

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE TERMAL KONFOR ODAKLI
OTONOM İKLİMLENDİRME SİSTEMİ TASARIMININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Uğurcan YARDIMCI

Doktora Tezi

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KASIM 2024

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

**ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE TERMAL KONFOR ODAKLI
OTONOM İKLİMLENDİRME SİSTEMİ TASARIMININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Tez Yazarı
Uğurcan YARDIMCI

Danışman
Doç. Dr. Emre TURGUT

KASIM 2024
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Başlığı:	Elektrikli Otomobillerde Termal Konfor Odaklı Otonom İklimlendirme Sistemi Tasarımının Enerji Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi
Yazarı:	Uğurcan YARDIMCI
İlk Teslim Tarihi:	20.10.2024
Savunma Tarihi:	22.11.2024

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç. Dr. Emre TURGUT Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	İmza Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Nevin ÇELİK Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Aydın DİKİCİ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Fehmi ASLAN Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Elektrikli Otomobillerde Termal Konfor Odaklı Otonom İklimlendirme Sistemi Tasarımının Enerji Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi” Başlıklı Doktora Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

22.11.2024

Uğurcan YARDIMCI



ÖNSÖZ

Otomotiv sanayisi içten yanmalı motor teknolojisinden elektrikli motor teknolojisine geçiş sürecindedir. Bu geçiş içerisinde verimliliğin artırılması önemli rol oynamaktadır. Günümüzde yazılım sistemleri doğru kullanıldığında verimliliği arttırmaktadır. Bu çalışmada termal konfor odaklı otonom iklimlendirme sistemi tasarlanmış, menfez konumları iyileştirilmiş ve sistemin enerji tasarrufu sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile otomobil üretici firmalara önerilerde bulunulmuştur.

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Emre Turgut'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince görüş ve bilgilerinden faydalandığım ve bana her zaman destek veren değerli arkadaşım Arş. Gör. Dr. Volkan Tuğan'a teşekkürü borç bilirim. Maddi manevi her türlü yardımlarıyla beni bugüne getiren aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından **TEKF.22.05** protokol numaralı proje ile desteklenmiştir. FÜBAP'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Uğurcan YARDIMCI
ELAZIĞ, 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE METOT	10
2.1. Deney Seti	10
2.1.1. İklimlendirme Ünitesi	10
2.1.2. Yazılım Ünitesi	13
2.1.3. Yapay Işınım Standı	19
2.2. Ölçüm Aletleri ve Deney Parametreleri.....	21
2.2.1. Ölçüm Aletleri.....	21
2.2.2. Deney Parametreleri.....	22
2.3. Sayısal Analiz.....	25
2.3.1. Yürütülen Denklemler.....	26
2.3.2. Geometri.....	28
2.3.3. Sınır Şartları	29
2.3.4. Mesh.....	32
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
3.1. Deneysel Sonuçlar	35
3.2. Doğrulama Deneyi.....	39
3.3. Sayısal Sonuçlar	40
3.3.1. Beşinci Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması	40
3.3.2. Dördüncü Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması	47
3.3.3. Üçüncü Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması.....	51
3.3.4. İkinci Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması.....	55
3.3.5. Birinci Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması	59
4. SONUÇLAR.....	63
ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Elektrikli Otomobillerde Termal Konfor Odaklı Otonom İklimlendirme Sistemi Tasarımının Enerji Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi

Uğurcan YARDIMCI

Doktora Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım 2024, Sayfa: xii + 70

Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasının en büyük engellerinden birisi menzil anksiyetesidir. Menzili azaltan en önemli faktörlerin başında da iklimlendirme ünitesi gelmektedir. Bu ünitelerin olması gerekenden daha fazla soğutma yapması enerji kaybına yol açmaktadır. Bu çalışmada iklimlendirme ünitesi kaynaklı oluşan enerji kaybını ortadan kaldırmak adına termal konfor odaklı otonom iklimlendirme ünitesi tasarlanmıştır. Bu otonom iklimlendirme ünitesine ek olarak menfez konumlarının da termal konfora ve enerji tasarrufuna olan katkıları araştırılmıştır. Termal konfor indeksi olarak PMV kullanılmıştır.

Bu çalışma deneysel ve sayısal olarak Renault Safrane marka aracın üzerinde gerçekleştirilmiştir. Otonom iklimlendirme sistemi üç farklı menfez konumu ile beraber çalıştırılmıştır. Menfez konumları ile otonom iklimlendirme sisteminin enerji tasarrufuna olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu konumlarda geleneksel olarak kabul edilen sabit kompresör ve fan seviyelerinde çalışan iklimlendirme ünitesi de denenmiştir. Yapılan kıyaslamalarda geleneksele göre otonom iklimlendirme sisteminin %83.5 enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür.

Otonom iklimlendirme sistemi, menfez konumları, kompresör seviyesi ve fan seviyesi parametre olarak kullanılmıştır. Deneylerde aynı sınır şartlarının sağlanması adına yapay ısıtım standı kurulmuştur. Sayısal analiz için ANSYS CFX programı kullanılmıştır. Sayısal analiz deneysel çalışma ile doğrulanmıştır. Bu analiz, araç içindeki sıcaklık dağılımları, streamline grafikleri ve toplam kabin sıcaklığı gibi değerlerin alınması için kullanılmıştır. Elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar detaylıca açıklanmış ve incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları doğrultusunda elektrikli otomobil üreticilerine çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Otomobiller, Termal Konfor, Enerji Verimliliği, CFD

ABSTRACT

Investigation of the Effect of Thermal Comfort-Focused Autonomous Air Conditioning System Design on Energy Efficiency in Electric Vehicles

Uğurcan YARDIMCI

Ph.D. Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineering

November 2024, Pages: xii + 70

One of the biggest obstacles to the widespread use of electric cars is range anxiety. One of the most important factors that reduces range is the air conditioning unit. These units cooling more than necessary leads to energy loss. In this study, an autonomous air conditioning unit focused on thermal comfort was designed in order to eliminate the energy loss caused by the air conditioning unit. Additionally, the contributions of vent locations to thermal comfort and energy savings were investigated. PMV was used as thermal comfort index.

This study was carried out experimentally and numerically on the Renault Safrane brand vehicle. The autonomous air conditioning system was operated with three different vent positions. The effects of vent locations and autonomous air conditioning system on energy saving were investigated. Additionally, the air conditioning unit operating at fixed compressor and fan levels, which are traditionally accepted, was also tested in these positions. In the comparisons made, it was seen that the autonomous air conditioning system provides 83.5% energy savings compared to the traditional system.

Autonomous air conditioning system, vent positions, compressor level and fan level were used as parameters. An artificial radiation stand was set up to ensure the same boundary conditions in the experiments. ANSYS CFX program was used for numerical analysis. Numerical analysis was validated by experimental study. This analysis was used to obtain values such as temperature contours, streamline graphics and cabin volume temperature inside the vehicle. The numerical and experimental results obtained are explained and examined in detail. Based on the results of the study, various recommendations have been made to electric vehicle manufacturers.

Keywords: Electric Vehicle, Thermal Comfort, Energy Efficiency, CFD

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	İklimlendirme ve yazılım ünitesi 11
Şekil 2.2.	Elektrik motoru ve kompresör 12
Şekil 2.3.	Kabin içerisinde ahşap hava kanalının görüntüsü 12
Şekil 2.4.	İklimlendirme ünitesi bağlantı şeması 13
Şekil 2.5.	ASHRAE sıcaklık hissiyat ölçeği 14
Şekil 2.6.	Yazılım ünitesi arayüzü 16
Şekil 2.7.	Seviye stratejisi algoritması 18
Şekil 2.8.	Yapay ışınım standı LED projektör dizilim aşaması 19
Şekil 2.9.	Yapay ışınım standının aktif ve pasif olduğu durumların gösterimi 20
Şekil 2.10.	Klima menfez - Konum 1 yerleşiminin araç içi görünümü 23
Şekil 2.11.	Klima menfez - Konum 2 yerleşiminin araç içi görünümü 23
Şekil 2.12.	Klima menfez - Konum 3 yerleşiminin araç içi görünümü 24
Şekil 2.13.	Sayısal analizde kullanılan geometrinin perspektif görünümü 28
Şekil 2.14.	Sayısal analizde kullanılan geometrinin yandan görünümü 28
Şekil 2.15.	Sayısal analizde kullanılan geometrinin önden görünümü 29
Şekil 2.16.	Sınır şartlarının girildiği bölgeler 30
Şekil 2.17.	Menfez Konum 1 sayısal analiz içerisindeki görseli 31
Şekil 2.18.	Menfez Konum 2 sayısal analiz içerisindeki görseli 31
Şekil 2.19.	Menfez Konum 3 sayısal analiz içerisindeki görseli 32
Şekil 2.20.	Sıcaklık sensörlerinin yerleşim noktaları, perspektif görünüm 33
Şekil 2.21.	Sıcaklık sensörlerinin yerleşim noktaları, yan görünüm 33
Şekil 2.22.	Meshten bağımsızlık testi 34
Şekil 2.23.	Oluşturulan mesh görseli 34
Şekil 3.1.	Konum farklılıklarına göre otonom sistemin enerji tüketimi - radar grafiği 36
Şekil 3.2.	Konum farklılıklarına göre otonom sistemin enerji tüketimi – çizgi grafiği 36
Şekil 3.3.	Konum farklılıklarına göre otonom sistemin PMV değişimleri 37
Şekil 3.4.	Otonom sistem ile beşinci seviye kompresörün enerji tüketimlerinin kıyaslanması 37
Şekil 3.5.	Sayısal analizin deneysel veriler ile doğrulanması 39
Şekil 3.6.	Beşinci seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri 41
Şekil 3.7.	Konum 1 yerleşiminin beşinci seviye fan hızında hız streamline grafiği 41

Şekil 3.8.	Konum 2 yerleşiminin beşinci seviye fan hızında hız streamline grafiği.....	42
Şekil 3.9.	Konum 3 yerleşiminin beşinci seviye fan hızında hız streamline grafiği.....	42
Şekil 3.10.	Beşinci seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	44
Şekil 3.11.	Beşinci seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	45
Şekil 3.12.	Beşinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	46
Şekil 3.13.	Dördüncü seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri.....	47
Şekil 3.14.	Dördüncü seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)	48
Şekil 3.15.	Dördüncü seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)	49
Şekil 3.16.	Dördüncü seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)	50
Şekil 3.17.	Üçüncü seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri.....	51
Şekil 3.18.	Üçüncü seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	52
Şekil 3.19.	Üçüncü seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	53
Şekil 3.20.	Üçüncü seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	54
Şekil 3.21.	İkinci seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri.....	55
Şekil 3.22.	İkinci seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	56
Şekil 3.23.	İkinci seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	57
Şekil 3.24.	İkinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	58
Şekil 3.25.	Birinci seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri.....	59
Şekil 3.26.	Birinci seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	60
Şekil 3.27.	Birinci seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.).....	61

Şekil 3.28. Birinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)..... 62



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Farklı aktiviteler için metabolizma hızları[59,62–65]	14
Tablo 2.2. Giyilen kıyafete göre <i>I_{cl}</i> değerleri [59,66]	15
Tablo 2.3. Ölçüm aletlerinin teknik özellikleri ve görselleri.....	21
Tablo 2.4. Deneylerde kullanılan parametreler	24
Tablo 2.5. Elektrik motorunun devir sayısı.....	25
Tablo 2.6. Deney dizini.....	25
Tablo 3.1. Mevcut çalışma ile literatür içerisinde bulunan diğer çalışmaların kıyaslanması	38
Tablo 3.2. Beşinci seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi.....	44
Tablo 3.3. Beşinci seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi	45
Tablo 3.4. Beşinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi.....	46
Tablo 3.5. Dördüncü seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi.....	48
Tablo 3.6. Dördüncü seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi	49
Tablo 3.7. Dördüncü seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi.....	50
Tablo 3.8. Üçüncü seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi	52
Tablo 3.9. Üçüncü seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi.....	53
Tablo 3.10. Üçüncü seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi	54
Tablo 3.11. İkinci seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi	56
Tablo 3.12. İkinci seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi.....	57
Tablo 3.13. İkinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi	58
Tablo 3.14. Birinci seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi.....	60
Tablo 3.15. Birinci seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi.....	61
Tablo 3.16. Birinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E	: Birim kütle başına enerji
f_{cl}	: Kıyafetin kapladığı yüzey alanının çıplak yüzey alanına oranı
F_1	: Karıştırma fonksiyonu
g	: Yerçekimi ivmesi
h_c	: Konveksiyon ısı transfer katsayısı
h_i	: Spesifik entalpi (Specific enthalpy)
I_{cl}	: Kıyafetlerin ısı direnci
$\vec{J}_s$	: Türlerin difüzyon akısı (diffusion flux of species)
k_c	: Isıl iletkenlik
L	: Termal yük
M	: Metabolizma hızı
M_p	: Harici iş
P	: Basınç
P_a	: Kısmi su buhar basıncı
t	: Zaman
T_a	: Kabin sıcaklığı
T_{cl}	: Kıyafet yüzey sıcaklığı
T_r	: Radyant sıcaklık (Radiant Temperature)
V_a	: Hava hızı
y	: Duvara en yakın mesafe
ρ	: Yoğunluk
v	: Hız
σ	: Stres tensörü
σ_{eff}	: Efektif stres tensörü

Kısaltmalar

ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
EA	: Elektrikli araç
BEA	: Bataryalı elektrikli araç
PHEA	: Plug-in hybrid elektrikli araç
PMV	: Tahmin edilen ortalama oy (Predicted Mean Vote)
met	: Çalışma metabolizma hızının dinlenme metabolizma hızına oranı

1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar (EA) her geçen gün pazarını büyüterek geleceğe doğru hızla ilerlemektedir. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre 2030'lu yıllarda bataryalı elektrikli araç sayısı (BEA) 31 milyona, plug-in hybrid elektrikli araç (PHEA) sayısının ise 5.9 milyona ulaşacağı öngörülmektedir. Günümüzde BEA ve PHEA kullanıcılarının ileride araçlarını yenilemeleri durumunda tercihlerinin ne olacağı yönünde yapılan araştırmalardan biri olan Lee ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, PHEA sahiplerinin %71.5'i yeni bir araç alırken tekrar PHEA veya BEA tercih ettikleri görülmektedir. BEA sahiplerinin ise %63.2'sinin yeni bir araç alırken daha uzun menzilli bir BEA tercih ettiklerini belirtmektedir [1]. Bu ve bunun gibi çalışmalar göstermektedir ki elektrikli otomobillerin daha fazla yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel menzil anksiyetesidir. Menzillerinin arttırılması bu anksiyetenin de önüne geçip elektrikli araçların yaygınlaşmasını daha da hızlandıracaklar [2].

Elektrikli otomobillerde menzili en çok azaltan faktörlerden biri iklimlendirme sistemleridir [3–5]. Yayınlanması beklenen Euro-7 emisyon standardına uygun olarak, ısıtma için enerji tüketimi gelecekte üretici firmaların tüketim verilerinde bile yer almak zorunda olacaktır [6]. Bu ve benzeri durumlar iklimlendirme ünitesi enerji tüketiminin ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir. Günümüzde kullanılan iklimlendirme sistemleri yeterince otonom olmamalarından dolayı tüketmesi gereken enerji miktarından daha fazla enerji harcamaktadır. Bu durumun sebeplerini aşağıdaki şekilde ele alabiliriz;

- Kabin içerisinden yeterince veri almamak
- Kullanıcı odaklı algoritmalar geliştirmemek
- Enerji tasarrufunu ön plana koyan algoritmalar geliştirmemek

İklimlendirme sistemleri otomobil kabinini termal açıdan konforlu duruma getirmek için kullanılır. Günümüzde otomobil firmaları iklimlendirme sistemleri için çeşitli algoritmalar kullanmaktadır. Fakat otomobili kullanan kişinin giydiği kıyafet özelliklerini, içeride dolaşan akışkanının hızını, kabin içerisinde kaç kişinin seyahat ettiğini veya kabinin nem oranı gibi verilerin eksik olması oluşturulacak algoritmanın fazla enerji harcamasına yol açmaktadır. Ayrıca kabin sıcaklığının kullanıcı inisiyatifine bırakılması da enerji sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır. Kullanıcı, sensör yardımı olmadan bu verileri hesaba katamayacaktır. Sadece önceki tecrübelerinden yola çıkarak tahmini bir sıcaklık değeri belirleyecektir. Kullanıcı enerji tasarrufu yapmak istese bile konforundan feragat ederek olması gerekenden düşük sıcaklıklarda seyahat edecektir. Enerji tasarrufunu dikkate almadan yalnızca konfor odaklı sürüş gerçekleştirmek istese bile belirli bir süre sonunda yukarıdaki verilerin değişmesinden dolayı istediği konfora ulaşamayacaktır. Bu çalışmanın amacı da belirtilen bu sorunları dikkate alarak elektrikli

otomobillerde iklimlendirme sistemi kaynaklı menzil kaybını, sistemi otonom hale getirerek olabilecek en iyi şekilde ortadan kaldırmaktır.

Enerji tasarrufuna, termal konfora veya çeşitli iklimlendirme sistemlerine yönelik literatürde oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir. Li ve arkadaşları araçlarda kullanılan iklimlendirme sistemlerinin termal konfor indeksine bağlı olmamasında kaynaklanan gereksiz enerji tüketimine çözüm bulmak amacıyla 3 farklı iklimlendirme senaryosu önermişlerdir. Bu senaryoları bir araç üzerinde deneysel olarak gerçekleştirmişler ve 27 °C sabit kabin sıcaklığına ayarlı klimaya göre %4.70 enerji tasarrufu sağlamışlardır [7]. Zhang ve arkadaşları elektrikli araçların iklimlendirme sistemlerinin kullanıldığı bölgeye göre farklılık göstermesi gerektiğini önermişlerdir. Farklı sıcaklıklardaki dış ortam için aynı enerjinin harcanmasının gereksiz olduğunu ve yeni iklimlendirme sistemi sayesinde soğutma sırasındaki enerji tüketimini %83.7 oranında azaltılabileceğini gözlemlemişlerdir[8]. Oh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada iklimlendirme sistemindeki hava çıkışlarının yüzdelerini değiştirerek termal konforda iyileşme ve enerji tüketiminde azalma tespit etmişlerdir. Önerdikleri iklimlendirme sistemi sayesinde standart duruma göre %30.2'ye varan enerji tasarrufu elde etmişlerdir. Çalışmalarını sayısal ve deneysel olarak gerçekleştirmişler ve termal konfor indeksi olarak PMV kullanmışlardır [9]. Xie ve arkadaşları termal konforu dâhil ederek yeni bir iklimlendirme kontrol stratejisi önermişler ve önerdikleri sistemin geleneksel sistemlere göre %37.1 kadar enerji tasarrufu sağladığı sonucunu elde etmişlerdir. Çalışmalarını deneysel olarak gerçekleştirmişler ve termal konfor indeksi olarak PMV kullanmışlardır [10]. He ve arkadaşları literatürdeki çoğu çalışmada olduğu gibi iklimlendirme sistemlerinin harcadığı fazla enerjiyi ortadan kaldırıp enerji tasarrufu elde etmeyi amaçlamışlardır. Bunun için kompresörün sabit hızlarda çalışması yerine yeni bir kontrol stratejisi ile farklı hızlarda çalışmasını test etmişlerdir. Analizlerini hem deneysel hem de sayısal olarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma ile hem kabin konforunu iyileştirmişler hem de enerji tasarrufu sağlamışlardır [11]. Huang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada iklimlendirme sistemlerinde kullanılan kompresör için kademeli sabit hızlara sahip farklı bir algoritma uygulayarak enerji tasarrufu sağlamışlardır. Önerdikleri algoritma sayesinde % 22.5 enerji tasarrufu sağlamışlardır. Termal konforu ölçerken PMV indeksini kullanmışlardır [12]. Zhang ve arkadaşları tarafından, güneşin altında park halinde olan araçların kabin sıcaklığının çok artması ve termal konfor açısından doğurduğu sorunlar dikkate alınarak yeni bir ön havalandırma yöntemi önerilmiştir. Çalışmayı hem sayısal hem de deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarından biri olarak hava çıkış açısını değiştirmenin hem termal konforuna hem de enerji tasarrufuna olumlu etki verebileceğini belirlemişlerdir [13]. Xie ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada araç iklimlendirme ünitesini akıllı hale getirerek enerji tasarrufu sağlamışlardır. Sistem için birden fazla kontrol stratejisini incelemişlerdir. Kabin içerisindeki hedef sıcaklığın belirlenmesinde PMV indeksini kullanmışlardır ve %50 ye varan enerji tasarrufu elde etmişlerdir

[14]. Cigarini ve arkadaşları elektrikli otobüslerin enerjisinin %50 sini kullanan iklimlendirme sistemini daha verimli hale getirmek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Almanya'nın Berlin kentinde gerçekleştirdikleri deneyler ile yolculara sordukları termal konfor anketi sayesinde iyileştirilmiş kabin sıcaklığını belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışma ile iklimlendirme sistemine fazladan harcanan enerjinin ortadan kaldırılması ile oldukça iyi bir enerji tasarrufu sağlanacağını ileri sürmüşlerdir [15].

Oh ve arkadaşları bir traktör kabininin termal konforunu iyileştirmek amacıyla klima menfezlerinin konumlarını değiştirerek incelemişlerdir. Çalışmalarını hem sayısal hem de deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Termal konforu ölçmek için PMV indeksini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda klima menfezlerinin yerlerinin değiştirilmesinin termal konforu değiştirdiğini görmüşlerdir [16]. Neacsu ve arkadaşları sayısal olarak gerçekleştirdikleri çalışmada bir aracın ön ve arka klima menfezlerini farklı farklı çalıştırarak kabin içerisindeki termal konfor değişimini incelemişlerdir. Yeni bir termal konfor indeksi önererek, PMV ve PPD gibi indekslerle karşılaştırmışlardır. Analizlerinde solar yükü de sınır şartı olarak kullanmışlardır [17]. Dehne ve arkadaşları geleneksel klima konumları ile yapılan iklimlendirme sistemlerini, kendi önerdikleri dikey yönlü iklimlendirme sistemi ile kıyaslamışlardır. Analizlerini hem sayısal hem de deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Hazır bir araç kabini kullanmak yerine kendileri bir kabin üretmişlerdir. Yolcuları simüle etmek için cansız mankenler kullanmışlardır. Aldıkları sonuçlarda dikey olarak denedikleri kombinasyonların termal konforu arttırdığını gözlemlemişlerdir [18].

Liu ve arkadaşları yaptıkları sayısal çalışmada 'capillary radiation heating system' ismini verdikleri ısıtma panellerini aracın belirli bölgelerine yerleştirerek kabinin termal konforundaki değişimleri analiz etmişlerdir. Termal konfor indeksi olarak PMV kullanmışlardır ve aldıkları sonuçlarında önerdikleri sistem ile termal konforda iyileşme gözlemlemişlerdir [19]. Miao ve arkadaşları bir araç kabininde termal konforu belirlemek için yapılan sıcaklık ölçümünde sensor yerine termal kamera görüntülerinden faydalanmışlardır. Termal görüntülere dayalı oluşturdukları bu sistem ile termal konfor ölçümünde %93.75 lik oranda bir doğruluk yakalamışlardır. Bu tarz ölçümlerin ileride araç iklimlendirme sisteminin bir parçası olmasının yüksek ihtimalli olduğunu belirtmişlerdir [20]. Feng ve arkadaşları yapmış oldukları deneysel çalışma ile insanların termal duyu verileri ve mekân içindeki sıcaklık verilerini alarak bu ikisi arasında termal konforu kullanarak bağlantı kurmayı amaçlamıştır. Deneylerinde farklı cinsiyet ve yaş aralıklarında Çinli 80 yetişkin kullanmışlardır. Bu çalışma, termal konfor ihtiyacının çeşitli insan topluluklarına, halklara veya ırklara göre değişebileceğini göstermiştir. Çalışmalarının araç kabinleri için uygun olacağını ileri süren araştırmacılar iklimlendirme üniteleri tasarlanırken bu verilerin göz ardı edilmemesi gerektiğini belirtmişlerdir [21]. Hu ve arkadaşları yakıt pili ile çalışan bir araç için termal konfor odaklı iklimlendirme sistemi önermişlerdir. Deneysel olan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, sıcaklık odaklı iklimlendirme sistemlerine kıyasla kendi önerdikleri termal konfor odaklı

iklimlendirme sisteminin daha fazla konfor ve kontrol stabilitesi sağladığını göstermiştir. [22]. Ravindra ve arkadaşları farklı sınıftaki araç modellerinde termal konfor ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Termal konfor indeksi olarak PMV kullanmışlardır. Araçların park halinde çok yüksek sıcaklıklara ulaştığını dolayısıyla PMV değerlerinin de +3 değerinin üzerinde olduğu görmüşlerdir. Bu durumun dolaylı olarak bazı sağlık sorunlarının nedeni olabileceği ve bu durumu önlemek için araç rengi, park konumu gibi kriterlerin dikkate alınması gerektiğini önermişlerdir [23]. Li ve arkadaşları yeni bir termal hissiyat modeli geliştirerek, iklimlendirme odasında oluşturdukları araç kabininde insanların cilt sıcaklığının ve değişen sıcaklık şartlarına göre nasıl tepkiler verdiğini deneysel olarak incelemişlerdir. İnsan vücudunun bölümlerini 7 parçada düşünmüşler ve her farklı sıcaklıkta bu parçalarında farklı tepkiler verdiğini gözlemlemişlerdir [24].

Ham ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada sıcak havalarda klima çalıştırılmasının elektrikli araç menzilin azaltması problemine çözüm bulmak için çeşitli koltuk soğutma senaryolarını incelemişlerdir. Senaryoları test ederken PMV ve PPD indekslerini de hesaplamışlardır. Havalandırma ve koltuk soğutma sistemlerinin birlikte kullanılması enerji sarfiyatını %19.3 oranında azalttığını görmüşlerdir [25]. Shin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada koltuk soğutma sistemleri ve havalandırma sistemlerinin beraber kullanılmasının insanların stres seviyesindeki değişimi üzerinde olan etkisini incelemişlerdir. Deneklerden aldıkları bio sinyaller ile stres seviyesini hesaplamışlardır. Su ile soğutulmuş koltuk ve havalandırma sisteminin beraber kullanılmasının yalnızca havalandırma sisteminin kullanılmasına kıyasla stres seviyesini % 28.6 düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Ayrıca bu sistemlerin beraber kullanılmasının enerji tasarrufu sağlayacağını da belirtmişlerdir [26]. Kim ve arkadaşları yaptıkları çalışmada araç kabini içerisinde koltuk ısıtmayı tek başına, havalandırma sistemini tek başına ve ikisini birlikte çalıştırarak sürücünün konforu ile dikkatini incelemişlerdir. Termal konforu ve dikkat gibi değerleri ölçmek için sürücünün deri sıcaklığı ve bio sinyalleri incelenmiştir. Koltuk ısıtmanın yalnız başına kullanılması dikkati arttırdığı fakat kabin içerisinde termal konforu azalttığını gözlemlemişlerdir [27].

