



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOBİL KABİNİNDE
HIZ VE SICAKLIK DAĞILIMININ
ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZİ

Gökhan SEVİNGEN

DOKTORA TEZİ
Mekanik Mühendisi ANABİLİM DALI

BURSA-2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOBİL KABİNİNDE
HIZ VE SICAKLIK DAĞILIMININ
ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZİ

Gökhan SEVİGEN

Prof.Dr.Muhsin KILIÇ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
MÜHÜRLENMİŞ VE YERİNE KÖRÜKLENMİŞ

BURSA-2010

T.C.
ULUDA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOBİL KABININDE HIZ VE SICAKLIK DAĞILIMININ ÜÇ
BOYUTLU SAYISAL ANALİZ

Gökhan SEVİGEN

DOKTORA TEZİ
MÜHÜRLENMİŞ HALDE SUNULMUŞTUR

Bu Tez 23/03/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Muhsin KILIÇ Prof.Dr.Mesut GÜR Prof.Dr.Aldulvahap YILMAZ
Danışman

Prof.Dr.Erdem DAVEROĞLU Doç.Dr.Akın Burak ETEMÖZ

ÖZET

Bu çalı mada, otomobil kabininde hız ve sıcaklık da ılımının üç boyutlu sayısal analizi, Hesaplamalı Akı kanlar Dinami i (HAD) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla gerçek bir otomobilin kabinine ait ölçüler referans alınarak cam ve dış yüzeyleri içeren üç boyutlu otomobil kabini modeli oluşturulmuştur. Otomobil kabininde gerçekleştirilen sayısal analiz sonuçlarını ısı konfor açısından da değerlendirilebilmek üzere gerçek insan vücudu ölçülerine ve ekline sahip 17 kısımdan oluşan sanal bir insan modeli, otomobil kabin modeline ilave edilmiştir. Otomobil kabininde, standart ısıtma ve so utma süreci için sürekli ve geçici rejimde yapılan üç sayısal analizler sonucunda, hava akışı, insan vücuduna ait lokal ve genel ısı karakteristikleri ve kabin yüzeyleri için sıcaklık da ılımları elde edilmiştir. Sayısal simülasyonlarda, ısı konfor değerlendirilmesi yapabilmek için uygun sınır artının belirlenmesine amacıyla farklı sınır artları kullanılmıştır. Gerçekleştirilen sayısal analizlerde, hesaplama zamanları ve sonuçların hassasiyeti açısından optimum çözüme ulaşma yapısının elde edilebilmesi için farklı yapıları kullanılmıştır. Kabin iç ortamını oluşturan yüzeyler arasında gerçekleştirilen ısı iletim ile ısı transferi hesaplamalarında, görüş faktörlerini içeren S2S(Yüzeyden yüzeye) modeli ve DO(Ayrık Ordinat) modeli kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Standart so utma sürecinde otomobil klimasının so utma yükü tüm simülasyonlarda aynı olacak şekilde, farklı tip giriş menfezlerinin kullanıldığı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla so utma sürecinde farklı tipte giriş menfezleri seçiminin, kabin iç ortamında hız, sıcaklık ve ba ıl nem da ılımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Aynı zamanda hız da ılımını, insan vücudu yüzeyleri için lokal ve genel ısı karakteristiklerini ve kabin yüzey sıcaklıklarını belirlemek amacıyla güne ılımının etkisinin de dikkate alındığı geçici rejimde so utma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Tezde yer alan sayısal simülasyonların büyük bir kısmında, eş zamanlı yürütülen deneysel çalı mlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılarak doğrulama gerçekleştirilmiştir.

Otomobil kabininde 15–20 dakikalık ısıtma ve so utma sürecinde hızlı geçici rejim koşulları elde edilmiştir. İnsan vücudu fizyolojik modelleri dikkate alındığında, insan vücut yüzeylerinde sabit sıcaklık sınır artının kullanılmasının, insan vücut

yüzeylerinde ısı karakteristikleri de erlendirmek açısından, sabit ısı akısı sınır artına göre daha gerçekçi oldu u söylenebilir. Tezde yer alan simülasyonların büyük bir kısmında, genel olarak otomobil kabin iç ortamında hesaplanan ve deneysel ölçümler sonucu elde edilen sıcaklık de erleri arasındaki fark yakla ık $\pm 2^{\circ}\text{C}$ elde edilmiştir. S2S veya DO 1 inim modellerinin kabin iç yüzeyleri arasında 1 inim ile gerçekle en ısı transferi hesaplamalarında kullanılabilen i ancak bu modellerin hesaplama zamanları ve hazırlık zamanları açısından farklılıklar göstermektedir. nsan vücudu ve kabin iç ortamı arasındaki ısı etkile imler dikkate alındı ında, ta 1 inim ile ısı transferinin ısıtma periyodu ba langıcında insan vücudu üzerinde büyük etkisinin oldu u ancak sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ında, 1 inim ile ısı transferinin insan vücudu üzerinde önemli rol oynadı ı ifade edilebilir. Farklı tipte menfezlerin kullanıldı ı so utma simülasyonları sonucunda, tüm durumlarda farklı yapıda hız, sıcaklık ve ba ıl nem da ılımları elde edilmiştir. Güne 1 iniminin dahil edildi i so utma simülasyonlarında elde edilen sonuçlar dikkate alındı ında, güne 1 iniminden do rudan etkilenen yüzeylerde yüksek sıcaklık de erleri hesaplanmı ve bu yüzeylerin ortalama sıcaklıklarında, di er yüzeylere kıyasla so utma süresince daha yava azalma oldu u görülmü tür.

Anahtar Kelimeler: HAD(Hesaplamalı Akı kanlar Dinami i), otomobil kabini, ısı karakteristikler

ABSTRACT

In this study, three dimensional numerical analysis of temperature and air flow distribution in the automobile cabin were performed by using Computational Fluid Dynamics (CFD) method. For this purpose, a three dimensional automobile cabin including window and outer surfaces was modeled by using the real dimensions of a car. To evaluate the results of numerical analysis according to thermal comfort, a virtual manikin divided into 17 parts with real dimensions and physiological shape was added to the model of the automobile cabin. Air flow, local and average thermal characteristics of the human body surfaces and temperature distributions of the cabin surfaces were obtained from the results of the 3D steady and transient numerical analyses for standard heating and cooling period of the automobile cabin. In the numerical simulations, different types of boundary conditions on the human body surfaces were used to determine the suitable boundary condition for evaluating thermal comfort. In the numerical analyses, different types of mesh structures were used to achieve optimum mesh structure in terms of computing time and precision results. S2S (Surface-to-Surface) model, including view factors, and DO (Discrete Ordinate) model were used for the calculation of radiation heat transfer among the interior surfaces of the cabin and the results were compared each other. In the standard cooling period, simulations were performed with different types of inlet vent(s) considering that the cooling load of the automobile HVAC system was same in all simulations. Therefore, the effects of selecting different type of inlet vent(s) on the air flow, temperature, and relative humidity distributions of the automobile cabin were investigated during the cooling period. Transient cooling simulation of the automobile cabin considering the solar radiation effects was also performed to determine the air flow distribution, local and average thermal characteristics of the human body and temperature distributions of the cabin surfaces. In the majority of the numerical simulations of this thesis, validations of the numerical results were achieved by comparing to the results of the experimental studies performed simultaneously with the numerical analyses.

Highly transient conditions were obtained in the first 15 and 20 minutes of heating and cooling periods in the automobile cabin. Considering the physiological

models of the human body, it can be said that using the constant temperature boundary condition on the human body surfaces is more realistic compared to the constant heat flux boundary condition for evaluating the thermal characteristics of the human body surfaces. In the majority of the numerical simulations of this thesis, the temperature differences between calculated and measured values in the automobile cabin environment were obtained about ± 2 °C in generally. S2S or DO model can be used for the calculations of the radiation heat transfer among the cabin interior surfaces but these models show differences in terms of computation and preprocessing time. Considering the heat interactions between human body surfaces and cabin environment, convective heat transfer has a great effect on the human body at the beginning of the heating period but radiative heat transfer has an important role on human body when the steady state conditions are approached. From the results of the cooling simulations with different type of inlet vent(s), air flow, temperature and relative humidity distributions have different structure in all cases. From the results of cooling simulations including solar radiation, high temperature values were calculated at the surfaces directly affected by the solar radiation in the automobile cabin and mean temperature of these surfaces was decreased slowly compared to the other surfaces during the cooling period.

Key Words: CFD (Computational Fluid Dynamics), automobile cabin, thermal characteristics.

Ç NDEK LER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
Ç NDEK LER	v
S MGELER D Z N	vii
EK LLER D Z N	x
Ç ZELGELER D Z N	xix
1. G R	1
2. KAYNAK ARA TIRMASI	7
2.1 Giri	7
2.2 Sayısal Çalı malar.....	8
2.3 Deneysel Çalı malar.....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM	22
3.1 Giri	22
3.2 Sayısal Yöntemler	27
3.2.1 Mühendislikte kullanılan sayısal yöntemler.....	27
3.2.2 HAD ve Sonlu Hacimler Metodu.....	28
3.3 Isıl Konfor ve HAD Yöntemi.....	30
3.4 Kabin CAD modelinin Olu turulması.....	36
3.4.1 Kabin ç Ortamının Modellenmesi.....	36
3.4.2 Sanal nsan(Manken) Modelinin Olu turulması.....	38
3.5 Çözüm A 1 Yapısı ve Sınır artları	40
3.5.1 Çözüm A 1 Yapısı.....	40
3.5.2 Sınır artları	44
3.6 Korunum Denklemleri, Çözüm Planı ve Türbülans Modeli.....	48
3.7 Simülasyon Sonuçlarının Görüntülenmesi ve Deneysel Verilerle Kar ıla tırılma.....	53
3.8 Deneysel Çalı malar	55
3.9 Hata Analizi.....	57

4. OTOMOBİL KABİN SİMÜLYASYONLARI VE İZLEME SONUÇLARI.....	58
4.1 Giriş	58
4.2 Isıtma Periyodunda Otomobil Kabini Simülasyonları.....	59
4.2.1 Tetrahedral A Yapısı ile Gerçekleştirilen Simülasyonlar.....	59
4.2.2 Tetrahedral A Yapısı ile Gerçekleştirilen Simülasyonların Doğulanması.....	72
4.2.3 Optimum Çözüm A Yapısının Elde Edilmesi.....	74
4.2.4 Sabit Isı Akışı ve Sabit Sıcaklık Sınırları ile Kabin Simülasyonu	80
4.2.5 Hex Core A Yapısı ile Gerçekleştirilen Simülasyonların Doğulanması.....	106
4.2.6 Ayrık Koordinat(DO) ve S2S İncin Modellerinin Karşılaştırılması.....	109
4.2.7 Farklı Ortam Koşullarında Gerçekleştirilen Simülasyonlar.....	123
4.3 Soğutma Periyodunda Otomobil Kabini Simülasyonları.....	172
4.3.1 Farklı giriş menfezleri kullanılarak gerçekleştirilen kabin simülasyonları.....	172
4.3.2 Güneş ışımasını ile gerçekleştirilen kabin simülasyonları.....	223
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	254
5.1 Giriş	254
5.2 Sonuçlar	254
5.2.1 Genel Değerlendirme	254
5.2.2 Isıtma süreci için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen temel sonuçlar.....	257
5.2.3 Soğutma süreci için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen temel sonuçlar.....	259
5.3 Öneriler	262
6. KAYNAKLAR	264
TEK EK	271
ÖZGEÇMİŞ	272

SİMGELER DİZİNİ

A_i	: i . vücut kısmına ait yüzey alanı (m^2)
A_j	: j yüzeyinin alanı (m^2)
A_k	: k yüzeyinin alanı (m^2)
C_i	: Transport denkleminde yer alan sabitler ($i=1, 2, 3$)
E	: Yüzeğe gelen toplam ıınım enerjisi (W/m^2)
E_{sk}	: Deriden buharlaşma ile gerçekleşen toplam ısı kaybı (W/m^2)
E_{res}	: Vücuttan solunum yoluyla gerçekleşen ısı kaybını (W/m^2)
F_{jk}	: k yüzeyinden ayrılıp j yüzeyine gelen enerji oranı (Görünüş Faktörü)
G_b	: Kaldırma kuvvetleri nedeniyle türbülans üretimi katsayısı
G_k	: Ortalama hız gradyanları nedeniyle türbülans kinetik enerji üretimi
h_c	: Isı taınım katsayısı (W/m^2K)
h_r	: Iınımla ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
i	: Vücut kısım indisi
k	: Akı kanının ısı iletim katsayısı (W/mK)
k	: Türbülans kinetik enerjisi
M	: Birim zamanda toplam metabolik enerji üretimi (W/m^2)
Nu	: Nusselt sayısı
p	: Basınç (Pa)
p_a	: Kısmi su buharı basıncı (Pa)
Pr	: Prandtl sayısı
q_c	: Taınım akısı (W/m^2)
$q_{giden,k}$: Yüzeğden ayrılan enerji akısı (W/m^2)
$q_{gelen,k}$: Çevreden yüzeğe gelen enerji akısı (W/m^2)
q_r	: Iınım akısı (W/m^2)
q_{res}	: Solunum esnasında vücuttan taınım ile olan toplam ısı kaybı (W/m^2)
q_t	: Toplam ısı akısı (W/m^2)
S_m	: Kütle kaynak terimi
S_M	: Momentum kaynak terimi
S_e	: Enerji kaynak terimi
t	: Zaman (s)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_a, T_{ortam}	: Ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_k	: k . yüzey için yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_r	: İçinim sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_s	: Yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{∞}	: Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
u	: x yönünde hız bileşeni (m/s)
U	: Akı kan hızı (m/s)
X	: Isıl karakteristikler için alan ağırlıklı ortalama değer
X_i	: i yüzeyine ait ortalama ısıl karakteristik değeri
x	: Levha uzunluğu (m)
v	: y yönünde hız bileşeni (m/s)
V	: Hız (m/s)
V_n	: Yüzeyin normali doğrultusundaki hız değeri (m/s)
V_x	: x yönündeki hız değeri (m/s)
V_y	: y yönündeki hız değeri (m/s)
w	: z yönünde hız bileşeni (m/s)
W	: Birim zamanda yapılan iş (W/m^2)
α	: Yutma oranı (absorpsivite)
ε	: İçinim oranı (yüzey emisivite katsayısı)
ε	: Türbülans yayılım katsayısı
k	: k yüzeyi için yüzey emisivite katsayısı
λ	: Viskozite katsayısı
μ	: Dinamik viskozite (Pas)
ν	: Kinematik viskozite (m^2/s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
ρ	: Yansım oranı
ρ_k	: k yüzeyi için yansım oranı
ϕ_c	: Taşınım ısı akısı için tanımlanan boyutsuz sayı
ϕ_r	: İçinim akısı için tanımlanan boyutsuz sayı
Φ	: Yayılım terimi
	: Stefan-Boltzman sabiti (5.67×10^{-8}), ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$)
1 clo	$= 0,1548 (\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C})/\text{W}$

Kısaltmalar

CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAE	: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
CFD	: Computational Fluid Dynamics
DO	: Discrete Ordinates
FEM	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)
HAD	: Hesaplamalı akı kanlar dinami i
HVAC	: Heating Ventilation & Air Conditioning (Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme)
PMV	: Predicted Mean Vote (Tahmini ortalama oy)
PPD	: Predicted Percentage of Dissatisfied (Memnun olmayanların oranı)
PIV	: Particle Image Velocimetry (Parçacık görüntülemeli hız ölçme)
S2S	: Surface to Surface
UDF	: User Defined Function (Kullanıcı Tanımlı Fonksiyon)
VTCE	: Virtual Thermal Comfort Engineering (Sanal Ortamda Isıl Konfor Mühendisli i)

EK LLER D Z N

	Sayfa No
ekil 1.1 Isıl konfor ve etkile imde bulundu u di er alanlar.....	2
ekil 3.1 HAD yöntemine ili kin genel akı diyagramı.....	22
ekil 3.2 HAD yöntemine ait detaylı i lem adımları.....	23
ekil 3.3 Fluent paket programı temel yapısı.....	24
ekil 3.4 Fiziksel bir problemin simülasyon süreci.....	27
ekil 3.5 Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Temel Elemanlar.....	28
ekil 3.6 Tahmini ortalama oy (<i>PMV</i>) ölçe i.....	30
ekil 3.7 FIAT Albea marka test otomobili.....	36
ekil 3.8 Kabin referans ölçülerinin belirlenmesi.....	36
ekil 3.9 Kabin CAD modeli.....	37
ekil 3.10 Kabin iç ortamı CAD modeli.....	37
ekil 3.11 Hesaplamalarda kullanılan mankenin CAD modeli.....	38
ekil 3.12 Üç boyutlu yapısal(a) ve yapısal olmayan(b) çözüm a 1.....	40
ekil 3.13 HAD yönteminde kullanılan bazı iki boyutlu iki boyutlu üçgen(a), kare(b) ve üç boyutlu tetrahedron(c), hexahedron(d), prizmatik(e), piramit(f) ve polihedron(g) elemanlar.....	41
ekil 3.14 Kabin Yüzeyleri A Yapısı.....	42
ekil 3.15 A yapısının (Tetrahedral) manken düzleminde kesit görünümü.....	43
ekil 3.16 A yapısının (Hex core) manken düzleminde kesit görünümü.....	43
ekil 3.17 A yapısının(Hex core) kabin orta düzleminde kesit görünümü.....	44
ekil 3.18 Kabin ısı ortamını etkileyen temel faktörler.....	45
ekil- 3.19 Kabin içinde tanımlanan temel yüzeyler.....	46
ekil 3.20 Giri menfezinde sıcaklı ın zamana ba lı de i im grafi i.....	48
ekil 3.21 Basınca ba lı e zamanlı çözüm metoduna ait akı diyagramı.....	50
ekil 3.22 Sanal otomobil kabini içinde tanımlanan deneysel ölçüm noktaları...	53
ekil 3.23 Otomobil kabininde tanımlanan düzlemler (a)Menfez Düzlemi (b)Kabin orta düzlemi, (c)Manken Düzlemi.....	54
ekil 3.24 (a) Cole Palmer Digi–Sense sıcaklık ölçüm cihazı (b) T tipi ısı çiftler.....	55

ekil 3.25 Testo 350 M/XL 454 ölçüm cihazı.....	56
ekil 3.26 Ölçümlerde kullanılan Testo 350 M/XL 454 ölçüm cihazına sıcaklık hız ve ba ıl nem ölçerler: (a) – Sıcaklık,ba ıl nem ve hız probu, (b) – Sıcaklık, ba ıl nem probu,(c) – CO2 ölçümlerinde kullanılan probe, (d) – Globe termometre.....	56
ekil 4.1 Giri menfezlerinde zamana ba lı sıcaklık de i im e risi.....	61
ekil 4.2 Otomobil kabini yüzey a yapısı ve z=-0.28m'de a kesit görünümü.....	62
ekil 4.3 Kabin orta düzlemi ve otomobil içindeki konumu.....	63
ekil 4.4 Kabin orta düzleminde hız da ılımının zamana ba lı de i imi, (a) 180s (b) 480s.....	64
ekil 4.5 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı, (a) 180s (b) 480s.....	65
ekil 4.6 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı, (a) 900s (b) 1200s.....	66
ekil 4.7 Kabin menfez düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı, (a) 180s (b) 1200s...	67
ekil 4.8 Kritik noktalarda (P1(a), P2(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	72
ekil 4.9 Kritik noktalarda (P3(a), P8(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	73
ekil 4.10 Hex Core A Yapısının Z=-0.3m düzleminde kesit görünümü (Hex Core-1).....	74
ekil 4.11 Hex Core A Yapısının Z=-0.3m düzleminde kesit görünümü (Hex Core-2).....	75
ekil 4.12 Farklı Hex Core A Yapıları ile P2 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması (a) Hex Core 1 (b) Hexcore 2.....	76
ekil 4.13 Farklı Hex Core A Yapıları ile P4 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması (a) Hex Core 1 (b) Hexcore 2.....	77
ekil 4.14 Farklı Hex Core A Yapıları ile P6 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması (a) Hex Core 1 (b) Hexcore 2.....	78
ekil 4.15 Menfezlerde kullanılan sınır artları.....	82
ekil 4.16 Mankene ait lokal yüzeyler	83
ekil 4.17 Isıtma analizlerinde kullanılan Hex Core a yapısının kabin orta düzleminde kesit görünümü.....	85

ekil 4.18 Kabin orta düzleminde hız da ılımının zamana ba lı de i imi (I.Durum), (a) 300s (b) 900s.....	86
ekil 4.19 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(I.Durum) (a) 60s (b) 120s	87
ekil 4.20 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(I.Durum) (a) 300s (b) 600s	88
ekil 4.21 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(I.Durum) (a) 1200s (b) 1800s	89
ekil 4.22 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(I.Durum) (a) 300s (b) 600s... ..	90
ekil 4.23 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(I.Durum) (a) 1200s (b) 1800s... ..	91
ekil 4.24 Kabin orta düzleminde hız da ılımının zamana ba lı de i imi (II.Durum), (a) 300s (b) 900s.....	96
ekil 4.25 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(II.Durum) (a) 60s (b) 120s	97
ekil 4.26 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(II.Durum) (a) 300s (b) 600s	98
ekil 4.27 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(II.Durum) (a) 1200s (b) 1800s	99
ekil 4.28 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(II.Durum) (a) 300s (b) 600s... ..	100
ekil 4.29 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}$ C) da ılımı(II.Durum) (a) 1200s (b) 1800s... ..	101
ekil 4.30 Kritik noktalarda (P1(a), P2(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	106
ekil 4.31 Kritik noktalarda (P3(a), P4(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	107
ekil 4.32 Kritik noktalarda (P6(a), P8(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	108
ekil 4.33 PMV de erlerinin zamanla de i imi.....	109

ekil 4.34 S2S Modeli kullanılarak P1 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması, (a) S2S (b) DO	119
ekil 4.35 S2S Modeli kullanılarak P2 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması, (a) S2S (b) DO	120
ekil 4.36 S2S Modeli kullanılarak P4 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması, (a) S2S (b) DO	121
ekil 4.37 S2S Modeli kullanılarak P8 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması, (a) S2S (b) DO	122
ekil 4.38 A yapısı kesit görünümü, (a) $z = -0.3$ m (b) $z = -0.65$ m.....	125
ekil 4.39 Giri menfezlerinde zamana ba lı sıcaklık e risi.....	125
ekil 4.40 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P1 (b) P2	130
ekil 4.41 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P3 (b) P4	131
ekil 4.42 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P5 (b) P6	132
ekil 4.43 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P7 (b) P8	133
ekil 4.44 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P9 (b) P10.....	134
ekil 4.45 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P1 (b) P2	139
ekil 4.46 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P3 (b) P4	140
ekil 4.47 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P5 (b) P6	141
ekil 4.48 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P7 (b) P8	142
ekil 4.49 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P9 (b) P10.....	143

ekil 4.50 III.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri	
(a) P1 (b) P2	149
ekil 4.51 III.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri	
(a) P3 (b) P4	150
ekil 4.52 III.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri	
(a) P5 (b) P6	151
ekil 4.53 III.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri	
(a) P7 (b) P8	152
ekil 4.54 III.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri	
(a) P9 (b) P10.....	153
ekil 4.55 Kabin orta düzleminde hız (m/s) da ılımı (I.Durum)	
(a) 360s (b) 600s.....	156
ekil 4.56 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (I.Durum)	
(a) 360s (b) 600s.....	157
ekil 4.57 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (I.Durum)	
(a) 1200s (b) 1800s.....	158
ekil 4.58 Kabin menfez düzleminde hız (m/s) da ılımı (I.Durum)	
(a) 360s (b) 1200s.....	159
ekil 4.59 Kabin menfez düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (I.Durum)	
(a)360s (b) 1200s (c) 1800s.....	160
ekil 4.60 Kabin orta düzleminde hız (m/s) da ılımı (II. Durum)	
(a) 360s (b) 600s.....	161
ekil 4.61 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (II.Durum)	
(a) 360s (b) 600s.....	162
ekil 4.62 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (II.Durum)	
(a) 1200s (b) 1800s.....	163
ekil 4.63 Kabin menfez düzleminde hız (m/s) da ılımı (II.Durum)	
(a) 360s (b) 1200s.....	164
ekil 4.64 Kabin menfez düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (II.Durum)	
(a)360s (b) 1200s (c) 1800s.....	165

