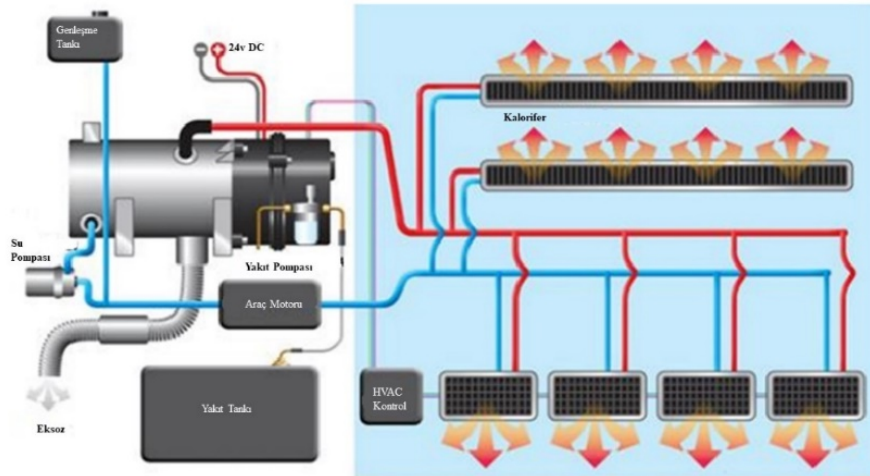
Soğuk iklim bölgelerinde bulunan araçlarda uzun süreli seyahatler için temel ısıtma sistemine yardımcı olarak yakıtlı veya elektrikli ek ısıtıcılar eklenip, motor suyu sıcaklığını elektrik enerjisiyle veya yakıt yakarak bu şekilde kabin ısıtma konforu yakalanmaya çalışılır. Şekil 2.5’da bir otobüse ait ısıtma şeması verilmiştir. Isıtma sisteminde bulunan motor soğutma suyu, motorun radyatör yönüne giden termostat çıkışında bağımsız olarak ayrı çıkıştan alınıp ilk olarak borular sayesinde harici devir daim pompasına girmektedir. Motor devir daim pompasından bağımsız olarak 2. devir daim pompasının kullanım sebebi, sistemin büyük olmasından dolayı oluşan sistem dirençlerinden kaynaklanmaktadır. Devir daim pompasının çıkışında bulunan motor soğutma suyu, aracın boyutuna göre değişen ve 35 kW’a kadar çıkabilen yakıtlı bir ısıtıcıya gönderilmektedir (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7). Bu yakıtlı ısıtıcı, kullanıcı talebine ve motordan gelecek olan suyun sıcaklığına bağlı olarak devreye girip motor soğutma suyu sıcaklığını artırır. Yakıtlı ısıtıcının çıkışında bulunan sıcaklığı artırılmış motor soğutma suyu, bir dağıtım kutusuyla vanaların üstünden farklı olan boru ve hortum hatlarına ayrılıp aracın farklı bölgelerine yerleştirilmiş olan araç kaloriferlerine yönlendirilir. (Şekil 2.8).



Şekil 2.5 : Bir otobüsün ısıtma şeması.



Şekil 2.6 : Yakıtlı bir ısıtıcının araçta ki görünümü. (Eren, 2018, s.40).

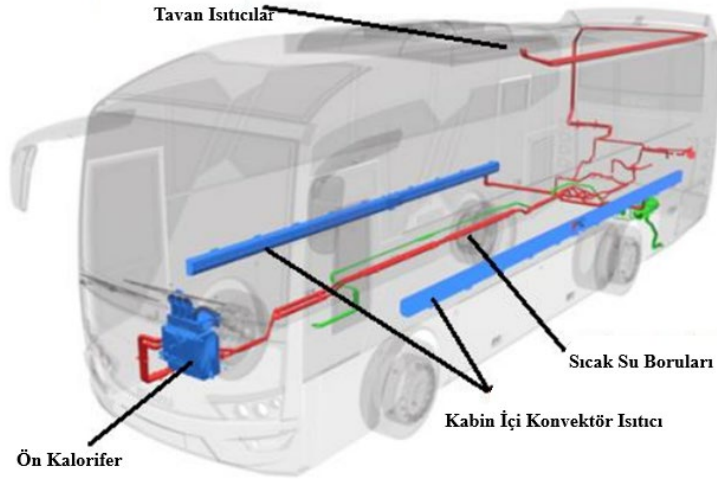


Şekil 2.7 : Yakıtlı ısıtıcının su hattı (Eren, 2018, s.41).

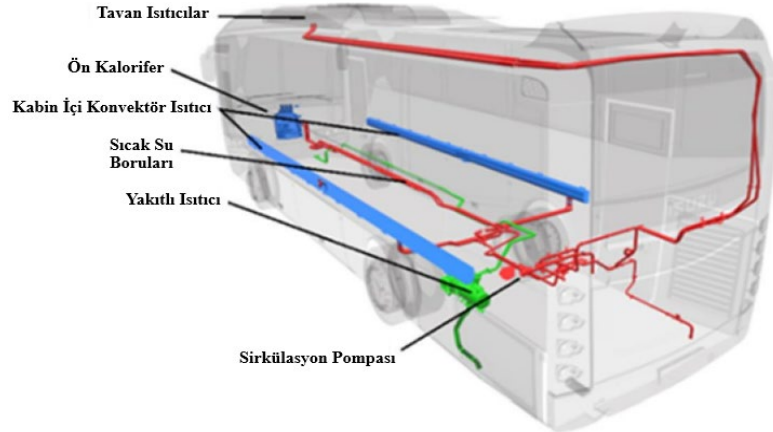
Bu farklı bölgeler şu şekildedir;

- Şoförü ısıtmak ve camda bulunan buğu/buzu çözmek amaçlı olan ‘ön defroster-kalorifer’,
- Yolcu kabini ısıtma amaçlı ‘konvektör ısıtıcılar, fanlı koltuk altı ısıtıcılar’
- Araç kapı bölgesindeki ‘basamak ısıtıcılar’,
- Hava kanalı içinden ve araç tavanından sıcak hava dağıtımını yapan ‘klima ısıtma petekleri’,
- Şoför yatma kabini ve farklı yerlerde olabilmektedir.

Dönüş hattına yönlendirilmiş ve ısınıp kaybetmiş olan motor soğutma suyu, radyatöre dönüş hattından motora geri döner (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9).



Şekil 2.8 : Otobüslerde kalorifer sistemi aracın önden görünümü (Eren, 2018, s.41).



Şekil 2.9 : Otobüslerde kalorifer sistemi aracın arkasından görünüm (Eren, 2018, s.42).

Sonuç olarak mevcutta bulunan ısıtma sistemleri, sıcak akışkanın araç içinde bölgeden bölgeye taşınması gereken kademeli sistemlerdir. Tüm bu yapılan taşıma, ısı transferi ve yanma kademeleri kendi içinde verimsizlikler içermektedir. Toplamda düşünüldüğünde tüm ısıtma sisteminin veriminin düşük olması kaçınılmazdır.

2.2.3. Elektrikli araçların kalorifer sistemi

Otomotivlerde ısıtma sistemi incelendiğinde çoğunlukla yarı iletken, seramik, tel direnç ve PTC ısıtıcıların kullanımı görülebilmektedir. Önceki çalışmalardan yola çıkarak elektrikli ısıtma çalışmalarının, aşağıda bulunan ısıtma tiplerine ayırarak açıklanmaya çalışılmıştır.

1. PTC ısıtıcılar,
2. Isı pompası
3. Manyetokalorik ısıtma,
4. Radyant ısıtma.

2.2.3.1. PTC ısıtıcılar

Seramik malzemeli yarı iletken ısıtıcılardır. Gerilim uygulandığında başlangıçta yüksek akım çekip yüksek sıcaklığa ulaşırlar. Seramik malzeme özelliğinden dolayı belirli sıcaklığa ulaştıktan sonra zamanla çektiği akım azalır; bu sebeple sıcaklık değeri ayarlanabilir. PTC ısıtıcılar içten yanmalı ve elektrikli araçlarda ortak kullanılmaktadır. PTC ısıtıcılar bazı uygulamalarda havayı ısıtarak kullanılırken, bazı uygulamalarda motor suyunu kullanarak ısıtmak mümkündür. Şekil 2.10’de PTC ısıtıcı örneği verilmiştir.



Şekil 2.10 : PTC ısıtıcı. (Pake PTC, "PTC Heater for Vehicle with Controller", 2024)

PTC ısıtıcı avantajları:

- Uzun ömürlüdürler.
- İlk ısınmalarından sonra çektikleri akım giderek düşer ve iç sıcaklık kontrolünü sağlarlar.
- Küçük ebatta olup yüksek sıcaklıklara çıkabilirler.
- Sessiz olmaları, hareketli parçalarının olmamasındandır. [41]

2.2.3.2. Isı pompası

Isı pompası elektrikli araçların güç elektroniği, batarya ve motor gibi ısı üretimi olan ve soğutulması gerekli olan aksamaların ürettiği atık ısıdan fayda sağlayarak elektrikli araçlar özelinde ısı pompası modelleri geliştirilmiştir.

Isı pompası sisteminde kullanılan elemanlar şunlardır;

1. Dört yollu valf,
2. Kompresör,
3. İç ve dış ısı değişiriciler,
4. Genleşme valfi

Bu sistem, buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin tersine çalıştırılarak düşük ısı kaynağından ısı çekilerek istenilen ortama ısı atılarak ısıtmasını sağlamaktadır.

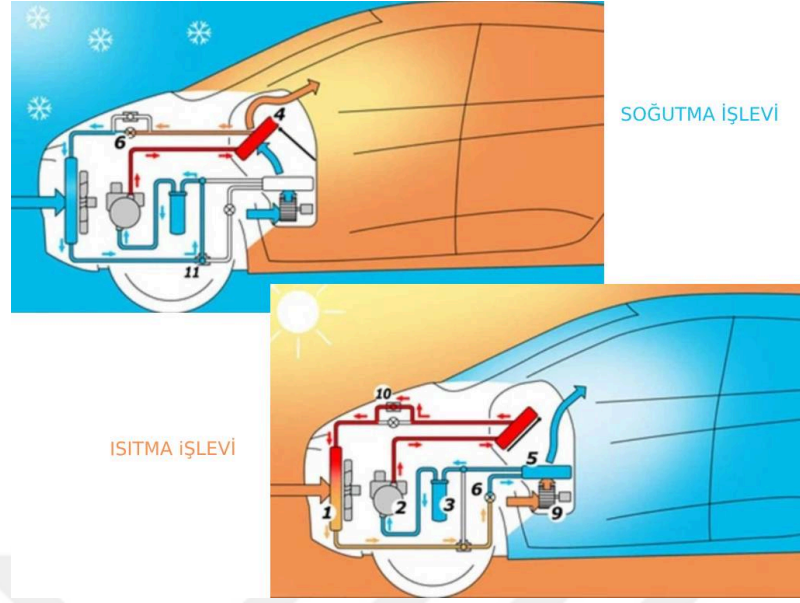
Isıtma gereksinimi için;

1. Isıtma için kompresörden ayrılan yüksek basınca kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan, iç ünite ısı değiştiricisi ile iç ortama ısı verir ve sıvılaşır.
2. Sıvı faza geçen yüksek basınca sahip soğutucu akışkan genleşme valfinin içinde basınç kaybederek dış ünite ısı değiştiricisine giriş yapar.
3. Dış ünite ısı değiştiricisinde buhar-sıvı karışımlı soğutucu akışkana ısı geçişi sağlanır ve buharlaşan soğutucu akışkan düşük basınçta kızgın buhar haline gelir.
4. Dış ünite ısı değiştiricisinden çıkan düşük basınçta kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan, kompresöre tekrar dönmesi ile birlikte ısıtma çevrimi tamamlanmıştır.

Soğutma gereksinimi için;

1. Kompresörü terk etmiş olan yüksek basınçta kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan, dört yollu valften geçerek dış ünite ısı değiştiricisinde ısı atarak yoğunlaşır ve sıvı haline gelir.
2. Dış ünite ısı değiştiricisinden ayrılan sıvı haldeki soğutucu akışkan, genleşme valfinde sahip olduğu basıncı kaybeder.
3. İç ünite ısı değiştiricisine giden buhar-sıvı karışımlı soğutucu akışkan ısı alıp buharlaşarak düşük basınçta kızgın buhar haline gelir.
4. İç ünite ısı değiştiricisinden kızgın buhar halde çıkan soğutucu akışkan, dört yollu valf sayesinde kompresöre geri döner ve soğutma çevrimi tamamlanmıştır.

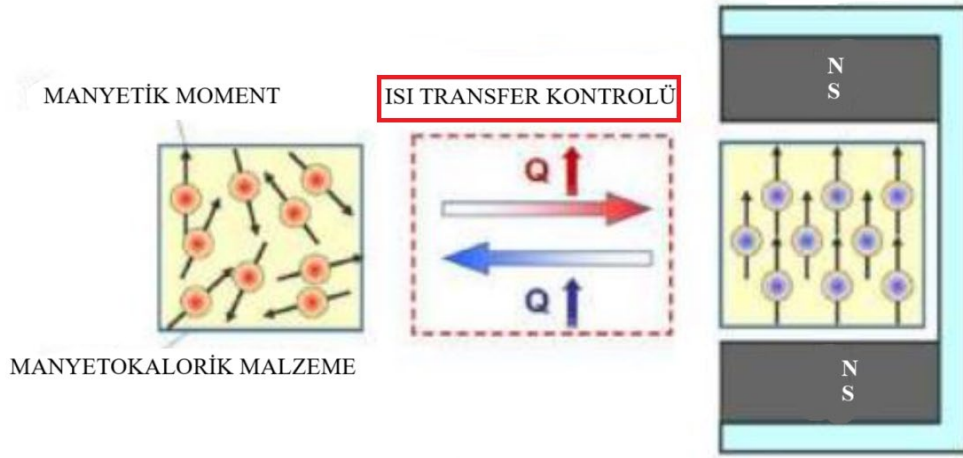
Isıtma çevriminde iç ısı değiştiricisinde yoğunlaşma gerçekleşip, soğutma çevriminde ise buharlaşma gerçekleşir [4]. Şekil 2.11’de ısı pompası sisteminin elektrikli bir araçta uygulanmasına yer verilmiştir.



Şekil 2.11 : Isı pompası sisteminin elektrikli bir araçta uygulanması. (Arabam.com, 2024).

2.2.4. Manyetokalorik ısıtma

Bu ısıtma türü, manyetokalorik etki üzerine kurulu olan ısıtma şeklidir. Bu durum manyetokalorik malzemeler olarak adlandırılan farklı malzeme ve alaşımların manyetik alana maruz bırakılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Manyetokalorik Malzemeler (MCM), güçlü manyetik alana maruz bırakılması sonucunda malzeme içindeki elektronların diziliminin yer değiştirmesi zorlanması sebebiyle bir ısı açığa çıkar. Bu sırada açığa çıkan ısı, araç kabin içine transferi sağlanır ve kabine geçen bu ısı enerjisi sonucu ortam ısınır ve bu sayede manyetokalorik etki ile ısıtma amacına ulaşılır. Eğer sistem tersine çalıştırılır ise manyetokalorik soğutma gerçekleşir. Şekil 2.12’te manyetokalorik soğutma çevrimi çalışma prensibine yer verilmiştir.