Ko ve arkadaşları, elektrikli otomobillerde iklimlendirme sisteminin enerji tüketimini sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmada, CO₂ buhar sıkıştırma sistemi, hava işleme ünitesi ve otomobil kabininden oluşan bir sistem modeli geliştirilmiştir. Hava işleme ünitesi ve kabin modelleri gizli ısı yükü, nem ve nem giderme parametreleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Sonuçlar, kabinin başlangıç sıcaklığının enerji tüketimini ve kabin soğutma süresini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Kabin başlangıç sıcaklığı 35 °C'den 55 °C'ye çıkarıldığında, soğutma süresi ve enerji tüketimi sırasıyla %150 ve %289 artmıştır. Başlangıçtaki bağıl nemin soğutma süresi üzerinde önemsiz bir etkiye sahip olduğu ancak enerji tüketimini %9 artırdığı gözlemlenmiştir [28]. Zong ve arkadaşları, elektrikli otomobillerde kullanılan transkritik CO₂ ısı

pompalı iklimlendirme sistemi için yeni bir kontrol stratejisi önermişlerdir. Çalışmada, PMV modeline dayalı hem bir boyutlu hem de üç boyutlu sistemin enerji tasarrufu ve kabin termal konforu araştırılmıştır. PMV kontrol stratejisinin, geleneksel yöntem (belirli sıcaklıkları önceden ayarlama) kıyasla kompresör güç tüketiminde %9.1-%33.7 oranında düşüş sağladığı görülmüştür [29]. Sood ve arkadaşları, otomobil kabinlerinin termal yönetiminde dört farklı faz değişim malzemesinin etkisini hesaplamalı akışkanlar dinamiği aracılığıyla sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmada, faz değişim malzemesi olarak OM 29, HS 24, Bio Q27 ve $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır. Standart konfor sıcaklığı ve elde edilen sıcaklık arasındaki fark, erime fraksiyonu, sıcaklık düşüşü gibi parametreler göz önünde bulundurularak elde edilen sonuçlara göre, en uygun faz değişim malzemesinin $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ olduğu gözlemlenmiştir [30]. Zong ve arkadaşları, elektrikli otomobillerde soğutucu akışkan olarak CO_2 'nin kullanıldığı termal yönetim sisteminin performansını optimize etmek amacıyla geliştirilmiş paralel soğutma sistemini kullanmışlardır. Deneysel çalışmada, soğutucu akışkan hızı ve hava hızı gibi temel çalışma değişkenlerinin sistemin verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, geliştirilmiş paralel soğutma sistemindeki seri soğutma ünitesi yardımı ile maksimum soğutma kapasitesinde %27.8'lik, sürüş menziline ise 14.6 km'ye kadar arttığını göstermiştir [31]. Jiang ve arkadaşları, elektrikli otomobillerde kabin termal yönetimi için transkritik CO_2 iklimlendirme sisteminin performans analizini ve termal konfor değerlendirmesini sayısal olarak yapmışlardır. Farklı çalışma koşullarının sistem performansı ve optimum deşarj basıncı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Farklı sürüş düzenleri ve farklı ortam sıcaklıkları altında termal konfor ve ekonomik performansın etkilerini araştırmak amacıyla bir kontrol stratejisi tasarlanmıştır. Sonuçlar, termal yönetim sistemi çalıştırıldığında PMV 0'dan 1.5'e çıktıkça sürüş menziline 246 km'den 295 km'ye çıktığını göstermiştir. Sürüş menziline artış oranı en yüksek değerine (%7.3), PMV 0'dan 0.5'e çıktığında ulaşmıştır. Ortam sıcaklığının artmasıyla termal yönetim sisteminin sürüş menzili üzerindeki olumsuz etkisi artmıştır [32]. Yang ve arkadaşları, otomobil kabininde termal konfor ve enerji verimliliği açısından belirli bölgelerdeki soğuk havayı kontrol edebilmek amacıyla bölgesel bir klima tasarlamışlardır. Ayrıca, otomobil durduğunda hava sirkülasyonunu koruyabilen bir hava yönetim stratejisi geliştirmişlerdir. Sonuçlara göre, hava giriş hacmi %60, fan üfleme gücü 53 W azaltılmıştır. Tasarlanan sistem ile 20 dakika güneş altında kalan otomobilin kabin sıcaklığının 12.3 °C düşürüldüğü gözlemlenmiştir [33]. Zhang ve arkadaşları, iklim koşullarının etkilerini göz önünde bulundurarak elektrikli otomobillerin soğutma yükü özelliklerini analiz etmişler ve verimli iklimlendirme sistemlerinin tasarımı için doğal soğutma kaynaklarının kullanılmasının enerji tasarrufu potansiyelini sayısal olarak araştırmışlardır. Sonuçlara göre, hava akış hızının 700 m³/h ve 2000 m³/h olması durumlarında önerilen sistemin performans katsayısının sırasıyla 4.47-6.08 ve 5.78-7.71 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Elde edilen değerlerin geleneksel iklimlendirme sistemine kıyasla % 65.8 daha yüksek olduğu görülmüştür [34]. Tian ve arkadaşları, pistonlu kompresör ve elektronik

genleşme valfine sahip elektrikli otomobil iklimlendirme sisteminin performansını deneysel olarak incelemişler ve yapay sinir ağları aracılığıyla tahmin etmişlerdir. Çalışmada, kompresör hızının, genleşme valfi açıklığının ve ortam sıcaklığının iklimlendirme sisteminin performansına etkisi araştırılmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağları modelinde ortalama bağıl hatalar, soğutucu akışkanın kütleli debisi için %1.87, kondensör ısı atımı için %2.71, soğutma kapasitesi için %1.79 ve kompresör güç tüketimi için %1.64 olarak bulunmuştur [35]. Tan ve Yuan, elektrikli bir otomobilin iklimlendirme sistemini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği aracılığıyla incelemişlerdir. Buz çözme ve buğu giderme modu açıkken ön cam alanındaki ve sürücünün sol ve sağ cam görüş alanındaki hız dağılımının ideal olmadığını, üfleme modunda orta hava kanalındaki çıkışların hız ve hava miktarı dağılımının düzgün olmadığını belirtmişlerdir. Optimizasyondan sonra ön ve yan camlardaki hız dağılımının iyileştirildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca buz çözme ve buğu giderme performansının ulusal standartlara göre araç buz çözme gereksinimlerini karşıladığını öne sürmüşlerdir. Üfleme modunda hava kanallarının hava miktarı dağılımının daha düzgün olduğu ve yolcu bölmesinin konforuna katkıda bulunduğu görülmüştür [36]. Huang ve arkadaşları, elektrikli araçlarda iklimlendirme için genetik algoritma optimizasyonu tabanlı çok kademeli sabit kompresör hız kontrol stratejisi önermişlerdir. Önerilen kontrol sisteminin, yolcu kabini termal konforunu koruyabileceği ve aynı zamanda enerji tasarrufu sağlayabileceği belirtilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, çok kademeli sabit kompresör hız kontrol sisteminin kullanılmasıyla açma/kapama, PID ve EA kontrolörlerine kıyasla sırasıyla %17.5, %7.5 ve %5.8 enerji tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür [37]. Ahmed ve arkadaşları, geleneksel klima sistemlerine alternatif olarak elektrikli araçlarda kullanılmak üzere termoelektrik soğutma tekniğine dayalı yeni bir soğutma sisteminin performansını incelemişlerdir. Sonuçlar, bu sistemin araç içi sıcaklığı etkili bir şekilde düşürdüğünü ve geleneksel sistemlerden daha düşük yıllık maliyete sahip olduğunu göstermiştir. Performans katsayısı daha düşük olmasına rağmen çevresel ve ekonomik avantajları, termoelektrik soğutma sistemini rekabetçi bir seçenek haline getirdiğini söylemişlerdir [38]. He ve arkadaşları, elektrikli araçlarda klima sisteminin enerji tüketimini azaltmak ve kabin sıcaklığını hassas bir şekilde kontrol etmek için derin pekiştirmeli öğrenme algoritmalarını kullanarak yenilikçi bir soğutma stratejisi geliştirmiştir. Pekiştirmeli öğrenme kontrol stratejisi, enerji tüketimini %5.98–7.65 oranında azaltırken sıcaklık dalgalanmalarını 0.07 °C'ye düşürerek geleneksel yöntemlere göre üstün performans göstermiştir. Ayrıca, ortalama sıcaklık hatasını 0.06–0.07 °C arasında tutarak hem enerji verimliliği hem de yüksek hassasiyetli sıcaklık kontrolü sağlamıştır [39]. Xie ve arkadaşları, elektrikli araçlarda yolcu konforunu artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla, ikincil devreli ısı pompası sistemleri için model öngörülü kontrol algoritmasına dayalı akıllı bir eko-ısıtma stratejisi geliştirmiştir. Model öngörülü kontrol, kabin sıcaklığı ve CO₂ konsantrasyonunu hassas bir şekilde kontrol ederken, enerji maliyetlerini PID kontrolörüne göre %5.8, on-off kontrolöre göre ise %16.2 oranında azaltmıştır. Ayrıca, kabin

sıcaklığında hedefe olan sapmayı %50'ye kadar azaltarak geleneksel yöntemlere kıyasla üstün bir performans sergilemiştir [40]. Li ve arkadaşları, elektrikli araçlarda ısı pompalı klima sistemlerinin performansını artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için buharlaştırıcı ve yoğusturucu sıcaklıklarını optimize eden bir metodoloji sunmuştur. Deneysel doğrulamalar, teorik modelin gerçek sistem davranışını %10'dan az sapmayla doğru bir şekilde yansıttığını göstermiştir. Yaz ve kış koşullarında yapılan analizler, sistemin hem soğutma hem de ısıtma modlarında üstün verimlilik sağladığını ortaya koymuştur [41].

Elektrikli araçların enerji verimliliğini arttırmak için termal konforun kullanıldığı gibi binaların, laboratuvarların, kliniklerin ve istasyon gibi yapılarında enerji verimliliğini arttırmak için termal konfor indeksi kullanılmaktadır. Bu tarz yapıların termal konforunu arttırmak ve termal konfor indeksini kullanarak enerji verimliliği sağlamak adına yapılan bazı çalışmalar şu şekildedir. Boutahri ve arkadaşları yaptıkları çalışmada makine öğrenmesini kullanarak ve termal konfor indeksini baz alarak binalarda enerji verimliliği sağlamayı amaçlamışlardır [42]. Shi ve arkadaşları Çin'de bir üniversite binasında dinamik iklimlendirme metodu kullanarak %40'a varana kadar enerji tasarrufu sağlamışlardır. Çalışmalarında termal konfor indeksi olarak PMV kullanmışlardır [43]. Jiang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kentlerin farklı bölgelerindeki binaların iklimlendirmede kullandıkları enerji değerlerini araştırmışlardır. Bu bölgelerin karbon emisyonlarını değerlendirmek için PMV-PPD modelini kullanmışlardır [44]. Zhang ve arkadaşları bir evin mutfağında sayısal ve deneysel olarak termal konfor analizi yapmışlardır. Bu analizler sonucunda termal konforu ve enerji verimliliği iyileştirmek adına önerilerde bulunmuşlardır. Termal konfor indeksi olarak PMV kullanmışlardır [45]. Cui ve arkadaşları, faz değiştiren malzemeleri hastane duvarlarında kullanarak iç ortamın termal konfor değerinde %43.5'e iyileştirme sağlamışlardır. Bu uygulama ile enerji verimliliğinde %7.98'e varan artış sağlamışlardır [46]. Wang ve arkadaşları, Çin'in farklı şehirlerinde ve birden fazla apartman yapısında yapmış oldukları analizler ile her şehrin iklimlendirme sıcaklık ayar noktalarını belirlemişlerdir. Farklı sıcaklık ayar noktaları sayesinde termal konfor değerlerinde %54.23'e varan iyileşme sağlamışlardır [47]. Gao ve arkadaşları Hong Kong içerisinde bulunan kamu binalarında çeşitli iklimlendirme stratejileri denemişlerdir. Stratejilerinden biri olan çapraz havalandırma ile enerji tüketimini arttırmadan termal konforu arttırmışlardır. Ayrıca fanlardan yardım aldıkları stratejilerde yaz aylarında klima kullanımını azaltarak hem enerji tüketimini iyileştirmişler hem de termal konforu arttırmışlardır [48]. Rugani ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada bir oda içerisinde bulunan masanın alt ve üst yüzeylerinden çevreye ısı yayılmasının hem ortamın termal konforuna hem de enerji tasarrufuna etkilerini incelemişlerdir. Bazı durumlarda deneklerin aşırı sıcak hissettikleri şeklinde geri bildirimleri dahi bulunmaktadır. Bu çalışma ofis gibi ortamlarda bu tarz bir ısıtma yönteminin elektrikli ısıtıcılara oranla oldukça iyi enerji tasarrufu sağlayacağını önermektedir [49]. Li ve arkadaşları yaptıkları çalışmada binaların enerji verimliliğini sağlamak

için, yapay zekâ (AI) algoritmalarına dayalı tahmin ve optimizasyon yoluyla akıllı çevresel kontrol uygulamalarını deneyerek termal konforu, hava kirliliğini ve enerji verimliliğini beraber değerlendirmişlerdir. Ortalama olarak hava kirliliği değerlerinde %31 azalma, termal konfor seviyelerinde %45 artış ve enerji tasarrufunda %35 oranında bir iyileşme sağlanmıştır [50]. Li ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma, bina yeşil dönüşümünde enerji verimliliği ile termal konfor arasında denge sağlamak için simülasyona dayalı bir enerji-konfor optimizasyon modeli sunmuştur. Wuhan'daki bir okul binası üzerinde yapılan analizde, dış duvar yalıtım kalınlığı, çatı ısı iletim katsayısı, pencere güneş ısı kazanç katsayısı ve pencere-duvar oranının enerji tasarrufu ve konfor üzerinde kritik parametreler olduğu belirlenmiştir. Optimal çözümler, %4 enerji tasarrufu sağlarken çevresel konforu da artırmaktadır [51]. Lodi ve arkadaşları yapmış oldukları çalışma ile tarihi ve anıtsal yapılarda termal konfor ve enerji verimliliği analizi yapmışlardır. Tarihi ve anıtsal binalardaki enerji verimliliği ve termal konfor, koruma gereklilikleri nedeniyle genellikle sınırlı olup, elektrikli radyant paneller müdahaleci olmayan yapılarıyla bu binalar için uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır. Geliştirilen dinamik simülasyon modeli, panellerin performansını değerlendirerek termal konforu artırdığını ve enerji tüketiminde %70'e varan tasarruf sağladığını göstermiştir. Bu paneller, koruma gereksinimlerini ihlal etmeden tarihi binalarda verimli bir ısıtma yöntemi olarak dikkat çekmektedir [52]. Guo ve arkadaşları, yaptıkları çalışma ile, merkezi HVAC sistemlerinde enerji tüketimi, termal konfor, iç mekân CO₂ seviyelerini optimize etmek için bir Derin Pekistirmeli Öğrenme algoritması ve laboratuvar test verileriyle kalibre edilmiş bir hibrit simülatör geliştirmiştir. Elde ettikleri sonuçlar ile DRL kontrolörünün %21.4 enerji tasarrufu sağladığını, termal konforu iyileştirdiğini ve hava kalitesini artırdığını gözlemlemişlerdir [53]. Mangeli ve arkadaşları, İran'ın yarı sıcak ve kuru ikliminde yöresel ve modern mimari binaların yaz aylarındaki termal konfor seviyelerini ve enerji tüketimlerini karşılaştırmıştır. Kaya oyma yapılar, malzeme özellikleri ve katman kalınlıkları sayesinde enerji tüketmeden daha iyi termal konfor sağlarken, modern binalar aynı koşullarda günlük ortalama 7.7 kW elektrik tüketmiştir. Çalışma, yöresel mimarinin iklim tasarım ilkelerinin günümüz mimarisine uygulanarak enerji tüketiminin azaltılabileceğini göstermiştir [54]. Ma ve arkadaşları, sağlık yapılarında termal konfor, enerji tüketimi ve maliyet optimizasyonuna odaklanarak, Çin'in Ningbo şehrindeki bir dış kliniğinde mevcut durumun simülasyonu ve ideal yenileme stratejilerinin analizi yapılmıştır. Soğutma ve ısıtma set noktalarının ayarlanması ve HVAC sisteminin değiştirilmesiyle, termal konfor önemli ölçüde iyileştirilmiş, ancak enerji tüketimi ve yaşam döngüsü maliyetinde küçük bir artış gözlenmiştir. Araştırma, tedavi alanlarının yenilenmesi için termal konfor, enerji tüketimi ve maliyeti bütüncül bir yaklaşımla ele alan yenilikçi bir rehber sunmaktadır [55].

Bu çalışmada iklimlendirme ünitesi termal konfor odaklı olarak otonom hale getirilmiştir. İklimlendirme ünitesinin otonom hale getirilmesinin yanı sıra klima menfez konumlarının da enerji tasarrufuna ve termal konfora etkileri incelenmiştir. Otonom iklimlendirme ünitesi 3 farklı konum

için deneysel olarak Renault Safrane marka aracın üzerinde incelenmiştir. Oluşturulan deney seti için yapay ışınım standı kurularak tüm deneylerde aynı koşullar sağlanmıştır. Deneysel analizlerin yanı sıra sayısal analizler yapılmış ve hız streamline grafikleri ile sıcaklık kontur grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen veriler değerlendirilerek enerji tasarrufu açısından en iyi kombinasyon belirlenmiştir ve son olarak otomobil üretici firmalara bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar doğrultusunda çeşitli öneriler yapılmıştır.



2. MATERYAL VE METOT

Önceki bölümde belirtilen probleme karşı önerdiğimiz termal konfor odaklı otonom iklimlendirme sistemi deneysel olarak üretilmiş ve Renault Safrane marka aracın üzerinde denenmiştir. Bu bölümde; üretilen deney seti, deneylerde kullanılan ölçüm aletleri, deney parametreleri ve sayısal çalışmanın detayları verilmiştir.

2.1. Deney Seti

Bu çalışmada kullanılan deney seti, araç iklimlendirme elamanlarını içinde barındıran ve bunlara ek olarak sistemi otonom hale getirecek yazılım bölümüne ve ayrıca deneylerin aynı sınır şartlarında gerçekleşmesini sağlayan yapay ısıtım standı bölümüne de sahiptir. Deney seti; iklimlendirme ünitesi, yazılım ünitesi ve yapay ısıtım standı olmak üzere üç bölüm altında detaylandırılmıştır.

2.1.1. İklimlendirme Ünitesi

İklimlendirme ünitesi; kompresör, kondenser, evaporatör, kurutucu filtre, genişleme valfi, fanlar, soğutucu akışkan, koruma ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Kompresör tarafından sistem içerisinde bulunan soğutucu akışkan sıkıştırılarak yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta kondensere gönderilmektedir. Kondenserin dışında bulunan fanın yardımıyla içerisinde dolaşan soğutucu akışkanın sıcaklığı düşürülmektedir. Yüksek basınç ve düşük sıcaklıkta soğutucu akışkan gaz halinden sıvı haline geçerek kurutucu filtreden ve genişleme valfinden geçerek evaporatöre girmektedir. Soğutucu akışkan düşük basınç ve düşük sıcaklıkta gaz halinde evaporatörden çıkarak tekrardan kompresöre girmekte ve çevrimi tamamlamaktadır. Evaporatörün arkasında bulunan fan dış ortamdan çektiği havayı evaporatör üzerinden geçirerek kabin içerisine göndermekte ve kabinin soğutulmasını sağlamaktadır.

İklimlendirme ünitesinde kullanılan kompresör Wutse 5H14 modelidir. Kompresörün model numarası olan 5H14, özellikleri hakkında da bilgiler vermektedir. Model numarasının başında yer alan 5 numarası içerisinde bulunan silindir sayısını ifade etmektedir. Silindirlerin iç çapı 35 mm ve pistonların en alt noktadan en üst noktaya olan hareket mesafesi 28.6 mm dir. İkinci basamakta yer alan H harfi ise giriş ve çıkış portlarının nerede olduğu göstermektedir. Bu kompresördeki H harfi İngilizce tepe ifadesinin karşılığı gelen head kelimesinin baş harfidir. Son olarak son iki basamakta yer alan 14 sayısı ise kompresörün her devirde sisteme pompaladığı akışkan miktarının 10'a bölünmüş halini ifade etmektedir. Bu kompresör 138 cc/rev yer değiştirmeye sahiptir. Ayrıca kompresör kavrama (Clutch) sistemine sahiptir ve R134a soğutucu akışkanın kullanımına uygundur. Kısaca açıklamak gerekirse deneyde kullanılan kompresör 5

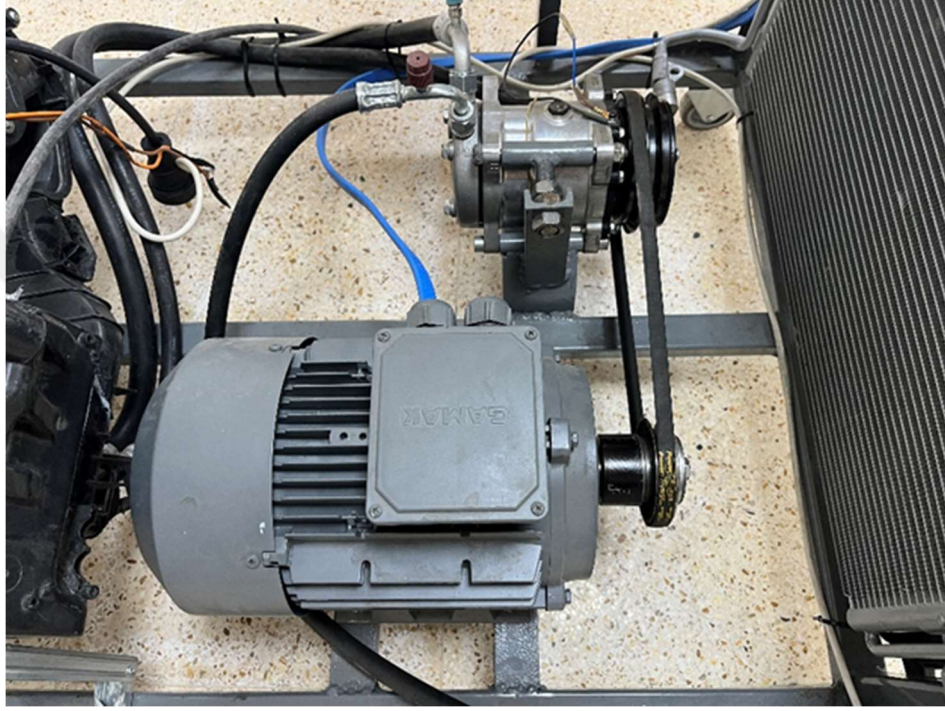
silindirli, üstten çıkışlı ve 138 cc/rev yer değiştirmeye (deplasman / displacement) sahiptir. Kompresör gücünü Gamak marka 4 kW gücünde ve dakikada 3000 devire ulaşabilen 3 faz asenkron motordan almaktadır. Anma momenti 13.1 olan bu elektrik motorunun verimi ise tam güçte %88.1 şeklindedir. Kompresör ve elektrik motoru birbirine kayış ile bağlanmıştır. Bu elektrik motorunun hız kontrolü için Delta VFD037EL43 sürücü kullanılmıştır. Şekil 2.1’de iklimlendirme ve yazılım ünitesi ve ahşap hava kanalı gösterilmektedir. Elektrik motoru ve kompresörün bağlantısı ise Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. İklimlendirme ve yazılım ünitesi

İklimlendirme ünitesinin diğer ekipmanlarından olan kondenser KALE 390600 marka ve 566 mm × 364.6 mm × 18 mm ölçülerine sahiptir. Alüminyum malzemeden üretilen bu kondenserin giriş çapı 16.8 mm çıkış çapı ise 12.9 mm’dir. Kondenserin çıkışında kurutucu filtre bulunmaktadır. Bu deney setinde kullanılan evaporatör, kısılma vanası ve kabin içerisine havanın iletilmesini sağlayan üfleme fanı 2006 model Fiat Doblo marka aracın kalorifer-klima kutusu olarak adlandırılan parçasından alınmıştır. Deney setinde bu donanım kullanılarak zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanmıştır. Klima kutusunun içerisinde Denso 5d3350000 marka evaporatör bulunmaktadır. Evaporatör yanı sıra genleşme valfi ve 144 mm çapında 240 W gücünde üfleme

fanı bulunmaktadır. Bu klima kutusu sayesinde üfleme fanının dışarıdan çektiği hava hazır kanallar yoluyla evaporatör üzerinden geçirilmiştir. Evaporatör üzerinden geçen havayı kabine gönderebilmek için klima kutusunun çıkışına ahşap hava kanalı eklenmiştir. Deneylerde kullanılan Renault Safrane marka aracın kabin filtresi çıkartılmış ve ahşap hava kanalı buraya yerleştirilmiştir. Deney setinden alınan soğuk hava, bu ahşap hava kanalı aracılığıyla araç kabininin içerisine aktarılmıştır. Bu kanalın kabin içerisindeki görüntüsü Şekil 2.3'te verilmiştir.

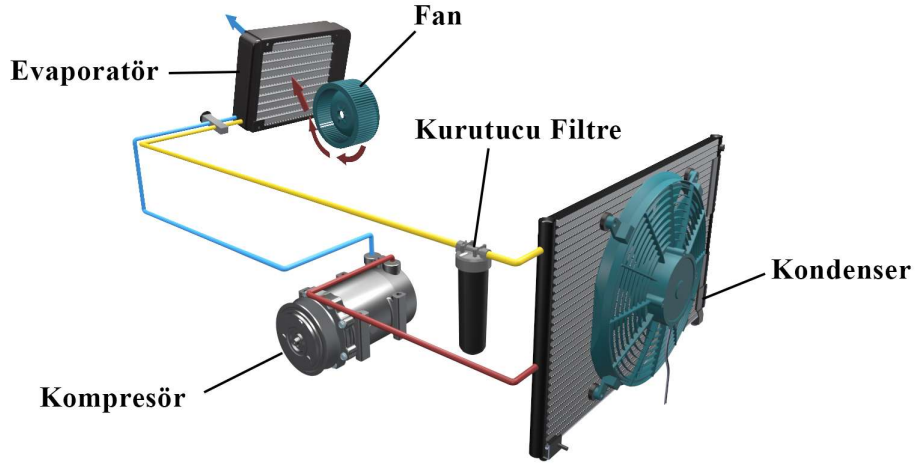


Şekil 2.2. Elektrik motoru ve kompresör



Şekil 2.3. Kabin içerisinde ahşap hava kanalının görüntüsü

İklimlendirme ünitesinde soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Bu soğutucu akışkanın deney seti içerisinde izlediği yol Şekil 2.4’te verilmiştir.

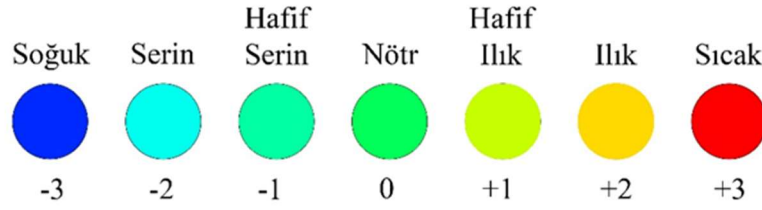


Şekil 2.4. İklimlendirme ünitesi bağlantı şeması

2.1.2. Yazılım Ünitesi

Yazılım ünitesi tasarlanırken araç kabini ve iklimlendirme ünitesi arasında bağlantı kurulması amaçlanmıştır. Bu bağlantıda temel unsur Termal Konfor indeksidir. Bu indeks 1970’li yıllarda Fanger tarafından bir iklimlendirme odasında 1396 katılımcı ile gerçekleştirilen termal konfor deneyleri sonrasında ortaya çıkmıştır [56,57]. Fanger katılımcılardan aldığı geri bildirim ile PMV indeksini (Predicted Mean Vote) oluşturmuştur. PMV indeksi; ortam sıcaklığının, ortalama radyant sıcaklığın, bağıl nemin, hava hızının, metabolizma hızının ve giysi yalıtımının bir fonksiyonudur [58].

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) tarafından ise PMV indeksi kullanılarak birçok katılımcı ile beraber ASHRAE sıcaklık hissiyat ölçeği (thermal sensation scale) oluşturulmuştur [59,60]. Bu ölçek ortamdan duyulan memnuniyeti 7 seviyede belirlemektedir. Bu seviyeler Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. ASHRAE sıcaklık hissiyat ölçeği

ASHRAE sıcaklık ölçeğinde PMV indeksinin sıcak ve soğuk arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerlerden en ideali Nötr yani PMV indeksinin 0 olduğu durumdur. Bu çalışmada kullanılan yazılımda da araç kabininin Nötr durumda olması amaçlanmıştır. PMV indeksinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır [7,9,12,16,61]:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times L \quad (2.1)$$

$$L = \{(M - M_p) - 0.00305[5733 - 6.99(M - M_p) - P_a] \\ - 0.42[(M - M_p) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - P_a) \\ - 0.0014M(34 - T_a) - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl}[(T_{cl} + 273)^4 - (T_r + 273)^4] \\ - f_{cl}h_c(T_{cl} - T_a)\} \quad (2.2)$$

Denklem 2.1’de bilinmeyen L (termal yük), denklem 2.2’de açıklanmıştır. Diğer bir bilinmeyen olan ve metabolizma hızını temsil eden M değeri ise sabit değer olarak alınmıştır. Metabolizma hızı yapılan aktiviteye göre değişiklik göstermektedir. Tablo 2.1’de verilen değerler içerisinde bu çalışmada araç sürmeye karşılık gelen 70 W/m² değeri seçilmiştir.

Tablo 2.1. Farklı aktiviteler için metabolizma hızları[59,62–65]

Yapılan Aktivite	Metabolizma Hızı	
	W/m ²	met
Uyumak	40	0.7
0,9 m/s Hızla Yürümek	115	2
1,2 m/s Hızla Yürümek	150	2,6
Okumak	55	1
Otomobil Kullanmak	60-115	1.0-2.0
Uçak Kullanmak	70	1,2
Yemek Pişirmek	95-115	1.6-2.0
Dans Etmek	140-255	2.4-4.4

Denklem 2.2 içerisinde yer alan T_r radyant sıcaklık; düzensiz kapalı bir ortamda gerçekleşen radyant ısı transferinin, insan vücudundan gerçekleşen radyant ısı transferine eşit olduğu sıcaklıktır [66]. Radyant sıcaklık, ölçüm zorluklarından ve fazla sensör gerekliliğinden dolayı literatürde birçok çalışmada kabin sıcaklığı ile eşit sayılmıştır [66,67]. Bu çalışmada da T_a kabin sıcaklığı ve T_r radyant sıcaklık eşit olarak kullanılmıştır. Denklem 2.2 içerisindeki diğer değişkenler h_c , f_{cl} , P_a ve T_{cl} sırasıyla 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6 numaralı denklemlerde açıklanmıştır [61,67,68]. T_{cl} kıyafet yüzey sıcaklığını, h_c konveksiyon ısı transfer katsayısını, P_a kısmi su buharı basıncı ve f_{cl} ise kıyafetin kapladığı yüzey alanının çıplak yüzey alanına oranını göstermektedir. Denklem 2.4 ve denklem 2.6 içerisinde bulunan diğer değişken I_{cl} ise kıyafetlerin ısıl direncini temsil etmektedir. I_{cl} değerleri sabit değerlerdir fakat giyilen kıyafete göre değişiklik göstermektedir. Bu değerler Tablo 2.2’de verilmiştir. Bu çalışmada da pantolon ve kısa kollu gömlek değerine karşılık gelen 0.57 clo (Kıyafet Yalıtımı / Clothing Insulation) değeri seçilmiştir. 1 clo değeri $0.155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ değerine karşılık gelmektedir [59].

$$h_c = \begin{cases} 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} & , 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{V_a} \\ 12.1\sqrt{V_a} & , 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V_a} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 0.2I_{cl} & , I_{cl} < 0.5 \\ 1.05 + 0.1I_{cl} & , I_{cl} \geq 0.5 \end{cases} \quad (2.4)$$

$$P_a = RH \cdot 6.1094 \cdot \exp[(17.625 \cdot T_a)/(T_a + 243.04)] \quad (2.5)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028(M - M_p)$$

$$-0.155I_{cl}\{(M - M_p) - 3.05 \times 10^{-3}(5733 - 6.99(M - M_p) - P_a)$$

$$-0.42[(M - M_p) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - T_a)\} \quad (2.6)$$

Tablo 2.2. Giyilen kıyafete göre I_{cl} değerleri [59,66]

Kıyafet Açıklaması	I_{cl} (clo)
Şort ve Kısa Kollu Gömlek	0.36
Pantolon, Kısa Kollu Gömlek	0.57
Pantolon, Uzun Kollu Gömlek	0.61
Pantolon, Uzun Kollu Gömlek ve Ceket	0.96
Eşofman Altı ve Uzun Kollu Sweatshirt	0.74
Uzun Kollu Tulum, Tişört	0.72
Tulum, Uzun Kollu Gömlek, Tişört	0.89
Bilek Hizasında Etek, Uzun Kollu Gömlek, Ceket	1.10
Diz Boyu Etek, Uzun Kollu Gömlek, Tam Slip	0.67

Yazılım ünitesine tanımlanacak PMV ve içerisindeki diğer bilinmezlerin formülleri yukarıda belirtilmiştir. Bu ünite oluşturulurken iki farklı versiyonda çalışması istenmiştir. Bunlardan ilki iklimlendirme ünitesindeki bütün elemanların manuel olarak çalıştırılması ve durdurulmasıdır. Bu versiyonda üfleme fanı, elektrik motoru ve kompresör sisteme manuel olarak dâhil edilip çıkartılabilmektedir. Ek olarak hangi yüzdelerde çalışması gerektiği de belirlenebilmektedir. İkinci versiyonda ise sistem tam otonom olarak çalışmaktadır. Hangi esnada hangi fan seviyesinin çalışacağına, elektrik motorunun seviyesine ve kompresörün devreye girip çıkmasına, kabinde aldığı veriler ve tanımladığımız algoritma sayesinde karar vermektedir. Yazılım ünitesinin arayüzü Şekil 2.6’da gösterilmektedir.

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with the following sections:

- Blower Fan:** Contains five rows for Stage 1 to Stage 5. Each row has a checkbox, a percentage input field, and a Va input field. Stage 1 is checked with 50% and Va1: 1. Below are 'Start' and 'Stop' buttons.
- Compressor Freq:** Contains five rows for Stage 1 to Stage 5. Each row has a checkbox, a frequency input field, and a Va input field. Stage 1 is checked with 21 Hz and Va1: 1. Below are 'Start' and 'Stop' buttons.
- Temperatures:** Contains five rows for Channel 1 to Channel 5, each with a temperature input field. Channel 1 is 24,1. Below is an 'Avg Temp Ta (°C)' field with value 25.
- Compressor Clutch:** Contains 'Enable' and 'Disable' buttons.
- Com Port Serial Settings:** Contains 'Com Port' (COM3), 'Baud Rate' (9600), and 'Connect'/'Disconnect' buttons.
- Test Params:** Contains input fields for M (70), Tcd (33,17534), PMV (-5,64297008134961), Mp (0), Pa (15,80868), lcl (0,08835), fcl (1,106985), RH (0,5), and hc (12,1). Below are 'Test_Start' and 'Test Stop' buttons.

