



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

YOLCU TAŞIMACILIĞI YAPAN ARAÇLARDA İŞİNİMLA ISITMA
SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS DENEYLERİNİN
YAPILMASI

HAZIRLAYAN

HAYRİ EREN

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ VOLKAN KIRMACI

BARTIN-2018



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YOLCU TAŞIMACILIĞI YAPAN ARAÇLARDA İŞİNIMLA ISITMA
SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS DENEYLERİNİN
YAPILMASI

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN

Hayri EREN

JÜRİ ÜYELERİ

- Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Volkan KIRMACI - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof.Dr. Mehmet ÖZKAYMAK - Karabük Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. M. Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. Etimat AYVAZOY - Bartın Üniversitesi
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EROL - Dokuz Eylül Üniversitesi

BARTIN-2018

KABUL VE ONAY

Hayri EREN tarafından hazırlanan “YOLCU TAŞIMACILIĞI YAPAN ARAÇLARDA İŞİNİMLA ISITMA SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS DENEYLERİNİN YAPILMASI” başlıklı bu çalışma, 23.11.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Volkan KIRMACI (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Üye : Prof. Dr. M. Sabri GÖK

Üye : Doç. Dr. Etimat AYVAZOY

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EROL

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Volkan KIRMACI danışmanlığında hazırlamış olduğum “YOLCU TAŞIMACILIĞI YAPAN ARAÇLARDA IŞINIMLA ISITMA SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS DENEYLERİNİN YAPILMASI” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

23.11.2018

Hayri EREN

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, uzun yıllar farklı otomotiv şirketinin yurt içi ve yurt dışı arge ofislerinde edinilmiş bilgi birikimlerinin neticesinde ortaya çıkmış ve farklı disiplinlerden araştırmacıların yer aldığı geniş katılımlı bir ekiple yapılan üç yıllık yoğun proje çalışması sonucunda neticelendirilmiştir.

Bu süreçte öncelikle tez danışmanlığımı üstlenen, hemen her konuda yoğun fikir alışverişi yaparak ortak aklı beraber bulduğumuz, araştırma konusunun seçimi ve yürütülmesi sürecinde gerekli her türlü bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Volkan KIRMACI ya içtenlikle teşekkür ederim.

Tezde jüri üyesi olma nezaketini gösteren, çalışma süresince gerektiği her durumda yardım ve önerilerini esirgemeyen ve tezin incelenerek hataların düzeltilmesinde değerli vakitlerini harcayan sayın hocalarım Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK, Prof. Dr. M. Sabri GÖK, Doç. Dr. Etimat AYVAZOY ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EROL 'a teşekkür ederim.

Hem tez konusu projenin belirlenmesi sürecinde hemde yürütülebilmesi için değerli önerilerini esirgemeyen ve proje süresince gerekli olan finansal ve iş gücü desteğini sağlayan, gururla bir parçası olduğum Anadolu Isuzu'nun değerli yöneticilerine ve proje süreçleri süresince değerli yardımlarından faydalandığım Anadolu Isuzu Arge çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez konusu projede kızıl ötesi ısıtıcı tekstiller ile ilgili ihtiyaç duyduğum her türlü teknik destek konusunda yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EROL'a projedeki tüm proje ortaklarına, ve yaptığı yüksek lisans çalışması ile projeye destek olan araştırma görevlisi Sayın Ahmey YAVAŞ'a teşekkür ederim.

Sadece bu çalışmada değil hayatım boyunca her zaman yanımda olan ihtiyacım olduğunda her türlü fikir ve destekleriyle bana destek çıkan tüm aile fertlerim ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yoğun proje sürecinde, kendilerine ayırmam gereken zamandan feragat ederek, tez çalışmamı tamamlayabilmem için belkide en büyük fedakarlığı yapan, tüm oyun oynama iç güdülerine karşı gelip “Sen dersini çalış, bitince berber oynayalım tamam mı babacım?” diyerek sayısız geceler boyunca oyun oynamak için sabırla beni beklerken uyuya kalan 4 yaşındaki canım oğlum Aras’a ve bu süreç boyunca en çok onu ihmal etmek zorunda kaldığım hayat arkadaşım eşime sabır ve desteklerinden ötürü minnettarım.

Tez konusu bu çalışma, Anadolu Isuzu, Bartın Üniversitesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi ve Dokuz Eylül üniversitelerinin birlikte katılımı ile bir SANTEZ projesi olarak Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına sunulmuş, onay almış ve 1010.STZ.2016 proje koduyla desteklenmiştir.

Hayri EREN

ÖZET

Doktora Tezi

YOLCU TAŞIMACILIĞI YAPAN ARAÇLARDA İŞINIMLA ISITMA SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS DENEYLERİNİN YAPILMASI

Hayri EREN

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Volkan KIRMACI

Bartın- 2018, sayfa: 160

Yolcu taşımacılığı yapan araçlarda ısıtma, sıcak haldeki motor soğutma suyunun araç içindeki ısı değiştirgeci görevi gören radyatör peteklerine gönderilmesiyle yapılmaktadır. Kullanılan sistem, motorun soğutulması sırasında elde edilen ısınmış motor soğutma suyunu kullanan bir sistem olmasına karşılık, yeterli performansı sağlayabilmesi için araç motorunun rejime girmiş (belirli bir sıcaklığa kadar ısınmış) olmasını ve aracın her bölgesine borular ve petekler ile sıcak suyun taşınmasını gerektirmektedir. Motor suyunun kış şartlarında ısınmasının çok uzun zaman alması sebebi ile özellikle dizel araçlarda kalorifer sistemine ek olarak yakıtlı ısıtıcı kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da ısıtma sistemi devrede iken araçlarda kullanılan yakıt miktarının ve atmosfere salınan egzoz gazlarının ve bunların çevreye olan olumsuz etkilerinin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca günümüzde çevreci yönüyle ön plana çıkan elektrikli araçların mevcut kalorifer sistemi dikkate alındığında, bu araçlarda motor soğutma suyunu kullanan ısıtma sistemi, içten yanmalı bir motor bulunmaması sebebi ile kullanılabilir bir sistem olarak görünmemektedir. Bu nedenlerle özellikle ticari elektrikli araçların yolcu kabini ısıtılmasında harici yakıtı ihtiyaç duymayan sistemlere veya farklı ısıtma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçlar üzerine geliştirilen tez çalışmasında, belirtilen olumsuzluklar ve etkiler göz

önünde bulundurularak yolcu taşımacılığı yapan taşıtların ısıtma sistemi olarak gücünü elektrik enerjisinden alan, düşük (12-48V) uygulama voltajları altında çalışabilen ve uzak kızıl ötesi ışınım özelliği sayesinde doğrudan yolcuların ve ortamda bulunan nesnelerin ısıtılmasını sağlayan yeni nesil dokuma kumaş ısıtıcıların araçların yolcu kabiniinde ısıtma elemanı olarak kullanımı araştırılmıştır. Uzak kızıl ötesi ısıtma teknolojisi günümüzde saunalarda, geniş alanların ısıtmalarında ve insan sağlığına olan olumlu etkileri sebebi ile medikal alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu projeye, medikal alan dahil birçok farklı alanda kullanımı olan uzak kızıl ötesi ısıtma teknolojisinin elektrikli araçlarda da kullanıma uygun araç kabini ısıtma sistemi olarak tasarımı ve deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlarda ısıtma; ışınım ile ısıtma; infrared ısıtma; far infrared ısıtma; araçlarda infrared ısıtma; araçlarda uzak kızıl ötesi ısıtma

Bilim Kodu: 625.05.02

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DESIGNING, PROTOTYPING AND PERFORMAS TESTING OF RADIANT HEATING SYSTEM ON A PUBLIC TRANSPORT VEHICLE

Hayri EREN

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Volkan KIRMACI

Bartın-2018, pp: 160

Internal combustion engine based vehicles use engine coolant, passing through heating coils as a heating system. The system requires vehicle engine to be warmed up to a certain temperature in order to be able to provide enough heating performance for the vehicle cabin and the passengers. Depending on the weather conditions, warming up the engine coolant may take considerably long time and hence fuel fired heaters, especially for the cold regions are need to be added in to diesel engine cooling circuit to warm-up coolant to a required temperature. This results with an increase on the exhaust emissions left to the atmosphere. As well as an increase on the vehicle fuel consumption. Beside that, since it is almost impossible to equally distribute heating coils in to the vehicle, it is impossible to have a balanced heating performance along the vehicle and this causes different heating comfort between different locations along the vehicle.

On the other hand, electric and vehicles, which are getting more and more popular at every other year, have no internal combustion engine and hence no hot coolant available to be used on heating system. Therefore, technically it is impossible to use the available technology in electric vehicles heating system.

In this study, a new heating methodology for the commercial passenger vehicles is studied which is based on “Far Infrared” heating technology. Far infrared heating is already being used for many areas in daily life like; saunas, large halls, industrial areas and some medical applications due to its positive effect to human body. In this project, far infrared heating technology has been used for vehicle cabin heating which will be fully electrical and will also be an alternative solution for the electric vehicle’s heating.

Key Words: Electric vehicle heating; infrared heating; far infrared heating; noval heating; vehicle infrared heating

Science Code: 625.05.02

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	2
BEYANNAME.....	3
ÖNSÖZ.....	4
ÖZET	6
ABSTRACT	8
İÇİNDEKİLER.....	10
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	20
BÖLÜM 1 GİRİŞ	23
1.1 Literatür Araştırmaları	25
1.1.1 Araç Kabininin Işınım ile Isıtılması	26
1.1.2 Araçlarda Elektrikli Isıtma	30
1.1.3 Karbon Fiber Isıtıcılar	32
1.1.4 Kızıl Ötesi Işınımın Özellikleri	34
1.1.5 Kızıl Ötesi Işınımın Sağlığa Etkileri	34
1.2 Patent Araştırmaları	36
BÖLÜM 2 ARAÇLARDA KALORİFER SİSTEMLERİ	37
2.1 İçten Yanmalı Motora Sahip Araçlarda Kalorifer Sistemleri	37
2.2 Elektrikli Araçlarda Kalorifer Sistemleri.....	42
2.2.1 PTC Isıtıcılar	44
2.2.2 Isı Pompası	46
2.2.3 Manyetokalorik Isıtma	48
2.2.4 Radyant Isıtma	50
2.3 Isı Transfer Mekanizmaları.....	53
2.3.1 İletimle (Kondüksiyonla) Isı Transferi (Geçişi).....	53
2.3.2 Taşınım ile Isı Transferi (Geçişi)	56
2.3.3 Işınım ile Isı Transferi (Geçişi).....	59

2.4 Kıızıl Ötesi (IR) Işınım	72
BÖLÜM 3 MATERYAL ve METOD	76
3.1 Test Aracının Belirlenmesi	77
3.2 Araç Kabini Isı Kaybı Hesabı	81
3.2.1 Isıl Direnç Ağı	85
3.3 Dokuma Tekstil Elektrikli Isıtma Sisteminin Tasarımı	93
3.3.1 İletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşın tasarımı	94
3.3.2 Isıtıcı Kumaşların Araç İçi Yerleşimi	96
3.3.3 Araç içine yerleştirilecek Isıtıcı Kumaşların Tasarımı	97
3.4 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizi	97
3.5 Performans Deneyleri Koşullarının Tespiti	101
3.6 Deney ve Ölçüm Cihazları	103
3.7 Deney Ölçüm Noktaları	104
3.8 İletken Karbon Lifler İçeren Dokuma Tekstil Kumaş Isıtma Sistemi Montajı	108
BÖLÜM 4 BULGULAR ve TARTIŞMA	112
4.1 Araç Kabininin Toplam Isı Kaybı	112
4.2 İletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşın karakterizasyonu	113
4.3 Deney aracında kullanılacak iletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşların tasarımı	115
4.4 Isıtma Sistemi Elektriksel Şemasının Oluşturulması	121
4.5 Sistemin Toplam Isıtma Kapasitesi	123
4.6 Haritalama Testi	129
4.7 HAD analizleri	132
4.7.1 Mevcut Durum HAD Analizi	132
4.7.2 Isıtıcı Kumaş Yüzeylerin HAD modeline Uygulanması	133
4.7.3 Isıtıcı Kumaş Yüzeyler Kullanılarak HAD Analizli	133
4.8 Isıtıcı Kumaş ile Yapılan Isıtma Sistemi Testleri	135
4.9 Değerlendirme	143

BÖLÜM 5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	145
5.1 Sonuçlar	145
5.2 Öneriler	147
KAYNAKLAR.....	149
EKLER	153
ÖZGEÇMİŞ.....	158

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Elektrikli binek araca yerleştirilmiş radiant (kızıl ötesi) ısıtıcı paneller.....	27
1.2: Test kabininde haritalama testi ile CFD (Computational Fluid Dynamics) için referans verilerin toplanması.....	28
1.3: Elektrikli araçta kaloriferin ve araç motorunun enerji tüketimleri.....	28
1.4: Radyant ısıtıcıların araç içi yerleşimi.....	29
1.5: Elektrikli araç ısıtma sistemi (Birleştirilmiş Isıl Çevrim) deney düzeneği.....	32
1.6: Klima kalorifer sistemleri ile birleştirilmiş ısıl çevrimin kullanılmasının araç menziline etkisi.	32
2.1: İçten yanmalı bir motora ağıt soğutucu akışkan hattı diagramı.	38
2.2: Soğuk iklim bölgelerinde kullanılan araçlara ait basitleştirilmiş bir motor soğutma ve kalorifer devresi.....	39
2.3: Yolcu taşımacılığı yapan bir araca (otobüs) ait kalorifer şeması.	40
2.4: Yakıtlı ısıtıcı araç üzeri görünümü.....	40
2.5: Yakıtlı ısıtıcı su hattı.	41
2.6: Yolcu taşımacılığı yapan araçlarda kalorifer sistemi.	41
2.7: Yolcu taşımacılığı yapan araçlarda kalorifer sistemi.	42
2.8: PTC ısıtıcı.	44
2.9: PTC hava ısıtıcı.	45
2.10: Mitsubichi I-MiEV aracında kullanılan PTC Su ısıtıcının yapısı.	45
2.11: Mitsubichi i-MiEV aracında kalorifer su devresi üzerinde PTC su ısıtıcı yerleşimi.	46
2.12: PTC ısıtıcılı kalorifer sisteminin araç menziline etkisi.....	46
2.13: Elektrikli araç uygulamalarına özel geliştirilmiş ısı pompası uygulaması.....	47
2.14: Manyetokalorik soğutma çevrimi çalışma prensibi.	48
2.15: ICE projesinde manyetokalorik ısı pompalarının araç içi yerleşimi.....	49
2.16: Manyetokalorik ısı pompası prototipi.	50
2.17: Radyant ısıtma ve konveksiyon ile ısıtma farkı	51
2.18: Isıtma türüne göre ortam havası ve duvar yüzey sıcaklığının konfora etkisi.....	52
2.19: Düzlem duvarda iletimle ısı geçişi.....	54
2.20: Sıcak bir yüzeyden taşınım ile ısı transferi.	56

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
2.21: Işınım ile ısı transferi birbirinden uzak iki madde arasında, aralarındaki ortamdan etkilenmeden gerçekleşir.....	60
2.22: Elektromanyetik Spektrum.	60
2.23: Karacisim ışınımı	61
2.24: Karacisim ışınımı ve gerçek cisimlerin ışınımı.....	63
2.25: Yüzeğe gelen ışınımın soğurulması.	64
2.26: Bir yüzey ve çevresi arasındaki ışınım ile ısı transferi.....	64
2.27: İki yüzey arasında görüş (şekil) faktörü.....	66
2.28: Paralel iki eşit yüzey için şekil faktörü.	68
2.29: Birbirine dik yüzeyler için şekil faktörü.	68
2.30: Yüzeyden ışınımın elektrik benzeşimi.	71
2.31: İki yüzey arası ışınımın elektrik benzeşimi.....	71
2.32: Elektromanyetik Spektrum	73
2.33: Kırmızı ışınım	73
2.34: Kırmızı ışınımın su tarafından emilimi.....	74
2.35: Su moleküllerinin titreştirilmesi ve toksinlerin atılması	75
2.36: Klasik ısınma yöntemi ile ışınım ile ısınma yöntemi kıyaslaması.	75
3.1: Test aracı dış görünüm.	78
3.2: Test aracı iç görünüm.....	78
3.3: Üzerinde çalışılacak aracın ufaltılmış ve farklılaştırılmış CAD modeli.	79
3.4: Yakıtlı ek ısıtıcı.	80
3.5: Yakıtlı ısıtıcı bağlı bir araç kalorifer hattının şematik gösterimi.	81
3.6: Kontrol hacmiden dış ortama olan ısı kayıpları.	82
3.7: Ön cam kesiti.....	85
3.8: Yan cam kesiti.....	86
3.9: Arka cam kesiti.	87
3.10: Tavan kesiti.	87
3.11: Yan duvar kesiti.	89
3.12: Zemin kesiti.....	90
3.13: Araç kabini sağ ve sol arka köşe kesiti.	91

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
3.14: Işınım ile ısıtma yapan araç kabini ısıtma sistemi.....	94
3.15: Dokuma tekstil karbon elyaf ısıtıcı, (a) şematik gösterimi, (b) kumaşın gerçek görseli, (c) gerilim uygulandığında termal kamera görüntüsü.	95
3.16: Ön test için seçilen ısıtma bölgesi (a) ve ısıtıcı kumaşların yerleşimi (b).	95
3.17: Dokuma tekstil iletken karbon elyafların araç içi görünümü.	96
3.18: Araç üzerinde sanal model oluşturulan bölge.	99
3.19: Oluşturulan sonlu eleman modeli.	100
3.20: Test Aracı ısıtıcı çift yerleşimi – Sol yan görünüm.	104
3.21: Test Aracı ısıtıcı çift yerleşimi – Sağ yan görünüm.....	105
3.22: Test Aracı ısıtıcı çift yerleşimi – Üst görünüm.....	105
3.23: Test Aracı ısıtıcı çift yerleşimi – Motor bölgesi enine kesit görünümü.....	105
3.24: Isıtıcı çift yerleşimi tamamlanmış araç.	107
3.25: Klimatik test kabini içi.	108
3.26: Koltuk üstü tavan ısıtıcı kumaşı yerleşimi.	109
3.27: Koltuk sırtlık ve oturak ısıtıcı kumaşları yerleşimi.....	109
3.28: Orta zemin ve Koltuk altı zemin ısıtıcı kumaşları.	110
3.29: Orta zemin ve Koltuk altı zemin ısıtıcı kumaşları.	110
3.30: Yan duvar ısıtıcı yerleşimi.	111
3.31: Güç kaynaklarının yerleşimi.	111
4.1: 106 cm lif boyunda kumaş kullanılan koltuk yüzeylerinin zamana bağlı termal görüntüleri (a) Başlangıç (0.Dk), (b) 5.Dk, (c) 10.Dk, (d) 15.Dk.....	113
4.2: 50 cm lif boyunda kumaş kullanılan yan duvarların zamana bağlı termal görüntüleri (a) Başlangıç (0.Dk), (b) 5.Dk, (c) 10.Dk, (d) 15.Dk.....	114
4.3: 20 cm boyunda iletken karbon elyafların sıcaklık ve kapasite değişimi.	114
4.4: Koltuk ısıtıcı.....	116
4.5: Yan duvar ısıtıcı.	117
4.6: Sağ ve sol yan zemin ısıtıcı.	118
4.7: Orta zemin ısıtıcı.	119
4.8: Tavan ısıtıcı.....	120
4.9: Koltuk ısıtıcılar elektrik şeması.	122

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
4.10: Yan duvar ve orta zemin ısıtıcılar elektrik şeması.	122
4.11: Yan zemin ve tavan ısıtıcılar elektrik şeması.	122
4.12: (a) Gerçek ısıtıcı yüzey yerleşimi ve (b) basitleştirilmiş ışınım modeli.	124
4.13: Karşılıklı yüzeyler ve bunlar arasındaki ortam ile ışınım olması durumunda ışınım direnç modeli.	125
4.14: HAD analizleri için yapılan haritalama testi sonuçları.	129
4.15: Motor ve Yakıtlı ısıtıcı çalışırken kabin ısınma grafiği.	130
4.16: Ortalama yüz ve ayak bölgesi sıcaklıkları kıyaslaması.	131
4.17: Mevcut durum HAD çıktıları.	132
4.18: HAD modelinde oluşturulan mevcut durum (konvektör ısıtma) ve ısıtıcı kumaş yüzeyler.	133
4.19: Isıtıcı kumaş kullanımını HAD analizi sıcaklık dağılımı.	134
4.20: -7 °C dış sıcaklıkta termal kamera tavan görüntüsü.	135
4.21: -7 °C dış sıcaklıkta termal kamera zemin görüntüsü.	136
4.22: -7 °C dış sıcaklıkta termal kamera koltuk görüntüsü.	136
4.23: -7 °C dış sıcaklıkta ısıtıcı kumaş ile kalorifer maksimum performans testi.	137
4.24: -7 °C dış sıcaklıkta ortalama yüz ve ayak bölgesi sıcaklıkları kıyaslaması.	137
4.25: -4 °C dış sıcaklıkta termal kamera tavan görüntüsü.	139
4.26: -4 °C dış sıcaklıkta termal kamera zemin görüntüsü.	139
4.27: -4 °C dış sıcaklıkta termal kamera koltuk görüntüsü.	140
4.28: -4 °C dış sıcaklıkta ısıtıcı kumaş ile kalorifer maksimum performans testi.	141
4.29: -4 °C dış sıcaklıkta ortalama yüz ve ayak bölgesi sıcaklıkları kıyaslaması.	141
4.30: 0 °C dış sıcaklıkta termal kamera tavan görüntüsü.	142
4.31: 0 °C dış sıcaklıkta termal kamera zemin görüntüsü.	142
4.32: 0 °C dış sıcaklıkta termal kamera koltuk görüntüsü.	143
4.33: 0 °C dış sıcaklıkta ısıtıcı kumaş ile kalorifer maksimum performans testi.	144
4.34: 0 °C dış sıcaklıkta ortalama yüz ve ayak bölgesi sıcaklıkları kıyaslaması.	144
4.35: Kalorifer su debisi ölçüm cihazı yerleşimi.	153
4.36: Yakıt ölçüm cihazı ölçüm modülünün yerleşimi.	153
4.37: Yakıt ölçüm cihazı elektronik modülü.	154

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
4.38: Test kabini sıcaklığı (Araç dış sıcaklığı).....	154
4.39: Kabin zemini ısı çift yerleşimi.	155
4.40: Koltuk oturak bölgesi ısı çift yerleşimi.	155
4.41: Baş hizzası ısı çift yerleşimi.....	155
4.42: Konvektör yüzeyi ısı çift yerleşimi.	156
4.43: Sıcak su hattı ısı çift yerleşimi.	156
4.44: Veri toplama cihazı araç içi yerleşimi ve ısı çift bağlantıları.	157

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
2.1: Farklı ısıtma sistemlerinin kıyaslanması.....	52
3.1: Test aracı teknik özellikleri.....	79
3.2: Yakıtlı ek ısıtıcı teknik verileri.....	80
3.3: Araç kabinini oluşturan malzemelerin ısı iletim katsayıları.....	84
3.4: Araç kabinini çevreleyen (kontrol hacmi) malzemelerin kalınlıkları.....	85
3.5: Oluşturulan test koşulları.....	102
3.6: Test ekipmanları listesi.....	103
3.7: Haritalama testleri ve diğer testlerde ölçüm noktaları listesi.....	106
4.1: Deney aracı kabininin ısı direnç hesabı.....	112
4.2: 106 cm ve 50 cm enindeki dokuma tekstil iletken karbon liflerin farklı gerilimlerde vereceği sıcaklık ve güç değerleri.....	115
4.3: HAD analizleri için yapılan haritalama testi sonuçları.....	130
4.4: Haritalama testi ile analiz sonuçlarının kıyaslanması.....	132
4.5: Mevcut durum ve ısıtıcı kumaş kullanılması durumunda kabin içi sıcaklık dağılımının HAD analizi ile kıyaslanması.....	134
5.1: -7 °C dış ortamda , haritalama ve kızılötesi ısıtma sistemi testleri karşılaştıma özeti.....	145

EKLER DİZİNİ

Ek	Sayfa
No	No
Ek 1. Araç üzerine yerleşimleri yapılan ölçü ekipmanları ve sıcaklık sensörleri.....	153

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan
A_i	: i yüzeyinin alanı
A_s	: Yüzey alanı
c	: Işık hızı
C_p	: Özgül ısı
$d\omega_{ij}$: Küresel koordinatlarda i yüzeyinden j yüzeyine bakış açısı büyüklüğü
E	: Işınımında, yayılan ışınım için ışınım yayma gücü veya ışınım akısı
E_b	: Karacisim ışınımı
F_{ij}	: Işınımında i yüzeyinden j yüzeyine görüş faktörü
G	: Işınımında, gelen ışınım akısı
g	: Yerçekimi ivmesi
Gr_L	: Grashof sayısı
h	: Taşınımında ısı transfer katsayısı
I_e	: Işınımında, Yayılan ışınımın şiddeti
I_b	: Işınımında, karacismin ışınım yayma şiddeti
J	: Eşinimda, ışınım enerjisinin hızı
k	: İletimde ısı transfer katsayısı
L	: Duvar kalınlığı
L_c	: Karakteristik uzunluk
n_i	: Yüzeyin normalli
P	: Statik basınç
Pr	: Prandtl Sayısı
q_i	: Birim zamanda yapılan ısı transferi
R	: Isıl direnç (Işınımında, ışınımına karşı yüzey ve/veya uzay direnci)
r	: Yarıçap
Ra_L	: Rayleigh sayısı
Re	: Reynolds sayısı
T	: Sıcaklık
t	: Zaman
T_f	: Film tabakası sıcaklığı
T_s	: Yüzey sıcaklığı

T_{∞}	: Atmosfer sıcaklığı veya yüzeyden yeter uzaklıktaki akışkanın sıcaklığı
V	: Hız
ΔT	: Sıcaklık farkı
Δl	: Kalınlık
\dot{Q}	: Isı transferi
α	: Işınımda yüzeyin ışınım soğurganlığı
β	: Hacimsel genleşme katsayısı
ε	: Işınımda yüzeyin ışınım yayıcılığı
Φ	: Viskoz kayıplar
λ	: Işınım dalga boyu
μ	: Dinamik viskozite
ν	: Kinematik viskozite
π	: Pi sayısı
θ	: Küresel koordinatlarda yüzeyin normali ile bakış açısının arasındaki açı
ρ	: Yoğunluk
σ	: Işınımda Stefan – boltzman sabiti
ν	: Işınımda, ışınım frekansı

KISALTMALAR

ABS	: Acrylonitrile butadiene styrene
APTA	: American public transportstion association
ASHREA	: American society of heating and refrigeration engineering association
ASTM	: American society for testing and materials
CAD	: Computer aided design (Bilgisayar destekli tasarım)
CFD	: Computational fluid dynamics (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği)
CFL	: Combined fluent loop (Birleştirilmiş ısı çevrim)
CNG	: Doğal gaz
COP	: Coefficient of performance (etkinlik)
FIR	: Far infrared heating (Uzak kızıl ötesi ısıtma)
FRP	: Fiber reinforced plastic
HAD	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
HVAC	: Heating, ventilating and air conditioning (Klima, ısıtma ve havalandırma)

IR	: Infrared (Kızıl ötesi)
MCM	: Manyetokalorik Malzeme
PTC	: Positive temperature coefficient (Yarı iletken ısıtıcı)
PVB	: Polyvinyl butiral
PVC	: Polyvinylklorür
RMS	: Root mean square
SAE	: Society of automotive engineers
TC	: Thermocouple (Isıl çift)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler insanların lüks ve konfor beklentilerini yükseltmiştir. Bu teknolojik gelişmeler, başta çalışma hayatlarında, konutlarında ve seyahat esnasında olmak üzere insanların günlük yaşantılarının birçok alanında yaşam konforunu etkilemektedir. Seyahat esnasında, araçların rahatlık ve konforunu sağlayan sistemlerin başında ise ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri gelmektedir.

İnsanların ısınma ihtiyacı sadece konutlar ve çalışma alanları gibi sabit yaşam alanları ile sınırlı değildir. Özellikle şehir içi veya şehirlerarası ulaşımda kullanılan otobüs, uçak, tren, gemi vb. toplu taşıma araçları ve özel araçlarımızda da sıcaklık olarak konforlu ve verimli bir ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Her bir ulaşım aracı, içinde taşıdığı yolcusunun ısınma ihtiyacını en temel seviyede karşılamak için sahip oldukları enerji kaynağına göre farklı yöntemler kullanır. Örneğin, bu ihtiyaç elektrikli bir trende elektrikli ısıtıcı, bir uçakta jet motorundan elde edilen sıcak hava, bir gemide ısı kazanı ve içten yanmalı motora sahip bir araçta ise içten yanmalı motorun atık ısısı kullanarak karşılanmaktadır.

Fosil yakıt kullanan içten yanmalı motora sahip araçlarda yüksek oranda atık ısı üretilmesi ve bu atık ısının motordan uzaklaştırılması ihtiyacı, aracın ısıtılması için talep edilen ısı kaynağı için en kolay yol olarak tercih edilmektedir. Günümüzde ve yakın gelecekte de fosil yakıtlı ve içten yanmalı motora sahip araçlar için bu yöntemin en bilinen yöntem olarak geçerliliğini sürdüreceği düşünülmektedir.

Artan nüfus ile orantılı olarak ulaşım ihtiyacının artması ve artan ulaşım ihtiyacının doğurduğu artan araç kullanımı ile fosil yakıt tüketiminin araç eksozlarından atmosfere salınan gaz emisyonları ile orantılı olarak ortaya çıkan global ısınma etkisi de gün geçtikçe artmaktadır. Artan global ısınma riski ve eksoz emisyonlarının (karbon ayak izi) önüne geçebilmek ve çevreye etkilerini azaltmak için her geçen gün araç motorlarının karbon ayak

izini daha da azaltma hatta teknolojiyi sıfır emisyon sağlayacak alternatif enerji kaynaklarına yöneltmek için yeni yönetmelikler yayınlanmaktadır.

Bu yönetmelikler doğrultusunda araç ve motor üreticileri de alternatif yakıtlara yönelik arge çalışmalarına hız vererek alandaki çalışmalarını arttırmaktadırlar. Yapılan çalışmalar doğrultusunda sıfır emisyonlu elektrikli araçlar ile ilgili çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Yüksek verimli, çevre dostu ve yenilikçi yönlerine rağmen bu araçların en büyük eksikleri olan menzilleri, pil teknolojilerindeki gelişmeler, araç bileşenlerinde düşük yoğunluklu hafif malzemelerin kullanılması enerji verimli sistemlerin tasarlanmasıyla sürekli olarak gelişmektedir.

Fosil yakıtlı araç motorları üzerine yapılan karbon ayak izi azaltma ve sıfır emisyonlu araç çalışmaları her ne kadar gelişse de, ikinci bir enerji tüketim kaynağı olan kabin içi ısıtma sistemleri motor tarafındaki gelişmeler kadar gelişme gösterememiş, hatta son 50 yıldır aynı teknoloji üzerine kurulu olarak devam etmektedir. Eski motorlarda motor atık ısısı kullanımı kabinin ısıtılması için yeterli oluyorken, gelişen motor teknolojileri ile araçların verimlerinin iyileşmesi neticesinde motorların atık ısıları azalmıştır. Bunun sonucu olarak araç kabininin ısıtılabilmesi için ilave enerji kaynağına, dolayısı ile fosil yakıt tüketimine ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Bir taraftan araçların motorlarının verimleri iyileşip, karbon ayak izleri azalırken, diğer taraftan soğuk bölgelerde kabin içi konforun ve ısınma ihtiyacının sağlanabilmesi için ilave fosil yakıt tüketilmesi, ilave emisyon oluşturulması sonucunu doğurmaktadır.

Yapılan bu çalışmanın amacı, günümüzde yolcu taşımacılığı yapan araçlarda kullanılan ısıtma sistemini oluşturan parça çeşitliliğini ve ağırlığını azaltarak, ısıtma için kullanılan bu ek yakıt ihtiyacını ortadan kaldırmak, böylece hem yakıt tasarrufu sağlayan hem de yolcu taşımacılığı yapan fosil yakıtlı araçlarda ve/veya elektrikli araçlarda kullanılacak kızıl ötesi ışınlam ile araç kabininin ısıtılmasını sağlayan yerli ve yenilikçi bir ısıtma sisteminin tasarım ve imalatının yapılmasıdır.

Bu kapsamda bu çalışmada, ilk olarak test aracının ısı direnci teorik olarak belirlenmiş ve toplam ısı kaybı hesaplanmıştır. İkinci olarak kullanılacak ışınlam özelliğine sahip elektrikli dokuma tekstil ısıtıcıların elektrik ve termal özellikleri birim boyut üzerinden tespit edilmiş

ve elde edilen bu veriler kullanılarak test aracına uygulanacak ışınlam özelliğine sahip dokuma tekstil ısıtma sistemi ile bu sistemi oluşturan parçaların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Işınlam ile ısıtma özelliğine sahip dokuma tekstil ısıtma sisteminin tasarımına paralel olarak deney aracı üzerinde mevcut durum tespiti için önce test koşulları oluşturulmuş ve bu oluşturulan test koşullarına göre haritalama testleri yapılarak ısıtma sisteminin verilen koşullarda performansı tespit edilmiştir. Haritalama testlerinin ardından bilgisayar ortamında hem mevcut durumun hemde tasarlanan ışınlamla ısıtma özelliğine sahip dokuma tekstil ısıtma sisteminin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD veya CFD) kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Sanal analizlerden elde edilen sonuçlar haritalama testi verileri ile de örtüştürülerek modelin doğruluğu sağlanmış ve öngörülen dokuma tekstil ısıtma sisteminin kapasitesi sanal olarak doğrulanmıştır. Son olarak tasarlanan ışınlamla ısıtma özelliğine sahip dokuma tekstil ısıtma sistemi test aracına uygulanarak aracın test kabiniinde belirlenen koşullarda performans testleri gerçekleştirilerek çalışma tamamlanmıştır.

1.1 Literatür Araştırmaları

Literatür taramalarında araç kabini ısıtma sistemleri, yurt içi yapılan yüksek lisans, doktora tez çalışmaları ve uluslararası yapılan yayın çalışmaları olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca literatür araştırmaları sırasında, konunun ışınlamla ısıtma olmasından dolayı, kullanılacak ışınlam türünün insan sağlığı üzerine olası etkileri ile ilgili ilgili yayınlar da incelenmiştir.

Yapılan literatür taramalarında “*araçlarda, otomobillerde, taşıtlarda, otobüs, araç ısıtma, araç kaloriferi, elektrikli araç ısıtma, elektrikli ısıtma, taşıt ısıtma, kızıl ötesi ısıtma, ışınlamla ısıtma, uzak kızıl ötesi ısıtma - vehicle heating, electric vehicle heating, electrical heating, infrared heating, farinfrared heating, FIR heating, radiant heating, energy consumption, range improvement*” anahtar kelimeleri kullanılmış, araçlarda kızıl ötesi ısıtma sistemleri ile ilgili sınırlı sayıda yayınlanmış tez ve makale bulunmuştur.

Yurt içinde yayınlanmış doktora ve yüksek lisans çalışmaları ile ilgili yukarıda belirtilen anahtar kelimeler kullanılarak “*tez.yok.gov.tr*” ve “*ulakbim.tubitak.gov.tr*” web adresi üzerinden yapılan araştırmada, ilk aşamada bulunan 500 ün üzerindeki tez başlıkları tek tek incelenmiş ve “*araçlarda ışınlamla ısıtma*” veya “*araçlarda elektrikli ısıtma*” üzerine bir

çalışma tespit edilememiştir. Araçlar üzerine yapılan çalışmaların hemen hepsi araçlarda klima sistemleri veya hava akış analizleri üzerine yapılan çalışmalardan oluşmaktadır.

Yurt içinde yayınlanmış doktora ve yüksek lisans tezleri üzerinden yapılan araştırma sonuçlarına göre yapılmış olan bu doktora tez çalışması özgündür.

Yayınlanmış bildiri ve makaleler ile ilgili “*scopus.com*”, “*sciencedirect.com*”, “*scholar.google.com*” web adresleri üzerinden yukarıda belirtilen anahtar kelimeler kullanılarak 600 ü aşkın makale özeti bulunarak incelenmiştir. İncelenen makale özetleri içinde tez konusu ile ilgili bulunan yayınlar aşağıdaki beş ana başlık altında sınıflandırılmıştır.

Bunlar sırasıyla,

1. Araç kabininin ışınlama ile ısıtılması,
2. Araçlarda elektrikli ısıtma,
3. Karbon fiber ısıtıcılar,
4. Kızıl ötesi ışınımın özellikleri,
5. Kızıl ötesi ışınımın sağlığa etkisi,

olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda, yapılan incelemeler sonucu bulgular aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

1.1.1 Araç Kabininin Işınlama ile Isıtılması

İncelenen 600 ü aşkın yazılı yayın içinde sadece dört adet “*araç kabininin ışınlama ile ısıtılması*” üzerine yapılmış, çalışma tespit edilebilmiştir.

BMW firması “BMW Group Innovation Day, (2012)” adlı yenilikçilik etkinliğinde, elektrikli araçlarda kızıl ötesi ısıtma ile ilgili çalışmalar yapacağı ile ilgili bilgi paylaşmıştır. Ancak bu çalışmada herhangi bir deney veya teknik veri yer almamakta, sadece kızılötesi ısıtma sisteminin elektrikli araçlarda uygulanabilirliği ile ilgili temel bir bilgilendirme yapılmaktadır.

Ene vd. (2013) yaptıkları çalışmada, kızıl ötesi ışınımın elektrikli araçlarda kullanımı üzerine genel bilgiler ve bazı kıyaslamalar yayınlamışlardır. Bu çalışmada araç üzeri uygulama yapılmamış, sadece önerilen sistem tanımlanarak, avantajları ve geliştirme noktaları ile ilgili genel bilgiler paylaşılmıştır.

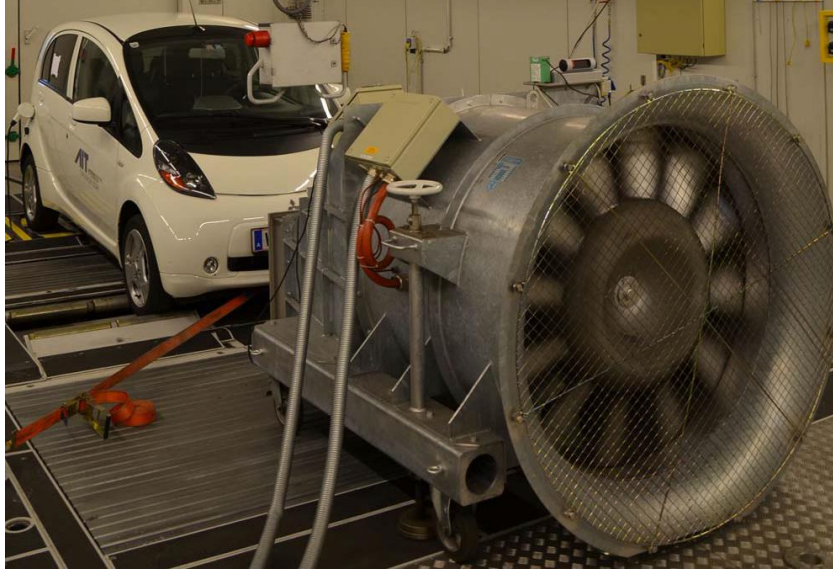
Baum vd. (2014) binek elektrikli araç kullanarak araç kabini içinde düz panel ısıtıcılar kullanarak, sonlu elemanlar yaklaşımı ile bir aracın ışınım ile ısıtılmasına yönelik sanal analiz modelini oluşturmuşlardır. Çalışmada ortam sıcaklığı karşısında tanımlanan konfor aralığının sağlanabilmesi için yüzeylerin ulaşması gereken sıcaklık değerleri tespit edilerek grafik olarak sunulmuştur. Oluşturulan grafiklerde tanımlanan konfor bölgesinden yola çıkarak rejime ulaşılmış bir sistemde farklı ortam sıcaklıkları için 10-30°C arasında bir yüzey sıcaklığı, performans ölçütü olarak tanımlamışlardır. Baum vd. yaptıkları çalışmada, binek araç üzerine konumlandırılan ısıtıcı paneller Şekil 1.1 deki gibi yerleştirilmiştir. Isıtıcı paneller sadece yolcu baş üzeri kısmı ve kapı iç kısmı gibi sınırlı miktarda düz alana yerleştirilmişlerdir.



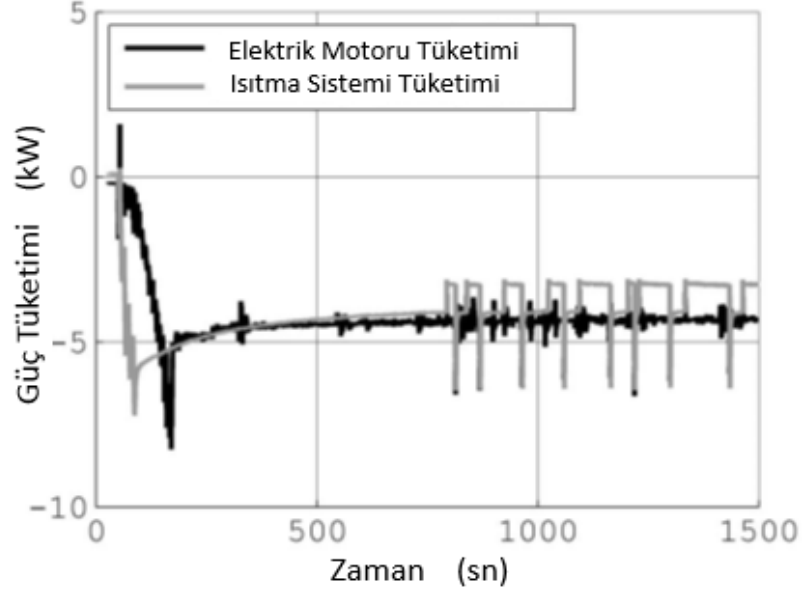
Şekil 1.1: Elektrikli binek araca yerleştirilmiş radiant (kızıl ötesi) ısıtıcı paneller (Baum vd., 2014).

Baum vd. bu çalışma Şekil 1.2 de gösterildiği gibi rüzgar tüneline aracın mevcut ısıtma sistemi ile testi yapılarak -7 °C lik dış ortam sıcaklığında araç içi 20 °C sıcaklığa ulaşana kadar veriler toplanmış ve enerji tüketimine dair referans veriler oluşturmuşlardır. Testler sonucunda elde edilen enerji tüketimi verilerine göre Şekil 1.3 te görüldüğü gibi kalorifer

için harcanan enerjinin, aracın elektrik motorunun tükettiği enerjiye neredeyse eşit olduğu ve araç menzilinı kötü koşullarda %50 civarında azalttığını deneysel olarak göstermişlerdir.

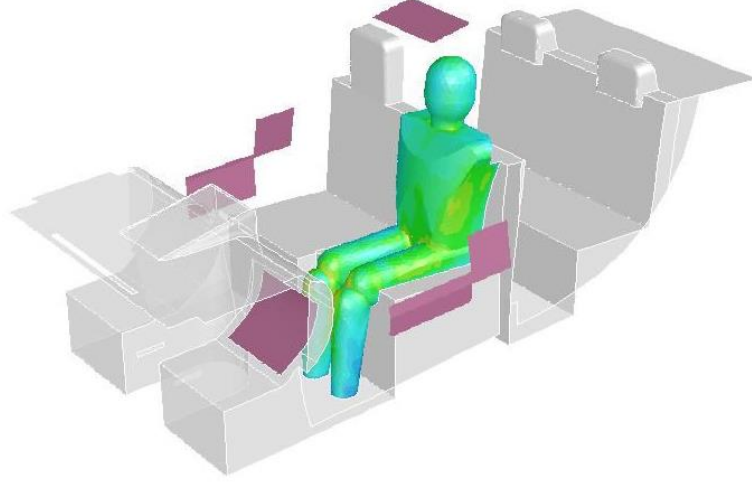


Şekil 1.2: Test kabiniinde haritalama testi ile CFD (Computational Fluid Dynamics) için referans verilerin toplanması (Baum vd., 2014).



Şekil 1.3: Elektrikli araçta kaloriferin ve araç motorunun güç tüketimleri.

Baum vd. tarafında yapılan çalışmada oluşturulan CDF (veya HAD) modelinde kullanılan panel ısıtıcılar Şekil 1.4 te gösterildiği gibi konumlandırılmıştır (Baum vd., 2014).



Şekil 1.4: Radyant ısıtıcıların araç içi yerleşimi (Baum vd. 2014).

İlk denemede radiant ısıtıcı panellere 200 Watt lık bir güç uygulanarak ve panellerin yüzey sıcaklıkları 70 °C olacak şekilde test yapılmış ve bu yapılan testler sonucunda kabin sıcaklığının 2 °C nin üzerine çıkmadığı ve ısı kaybından dolayı insan vücut sıcaklığının düşük kalıp konfor bölgesine ulaşamadığını tespit etmişlerdir. İkinci denemede bir miktar konveksiyon ile ısıtma (2 kW) eklendiğinde vücut sıcaklığının konfor bölgesine ulaşabildiği ancak ayak bölgesinin soğuk kaldığını raporlanmışlardır. Ancak ayak bölgesinde bu koşulu iyileştirici herhangi bir ilave çalışma yapılmamıştır.

Konfor bölgesine ulaşılabilmesi için, kullanılan 200W lık radiant ısıtıcılara ek olarak kullanılan 2 kW lık konveksiyon ile ısıtma ilavesine rağmen aracın toplam enerji tüketiminde, tek başına konveksiyonla ısıtma kullanılan sisteme kıyasla %50 tasarruf sağlandığını deneysel olarak tespit etmişlerdir.

Erol vd. (2017) yaptıkları çalışmada, araçlarda günümüzde yolcu kabininin ısıtılmasında kullanılan geleneksel ısıtma sistemi sebebiyle oluşan verimsizlikleri ortadan kaldıracak ve ısıtma sisteminin etkinliği artırarak enerji tüketimini düşürecek, ışınım özelliği sayesinde doğrudan ısıtma sağlayan iletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaş bir ısıtma sisteminin araçlar üzerine uygulanabilirliği ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaş ile yapılan deney çıktılarını ve bu ürünleri araç ısıtma sisteminde kullanımına yönelik umut verici sonuçlarını yayınlamışlardır.

1.1.2 Araçlarda Elektrikli Isıtma

Bildiğimiz anlamda modern (seramik, yarı iletken ısıtıcılar veya ileri teknoloji ısıtma yöntemleri) elektrikli ısıtıcıların ilk kullanımı, içten yanmalı motora sahip araçlarda motor atık ısısı bolca bulunduğu için ancak 90 lı yıllarda artan konfor beklentilerini karşılayabilmek amaçlı olarak motor soğukken ilk ısıtmayı sağlamak amacıyla başlamıştır. İçten yanmalı araçlarda, ilk başlangıçtan motor ısınana kadar soğukken yüksek akıma ihtiyaç duyan PTC (Positive Temperature Coefficient - yarı iletken ısıtıcı) ısıtıcılar kullanılmış bu ısıtıcılar, ihtiyacı karşıladığı için teknoloji daha fazla da gelişmemiştir.

Wyczalek (1993) yaptığı çalışmada elektrikli araçların HVAC (Heating Ventilating and Air conditioning – Klima Isıtma ve Havalandırma) sistemleri ile ilgili farklı araç üreticilerinin farklı uygulamalarını derlemiş ve bunlar hakkında bilgi vermiş ancak bununla birlikte elektrikli araçlarda kullanılacak HVAC sistemleri için COP (Coefficient of Performance - Etkinlik) nin artırılmasının zorunluluğunu vurgulamıştır.

Umezue ve Noyama (2010) Mitsubichi i-MiEV model elektrikli araç üzerinde yaptığı çalışmada klima için elektrik tahrikli kompresörden oluşan bir buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi kullanırken, ısıtma için motorun henüz soğuk olduğu ilk başlangıç aşamasında içten yanmalı motorlu araçlarda da kullanılan yarı iletken PTC ısıtıcılardan yararlanmışlardır. Yapılan çalışmada aracın kullanmakta olduğu PTC ısıtıcıların ve klimanın kullanımının araç menziline olan etkilerini incelemişler ve ısıtmanın araç menziline olumsuz etkisinin klimadan daha da fazla olduğunu, hatta araç menzilin %50 civarında azalttığını deneylerle göstermişlerdir.

Paja vd. (2011) yaptıkları çalışmada, tersinebilir manyetokalorik ısı pompası üzerine yapılan geliştirmeyi anlatmışlardır. Yapılan yazılı yayında, elektrikli araçlarda enerjiyi daha verimli kullanan ısıtma sistemlerinin gerekliliği, bu konuda çalışmalar yapılması gerektiği yönünde bilgi vererek, yapılan çalışmanın takibeden 3 yıl boyunca devam edeceğini ve prototip fazına geçileceğini aktarmışlardır.