Şekil 2.12 : Manyetokalorik soğutma çevrimi çalışma prensibi (Mühendisiz.net, 2024).

Isı pompası prensibine göre farklılıkları:

- Çevreyi kirleten soğutucu akışkan yoktur,
- Basınçlı gaz yoktur,
- Sistem daha basittir,
- Konveksiyonel soğutuculardan daha verimlidir,
- Sera etkisi yoktur.

Konveksiyonel ısı pompalarına göre; basit sistemli, enerji tüketimi konusunda daha fazla verime sahip, kısa bir sürede yüksek COP değerlerine ulaşabilirler. Çok daha basit sisteme sahiptirler, daha sessiz çalışırlar, soğutma ve ısıtma arası geçişleri daha kolaydır ayrıca çevreye zararlı etkileri bulunmamaktadır. Ancak daha önceki literatür çalışmalarına göre, dış ve iç ortam sıcaklığının farklı olduğu ortamlarda, en çokta düşük sıcaklık ortamlarında, bataryadan çekilen enerji ihtiyacı çok fazla artmış ve COP değerleri de düşmüştür.

Bu olumsuzluğun yanı sıra şu olumsuzluklar da bulunmaktadır; ısı değiştirici dizaynı, manyetokalorik malzeme için malzeme seçimi, yüksek manyetik alana duyulan ihtiyaç ve kabin ısıl yönetimidir. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda sistemin geliştirilme ihtiyacı kanısına varılmaktadır.

2.2.5. Radyant ısıtma

Radyan ısıtma bir diğer ismi ışıınım ile ısınma olarak adlandırılmaktadır. Güneşten dünyamıza gelen güneş ışınları ve elektromanyetik dalgalar dünyamızı ışıınım ile ısıtmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanım yaygınlaşmamıştır. Diğer ısıtma yöntemlerinden ayıran en farklı özelliği, diğer tüm ısıtma yöntemlerinden farklı olarak ortam havasını ısıtmadan önce çarptığı cisimlerin ısınısını arttırmaktır. Bu sebeple ortam ısısı artmadan insanların ısınması sağlanır. Bunun sonucunda ışıınım yayan radyant ısıtıcılar ve ışıınım emen cisimler zaman içinde ısınarak ortam havasına taşınım yoluyla ısı transferi gerçekleştirilir. Zamanla ortamın ısınması sağlanır. Sonuç olarak, ışıınımla ısıtma ortamdaki havadan önce doğrudan cisimlere çarpan ışıınım ile ısıtma yapıldığı için, dolaylı ısıtma olarak adlandırılabilir. ışıınımla ısıtmada bulunan doğrudan ısıtma yönteminin diğer yöntemlere kıyasla COP avantajı Tablo 2.1’de verilmektedir [41].

Tablo 2.1. ısıtma sistemlerinin kıyaslanması (Eren, 2018, s.52).

Isıtma Yöntemi	ışıınımla Isıtma	Jeotermal Isıtma	Isı Pompası	Elektrikli Panel Isıtıcı	CNG ile Isıtma	Propan ile ısıtma	Fuelcell Oil Isıtma
COP	1.20	3.00	2.10	1.00	0.92	0.92	0.75
Dizayn Kayıpları (%)	0	30	30	10	30	30	30
Konveksiyonel İnfiltrasyon Kayıpları (%)	0	14	14	14	14	14	14
Net COP	1.20	1.81	1.26	0.77	0.55	0.55	0.45

BÖLÜM 3. TASARIM ÇALIŞMASI

Bu bölümde, hafif ticari araçların ısıtma performansını artırmaya yönelik yapılan tasarım çalışmalarında dikkate alınan uluslararası kriterler ve sistem gereksinimleri ele alınmıştır. Tasarım süreci, hedeflenen araç içi ısı konfor seviyesini sağlamak amacıyla belirli standartlar çerçevesinde yürütülmüştür. Bu doğrultuda, sistem tasarımında kullanılan araç ısıtma elemanlarının seçiminden, ısı konfor parametrelerinin optimizasyonuna kadar pek çok kriter dikkate alınmıştır.

3.1. Tasarım Kriterleri

1. Araç İçi Sıcaklık Dağılımı: Hafif ticari araçlarda, sürücü ve yolcu konforunu sağlamak için homojen bir sıcaklık dağılımı büyük önem taşır. Bu amaçla, kabin içindeki farklı noktalarda hedeflenen sıcaklık değerlerine ulaşmak için tasarım optimizasyonları yapılmıştır. Özellikle soğuk hava koşullarında araç içinde sıcaklığın hızlı bir şekilde homojen bir dağılım göstermesi hedeflenmiştir. Isıtma sistemi bileşenlerinin konumlandırılması, bu kriterin sağlanması için yapılan tasarımın önemli bir parçasıdır.
2. Enerji Verimliliği: Elektrikli araçlarda enerji tüketimi, aracın menzili üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, kullanılan ısıtma sistemlerinin minimum enerji ile maksimum ısıtma verimini sağlayacak şekilde optimize edilmesi kritik önem arz eder. Tasarım sürecinde, ısıtma sisteminin enerji verimliliğini artırmak amacıyla enerji kaybını en aza indiren malzemeler tercih edilmiştir. Ayrıca, sistemin çalışma parametreleri (sıcaklık, basınç vb.) uygun aralıklarda tutularak enerji tüketimi optimize edilmiştir.
3. Hızlı Isıtma Kabiliyeti: Hafif ticari araçlarda, kullanıcıların kısa sürede konforlu bir iç mekana ulaşabilmesi önemlidir. Bu nedenle, ısıtma sisteminin hızlı bir şekilde maksimum performansa ulaşabilmesi için uygun bileşenler seçilmiş ve test edilmiştir. Yapılan analizlerde, farklı çalışma koşullarında sistemin ısınma süreleri değerlendirilmiş ve bu sürelerin iyileştirilmesi adına bileşen tasarımları optimize edilmiştir.

4. Dayanıklılık ve Güvenilirlik: Isıtma sistemlerinin, araç ömrü boyunca güvenilir bir şekilde çalışabilmesi için dayanıklı ve uzun ömürlü bileşenlerden oluşması gerekmektedir. Bu nedenle, tasarım sürecinde sistemin maruz kalabileceği farklı iklim koşulları ve aşırı çalışma durumları göz önünde bulundurulmuş ve bu durumlara dayanıklı malzemeler seçilmiştir.
5. Çevresel Etki: Isıtma sistemi tasarımında çevresel etkileri minimize etmek amacıyla çevre dostu malzemeler kullanılmış ve geri dönüşümlü bileşenlere öncelik verilmiştir. Isıtma sisteminin kullanım ömrü sonunda minimum çevresel zarar verecek şekilde tasarlanmasına dikkat edilmiştir.

Bu kriterler doğrultusunda yapılan tasarım çalışmaları, hafif ticari araçlarda verimli, hızlı ve kullanıcı dostu bir ısıtma sisteminin oluşturulmasına yönelik optimizasyonlar içermektedir. Tasarım sürecinde belirlenen bu kriterlerin her biri, nihai ürünün performansını ve kullanıcı memnuniyetini artırmak için titizlikle değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, hafif ticari bir aracın kabin içi ısı konforunu sağlamak için mevcut ısıtma sistemlerinin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Hafif ticari araç kullanıcılarının, özellikle soğuk iklim koşullarında yeterli düzeyde ısı konforuna ulaşması, mevcut ısıtma sistemleri ile sınırlı kalmaktadır. Bu bağlamda, mevcut sistemin performansını artırmaya yönelik bir tasarım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu tasarım, kabin içindeki sıcaklık dağılımını iyileştirmek ve enerji tüketimini optimize etmek amacıyla belirli kriterler doğrultusunda şekillendirilmiştir. Öncelikle, tasarım sürecinde belirlenen kriterler ışığında uygun sistemler seçilmiş ve ardından bu sistemler deneysel olarak test edilmiştir. Bu süreçte, hafif ticari araçlarda verimli, hızlı ve kullanıcı dostu bir ısıtma performansı sağlamak hedeflenmiştir.

3.2. Regülasyon Tasarım Kriteri ECE R-122

Regülasyon tasarım kriteri olarak ECE R-122 seçilmiştir. ECE R-122, Avrupa Birliği'nin ve diğer ülkelerin motorlu araçlarının ısıtma sistemlerinin güvenliği ve performansına yönelik kriterler belirleyen bir regülasyondur. Bu standart, özellikle elektrikli ve hibrit araçlar için geçerli olup, kabin içi ısıtma sistemlerinin verimliliğini artırmayı ve yolcu konforunu sağlama amacını taşır. ECE R-122, motorlu araçların soğuk hava koşullarında hızlı bir şekilde ısınmasını sağlamaya yardımcı olurken, enerji verimliliğini artırarak yakıt tüketimini ve emisyonları

azaltmayı hedefler. Sonuç olarak, bu standart, otomotiv sektörü için daha güvenli ve çevre dostu araçların geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu kriterdeki bazı şartlar şunlardır:

1. Isıtıcıyı, tüm camlar kapalıyken ve rüzgarsız hava koşullarında (rüzgar hızı ≤ 2 m/s) maksimum çıkış gücünde bir saat boyunca çalıştırın. Ancak, maksimum çıkış gücünü seçtikten sonra ısıtıcı bir saatten daha kısa sürede otomatik olarak kapanırsa, ölçümler daha erken yapılabilir. Isıtılmış hava aracın dışından çekiliyorsa, test en az 15°C ortam sıcaklığında yapılmalıdır.
2. Normal yol kullanımında aracın sürücüsünün temas edebileceği ısıtma sistemi parçalarının yüzey sıcaklığı, bir temas termometresi ile ölçülmelidir. Kaplamasız metal için bu parçaların sıcaklığı 70°C'yi, diğer malzemeler için ise 80°C'yi geçmemelidir.
 - 2.1. Sürücü koltuğunun arkasındaki ısıtma sistemi parçaları ve aşırı ısınma durumunda sıcaklık 110°C'yi geçmemelidir.
 - 2.2. M1 ve N kategorisi araçlarda, aracın normal yol kullanımında oturan yolcuların temas edebileceği sistem parçaları, çıkış ızgarası hariç, 110°C'yi geçmemelidir.
 - 2.3. M2 ve M3 kategorisi araçlarda, yolcuların normal yol kullanımında temas edebileceği sistem parçaları, kaplamasız metal için 70°C'yi, diğer malzemeler için ise 80°C'yi geçmemelidir.
3. Yolcu bölmesi dışındaki ısıtma sistemi parçalarının ve aşırı ısınma durumunda, sıcaklık 110°C'yi geçmemelidir. Yolcu bölmesine giren ısıtılmış havanın sıcaklığı, çıkışın merkezinde ölçülmek üzere 150°C'yi geçmemelidir.[status of united nations regulation ece 122-00, s.22]

Bir diğer regülasyon tasarım kriteri ECE R-10 seçilmiştir. ECE R10, Avrupa otomotiv elektroniği için elektromanyetik uyumluluk (EMC) tip onay testidir. RF bağışıklığı ve emisyonları, geçici bağışıklık ve emisyonlar, patlama, dalgalanma, harmonikler ve titreşim gibi çeşitli testleri içerir. Elektrikli araçlar için özel gereksinimler ve tavsiyeler de sunar. Bu regülasyon, dört veya daha az tekerlekli (iki ve üç tekerlekli araçlar dahil), arabalar, kamyonlar ve otobüsler gibi araçlar ve bunlara takılan teknik üniteler için geçerlidir.

ECE R10, 2004/104/EC Yönergesi' nin yerini almıştır ve Avrupa, Avustralya, Japonya ve Rusya Federasyonu gibi 50'den fazla ülkede uygulanan 'E' tip onayını sağlar. Artan hassas alıcılar ve kuvvetli vericiler nedeniyle araçlardaki elektromanyetik uyumluluk zorunlu hale gelmiştir.

Regülasyonun kapsamı:

- L, M, N ve O kategorisi araçların elektromanyetik uyumluluğu.
- Bu araçlara takılmak üzere tasarlanan parçalar ve teknik ünitelerin EMC uyumluluğu.
- Araç kontrol işlevleri, sürücü, yayalar ve diğer yol kullanıcılarının güvenliği için yayılan ve iletilen arızaların giderilmesi.
- Elektrikli/elektronik ekipmanların istenmeyen emisyonlarının ve sonradan takılan aksesuarların arızalarının kontrolü.
- Araç-elektrik hattı bağlantısından kaynaklanan emisyonların kontrolü ve REESS şarjı için ek şartlar.

ECE R10, araçların ve yol kullanıcılarının güvenliği için elektromanyetik rahatsızlıklara karşı koruma gerekliliklerini kapsar ve araç veri yolu işlevselliği ile ilgili potansiyel karışıklıkları ele alır.[42]

Tasarımda dikkat edilen bir diğer unsur, araç elektrikli olduğu için elektrik kullanımı doğrudan aracın menzilini etkilemektedir. Bu sebeple seçilen ısıtıcı bakımından 2 farklı tasarım ve bu tasarımlara bağlı farklı ısıtıcı güçlerine sahip ısıtıcılar kullanılmaktadır.

Tasarımda kullanılacak materyallerin seri üretimi, maliyeti, uygunluğu ve tedariki kolay olması açısından yerli üretime öncelik verilmiştir. Tasarımda ısıtılan havanın sıcaklık kaybını en aza indirmek amaçlı hatlar kısa tutulmuş ve en uygun görülen yerden çıkış menfezine yer verilmiştir. Tasarımdan sıcak havayı ileten hortumların geçiş bölgelerinde bulunan parça ve komponentlerin maksimum sıcaklık değerlerine dikkat edilmiştir. Tasarımda önceden çıkışı olan bölgeleri bozmayarak ek bölgeler açılması istenmiştir. Bunun sebebi olarak ek işçilik maliyetlerinin önüne geçmek istenmiştir. Farklı opsiyonlu ısıtıcılar için farklı tasarımlar üzerine çalışılarak en uygun tasarımı bulmak hedeflenmiştir. Tasarımda havanın akış yönünde ek çıkışlar verilerek hava akışının en az kayıpla yönlendirilmesi amaçlanmıştır.

3.3. Opsiyonlara Göre Tasarım Çalışmaları

3.3.1. Isıtma sistemini geliştirme amaçlı çalışmada kullanılan malzemeler

Bu bölümde, iki tip ısıtıcı sisteminin geliştirilmesi için geliştirme öncesi geleneksel çalışmada kullanılan parçalara ilave olarak ihtiyaç duyulan parçalara yer verilmiştir. Ek olarak Şekil 3.1’de PTC ısıtıcıya sahip Faz 2 P3 araç görsellerine yer verilmiştir. Şekil 3.2’de Dizel ısıtıcıya sahip Faz 2 D5 aracına yer verilmiştir.



Şekil 3.1 : PTC ısıtıcıya sahip Faz-2 P3.



Şekil 3.2 : Dizel ısıtıcıya sahip Faz-2 D5.

Dizel (kuru tip ısıtıcı) için kullanılan malzemeler:

- Dizel ısıtıcı sonrası Y dağıtıcı borusu (ilk çalışmadan farklı olarak ısıtıcı çıkış sacında bulunan 2 adet çap 60 mm çıkışa ek 2 adet çap 20 mm çıkış),
- P kelepçe,
- Şerit kelepçe,
- Vidali kelepçe
- Çap 60 mm kraft hortumu,
- Çap 20 mm kraft hortumu,
- Menfez 20 mm girişli,
- Y ayırıcı adaptör (Çap 60 mm kraft hortumdan yeni menfezlere gidicek olan çap 20 mm hortum ayırmak için).