A status bar at the bottom left shows 'Bağlantı Kuruldu' (Connection Established).

Şekil 2.6. Yazılım ünitesi arayüzü

Her iki versiyonda da metabolizma hızı, kıyafetlerin ısı direnci, harici iş, nem ve hava hızları manuel olarak sistem çalıştırılmadan arayüze girilmektedir. Nem deney başlamadan ölçüm cihazıyla ölçülüp sisteme yazılmaktadır. Hava hızı ise her fan seviyesi için deneylerden önce ölçüm cihazları tarafından ölçülmüş ve yüzdeye karşılık gelen hız değerleri sisteme manuel olarak girilmiştir. Üfleme fanının yüzdeleri değiştirilmediği için sisteme giren havanın hızı da her yüzde için sabit kalmaktadır. Diğer değişkenler ise sabit oldukları için bir defa sisteme girilmektedir. PMV indeksinin hesaplanması için geriye yalnızca kabinin ortalama sıcaklığı kalmaktadır. Bu sıcaklık değeri de kabin içerisine yerleştirilen 5 adet sıcaklık sensorünün ortalaması alınarak

bulunmaktadır. Sıcaklık sensörünün özellikleri ve sensörlerin yerleştirildiği noktalar ilerleyen bölümlerde anlatılmaktadır. İklimlendirme ünitesinde yer alan elektrik motoru ve üfleme fanı 5 seviyede çalışmaktadır.

Otonom sistemin algoritması oluşturulurken iki temel üzerinde durulmuştur. Bunlar;

- Kabin için optimum PMV değerine sahip olması
- Fazladan tüketilen enerji miktarını ortadan kaldırarak enerji verimliliği sağlanması

Kabinin optimum PMV değerinde yani 0 değerinde tutulması ilk öncelik olarak düşünülmüştür. İkinci olarak, enerji verimliliğini en üst seviyede tutabilmek için enerji tüketen birimler yani üfleme fanı ve kompresör enerji tüketimleri açısından kıyaslanmıştır. Bu iki birim arasında kompresörün daha fazla enerji tükettiği açıktır. Bu sebeple algoritma oluşturulurken kompresörün en hızlı şekilde devre dışı kalması amaçlanmıştır. Bütün bu maddeler bir arada düşünülerek seviye stratejisi olarak adlandırdığımız otonom sistem algoritması oluşturulmuştur.

Seviye stratejisi, 5 seviyeye ayrılan fan ve kompresörün kabinden alınan verilerle üretilen PMV değerlerine göre sırasıyla seviye düşmesini ardından da tamamen durmasını amaçlanmıştır. PMV değerinin optimum değerin üzerine çıkması ile fan öncelikli olmak üzere tekrar devreye girip yükselen PMV değerini optimuma getirmesi sağlanmıştır.

Seviye stratejisi algoritması Şekil 2.7’de sunulmuştur. Sistem çalıştırılmaya başlandığında PMV değerinin 2 ve üzerinde çıkması sonucu kompresör ve üfleme fanı beşinci seviye ile çalışmaya başlar. Her 5 saniyede bir sistem ölçümler alarak PMV değeri üretir. Bu değer $1.5 \leq PMV < 2$ ise kompresör dördüncü seviyede fan ise beşinci seviyede çalışır, $1 \leq PMV < 1.5$ ise kompresör üçüncü seviyede fan ise beşinci seviyede çalışır, $0.5 \leq PMV < 1$ ise kompresör ikinci seviyede fan ise dördüncü seviyede çalışır, $0 \leq PMV < 0.5$ ise kompresör birinci seviyede fan ise üçüncü seviyede çalışır. $PMV < 0$ ise fan hızı bir seviye düşürülür ve eğer fan hızı birinci seviyede ise fan kapatılır.

2.1.3. Yapay Işınım Standı

Bu çalışmanın önemli parçalarından biri de bu bölümde anlatılacak olan yapay ışınım standıdır. Bu standın kurulma amacı ışınım parametresinin tüm deneylere eşit şekilde dâhil edilmesidir. Gerçek bir dış ortamda elde edilecek ışınım değerleri sabit olmayacağı için kıyaslama açısından deneylerin doğruluğunu azaltacaktır. Örnek vermek gerekirse deneylerin gerçekleştiği esnada bir bulutun güneş ışınlarını kesmesi sonucu ışınım değerlerinde dalgalanmalar yaşanacaktır. Bu dalgalanmaları tüm deneyler için aynı şekilde yakalamak oldukça zordur. Ek olarak ortam sıcaklığının da tüm deney başlangıçlarında aynı olması yine kapalı ve yapay bir ortamı gerektirmektedir.



Şekil 2.8. Yapay ışınım standı LED projektör dizilim aşaması

Yapay ışınım standında literatürde de kullanıldığı gibi LED projektörler kullanılmıştır [69,70]. Çerçeve ile beraber 28 cm × 24 cm 200W LED projektörler seçilmiştir. LED projektörlerden 7 yatay sıra ve 4 dikey sıra olmak üzere toplamda 28 adet kullanılmıştır. Yatayda projektörler arasında 15 cm dikeyde ise 5 cm aralık bırakılmıştır. Projektörler aracın ön camının başladığı noktadan başlayarak arka cama doğru yerleştirilmiştir. Aracın tavanı ile projektörlerin arası 5 cm mesafe olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu şekilde aracın tavanında 42 farklı noktada yapılan ışınım ölçümlerinin ortalaması olarak 900 W/m^2 bulunmuştur. Şekil 2.8’de LED

projektörlerin montajının gerçekleştirilme anına ait bir görsel bulunurken Şekil 2.9'da ise yapay ışınım standının aktif haldeki durumu ile pasif haldeki yani LED projektörlerin yandığı ve yanmadığı durumlar gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Yapay ışınım standının aktif ve pasif olduğu durumların gösterimi

2.2. Ölçüm Aletleri ve Deney Parametreleri

Bu çalışmada kullanılan ölçüm aletleri nemi, sıcaklığı, hava hızını ve ışıınım değerlerini belirlemek için kullanılmıştır. Bu bölümde bu ölçüm cihazları hakkında bilgiler verilmiştir. Bunun yanı sıra deneylerde kullanılan parametrelerde bu bölümde açıklanmıştır.

2.2.1. Ölçüm Aletleri

Yazılım ünitesinin otomatik olarak ölçtüğü kabin sıcaklığı, bu üniteye dışarıdan eklenmesi gereken hava hızı ve nem, yapay ışıınım standının oluşturduğu ışıınım değeri, sayısal analiz için gerekli olan dış ortam sıcaklığı ile menfezden akan havanın sıcaklığı gibi değerlerin belirlenebilmesi için ölçüm aletleri kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerin bazıları deneylerden önce, bazıları deney başladığı anda ve bazıları da deneyler esnasında gerçekleşmiştir. Deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin teknik özellikleri ve fotoğrafları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3. Ölçüm aletlerinin teknik özellikleri ve görselleri

Ölçüm Aleti	Teknik Özellikler	Fotoğraf
Dijital Sıcaklık Sensörü	-10 °C ile +85 °C ölçüm aralığı	
	± 0.5 hassasiyet	
	750 ms tepki süresi	
Testo 410i	0,4 ile 30 m/s ölçüm aralığı	
	± 0.5 hassasiyet	
	30 mm pervane çapı	
Testo 405i	-20 °C ile +60 °C ölçüm aralığı	
	± 0.5 hassasiyet	
	9 mm prob shaft ucu çapı	
Testo 605i	-20°C ile +50 °C çalışma aralığı	
	± 3 % nem ölçüm hassasiyeti	
	0.1 % çözünürlük	
Kipp & Zonen cmp3	-40 °C ile +80 °C çalışma aralığı	
	180° görüş alanı	
	Maksimum ışıınım ölçümü 2000 W/m ²	

Yazılım ünitesi bölümünde de belirtildiği gibi üfleme fanının yüzdelere göre hız değerleri ahşap hava kanalının çıkışında testo 410i ve testo 405i ile ayrı ayrı ölçülmüştür. İki ayrı ölçüm cihazı ölçülmesinin sebebi ölçüm cihazlarından kaynaklanacak sorunları en aza indirmektir. Deneylere başlamadan her fan değeri ayrı ayrı çalıştırılıp ölçümler alınmıştır ve yazılım ünitesine girilmiştir. Hava hızı ölçümleri yapıldığı esnada sayısal analiz içinde sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Bu sıcaklık değerleri için de testo 410i ve testo 605i kullanılmıştır. Deneyler başlamadan alınan diğer bir veri ise ışıınım değeridir. Işıınım değeri yapay ışıınım standı ve aracın tavanı arasına 42 farklı noktadan yapılan ölçümler aracılığıyla bulunmuştur. Işıınım için Kipp & Zonen cmp3 cihazı kullanılmıştır. Deneylerin başlama esnasında yapılan ölçüm ise nem ölçümüdür. Burada testo605i kullanılmış ve alınan veriler deneyler başlamadan hemen önce yazılım ünitesine girilmiştir. Yapılan ölçümlerde test süresi boyunca nem değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığından dolayı nem deneyler esnasında değiştirilmemiş ve sabit olarak kabul edilmiştir. Deneyler esnasında ise kabinden anlık sıcaklık verileri alınmıştır. Bu veriler dijital sıcaklık sensörü aracılığıyla yazılım ünitesine iletilmiştir. Bu dijital sıcaklık sensörü kabin içerisinde 5 ayrı noktaya yerleştirilmiştir.

2.2.2. Deney Parametreleri

Araç kabini içerisinde PMV odaklı otonom iklimlendirme yaptığımız bu çalışmada birden fazla değişkenin soğutma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu değişkenler otonom sistem, üfleme fan hızı ve menfez konumları olmak üzere üç başlık altındadır. Üfleme fan hızı 5 seviyeden menfez konumları ise 3 farklı bölgeden oluşmaktadır. Menfez konumları seçilirken ilk konum için genel olarak araçlarda kullanılan standart konum tercih edildi. Bu konumun diğer konumlar ile kıyaslanması bize iyi veriler sunmaktadır. Konum 1'in görseli Şekil 2.10'da verilmiştir.

Bütün konumlarda kullanılan klima menfezleri 3 cm çaplı boru ile ahşap hava kanalının çıkışına bağlanmıştır. Bu borunun dışı yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Ahşap hava kanalından alınan havanın çıkışı için boruların sonlarına 2 cm aralıklarla ve 1 cm kenar uzunluğuna sahip kare delikler açılmıştır. Bu deliklerin dışına akışın istediğimiz doğrultuda hareket etmesi için menfezler yapılmıştır. Bu menfezler 14 cm uzunluğa, 3 cm derinliğe, üstten 5.5 cm genişliğe ve alttan ise 2.5 cm genişliğe sahiptirler. Genişliklerin farklı olması, menfezlerin alttan yukarıya doğru genişleyen bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Konum 1 ve Konum 3'te yer alan bütün menfezler aynıdır fakat Konum 2'de bir menfezin uzunluğu 39 cm, iç deliklerin arasındaki mesafe ise 4 cm şeklindedir. Konum 2'deki bu farklılık sayesinde, giriş debilerinin aynı olacak şekilde çıkış alanının arttırılmasının ve çıkan soğuk akışkanın hacim içerisinde yayılmasının ne gibi sonuçlar doğuracağı da görülmek istenmiştir. Kısaca belirtmek gerekirse Konum 1 ve Konum 3'te iki adet kısa menfez Konum 2'de ise bir adet kısa bir adette uzun menfez bulunmaktadır. Konum 2 ve Konum 3 sırasıyla Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Klima menfez - Konum 1 yerleşiminin araç içi görünümü



Şekil 2.11. Klima menfez - Konum 2 yerleşiminin araç içi görünümü

Üfleme fanından gelen havanın doğrudan insan vücudu ile teması bazı sağlık problemlerine yol açabilmektedir. Bu konuda Morris ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada sıcak havalarda kullanılan fanın bazı kardiyovasküler rahatsızlıklara sebep olduğu görülmektedir [71]. Bu çalışmada doğrudan fan kullanılmamaktadır fakat menfezlerden çıkan havanın fan ile benzer olabileceği göz önünde bulundurulmuştur. Konum 2 ve Konum 3 seçilirken bu konuya da dikkat edilmiştir.



Şekil 2.12. Klima menfez - Konum 3 yerleşiminin araç içi görünümü

Tablo 2.4'te bütün parametreler ve seviyeleri verilmiştir. Otonom sistem içerisinde kompresörü hareket ettiren elektrik motorunun 5 farklı seviyede çalıştığı belirtilmişti. Bu seviyeler Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Deneylerde kullanılan parametreler

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5
Sistemin Çalışma Şekli	Otonom	Manuel			
Konum	Konum 1	Konum 2	Konum 3		
Fan Hızı	1 m/s	1.3 m/s	1.7 m/s	2.1 m/s	2.5 m/s

Tablo 2.5. Elektrik motorunun devir sayısı

Motorun Çalışma Seviyesi	Senkron Hız (rpm)
Seviye 5	2700
Seviye 4	2340
Seviye 3	1980
Seviye 2	1620
Seviye 1	1260

Tablo 2.6. Deney dizini

Deney No	Konum	Sistem Çalışma Şekli	Elektrik Motor Seviyesi	Üfleme Fanı Seviyesi	Gerçekleştirme Yöntemi
1	Konum 1	Otonom	-	-	Deneyssel
2	Konum 2	Otonom	-	-	Deneyssel
3	Konum 3	Otonom	-	-	Deneyssel
4	Konum 1	Manuel	5	5	Deneyssel
5	Konum 2	Manuel	5	5	Deneyssel
6	Konum 3	Manuel	5	5	Deneyssel
7	Konum 1	-	5	4	Sayısal
8	Konum 1	-	5	3	Sayısal
9	Konum 1	-	5	2	Sayısal
10	Konum 1	-	5	1	Sayısal
11	Konum 2	-	5	4	Sayısal
12	Konum 2	-	5	3	Sayısal
13	Konum 2	-	5	2	Sayısal
14	Konum 2	-	5	1	Sayısal
15	Konum 3	-	5	4	Sayısal
16	Konum 3	-	5	3	Sayısal
17	Konum 3	-	5	2	Sayısal
18	Konum 3	-	5	1	Sayısal

Tablo 2.6’da ise yapılan deneylerde hangi parametrelerin hangi deney numarasında kullanıldığı belirtilmektedir. Bütün deneylerin numaralarının ve detaylarının verildiği bu tablo deney dizini olarak da adlandırılmaktadır.

2.3. Sayısal Analiz

Önceki bölümlerde anlatılan deneysel analizler ANSYS 2022 R2 programı ve CFX modülü aracılığıyla sayısal olarak da gerçekleştirilmiştir. Daha fazla veri elde etmek, ileride yapılacak değişiklikleri ilk olarak sayısal analiz üzerinde görmek, zamandan ve maliyetten tasarruf etmek

amacıyla sayısal analizler bu çalışmaya eklenmiştir. Bu bölümde sayısal analizlerle ilgili detaylar verilmiştir.

2.3.1. Yürütülen Denklemler

Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin (CFD) yapı taşlarıdır [72]. Kütlenin korunumu ilkesinin akış modellerine uygulanması sonucu ortaya çıkan yönetici akış denkleminde süreklilik denklemi denir [73]. Süreklilik denklemi denklem 2.7’de gösterilmiştir. Momentum denklemi Newton’un ikinci yasasına dayanmaktadır ve momentumun değişim hızı bir akışkan parçası üzerindeki kuvvetlerin toplamına eşittir şeklinde ifade edilir [74]. Momentum denklemi denklem 2.8’de verilmiştir. Enerji denkleminin türetilmesinde ise Termodinamiğin 1. Yasası kullanılmıştır. Bir kontrol hacminde zamanla meydana gelen toplam enerji değişimi, hacme etki eden kuvvetlerin iş yapma hızı ve hacme giren net ısı akısı ile elde edilir [75]. Bu prensipler ile oluşturulmuş enerji denklemi denklem 2.9’da sunulmuştur.

Süreklilik Denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2.7)$$

Momentum Denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla \cdot (\vec{\sigma}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2.8)$$

Enerji Denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + P)) = \nabla \cdot \left(k_c \nabla T - \sum_i h_i \vec{J}_s + (\sigma_{eff} \cdot \vec{v}) \right) \quad (2.9)$$

Bu çalışmada yapılan sayısal analizde akış türbülanslıdır. Türbülanslı bir akışın, laminar bir akışa karşı önemli bir özelliği, moleküllerin karmaşık düzensiz yollar boyunca kaotik bir şekilde hareket etmesidir. Moleküller ve katı duvarlar arasındaki momentum ve enerji değişimi arttığı için, aynı koşullar altında türbülanslı akış, laminar akışa kıyasla daha yüksek çeper sürtünmesine ve ısı transferine neden olur [75]. Sayısal analizlerde kullanılan türbülans modelleri sınıflandırılmıştır. Bu modellerden en popüler olanı k-ε model ailesidir. İki denklemlilik eddy-viskozite modellerinin altında yer alan bu model türbülansın daha fazla fiziksel özelliğini dikkate alır. "standart" k-ε modeli, k'nin türbülans kinetik enerjisi (turbulence kinetic energy) ve ε'nin türbülans enerjisi dağılım hızı (dissipation rate) olduğu geniş bir kullanıma sahiptir. Standart k-ε modeli gibi yüksek Reynolds sayılı modeller, duvara yakın bölgeler gibi düşük Reynolds sayılı akışlara uygulandığında genellikle başarısız olurlar [76].

İki denklemlı eddy-viskozite denklemlerinden bir diğeri de SST (shear stress transport) k- ω modelidir. k- ω modellerinde, ω , ϵ 'nin k'ye bölünmüş hali olarak tanımlanır. Menter tarafından 1994 yılında, k- ω ve k- ϵ modellerinin avantajlarından yararlanan SST- k- ω modeli geliştirilmiştir [77]. SST k- ω modeli, temelde duvar sınırlarına yakın yerlerde bir k- ω modeli iken, duvarlardan uzak bölgelerde dönüştürülmüş bir k- ϵ modeline eşdeğerdır. k- ω ve k- ϵ formülasyonları arasındaki geçiş, karıştırma fonksiyonları (blending functions) tarafından kontrol edilir [76]. Son zamanlarda, ticari bir CFD yazılımı olan CFX, çoklu avantajları nedeniyle (basit ve sağlam formülasyon, ısı transferi tahminleri için yüksek kalite ve diğeri modellerle kolay birleştirme gibi) ω denkleminde dayalı türbülans modellerine vurgu yapmıştır [76]. Bu sebeplerden ve literatür içerisinde benzer çalışmalarda da kullanıldığı için bu çalışmada SST-k- ω modeli türbülans modeli olarak seçilmiştir [18]. SST-k- ω modelinin denklemleri denklem 10 ile denklem 14 arasında verilmiştir [78].

SST-k- ω Denklemleri;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i k)}{\partial x_i} = \widetilde{P}_k - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_k \mu_i) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i \omega)}{\partial x_i} = \alpha \rho S^2 - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_i) \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \right] + 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \quad (2.11)$$

$$F_1 = \tanh \left\{ \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right\}^4 \quad (2.12)$$

$$CD_{k\omega} = \max \left(2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-10} \right) \quad (2.13)$$

$$\nu_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)} \quad (2.14)$$

$$F_2 = \tanh \left[\left[\max \left(\frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right) \right]^2 \right] \quad (2.15)$$

$$P_k = \mu_i \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \rightarrow \widetilde{P}_k = \min(P_k, 10 \cdot \beta^* \rho k \omega) \quad (2.16)$$

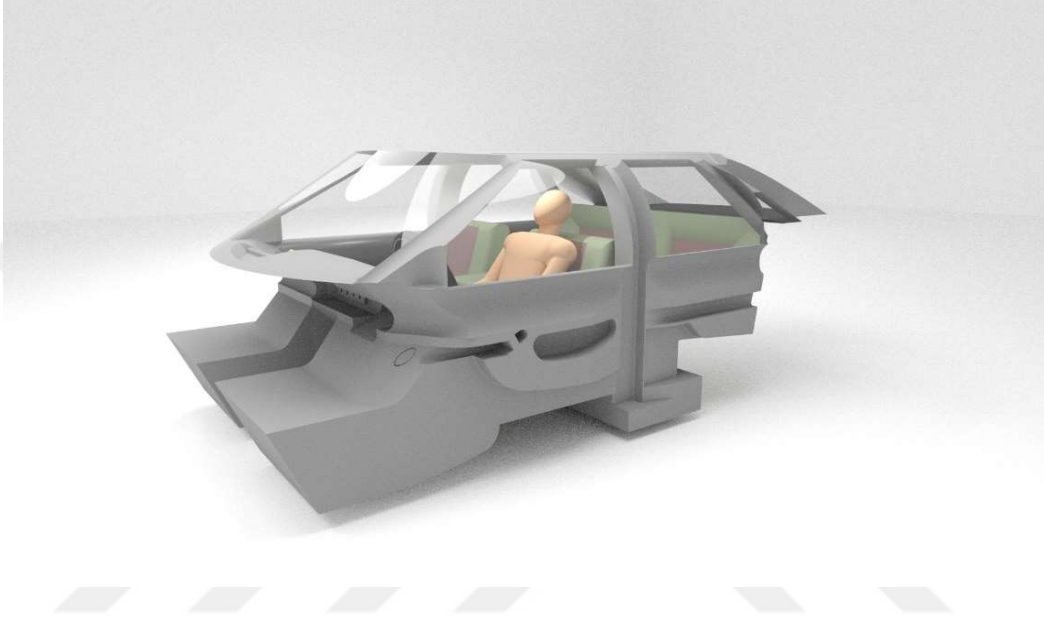
$$\alpha = \alpha_1 F + \alpha_2 (1 - F) \quad (2.17)$$

Bu denklemlerde kullanılan bazı sabitler şu şekildedir;

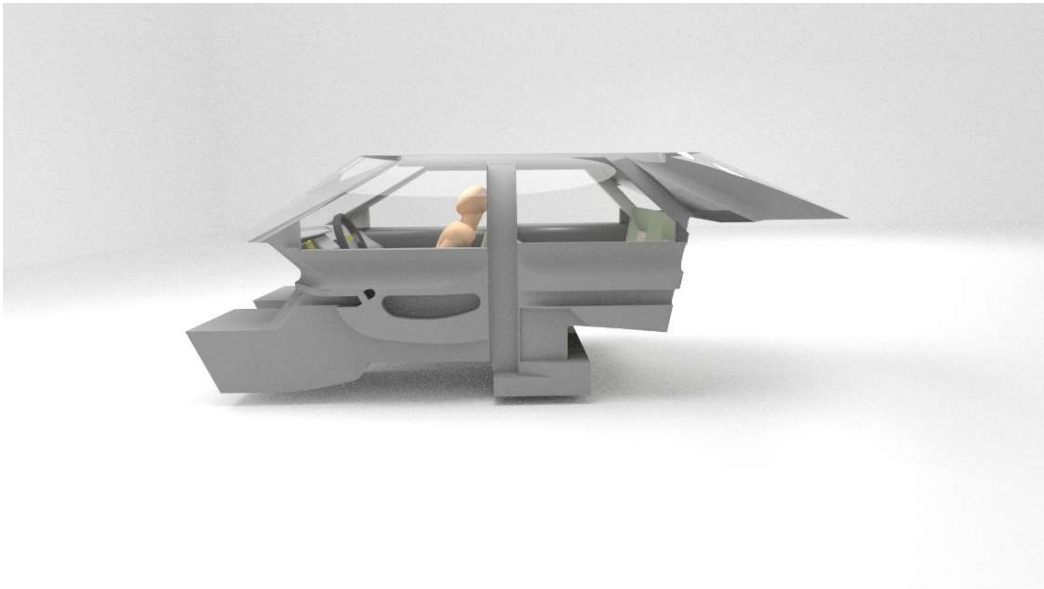
- $\beta^* = 0.09, \alpha_1 = 5/9, \beta_1 = 3/40, \sigma_{k1} = 0.85, \sigma_{\omega 1} = 0.5, \alpha_2 = 0.44,$
- $\beta_2 = 0.0828, \sigma_{k2} = 1, \sigma_{\omega 2} = 0.856$

2.3.2. Geometri

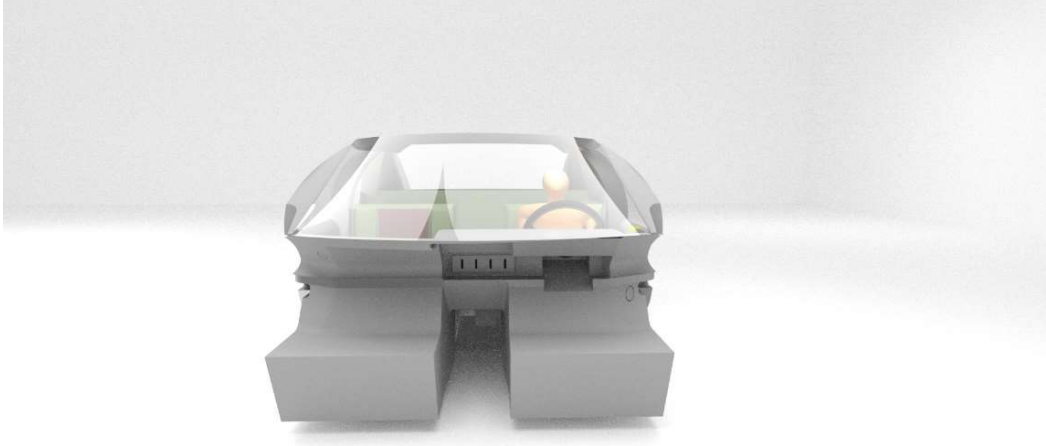
Deney seti bölümünde de belirtildiği gibi bu çalışmada Renault Safrane marka araç kullanılmıştır. Sayısal çalışmada kullanılmak üzere bu aracın iç hacmi çizilmiştir. Çizim yapılırken ölçülere dikkat edilmiş fakat mesh sayısının çok fazla artmaması adına bazı bölümlerde geometri basit hale getirilmiştir. Araç 5 koltuklu, sedan kasa tipine sahiptir ve iç hacmi $2.482 m^3$ 'dür.



Şekil 2.13. Sayısal analizde kullanılan geometrinin perspektif görünümü



Şekil 2.14. Sayısal analizde kullanılan geometrinin yandan görünümü



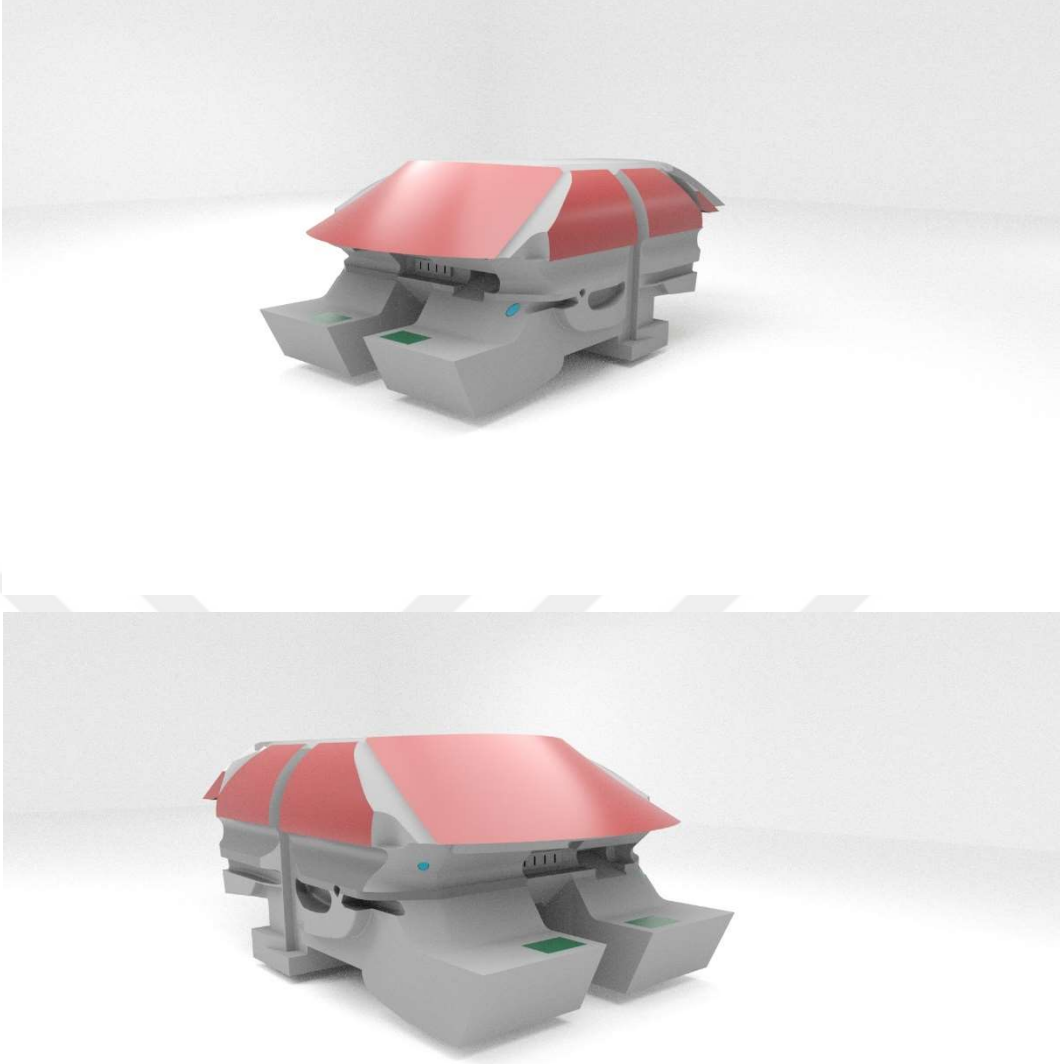
Şekil 2.15. Sayısal analizde kullanılan geometrinin önden görünümü

Aracın perspektif görünümü Şekil 2.13'te, yandan görünümü Şekil 2.14'te ve önden görünümü Şekil 2.15'te verilmiştir. Bu geometri üzerinde her biri 14.5 cm^2 olan 2 inlet alanı, her biri 300 cm^2 olan 2 outlet alanı ve 7 yüzeyden oluşan toplam 30194 cm^2 cam alanı olmak üzere sınır şartlarının girildiği 3 bölge bulunmaktadır.