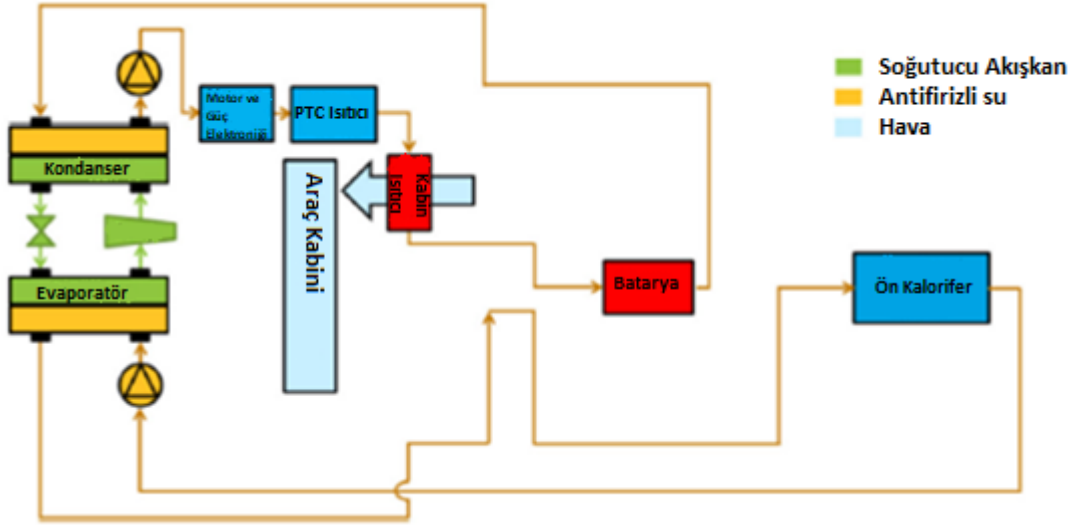
Chung-Won vd. (2012) elektrikli aracın; elektrik motoru, invertör gibi atık ısı üreten parçalarının atık ısılarının sıcak kaynak olarak kullanılması prensibine dayalı olarak araç

kabininin ısı pompası yardımı ile ısıtılması üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, araç içine üflenlen havanın sıcaklığının 25 °C den ısı pompasına sağlanan ilave kaynaklar ile 45 °C ye çıkarıldığını göstermişlerdir.

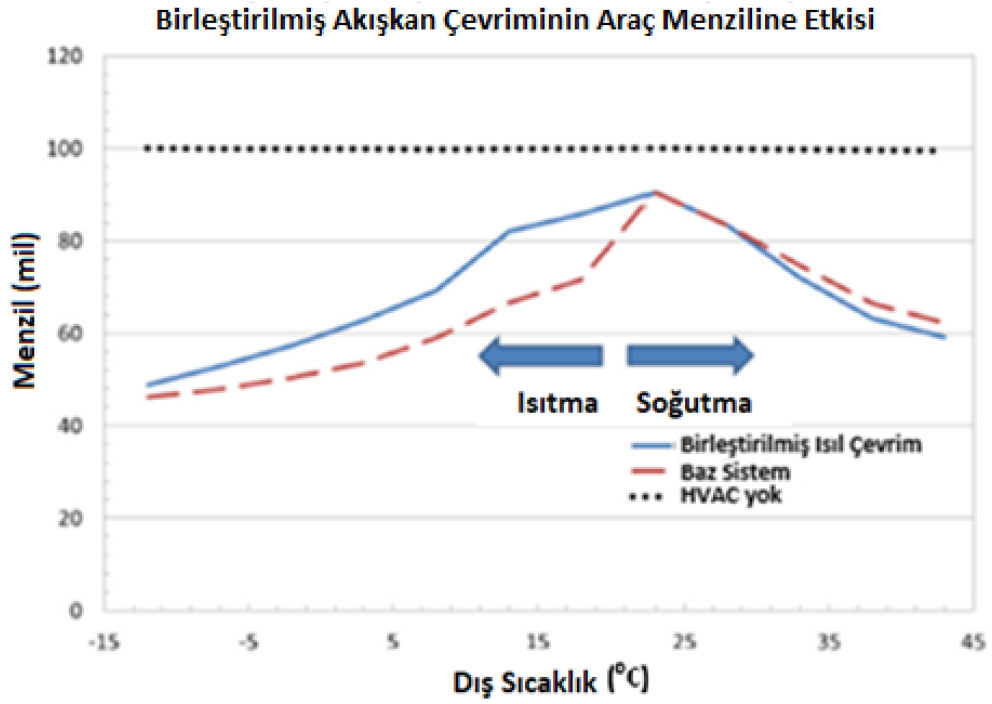
Zhaogang (2014) yaptığı derlemede, elektrikli araçlar üzerine yapılan ısı pompasının farklı ısı kaynağı kullanılarak oluşturulmuş farklı türevleri ve magnetokalorik ısı pompası üzerine yapılan çalışmalar hakkında teorik bilgi verilmiştir. Bu derleme çalışmasında enerji tüketimindeki verimi artırma ve aynı zamanda aracın ısıtma kapasitesini geliştirme noktalarında ısı pompasının, diğer uygulamalara göre yüksek COP değeri sayesinde öne çıkan bir ısıtma yöntemi olduğu vurgulanmıştır. Ancak, elde edilen bilgilere dayanılarak hala teknolojinin elektrikli araçlarda çözüm olabilecek bir ısıtma sisteminden çok uzakta olduğuna vurgusu yapılmıştır. Bununla birlikte magnetokalorik ısı pompası ve manyetik soğutma üzerinde durulması gerektiğini belirtmiştir.

Leighton (2015) yaptığı deneysel çalışmada, elektrikli araçların ısıtma sisteminin konvansiyonel yöntemlerden farklı olması gerektiğine değinmiş ve bunun ile ilgili yaptığı çalışmayı aktarmıştır. Çalışmada, elektrikli araçlarda kabin ısıtma/soğutma sisteminin yanında, batarya, motor ve güç elektroniği sistemlerinde ısı çevrime dahil edilmeleri gerektiği belirtilmiş ve aracın tüm bu sistemlerinden beslenerek Şekil 1.5 te görüldüğü gibi oluşturulan bu sisteme *birleştirilmiş akışkan çevrimli* ısıtma sistemi (CFL – Combined Fluid Loop) adı verilmiştir.

Leighton'un yaptığı deneysel çalışmalar hem klima hem kalorifer sistemleri için farklı dış atmosfer şartlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonrasında, elektrikli araçlarda farklı dış ortam sıcaklıklarında klima veya kalorifer kullanımının ve CFL adı verilen tüm batarya, motor ve güç elektroniğini kapsayan ısıtma sisteminin kullanılmasının elektrikli araç menziline olan etkileri Şekil 1.6 da gösterilmiştir.



Şekil 1.5: Elektrikli araç ısıtma sistemi (CFL - Birleştirilmiş Akışkan Çevrimi) deney düzeneği (Leighton, 2015).



Şekil 1.6: Klima kalorifer sistemleri ile birleştirilmiş ısıl çevrimin kullanılmasının araç menziline etkisi (Leighton, 2015).

1.1.3 Karbon Fiber Isıtıcılar

Karbon fiber ve türevlerinin tekstile entegre edilmesi ve bunların ısıtma elemanı olarak kullanılmasına dair literatürde farklı çalışmalar bulunmaktadır.

Hirohata vd. (2002), yaptıkları çalışmada, karbon ısıtıcı elemanların yüksek okside edici özel ortamlarda dahi uzun ömürlü olduğunu ve ısı şoklarına dayanabildiğini, bununla birlikte düşük yoğunluklu karbonun yüksek oranda uzak kızıl ötesi ışınım yapma özelliğine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Wang vd. (2010), yaptıkları çalışmada karbon fiber ısıtıcıların elektrik ile ısıtılan giysilerde yaygın olarak kullanıldığını, ısıyı muntazam ve hızlı bir şekilde üretilip ısı verimliliklerinin de yüksek olduğunu raporlamışlardır. Karbon fiber ısıtıcıların kullandıkları elektrik gücünün ısıya dönüşüm oranının %99,9'a ulaşabildiği ısıtma elemanı üzerindeki yüzey sıcaklığının tasarımı isteye göre ayarlanabildiği vurgulanmıştır. Aynı zamanda karbon fiber ısıtma elemanlarının uzak kızıl ötesi ışınım yaptığı uzun süreli kullanımda kan dolaşımını hızlandırdığı ve toksinlerin atılmasına katkı sağladığını bu sayede sağlığa olumlu etkileri olduğunu belirtmişlerdir.

Choi vd. (2016), yaptıkları çalışmada, araç koltuklarında kullanılan karbon fiber ısıtıcı elemanlar üzerine yapılan farklı kaplama uygulamalarının ısıtma performansına etkileri incelenmişler kaplama kalınlığının yüzey sıcaklığına olan etkisini raporlanmıştır.

Yüce (2017), yaptığı derlemede önce uzak kızılötesi ışınların insan sağlığı üzerine etkilerini içeren çalışmalar hakkında bilgi vermiş, ardından uzak kızılötesi ışınım özelliği kazandırılmış iplik ve kumaşların üretiliş yöntemleri (Karbon ile kaplanmaları), kullanım alanları, farklı uygulamaları ve uzak kızıl ötesi ışınım yapabilen kumaş ve iplikler ile ilgili çalışmalar hakkında bilgi paylaşmıştır.

Tüm bunların yanı sıra tekstil esaslı ısıtma sistemleri, ticari olarak başta uzak doğu ülkeleri olmak üzere son yıllarda bir çok araştırmacı ve üreticinin ilgisini çekmektedir. Bu ürünler incelendiğinde büyük çoğunluğunun sadece koltuk için geliştirilmiş oldukları görülmektedir (Choi vd., 2016). Bu kapsamda tüm aracın bu şekilde ısıtıldığı gösterir bir yayın ve çalışma tespit edilememiştir.

1.1.4 Kızıl Ötesi Işınımın Özellikleri

Kızıl ötesi ışınım ile ısıtmanın araçlardaki uygulamaları ile ilgili olarak literatür çok sınırlı olmakla birlikte, kızıl ötesi ışınımın konveksiyonla ısıtmaya karşılık enerji verimliliği noktasındaki avantajları ve kızıl ötesi ışınımın insan sağlığı üzerine etkileri konularında literatürde oldukça fazla yayın ve çalışmaya rastlanılmıştır. İncelenen 600 e yakın uluslararası makale içinden kızıl ötesi ısıtmanın verimliliğine dair iki çalışma aşağıda verilmiştir.

Roth vd. (2007) yaptıkları çalışmada, konveksiyon ile ısıtmanın, yöntemin doğası gereği sıcak havanın tavan bölgesinde toplanması sonucunda, hem homojen olmayan bir ısıtmaya sebep olduğu hemde tavandan yüksek ısı kaybına sebep olduğu, kızıl ötesi ışınım ile ısıtmanın ise, ısının homojen dağılımı noktasında zeminde daha etkili olduğu ve yapı izolasyonunun etkinliğine göre konveksiyon ile ısıtmaya kıyasla %33 ile %50 arasında enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuşlardır.

Belhamra vd. (2007) yaptıkları çalışmada ışınım ile ısıtmanın enerji tüketiminin, sıcak hava üfleme (konveksiyonla ısıtma) sistemlere oranla birkaç kat daha az olduğundan bahsetmişler ancak rakamsal veri vermemişlerdir. Çalışmada ayrıca ışınım ile ısıtmanın, yatırım ve bakım maliyetleri açısından, konveksiyonla ısıtmaya oranla daha avantajlı olduğu bildirilmişlerdir.

1.1.5 Kızıl Ötesi Işınımın Sağlığa Etkileri

Yapılan tez çalışmasında karbon esaslı ısıtma elemanları kullanılacak olması sebebi ile ve karbon esaslı ısıtma elemanlarının yaydıkları termal ışınımın, elektromanyetik spektrumun *uzak kızıl ötesi* (FIR – Far Infrared) bölgesine yakın olması sebebi ile (Wang vd., 2010; Hirohata vd., 2002), yapılacak araç üzeri ısıtma sistemi çalışması da esasen, uzak kızıl ötesi ışınım ile ısıtma sağlayan bir ısıtma yöntemidir.

Bu sebeple sağlık üzerine yapılan literatür araştırmaları için uzak kızıl ötesi ışınımın insan sağlığı üzerine etkileri ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Uzak kızıl ötesi ışınım ile ilgili olarak, literatürde yaygın olarak çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazı örnekler aşağıdaki gibidir.

Yamashita (2012) uzak kızıl ötesi ışınımın insan sağlığına olan etkileri ile ilgili yaptığı deneysel çalışmada, uzak kızıl ötesi ışınımın su moleküllerini hızlandırdığı, bunun bir sonucu olarak, kan hücreleri üzerinde etkileri incelendirdiğinde, canlı vücut üzerinde yapılan deneylerde vücudun kan akışını hızlandırdığı, yine su moleküllerinin hızlanmasının bir sonucu olarak, canlı deri üzerinde yapılan incelemelerde, yeni deri hücresi oluşumunu hızlandırdığı ve yeni kemik oluşumunu olumlu etkilediğini yapılan deney çıktıları ile aktarmıştır.

Vatansever ve Hamblin (2012) yaptıkları derlemede, kızıl ötesi ışınımın kan akışını hızlandırarak vücut üzerinde önemli olumlu biyolojik etkiler sağladığı, yaraları iyileştirmede ve tedavilerde katkı sağlayabileceğini belirtilmişler, gelecekte yaygın kullanım alanı olacağının beklendiği yönünde öngörüler vermişlerdir.

Chun-Chih Lin vd. (2013) yaptıkları çalışmada, uzak kızıl ötesi ışınımın antioksidan özelliği üzerine yapılan araştırma sonuçlarını açıklamışlardır. 18-30 yaşları arasındaki 46 denek üzerinde yapılan deneysel çalışmada, beyin ve omurga bölgesine uzak kızıl ötesi uygulanan farklı gruplar ve uzak kızıl ötesi ışınımına maruz kalmayan aynı ortam şartlarındaki deneklerin kanlarındaki oksidan anyonların değişimi incelemiştir. Deney sonuçlarına göre hem beyin hemde omurgaları uzak kızıl ötesi ışınımına maruz bırakılan denek gruplarının kanlarındaki oksidan özellikli anyonların azalma gösterdiği buna karşılık uzak kızıl ötesi ışınımına maruz bırakılmayan denek gurubunun ise kanlarındaki oksidan miktarının artmaya devam ettiğini raporlamışlardır.

Sonuç olarak, doktora tez konusu çalışma ile ilgili literatürde sadece 4 benzer çalışma bulunabilmesi ve bu dört çalışmadan iki tanesinin büyük otomotiv şirketlerinin de içinde olduğu çalışmalar olması, araçlarda kızıl ötesi ısıtma konusunun hem çok yeni hemde büyük araç üreticilerinin de gündeminde olan bir konu olduğunu göstermektedir.

1.2 Patent Araştırmaları

Yurt içi ve yurt dışı toplam 100.000.000’u aşkın patent dökümanı içinde “*ışınım*la araç ısıtma, *vehicle FIR heating*, *vehicle far infrared heating*, *radasyonla araç ısıtma*” anahtar kelimeleri kullanılarak yapılan patent araştırmalarında;

DE102013021593A1, CN2717159Y, CN203723752U, CN203340313U ve CN201150387Y numaralı patentlerde farklı yöntemler ve malzemeler kullanılarak yapılan koltuk ısıtma sistemi ile ilgili farklı çözüm örnekleri verilmiştir.

DE102011000177A1, CN104057803A, CN104053564A, WO2015010874A1, US8859938B2, US20150028119A1, US20150028116A1, US20140346160A1, US20130119042A1, US20100258645A1 ve US2007215589A1 numaralı patentlerde ise araç içinde farklı bölgelerde uygulanmış seramik veya plaka şeklinde farklı malzemeler kullanılan kızıl ötesi ısıtıcılar ile ilgili çalışmalar ve buluşlar yer almaktadır.

CN2716307Y, WO2014129857A1, KR2020080005788U ve KR200446068Y1 numaralı patentlerde ise ısınan kumaşlar ile üzerine yapılmış çalışmalar ve bunların farklı alanlardaki kullanımları üzerine yapılan buluşlar yer almaktadır.

Bu bulgular neticesinde ayrı ayrı patentler bulunmakla birlikte tüm araç kabinine uygulanmış kızıl ötesi veya uzak kızıl ötesi ışınım yapan kumaşlar ile ilgili ısıtmaya dair bir patent başvurusuna rastlanılamamıştır.

Yapılan araştırmalar ve literatür bilgileri doğrultusunda, doktora tez konusu çalışma literatürdeki diğer çalışmalardan, kızıl ötesi ışınım özelliğine sahip ve farklı geometrilere uyum sağlayabilen esnek yapılı iletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşın araçlarda ısıtma sistemi olarak kullanılması özelliği ile ayrışmakta ve özgün bir çalışmadır.

BÖLÜM 2

ARAÇLARDA KALORİFER SİSTEMLERİ

Günümüzde yolcu taşımacılığı yapan taşıtlarda kullanım kolaylıkları ve taşıtların yolculara sundukları konfor seviyesi artmıştır. İnsanların üretilen ilk otomobilleri kullanırken giydikleri koruyucu kıyafetler, üstü kapalı otomobillerin üretilmeye başlanması ile yavaş yavaş ortadan kalkmıştır. Taşıt kalorifer sistemi, motorda ortaya çıkan atık ısının kullanılması ile çözülmüştür. Motor soğutma sıvısı devresi üzerine yerleştirilen ısı değiştiricileri 1930'lu yıllarda piyasaya sunulmuştur. Bu tip ısı değiştiriciler Avrupa ülkelerinde üretilen taşıtlarda 1950'li yıllarda başlayarak standartlaşmıştır.

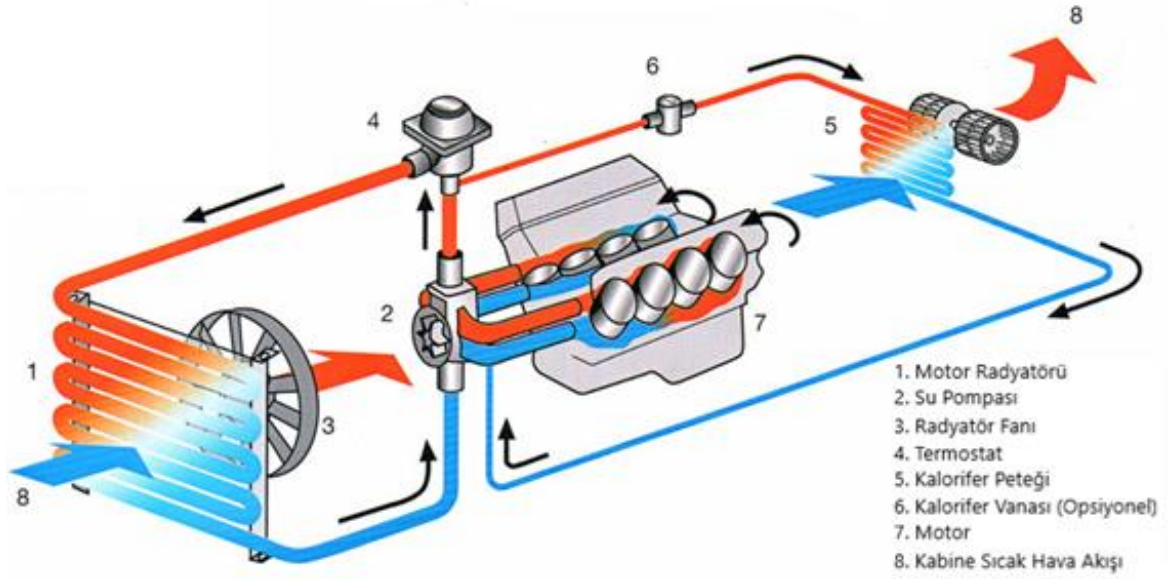
Günümüzde yolcu taşımacılığı yapan taşıtlarda kullanılan kalorifer sistemi, içten yanmalı motora sahip araçlarda kalorifer sistemi başlığı altında anlatılmıştır. Ayrıca gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde üzerine yapılan geliştirmeler artarak devam eden ve kullanımı yaygınlaştırılmak istenilen elektrikli araçların ısıtma sistemi hakkında da bilgi verilmiştir.

2.1 İçten Yanmalı Motora Sahip Araçlarda Kalorifer Sistemleri

İçten yanmalı motorlar, fosil yakıtın yakılması sonucu elde edilen ısı enerjisini mekanik enerjiye çevirirken, termodinamik kurallar doğrultusunda bu enerjinin bir miktarını ısı enerjisi olarak dışarı atmaktadırlar. Dışarı atılan bu enerjinin bir kısmı, eksoz yolu ile doğrudan atmosfere bırakılırken, bir kısmı da içten yanmalı motorun soğutulmasında kullanılan soğutma suyuna aktarılmakta, soğutma suyunun bir radyatörde soğutulması ile de gene atmosfere atılmakta veya başka bir soğuk kaynağa aktarılmaktadır. Dışarı atılan bu atık enerji motorun verimine göre değişmekle birlikte, küçümsenemeyecek ölçüdedir. En genel ifade ile, fosil yakıtın yanması sonucu elde edilen ısı enerjisinin yaklaşık olarak 1/3'ünün mekanik enerjiye çevrildiği, 1/3'ünün eksozdan atmosfere atıldığı ve 1/3'ünün de içten yanmalı motorun soğutulması için soğutma suyuna aktarıldığı söylenebilir (Şekeroğlu, 2002).

İçten yanmalı motora sahip araçlarda genellikle yolcu kabininin ısıtması için bu atık ısı kaynağından faydalanılır. Motor soğutma suyuna aktarılan motor atık ısısı, bir dolaşım hattı ve genellikle araç kabini içine yerleştirilmiş ısı değiştirgeçlerinden (araç kaloriferleri) geçirilerek araç kabininin ısınma ihtiyacı sağlanır.

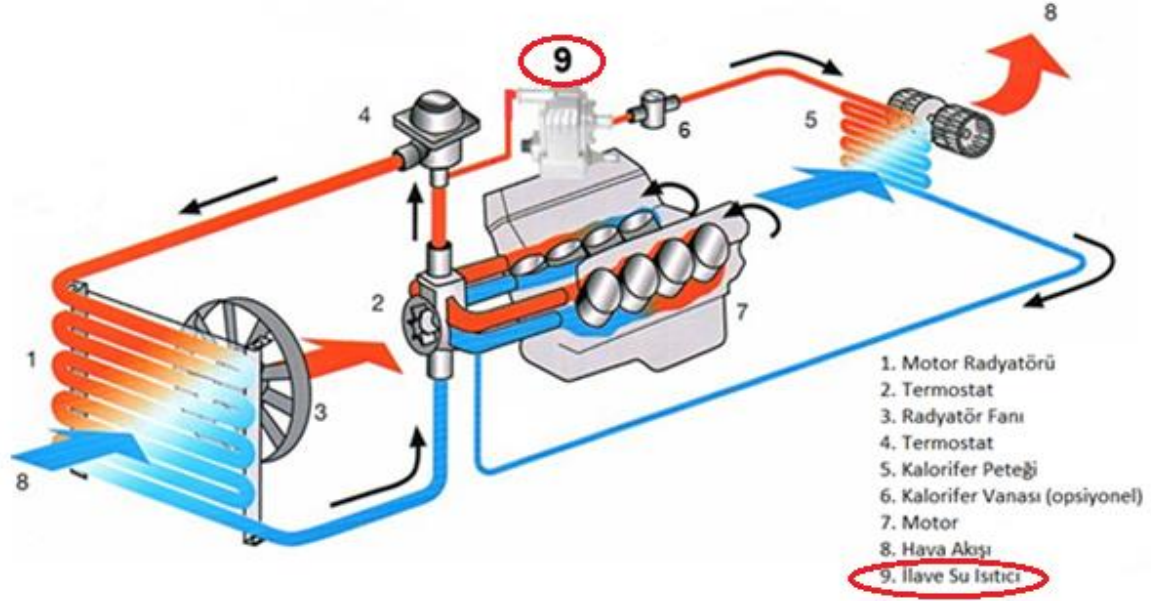
İçten yanmalı motora sahip aracın basit motor suyu devre şeması ve kalorifer hattının şeması, Şekil 2.1’de verilmiştir (URL-4, 2018).



Şekil 2.1: İçten yanmalı bir motora ağıt soğutucu akışkan hattı diagramı (URL-4, 2018).

Motorda ısınan motor soğutma suyu (sıcak akışkan), motor devir daim pompası üzerinden geçerek radyatöre giden termostat çıkışından önce başka bir rotaya ayrılarak, radyatör hattından bağımsız bir hat üzerinden (termostatın açılmasından bağımsız olarak) hortum ve borular vasıtası ile yolcu kabinde yerleştirilmiş bulunan ısı değiştirgeçlerine (kalorifer petekleri) ulaşır. Bu ısı değiştirgeçlerinde sıcak akışkanın sahip olduğu ısının bir miktarı ısı değiştirgeçleri üzerinden geçen ve kabine giden havaya taşınır. Bu işlem bir fan yardımı ile zorlanmış olarak veya doğal taşınım yolu ile olabilir. Yolcu kabineye yönlendirilen havanın ısıtılması sağlanarak yolcuların ısıtma ihtiyacı da karşılanmış olur. Bu sistemde, yolcu kabini sıcaklığı, kalorifer peteği üzerinden geçen hava hızının ayarlanması ve kalorifer peteğine giden sıcak su miktarının debisinin bir vana ile kontrol edilmesi ile sağlanır.

Soğuk iklim bölgelerinde uzun süreli seyahat araçlarında temel ısıtma sistemine ilave olarak yakıtlı veya elektrikli ek ısıtıcılar sisteme eklenerek, motor suyu sıcaklığının yakıt yakılarak veya elektrik enerjisi ile artırılması ile kabin ısıtma konforunun korunmasına çalışılır. Şekil 2.2’de soğuk iklim bölgelerinde kullanılan araçlara ait ısıtma sistemi şeması verilmiştir (URL-4, 2018).

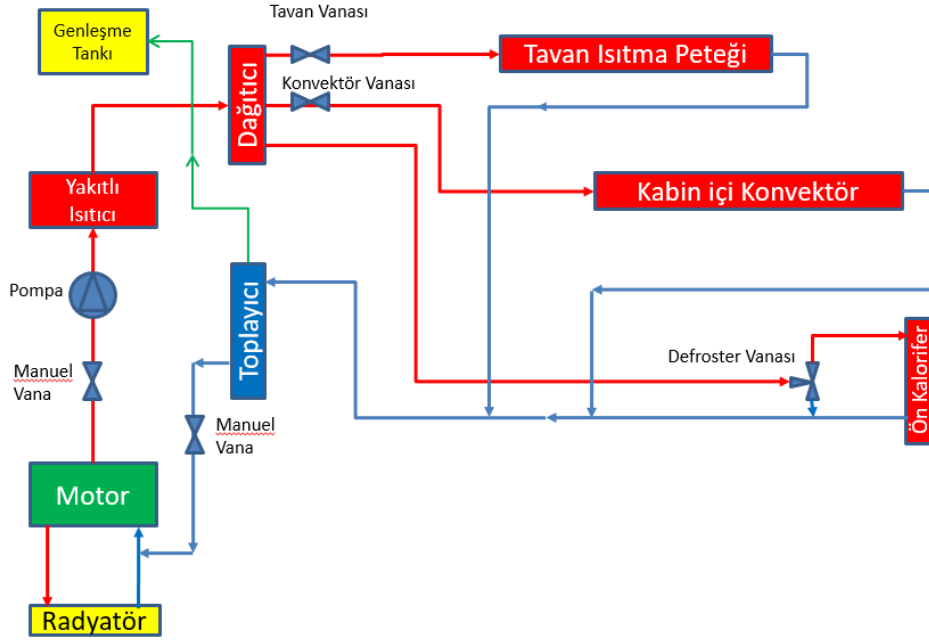


Şekil 2.2: Soğuk iklim bölgelerinde kullanılan araçlara ait basitleştirilmiş bir motor soğutma ve kalorifer devresi (URL-4, 2018).

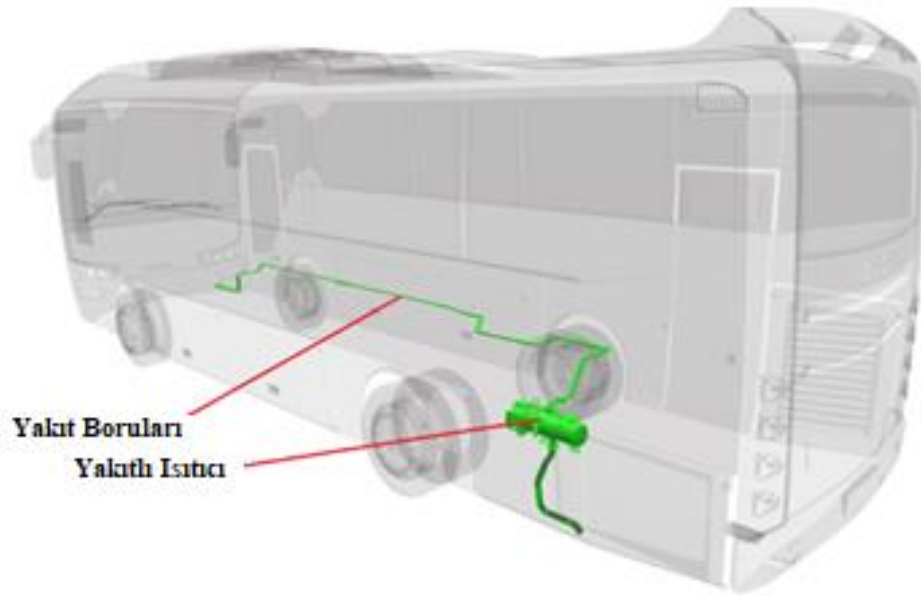
Yolcu taşımacılığı yapan daha büyük boyutlu taşıtlarda ise (otobüs, minibüs), sistem temelde aynı olmakla birlikte kullanılan komponentlerin sayıları, çeşitleri ve ebatlarında farklılıklar bulunmaktadır.

Şekil 2.3 de yolcu taşımacılığı yapan bir taşıta ait ısıtma sistemi şeması verilmiştir. Isıtma sistemindeki motor soğutma suyu, yine motorun radyatöre giden termostat çıkışından bağımsız, ayrı bir çıkıştan alınarak önce borular vasıtasıyla harici bir devirdaim pompasına girer. Motor devir daim pompasından bağımsız ikinci devirdaim pompasının kullanım amacı, sistemin büyüklüğü sebebiyle artan sistem dirençleridir. Devirdaim pompası çıkışında motor soğutma suyu, araç boyutuna göre kapasitesi 35 kW'a kadar çıkabilen bir yakıtlı ısıtıcıya gönderilir (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5). Yakıtlı ısıtıcı, motordan gelen soğutma suyunun sıcaklığına ve kullanıcı talebine bağlı olarak devreye girerek motor soğutma suyunun sıcaklığının artırılmasını sağlar, yakıtlı ısıtıcı çıkışında sıcaklığı artırılmış olan

motor soğutma suyu, bir dağıtım kutusu ve vanalar üzerinden farklı hortum-boru hatlarına ayrılarak aracın farklı bölgelerine yerleştirilmiş ısı değiştirgeçlerine gönderilir (Şekil 2.5) (URL-5, 2018) .



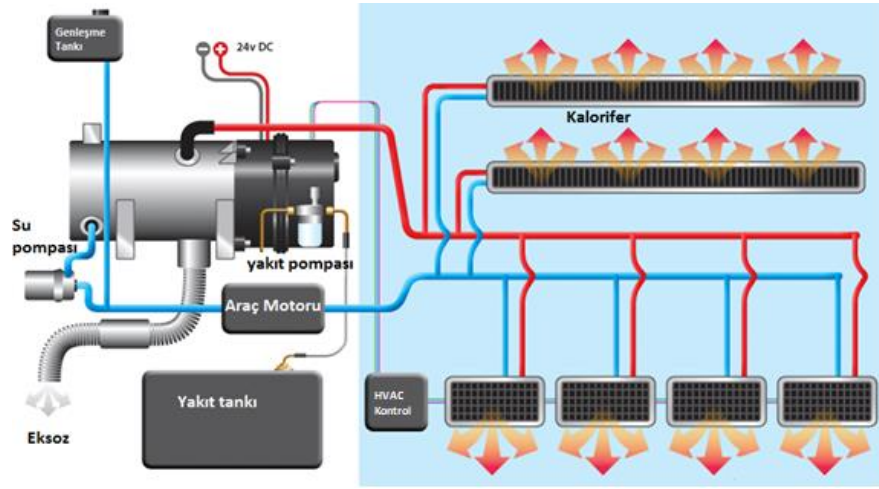
Şekil 2.3: Yolcu taşımacılığı yapan bir araca (otobüs) ait kalorifer şeması.



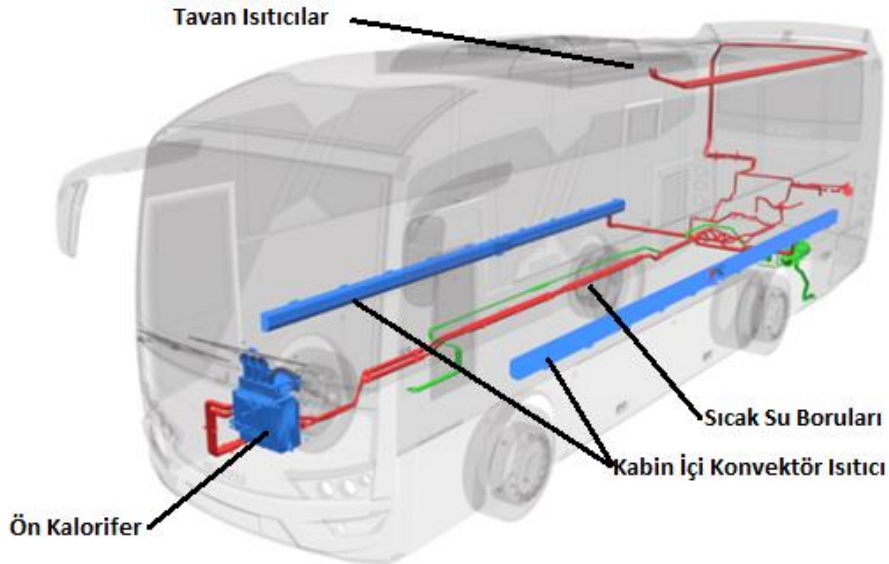
Şekil 2.4: Yakıtlı ısıtıcı araç üzeri görünümü (Eren vd. , 2017).

Bu farklı bölgeler, öncamın buz/buğu sunu çözmek ve şoförü ısıtmak için olan “Ön kalorifer-Defroster”, yolcu kabini ısıtmada kullanılan “konvektör ısıtıcılar”, “fanlı koltuk

altı ısıtıcılar”, araç kapı bölgelerinde bulunan “*basamak ısıtıcıları*”, araç tavanında bulunan ve hava kanalı içinden sıcak hava dağıtımını sağlayan “*klima ısıtma petekleri*”, “*şöför yatma kabini*” veya farklı başka yerler de olabilir. Sıcak su bu bölgelerdeki ısı değiştirgeçlerinde taşıdığı ısı enerjisini, taşınım yoluyla kabin iç havasına aktararak geri dönüş hattına yönlendirilirken, kabin iç havası da ısıtılmış olur. Aynı zamanda dönüş hattına yönlendirilen ısını kaybetmiş motor soğutma suyu, radyatör dönüş hattı üzerinden motora geri döndürülür (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7)

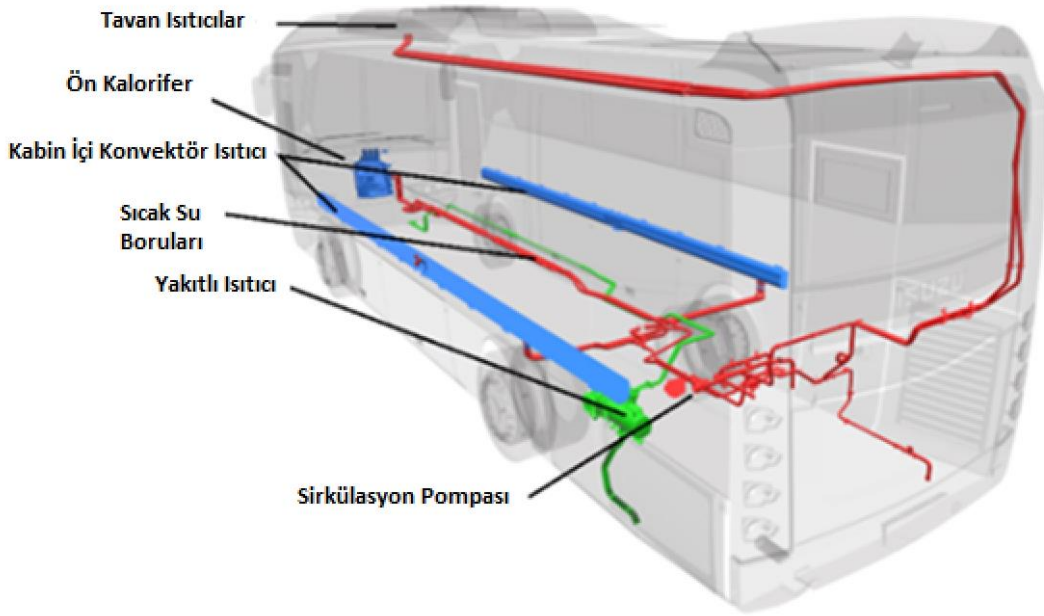


Şekil 2.5: Yakıtlı ısıtıcı su hattı (URL-5, 2018).



Şekil 2.6: Yolcu taşımacılığı yapan araçlarda kalorifer sistemi (Eren vd. , 2017).

Bunun sonucunda mevcut araç kabini ısıtma sistemleri, kabin içindeki yolcunun ısı konforunun sağlanabilmesi için, yakıt yakmaktan başlayarak, ısı değiştirgeçlerinde birden fazla defalar (yakıtın suyu ısıtması, ısınan suyun havayı ısıtması, ısınan havanın kabin içi parçaları ve yolcuları ısıtması gibi) ısı transferi yapılmasını, ayrıca sıcak akışkanın araç içinde bir bölgeden başka bir bölgeye taşınmasını gerektiren kademeli süreçleri içeren sistemlerdir. Tüm bu yanma, taşıma ve ısı transferi süreçleri kendi içlerinde farklı verimsizlikler içermektedir. Bunların toplamı düşünüldüğünde ise toplam ısıtma sisteminin veriminin düşük olması kaçınılmazdır.



Şekil 2.7: Yolcu taşımacılığı yapan araçlarda kalorifer sistemi (Eren vd., 2017).

2.2 Elektrikli Araçlarda Kalorifer Sistemleri

Elektrik ile ısınmanın ilk keşfinden günümüze kadar elektrik ile çalışan pek çok ısıtıcı cihaz günlük hayatımıza girmiştir. Elektrikli sobalar, elektrikli fırınlar, elektrikli su ısıtıcıları ve basit ev eşyaları dahil pek çok örnek sayılabilir.

Elektrikli ısıtma teknolojilerinde kullanılan ısıtma elemanları genellikle, hedeflenen uygulama alanları, çalışma koşulları ve ihtiyaç duyulan sıcaklıklara göre farklı malzeme gruplarından üretilmektedir. Bu doğrultuda bazı saf metalik malzemeler, alaşımlar (Cr alaşımları) ve bazı iletken seramikler (SiC, SnO₂), çeşitli endüstriyel ve gündelik uygulamalarda direnç olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler geniş ölçekte

kullanılmalarına rağmen çeşitli dezavantajlara sahiptirler. Bu dezavantajlara örnek olarak metaller ve seramiklerde bulunmayan esneklik ve katlanabilirlik verilebilir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda seramikler esnek olmamalarından dolayı yük binen uygulamalarda hasara uğramaktadırlar (Moulson ve Helbert, 2003).

Otomotivde elektrikli ısıtıcı uygulamaları incelendiğinde, çoğunlukla seramik, yarı iletken PTC ve tel direnç ısıtıcıların (koltuk ısıtıcı gibi) kullanımı görülmektedir. Ancak bu malzemeler şekillendirilmedeki kısıtları sebebi ile belirli sınırlamalar dahilinde kullanılabilirler. Buna örnek olarak, bu ısıtıcıların sadece kapalı hacimler içinde ve koltuk, hava veya su ısıtıcı olarak kullanılabilirleri gösterilebilir.

PTC türevi ısıtıcılar hem içten yanmalı (IC) motorlu araçlarda motor suyundan oluşan aracın ana kalorifer sistemini, motorun ilk çalışma anı gibi bazı koşullarda desteklemek amacıyla ilave ısıtıcı olarak kullanılırken hemde ilk elektrikli araç uygulamalarında, ilk elektrikli ısıtıcı uygulamaları olarak yer almışlardır. Bu ısıtıcı uygulamalarına örnek olarak (Umezu ve Noyama, 2010), de bahsedilen ve Mitsubishi Motors tarafından geliştirilen “i-MiEV” adlı elektrikli araç verilebilir.

PTC elektrikli ısıtıcıların bu uygulama alanları ile birlikte, literatür araştırmalarında da bahsedildiği gibi özellikle elektrikli araçlar üzerine yeni ısıtma yöntemi arayışları da sürmektedir. Yapılan araştırmalardan ortaya çıkan sonuçları birer başlık altında toplayacak olursak, elektrikli ısıtma ile ilgili çalışmaların aşağıdaki konu başlıklarında yoğunlaştığını söyleyebiliriz.

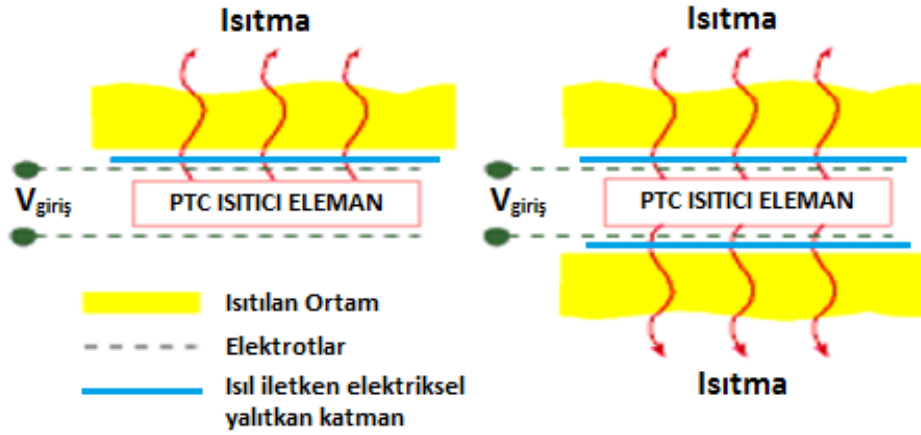
1. PTC ısıtıcılar,
2. Isı pompası,
3. Manyetokalorik ısıtma,
4. Radyant ısıtma.

Bu konu başlıkları altında yapılan çalışmaları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

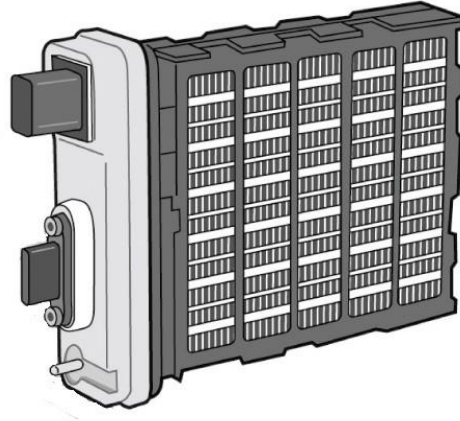
2.2.1 PTC Isıtıcılar

PTC ısıtıcılar, Şekil 2.8 de gösterildiği gibi yarı iletken, seramik ısıtıcılardır. Üzerlerine gerilim uygulandığında ilk başlangıçta yüksek akım çekerek yüksek sıcaklıklara ulaşırlar, seramik malzeme, yapısına göre belirli sıcaklığa ulaştığında, gittikçe çektiği akım azalır ve bu sayede sıcaklık değeri de ayarlanmış olur.

PTC ısıtıcılar, ısıyı ortama farklı yöntemlerle iletecek şekilde tasarlanabilirler. Bu iletim şekli, bazı uygulamalarda üzerine bağlanan bir alüminyum kanatçıklı yapı ile olabilirken, bazı durumlarda fanlı sistemler içinde, bazı uygulamalarda ise su ısıtıcı olarak kullanılabilirler.

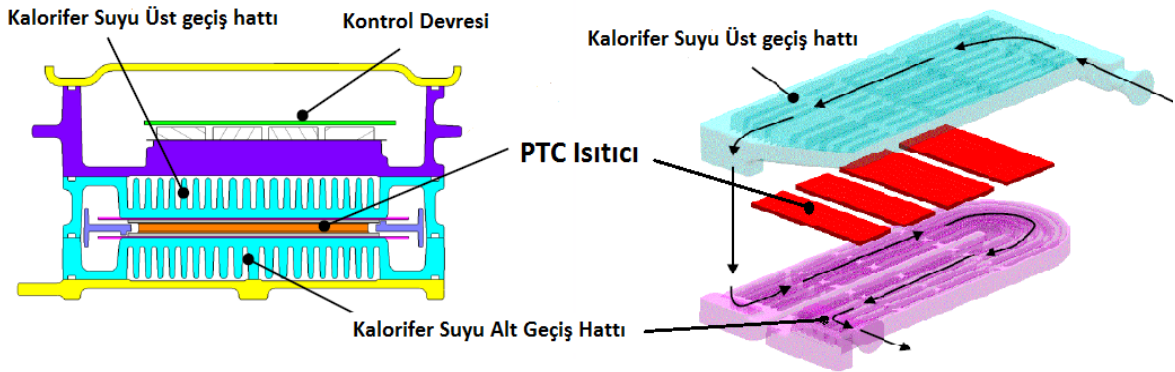


PTC ısıtıcılar, otomotiv sektöründe hem içten yanmalı motora sahip araçlarda, hem de elektrikli araçlarda kabin ısıtıcı olarak kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda Şekil 2.9 da görüldüğü gibi kabin havasını ısıtmak için direk havayı ısıtan PTC ısıtıcı kullanılırken, bazı uygulamalarda ise Şekil 2.10 da görülebileceği gibi kabini ısıtacak ısı değiştiricilere giden motor suyu PTC ısıtıcılar vasıtası ile ısıtılmaktadır.



Şekil 2.9: PTC hava ısıtıcı (URL-6, 2018).

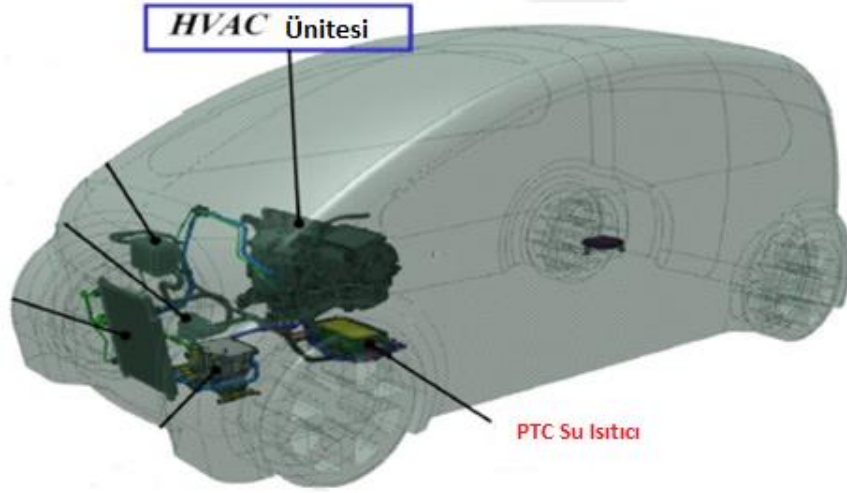
PTC su ısıtıcı kullanımına örnek olarak literatür araştırması kısmında da belirtilen Mitsubishi nin i-MiEV aracı gösterilebilir. Bu araçta, Şekil 2.10 da gösterilen PTC su ısıtıcı, Şekil 2.11 de gösterildiği gibi aracın kabinini ısıtmakta kullanılan HVAC sistemine sıcak su sağlayan hat üzerine yerleştirilerek, kabine giden kalorifer suyunun ısıtılmasında kullanılmıştır (Umezu ve Noyama, 2010). PTC ısıtıcının yapısına bakıldığında, sızdırmaz ve kapalı bir ortamda, iki tarafı soğutma suyu ile çevrili olacak şekilde, ortaya yerleştirilmiş bir yarı iletkenden oluştuğu görülmektedir.