PTC ısıtıcı için kullanılan malzemeler;

- PTC ısıtıcı (ilk çalışmadan farklı olarak ısıtıcı çıkış sacında bulunan 2 adet çap 60 mm çıkışa ek 2 adet çap 20 mm çıkış),
- P kelepçe,
- Şerit kelepçe,
- Vidali kelepçe,
- Çap 60 mm kraft hortumu,
- Çap 20 mm kraft hortumu,
- Menfez 20 mm girişli,

Y ayırıcı adaptör (çap 60 mm kraft hortumdan yeni menfezlere gidicek olan çap 20 mm hortum ayırmak için).

3.4. Isıtma Sistemini Geliştirme Amaçlı Yapılan Tasarım Çalışması

Bu bölümde PTC veya dizel ısıtıcı bulunan 2 farklı araç için 2 farklı tasarım uygulanmıştır.

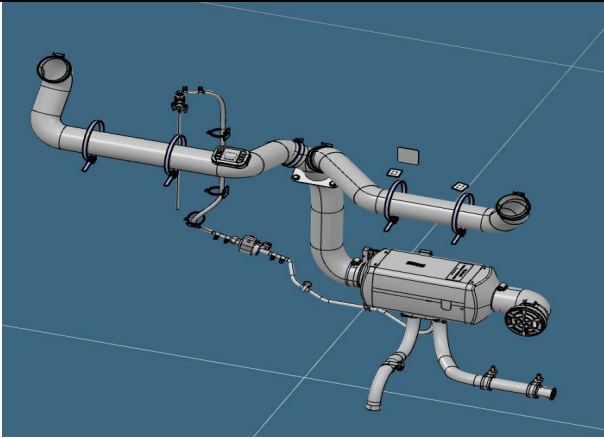
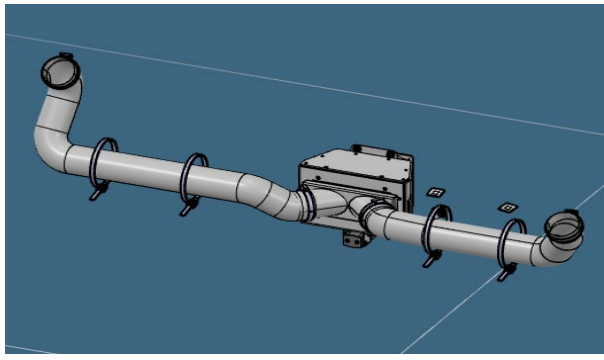
1. Tasarım 1: Üst menfezlere giden 60 mm çaplı kraft hortumlardan Y dağıtıcı adaptör parça ile ayak tarafındaki menfezlere giden 20 mm çaplı kraft hortum ile havayı yönlendirme.

2. Tasarım 2: Isıtıcı merkezlerinden 20 mm çapında borular ile çıkış vererek ayak tarafındaki menfezlere 20 mm çaplı kraft hortum ile havayı yönlendirme.

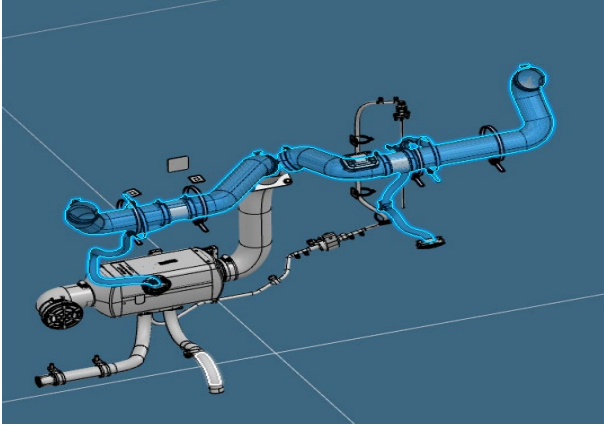
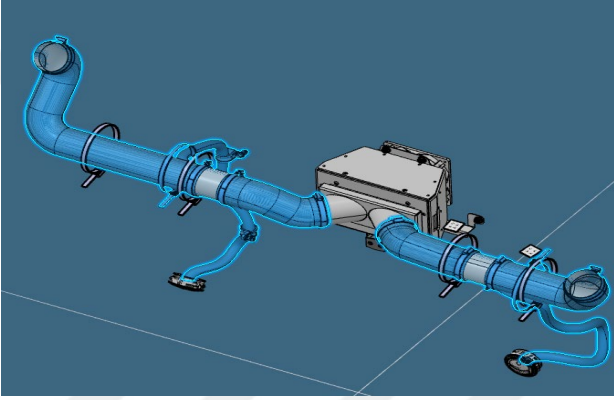
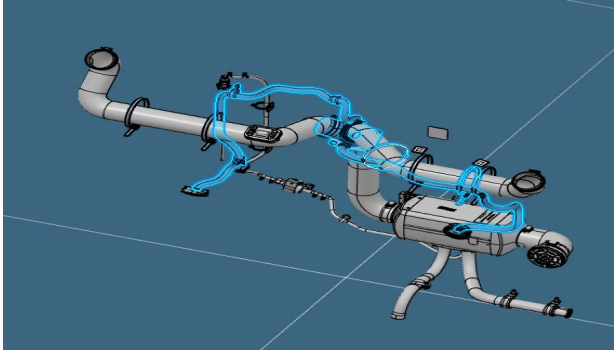
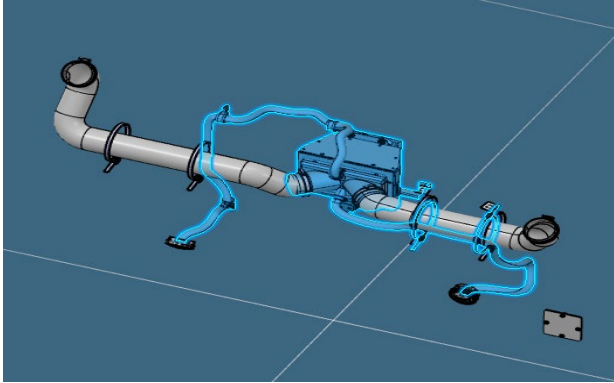
3.4.1. Tasarım 1 ve tasarım 2 çalışması

Tasarım 1 çalışmasında ilk ısıtıcı hattı tasarımından farklı olarak çapı 60 mm olan kraft hortumlardan Y dağıtıcı ile ayırma yaparak çapı 20 mm olan kraft hortumlar bağlanmıştır. Tasarım 2 de ise ilk çalışmadan farklı olarak ısıtıcı merkezlerinden ayırma yaparak çapı 20 mm olan kraft hortumlar bağlanmıştır. Bu bağlanan hortumlar 20 mm menfez girişlerine bağlanarak sıcak havayı iletmektedir. Kraft hortumları, yapı olarak alüminyum kaplı hortumlardır ve -40°C ila $+130^{\circ}\text{C}$ arasındaki ısılara dayanıklı olduğu için bu çalışmada kullanılmıştır [43]. Aşağıda Tablo 3.1’de yapılan tasarım ve opsiyon çalışmalarına yer verilmiştir.

Tablo 3.1 Yapılan tasarım ve opsiyon çalışmaları

Yapılan Tasarım	Opsiyon Çalışmaları
	Faz-2 D5 P3 Çalışma Öncesi İlk Dizel Isıtıcı Hattı Tasarımı
	Faz-2 P3 Çalışma Öncesi İlk Elektrikli Isıtıcı Hattı Tasarımı

Tablo 3.1 (devam): Yapılan tasarım ve opsiyon çalışmaları

Yapılan Tasarım	Opsiyon Çalışmaları
	Faz-2 D5 Tasarım 1 Çalışması
	Faz-2 P3 Tasarım 1 Çalışması
	Faz-2 D5 Tasarım 2 Çalışması
	Faz-2 P3 Tasarım 2 Çalışması

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, yapılan çalışmanın tekrarından yola çıkarak, hafif ticari araçların kabin ısıtma sistemlerinin performansını artırmaya yönelik geliştirdiğimiz yeni tasarımın detayları ele alınmaktadır. Çalışmamız, mevcut sistemlerin yetersiz kaldığı noktaları ortaya koyan bir karşılaştırma çalışması ve deneysel bir analizle desteklenmiştir. Bu kapsamda hem mevcut sistemin eksiklikleri hem de önerilen tasarımın performansı üzerinde durulmaktadır.

Öncelikle, ısıtma sistemi için belirlenen tasarım kriterleri doğrultusunda yapılan iyileştirmeler anlatılacaktır. Ardından, bu kriterlerin uygulanması sonucunda elde edilen veriler, deneysel çalışmalar aracılığıyla değerlendirilmiş ve karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Çalışmanın hedefi, mevcut sistemin enerji verimliliği, kabin içi sıcaklık dağılımı ve hızlı ısınma kapasitesi gibi performans özelliklerini iyileştiren bir çözüm sunmaktır.

Deneysel çalışmada şu adımlar takip edilmiştir:

1. Mevcut Sistem Performansının Değerlendirilmesi: Hafif ticari araçlarda kullanılan mevcut ısıtma sistemleri analiz edilmiş ve sistemin ısıtma verimliliği, enerji tüketimi gibi temel performans parametreleri ölçülmüştür.
2. Önerilen Tasarımın Uygulanması: Geliştirilen yeni ısıtma sistemi tasarımı, belirlenen kriterler doğrultusunda mevcut sisteme entegre edilmiş ve sistemde yapılan değişiklikler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.
3. Karşılaştırmalı Analiz ve Performans Testleri: Yeni sistemin performansı, deneysel veriler ışığında mevcut sistemle karşılaştırılmış ve iyileştirmelerin etkileri ortaya konmuştur. Özellikle ısıtma konforu, enerji verimliliği ve hızlı ısınma özellikleri açısından sağlanan faydalar analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle, yeni tasarımın mevcut sisteme kıyasla belirgin iyileştirmeler sağladığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın

genel yapısına uygun olarak, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırmalar yapılarak tasarımın özgünlüğü ve etkinliği vurgulanmıştır.

4.1. Test Yöntemi

Bu bölümde, çalışmanın kapsamı ve amacına uygun olarak geliştirilen test yöntemi detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Isıtma sisteminin performansını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen deneyler, belirlenen test kriterleri doğrultusunda planlanmış ve uygulanmıştır. Bu test yöntemi, hafif ticari aracın kabin içi ısı konforunun sağlanması ve enerji verimliliğinin artırılması gibi hedefler göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.

Deneysel çalışmada kullanılan test yöntemi, sistemin başlangıç koşullarından son ölçüm aşamasına kadar tüm adımları kapsamaktadır. Öncelikle, mevcut ısıtma sistemi ile önerilen sistem arasındaki farkları gözlemlemek amacıyla kabin içi sıcaklık dağılımı, ısıtma süresi ve enerji tüketimi gibi parametreler belirlenmiştir. Ardından, bu parametreler üzerinden yapılan ölçümlerle, önerilen tasarımın performansı, mevcut sistemle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Testler sırasında standart test koşulları sağlanmış ve her bir ölçüm, aynı başlangıç koşulları altında tekrarlanarak güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak, önerilen test yöntemi, çalışmanın ana hedeflerine ulaşmak ve sistemin performans iyileştirmelerini nesnel bir şekilde ortaya koymak amacıyla dikkatli bir şekilde tasarlanmıştır. Bu yöntem hem mevcut sistemin eksikliklerini hem de yeni tasarımın avantajlarını net bir şekilde gösterme potansiyeline sahiptir.

4.1.1. Test Ekipmanları

Veri toplama cihazı (eDAQXR): eDAQXR, test ve ölçüm uygulamaları için tasarlanmış, yüksek performanslı ve taşınabilir bir veri toplama cihazıdır. Çeşitli endüstrilerde, özellikle otomotiv, enerji ve araştırma-geliştirme projelerinde yaygın olarak kullanılır.

Sıcaklık sensörü (thermocouple): Thermocouple, Seebeck etkisi adı verilen bir fiziksel olguya dayanır. İki farklı metal birleştirildiğinde ve bu birleşim noktası sıcaklığa maruz kaldığında, devrede bir termoelektrik gerilim oluşur. Bu gerilim, sıcaklık farkını temsil eder ve ölçülerek sıcaklık bilgisine dönüştürülür. Testte

kullanılan sıcaklık sensörü -200°C ile 2000°C arasında geniş sıcaklık aralarında ölçüm yapabilmektedir.

Klimatik test odası: Hem ısıtma hem soğutma sistemine sahip olan alandır. -40°C ile +65°C arasında ısı sağlar. 19.7x5x5m ölçülerindedir. Klimatik test odası Şekil 4.1’de verilmiş olup klimatik test odası özellikleri Tablo 4.1 ’de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Klimatik test odası.

Tablo 4.1 Klimatik test odası özellikleri

Sağlanabilen sıcaklık değerleri	-40 °C/+65°C
Oda Ölçüleri	19.7x5x5 m
Test ve Doğrulama kabiliyeti	MIL-STD-810H, METHOD 501.7 / YÜKSEK SICAKLIK MIL-STD-810H, METHOD 502.7 / DÜŞÜK SICAKLIK MIL-STD-810H, METHOD 501.7 / ŞOK SICAKLIĞI

4.1.2. Test hazırlığı ve metodu

Isıtma performansı testinde, test aracının kabin içi ısı konforunu değerlendirmek amacıyla 10 adet ısı çift sıcaklık sensörü, aracın menfezlerine ve belirli bölgelere yerleştirilmiştir. Bu sensörlerin yerleştirilme amacı, sıcaklık dağılımını ve ısıtma sürecindeki değişimleri ayrıntılı olarak izleyebilmektir. Sensörlerin menfezlere 1 cm derinlikte yerleştirilmesi, hava akışının doğru ölçümünü sağlamak için tercih edilmiştir.

Test, kontrollü bir iklim odasında gerçekleştirilmiştir ve testin yapılma nedeni, gerçek kış koşullarına benzer bir ortam oluşturarak, soğuk hava koşullarında aracın ısıtma performansını değerlendirmektir. Bu amaçla, araç park halinde bekletilerek 7 saat boyunca -12°C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış ve kabin iç sıcaklığı da bu değere ulaşacak şekilde soğutulmuştur. Bu süreç, ısıtma sisteminin en zorlu koşullarda nasıl bir performans sergilediğini görmek amacıyla yapılmıştır.

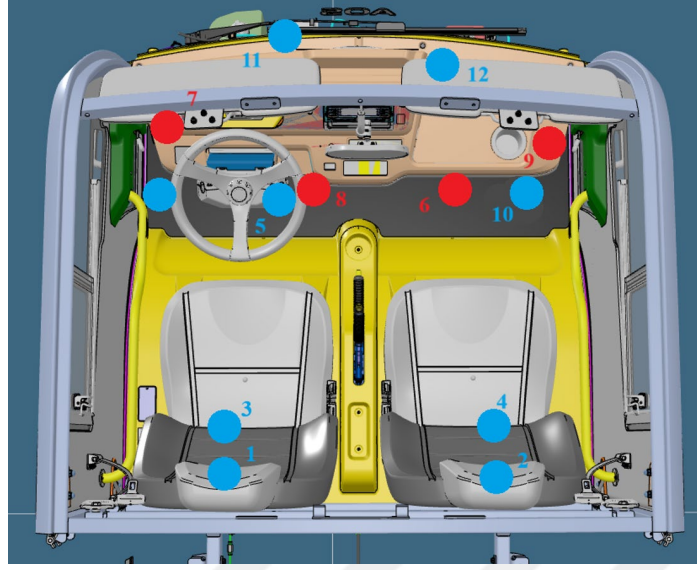
Kullanılan sıcaklık sensörleri ve iklim odası koşulları, testin doğru ve güvenilir sonuçlar vermesini sağlamak için seçilmiş ve ayarlanmıştır. Test sırasında, kabin içi sıcaklık değişimlerinin yanı sıra sistemin enerji tüketimi ve ısı verimliliği gibi parametreler de izlenmiş ve analiz edilmiştir.