ekil 4.65 Kabin orta düzleminde hız (m/s) da ılımı (III.Durum)	
(a) 360s (b) 600s.....	166
ekil 4.66 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (III.Durum)	
(a) 360s (b) 600s.....	167
ekil 4.67 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C)da ılımı (III.Durum)	
(a) 1200s (b) 1800s.....	168
ekil 4.68 Kabin menfez düzleminde hız (m/s) da ılımı (III.Durum)	
(a) 360s (b) 1200s.....	169
ekil 4.69 Kabin menfez düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (III.Durum)	
(a)360s (b) 1200s (c) 1800s.....	170
ekil 4.70 Menfezlerde kullanılan so utma e risi ($T=T(t)$).....	173
ekil 4.71 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (I. Durum)	
(a) 1s (b) 60s	175
ekil 4.72 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (I. Durum)	
(a) 300s (b) 600s.....	176
ekil 4.73 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (I. Durum)	
(a) 1200s (b) 1800s.....	177
ekil 4.74 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum)	
(a) 1s (b) 60s	178
ekil 4.75 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (II.Durum)	
(a) 300s (b) 600s.....	179
ekil 4.76 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum)	
(a) 1200s (b) 1800s.....	180
ekil 4.77 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum)	
(a) 300s (b) 1800s.....	181
ekil 4.78 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (III Durum)	
(a) 1s (b) 60s	182
ekil 4.79 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (III Durum)	
(a) 300s (b) 600s.....	183
ekil 4.80 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (III Durum)	
(a) 1200s (b) 1800s.....	184

ekil 4.81 30 dakikalık so utma sonucunda tüm durumlar için manken orta düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları (a) I.durum (b) II. durum (c) III. durum.....	185
ekil 4.82 30 dakikalık so utma süresince kabin manken düzleminde elde edilen ba ıl nem(%) da ılımı (I.Durum) (a) t=60s (b) t=600s (c) t=1800s.....	187
ekil 4.83 30 dakikalık so utma süresince kabin manken düzleminde elde edilen ba ıl nem(%) da ılımı (I.Durum) (a) t=60s (b) t=600s (c) t=1800s.....	188
ekil 4.84 30 dakikalık so utma süresince kabin manken düzleminde elde edilen ba ıl nem(%) da ılımı (I.Durum) (a) t=60s (b) t=600s (c) t=1800s.....	189
ekil 4.85 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (I. Durum) (a) 1s (b) 60s.....	191
ekil 4.86 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (I. Durum) (a) 300s (b) 600s.....	192
ekil 4.87 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (I. Durum) (a) 1200s (b) 1800s.....	193
ekil 4.88 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum) (a) 1s (b) 60s.....	194
ekil 4.89 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum) (a) 300s (b) 600s.....	195
ekil 4.90 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum) (a) 1200s (b) 1800s.....	196
ekil 4.91 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (III. Durum) (a) 1s (b) 60s.....	197
ekil 4.92 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (III. Durum) (a) 300s (b) 600s.....	198
ekil 4.93 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (III. Durum) (a) 1200s (b) 1800s.....	199
ekil 4.94 Üç farklı durumda kabin içinde noktasal sıcaklık de erlerinin kar ıla tırılması (a) P1 (b) P3	201

ekil 4.95 Üç farklı durumda kabin içinde noktasal sıcaklık de erlerinin kar ıla tırılması (a) P4 (b) P6	202
ekil 4.96 Üç farklı durumda kabin içinde noktasal sıcaklık de erlerinin kar ıla tırılması (a) P7 (b) P8	203
ekil 4.97 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (I. Durum) (a) 300s (b) 600s.....	204
ekil 4.98 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum) (a) 300s (b) 600s.....	205
ekil 4.99 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (III. Durum) (a) 300s (b) 600s.....	206
ekil 4.100 Üç farklı durumda vücut için hesaplanan ortalama ısı akısı(W/m^2) de erleri.....	208
ekil 4.101 Üç farklı durumda vücut için hesaplanan ortalama ısı(W) de erleri.....	208
ekil 4.102 Giri menfezlerde kullanılan so utma e risi ($T=T(t)$).....	226
ekil 4.103 Otomobil kabininin konumu ve güne yön vektörü.....	227
ekil 4.104 Kabin yüzeylerinde sıcaklık da ılımı ($^{\circ}C$) (a) 60s (b) 120s.....	228
ekil 4.105 Kabin yüzeylerinde sıcaklık da ılımı ($^{\circ}C$) (a) 300s (b) 600s.....	229
ekil 4.106 Kabin yüzeylerinde sıcaklık da ılımı ($^{\circ}C$) (a) 1200s (b) 1800s.....	230
ekil 4.107 Kabin iç yüzeylerinde sıcaklık da ılımı($^{\circ}C$).....	232
ekil 4.108 Kabin iç yüzeylerinde sıcaklık da ılımı (K).....	232
ekil 4.109 Kabin orta düzleminde hız(m/s) da ılımı (a) 300s (b) 600s.....	235
ekil 4.110 Kabin orta düzleminde hız(m/s) da ılımı (a) 1200s (b) 1800s.....	236
ekil 4.111 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}C$) da ılımı (a) 30s (b) 60s.....	237
ekil 4.112 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}C$) da ılımı (a) 300s (b) 600s.....	238

ekil 4.113 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı (a) 1200s (b) 1800s.....	239
ekil 4.114 Kabin menfez düzleminde hız(m/s) da ılımı (a) 300s (b) 600s.....	240
ekil 4.115 Kabin menfez düzleminde hız(m/s) da ılımı (a) 1200s (b) 1800s.....	241
ekil 4.116 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı (a) 60s (b) 120s.....	242
ekil 4.117 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı (a) 300s (b) 600s.....	243
ekil 4.118 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı (a) 1200s (b) 1800s.....	244
ekil 4.119 Kritik noktalarda(P1(a), P2(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	248
ekil 4.120 Kritik noktalarda(P3(a), P4(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	249
ekil 4.121 Kritik noktalarda(P5(a), P6(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	250
ekil 4.122 Kritik noktalarda(P7(a), P8(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması.....	251

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 1989–2010 Yılları arasında otomobil kabini içinde akı alanı ile ilgili ara tırmalara için gerçekleştirilen bazı sayısal hesaplamalar.....	13
Çizelge 2.2 1971–2009 Yılları arasında geliştirilen insan vücudu fizyolojik yapısını temsil eden matematiksel modeller.....	14
Çizelge 2.3 1994 – 2001 yılları arasında HAD yöntemi kullanılarak sanal insan modeli ile birlikte kullanılan fizyolojik modeller ve türbülans modelleri.....	16
Çizelge 2.4 2001 – 2010 yılları arasında HAD yöntemi kullanılarak sanal insan modeli ile birlikte kullanılan fizyolojik modeller ve türbülans modelleri.....	17
Çizelge 3.1 Kabin içinde tanımlanan yüzeyler.....	46
Çizelge 3.2 Ölçüm cihazları, ölçüm aralığı ve öngörülen tolerans değerleri.....	57
Çizelge 4.1 Çözücü Ayarları, türbülans ve 1 mm modelini.....	59
Çizelge 4.2 A yapısı ve sınır şartları	60
Çizelge 4.3 Ba langıç koşulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri	61
Çizelge 4.4 Çözüm metodu ve hesaplama zamanları	63
Çizelge 4.5 t=8 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sanal insan modeli yüzeylerinde ısı taşınım karakteristiklerinin zamana bağlı lokal ve genel değişimi.....	68
Çizelge 4.6 t=20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sanal insan modeli yüzeylerinde ısı taşınım karakteristiklerinin zamana bağlı lokal ve genel değişimi.....	68
Çizelge 4.7 t=8 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sanal insan modeli yüzeylerinde 1 mm karakteristiklerinin zamana bağlı lokal ve genel değişimi.....	69
Çizelge 4.8 t=20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sanal insan modeli yüzeylerinde 1 mm karakteristiklerinin zamana bağlı lokal ve genel değişimi.....	70

Çizelge 4.9 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi.....	71
Çizelge 4.10 Hex Core çözüm alanlarına ilişkin detaylı bilgiler.....	75
Çizelge 4.11 Çözücü Ayarları, türbülans ve 1 inim modeli.....	80
Çizelge 4.12 A yapısı ve sınır şartları	81
Çizelge 4.13 Çözüm metodu, Workstation ve ayırma metodu	84
Çizelge 4.14 Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri	85
Çizelge 4.15 Sanal insan modeli yüzeylerinde ısı transfer karakteristiklerinin zamana bağlı lokal değişimi(I.Durum).....	93
Çizelge 4.16 Sanal insan vücudu ısı transfer karakteristiklerinin zamana bağlı değişimi(I.Durum).....	94
Çizelge 4.17 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi (I.Durum).....	95
Çizelge 4.18 Sanal insan modeli yüzeylerinde ısı transfer karakteristiklerinin zamana bağlı lokal değişimi(II.Durum).....	102
Çizelge 4.19 Sanal insan vücudu ısı transfer karakteristiklerinin zamana bağlı değişimi(II.Durum).....	103
Çizelge 4.20 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi (II.Durum).....	104
Çizelge 4.21 t=60s vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) S2S 1 inim modeli , (b) DO 1 inim modeli.....	110
Çizelge 4.22 t=180s vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) S2S 1 inim modeli , (b) DO 1 inim modeli.....	111
Çizelge 4.23 t=300s vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) S2S 1 inim modeli , (b) DO 1 inim modeli.....	112
Çizelge 4.24 t=600s vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) S2S 1 inim modeli , (b) DO 1 inim modeli.....	113
Çizelge 4.25 t=900s vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) S2S 1 inim modeli , (b) DO 1 inim modeli.....	114
Çizelge 4.26 t=1200s vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) S2S 1 inim modeli , (b) DO 1 inim modeli.....	115
Çizelge 4.27 t=1200s vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) S2S 1 inim modeli , (b) DO 1 inim modeli.....	116

Çizelge 4.28 Isıtma periyodunda için kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık değerleri (a) S2S 1 inım modeli , (b) DO 1 inım modeli.....	118
Çizelge 4.29 Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri.....	123
Çizelge 4.30 A yapısı ve sınır artları	124
Çizelge 4.31 Çözüm metodu, workstation, kısımlara ayırma metodu	124
Çizelge 4.32 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri I.Durum (a) t= 240s, (b) t=360s.....	126
Çizelge 4.33 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri I.Durum (a) t= 600s, (b) t=900s.....	127
Çizelge 4.34 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri I.Durum (a) t= 1200s, (b) t=1800s.....	128
Çizelge 4.35 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri II.Durum (a) t= 180s, (b) t=360s.....	135
Çizelge 4.36 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri II.Durum (a) t= 600s, (b) t=900s.....	136
Çizelge 4.37 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri II.Durum (a) t= 1200s, (b) t=1800s.....	137
Çizelge 4.38 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri III.Durum (a) t= 180s, (b) t=360s.....	145
Çizelge 4.39 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri III.Durum (a) t= 600s, (b) t=900s.....	146
Çizelge 4.40 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri III.Durum (a) t= 1200s, (b) t=1800s.....	147
Çizelge 4.41 Isıtma periyodu süresince kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık değerleri(I. Durum).....	154
Çizelge 4.42 Isıtma periyodu süresince kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık değerleri(II. Durum).....	155
Çizelge 4.43 Isıtma periyodu süresince kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık değerleri(III. Durum).....	155
Çizelge 4.44 Sabit so utma yüküne ba lı gerçekleştirilen sayısal analizler.....	172
Çizelge 4.45 Menfez sınır artları ve hız kademeleri.....	174
Çizelge 4.46 Menfez hız kademeleri ve hız bile enleri.....	174

Çizelge 4.47 Üç farklı durum için vücut için hesaplanan toplam ısı akısı ve iç ortam sıcaklıkları.....	207
Çizelge 4.48 I.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=30s$, (b) $t=60s$	210
Çizelge 4.49 I.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=300s$, (b) $t=600s$	211
Çizelge 4.50 I.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=1200s$, (b) $t=1800s$	212
Çizelge 4.51 II.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=30s$, (b) $t=60s$	214
Çizelge 4.52 II.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=300s$, (b) $t=600s$	215
Çizelge 4.53 II.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=1200s$, (b) $t=1800s$	216
Çizelge 4.54 III.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=30s$, (b) $t=60s$	217
Çizelge 4.55 III.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=300s$, (b) $t=600s$	218
Çizelge 4.56 III.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri (a) $t=1200s$, (b) $t=1800s$	219
Çizelge 4.57 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi(I.Durum).....	220
Çizelge 4.58 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi(II.Durum).....	221
Çizelge 4.59 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi(III.Durum).....	222
Çizelge 4.60 Çözüm metodu ve simülasyon süresi	223
Çizelge 4.61 Çözücü Ayarları, türbülans modeli, 1 inim modeli ve a yapısı.....	224
Çizelge 4.62 Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri	225
Çizelge 4.63 Güne in konumu, 1 inim modeli ve sınır artları.....	226

Çizelge 4.64 Güne 1 ınımı analizlerinde kabin yüzeyleri ortalama sıcaklık dağılımı.....	233
Çizelge 4.65 Kabin yüzeyleri için hesaplanan ortalama sıcaklık değerleri ve deneysel ölçümler sonucu elde edilen noktasal sıcaklık Değerleri.....	234
Çizelge 4.66 So utma sürecinde insan vücudu 1 ınım karakteristikleri(t=5 dak).....	245
Çizelge 4.67 So utma sürecinde insan vücudu 1 ınım karakteristikleri(t=10-30 dak).....	246
Çizelge 4.68 Kritik noktalar ve kabin içindeki konumları.....	247

1. G R

Otomobil klima sistemlerinin temel amacı otomobil içinde bulunan her bir bireyin ısı konfor ko ullarını ve bu ko ulların süreklili ini sa lamaktır. Isıl konfor genel olarak, “Isıl ortamdan duyulan memnuniyet” (ASHRAE55,1992) ekinde tanımlanabilir. nsan vücudu ve ortam arasındaki etkile imler açısından bakıldı nda ısı konforu etkileyen temel parametreler a a ıdaki gibi ifade edilebilir(Fanger 1970, Parsons 1993):

- Ortam sıcaklı ı (hava sıcaklı ı)
- Ortalama ı nım sıcaklı ı
- Hava hızı
- Ba ıl Nem
- Aktivite seviyesi
- Giysi direnci

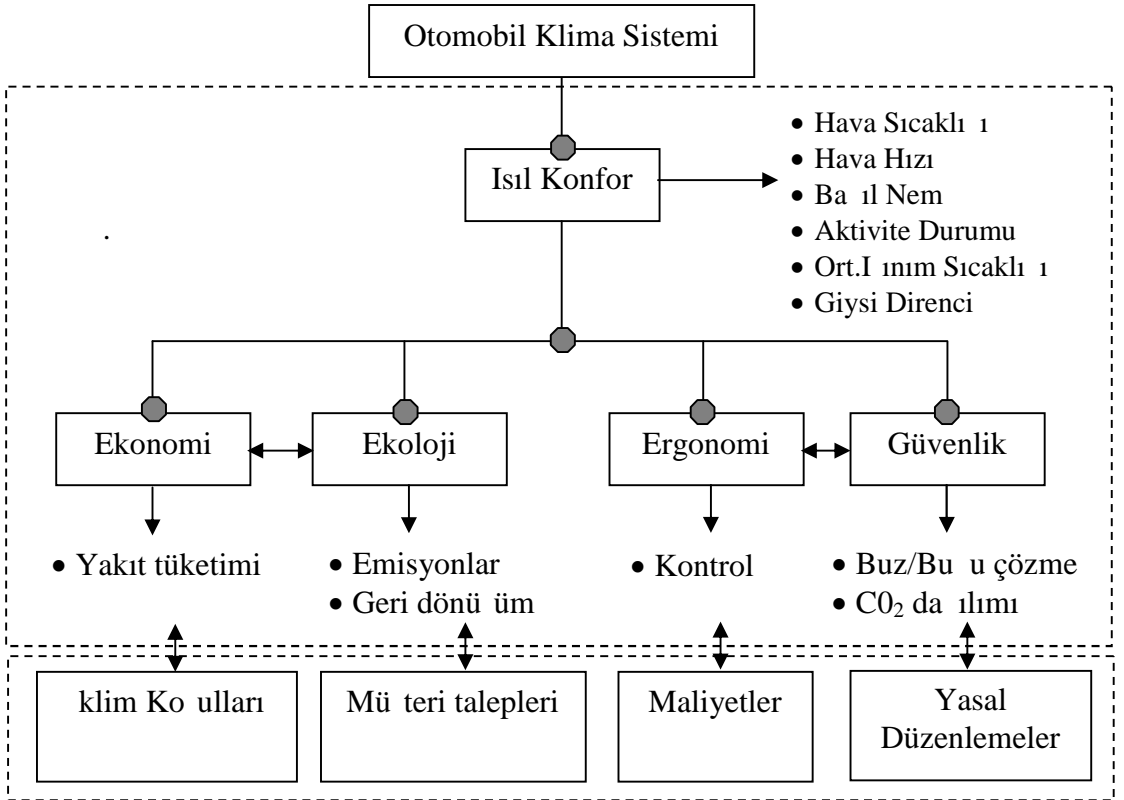
Tek ba ına otomobil klima sistemi tüm bireylerin konfor ko ullarını sa lamak için yeterli olmayabilir. Otomobildeki tüm bireylerin konfor ko ullarını sa lamak için araç kabineine ait geometrinin ve belirli sınır artlarının dikkate alındı ı daha detaylı ara tırmaların yapılması gereklidir(Ambs 2002). Araçlardaki konfor ko ullarının iyile tirilmesi gereklili i sadece ısı konfor açısından de il yolcuların güvenli i açısından da önemlidir(Aroussi 2000).

Otomobil içinde yer alan sürücü ve yolcuların konforu, kabin içindeki havanın kalitesine ve sıcaklı ına kısmen ba lıdır(Kaynaklı ve ark. 2005). Klima menfezlerinin ekinde, insan vücudu etrafındaki hava akı ı, cam yüzeylerin kabin dı yüzeylerine oranı vs. otomobil kabininde yer alan bireylerin ısı konforu üzerinde önemli etkiye sahiptir(Kılıç ve Sevilgen 2009). Ekonomiklik açısından bakıldı nda, otomobil iç ortamındaki ısı konfor artlarının sa lanması minimum enerji tüketimi ile gerçekleştirilmelidir. Örne in otomobil klima sistemindeki kompresör yükünün, yakıt sarfiyatına negatif etkisi vardır. Otomobil klima sistemindeki kompresör, çalı ır durumda motora getirece i yük bakımından birinci sırada yer alır. Bu yük klasik araçlarda yakıt ekonomisini önemli oranda etkiler. leri teknolojilere sahip araçlarda(Elektrikli, Hibrit Elektrikli, yakıt hücreli vs.) bu etki daha fazladır(Rugh ve ark. 2005). Bu problem daha verimli bir klima kontrol sistemi kullanılarak çözülebilir.

Daha verimli bir klima kontrol sistemi tasarlayabilmek için ise otomobil iç ortamındaki ısı konfor parametrelerinin de i mi bilinmelidir.

Di er taraftan otomobil tasarım sürecinde, ısı konfor artlarının sa lanmasına yönelik çalı malar önemli bir yer tutmaktadır. Bunun ba lıca nedenleri arasında ülkelerin birço unda yer alan “yasal birtakım düzenlemeler”, ısı konfor artları için artan “mü teri talepleri” ve günümüzde giderek önem kazanan “enerjinin etkin kullanımı” yer almaktadır.

Kabin içinde ba ve ayak seviyesi arasında yüksek sıcaklık ve hız gradyanlarının oluşması, ısıtma ve so utma periyodundaki ko ulların oldukça hızlı de i mesi, cam yüzey alanının toplam yüzey alanına kullanım oranının artması sonucunda güne ı nımı etkisinin klima sisteminin yükünü artırması, otomobillerde ısı ortam ko ullarını kontrol etmeyi ve de erlendirmeyi daha zor hale getirmektedir.



ekil 1.1 Isıl konfor ve etkile imde bulundu u di er alanlar.

Tüm bu veriler dikkate alındığında, diğer kapalı ortamlara göre daha küçük bir hacme sahip otomobil kabininde ısı konfor koşullarının sürekliliğinin sağlanması daha karmaşık bir problem haline gelmektedir. Bu problemi tam olarak çözebilmek için farklı alanlar birlikte değerlendirilerek optimizasyon yöntemleriyle en uygun tasarım denemelerini belirleme yoluna gidilebilir. Bu alanlar ve temel parametreler detaylı olarak Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Otomobillerde ısı konfor üzerine gerçekleştirilen çalışmalar aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

1. Deneysel çalışmalar (Isıl manken ve insanlar üzerindeki çalışmalar)
2. Teorik termoregülasyon modelleri (Fizyolojik modeller)
3. Bilgisayar simülasyonları (HAD: Hesaplamalı Akıkan Dinamiği)

Literatürde otomobillerde ısı konfor ile ilgili çalışmaları bu şekilde gruplandırmak biraz keyfi olabilir. Gerçekte, bu üç metod birbiriyle ilişkilidir. HAD yöntemine dayalı sayısal analizlerde sınır şartlarının doğru tanımlanabilmesi ve sayısal sonuçların doğrulanabilmesi için deneysel ve sayısal çalışmalar birlikte değerlendirilmelidir.

Modern bilgisayarların hesaplama zamanlarındaki hızlı gelişmeler ve buna bağlı olarak simülasyon sürelerindeki iyileştirmeler, HAD temelli sayısal analizleri birçok alanda daha cazip hale getirmiştir. HAD yöntemi, akıkan hareket analizlerini içeren karmaşık mühendislik sistemlerinin, matematiksel modeller ve sayısal çözüm yöntemleri kullanarak sayısal simülasyonu olarak özetlenebilir. Daha önceki çalışmalarda sadece analitik veya deneysel çalışmalar yapılabılırken, HAD analizleri gelişen bilgisayar ve mikro işlemci teknolojisi ile birlikte artan bir hızla ilerlemekte ve ticari amaçlı yazılım şirketleri bu alanda daha çok kaynak aktarmaktadır. HAD yöntemiyle gerçekleştirilen sayısal analizler, deneysel çalışmalarla birlikte yürütülmekte ve deneysel verileri destekleyici ve tamamlayıcı niteliktedirler. HAD yönteminin temel avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Yatırım maliyetlerinin düşük olması
- Deneysel çalışmalara göre daha hızlı sonuçlar elde edilmesi
- Deneysel çalışmalar için zor kabul edilebilen fiziki ortamların simülasyonunun yapılabilmesi.

Otomobillerin iç hacmi diğer iklimlendirme uygulamaları ile karşılaştırıldığında oldukça küçüktür. Diğer taraftan, otomobillerde bireylerin yaşadığı hacmin toplam hacme oranı, oda ve benzeri kapalı ortamlardaki orana göre nispeten daha büyüktür.

Otomobil kabini, insanların günlük yaşantılarını sürdürdükleri diğer kapalı ortamlara göre daha küçük ve karmaşık bir akış hacmine sahip olması, bu hacimde hem ısı hem de kütle transferinin eş zamanlı meydana gelmesi, kompleks insan vücudu ekli ve fizyolojisi gibi bazı temel parametreler bu tür sayısal analizleri gerçekleştirme sürecinde karşılaşılan temel zorluklar olarak ifade edilebilir.