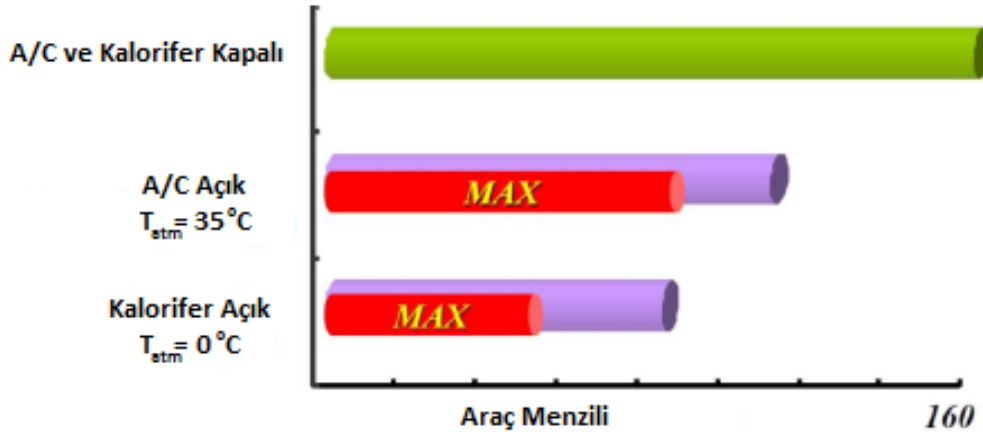
Şekil 2.10: Mitsubishi I-MiEV aracında kullanılan PTC Su ısıtıcının yapısı (Umezu ve Noyama, 2010).

PTC yarı iletken ısıtıcıların avantajları, uzun ömürlü olmaları, birkez ısındıktan sonra çektikleri akımın gittikçe düşerek kendi iç sıcaklık kontrolünü sağlamaları, küçük ebatlarda yüksek kapasitelere çıkabiliyor olmaları, sessiz olmaları ve hareketli parçaları olmaması olarak sayılabilir. Ancak, özellikle ilk ısınma sürecinde çektikleri yüksek akım ve düşük COP leri, dolayısı ile yüksek güç tüketimleri PTC yarı iletken ısıtıcıları elektrikli araçlarda

öncelikli tercih edilen çözüm olmaları noktasından uzaklaştırmaktadır. Umezu ve Noyama tarafından 2010 yılında i-Miev üzerinde yapılan çalışmada, -10 °C dış ortam koşullarında kalorifer çalışırken ve çalışmadan testler yapılarak kıyaslanmış ve PTC yarı iletken ısıtıcının araç menziline %50 ve hatta maksimum konumunda çalıştırıldığında daha da aşağısına düşürdüğü Şekil 2.12 de gösterilen grafikte verilmiştir (Umezu ve Noyama, 2010).



Şekil 2.11: Mitsubishi i-MiEV araçta kalorifer su devresi üzerinde PTC su ısıtıcı yerleşimi (Umezu ve Noyama, 2010).



Şekil 2.12: PTC ısıtıcılı kalorifer sisteminin araç menziline etkisi (Umezu ve Noyama, 2010).

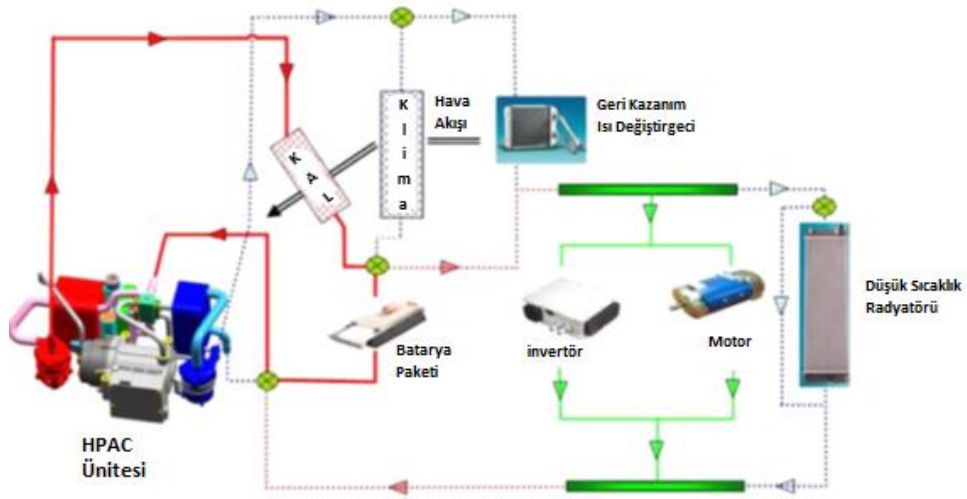
2.2.2 Isı Pompası

Isı pompası, uzun süredir bilinen, konutlarda ve mahal ısıtmalarında yaygın kullanılan bir sistem olmasına karşılık, elektrikli araçlar gündeme gelene kadar motor atık ısısının kabinin

ısıtma ihtiyacını karşılaması sebebi ile otomotiv uygulamalarında kullanım alanı bulamamıştır. Ancak, elektrikli araçların gündeme gelmesi ve ısıtma için harcanan enerjinin araç menziline neredeyse %50 lere varan oranda azaltıyor olması, ısı pompalarını farklı versiyonları ile birlikte elektrikli araçlarda kullanılan kabin ısıtma sistemlerinden biri haline getirmiştir.

Isı pompası uygulaması ile birlikte, buna destek olarak elektrikli araçların batarya, güç elektroniği ve motor gibi ısı üreten ve soğutulması gereken aksamalarının ürettiği bu atık ısılarından da faydalanılması ile, elektrikli araçlara özel ısı pompası modelleri ortaya çıkmıştır. Şekil 2.13 de, elektrikli aracın güç elektroniği, elektrik motorları ve bataryalarından alınan atık ısıları da kullanan bir ısı pompası sisteminin şeması verilmiştir (Zhaogang Qi, 2014).

Yapılan araştırmalar, güç elektroniği, batarya ve elektrik motoru atık ısıları ile desteklenmiş ısı pompası sistemlerinin COP lerinin 3'lere yaklaştığını ve ümit verici sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Isı pompaları ile ilgili çalışmalar halen devam etmekte olup, çalışmalar bir ısıtma sisteminden öte elektrikli araçlarda atık ısı yönetim sistemi olarak değerlendirilmekte ve maksimum fayda sağlayabilmek için Şekil 2.13 deki gibi araçta bulunan diğer tüm atık ısı kaynaklarının da değerlendirilmesi konusunda çalışılmaktadır. (Zhaogang Qi, 2014; Chung-Won vd. 2016).

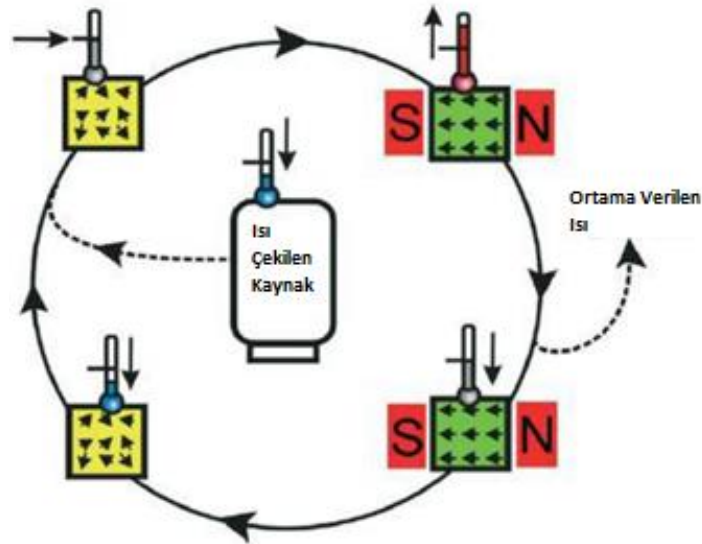


Şekil 2.13: Elektrikli araç uygulamalarına özel geliştirilmiş ısı pompası uygulaması (Zhaogang Qi, 2014).

Isı pompası ile ilgili çalışmalar, sadece elektrikli araçlardaki atık ısıların ısı pompasını desteklemek amaçlı değerlendirilmesi ile sınırlı değildir. Soğutucu akışkan ve soğutma çevrimi üzerine de farklı çalışmalar yapılmaktadır. Manyetokalorik soğutma temelli ısı pompası da bunun bir çıktısıdır.

2.2.3 Manyetokalorik Isıtma

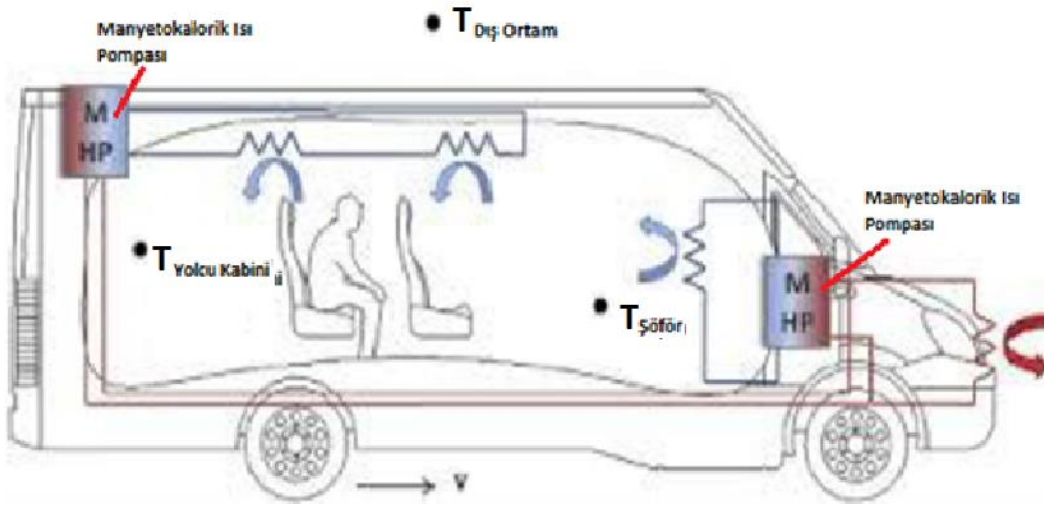
Manyetokalorik ısıtma manyetokalorik etki üzerine kurulu bir ısıtma şekli olup, bu etki manyetokalorik malzemeler olarak adlandırılan farklı metalik malzemelerin ve alaşımların bir manyetik Alana maruz bırakılmaları sonucunda ortaya çıkar (Paya vd., 2011). Manyetokalorik Malzemeler (MCM), güçlü bir manyetik alana maruz bırakıldıklarında malzeme yapısındaki elektronların diziliminin değişime zorlanması sonucunda bir ısı açığa çıkar. Bu esnada, açığa çıkan bu ısının araç kabine transferi sağlandığında kabine geçen bu ısı enerjisi ortamı ısıtır ve manyetokalorik etki ısıtma amaçlı kullanılmış olur. Sistem tersine çalıştırıldığında ise manyetokalorik soğutma sağlanabilir. Bu tip bir ısı pompası bilindik yaygın buhar sıkıştırma bir ısı pompasından oldukça farklıdır. Şekil 2.14 de manyetokalorik bir ısı pompasının çalışma prensibi verilmiştir (Zhaogang Qi, 2014; Paya vd., 2011).



Şekil 2.14: Manyetokalorik soğutma çevrimi çalışma prensibi (Paya vd., 2011).

Manyetokalorik ısı pompası, buhar sıkıştırırmalı ısı pompası çevrimine oranla birçok yenilik ve farklılık içermektedir. Çevreyi kirleten soğutucu bir akışkanın olmaması, çevreci bir teknoloji olması, basınçlı bir gaz bulunmaması ve sistemin basitliği bu farklılıklardan bazılarıdır. Ayrıca, manyetokalorik soğutma konvansiyonel soğutuculardan daha verimli ve sera gazı etkisi olmayan bir soğutma sistemidir (Paya vd., 2011).

ICE projesi olarak adlandırılan ve Avrupa birliği tarafından desteklenen, % 100 elektrikli bir minibüs üzerinde yapılan manyetokalorik ısı pompası çalışması ile ilgili araç üstü uygulama görseli Şekil 2.15 de verilmiştir (Torregrosa-Jamie vd., 2013).

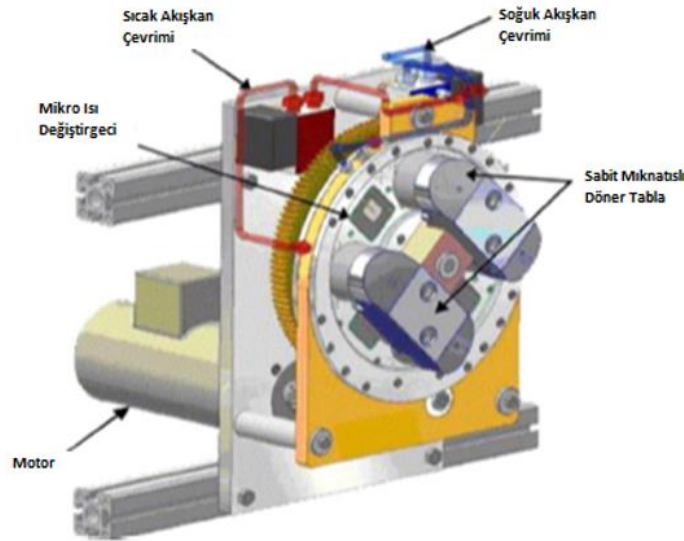


Şekil 2.15: ICE projesinde manyetokalorik ısı pompalarının araç içi yerleşimi (Torregrosa-Jamie vd., 2013).

Manyetokalorik ısı pompaları üzerine yapılan çalışmanın çıktıları ile ilgili detaylar Zhaogang Qi ve Paya vd. tarafından yapılan çalışmalarda verilmiştir. Şekil 2.16 da, manyetokalorik ısı pompasının prototipi verilmiştir (Zhaogang Qi, 2014; Paya vd., 2011).

Elektrikli araçların menziline ciddi olumsuz etkileri olan enerji tüketim kaynaklarından biri olan ısıtma konusunda bir alternatif yaratan manyetokalorik ısı pompaları, konvansiyonel ısı pompalarına göre daha basit bir sisteme sahip olup enerji tüketiminde de daha verimli olmalarıyla beraber aynı zamanda kısa süreli çok yüksek COP değerlerine ulaşabilmektedirler. Komplike değil aksine basit ve kompakt bir sistem oluşturmaları da uygulanabilirliklerini kolaylaştırmaktadır. Sessiz çalışmaları, ısıtma ve soğutma arasında kolay geçiş yapabilmeleri ve çevre üzerinde zararlı herhangi bir etkilerinin bulunmaması da

diğer ön plana çıkan olumlu yanlarıdır. Ancak yapılan çalışmalardan çıkan sonuçlara göre, gerek iç ve dış ortam sıcaklık farkının yüksek olduğu koşullarda ve özellikle ısıtma açısından düşük dış ortam sıcaklıklarında, bataryadan çekilen güç ihtiyacı kayda değer biçimde artmış, COP değerleri düşüş göstermiştir. Elektrikli araç uygulamaları için en çok önem arzeden kriterlerden biri olan enerji tüketimindeki bu olumsuzluğun yanı sıra manyetokalorik malzemenin seçimi, ısı değiştiricilerinin dizaynı, kabin ısı yönetimi ve yüksek bir manyetik alan ihtiyacı duyulması, diğer karşılaşılan zorluklar olarak göze çarpmaktadır (Zhaogang Qi, 2014). Manyetokalorik ısı pompası üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ümit vadeci olmakla birlikte sistemin hem manyetokalorik ısı pompası tarafında hemde tüm araç ısı yönetimi tarafında geliştirilmeye ihtiyacı bulunmaktadır.



Şekil 2.16: Manyetokalorik ısı pompası prototipi (Zhaogang Qi, 2014).

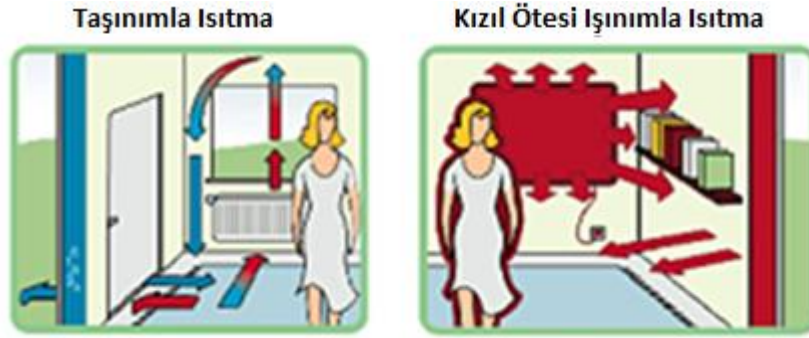
2.2.4 Radyant Isıtma

Işınım ile ısıtma olarak ta adlandırılabilen radyant ısıtma aslında günlük hayatımızın bir parçasıdır. Güneşten yer yüzüne gelen elektromanyetik dalgalar ve güneş ışınları yer küreyi ışınım yoluyla ısıtmaktadırlar. Bu sebeple güneşi de bir ışınım kaynağı ve radyant ısıtıcı olarak tanımlayabiliriz.

Işınım ile ısıtma günümüzde iç ve dış mekanların ısıtılmasında, büyük hangarların, depoların, fabrikaların, kafeteryaların, endüstride ve açık alanların ısıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv sektöründe ise radiant ısıtıcıların kullanımı henüz yaygınlaşmamış hatta literatür kısmında da belirtildiği gibi birkaç çalışmadan öteye henüz geçememiştir (BMW Group Innovation Day, 2012; Ene vd., 2013; Baum vd., 2014).

Işınım ile ısıtmayı, diğer ısıtma türlerinden ayıran en sıra dışı özelliği, diğer tüm ısıtma türleri gibi, bulunduğu ortam havasını ısıtarak kullanıcıların ısıl konforunu sağlamak yerine, Şekil 2.17 de gösterildiği gibi ortam havasını ısıtmadan çarptığı cisimleri ısıtmasıdır. Bir başka deyişle, ışınım yayıcı cisimden yayılan ışınım, çarptıkları objeler tarafından emildiği oranda ışınımı emen karşı cisimin ısıtılmasını sağlamaktadırlar. Bu sebeple ışınım ile ısıtma konveksiyonla ısıtmadan farklı olarak ortam havasını ısıtmak yerine insanların doğrudan ısıtılmasını sağlar. Bu yöntemin bir sonucu olarak ışınım ile ısıtmada, daha düşük yüzey ve ortam havası sıcaklıklarında da kişilerin konforlu hissetmesi sağlanmaktadır.



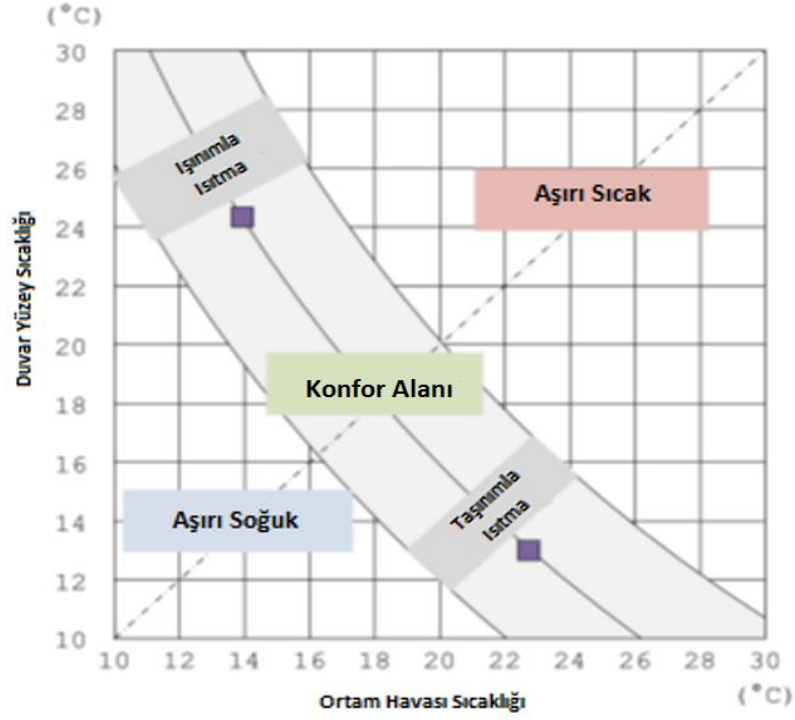
Şekil 2.17: Radyant ısıtma ve konveksiyon ile ısıtma farkı (URL-9, 2018)

Bununla birlikte hem ışınım yayan radiant ısıtıcıların sıcak yüzeylere sahip olması sebebi ile, hemde ışınımı emen cisimlerin zaman içinde ısınması sonucunda, bu sıcak cisimlerden ortam havasına taşınım yoluyla bir ısı transferi de gerçekleşir, bu da ışınım ile ısıtmada da ortam havasının zamanla ısınmasını sağlamaktadır.

Şekil 2.18 de de görüldüğü gibi, konvansiyonel ısıtma yöntemi diyebileceğimiz konveksiyon ile ısıtmada konfor sıcaklığına ulaşılabilmesi için ortam havasının 20 °C li değerlerde olması gerekirken, ışınım ile ısıtmada bu değer çok daha düşüktür (Baum vd., 2014)

Işınım ile ısıtma ortam havasını ısıtarak ısınan hava ile cisimleri ısıtmak yerine, doğrudan cisimlere çarpan ışınım yoluyla ısıtma sağladığı için, dolaylı ısıtma diyebileceğimiz diğer

ısıtma yöntemlerine kıyasla çok büyük bir avantaja sahiptir. Işınım ile ısıtma yönteminde sağlanan doğrudan ısıtmanın diğer yöntemlere kıyasla sağladığı COP avantajı Tablo 2.1 de verilmiştir (URL-1, 2018).



Şekil 2.18: Isıtma türüne göre ortam havası ve duvar yüzeyi sıcaklığının konfora etkisi (Baum vd., 2014)

Tablo 2.1: Farklı ısıtma sistemlerinin kıyaslanması (URL-1, 2018).

Isıtma Yöntemi	Işınım ile Isıtma	Jeotermal Isıtma	Isı Pompası	Elektrikli Panel Isıtıcı	CNG ile Isıtma	Propan ile Isıtma	Fuel Oil ile 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
Konveksiyonda 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

2.3 Isı Transfer Mekanizmaları

İki madde arasında sıcaklık farkı ile alınıp verilen enerjiye ısı denir. Birbiri ile etkileşim halinde bulunan iki sistem veya ortam arasında sıcaklık farkı varsa bu ortam veya sistemler arasında bir enerji transferi gerçekleşmektedir. Ortam veya sistem arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen enerji transferi, ısı transferi olarak adlandırılır. Isı transferi, termodinamiğin ikinci kanununa göre her zaman yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru gerçekleşir. Bir süre sonra iki sistemin de sıcaklıkları dengelendiğinde ısı transferi durur. Dolayısıyla ısı transferinin olabilmesi için temel şart etkileşimde olan sistemler arasında bir sıcaklık farkının olmasıdır (Incorpera vd., 2006).

Isı geçişinin gerçekleşme yöntemleri, ısı transfer mekanizmaları olarak adlandırılır ve üç başlık altında incelenir. Bunlar sırasıyla;

1. İletimle (Kondüksiyonla) Isı Transferi (Geçışı),
2. Taşınım (Konveksiyonla) Isı Transferi (Geçışı),
3. Işınım (Radyasyonla) Isı Transferi (Geçışı).

dır.

Tüm ısı transfer mekanizmalarında ısı geçişi, sıcaklığı yüksek olan ortamdan düşük olan ortama doğru gerçekleşir (Çengel, 2011).

2.3.1 İletimle (Kondüksiyonla) Isı Transferi (Isı Geçışı)

Bir katı ya da durgun akışkan ortamında bir sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı transferine iletimle (kondüksiyonla) ısı transferi denir. Katı maddelerde iletim ile ısı transferi, katı moleküllerinin titreşimleri ve serbest elektronlarla gerçekleşirken, durağan akışkanlarda, moleküllerin serbest hareketleri sırasında çarpışması ile olur (Çengel, 2011).

Bir ortamdaki iletimle ısı geçişinin hızı ve miktarı, ortam boyunca olan sıcaklık farkına, ortamın geometrisine, kalınlığına ve ortamı oluşturan malzemenin ısı iletme kabiliyetine bağlıdır. İletim ile gerçekleşen ısı transferi hızı, artan sıcaklık farkı, malzemenin ısı iletme

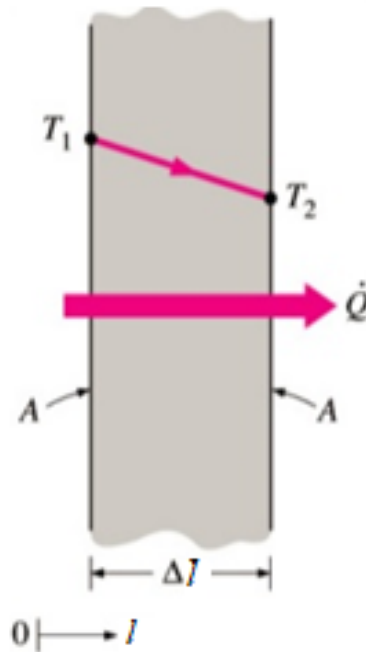
kabiliyeti ve ısı transferi gerçekleşen alanın artması ile artmakta, malzeme kalınlığı arttıkça da azalmaktadır.

$$\text{Isı İletim hızı} \propto \frac{(\text{Alan}) (\text{Sıcaklık Farkı})}{\text{Kalınlık}} \quad (1)$$

İletim ile gerçekleşen ısı transferini ilk defa 1822 yılında “*J. B. Fourier*” ifade etmiştir. Bu sebeple, bu ifadeye onu ilk kez ifade eden J. B. Fourier in adıyla “*Fourier Isı İletim Kanunu*” adı verilir (Halıcı ve Gündüz, 2012).

Fourier Isı İletim Kanunu

Şekil 2.19 da gösterilen sürekli rejimde 2 boyutlu iki ayrı tarafında T_1 ve T_2 ($T_1 > T_2$) gibi iki ayrı sıcaklıkta iki ayrı ortam bulunan, Δl kalınlığındaki ve A yüzey alanına sahip bir düzlem duvardan iletim yoluyla geçen ısı transferi hızı \dot{Q} , ΔT sıcaklık farkı ve yüzey alanı A ile doğru orantılı duvar kalınlığı Δl ile ters orantılıdır. Bu koşullarda, iletim ile gerçekleşen ısı transferi Fourier ısı iletim kanunu’na göre aşağıdaki şekilde ifade edilir.



Şekil 2.19: Düzlem duvarda iletimle ısı geçişi (Çengel, 2011).

$$\dot{Q}_{iletim} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta l} \quad (2)$$

Sıcaklık farkı $\Delta T = T_2 - T_1$ iken;

$$\dot{Q}_{iletim} = - kA \frac{\Delta T}{\Delta l} \quad (3)$$

$\Delta x \rightarrow 0$ durumunda

$$\dot{Q}_{iletim} = - kA \frac{dT}{dl} \quad (4)$$

bağıntısı ile elde edilir.

Eşitlik 4 deki k sabiti, ısı iletkenlik olarak tanımlanır ve ısı iletimi daima azalan sıcaklık yönündedir. Artan l yönünde sıcaklık azaldığı için T sıcaklığının l mesafesine göre değişimi (dT/dl) her zaman negatif olacaktır. ΔT ($T_2 - T_1$) farkı da her zaman negatif olacağı için ısı iletim hızı \dot{Q} pozitif olarak elde edilecektir (Halıcı ve Gündüz, 2012).

Formulde verilen ifadelerde;

k ısı iletkenlik katsayısını ($W/m^\circ C$), T_1 ve T_2 yüzey sıcaklıklarını ($^\circ C$), A yüzey alanını (m^2), Δl duvar kalınlığı (m), dT/dl ısı geçiş yönündeki sıcaklık gradyanı (değişimi) ($^\circ C/m$), \dot{Q}_{iletim} ise birim zamanda geçen ısı miktarını (W) ifade etmektedir.

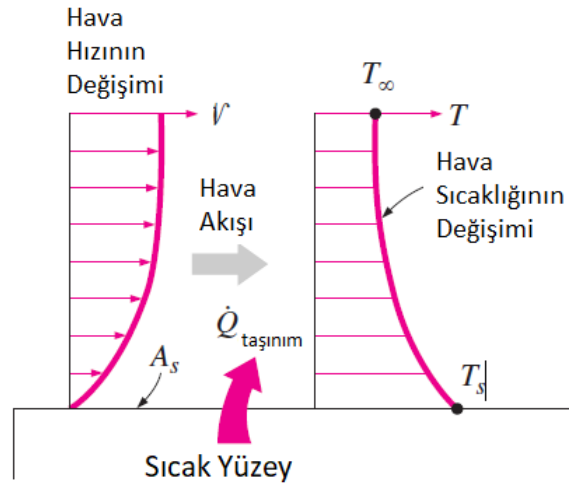
“ k ” Isıl İletkenlik

“Isıl iletkenlik” bir maddenin ısıyı iletme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Bir malzemenin ısı iletkenliği, o malzemenin birim kalınlığının, birim alan ve birim sıcaklık farkı altında ısı transfer hızı olarak tanımlanabilir. Isıl iletkenlik değerinin yüksek olması, malzemenin iyi bir iletken olduğunu, düşük olması ise malzemenin iyi bir yalıtım malzemesi olduğunu gösterir.

2.3.2 Taşınım ile Isı Transferi (Isı Geçişi)

Taşınım ile ısı geçişi, akışkan madde ile bu akışkan maddenin etkileşim halinde bulunduğu katı madde arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı transferine denir. Taşınım ile ısı transferinde akışkan maddenin hareketli olması gerekir. Bu hareket ne kadar fazla olursa ısı tranferi de bu hareketle doğru orantılı olarak hızlı gerçekleşir (Çengel, 2011).

Taşınım ile ısı transferini tam olarak anlayabilmek için akışkan ile yüzey etkileşiminin bir sonucu olan sınır tabaka kavramının iyi anlaşılması gerekir. Herhangi bir akışkan bir katı yüzey üzerinde akarken yüzey ile temas eden moleküller sürtünme ya da viskoz etkiler nedeniyle yüzeye yapışır. Şekil 2.20 de de gösterildiği gibi, yüzeye bu en yakın noktadaki akışkanın hızı sıfır olurken yüzeyden uzaklaştıkça hız artacak belirli bir mesafeden sonra akışkanın hızına eşitlenecektir (v). Buna karşılık, akışkana transfer olan enerji ile sıcaklığındaki değişim yüzeye en yakın noktada en fazladır ve bir süre sonra yüzeydeki durgun olan akışkan parçacıklarının sıcaklıkları yüzey sıcaklığına eşit olacaktır (T_s), ancak akışkan parçacıklarının sıcaklığı yüzeyden uzaklaştıkça azalacaktır ve bir süre sonra serbest akış sıcaklığına ulaşacaktır (T_∞). Serbest akış sıcaklığına (T_∞) ulaşıncaya kadar olan bu bölgeye de “sınır tabaka” adı verilir. (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006).



Şekil 2.20: Sıcak bir yüzeyden taşınım ile ısı transferi (Çengel, 2011).

Taşınım ile ısı geçişi, akışkanın özelliklerine, akışkanın hızına ve katı madde (yüzey) ile aralarındaki sıcaklık farkına bağlıdır.

Akışkan hareketsiz ise bu akışkandaki ısı taşınımına “*doğal ısı taşınımı*” denir. Doğal ısı taşınımında akışkan içinde sıcaklık farkından meydana gelen yoğunluk farkından dolayı hareket eden akışkan molekülleri, ısıyı taşımaktadır. Isınan akışkanın yoğunluğu azalarak kaldırma kuvveti etkisi ile yukarıya doğru hareket eder, soğuk bir yüzeye temas ederek soğuyan ise akışkan molekülleri ise yoğunlaşır ve aşağı doğru hareket eder. Yüzeylerde doğal taşınımında taşınım katsayısı hesabı formülleri aşağıdaki şekilde verilmiştir (Çengel, 2011).

$$Nu = \frac{h.L_c}{k} = C.(Gr_L.Pr)^n = C.Ra_L^n \quad (5)$$

$$Ra_L = Gr_L.Pr = \frac{g.\beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} Pr \quad (6)$$

$$\beta = \frac{1}{(T_f) + 273} \quad (7)$$

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (8)$$

olarak verilmiştir.

Burada Nu **Nusselt** sayısı, k ısı iletim katsayısı, h , taşınım katsayısı, g yer çekimi ivmesi β hacimsel genleşme katsayısı, L_c karakteristik uzunluk, T_s yüzey sıcaklığı, T_∞ ortam sıcaklığı, ν kinematik viskozite, T_f film sıcaklığı, Ra_L **Rayleigh**, Gr_L **Grashof** ve Pr **Prandtl** sayılarıdır. C ve n sabit sayılarının değerleri ise, akış rejimine ve yüzeyin geometrisine bağlıdır (Çengel, 2011).

Eğer akışkan bir pompa, vantilatör ve benzeri cihazlarla yada rüzgar tarafından zorlanmış harekete maruz kalıyor ise, yani akışkan hareketli ise gerçekleşen ısı taşınımına “*zorlanmış ısı taşınımı*” denir (Derbentli ve Geçgel, 2003; Kılıç, 2014)

Zorlanmış ısı taşınımında taşınım katsayısı, laminer ve türbülanslı akış halleri için ayrı ayrı hesaplanabilir (Çengel, 2011; Incropera, 2006; Kreith vd., 2011).

$$Re = \frac{\rho V}{\mu} \quad (9)$$

Re **Reynolds** sayısı, V hız ve μ dinamik viskozite olmak üzere,

$Re < 5.10^5$ ise, akış laminerdir ve

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0,664 Re_L^{0,5} \cdot Pr^{1/3} \quad (10)$$

olarak hesaplanabilir.

$Re > 5.10^5$ ise akış türbülanslıdır ve

$$Nu_x = \frac{hL}{k} = 0,037 \cdot Re_L^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \quad (11)$$

olarak hesaplanabilir.

Newton'un Soğuma Kanunu

Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, ilk defa 1701 yılında *Newton* tarafından ortaya konuşmuştur, bu sebeple “*Newton'un soğuma kanunu*” olarak adlandırılmıştır. *Newton*'un soğuma kanunu, katı bir cisim ile temas halinde olan hareketli bir akışkan arasındaki birim zamanda gerçekleşen ısı transferidir ve Eşitlik 12 de verilmiştir.

$$\dot{Q}_{Taşınım} = h \cdot A_s (T_s - T_\infty) \quad (12)$$

burada;

h : Taşınım ısı transfer katsayısı [W/m²C]

T_s : Yüzey sıcaklığı [°C]

T_∞ : Yüzeyden yeteri kadar uzaklıktaki akışkan sıcaklığı [°C]

A_s : Taşınım ile ısı transferi olan yüzey alanı [m²]

$\dot{Q}_{Taşınım}$: Birim zamanda taşınım ile geçen ısı miktarı [W]

şeklinde ifade edilir.

h sabiti, taşınım ısı transfer katsayısı olarak adlandırılır. Bir katı yüzey ile bir akışkan arasında birim alan ve birim sıcaklık farkı başına ısı transfer hızı olarak tanımlanır (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006). Taşınım ısı transfer katsayısı, akışkanın bir özelliği değildir ve deneysel olarak tespit edilir. Değeri, akış türü (laminar ya da türbülanslı), akışkan hızı, akışkan özellikleri (viskozite, yoğunluk, ısı iletim kat sayısı vb.), sıcaklık, geometri gibi birçok etkene bağlı olarak değişir.

Isıl Direnç

Isının yayılması ile elektrik akımı arasında bir benzerlik kurulabilir. Isının iletilmesi ve ısı iletimi sırasındaki katmanların ısı iletimine olan dirençleri, elektriğin iletilmesi ve cisimlerin bu iletime olan elektrik dirençleri ile benzeştirilebilir ve tek katmanlı ve iki tarafında taşınım ile ısı transferi olan bir duvar için aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{\frac{1}{h_1 \cdot A}} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\Delta l}{k \cdot A}} = \frac{T_2 - T_{2\infty}}{\frac{1}{h_2 \cdot A}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{2\infty}}{R} \quad (13)$$

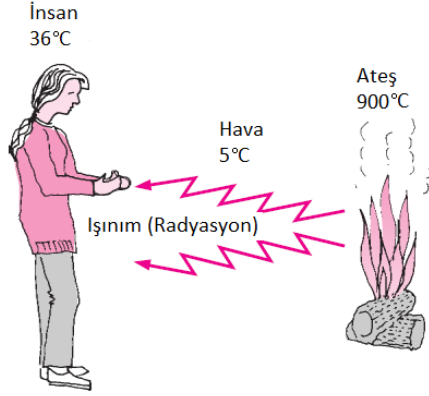
burada R , Isıl direnç olarak adlandırılır.

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} \quad (14)$$

2.3.3 Işınım ile Isı Transferi (Geçişi)

Hem iletimle ısı transferi, hem de taşınım ile ısı transferi, ortamda birbirleri arasında sıcaklık farkı bulunan ve birbirleri ile etkileşimde olan iki sistemin veya maddenin olmasını, yani aracı bir ortam gerektirir. Şekil 2.21 de görüldüğü gibi ışınım ile ısı transferi ise, fiziksel bir ortama ihtiyaç duymaksızın veya fiziksel ortamdan etkilenmeksizin elektromanyetik dalgalar yardımıyla yayılır. Işınım ile ısı transferi bu özelliği ile ısı transferinin en farklı ve ilginç yöntemidir (Incorpera vd., 2006). Işınım ile ısı transferi bilinen en hızlı ısı transfer yöntemidir (ışık hızındadır), elektromanyetik dalga olarak yayılır ve aracı bir ortama

ihtriyaç duymadığı için de boşluktan etkilenmez. Güneş enerjisinin yer yüzüne ulaşma şekli de budur (Çengel, 2011).

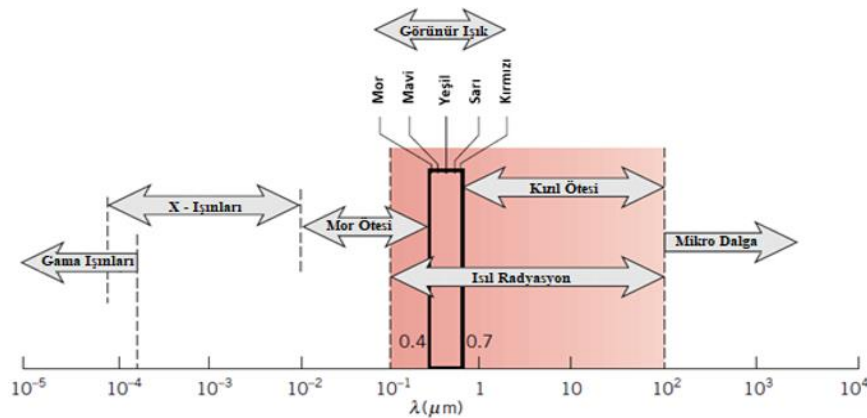


Şekil 2.21: Işınım ile ısı transferi birbirinden uzak iki madde arasında, aralarındaki ortamdan etkilenmeden gerçekleşir (Çengel, 2011).

Elektromanyetik dalgalar, frekansları (ν) veya dalga boyları (λ) ile tanımlanırlar. c ışık hızı olmak üzere ışınımın dalga boyu Eşitlik 15 de verilmiştir;

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (15)$$

Dalga boylarına göre cisimlerden yayılan ışınlar, Şekil 2.22 de görüldüğü gibi gamma ışınları, X ışınları, ultraviyole ışınlar, görülebilir ışık, kızıl ötesi ışık, ve radyo dalgaları gibi farklı gruplara ayrılır. Tüm bu farklı dalga boylarının toplamı yaygın bir dalga boyu aralığını kapsayan geniş bir spektruma sahiptir ve bu spektruma “*elektromanyetik spektrum*” adı verilir.

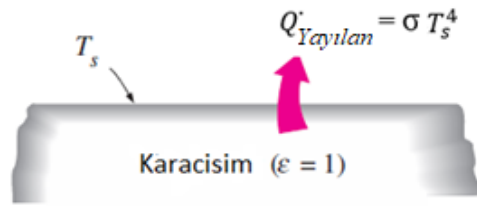


Şekil 2.22: Elektromanyetik Spektrum (Incorpera vd., 2006).

Karacisim Işınımı

Işınım yayma hızının maksimum olduğu, maksimum ışınım yayma kabiliyetine ve aynı zamanda maksimum soğurma kabiliyetine sahip yüzeye “*ideal ışıyıcı*” veya “*karacisim*” adı verilir “*karacisim ışınımı* E_b ” olarak adlandırılır. Kara cisim ışınımı Şekil 2.23 de verilmiştir.

$$E_b(T) = \sigma T_s^4 \quad (16)$$



Şekil 2.23: Karacisim ışınımı

Karacisim ve ideal durum için ışınım denklemi, Eşitlik 16 da verilmiştir (Çengel, 2011).

Stefan – Boltzmann kanunu

Mutlak sıfır sıcaklığının üzerinde sıcaklığa sahip bütün katı sıvı ve gazlar çevrelerinden bağımsız olarak değişen seviyelerde ışınım ile enerji yayarlar. Ancak ısı transferi sıcak ortamdaki soğuk ortama gerçekleşeceği için ortamdaki soğuk olan maddeler, yaptıkları ışınımından daha fazlasını yutacaklardır. Bununla birlikte metal, kaya gibi ışınımı geçirmeyen maddeler içlerinden yayılan ışınımı da dışarı aktaramaz, bu sebeple bu tür katı cisimler için ışınım sadece yüzey ışınımı olarak göze alınır.

Bir maddenin birim yüzey alanından birim zamanda yayılan ışınım, “*Stefan – Boltzmann kanunu*” ile tanımlanmıştır,

Stefan – Boltzmann kanunu, bir maddenin, yüzeyinden yayılan ışınımın yüzeyin ışınım yayma gücü ve yüzey sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılı olduğunu tanımlar. Buna göre bir cismin yüzeyinden ışınım ile yayılan ısı enerjisi Eşitlik 17 de verildiği gibi tanımlanır;

$$\dot{Q}_{yayilan} = \sigma A_s T_s^4 \quad (17)$$

Burada;

σ Stefan – Boltzmann sabitini ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$), A_s Yüzey alanını (m^2), T_s yüzeyin mutlak sıcaklığını (K) ve $\dot{Q}_{yayilan}$ yayılan ısı enerjisini (W) ifade etmektedir.

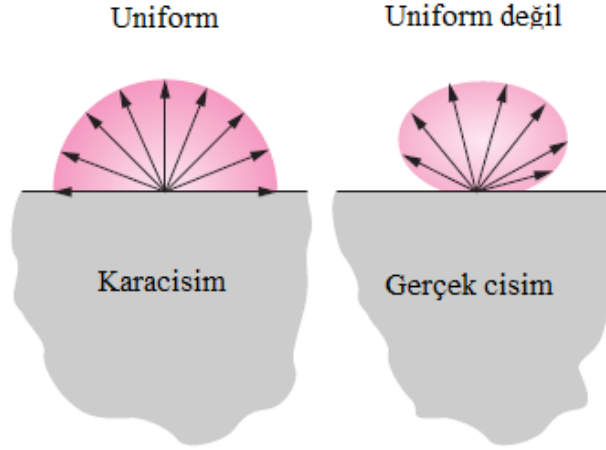
Eşitlik 17 de, ışınım yayma hızı $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ değeri bir cismin yayabileceği maksimum ışınım değerini dolayısıyla karacismin ışınımını ifade eder.

Gerçekte yüzeylerden yayılan ışınım aynı sıcaklıktaki karacismin yaydığı ışınımından daha azdır ve Şekil 2.24 de gösterildiği gibi, yüzeyin yayıcılığı ile orantılıdır. Gerçek cisimlerin yüzeylerinden yayılan ışınımın hesaplanması için bu ifadeye Eşitlik 18 de verildiği gibi yüzeyin yayıcılığı eklenir;

$$\dot{Q}_{yayilan} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (18)$$

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)} \quad (19)$$

Burada ε , yüzeyin yayıcılığıdır ve belirli bir sıcaklıkta yüzeyin yaydığı ışınımın, aynı sıcaklıkta karacismin yayacağı ışınımına oranıdır. Yayıcılığın değeri $0 \leq \varepsilon \leq 1$ arasındadır ve yüzeyin yayıcılığının 1 e yakın olması, karacisme yakın olduğunun göstergesidir. Yayıcılık, yayılan ışınımın dalga boyu, yönü ve yüzeyin sıcaklığına bağlı olarak değişir. (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006).



Şekil 2.24: Karacisim ışınımı ve gerçek cisimlerin ışınımı (Çengel, 2011).

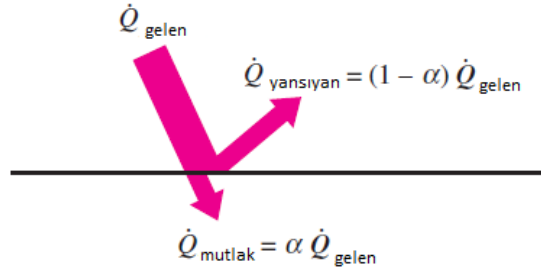
Yüzeylerin diğer bir önemli özelliği de, yüzeye gelen ışınımın yutulma oranıdır. Bir yüzeyin yüzeye gelen ışınımı yutma oranına α , “yüzeyin soğurganlığı” adı verilir. Yüzeyin soğurganlığı da aynı yayıcılığı gibi gene 0 ile 1 arasında değişir ($0 \leq \alpha \leq 1$).

İdeal olarak bir karacisim, yüzeyine gelen ışınımın tümünü soğurur. İdeal durumda karacisim için $\alpha = 1$ dir.

Yüzeye ait ε ve α değerleri sıcaklık ve ışınım dalga boyuna bağlıdır. Verilen bir sıcaklık ve ışınım dalga boyunda bir yüzeyin yayıcılığı ile soğurganlığı (yutuculuğu) aynı değerdedir. Bu sebeple çoğu uygulamada yüzeylerin yayıcılıkları ile soğurganlıkları eşit alınır. Bu durumda bir yüzeyin ışınım soğurma hızı Eşitlik 20 de verilmiştir (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006).

$$\dot{Q}_{\text{Soğurulan}} = \dot{Q}_{\text{Mutlak}} = \alpha \dot{Q}_{\text{Gelen}} \quad (20)$$

Burada, α yüzeyin soğurganlığını, \dot{Q}_{Gelen} ise yüzeye gelen ışınımı ifade etmektedir. Geçirgen olmayan yüzeylerde gelen ışınımın yüzey tarafında soğurulamayan kısmı ise Şekil 2.25 de gösterildiği gibi geri yansır, yansıyan ışınımın değeri ise Eşitlik 21 de verildiği gibi ifade edilir.

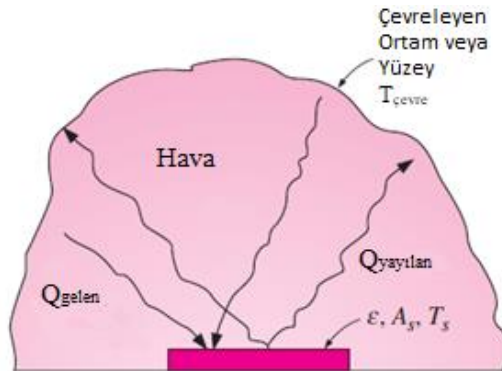


Şekil 2.25: Yüzeğe gelen ışınımın soğurulması (Çengel, 2011).

$$\dot{Q}_{Yansıyan} = (1-\alpha)\dot{Q}_{Gelen} \quad (21)$$

Bir cismin ışınım ile kazandığı veya kaybettiği net ısı transferi, yüzeyinden yaydığı ışınım ile soğurduğu ışınım arasındaki farka eşittir. Eğer cismin soğurduğu ışınım yaydığından büyükse cisim ışınım ile enerji kazanıyor, küçükse ışınım ile enerji kaybediyor demektir. İki yüzey arasındaki ışınım ile ısı transferini bulmak ise, yüzeylerin yapılarına, birbirlerine göre pozisyonlarına, aradaki ortamın ışınımı yutma veya geçirme oranı gibi bir çok etmene bağlıdır.

Yayılcılığı ϵ , yüzey alanı A_s ve yüzey sıcaklığı T_s olan bir yüzey, $T_{çevre}$ sıcaklığında geniş bir ortamla veya yüzey ile çevrelenmiş ise, bu iki yüzey arasında gerçekleşen ışınım ile ısı transferi Şekil 2.26 da verilmiştir. İki yüzey arasındaki net ışınım ile ısı transferi yüzeyin kendi sıcaklığındaki ışınım yayması ile çevre sıcaklığındaki ışınım yayması arasındaki farka eşit olacaktır. Bu ifade Eşitlik 22 de verilmiştir.



Şekil 2.26: Bir yüzey ve çevresi arasındaki ışınım ile ısı transferi (Çengel, 2011).

$$\dot{Q}_{Toplam} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{çevre}^4) \quad (22)$$

Burada çevreleyen yüzeyin alanının bir etkisi yoktur (Çengel, 2011).