2.3.3. Sınır Şartları

Sınır şartlarının 3 bölge üzerinden girildiğine bir önceki bölümde değinilmişti. Bu bölgeler üfleme fanı hız değerlerinin girildiği inlet bölgesi, içeride dolaşan akışkanın çıkışının sağlandığı outlet bölgesi ve ısınım ile taşınım sınır şartlarının girildiği cam bölgesi şeklindedir. Bu bölgeler Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Mavi renge boyalı bölgeler inlet, yeşil renge boyalı bölgeler outlet ve kırmızı renge boyalı bölgeler camları temsil etmektedir. Bu bölgelerin dışında kalan yüzeyler ise wall olarak tanımlanmıştır ve herhangi bir ısı transferi bu yüzeylerden gerçekleşmemektedir.

Analizler zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiş, toplam süre 20 dakika ve time step 1 dakika olacak şekilde sisteme girilmiştir. Akışkan olarak $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki havanın özellikleri kullanılmıştır. Başlangıç sınır şartı olarak domain şeklinde belirlenen akış hacminin tamamına $33.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ girilmiştir. İnlete Tablo 4'de belirtilen hava hızları haricinde akışkan sıcaklığı olarak $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ girilmiştir.



Şekil 2.16. Sınır şartlarının girildiği bölgeler

Işınım için Monte Carlo / Surface to Surface modeli seçilmiştir. Camlardan 900 W/m^2 ve dikey olarak geometriye gelen ışıınım girilmiştir. Ayrıca ısı taşınım katsayısı olarak $16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ve dış sıcaklık olarak 32°C girilmiştir. Camlara 0.88 yayma katsayısı (emissivity) ve yansıma faktörü (reflection factor) olarak da 0.05 girilmiştir [79]. CFX içerisinde doğrudan yansıma faktörü girilememektedir bu değerin yerine diffuse fraction değeri girilebilmektedir. Denklem 2.18 kullanılarak yansıma faktörü hesaplanmıştır [80]. Denklem 2.18 içerisinde bulunan diffuse fraction değeri 0.41 seçilerek yansıma faktörünün 0.05 olması sağlanmıştır.

$$reflectivity = (1 - emissivity) \times diffuse \text{ fraction} \quad (2.18)$$



Şekil 2.17. Menfez Konum 1 sayısal analiz içerisindeki görseli



Şekil 2.18. Menfez Konum 2 sayısal analiz içerisindeki görseli

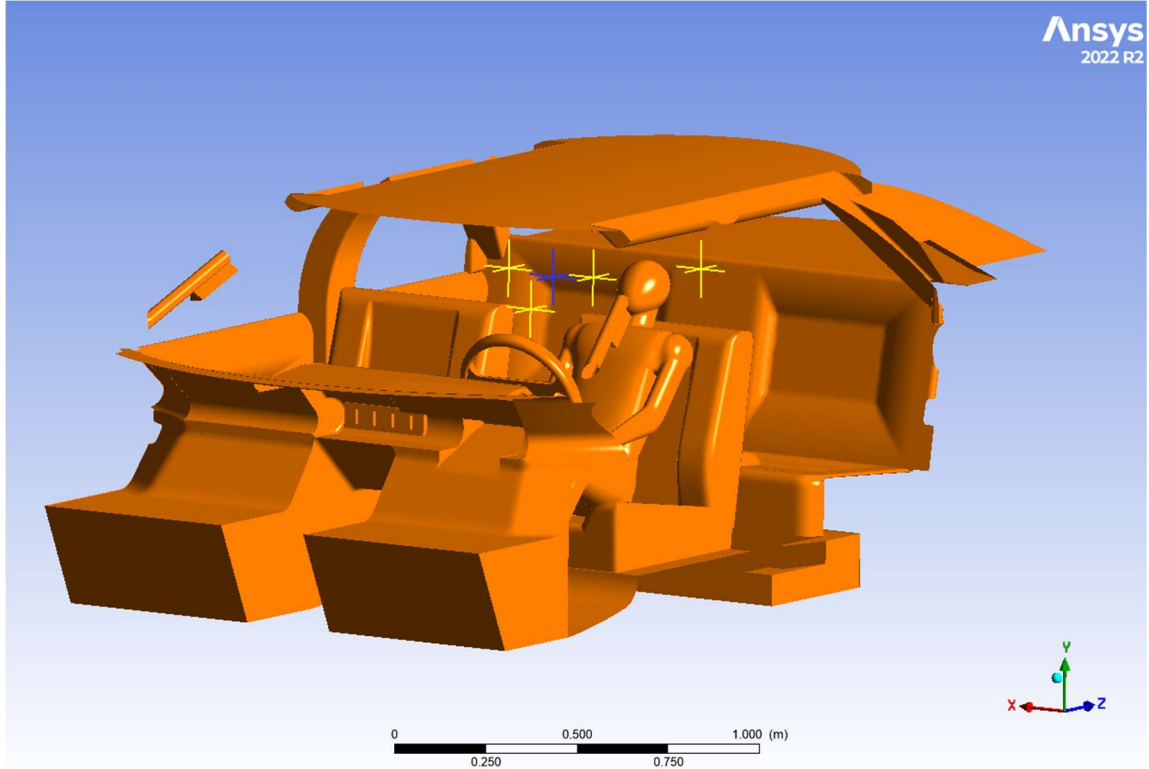


Şekil 2.19. Menfez Konum 3 sayısal analiz içerisindeki görseli

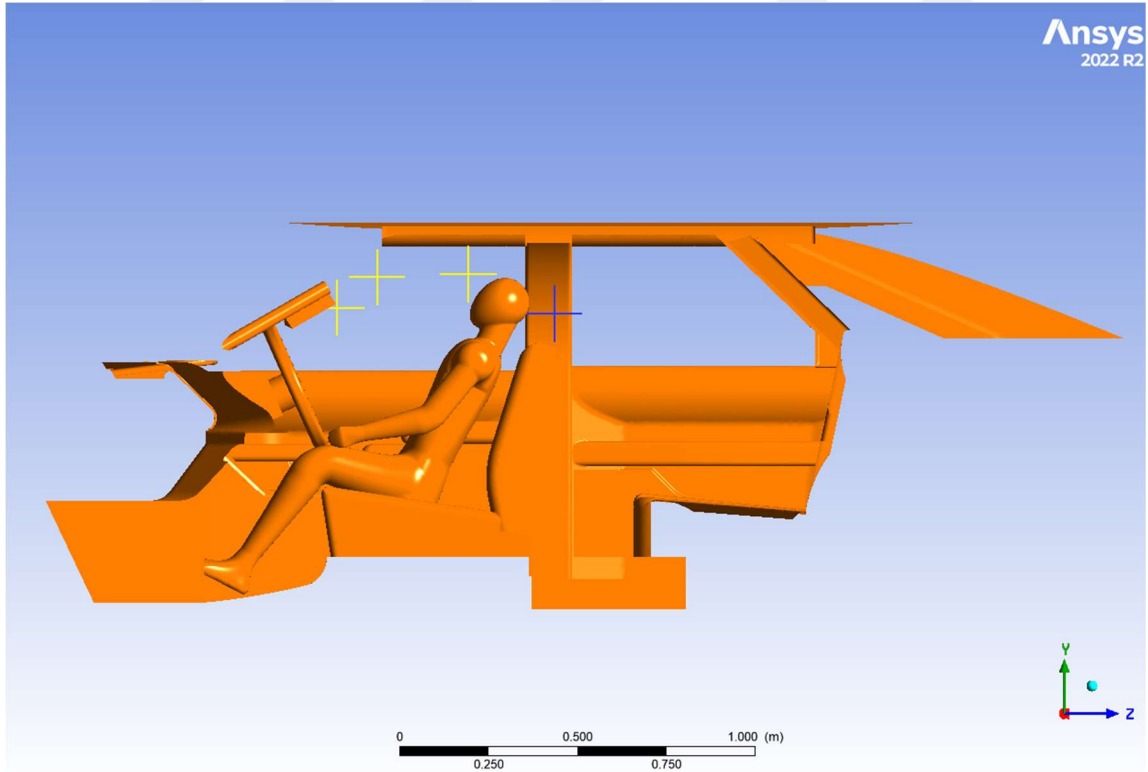
Tüm sınır şartlarına ek olarak 3 farklı menfez konumu kullanıldığı önceki bölümde anlatılmıştı. Bu konumların sayısal analizde kullanılan geometrileri Şekil 2.17, Şekil 2.18 ve Şekil 2.19’da verilmiştir. Şekil 2.17’de Konum 1 için sayısal analizde kullanılan geometri, Şekil 2.18’de Konum 2 için sayısal analizde kullanılan geometri ve Şekil 2.19’da Konum 3 için sayısal analizde kullanılan geometri gösterilmektedir.

2.3.4. Mesh

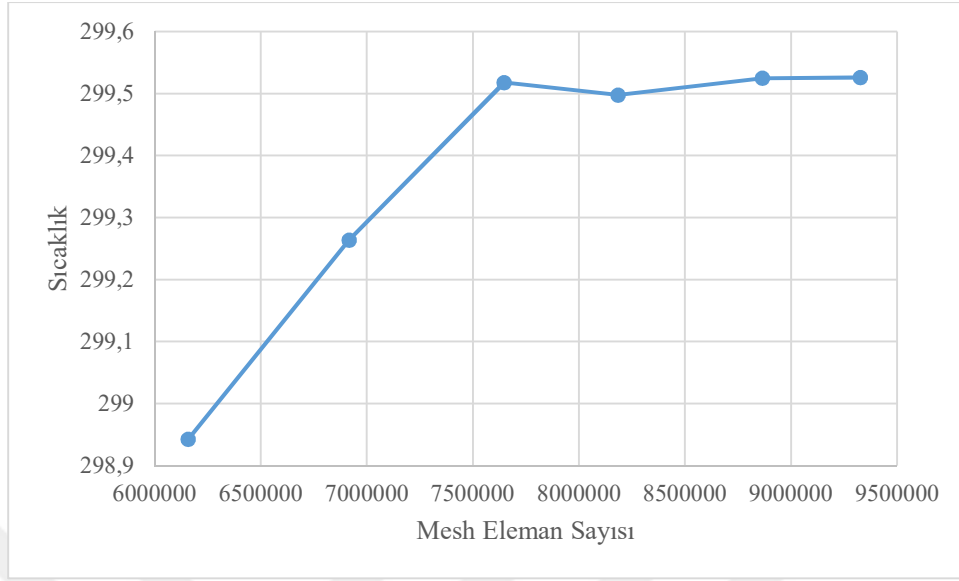
Sayısal analizde kullanılan geometri detaylı ve karmaşık bir yapıdadır. Tetrahedron mesh elemanları ile bu analizde kullanılan geometrik yapılar ve benzerleri için diğer mesh elemanlarına göre geometriye daha uyumlu meshler atılabilmektedir. Bu sebeple analizlerde kullanılan geometri için tetrahedron mesh elemanları seçilmiştir. Analiz sonuçlarını mesh eleman sayısından bağımsız duruma getirmek, gerekenden daha fazla mesh elemanı kullanmamak için meshten bağımsızlık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz için kullanılan sıcaklık değeri deney seti bölümünde belirtilen ve 5 farklı noktadan oluşan sensör noktalarından biri seçilerek alınmıştır. Bu analizde kullanılan sensör noktaların gösterimi Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilmiştir. Sensör noktaları geometri içerisinde artı simgesi ile sarı ve mor renkte gösterilmiştir. Meshten bağımsızlık analizi için iki noktasındaki sıcaklık değerleri kullanılmıştır. İki noktası görselde mor renk ile verilmiştir.



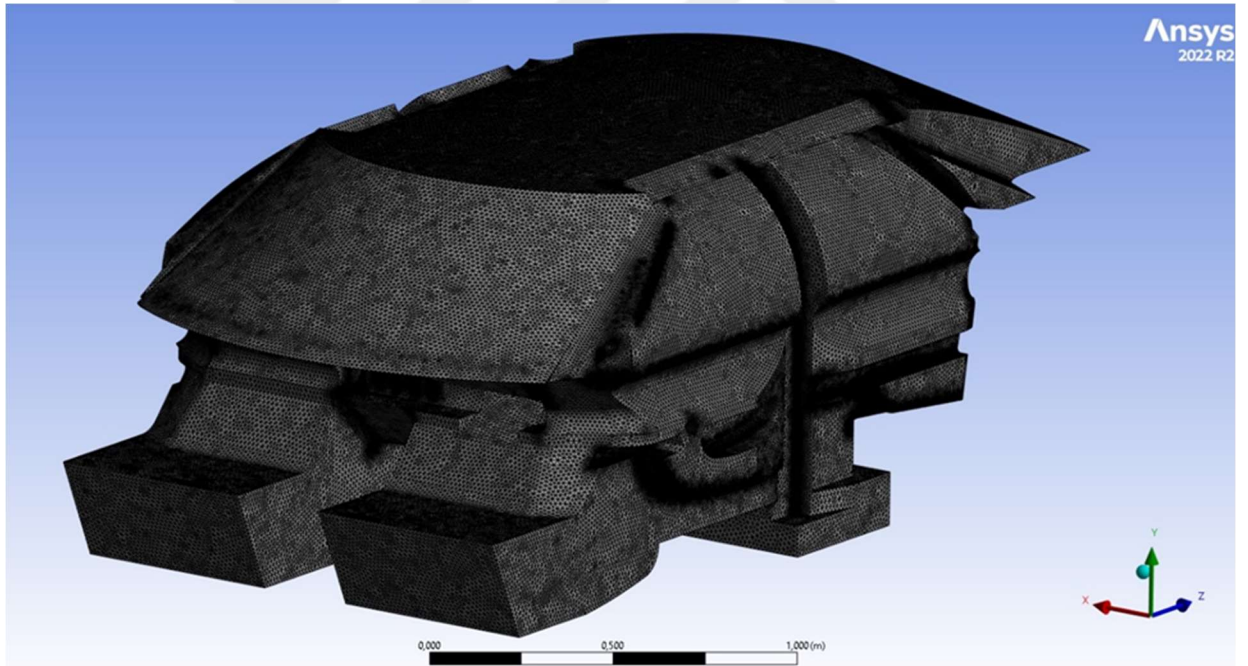
Şekil 2.20. Sıcaklık sensörlerinin yerleşim noktaları, perspektif görünüm



Şekil 2.21. Sıcaklık sensörlerinin yerleşim noktaları, yan görünüm



Şekil 2.22. Meshten bağımsızlık testi



Şekil 2.23. Oluşturulan mesh görseli

Meshten bağımsızlık analizi 6157952 ile 9327014 mesh elemanı arasında gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda sapmanın 0.001 altında olduğu 8864273 mesh eleman sayısı seçilmiştir. Meshten bağımsızlık testi Şekil 2.22’de gösterilmektedir. Şekil 2.23’de ise oluşturulan meshin görseli bulunmaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan deneysel ve sayısal analizlerin sonuçları detaylı bir şekilde verilmiştir. Yapılan analizler Bölüm 2’de yer alan Tablo 2.6 içerisindeki deney numaralarına göre gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, enerji tüketiminin ve PMV değerinin zamanla değişimi şeklinde iki farklı grafik çeşidi üzerinden açıklanmıştır. Sayısal sonuçlar ise kontur grafikleri ve PMV değerinin zamanla değişimi şeklinde verilmiştir. Sayısal analizin sonuçları alınmadan önce deneysel analiz ile doğrulaması yapılmıştır.

3.1. Deneysel Sonuçlar

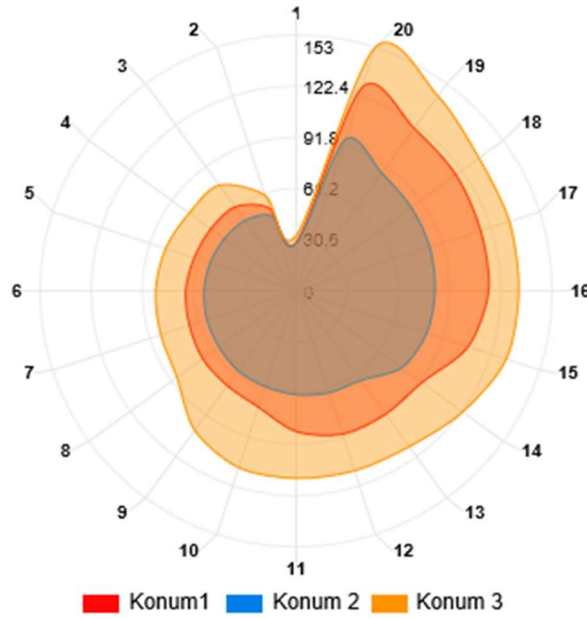
Bu çalışmada kullanılan üç farklı klima menfez konumunun, otonom sistem kullanımı ile zamana göre enerji değişimleri radar grafiği olarak Şekil 3.1’de, çizgi grafiği olarak da Şekil 3.2’de sunulmuştur. Aynı verilerin iki farklı grafik üzerinde sunulması ile sonuçların daha detaylı incelenebilmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.3’te ise otonom sistem kullanan üç farklı konumun zamanla PMV değişimleri verilmiştir.

Şekiller incelendiğinde klima menfez konumlarının otonom sistem ile beraber kullanıldığında enerji tüketimine etki ettiği çok net bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 beraber incelendiğinde konumlar arasında en az enerji tüketiminin Konum 2’de gerçekleştiği görülmektedir. Konum 2’yi sırasıyla Konum 1 ve Konum 3 takip etmiştir.

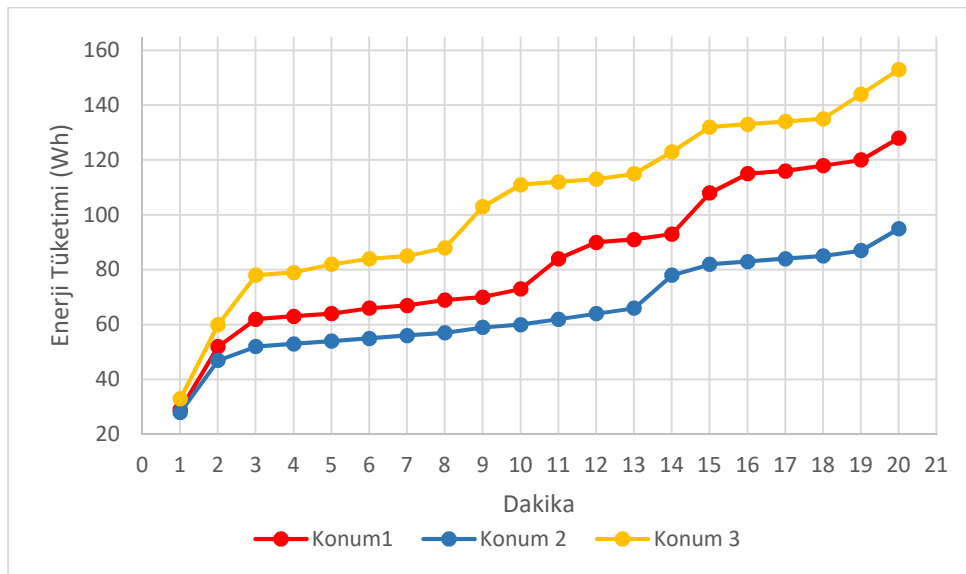
Şekil 3.2 incelendiğinde enerji tüketimlerinde belirli dakikalarda ani yükselmeler meydana geldiği görülmektedir. Bu yükselmelerin sebebi algoritma gereği kompresörün tekrar devreye alınmasından kaynaklanmaktadır. Konum 3’te kompresör 8. dakikada, Konum 1’de 10. dakikada ve Konum 2’de ise 13. dakikada tekrar devreye girmiştir.

Konum 2’nin diğer konumlara göre daha iyi performans sergilemesi, yatay şekilde duran ve akış çıkış alanı diğer menfezlere göre daha fazla olan klima menfezi ile ilişkilidir. Bu farklı menfezin girişine de diğer menfezlerde olduğu gibi aynı debide ve aynı hızda akış girmektedir. Fakat çıkış alanının diğer menfezlere göre fazla olmasından dolayı, akış araç kabineye daha yavaş ve daha geniş bir hacimde dâhil olmaktadır. Bu durum sensör bölgelerinde dolaşan akışının düzensizliğini azaltmaktadır. Düzensizliği azalan akış dış ortamdan ısı transferinin gerçekleştiği camlara daha az yaklaşarak sıcaklığını diğer konumlara göre sensör bölgelerinde daha iyi korumaktadır. Ayrıca Konum 2’deki yatay uzun menfez diğer menfezlere göre camlardan daha uzakta ve kabinin ortasına doğru konumlanmaktadır. Konum 3 ve Konum 1’de kullanılan menfezler birebir aynı olmasına rağmen enerji tüketimlerinde farklar oluşmuştur. Bu durumu akış düzensizliğine ve sensör konumlarına bağlayabiliriz. Otonom sistem kabin içerisinde yer alan sensörlerden aldığı veriler aracılığıyla yönetimini gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla bu sensörlerin

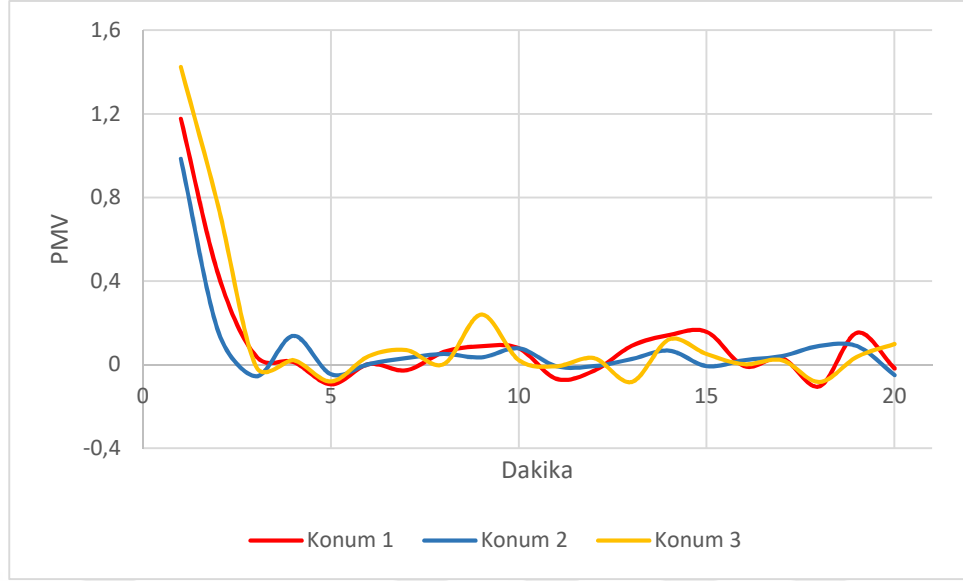
yerleşimi oldukça önemlidir. Konum 3 ve Konum 1 yönleri itibari ile sensörlerin farklı bölgelerine akışı yönlendirmektedir. Konum 3 yerleşim olarak Konum 1’den daha yukarıda olduğu için akışı aşağı yönlü olarak kabine göndermektedir. Bu durum yukarıda olan sensörlerin olduğu bölgeleri soğutmada yetersiz kalmasına yol açmaktadır. Yukarı bölgelerdeki sensörler ortalama sıcaklığı yükselttiği için PMV değerinin de yükselmesine sebep olmaktadır. Yükselen PMV değerini indirebilmek için de sistem ekstra enerji harcamaktadır.



Şekil 3.1. Konum farklılıklarına göre otonom sistemin enerji tüketimi - radar grafiği

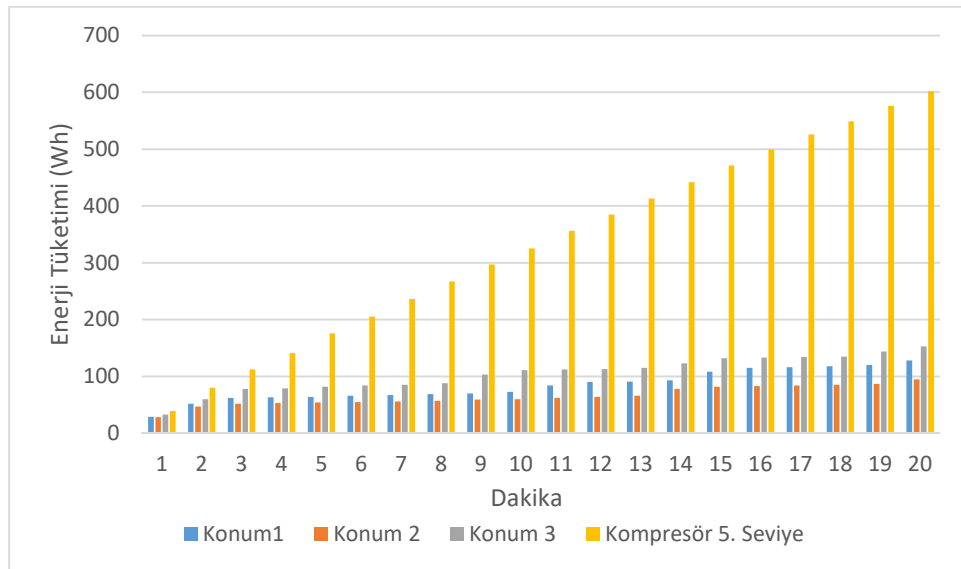


Şekil 3.2. Konum farklılıklarına göre otonom sistemin enerji tüketimi – çizgi grafiği



Şekil 3.3. Konum farklılıklarına göre otonom sistemin PMV değişimleri

Şekil 3.3 incelendiğinde Konum 2'nin PMV değişim dalgalanmasının diğer konumlara göre daha az olduğu görülmektedir. Üç konumun da PMV değerleri üçüncü dakika itibari ile sıfıra yakın seyretmektedir. Mavi ile gösterilen Konum 2 üçüncü dakikada diğer iki konuma göre biraz daha kötü performans sergileyerek daha fazla dalgalanmış fakat dördüncü dakikadan sonra sıfıra oldukça yakın şekilde ve az dalgalanma ile ilerlemiştir. PMV değerleri üçüncü dakikadan sonra en yüksek dalgalanmaya 0.23 değeri ile Konum 3'de ulaşmıştır. Konum 1'in üçüncü dakikadan sonra en yüksek değeri 0.15 iken Konum 2'in ise 0.13'dür. Tüm konumların başlangıç PMV değeri aynı ve 2,8'dir.



Şekil 3.4. Otonom sistem ile beşinci seviye kompresörün enerji tüketimlerinin kıyaslanması

Otonom sistem ile tüketilen enerjinin, manuel olarak beşinci seviyede çalışan kompresör ile kıyaslanması ise Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.4 incelendiğinde Konum 2'nin geleneksel olarak kabul edebileceğimiz kompresörün beşinci seviyede sürekli olarak çalışmasına göre % 83.5 enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir. Konum 1'in sağladığı enerji tasarrufu % 78 iken Konum 3'ün sağladığı enerji tasarrufu da % 73.9'dır. Bu değerlere bakıldığında otonom sistemin sabit kompresör ve fan seviyesinde çalışan sistemlere göre oldukça verimli olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1. Mevcut çalışma ile literatür içerisinde bulunan diğer çalışmaların kıyaslanması

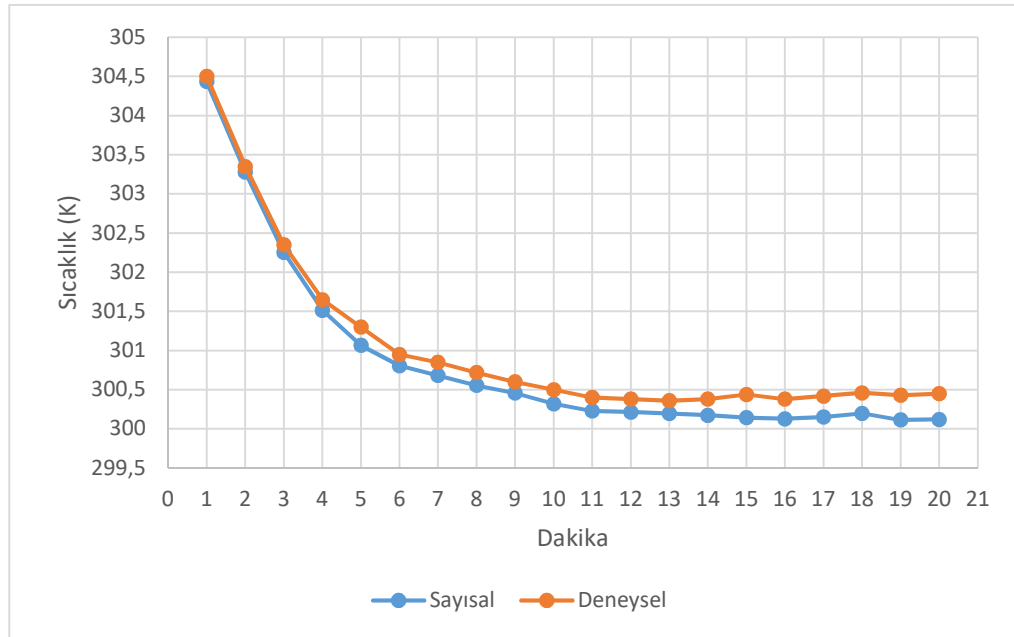
Yazar	Çalışmanın Detayları	Maksimum Elde Edilen Enerji Tasarrufu	Çalışmanın Türü	Ortam Sıcaklığı (C°)	Işınım Değeri (W/m ²)	Toplam Kabin Hacmi (m ³)
Myoung Su Oh. ve Arkadaşları [9]	Menfezlerdeki hava akış hızları ile sıcaklıkları değiştirilerek enerji tasarrufu ve termal konfor artırılmıştır.	30,20%	Sayısal	35	600	2,735
Yihang Zhao ve Arkadaşları [81]	Batarya Termal yönetim sistemi ile beraber çalışan PMV odaklı Kabin iklimlendirme stratejisi ile enerji tasarrufu sağlanmıştır.	42,86%	Deneyisel	33-31	1000	-
Yi Xie ve Arkadaşları [82]	PMV odaklı iklimlendirme stratejisini kullanarak, enerji tasarrufu elde edilmiştir. Sabit kompresör sistemlerine göre değil aç kapa sistemlerine göre kıyaslama yapmışlardır.	31,80%	Deneyisel	38	1000	-
Mevcut Çalışma	Farklı Klima Menfez Konumları ve PMV odaklı otonom iklimlendirme kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır.	83,50%	Deneyisel ve Sayısal	32	900	2,482

Tablo 3.1’de bu çalışmanın literatürdeki benzer çalışmalar ile kıyaslanması verilmiştir. Bu çalışmalar arasında benzerlikler olduğu kadar farklılıklarda bulunmaktadır. Dış ortam sıcaklıklarının, ısıtım değerlerinin ve kullanılan hacimlerin birbirine yakınlıkları bu tablonun oluşturulmasında önemli olmuştur. Mevcut çalışmada geleneksel yöntem olarak sabit ve sürekli çalışan kompresör seviyeleri seçilmiştir. Diğer çalışmalarda geleneksel yöntem seçimi açısından farklılıklar olabilir. Geleneksel yöntemin sabit fan ve sabit kompresör seçilmesi kıyaslama yapmak açısından en doğru metottur. Başka bir algoritmanın veya stratejinin geleneksel yöntem olarak seçilmesi literatür açısından kıyaslama yaparken zorluk çıkarabilecektir. Algoritmalar değişebilmekteyken sabit kompresör ve sabit fan tüm çalışmalarda ortak olarak yakalanabilmektedir.