Üç boyutlu otomobil kabini modeli oluşturulması ve yüzeylerin ilgili hesaplamalar doğrultusunda tanımlanması, HAD yönteminde kullanılan çözümler yapılarının üç boyutlu olarak oluşturulması, çözümlere ait hacim elemanlarının sayısının diğer küçük ölçekli HAD analizlerine göre oldukça büyük olması, kabin iç yüzeyleri arasında gerçekleşen ısı transferinin ve güneş ışınımının hesaplamalara katılabilmesi için görüş faktörlerinin ve aracın bulunduğu koşullara göre enlem ve boylama bağılı güneş ışınımının zamana bağılı olarak hesaplanması gibi bazı faktörler hesaplama sürecinde dikkate alınmaktadır.

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığında gerçekleştirilen bu çalışma ile HAD yöntemi kullanarak otomobil kabini içinde, sürekli ve geçici rejimde, standart ısıtma ve soğutma periyodu süresince farklı ortam koşulları dikkate alınarak, insan vücudu üzerinde lokal ve ortalama ısı karakteristiklerinin belirlenmesi, kabin içinde belirli noktalarda ve kabin yüzeylerinde, kabin iç ortamında sıcaklık ve hız dağılımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen bu çalışma ile otomobil tasarım sürecinde ısı konforu üzerinde iyileştirme yapacak tasarımcılara imkan sunan hız ve sıcaklık dağılımının hesaplanabildiği üç boyutlu HAD modeli geliştirilerek akademik çalışmalara bu doğrultuda yön vermek ve özellikle otomotiv endüstrisindeki yerli otomobil üreticilerinin bilgi birikimine katkıda bulunmak istenmiştir.

Bu çalışmada otomobil kabini hız ve sıcaklık dağılımının üç boyutlu sayısal analizi, HAD yöntemi tabanlı Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 2005 Model FIAT Albea Marka bir otomobilin kabin ana ölçüleri referans alınarak cam ve dış yüzeyler içeren otomobil kabine ait üç boyutlu model gerçek ölçülerde modellenmiştir. Gerçekleştirilen sayısal analizleri, ısı konforu açısından değerlendirilebilmek amacıyla gerçek insan vücudu ölçülerine ve ekline sahip 17

kısımdan olu an sanal bir insan modeli otomobil kabin modeline ilave edilmi tir. Olu turulan bu sanal insan modelini içeren otomobil kabininde, standart ısıtma ve so utma surecinde u boyutlu HAD yöntemi kullanılarak yapılan sayısal analizler farklı ortam ko ullarında gerçekle tirilmi tir. Gerçekle tirilen sayısal analizlerin büyük bir kısmında elde edilen sonuçlar deneysel çalı malardan elde edilen verilerle kar ıla tırılmı tır.

Literatürde gerçekle tirilen sayısal çalı malarda, genellikle geometrik açıdan basit kabul edilebilecek sanal insan modelleri kullanılmı tır. Gerçekle tirilen bu çalı mada standart vücut ölçü ve ekline sahip farklı konumlara getirilebilen bir sanal insan modeli geli tirilmi tir. Di er taraftan gerçekle tirilen bu çalı mada otomobil kabininin u boyutlu modeli, 1:1 ölçü inde olu turulmu tur. Otomobil kabininin gerçek ölçülerde modellenip ısı karakteristikler, hız ve nem gibi parametrelerin birlikte geçici rejimde incelendi i çalı malar literatürde oldukça sınırlı sayıdadır. Gerçekle tirilen bu model, otomobil ısı konfor ko ullarının iyile tirilmesine yönelik olan çalı malarda insan vücudu üzerinde lokal konforsuzlu a ili kin sonuçlar elde edilmesine ili kin çalı malar yapılabilmesine imkan sa lamaktadır.

Bu alı malar sonucunda olu an Tezde, Giri bölümünde Isıl konfor ve HAD yöntemiyle ilgili temel kavramlar üzerinde durulmu tur. Bu bölümde, otomobil klima sistemlerinin temel amacı, ısı konforun tanımı ve otomobil içinde ısı konforun di er alanlarla etkile imi, tasarım surecinde ısı konfor artlarının sa lanmasına yönelik çalı maların önemi ve ba lıca nedenleri, otomobil kabininde ısı konfor ko ullarının sürekli inin sa lanmasının karma ık bir problem olu u, otomobillerde ısı ortam ko ullarını kontrol etmenin ve de erlendirmenin zorlukları, otomobillerde ısı konfor üzerine gerçekle tirilen çalı maların sınıflandırılması, HAD yöntemi ve temel avantajları gibi konulara de inilmi ve tezin amacı belirtilmi tir.

Kaynak ara tırması konuyla ilgili literatürde yer alan çalı maları, sayısal ve deneysel olmak üzere iki grupta sınıflandırarak yapılmı tır.

Tezin materyal ve yöntem bölümünün giri kısmında hesaplamalarda kullanılan HAD yöntemine ait genel akı diyagramı ve i lem basamakları tanıtılmı tır. HAD tabanlı Fluent paket yazılımının temel yapısı ve içerdi i alt programlar, 2. kısımda mühendislik sistemlerinin simülasyonlarında genel olarak kullanılan sayısal yöntemler hakkında temel bilgiler, 3.kısımda HAD yöntemi ve ısı konforun birlikte

de erlendirilmesi ve insan vücudu yüzeyleri için ısı karakteristیکlerin hesaplanması için bu çalı mada kullanılan yöntem, sayısal çalı malarda kabin iç ortamındaki yüzeyler arasında 1 mım ile olan ısı transfer hesaplamaları için kullanılan modeller, ta mım ile olan ısı transferi hesaplamaları, ısı konfor açısından de erlendirme yapabilmek için kullanılan ısı konfor ölçütü (PMV) hakkında temel bilgiler yer almaktadır. Bu bölümün, 4. kısmında kabin ve sanal insana ait CAD(Bilgisayar Destekli Tasarım) modelinin olu turulması, 5.kısımında hesaplamalarda kullanılan çözüm a 1 yapısı ve sınır artları, 6.kısımında ise hesaplamalara ili kin korunum denklemleri, çözüm planı ve hesaplamalarda kullanılan türbülans modeli hakkında bilgiler yer almaktadır. Bu bölümün 7. ve 8. kısımlarında ise sayısal hesaplamalarla e zamanlı gerçekleştirilen deneysel çalı malarda kullanılan ölçüm cihazlarından, hata analizinden ve kabin içinde tanımlanan kar ıla tırma noktalarından bahsedilmi tir.

Tezin 4.bölümünde ise ısıtma ve so utma süreci için gerçekleştirilen kabin simülasyonları ve ara tırma sonuçları yer almaktadır. Bu bölümde, farklı çözüm a ları ile gerçekleştirilen sayısal simülasyonlar, optimum çözüm a 1 yapısının elde edilmesi ile ilgili çalı malar, sanal insan modeli yüzeylerinde uygulanan iki farklı sınır artının insan vücudu için en uygun sınır artının belirlenmesi amacıyla kullanılmasına ili kin çalı malar, kabin iç ortam yüzeyleri arasındaki 1 mım ile ısı transferi hesaplamaları için kullanılan iki farklı 1 mım modeli ile gerçekleştirilen sayısal simülasyonlar, so utma periyodu için gerçekleştirilen sayısal simülasyonlar ve sonuçların deneysel verilerle kar ıla tırılması yer almaktadır.

Tezin son bölümü olan sonuç ve öneriler kısmında ise gerçekleştirilen ara tırma sonucunda elde edilen temel bulgular belirtilmi ve tüm bulgular farklı açılardan yorumlanarak bu alanda çalıacak olan ara tırmacılara önerilerde bulunulmu tur.

2. KAYNAK ARA TIRMASI

2.1 Giri

Daha önceki çalı malarda otomobil kabinine ait akı hacmi hesaplama zamanlarının oldukça uzun olmasından dolayı belirli bir ölçekte küçültülerek sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar hesaplama hızlarının düşük olması nedeniyle akı problemlerini 1980'lerde iki boyutlu yaklaşım ile çözme yoluna gidilmiştir. Aynı yıllarda otomobil kabini içinde sayısal simülasyonlara dayalı ısı konfor ve sıcaklık dağılımı üzerine detaylı bir çalışma bulunmamaktadır.

Bilgisayar teknolojisinin 1990'larda hızlı gelişimine paralel olarak HAD yöntemini içeren sayısal simülasyonlar üç boyutlu yaklaşım ile gerçekleştirilmiştir. Buna paralel olarak çözüm alanında kullanılan toplam hacim elemanı sayısı yüz binlerle ifade edilmek yerine milyonlarla ifade edilmeye başlanmıştır ve eski çalışmalara göre daha hassas çözümler elde edilmiştir. 1990'lı yıllardan sonra tasarım amacına uygun sonuçlar elde etmek amacıyla ısı konfor ve HAD yöntemi birlikte değerlendirilerek birleşik modeller geliştirilmiştir. Hızla gelişen bilgisayar teknolojisi ve otomotiv endüstrisindeki gelişmeler ile birlikte otomobil klima sisteminin çalışmaları için bağı kabini içinde sıcaklık ve ısı akısı tahminlerinde bulunan veya istenilen klima koşulları için otomobil klima sisteminin gereksinimlerini sürekli ve geçici rejimde hesaplayan bilgisayar kodları geliştirilmiştir. 2000'li yıllarda otomobil kabininde ısı konfor tahmini için gerekli tüm modüllerin yer aldığı Bilgisayar Destekli Mühendislik(CAE) yazılımları geliştirilmiştir.

Bu bölümde, konuyla ilgili literatürde yer alan çalışmalar iki ayrı bölümde incelenecektir. Birinci bölümde otomobil kabininde hız ve/veya sıcaklık dağılımının belirlenmesi ve ısı konfor ile birlikte HAD yaklaşımını içeren sayısal araştırmalara, ikinci bölümde ise konuyla ilgili deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

2.2 Sayısal Çalışmalar

Davis ve ark. (1972), çalışmalarında bilgisayarların büyük ölçekli hesaplamaları makul bir sürede yapabilme olanağına sahip olmadığı zaman diliminde otomobil kabin iç ortamında basit ısı analiz gerçekleştirilmektedir.

Davis ve ark. (1972) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmalar otomobil kabin ortamındaki sayısal çalışmaların başlangıcı olarak kabul edilebilir (Walgama ve ark.2006).

1980'lerde viskoz akı alanının belirlenmesi için iki boyutlu yaklaşım, hesaplama zamanlarının uzun olmasına çözüm olarak kullanılmıştır (Walgama ve ark.2006). China ve Yanagimoto (1987) gerçekleştirildiği çalışmalar, bahsedilen iki boyutlu yaklaşımı kullanarak akı alanı çözümleri elde eden araştırmacılara örnek olarak verilebilir. Hara ve arkadaşları (1988), iki boyutlu hava akı analizi ile üç boyutlu hava akı analizini karşılaştıran bir çalışma gerçekleştirilmektedir. Otomobillerde hız ve sıcaklık dağılımının sayısal simülasyonu kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar 1990 yıllarından itibaren gelişen bilgisayar teknolojileri ile hız kazanmıştır. Wan and Van der Kooi (1991) çalışmalarında, giriş ve çıkış menfezlerinin kabin içindeki optimum konumunu bulmak için hesaplamalı yöntemler kullanılmışlardır.

Lin ve ark. (1992) çalışmalarında, basitleştirilmiş otomobil kabininde soğutma sürecinde akı ve sıcaklık dağılımlarının hesaplanmasını gerçekleştirilmektedir. Ancak çalışmalarında ısı konfor ile ilgili değerlendirme yapılmamıştır. Yapılan sayısal analizleri doğrulamak için 24 adet termocouple, 2 adet pyranometre ve bir adet anemometre cihazlarının kullanıldığı deneysel çalışmalar yürütmüştür.

Ingersoll ve ark. (1992) çalışmalarında daha önceden yapılan çalışmalardan elde edilen modelleri birleştirerek kabin geometrisi ve ortam koşullarına göre konfor ölçeklerini tahmin edebilen bilgisayar kodu geliştirilmektedir.

Curle (1997) çalışmasında STAR-CD yazılımını kullanarak 3.000.000 hacim elemanı içeren döneminin en yüksek çözünürlüğe sahip HAD analizini gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma, 1997 model Mercedes kabin modeli sonlu hacimler metodu ile sürekli rejimde kabin ortam koşulları için yapılmıştır.

Aroussi ve Aghil (2000) çalışmalarında, 1992 model Ford Mondeo markalı otomobil kabinini 1/5 ölçeğinde modelleyerek, hava akı karakteristiklerini belirlemek için

kabinin içi bo ve sürücülü durumları için teorik ve deneysel ara tırmalar yapmı lardır. Akı karakteristi ini deneysel olarak belirlemek için Görüntülemeli Hız Ölçme (*PIV*) tekni ini kullanmı lar, sayısal analizler de ise Fluent yazılımını kullanarak HAD yöntemi ile hesaplamalar yaparak deneysel ve sayısal sonuçları kar ıla tırmı lardır. Geoa ve Tgrid yazılımlarını kullanarak sayısal hesaplamalarda, çözüm a ını 260.0000 elemandan (tetrahedral) olu an bir yapıya sahip olacak ekilde geli tirmi lerdir. Ancak gerçekle tirdikleri sayısal çalı malarında akı karakteristi ini deneysel sonuçlarla kar ıla tırabilmek için akı kan türü olarak hava yerine su kullanmı lardır. Çalı malarında sıcaklı ın etkisini dikkate almadan gerçekle tir-mi lerdir.

Conceicao ve ark. (2000) çalı malarında, otomobil kabininin ısı davranı ının simülasyonunu olu turmu tur. Model, iç yüzeyler ve hava için enerji dengesi denklemlerini otomobile giren ve çıkan ısı yüklerle birlikte kullanmaktadır. Deneysel verilerle hesaplamalar sonucunda elde edilen cam yüzeyleri, tavan ve iç hava sıcaklıklarının zamanla de i imi kar ıla tırılmı tur.

Fujita ve ark. (2001) çalı malarında, otomobil kabinindeki ısı ortam ko ullarını farklı ko ullarda tahmin etmek için sayısal model geli tirmi tir. HAD yöntemi esaslı bu çalı mada otomobil kabin modeli basitle tirilmi tir. Otomobil kabininde simülasyondan elde edilen hava hızı ve sıcaklık de erleri, deneysel ölçümlerle farklı ko ullarda geni dı ortam sıcaklı ı aralı ında kar ıla tırılmı tur. Ancak belirtilen çalı mada ısı konforla ilgili herhangi bir ara tırma gerçekle memi tir.

Kataoka ve Nakamura (2001) çalı malarında, sayısal simülasyon yardımıyla otomobil içinde ısı konfor tahminlerini gerçekle tirmi lerdir. Sayısal analiz sonucu elde edilen sıcaklık ve hız da ılımına ba lı olarak araç içindeki ki ilerın ısı duyarlılı ını tahminlerde bulunan yeni bir sistem kurmu lardır.

Qualit ve Markowitz (2001) çalı malarında, akı ve sıcaklık da ılımını üç boyutlu HAD yöntemi kullanarak ısı konfor optimizasyonu üzerine ara tırmalar yapmı lardır. Çalı malarında HAD yöntemi için Fluent yazılımını, türbülans modeli için standart k-ε modelini, Çözüm a ı yapısını geli tirmek için T-Grid programını kullanmı lardır. Deneysel çalı malarla kar ıla tırma yapabilmek için Ford Motor irketinin incelen araç kabini mevcut olan verilerini kullanmı lardır.

Mcguffin ve ark. (2002) çalı malarında, uniform olmayan ortamlarda geçici rejimde ısı konfor tahminlerinde bulunmak için sayısal ve deneysel araçları

geli tirmeye yönelik ara tirmalar yapmı lardır. Bu araçlar insan ısı fizyolojisi için sonlu elemanlar metoduna dayalı bir modeldir. Fizyolojik model ile lokal ve global ısı konfor tahminlerinde bulunabilmektedir.

Ambs (2002) çalı masında, geçici rejim analizinde yolcu ve sürücülerin ısı konforunu, araç prototip a masında de erlendirmek amacıyla VISTEON otomotive sistemleri irketinin geli tirdi i üç boyutlu parametrik kabin modelinin olu turulabildi i bir yazılım ile sürücü ve yolcuların konforunu geçici rejimde incelenmi tir. Bu parametrik model aynı zamanda otomatik çözüm a ı yapısını sonlu elemanlar tabanlı bir çözüm algoritması ile yapmaktadır.

Rugh (2002) çalı masında, Amerika Birle ik Devletleri Ulusal Yenilenebilir Enerji Kaynakları Laboratuvarı(NREL)'nin geli tirdi i ve destekledi i Bilgisayar Destekli Tasarım(CAD), HAD(CFD), ısı konfor ve simülasyon araçlarını içeren entegre bir model kullanarak ısı konfor, yakıt ekonomisi ve emisyonları incelemi tir.

Han ve Huang (2005) çalı malarında, Delphi 'nin farklı iklimlendirme kontrol stratejilerini ara tırmak için geli tirdi i Sanal Isıl Konfor Mühendisli i(VTCE) prosesi ile otomobil kabininde ısı konforu ile ili kili parametreleri(solunum seviyesi sıcaklı ı, hava hızı, güne ı nımı vs.) incelemi ler ve sonuçları do rulamak için deneysel verilerden yararlanmı lardır.

Mezrhab ve Bouzidi (2005) çalı malarında, otomobil kabininde ısı konfor davranı nı klima sistemi ve araç kabin yüzeylerini olu turan malzemeler açısından de erlendiren bir sayısal model üzerine inceleme yapmı lardır.

Bendell (2005) çalı masında, otomobil kabin yüzeylerinin sürekli ve geçici rejimde ki ilerinin konfor algısı üzerindeki etkilerini ara tırmı tir. Gerçekle tirilen çalı mada HAD tabanlı Fluent yazılımı kullanılarak esas olarak kabin yüzeylerinin sıcaklık da ılımlarının hesaplanması üzerinde durulmu tur.

Quanten ve ark. (2007) çalı malarında, farklı menfezlere sahip iki farklı klima kontrol sistemini üç boyutlu sıcaklık da ılımı ve lokal hava oranını dikkate alarak kar ıla tırmı lardır. ki farklı kabin içinde sıcaklık farkının de i imlerini inceleyerek trafik güvenli i ve klima sistemi arasında önemli bir ili ki oldu u sonucunu belirtmi lerdir.

Jonsson (2007) çalı masında, araç içindeki sıcaklık da ılımını güne ı nımını da dikkate alarak HAD tabanlı Fluent yazılımı kullanarak içi bo Volvo S80 otomobil

kabini için gerçekleştirilmiştir. Araştırmasında soğutma sürecinde sürekli rejimde, havalandırma sistemi kapalı konumda iken geçici rejimde ve soğutma sürecinde havalandırma sistemi açık konumda geçici rejimde olmak üzere üç ayrı amaçta gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar rüzgar tüneli sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Güneş yükünün güneş konumunun değişimi varsayılarak sabit bir güneş vektör konumunun tanımlandığı bu çalışmada, S2S modeli kabin yüzeyleri arasında olan güneş yükü ile ısı transferi için kullanılmıştır. Çözüm hacmi içinde tetrahedral elemanlardan oluşan bir çözüme ulaşılmıştır.

Wolfe ve ark. (2007) çalışmalarında, otomobile koltuklarının ısıtılması ve soğutulmasının ısı konfor üzerindeki etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışmalarında Delphi Thermal Systems'ın geliştirdiği sanal ısı konfor mühendisliği (VTCE) yazılımını 6 kişilik bir minibüs kabin simülasyonu için kullanmışlardır. Kabin içinde güneş yükü modeli için görüş faktörleri dikkate alınarak, güneş yükünü A.B.D. Ulusal Yenilenebilir Enerji Kaynakları Laboratuvarı (NREL)'nin geliştirdiği SOLPOS kodu ile hesaplamalara dahil etmiştir.

Kikuchi ve Ito (2007) çalışmalarında, yolcu bulunmayan bir banliyö treni kabininde giriş ve çıkış menfezlerinin konumlarını değiştirilerek, akış ve sıcaklık dağılımlarını HAD yaklaşımı ile araştırmışlardır.

Lombardi ve ark. (2007) çalışmalarında, deneysel metodların ısı konforu iyileştirmek için yapılması gereken değişiklikler açısından bir takım problemler olduğunu ve HAD yaklaşımının konfor açısından önemli bir gelişme olduğunu vurgulanmaktadır. Hesaplamalarda Fluent yazılımı ile birlikte standart $k-\epsilon$ türbülans modelini, güneş yükü modeli için ise DO (Ayrık Ordinat) modelini kullanmışlardır. Isı konfor indislerinin kullanımının otomobil kabini içinde konfor iyileştirme çalışmaları için güçlü bir araç olduğunu ve HAD yaklaşımının araç tasarım sürecinde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Chien ve ark. (2008) çalışmalarında, soğutma sürecinde araç içinde üç boyutlu akış ve ısı davranışı konuları olan bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında geçici rejimde basitleştirilmiş insan modeli içeren araç kabininde $k-\epsilon$ türbülans modelini tercih ederek sıcaklık ve akış alanları elde etmiştir. Deneysel çalışmalar ile sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sevilgen ve Kilic (2009) alı malarında üç boyutlu geçici rejim analizini ısıtma sürecinde sanal insan modeli otomobil kabini iki farklı sınır artı kullanarak gerçekle tirmi lerdir. Sanal insan modeline ait yüzeylerde sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı sınır artı olmak üzere iki ayrı durumu üç boyutlu HAD kullanarak hava akı ı, ısı transfer karakteristikleri ve ısı konfor açısından incelemi lerdir. Kabin i hacminde hexahedral elemanlardan olu an çözüm a ı yapısı kullanarak gerçekle tirdikleri çalı malarda S2S modelini kabin yüzeylerindeki ı ınım ile olan ısı transferini modellemek için kullanmı lardır. Elde ettikleri sayısal sonuçları deneysel verilerle do rulamı lardır.

Zhang ve ark. (2009) alı malarında, HAD tabanlı Fluent yazılımını kullanarak içi bo ve sürücü ve yolcudan olu an otomobil kabini için üç boyutlu sıcaklık ve akı karakteristiklerinin da ılımını so utma sürecinde, konfor ko ullarını iyile tirmek ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla gerçekle tirmi lerdir.

Sevilgen ve Kilic (2010) alı malarında, HAD tabanlı Fluent yazılımını kullanarak geçici rejimde standart ısıtma sürecinde sanal insan modeli otomobil kabini için üç boyutlu sayısal akı ve ısı transfer karakteristikleri hesaplamalarını içeren ara tırmalar gerçekle tirmi lerdir. Kabin hacmi için üç boyutlu tetrahedron elemanlardan olu an bir çözüm a ı kullanılmı , kabin yüzeylerine ait ı ınımla ısı transferi modeli için Ayrık Ordinat (Discrete Ordinate) modeli seçilerek gerçekle tirilen bu çalı malarda deneysel sonuçlarla kar ıla tırma yapılarak do rulama gerçekle tirilmi tir.

Çizelge 2.1’de 1989 ile 2009 yılları arasında gerçekle tirilen bazı ara tırmalarda kullanılan sayısal hesaplamalara ili kin yakla ım metodu, yazılım/kod, incelenen süreç ve çözüm a ı ile ilgili özet bilgiler gösterilmi tir.