Hava veya gazla çevrili ışınlım yapan bir cisim var ise, bu durumda ışınlım ile ısı transferi, iletim veya taşınım (ısı transferi koşullarına göre) ile ısı transferi ile birlikte gerçekleşecektir. Böyle durumlarda, tüm ısı transfer mekanizmalarının katkıları toplanarak toplam ısı transferi hesaplanır. Bunların ayrı ayrı yapılmaları yerine genellikle baritleştirme yoluna gidilerek bir “birleşik ısı transfer katsayısı ($h_{birleşik}$)” tanımlanarak hesaplama yapılır. Bu durumda bir yüzeyden gerçekleşek toplam-birleşik ısı transferi Eşitlik 23 de verilmiştir (Çengel, 2011).

$$\dot{Q}_{Toplam} = h_{birleşik} A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (23)$$

Burada, A_s ısı transfer yüzey alanı iken, T_s yüzey sıcaklığı ve T_{∞} da ortam sıcaklığıdır.

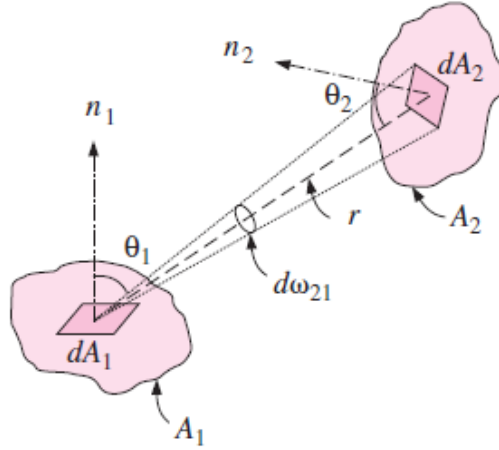
Yüzeyler Arası Işınlımla Isı Transferi

Herhangi iki yüzey arasındaki ışınlımla ısı transferinin etkisi, yüzeylerin özellikleri ile beraber aynı zamanda birbirlerine göre olan konumlarına da bağlıdırki yüzeyin birbirini dik mi gördüğü, veya bir açı ile mi gördüğü veya hangi yönlerinin birbirini gördüğü gibi etkiler, iki yüzey arasındaki ışınlımla ısı transferini etkilemektedir. Bu sebeple iki yüzeyin birbirleri ile olan geometrik pozisyonunu tanımlamak için *görüş faktörü* adı verilen bir parametre kullanılır.

Bir i yüzeyinden bir j yüzeyine görüş faktörü $F_{i \rightarrow j}$ veya F_{ij} olarak gösterilir ve *i yüzeyinden ayrılarak j yüzeyine doğrudan düşen ışınlım kesri* olarak tanımlanır.

Karşılıklılık Bağıntısı

Şekil 2.27 deki gibi birbirlerine karşı gelişi güzel konumlanmış A_1 ve A_2 yüzeyleri düşünölsün, $d\omega$ kürel koordinatlarda bakış açısı büyüklüğü, n_1 ve n_2 yüzeylerin normalleri ve θ küresel koordinatlarda yüzeyin normali ile bakış açısının yaptığı açı iken, bu iki yüzey arasındaki karşılıklılık bağıntısı Eşitlik 24 de verildiği gibi ifade edilir.



Şekil 2.27: İki yüzey arasında görüş (şekil) faktörü (Çengel, 2011).

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} \quad (24)$$

Buradan hareketle A_1 ve A_2 gibi iki yüzey arasındaki görüş faktörü (yada şekil faktörü) değişkenler cinsinden ifade edilerek belirlenebilse de çok basit geometriler için bile çözümü çok karmaşık integrasyonlar ortaya çıktığı ve çözüm çok zor olduğu için kullanışlı bir yol değildir (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006, Kılıç ve Yiğit, 2014).

Şekil Faktörü Bağlılıkları

N adet yüzeyin oluşturduğu bir kovuk düşünölsün. Bunun çözümlenebilmesi için N^2 adet şekil faktörü türetilmesi gerekecektir. Bu sebeple hem pratik değildir hemde çözümlenmesi çok zaman alacaktır. Bu sebeple bazı temel bağıntılar kullanılarak çözümlenmeler daha pratik hale getirilebilir. Bu denklemler Eşitlik 25, 26, 27, 28, 29 ve 30 da verilmiştir (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006, Kılıç ve Yiğit, 2014).

İki yüzeyin alanı birbirine eşit olmadıkça $F_{i \rightarrow j}$ ile $F_{j \rightarrow i}$ birbirlerine eşit değildir ve aralarında aşağıdaki bağıntı vardır;

$$A_i F_{i \rightarrow j} = A_j F_{j \rightarrow i} \quad (25)$$

Ayrıca A_i yüzeyinden birim zamanda yayılan ışınlım

$$q_i = A_i F_{i \rightarrow j} \quad (26)$$

Bir kovuktaki i yüzeyinden bütün yüzeylere olan şekil faktörlerin toplamı bire eşit olmak zorundadır. Bu toplama yüzeyin kendisi de dahildir. Aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} = 1 \quad (27)$$

Bir i yüzeyinden j yüzeyine şekil faktörü, i yüzeyinden j yüzeyinin parçalarına olan şekil faktörlerinin toplamına eşittir.

$$F_{1 \rightarrow (2,3)} = F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3} \quad (28)$$

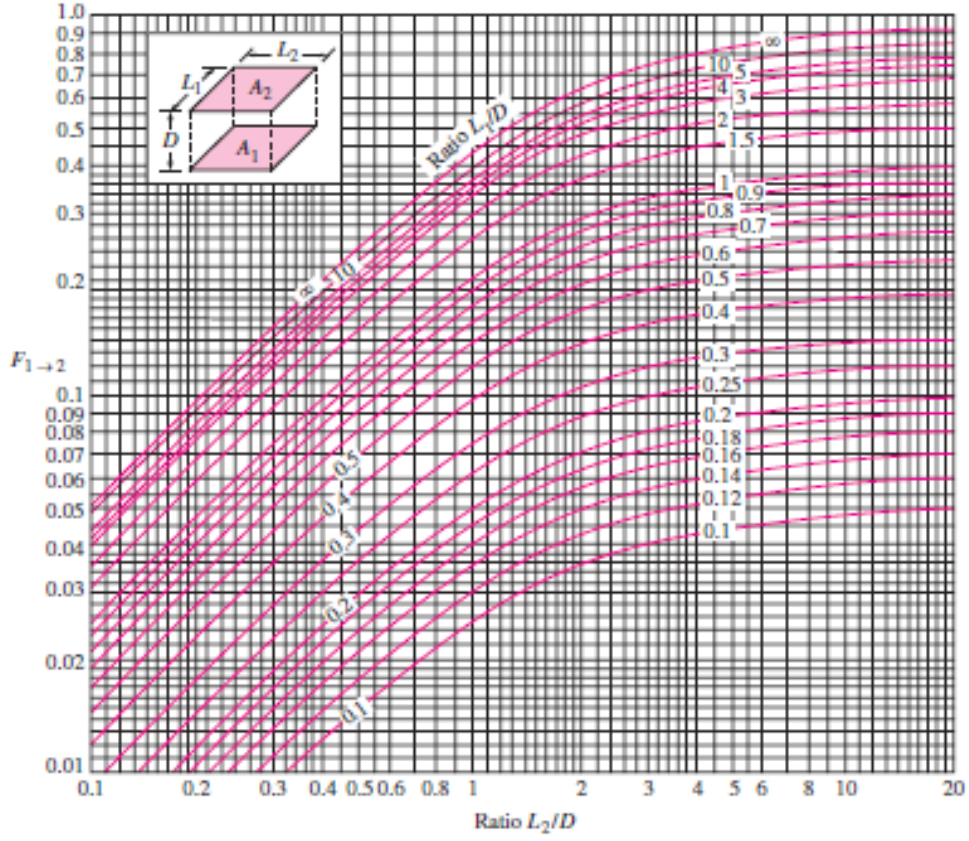
Eğer j ve k yüzeyleri i yüzeyi civarında simetrik iseler, bu durumda aşağıdaki bağıntı geçerlidir ve aynı zamanda ifadenin tersi de geçerlidir.

$$F_{i \rightarrow j} = F_{i \rightarrow k} \quad (\text{tersi de geçerlidir; } F_{j \rightarrow i} = F_{k \rightarrow i}) \quad (29)$$

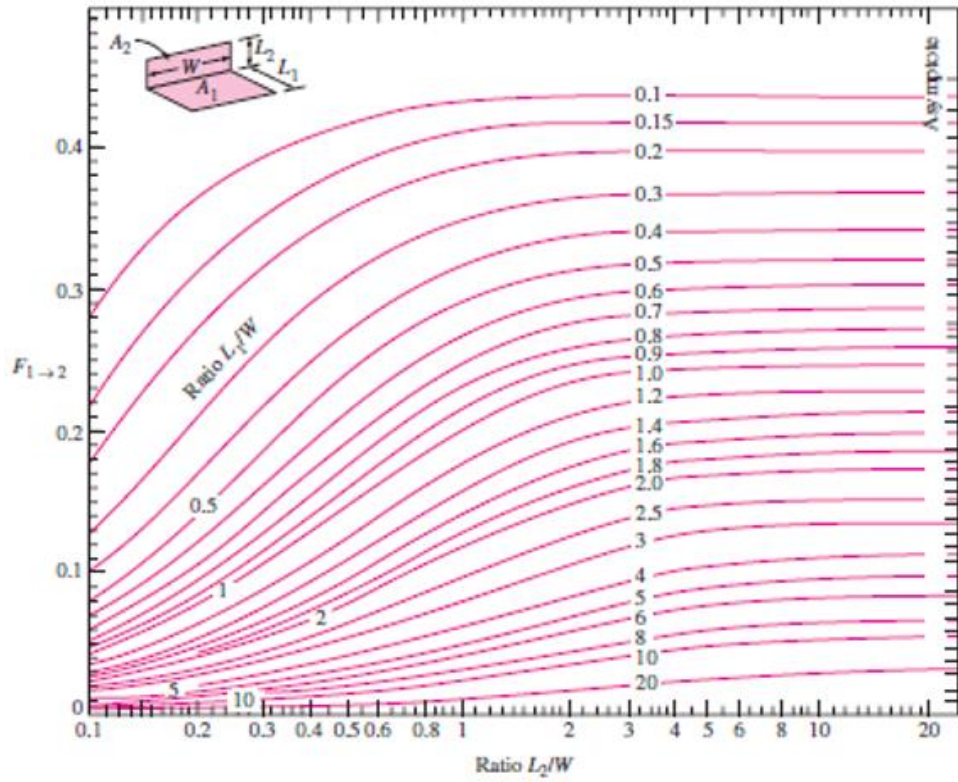
Farklı geometriler için şekil faktörleri

$$A_i F_{i \rightarrow j} = A_j F_{j \rightarrow i} = \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cdot \cos \theta_j \cdot dA_i \cdot dA_j}{\pi r^2} \quad (30)$$

İntegrali alınarak bulunabilir. Ancak çözüm kolaylığı açısından birçok farklı geometri için görüş faktörleri çizelgeler halinde oluşturularak verilmiştir. Bunlardan uygulamada yaygın kullanılan bazı şekillerin şekil faktörleri aşağıda Şekil 2.28 ve Şekil 2.29 da verilmiştir



Şekil 2.28: Paralel iki eşit yüzey için şekil faktörü (Çengel, 2011).



Şekil 2.29: Birbirine çok yüzeyler için şekil faktörü (Çengel, 2011).

Işınımın Şiddeti

Işınım yapan bir yüzeyden ışınım, tüm yönlere yayılır. Eğer ışınım yapan tüm cisimler bir kara cisim olsaydı bu durumda tüm yöne yayılan ışınımın şiddeti aynı olurdu ancak gerçek cisimlerde yüzeylerde yayılan ışınım yöne bağımlı olarak değişir ve eşit değildir. Karacisim sözkonusu olsaydı, bu durumda yayılımın tüm yönlere eşit şiddette olabili Yayılan ışınımın şiddeti I_e ile tariflenir.

Yayılan ışınım için ışınım akısı, “yayma gücü” E dir ve ışınım yapan yüzeyden onu çevreleyen yarı küreye olan yayma gücü, Eşitlik 31 deki gibi ifade edilir.

$$E = \pi I_e \quad (31)$$

Eğer ışınım yapan cisim bir karacisimse, bu eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$E_b = \pi I_b \quad (32)$$

Buradan ışınımın şiddeti I_b Eşitlik 33 deki gibi ifade edilebilir.

$$I_b = \frac{E_b(T)}{\pi} = \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad (33)$$

Gelen Işınım

Bir yüzeye bütün yönlerden “gelen ışınım akısı” ise G ile gösterilir ve gelen I_i şiddetli ışınım için;

$$G = \pi I_i \quad (34)$$

olarak ifade edilir.

Giden Işınım

Işınım ile ilgili özelliklerin yön ve dalga boyuna bağlı olmaları ışınım çözümlerini daha da karmaşık hale getirir. Bu sebeple ışınım hesaplamalarında *gri* ve *diffüz* yaklaşımları kullanılır. Bir yüzeyin özellikleri yönden bağımsız ise bu yüzey *diffüz*; dalga boyundan bağımsız ise bu yüzey *gri* olarak adlandırılır.

Bir yüzeyin birim alanından tüm yönlerde ayrılan ışınımın enerjisinin hızı J olarak adlandırılıp *diffüz* yayıcı ve *diffüz* yansıtıcı yüzeyler için Eşitlik 35 de verilmiştir.

$$J = \pi I_{e+r} \quad (35)$$

dir. Burada, I_{e+r} yayılan ve yansıtılan ışınım şiddetlerinin toplamıdır.

Bir yüzeye veya yüzeyden net ışınım ısı transferi

Yüzeyler ışınım yaparak ısı kaybeder ve diğer yüzeylerden gelen ışınım ile ısı kazanırlar. Bir A_i yüzey alanına sahip i yüzeyinden ışınım ile ısı transferi net hızı Eşitlik 36 da verilmiştir;

$$\dot{Q}_i = \left(\begin{array}{l} i \text{ yüzeyinden} \\ \text{ayrılan ışınım} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} i \text{ yüzeyine} \\ \text{gelen ışınım} \end{array} \right) \quad (36)$$

$$\dot{Q}_i = A_i (J_i - G_i) \quad (37)$$

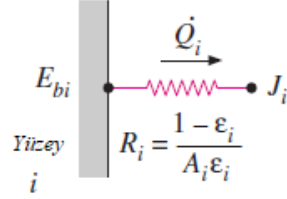
Burada; \dot{Q}_i ışınım ile ısı transfer hızı, G_i yüzeye gelen ışınım ve J_i yüzeyden ayrılan ışınımı ifade etmektedir.

Bu eşitlikte G_i yerine konular ve ohm kanununa benzeşimle yaklaşılsa eşitlik aşağıdaki şekilde elde edilir (Şekil 2.30);

$$\dot{Q}_i = \frac{E_{bi} - J_i}{R_i} \quad (38)$$

$$R_i = \frac{1 - \epsilon_i}{A_i \epsilon_i} \quad (39)$$

R ışınımına karşı yüzey direncidir.

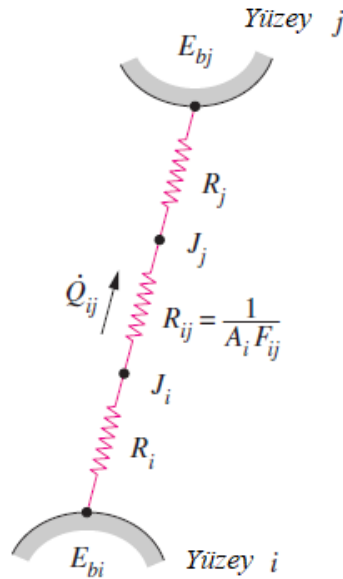


Şekil 2.30: Yüzeyden ışınımın elektrik benzeşimi (Çengel, 2011).

Net ışınım ısı transferinin yönü, giden ışınım (J_i) ve yayma gücü (E_{bi}) değerlerinin birbirlerine göre olan büyüklüklerine bağlıdır. Eğer yayma gücü büyükse yüzey ışınımına ısı kaybediyor, demektir (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006).

Herhangi iki yüzey arasında net ışınım ısı transferi

Herhangi diffüz, gri ve opak iki yüzey arasındaki ışınım için J giden ışınımı $F_{i \rightarrow j}$ görüş faktörü de i yüzeyinden ayrılıp j yüzeyine çarpan ışınım kesrini gösterebilir (Şekil 2.31). Bu durumda i yüzeyinden j yüzeyine net ışınım ısı transferinin hızı aşağıdaki şekilde ifade edilir;



Şekil 2.31: İki yüzey arası ışınımın elektrik benzeşimi (Çengel, 2011).

$$\dot{Q}_{i \rightarrow j} = \left(\begin{array}{c} i \text{ yüzeyinden} \\ \text{ayrılıp } j \text{ yüzeyine} \\ \text{düşen ışınım} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} j \text{ yüzeyinden} \\ \text{ayrılıp } i \text{ yüzeyine} \\ \text{düşen ışınım} \end{array} \right) \quad (40)$$

$$\dot{Q}_{i \rightarrow j} = A_i J_i F_{i \rightarrow j} - A_j J_j F_{j \rightarrow i} \quad (41)$$

Bu denkleme karşılıklılık bağıntısı uygulanırsa

$$\dot{Q}_{i \rightarrow j} = A_i F_{i \rightarrow j} (J_i - J_j) \quad (42)$$

Bu eşitlikte de yine ohm kanununa benzeşimle yaklaşırsa eşitlik aşağıdaki şekilde elde edilir

$$\dot{Q}_{i \rightarrow j} = \frac{J_i - J_j}{R_{i \rightarrow j}} \quad (43)$$

$$R_{i \rightarrow j} = \frac{1}{A_i F_{i \rightarrow j}} \quad (44)$$

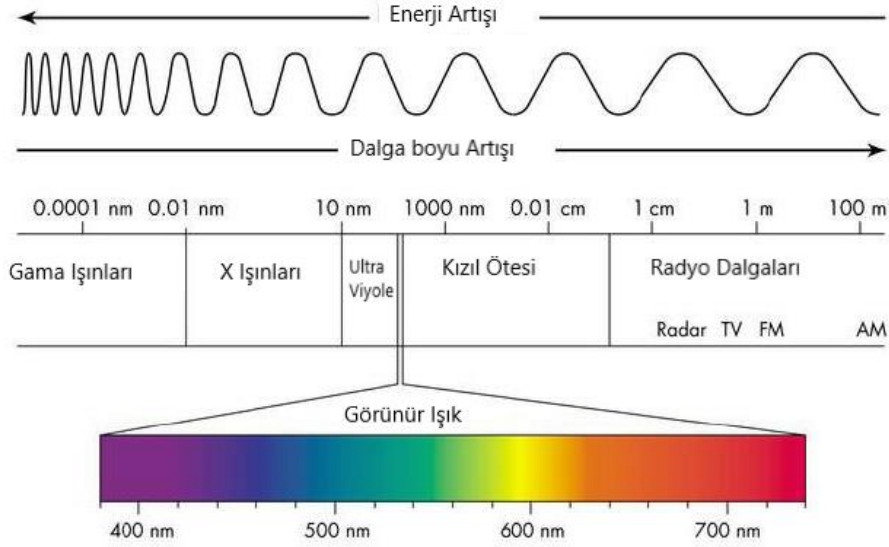
$R_{i \rightarrow j}$ ışınımına karşı *uzay direnci* dir. İki yüzey arasındaki ışınım ile ısı transferinin yönünü ise J_i ile J_j değerlerinin birbirlerine karşı büyüklükleri belirleyecektir. $Q_{i \rightarrow j}$ pozitif olursa, i yüzeyinden j yüzeyine net ısı transferi olduğunu gösterir (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006).

2.4 Kızıl Ötesi (IR) Işınım

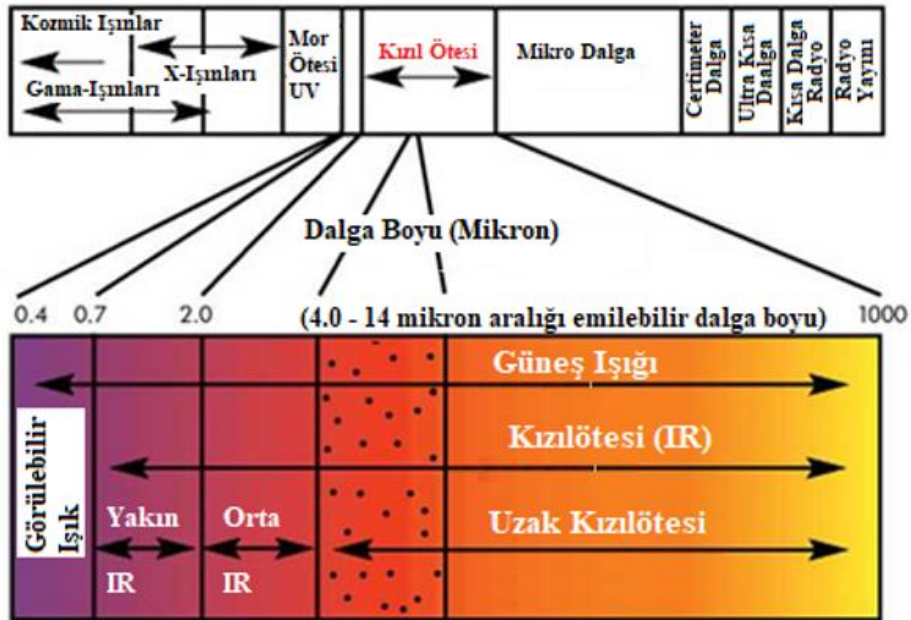
Kızıl ötesi enerji, bir elektromanyetik enerji türüdür. Dalgalar halinde yayılır, çarptığı nesnelere nüfuz ederek ısıya dönüşür (Kızıl ötesi ışınım) ve nesnenin ısınmasına sebep olur (Çengel, 2011; Incorpera vd., 2006; Izuegbu ve Adonis, 2011).

Kızıl ötesi ışınım, Şekil 2.32 de ve Şekil 2.33 de görüldüğü gibi, elektro manyetik spektrumda görünür ışık ile mikrodalga ışık arasında yer alan bölgede $0,76 \mu\text{m}$ (760 nm) ile $1000 \mu\text{m}$ ($0,1 \text{ m}$) dalga boyu aralığındaki ışınım olarak adlandırılır. Kızıl ötesi ışınım dalga boyu aralığına göre farklı sınıflara ayrılır. Dalga boyu aralığı $0,76 \mu\text{m}$ ile $2 \mu\text{m}$ aralığındaki

ışınım “yakın kızıl ötesi” veya “kısa dalga” ışınlım, dalga boyu aralığı 2 μm ile 4 μm aralığındaki ışınlım “orta kızıl ötesi” veya “orta dalga” ışınlım ve dalga boyu aralığı 15 μm ile 1000 μm (1 mm) aralığındaki ışınlım ise “uzak kızıl ötesi veya “uzun dalga” ışınlım olarak adlandırılır (Cheah Kok Wai, 2011).



Şekil 2.32: Elektromanyetik spektrum (URL-10, 2018)

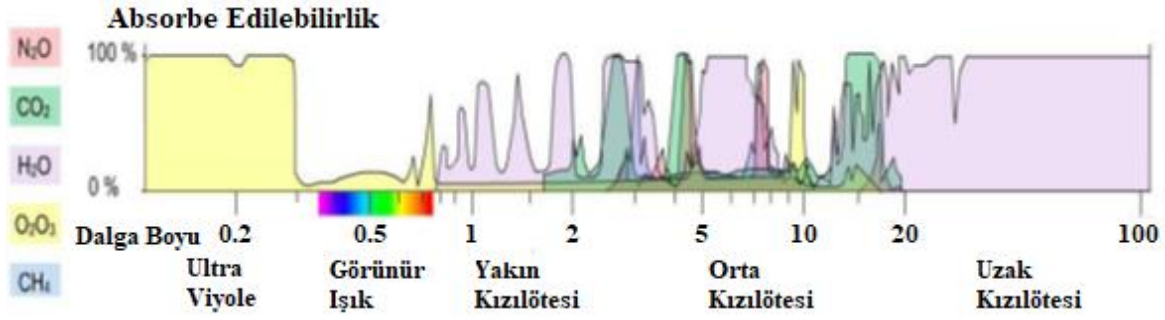


Şekil 2.33: Kızıl ötesi ışınlım (URL-11, 2018)

Yakın kızıl ötesi ışınlım yapan malzemeler, 1800 $^{\circ}\text{C}$ ve üzerindeki yüksek filament sıcaklıklarına ulaşır. Bu sebeple yüksek ısıtma kapasitesine sahiptir. Ancak dalga boyları,

suyun absorbe edebilme sıcaklıklarının çok altında olduğu için su tarafından iyi emilemezler. Bu sebeple de kurutma gibi işlemlerde kullanılmazlar (Ene vd., 2013).

Orta ve uzak kızıl ötesi ışınım yayan malzemeler ise, su tarafından iyi emilirler (Şekil 2.34) (Ene vd., 2013). Bu sayede su moleküllerine etki ederek onları hareketlendirirler.



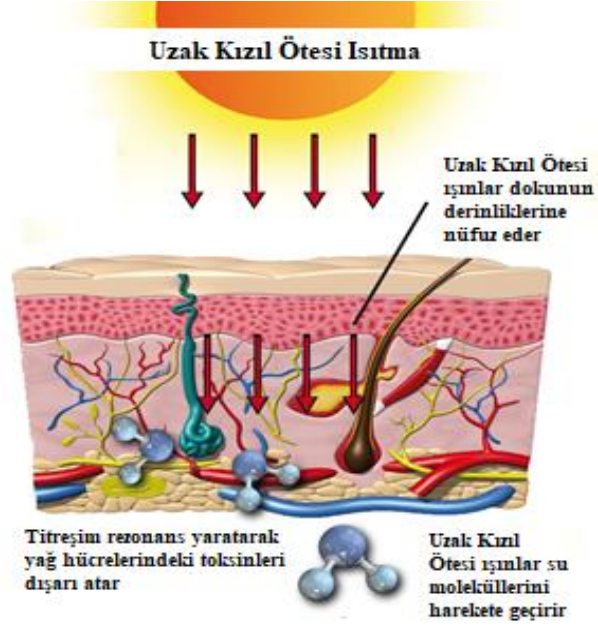
Şekil 2.34: Kızıl ötesi ışınımın su tarafından emilimi (Ene vd., 2013).

İnsan vücudunun da %70 i sudan oluşmaktadır. Bu sebeple vücudumuz tarafından da iyi emilen bu ışınım türleri literatür araştırmalarında da belirtildiği gibi vücudumuz tarafından da iyi emilir, vücudumuzdaki su moleküllerine etki ederek onları hareketlendirir ve toksinlerin atılmasına katkıda bulunur (Şekil 2.35) (Vatansever ve Hamblin, 2012; Kikuji, 2012; Chun-Chih Lin vd. 2013)

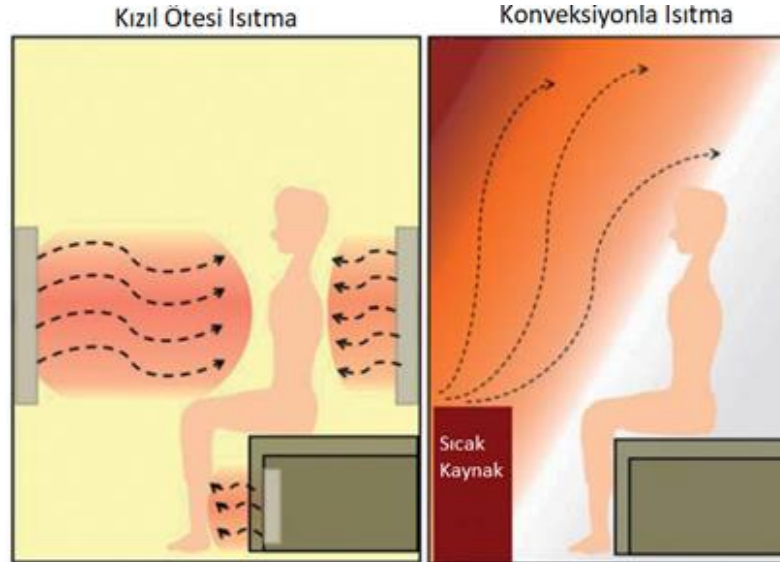
Bunların yanında ışınım ile ısıtma şekli geleneksel ısıtma yöntemlerine göre bazı avantajlar da sunmaktadır. Örneğin klasik yöntemlerle ısıtılan bir oda ve/veya saunada ısınan havanın yükselmesi sonucu iyi bir ve ısıl konfor sağlanamamaktadır. Buna karşın Şekil 2.36'da görüldüğü gibi kızıl ötesi veya uzak kızıl ötesi ışınım ile gerçekleştirilen bir uygulamada ise ortam havası yerine doğrudan ortamda bulunan birey ısıtılarak yüksek verim ve konforda ısınma işlemi sağlanabilmektedir (Sakai ve Hanzawa, 1994; Sheridan ve Shilton, 2002).

Tasarlanan sistemde kullanılacak olan karbon esaslı ısıtma elemanları da ışınım ile ısıtma sağlamaktadır. Karbon esaslı bu ısıtma elemanlarının yaydıkları termal ışınım, elektromanyetik spektrometrenin uzak kızıl ötesi (FIR) ışınım bölgesine yakın olduğu daha önce vurgulanmıştı (Wang vd., 2010; Hirohata vd., 2002). Uzak kızıl ötesi (FIR) ışınım ise, kızıl ötesi (IR) ışınımdan farklı olarak insan sağlığı üzerine olumsuz etkiler içermemekte, günlük hayatta saunalarda, fizik tedavide ve konutların ısıtılması gibi çeşitli alanlarda

kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, yapılacak çalışmada ısıtıcı eleman olarak seçilen karbon esaslı ısıtma liflerinin de seyahat edecek yolcular üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olmaması ve hatta seyahat konforunu artırarak seyahat esnasında aynı zamanda yolcuların sağlık açısından faydalı kızıl ötesi ışınımına maruz kalmaları hedeflenmiştir.



Şekil 2.35: Su moleküllerinin titreştirilmesi ve toksinlerin atılması (URL-3, 2018)



Şekil 2.36: Klasik ısınma yöntemi ile ışınım ile ısınma yöntemi kıyaslaması (Vatansever ve Hamblin, 2012).

BÖLÜM 3

MATERYAL ve METOD

Yapılan çalışmada araç içinde ısıtıcı yüzey olarak kullanılacak iletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşlar bir elektrik akımına maruz kaldıklarında, ışınlama ısıtma özelliğine sahip olmakla birlikte, yapıları gereği direnç gibi davrandıkları için, aynı anda hem ışınlama hem taşınım ile hem de iletimle ısı transferi yapma özelliğine sahiptirler. Bu bağlamda, çalışmada *ışınlama ısıtma sistemi* isminin yanında *dokuma tekstil ısıtıcı kumaş*, *ısıtıcı kumaş* veya uygulama alanlarına bağlı olarak *ısıtıcı yüzey* ifadeleri de kullanılmıştır.

Çalışmalara, üzerinde ısı transfer hesaplarının ve doktora konusu ışınlama özelliği bulunan dokuma tekstil ısıtıcı kumaş ile ısıtma performans testlerinin yapılacağı aracın belirlenmesi, aracın gerekli 3 boyutlu CAD datalarının hazırlanması ve aracı oluşturan malzeme detaylarının tespiti ile başlanılmıştır.

Araç ile ilgili ölçüler ve malzeme bilgilerinin oluşmasının ardından deney aracının ısı kaybının teorik olarak hesabı yapılmıştır. Bunun için ilk olarak araç kabini kontrol hacmi olarak kabul edilmiş ve sınır şartları tespit edilmiştir. Kontrol hacmine olan ısı giriş çıkışının hesaplanması sırasında en kötü senaryo olarak ısı kazancının hiç olmadığı kabul edilmiştir. Toplam kayıp ısının belirlenilebilmesi için kontrol hacmini çevreleyen duvarları oluşturan malzemelerin ısı iletim katsayıları tablolardan tespit edilmiştir. Tablolardan elde edilen bu veriler ve boyut bilgileri kullanılarak kontrol hacmini çevreleyen duvarların toplam ısı direnci ve ısı kaybı MATHLAB yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır.

Araç kabininin teorik olarak ısı kaybının belirlenmesinin ardından kullanılacak ışınlama özelliğine sahip elektrikli dokuma tekstil ısıtıcıların kapasitesinin ve boyutlarının teorik olarak hesaplanabilmesi için öncelikle ısıtıcı kumaşı oluşturan ve direnç özelliğine sahip iletken karbon elyafların birim boyunun belirli gerilim altında çektiği akım değeri (dolayısı ile elektriksel gücü) ve bu değere karşılık oluşan yüzey sıcaklığı tespit edilmiştir. Oluşturulan bu referans doğrultusunda kullanılacak ısıtıcı kumaşların elektriksel güçleri tespit edilmiştir. Yüzey sıcaklığı ve elektriksel güç bilgileri kullanılarak ısıtıcı kumaşların tasarımı ve araç içinde yerleşimi yapılmıştır. Araç içi ısıtıcı kumaşların yerleri belirlendikten

sonra ışınlm özelliğine sahip bu ısıtıcı kumaşlardan araç içine ışınlm ile olacak ısı transferi miktarı da MATHLAB yazılımı kullanılarak teorik olarak hesaplanmıştır.

Teorik hesaplamaların ve ısıtıcı kumaş tasarımı ile ilgili çalışmaların tamamlanmasını takiben araç üzeri testler için hazırlıklar yapılmıştır. Bu hazırlıklar çerçevesinde öncelikle test aracında yapılacak testler ile ilgili literatürdeki benzer örnekler ve referanslardan faydalanılarak test koşulları tespit edilmiştir. Testler sırasında alınacak ölçümler ile ilgili test aracı üzerine ölçüm cihazları ve sensörlerin montajı yapılmıştır. Oluşturulan test koşulları ve araç üzerine yerleştirilen ölçüm cihazları kullanılarak şartlandırılmış test kabiniinde aracın haritalama testleri yapılmış, belirlenen koşullarda aracın ısıtma sisteminin performansı tespit edilmiştir.

Haritalama testlerinin ardından bilgisayar ortamında hem mevcut durumun hemde tasarlanan ışınlm ile ısıtma özelliğine sahip dokuma tekstil ısıtma sisteminin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD veya CFD) kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Sanal analiz hesaplamalarında zaman ve iş istasyonu kapasiteleri sebebi ile tüm aracın modellenmesi yerine aracın belirli bir kesiti CATIA ortamında oluşturularak sanal analiz için kullanılacak olan ANSYS FLUENT yazılımına aktarılmış ve ANSYS FLUENT te modellenmiştir. Basitleştirilen araç CAD modeli üzerinden araca ait 6 koltuklu bir bölge seçilmiş ve sonlu hacimler modeli oluşturulmuştur. Bu sayede hem analiz süreleri kısaltılmış hemde daha düşük maliyetli bilgisayarlarla sonuca ulaşılabilmiştir. Bu veri kullanılarak önce araç mevcut ısıtma sistemi ile modellenmiş ve sonuçların haritalama testleri ile doğrulaması sağlanmış ardından dokuma tekstil ısıtıcı kumaşlar modele uygulanarak öngörülen dokuma tekstil ısıtma sisteminin kapasitesi sanal olarak doğrulanmıştır.

Son olarak tasarlanan ışınlm ile ısıtma özelliğine sahip dokuma tekstil ısıtma sistemi parçaları test aracına montajlanmış ve dışarıdan sağlanan elektrik enerjisi ile test kabiniinde ve belirlenen test koşullarında performans testleri gerçekleştirilmiştir.

3.1 Test Aracının Belirlenmesi

Yapılan çalışmalarda CATIA V5 ortamında oluşturulmuş hazır CAD datası bulunan, yolcu taşımada kullanılan ve araç yapısını oluşturan malzeme bilgileri bilinen Anadolu Isuzu

firmasına ait, M2 sınıfı (ECE R107, 2011), 7,7 m boyunda 30 koltuklu, yakıtlı ek ısıtıcısı ve kabin içinde sıcak sulu kalorifer sistemi olan bir yolcu taşıtı kullanılmıştır. Aracın iç ve dış görselleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 de verilmiştir.

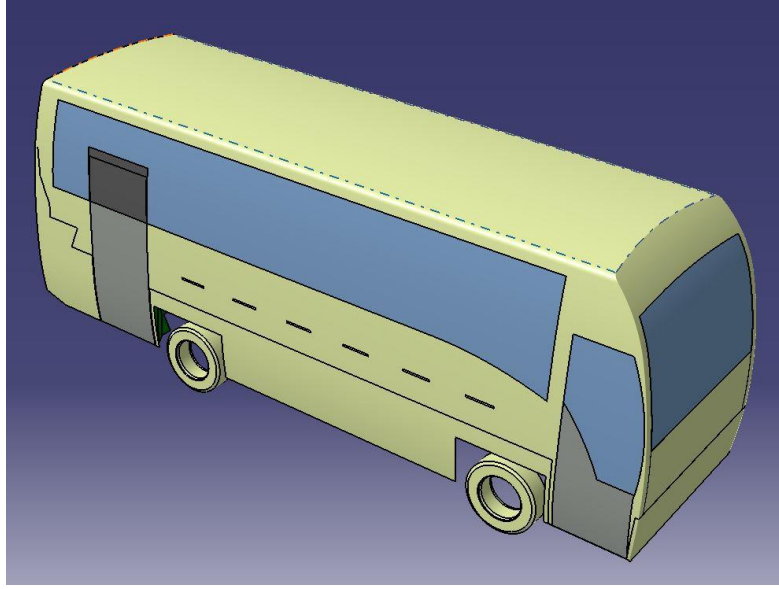
Firmanın bilgi güvenliği kuralları çerçevesinde aracın temel ölçüler harici tüm tasarım detayları iptal edilerek Şekil 3.3 de verildiği gibi CATIA V5 kullanılarak yeni ve sadeleştirilmiş bir 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Yapılan tüm hesaplamalarda gerçek modele benzer boyutlarda hazırlanmış bu temsili 3 boyutlu model kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Test aracı dış görünüm.



Şekil 3.2: Test aracı iç görünüm.



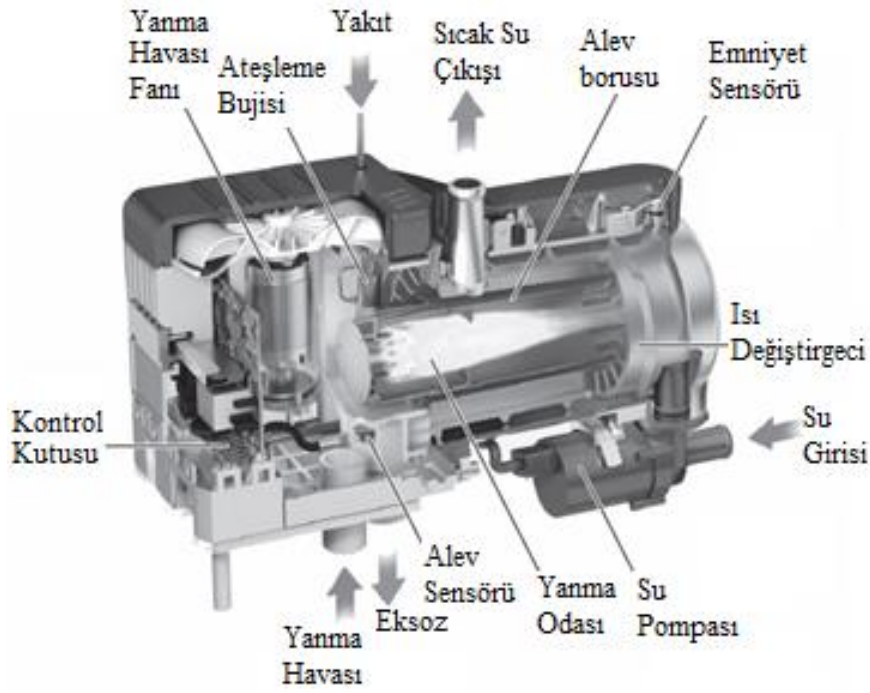
Şekil 3.3: Üzerinde çalışılacak aracın ufaltılmış ve farklılaştırılmış CAD modeli.

Test aracının boyut ve kapasitesi ile ısıtma sistemine dair teknik özellikler Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1: Test aracı teknik özellikleri.

Araç Özelliği	Açıklama
Motor	4 silindirli, 190 PS, dizel motor
Araç Boyu	7,7 m
Araç Eni	2,3 m
Araç Yüksekliği	3,3 m Dış yükseklik 1.8 m yolcu kabini iç yüksekliği
Koltuk sayısı	30 yolcu + 1 Şöför
HVAC sistemi	Otomatik klima ve kalorifer kontrolü.
Isıtma sistemi	Sağ ve sol yanlarda konvektör ısıtıcı. Konvektör ısıtıcıların arka 1m lik kısmında fanlı ek ısı değiştirgeci (isteğe bağlı kapatılabilir)
Yakıtlı ek ısıtıcı	Eberspaecher Hydronic M12

Test aracında kullanılan yakıtlı ek ısıtıcı nın görseli ve açıklamaları Şekil 3.4 de teknik özellikleri ise Tablo 3.2 de verilmiştir.



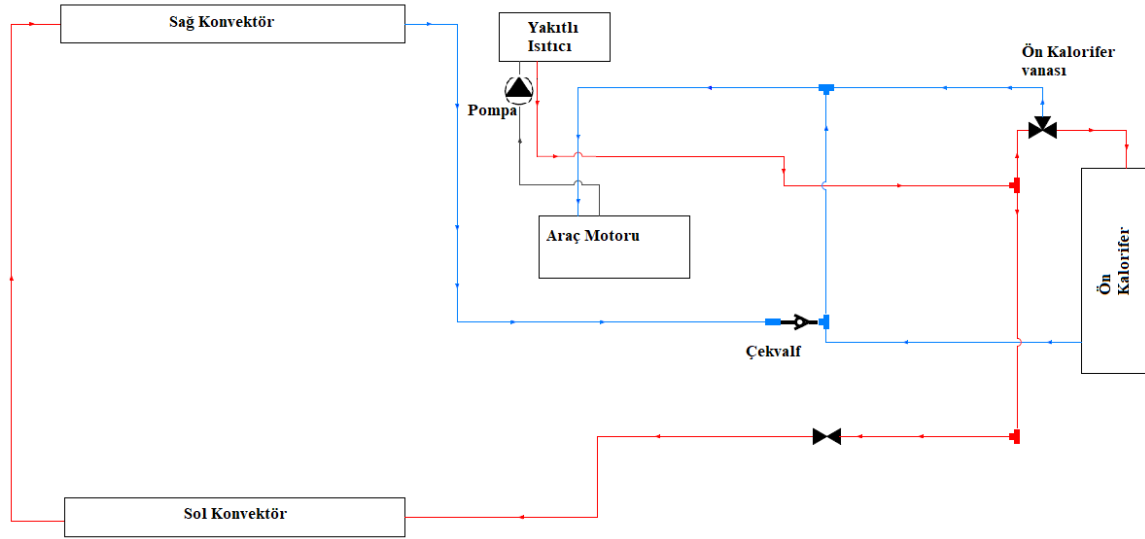
Şekil 3.4: Yakıtlı ek ısıtıcı verileri (URL-6, 2018).

Tablo 3.2: Yakıtlı ek ısıtıcı teknik verileri (URL-6, 2018).

Isıtıcı Modeli	Eberspaecher - Hydronic M 12					
Isıtıcı tipi	Sulu tip ısıtıcı					
Yakıt Cinsi	Diesel					
Yakıt Tüketimi (L/h)	Power	High	Med-1	Med-2	Med-3	Low
	1,5	1,2	0,65	0,40	0,18	0,15
Çalışma Voltajı	12 V / 24 V					
Su Pompası Debisi	1400 l/h					

Araç ısıtma sistemindeki konvektör ısıtıcılar, temelde doğal taşınım ile ısı transferi sağlayan ısı değiştirgeçleri olmakla birlikte, hem sağ tarafta hemde sol tarafta kullanılan konvektörlerin arka kısmındaki 1m boyundaki kısmı üreticisi tarafından fan ilavesi yapılarak cebri konvektör olarak kullanım sağlanmıştır. Araç üreticisi tarafından kabin içine yerleştirilmiş olan konvektör ısıtıcıların kapasitesi, sadece doğal taşınım ile ısı transferi olması durumunda toplam 6 kW, fanlı kısımda cebri taşınım olması durumunda ise toplam 16 kW olarak bildirilmiştir.

Aracın kalorifer sisteminde Şekil 3.5 de gösterildiği gibi motor çıkışından alınan sıcak su, bir sirkülasyon pompası vasıtasıyla önce yakıtlı ısıtıcıdan geçirerek sıcaklığı artırıp ardından bir "T" bağlantı vasıtasıyla araç kabininde yerleştirilmiş kalorifer peteklerine ve ön kalorifere gidecek şekilde iki hatta ayrılmaktadır. Araç kabinine yönlendirilen sıcak su, eğer üç yollu vana açık konumdaysa önce ön kalorifer ve eş zamanlı olarak kabin içindeki sağ ve sol alt köşelerde bulunan kalorifer (Konvektör) peteklerinden sırası ile geçip ısısını kabin havasına bıraktıktan sonra kendisi soğuyarak motora geri döndürülmektedir. Ön kalorifer vanasının (3 yollu vana) kapalı olması durumunda ise sıcak su ön kalorifere ulaşmadan sadece kabin içindeki konvektörler üzerinden çevrim yapmaktadır.

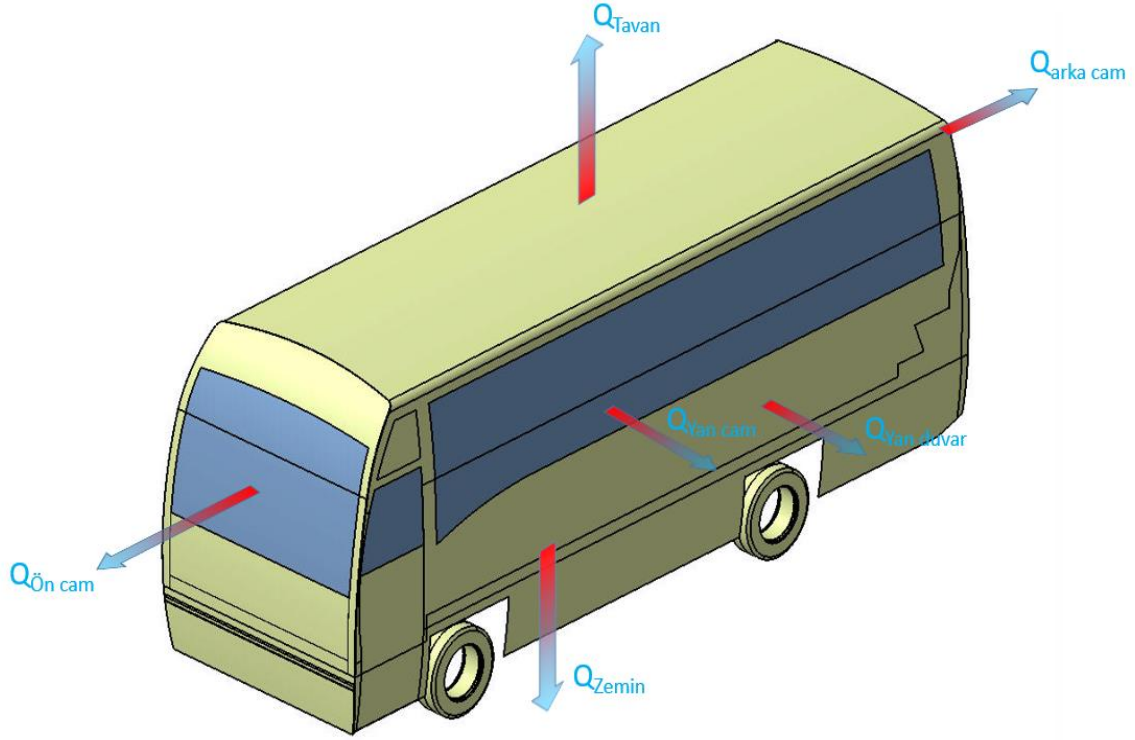


Şekil 3.5: Yakıtlı ısıtıcı bağlı bir araç kalorifer hattının şematik gösterimi.

3.2 Araç Kabini Isı Kaybı Hesabı

Yeni bir ısıtma sistemi tasarımı yapmak için ısıtılacak ortamın ısı kaybının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, firmadan temin edilen ısıtma sistemi kapasitesi bilgilerinin yanında teorik olarak araç yolcu kabini için ısı kaybı hesabı da yapılmıştır.

Araç kabini ısı transferinin gerçekleşeceği kontrol hacmi olarak tanımlanmıştır. Kontrol hacminden dışarıya olan ısı kayıpları, kontrol hacmi içindeki ısı üretimi ve kontrol hacmi içine olan ısı kazançları Şekil 3.6 da verilmiştir.