4.1.3. Sıcaklık sensörü yerleri

Tablo 4.2’de sıcaklık sensörü yerleşimleri listesine yer ver verilmiştir. Şekil 4.2’de araç içi test noktaları verilmiştir. Kırmızı renk ile belirtilen lokasyonlar üfleç, mavi renk ile belirtilen lokasyonlar kabin içi sıcaklık sensörü lokasyonlardır. Total olarak 4 üfleç 12 sensör kullanılmaktadır. Şekil 4.3’de ise sıcaklık sensörü yerleşim yerlerine yer verilmiştir.

Tablo 4.2 Sıcaklık sensörü yerleşim listesi.

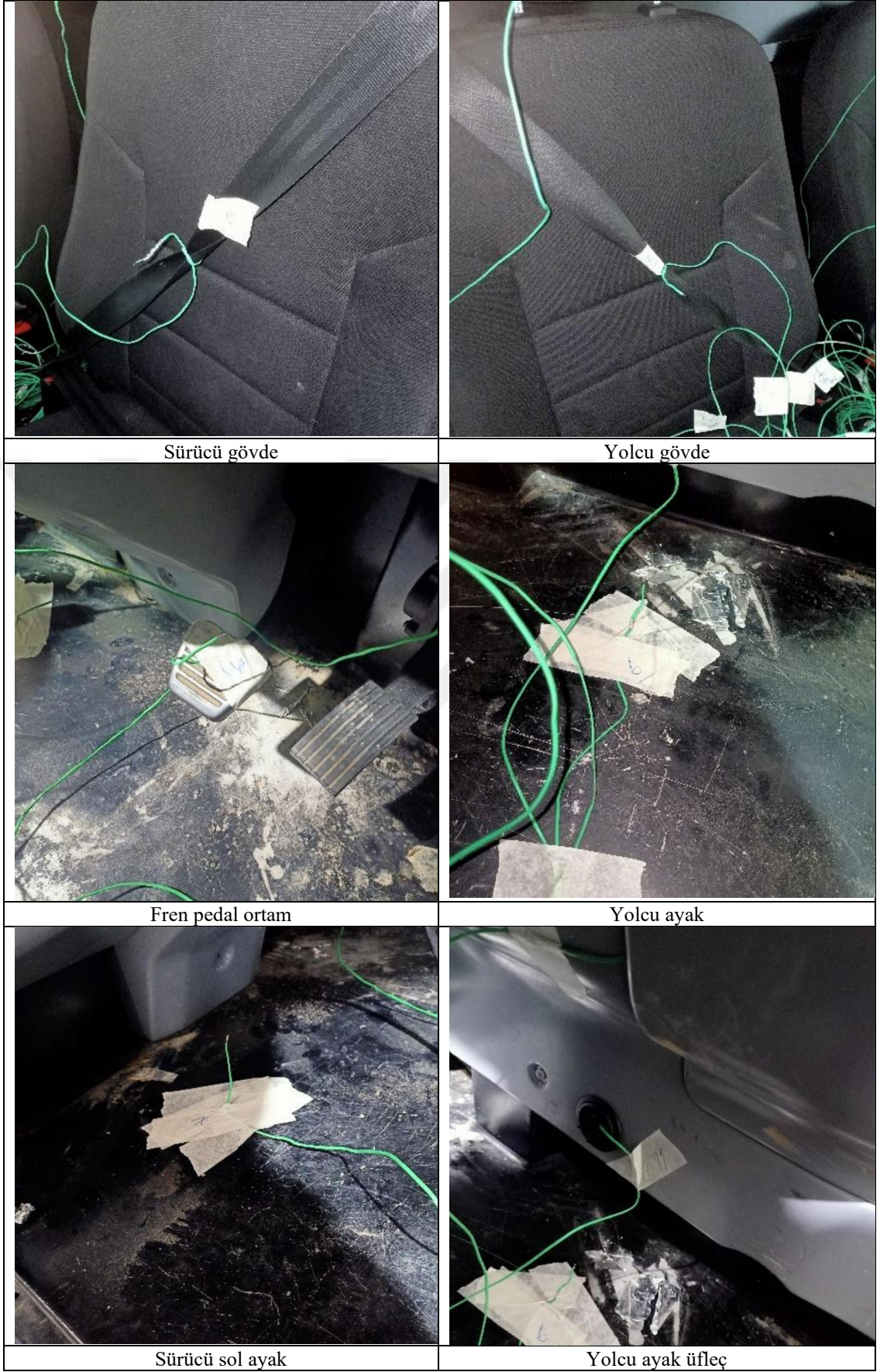
Lokasyon numarası	Lokasyon bölgesi
Lokasyon 1	Sürücü baş
Lokasyon 2	Yolcu baş
Lokasyon 3	Sürücü gövde
Lokasyon 4	Yolcu gövde
Lokasyon 5	Fren pedal ortam
Lokasyon 6	Yolcu ayak
Lokasyon 7	Sürücü sol ayak
Lokasyon 8	Yolcu ayak üfleç
Lokasyon 9	Sürücü üfleç
Lokasyon 10	Sürücü ayak üfleç
Lokasyon 11	Yolcu ayak üfleç
Lokasyon 12	Yolcu üfleç
Lokasyon 13	Isıtıcı emiş
Lokasyon 14	Yakıt deposu
Lokasyon 15	Egzoz



Şekil 4.2 : Araç içi test noktaları.



Şekil 4.3 : Sıcaklık sensörleri yerleşim yerleri.



Şekil 4.3 (devam): Sıcaklık sensörleri yerleşim yerleri.



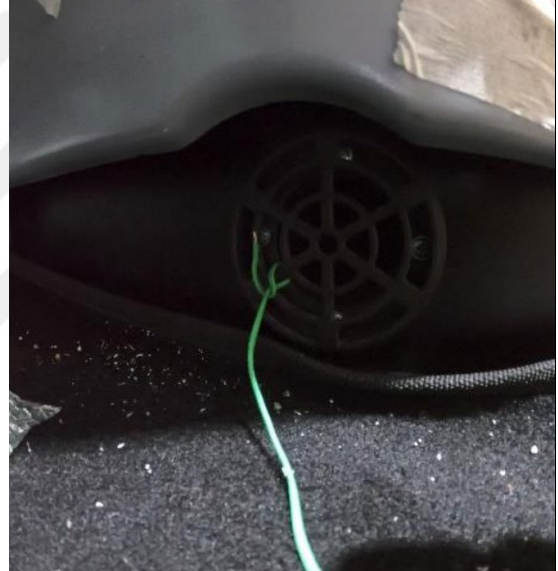
Sürücü üfleç



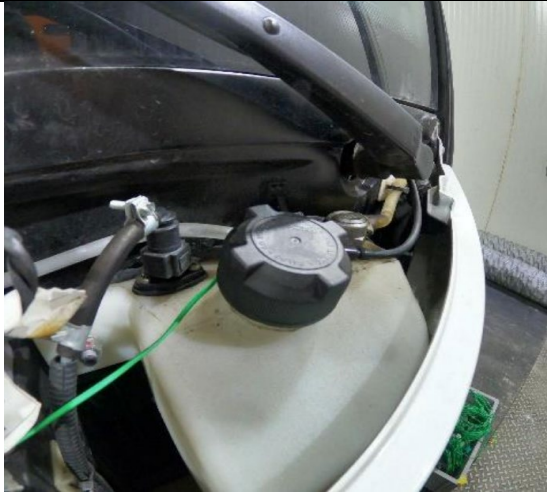
Sürücü ayak üfleç



Yolcu üfleç



Isıtcı Emiş



Yakıt deposu



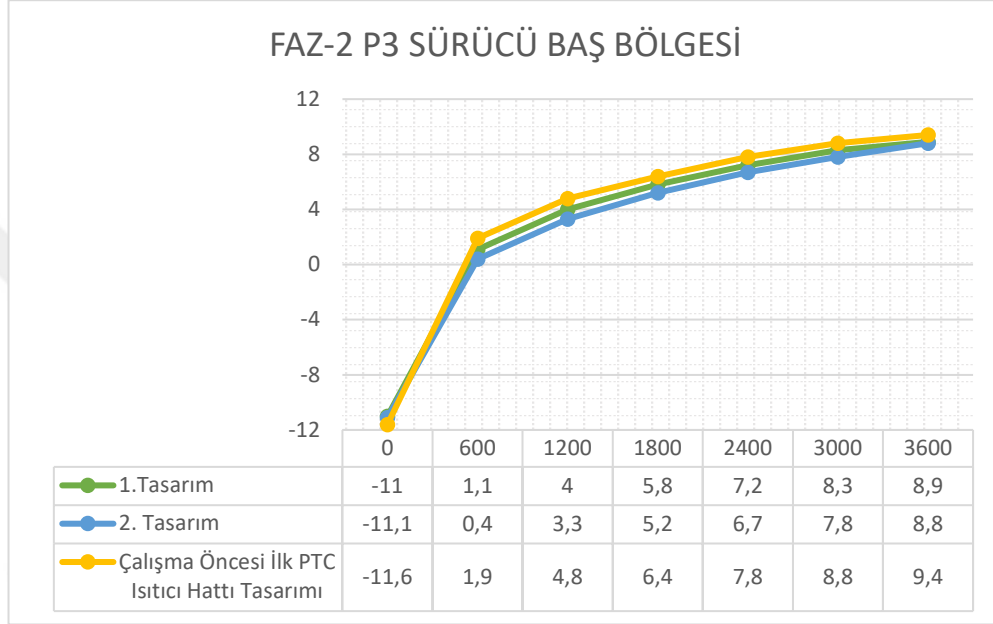
Egzoz

Şekil 4.3 (devam): Sıcaklık sensörleri yerleşim yerleri.

4.2. Çalışmadaki Test Verileri

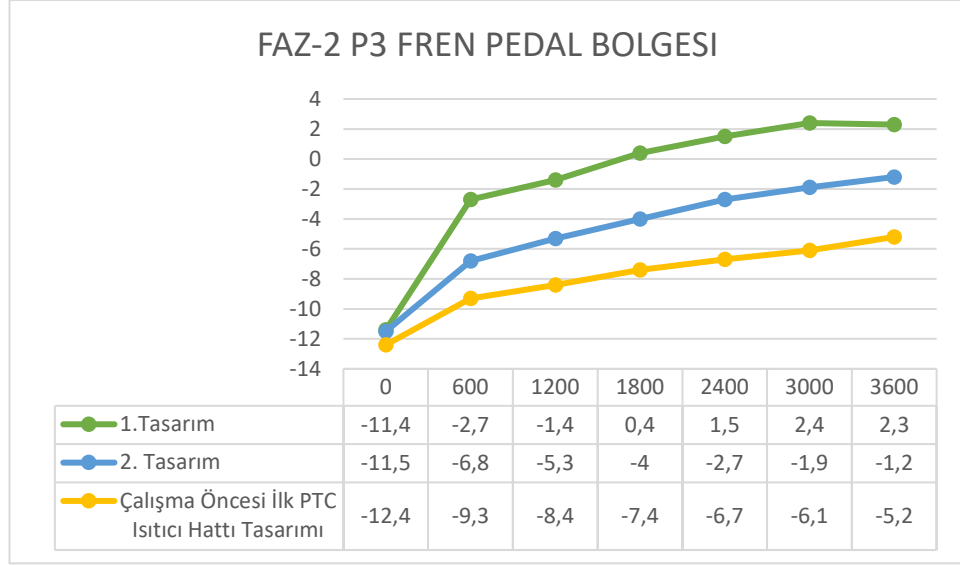
Bu bölümde çalışma öncesi ısıtıcı hatları tasarımı, tasarım 1 ve tasarım 2 çalışmalarındaki Faz-2 P3 ve Faz-2 D-5’de -12°C sıcaklıkta sürücü üfleçleri ve yolcu üfleçleri açık, fan hızı son kademede olacak şekilde test verilerine yer verilmiştir.

4.2.1. PTC ısıtıcıya sahip Faz-2 P3 test verileri



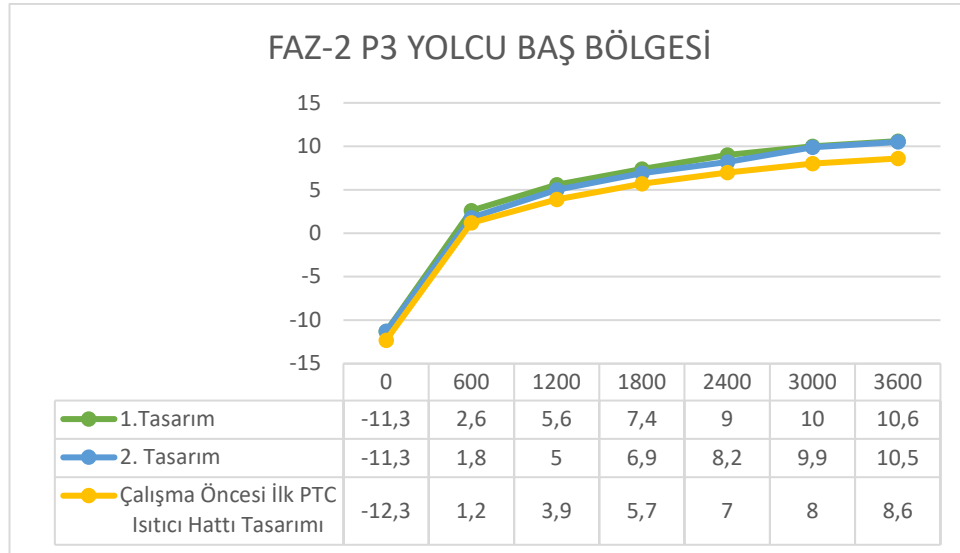
Şekil 4.4 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre sürücü gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

Şekil 4.4’de Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre sürücü gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 7.9°C’lik son sıcaklık değeriyle istikrarlı bir artış göstermiştir. İkinci tasarımın artış hızı daha yavaş olup, 7.8°C ile birinci tasarımın 0.1°C gerisinde kalmıştır. Çalışma öncesi ilk PTC ısıtıcı hattı tasarımı ise 8.3°C’ye ulaşarak bu bölge için en yüksek sıcaklığı sağlamıştır.