3.2. Doğrulama Deneyi

Otonom sistemin ve konumların birlikte kullanımının enerji tüketimlerine etkisi deneysel olarak bir önceki bölümde incelenmişti. Deneysel analizler bir mühendislik problemi çözüm yöntemidir. Başka bir çözüm yöntemi ise sayısal analizlerdir. Bu çalışmada ele alınan mühendislik problemi iki farklı yöntem kullanılarak çözülmüştür.

Tablo 2.6’da yer alan deney dizininde ki 5 numaralı deney sayısal olarak da aynı sınır şartlarında çözülmüştür. Konum 2, fan hızı beşinci seviye olarak çözülen deneysel ve sayısal analizin ortalama sıcaklık değerleri Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Sayısal analizin deneysel veriler ile doğrulanması

Şekil 3.5’te de görüldüğü gibi sayısal analiz ile deneysel analizin verileri birbirine oldukça yakındır. Bu durum yapılan sayısal analizin doğruluğunu açıkça ortaya çıkarmaktadır. Aynı setup kullanılarak diğer sayısal analizler de gerçekleştirilmiştir.

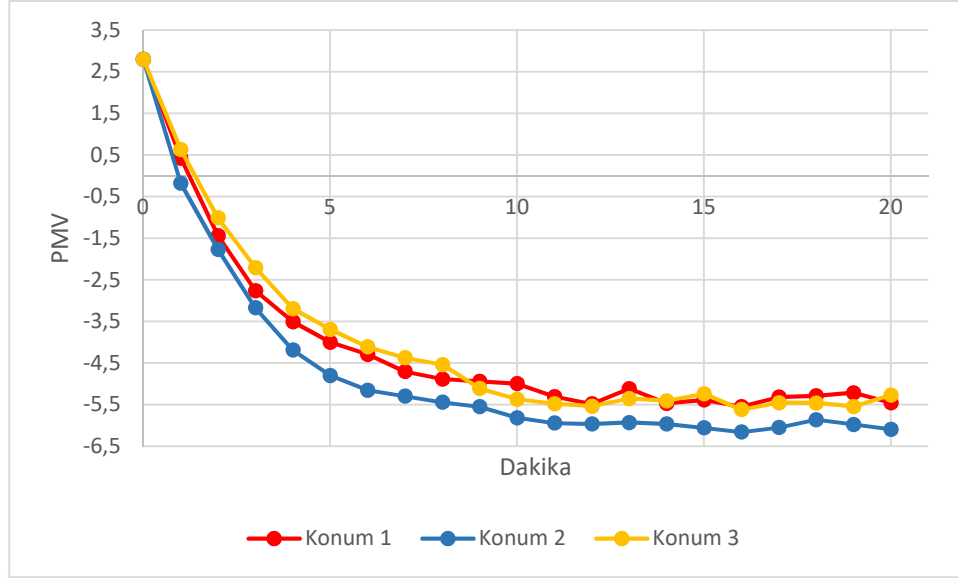
3.3. Sayısal Sonuçlar

Klima menfez konumlarının otonom sistem ile beraber kullanılması ve bu sayede elde edilen enerji tasarrufu bir önceki bölümde anlatılmıştı. Bu bölümde beş farklı fan hızı için 3 konumun sıcaklık dağılımları ve zamana göre PMV değişimleri incelenmiştir. Bu analizlerde kompresörün beşinci seviyede çalıştığı kabul edilmiştir. Analizlerdeki sınır şartları da bu varsayımlar doğrultusunda girilmiştir. Analizlerde ilk 6 dakikadan sonra sıcaklık seviyelerindeki değişimin az olmasından dolayı kontur grafikleri ilk 6 dakika için verilmiştir. Bu grafiklerde dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır. Bu kontur grafiklerine ek olarak ilk 6 dakika için bütün araç hacminin sıcaklığı tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca çalışmanın toplam süresi olan 20 dakika içinde PMV değerinin zaman ile değişimi verilmiştir. Her hız değeri için 3 konum da ayrı ayrı incelenerek kıyaslanmıştır. Son olarak da beşinci hız seviyesinde hız streamline grafiklerine de yer verilmiştir.

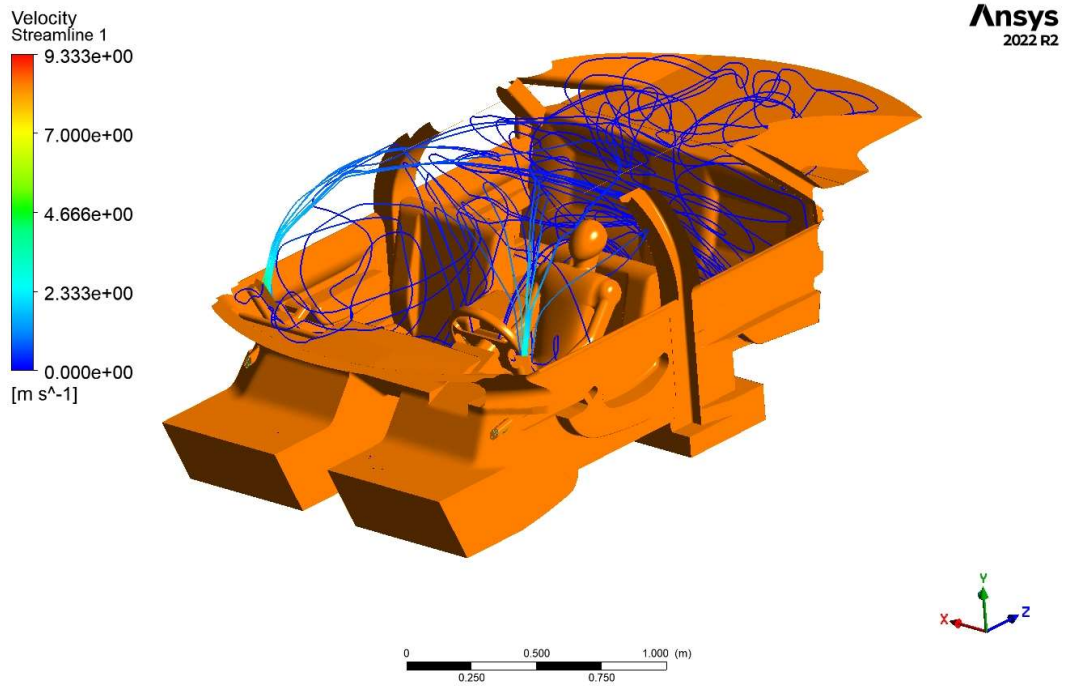
3.3.1. Beşinci Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması

Bütün konumların beşinci fan seviyesinde zamana göre PMV değişimleri de Şekil 3.6’da verilmiştir. Fanın beşinci seviyede olduğu ve konumların değiştiği hız streamline grafikleri de Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da sunulmuştur. Fan hızının beşinci seviye olduğu ve konumların değiştiği sıcaklık kontur grafikleri Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de sunulmuştur. Bütün kontur grafiklerinde renk skalaları 297 K ile 307 K arasında değişmektedir. Bu grafikler XZ ve YZ eksenlerinde orta noktalara atılmış iki adet plane (yüzey) üzerinde gösterilmiştir. Kontur grafiklerinin sağ alt köşesinde eksenler belirtilmektedir. İlk 6 dakikanın hacim sıcaklıkları yine Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 içerisinde sunulmuştur.

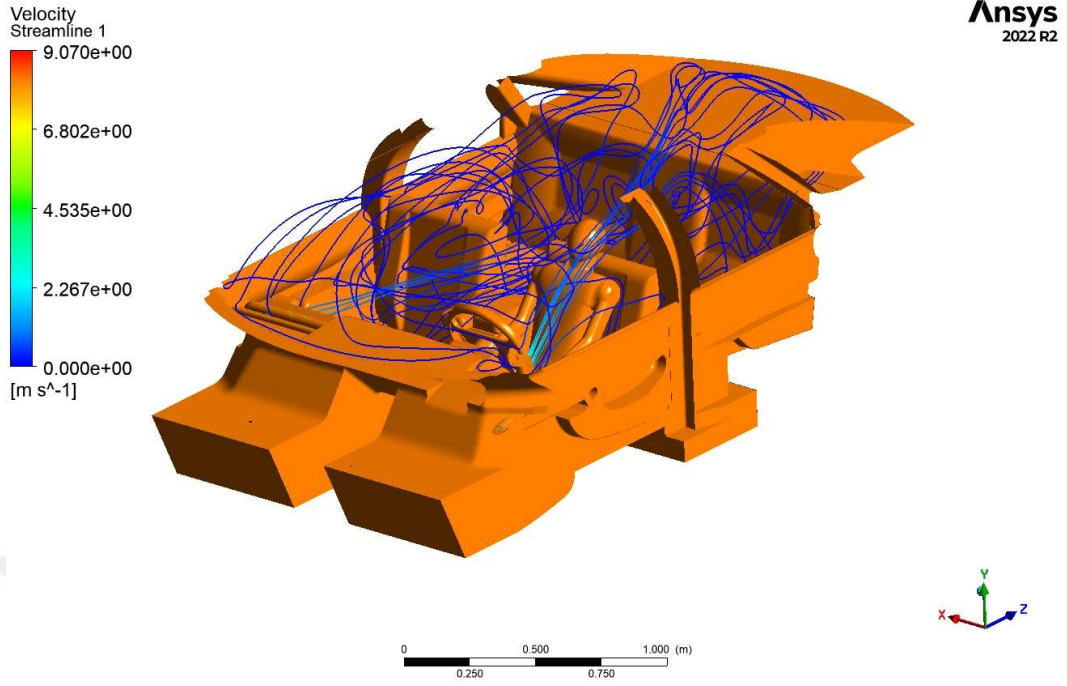
Zamanla değişen PMV grafikleri incelendiğinde üçüncü dakika itibari ile bütün konumların eksiye düştüğü görülmektedir. Bu durum manuel sistemlerin fazladan ne kadar enerji tükettiklerini de gözler önüne sermektedir. Şekil 3.6 incelendiğinde üçüncü dakika itibari ile PMV değerleri 0 değerinin altına inmektedir, dördüncü dakika itibari ile ise PMV değerlerinin -3 değerinden çok aşağıda olduğu görülmektedir. Şekil 3.6’daki PMV değerleri ortalama sıcaklık değerini sensör noktalarından aldığı için en düşük PMV değeri Konum’2 de çıkmaktadır. Konum 1 ve Konum 3 PMV değerleri belirli bir noktadan sonra birbirine oldukça yakın seyretmektedir.



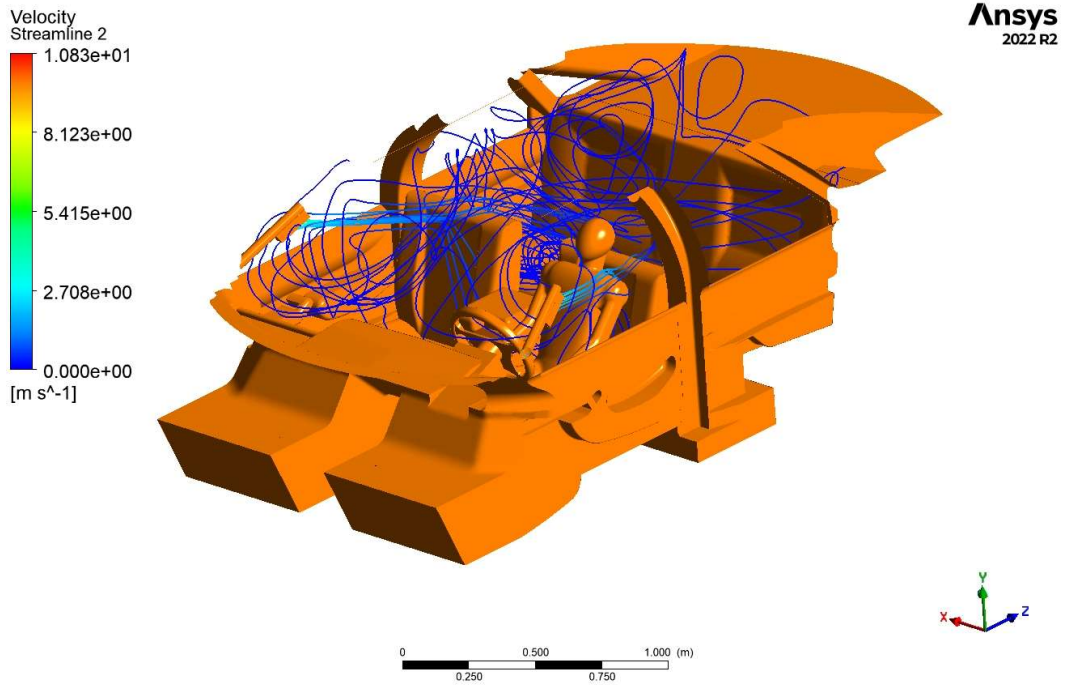
Şekil 3.6. Beşinci seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri



Şekil 3.7. Konum 1 yerleşiminin beşinci seviye fan hızında hız streamline grafiği



Şekil 3.8. Konum 2 yerleşiminin beşince seviye fan hızında hız streamline grafiği



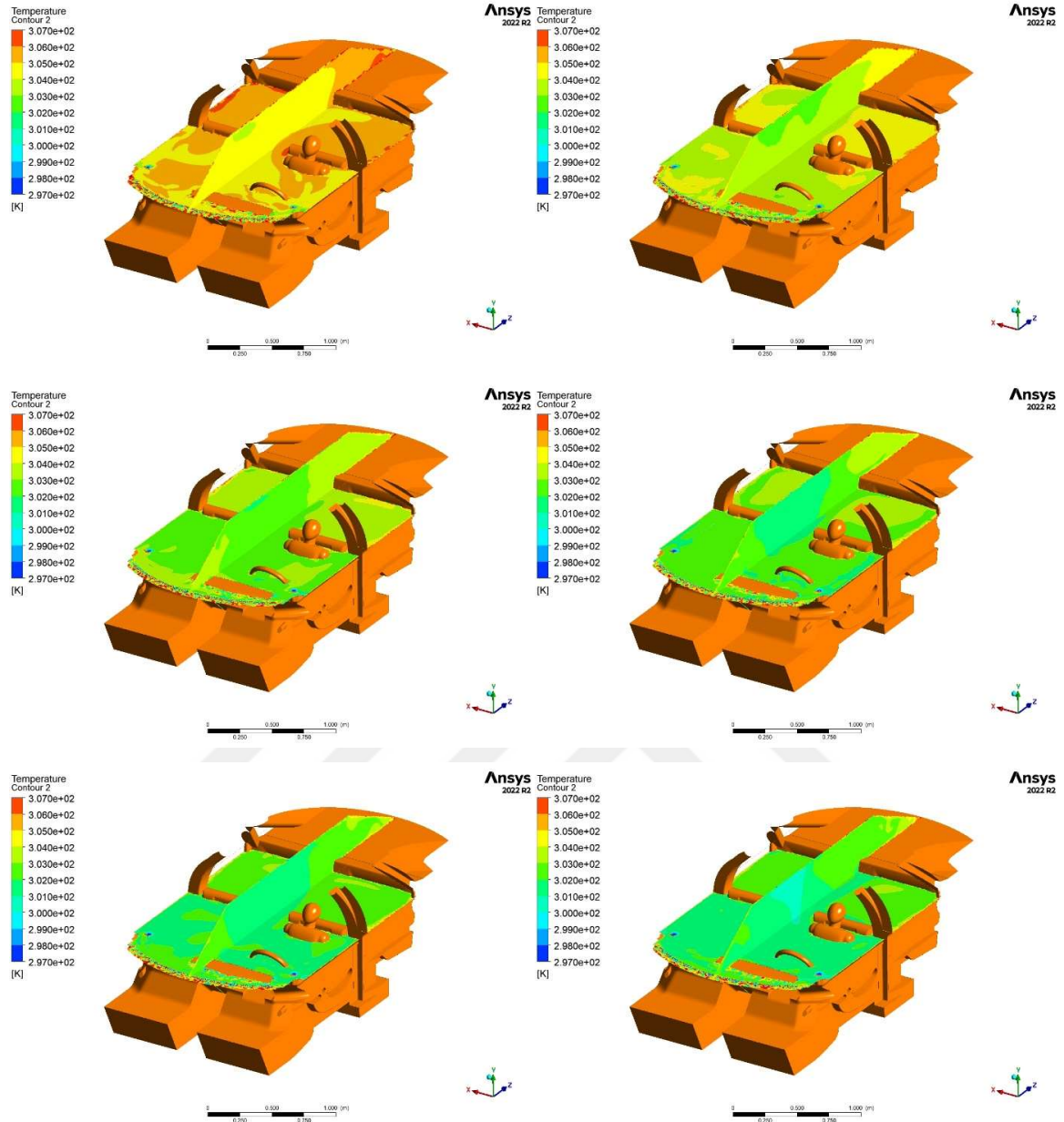
Şekil 3.9. Konum 3 yerleşiminin beşince seviye fan hızında hız streamline grafiği

Üç konum için streamline grafikleri incelendiğinde Konum 2 içerisinde kullanılan yatay klima menfezinin akışı daha yavaş ve daha geniş bir hacimde kabine yönlendirdiği görülmektedir. Daha önce Bölüm 3.1’de anlatıldığı gibi bu yatay uzun klima menfezi sensörlerin olduğu bölgeye diğer konumlara göre daha düzenli bir akış yönlendirmektedir. Bu düzenli akış sayesinde sensörlerin aldıkları sıcaklık verileri diğer konumlara göre aynı dakikalarda daha düşük olmaktadır. Bu durumda enerji tasarrufu açısından Konum 2’yi en iyi durum haline getirmektedir.

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 incelendiğinde akışın camlardan yukarı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Konum 2’de bulunan uzun menfezin küçük menfezden çıkan akışı mankenin üzerine yönlendirmesine yardımcı olduğu görülmektedir. Bu durum Konum 2’nin sensör bölgelerinde akışı yoğunlaştırmasına yardımcı olmuştur. Şekil 3.9 incelendiğinde Konum 3’ün akışı yukarıdan aşağıya doğru yönlendirdiği görülmektedir. Konum 3’te akış çizgilerinin daha çok camların alt taraflarında olması camlardan gerçekleşen ısı transferini diğer konumlara göre daha az olmasını sağlamaktadır. Bu durum ortalama hacim sıcaklığının verildiği tablolarda da görülmektedir. Konum 1’in sensör konumlarına göre Konum 3’den daha fazla bir akış çizgisine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda enerji tasarrufu açısından Konum 1’i ikinci sıraya taşımaktadır.

Bütün konumlarda üçüncü dakika itibari ile genel olarak sıcaklık dağılımları birbirine benzemektedir. Grafikler ve tablolar incelendiğinde, otonom sistem ile beraber çalıştığında en kötü performans sergileyen Konum 3’ün en düşük hacim sıcaklığını yakaladığını görmekteyiz. Konum 3’ün en düşük hacim sıcaklığını yakalamasını, akışı kabininin içerisinde yukarıdan aşağıya doğru olacak şekilde göndermesine bağlayabiliriz. Yukarıdan aşağıya doğru ilerleyen akış, kabin içerisinde cam seviyesinin altında daha fazla kalmasından dolayı camlardan daha az ısı transferi sağlamaktadır. Bu sebeple diğer konumlara göre kendi sıcaklığını biraz daha uzun süre koruyabilmektedir. Fakat burada önemli olan bu çalışma özelinde kabinin tamamının sıcaklığı düşürmek değil sürücünün bulunduğu bölgeyi optimum seviyede tutmaktır. Bu sebeple yerleştirilen sensörlerin konumları da oldukça önemlidir. Nitekim Şekil 3.11 incelendiğinde birinci dakikada sürücünün olduğu ve sensörlerin yerleştirildiği bölgelerde sıcaklık düşük seviyelerde iken arka koltukların diğer konumlara göre daha yüksek sıcaklıklarda olduğu görülmektedir. Bu durum yalnızca sürücünün olduğu ve otonom sistemin kullanıldığı deneyler için oldukça iyi sonuçlar verirken, dört kişi beraber seyahat ettiklerinde sorunlar oluşturabilecektir. Bu durumun çözümü için öneriler bölümü içerisinde detaylı bir şekilde değerlendirme ve öneriler sunulmaktadır.

Konum 1 hacim sıcaklığı açısından incelendiğinde diğer konumlara göre en yüksek değerlere sahiptir. Yani soğutma açısından tüm hacmi dikkate alırsak en kötü performansı Konum 1 sonrasında Konum 2 ve en son olarak Konum 3 sergilemiştir. Fakat daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada tüm hacmin sıcaklığı değil sensörlerin ortalama sıcaklığı önemlidir.

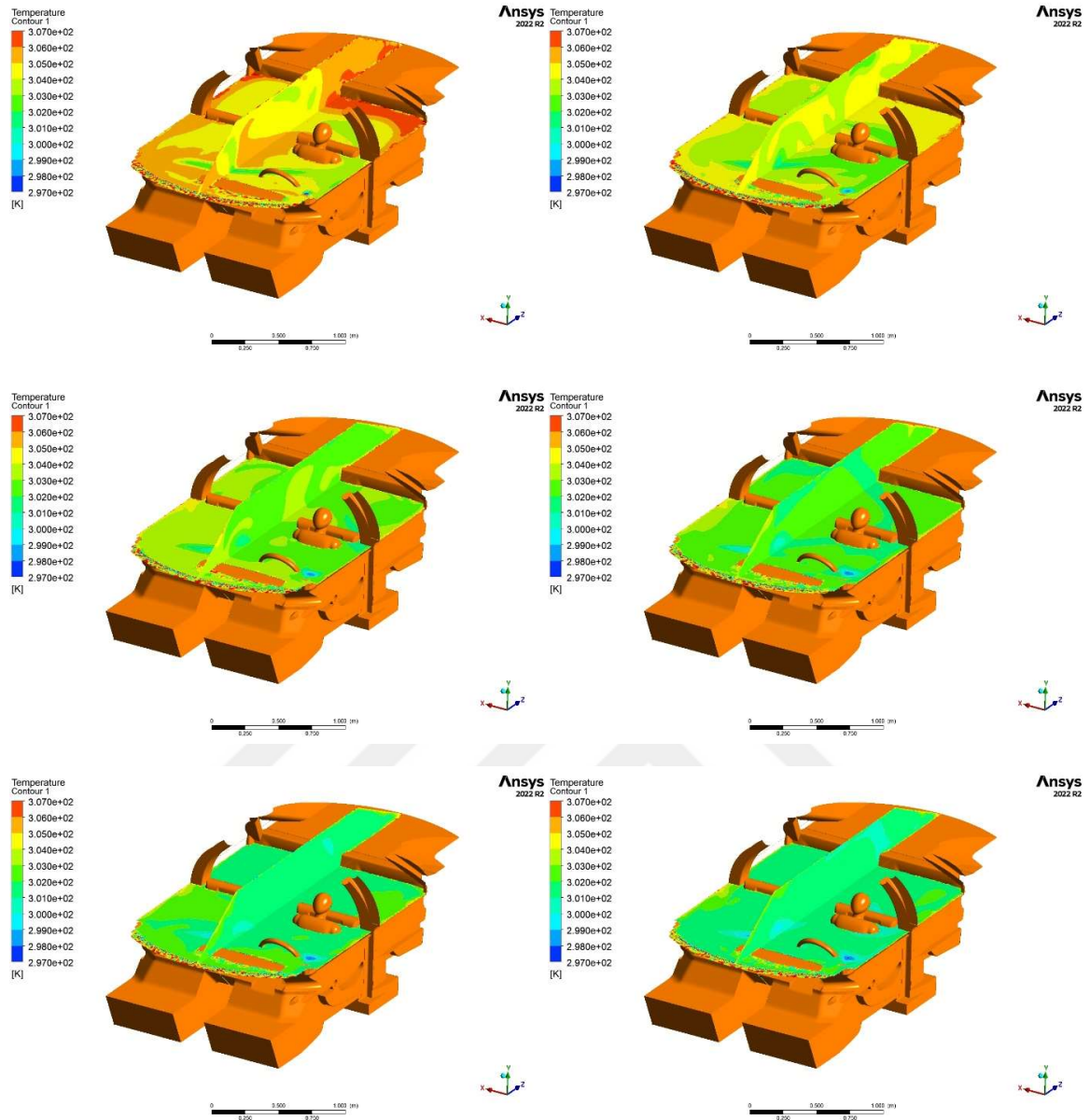


Şekil 3.10. Beşinci seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.2. Beşinci seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,264	304,159	303,347	302,78	302,389	302,104

Şekil 3.10 incelendiğinde ilk dakikada orta bölgelerde sıcaklıkların düştüğü görülmüş, ikinci dakikada ise düşük sıcaklık bölgeleri sürücünün etrafını kapsayacak şekilde ilerlemiştir. Üçüncü dakika itibari ile hacmin genelinde sıcaklıklar düşmüş ve homojen duruma yaklaşmıştır. İlk dakikalar itibari ile sensör bölgelerindeki sıcaklık değerleri Konum 2'ye göre geride kalmıştır.

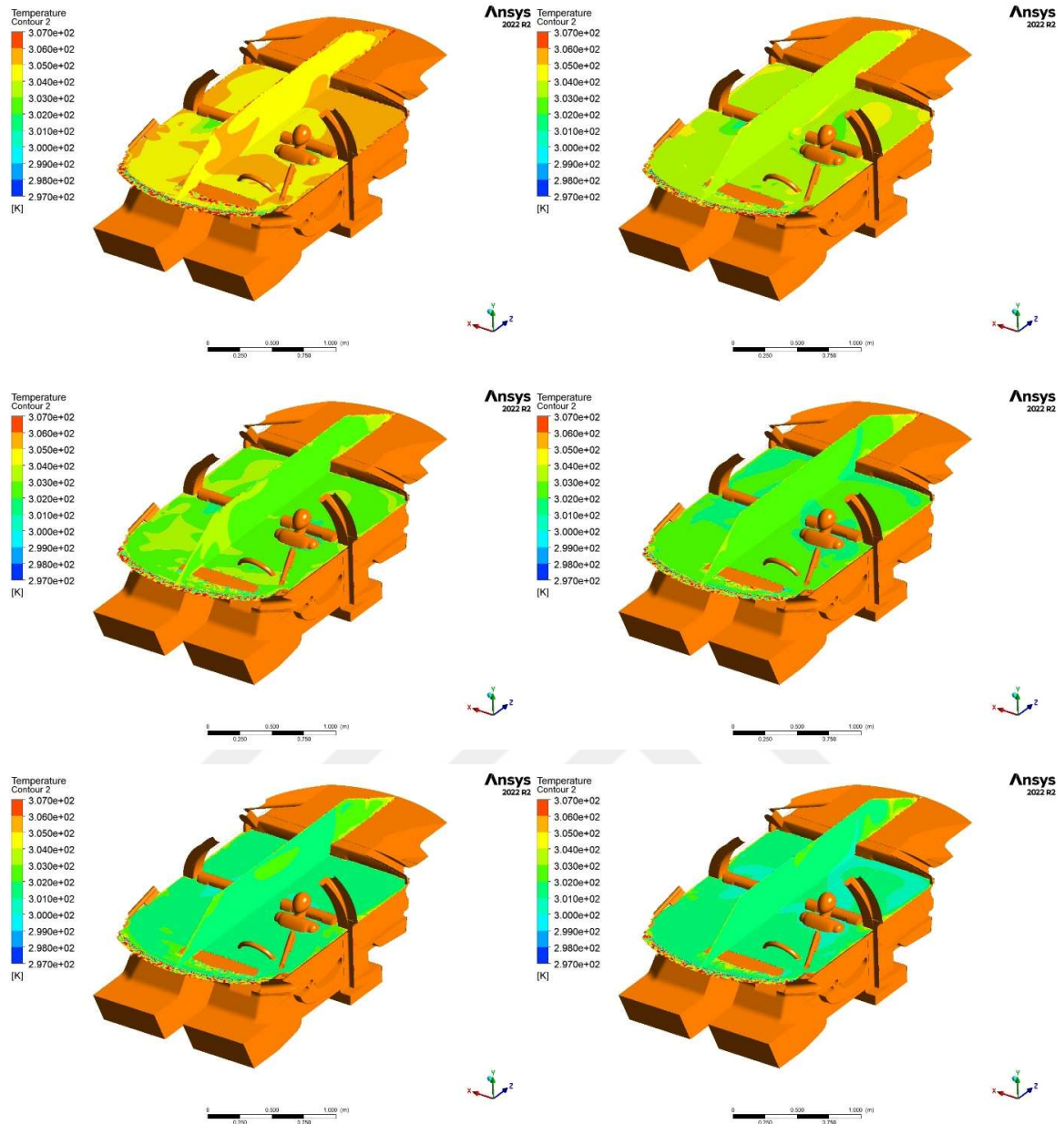


Şekil 3.11. Beşinci seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.3. Beşinci seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,086	303,913	303,028	302,372	301,902	301,604

Şekil 3.11 incelendiğinde ilk dakikada sensör bölgelerinde sıcaklıkların düştüğü, ikinci dakikada ise genel sıcaklıkların düştüğü görülmesine rağmen, sensör bölgelerindeki düşük sıcaklıkların araç içindeki diğer bölgelere göre halen düşük seyrettiği görülmüştür. Üçüncü dakika itibari ile hacmin genelinde sıcaklıklar düşmüş ve homojen duruma yaklaşmıştır. Sensör bölgelerindeki sıcaklık değerleri diğer konumlara göre en iyi performansı sergilemiştir.



Şekil 3.12. Beşinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.4. Beşinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,096	303,895	302,988	302,268	301,732	301,345

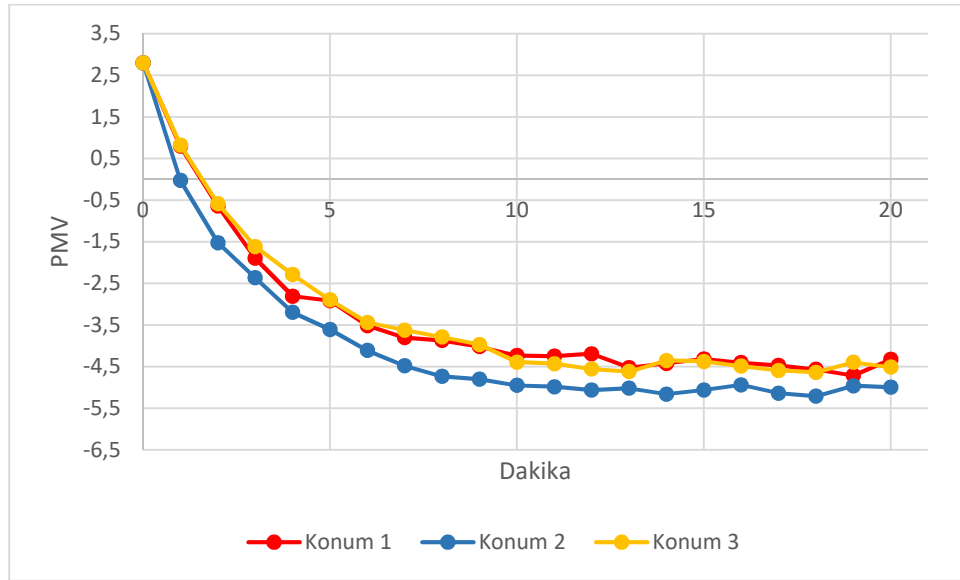
Şekil 3.12 incelendiğinde ilk dakikada diğer konumlara göre sıcaklık değerleri daha yüksek seyretmektedir. Fakat ikinci dakika itibari ile homojen sıcaklık dağılımı açısından en iyi performansı Konum 3'ün sergilediğini görmekteyiz. Hacim sıcaklıklarının yer aldığı tablo değerleri de incelendiğinde hacim sıcaklığının Konum 3'de en düşük seviyelere ulaştığı görülmektedir.