Şekil 3.6: Kontrol hacmiden dış ortama olan ısı kayıpları.

Isı kaybı hesabı için; dış ortam sıcaklığının $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam sıcaklığının konfor sıcaklığı olan $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ASTM, 2012), kontrol hacmi içerisinde ısı üretiminin olmadığı, temas dirençlerinin göz ardı edildiği, pencere dış yüzeyi ve çevresi arasındaki ışınlama ile ısı geçişinin göz ardı edildiği, kontrol hacminde pencere ve yan duvarlardaki ısı iletiminin bir boyutlu olduğu, ısı transferinin sürekli rejim halinde olduğu, kontrol hacminin zemin kısmının alttan dış ortama açık olduğu ve infiltrasyonla ısı kaybı olmadığı kabul edilmiştir.

Araç kabininden dış ortama olan toplam ısı transferi, kabini oluşturan dış duvarlardan çevreye olan ısı kayıplarının toplamı olarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{kayıp} = \dot{Q}_{\ddot{o}_{cam}} + \dot{Q}_{y_{cam}} + \dot{Q}_{a_{cam}} + \dot{Q}_{tavan} + \dot{Q}_{y_{duvar}} + \dot{Q}_{zemin} + \dot{Q}_{a_{köşe}} + \dot{Q}_{inf.} \quad (45)$$

burada;

$\dot{Q}_{kayıp}$: Kontrol hacminden dışarıya olan toplam ısı kaybı (kW),

$\dot{Q}_{\ddot{o}_{cam}}$: Kontrol hacminin ön camından dışarıya olan toplam ısı kaybı (kW),

$\dot{Q}_{y_{cam}}$: Kontrol hacminin yan camından dışarıya olan toplam ısı kaybı (kW),

\dot{Q}_{a_cam} : Kontrol hacminin arka camından dışarıya olan toplam ısı kaybı (kW),

\dot{Q}_{tavan} : Kontrol hacmi tavanından dışarıya olan toplam ısı kaybı (kW),

\dot{Q}_{y_duvar} : Kontrol hacminde bulunan yan duvarlardan dışarıya olan toplam ısı kaybı (kW),

\dot{Q}_{zemin} : Kontrol hacmi zemininden dışarıya olan toplam ısı kaybı (kW),

$\dot{Q}_{a_köşe}$: Kontrol hacminin arka sağ ve solköşelerinden dışarıya olan toplam ısı kaybı (kW),

\dot{Q}_{inf} : Kontrol hacminde açılabilir olan kapıların sızdırmazlıkları ile ilgili infiltrasyon ısı kaybı (kW),

dır.

Yapılan hesaplamalarda ısı transferinin tek boyutlu gerçekleştiği, maksimum ısı ihtiyacına göre gerekli ısıtıcı kapasitesinin belirlenebilmesi için, kabin içinde ısıtma sistemi haricinde başka ısı üretiminin ve ısı kazançlarının olmadığı dolayısıyla, kabin içine dışarıdan gelen ısınnın (\dot{Q}_{gelen}), kabin içinde üretilen ısınnın ($\dot{Q}_{üretim}$) ve kabin içindeki yolculardan gelen ısınnın (\dot{Q}_{yolcu}) sıfır olduğu kabul edilmiştir.

Kapılar çift kat sızdırmaz lastik eleman ile çevrelendiği için infiltrasyon kayıpları da ihmal edilmiştir

$$\dot{Q}_{inf} = 0$$

Yüzeylerden olan ısı kayıplarının hesaplanabilmesi için önce ısı taşınım ve iletim katsayıları aşağıdaki şekilde tespit edilmiş, daha sonra ısı direnç ve ısı kaybı hesaplanmıştır.

İç ve Dış ısı taşınım katsayılarının tespiti

Kontrol hacmi iç yüzeyi taşınım katsayısının tespiti için iç yüzey sıcaklıklarının tespiti gereklidir. İç yüzeylerin sıcaklıkları, farklı iç yüzey bölgelerinde izolasyon ve duvar kalınlıkları farkı sebebi ile farklılık göstereceği ve teorik olarak hesaplanamayacağı için ASREA standartlarından faydalanılmıştır. Buna göre $h_i = 8,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ olarak standartlardan alınmıştır (Çengel, 2011; ASHREA Fundamentals Handbook, 2013).

Benzer şekilde araç dış yüzeyinde ısı taşınım katsayısının belirlenebilmesi için, dış yüzey sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Dış yüzey sıcaklıkları farklı araç yüzeyi bölgelerinde farklı izolasyon ve duvar kalınlıkları sebebi ile farklılık göstereceği ve teorik olarak hesaplanamayacağı için (Çengel, 2011; Incropera, 2006; Kreith vd., 2011), araç dış yüzeyinde taşınım katsayısının tespitinde de ASREA standartlarından faydalanılmıştır. Buna göre $h_d = 34 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ olarak standartlardan alınmıştır (Çengel, 2011; ASHREA Fundamentals Handbook, 2013)

Isı iletim katsayıları ve kontrol hacmini oluşturan yüzeylerin ölçüleri

Kontrol hacmini oluşturan yapı bileşenleri ve bu bileşenlere ait ısı iletim katsayıları Tablo 3.3 de verilmiştir.

Tablo 3.3: Araç kabinini oluşturan malzemelerin ısı iletim katsayıları.

Malzeme	Isı iletim katsayısı
Sac (Çelik)	$k_{sac} = 65,2 \text{ W/mK}$
Hava	$k_{hava} = 0,025 \text{ W/mK}$
İzolasyon (Polyethylen)	$k_{izolasyon} = 0,04 \text{ W/mK}$
Formika	$k_{formika} = 0,2 \text{ W/mK}$
Muşamba (PVC)	$k_{pvc} = 0,23 \text{ W/mK}$
PVB	$k_{pvb} = 0,017 \text{ W/mK}$
Cam	$k_{cam} = 1,16 \text{ W/mK}$
FRP	$k_{frp} = 0,3 \text{ W/mK}$
Kontraplak - Tahta	$k_{tahta} = 0,13 \text{ W/mK}$
ABS plastik	$k_{ABS} = 0,14 \text{ W/mK}$

Kontrol hacmini oluşturan yapı bileşenlerinin kalınlıkları Tablo 3.4 de verilmiştir.

Tablo 3. 4: Araç kabinini çevreleyen (kontrol hacmi) malzemelerin kalınlıkları.

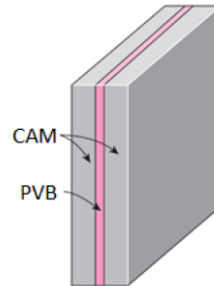
Malzeme	Kalınlık
Sac (Çelik)	$L_{sac} = 1 \text{ mm}$
Hava (kutu profil içinde)	$L_{hava1} = 36 \text{ mm}$
Hava (iki profil arasında)	$L_{hava2} = 40 \text{ mm}$
İzolasyon (Polyethylen)	$L_{izolasyon} = 40 \text{ mm}$
Formika	$L_{formika} = 4 \text{ mm}$
Muşamba (PVC)	$L_{pvc} = 3 \text{ mm}$
PVB	$L_{pvb} = 2 \text{ mm}$
Cam (Tüm Camlar)	$L_{cam} = 4 \text{ mm}$
FRP	$L_{frp} = 4 \text{ mm}$
Kontraplak - Tahta	$L_{tahta} = 10 \text{ mm}$
ABS plastik	$L_{ABS} = 3 \text{ mm}$

3.2.1 Isıl Direnç Ağı

Farklı bölgelerde farklı malzemeler olması ve araç gövdesinin tam olarak homojen dağılımlı izolasyon ve profillerden oluşmaması ısı direnç ağının tam ve doğru şekilde oluşturulmasını imkansız kılmaktadır ancak mümkün olduğunca sadeleştirme yapılarak ve bazı bölgelerde kontrol hacmini oluşturan yapı bileşenleri homojenmiş gibi öngörülerek ısı direnç ağı aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Ön Cam

Ön cam kesiti Şekil 3.7 de verildiği gibidir. Buna göre ısı direnç ağı;



Şekil 3.7: Ön cam kesiti.

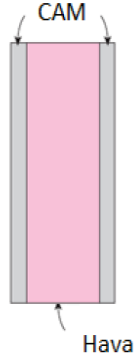
$A_{cam} = 2,64 \text{ m}^2$ olmak üzere;

$$R_{\ddot{o}_{cam topl}} = R_{i\check{c}} + R_{i\check{c} cam} + R_{PVB} + R_{dış cam} + R_{dış} \quad (45)$$

$$R_{\ddot{o}_{cam topl}} = \frac{1}{h_i A_{cam}} + \frac{L_{cam}}{k_{cam} A_{cam}} + \frac{L_{PVB}}{k_{PVB} A_{cam}} + \frac{L_{cam}}{k_{cam} A_{cam}} + \frac{1}{h_d A_{cam}} \quad (47)$$

Yan Cam

Yan cam kesiti Şekil 3.8 de verilmiştir. Buna göre ısı direnç ağı;



Şekil 3.8: Yan cam kesiti.

$A_{cam} = 14,43 \text{ m}^2$ olmak üzere;

$$R_{y_{cam topl}} = R_{i\check{c}} + R_{yan cam} + R_{hava katmanı} + R_{yan cam} + R_{dış yüzey} \quad (48)$$

$$R_{y_{cam topl}} = \frac{1}{h_i A_{cam}} + \frac{L_{cam}}{k_{cam} A_{cam}} + \frac{L_{hava}}{k_{hava} A_{cam}} + \frac{L_{cam}}{k_{cam} A_{cam}} + \frac{1}{h_d A_{cam}} \quad (49)$$

Arka Cam

Arka cam kesiti Şekil 3.9 da verilmiştir. Buna göre ısı direnç ağı;



Şekil 3.9: Arka cam kesiti.

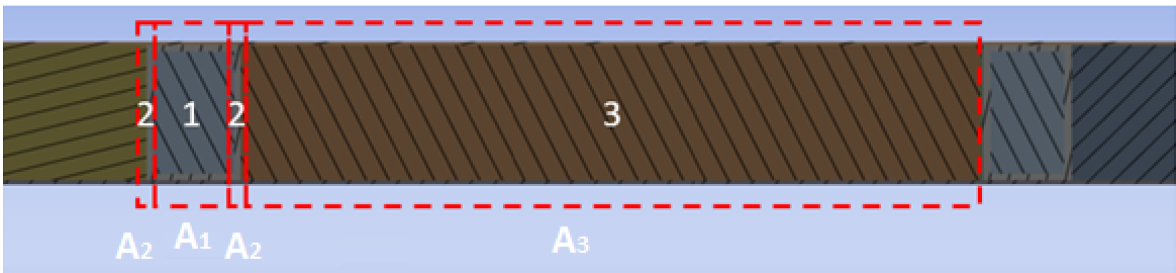
$A_{cam} = 1,98 \text{ m}^2$ olmak üzere;

$$R_{a_cam\ topl} = R_{iç\ yüzey} + R_{cam} + R_{dış\ yüzey} \quad (50)$$

$$R_{a_cam\ topl} = \frac{1}{h_i A_{cam}} + \frac{L_{cam}}{k_{cam} A_{cam}} + \frac{1}{h_d A_{cam}} \quad (51)$$

Tavan

Tavanı oluşturan profil, sac, izolasyon ve ABS katmanlarının kesit alınmış görseli Şekil 3.10 da verildiği gibidir. Kırmızı kesikli çizgi ile belirtilmiş bileşen yapısı 7,7 m araç tavan boyunca devam etmekte ve araç enine (2,3 m) 0,46 m aralıklarla periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Buna göre ısı direnç ağı;



Şekil 3.10: Tavan kesiti.

A_1 : tavan bölgesindeki profil alnının ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

A_2 : tavan bölgesindeki profil kenarının ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

A_3 : tavan bölgesindeki iki profil arası izolasyonun ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

Araç tavan boyu 7.7 m ve tavan eni 2,3 m bilgileri kullanılarak;

$$A_1 = 0,95 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,073 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 15,695 \text{ m}^2$$

olarak hesaplanmıştır. Buradan,

$$\frac{1}{R_{tavan topl}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (52)$$

$$R_1 = R_{iç yüzey} + R_{ABS} + R_{profil alnı} + R_{hava} + R_{profil alnı} + R_{sac} + R_{dış yüzey} \quad (53)$$

$$R_1 = \frac{1}{h_i A_1} + \frac{L_{ABS}}{k_{ABS} A_1} + \frac{L_{profil}}{k_{profil} A_1} + \frac{L_{hava}}{k_{hava} A_1} + \frac{L_{profil}}{k_{profil} A_1} + \frac{L_{sac}}{k_{sac} A_1} + \frac{1}{h_d A_1} \quad (54)$$

$$R_2 = R_{iç yüzey} + R_{ABS} + R_{profil kenarı} + R_{sac} + R_{dış yüzey} \quad (55)$$

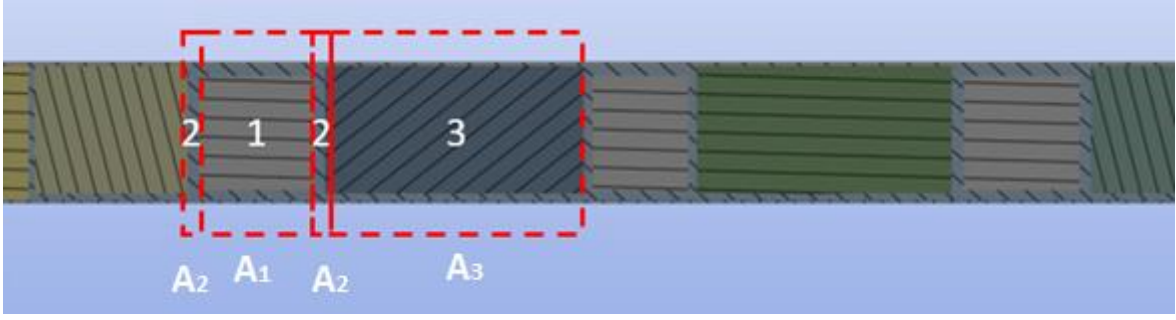
$$R_2 = \frac{1}{h_i A_2} + \frac{L_{ABS}}{k_{ABS} A_2} + \frac{L_{profil kenarı}}{k_{profil kenarı} A_2} + \frac{L_{sac}}{k_{sac} A_2} + \frac{1}{h_d A_2} \quad (56)$$

$$R_3 = R_{iç yüzey} + R_{ABS} + R_{izolasyon} + R_{sac} + R_{dış yüzey} \quad (57)$$

$$R_3 = \frac{1}{h_i A_3} + \frac{L_{ABS}}{k_{ABS} A_3} + \frac{L_{izolasyon}}{k_{izolasyon} A_3} + \frac{L_{sac}}{k_{sac} A_3} + \frac{1}{h_d A_3} \quad (58)$$

Yan Duvardan Olan Isı Kaybı

Yan duvarı oluşturan profil, sac, izolasyon ve ABS katmanlarının kesit alınmış görseli Şekil 3.11 de verildiği gibidir. Kırmızı kesikli çizgi ile belirtilmiş bileşen yapısının cam altından başlayarak kabin zeminine kadar olan 0,6 m lik bölgede düşey ekseninde aynı kalıp yatay ekseninde periyodik olarak 0,385 m aralıkla 7,7 m araç boyunca devam etmekte olduğu kabul edilmiştir (Kapı bölgeleride yan duvar ile aynı kabul edilmiştir). Buna göre ısı direnç ağı;



Şekil 3.11: Yan duvar kesiti.

A_1 : yan duvar profil alınının ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

A_2 : yan duvar profil kenarının ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

A_3 : yan duvar iki profil arası izolasyonun ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

Araç tavan boyu 7,7 m ve yan duvar yüksekliği 0,06 m bilgileri kullanılarak;

$$A_1 = 1,152 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,064 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 11,04 \text{ m}^2$$

olarak hesaplanmıştır. Buradan,

$$\frac{1}{R_{\text{yan duvar topl}}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (59)$$

$$R_1 = R_{\text{iç yüzey}} + R_{\text{ABS}} + R_{\text{profil alnı}} + R_{\text{hava}} + R_{\text{profil alnı}} + R_{\text{sac}} + R_{\text{dış yüzey}} \quad (60)$$

$$R_1 = \frac{1}{h_i A_1} + \frac{L_{\text{ABS}}}{k_{\text{ABS}} A_1} + \frac{L_{\text{profil}}}{k_{\text{profil}} A_1} + \frac{L_{\text{hava}}}{k_{\text{hava}} A_1} + \frac{L_{\text{profil}}}{k_{\text{profil}} A_1} + \frac{L_{\text{sac}}}{k_{\text{sac}} A_1} + \frac{1}{h_d A_1} \quad (61)$$

$$R_2 = R_{\text{iç yüzey}} + R_{\text{ABS}} + R_{\text{profil kenarı}} + R_{\text{sac}} + R_{\text{dış yüzey}} \quad (62)$$

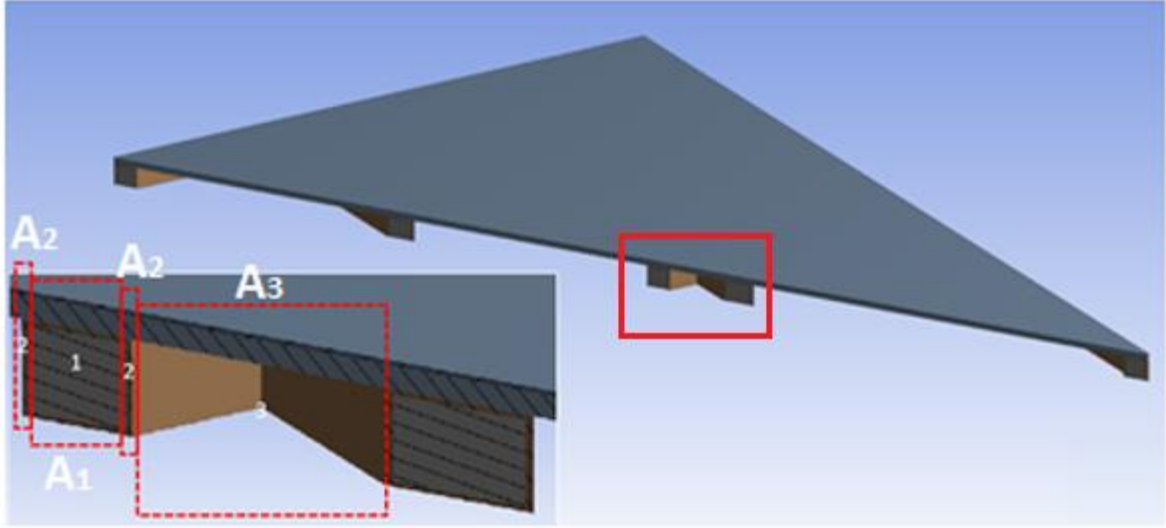
$$R_2 = \frac{1}{h_i A_2} + \frac{L_{\text{ABS}}}{k_{\text{ABS}} A_2} + \frac{L_{\text{profil kenarı}}}{k_{\text{profil kenarı}} A_2} + \frac{L_{\text{sac}}}{k_{\text{sac}} A_2} + \frac{1}{h_d A_2} \quad (63)$$

$$R_3 = R_{\text{iç yüzey}} + R_{\text{ABS}} + R_{\text{izolasyon}} + R_{\text{sac}} + R_{\text{dış yüzey}} \quad (64)$$

$$R_3 = \frac{1}{h_i A_3} + \frac{L_{ABS}}{k_{ABS} A_3} + \frac{L_{izolasyon}}{k_{izolasyon} A_3} + \frac{L_{sac}}{k_{sac} A_3} + \frac{1}{h_d A_3} \quad (65)$$

Zeminden Olan Isı Kaybı

Araç kabini zeminini oluşturan PVC, kontraplak, profil, ve izolasyon katmanlarının kesit alınmış görseli Şekil 3.12 de verildiği gibidir. Kırmızı kesikli çizgi ile belirtilmiş bileşen yapısı 7,7 m kabin zemini boyunca devam etmekte ve araç enine (2,3 m) 0,46 m aralıklarla periyodik olarak tekrarlanmaktadır (Şöför bölgesi de yolcu kabini ile aynı kabul edilmiştir). Buna göre ısıl direnç ağı;



Şekil 3.12: Zemin kesiti.

A_1 : Zemin profil alnının ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

A_2 : Zemin profil kenarının ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

A_3 : Zemin iki profil arası izolasyonun ısı geçiş yönüne dik toplam alanı

olmak üzere;

Kabin zemini boyu 7,7 m ve eni 2,3 m bilgileri kullanılarak

$$A_1 = 1,35 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,075 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 15,75 \text{ m}^2$$

olarak hesaplanmıştır. Buradan,

$$\frac{1}{R_{Zemin\ topl}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (66)$$

$$R_1 = R_{i\check{c}\ y\ddot{u}zey} + R_{PVC} + R_{Kontraplak} + R_{profil\ alnı} + R_{hava} + R_{profil\ alnı} + R_{dış\ y\ddot{u}zey} \quad (67)$$

$$R_1 = \frac{1}{h_i A_1} + \frac{L_{PVC}}{k_{PVC} A_1} + \frac{L_{Kontraplak}}{k_{Kontraplak} A_1} + \frac{L_{profil}}{k_{profil} A_1} + \frac{L_{hava}}{k_{hava} A_1} + \frac{L_{profil}}{k_{profil} A_1} + \frac{1}{h_d A_1} \quad (68)$$

$$R_2 = R_{i\check{c}\ y\ddot{u}zey} + R_{PVC} + R_{Kontraplak} + R_{profil\ kenarı} + R_{dış\ y\ddot{u}zey} \quad (69)$$

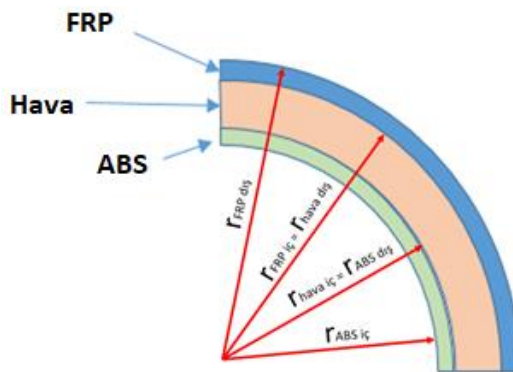
$$R_2 = \frac{1}{h_i A_2} + \frac{L_{PVC}}{k_{PVC} A_2} + \frac{L_{Kontraplak}}{k_{Kontraplak} A_2} + \frac{L_{profil}}{k_{profil} A_2} + \frac{1}{h_d A_2} \quad (70)$$

$$R_3 = R_{i\check{c}\ y\ddot{u}zey} + R_{PVC} + R_{Kontraplak} + R_{dış\ y\ddot{u}zey} \quad (71)$$

$$R_3 = \frac{1}{h_i A_3} + \frac{L_{PVC}}{k_{PVC} A_3} + \frac{L_{Kontraplak}}{k_{Kontraplak} A_3} + \frac{1}{h_d A_3} \quad (72)$$

Arka Köşelerden Olan Isı Kaybı

Sağ ve sol arka köşelerin kesit görseli Şekil 3.13 de verilmiştir. Köşeler dışta 4 mm FRP katman ve içte 3 mm ABS katman ile ikisi arasında 40 mm hava katmanından oluşan çeyrek daire kesidi şeklindedir. Buna göre ısııl direçleri:



Şekil 3.13: Araç kabini sağ ve sol arka köşe kesiti.

$$r_{FRP\ dı\ş} = 200\ mm$$

$$r_{FRP\ i\ç} = 196\ mm$$

$$r_{hava\ dı\ş} = 196\ mm$$

$$r_{hava\ i\ç} = 156\ mm$$

$$r_{ABS\ dı\ş} = 156\ mm$$

$$r_{ABS\ i\ç} = 153\ mm$$

$$L_{kö\şe} = 1,8\ m\ (kö\şenin\ yükseklîği)$$

$$A_{kö\şe\ i\ç} = 0,86\ m^2$$

$$A_{kö\şe\ dı\ş} = 1,13\ m^2$$

$$R_{arka\ kö\şe} = R_{i\ç} + R_{ABS} + R_{hava} + R_{FRP} + R_{Dı\ş} \quad (73)$$

$$R_{arka\ kö\şe} = \frac{1}{h_i A_{kö\şe\ i\ç}} + \frac{\ln(r_{ABS\ dı\ş}/r_{ABS\ i\ç})}{0,5.\pi.L_{kö\şe}.k_{ABS}} + \frac{\ln(r_{hava\ dı\ş}/r_{hava\ i\ç})}{0,5.\pi.L_{kö\şe}.k_{hava}} + \frac{\ln(r_{FRP\ dı\ş}/r_{FRP\ i\ç})}{0,5.\pi.L_{kö\şe}.k_{FRP}} + \frac{1}{h_d A_{kö\şe\ dı\ş}} \quad (74)$$

Ön ve Arka yüzde Cam Altı Bölgeden Olan Isı Kaybı

Araç kabini arka cam altı (aca) bölgesi dışta 4 mm FRP katman ve içte 3 mm ABS katmandan oluşan düzlem duvar olarak hesaplanmıştır. Buna göre ısıl direci:

$$A_{aca} = 2,75\ m^2$$

$$R_{aca} = R_{i\ç} + R_{ABS} + R_{hava} + R_{FRP} + R_{Dı\ş} \quad (75)$$

$$R_{aca} = \frac{1}{h_i A_{aca}} + \frac{L_{ABS}}{k_{ABS} A_{aca}} + \frac{L_{FRP}}{k_{FRP} A_{aca}} + \frac{1}{h_d A_{aca}} \quad (76)$$

Araç kabini ön cam altı (öca) bölgesi 4 mm FRP katmandan oluşan düzlem duvar olarak hesaplanmıştır. Buna göre ısıl direci:

$$A_{öca} = 1,54\ m^2$$

$$R_{\acute{o}ca} = R_{i\check{c}} + R_{FRP} + R_{Dış} \quad (77)$$

$$R_{\acute{o}ca} = \frac{1}{h_i A_{\acute{o}ca}} + \frac{L_{FRP}}{k_{FRP} A_{\acute{o}ca}} + \frac{1}{h_d A_{\acute{o}ca}} \quad (78)$$

Toplam Isı Kaybı

Hesaplanan ısıl dirençler toplam ısı kaybı denkleminde (Eşitlik 45) yerine konularak kontrol hacminin toplam ısı kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{kayıp} = \dot{Q}_{\acute{o}n\ cam} + \dot{Q}_{\acute{o}ca} + \dot{Q}_{yan\ cam} + \dot{Q}_{arka\ cam} + \dot{Q}_{aca} + \dot{Q}_{tavan} + \dot{Q}_{yan\ duvar} + \dot{Q}_{zemin} + \dot{Q}_{arka\ k\acute{o}şe} \quad (79)$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{\acute{o}n\ cam}} + \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{\acute{o}ca}} + \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{yan\ cam}} + \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{arka\ cam}} + \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{aca}} + \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{tavan}} + \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{yan\ duvar}} + \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{zemin}} + \frac{T_{i\check{c}} - T_{dış}}{R_{arka\ k\acute{o}şe}} \quad (80)$$

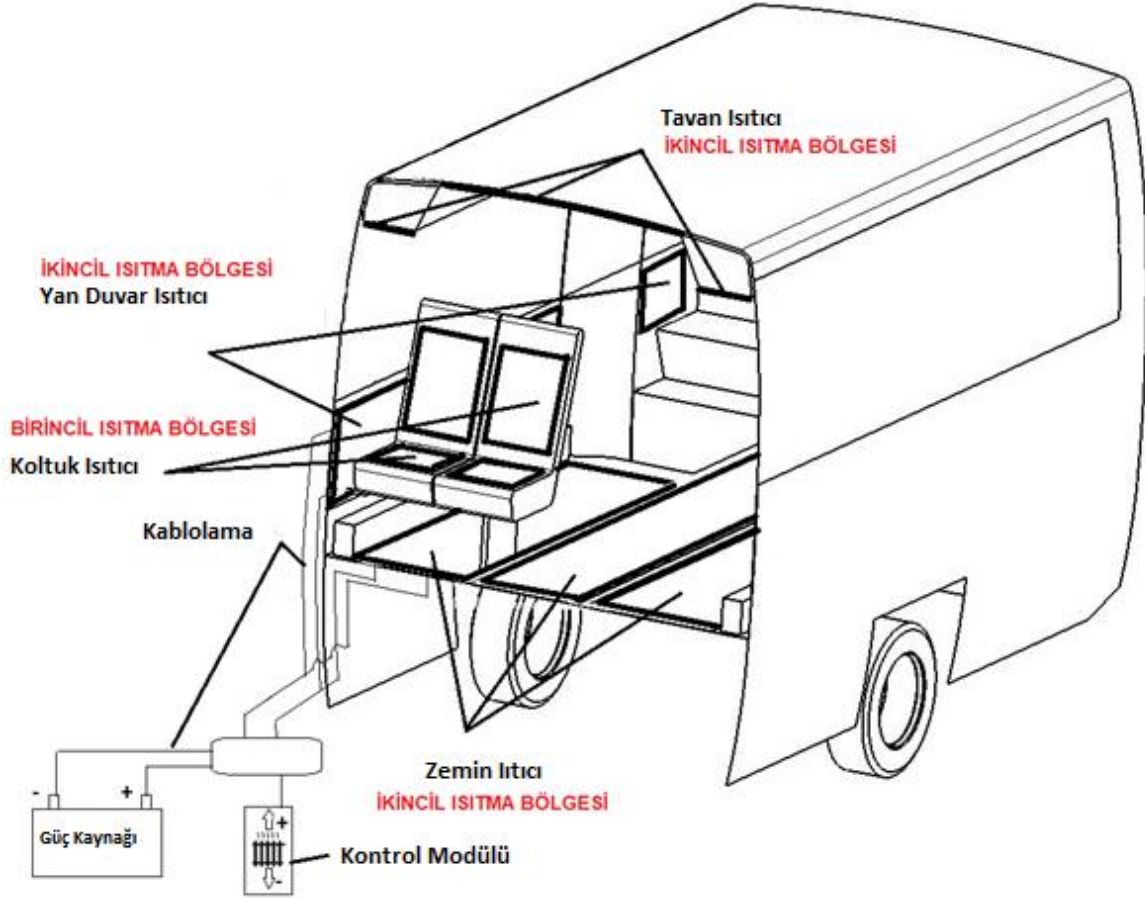
Hesaplanan bu ısı kaybı miktarı, araç içi ısıtma sisteminin bilinen toplam kapasite bigisi ile birlikte elektrik enerjisi kullanan dokuma tekstil kumaş ısıtıcılar ile araç kabininin ısıtılması için gerekli ısıtma kapasitesinin tahmininde referans olarak kullanılmıştır

3.3 Dokuma Tekstil Elektrikli Isıtma Sisteminin Tasarımı

Yapılan çalışmada, araç içinde ısıtıcı olarak kullanılacak iletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşlar bir elektrik akımına maruz kaldıklarında, ışınlama ısıtma özelliğine sahip olmakla birlikte, aynı zamanda yapıları gereği direnç gibi davrandıkları için, ışınlama ısı transferi sağlamanın yanında hem taşınımla (temas ettikleri havayı ısıtarak) hemde iletimle ısı transferi yapma özelliğine sahiptirler. Bu bağlamda, çalışmada *ışınlama ısıtma sistemi* isminin yanında *dokuma tekstil karbon elyaf ısıtıcı* ifadesi de kullanılmıştır

Tasarımı yapılan araç içi ısıtma sistemi, iletken karbon lifler içeren dokuma tekstil ısıtıcı kumaşlar, ısıtıcı kumaşları kontrol eden kumanda sistemi ve ısıtıcı kumaşlara enerji

sağlayacak güç kaynağı ve elektrik kablolarından oluşmaktadır. Tasarımı yapılan ve ışınımla ısıtma sağlayan araç içi ısıtma sistemi Şekil 3.14 de verilmiştir.



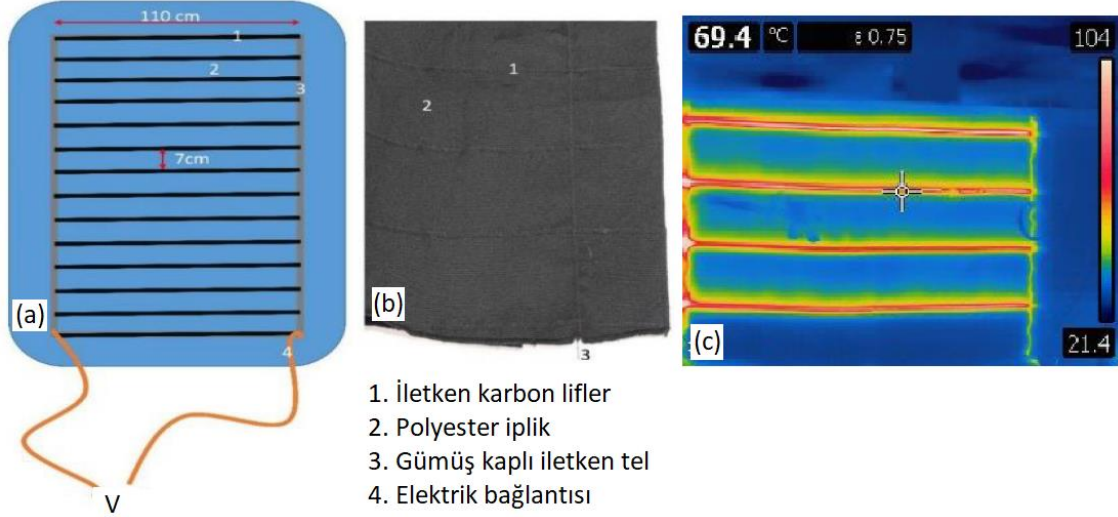
Şekil 3.14: Işınımla ısıtma yapan araç kabini ısıtma sistemi.

3.3.1 İletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşın tasarımı

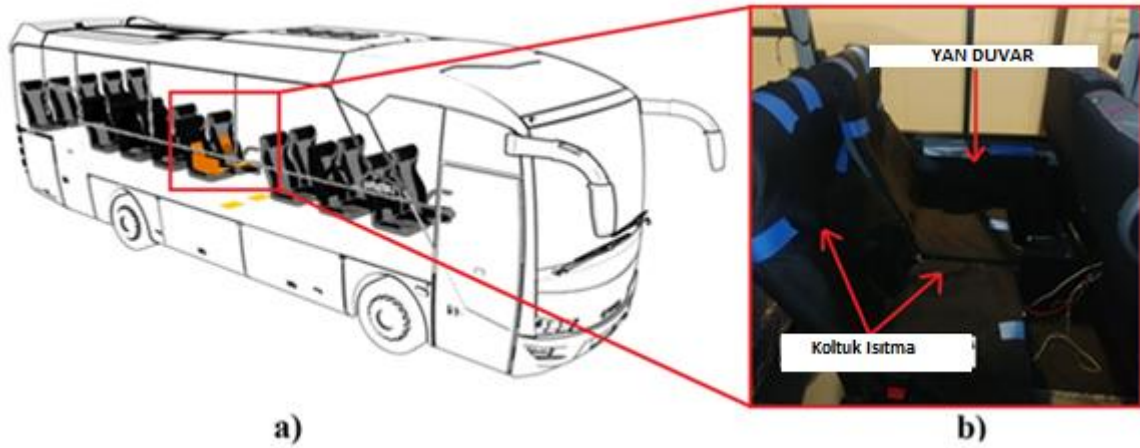
Isıtıcı yüzey olarak kullanılacak olan dokuma tekstil ısıtma sisteminde, iletken karbon lifler, polyester lifler ile birlikte paralel bağlı direnç devresi oluşturacak şekilde 7 cm aralıklarla dokunarak ısıtıcı elemanlar oluşturulmuştur. Oluşturulan dokuma tekstil ısıtıcı kumaşın görseli Şekil 3.15 de verilmiştir (Erol vd., 2017).

Dokuma tekstil karbon elyaf ısıtıcıların, gerçekçi performanslarını belirleyebilmek ve kullanılacak boyut ve geometrilere karar verilebilmek için bir ön çalışma yapılmıştır. Yapılan ön çalışmada, deneylerde kullanılacak araç üzerinde bir koltuk bölgesi kullanılmıştır. Oda sıcaklığı -7°C ye ayarlanmıştır. Bu test sırasında, ısı kaybının en fazla olduğu yerlerden biri

olan araç yan duvarı ve yolcu ile temas halinde olduğu için konfor etkisi en kritik olan yolcu koltukları üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Isıtıcı kumaşlar Şekil 3.16 da verildiği gibi yerleştirilerek uygulanan gerilim altında kumaşların çektiği akım ve dolayısıyla elektriksel güçleri ve ulaştıkları yüzey sıcaklıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.15: Dokuma tekstil karbon elyaf ısıtıcı, (a) şematik gösterimi, (b) kumaşın gerçek görseli, (c) gerilim uygulandığında termal kamera görüntüsü (Erol vd., 2017).



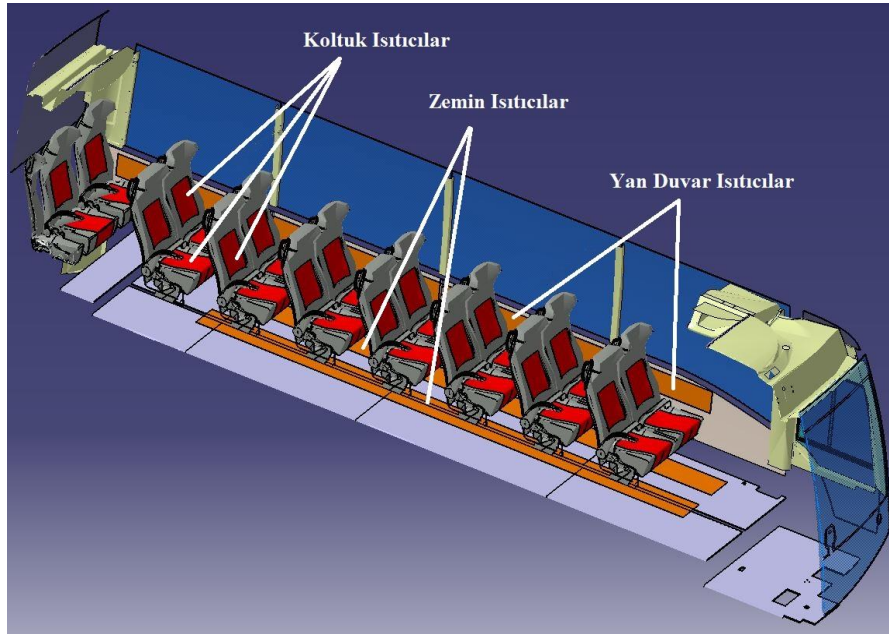
Şekil 3.16: Ön test için seçilen ısıtma bölgesi (a) ve ısıtıcı kumaşların yerleşimi (b).

Laboratuvar ortamında yapılan ikinci çalışmada ısıtıcıların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Birim boydaki iletken karbon elyaf ısıtıcıya farklı gerilimler uygulanarak karbon elyaf ısıtıcının birim boyunun uygulanan gerilime bağlı yüzey sıcaklığı ve gücü hesaplanmıştır.

Bu iki çalışmadan elde edilen veriler, araç içi ısıtıcı kumaş sisteminin tasarlanmasında ve kullanılacak ısıtıcı ebatlarının ve uygulanacak gerilimin belirlenmesinde referans olarak kullanılacaktır.

3.3.2 Isıtıcı Kumaşların Araç İçi Yerleşimi

Dokuma tekstil iletken karbon elyaf ısıtma sisteminin araç içi uygulaması için, araç içinde iki ana ısıtma bölgesi planlanmıştır. Bunlar Şekil 3.14 de araçtan bir kesit şeklinde verilmişti. Araç içinde ısıtıcı kumaşların yerleşimi ise Şekil 3.17 de verildiği gibidir (tavan bölgesi bu kesitte verilmemiştir). Isıtıcı kumaş uygulama alanları , yolcu ile direk temas ederek ısıl konfora en hızlı etkiyi sağlayacak olan koltuk ısıtıcıları içeren birincil ısıtma bölgesi ve yolcu ile direk temas halinde olmayan ancak ışınım yoluyla yolcuları ısıtmaya katkı sağlayacak veya yolcuların içinde bulunduğu ortamı ısıtarak dolaylı olarak yolcuların ısınmasını sağlayan aynı zamanda soğuk dış ortam ile yolcular arasında sıcak katman oluşturarak ısı kaybını azaltacak olan, yan duvar, zemin ve tavan ısıtıcılarını içeren ikincil ısıtma bölgeleri olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.17: Dokuma tekstil iletken karbon elyafların araç içi görünümü.

3.3.3 Araç içine yerleştirilecek Isıtıcı Kumaşların Tasarımı

Yapılan literatür araştırmaları, alternatif ürün incelemeleri ve firmanın mevcut araç içi sistemi ile ilgili standartlarından yolcuya temas edebilecek bölgeler için maksimum yüzey sıcaklığının 70 °C kabul edildiği ancak koltuk ısıtma durumunda yüzey sıcaklığının maksimum 40 °C civarında olması gerektiği bilgisine ulaşılmıştır. Bu değerler ısıtıcı tasarımında referans olarak kullanılmıştır (ASHREA, 2011; ASTM, 2012; ASHREA, 2013; ASHREA 55, 2013).

Bir adet iletken karbon elyafın sağlayacağı ısı kapasite ve yaklaşık ulaşacağı yüzey sıcaklığı deneysel olarak belirlenmişti. Bu veriler ve belirlenen gerekli yüzey sıcaklıkları doğrultusunda 106 cm ve 50 cm eninde iki ayrı lif boyuna sahip kumaş kullanılarak araç içinde daha önceden planlanan uygulama bölgelerine göre uygun boyut ve kapasiteyi sağlayacak kumaş ısıtıcılar tasarlanmıştır.

3.4 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizi

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD veya CFD) analizleri, deneysel sistemin çok pahalı olduğu veya deneysel çalışma yapmanın imkansız olduğu durumlarda sıklıkla kullanılan yöntemdir. Bu metod toplam yapının sonlu sayıda sayısal çözümü bilinen belirli geometrilerdeki hacim elemanına bölünerek, bu hacim elemanlarının birer birer çözüme ulaştırılması ile tüm yapının çözüme ulaştırılması prensibine dayanır.

HAD yöntemi, problemi çözüme ulaştırırken aşağıdaki yönetici denklemleri kullanır (Altınışık, 2004; Çengel, 2011; Incropera, 2006; Kreith vd., 2011).

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (81)$$

Momentum denklemleri:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho \cdot g_x \quad (82)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho \cdot g_y \quad (83)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \rho \cdot g_z \quad (84)$$

Enerji denklemi:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} + w \frac{\partial P}{\partial z} \right) + k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \Phi \quad (85)$$

Burada, ρ , P , μ , Φ , T , k , g , t ve C_p sırası ile *yoğunluk*, *statik basınç*, *viskozite*, *viskoz kayıplar*, *sıcaklık*, *iletim ısı transfer katsayısı*, *yer çekim ivmesi*, *zaman* ve *özgül ısı* 'yı ifade etmektedir.

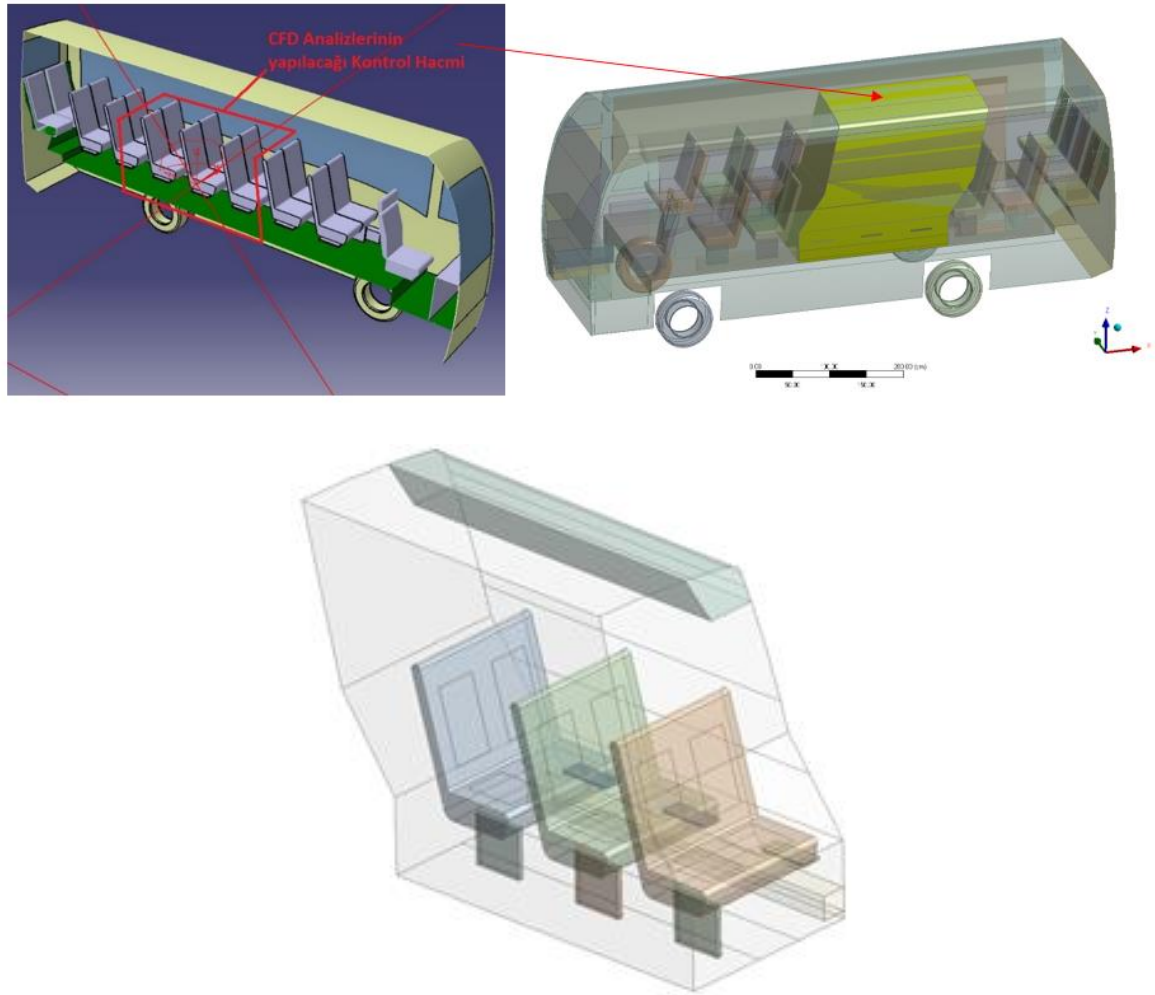
HAD analizini için oluşturulacak ağ yapısını oluştururken, hesaplama süresini kısaltmak, mesh sayısını azaltmak ve mesh kalitesini iyileştirmek için bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller aşağıda verilmiştir.

Gerçek boyuttaki bir araç üzerinde yapılacak sanal analiz için oluşturulması gereken sonlu hacim modelinin eleman sayısının elli milyon civarında olacağı tahmin edilmektedir. Bu sayıda elemana sahip bir sanal modelin çözümü için, oldukça uzun zamana ihtiyaç duyulacak ve süper bilgisayarlar gerekecektir. Bu sebeple hızlı sonuç alabilmek adına ve kısıtlı bilgisayar kapasiteleri sebebi ile Şekil 3.18 de gösterildiği gibi, araç orta eksenine göre simetrik ve ön ve arka kısmı ile periyodik sınır şartını sağlayan, araç orta bölgesinde 6 koltuğu kapsayan bir bölge sanal analizlerin yapılması için seçilmiştir. Böylelikle seçilen çözüm hacminin araç ön-arka doğrultusunda sürekliliği kabul edilmiştir. Seçilen bölge araç orta bölgesi gibi öngörülebileceği için elde edilen analiz sonuçlarının, aracın diğer kısımların için de benzer veya yakın olacağı kabul edilmiştir.

Oluşturulan sanal analiz modelinde sınır tabaka bölgelerinde dikdörtgenler prizması hacim elemanları, sınır tabakadan içeriye doğru ise tetrahedral elemanlar kullanılmıştır. Eleman boyutları koltuk yüzeyi gibi dar yerlerde minimum 2 mm, koridor ve koltuk arası boşluk gibi

boş alanlarda maksimum 60 mm boyutlarda olacak şekilde seçilmiştir. Bu mesh yapısı ile seçilen 3 sıra 2 li koltuk bölgesi için toplamda 8.000.000 civarı sonlu hacim sayısına sahip bir model oluşturulmuştur.