Şekil 4.5 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre fren pedal bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği

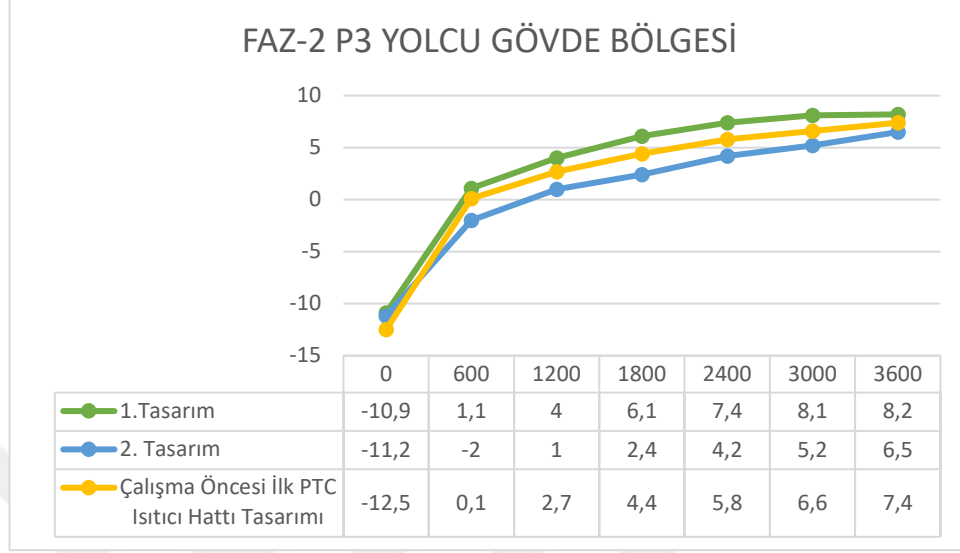
Şekil 4.5’de Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre fren pedal bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, başlangıçta hızlı bir artış göstermiş en son saniyede 2.3°C ile tasarımlar arasında en iyi ısıtmayı sağlamıştır. İkinci tasarım ise bu bölgede son sıcaklık değerini -1.2°C’de tutabilmiştir. Çalışma öncesi ilk PTC ısıtıcı hattı tasarımı ise -5.2°C ile daha düşük bir performans sergileyerek bu bölgede en düşük ısınmayı sağlamıştır. Bunun sebebi birinci ve ikinci tasarımın ayak bölgesine ek menfez ile sıcak hava sağlanmasıdır.



Şekil 4.6 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu baş bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

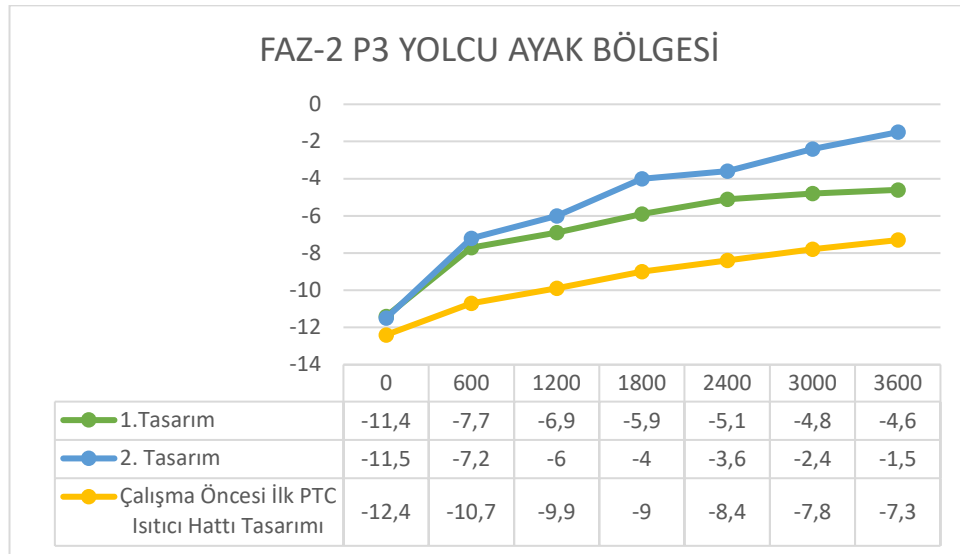
Şekil 4.6’da Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu baş bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 10.6°C’lik son sıcaklık değeriyle bu

bölgedeki en iyi performansı sergilemiştir. İkinci tasarım da başarılı bir şekilde 0.1°C birinci tasarımdan az sıcaklıkta olup 10.5°C 'ye ulaşmıştır. Çalışma öncesi ilk PTC ısıtıcı hattı tasarımı ise 8.6°C 'ye ulaşarak diğer iki tasarımdan düşük sıcaklıktadır.



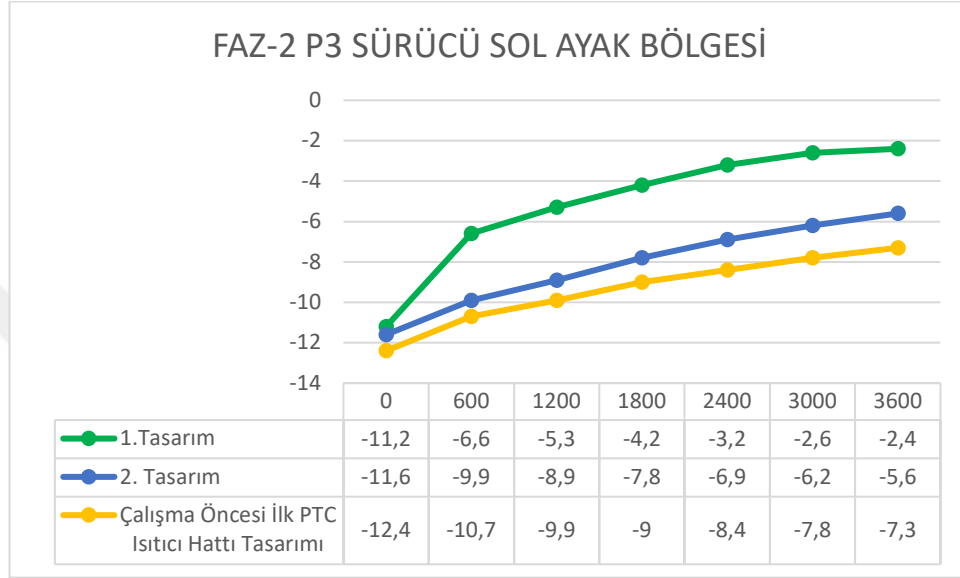
Şekil 4.7 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu gövde bölgesinin sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)-zaman (sn) grafiği.

Şekil 4.7'de Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu gövde bölgesinin sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 8.2°C 'lik son sıcaklık değeriyle bu bölgede ortalama bir performans sergilemiştir. İkinci tasarım, 6.5°C 'ye ulaşarak birinci tasarıma kıyasla daha 1.7°C daha düşük bir performans göstermiştir. Çalışma öncesi ilk PTC ısıtıcı hattı tasarımı ise 7.4°C 'ye ulaşarak birinci tasarımdan düşük, ancak ikinci tasarımdan yüksek bir performans sergilemiştir.



Şekil 4.8 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)-zaman (sn) grafiği.

Şekil 4.8’de Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, -4.6°C’lik son sıcaklık değeriyle bu bölgede ortalama bir performans sergilemiştir. İkinci tasarım, -1.5°C’ye ulaşarak en yüksek performansı göstermiştir. Çalışma öncesi ilk PTC ısıtıcı hattı tasarımı ise -7.3°C’ye ulaşarak en düşük performans sergilemiştir. Bu bölge için en uygun performans ikinci tasarım tarafından sağlanmıştır.



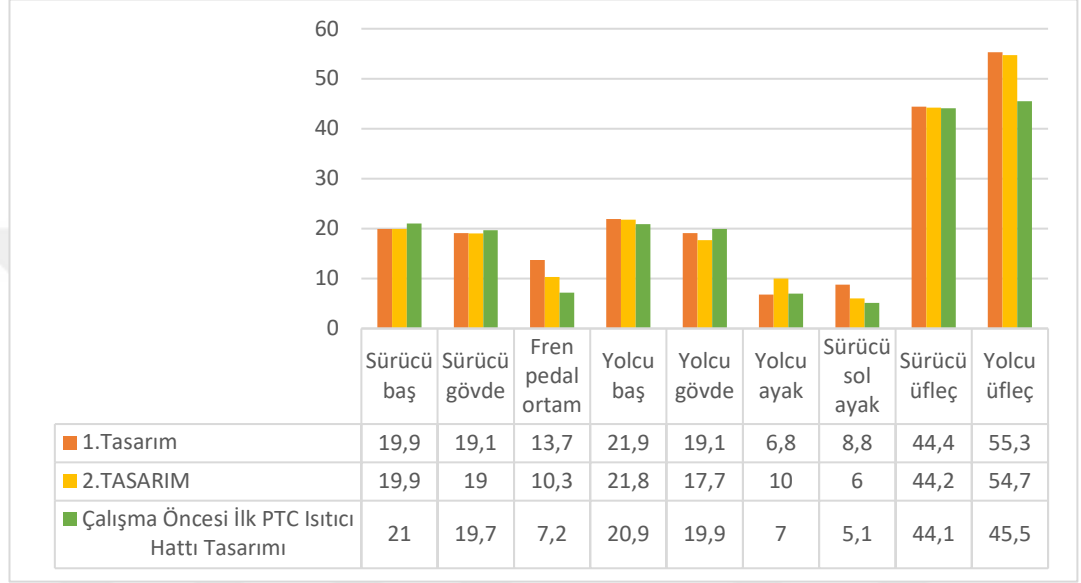
Şekil 4.9 : Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

Şekil 4.9’da Faz-2 P3 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 3600 saniye sonunda -2.4°C ile sınırlı bir sıcaklık artışı sağlamıştır. İkinci tasarım ise -5.6°C ile 3.2 °C daha düşük bir performans göstermiştir. Çalışma öncesi ilk PTC ısıtıcı hattı tasarımı, -7.3°C ile en düşük sıcaklığa ulaşmış ve bu bölge için en yetersiz tasarım olmuştur.

Genel anlamda FAZ-2 P3 bölgesindeki analizler, 1. Tasarımın daha hızlı bir sıcaklık artışı sağladığını ve taban bölgesine yakın alanlarda konfor aralığına ulaşmada etkili olduğunu göstermektedir. 2. Tasarım ise, sıcaklık artışı açısından zaman zaman geride kalmakla birlikte, 1. Tasarıma kıyasla konfor bölgelerinde daha iyi bir performans sergilemiştir. Çalışma Öncesi İlk PTC Isıtıcı Hattı Tasarımı, başlangıç sıcaklıkları düşük olmasına rağmen dengeli ve kararlı bir sıcaklık artışı sağlamış, ancak termal denge açısından bir avantaj sunmamıştır. Ayrıca, taban bölgesine yakın kısımlarda konfor bölgelerinin ısıtılmasında yetersiz kalmıştır. Bu incelemeler doğrultusunda, 1. Tasarımın FAZ-2 P5 aracında kullanılması, performans açısından en uygun seçim olacaktır. Taban bölgesindeki konfor sıcaklıkları artmışken, tavan

bölgesindeki bazı alanlarda sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, ısıtıcı kapasitesinin sınırlı olması, taban tarafında yeni menfezlerin bulunması ve ısıtıcı hatlarından ayrılan hava akışının bölünmesidir.

Şekil 4.10'da PTC ısıtıcıya sahip olan Faz-2 P3'ün çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı, Tasarım 1 ve Tasarım 2 için son sıcaklık (3600. saniye) ve ilk sıcaklık (0. saniye) farkı (Δt)-Lokasyon bazlı grafik oluşturulup test verilerine yer verilmiştir.

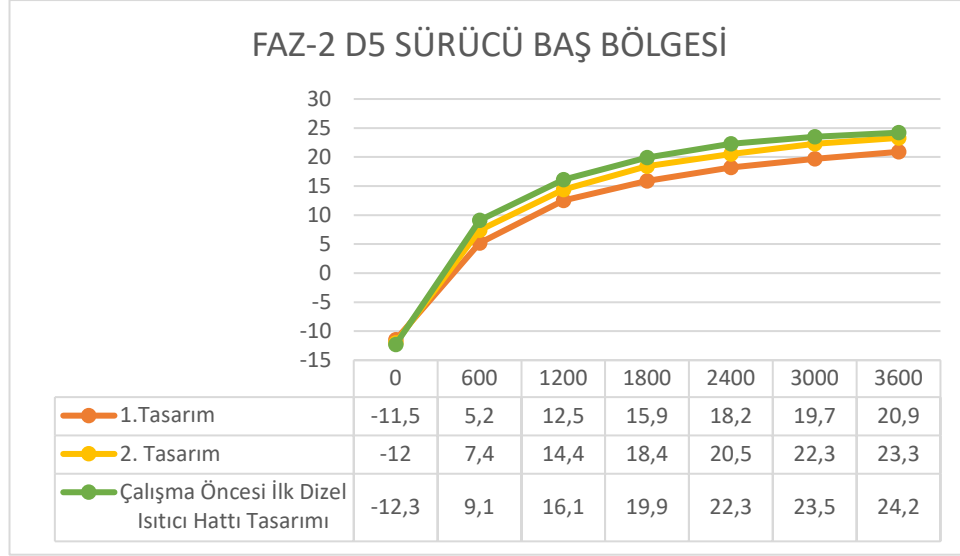


Şekil 4.10 : Faz-2 P3 Aracının Farklı Tasarımlara Göre ΔT Sıcaklık Değişimi- Lokasyon Bazlı Grafiği

Test sonuçlarına göre fren pedal, yolcu baş, sürücü sol ayak, sürücü üfleç ve yolcu üfleç bölgelerinde en yüksek sıcaklık farkı (Δt) 1. Tasarıma sahip sistemde elde edildiği gözlemlenmiştir. Sürücü baş, sürücü gövde ve yolcu gövde bölgelerinde ilk PTC hattı tasarımına sahip sistemin daha yüksek sıcaklık farkı (Δt) sağladığı görülmüştür. İkinci tasarıma sahip sistemin ise sadece yolcu ayak bölgesinde daha yüksek sıcaklık farkı (Δt) sağladığı anlaşılmıştır.

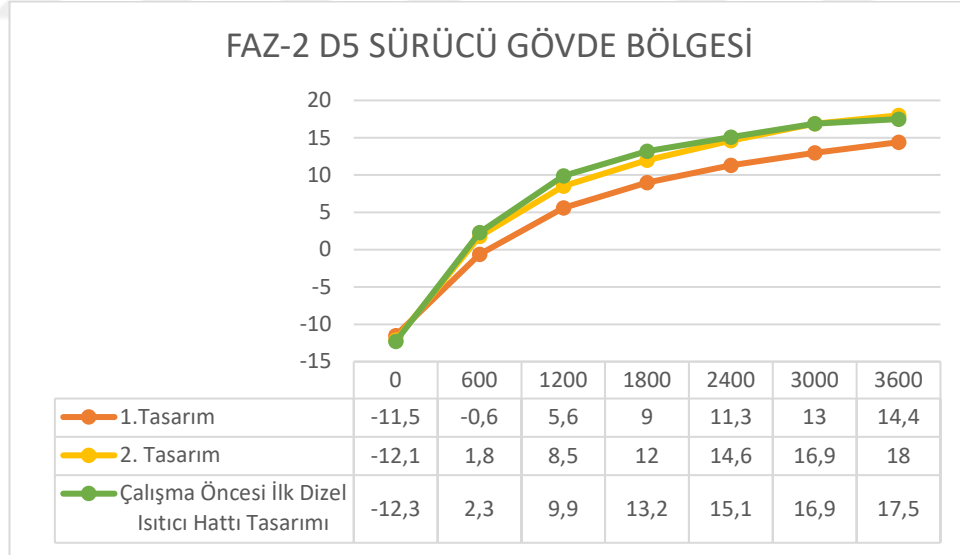
4.2.2. Dizel ısıtıcıya sahip Faz-2 D5 test verileri

Şekil 4.11'de Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü baş bölgesinin sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 20.9°C 'ye ulaşarak başarılı bir performans sergilemiştir. İkinci tasarım, 23.3°C 'ye ulaşarak birinci tasarımdan 2.4°C daha fazladır. Çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı ise 24.2°C 'ye ulaşarak bu bölgede en yüksek sıcaklığı sağlamıştır.