3.3.2. Dördüncü Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması

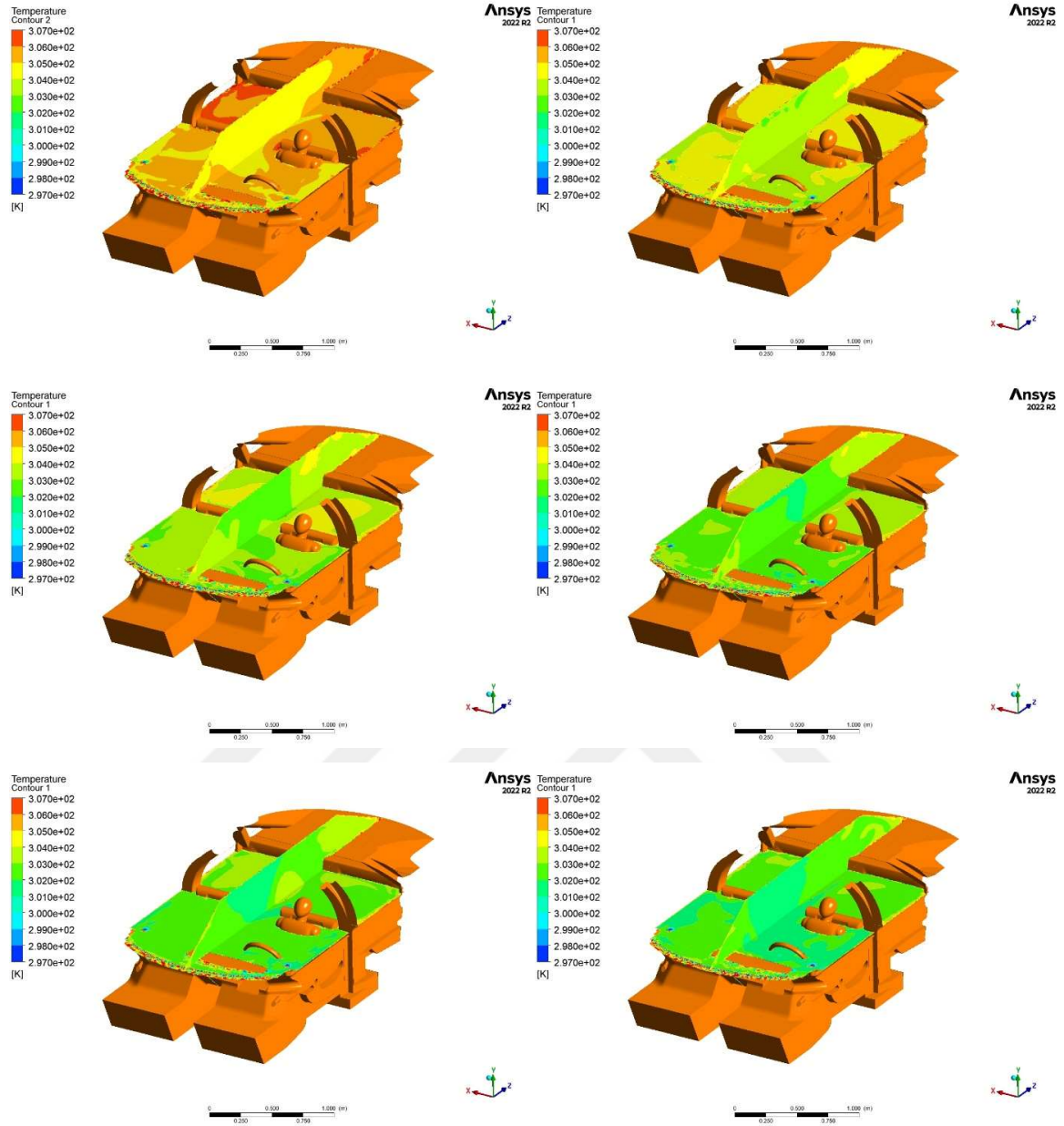
Fan hızının dördüncü seviye olduğu ve konumların değiştiği sıcaklık kontur grafikleri Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 de sunulmuştur. İlk 6 dakikanın hacim sıcaklıkları yine Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 içerisinde sunulmuştur. Bütün konumların dördüncü fan seviyesinde zamana göre PMV değişimleri de Şekil 3.13’de verilmiştir.

Fan hızının düşmesinden kaynaklı PMV değerinin sabit kaldığı veya sabite yaklaştığı değerler bütün konumlar için yükselmiştir. Konum 2 PMV değerleri açısından en düşük seviyelere inmiştir. Konum 3 ise hacim sıcaklığı açısından en düşük değerleri yakalamıştır. Konum 1 ve Konum 2’nin arka koltuklarında ilk dakikada olan yüksek sıcaklık bölgeleri beşinci seviye fan hızına göre daha fazla artmıştır. Konum 2’nin diğer konumlara göre sensor noktalarındaki sıcaklık avantajları dördüncü seviye fan hızında da devam etmektedir.

Şekil 3.13 incelendiğinde PMV değerleri beşinci seviye fan hızında olduğu gibi dördüncü seviye fan hızında da üçüncü dakika itibari ile 0 değerinin altına inmiştir. Fanın beşinci seviyede çalıştığı senaryoda PMV değerleri tüm konumlarda dördüncü dakikada -3 değerinin altına inmişken, fanın dördüncü seviyede çalıştığı senaryoda ise tüm konumlarda altıncı dakikadan itibaren -3 değerinin altına inmiştir. Konumların PMV değerlerindeki eğrilerinin değişimleri beşinci seviye ile oldukça benzerdir.



Şekil 3.13. Dördüncü seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri

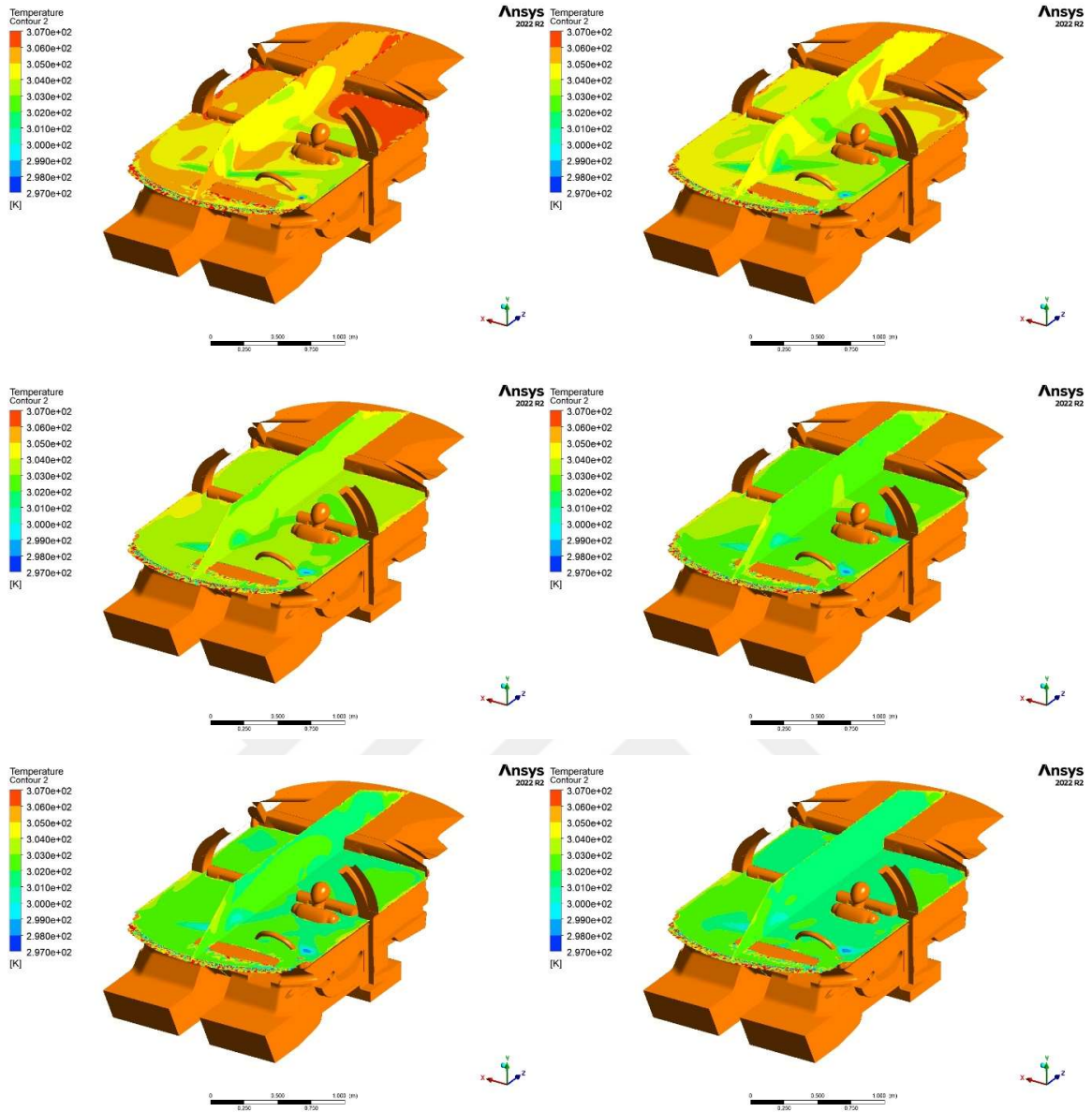


Şekil 3.14. Dördüncü seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.5. Dördüncü seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,43	304,463	303,73	303,191	302,782	302,479

Şekil 3.14 incelendiğinde bir önceki fan hızı seviyesine göre sıcaklık seviyelerinin ilk dakikalar ve genel hacim sıcaklıkları açısından arttığı görülmektedir. Yüksek sıcaklıktaki bölgelerin sıcaklık değerlerinin daha da arttığı fakat sıcaklık profillerinin ise bir önceki hız seviyesi ile benzer olduğu gözlemlenmiştir. Homojen sıcaklık dağılımı yine üçüncü dakika başlamıştır.

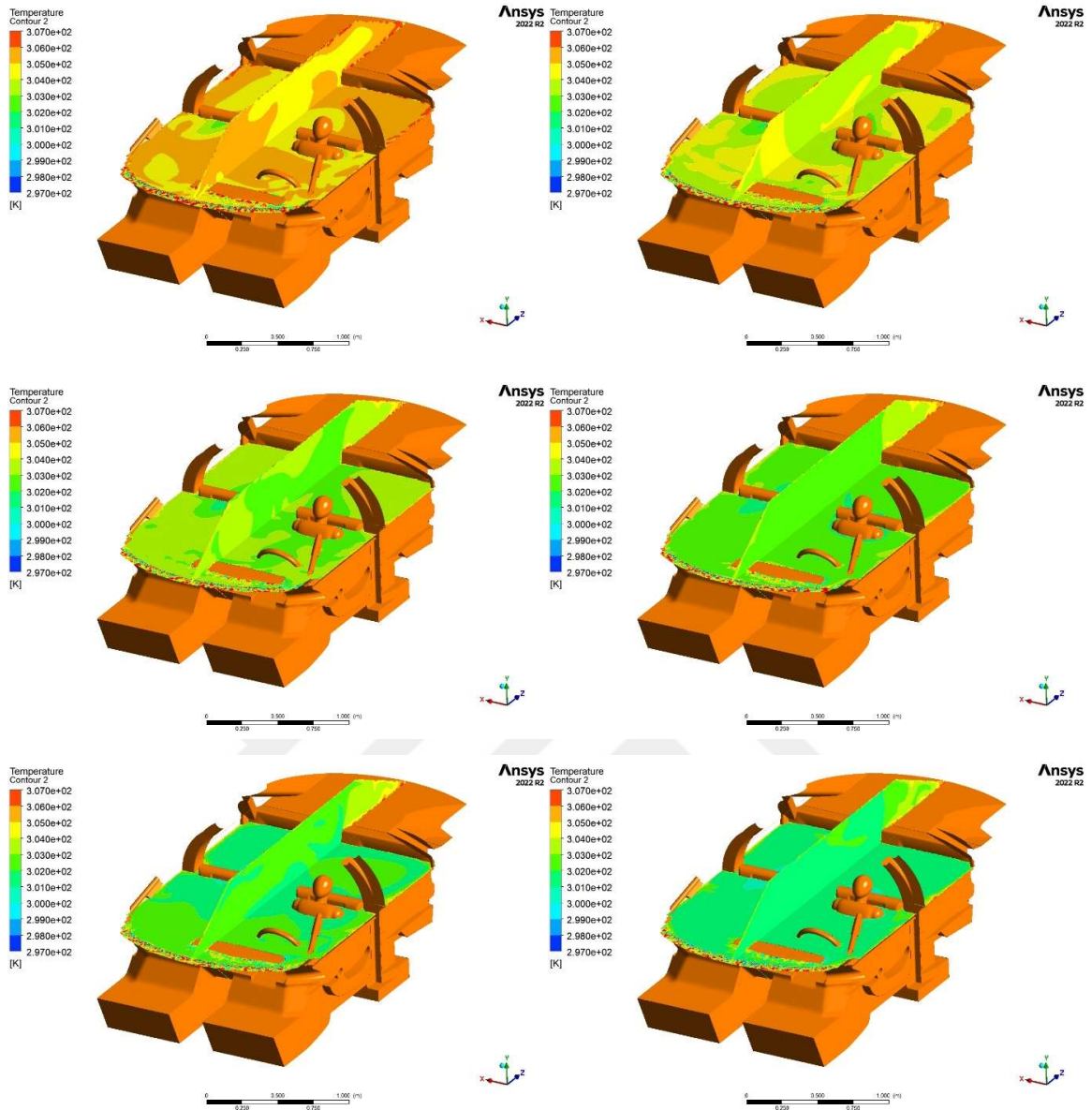


Şekil 3.15. Dördüncü seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.6. Dördüncü seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,307	304,259	303,466	302,829	302,362	302,02

Şekil 3.15 incelendiğinde ilk dakikada yolcu arkasındaki sıcak bölgelerin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Fakat sensör noktaları açısından incelendiğinde ilk dakikadan itibaren oldukça iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Beşinci seviye fan hızına göre ortalama hacim sıcaklığında düşüş meydana gelmesine rağmen homojenlik yine üçüncü dakika itibari ile başlamıştır.



Şekil 3.16. Dördüncü seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.7. Dördüncü seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,272	304,186	303,35	302,676	302,146	301,75

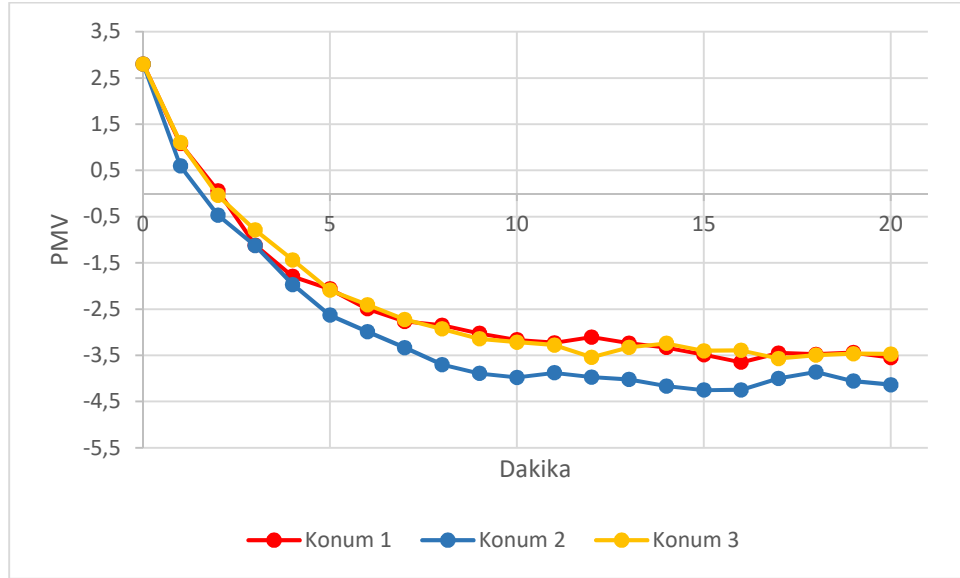
Şekil 3.16 incelendiğinde diğer iki konuma göre Konum 3'ün, ilk dakikada sensör bölgelerindeki sıcaklıkları diğer konumlara göre daha yüksektir. Fakat diğer konumlardaki yüksek sıcaklık bölgelerine bu konumda ve bu fan hızı seviyesinde rastlanmamaktadır. Hacim sıcaklığı açısından bakıldığında ise aynı fan seviyelerinde, en düşük sıcaklık değerleri bu konumda ortaya çıkmaktadır.

3.3.3. Üçüncü Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması

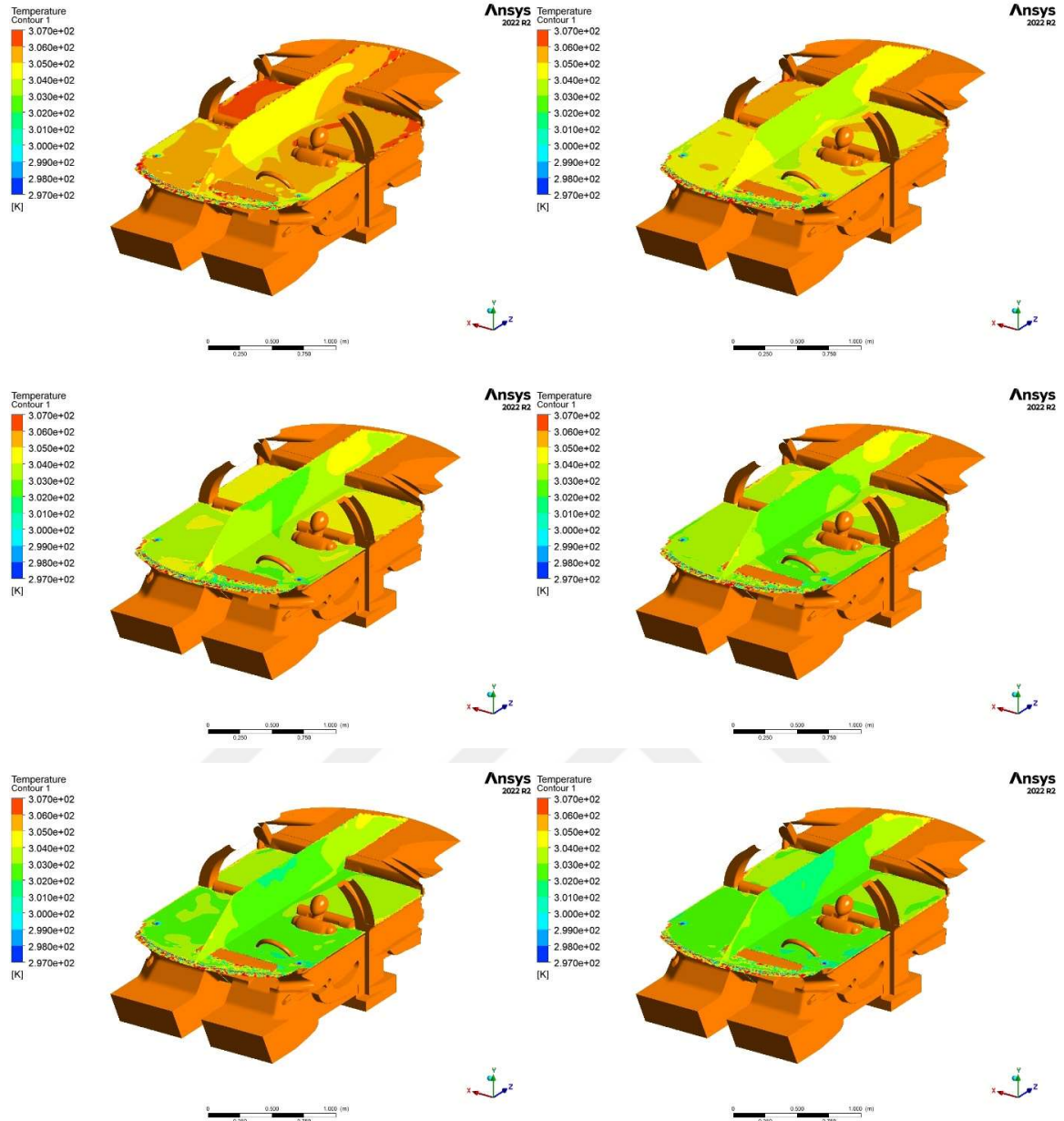
Fan hızının üçüncü seviye olduğu ve konumların değiştiği sıcaklık kontur grafikleri Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de sunulmuştur. İlk 6 dakikanın hacim sıcaklıkları yine Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Tablo 3.8, Tablo 3.9 ve Tablo 3.10 içerisinde sunulmuştur. Bütün konumların üçüncü fan seviyesinde zamana göre PMV değişimleri de Şekil 3.17’de verilmiştir.

Konum 1 ve Konum 2’nin kontur grafikleri dördüncü seviye ile yakındır. Konum 3’te de benzerlik vardır fakat üçüncü seviye fan hızında Konum 3’ün sıcaklık dağılımının daha homojen olduğu görülmektedir. Bu seviyedeki en düşük hacim sıcaklıkları sırasıyla Konum 3, Konum 2 ve Konum 1 şeklindedir.

Şekil 3.17 incelendiğinde PMV değerleri beşinci ve dördüncü seviye fan hızında olduğu gibi üçüncü seviye fan hızında da üçüncü dakika itibari ile 0 değerinin altına inmiştir. Fan hızının düşmesinden dolayı PMV değerlerinin sabit kaldığı sıcaklıklar yükselmiştir. PMV değerleri üçüncü seviye fan hızında -3.5 ile -4 arasında sabitlenmiştir. Fanın beşinci seviyede çalıştığı senaryoda PMV değerleri tüm konumlarda dördüncü dakikada -3 değerinin altına inmişken, fanın üçüncü seviyede çalıştığı senaryoda ise tüm konumlarda on beşinci dakikadan itibaren -3 değerinin altına inmiştir. Konumların PMV değerlerindeki eğrilerinin değişimleri beşinci seviye ile oldukça benzerdir.



Şekil 3.17. Üçüncü seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri

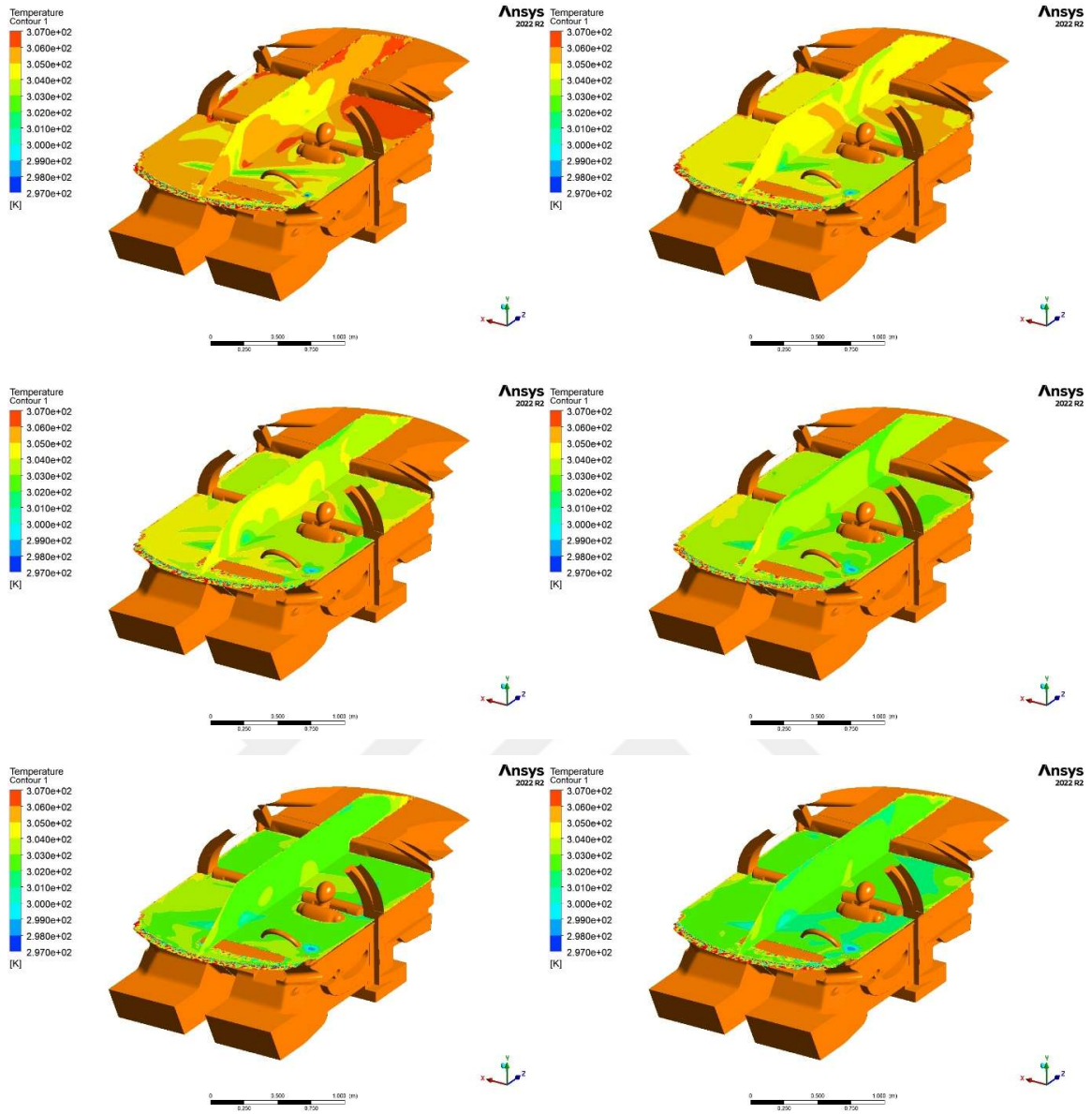


Şekil 3.18. Üçüncü seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.8. Üçüncü seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,61	304,777	304,127	303,645	303,278	302,976

Şekil 3.18 incelendiğinde ilk dakikada sıcak bölgelerin beşinci ve dördüncü fan seviyelerine göre arttığı gözlemlenmektedir. Kabinin orta bölgelerinde sıcaklıklar düşük olsa da arka koltuklara doğru sıcak bölgelerin arttığı tespit edilmiştir. Sensör bölgeleri açısından sıcaklık değerlerine bakıldığında Konum 3’den iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

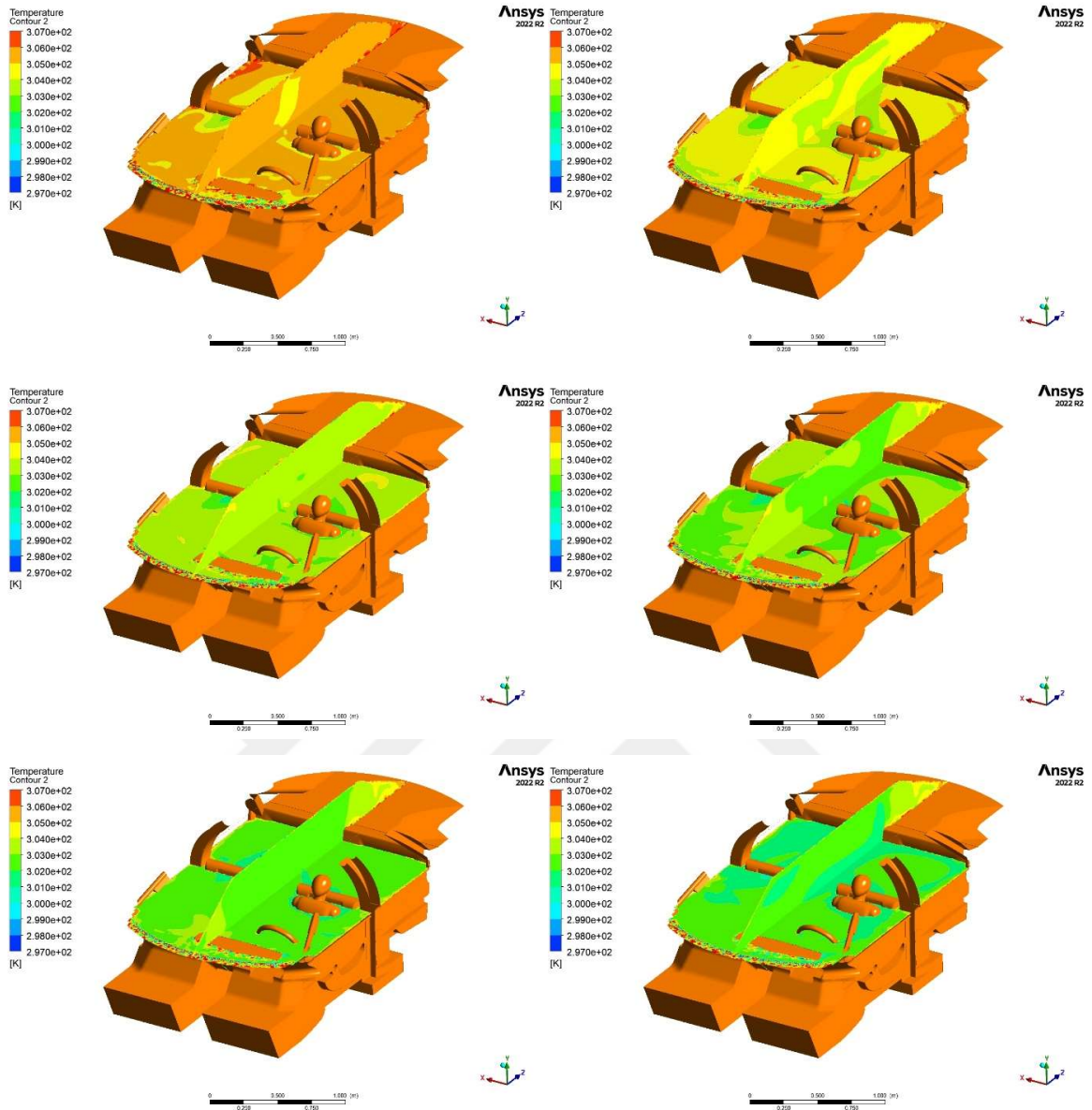


Şekil 3.19. Üçüncü seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.9. Üçüncü seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,535	304,635	303,924	303,333	302,856	302,508

Şekil 3.19 incelendiğinde ilk dakikada sürücünün arka taraflarındaki yüksek sıcaklıklı bölgelerin bir önceki fan seviyesine göre genişlediği gözlemlenmektedir. Yüksek sıcaklıklı bölgelerin genişlemesine rağmen sensör bölgelerinde yakalanan iyi soğutma sıcaklıkları bu hız seviyesinde de kendini korumaktadır. Homojen sıcaklık dağılımının önceki fan seviyeleriyle aynı dakikalarda yani üçüncü dakika itibarı ile başladığı görülmektedir.