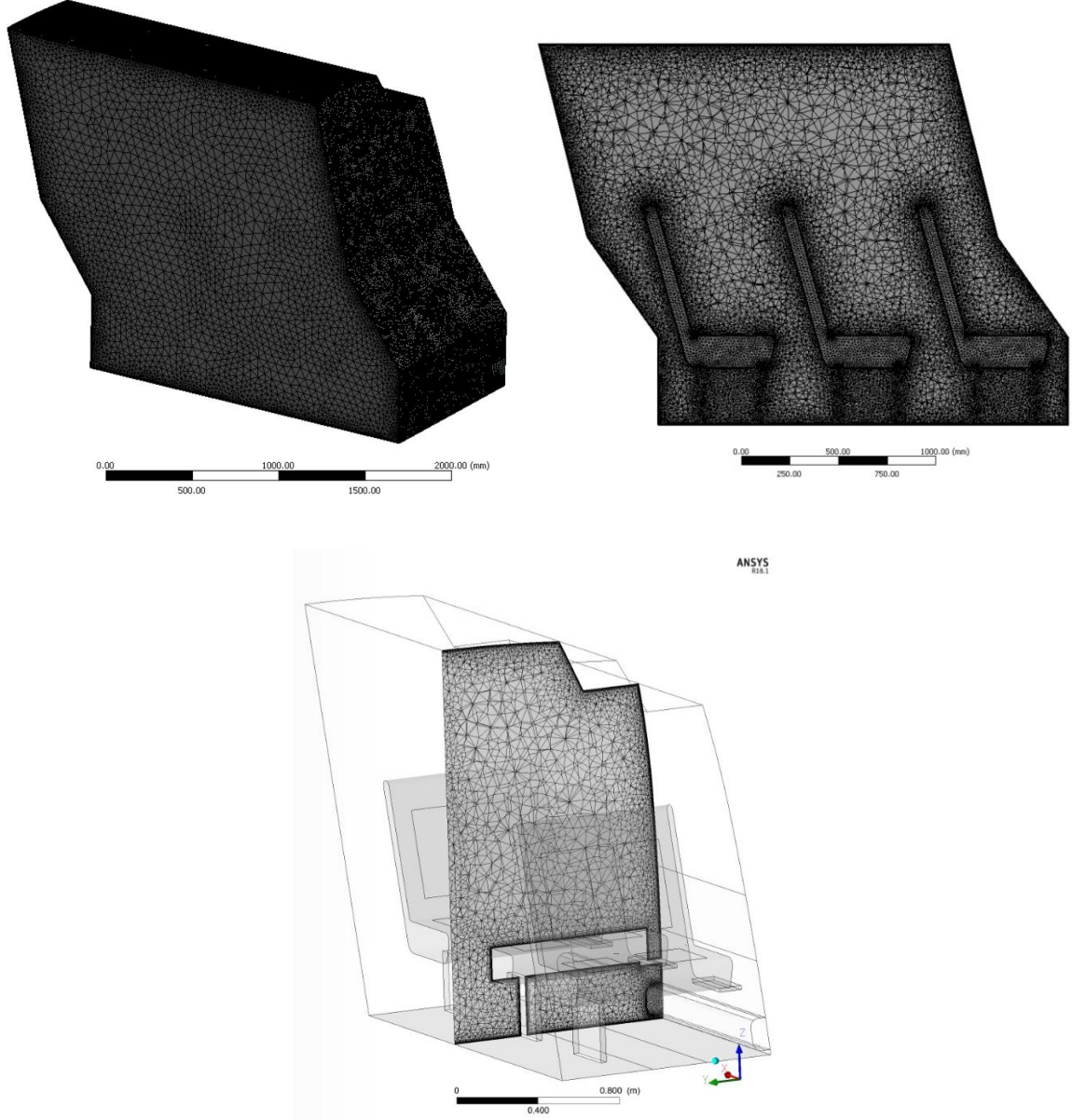
Oluşturulan HAD modelini yapılacak haritalama testleri ile doğrulayabilmek için öncelikle mevcut durumun HAD analizi yapılmıştır. Modelde ısı kaynağı olarak, kalorifer peteğinin modeli oluşturulan bölgeye karşılık gelen kısmının ısıl kapasitesi kullanılmıştır. Doğal taşınım yoluyla ısı transferi söz konusu olduğundan, havanın yoğunluğu sıcaklığa bağlı değişerek, yerçekimi dolayısıyla kütleli kuvvetler tesiri altında momentum kazanmaktadır. Oluşturulan sonlu hacim modeline ait görseller Şekil 3.19 da verilmiştir.



Şekil 3.18: Araç üzerinde sanal model oluşturulan bölge.

Sayısal çözüm, süreklilik, momentum ve enerji korunum denklemleri bağlı hatasının yeterli tolerans altına düşmesi (10^{-3} RMS (Root Mean Square) referans alınmıştır) ve çözüm hacmi

içerisinde belirli referans noktaların fiziksel değerlerinin yakınsaması neticesinde sonuçlandırılmıştır.



Şekil 3.19: Oluşturulan sonlu eleman modeli.

Isıtıcı Kumaş Kullanılarak HAD Analizlerinin Yapılması

Sanal modelin mevcut durum analizleri ile doğrulaması yapıldıktan sonra, hazır olan modelde konvektör ısıtıcı olarak tanımlı ısı girişi iptal edilmiş ve yerine ısı kaynağı olarak belirlenen kabin iç yüzeylerine ısıtıcı kumaşların belirlenen ısıtma kapasiteleri uygulanmıştır. HAD modeli yeni uygulanan ısıtıcı kumaşlar ile tekrar çözdürülmüştür.

Sayısal çözüm, süreklilik, momentum ve enerji korunum denklemleri bağıl hatasının yeterli tolerans altına düşmesi (10^{-3} - RMS hata miktarının oranının altına düşmesi) ve çözüm hacmi içerisinde belirli referans noktaların fiziksel değerlerinin yakınsaması ile sonuçlandırılmıştır.

3.5 Performans Deneyleri Koşullarının Tespiti

Yapılacak araç kabini ısıtma testleri ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda, herhangi bir uluslararası standart veya regülasyona rastlanılmamıştır. Bununla birlikte bir yasal zorunluluk olmamakla birlikte Amerikada SAE (SAE J638), ASHREA (Ashrea 55, 2013; Ashrea handbook, 2011) ve APTA (APTA BTS-BMT-RP-001-10, 2016) standartlarında bu konuda bazı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu standartlarda da kendi aralarında bazı farklılıklar görülmektedir.

Otomotiv firmalarının uygulamaları ve literatürdeki yapılan çalışmalarda kullanılan test koşulları ile ilgili yapılan araştırmalar sonucu bulgular ise aşağıdaki gibidir;

Firmalar ile ilgili yapılan araştırma sonuçlarına göre, bir global standart olmaması sebebi ile farklı firmalar farklı test koşullarını kullanabilmektedirler. Bazı otomotiv firmaları kalorifer testleri için $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ atmosfer koşulunu test standardı olarak kullanırken, bazı ticari araç kullanıcıları $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ lik atmosfer koşulunu test standardı olarak tercih etmektedir.

Yapılan literatür incelemelerinde; elektrikli araçlar üzerine yapılmış ve PTC ısıtıcı kullanarak konvansiyonel yöntemle havayı ısıtarak yolcu kabinini ısıtan tipte kalorifer sistemine sahip bir araçta yapılan testlerde $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ lik dış ortam test koşulu olarak kullanılırken (Umezu, 2010), araçlarda ışınlama ısıtma sistemi üzerine yapılmış bir çalışmada (Bauml vd., 2014). araç test koşulu olarak $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ lik dış ortam kullanılmıştır. Elektrikli araçlarda ısı pompası uygulamaları üzerine yapılan iki ayrı çalışmada ise dış ortam koşulu olarak $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve -18°C kullanılmıştır (Paya vd., 2011; Zhaogang Qi, 2014)

Yukarıdaki incelemeler ve bulgular neticesinde yapılacak testlerde, literatür ile kıyaslanabilirlik açısından (Bauml vd., (2014)) $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve farklı koşulları da görebilmek adına $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dış ortam sıcaklıkları kullanılmıştır.

Yapılan testlerde tekrar edilebilirlik açısından Tablo 3.5 de verilen kriterler her test için uygulanmıştır.

Tablo 3.5: Oluşturulan test koşulları.

Madde	Koşul	Açıklama
Test süresi	120 dk	Test süresi araç içi rejime gelinceye kadar veya maksimum 120dk olacaktır
Veri kayıt aralığı	1 dk	Test süresince dakikada bir veri toplanacaktır. İlk kayıt motor çalıştırılmadan alınacaktır
Dış Sıcaklık	-7 °C -4 °C 0 °C	Farklı dış ortam sıcaklıklarında testler gerçekleştirilecektir.
Ön şartlandırma	6 saat	Araç testten önce minimum 6saat boyunca test odası sıcaklığı olan -7 °C/-4 °C ve 0 °C de kapı ve pencereleri açık olarak bekletilecektir
Ön ısıtma	Yok	Test başlangıcı öncesi araç kalorifer sisteminde herhangi bir ön ısıtma uygulanmayacak, araç motoru ile araç kaloriferi aynı anda çalıştırılarak teste başlanacaktır
Kalorifer sıcaklık ayarı	Maks sıcak	Haritalama testlerinde, testten önce kalorifer sistemi ayarlanabilen en yüksek sıcaklığa ayarlanacaktır. Isıtıcı kumaş kullanılarak yapılan testlerde kalorifer sistemi kapalı olacaktır.
Şöför ön kalorifer	Kapalı	Şöför ön kaloriferi test süresince iç hava konumunda ve kapalı tutulmalıdır
Kapı ve pencereler	Kapalı	Kapı ve pencereler test başlamadan kapatılmalı ve test süresince kapalı tutulmalıdır
Araca giriş - çıkış	Minimum	Test süresince araca gir-çık yapılmayacaktır.
Araç içindeki kişi sayısı	Minimum	Araç içinde bulunması zaruri personel harici kimse bulunmamalıdır (Maks. 3 kişi)
Motor devri	600 rpm	Haritalama testlerinde motor rölantide çalıştırılacaktır. Isıtıcı kumaş kullanılarak yapılan testlerde motor kapalı ve/veya kalorifer sistemi devrede olmamalıdır.
Yakıtlı ısıtıcı	12 kW	Yakıtlı ek ısıtıcı, haritalama testleri sırasında test süresince açık olmalı, kendi termostat kontrolüne göre çalışmalıdır

3.6 Deney ve Ölçüm Cihazları

Test için kullanılacak ekipmanlar; projede yapılacak testler gerçek boyutta bir test araç üzerinde yapılacak testler olduğu için aracın içine sığabileceği büyüklükte ve sıcaklık kontrolü yapılabilen bir test kabini ile araç üzerinde ölçüm için kullanılan diğer ölçüm cihazlarından oluşmaktadır. Kullanılacak ekipmanlar ile ilgili tam liste ve detayları Tablo 3.6 da verilmiştir.

Tablo 3.6: Test ekipmanları listesi.

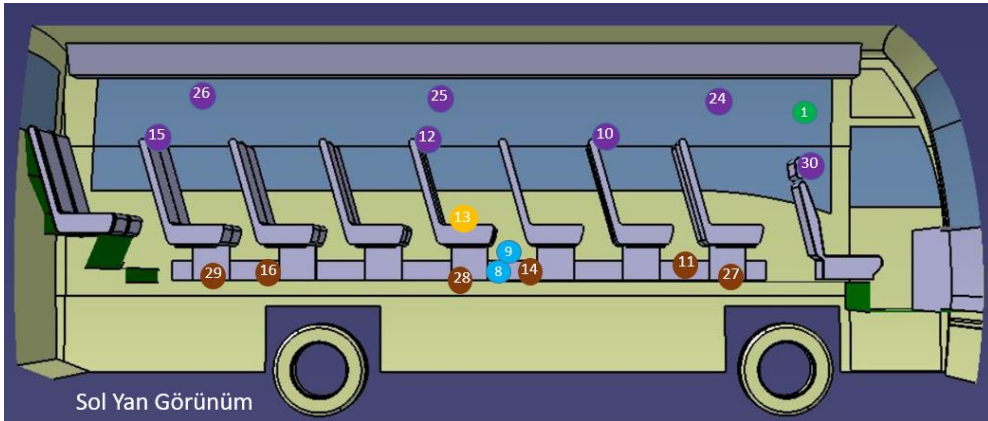
Test Cihazı	Adet	Açıklama	Doğruluk
Araç test kabini	1	22m boyunda, -40 °C - +65 °C ve %10-%90 nem aralığında kontrol sağlayabilen, eksoz tahliyesi ve taze hava girişi olan, bilgisayar kontrollü ısı test kabini	± 1 °C
Veri toplama cihazı-1	1	eDAQ Ecpu Plus	$\pm 0,5$ °C
Veri toplama cihazı-2	1	Hioki LR-8400-20, 30 Kanallı Voltaj, Sıcaklık ve Nem Dataloggerı	$\pm 0,5$ °C
Test Bilgisayarı - 1	1	Panasonic Toughbook	-
Test Bilgisayarı - 2	1	Monster Abra A5 V12.1	-
İş istasyonu	1	Monster Tulpar T7 V8.1	-
Yakıt tüketim cihazı	1	Kistler DFL 3x 5 Bar	$\pm 0,5$
Debi ölçme cihazı	1	Bass Instruments 1-33 l/h	$\pm 0,5$ L/dk
Amper metre	1	Fluke multimetre	$\pm 0,1$ A
Volt metre	1	Fluke multimetre	$\pm \%2$ V
Isıl çift (Thermocouple – TC)	30	Omega, J Tipi Thermocouple	$\pm 1,1$ °C
Termal kamera	1	Flir T420	± 2 °C
Güç kaynağı	3	Mean well RSP-3000-48 güç kaynağı	$\pm \%1$ V

3.7 Deney Ölçüm Noktaları

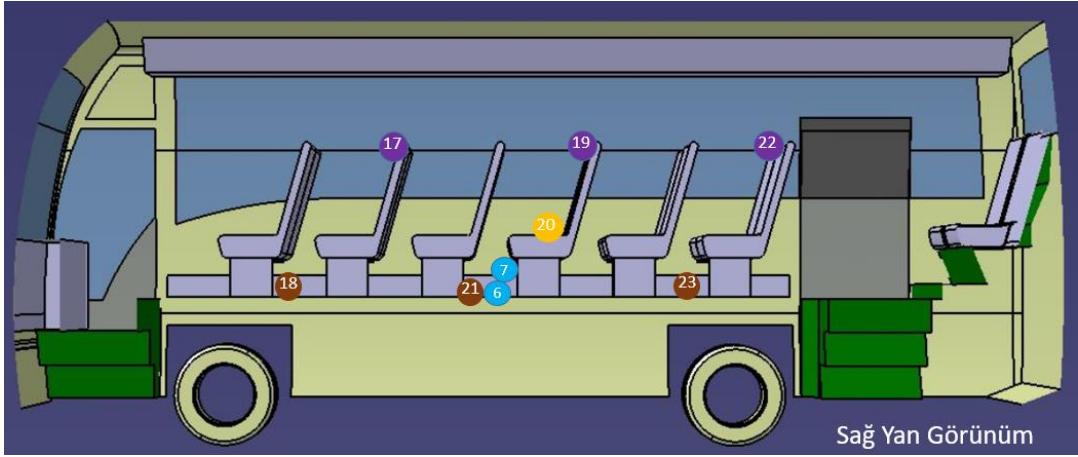
Yapılacak haritalama testlerinde ve diğer testlerde ölçüm alınacak noktalar Tablo 3.7 de belirtildiği gibi yerleşim düzeni ise Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23 de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.

Hazırlanan görsellerde de tariflendiği gibi, ısıtıcı çiftler koltuk ve koridor ayak bölgelerine, koltuk ve koridor yüz hizalarına, koltuk oturma bölgelerine, araç kaloriferlerinin sıcak su giriş ve çıkışlarına, yakıtlı ısıtıcı ve motorun sıcak su giriş ve çıkışlarına, kabin içindeki araç kaloriferlerinin orta kısım hava giriş ve çıkış bölgelerine yerleştirilmiştir. Isıtıcı çift yerleşimleri sırasında aşağıda oluşturulan tariflemelere dikkat edilerek ısıtıcı çift yerleşimleri yapılmıştır.

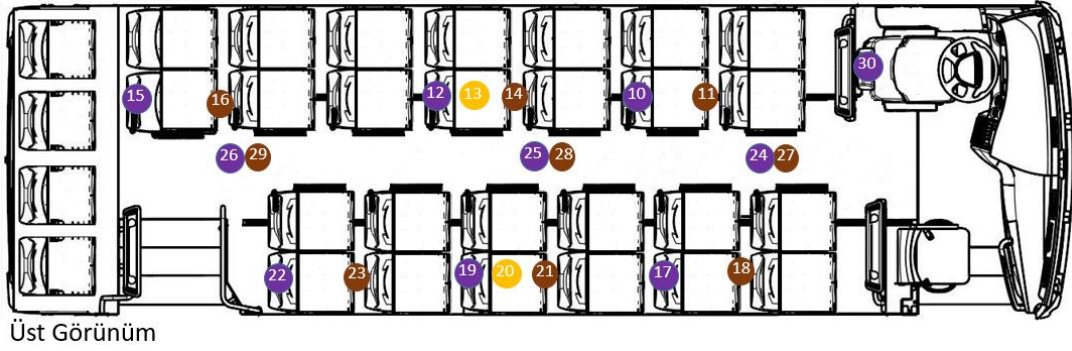
1. Zemin ve ayak bölgesi sıcaklıkları için kullanılan ısıtıcı çiftler, araç kabini zeminine temas etmeyecek şekilde zeminden 2-3 cm yukarıya yerleştirilmiştir.
2. Koltuk oturma yüzeyi ısıtıcı çiftleri, koltuk oturma yüzeyinden 2-3 cm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir.
3. Koridor bölgesindeki yüz hizası ısıtıcı çiftleri, koridor zemininden yaklaşık 160 cm yukarıda konumlandırılmıştır.
4. Koltuk yüz hizası ısıtıcı çiftleri, koltuk başlıklarının en üst konumundan yaklaşık 10 cm öne doğru yerleştirilmiştir.
5. Su sıcaklığı için kullanılan ısıtıcı çiftler, kalorifer hortumları içine, motor sıcak suyunu temas edecek şekilde yerleştirilmiştir.



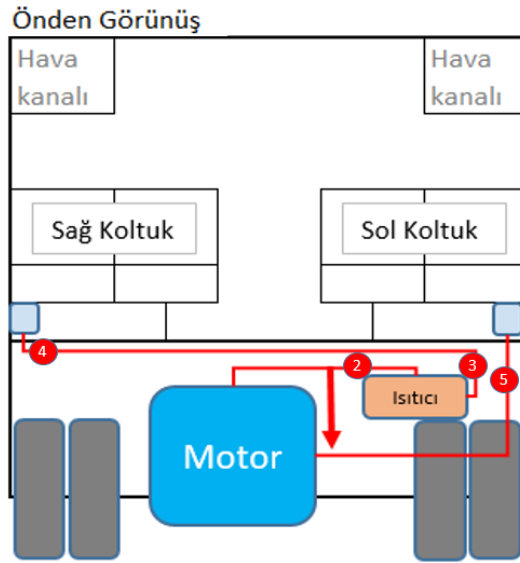
Şekil 3.20: Test Aracı ısıtıcı çift yerleşimi – Sol yan görünüm.



Şekil 3.21: Test Aracı ısıtıcı çift yerleşimi – Sağ yan görünüm.



Şekil 3.22: Test Aracı ısıtıcı çift yerleşimi – Üst görünüm.



Şekil 3.23: Test Aracı ısıtıcı çift yerleşimi – Motor bölgesi enine kesit görünümü.

Tablo 3.7: Haritalama testleri ve diğer testlerde ölçüm noktaları listesi.

No	Isıl Çift Listesi	Cinsi
1	Dış ortam	J tipi ısı çift
2	Motor su çıkış (Preheater su giriş)	J tipi ısı çift
3	Preheater su çıkış	J tipi ısı çift
4	Sağ konvektör Su giriş	J tipi ısı çift
5	Sol konvektör su çıkış	J tipi ısı çift
6	Sağ konvektör hava giriş 4.sıra	J tipi ısı çift
7	Sağ konvektör hava çıkış 4.sıra	J tipi ısı çift
8	Sol konvektör hava giriş 4.sıra	J tipi ısı çift
9	Sol konvektör hava çıkış 4.sıra	J tipi ısı çift
10	2. sıra sol baş hizası	J tipi ısı çift
11	2. sıra sol ayak bölgesi	J tipi ısı çift
12	4. sıra sol baş hizası	J tipi ısı çift
13	4. sıra sol Kucak	J tipi ısı çift
14	4. sıra sol ayak bölgesi	J tipi ısı çift
15	7. sıra sol baş hizası	J tipi ısı çift
16	7. sıra sol ayak bölgesi	J tipi ısı çift
17	2. sıra sağ baş hizası	J tipi ısı çift
18	2. sıra sağ ayak bölgesi	J tipi ısı çift
19	4. sıra sağ baş hizası	J tipi ısı çift
20	4. sıra sağ Kucak	J tipi ısı çift
21	4. sıra sağ ayak bölgesi	J tipi ısı çift
22	6. sıra sağ baş hizası	J tipi ısı çift
23	6. sıra sağ ayak bölgesi	J tipi ısı çift
24	Orta koridor baş hizası 2. sıra	J tipi ısı çift
25	Orta koridor baş hizası 4. sıra	J tipi ısı çift
26	Orta koridor baş hizası 6. sıra	J tipi ısı çift
27	Orta Koridor Zemin 2.sıra	J tipi ısı çift
28	Orta Koridor Zemin 4.sıra	J tipi ısı çift
29	Orta Koridor Zemin 6.sıra	J tipi ısı çift
30	Şöför baş hizası	J tipi ısı çift

Isıl çiftler harici aşağıdaki ölçümler de ayrıca yapılmıştır.

1. Haritalama testleri sırasında araç kalorifer sisteminde dolaşan sıcak suyun debisini ölçmek için hortum hattı üzerine debimetre bağlanmıştır.
2. Haritalama testleri sırasında kalorifer sisteminin kullandığı yakıt miktarını tespit edebilmek için yakıtlı ısıtıcı yakıt hattı üzerine yakıt tüketim cihazı bağlanmıştır.
3. Işınım ile ısıtma sağlayan elektrikli ısıtma sistemi testleri sırasında kullanılan elektrik gücünü hesaplayabilmek için ısıtıcı besleme kabloları üzerinden ampermetre ve volt metre ile ölçüm yapılmıştır.

Yapılan testlerde kalorifer hattından devirdaim olan motor soğutma suyunun debisini ölçebilmek için *Bass Instruments* marka debimetre ve *eDAQ Ecpu Plus* veri toplama cihazı kullanılmıştır. Kalorifer su debisi, Tablo 3.5 de verilen test koşullarında ölçülecektir.

Araç üzerine yerleşimleri yapılan ölçü ekipmanları ve sıcaklık sensörlerinin görselleri ve açıklamaları EK-A da detaylı olarak verilmiştir.

Ölçüm ekipmanları yerleştirilmiş ve ısıl çift yerleşimi tamamlanmış aracın teste hazır halde araç iç görünümünü ve aracın iklimatik test kabini içinindeki dıştan görünümünü Şekil 3.24 ve Şekil 3.25 de verilmiştir.



Şekil 3.24: Isıl çift yerleşimi tamamlanmış araç.



Şekil 3.25: Klimatik test kabini içi.

3.8 İletken Karbon Lifler İçeren Dokuma Tekstil Kumaş Isıtma Sistemi Montajı

Kapasiteleri ve boyutları belirlenmiş olan ısıtıcı kumaşlar, temin edilerek araç içine Şekil 3.14 de tariflenen bölgelere montajlanmıştır.

Koltuk üstü tavan bölgesine yerleştirilen ısıtıcı kumaşın ve tavan orta ısıtı kumaşların yerleşimi Şekil 3.26 da gösterilmiştir. Isıtıcı kumaşlar koltuk üzeri tavan bölgesinde klima hava kanalı üzerine ve orta tavan bölgesinde iç döşeme malzemesi üzerine sıcak sikonla yapıştırılarak montajlanmıştır.

Koltuk oturak ve sırtlık bölgelerine yerleştirilen ısıtıcı kumaşların yerleşimi Şekil 3.27 de verilmiştir. Isıtıcı kumaşlar koltuk üzerine tel zımba ile iletken bölgelere denk gelmeyecek şekilde gerdirilerek montajlanmıştır.



Şekil 3.26: Koltuk üstü tavan ısıtıcı kumaşı yerleşimi.



Şekil 3.27: Koltuk sırtlık ve oturak ısıtıcı kumaşları yerleşimi.

Orta zemin ve koltuk altı zemin bölgesine yerleştirilen ısıtıcı kumaşların yerleşimi Şekil 3.28 ve Şekil 3.29 da verilmiştir. Isıtıcı kumaşlar orta ve koltuk altı zemin bölgelerine araç tabanı üzerine sıcak sliikon kullanılarak yapıştırılmıştır.

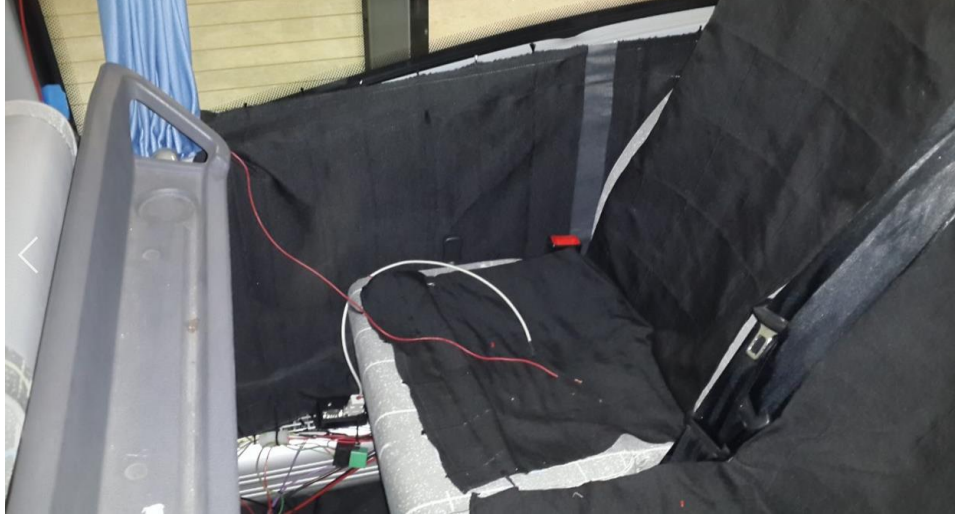


Şekil 3.28: Orta zemin ve Koltuk altı zemin ısıtıcı kumaşları.



Şekil 3.29: Orta zemin ve Koltuk altı zemin ısıtıcı kumaşları.

Yan duvar ısıtıcı kumaşlar, araç yan duvar döşemesi üzerine sıcak silikon kullanılarak yapıştırılmıştır. Araç içinde ısıtıcı kumaşın yerleşimi Şekil 3.30 da verilmiştir.



Şekil 3.30: Yan duvar ısıtıcı yerleşimi.

Tasarlanan ısıtma sistemine gerekli elektrik gücünü sağlayacak güç kaynakları Şekil 3.31 de gösterildiği gibi aracın ısıtıcılardan uzak ön cam bölgesine yerleştirilmiş ve tüm araç boyunca yerleştirilmiş olan ısıtıcılara kablolama yapılarak ısıtıcıların çalıştırılması sağlanmıştır.



Şekil 3.31: Güç kaynaklarının yerleşimi.

BÖLÜM 4

BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Araç Kabininin Toplam Isı Kaybı

Bölüm 3.2 de teorik olarak açıklaması yapılan araç kabininin ısı kaybı ile ilgili yapılan ısı direnç hesaplamalarının sonuçları Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1: Deney aracı kabininin ısı direnç hesabı.

Isıl Direnç	Değeri	Birimi	Açıklama
$R_{\text{ö_cam topl}}$	0,0973	°C/W	Ön camın toplam ısı direnci
$R_{\text{yan cam topl}}$	0,0386	°C/W	Yan camların toplam ısı direnci
$R_{\text{arka cam topl}}$	0,0775	°C/W	Arka camın toplam ısı direnci
$R_{\text{tvan topl}}$	0,0674	°C/W	Tavanın toplam ısı direnci
$R_{\text{yan duvar topl}}$	0,0821	°C/W	Yan duvarın toplam ısı direnci
$R_{\text{zemin topl}}$	0,0146	°C/W	Zeminin toplam ısı direnci
$R_{\text{arka köşe}}$	4,6498	°C/W	Arka köşe kapamanın ısı direnci
R_{aca}	0,0672	°C/W	Arka cam altı bölgenin ısı direnci
$R_{\text{öca}}$	0,0945	°C/W	Ön cam altı bölgenin ısı direnci

Hesaplanan ısı dirençler toplam ısı transferi (kayıbı) denkleminde (43) yerine konularak kontrol hacminin (araç kabini) toplam ısı kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 5274 \text{ W}$$

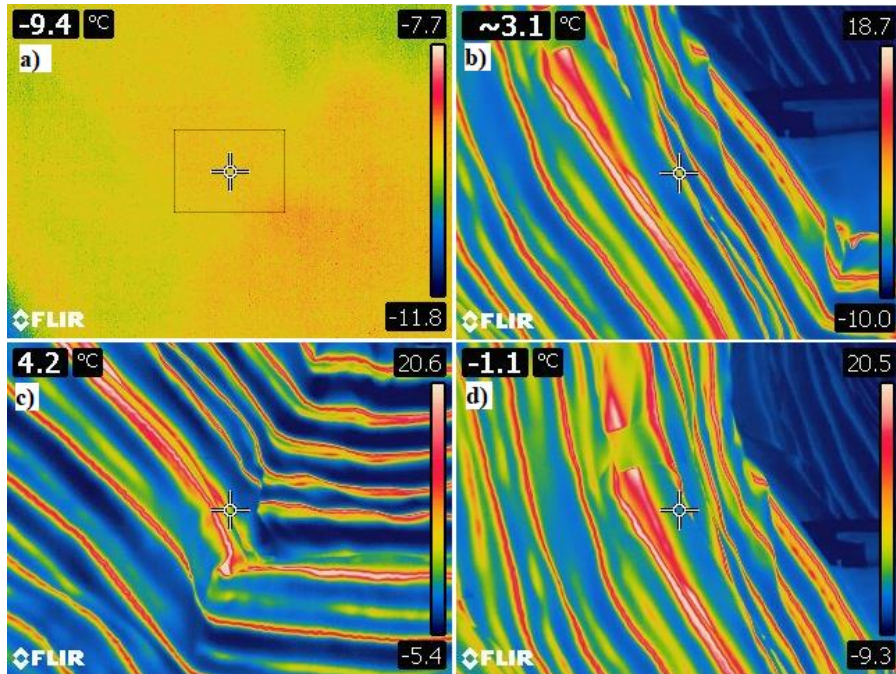
Hesaplanan bu ısı kaybı miktarı, araç içi ısıtma sisteminin bilinen toplam kapasite bigisi ile birlikte elektrik enerjisi kullanan dokuma tekstil kumaş ısıtıcılar ile araç kabininin ısıtılması için gerekli ısıtma kapasitesinin tahmininde referans olarak kullanılmıştır

4.2 İletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşın karakterizasyonu

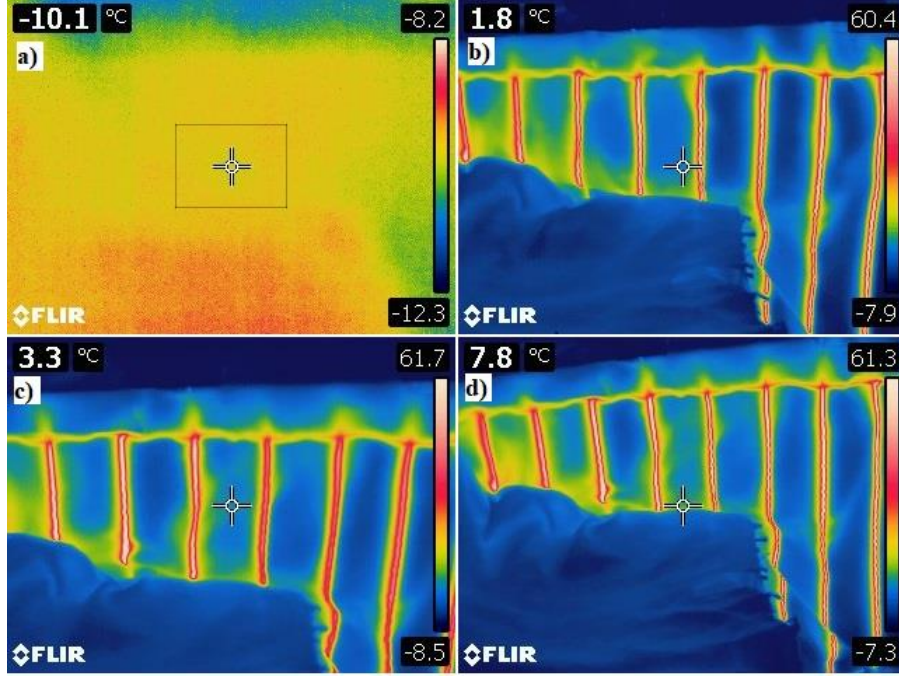
Yapılan ön çalışma da kullanılan ısıtıcı kumaşların yerleşimi Şekil 3.16 da verilmişti. Çalışma, deneylerde kullanılacak ısıtıcı kumaşların tasarımına referans oluşturulması amacıyla ikili koltuk bölgesi ve bu koltukların bulunduğu bölgeye denk gelen yan duvarı içermektedir. Bu bölgede yapılan ilk referans çalışmanın ısı kamera görselleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de verilmiştir.

Bu çalışma ile elektriksel olarak paralel bağlı iletken karbon liflerin boyunun değişmesi ile direnç değerlerinin ve dolayısıyla aynı gerilim altında (12 V), verdiği ısı kapasitenin değiştiği tespit edilmiştir. 106 cm lif boyunda ve 50 cm lif boyunda kumaşlar test edilmiş, lif boyunun kısılması ile direnç değerinin düştüğü ve bununla ters orantılı olarak ısı kapasitenin dolayısıyla yüzey sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 12 V gerilim altında 106cm lik kumaş kullanılan koltuk sıcaklıkları ortalama 20 ° C civarına ulaşırken 50 cm lik kumaş kullanılan yan duvarlar ortalama 60 ° C sıcaklığa ulaşmıştır.

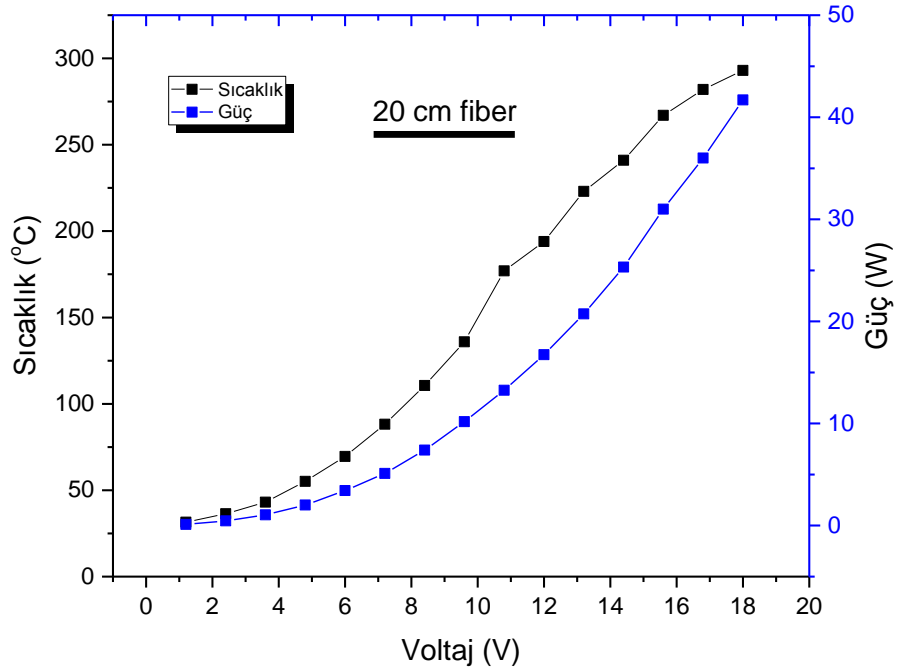


Şekil 4.1: 106 cm lif boyunda kumaş kullanılan koltuk yüzeylerinin zamana bağlı termal görüntüleri (a) Başlangıç (0.Dk), (b) 5.Dk, (c) 10.Dk, (d) 15.Dk.



Şekil 4.2: 50 cm lif boyunda kumaş kullanılan yan duvarların zamana bağlı termal görüntüleri (a) Başlangıç (0.Dk), (b) 5.Dk, (c) 10.Dk, (d) 15.Dk.

Yaklaşık 20 °C ortam koşullarında yapılan ikinci çalışmada ise, 20 cm boyunda iletken karbon elyaf ısıtıcıya farklı gerilimler uygulanarak, elde edilen sıcaklık ve ısıl kapasite verileri Şekil 4.3 de paylaşılmıştır.



Şekil 4.3: 20 cm boyunda iletken karbon elyafın sıcaklık ve kapasite değişimi.

Şekil 76 daki veriler referans alınarak 106 cm eninde ve 50 cm enindeki kumaşları oluşturan bir adet iletken karbon elyafın belirli gerilim altında sağlayacağı ısıl kapasite ve ulaşacağı yüzey sıcaklığı (20 °C atmosfer koşulunda) Tablo 4.2 de verildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 4.2: 106 cm ve 50 cm enindeki dokuma tekstil iletken karbon liflerin farklı gerilimlerde vereceği sıcaklık ve güç değerleri.

Kumaş Eni (İletken lif boyu)	Uygulanan gerilim (Volt)	Hesaplanan Teorik sıcaklık (°C)	Hesaplanan Teorik Güç (Watt)
50 cm	12	58	12,1
50 cm	18	95	29,8
106 cm	12	37	2,7
106 cm	18	42	5,3
106 cm	24	52	10,1

NOT: Hesaplanan güç ve sıcaklık değerleri 20 °C dış ortam koşulunda hesaplanan teorik değerler olup gerçek değerler ile sapma gösterebilmektedir.

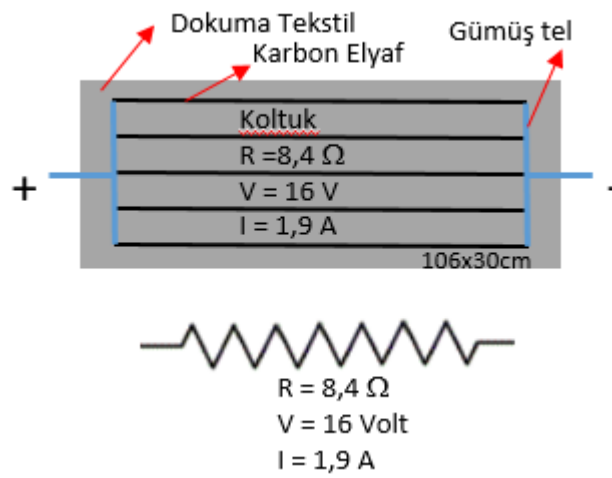
4.3 Deney aracında kullanılacak iletken karbon lifler içeren dokuma tekstil kumaşların tasarımı

Koltuk, yan duvar, zemin ve tavan da kullanılacak ısıtıcı kumaşların boyutları ve elektriksel güçleri ile ilgili Şekil 4.3 de verilen birim boydaki iletken karbon elyafın direnç, yüzey sıcaklığı ve güç verilerinin gerilime bağlı değişimi grafiği ile Tablo 4.2 de verilen standart boylardaki kumaşların hesaplanan yüzey sıcaklığı ve güç verileri referans alınmıştır.

Her bir parçanın çalışma gerilimi ile ilgili olarak, piyasadan hazır temin edilebilen ve 50 V çarpma sınırının altındaki standart güç kaynağı olarak 48 V sabit gerilime sahip bir güç kaynağı kullanılmıştır. Tasarlanan parçalar farklı geometrilere seri veya paralel bağlanılarak 48 V besleme gerilimine denk gelecek şekilde tasarımları yapılmıştır.

Koltuk Isıtıcı

Firma tarafından test aracının koltuk ölçüleri (maksimum 40 cm genişlik, 40 cm oturak ve 60 cm sırtlık boyu) referans alınarak koltuk ısıtma pedi olarak tasarlanan dokuma tekstil iletken karbon elyaf ısıtıcı ped şematik görseli ve numune parça üzerinden deneysel olarak ölçülen direnç ile akım değerleri Şekil 4.4 de verilmiştir. Yapılan ön testlerde elde edilen yüzey sıcaklıklarına ve kullanılan sabit gerilimli güç kaynağı çıkış gerilimine uyum için koltuk ısıtıcılarda 16 V besleme gerilimi kullanılmıştır.



Şekil 4.4: Koltuk ısıtıcı.

Bir koltuk için koltuk ısıtıcı nın kapasitesi;

$$P_{koltuk} = V \times I = 16 \text{ V} \times 1,9 \text{ A} = 30,4 \text{ Watt}$$

olarak tasarlanmıştır. Koltuk ısıtıcıdan toplam 30 koltuk için 30 adet kullanılacaktır. Bu durumda toplam koltuk ısıtıcı kapasitesi:

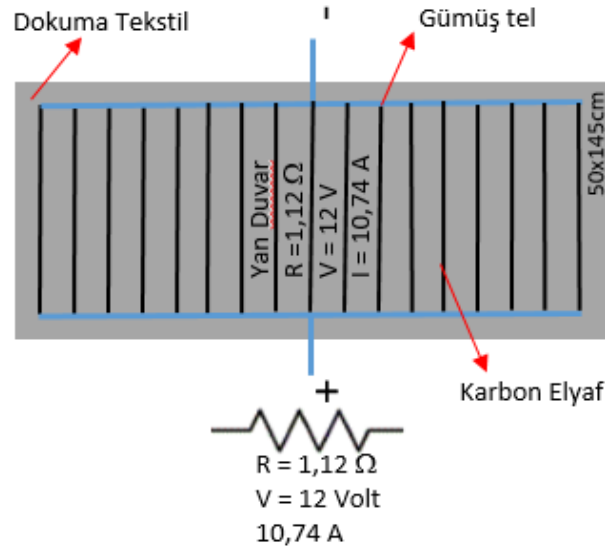
$$P_{toplam\ koltuk} = P_{koltuk} \times 30 = 30,4 \times 30 = 0,914 \text{ kW}$$

Yan Duvar Isıtıcı

Yan duvar ısıtıcı olarak teorik hesaplamalardan ve yapılan ön testlerden tespit edilen yüzey sıcaklık bilgilerinden 50 cm genişliğindeki ürün ve 12 V gerilim kullanılması kararlaştırılmıştır.

Tüm yan duvar boyunca tek bir ısıtıcı kumaş kullanımı, yan duvar boyunca 5m nin üzerinde bir ısıtıcı kumaş kullanımını gerektirmektedir. Bu boyda ısıtıcı kumaşın kullanımı iletken karbon liflere gerekli gerilimi ve akımı taşıyan gümüş bağlantı teli üzerinden yüksek miktarda akım geçmesine ve bu telin bir direnç gibi davranmasına sebep olacağı için tasarlanan yan duvar ısıtıcılar daha ufak ebatlarda ve tek tarafta 4 parça halinde, birbirlerine seri ve paralel bağlı guruplar olarak planlanmıştır.

Yan duvar ısıtıcı olarak tasarlanan dokuma tekstil iletken karbon elyaf ısıtıcı pedin şematik görseli ve numune parça üzerinden deneysel olarak ölçülen direnç ile akım değerleri Şekil 4.5 de verilmiştir.



Şekil 4.5: Yan duvar ısıtıcı.

Bir adet yan duvar ısıtıcının kapasitesi

$$P_{yanduvar} = V \times I = 12 \text{ V} \times 10,74 \text{ A} = 128,8 \text{ Watt}$$

olarak tasarlanmıştır. Yanduvar ısıtıcıdan sağ ve sol taraflarda araç yan duvarı boyunca toplamda sekiz adet kullanılacaktır. Bu durumda toplam yan duvar ısıtıcı kapasitesi:

$$P_{\text{toplam yanduvar}} = P_{\text{yanduvar}} \times 8 = 128,8 \times 8 = 1,030 \text{ kW}$$

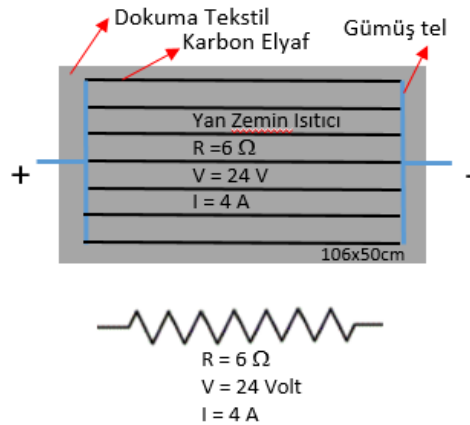
Zemin Isıtıcı

Zemin ısıtıcı olarak, yüksek zemin sıcaklıklarının hem konfor açısından uygun olmayışı hemde gerçek hayatta karşılaşılan toz kaldırma riski sebebi ile 100 cm lik ürün ve 24 V gerilim kullanılmıştır.

Boylamasına tüm zemin boyunca tek bir ısıtıcı kumaş kullanımı, kullanılacak kumaşın boyunun 5 m nin üzerinde olmasını gerektirmektedir. Bu boyda ısıtıcı kumaş kullanımı iletken karbon liflere gerekli gerilimi ve akımı taşıyan gümüş bağlantı teli üzerinden yüksek miktarda akım geçmesine ve bu telin bir direnç gibi davranmasına sebep olacağı için tasarlanan zemin ısıtıcılar birbirlerine seri ve paralel bağlı parçalar şeklinde tasarlanmıştır.

Ayrıca koltuk ayaklarının ısıtıcı kumaşları yerleştirirken kısıt oluşturması sebebi ile Şekil 3.14 de de verildiği gibi zemin ısıtıcılar enlemesine 3 ayrı parça olarak tasarlanmıştır.

Bu parçalardan iki yanda bulunan parçalar geometrik kısıtlar sebebi ile Şekil 4.6 da verildiği gibi dar, orta kısımda bulunan parçalar ise Şekil 4.7 de verildiği gibi daha geniş olarak tasarlanmıştır.

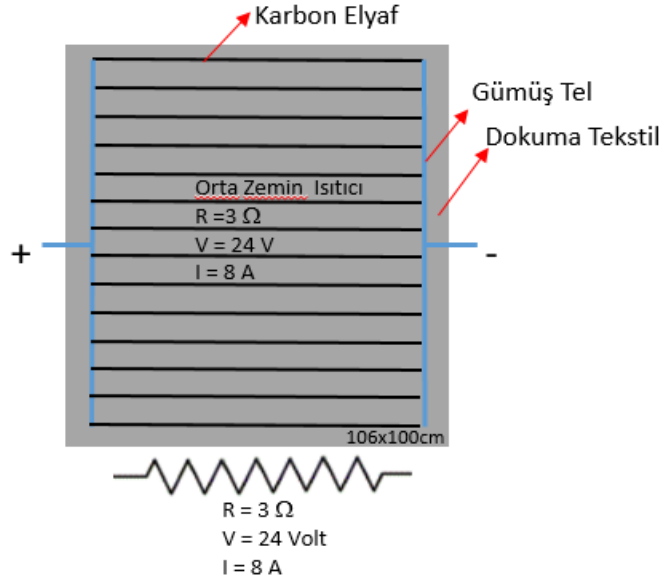


Şekil 4.6: Sağ ve Sol yan zemin ısıtıcı.

Bir adet yan zemin ısıtıcının kapasitesi

$$P_{yanzemin} = V \times I = 24 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 96 \text{ Watt}$$

olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.7: Orta zemin ısıtıcı.

Bir adet orta zemin ısıtıcının kapasitesi

$$P_{orta\ zemin} = V \times I = 24 \text{ V} \times 8 \text{ A} = 192 \text{ Watt}$$

olarak tasarlanmıştır. Yan zemin ısıtıcıdan toplamda 9 adet, orta zemin ısıtıcıdan toplamda 6 adet kullanılacaktır. Bu durumda toplam zemin ısıtıcı kapasitesi:

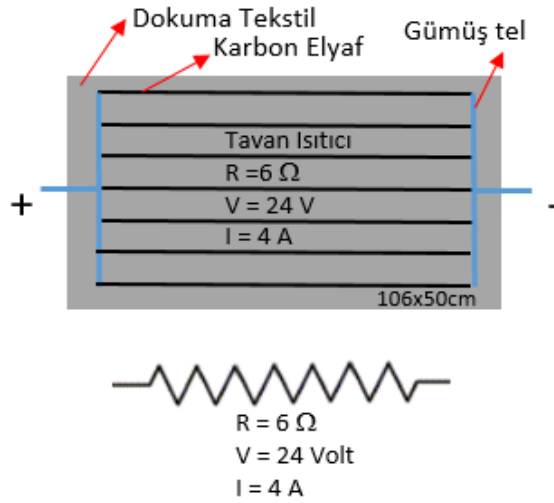
$$P_{toplam\ zemin} = P_{yan\ zemin} \times 9 + P_{orta\ zemin} \times 6 = 128,8 \times 8 = 2,016 \text{ kW}$$

Tavan Isıtıcı

Tavan ısıtıcı olarak, yolcu baş üstü bölgelerinde, ışınlama ısıtma etkisinden faydalanılabilmek amacıyla, orta tavan bölgesinde ise, tavandan olacak ısı kaybının ısı perdesi oluşturularak azaltılması için 100 cm lik ürün ve 24 V gerilim kullanılmıştır.