Şekil 4.11 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü baş bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

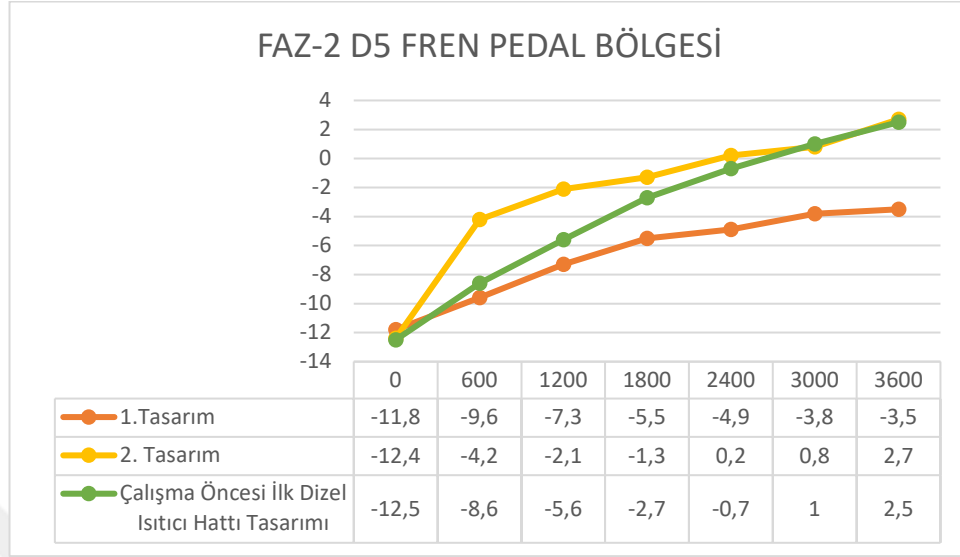
Şekil 4.12’de Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 14.4°C’ye ulaşarak bu bölgedeki en düşük performansı göstermiştir. İkinci tasarım, 18°C’ye ulaşarak en yüksek sıcaklık artışı sağlamıştır. Çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı ise 17.5°C ile 0.5°C ikinci tasarımın gerisinde kalmıştır.



Şekil 4.12 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

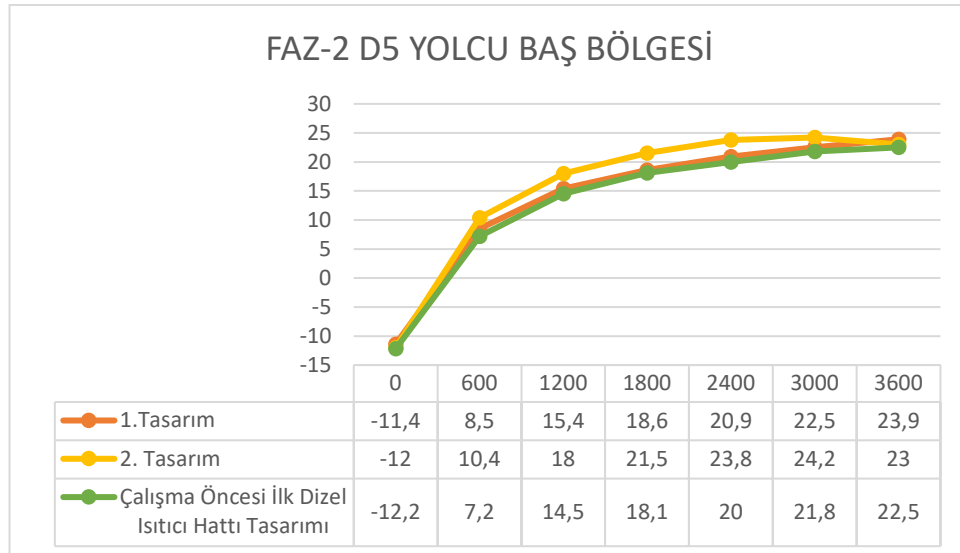
Şekil 4.13’de Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre fren pedal bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, son sıcaklık değeri -3.5°C olmuştur. İkinci tasarım, 2.7°C’ye ulaşarak en yüksek sıcaklık artışı sağlamış ve bu bölgede en

iyi performansı sergilemiştir. Çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı, 2.5°C ile ikinci tasarımdan 0.5°C daha düşük bir sonuç elde etmiştir.



Şekil 4.13 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre fren pedal bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

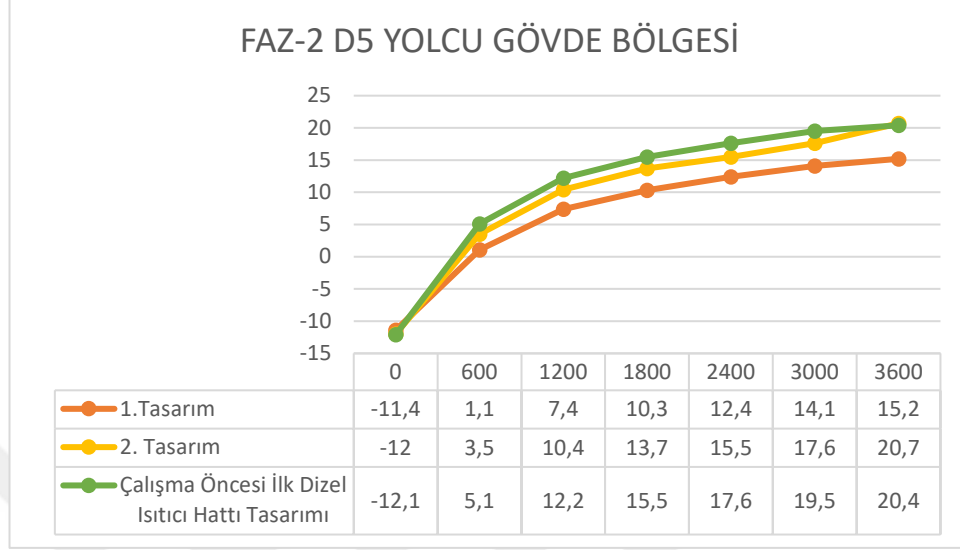
Şekil 4.14’de Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu baş bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 23.9°C’ye ulaşarak bu bölgedeki en yüksek performansı göstermiştir. İkinci tasarım, 23°C’ye ulaşarak 0.9°C daha düşük performans göstermiştir. Çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı ise 22.5°C ile en düşük performans sergilemiştir.



Şekil 4.14 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu baş bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

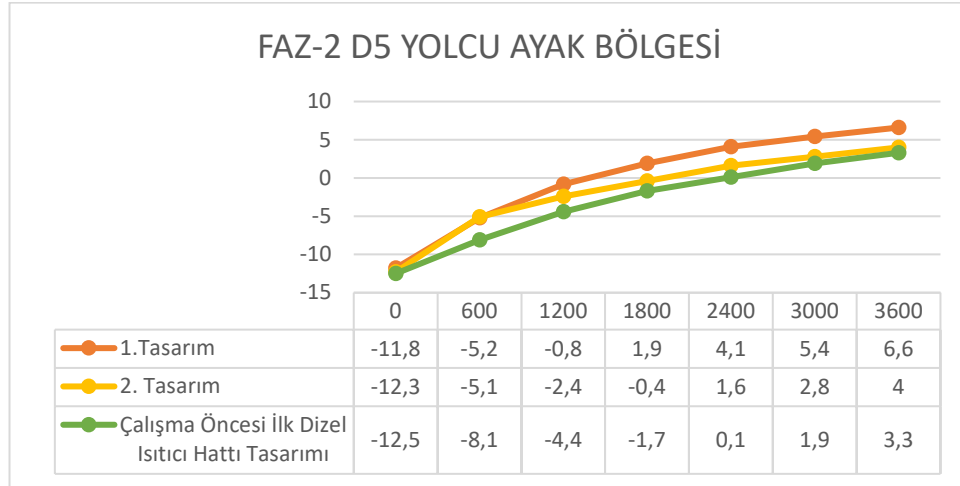
Şekil 4.15’de Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 15.2°C’ye ulaşarak en

düşük bir performans sergilemiştir. İkinci tasarım ise 20.7°C'ye ulaşarak bu bölgedeki en iyi sonuçları vermiştir. Çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı, 20.4°C ile ikinci tasarıma yakın bir performans göstermiştir.



Şekil 4.15 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu gövde bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

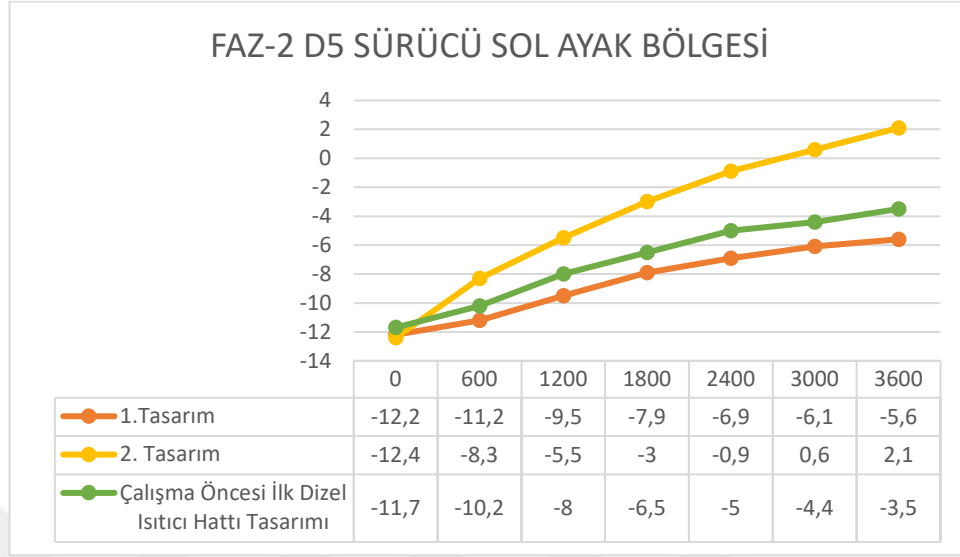
Şekil 4.16'da Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, 6.6°C'ye ulaşarak en yüksek düzeyde performans sergilemiştir. İkinci tasarım 4°C ile 2.6 °C daha düşük bir sıcaklık olmuş çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı 3.3°C ile en düşük sıcaklığı sağlamıştır.



Şekil 4.16 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre yolcu ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği.

Şekil 4.17'de Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü sol ayak bölgesinin sıcaklık(°C)-zaman (sn) grafiği verilmiştir. Birinci tasarım, -5.6°C'ye ulaşarak en düşük performansı sergilemiştir. İkinci tasarım ise 2.1°C'ye ulaşarak bu bölgedeki en

iyi performansı göstermiştir. Çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı, -3.5°C ile ikinci tasarımın 5.7 gerisinde kalmıştır.



Şekil 4.17 : Faz-2 D5 aracının tasarımlara göre sürücü sol ayak bölgesinin sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)-zaman (sn) grafiği.

Genel olarak, FAZ-2 D5 bölgesindeki analizler, 2. Tasarımın sıcaklık artış hızında daha yüksek bir performans sergileyerek en yüksek son sıcaklık değerlerine ulaştığını göstermektedir. Ayrıca, tabana yakın konfor bölgelerinde de en iyi sonucu elde etmiştir. 1. Tasarım ise daha dengeli bir sıcaklık artışı sağlamış ve taban bölgelerinde, 2. Tasarıma yakın ancak biraz daha düşük sıcaklık değerlerine ulaşmıştır. Çalışma Öncesi İlk Dizel Isıtıcı Hattı Tasarımı, aracın tavan bölgesine yakın bazı alanlarda yüksek sıcaklıklar sunmasına rağmen, taban bölgesindeki konfor bölgelerinde istikrarlı bir performans gösterememiştir. Bu analizler doğrultusunda, en iyi performansı sağlayan tasarım 2. Tasarım olduğu görülmüştür. Hatların ayrılması, taban bölgesindeki konforu artırırken, tavan tarafındaki bazı konfor bölgelerinde bu iyileşme sağlanamamıştır. Bunun nedeni, yeni tasarımda taban tarafında iki menfez bulunması ve üst taraftan ayrılan sıcak havanın bölünmesidir.

Şekil 4.18’de Dizel Isıtıcıya Sahip Faz-2 D-5’in çalışma öncesi ilk PTC ısıtıcı hattı tasarımı, Tasarım 1 ve Tasarım 2 için son sıcaklık (3600 saniye) ve ilk sıcaklık (0 saniye) farkı (Δt)-Lokasyon bazlı grafik oluşturulup test verilerine yer verilmiştir.



Şekil 4.18 : Faz-2 D5 Aracının Farklı Tasarımlara Göre ΔT Sıcaklık Değişimi- Lokasyon Bazlı Grafiği.

Test sonuçlarına göre yolcu baş ve yolcu ayak bölgelerinde en yüksek sıcaklık farkı (Δt) 1. Tasarıma sahip sistemde elde edildiği gözlemlenmiştir. Sürücü gövde, fren pedal ortam, yolcu baş, yolcu gövde, sürücü sol ayak, sürücü üfleç ve yolcu üfleç bölgelerinde en yüksek sıcaklık farkı (Δt) 2. Tasarıma sahip sistemde elde edildiği gözlemlenmiştir. Sadece sürücü baş bölgesinde çalışma öncesi ilk dizel ısıtıcı hattı tasarımı en yüksek sıcaklık farkı (Δt) sağladığı anlaşılmıştır. Bunun sonucunda en fazla sayıda en yüksek sıcaklık farkı (Δt)' ye sahip 2. Tasarım olmuştur.

BÖLÜM 5. TEORİK ÇALIŞMA

Bu kısımda çalışmanın konusuna dayalı teorik olarak hesaplamalara yer verilmiştir. Teorik olarak araç kabin tabanında Fiber Takviyeli Polimerler (FRP) malzeme yerine cam elyaf kullanımına bağlı geliştirme yapılmıştır. Fiber Takviyeli Polimerler (FRP), yüksek dayanıklılık ve hafiflik sağlayan bir tür kompozit malzemedir. FRP'ler, genellikle inşaat, otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde yapısal güçlendirme ve korozyon direnci sağlamak amacıyla kullanılır. Geleneksel malzemelere kıyasla daha az bakım gerektirmeleri ve uzun ömürlü olmaları, FRP'leri maliyet etkin bir seçenek haline getirir[44]. Cam elyaf, ısı yalıtımı sağlayan kompozit malzemelerin üretiminde önemli bir bileşen olarak kullanılır. Cam elyaf, düşük ısı iletkenliği ve yüksek ısı yalıtımı özellikleri ile tanınır[45].

Bu konuda ısı iletim kanunu üzerinden gidilmiştir.