Şekil 3.20. Üçüncü seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.10. Üçüncü seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,461	304,497	303,736	303,119	302,63	302,238

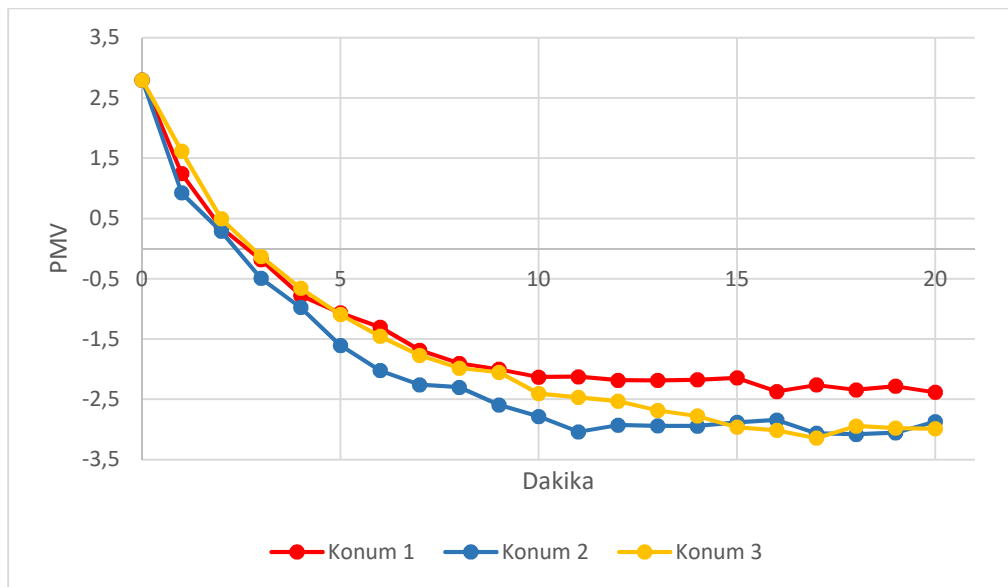
Şekil 3.20 incelendiğinde ilk dakikada yüksek sıcaklıklı bölgelerin diğer konulara göre yine az olduğu belirlenmiştir. Sıcaklıklar ilk dakikada da homojen bir şekilde dağılmıştır. Fakat diğer konumlara göre her ne kadar homojen sıcaklık dağılımına sahip olsa da sensör bölgelerinde diğer konumların daha iyi soğutma gerçekleştirdiği görülmektedir. Sıcaklıklar homojen dağılım şeklinde tüm hacimde azalmıştır.

3.3.4. İkinci Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması

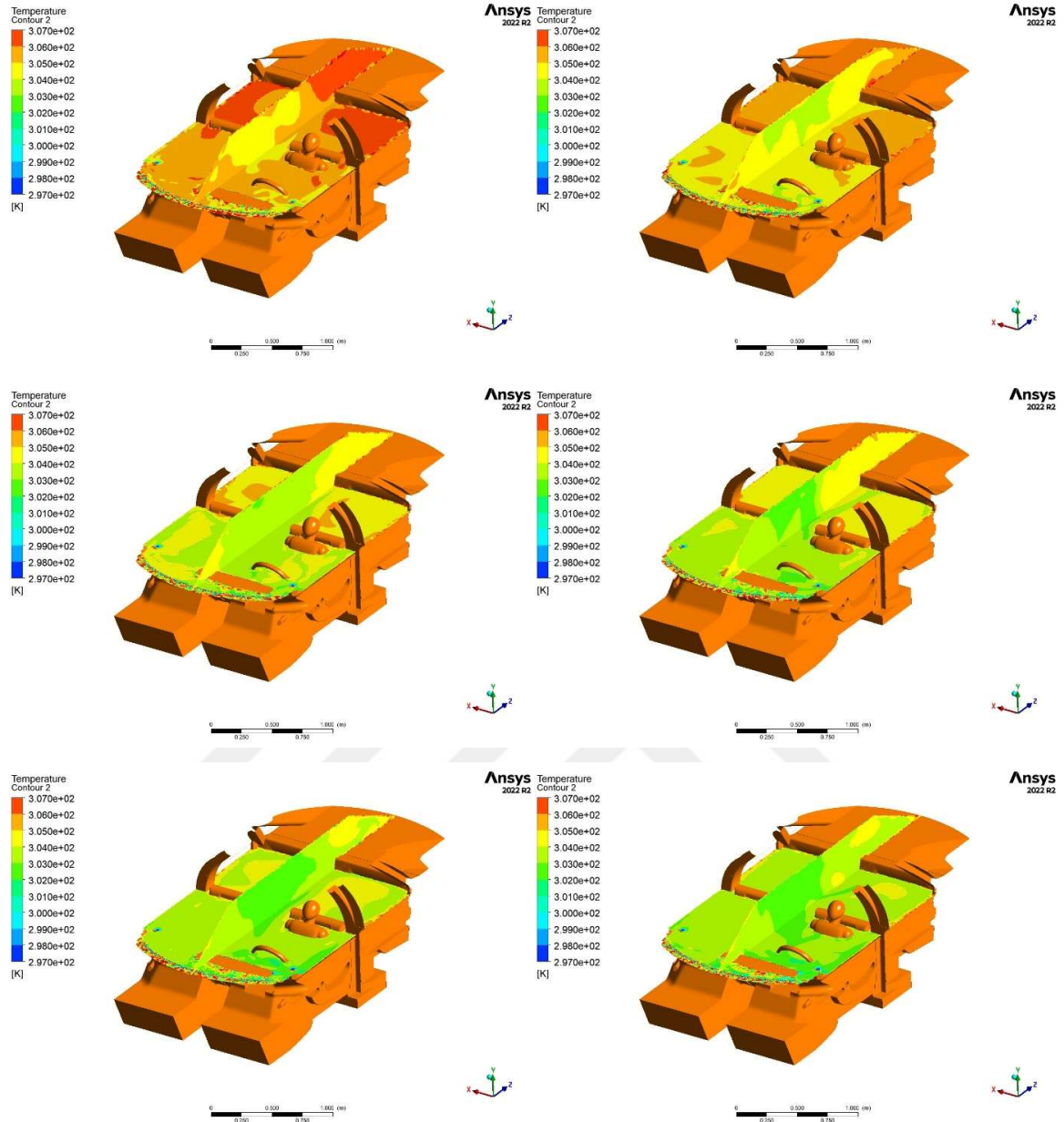
Fan hızının ikinci seviye olduğu ve konumların değiştiği sıcaklık kontur grafikleri Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de sunulmuştur. İlk 6 dakikanın hacim sıcaklıkları yine Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Tablo 3.11, Tablo 3.12 ve Tablo 3.13 içerisinde sunulmuştur. Bütün konumların ikinci fan seviyesinde zamana göre PMV değişimleri de Şekil 3.21’de verilmiştir.

Bütün konumların kontur grafikleri incelendiğinde daha yüksek hız seviyelerine göre en büyük fark orta noktaların sıcaklığının artması olarak görülmektedir. Konum 2’de sıcak bölgeler ön orta kısımlara doğru artarken Konum 1’de ise arka orta bölgelere doğru artmaktadır. Konum 3 diğer konumlara göre daha homojen sıcaklık dağılımına sahiptir. Bu seviyedeki en düşük hacim sıcaklıkları bir önceki fan seviyesinde olduğu gibi sırasıyla Konum 3, Konum 2 ve Konum 1 şeklindedir.

Şekil 3.21 incelendiğinde PMV değerleri dördüncü dakikadan itibaren 0 değerinin altına inmiştir. İkinci seviyenin üstünde çalışan fanlara göre bir dakika sonra 0 değerinin altına indiği görülmektedir. Fan hızının düşmesinden dolayı PMV değerlerinin sabit kaldığı sıcaklıklar diğer fan seviyelerinde de olduğu gibi yükselmiştir. PMV değerleri ikinci seviye fan hızında -2.5 ile -3 arasında sabitlemiştir. Fanın beşinci seviyede çalıştığı senaryoda PMV değerleri tüm konumlarda dördüncü dakikada -3 değerinin altına inmişken, fanın ikinci seviyede çalıştığı senaryoda ise tüm konumlarda -3 değerinin altına inememiştir. Bu hız seviyesinde PMV eğrilerinde farklılık meydana gelmiştir. Konum 1 ve Konum 2 diğer hız seviyeleri ile benzer eğrilere sahipken Konum 3 onuncu dakikadan itibaren Konum 2’ye yaklaşmıştır.



Şekil 3.21. İkinci seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri

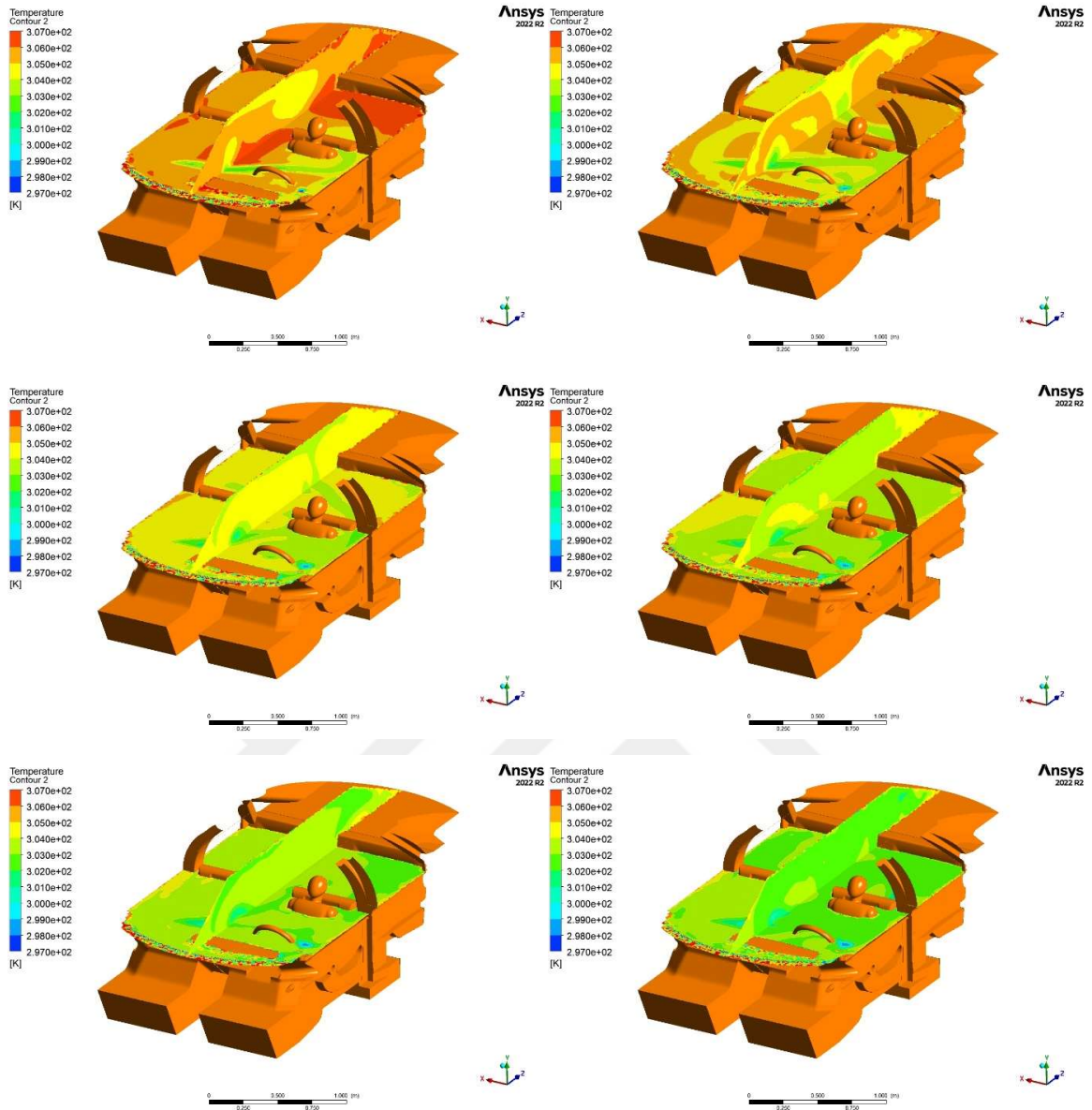


Şekil 3.22. İkinci seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.11. İkinci seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,801	305,104	304,542	304,118	303,778	303,501

Şekil 3.22 incelendiğinde ilk dakikada araç kabininin arka bölgelerinde yüksek sıcaklık bölgelerinin olduğu görülmektedir. Kabinin orta bölgelerinde önceki fan seviyelerinde olan ve diğer bölgelere göre düşük sıcaklıkların gerçekleştiği bölgeler bu fan seviyesinde de devam etmektedir. Homojen sıcaklık dağılımlarının beşinci dakika itibari ile başladığını söyleyebiliriz.

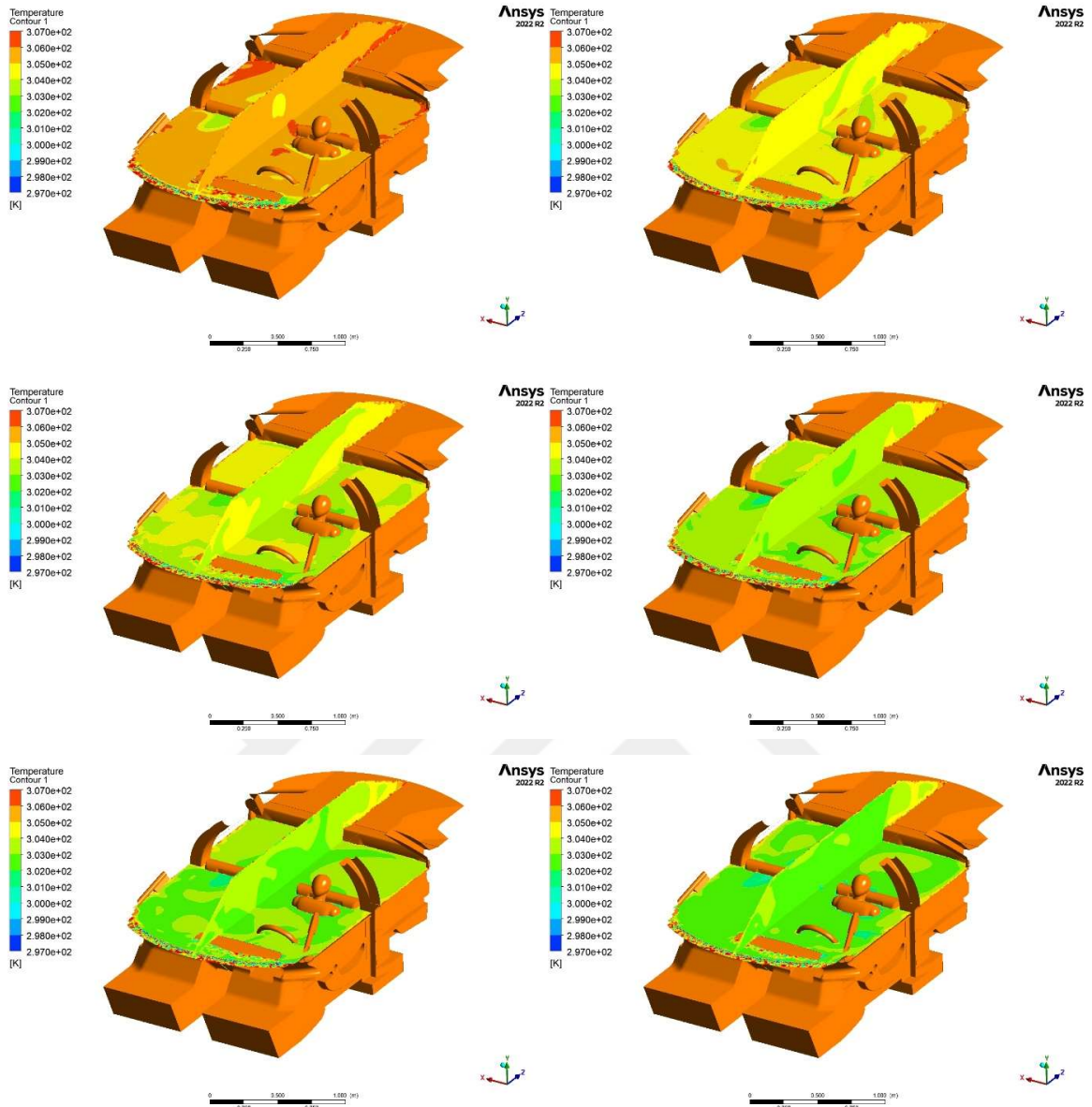


Şekil 3.23. İkinci seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.12. İkinci seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,71	304,955	304,345	303,817	303,382	303,027

Şekil 3.23 incelendiğinde ilk dakikada sürücünün arka bölgelerinde olan yüksek sıcaklık bölgelerine ek olarak bu fan seviyesinde kabinin orta bölgelerde de yüksek sıcaklıklar ile karşılaşmıştır. Bu yüksek sıcaklık değerlerine sahip bölgelerin oluşmasına rağmen sensör bölgelerinde halen oldukça iyi sıcaklık değerleri görülmektedir. Homojen sıcaklık dağılımı beşinci dakika itibari ile başlamıştır.



Şekil 3.24. İkinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.13. İkinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,672	304,87	304,212	303,666	303,227	302,866

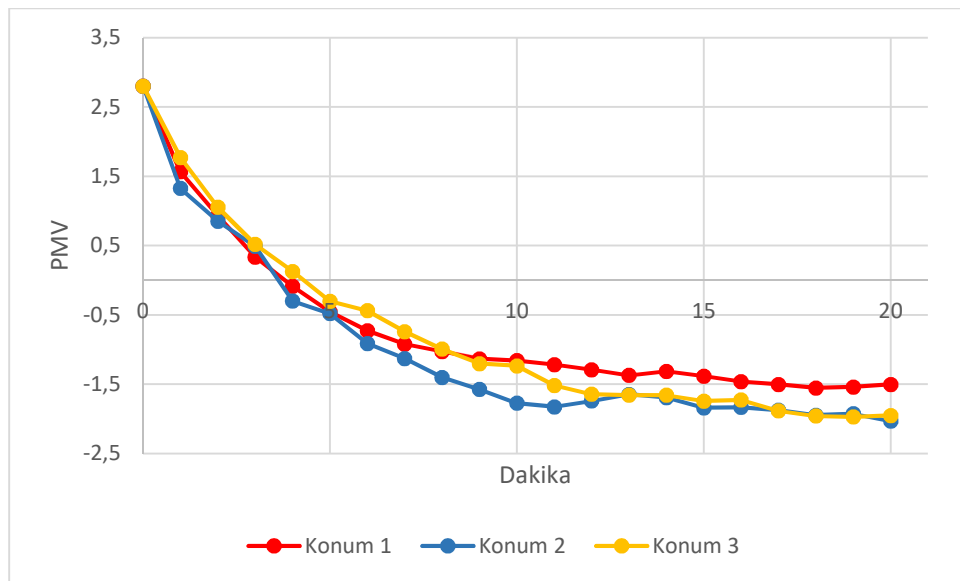
Şekil 3.24 incelendiğinde sıcaklıkların ilk dakikadan itibaren yine homojen dağıldığı görülmektedir. Fakat homojen dağılan sıcaklık değeri diğer konumların sensör bölgelerinde oluşturduğu sıcaklık değerlerinden yüksektir. Bu durum da bizi Konum 3'ün sensör bölgeleri özelinde daha kötü bir soğutma yaptığı sonucuna ulaştırmıştır. Sıcaklıklar tüm dakikalarda homojen dağılmış ve dakikalar ilerledikçe düşmüştür.

3.3.5. Birinci Seviye Fan Hızı İle Konumların Kıyaslanması

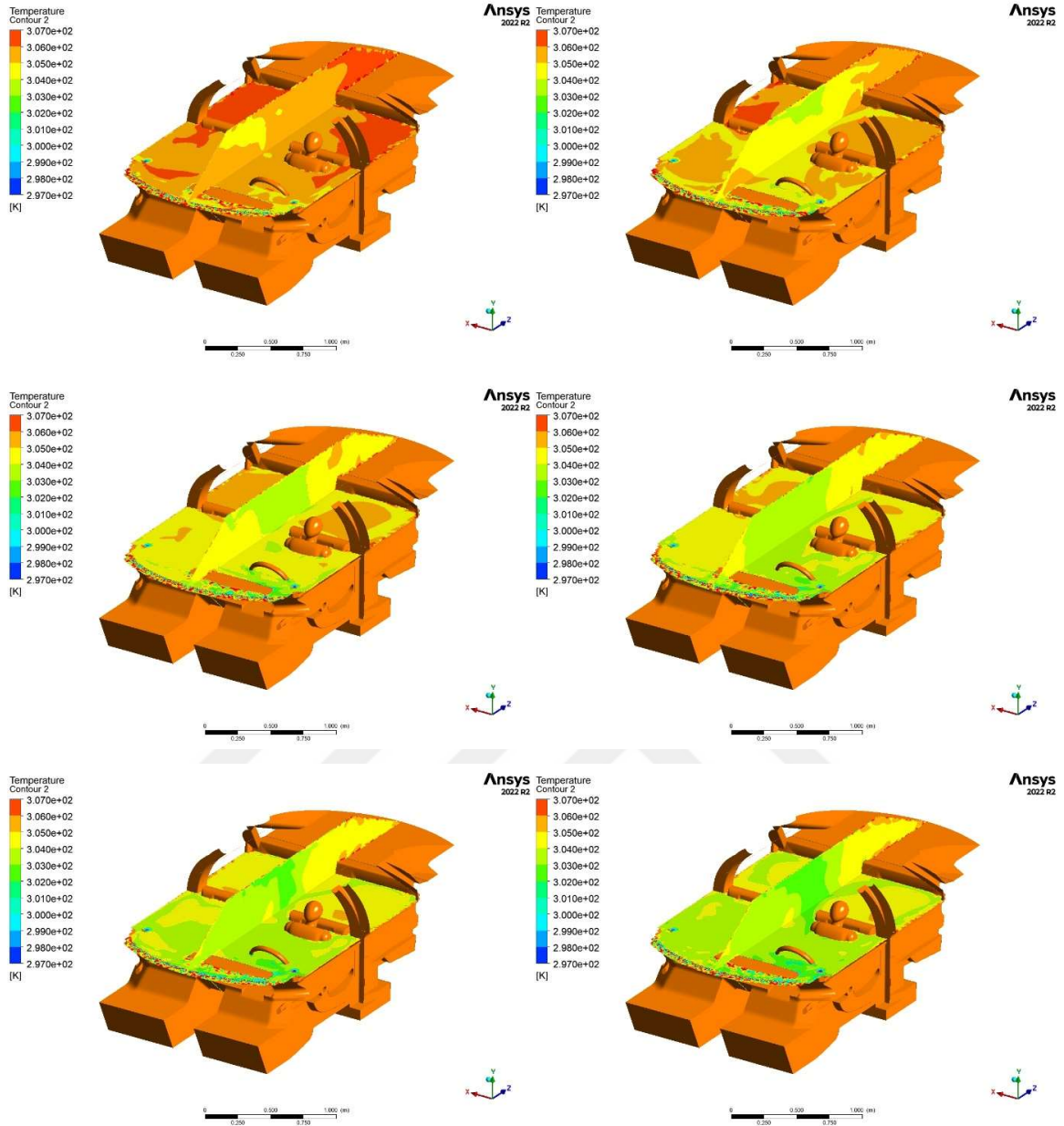
Fan hızının birinci seviye olduğu ve konumların değiştiği sıcaklık kontur grafikleri Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de sunulmuştur. İlk 6 dakikanın hacim sıcaklıkları yine Konum 1-2-3 olacak şekilde sırasıyla Tablo 3.14, Tablo 3.15 ve Tablo 3.16 içerisinde sunulmuştur. Bütün konumların birinci fan seviyesinde zamana göre PMV değişimleri de Şekil 3.25’de gösterilmiştir.

Şekil 3.26, 3.27 ve 3.28 incelendiğinde ilk dakikada Konum 2’nin sürücü bölgesi hariç diğer bölgelerinin sıcaklığının oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Fakat sürücü bölgesinin diğer hızlarda da olduğu gibi yine iyi performans sergilediği görülmektedir. Konum 3 hacim sıcaklığı açısından diğer konumlara göre yine iyi performans sergilemektedir. Bu seviyedeki en düşük hacim sıcaklıkları da bir önceki fan seviyesinde olduğu gibi sırasıyla Konum 3, Konum 2 ve Konum 1 şeklindedir.

Şekil 3.25 incelendiğinde PMV değerleri beşinci dakikadan itibaren 0 değerinin altına inmiştir. İkinci seviyede çalışan fana göre bir dakika sonra 0 değerinin altına indiği görülmektedir. Fan hızının düşmesinden dolayı PMV değerlerinin sabit kaldığı sıcaklıklar diğer fan seviyelerinde de olduğu gibi yükselmiştir. PMV değerleri birinci seviye fan hızında -2 ile -1.5 arasında sabitlenmiştir. Fanın beşinci seviyede çalıştığı senaryoda PMV değerleri tüm konumlarda dördüncü dakikada -3 değerinin altına inmişken, fanın birinci seviyede çalıştığı senaryoda ise tüm konumlarda -3 değerinin altına inmemiştir. İkinci hız seviyesinde olduğu gibi bu hız seviyesinde de PMV eğrilerinde farklılık meydana gelmiştir. Konum 1 ve Konum 2 diğer hız seviyeleri ile benzer eğrilere sahipken Konum 3 on birinci dakikadan itibaren Konum 2’ye yaklaşmıştır.



Şekil 3.25. Birinci seviye sabit fan ve beşinci seviye sabit kompresör kullanımında konumların zamana göre PMV değişimleri

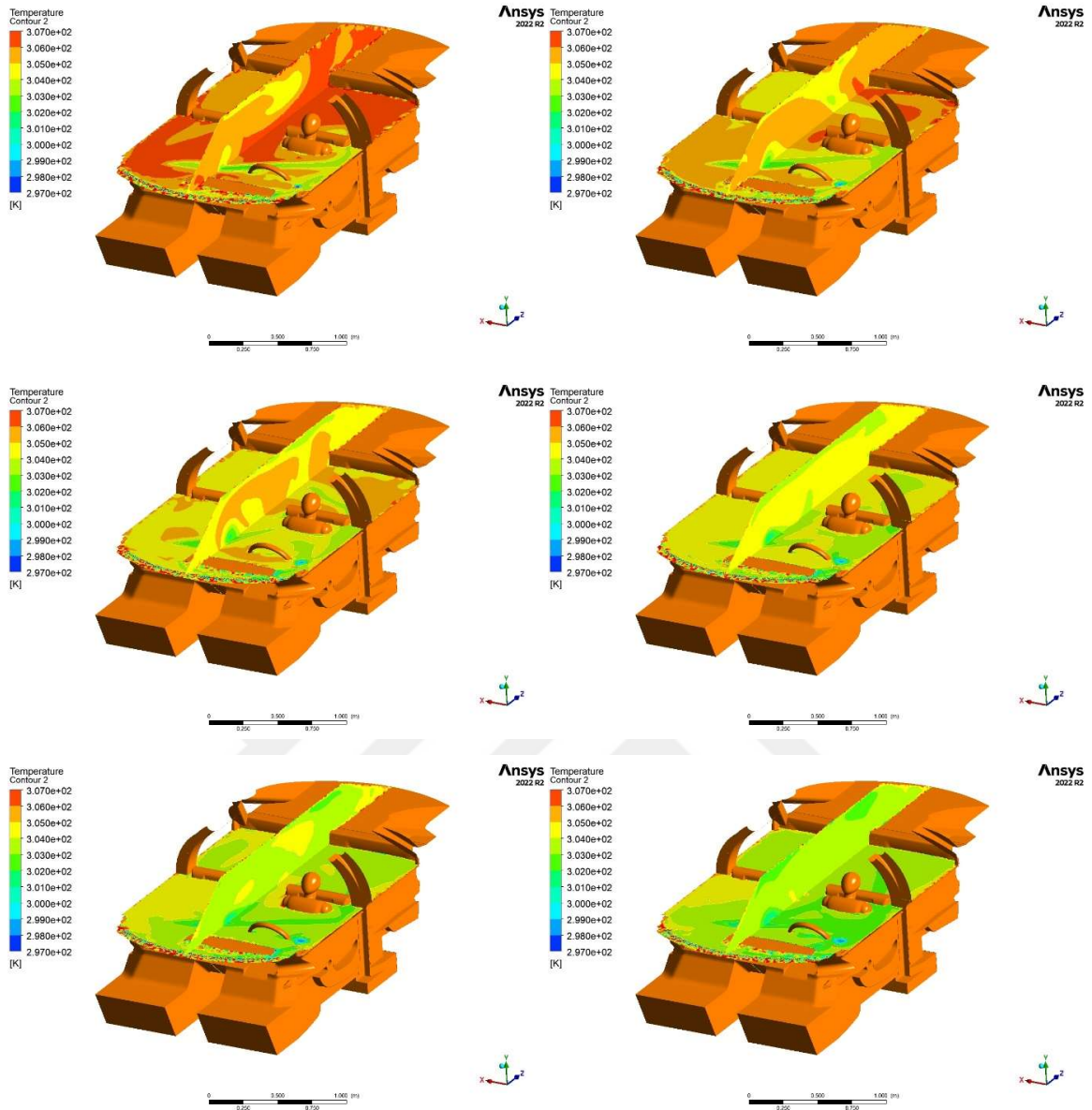


Şekil 3.26. Birinci seviye fan hızı ve birinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.14. Birinci seviye fan hızı ve birinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,94	305,369	304,899	304,524	304,218	303,967

Şekil 3.26 incelendiğinde konum önceki fan seviyesinde olan yüksek sıcaklıklı bölgelerin genişlediği tespit edilmiştir. Homojen sıcaklık dağılımlarının diğer fan seviyelerine göre kötüleştiği ve altıncı dakika itibari ile başladığı görülmektedir.