Tüm tavan boyunca tek bir ısıtıcı kumaş kullanımı, tavan boyunca 5m nin üzerinde bir ısıtıcı kumaş kullanımını gerektirmektedir. Bu boyda ısıtıcı kumaşın kullanımı iletken karbon liflere gerekli gerilimi ve akımı taşıyan gümüş bağlantı teli üzerinden yüksek miktarda akım geçmesine ve bu telin bir direnç gibi davranmasına sebep olacağı için tasarlanan tavan ısıtıcılar daha ufak ebatlarda birbirlerine seri ve paralel bağlı parçalar halinde tasarlanmıştır.

Tavan ısıtıcı olarak tasarlanan dokuma tekstil iletken karbon elyaf ısıtıcı pedin şematik görseli ve numune parça üzerinden deneysel olarak ölçülen direnç ile akım değerleri Şekil 4.8 de verilmiştir.



Şekil 4.8: Tavan Isıtıcı.

Bir tavan ısıtıcının kapasitesi

$$P_{\text{tavan ısıtıcı}} = V \times I = 24 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 96 \text{ Watt}$$

Olarak tasarlanmıştır. Tavan ısıtıcılardan toplamda 15 adet kullanılacaktır. Bu durumda toplam tavan ısıtıcı kapasitesi:

$$P_{\text{toplam tavan}} = P_{\text{tavan ısıtıcı}} \times 15 = 96 \times 15 = 1,440 \text{ kW}$$

Toplam Isıtıcı Kumaş Elektriksel Güç Hesabı

Yapılan tasarıma göre araç içinde kullanılan ısıtıcı kumaşların toplam elektriksel kapasitesi;

$$P_{\text{toplam ısıtıcı}} = P_{\text{toplam koltuk}} + P_{\text{toplam yan duvar}} + P_{\text{toplam zemin}} + P_{\text{toplam tavan}}$$

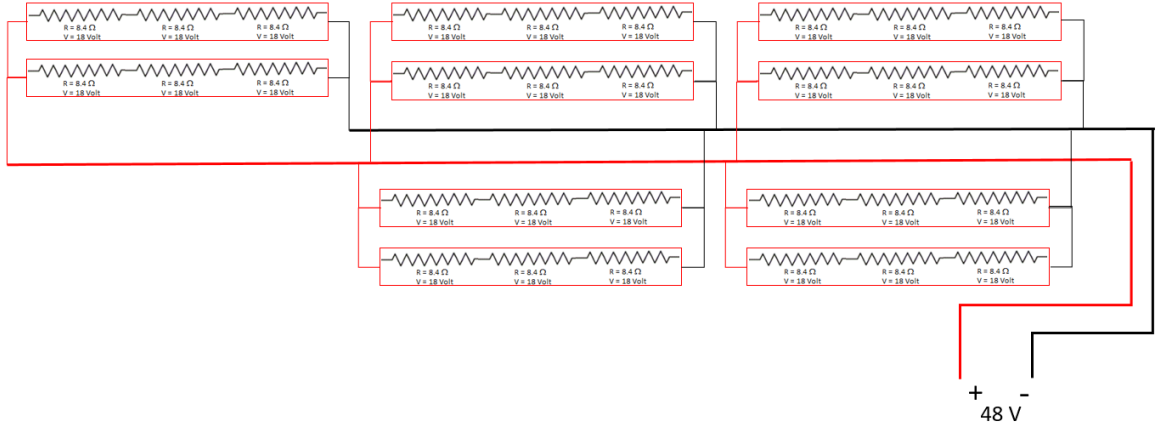
$$P_{\text{toplam ısıtıcı kumaş}} = 0,914 + 1,030 + 2,016 + 1,440 = 5,4 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

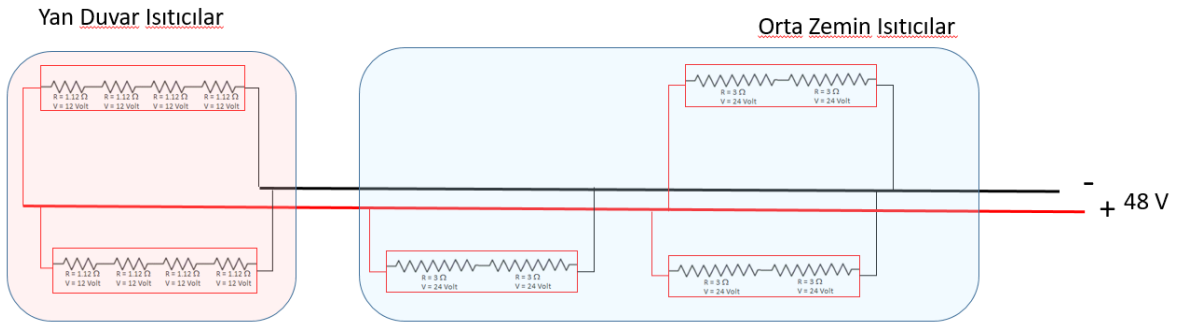
4.4 Isıtma Sistemi Elektriksel Şemasının Oluşturulması

Herbiri kendi içinde kapasitesine göre boyutlandırılmış olan farklı gerilim ve ısıtma değerlerindeki ısıtıcı kumaşlar 48 V luk besleme gerilimine farklı geometrilere (Koltuk ısıtıcılar üçlü seri bağlı olacak şekilde, yan duvar ısıtıcılar dörtlü seri bağlı olacak şekilde, tavan ve zemin ısıtıcılar ise ikili seri bağlı olacak şekilde) seri ve paralel bağlanma yöntemleri kullanılarak, her bir parça tasarlanan olan gerilim değerinde çalışacak şekilde sistem tasarımı yapılmıştır.

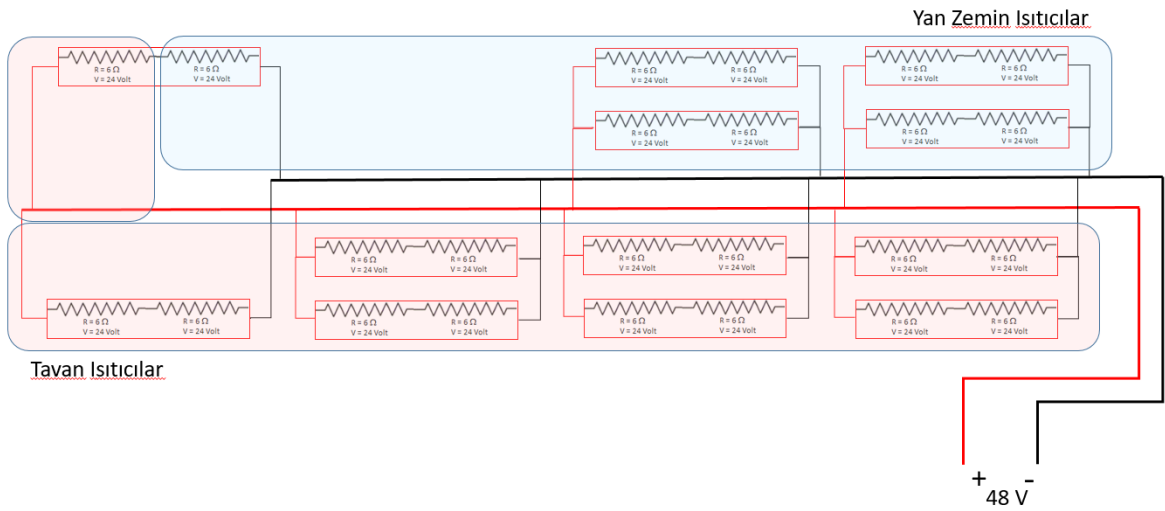
Yapılan hesaplamalar sonucu koltuk ısıtıcılara ait elektrik tesisat şeması Şekil 4.9 da, yan duvar ve orta zemin ısıtıcılara ait elektrik tesisat şeması Şekil 4.10 da ve tavan ve yan zemin ısıtıcılara ait elektrik tesisat şeması ise Şekil 4.11 de verilmiştir.



Şekil 4.9: Koltuk ısıtıcılar elektrik şeması.



Şekil 4.10: Yan duvar ve orta zemin ısıtıcılar elektrik şeması.



Şekil 4.11: Yan zemin ve tavan ısıtıcılar elektrik şeması.

4.5 Sistemin Toplam Isıtma Kapasitesi

Sistemin toplam ısıtma kapasitesi için elektrikli ısıtıcıların çektiği akımın yaklaşık %100 ünü ısı enerjisine dönüştüğü kabul edilmiştir (URL-7, 2018). Buna göre;

$$\dot{Q}_{toplam} = \dot{Q}_{iletim} + \dot{Q}_{taşınım} + \dot{Q}_{ışınım} = P_{toplam ısıtıcı kumaş} = 5,400 kW$$

Yukarıda hesaplanan toplam ısıtma kapasitesi denklemindeki *iletimle ısı transferi* (\dot{Q}_{iletim}) ve *ışınımle ısı transferi* ($\dot{Q}_{ışınım}$) miktarları teorik olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesap sonunda *İletimle* ve *ışınımle* ($\dot{Q}_{iletim} + \dot{Q}_{ışınım}$) olan ısı transferi miktarı toplam ısı transferi miktarından (\dot{Q}_{toplam}) çıkartılarak *taşınımle* gerçekleşen ısı trrafnsferi ($\dot{Q}_{taşınım}$) miktarı bulunmuştur.

Toplam İletim Isı Transferi

Koltuk yüzeylerinde kullanılacak olan ısıtıcı elemanların sürekli yolcular ile temas halinde oldukları için sadece iletimle ısı transferi yaptıkları, ışınımle ve taşınımle ısı transferi yapmadıkları kabul edilmiştir. Buna göre;

$$\dot{Q}_{iletim} = P_{toplam koltuk} = 0,914 kW$$

olarak alınmıştır.

Toplam Işınımle Isı Transferi

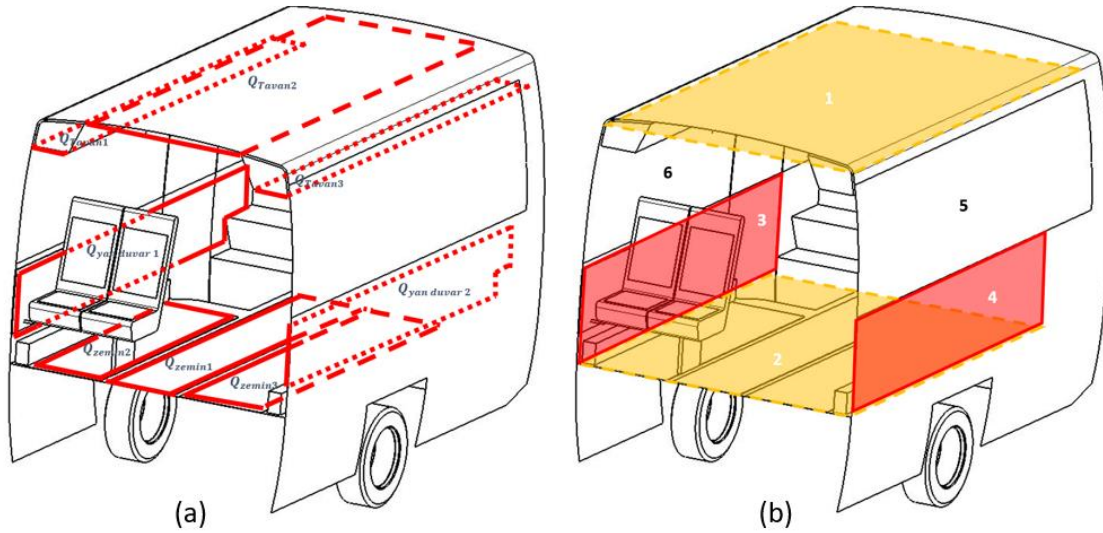
İletim ile ısı transferi olan koltuk yüzeyleri hariç diğer tüm yüzeylerde taşınım ve ışınım birlikte bulunmaktadır.

Araç kabiniön ve arka cephe ile birlikte on un üzerinde yüzeyden oluşmaktadır. Bununla birlikte ışınımle ısı transferi hesapları yapılırken aşağıdaki kabuller doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır.

Kabin içinde sadece ısıtılan yüzeylerden ışınımle ısı transferi olduğu kabul edilmiştir. Isıtılan yüzeylerden koltuklardan içeriye ışınım olmadığı, kabin içinin düz yüzeylerden oluştuğu,

tavanda ve zeminde ki Şekil 4.12 (a) da gösterildiği gibi 3 ayrı bölgede olan ısıtıcı kumaşların Şekil 4.12 (b) de verildiği gibi tek bir ısıtıcı yüzey olarak davrandığı (1 ve 2 nolu yüzeyler) ve ısıtıcı yüzeylerin birbirine paralel ve dik dikdörtgen şeklinde yerleştirildiği kabul edilmiştir.

Zemin ve tavan ısıtıcılar karşılıklı, sağ ve sol yan duvar ısıtıcılar ise (3 ve 4 nolu yüzeyler) karşılıklı birbirine paralel ve eşit yüzeyler oluşturmaktadır. Buna göre ışınım yapan yüzeyler hesaplanırken, yüzeylerin şekil faktörleri Şekil 2.28 ve Şekil 2.29 da verilen grafikler ile benzerlik sağlanılarak çözüme ulaştırılmıştır (Altınışık, 2004; Çengel, 2011; Incropera, 2006; Kreith vd., 2011).



Şekil 4.12: (a) Gerçek ısıtıcı yüzey yerleşimi ve (b) basitleştirilmiş ışınım modeli.

Ayrıca, sadece birbirini karşılıklı gören yüzeyler arasında ışınım olduğu, birbirini cepheden gören yüzeyler hariç diğer yüzeyler arası etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğu kabul edilmiştir. Dolayısıyla, 1 nolu yüzeyin sadece 2 nolu yüzeyi gördüğü ve bununla etkileşimde olduğu, 3 nolu yüzeyin ise sadece 4 nolu yüzeyi gördüğü ve etkileşimde olduğu kabul edilerek çözüm sağlanmıştır.

Modeli oluşturan yüzeylerin alanları aşağıda verilmiştir.

$$A_1 = 14,52 \text{ m}^2 \text{ (Tavan alanı)}$$

$$A_2 = 14,52 \text{ m}^2 \text{ (Zemin alanı)}$$

$$A_3 = 5,28 \text{ m}^2 \text{ (Sağ yan duvar alanı)}$$

$$A_4 = 5,28 \text{ m}^2 \text{ (Sol yan duvar alanı)}$$

Yapılan ön çalışma testleri sırasında tespit edilen ortalama yüzey sıcaklıkları ve 20 cm iletken lif kullanılarak laboratuvar ortamına yapılan testler ile bu verilere bağlı yüzey sıcaklığı hesaplamalarından faydalanılarak sürekli rejimde araç kabini içi yüzey sıcaklıkları ve iç ortam sıcaklığı aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

$$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Tavan yüzey sıcaklığı)}$$

$$T_2 = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Zemin yüzey sıcaklığı)}$$

$$T_3 = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (yan duvar yüzey sıcaklığı)}$$

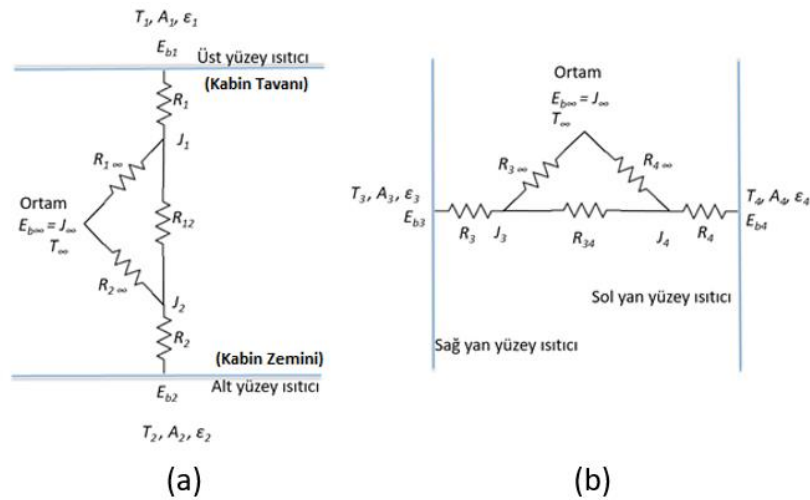
$$T_4 = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Yan duvar yüzey sıcaklığı)}$$

$$T_\infty = 16 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Kabin ortalama sıcaklığı)}$$

Sadece karşılıklı iki yüzeyin birbirleri ile ve iki yüzey arasındaki ortama ışıınım olması durumunda ışıınım direnç modeli Şekil 4.13 (a) ve Şekil 4.13 (b) deki gibi oluşturulmuştur.

Yüzeyler karbonlifler içeren polyester kumaş oldukları için (alan olarak %3 karbon %97 Polyester) yayma oranı ortalama $\varepsilon = 0,75$ olarak alınmıştır (URL-12, 2018).

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 0,75$$



Şekil 4.13: Karşılıklı yüzeyler ve bunlar arasındaki ortam ile ışıınım olması durumunda ışıınım direnç modeli..

Üst (Tavan) ve alt (zemin) yüzeyler için şekil faktörü (Şekil 2.28);

$$\begin{aligned}L_1 / D = 3,67 \text{ ve } L_2 / D = 1,2 &\rightarrow F_{12} = F_{21} = 0,39 \\F_{11} + F_{12} + F_{1\infty} = 1 &\rightarrow F_{11} = 0 \text{ ve } F_{1\infty} = 0,61 \\F_{21} + F_{22} + F_{2\infty} = 1 &\rightarrow F_{22} = 0 \text{ ve } F_{2\infty} = 0,61\end{aligned}$$

$$R_1 = \frac{1-\varepsilon_1}{A_1 \cdot \varepsilon_1} = 0,0230 \text{ } 1/m^2$$

$$R_2 = \frac{1-\varepsilon_2}{A_2 \cdot \varepsilon_2} = 0,0230 \text{ } 1/m^2$$

$$R_{1\infty} = \frac{1}{A_1 \cdot F_{1\infty}} = 0,1129 \text{ } 1/m^2$$

$$R_{2\infty} = \frac{1}{A_2 \cdot F_{2\infty}} = 0,1129 \text{ } 1/m^2$$

$$R_{12} = \frac{1}{A_1 \cdot F_{12}} = 0,1766 \text{ } 1/m^2$$

Sağ ve sol yan yüzeyler için şekil faktörü (Şekil 2.28);

$$\begin{aligned}L_1 / D = 3,00 \text{ ve } L_2 / D = 0,36 &\rightarrow F_{34} = F_{43} = 0,15 \\F_{33} + F_{34} + F_{3\infty} = 1 &\rightarrow F_{33} = 0 \text{ ve } F_{3\infty} = 0,85 \\F_{43} + F_{44} + F_{4\infty} = 1 &\rightarrow F_{44} = 0 \text{ ve } F_{4\infty} = 0,85\end{aligned}$$

$$R_3 = \frac{1-\varepsilon_3}{A_3 \cdot \varepsilon_3} = 0,0631 \text{ } 1/m^2$$

$$R_4 = \frac{1-\varepsilon_4}{A_4 \cdot \varepsilon_4} = 0,0631 \text{ } 1/m^2$$

$$R_{3\infty} = \frac{1}{A_3 \cdot F_{3\infty}} = 0,2228 \text{ } 1/m^2$$

$$R_{4\infty} = \frac{1}{A_4 \cdot F_{4\infty}} = 0,2228 \text{ l/m}^2$$

$$R_{34} = \frac{1}{A_3 \cdot F_{34}} = 1,2626 \text{ l/m}^2$$

$$E_{b1} = \sigma \cdot T_1^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 308^4 = 417,9 \text{ W/m}^2$$

$$E_{b2} = \sigma \cdot T_2^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 303^4 = 417,9 \text{ W/m}^2$$

$$E_{b3} = \sigma \cdot T_3^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 313^4 = 447,2 \text{ W/m}^2$$

$$E_{b4} = \sigma \cdot T_4^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 313^4 = 447,2 \text{ W/m}^2$$

$$E_{b\infty} = \sigma \cdot T_{\infty}^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 297^4 = 395,5 \text{ W/m}^2$$

J_1 ve J_2 düğüm noktaları için;

$$\frac{E_{b1}-J_1}{R_1} + \frac{J_2-J_1}{R_{12}} + \frac{E_{b\infty}-J_1}{R_{1\infty}} = 0$$

$$\frac{E_{b2}-J_2}{R_2} + \frac{J_1-J_2}{R_{12}} + \frac{E_{b\infty}-J_2}{R_{2\infty}} = 0$$

$$J_1 = 414,1 \text{ W/m}^2$$

$$J_2 = 414,1 \text{ W/m}^2$$

J_3 ve J_4 düğüm noktaları için;

$$\frac{E_{b3}-J_3}{R_3} + \frac{J_4-J_3}{R_{34}} + \frac{E_{b\infty}-J_3}{R_{3\infty}} = 0$$

$$\frac{E_{b4}-J_4}{R_4} + \frac{J_3-J_4}{R_{34}} + \frac{E_{b\infty}-J_4}{R_{4\infty}} = 0$$

$$J_3 = 435,8 \text{ W/m}^2$$

$$J_4 = 435,8 \text{ W/m}^2$$

Tavandan ışınlım yoluyla transfer olan ısı;

$$\dot{Q}_1 = \frac{E_{b1}-J_1}{R_1} = 164,6 \text{ W}$$

Zeminden ışınlım yoluyla transfer olan ısı;

$$\dot{Q}_2 = \frac{E_{b2}-J_2}{R_2} = 164,6 \text{ W}$$

Sol yan duvardan ışınlım yoluyla transfer olan ısı;

$$\dot{Q}_3 = \frac{E_{b3}-J_3}{R_3} = 180,5 \text{ W}$$

Sağ yan duvardan ışınlım yoluyla transfer olan ısı;

$$\dot{Q}_4 = \frac{E_{b4}-J_4}{R_4} = 180,5 \text{ W}$$

Ortama ışınlım yoluyla aktarılan toplam ısı;

$$\dot{Q}_{toplam \text{ ışınlım}} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 = 690,2 \text{ W}$$

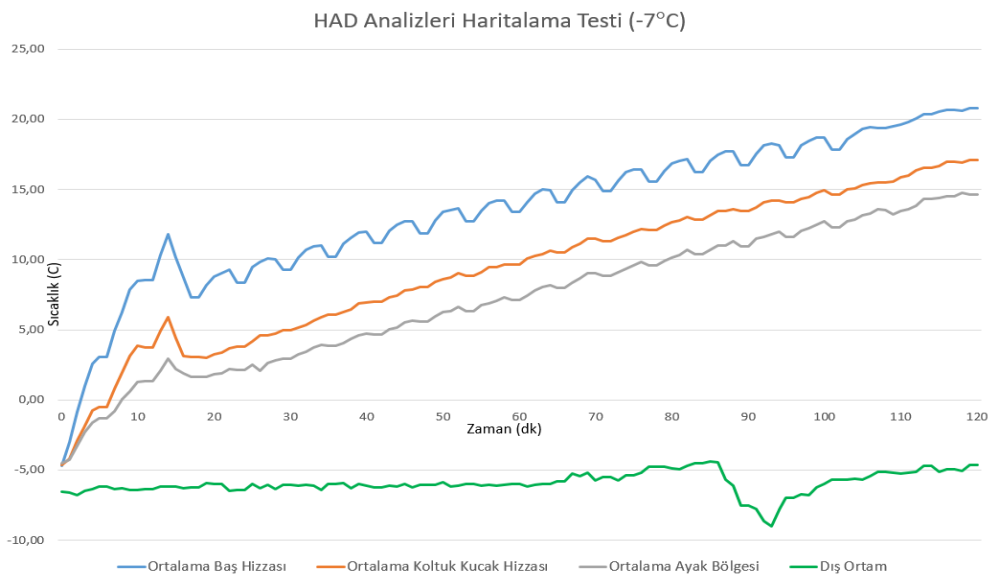
Toplam Taşınım İle Isı Transferi

Hesaplanan toplam ısı transferi miktarında (sistemin elektriksel gücü) hesaplanan iletim ve ışınım ile olan ısı transferi miktarları çıkartılarak taşınım ile deney aracı kabini içine ısıtıcı yüzeylerden taşınım ile olacak ısı transferi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = \dot{Q}_{\text{toplam}} - \dot{Q}_{\text{iletim}} - \dot{Q}_{\text{ışınım}} = 3795,8 \text{ W}$$

4.6 Haritalama Testi

İletken kumaş ile ısıtma performansı testlerine başlamadan önce, HAD (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, CFD) analizleri için referans test verisi oluşturulması için ir kalorifer performans testi (HAD analizi haritalama testi) yapılmıştır. HAD analizlerinde kullanılacak modelde doğal taşınım ile ısıtma prensibi kullanıldığı için bu testte de mevcut durum kalorifer performans testinden (mevcut durum haritalama testi sırasında konvektör ısıtıcıların fanları da devreye sokularak 16 kW teorik kapasiteli ısıtıcı kullanılmıştır) farklı olarak, sadece doğal taşınımlı kaloriferler kullanılmıştır (doğal taşınımlı 6000 W teorik kapasite). Test sonucu elde edilen ve HAD analizinde kullanılacak ortalama baş hizzası, koltuk oturak hizzası ve ayak bölgesi sıcaklıkları Tablo 4.3 de, test süresince gerçekleşen sıcaklık dağılımı ise Şekil 4.14 de verilmiştir.



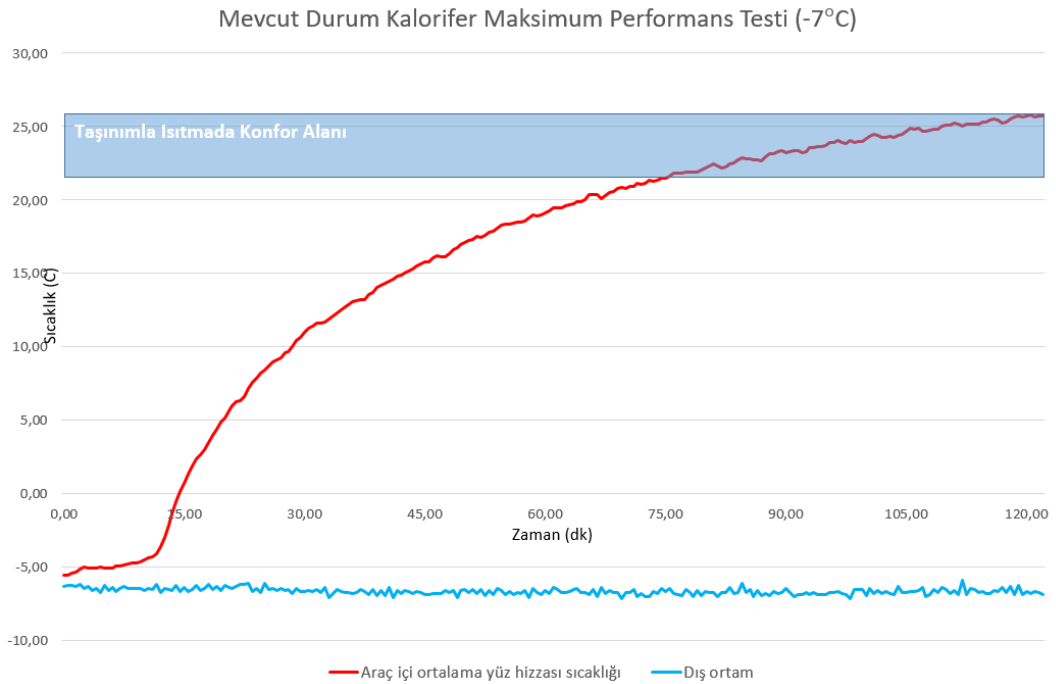
Şekil 4.14: HAD analizleri için yapılan haritalama testi sonuçları.

Tablo 4.3: HAD analizleri için yapılan haritalama testi sonuçları.

Ölçüm Noktası	Haritalama Testi Sonuçları
Ortalama Baş Hizzası Sıcaklığı	20,8 °C
Ortalama Koltuk Oturak Hizzası Sıcaklığı	17,1 °C
Ortalama Ayak Bölgesi Sıcaklığı	14,6 °C

İletken kumaş ile yapılacak performans testlerine referans olması için yapılan mevcut durum haritalama testlerinde ise, test aracı üzerine ölçüm cihazları yerleştirildikten sonra Tablo 3.5 deki koşullar kullanılarak -7 °C dış ortam sıcaklığında, araç motoru çalışır halde, yakıtlı ısıtıcı çalışır durumda ve konvektör ısıtıcıların fanları da devrede iken (toplam teorik ısıtma kapasitesi 16 kW) testler gerçekleştirilmiştir.

Bu koşullarda yapılan testin sonuçları Şekil 4.15 de grafik olarak verilmiştir. Test süresince yakıtlı ısıtıcının tükettiği toplam yakıt 2450 ml olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre, mevcut koşullarda zorlanmış taşınım özellikli ve fanlı konvektör ısıtıcılar ile ısıtma sağlandığında 75 dk civarında konfor sıcaklığına ulaşıldığı tespit edilmiştir (ASHREA, 2011; ASTM, 2012).



Şekil 4.15: Motor ve yakıtlı ısıtıcı çalışırken kabin ısınma grafiği.

Test süresince ölçülen ortalama kalorifer su debisi;

$$\dot{m}_{su} = 17,5 \text{ lt/dk} = 1103,55 \text{ kg/h}$$

olarak ölçülmüştür.

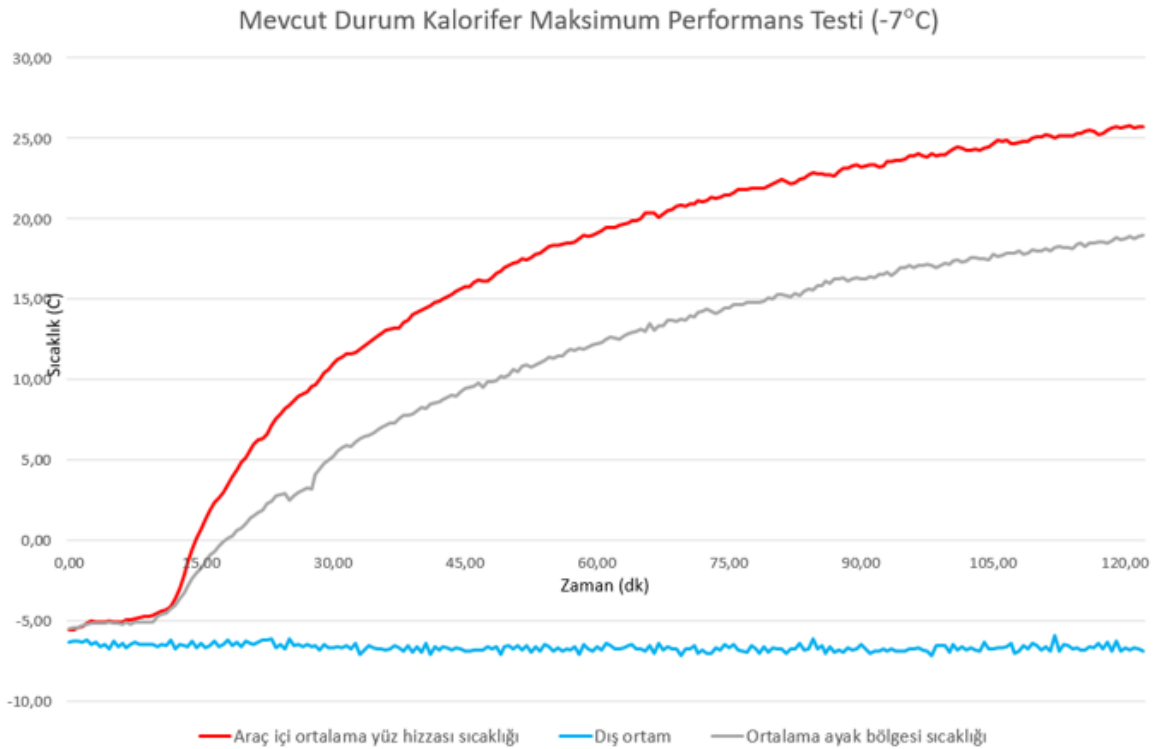
Motor soğutma suyunun özgül ısıtısı C_p (URL-13, 2018) ve $\Delta T_{konvektor}$ konvektör giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı olmak üzere yapılan haritalama testinde konvektörlerde motor suyundan transfer edilen ısı (motor suyunda araç içine olan ortalama ısı transferi) miktarı;

$$\dot{Q}_{toplam} = \dot{m}_{su} \cdot C_p \cdot \Delta T_{konvektor} = 13,35 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

Araç içine transfer edilen bu ısı miktarının bir kısmı rölantide çalışan motordan, bir kısmı ise yakıtlı ısıtıcıda yakıt yakılarak motor suyunun ısıtılması sonucu elde edilmiştir.

Yapılan haritalama testinde ayrıca yüz ve ayak bölgeleri arasındaki sıcaklık farkını belirleyebilmek ve düşey sıcaklık değişimini tespit edebilmek için ayak bölgesi sıcaklıkları da ölçülerek test süresince ortalama sıcaklık değişimi Şekil 4.16 da verilmiştir.



Şekil 4.16: Ortalama yüz ve ayak bölgesi sıcaklıkları kıyaslaması.

Bu sonuçlara göre mevcut durumda ayak ve yüz bölgeleri arasında testin 30'uncu dakikasından itibaren yaklaşık 6 °C fark ölçülmüş ve test süresince ortalama yüz ve ayak bölgeleri arasında 6 °C fark devam etmiştir.

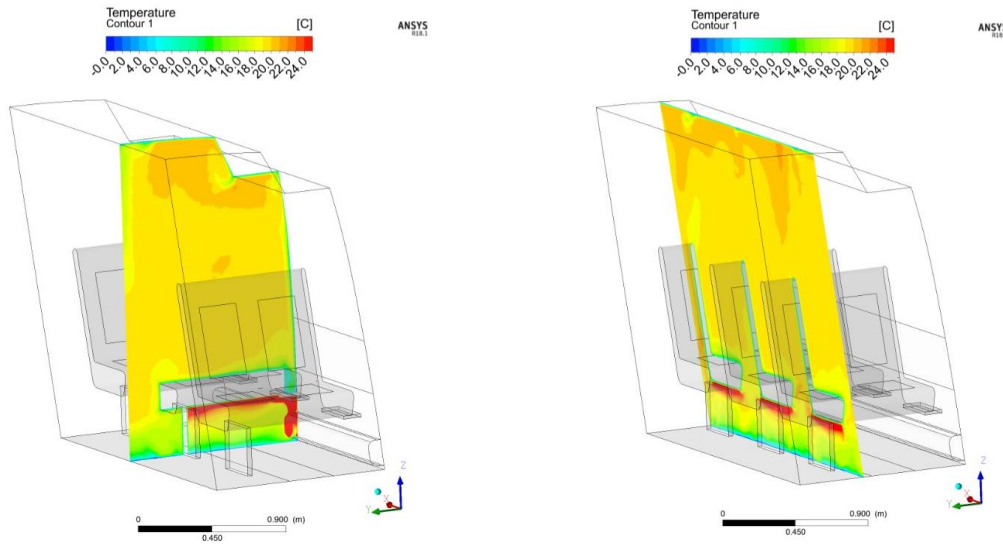
4.7 HAD analizleri

4.7.1 Mevcut Durum HAD Analizi

HAD analizleri için yapılan haritalama testlerinden elde edilen veriler kullanılarak Bölüm 3.4 de belirtildiği gibi HAD analizi yapılmıştır. Yapılan analitik hesaplamalar sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımları, haritalama testi ile benzeştirilerek %90'a yakın doğruluk elde edilmiştir, sonuçlar Tablo 4.4 de ve Şekil 4.17 de verilmiştir.

Tablo 4.4: Haritalama testi ile analiz sonuçlarının kıyaslanması.

Ölçüm Noktası	Haritalama Testi Ölçümleri	HAD Sonuçları
Baş Hizzası Sıcaklığı	20,8 °C	20 °C
Koltuk Oturak Hizzası Sıcaklığı	17,1 °C	17.5 °C
Ayak Bölgesi Sıcaklığı	14,6 °C	15.5 °C

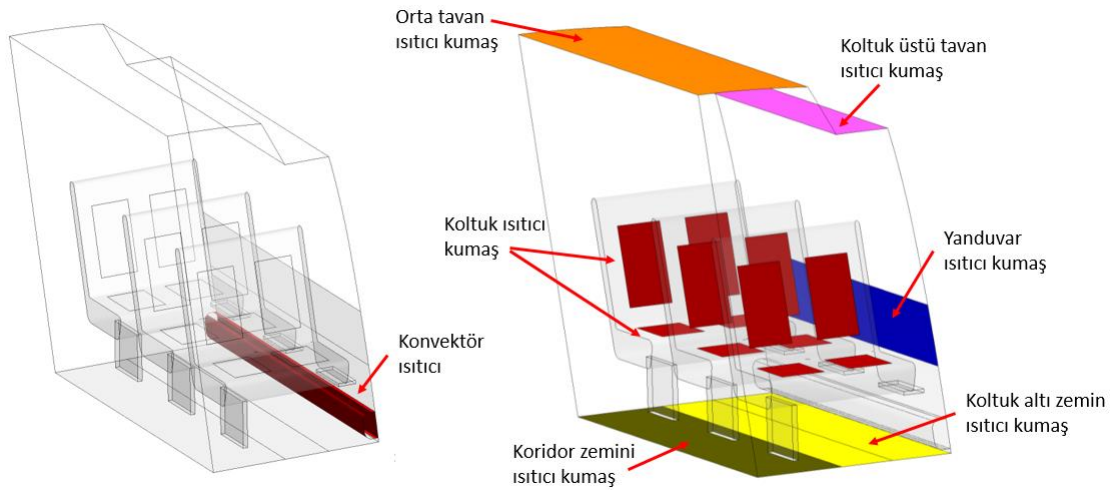


Şekil 4.17: Mevcut durum HAD çıktıları.

4.7.2 Isıtıcı Kumaş Yüzeylerin HAD modeline Uygulanması

Yapılan HAD analizinde ve araç üzeri haritalama testleri sırasında özellikle zemin bölgesi olmak üzere, yan duvar ve tavan gibi dış ortam ile temas halindeki yüzeylerin yüksek ısı kaybı olduğu, ve iç ortamdan daha soğuk olması sebebi ile ısı konforu olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Bu tespit daha önce yapılan ısıtma uygulanacak yüzeyler ile ilgili kabulleri doğrulamaktadır.

Bu bulgular doğrultusunda, Şekil 4.18 de verildiği gibi daha önce de aracın ısı kayıp bölgeleri olarak tespit edilmiş olan bölgelere ısıtıcı kumaş kullanılması kararlaştırılmıştır. Bununla birlikte, kişisel konfora olumlu etkisi olacağı ve yolcuların ısıtılmasına en hızlı etkiyi sağlayacakları için her bir koltuk oturma yüzeyi ve sırt bölgesine de ayrıca ısıtıcı kumaş yüzey kullanılmıştır.



Şekil 4.18: HAD modelinde oluşturulan mevcut durum (konvektör ısıtma) ve ısıtıcı kumaş yüzeyler.

4.7.3 Isıtıcı Kumaş Yüzeyler Kullanılarak HAD Analizli

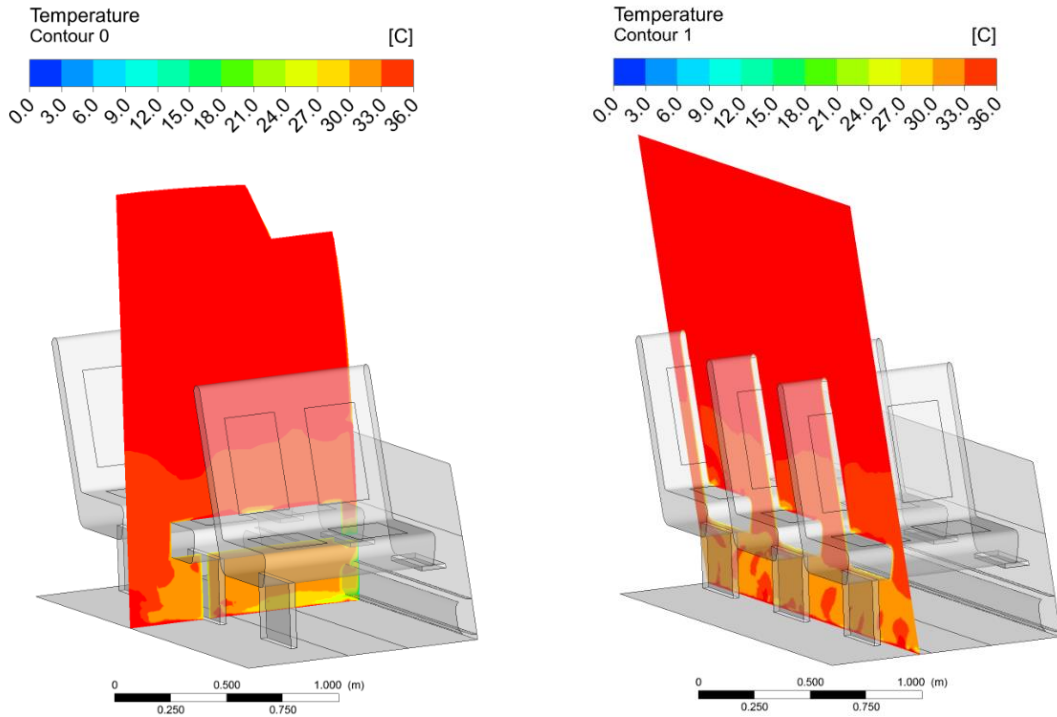
Şekil 3.14 de tanımlı ısıtıcı kumaş yüzeylerin olduğu bölgelere, oluşturulan HAD modelinin yapısı gereği aynı zamanda ısı kaybı tanımlanamamaktadır. Bu sebeple oluşturulan sanal model, gerçek uygulamadan bu noktada ayrılmaktadır. Dolayısıyla analizler gerçek testler öncesi homojen bir kabin içi sıcaklık dağılımı elde edilip edilemeyeceği ile ilgili veri elde etmek amaçlı kullanılmış olup, kabin içi sıcaklık dağılımı görseli Şekil 4.19 da, ısıtıcı

kumaşlar kullanılarak yapılan HAD analizinde gerçekleşen kabin içi sıcaklık dağılımının mevcut durum için yapılan HAD analizi ile kıyaslaması da Tablo 4.5 de verilmiştir.

Tablo 4.5: Mevcut durum ve ısıtıcı kumaş kullanılması durumunda kabin içi sıcaklık dağılımının HAD analizi ile kıyaslaması.

Ölçüm Noktaları	Mevcut durum HAD analizi	Isıtıcı kumaş ile HAD analizi
Baş Hizzası	20 °C	36,3 °C
Kucak Hizzası	17,5 °C	34,3 °C
Ayak Hizzası	15,5 °C	33 °C
Maksimum baş-ayak arası sıcaklık farkı	4,5 °C	3,3 °C

Mevcut duruma göre daha homojen bir sıcaklık dağılımı olduğu analizler sonucu tespit edilmiştir. Ancak Yukarıda belirtilen ısıtıcı kumaş ile yapılan HAD analizinin fiili durumdan olan farkı sebebi ile HAD analizi sonuçları, iç sıcaklık değerleri gerçek durumdan daha yüksek çıkmıştır. Bu sebeple tasarlanan sistemin gerçek performansı araç üzerinde yapılacak gerçek testler ile tespit edilmiştir.



Şekil 4.19: Isıtıcı kumaş kullanımı HAD analizi sıcaklık dağılımı.

Bu çalışmadan sonra deney aracı üzerinde gerçek testler ile çalışma devam ettirilmiştir.

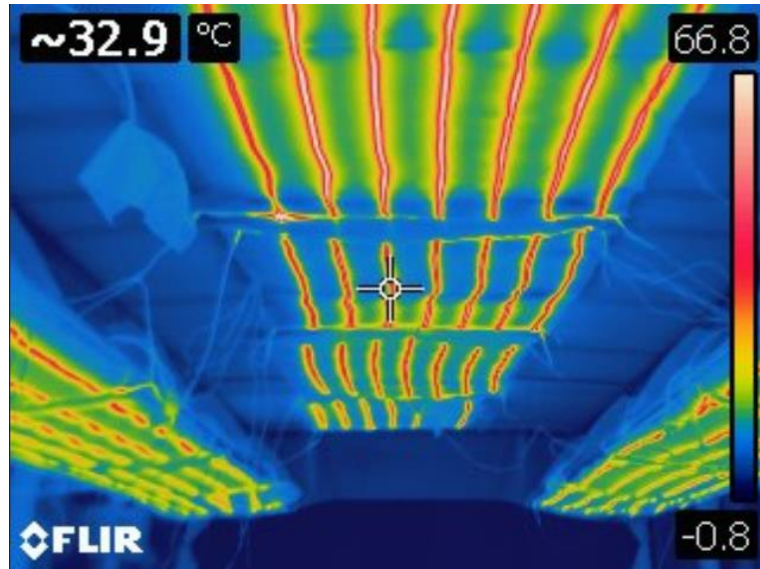
4.8 Isıtıcı Kumaş ile Yapılan Isıtma Sistemi Testleri

Bölüm 3.8 de araç üzeri yerleşimi yapılan kızıl ötesi ışıyım yapabilen dokuma tekstil elektrikli ısıtma sisteminin, sıcaklığı kontroledilebilen test kabininde, $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de performans testleri gerçekleştirilmiştir.

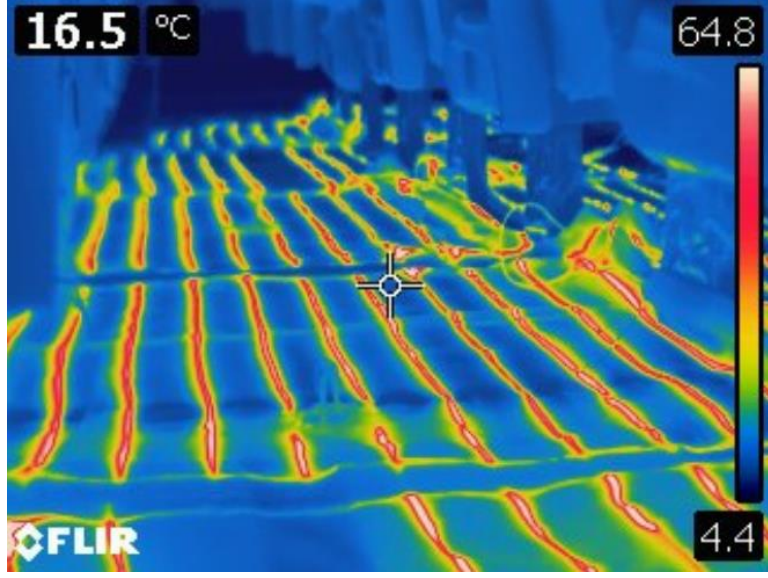
Testler öncesinde araç, kapı ve pencereler açık olarak 6 saat soğutulmuş, ve sonrasında maksimum kalorifer performansını ortaya koyacak şekilde Bölüm 3, Tablo 3.5 de verilen koşullara göre testler gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında objektif veri toplanmış ve sonuçlar zamana bağlı grafik olarak sunulmuştur.

$-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dış ortam sıcaklığında dokuma tekstil ısıtma sistemi performans testi

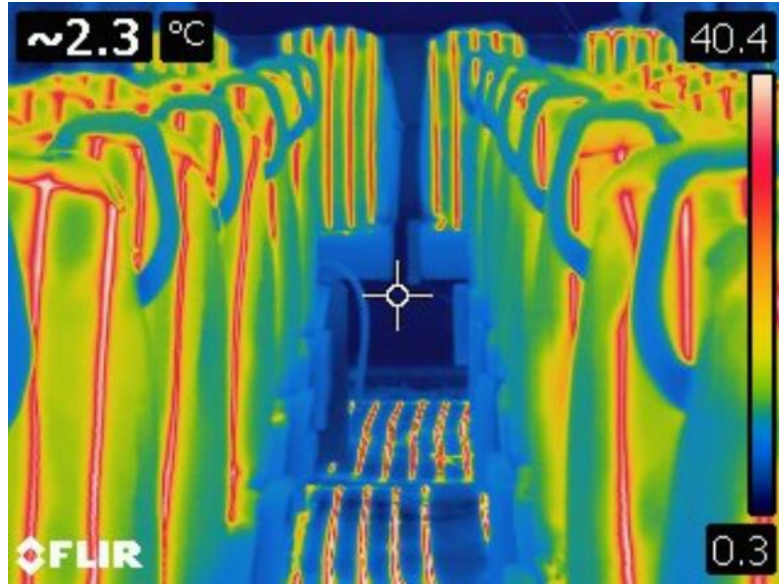
İlk maksimum ısıtma performans testi, $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ test kabini sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Test sırasında araç içi ısıtıcıların termal kamera ile elde edilen görselleri Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 de paylaşılmıştır.