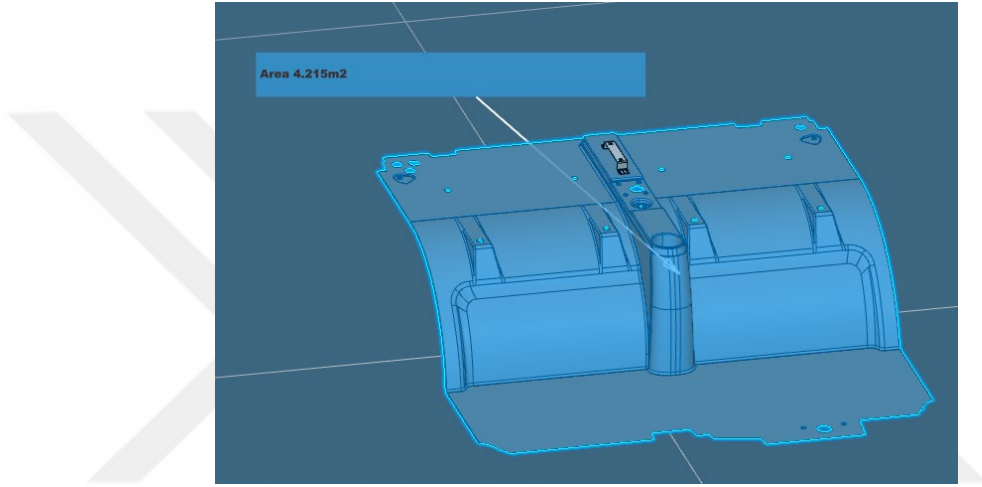
ΔT sıcaklık değişimidir, $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ test odası sıcaklığı, $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ araç içi istenilen sıcaklık olduğu için iç ve dış sıcaklık farkı (ΔT) $+34^{\circ}\text{C}$ 'dir.

$$\Delta T = 34^{\circ}\text{C}$$

Tanyeri ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre,

- ' $h(i)$ ' iç ortam ısı taşınım katsayısı (Wm^2/K),
- ' $h(o)$ ' dış ortam ısı taşınım katsayısı (Wm^2/K),
- ' v ' hız (m/s),
- ' k ' ısı iletim katsayısı (W/m^2),
- ' $k(\text{FRP})$ FRP' nin ısı iletim katsayısı (W/m^2),
- ' $k(\text{CE})$ ' Cam elyafın ısı iletim katsayısı (W/m^2),
- ' L ' kullanılacak malzemenin kalınlığı (m),
- ' A ' kullanılacak malzemenin yüzey alanını ifade etmektedir (m^2),
- ' q ' ısı akısı (W/m^2),
- ' $\dot{V}$ ' ısı iletim değeri (W),
- ' n ' alt indis.

Araç durağan olduğu varsayıldığı için iç ve dış hava hızı(v)=0 m/s'dir. İç ve dış ortam ısı taşınım katsayısı sıfır olduğu için v değeri yerine 0 koyar isek, $h(i)= 9+ 3.5v^{0.66}$ ve $h(o)= 9+ 3.5v^{0.66}= 9 \text{ Wm}^2/\text{K}$ 'dir [46]. Çalışmamızda kabin altı taban malzemesi ilk olarak FRP kullanılmıştır, kullanılan FRP'nin ısı iletim katsayısı $k(\text{FRP})=0.325 \text{ W/m}^2$ 'dir [47, 48]. FRP yerine geliştirme amaçlı kullanılması önerilen malzeme cam elyafıdır. Cam elyafın ısı iletim katsayısı $k(\text{CE})=0.040 \text{ W/m}^2$ 'dir. $L= 0.03 \text{ m}$ 'dir. Yüzey alanı $A=4.228 \text{ m}^2$ 'dir. Kabin tabanında kullanılan parçanın görseli Şekil 5.1' de belirtilmiştir.



Şekil 5.1 : Kabin tabanında kullanılan parça.

$$q = \left(\frac{\Delta T}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}} \right) \quad (5.1)$$

$$(W/m^2) \times A(m^2) = \dot{V}(W) \quad (5.2)$$

5.1 numaralı kombine ısı geçiş denklemidir. 5.1 numaralı denkleme değerler yazılarak 5.2 numaralı ısı transferi denkleminden FRP malzemenin ısı iletim değeri $\dot{V}_{(\text{FRP})} 456\text{W}$ ve cam elyaf malzemenin ısı iletim değeri $Q_{(\text{CE})} 148\text{W}$ bulunmuştur.

$$\dot{V}(\text{fark}) = Q(\text{FRP}) - Q(\text{CE}) \quad (5.3)$$

5.2 numaralı denklemden bulunan ısı iletim $\dot{V}$ değerleri 5.3 numaralı enerji farkı denklemine yazılarak, ısı iletim farkı değeri $\dot{V}_{(\text{fark})}=308\text{W}$ olarak bulunmuştur.

$$\dot{V}_{(n)} \left(\frac{m^3}{s} \right) = v \left(\frac{m}{s} \right) \times A(m^2) \quad (5.4)$$

5.4 numaralı hacimsel debi denklemidir. 5.4 numaralı denkleme testte elde edilen 4 tane üflecin hız 'v' değeri ve yüzey alanı 'A' değeri yazılarak ayrı ayrı hacimsel debi değerleri $Q_{(n)}$ 'ler bulunmuştur.

$$\dot{m}_{(n)} \left(\frac{kg}{s} \right) = \rho_{(n)} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times \dot{V}_{(n)} \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad (5.5)$$

5.5 numaralı kütleli debi denklemidir. 5.5 numaralı denkleme 5.4 numaralı denklemden bulunan üfleçlerden çıkan havanın debi $\dot{Q}_{(n)}$ değerleri ve yoğunluk $\rho_{(n)}$ değerleri yerine yazılarak kütleli debi, $\dot{m}_{(n)}$ değerleri bulunmuştur. Yerine yazılan $\rho_{(n)}$ değerleri Ek A Sabit Basıncıta Hava-Özgöl Isı ve Sıcaklık tablosundan °C cinsinden bakılarak °C-k_g/m³ değerleri bulunmuştur [49].

$$\dot{m}_{(t)} = \sum_{i=0}^4 \dot{m}_{(n)} \quad (5.6)$$

5.6 numaralı toplam kütleli debi denklemidir. 5.6 numaralı denkleme üfleçlerden çıkan kütle akış hızları $\dot{m}_{(n)}$ değerleri yazılarak, $\dot{m}_{(t)}$ değeri bulunmaktadır.

$$Cp_{(ort)} = \frac{\sum_{i=0}^4 Cp_{(n)}}{4} \quad (5.7)$$

5.7 numaralı ortalama ısı kapasitesi denklemidir. 5.7 numaralı denklemden $Cp_{(n)}$ değerleri yazılarak $Cp_{(ort)}$ değeri bulunmuştur. $Cp_{(n)}$ değerleri sabit basınçta havanın özgül ısıdır, Ek B Hava Yoğunluğu, Özgöl Ağırlık ve Isıl Genleşme Katsayısı - Sıcaklık ve Basınç grafiğinde °C cinsinden sıcaklık değerlerine bakılarak °C-k_j/kg K° değerleri bulunmuştur [50].

$$\Delta t = \frac{\dot{V}_{(fark)}}{\dot{m}_{(t)} \times Cp_{(ort)}} \quad (5.8)$$

5.8 numaralı ısı transferi (sıcaklık değişimi) denklemidir. 5.8 numaralı denklem elde edilmesi için, 5.3, 5.5 ve 5.7 numaralı denklemlerde yer alan değerler her opsiyon ve araç için yerine yazılmıştır. Eğer FRP malzeme yerine cam elyaf malzeme kullanılsaydı, kabin içindeki sıcaklığın ΔT kadar daha fazla artacağı hesaplanmıştır. Bu sonuç, kabin içerisindeki ısı performansın malzeme seçimine bağlı olarak nasıl değişebileceğini göstermektedir [19]. Bu değerler tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. FRP malzeme yerine cam elyaf kullanımı sonucunda kabinin Δt değeri kadar fazla ısıtma değerleri.

Tasarım ve Araç Numarası	Tasarım 1 Faz-2 P3	Tasarım 2 Faz-2 P3	Tasarım 1 Faz-2 D-5	Tasarım 2 Faz-2 D-5
Δt Değeri	14.9 °C	13.3 °C	17.9°C	16.6°C

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bu bölümde, çalışmada elde edilen bulgular analiz edilerek mevcut sistemlerin performansı değerlendirilmiş ve iyileştirme önerileri sunulmuştur. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, hafif ticari tip elektrikli araçların kabin içi ısıtma sistemlerinin enerji verimliliği ve ısı konfor performansı üzerindeki etkileri detaylı şekilde ele alınmıştır. Çalışmada, iki farklı tasarım yaklaşımlarının değerlendirilmesi sonucu, sistemin mevcut eksiklikleri ortaya koyulmuş ve iyileştirilmesi gereken noktalar belirlenmiştir. Deneysel veriler, araç içi sıcaklık dağılımındaki homojenlik, enerji tüketimi ve sistem performansı açısından kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Aynı zamanda, teorik analizler aracılığıyla malzeme seçimlerinin ve izolasyon stratejilerinin sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, sonuçlar hem mühendislik analizlerine hem de laboratuvar ortamında yapılan testlere dayanarak ortaya konmuş ve mevcut ısıtma sistemlerinin iyileştirilmesi için öneriler geliştirilmiştir. Aşağıdaki alt bölümlerde, deneysel ve teorik çalışmaların detaylı sonuçları ve öneriler ele alınmaktadır.

6.1. Deneysel ve Teorik Sonuçlar

Bu bölümde dizel ve elektrikli ısıtıcı bulunan Faz 2 D-5 ve P-3'ün 1. Tasarım ve 2. Tasarım dahilinde kıyaslanmasına yer verilmiştir. Sonuç olarak, yapılan testler her bir tasarımın kendine özgü güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koymuştur. 1. tasarım, belirli lokasyonlar da en yüksek sıcaklık farkını sağlarken, kabin içi konfor açısından diğer tasarımlardan daha başarılı olmuştur. Ancak, enerji verimliliği açısından 2. tasarım daha avantajlı bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları, her iki tasarımın da farklı ihtiyaçlara göre uyarlanabileceğini göstermiştir; 1. tasarım, kabin içi konforun öncelikli olduğu durumlarda tercih edilebilirken, 2. tasarım daha düşük enerji tüketimi gerektiğinde daha uygun bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Test verileri göz önünde bulundurulduğunda, çalışma öncesi ilk tasarım referans alındığında, PTC ısıtıcılı araç için 1. tasarımda ölçülen sıcaklık değişimleri (ΔT), lokasyonlara göre ortalama %19 daha yüksektir. Dizel ısıtıcılı araçta ise bu durumda, 2. tasarımdaki

sıcaklık değişimleri (ΔT) lokasyonlara göre oranlandığında ortalama %11 daha yüksek çıkmaktadır.

Bu çalışma uygulaması sonucunda ısıtma sisteminin geliştirme amaçlı Faz-2 P3' ün 1. Tasarım kullanılması gerekli iken Faz-2 D5' in 2. Tasarım kullanılmalıdır. Sonuç olarak, araç içi ısıtma sisteminin verimli çalışabilmesi için yalnızca ısıtıcı türünün değil, aynı zamanda tasarım konfigürasyonu ve izolasyon uygulamalarının da dikkate alınması gerekmektedir. Teorik çalışmada bunu göstermiştir.

Teorik çalışma incelendiğinde eğer FRP malzeme yerine cam elyaf malzeme kullanılsaydı, kabin içindeki sıcaklığın ortalama 15.7 °C kadar daha fazla artacağı hesaplanmıştır.

6.2. Öneriler

Araştırma sonucunda talep edilen sıcaklık değerlerine ulaşmak için yalnızca Tasarım 1 veya Tasarım 2 çalışması yeterli değildir. Bu çalışmalara ek olarak izolasyon çalışmasında yer almalıdır. İleriye dönük olarak, kabin yalıtım malzemelerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilebilir. Tasarımsal olarak farklı opsiyonlar tercih edilebilir ve ısı kaynakları değiştirilebilir veya fan hızı ve optimizasyonları geliştirilebilir. Çeşitli yapay zekâ uygulamaları ile ısı konforu artırılmaları sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Alahmer, A., Omar, M. (2013). Vehicular cabins thermal comfort zones: Fanger and Berkeley modeling. *Vehicle Engineering (VE)*, 1(1), 1-10.
- [2] Pala, Ü., Öz, R. (2015). An investigation of thermal comfort inside a bus during the heating period within a climatic chamber. *Applied Ergonomics*, 48, 164-176.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.11.014>
- [3] Ünal, Ş. (2017). An experimental study on a bus air conditioner to determine its conformity to design and comfort conditions. *Journal of Thermal Engineering*, 3, 1089-1101.
<https://doi.org/10.18186/thermal.277288>
- [4] Uçan, B. (2022). *Elektrikli araçlarda ısıtma ve soğutma durumlarında enerji yönetimi* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [5] Bayram, H. (2019). *Elektrikli taşıtlar için iklimlendirme sistemleri* (Doktora Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [6] Sayaral, G. (2019). *Hafif raylı taşıtlarda modül tasarımının iç ortam hız ve sıcaklık dağılımına etkisinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [7] Chiriac, G., Lucache, D., Nitjuca, C., Dragomir, C., & Ramakrishna, S. (2021). Electric bus indoor heat balance in cold weather. *MDPI*, 11(24), 1761.
<https://doi.org/10.3390/app112411761>
- [8] Edwards, N. J., Widrick, R., Wilmes, J., Breisch, B., Gerscheffs, M., Sullivan, J., Potember, R., & Espinoza-Calvio, A. (2021). Reducing COVID-19 airborne transmission risks on public transportation buses: An empirical study on aerosol dispersion and control. *Aerosol Science and Technology*, 55(12), 1378-1397.
<https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1966376>
- [9] Büyükalca, O., Yılmaz, T., Ünal, Ş., Cihan, E., & Hürdoğan, E. (2011, May 16-18). Işınım Zaman Serisi (RTS) yöntemi ile bir otobüsün soğutma yükünün hesaplanması. *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ.
- [10] Lin, T. P., Huang, K. T., Hwang, R. L., & Sun, C. Y. (2009). Passenger thermal perceptions, thermal comfort requirements, and adaptations in short- and long-haul vehicles. *International Journal of Biometeorology*, 54, 221-230. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0273-9>
- [11] Gönlich, D., Ly, T., Kunith, A., & Jefferies, D. (2015, May 3-6). Economic assessment of different air-conditioning and heating systems for electric city buses based on comprehensive energetic simulations. *World Electric Vehicle Journal*, Korea.
- [12] Mezarcıöz, S., & Akıllı, H. (2020). Calculation of heat transfer from the bottom of a coach to the passenger compartment. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 10, 83-90.
- [13] Valıyev, E. (2021). *Otobüs hava kanalları tasarımı ve hava akış analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- [14] Pala, Ü. (2020). Investigation of thermal comfort for bus passengers during a cooling test inside a climatic chamber. *Journal of Polytechnic*, 23, 547-555. <https://doi.org/10.2339/politeknik.608597>
- [15] Feng, L., & Hrnjak, P. (2016). Experimental study of an air conditioning-heat pump system for electric vehicles. *SAE Technical Paper*, 2016-01-0257.
- [16] Cai, Z., Al Farque, M. A., Kiziltas, A., Mielewski, D., & Naebe, M. (2021). Sustainable lightweight insulation materials from textile-based waste for the automobile industry. *Materials*, 14(5), 1241.
- [17] Rajadurai, S. S., & Ananth, S. (2019). Heat shield insulation for thermal challenges in automotive exhaust system. *SAE Technical Paper*, 2019-28-2539. <https://doi.org/10.4271/2019-28-2539>
- [18] Blaga, P., & Căşeriu, B. (2022). Automotive comfort: State of the art and challenges. *The 16th International Conference Interdisciplinarity in Engineering*, 375-387.
- [19] Park, M. H., & Kim, S. C. (2019). Heating performance enhancement of high capacity PTC heater with modified louver fin for electric vehicles. *Energies*, 12(15), 2900. <https://doi.org/10.3390/en12152900>
- [20] Kim, K. Y., Kim, S. C., & Kim, M. S. (2012). Experimental studies on the heating performance of the PTC heater and heat pump combined system in fuel cells and electric vehicles. *International Journal of Automotive Technology*, 13(6), 971-977. <https://doi.org/10.1007/s12239-012-0099-z>
- [21] Bakhouya, M., Ouladsine, M., & El Bakkali, K. (2020). Thermal management of battery electric vehicles: A survey and perspective. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 12(1), 013301. <https://doi.org/10.1063/1.5140666>
- [22] Kim, Y., Zhou, Y., Schiavon, S., Raferya, P., & Brager, G. (2019). Machine learning-based personal thermal comfort model for electric vehicles with local infrared radiant warmers. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(12), 3577-3584. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-1148-1>
- [23] Tan, Y., Peng, J., Wang, M., et al. (2023). Comfort assessment and energy performance analysis of a novel adjustable semi-transparent photovoltaic window under different rule-based controls. *Building Simulation*, 16, 2343-2361.
- [24] Wirth, S., Eimler, M., & Niebling, F. (2020). Thermal insulation of the passenger cabin of electric vehicles. *ATZ Worldwide*, 115(46), 46-51.
- [25] Hemaida, A., Ghosh, A., Sundaram, S., et al. (2020). Evaluation of thermal performance for a smart switchable adaptive polymer dispersed liquid crystal (PDLC) glazing. *Solar Energy*, 195, 185-193.
- [26] Johnson, M. T., Taylor, G. R., & Huang, Z. (2021). The impact of battery thermal management systems on electric vehicle range. *Journal of Energy Storage*, 45, 102132.
- [27] Kim, S. W., Park, H. Y., & Choi, J. (2019). Thermal comfort and energy consumption in electric vehicles: A comparative study. *International Journal of Automotive Science*, 10(3), 211-225.