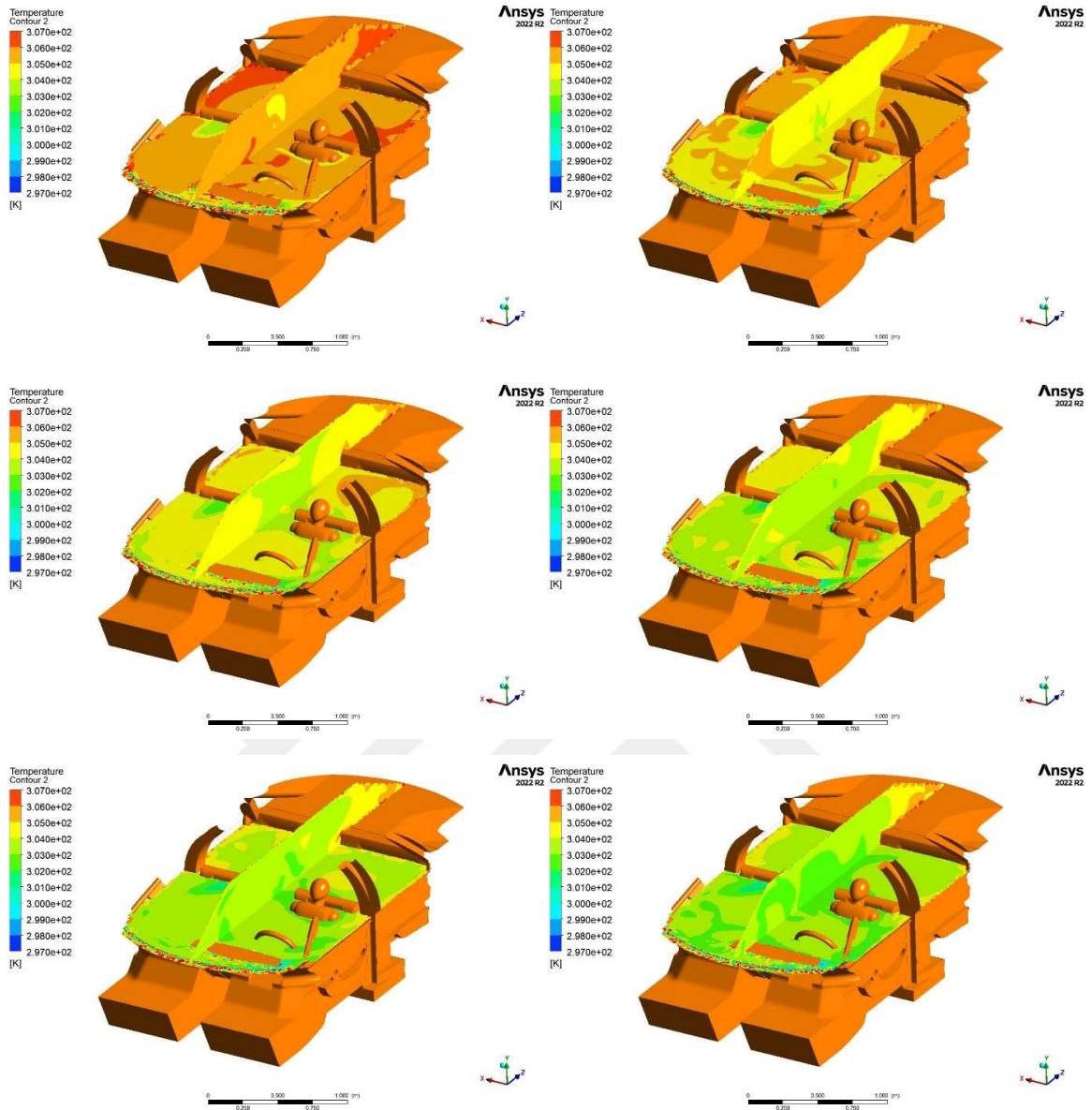


Şekil 3.27. Birinci seviye fan hızı ve ikinci konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.15. Birinci seviye fan hızı ve ikinci konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,893	305,275	304,763	304,309	303,914	303,608

Şekil 3.27 incelendiğinde ilk dakikalardaki yüksek sıcaklıklı bölgelerin bu fan seviyesinde de devam ettiği belirlenmiştir. Aynı şekilde sensör bölgelerindeki düşük sıcaklık değerleri bu fan seviyesinde de ilk dakikadan itibaren kendini göstermektedir. Homojen sıcaklık dağılımlarının altıncı dakika itibarı ile başladığı görülmektedir.



Şekil 3.28. Birinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun sıcaklık kontur grafikleri (ilk 6 dakika verilmiştir, dakikalar soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır.)

Tablo 3.16. Birinci seviye fan hızı ve üçüncü konumun hacim sıcaklığının dakika ile değişimi

Dakika	1	2	3	4	5	6
Hacim Sıcaklığı (K)	305,835	305,168	304,603	304,121	303,731	303,405

Şekil 3.28 incelendiğinde homojen sıcaklık dağılımların diğer fan seviyelerine göre biraz bozulduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklıklı bölgeler bu fan seviyesinde Konum 3’de de görülmeye başlanmıştır. Sensör bölgeleri açısından Konum 1 ile benzer değerlere sahiptir. Sıcaklıkların homojen dağılımı diğer konumlara göre daha iyidir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen bulgular, PMV odaklı otonom iklimlendirme sisteminin elektrikli araçlarda kullanılması durumunda oldukça fazla enerji tasarrufu sağlayacağını göstermiştir. İklimlendirme sisteminin manuel olarak çalıştırıldığı durumlarda PMV değerlerinin en düşük fan hızlarında bile 0 değerinin oldukça altında seyrettiği görülmüştür. Bu durum fazladan enerji tüketiminin nereden kaynaklandığını da göstermektedir. Literatür içerisinde, araştırmacılar kendi ürettikleri algoritmaları aç-kapa stratejisine sahip algoritmalar ile de kıyaslamışlardır. Fakat bu durum bizim açımızdan kullanışlı değildir. Sebebi ise aç-kapa algoritmalarının da yine araştırmacılar tarafından oluşturulmasıdır. Araştırmacılar tarafından oluşturulan bu algoritmalar ister istemez farklılık göstermektedir. Bu çalışmada bizim kullandığımız geleneksel yöntem yani sabit kompresör ve sabit fan hızı herhangi bir araştırmacıya bağlı olmadığından kıyas açısından en doğru yöntemdir. Bu geleneksel yöntem ile PMV odaklı otonom iklimlendirme sistemi kıyaslandığında %83,5 enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Sağlanan bu enerji tasarrufu tez çalışmasının başında belirtilen amaca en iyi şekilde ulaşıldığını göstermektedir.

Bu çalışmanın bir diğer önemli noktası ise farklı klima menfez konumları ile PMV odaklı otonom iklimlendirme sisteminin beraber kullanılmasıdır. Bu farklı menfez konumlarının kullanılması bizlere araçlarda pasif olarak bile enerji tasarrufu sağlayabileceğimizi göstermiştir. Konum 2'nin, sürücünün çevresini oldukça iyi soğutması bu çalışma özelinde en iyi konum olmasını sağlamıştır. Çünkü bu çalışmada yalnızca sürücünün seyahat ettiği durumlar ele alınmıştır. Ayrıca sayısal çalışmada konumların araç kabininin hangi bölgelerini daha iyi soğuttuğu açıkça görülmüştür. Bu farkların oluşması bile doğru klima menfez konumunun seçilmesinin her araç için oldukça önemli olduğunu göstermiştir. Konum 2'de kullanılan menfezlerden birinin daha geniş bir çıkış alanına sahip olması en iyi konum seçilmesine yardımcı olmuştur. Bir menfezin çıkış alanını diğerlerinden farklı yaparak artan çıkış alanının da etkileri görülmek istenmiştir. Konum 2'de kullanılan yatay uzun menfez diğer menfezlere göre daha düşük hızlarda akışı hacme yönlendirmiştir. Ayrıca akışın diğer menfezlere göre daha geniş bir hacme yayılmasını da sağlamıştır.

Konum 2 ve Konum 1 de menfezlerden kabine giren akış, camlar ile kapıların kesiştiği çizginin üzerinde yoğunlaşırken Konum 3'de camlar ile kapıların kesiştiği bölgenin altında yoğunlaşmıştır. Kabin içine Konum 3 ile giren akışkan, diğer konumlara göre camlara daha az temas ettiği için sıcaklığını daha uzun süre koruyabilmiştir. Nitekim bu durumu kabinin ortalama hacim sıcaklığı değerlerinde de görebilmekteyiz. Konum 3 hacim sıcaklık değerlerinde en düşük değerlere sahiptir. Bunun nedeni olarak kabin içine giren akışkanın camlarla temasının az olmasına bağlayabiliriz.

ÖNERİLER

Bu çalışma konusu ve içeriği itibari ile otomobil üreten firmalara hitap etmektedir. Üretecekleri otomobillerde PMV odaklı otonom iklimlendirme kullanarak oldukça fazla enerji tasarrufu sağlayacaklardır. Özellikle elektrikli otomobillerde iklimlendirme ünitesinin yol açtığı menzil kayıplarının önüne geçebilmek adına çok iyi bir çözüm olacaktır. Fakat mevcut çalışmada sıcaklık sensörlerinin yerleşiminin gerçek hayatta uygulanmasında karşılaşılabilecek zorluklardan dolayı sunulacak öneriler aşağıda verilmiştir:

- Aracın belirli noktalarına termal kameralar yerleştirilebilir. Birden fazla noktadaki bu kameraların elde ettiği görseller bir yazılım aracılığıyla tıpkı sayısal çalışmada olduğu gibi tek bir kontur grafiği haline dönüştürülebilir. Bu sayede sensör kullanmadan aracın istenilen bütün noktalarının sıcaklık ölçümleri alınabilir.
- Aracın belirli noktalarına yerleştirilen bu kameralar sayesinde sürücü veya yolcuların hangi kıyafetleri giydikleri belirlenebilir. Bu sayede I_{cl} değeri de tablodan otomatik olarak alınabilir.
- Araç içerisine yerleştirilen klima menfezleri yalnızca kabin içerisindekilerin olduğu bölgeleri soğutmalıdır. Bunu yapabilmek içinde sistemin bazı menfezleri kapatıp açabilme yetkisi olmalıdır. Örneğin yalnızca sürücü var ise eğer sistem belirli klima menfezlerini kapatabilir ve yalnızca sürücünün olduğu bölgedeki menfezleri çalıştırabilir.
- Araç firmaları yalnızca sürücünün olduğu, sürücü ve ön koltukta oturan yolcunun olduğu, sürücü ve 2 yolcunun olduğu, sürücü ve 3 yolcunun olduğu, son olarak da sürücü ve 4 yolcunun olduğu durumları tek tek simüle etmelidir. Bu simülasyonlarda hangi bölgelerde oturuluyorsa oralara etki eden ve açık olması gereken menfezler belirlenebilir. Yolcuların hangi koltukta ve hangi bölgede oturdukları koltuklara yerleştirilen ağırlık sensörleri ile belirlenebilir.
- Sürücü ve yolcuların oturdukları kombinasyonlara göre ölçüm noktaları da belirlenmelidir. Bu işlemde yine deneysel veya sayısal simülasyonlar aracılığıyla yapılmalıdır. Belirlenen noktaların sıcaklıkları üst maddelerde belirtilen kontur grafiklerinden alınabilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] J.H. Lee, M. Cho, G. Tal, S. Hardman, Do plug-in hybrid adopters switch to battery electric vehicles (and vice versa)?, *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 119 (2023) 103752. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103752>.
- [2] D. Pevec, J. Babic, A. Carvalho, Y. Ghiassi-Farrokhfal, W. Ketter, V. Podobnik, A survey-based assessment of how existing and potential electric vehicle owners perceive range anxiety, *J. Clean. Prod.* 276 (2020) 122779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122779>.
- [3] D. Essa, B. Spickler, C. Depcik, M.B. Shiflett, Air conditioning cycle simulations using a ultrahigh-speed centrifugal compressor for electric vehicle applications, *Int. J. Refrig.* 131 (2021) 803–816. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.07.030>.
- [4] S. Göltz, O. Sawodny, Design and comparison of model-based controllers for an automotive air conditioning system in an electric vehicle, *Control Eng. Pract.* 130 (2023) 105376. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2022.105376>.
- [5] R. Zhao, W. Li, W. Zhuge, Unsteady characteristic and flow mechanism of a scroll compressor with novel discharge port for electric vehicle air conditioning, *Int. J. Refrig.* 118 (2020) 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.06.022>.
- [6] M. Schweizer, M. Stöckl, R. Tutunaru, U. Holzhammer, Influence of heating, air conditioning and vehicle automation on the energy and power demand of electromobility, *Energy Convers. Manag.* X 20 (2023) 100443. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100443>.
- [7] N. Li, K. Xie, C. Liu, J. Zhou, J. Yin, New control methodology of electric vehicles energy consumption optimization based on air conditioning thermal comfort, *Appl. Therm. Eng.* 241 (2024) 122375. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122375>.
- [8] Q. Zhang, R. Tu, X. Yang, Performance analyses of a novel free-cooling assisted air conditioning system applied to electrical vehicles, *Appl. Therm. Eng.* 238 (2024) 122003. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.122003>.
- [9] M.S. Oh, J.H. Ahn, D.W. Kim, D.S. Jang, Y. Kim, Thermal comfort and energy saving in a vehicle compartment using a localized air-conditioning system, *Appl. Energy* 133 (2014) 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.089>.
- [10] Y. Xie, P. Yang, Y. Qian, Y. Zhang, K. Li, Y. Zhou, A two-layered eco-cooling control strategy for electric car air conditioning systems with integration of dynamic programming and fuzzy PID, *Appl. Therm. Eng.* 211 (2022) 118488. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118488>.
- [11] L. He, P. Li, Y. Zhang, H. Jing, Z. Gu, Control strategy analysis of multistage speed compressor for vehicle air conditioning based on particle swarm optimization, *Case Stud. Therm. Eng.* 47 (2023) 103033. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103033>.
- [12] X. Huang, K. Li, Y. Xie, B. Liu, J. Liu, Z. Liu, L. Mou, A novel multistage constant compressor speed control strategy of electric vehicle air conditioning system based on genetic algorithm, *Energy* 241 (2022) 122903. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122903>.
- [13] Y. Zhang, Z. Li, S. Liu, G. Wang, H. Chang, A Study of Passenger Car Cabin Pre-Ventilation under the Sun, *Energies* 16 (2023) 7154. <https://doi.org/10.3390/en16207154>.

- [14] Y. Xie, J. Ou, W. Li, K. Li, J. Liu, Z. Liu, D. Zhou, J. Li, An intelligent eco-heating control strategy for heat-pump air conditioning system of electric vehicles, *Appl. Therm. Eng.* 216 (2022) 119126. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119126>.
- [15] F. Cigarini, P. Schminkel, M. Sonnekalb, P. Best, D. Göhlich, Determination of improved climatic conditions for thermal comfort and energy efficiency in electric buses, *Appl. Ergon.* 105 (2022) 103856. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103856>.
- [16] J. Oh, K. Choi, G. Son, Y.-J. Park, Y.-S. Kang, Y.-J. Kim, Flow analysis inside tractor cabin for determining air conditioner vent location, *Comput. Electron. Agric.* 169 (2020) 105199. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105199>.
- [17] C. Neacsu, I. Tabacu, M. Ivanescu, I. Vieru, The evaluation of the overall thermal comfort inside a vehicle, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 252 (2017) 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/252/1/012031>.
- [18] T. Dehne, P. Lange, A. Volkmann, D. Schmeling, M. Konstantinov, J. Bosbach, Vertical ventilation concepts for future passenger cars, *Build. Environ.* 129 (2018) 142–153. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.024>.
- [19] W. Liu, W. Ji, X. Du, Y. Fu, Investigation on Numerical Simulation of Radiation Heating Thermal Environment in Car Cabin, *J. Phys. Conf. Ser.* 1838 (2021) 012055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1838/1/012055>.
- [20] Z. Miao, R. Tu, Y. Kai, G. Huan, L. Kang, X. Zhou, A novel method based on thermal image to predict the personal thermal comfort in the vehicle, *Case Stud. Therm. Eng.* 45 (2023) 102952. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102952>.
- [21] C. Feng, F. Ma, R. Wang, W. Li, J. Gao, A thermal comfort evaluation on vehicular environments based on local human body thermal sensations, *Results Eng.* 17 (2023) 100907. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100907>.
- [22] D. Hu, C. Qiu, D. Lu, J. Wang, H. Huang, H. Xue, An intelligent thermal comfort control strategy for air conditioning of fuel cell vehicles, *Appl. Therm. Eng.* 248 (2024) 123286. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123286>.
- [23] K. Ravindra, N. Agarwal, S. Mor, Assessment of thermal comfort parameters in various car models and mitigation strategies for extreme heat-health risks in the tropical climate, *J. Environ. Manage.* 267 (2020) 110655. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110655>.
- [24] W. Li, J. Chen, F. Lan, H. Xie, Human thermal sensation and its algorithmic modelization under dynamic environmental thermal characteristics of vehicle cabin, *Indoor Air* 32 (2022) e13168. <https://doi.org/10.1111/ina.13168>.
- [25] J. Ham, Y. Shin, M. Lee, H. Cho, Investigation of performance and energy cost of automobile air-conditioner using alternative refrigerants based on thermal comfort using various cooling seats, *Results Eng.* 20 (2023) 101541. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101541>.
- [26] M. Shin, Y. Shin, Y. Kim, H. Cho, Investigation of drivers' thermal comfort based on selective cooling seats with air conditioner in summer using biosignals and subjective survey, *Build. Environ.* 250 (2024) 111199. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111199>.
- [27] Y. Kim, M. Lee, Y. Shin, H. Cho, Investigation of changes in Driver's biosignals and thermal comfort according to the heating method in winter, *Case Stud. Therm. Eng.* 42 (2023) 102749. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102749>.

- [28] J. Ko, K. Thu, T. Miyazaki, Transient analysis of an electric vehicle air-conditioning system using CO₂ for start-up and cabin pull-down operations, *Appl. Therm. Eng.* 190 (2021) 116825. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116825>.
- [29] S. Zong, W. Wang, X. Yin, Y. Song, L. Huang, F. Cao, Z. Zhang, B. Wang, Evaluation of energy-saving potential and cabin thermal comfort for automobile CO₂ heat pump, *Appl. Therm. Eng.* 228 (2023) 120339. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120339>.
- [30] D. Sood, D. Das, S. Fatima Ali, D. Rakshit, Numerical analysis of an automobile cabin thermal management using passive phase change material, *Therm. Sci. Eng. Prog.* 25 (2021) 100870. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100870>.
- [31] S. Zong, J. Ren, Y. Guan, Y. Zhang, Z. Cao, X. Yin, X. Yang, F. Cao, F. Duan, Experimental study and performance evaluation of R744 thermal management systems with enhanced parallel cooling for electric vehicles, *J. Power Sources* 621 (2024) 235152. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.235152>.
- [32] Z. Jiang, M. Li, Z. Liu, Y. Tian, K. Li, N. Liu, H. Zhang, Performance analysis and thermal comfort evaluation of a CO₂ transcritical air-conditioning system for cabin thermal management of electric vehicles, *J. Clean. Prod.* 479 (2024) 144023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144023>.
- [33] C.-J. Yang, T.-C. Yang, P.-T. Chen, K.D. Huang, An Innovative Design of Regional Air Conditioning to Increase Automobile Cabin Energy Efficiency, *Energies* 12 (2019) 2352. <https://doi.org/10.3390/en12122352>.
- [34] Q. Zhang, R. Tu, X. Yang, Performance analyses of a novel free-cooling assisted air conditioning system applied to electrical vehicles, *Appl. Therm. Eng.* 238 (2024) 122003. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.122003>.
- [35] Z. Tian, Ch. Qian, B. Gu, L. Yang, F. Liu, Electric vehicle air conditioning system performance prediction based on artificial neural network, *Appl. Therm. Eng.* 89 (2015) 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.06.002>.
- [36] L. Tan, Y. Yuan, Computational fluid dynamics simulation and performance optimization of an electrical vehicle Air-conditioning system, *Alex. Eng. J.* 61 (2022) 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.05.001>.
- [37] X. Huang, K. Li, Y. Xie, B. Liu, J. Liu, Z. Liu, L. Mou, A novel multistage constant compressor speed control strategy of electric vehicle air conditioning system based on genetic algorithm, *Energy* 241 (2022) 122903. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122903>.
- [38] H.A. Ahmed, T.F. Megahed, S. Mori, S. Nada, H. Hassan, Performance investigation of new design thermoelectric air conditioning system for electric vehicles, *Int. J. Therm. Sci.* 191 (2023) 108356. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2023.108356>.
- [39] L. He, P. Li, Y. Zhang, H. Jing, Z. Gu, Intelligent control of electric vehicle air conditioning system based on deep reinforcement learning, *Appl. Therm. Eng.* 245 (2024) 122817. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122817>.
- [40] Y. Xie, J. Ou, W. Li, K. Li, J. Liu, Z. Liu, D. Zhou, J. Li, An intelligent eco-heating control strategy for heat-pump air conditioning system of electric vehicles, *Appl. Therm. Eng.* 216 (2022) 119126. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119126>.
- [41] K. Li, H. Guo, X. Zhou, H. Chen, N. Liu, H. Zhang, B. Dou, Q. He, Y. Tian, R. Tu, L. Su, S. Mohtaram, Optimal evaporation/condensation temperature determination and experimental

- validation for electric vehicles, *Appl. Therm. Eng.* 252 (2024) 123708. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123708>.
- [42] Y. Boutahri, A. Tilioua, Machine learning-based predictive model for thermal comfort and energy optimization in smart buildings, *Results Eng.* 22 (2024) 102148. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102148>.
- [43] Z. Shi, R. Zheng, J. Zhao, R. Shen, L. Gu, Y. Liu, J. Wu, G. Wang, Towards various occupants with different thermal comfort requirements: A deep reinforcement learning approach combined with a dynamic PMV model for HVAC control in buildings, *Energy Convers. Manag.* 320 (2024) 118995. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118995>.
- [44] L. Jiang, J. Li, Y. Zheng, The impact of thermal comfort requirements on household heating energy consumption, *J. Build. Eng.* 90 (2024) 109426. <https://doi.org/10.1016/j.jobeb.2024.109426>.
- [45] S. Zhang, X. Huang, A. Li, B. Yu, Y. Jiang, L. Peng, Z. Chen, Improving kitchen thermal comfort in summer based on optimization of airflow distribution, *J. Build. Eng.* 96 (2024) 110614. <https://doi.org/10.1016/j.jobeb.2024.110614>.
- [46] H. Cui, L. Zhang, H. Yang, Y. Shi, Optimizing thermal comfort and energy efficiency in hospitals with PCM-Enhanced wall systems, *Energy Build.* 323 (2024) 114740. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114740>.
- [47] Z. Wang, M. Gadi, Optimal HVAC setpoints for energy efficiency and thermal comfort in Chinese residential buildings, *J. Build. Eng.* 96 (2024) 110286. <https://doi.org/10.1016/j.jobeb.2024.110286>.
- [48] K. Gao, K.F. Fong, C.K. Lee, K.K.-L. Lau, E. Ng, Balancing thermal comfort and energy efficiency in high-rise public housing in Hong Kong: Insights and recommendations, *J. Clean. Prod.* 437 (2024) 140741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140741>.
- [49] R. Rugani, M. Bernagozzi, M. Picco, G. Salvadori, M. Marengo, H. Zhang, F. Fantozzi, Thermal comfort and energy efficiency evaluation of a novel conductive-radiative Personal Comfort System, *Build. Environ.* 244 (2023) 110787. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110787>.
- [50] L. Li, Y. He, H. Zhang, J.C.H. Fung, A.K.H. Lau, Enhancing IAQ, thermal comfort, and energy efficiency through an adaptive multi-objective particle swarm optimizer-grey wolf optimization algorithm for smart environmental control, *Build. Environ.* 235 (2023) 110235. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110235>.
- [51] Q. Li, L. Zhang, L. Zhang, X. Wu, Optimizing energy efficiency and thermal comfort in building green retrofit, *Energy* 237 (2021) 121509. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121509>.
- [52] C. Lodi, S. Magli, F.M. Contini, A. Muscio, P. Tartarini, Improvement of thermal comfort and energy efficiency in historical and monumental buildings by means of localized heating based on non-invasive electric radiant panels, *Appl. Therm. Eng.* 126 (2017) 276–289. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.071>.
- [53] F. Guo, S. woo Ham, D. Kim, H.J. Moon, Deep reinforcement learning control for co-optimizing energy consumption, thermal comfort, and indoor air quality in an office building, *Appl. Energy* 377 (2025) 124467. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124467>.
- [54] M. Mangeli, F. Aram, R. Abouei, Energy consumption and thermal comfort of rock-cut and modern buildings, *Heliyon* 10 (2024) e34217. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34217>.

- [55] S. Ma, W. Deng, J. Lu, T. Zhou, H. Zhang, X. Wang, Retrofit design and operation strategies for dental clinics with optimised indoor thermal comfort, energy consumption, and life cycle cost, *Energy Sustain. Dev.* 81 (2024) 101510. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101510>.
- [56] P.O. Fanger, Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering., (1970). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19722700268> (accessed September 22, 2024).
- [57] H. Zhao, W. Ji, S. Deng, Z. Wang, S. Liu, A review of dynamic thermal comfort influenced by environmental parameters and human factors, *Energy Build.* 318 (2024) 114467. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114467>.
- [58] E.J. Choi, J.Y. Yun, Y.J. Choi, M.C. Seo, J.W. Moon, Impact of thermal control by real-time PMV using estimated occupants personal factors of metabolic rate and clothing insulation, *Energy Build.* 307 (2024) 113976. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113976>.
- [59] ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, (2010).
- [60] X. Feng, E.B. Zainudin, H.W. Wong, K.J. Tseng, A hybrid ensemble learning approach for indoor thermal comfort predictions utilizing the ASHRAE RP-884 database, *Energy Build.* 290 (2023) 113083. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113083>.
- [61] A. Omidvar, J. Kim, Modification of sweat evaporative heat loss in the PMV/PPD model to improve thermal comfort prediction in warm climates, *Build. Environ.* 176 (2020) 106868. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106868>.
- [62] R.A.S. of Heating, A.C. Engineers, G.A. Atlanta, ASHRAE handbook: fundamentals, ASHRAE, 2009.
- [63] M. Luo, Z. Wang, K. Ke, B. Cao, Y. Zhai, X. Zhou, Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge, *Build. Environ.* 131 (2018) 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.005>.
- [64] M. Luo, X. Zhou, Y. Zhu, J. Sundell, Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate, *Energy Build.* 118 (2016) 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.041>.
- [65] E. Turgut, U. Yardımcı, The effect of air conditioning positions, air conditioning fluid speed, and temperature on thermal comfort in the truck cabin, *J. Mech. Sci. Technol.* 36 (2022) 3171–3179. <https://doi.org/10.1007/s12206-022-0548-1>.
- [66] Y. Farzaneh, A.A. Tootoonchi, Controlling automobile thermal comfort using optimized fuzzy controller, *Appl. Therm. Eng.* 28 (2008) 1906–1917. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.12.025>.
- [67] K.L. Ku, J.S. Liaw, M.Y. Tsai, T.S. Liu, Automatic Control System for Thermal Comfort Based on Predicted Mean Vote and Energy Saving, *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 12 (2015) 378–383. <https://doi.org/10.1109/TASE.2014.2366206>.
- [68] Z. Xu, G. Hu, C.J. Spanos, S. Schiavon, PMV-based event-triggered mechanism for building energy management under uncertainties, *Energy Build.* 152 (2017) 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.008>.
- [69] S. Kohraku, K. Kurokawa, A fundamental experiment for discrete-wavelength LED solar simulator, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 90 (2006) 3364–3370. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.09.024>.

- [70] D. Kolberg, F. Schubert, K. Klameth, D.M. Spinner, Homogeneity and Lifetime Performance of a Tunable Close Match LED Solar Simulator, *Energy Procedia* 27 (2012) 306–311. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.07.068>.
- [71] N.B. Morris, T. English, L. Hospers, A. Capon, O. Jay, The Effects of Electric Fan Use Under Differing Resting Heat Index Conditions: A Clinical Trial, *Ann. Intern. Med.* 171 (2019) 675. <https://doi.org/10.7326/M19-0512>.
- [72] J.F. Wendt, *Computational fluid dynamics: an introduction*, Springer Science & Business Media, 2008.
- [73] D. Anderson John Jr, *Computational fluid dynamics: the basics with applications*, Sci. McGraw-Hill Sci. (1995).
- [74] H.K. Versteeg, *An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method*, 2/E, Pearson Education India, 2007.
- [75] J. Blazek, *Computational fluid dynamics: principles and applications*, Butterworth-Heinemann, 2015.
- [76] Z. (John) Zhai, *Computational Fluid Dynamics for Built and Natural Environments*, Springer Singapore, Singapore, 2020. <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9820-0>.
- [77] F.R. Menter, Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications, *AIAA J.* 32 (1994). <https://doi.org/10.2514/3.12149>.
- [78] F.R. Menter, M. Kuntz, R. Langtry, Ten years of industrial experience with the SST turbulence model, *Turbul. Heat Mass Transf.* 4 (2003).
- [79] S. Hozejowska, T. Orzechowski, A. Pawinska, Thermal analysis of the car windscreen, *EPJ Web Conf.* (2019) v.
- [80] C.F.X. Ansys, *ANSYS CFX-solver theory guide*, Ansys CFX Release 15317 (2009).
- [81] Y. Zhao, D. Dan, S. Zheng, M. Wei, Y. Xie, A two-stage eco-cooling control strategy for electric vehicle thermal management system considering multi-source information fusion, *Energy* 267 (2023) 126606. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126606>.
- [82] Y. Xie, Z. Liu, J. Liu, K. Li, Y. Zhang, C. Wu, P. Wang, X. Wang, A Self-learning intelligent passenger vehicle comfort cooling system control strategy, *Appl. Therm. Eng.* 166 (2020) 114646. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114646>.

ÖZGEÇMİŞ

Uğurcan YARDIMCI

[illegible]

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

1. Turgut, E., & Yardımcı, U. (2022). Comprehensive analysis of the performance of the coaxial heat exchanger with turbulators. *International Journal of Thermal Sciences*, 176, 107502, doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107502
2. Turgut, E., & Yardımcı, U. (2022). The effect of air conditioning positions, air conditioning fluid speed, and temperature on thermal comfort in the truck cabin. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 36(6), 3171-3179, doi.org/10.1007/s12206-022-0548-1
3. Tuğan, V., & Yardımcı, U. (2023). Numerical study for battery thermal management system improvement with air channel in electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 72, 108515. doi.org/10.1016/j.est.2023.108515
4. Turgut, E., & Yardımcı, U. (2022). Detailed evaluation of a heat exchanger in terms of effectiveness and second law. *Journal of Turbulence*, 23(9-10), 515-547, doi.org/10.1080/14685248.2022.2134571