Çizelge 2.1 1989–2010 Yılları arasında otomobil kabini içinde akı alanı ile ilgili ara tırmalara için gerçekleştirilen bazı sayısal hesaplamalar

Yazar Adı	Yazılım/Kod	ncelenen Süreç	Çözüm A ı
Han (1989)	*Sonlu Hacimler	So utma	39x29x45
Lin ve ark.(1991)	Sonlu Hacimler (VINE3D-H)	So utma	42x37x59
Ingersoll ve ark. (1992)	*enerji ve akı alanı için geli tirilen kod	Isıtma ve so utma	36 hacim, 82 yüzey
Lin ve ark.(1992)	Sonlu Hacimler (Geli tirilmi VINE3D-H)	So utma	59x48x68
Besombes ve ark. (1997)	* ACOZ	Isıtma ve So utma	45262(g) 14613(s)
Currie (1997)	Sonlu Hacimler (STAR-CD)	Isıtma	2.000.000(hexahedral) hacim elemanı
Aroussi ve Aghil (2000)	Sonlu Hacimler (FLUENT)	Sürekli rejim	260.000 (tetrahedral) hacim elemanı
Ambs (2000)	Sonlu elemanlar Metodu(ACUSIM)	Genel özellikli	Kullanıcı tanımlı
Kilic ve Sevilgen(2009)	Sonlu Hacimler (FLUENT)	Isıtma	900.0000(hexahedron) hacim elemanı
Sevilgen ve Kilic (2010)	Sonlu Hacimler (FLUENT)	Isıtma	800.0000(tetrahedron) hacim elemanı

* : Ticari olmayan yazılım ve kodlar, g: geçici rejim, s: sürekli rejim

nsanın fizyolojisinin farklı ortam ko ullarında nasıl davrandı nı belirlemek amacıyla ara tırmacılar matematiksel modeller geli tirmi lerdir. Bazı modeller vücut içerisindeki sıcaklık da ılımını farklı ko ullarda belirlemeye yönelik matematiksel modellerdir. Bazı modeller ise sadece merkez(core) sıcaklı ı ve deri sıcaklı nı tahmin etmeyi sa larlar. nsan fizyoloji kavramsal olarak sıcaklıkların hesaplanmasından daha karma ık ve zordur. Giysi direnci matematiksel modelde kullanılmalıdır ve insanın ısıl tepkisini belirlemede önemli rol oynar. Tablo 2.2’de 1971 ile 2003 yılları arasında

geli tirilen insan vücudu fizyolojik yapısını temsil eden matematiksel modellerin gelişim süreci yıllara bağlı olarak verilmiştir. Çizelge 2.2’de 1971 ile 2009 yılları arasında geli tirilen insan vücudu fizyolojik yapısını temsil eden matematiksel modeller yer almaktadır.

Çizelge 2.2 1971–2009 Yılları arasında geli tirilen insan vücudu fizyolojik yapısını temsil eden matematiksel modeller

Yazar / yıl	Tanımlama
Stolwijk (1971)	Sıcak ortamlar için do rulanmı *
Givoni ve ark. (1971)	Ampirik, sıcak ortamlar için do rulanmı
Gagge ve ark. (1971)	Fizyolojik iki bölmeli model*
Wissler (1988)	Sıcak ve so uk ortamlar için do rulanmı
Werner ve ark. (1993)	6 silindirli sürekli rejim modeli
Pinieć ve ark. (1997)	Sıcak, so uk ve nötral ortamlar için sürekli ve geçici rejim modeli
Fiala ve ark. (1999)	Sıcak, so uk ve nötral ortamlar için sürekli ve geçici rejim modeli
Huizenga ve ark. (2001)	So uk ortamlarda sürekli rejim sıcak ortamlarda geçici rejim modeli
Kohri ve ark. (2002)	ki bölmeli model
Kohri ve ark. (2003)	Sürekli rejimde korelasyon modeli
Kaynaklı ve Kılıç (2005)	Sürekli ve geçici rejimde otomobil kabini ve di er iç ortamlar için ısı konfor modeli.
Akyol ve Kılıç(2008)	Otomobil sürücüsünün iç ortam ko ullarındaki de i ime ba lı gösterdi i fizyolojik tepkilerin Matlab simulink modeli

* : HAD hesaplamalarında genelde sıklıkla kullanılan matematiksel modeller.

HAD yöntemlerinde ısı konforu tahmin etmek için matematiksel modellerin yanında modellenen insan geometrisinin gerçek insan vücut ölçü ve ekline yakınlığı da önem kazanmaktadır. Sanal insan modellerinin kapalı ortamlarda ısı konfor analizleri için ilk kullanımı 1990'lı yıllardadır. 1990'larda bu mankenlere ait CAD(Bilgisayar Destekli Tasarım) modelleri daha basit ve çoklukla basit geometriye sahipti. Günümüzde bu hesaplamalar daha gerçekçi sanal insan modelleri kullanarak hava akışı, ısı transferi ve kütle transferini de içeren birleşik ve daha karmaşık analizlerin yapılabilmesi haline gelmiştir.

Gan (1994), sayısal insan modelini kapalı ortamlarda ısı konforu değerlendirilmesi yapabilmek için kullanan ilk araştırmacılar arasında yer alır. Gerçekleştirildiği çalışmada havalandırılan bir kapalı ortamı değerlendirmek için HAD tabanlı bir kod geliştirilmiştir. Bu program PMV ve PPD değerlerini çıktı verisi olarak hesaplamaktadır. Türbülans modeli olarak hesaplamalarda standart k-ε modeli kullanılmıştır.

Brohus ve Nielsen (1996), üç farklı HAD insan modeli üzerine çalışarak, sonuçları karşılaştırmak için solunumunda dikkate alındığı ayakta duran ısı mankeni üzerinde ölçümler yapmışlardır.

Kato (1996), sanal insan modeli etrafında hız ve sıcaklık dağılımlarını analiz etmiştir. Yapılan bu çalışmada oda içinde bulunan ve sabit uniform 20W/m^2 ısı akışı ile ısıtılan bir insan için gerçekleştirilmiş ve low-Reynolds number k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Maue ve ark.(1997), kabin içindeki kişilerin ısı konfor ölççeklerini hesaplamak için (PMV vs.) için üç farklı program kullanmışlardır. Hız ve sıcaklık dağılımı için STAR-CD yazılımını ile kişilerin termofiziksel modeli için TIM modelini ve türbülans modeli için standart k-ε türbülans modelini tercih etmişlerdir.

Murakami ve ark.(1997), ısı konfor tahminleri için "hesaplamalı ısı mankeni (computational thermal manikin)" olarak adlandırdıkları bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmada hesaplamalı ısı mankeni üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Birinci çalışmada giysi olmadan insan vücudu ile çevresi arasında gerçekleştirilen ısı transferinin HAD yöntemi ile hesaplanması üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir, ikinci çalışmada ise manken ile çevresi arasındaki ısı transferi ile ısı transfer katsayılarını hesaplamışlardır. Hesaplamalarda low-Reynolds number k-ε türbülans modeli kullanılmış ve her bir durumun analiz süresi süper bilgisayar kullanarak yaklaşık 100 saat sürmüştür.

Han ve ark.(2001), ısı konforu tahmin etmek için sanal metotlar geli tirmi lerdir. 16 bölmeli Stolwijk modeline dayanan bir fizyolojik insan modeli kullanılmı lardır. Bu konfor modelini, uniform olmayan bir ortamda ki inin lokal ısı konforunu; hava sıcaklı ı, yüzeylerin sıcaklı ı, hava hızı, nem, aktivite seviyesi ve giysi türünün bir fonksiyonu olarak tahminde bulunmak için geli tirmi lerdir.

Tanabe (2002), Stolwijk modeli tabanlı 65 dü ü m noktalı termoregölasyon modelini geli tirmi tir. Model 16 ayrı vücut bölmesine sahiptir. Her bölme dört farklı katmandan olu maktadır. Bu katmanlar, merkez, kas, ya ve deridir. Ta nım ve ı nım ısı transfer katsayıları ısı manken üzerinde gerçekte tirilen deneylerden türetilmi tir. Bu model HAD hesaplamaları ile ı nım ile olan ısı transfer modelini birle tiren bir esasa dayanır. Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'te ise 1994 – 2010 yılları arasında sanal insan modeli ile birlikte kullanılan fizyolojik modeller ve kullanılan türbülans modelleri ifade edilmi tir.

Çizelge 2.3 1994 – 2001 yılları arasında HAD yöntemi kullanılarak sanal insan modeli ile birlikte kullanılan fizyolojik modeller ve türbülans modelleri

Yazar / yıl	Fizyolojik model ve sonuçlar	Türbülans modeli ve yazılımlar (kodlar)
Gan (1994)	Pasif ısıtma, sürekli rejim, hava akı ı tahminleri	Two-equation k-ε modeli
Brohus ve ark. (1996)	Pasif ısıtma(25W/m ²), sürekli rejim, , hava akı ı tahminleri	Two-equation k-ε modeli, Flovent CFD yazılımı
Kato ve ark. (1996)	Pasif ısıtma(20W/m ²), sürekli rejim, kirletici(contaminant) akı analizi	Low-Re k-ε modeli
Maue ve ark. (1997)	Fizyolojik model, sürekli rejim, PMV ve t _{eq} (8 kısımlı)	3 farklı kod, Star-CD, SWF, TIM programı
Murakami ve ark.(1997,1998)	Fizyolojik model, Gagge 2-node Hava sıcaklı ı, nem, ı nım	Low-Re k-ε modeli, iteratif i lem, birle ik simölasyon
Bjorn ve ark. (2000)	Pasif ısıtma(34.7W/m ²), sürekli rejim, solunum etkileri	RNG k-ε modeli
Huizenga ve ark. (2001)	Fizyolojik model, Stolwijk 25-node, PMV ve EHT(16 kısımlı)	Farklı kodlar, birle ik simölasyon, Berkeley konfor modeli

Çizelge 2.4 2001 – 2010 yılları arasında HAD yöntemi kullanılarak sanal insan modeli ile birlikte kullanılan fizyolojik modeller ve türbülans modelleri

Yazar / yıl	Fizyolojik model ve sonuçlar	Türbülans modeli ve yazılımlar (kodlar)
Han ve ark. (2001)	Fizyolojik model, Stolwijk model, PMV ve t_{eq}	Fluent, Berkeley konfor modeli
Kang ve ark. (2002)	Fizyolojik model, Stolwijk 61-node modeli, sürekli rejim WBGT	High-Re k- ϵ modeli ve wall functions, birle ik simülasyon
Tanabe ve ark. (2002)	Fizyolojik model, Stolwijk 65-node modeli(16 kısımlı)	İ nım ve HAD ile birlikte fizyolojik model
Buxton ve ark. (2003)	Fizyolojik, Gagge 2-node modeli	Birle ik simülasyon, I MAP ve PHOENICS
Nilsson (2004)	Manken korelasyon modeli, sürekli rejim, Konfor zon diyagramı, t_{eq} (18kısımlı)	Zero-equation modeli, CFX, Star-CD ve MANIKIN3 entegre kullanımı
Kılıç ve Sevilgen (2009)	Fizyolojik model, Geçici rejim, PMV ve ısı karakteristlikler	Fluent , RNG k- ϵ modeli , hexcore a yapısı
Sevilgen ve Kılıç (2010)	Fizyolojik model, Geçici rejim, ısı karakteristlikler	Fluent , RNG k- ϵ modeli , tetrahedral a yapısı

2.3 Deneysel Çalışmalar

Ortam koşullarının ısı konforu üzerinde etkilerini belirlemek için araştırmacılar genel olarak iki yaklaşımda durmuşlardır. Birinci yaklaşımda, araç içindeki kabin iç ortam havası, otomobile ait iklimlendirme sistemi(HVAC) ile araç içindeki kişiler arasında bir araç olarak düşünülmüştür. Bu yaklaşımda HVAC özellikleri başlıca ısı yalıtım kenarları, ısı konforu ise amaç fonksiyonunu temsil etmektedir(Walgama ve ark.2006). Bu yaklaşımı temel alarak gerçekleştirilen bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Hagino ve Hara (1992) çalışmalarında, sıcaklığın, hava akımının ve güneş ışınımının araçtaki kişilerin ısı konforu üzerindeki etkileri temelli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalara dayanarak konfor ile ilgili bir metod geliştirilmiştir.

Rolle ve Romitelli (1993) çalışmalarında geçici rejimde otomobil kabininde uniform olmayan ortam koşullarını açıklamak için lokal konforun gerçek zamanlı dinamik ölçümleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Ölçümlerde sürücüyü temsil eden bir manken üzerinde konfor, sıcaklık, hız ve nem sensörleri yardımıyla konforsuzluğun kaynağını belirlemeye çalışılmıştır.

Ghiardi (1999) çalışmasında ısı konfor seviyesini doğrudan belirlemek için ısı yalıtım sıcaklık ölçme tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte bir insanın yüzüne ait konfor durumunda elde edilen termal infrared görüntüsü deneyde elde edilen yüz görüntüsü ile karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Araştırmacı soğutma durumunda incelemelerini gerçekleştirmiştir.

Termal görüntü verileri ile gerçekleştirilen bu metod daha maliyetlidir. 1993'te sonuçlar ısı çift'lerden elde edilen verilerle karşılaştırılmaya başlanmıştır.

İkinci yaklaşımda ise genel olarak ortam koşullarının ısı konforu üzerindeki etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalar içermektedir. Bu yöntemde akım parametreleri de ölçülmüştür. Sonrasında elde edilen bu veriler, mevcut konfor modelleri ile ısı konfor seviyesini belirlemek için kullanılmıştır. Bu yaklaşım için gereksinim duyulan, verilerin bir araya getirilmesidir. Otomobil kabininde farklı noktalarda parametrelerin ölçümüne dayanan birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin;

Lin ve ark (1991) akı ve sıcaklık da ılımını basitle tirilmi kabinde so utma sürecinde ara tırmanın sayısal kısmını do rulamak için gerçekte tirmi lerdir. Bu amaçla çalı malarında kullandıkları ölçüm cihazlarından bazıları 24 adet ısı çift, 2 adet pıranometre ve rüzgar hızını ölçmek için pervane tipi anemometredir.

Chakroun ve Al-Fahed (1997), bu yakla ımı, güne altında park halinde sıcak havalarda kabin içindeki sıcaklı ı azaltmaya yönelik muhtemel farklı tekniklerin etkisini çalı mak için adapte etmi lerdir. Bu çalı mada ısı konfor indislerini belirlemek için otomobil kabininde hava sıcaklı ı, nem, ı nım sıcaklı ı ve hava hızı de erleri ölçülmü tür.

Besombes ve ark. (1997), rüzgarın hızını, sıcaklı ını, nemini; güne ı nımını ve sıcaklıktaki artı ve azalı ları kontrol etmek için rüzgar tüneli olanaklarını kullanmı lardır. Yaptıkları deneylerle ilgili sayısal simülasyonu do rulamak için 18 adet hava sıcaklık sensörü Chrysler Neon marka otomobile monte etmi lerdir.

Conceicao ve ark. (1997), tarafından aynı yıl içerisinde otobüs yolcu kabininde ısı konforu farklı koltuklar kullanılması durumunda de erlendirmek için deneyler yapmı lardır.

Kataoka ve Nakamura (2001), çalı malarını do rulamak için ısı çiftleri ve anemometreleri manken üzerine yerle tirmi ve manken etrafındaki sıcaklık ve hız da ılımlarını ili kin verileri bir araya getirmi lerdir.

Literatürde yer alan bazı çalı malar a a ıda belirtilmi tir.

Temming ve Hucho (1979) sıcak iklime sahip bölgelerde, klimanın bulunmadı ı otomobillerde iç ortamının havalandırması üzerine ara tırmalar gerçekte tirilmi tir. Deneysel çalı mada otomobil kabinine giren hava debisi $300 \text{ m}^3/\text{h}$ kullanılarak belirli aralıklarla(10cm) kızgın tel anemometresiyle hız ölçümleri yapılarak otomobil kabininde hız da ılımları elde edilmi tir.

Burch ve ark. (1991a,b) çalı malarında, çok so uk sayılabilecek kı ko ullaarında otomobil kabinindeki konfor artlarını incelemi tir. nsan dört farklı bölgeye ayırarak bölgeler ve çevresi arasında gerçekte en ısı ve kütle transferini matematiksel model yardımıyla olu turmu tur. Hesaplanan ısı ve kütle transferi için Gagge modelini (anlık enerji dengesi modelini) referans alarak sürücü koltuklarının ısıtmalı ve klasik oldu u durumlar için vücuttan olan ısı kayıplarını incelemi tir.

Aroussi ve Aghil (2000) alı malarında, akı karakteristiklerini deneysel çalı malarına paralel olarak sayısal çalı malarını HAD tabanlı gerçekle tirmi lerdir. Deneysel olarak hız da ılımını belirlemek için Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (*PIV*) tekni i kullanılmı tır.

Lee ve Yoon (1998), otomobil kabinine ait modeli 1/10 ölçe inde olu turarak, otomobil içerisindeki sıcaklık ve hız da ılımını ısıtma sürecinde deneysel olarak incelemi lerdir. Deneyleerde, üç farklı durum için hava da ılımı belirlenmeye çalı ılmı tır. Tüm durumlarda kabin içine giren toplam hava debisi sabit tutulmu tur. Tüm menfezlerin açık konumdayken kabinde üniform sıcaklık da ılımı elde etmi lerdir.

Rugh ve ark. (2001), çalı malarında güne ı nımını yansıtıcı saydam yüzey kullanımının yakıt ekonomisi, klima sisteminin kontrolü ve emisyonlar üzerindeki etkisini incelemi tir. Güne ı nımını yansıtan saydam yüzey kullanım ile otomobilin güne altında, klima sistemi kapalı durumdayken beklemesi durumunda elde edilen maksimum kabin iç ortam sıcaklı ının azaltılabilece ini belirtmi tir ve bununla birlikte klima sisteminin kompresör yükünün azaltılabilece ini ifade etmi tir.

Nilsson (2004), alı masında küçük hacimli deneysel mankenli test kabininin yer aldı ı yapay güne ı nımının uygulanabildi i bir kapalı ortamda deneysel çalı ma gerçekle tirmi tir. Mankenin farklı bölgelerinde ısı akısı de erleri ölçülerek kontrol edilmi tir. Manken çevresi ile ısıl dengeye ula tı ı andaki veriler kayıt altına alınmı tır.

Kaynaklı ve Kilic (2005) alı malarında, ısıtma periyodunda ısıl ko ulların, ısıl konfor ve insan fizyolojisi üzerine etkilerini teorik ve deneysel olarak ara tırmı lardır. Isıtma sürecinde geçici rejimde otomobilde insan ve çevresi arasında gerçekle en ısı ve kütle transferini geli tirilen yazılım sonuçları ile ölçüm sonuçlarını ile kar ıla tırmı lardır.

Ozeki ve ark (2008) alı malarında, ½ ölçekte üretilen standart bir otomobil kabini içinde PIV(Particle Image Velocimetry) metodu ile iki boyutlu hız da ılımına ili kin deneysel çalı malar gerçekle tirmi lerdir. ½ ölçekte üretilen özel otomobil kabininde 18 tane farklı bölgede PIV yöntemi kullanarak deneysel çalı malar yapmı lardır. Yaptıkları alı malar aracı ıyla CFD analizinin hassasiyetini ve do rulu unu incelemek için gerekli verilerin olu turulmasını amaçlamı lardır.

Korukçu ve Kılıç (2009), alı malarında kızıl ötesi(infrared) termografik yöntemle, ısıl çiftlerle birçok noktadan veya yüzeylerden aynı anda yapılan sıcaklık

ölçümlerine göre daha uygun ve hızlı sıcaklık ölçümleri yapılabilece i üzerinde durmu lardır. Bu yöntemin, otomobil yüzeylerinin ani ve geçici sıcaklık da ılımlarının belirlenmesine ve bu yüzeylerin neden oldu u ısıl konforsuzlu un ara tırılmasına yönelik çalı malarda kullanılabilce i ifade edilmektedir.

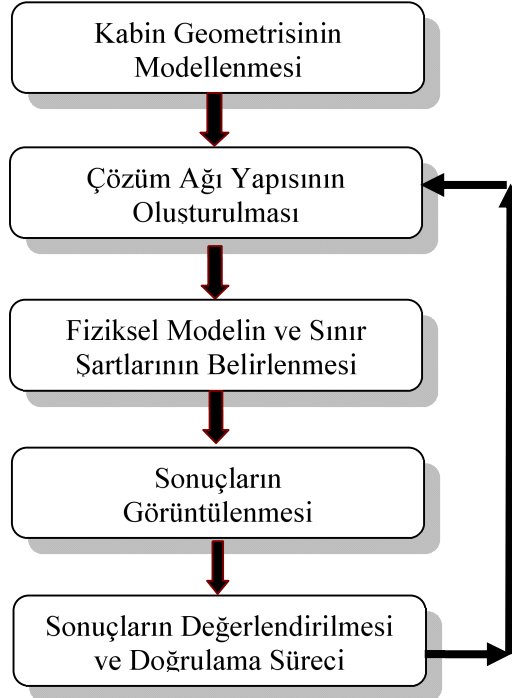
Sevilgen ve Kilic (2009) çalı malarında geçici rejim analizini ısıtma sürecinde sanal insan modelli otomobil kabini için üç boyutlu HAD yöntemi kullanarak Hex Core a yapısı ile gerçekleştirimi lerdir. E zamanlı yürütülen deneysel çalı malar ile birlikte elde edilen veriler ile sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler kar ıla tırılmı tır.