- [28] Lee, D. K., Seo, J. M., & Han, S. H. (2020). Optimizing HVAC systems for energy efficiency in electric vehicles. *Automotive HVAC and Cooling Journal*, 28(2), 117-129.
- [29] Brown, A. J., Thomas, R. L., & Miller, C. S. (2020). Comparing liquid and air-cooled battery thermal management systems for electric vehicles. *Energy and Transportation Journal*, 35(4), 251-263.
- [30] Singh, V., Patel, R., & Kumar, A. (2018). Thermal management strategies for electric vehicle batteries: Impact on efficiency and range. *Journal of Power Sources*, 398, 76-85.
- [31] Miller, J. T., Chen, Y., & Wang, H. (2021). Energy consumption and thermal comfort of PTC heaters in electric vehicles. *Journal of Thermal Science and Engineering*, 29(3), 112-125.
- [32] Garcia, P. M., Lopez, J. M., & Rodriguez, L. F. (2020). Diesel heaters in commercial vehicles: Thermal efficiency and environmental impact. *Energy and Transport Research*, 17(2), 85-98.
- [33] Chang, S. H., Lee, K. Y., & Park, J. (2019). HVAC systems in electric vehicles: Optimizing airflow models for energy efficiency. *International Journal of Automotive Technology*, 20(4), 432-445.
- [34] Smith, R. J., Patel, G. M., & Johnson, H. T. (2020). The impact of cabin insulation on the performance of PTC heaters in electric vehicles. *Journal of Vehicle Energy Systems*, 45(3), 98-110.
- [35] Wang, X., Liu, Y., & Zhang, D. (2021). The role of insulation in HVAC systems: Improving energy efficiency in electric vehicles. *Journal of Sustainable Automotive Engineering*, 18(4), 203-215.
- [36] Lopez, F., Hernandez, M. T., & Ramos, L. (2019). Diesel heaters and cabin insulation: Reducing fuel consumption in commercial vehicles. *Fuel Efficiency and Thermal Comfort Journal*, 31(2), 75-87.
- [37] Alkan, A. (2007). *Çeşitli tiplerde kompresör ve genleşme elemanı kullanan bir otomobil iklimlendirme sisteminin karşılaştırmalı deneysel analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- [38] Mamur, F. (2023). *Hava araçlarının dışındaki anten akış düzenleyici kapaklarının aerodinamik parametrelerinin araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- [39] Borlease Otomotiv A.Ş. (2022, May 15). Ticari araç nedir? Hafif ticari araç ile farkları. Borlease, <https://borlease.com.tr>
- [40] Atmaca, İ. (2015, April 8-11). Şehirlerarası otobüslerde havalandırma ve iç hava kalitesi. *TESKON 2015 / İç Çevre Kalitesi Seminerleri*, İzmir, 195-214.
- [41] Eren, H. (2018). *Yolcu taşımacılığı yapan araçlarda ısıtma sisteminin tasarımı, imalatı ve performans deneylerinin yapılması* (Doktora Tezi). Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın. <https://doi.org/10.3390/ma14051241>
- [42] STEST(2024, 27 Mayıs). ECE R10 Testi. <https://stest.com.tr/ec-r10-testi/>
- [43] Mete Kauçuk(2024, 27 Mayıs). Kraft Hortumlar. <https://www.metekaucuk.com/kraft-hortumlar>
- [44] Aydın, N., & Eroğlu, T. (2022). Fiber Takviyeli Polimer (FRP) Kompozit Malzemelerin Yapısal Özellikleri ve Uygulama Alanları. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 36(2), 157-169.

- [45] Sharma, S., & Gupta, R. (2020). Thermal insulation properties of glass fiber reinforced composites. *International Journal of Thermal Sciences*, 156, 200-212.
- [46] Tanyeri, M. N., & Başlamışlı, S. Ç. (2020). Prediction of the annual heat load of an articulated electric urban bus, *Journal of Thermal Science and Technology*. <https://doi.org/10.1300-3615>
- [47] Foshan ZXC New Material Technology Co., Ltd. (2024, 11 Eylül)- FRP Flat Sheet, <https://www.roofingsheetsupplier.com/>
- [48] Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2014). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications (6th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- [49] The Engineering ToolBox (2024, 9 Eylül) Air - Specific Heat vs. Temperature at Constant Pressure.
https://www.engineeringtoolbox.com/air-specific-heat-capacity-d_705.html
- [50] The Engineering ToolBox (2024, 9 Eylül). Air - Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficient vs. Temperature and Pressure
https://www.engineeringtoolbox.com/air-density-specific-weight-d_600.html

EKLER

EK A: Sabit Basıncıta Hava-Özgül Isı ve Sıcaklık Tablosu.

Air - Specific Heat vs. Temperature at Constant Pressure													
Temperature			Isochoric specific heat (Cv)					Isobaric specific heat (Cp)					Cp/Cv
[K]	[°C]	[°F]	[kJ/mol K]	[kJ/kg K]	[kWh/(kg K)]	[kcal(IT)/(kg K)] [Btu(IT)/lb °F]	[kcal(IT)/(lb °F)]	[kJ/mol K]	[kJ/kg K]	[(kW h)/(kg K)]	[kcal(IT)/(kg K)] [Btu(IT)/lb °F]	[kcal(IT)/(lb °F)]	[-]
60	-213	-352	0.03398	1.173	0.0003258	0.2802	0.2287	0.05506	1.901	0.000528	0.45405	0.37071	1.621
78.79	-194	-318	0.03044	1.051	0.0002919	0.2510	0.2050	0.05599	1.933	0.000537	0.46169	0.37695	1.839
81.61	-192	-313	0.02172	0.7500	0.0002083	0.1791	0.1463	0.03154	1.089	0.000303	0.26010	0.21237	1.452
100	-173	-280	0.02109	0.7280	0.0002022	0.1739	0.1420	0.03012	1.040	0.000289	0.24833	0.20276	1.428
120	-153	-244	0.02093	0.7225	0.0002007	0.1726	0.1406	0.02953	1.022	0.000283	0.24350	0.19930	1.415
140	-133	-208	0.02081	0.7184	0.0001996	0.1716	0.1401	0.02937	1.014	0.000282	0.24219	0.19774	1.411
160	-113	-172	0.02077	0.7172	0.0001992	0.1713	0.1399	0.02928	1.011	0.000281	0.24147	0.19716	1.410
180	-93.2	-136	0.02076	0.7166	0.0001991	0.1712	0.1397	0.02920	1.008	0.000280	0.24076	0.19657	1.407
200	-73.2	-99.7	0.02075	0.7163	0.0001990	0.1711	0.1397	0.02917	1.007	0.000280	0.24052	0.19638	1.406
220	-53.2	-63.7	0.02075	0.7163	0.0001990	0.1711	0.1397	0.02914	1.006	0.000279	0.24028	0.19618	1.404
240	-33.2	-27.7	0.02075	0.7164	0.0001990	0.1711	0.1397	0.02914	1.006	0.000279	0.24028	0.19618	1.404
260	-13.2	8.3	0.02076	0.7168	0.0001991	0.1712	0.1398	0.02914	1.006	0.000279	0.24028	0.19618	1.403
273.2	0.0	32.0	0.02077	0.7171	0.0001992	0.1713	0.1398	0.02914	1.006	0.000279	0.24028	0.19618	1.403
280	6.9	44.3	0.02078	0.7173	0.0001993	0.1713	0.1399	0.02914	1.006	0.000279	0.24028	0.19618	1.402
288.7	15.6	60.0	0.02078	0.7175	0.0001993	0.1714	0.1399	0.02914	1.006	0.000279	0.24030	0.19620	1.402
300	26.9	80.3	0.02080	0.7180	0.0001994	0.1715	0.1400	0.02915	1.006	0.000280	0.24036	0.19625	1.402
320	46.9	116	0.02083	0.7192	0.0001998	0.1718	0.1403	0.02917	1.007	0.000280	0.24052	0.19638	1.400
340	66.9	152	0.02087	0.7206	0.0002002	0.1721	0.1405	0.02923	1.009	0.000280	0.24100	0.19677	1.400
360	86.9	188	0.02092	0.7223	0.0002006	0.1725	0.1409	0.02926	1.010	0.000281	0.24123	0.19696	1.398
380	107	224	0.02098	0.7243	0.0002012	0.1730	0.1412	0.02931	1.012	0.000281	0.24171	0.19735	1.397
400	127	260	0.02105	0.7266	0.0002018	0.1735	0.1417	0.02937	1.014	0.000282	0.24219	0.19774	1.396
500	227	440	0.02150	0.7424	0.0002062	0.1773	0.1448	0.02983	1.030	0.000286	0.24597	0.20083	1.387
600	327	620	0.02213	0.7641	0.0002123	0.1825	0.1490	0.03044	1.051	0.000292	0.25103	0.20496	1.375
700	427	800	0.02282	0.7877	0.0002188	0.1881	0.1536	0.03114	1.075	0.000299	0.25675	0.20963	1.365
800	527	980	0.02351	0.8117	0.0002255	0.1939	0.1583	0.03183	1.099	0.000305	0.26249	0.21432	1.354
900	627	1160	0.02415	0.8338	0.0002316	0.1991	0.1626	0.03247	1.121	0.000311	0.26772	0.21858	1.344
1100	827	1520	0.02525	0.8716	0.0002421	0.2082	0.1700	0.03356	1.159	0.000322	0.27675	0.22596	1.329
1500	1227	2240	0.02673	0.9230	0.0002564	0.2204	0.1800	0.03505	1.210	0.000336	0.28901	0.23597	1.311
1900	1627	2960	0.02762	0.9535	0.0002649	0.2277	0.1859	0.03593	1.241	0.000345	0.29631	0.24193	1.301

Ek B: Hava Yoğunluğu, Özgül Ağırlık ve Isıl Genleşme Katsayısı - Sıcaklık ve Basınç Tablosu.

Air - Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficient vs. Temperature and Pressure							
Temperature	Density				Specific weight		Thermal expansion coefficient
[°C]	[kg/m ³]	[lb _m /ft ³]	[sl/ft ³ *10 ⁻³]	[lb _m /gal(US liq)]	[N/m ³]	[lb _f /ft ³]	[x10 ⁻³ K ⁻¹]
-75	1.783	0.1113	3.460	0.01488	17.49	0.11131	5.14
-50	1.582	0.0988	3.070	0.01320	15.52	0.09878	4.55
-25	1.422	0.0888	2.759	0.01187	13.94	0.08877	4.08
-15	1.367	0.0853	2.652	0.01141	13.40	0.08532	3.92
-10	1.341	0.0837	2.601	0.01119	13.15	0.08370	3.84
-5	1.316	0.0821	2.553	0.01098	12.90	0.08214	3.76
0	1.292	0.0806	2.506	0.01078	12.67	0.08063	3.69
5	1.268	0.0792	2.461	0.01059	12.44	0.07919	3.62
10	1.246	0.0778	2.418	0.01040	12.22	0.07780	3.56
15	1.225	0.0765	2.376	0.01022	12.01	0.07645	3.50
20	1.204	0.0752	2.336	0.01005	11.81	0.07516	3.43
25	1.184	0.0739	2.297	0.00988	11.61	0.07390	3.38
30	1.164	0.0727	2.259	0.00972	11.42	0.07269	3.32
40	1.127	0.0704	2.188	0.00941	11.06	0.07039	3.21
50	1.093	0.0682	2.120	0.00912	10.72	0.06822	3.12
60	1.060	0.0662	2.057	0.00885	10.40	0.06619	3.02
80	1.000	0.0625	1.941	0.00835	9.81	0.06245	2.85
100	0.9467	0.0591	1.837	0.00790	9.28	0.05910	2.70
125	0.8868	0.0554	1.721	0.00740	8.70	0.05536	2.51
150	0.8338	0.0521	1.618	0.00696	8.18	0.05206	2.33
175	0.7868	0.0491	1.527	0.00657	7.72	0.04912	2.22
200	0.7451	0.0465	1.446	0.00622	7.31	0.04651	2.10
225	0.7078	0.0442	1.373	0.00591	6.94	0.04419	2.01
300	0.6168	0.0385	1.197	0.00515	6.05	0.03850	1.76
400	0.5238	0.0327	1.016	0.00437	5.14	0.03270	1.52
500	0.4567	0.0285	0.886	0.00381	4.48	0.02851	1.32
600	0.4043	0.0252	0.784	0.00337	3.96	0.02524	1.16
700	0.3626	0.0226	0.704	0.00303	3.56	0.02264	1.03
800	0.3289	0.0205	0.638	0.00274	3.23	0.02053	0.94
900	0.3009	0.0188	0.584	0.00251	2.95	0.01879	0.86
1000	0.2773	0.0173	0.538	0.00231	2.72	0.01731	0.80
1100	0.2571	0.0160	0.499	0.00215	2.52	0.01605	0.75