Şekil 4.20: $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dış sıcaklıkta termal kamera tavan görüntüsü.



Şekil 4.21: -7 °C dış sıcaklıkta termal kamera zemin görüntüsü.

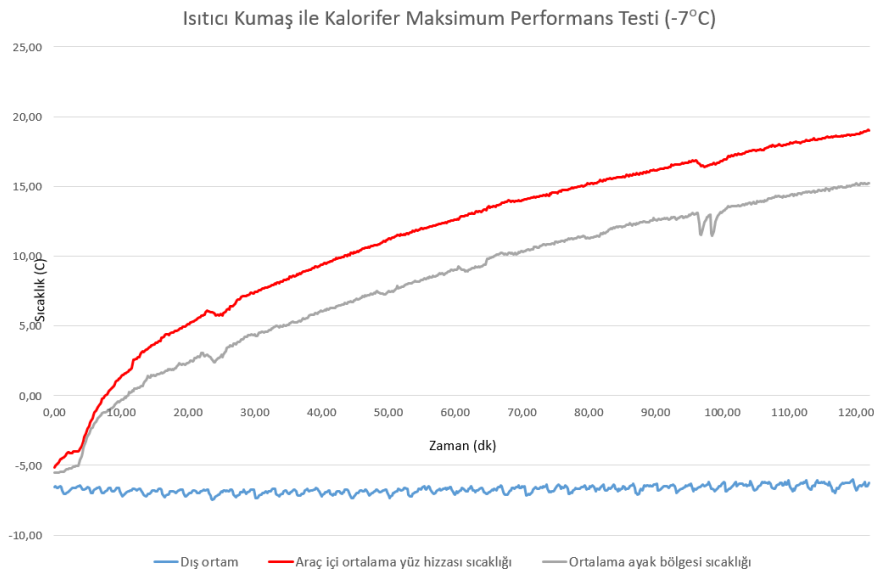
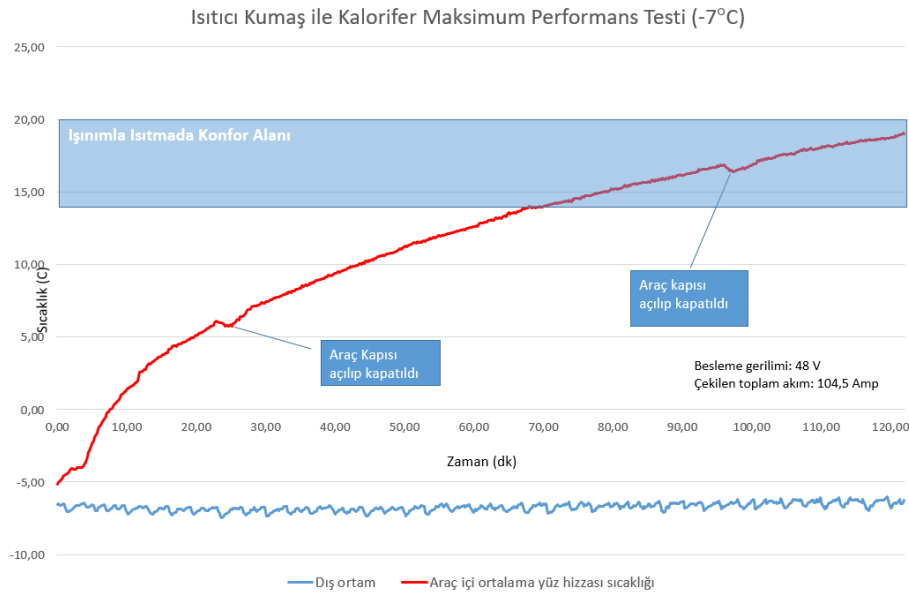


Şekil 4.22: -7 °C dış sıcaklıkta termal kamera koltuk görüntüsü.

Termal kamera görüntüleri referans alınarak kabin tavan ve zemin bölgelerinin yüzeylerinin ortalama 20 °C civarı duvar sıcaklıklarına eriştiği kabul edilmiştir. Bölüm 1.2.2.4 ve Şekil 2.18 de paylaşılan radyant ısıtmada yüzey sıcaklığına bağlı konfor koşulu verilerine göre, konfor sıcaklığı, bu duvar sıcaklığı civarında 16 °C civarı olarak verilmiştir (Baum vd., 2014). Buna göre, kabin için kabul edilen konfor sıcaklığına ulaşma süreci Şekil 4.23 de verilmiştir. Ortalama yüz hızası sıcaklığı ısı konforuna 68. dakika civarı ulaşmıştır.

Testler esnasında sistemin tükettiği elektrik gücünü hesaplayabilmek için sistemin maksimum güçte iken gerilimi ve çekilen akım değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Yapılan -7°C dış sıcaklıktaki ısıtıcı kumaş ile maksimum kalorifer performans testinde yüz ve ayak bölgeleri arasındaki sıcaklık farkını belirleyebilmek ve düşey sıcaklık değişimini tespit edebilmek için ayak bölgesi sıcaklıkları da ölçülmüş ve test süresince gerçekleşen ortalama sıcaklık değişimi Şekil 4.24 de verilmiştir.



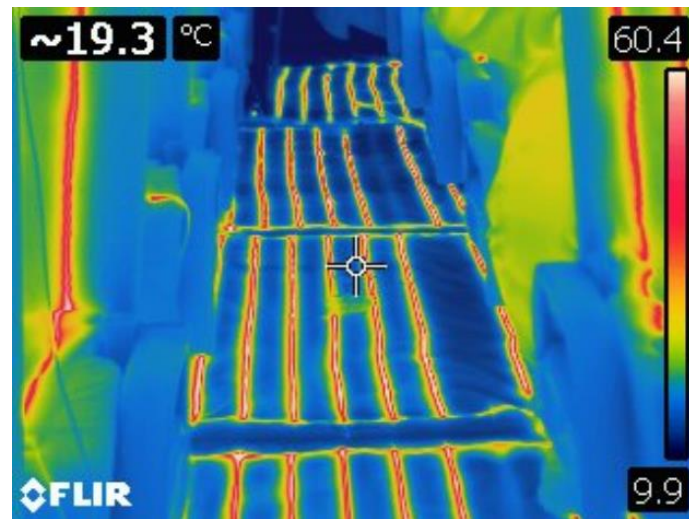
Bu sonuçlara göre mevcut durumda ayak ve yüz bölgeleri arasında testin 25inci dakikasından itibaren yaklaşık 4 °C fark ölçülmüş ve test süresince ortalama yüz ve ayak bölgeleri arasında 4 °C fark devam etmiştir.

-4 °C dış ortam sıcaklığında dokuma tekstil ısıtma sistemi performans testi

İkinci test olarak test odası sıcaklığı -4 °C ye değiştirilip aynı koşullarda test odasında ısıtma performansı testi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen test sırasında araç içi ısıtıcıların termal kamera ile elde edilen görselleri Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 de paylaşılmıştır.



Şekil 4.25: -4 °C dış sıcaklıkta termal kamera tavan görüntüsü.

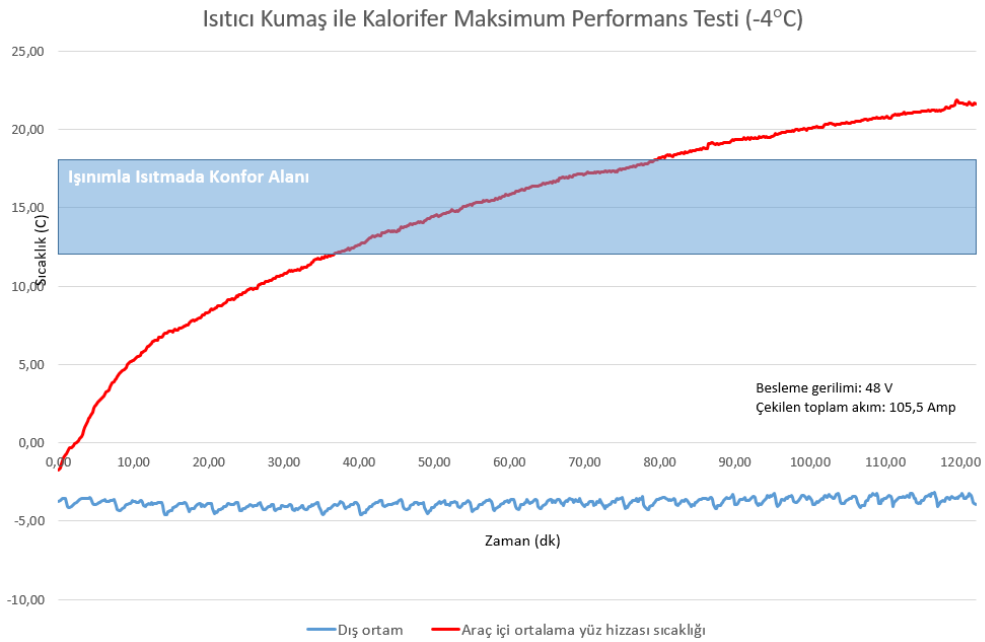


Şekil 4.26: -4 °C dış sıcaklıkta termal kamera zemin görüntüsü.



Şekil 4.27: -4 °C dış sıcaklıkta termal kamera koltuk görüntüsü.

Termal kamera görüntüleri referans alınarak yapılan incelemede kabin yüzeylerinin ortalama 22-24 °C duvar sıcaklıklarına eriştiği kabul edilmiştir. Bölüm 1.2.2.4 ve Şekil 2.18 de paylaşılan radyant ısıtmada yüzey sıcaklığına bağlı konfor koşulu referans değerine göre, konfor sıcaklığı, 14-15 °C aralığı olarak verilmiştir (Baum vd., 2014). Buna göre, kabin için kabul edilen konfor sıcaklığına ulaşma süreci Şekil 4.28 da verilmiştir. Ortalama yüz hızı sıcaklığı ısıtma konforuna 37. dakika civarı ulaşmıştır.

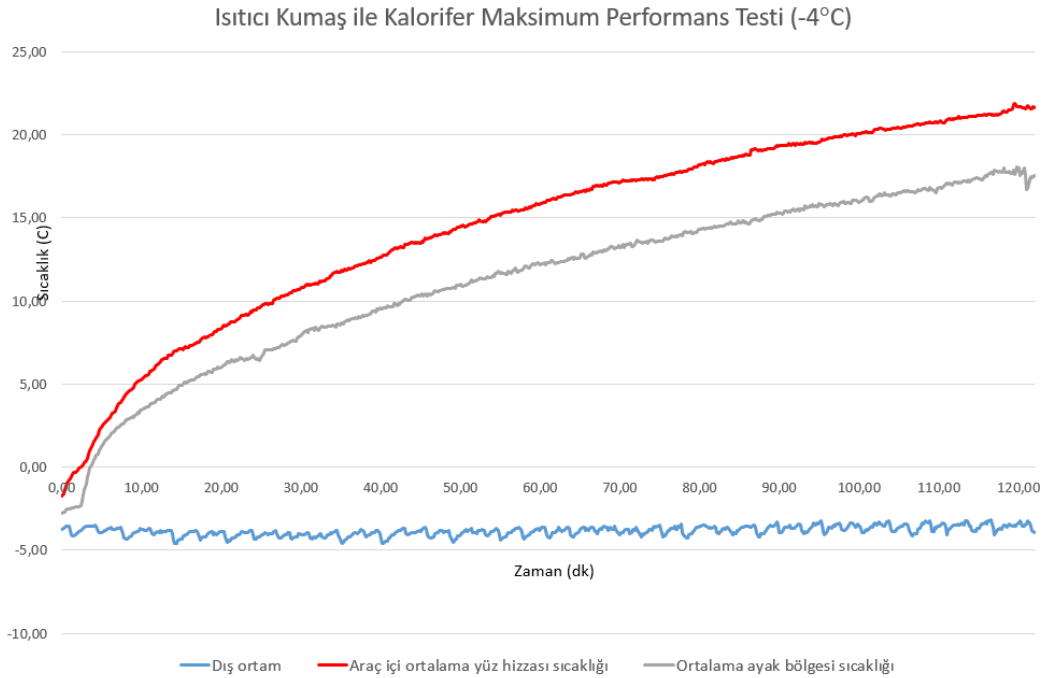


Şekil 4.28: -4 °C dış sıcaklıkta ısıtıcı kumaş ile kalorifer maksimum performans testi.

Testler esnasında sistemin tükettiği elektrik gücünü hesaplayabilmek için sistemin maksimum güçte iken gerilimi ve çekilen akım değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Yapılan -4 °C dış sıcaklıktaki ısıtıcı kumaş ile maksimum kalorifer performans testinde yüz ve ayak bölgeleri arasındaki sıcaklık farkını belirleyebilmek ve düşey sıcaklık değişimini tespit edebilmek için ayak bölgesi sıcaklıkları da ölçülmüş ve test süresince gerçekleşen ortalama sıcaklık değişimi Şekil 4.29 da verilmiştir.

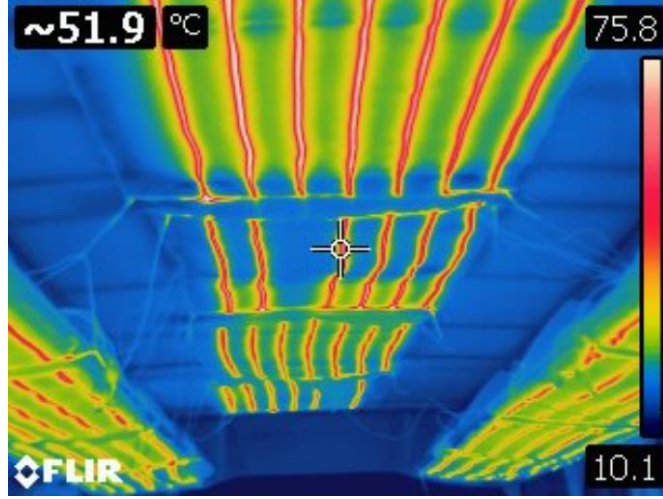
Bu sonuçlara göre mevcut durumda ayak ve yüz bölgeleri arasında testin 30'uncu dakikasından itibaren yaklaşık 3,5 °C fark ölçülmüş ve test süresince ortalama yüz ve ayak bölgeleri arasında 3,5 °C fark devam etmiştir.



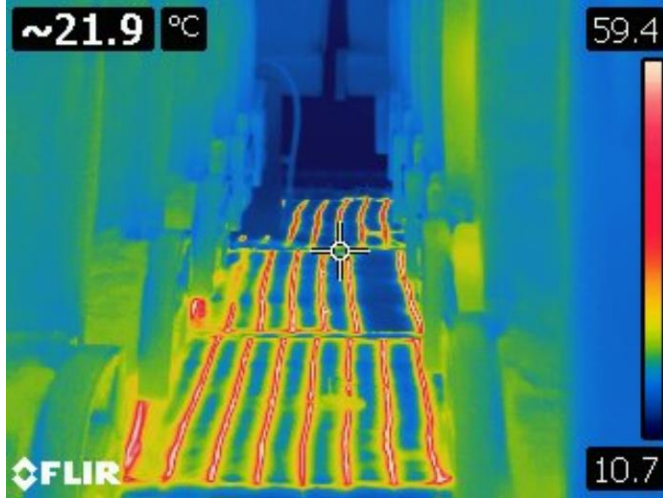
Şekil 4.25: -4 °C dış sıcaklıkta ortalama yüz ve ayak bölgesi sıcaklıkları kıyaslaması.

0 °C dış ortam sıcaklığında dokuma tekstil ısıtma sistemi performans testi

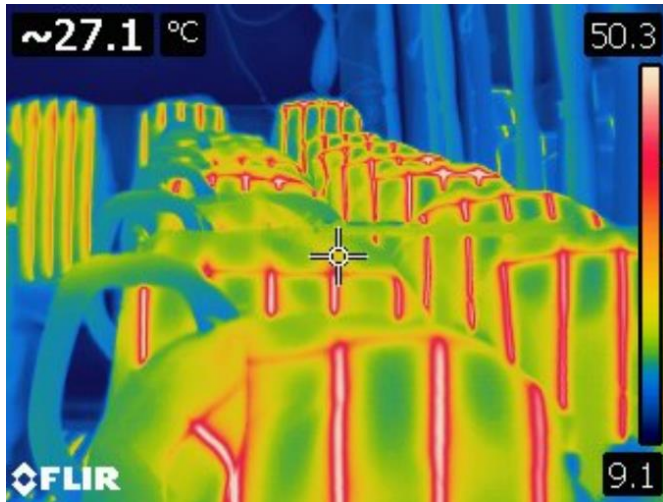
Son test olarak test odası sıcaklığı 0 °C ye değiştirilip yine aynı koşullarda test odasında ısıtma performansı testi gerçekleştirilmiştir. Test sırasında araç içi ısıtıcıların termal kamera ile elde edilen görselleri Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32 de paylaşılmıştır.



Şekil 4.30: 0 °C dış sıcaklıkta termal kamera tavan görüntüsü.



Şekil 4.31: 0 °C dış sıcaklıkta termal kamera zemin görüntüsü.

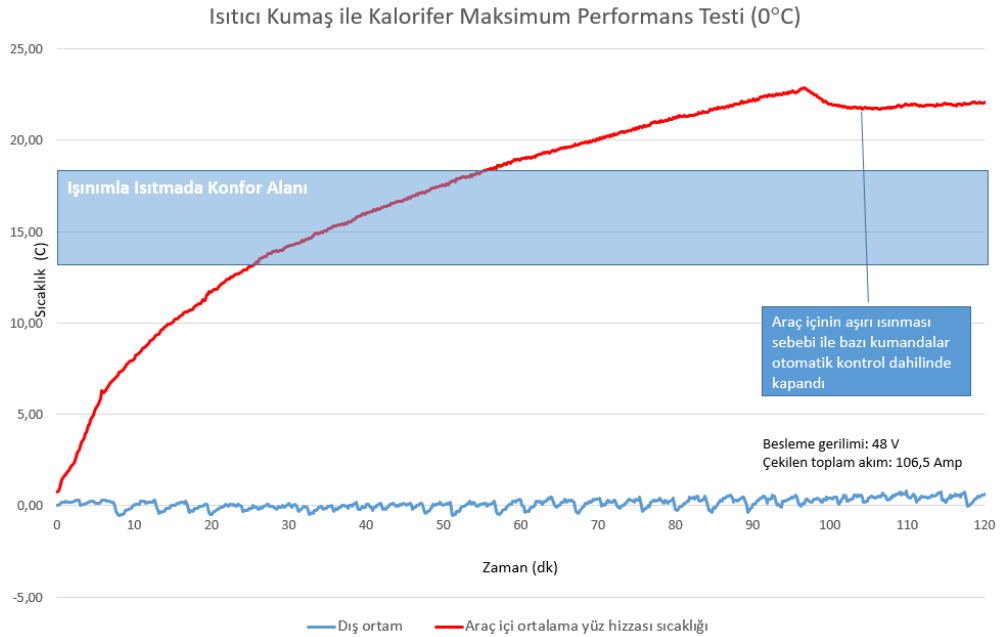


Şekil 4.32: 0 °C dış sıcaklıkta termal kamera koltuk görüntüsü.

Termal kamera görüntüleri referans alınarak kabin yüzeylerinin ortalama 25 °C duvar sıcaklıklarına eriştiği kabul edilmiştir. Bölüm 1.2.2.4 ve Şekil 2.18 de paylaşılan radyant ısıtmada yüzey sıcaklığına bağlı konfor koşulu referans değerine göre, konfor sıcaklığı, 13-14 °C aralığı olarak verilmiştir (Baum vd., 2014). Buna göre, kabin için kabul edilen konfor sıcaklığına ulaşma süreci Şekil 4.33 de verilmiştir. Ortalama yüz hizzası sıcaklığı ısı konfora 25inci dakika civarı ulaşmıştır.

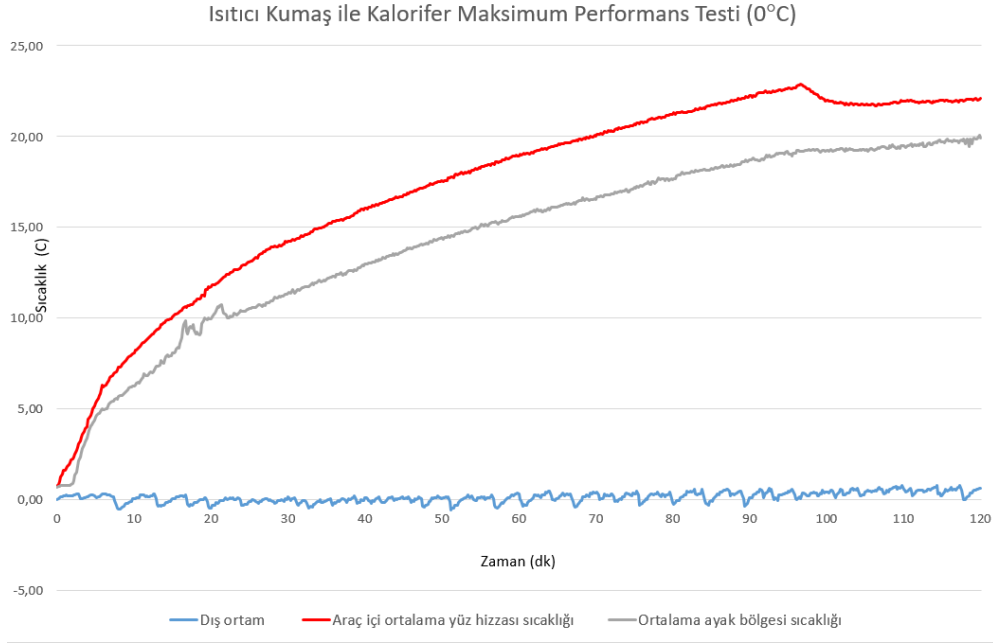
Testler esnasında sistemin tükettiği elektrik gücünü hesaplayabilmek için sistemin maksimum güçte iken gerilimi ve çekilen akım değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Yapılan 0 °C dış sıcaklıktaki ısıtıcı kumaş ile maksimum kalorifer performans testinde yüz ve ayak bölgeleri arasındaki sıcaklık farkını belirleyebilmek ve düşey sıcaklık değişimini tespit edebilmek için ayak bölgesi sıcaklıkları da ölçülmüş ve test süresince gerçekleşen ortalama sıcaklık değişimi Şekil 4.34 da verilmiştir.



Şekil 4.33: 0 °C dış sıcaklıkta ısıtıcı kumaş ile kalorifer maksimum performans testi.

Bu sonuçlara göre mevcut durumda ayak ve yüz bölgeleri arasında testin 30'uncu dakikasından itibaren yaklaşık 3,5 °C fark ölçülmüş ve test süresince ortalama yüz ve ayak bölgeleri arasında 3,5 °C fark devam ettiği deneysel olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.34: 0 °C dış sıcaklıkta ortalama yüz ve ayak bölgesi sıcaklıkları kıyaslaması.

4.9 Değerlendirme

Genel olarak yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçların umut verici olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmanın çıktıları, haritalama testleri ve literatürdeki benzer çalışmalar ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu değerlendirmeye göre;

-7 °C de yapılan haritalama testleri ile, yine -7 °C de yapılan ısıtıcı kumaş testleri kıyaslandığında, her iki testte de araç içi ortalama yüz hızzası sıcaklıklarının konfor bölgesine ulaşma süreleri yaklaşık olarak benzer gerçekleşmiştir. Hatta ısıtıcı kumaş ile yapılan testlerde bu süre biraz daha iyidir.

Literatürde araç seviyesi benzer tek örnek olan Baum vd. (2014) tarafından -7 °C de seramik ısıtıcı paneller kullanılarak yapılan çalışmada, kabin sıcaklığının test sonunda 2 °C ler civarında olduğu bilgisi paylaşılmıştır. Buna karşılık doktora tez konusu çalışmada, ısıtıcı kumaş ile yapılan testlerde araç içi ortalama sıcaklığın radyant ısıtma konfor sıcaklığı bölgesi içinde 19 °C de, ayak bölgesi sıcaklığının ise 14 °C civarında olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde elektrikli ısıtıcı giysiler üzerine Wang vd. (2010) tarafından yapılan derlemede 25-35 yaş arası denekler üzerinde yapılan çalışmada sırt bölgesi konfor sıcaklığı nın 32,9 °C ile 37,9 °C arası olduğu belirtilmiştir. Doktora tez konusu çalışmada, araç içinde ısıtıcı kumaş kullanılarak yapılan testlerde de koltuk yüzey sıcaklıklarının benzer sıcaklıklara ulaştığı tespit edilmiştir.

HAD analizlerinde elde edilen verilerle benzer şekilde araç içi sıcaklık dağılımı ısıtmalı kumaş ile yapılan testlerde, konvektör ısıtıcı ile yapılan testlere oranla daha homojen gerçekleşmiş, yüz – ayak arası sıcaklık farkları daha düşük ölçülmüştür.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan çalışmanın çıktıları ve -7 °C de yapılan haritalama ve ısıtmalı kumaş (kızıl örtesi ısıtma sistemi) testlerinin karşılaştırmalı sonuçları özet olarak Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1: -7 °C dış ortamda , haritalama ve kızılörtesi ısıtma sistemi testleri karşılaştırma özeti

-7 °C kıyaslamalı test sonuçları		Konfor Şartı		Sıcak sulu - radyatörlü sistem (Haritalama Testi)	Tez konusu çalışma (Kızıl örtesi ısıtma sistemi)	Fark
		Radyatörlü Isıtma (°C)	Işınımla Isıtma (°C)			
Isıl performans	Ortalama kabin içi sıcaklığın konfor sıcaklığına gelme süresi (dk.)	22-26	14-20	75	70	-%6,6
	Ayak-Yüz arası sıcaklık farkı (°C)	-	-	6,5	4	-%38
	Testte ölçülen kalorifer sistemi gerçek kapasitesi (kW)	-	-	13,3	5,3	-%60
Diğer	Test süresince tüketilen yakıt miktarı (lt.)	-	-	24,5	-	-
	Kalorifer sistemi ağırlığı (kg)	-	-	60	15	-%75

Çalışma sonucunda, motor soğutma suyunu kullanan bir kalorifer sisteminde, motordan sağlanan enerjinin yanında yakıtlı ısıtıcıda ilave 2450 ml yakıt yakılarak ve araç içine toplamda 13,3 kW ısıt transfer edilerek elde edilen ısıl performans, tasarımı yapılan dokuma

tekstil ısıtma sistemi ile 5.3 kW lık elektrik enerjisi kullanılarak sağlanabilmiştir. Bunun anlamı, herhangi ilave bir izolasyon yada çalışma yapmadan, sadece ısıtma yöntemini değiştirerek araçların ısıtma için bugün kullandıkları enerjinin, %50 den fazla düşürülebileceği ve buna karşılık aynı performansın sağlanabileceğidir. İzolasyonun iyileştirilmesi ile bu oran daha da artırılabilir.

Isıtıcı olarak kullanılan malzemenin iletken karbon liflerden oluşan dokuma tekstil kumaş olması sebebi ile ısıtma sisteminin ağırlığı, metal ısı değiştirgeçleri içeren ve motoru suyu kullanan sistemlere oranla %75 civarında azaltılmıştır. Araç üzerinde bugün kullanılan motor soğutma suyunu kullanan sistemin ağırlığı 60 kg civarında iken, tasarımı yapılandokuma tekstil ısıtma sisteminin elektrik tesisatı dahil ağırlığı 15 kg'ın altındadır.

Enerji tüketiminde ve toplam sistem ağırlığında sağlanan avantaj düşünüldüğünde, önerilen sistemin içten yanmalı motora sahip araçlarda kullanılması durumunda yakıt tasarrufu sağlayacağı düşünülmektedir. Benzer şekilde elektrikli araçlar düşünüldüğünde ise, kalorifer sisteminin, aracın menziline olan olumsuz etkisi, sistemin enerji tüketimindeki azalmaya benzer oranda minimum %50-60 oranında azalacaktır.

Tüm sistem değerlendirildiğinde, mevcut durumda elektrik tesisatı hariç deney aracında 400 civarı (350 adet kalorifer sistemi, 50 adet yakıtlı ek ısıtıcı) parçadan oluşan araç kalorifer sistemi, toplamda 100 parçanın altında bir parça sayısı ile tasarlanabilmiştir. Bu sayede hem işçilik süreleri kısılacak hemde parça çeşitliliği azalacaktır.

Tek bir noktadan konveksiyonla ısıtma yapmak yerine tüm kabin içinde yayılmış halde ışınım ile ısıtma yapılması sayesinde araç kabini içinde sıcaklık dağılımı, oranla çok daha homojen hale gelmiştir. Yapılan haritalama testlerinde yüz ve ayak bölgeleri ortalamaları arasında yaklaşık 6,5 °C sıcaklık farkı varken bu sıcaklık farkı ısıtmalı kumaş ile yapılan aynı koşullardaki testte 4 °C olarak tespit edilmiştir.

Tasarlanan sistemin elektrikli olması sayesinde, motor suyunun ısınma sürecinden bağımsız olarak sistem açıldığı anda hemen ısıtmaya başlayabilmektedir.

Yine tasarlanan sistemin elektrikli olması sayesinde istenildiği durumda araç içinde farklı bölgelerde bireysel olarak ısıtma kontrolü sağlanabilmektedir. Bu yönüyle de ısıl konfora olumlu katkı sağlayacak bir sistemdir.

Yapılan tüm testlerde test başlangıcından araç içi konfor sıcaklığına gelinceye kadar olan süreçte koltuktan ısıtmanın ısıl konfora olumlu katkısı olduğu gözlenmiştir.

Ayak bölgesinde kullanılan ısıtıcılar sayesinde ayak bölgesi konforunda literatürdeki benzer uygulamaya oranla çok daha iyi sonuçlar elde edilmiş, literatürdeki uygulamanın aksine konforsuz bir durum oluşmamıştır.

-7 °C de yapılan mevcut durum haritalama testlerinde ve ısıtıcı kumaş testlerinde kabin içi ısıl konfora 70 dk ve üzeri sürelerde ulaşabildiği için kabin içi ısıl konfora ulaşmaya kadar ellerde ve ayaklarda üşüme hissi oluşmuştur. -4 °C ve 0 °Cde yapılan testlerde ise hızlı bir şekilde konfor sıcaklığına ulaşılmış ve el veya ayak bölgelerinde herhangi bir üşüme hissi oluşmadan ısıl konfor yakalanabilmiştir.

5.2 Öneriler

Araç kabininin zemin bölgesinde izolasyon olmaması sebebi ile bu bölgeden olan ısı kaybı hem ısıl kaybı hesaplarında yüksek çıkmıştır hem de testler sırasında tespit edilmiştir. Zemine izolasyon yapılması test sonuçlarına olumlu katkı yapacak, ısıl konforu da iyileştirecektir. Özellikle sıfır derecenin altındaki iklimlerde zemine izolasyon uygulamasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Deney aracında tüm ısıtıcı kumaş eklenen yüzeylerde 7cm aralıklı iletken karbonlifler içeren dokuma tekstil kumaşlar kullanılmıştır. Zemin gibi izolasyon azlığı sebebi ile ısı kaybının fazla olduğu bölgelerde iletken karbon lif aralıkları daha sık olan ve bu sayede kapasitesi daha fazla olan dokuma tekstik kumaş kullanımının daha iyi sonuçlar verecek ve konfora olumlu katkı yapacaktır. Zemindeki ısıtma kapasitesinin artırılması ayrıca ayak-yüz bölgeleri arasındaki sıcaklık farkını da daha da azaltacak araç içinin çok daha homojen olmasını sağlayacaktır.

Tüm araçta izolasyonun daha da iyileştirilmesi durumunda, performans iyileşecek, kullanılan elektrik enerjisi miktarı dolayısıyla sistemin elektriksel güç ihtiyacı da düşecektir.

Yapılan çalışma çıktısı ışınlama ısıtma sisteminin içten yanmalı motora sahip araçlarda kullanılması durumunda, hem araç ağırlığını azalttığı hemde kalorife için tüketilen yakıtı ortadan kaldırdığı için eksoz emisyonunun dolayısıyla çevreye verilen olumsuz etkinin azaltılmasına olumlu katkı sağlayacaktır.

Deneyleri yapılan sistemde otomatik kontrol bulunmamaktadır. Ticari ürün de sıcaklık kontrolü için bir termostat kontrolü sisteme ilave edilmelidir.

Yapılan çalışma, kalorifer performansında sıcak sulu kalorifer sisteminden performans olarak geri olmamasına karşılık, hem konfor artışı sağlanması, hem %60 enerji tasarrufu sağlanması hemde %75 kalorifer sisteminin ağırlığını azaltılması yönleriyle özellikle elektrikli araçlar için gelecek vaadeden sonuçlar ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Altınışık, K. (2004).Uygulamalarla Isı Transferi
- Anon. (2012). Intelligent Energy Management: heat pump, infrared heating surfaces air vent control, *BMW Group Innovation Day*, p.19
- APTA (2016). BTS-BMT-RP-001-10, Rev. 1, October 6
- ASHREA Handbook HVAC Applications (2011)
- ASHREA Fundamentals Handbook (2013)
- ASHREA 55 (2013). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- ASTM (2012), Standard Classification for Serviceability of an Office Facility for Thermal Environment and Indoor Air Conditions, E2320-04
- Bauml, T., Dvorak, D., Frohner, A. ve Simic, D. (2014). Simulation and Measurement of an Energy Efficient Infrared Radiation Heating of a Full Electric Vehicle, *AIT Austrian Institute of Technology GmbH Giefinggasse 2, 1210 Vienna, Austria*.
- Belhamra, A., Diabi, R. ve Moussaoui, A. (2007). Technology and Applications of Infrared Heating in the Industriel Area, *Journal of Engineering and Applied Science*.
- Cheah Kok Wai, (2011). Fundamentals of Far Infrared, Department of Physics, Centre for Advanced Luminescence Materials, Hong Kong Baptist University
- Choi, K.E., Park, C.H. ve Seo, M.K., (2016). Electrical and Resistance Properties of Carbon Fiber Heating for Car Seat. *Appl. Chem. Eng., Vol. 27, No. 2, p.210-216*
- Chun-Chih Lin, Cheng-Lung Lee ve Chia-Chi Lung, (2013). Antioxidative Effect of Far-Infrared adiation in Human. *Journal of Public Health Frontier, Jun. 2013, Vol. 2 Iss. 2, PP. 97-102*
- Chung-Won, C., Ho-Seong, L., Jong-Phil, W. ve Moo-Yeon, L. (2012). Measurement and Evaluation of Heating Performance of Heat Pump Systems Using Wasted Heat from Electric Devices for an Electric Bus. *Energies 2012, 5, s.658-669*.
- Çengel, Y. (2011), Isı ve Kütle Transferi, 3. Baskı.
- Derbentli, T. ve Geçgel, O. (2003). Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri (Çeviri, Incorporera, F., Dewitt, D. P)
- Ene C.A, Stancila M, Ivanescu M. ve Neacsu A.C. (2013). Studies on Infrared Radiation Heating for Increasing Thermal Comfort, *University of Pitesti, Faculty Of Mechanics And Technology, Automotive Series, year 2013, no:24*.

- Eren, H., Kırmacı V., Erol M., Yavaş A., Duran H. ve Öztürk, Y. (2017). New Generation Fabric Based Electrical Heating Systems: A Case Study For Public Transport Vehicles, *International Conference on Science, Technology, Engineering and Management, Prag*.
- Erol, M., Kırmacı V., Eren, H., Yavaş A., Duran H. ve Öztürk, Y. (2017). Yolcu taşımacılığı yapan taşıtlarda ışınlama ısıtma sisteminde kullanılan tekstil kumaşının tasarımı, *I. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*, 7-10 Aralık, Antalya, Türkiye, s. 675-680
- ECE R107 (2011). Uniform provisions concerning the approval of category M2 or M3 vehicles with regard to their general construction
- Halıcı, F. ve Gündüz, M. (2012) Örneklerle Isı Geçişi, Isı Transferi, 2. Baskı
- Hirohata, T., Tamura, S. ve Takahashi, Y. (2002). Carbon Heating Element and Method of Manufacturing the Same, United States Patent US6501056B1.
- Incorpera, F., Dewitt, D. P., Bergman, T.L. ve Lavine, A.S. (2006). Fundamentals of heat and mass transfer, 6th Edition, ISBN-13: 978-0471457282.
- Izuegbu, N.L., ve Adonis, M.L. (2011). Simulation and Modelling of Energy Efficient Design of a Ceramic Infrared Heater, *Proceedings of the 8th Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy*
- Kılıç, M. ve Yiğit, A. (2014). Isı Transferi
- Kreith, F., Manglik, R.M. ve Bohn, M.S., (2011). Principles of Heat Transfer, 7. Edition.
- Leighton, D. (2015), Combined Fluid Loop Thermal Management for Electric Drive Vehicle Range Improvement, *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. / Volume 8, Issue 2 (July 2015)*
- Moulson, A. J. ve Helbert, J. M. (2003). Electroceramics. Materials, Properties, Applications, 2nd Edition, ISBN: 978-0-471-49748-6
- Paya, J., Corberan, J., Torregrosa-Jamie, B. ve Vasile-Müller, C. (2011). Innovative Air-Conditioning Systems for Conventional and Electric Vehicles. *EAEC European*.
- Roth, K., Dieckmann, J. ve Brodrick, J. (2007). Infrared Radiant Heaters. *Ashrea Journal, June 2017*.
- SAE J638 (1998). Motor Vehicle Heater Test Procedure
- Sakai, N. ve Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan, *Trends in Food Science & Technology, Volume 5, Issue 11, Pages 357-362*.
- Sheridan P.S. ve Shilton, N.C. (2002). Analysis of yield while cooking beefburger patties using far infrared radiation, *Journal of Food Engineering, Volume 51, Issue 1, Pages 3-11*.

- Şekeroğlu, S.S. (2002), Taşıtlarda Ön Isıtıcılar Isıl Konfora Etkileri ve Ön Isıtma Süresi Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Anabilim Dalı, İstanbul.
- Torregrosa-Jamie, B., Corberan, J., Vasile-Müller, C. ve Paya, J. (2013). Sizing of a Reversible Magnetic Heat Pump for the Automotive Industry. *International Journal of Refrigeration*, vol.37, p 156-164.
- TS 825 (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü.
- Wyczalek, F.A. (1993). Heating and Cooling Battery Electric Vehicles – The Fianl Barrier, *IEEE EAS Systems Magazine*, November 1993.
- Umezu, K. ve Noyama, H. (2010). Air-Conditioning System for Electric Vehicles (i-MiEV), *SAE Automotive Refrigerant & System Efficiency Symposium*.
- URL-1 (2016). www.ducoterra.com, Energy efficiency of radiant heating panels.
- URL-2 (2018). https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html.
- URL-3 (2018). <https://yogalemon.net/infrared-heat/>.
- URL-4 (2018). <https://www.muhendisbeyinler.net/motor-sogutma-sistemleri/>.
- URL-5 (2018). http://www.mikuniheating.com/MXA_Vehicle.cfm.
- URL-6 (2018). <https://www.eberspaecher.com/en/>.
- URL-7 (2018). <https://www.energy.gov/energysaver/home-heating-systems/electric-resistance-heating>.
- URL-8 (2018). <https://www.thermistorsunlimited.com/index.php/ptc-thermistors>.
- URL-9 (2018). <https://www.iselectrical.co.uk/infrared-heating/>.
- URL-10 (2018). <https://sc663henad.weebly.com/the-light-spectrum.html>.
- URL-11(2018). <https://www.relaxsaunas.com/far-infrared.html>.
- URL-12 (2018). <https://www.optotherm.com/emiss-table.htm>.
- URL-13 (2018). <https://detector-cooling.web.cern.ch/detector-cooling/data/Table%208-3-1.htm>.
- Vatansever, F. ve Hamblin, M.R. (2012). Far infrared radiation (FIR): its biological effects and medical applications. *Photon Lasers Med 2012*. DOI 10.1515/plm-2012-0034

- Wang, F., Chuansi, G., Kalev, K. ve Ingvar, H., (2010). A Review of Technology of Personal Heating Garments, *International Journal If Occupational Safety And Ergonomics (JOSE) Vol. 16, No:3, 387-404.*
- Yamashita, K. (2012). The Effects of the Far-Infrared Ray (FIR) Energy Radiation on Living Body, *Blood Cell - An Overview of Studies in Hematology, Chapter 14.*
- Yüce, İ. (2017). Uzak Kızıl Ötesi Işın Yayan Kumaş ve İplikler, *Trakya University Journal of Engineering Sciences, 18(2).*
- Zhaogang, Qi (2014). Advances on Airconditioningand Heat Pump Systems on Electric Vehicle – A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews 38, s.754–764.*

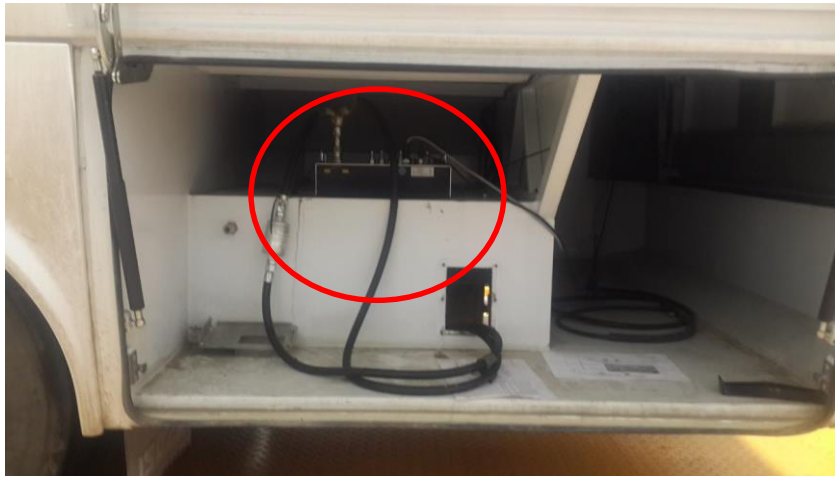
EKLER

EK 1: Araç üzerine yerleşimleri yapılan ölçü ekipmanları ve sıcaklık sensörleri

Araç üzerine yerleşimi yapılan cihazlardan, su debisi ölçüm cihazının yerleşimi Şekil 4.35 de verilmiştir. Kullanılan *Kistler* marka yakıt tüketim cihazının ölçüm modülünün araç üzerindeki yerleşimi ise Şekil 4.36 da görülebileceği gibi araç arka tarafında ve yakıt deposundan çıkıp yakıtlı ısıtıcıya giden yakıt hattı üzerine yapılmıştır. Yakıt ölçüm cihazının elektronik modülü ise araç içine Şekil 4.37 de gösterildiği gibi arka koltuk üzerine yerleştirilmiş ve ölçümler gerçekleştirilmiştir.

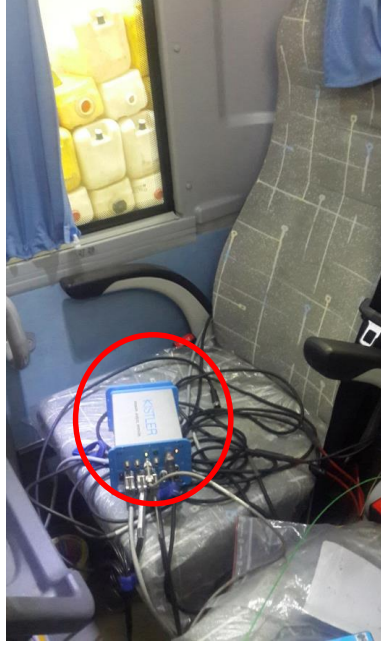


Şekil 4.26: Kalorifer su debisi ölçüm cihazı yerleşimi.



Şekil 4.27: Yakıt ölçüm cihazı ölçüm modülünün yerleşimi.

Kalorifer testi sırasında gerçekleşen sıcaklıkların ölçülmesi için kabin içine ve dışına yerleştirilen ısı çiftleri ile ilgili deyatlar Şekil 4.38 ile Şekil 4.39 arasında verilmiştir



Şekil 4.28: Yakıt ölçüm cihazı elektronik modülü.

Araç dışına yerleştirilen kabin sıcaklığı ölçümü için kullanılan ısı çifti Şekil 4.38 de gösterildiği gibi araç sol tarafında dış ortama açık ama rüzgardan etkilenmemesi için bir tüp içine yerleştirilmiştir. Araç kabininin koltuk ve koridor bölgelerindeki zemin bölgesi sıcaklığı için yerleştirilen ısı çiftleri Şekil 4.39 de, koltuk oturak kısmı için yerleştirilen ısı çiftleri Şekil 4.40 de, Koltuk baş hizaları için yerleştirilen ısı çiftleri ise Şekil 4.41 de verilmiştir.



Şekil 4.29: Test kabini sıcaklığı (Araç dış sıcaklığı).



Şekil 4.30: Kabin zemini ısııl çift yerleşimi.



Şekil 4.31: Koltuk oturak bölgesi ısııl çift yerleşimi.



Şekil 4.32: Baş hizzası ısııl çift yerleşimi.

Konvektör havası giriş ve çıkış sıcaklıkları için kullanılan ısıl çiftler Şekil 4.42 de, konvektör hattı su sıcaklığı ile ilgili ısıl çiftler ise Şekil 4.43 de gösterildiği gibi, sıcak su hortumu içine (sıcak suya temas edecek şekilde) yerleştirilmiştir.



Şekil 4.33: Konvektör yüzeyi ısıl çift yerleşimi.



Şekil 4.34: Sıcak su hattı ısıl çift yerleşimi.

Ölçümler için kullanılan veri toplama cihazı araç içinde şoför arkasındaki koltuğun üzerine Şekil 4.44 de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.35: Veri toplama cihazı araç içi yerleşimi ve ısı çift bağlantıları.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Hayri Eren
Doğum Yeri ve Tarihi : Kurucaşile, 1975

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Trakya Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Makina Müh. Böl.
Yüksek Lisans Öğrenimi : İ.T.Ü. Fen Bil. Ens., Makina Mühendisliği Otomotiv ana Bilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Experimental Test Results of a Fabric Based Infrared Heating System on a Public Transport Vehicle. *CSM, 7th International Conference on Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering. Roma, 2018.*

Electrical Heating System Performance Evaluation of a Novel Heating System in a Public Transport Vehicle. *ISER - 394th International Conference on Heat Transfer and Fluid Flow. Prag, 2018.*

An Experimental Study on Fabric-Based Heaters as an Innovative Approach for Vehicle Heating. *EJONS, Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Fen ve Sağlık Bilimleri Konferansı. Kiev 2018.*

Fabric Based Plain Heaters As An Innovative Approach For Vehicle Heating: A Theoretical Research On Comparative Performance. *ICETI - 2nd International Conference on Engineerig Technology and Innovation. Budapeste, 2018.*

New Generation Fabric Based Electrical Heating Systems: A Case Study For Public Transport Vehicles.

ICSTEM – International Congress on Science, Technology, Engineering and Management. Prag, 2017.

Yolcu Taşımacılığı Yapan Taşıtlarda Işınım İsitma Sisteminde Kullanılan Tekstil Kumaşının Tasarımı. *1nd International Turkish World Engineering and Science Congress. Antalya, 2017.*

Taşıtlarda İletken Karbon Lif Kullanımıyla Işınım İsitma Sisteminin Tasarımı. *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Tasarım Konresi. Kocaeli, 2017.*

Infrared heating system design on Commercial Passenger Vehicles. *IMSTEC'16. Nevşehir, 2016.*

HVAC Box design and optimization using CFD tools. *International Journal of Vehicle Design, vol.52, 2010.*

HVAC Box design and optimization using CFD tools. *Annova Conference. Bursa, 2008.*

Citybus windscreen air ducts optimization. *Annova Conference. Bursa, 2008.*

Reducing the Breake Distance by External Torque Application During Breaking. *Automotive Engineering, 1998.*

Aldığı Ödüller

: Anadolu holding “Bi-Fikir” yarışması 2018 yılı “Mucit” kategorisi birincisi

ISER, “International Conferance on Science, mathematics and engineering, Prag 11-12 Eylül 2018” konferansında en iyi bildiri ödülü.

Trakya Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi
1996 yılı mezunları birincisi

İş Deneyimi

Stajlar : Yelkenci Plastik Makinaları Sanayii.
Projeler ve Kurs Belgeleri : 1010.STZ.2016 Santez Projesi
Çalıştığı Kurumlar : 2000-2006 Ford otosan,
2006-2014 Temsa,
2014- Anadolu Isuzu Otomotiv AŞ

İletişim

E-Posta Adresi : hayriren1@gmail.com

Tarih : 23/11/2018 (Tez Savunma Tarihi)