Sevilgen ve Kilic (2010) çalı malarında, tetrahedral a yapısı kullanarak HAD tabanlı Fluent yazılımı ile geçici rejimde standart ısıtma sürecinde sanal insan modelli otomobil kabini için üç boyutlu sayısal akı ve ısı transfer karakteristikleri hesaplamalarını içeren ara tırmalar gerçekleştirimi lerdir. Aynı zamanda sayısal çalı malarla elde edilen verilerin do rulanması, e zamanlı yürütülen deneysel çalı malar sonucunda elde edilen verilerle kar ıla tırılarak sa lanmı tır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

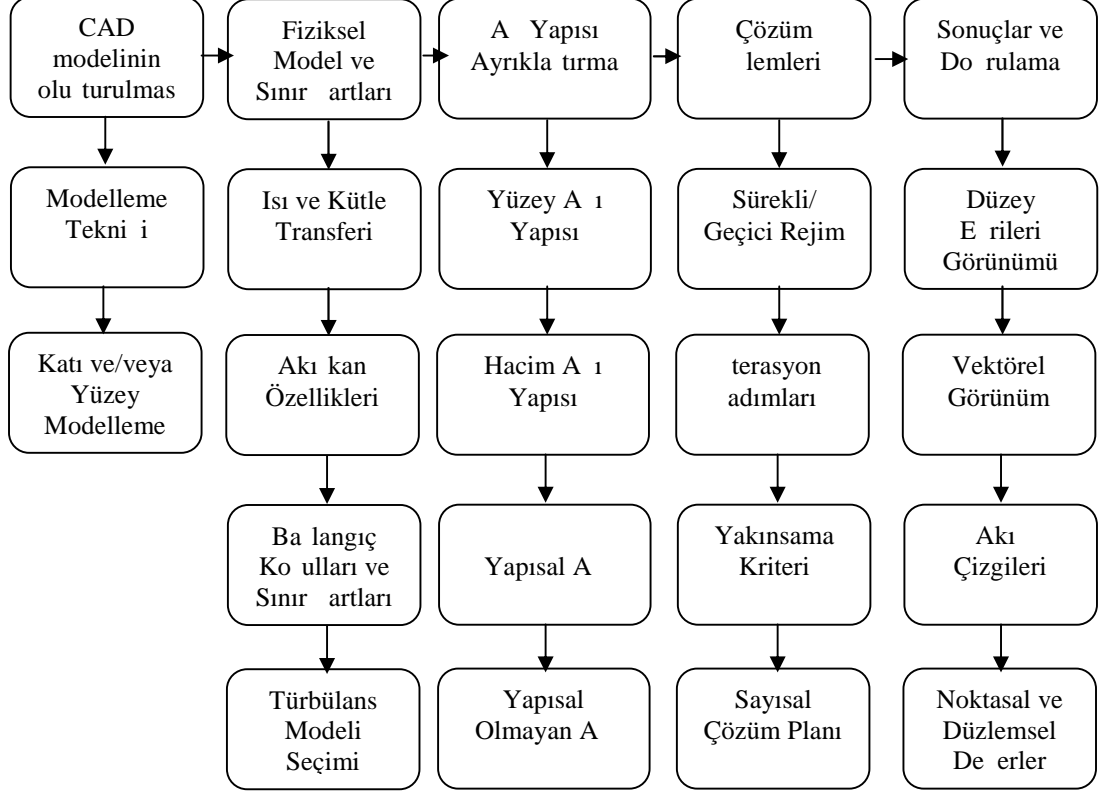
3.1 Giri

HAD yaklaşımı, akışkan hareket analizlerinin yapıldığı mühendislik sistemlerinin modellenmesi ve sayısal çözüm yöntemlerinin simülasyonu olarak tanımlanabilir. HAD yaklaşımı ile çözüm metodu günümüzde birçok mühendislik probleminin sayısal çözümlenmesinde kullanılmaktadır. Otomobil tasarım sürecinde HAD yaklaşımı tabanlı analizler birçok uygulama alanına sahiptir. Örneğin, otomotiv sektöründe, HAD teknolojisi enerji kayıplarını azaltarak maksimum konforun sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla öncelikle yolcu ve sürücüleri içeren otomobil kabinleri içinde standart ısıtma ve soğutma sürecinde sıcaklık ve hız dağılımlarının HAD yöntemi ile sayısal olarak hesaplanması gerekmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada aynı zamanda ısı konforunun otomobil kabininde değerlendirilmesi açısından da önemlidir. Hesaplamalarda, otomobil kabininde hız ve sıcaklık dağılımlarının üç boyutlu sayısal analizi, HAD yöntemi tabanlı Fluent paket yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. HAD yöntemi ile otomobil kabininde hız ve sıcaklık dağılımlarının hesaplanmasına ilişkin genel akış diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 HAD yöntemine ilişkin genel akış diyagramı

Otomobil iç ortamındaki havanın hız ve sıcaklık dağılımının sayısal yöntemlerle hesaplanması sürecinde izlenen HAD yöntemine ait detaylı işlem adımları ekil 3.2 'de gösterilmiştir.



ekil 3.2 HAD yöntemine ait detaylı işlem adımları

Fluent 6.3 (2006), yardımcı kaynaklarında belirtildiği üzere ekil 3.2' de belirtilen işlem adımlarında kullanılan sayısal modellerin ve parametrelerin doğru tayin edilebilmesi için temel birtakım sorulara yanıt verilmelidir. Bu sorular aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

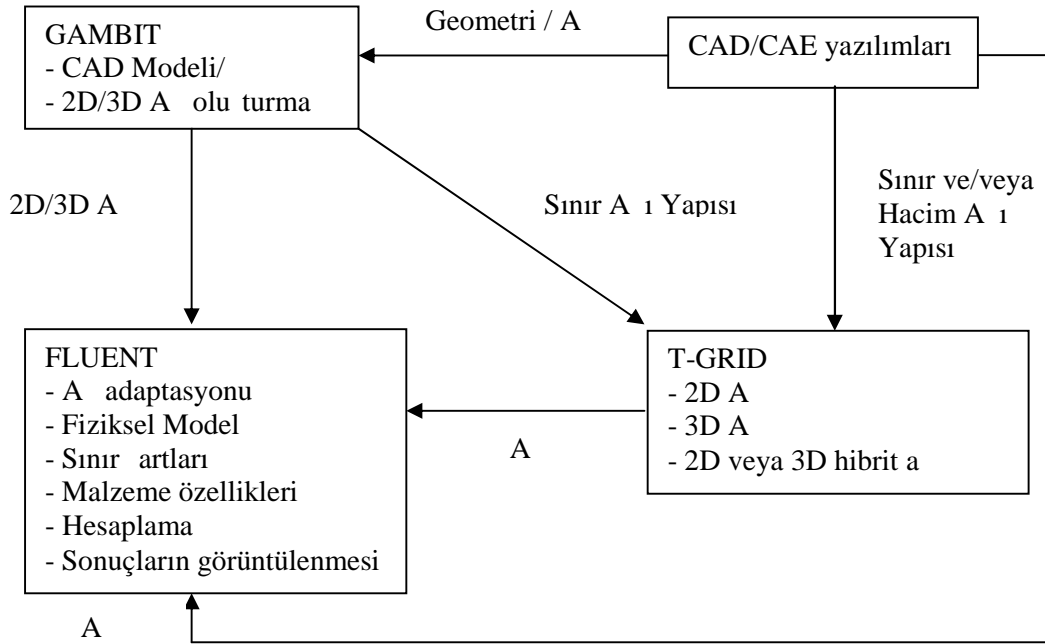
- Modelin amaçlarını belirlemek
 - Analiz sonucunda elde edilmek istenen sonuçlar nelerdir?
 - Çözüm sonuçları ne kadar sürede elde edilmek istenmektedir?
 - Problem basitleştirilebilir mi veya iki boyutlu ya da asimetrik özellikte mi?
- Geometrinin ve A Yapısının Oluşturulması
 - A yapısında hangi tür elemanlar kullanılacaktır?
 - Çözüm için yeterli bilgisayar hızı ve hafızası var mıdır?

- Çözümün ve Fiziksel Modellerin Belirlenmesi
 - Sayısal çözüm i lemlerinde ne tür çözüm planı seçilecektir?
 - Hangi tür türbülans modeli çözümlerde kullanılacaktır?
 - Hangi tür ko ullarda problem incelenecektir?
 - Tüm Yüzeylerde sınır artları ne olmalıdır?
 - Problemin ba langıç ko ulları ne olmalıdır?
 - Problem geçici ya da sürekli rejim ko ullarında mı çözülecektir?
 - Hangi tür denklemler hesaplamada kullanılacaktır?

ekil 3.2’de yer alan i lem adımları, gerçekleştirilen otomobil kabini ile ilgili sayısal hesaplamalarda yukarıda belirtilen sorular dikkate alınarak uygulanmıştır. Fluent paket yazılımında sayısal hesaplama yapabilmek için kullanılacak programlar ve bu programlar arasındaki ilişkiler ekil 3.3’te yer almaktadır.

Fluent yazılım paketi üç gruptan oluşmaktadır. Bu gruplar aşağıdaki gibidir.

- ▲ Fluent (Çözücü)
- ▲ Gambit (Modelleme ve A 1 oluşturma için ön i lemci)
- ▲ T-Grid (Mevcut sınır a 1 yapısından hacim a 1 yapısını oluşturmak için kullanılan ön i lemci)



ekil 3.3 Fluent paket programı temel yapısı

Hesaplamlarda kullanılan otomobil kabini, farklı bir CAD yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Kabin iç ortamının a yapısını oluşturmak için Gambit ve T-Grid yazılımları kullanılmış ve çözücü olarak ise literatürdeki ara tırmalarda kullanılan yazılımlardan biri olan Fluent yazılımı tercih edilmiştir.

Üç boyutlu HAD tabanlı sayısal çözümler için öncelikle kabinin iç geometrisi modellenmelidir. Bu kabin modelini oluştururken farklı yöntemler uygulanabilir. Bu yöntemleri genel olarak ikiye ayırmak mümkündür. Birinci yöntemde çözüm alanının oluşturulması için kullanılan yazılımlar ile modellemek; ikinci yöntemde ise farklı bir CAD(Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımı ile kabin geometrisi modellemek şeklinde ifade edilebilir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ikinci yöntem esas alınarak oluşturulan otomobil kabini, gerçek otomobil ana ölçüleri referans alınarak farklı bir CAD yazılımı ile modellenmiştir.

Bu modelleme süreci, temel olarak iki ayrı otomobil kabini için gerçekleştirilebilir. Birinci model mevcut bir otomobil kabine ait olan detaylı modeldir. İkinci model ise tasarım sürecinde otomobil kabine ait tüm detayların olmadığı bir kabin modelidir. Mevcut bir otomobil kabin iç ortamının modellenmesi işlemi, tasarım sürecindeki modelleme işlemine göre daha uzun süre alabilir. Bunun başlıca nedenleri arasında otomobil kabin iç ortamında yer alan küçük yüzey alanına sahip birçok karmaşık geometriye sahip yüzeylerin mevcut olmasıdır. Öncelikle bu yüzeylerin bir sonraki işlem olan çözüm alanının yapısının geliştirilmesi için temizlenmesi veya diğer yüzeylerle birleştirilmesi gibi zaman alıcı birçok düzenlemeler yapmak gerekir.

Ambs 2002, çalışmada kabine ait tüm CAD modeli mevcut iken yüzeylerin temizlenmesinin ve düzenlenmesinin gereğinden fazla zaman alabileceğini belirterek temel parametreleri içeren CAD modeli kullanımının daha verimli olacağını ifade etmiştir. Diğer taraftan sınır artlarının ilgili yüzeylerde tanımlanabilmesi amacıyla bu yüzeylerin kendi içinde gruplandırılması işlemi içinde bu temizleme süreci önemlidir.

Kabine ait geometri modellendikten sonra bu geometri içinde havanın akı hacmi olan kabin içindeki boşluk oluşturulmalıdır. Bu hacmin oluşturulması için günümüzde kullanılan birçok bilgisayar yazılımında otomatik hacim oluşturma işlemleri mevcuttur.

Modelleme i leminden sonra yer alan çözüm a 1 yapısının olu turulması, HAD yönteminin önemli a amalarından biridir. Bu yapıyı olu tururken, a yapısının ilgili problemin çözümüne uygun nitelikte olması, hesaplama zamanlarının dikkate alınarak gere inden çok fazla eleman kullanılmaması, hacim içinde elemanların fazlalı ndan çok incelenen parametrelerin de i im hızlarının yüksek oldu u bölgelerde daha sık bir a yapısının kullanılması, sınır bölgelerde sınır tabaka modellerinin kullanılarak a yapısının olu turulması gibi hususlar dikkate alınmalıdır.

Sınır artlarının belirlenmesi, HAD yöntemi ile çözüm a amaları arasında önemli bir yer te kil eder. Çözülecek problemin bilgisayar ortamında do ru tanımlanabilmesi için sınır artlarının do ru tayin edilmesi gerekmektedir. Gerçekle tirilen sayısal hesaplamalarda, giri ve çıkı menfezlerinde, sanal insan modeline ait yüzeylerde, saydam yüzeylerde, kabin iç ortamına ait di er yüzeylerde(konsol, direksiyon ve koltuk yüzeyleri vs.) ve otomobil kabininin dı ortamla temasta olan yüzeylerinde(cam yüzeyler, taban ve tavan yüzeyleri) ilgili sınır artları literatürde yer alan benzer çalı malar ve gerçekle tirilen deneysel çalı malar dikkate alınarak belirlenmi tir.

Simülasyonlar sonucunda elde edilen sayısal veriler kabin iç ortamında çe itli sanal düzlemler ve kritik noktalar tanımlanarak, bu noktalarda ve yüzeylerde sıcaklık ve hız parametrelerinin de i imi sürekli ve geçici rejimde, ısıtma ve so utma sürecinde incelenmi tir. Simülasyonlar sonucunda elde edilen sayısal veriler e zamanlı olarak gerçekle tirilen deneysel çalı malarda elde edilen verilerle kar ıla tırılmı tır. Bu kar ıla tırmalar sonucunda bilgisayar modeli üzerinde sınır artları ve a yapısı gibi a amalarda iyile tirmeler yapılarak sonuçların do rulu u ve hassasiyeti bakımından birçok sayısal analiz gerçekle tirilmi ve hesaplama sürelerinde iyile tirmeler sa lanmı tır.

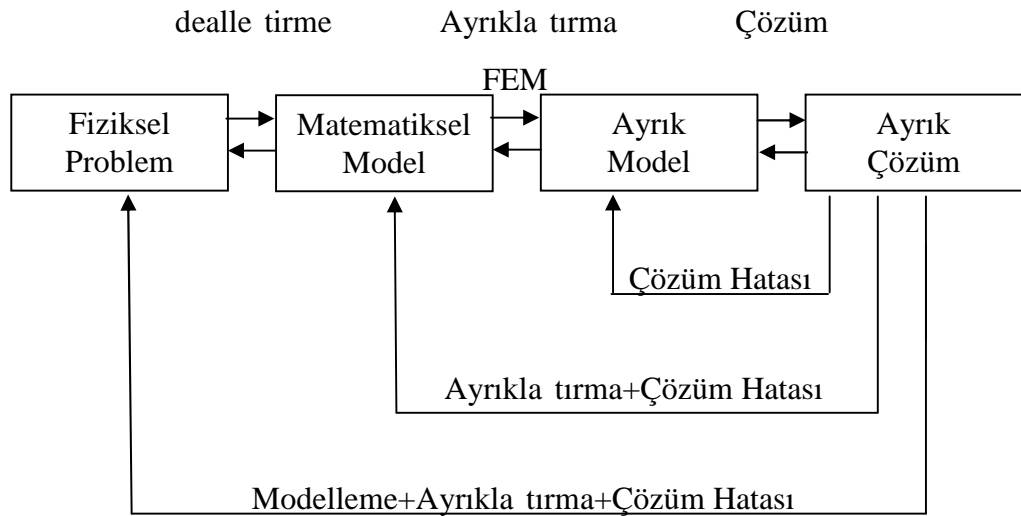
3.2 Sayısal Yöntemler

3.2.1 Mühendislikte Kullanılan Sayısal Yöntemler

HAD yaklaşımı tabanlı çözümlerinde, gerçekte var olan bir fiziksel problem matematiksel modele dönüştürülür. Bu matematiksel model, mühendislik problemlerinin genelinde kısmi diferansiyel denklemler içeren nonlineer denklemler olur. Bundan sonraki adım bahsedilen kısmi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümler yöntemleriyle cebirsel denklem sistemlerine dönüştürülmesi adıdır. Bu dönüştürme adımları ayrıklaştırma adı verilen bir sayısal yaklaşım esasına dayanır. Bu adım için öncelikle incelenecek olan akı hacminin ayrıklaştırılması gereklidir. Bu süreç yapılarının oluşturulması olarak bilinir. HAD yaklaşımında genellikle kullanılan sayısal yöntemler, sonlu farklar, sonlu elemanlar, sonlu hacimler ve spectral yöntemler olarak sınıflandırılabilir(Lomax ve ark. 1999).

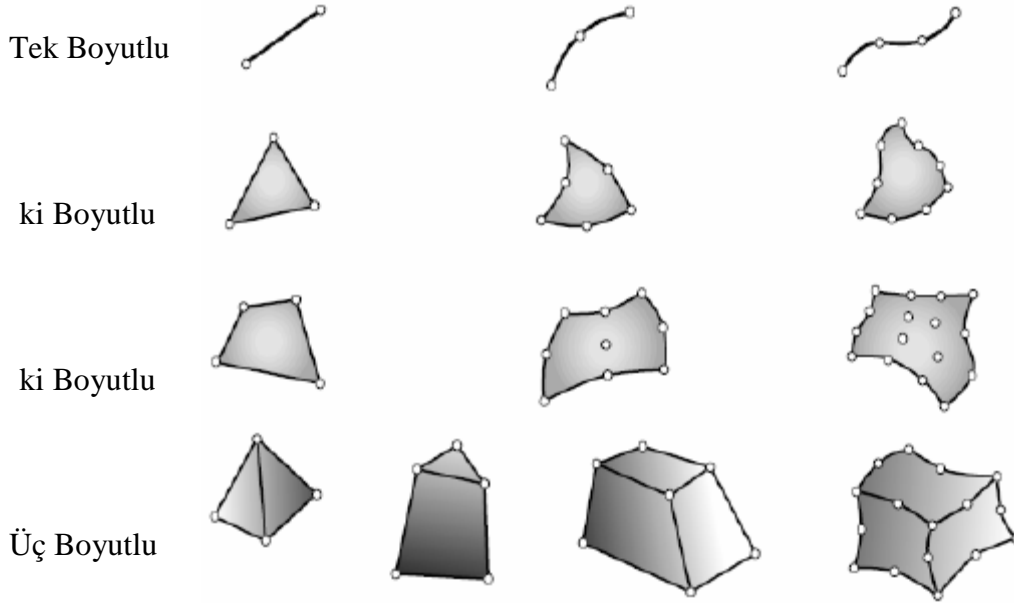
Sonlu Farklar Yöntemi, fiziksel problemin matematiksel modelinde yer alan diferansiyel denklemlerdeki türev ifadelerinin Taylor serisi kullanılarak yaklaşık çözümlerin elde edilmesi esasına dayanır.

Sonlu elemanlar metodu, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan sayısal bir yöntemdir. Fiziksel bir problemin simülasyon süreci ve Sonlu Elemanlar Metodu(FEM) şekil 3.4'te gösterilmiştir.



şekil 3.4 Fiziksel bir problemin simülasyon süreci (Manopulo, 2005)

Sonlu Elemanlar Metodunda, genel olarak fiziksel model element adı verilen parçalara ayrılarak her bir eleman için ilgili denklemler ayrı olarak çözülür; sonrasında ise elde edilen sonuçlar birleştirilerek sürekliliği temsil eder. Bu metodun uygulanmasında kullanılan temel elemanlar ekil 3.5'te belirtilmiştir.



ekil 3.5 Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Temel Elemanlar(Manopulo, 2005)

3.2.2 HAD(Hesaplamalı Akı kan Dinamiği) Yöntemi ve Sonlu Hacimler Metodu

HAD akı kan hareketi, ısı transferi ve ilgili fiziksel problemin, örneğin kimyasal reaksiyonları içeren sistemlerin bilgisayar tabanlı simülasyonu ile analizidir. Bu yöntem, endüstriyel alanlarda ve endüstriyel olmayan uygulama alanlarında oldukça güçlü ve yaygındır. Bazı örnekler:

- Uçak ve araç aerodinamiği
- Gemilerin hidrodinamiği
- Çift yanmalı motorlar ve gaz türbinleri
- Turbomakinalar
- Elektrik ve Elektronik Mühendisliği uygulamaları

- Kimyasal Proses Mühendisli i uygulamaları
- Yapıların iç ve dı ortamları ile ilgili uygulamalar
- Çevre Mühendisli i uygulamaları
- Hidroloji ve okyanus bilimi uygulamaları
- Meteoroloji
- Biomedical Mühendisli i uygulamaları

olarak ifade edilebilir(Versteeg and Malalasekera, 1995). Yukarıda bahsedilen alanlarda yer alan fiziksel problemleri çözebilmek için HAD yönteminde genelde üç a amalı bir süreç izlenir. Bunlar, hazırlık süreci olan ön-i lem(pre-processing), çözümlerin gerçekleştirilmesi i i lem(processing) ve sonuçların görüntülendi i son i lem(post-processing) basamakları olarak özetlenebilir. Son yıllardaki bilgisayar yazılımlarındaki geli meler, yüksek türbülanslı akı ların ve dinamik sistemlerin nümerik olarak incelenmesine ve bu sistemlerin sanal ortamda simülasyonuna olanak sa lamı tır.

HAD sonlu hacimler metodu tabanlı bir çözüm yöntemidir. Bu yöntemde, ilk adım çözüm bölgesinin belirli sayıda ayrık kontrol hacimlerine (hücre) bölünmesi ve korunum denklemlerinin, hacim içinde yer alan her bir hacim elemanı üzerinde integrasyonu esasına dayanır. Kontrol hacmi için elde edilen integral formundaki bu denklemler cebirsel denklemlere dönü türülerek iteratif yöntemler kullanılarak yakla ık çözüm elde edilmeye çalı ılır. Bu integrasyon i lemi sonlu hacimler metodunu di er yöntemlerden ayıran temel özelli idir.

3.3 Isıl Konfor ve HAD Yöntemi

Isıl konfor genel olarak, “ısı ortamdan duyulan memnuniyet” şeklinde tanımlanabilir. Isıl konfor, birçok faktöre bağlı olsa da bu faktörler, çevresel ve kişisel olmak üzere temel olarak iki başlık altında incelenebilir (ASHRAE 55,1992).

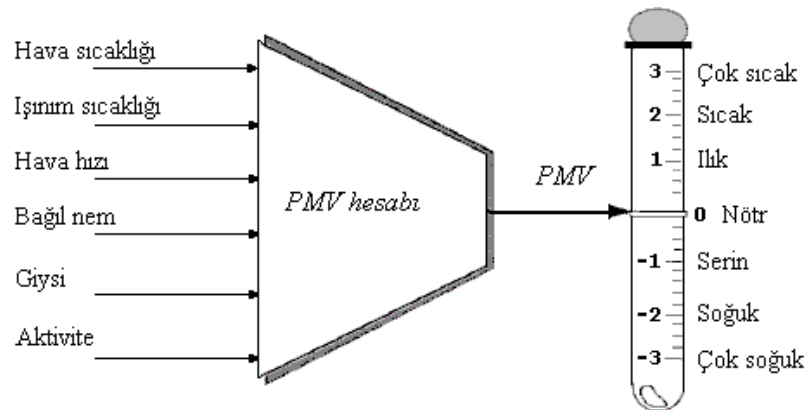
Çevresel Parametreler:

- Hava sıcaklığı
- Hava hızı
- Havanın nemi
- Ortalama insan sıcaklığı

Kişisel Parametreler:

- Yapılan iş (aktivite)
- Giysi

Otomobil kabininde kullanılan sanal insan modeli boyutları dikkate alınarak metabolik aktivite seviyesine bağlı vücuttan ortama gerçekleşen toplam ısı akısı belirlenebilir. Bir ortamın sıcaklığı sayısal olarak ifade edilmesine rağmen, konfor hissi diğer fizyolojik duyumlar gibi niteliksel olarak değerlendirilir. Literatürde bu amaçla birçok ısı konfor ölçütü kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan PMV ölçütüdür. Bu indeks, tahmini ortalama oyu (*PMV*) anlamına gelmekte ve ortamın geniş bir insan kümesi tarafından değerlendirilmesini ifade etmektedir. Bu ölçüt 7 noktalı sayısal ölçeğe göre değerlendirilir. Bu sayısal ölçekler aşağıdaki şekilde 3.6’da belirtilmiştir. PMV indeksi insan vücudunun ortamlarla olan ısı dengesi esasına dayanır.



ekil 3.6 Tahmini ortalama oyu (*PMV*) ölçeği (Hamdi ve ark. 1999)

PMV (Tahmini Ortalama Oy) ölçütü ISO-7730 (1994) standardından yola çıkılarak (Kılıç ve Sevilgen 2009)'da belirtildiği üzere;

$$PMV = (0.303 e^{-0.035M} + 0.028)\{(M - W) - 0.00305 [5733 - 6.99 (M - W) - p_a] - 0.42 (M - 58.15) - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0.0014 M (34 - T_a) - q_r - q_c\} \quad 3.2.1$$

eklinde ifade edilebilir. Bu ifadede, M (W/m^2) metabolik aktivite seviyesini, W (W/m^2) vücut tarafından yapılan işi, p_a (Pa) kısmi su buharı basıncını, T_a ($^{\circ}C$) ise ortalama hava sıcaklığını göstermektedir. Vücut ile çevresi arasında enerji dengesinden;

$$M - W = q_r + q_c + E_{sk} + q_{res} + E_{res} \quad 3.2.2$$

yazılabilir. Bu denklemden E_{sk} (W/m^2) deriden buharlaşma ile gerçekleşen ısı kaybını, E_{res} (W/m^2) vücuttan solunum yoluyla gerçekleşen ısı kaybını, q_{res} (W/m^2) taınım yoluyla solunum ile gerçekleşen ısı kaybını göstermektedir. Bu ısı akılarının hesaplanmasına ilişkin detay bilgi (ASHRAE 1997) standartlarından elde edilebilir.

HAD yöntemi ile elde edilen sayısal sonuçlar, toplam ısı kaybı için fizyolojik modellerle ve ısıl konfor ölçütleri ile birleştirilerek, ısıl konfor ile ilgili değerlendirilmeler birleştirilerek hesaplanmalıdır. Bu konuyla ilgili olarak (Kilic ve Sevilgen 2008) çalışmalarında, oda içinde ayakta duran bir insan vücudu etrafında hava akışı, ısı transferi ve kütle transferinin modellenmesi eklinde bir çalışmamız gerçekleştirilmiştir.

Sürücünün otomobil içerisinde sürüş esnasında ürettiği metabolik ısı miktarı $60-115 W/m^2$ arasındadır (ASHRAE 1997). Gerçekleştirilen simülasyonlarda, insan vücudundan ortama geçen toplam ısı miktarının hesaplanmasında aşağıda belirtilen ısı geçiş mekanizmaları dikkate alınarak çözümlenmelidir. Bu mekanizmalar aşağıda yer almaktadır.

- 1- Deriden iletim, taınım ve ıınım mekanizmaları ile gerçekleşen duyulur ısı geçişi
- 2- Deriden ortama buharlaşma yoluyla gerçekleşen ısı geçişi.
- 3- Solunum aracılığıyla vücuttan ortama gerçekleşen duyulur ve gizli ısı geçişi

Buharla ma yoluyla deriden ortama gerçekle en ısı geçi i, terleme sonucu olu an terin buharla ması ile ortama geçen ısı ve terin vücuttan difüzyon ile uzakla tırılması sonucu ortama geçen ısı olmak üzere ikiye ayrılır.

Hesaplamalarda insan vücudunun kabin yüzeyleri ile temasta olan yüzeylerinde iletim olan ısı transferi hesaplamaları için ısı adyabatik yüzey sınır artı kullanılmı tır. Hesaplamalarda solunum yoluyla gerçekle en ısı geçi i ihmal edilmi tır. Dolayısıyla gerçekle tirilen analizlerde deriden ortama ta nım ve ı nım yoluyla gerçekle en duyulur ısı geçi i dikkate alınarak insan vücut yüzeylerine ait ısı karakteristiklerle ilgili hesaplamalar lokal ve tüm vücut için ortalama de erler cinsinden gerçekle tirilmi tır. Ayrıca gerçekle tirilen so utma analizlerinde, nem da ılımı hesaplamaları için insan vücut yüzeylerinde olu an terin vücuttan difüzyon mekanizması ile ortamdan uzakla tırıldı ı kabulü yapılmı tır. Deriden ortama ta nım ve ı nım yoluyla gerçekle en ısı akılarının ve di er ısı karakteristiklerin hesaplanmasında izlenen yöntem ise a a ıda açıklanmı tır.

Gerçekle tirilen sayısal çalı malarda kabin iç ortamındaki yüzeyler arasında ı nım ile olan ısı transfer hesaplamaları için görü faktörlerinin dikkate alındı ı S2S modeli ve di er bir yöntem olan ayrık ordinat (DO) modeli kullanılmı tır.

Vücuttan ortama gerçekle en duyulur toplam ısı akısı ta nım ve ı nım ile olan ısı akılarının toplamına(3.2.3)e ittir. I nım ile vücuttan ortama gerçekle en ısı akısı, S2S modeli ya da DO modeli kullanılarak elde edildikten sonra (3.2.3), (3.2.4), (3.2.5) ifadelerinden ta nım ile olan ısı akısı, ısı ta nım ve ı nımla ısı transfer katsayıları hesaplanabilir.

$$q_t = q_c + q_r \quad 3.2.3$$

$$q_c = q_{top} - q_r = h_c (T_s - T_o) \quad 3.2.4$$

$$q_r = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_r^4) = h_r (T_s - T_r) \quad 3.2.5$$

Burada, q_t vücuttan ortama gerçekle en toplam ısı akısını, q_c ve q_r vücutla ortam arasındaki sırasıyla ta nım ve ı nım ile gerçekle en ısı akılarını, h_c ısı ta nım katsayısını, T_s vücut yüzey sıcaklı mını, T_o ortam sıcaklı mını, ε yüzey emisivite

katsayısını (h ısı transfer katsayısını), σ Stefan-Boltzmann sabitini, T_s yüzey sıcaklığını, T_f ortam sıcaklığını, h_r ise radyasyon katsayısını belirtmektedir. Gerçekle tirilen hesaplamalarda insan vücudu yüzeylerinde iki farklı sınır şartı kullanılmı tır. Bunlardan birincisi sabit ısı akısı, ikincisi ise sabit sıcaklık sınır şartıdır. Sabit ısı akısı sınır şartı ile gerçekle tirilen hesaplamalarda, her bir yüzey ve tüm vücut için toplam ısı akısı, yüzey sıcaklığı, ısı transfer katsayısı, sabit yüzey sıcaklığı sınır şartı ile gerçekle tirilen hesaplamalarda ise her bir yüzey ve tüm vücut için toplam ısı akısı, ısı transfer katsayısı de erleri Fluent yazılımından do rudan elde edilmi tir. Elde edilen bu veriler ve 3.2.3, 3.2.4 ve 3.2.5'te yer alan denklemler kullanılarak ısı transfer katsayısı ve di er parametreler vücut yüzeyleri ve tüm vücut için hesaplanarak analizler gerçekle tirilmi tir. Hesaplamalarda kabin ve insan vücudu yüzeyleri için kullanılan ısı transfer modellerine ili kin temel bilgiler a a ıda ifade edilmi tir.

S2S modelinin hesaplama sürecine dahil edilebilmesi için yüzeyler arasındaki uzaklık ve geometrilere ba lı olarak tanımlanan görü faktörü adı verilen parametrenin ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Karma ık yapıda bulunan yüzey geometrilerinin bulundu u kabin iç ortamı dü ünülecek olursa bu hesaplama süreci dikkate de er zaman almaktadır. Bu nedenle Fluent yazılımı içinde görü faktörlerini hesaplama i lemi seri çözüm metoduna göre daha kısa sürede görü faktörü hesaplama zamanına sahip paralel çözüm metodu kullanılarak gerçekle tirilmi tir.

S2S modelinin temel kabulü, ısı transferinde her türlü yutma, yayma ve yayılma ile olan ısı transferini ihmal ederek yalnızca yüzeyden yüzeye olan ısı transferinin dikkate alındı ı bir modeldir.

S2S modelinde yüzeyler gri ve yayıcı yüzey olarak kabul edilir. Gri yüzeyin ısı yansıtma oranı (ϵ :emissivite) ve yutma oranı (α :absorpsivite) dalga boyundan ba ımsızdır. Di er taraftan Kirchoff kanunundan, $\epsilon=\alpha$ olarak yazılabilir. Yayıcı olan yüzeyler için yansıtma, yüzeye gelen veya yüzeyden çıkan yönlerden ba ımsızdır.

Fluent yazılımında gri yayıcı model kullanılmaktadır. Gerçekte, yüzeyler arasında ısı transferi olan enerji alı veri i, yüzeyleri arasında kalan ve yüzeyleri birbirinden ayıran ortamdan etkilenmez. Dolayısıyla, gri-cisim modeline göre, yüzeye gelen ısı transferi ile olan enerjinin (E) bir kısmı (ρE) yüzeyden yansır, bir kısmı (αE) yüzey tarafından yutulur, bir kısmı (τE) ise yüzeyden geçer. Ço u katı maddenin ısı geçirme oranı sıfırdır. Bu tür yüzeyler opak kabul edilebilir. Dolayısıyla opak bir yüzey için,

$$\alpha + \rho = 1 \quad 3.2.6$$

ifadesi yazılabilir. Kirchoff kanunundan, $\varepsilon = \alpha$ olarak yazılabildi inden,

$$\rho = 1 - \varepsilon \quad 3.2.7$$

ifadesi elde edilir.

Bir yüzeyden ayrılan enerji akısı yüzeyden direkt olarak yayılan ve yansıtılan enerjiden oluşur. Yüzeyden yansıyan enerji akısı, çevreden yüzeye gelen enerji akısına baktır. k yüzeyinden yansıyan enerji akısı,

$$q_{giden,k} = \sigma T_k^4 + \rho q_{gelen,k} \quad 3.2.8$$

eklinde yazılabilir. Bu denklemden, $q_{giden,k}$ yüzeyden ayrılan toplam enerji akısı, ρ ise yüzeyin yansıtma oranı, σ ise Boltzman sabiti, $q_{gelen,k}$ ise çevreden yüzeye gelen enerji akısı ve T_k ise sıcaklık olarak ifade edilir.

Bir yüzeye baktır bir yüzeyden gelen enerji görü faktörlerinin (F_{jk}) fonksiyonu olarak yazılabilir. Görü faktörü, F_{jk} , k yüzeyinden ayrılar j yüzeyine gelen enerji oranıdır. Gelen enerji akısı ($q_{gelen,k}$), diğer tüm yüzeylerden ayrılan enerji akıları cinsinden baktır daki gibi ifade edilebilir.

$$A_k q_{gelen,k} = \sum_{j=1}^N A_j q_{giden,j} F_{jk} \quad 3.2.9$$

Bu baktır tıda A_k , k yüzeyinin alanını, F_{jk} , k ve j yüzeyi arasındaki görü faktörünü, belirtmektedir. N adet yüzey için görü faktörleri arasındaki ilişki;

$$A_j F_{jk} = A_k F_{kj} \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad 3.2.10$$

olarak yazılabilir. Böylece $q_{iç,k}$ (3.2.11) ifadesindeki gibi düzenlenebilir.

$$q_{gelen,k} = \sum_{j=1}^N F_{kj} q_{giden,j} \quad 3.2.11$$

Dolayısıyla (3.2.11) ifadesi (3.2.8) ifadesinde yerine yazılırsa;

$$q_{giden,k} = h_k T_k^4 + \sum_{j=1}^N F_{kj} q_{giden,j} \quad 3.2.12$$

ifadesi elde edilir.

Hesaplamalarda kullanılan görü faktörleri, kapalı ortamlarda yayıcı gri yüzey modeli esasına dayanan S2S modelinde kullanılmı tır. Görü faktörleri dikkate alınarak gerçekleştirilen sayısal hesaplamalar sonucunda sanal insan modeline ait lokal bölgeler ve ortalama vücut için elde edilen ı nım akıları ve görü faktörleri; Fluent yazılımından direkt olarak alınabilmektedir.

Ayrık ordinat metodunda ise ısı transfer denklemi, genel kartezyen koordinat sisteminde sabit bir vektörle ifade edilen sonlu sayıda ayrık açı için çözülmektedir. DO yönteminde kullanılan çözüm metodu Fluent'in akı ve enerji denklemleri için kullandı ı çözüm metodu ile benzerdir. Hesaplama zamanları tipik bir açısal ayrıkla tırma için makul seviyede kabul edilebilir. DO modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal hesaplamalar S2S yöntemiyle gerçekleştirilen sayısal hesaplamalara göre daha uzun zaman almaktadır.

Yukarıda açıklanan ı nım modelleri ile ilgili detaylı bilgi Fluent (2006) yardımcı kaynaklarından elde edilebilir. Her iki modelin kullanılarak gerçekleştirilen sayısal hesaplamalardan elde edilen sonuçlar Ara tırma Sonuçları kısmında karşıla tırmalı olarak yer almaktadır.

3.4 Kabin CAD Modelinin Olu turulması

3.4.1 Kabin  Ortamının Modellenmesi

HAD hesaplamalarında kullanılan kabin, FIAT Albea 2005 marka otomobile(ekil-3.7) ait kabin ana lleri referans alınarak  boyutlu tasarım teknikleri yardımıyla modellenmi tir. Gerçek otomobile ait kabin referans lleri kabin içinden çok sayıda farklı nokta ve yüzey arasında ölümler yapılarak gerçekle tirilmi tir. Bu ölümlere ili kin örnek resimler ekil 3.8’de yer almaktadır.

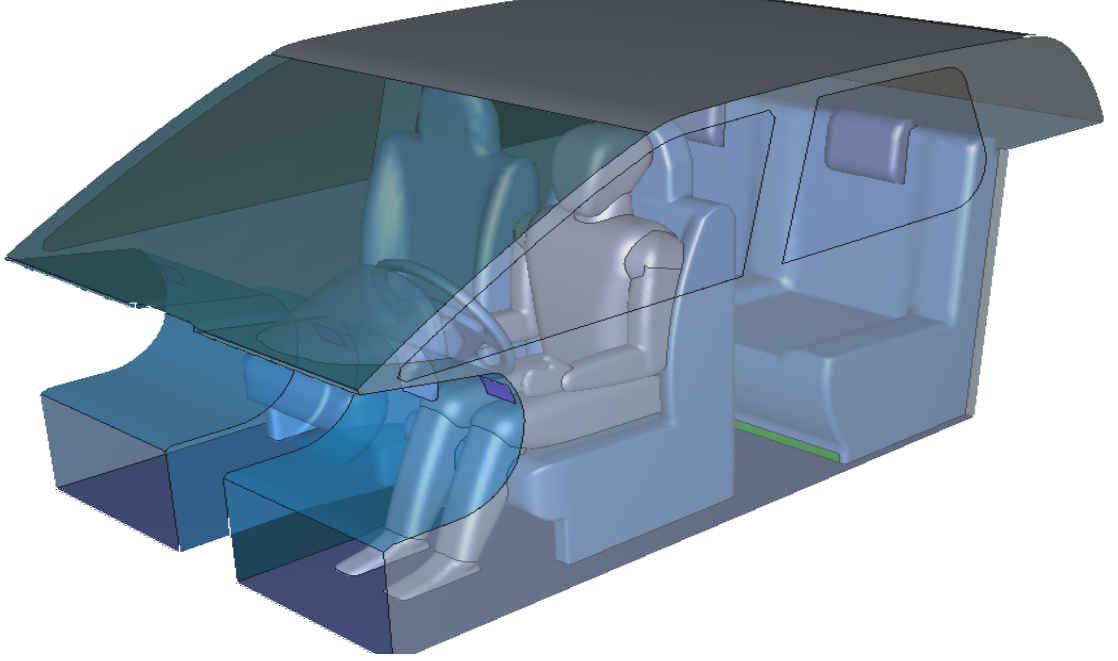


ekil 3.7 FIAT Albea marka test otomobili

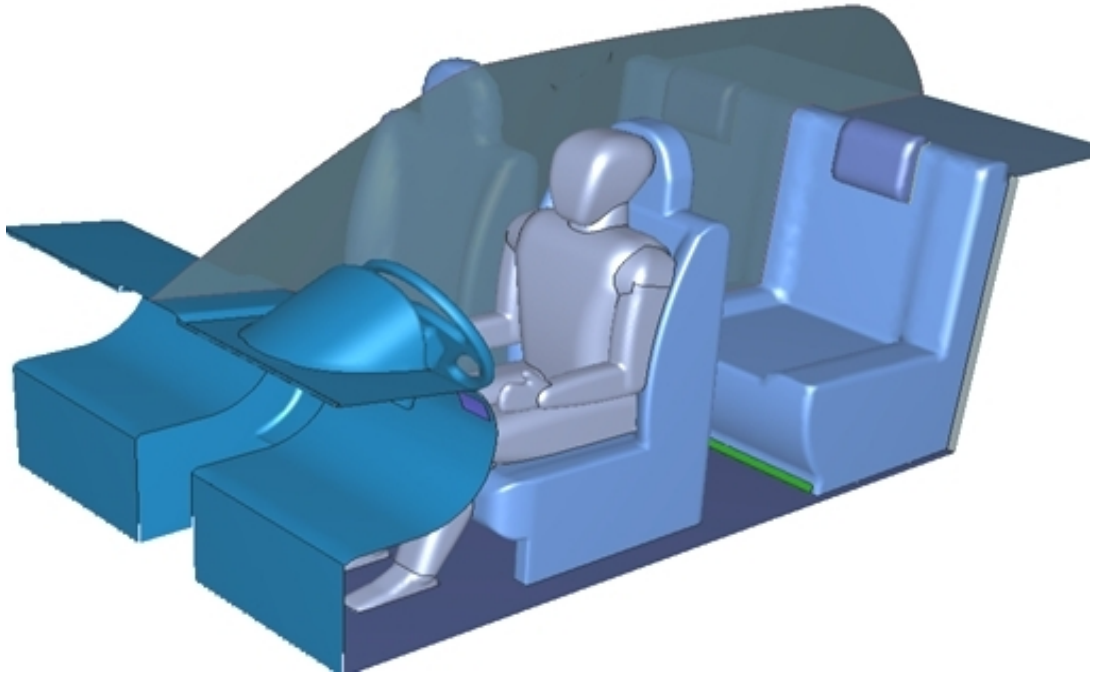


ekil 3.8 Kabin referans ölülerinin belirlenmesi

Kabin içerisinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler a amalı olarak CAD modeline aktarılarak kabin iç ortamı modellenmiştir. Sayısal hesaplamalarda kullanılan kabin iç ortamı ve kabin CAD modeli sırasıyla ekil 3.9 ve ekil 3.10 da gösterilmiştir.



ekil 3.9 Kabin CAD modeli



ekil 3.10 Kabin iç ortamı CAD modeli

3.4.2 Sanal İnsan(Manken) Modelinin Oluşturulması

Gerçekle tirilen hesaplamalarda insan vücudu ile çevresi arasında gerçekleşen ısı ve kütle transferini, kabin iç ortamında ısı konfor parametrelerini doğru bir şekilde belirleyebilmek amacıyla gerçek insan vücudu ölçü ve şekline sahip yaklaşık 1.70m boyunda ve 70 kg ağırlığında sanal bir insan modeli(manken) farklı CAD modelleme teknikleri kullanılarak oluşturulmuştur.

Oluşturulan bu mankenin en belirgin özelliği, iç ortamlarda hava akışı, ısı transferi ve kütle transferi gibi konuları içeren HAD tabanlı analizlerde farklı konumlarda kullanılabilmesidir. Ayrıca gerçekleştirilen çalışmalarda lokal ısı transfer karakteristiklerini ve ortam havası ile olan etkileşimleri belirlemek amacıyla manken 17 farklı kısımdan oluşan bir yapıya sahip olacak şekilde modellenmiştir. Modellenen bu sanal insan modeli ve yüzeyler şekil 3.11’de gösterilmiştir.

No	Yüzey	Yüzey Alanı(m ²)
1	Baş	0.130
2	Boyun	0.019
3	Gövde	0.280
4	Sırt	0.140
5	Kasık	0.018
6	Sağ omuz	0.023
7	Sağ kol	0.139
8	Sağ el	0.025
9	Sağ baldır	0.234
10	Sağ bacak	0.147
11	Sağ ayak	0.046
12	Sol omuz	0.023
13	Sol kol	0.139
14	Sol el	0.025
15	Sol baldır	0.234
16	Sol bacak	0.147
17	Sol ayak	0.046
Toplam Yüzey Alanı		1.815
Boy		1.70 m
Kilo		70 kg

Şekil 3.11 Hesaplamalarda kullanılan mankenin CAD modeli

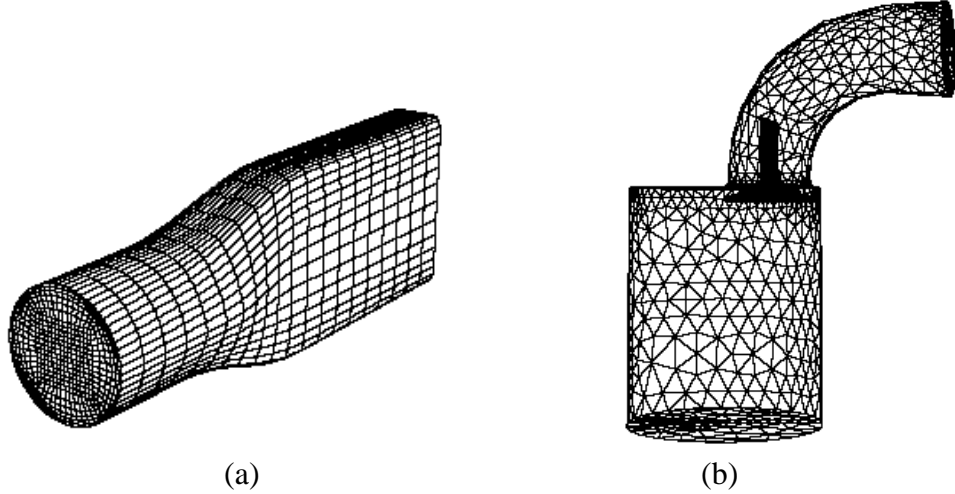
Nilsson (2004), alı masında kübik manken kullanımının standart mühendislik hesaplamaları için yeterli olabilece ini ancak modern lazer tarama teknolojileri, mankenlerin geometrik taratılmasını mümkün hale getirdi ini ve farklı çözünürlükte bu mankenlerin CFD a yapısına dn trlebilece inden bahsetmi tir. Literatürde benzer çalı malarda geli mi tarama yöntemleriyle elde edilen manken kullanımına ili kin örnekler verilmi tir. Ancak bu modellerin dezavantajı manken farklı konuma getirilmek istendi inde bahsedilen tarama metoduyla modelleme ile ilgili sürecin yeniden gerçekle mesi anlamına gelir. Bu ise HAD hesaplamaları için zaman kaybı anlamına gelebilir. Bu nedenle, farklı konumlara getirilebilen, gerçek insan vücudu ölçü ve ekline sahip bir insan modeli olu turmak bu anlamda daha avantajlı olabilir.

3.5 Çözüm A 1 Yapısı ve Sınırları

3.5.1 Çözüm A 1 Yapısı

Çözüm a 1 olu turma i lemi ön i lem sürecinde HAD yönteminin önemli a amalarındandır. Günümüzde kullanılan HAD yazılımlarının tümü otomatik çözüm a 1 olu turma i lemi için gerekli komutları içermektedir. Otomobil kabini için gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında T-Grid ve Gambit paket yazılımları kullanılmı tır. Yüzeylerde çözüm a 1 ının yapısını olu turmak amacıyla büyük ölçüde Gambit programı, çözüm a 1 yapısının hacim kısmının olu turulması için ise T-Grid ve Gambit yazılımları kullanılmı tır.

HAD yönteminde kullanılan a 1 yapısını olu turma i lemi, genel olarak yapısal ve yapısal olmayan(ekil 3.12) olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Yapısal olan a 1 yapısında tüm a 1 çizgileri iki ve üç boyutlu do rultularda düzenli bir yapıya sahiptir; dolayısıyla bu yapıyı olu turan hacim elemanları iki boyutta dörtgen üç boyutta ise hexahedron eklini alır.



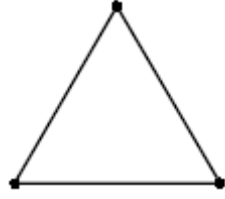
ekil 3.12 Üç boyutlu yapısal(a) ve yapısal olmayan(b) çözüm a 1

Kaynak: Fluent 6.3 User's Guide, Lebanon NH USA Fluent Inc., 2006, 187-188

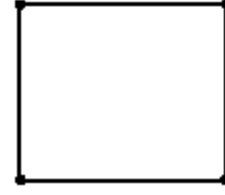
Yapısal olmayan a 1 yapısı karma ık geometrilerin bulundu u HAD problemlerinde kullanılır. Otomatik a 1 yapısı olu turulduktan sonra en önemli a 1 ama a 1 yapısının adaptif hale getirilmesidir. Adaptif a 1 , en uygun a 1 da ılımlarına sahip, daha

hassas çözümleri elde etmede kullanılan yapılardır. Bu yapıyı elde etmede temel faktör daha iyi a da ılımını, yüksek de i ken(hız, sıcaklık, basınç vs.) gradyenlerinin bulundu u bölgelerde olu turmaktır. Hesaplamalarda kullanılan Fluent programı çok farklı a yapılarını çözümlerinde kullanılmasına izin vermektedir(Fluent 2006).

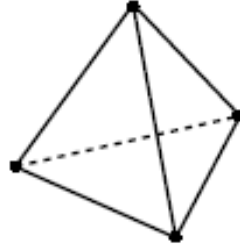
ekil 3.13'te HAD yönteminde çözümler için kullanılan örnek a elemanları gösterilmiştir.



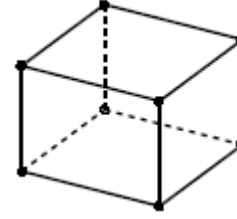
(a)



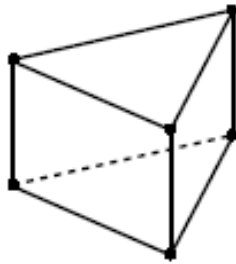
(b)



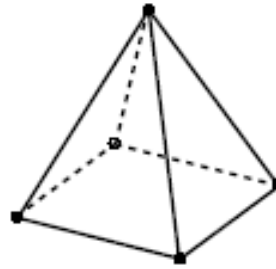
(c)



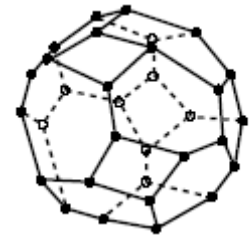
(d)



(e)



(f)



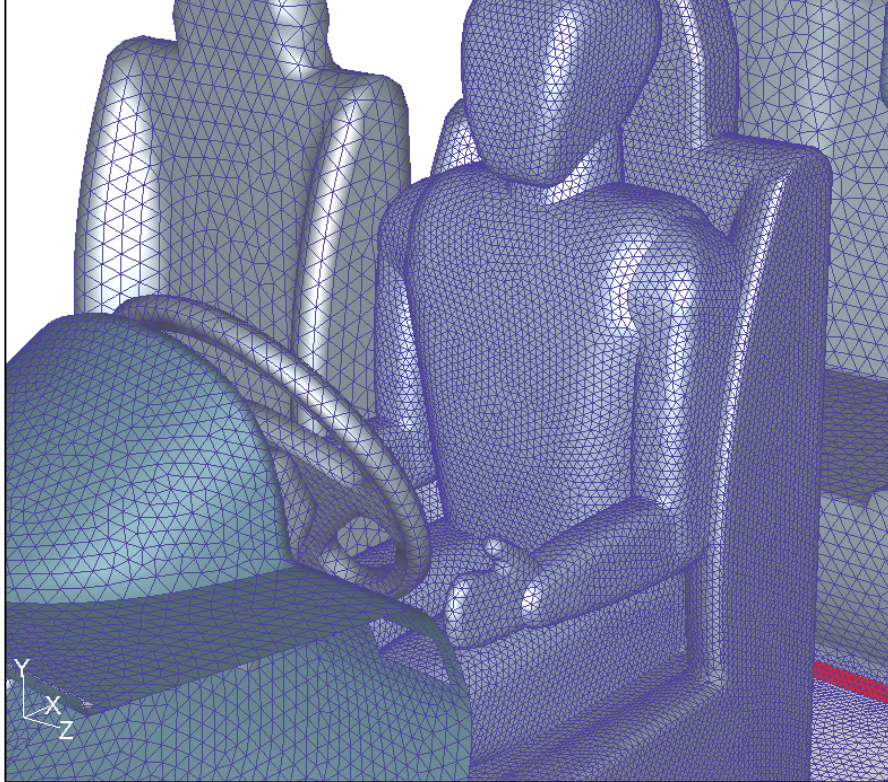
(g)

ekil 3.13 HAD yönteminde kullanılan bazı iki boyutlu üçgen(a), kare(b) ve üç boyutlu tetrahedron(c), hexahedron(d), prizmatik(e), piramit(f) ve polihedron(g) elemanlar

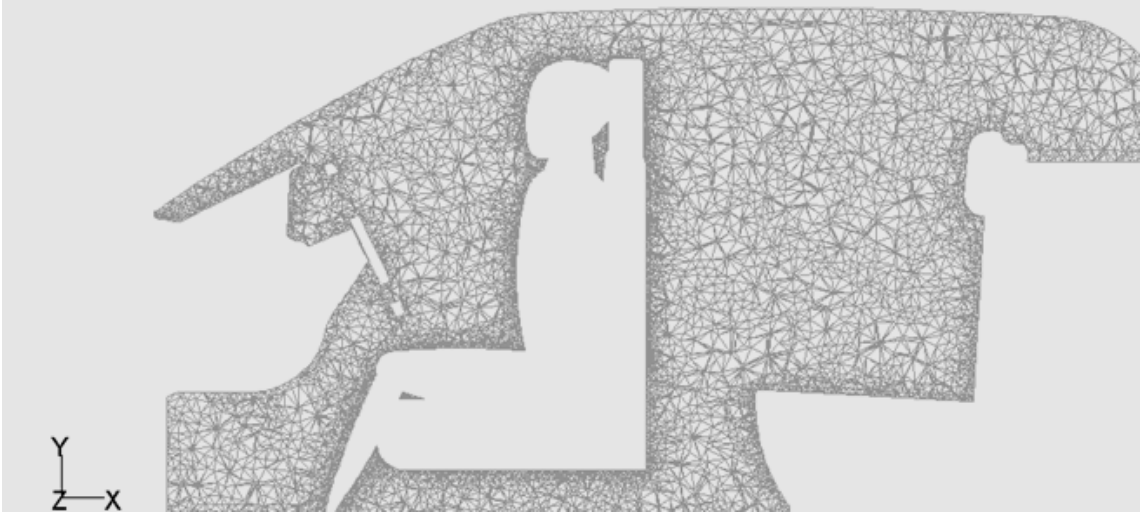
Kaynak: Fluent 6.3 User's Guide, Lebanon NH USA Fluent Inc., 2006, 183

Sonlu hacimler metodunda genellikle kabin iç ortamında kullanılan hücreler tetrahedron, hexahedron olarak adlandırılan elemanlardan oluşur. Johnson (2007) günümüzün de dikkate alındığı kabin içinde soğutma sürecinde gerçekleştirildiği sayısal çalışmada, kabin iç ortamı için tetrahedral elemanlardan oluşan yaklaşık 1.800.000 hücre kullanılmıştır. Aroussi ve Agihil (2000), çalışmalarının simülasyon kısmında otomobil hacmi için 260.000 hücre elemanından oluşan tetrahedral çözümler kullanmışlardır.

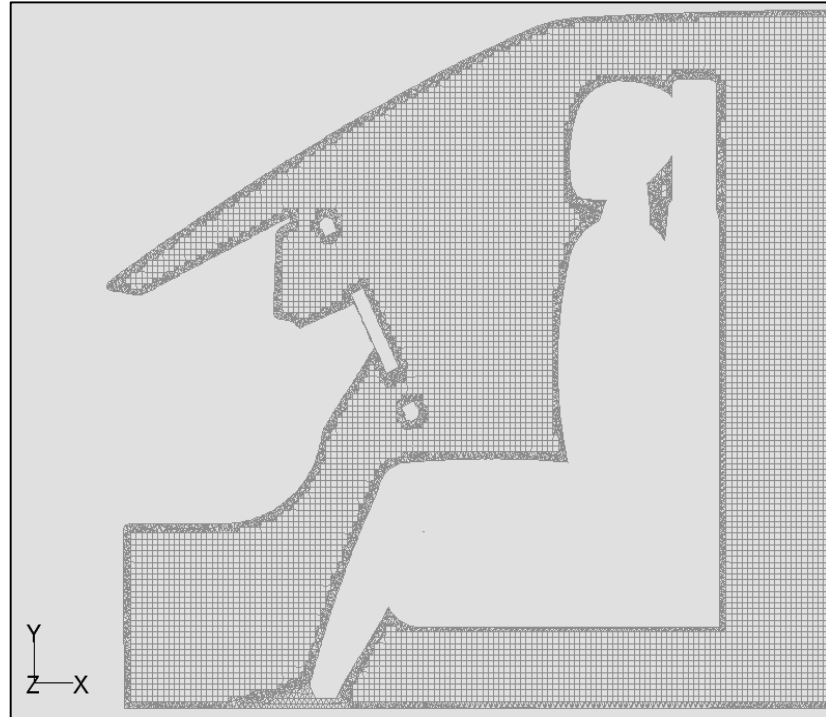
Gerçekleştirilen sayısal çalışmalarda kabin iç ortamında manken yüzeyleri ve diğer yüzeyler için üçgen elemanlar (ekil 3.14), otomobil kabini için tetrahedron elemanlar (ekil 3.15) ve hexahedron elemanlar (ekil 3.16–3.17) içeren çözümler yapıları kullanılmıştır. Burada ağ yapısını oluşturan elemanların sayısının fazlalığından çok kabin içinde hız ve sıcaklık değişim hızının yüksek olduğu bölgelerde daha sık ağ yapısı kullanarak çözümün hassasiyetinin artırılması amaçlanmıştır. Bu tür bir ağ yapısı çözüm sonuçlarının doğruluğu için son derece önemlidir.



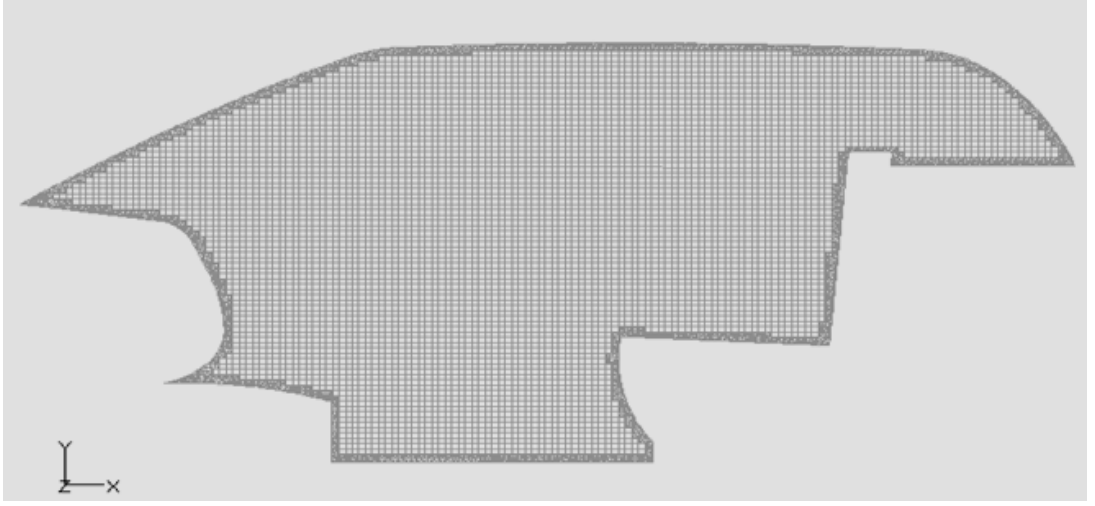
ekil 3.14 Kabin Yüzeyleri A Yapısı



ekil 3.15 A yapısının (Tetrahedral) manken düzleminde kesit görünümü



ekil 3.16 A yapısının (Hex core) manken düzleminde kesit görünümü



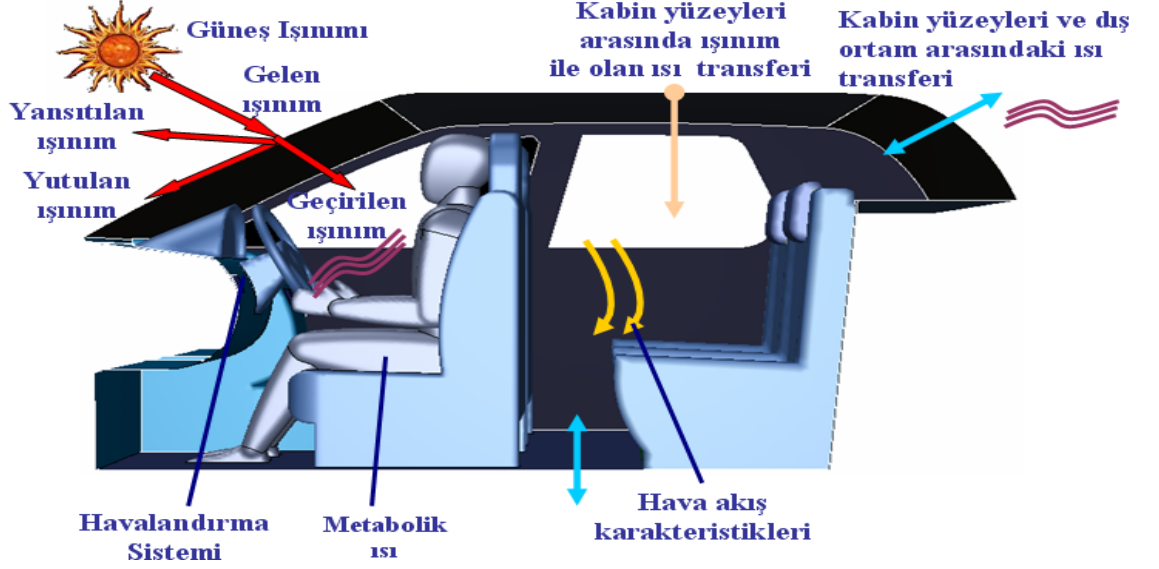
ekil 3.17 A yapısının(Hex core) kabin orta düzleminde kesit görünümü

Hexcore a yapısı hibrid a yapısı olarak nitelendirilebilir. Bu a yapısı, çözüm a mın içinde kartezyen hücrelerden, sınıra yakın bölgelerde ise tetrahedral(yapısal olmayan) hücrelerden oluşmaktadır. Hexcore yapı tüm hacimlere uygulanabilir ve genelde büyük iç hacimli geometrilerde daha kullanılır(T-grid 2006). Bu karmaık ve nispeten büyük hacimli sayılabilecek geometrilerden bir tanesi de otomobil kabinidir.

3.5.2 Sınır artları

Kabin iç ortamında yüzeyler arasında ısı transfer modlarının (iletim, taınım, ıınım) e zamanlı gerçekleşmesi, insan vücudundan terleme yoluyla ortama aktarılan ve ortamdaki klima sistemiyle uzaklaştırılan kütle transferi, güne ıınımı faktörü, kabinin dı ortamlarla temasta olan yüzeyleri ile dı ortam arasında gerçekleşen taınım ile ısı transferi, kabin içi hava akı karakteristikleri vb. faktörler kabin ısı ortamının uniform olmayan bir yapıya sahip olmasında ana etkenler olarak sıralanabilir. Fujita ve ark. (2001), çalışmalarında kabin iç ortamının uniform olmaktan yoksun olduğunu belirterek ısıtma ve klima sistemleri ile iç ortamda de i ik koulların yaratabileceğini ifade etmişlerdir.

Genel olarak kabin ısı ortamını etkileyen temel faktörler ekil 3.18'de gösterilmiştir.

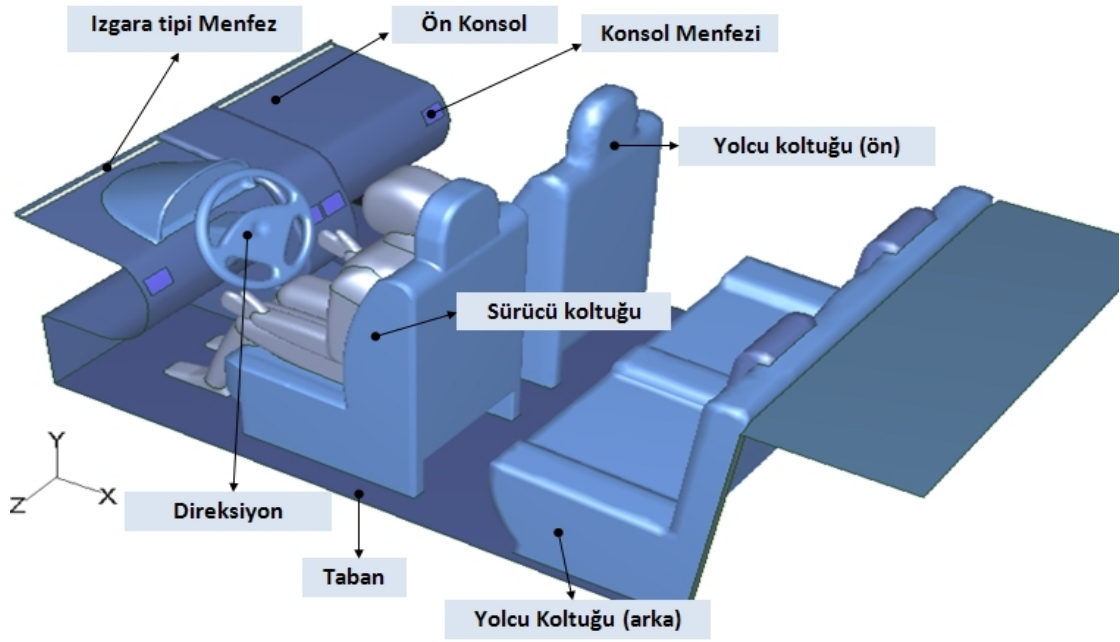


ekil 3.18 Kabin ısı ortamını etkileyen temel faktörler

Otomobil kabini için yapılan HAD analizlerinde farklı türde sınır artları belirlenebilir. Mankenli otomobil kabine ait yüzeyleri sınır artları açısından genel olarak a a ıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

- Menfezler(Giri /Çıkı)
- Mankene ait yüzeyler
- Dı ortam ile temasta olan yüzeyler(Cam yüzeyleri ve di er yüzeyler)
- Di er yüzeyler(Ön konsol, kadran vs.)

Sınır artlarının belirlenmesi süreci HAD yöntemlerinde önemli bir yer te kil eder. Sevilgen ve Kilic (2010), sayısal hesaplamalarda deneysel hesaplamalara yakla ık sonuçlar elde etmenin ba lıca iki ana faktöre ba lı oldu unu belirterek, bu faktörlerin çözüm a ı yapısının do rulu u ve sınır artları oldu unu ifade etmi lerdir. Kabin içinde hesaplamalar için tanımlanan sınır artları açısından gerekli olan temel yüzeyler ekil 3.19'da ve genel olarak hesaplanan yüzeylerde belirlenen sınır artları ise çizelge 3.1'de gösterilmiştir.



ekil- 3.19 Kabin içinde tanımlanan temel yüzeyler

Çizelge 3.1 Kabin içinde tanımlanan yüzeyler

Yüzey adı	Sınır artları
Konsol menfezleri	Zamana bağımlı de i ken sıcaklık, sabit hız
Izgara tipi menfezler	Zamana bağımlı de i ken sıcaklık, sabit hız
Saydam yüzeyler(Camlar.)	Ta ınım sınır artı
Manken yüzeyleri	Sabit ısı akısı, sabit sıcaklık sınır artı
Taban	Ta ınım sınır artı
Tavan	Ta ınım sınır artı
Kabin sa dı yüzey	Ta ınım sınır artı
Kabin sol dı yüzey	Ta ınım sınır artı
Di er iç yüzeyler(Konsol,koltuk vs.)	Isıl adyabatik sınır artı

Gerçekle tirilen çalı mada ısıtma periyodunda manken yüzeylerinde kış ve yaz ko ullarında giysi direncinin de dikkate alındı ı iki farklı sınır artı kullanılmı tır. Bunlar:

- ▲ Sabit ısı akısı sınır artı
- ▲ Sabit sıcaklık sınır artı

olarak ifade edilebilir. ki farklı durumdan elde edilen sayısal sonuçlar ve bu sonuçların kar ıla tırılması Ara tırma Sonuçları bölümünde detaylı olarak yer almaktadır.

Kabinin dış ortamla temasta olan yüzeylerinde ise dış ortam koşullarına bağlı olarak taşınım sınır artı dikkate alınmıştır. Isı taşınım katsayısı, taşınım ile ısı transfer miktarının, yüzey ve ortam arasındaki sıcaklık farkına ne kadar bağlı olduğunu bir ölçüsüdür. Dış ortam ile kabin dış yüzeyleri arasında gerçekleşen taşınım ile olan ısı akısı (3.2.13) 'te yer almaktadır.

$$q_c = h_c(T_s - T_\infty) \quad 3.2.13$$

Burada, q_c kabin dış yüzeyleri ile ortam arasında taşınım ile gerçekleşen ısı akısını, h_c ısı taşınım katsayısını, T_s kabin dış yüzey sıcaklığını, T_∞ ise dış ortam sıcaklığını belirtmektedir. Kabin dış yüzeylerinde ısı transfer katsayısı, düzlem levha üzerinden olan türbülanslı akı için Olson (1962)'nin ifade ettiği yerel Nusselt sayısı 3.2.17 ifadesinden elde edilebilir.

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad 3.2.14$$

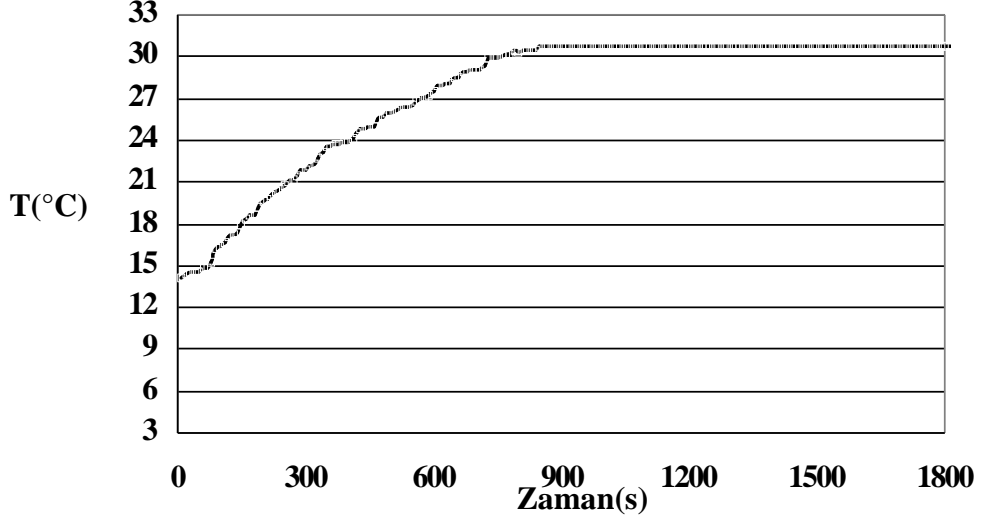
$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad 3.2.15$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad 3.2.16$$

$$Nu_x = 0.0288 Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{Ux}{\nu} \right)^{0.8} \quad 3.2.17$$

Yukarıda yer alan eşitliklerden ısı taşınım katsayısı, Prandtl sayısı (Pr), yerel Nusselt sayısı (Nu), akı kanının ısı iletim katsayısı (k), levha uzunluğu $u(x)$ ve akı kanının hızı (U) kullanılarak elde edilebilir. Bu teorik yaklaşımla kabin dış ortam havasının hızı simülasyonlarda sınır artı olarak hesaplamalara dahil edilebilir.

Giri menfezlerde ise deneylerde yapılan sıcaklık ve hız ölçümleri dikkate alınarak geçici rejim koşullarında zamana bağlı olarak elde edilen veriler, Fluent programında kullanıcı tanımlı fonksiyonlar(UDF) ve tablolar kullanılarak HAD hesaplamalarına dahil edilmiştir. Isıtma simülasyonlarında kullanılan menfez ısıtma hızına ait örnek bir veri şekli Şekil 3.20’de yer almaktadır.



Şekil 3.20 Giri menfezinde sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği

3.6 Korunum Denklemleri, Çözüm Planı ve Türbülans Modeli

Akışkanlar mekaniğinde kütle korunumu ile ilgili denklemler genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = S_m \quad 3.2.18$$

Bu denklemde yer alan S_m kaynak terimi eklemlinde ifade edilir. Sisteme eklenen kütle kütle ifade eder. Örneğin faz değişimi sırasında buharlaşma sonucunda eklenen kütle miktarını gösterir. Momentum ve enerji denklemleri ise 3.2.19-3.2.22’de ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nabla \cdot (\mu \nabla u) + S_{M_x} \quad 3.2.19$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nabla \cdot (\mu \nabla v) + S_{M_y} \quad 3.2.20$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \nabla \cdot (\mu \nabla w) + S_{M_z} \quad 3.2.21$$

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho e \vec{V}) = -p \nabla \cdot \vec{V} + \nabla \cdot (k \nabla T) + \Phi + S_e \quad 3.2.22$$

Yukarıda kartezyen koordinat sisteminde ifade edilen denklemlerde; ρ yo unlu u , \vec{V} hız vektörünü, u , v ve w hız vektörlerinin sırasıyla x , y ve z bile enlerini, S_m kütle kaynak terimini, S_M momentum kaynak terimini, p basıncı, S_e enerji kaynak terimini, Φ ise yayınım terimini temsil etmektedir. Yayınım terimi enerji kaybını ifade eder ve 3.2.23'deki gibi yazılabilir.

$$\Phi = \mu \left[2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] + \lambda \left(\nabla \cdot \vec{V} \right)^2 \right] \quad 3.2.23$$

Fluent yazılımında integral formundaki korunum denklemleri temel olarak iki tür sayısal çözüm metodu kullanılarak sayısal çözümler gerçekleştirilir.

1. Basıncı ba lı çözüm metodu (Pressure-based)

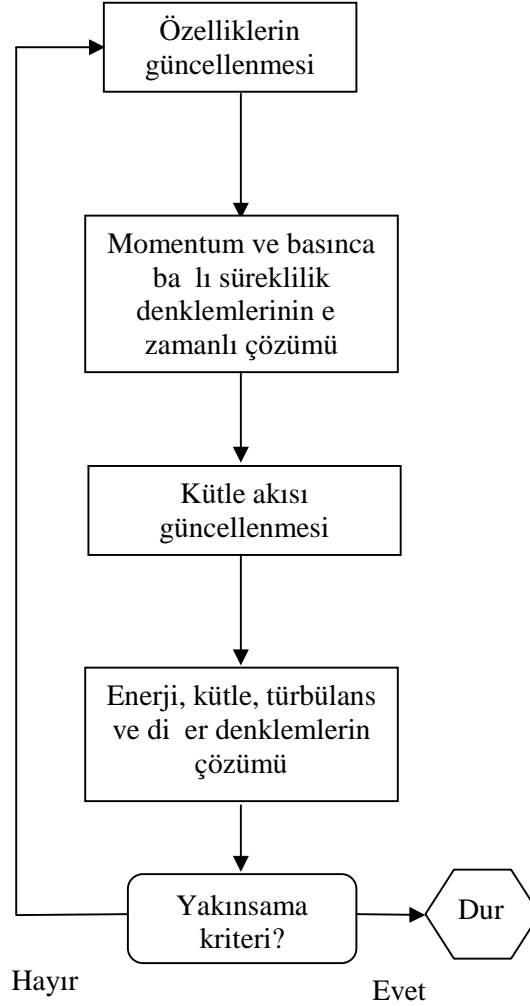
2. Yo unlu a ba lı çözüm metodu (Density-based)

Her iki metotta da hız da ılımına ili kin çözüm için momentum denklemleri kullanılarak kontrol hacmi tabanlı teknikler ile çözüm yapılır ve sonlu hacim tabanlı benzer ayrıklaştırma işlemi gerçekleştirilir. Ancak lineerleştirme ve elde edilen ayrık

denklemlerin çözüm metodu yaklaşımları farklıdır. Kontrol hacmi tabanlı metotta genel olarak aşağıda belirtilen adımlar yer alır:

1. Çözüm hacminin sonlu sayıda kontrol hacmine bölünerek ayrıklaştırılması
2. Her bir kontrol hacmi için korunum denklemlerinin integrasyonu ve ayrık denklemler (hız, basınç, sıcaklık vs.) içeren cebrik denklemlere dönüştürülmesi
3. Ayrık denklemlerin lineerleştirilmesi ve sonuç olarak elde edilen lineer denklem sistemlerinin çözümü.

Hesaplamalarda kullanılan basınçbağımlı zamanlı çözüm metoduna ait akış diyagramı ekil 3.21’de gösterilmiştir.



ekil 3.21 Basınçbağımlı zamanlı çözüm metoduna ait akış diyagramı

E zamanlı çözüm algoritması kütle, momentum ve enerji denklemlerinin birlikte çözümü esasına dayanır. Fluent yazılımında gradyan seçeneği altında düüm noktası tabanlı(node-based) ve hücre tabanlı(cell-based) olmak üzere iki tür seçenek vardır. Yapısal olmayan yapılarında düüm noktası tabanlı yaklaşım hacim tabanlı yaklaşıma göre daha doğru bir yaklaşımdır özellikle tetrahedral çözüm ağı yapısında (Fluent 2006). Sayısal simülasyonlarda basınç-hız eyletirmesi için SIMPLE algoritması kullanılmıtır

Fluent yazılımı, seri ve paralel çözüm metodu olmak üzere iki tür çözüm metodu sunmaktadır. Gerçekle tirilen sayısal hesaplamalarda, sürekli rejim analizlerinde seri çözüm metodu, geçici rejim analizlerinde ise sürekli rejime göre daha fazla hafıza ve RAM gereksinimini olan paralel çözüm metodu kullanılmıtır. Paralel çözüm metodunda çözüm ağı bölgelere ayrılarak her bir bölge için ayrı bir işlemci atanması ekinde çözüm i lemlerinin gerçekle tirilmesi esasına dayanır. Bu metot “workstation” gibi birden fazla işlemciye sahip yüksek kapasiteli bilgisayarlar ile uygulanabilir. Çalı malarda geçici rejim analizleri için “two Quad-Core Intel Xeon processor” işlemci özelli ine sahip “workstation” kullanılmıtır.

Türbülans modeli seçimi HAD tabanlı sayısal çözümlenmelerde son derece önemlidir. Genel olarak türbülans modeli seçiminin, akı ın karakteristi ine, çözüm davranı ma, literatürde yer alan mevcut hesaplamalara, analiz sonucu elde edilmek istenen sonuçların hassasiyet ve do ruluk seviyesine ba lı oldu u söylenebilir. Lombardi ve ark. (2007), çalı malarında Fluent yazılımını kullanarak standart $k-\varepsilon$ türbülans modeli ile hesaplamalar gerçekle tirmişlerdir.

Hesaplamalarda RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeli genel olarak literatürde yer alan benzer hesaplamalarda kararlılı ı ve sonuçların hassasiyeti açısından tercih edilmiştir(Costa ve ark. 1999),(Chen 1999). RNG $k-\varepsilon$ modeli, istatistiksel bir teknik kullanılarak elde edilmiştir. Standart $k-\varepsilon$ modeline benzerdir ancak bu modele göre bazı iyile tirmeler yapılmıtır. RNG $k-\varepsilon$ modeli teorisi, türbülans Prandtl sayısı için analitik bir denklem sunmaktayken standart $k-\varepsilon$ modeli ise bu sayı için kullanıcı tanımlı sabit de erler kullanır. Bu ve bunun gibi iyile tirmeler, RNG $k-\varepsilon$ modelini standart $k-\varepsilon$ modeline göre daha geni bir akı sınıflandırması için daha hassas ve güvenilir kılmaktadır(Fluent2006).

RNG $k-\varepsilon$ modelinde transport denklemleri genel olarak (3.2.24)ve (3.2.25) ‘te belirtilmi tir. Bu model, a a ıda yer alan transport denklemlerini k ve ε de erlerini hesaplamak için kullanır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3.2.24)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon}^* \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (3.2.25)$$

$$C_{1\varepsilon} = 1.42; C_{2\varepsilon} = 1.68; C_{3\varepsilon} = \tanh\left(\frac{v}{u}\right) \quad (3.2.26)$$

$$\eta = S \frac{k}{\varepsilon}; \eta_0 = 4.38; \beta = 0.012; C_\eta = 0.0845; C_{2\varepsilon}^* = C_{2\varepsilon} + \frac{c_\mu \eta^3 (1 - \eta / \eta_0)}{1 + \beta \eta^3} \quad (3.2.27)$$

Yukarıda yer alan e itliklerde belirtilen Fluent yazılımında bulunan RNG $k-\varepsilon$ modeline ait sabitler (3.2.26)’da belirtilmi tir. $C_{3\varepsilon}$ sabiti kaldırma kuvvetlerinin ε üzerindeki etkisini ifade eder. $C_{3\varepsilon}$ sabitinde yer alan v ifadesi akı kanın yerçekimi vektörüne paralel do rultuda olan hız bile enini, u ise yerçekimi vektörüne dik do rultuda olan hız bile enini ifade eder.

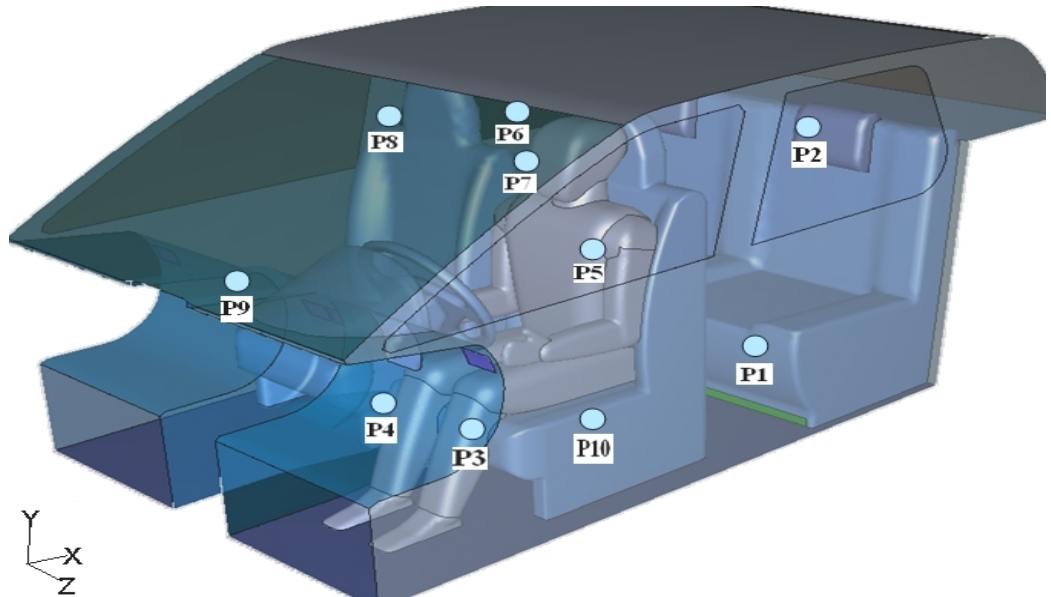
Burada G_k hız gradyenlerinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji olu umunu, G_b ise kaldırma kuvvetinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji olu umunu göstermektedir. Y_M ise de i en toplam disipasyon oranına sıkı tırılabilir türbülans içinde de i en dilatasyonun katkısını göstermektedir. α_k ve α_ε sırasıyla k ve ε de erleri için ters efektif Prandtl sayılarını belirtmektedir. S_k ve S_ε ise kaynak terimler olarak adlandırılır. RNG $k-\varepsilon$ modeline ili kin detay bilgiler (Fluent 2006) yardımcı kaynaklarından elde edilebilir.

Gerçekle tirilen sayısal hesaplamalarda üç farklı çözüm a 1 yapısı üzerinde hesaplamalar gerçekleştirilmi tir. Bunlar yakla ık olarak toplam 900.000 elemandan olu an “tetrahedral çözüm a 1”, toplam 1.000.000 elemandan olu an “hexcore hibrit çözüm a 1”, toplam 2.000.000 elemandan olu an “hexcore hibrit çözüm a 1” yapısıdır.

Bu farklı yapıları kullanılmasındaki amaç, gerçekleştirilen çalışmalarda sonuçların a yapısına olan bağımlılığını araştırmak ve hesaplama zamanlarında sonuçlardan ödün vermeden iyileştirme sağlamaktır. Bu konu ile ilgili detay bilgiler tezin Araştırma Sonuçları bölümünde yer almaktadır.

3.7 Simülasyon Sonuçlarının Görüntülenmesi ve Deneysel Verilerle Karşılaştırılması

Gerçekleştirilen sayısal hesaplamalarda elde edilen sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması amacıyla kabin iç ortamında deneysel ölçüm noktaları dikkate alınarak 10 adet kritik nokta tanımlanmıştır. Tanımlanan bu kritik noktaların konumları ve açıklamaları ekil 3.22’de gösterilmiştir.



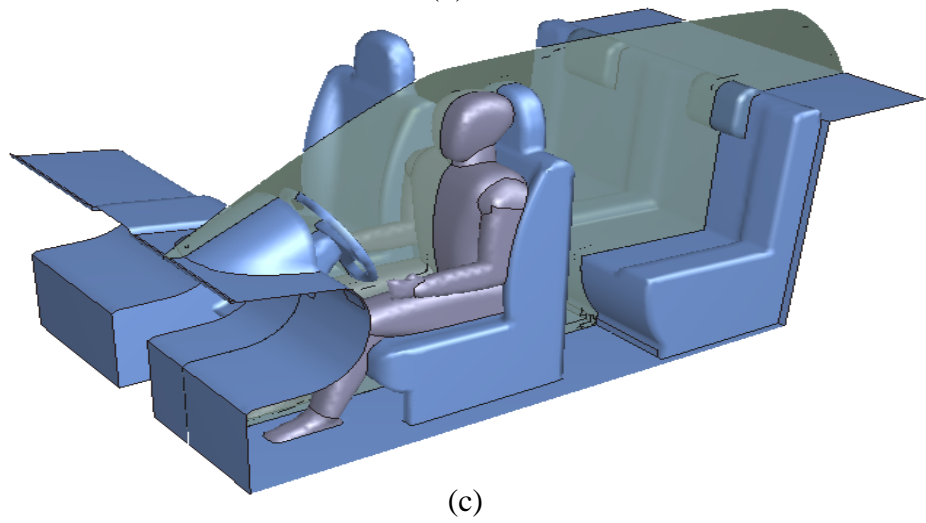
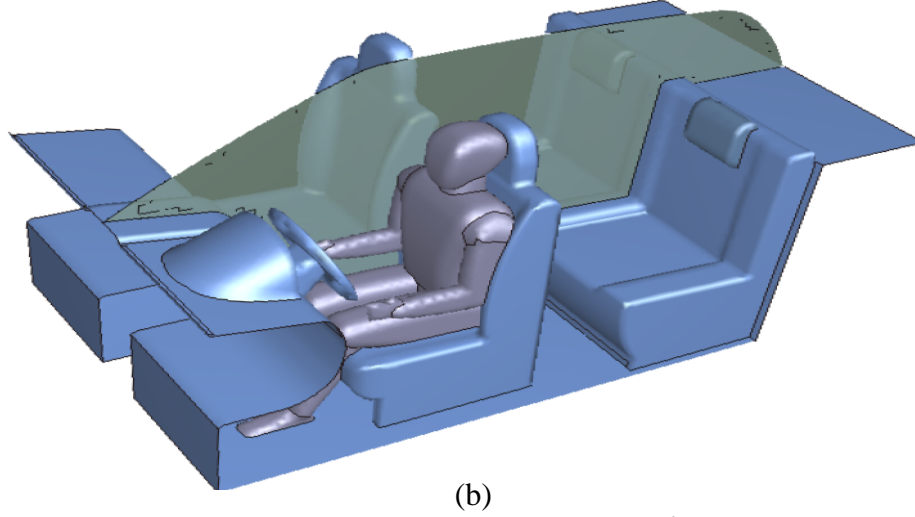
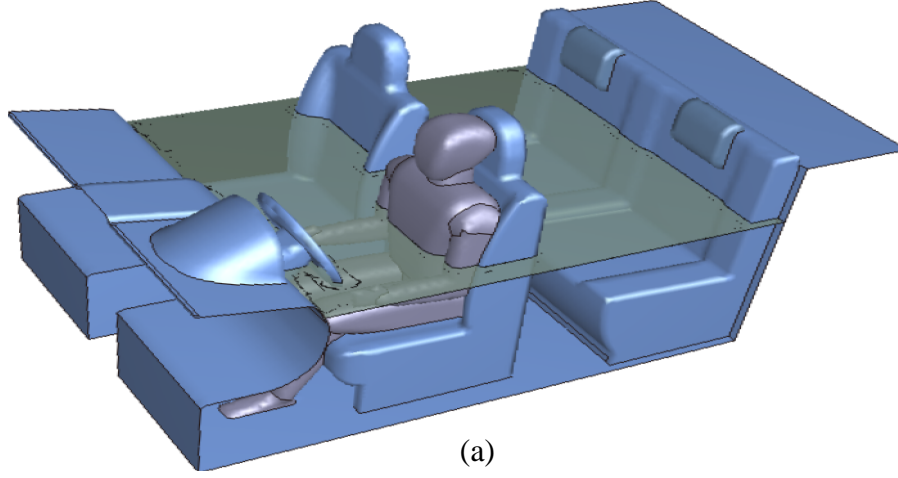
Kritik Nokta	Konum	Kritik nokta	Konum
P1	Sol arka koltuk diz seviyesi	P1	Sağ ön diz seviyesi
P2	Sol arka koltuk baş seviyesi	P2	Sağ ön ayak seviyesi
P3	Sol ön koltuk diz seviyesi	P3	Sol ön diz seviyesi
P4	Sağ ön koltuk diz seviyesi	P4	Sol ön ayak seviyesi
P5	Sol ön koltuk omuz seviyesi	P5	Sağ arka diz seviyesi
P6	Arka koltuk arası baş seviyesi	P6	Sağ arka göğüs seviyesi
P7	Sol ön koltuk baş seviyesi	P7	Sağ arka baş seviyesi
P8	Sağ ön koltuk baş seviyesi	P8	Sol arka diz seviyesi
P9	Orta torpido yüzeyi		
P10	Sol kapı dömeşi yüzeyi		

(a) Standart Isıtma / Soğutma

(b) Güneş Işınımı ve Soğutma

ekil 3.22 Sanal otomobil kabini içinde tanımlanan deneysel ölçüm noktaları

Ayrıca simülasyon sonuçlarını de erlendirebilmek için kabin içinde farklı düzlemler (ekil 3.23) tanımlanmıştır.



ekil 3.23 Otomobil kabininde tanımlanan düzlemler (a) Menfez Düzlemi, (b) Kabin orta düzlemi, (c) Manken Düzlemi

3.8 Deneysel Çalışmalar

Sayısal simülasyonlarla eş zamanlı olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda kabin içinde belirlenen kritik noktalarda, kabin yüzeylerinde, insan vücut yüzeylerinde ve menfezlerde, ısıtma ve soğutma sürecinde farklı dış ve iç ortam koşullarında sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca menfez çıkışlarında otomobil klimasına ait farklı hız kademeleri için hız ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmalarda kullanılan bazı deney cihazları ve teknik özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Cole Palmer Digi-Sense(ekil 3.24) 12 kanallı termometreye bağlanan T tipi Physitemp ısı çiftleri ile sabitleme bandı kullanılarak insan vücuduna ait 12 ayrı noktadan deri yüzey sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. T tipi ısı çiftlerinin cevap hızı 0.15 saniye ve ölçülebilen en yüksek sıcaklık ise 90 °C'dir.



(a)



(b)

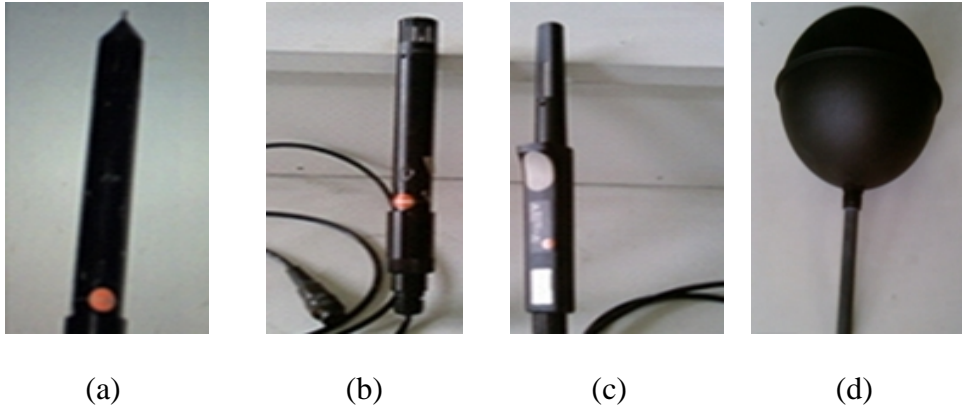
ekil 3.24 (a) Cole Palmer Digi-Sense sıcaklık ölçüm cihazı (b) T tipi ısı çiftleri

Kabin iç ortamındaki ve kabin yüzeylerindeki sıcaklık dağılımlarını elde etmek için gerçekleştirilen sıcaklık ölçümlerinde 12 kanallı termometreye bağlanan K tipi ısı çiftleri kullanılmıştır. K tipi ısı çiftleri -200 °C ile +300 °C ölçüm aralığına sahiptir.

Testo 350 M/XL 454 çok fonksiyonlu ölçüm cihazı ekil 3.25'te ve bu cihaza bağlanabilen probalar(ölçerler) ve Globe termometre ise ekil 3.26'da gösterilmiştir.



ekil 3.25 Testo 350 M/XL 454 ölçüm cihazı



(a)

(b)

(c)

(d)

ekil 3.26 Ölçümlerde kullanılan Testo 350 M/XL 454 ölçüm cihazına monte edilen sıcaklık hız ve ba ıl nem ölçerler: (a) – Sıcaklık, ba ıl nem ve hız probu, (b) – Sıcaklık, ba ıl nem probu, (c) – CO₂ ölçümlerinde kullanılan probe, (d) – Globe termometre

Deneylerde kullanılan bazı ölçüm cihazları ve bu cihazlara ili kin ölçüm aralı ı ve öngörülen tolerans de erleri çizelge 3.2’de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Ölçüm cihazları, ölçüm aralığı ve öngörülen tolerans değerleri

Fiziksel Büyüklük	Ölçüm cihazı ve ölçüm aralığı	Öngörülen tolerans
Sıcaklık (°C)	Cole Palmer Digi-Sense sıcaklık ölçüm cihazı	
Sıcaklık probu	-200.....+300°C	± % 0.1
Hız (m/s)	Testo 454 çok fonksiyonlu ölçüm cihazı	
Hız probu	0.....10 m/s	± % 0.02 m/s
Bağıl Nem(%)	0.....%100	± % 2
Üçlü prob		

3.9 Hata analizi

Otomobil içinde gerçekleştirilen ölçümlerde meydana gelen hatayı belirlemek için kullanılan deneysel cihazların ölçüm hassasiyetleri ve aralıkları dikkate alınarak Moffat (1988)'in önerdiği hata ifadesi(3.2.28)'de gösterildiği şekilde düzenlenebilir.

$$Hata(\%) = \left[\left(\frac{\Delta V}{V} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T_a}{T_a} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T_s}{T_s} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.2.28)$$

Moffat (1988) in önerdiği eşitlikte yer alan kesirli ifadelerin payındaki değerler cihazın ölçüm hassasiyetini, paydadaki değerler ise ölçüm değerlerini ifade etmektedir. Yapılan hesaplamalarda deneysel hata oranı(maksimum belirsizlik) yaklaşık olarak ± %1 arasında hesaplanmıştır(Kılıç ve Sevilgen 2009).

4. Otomobil Kabini Simülasyonları ve Ara tırma Sonuçları

4.1 Giri

Otomobil kabini için gerçekte tirilen hava hızı ve sıcaklık da ılımına ili kin üç boyutlu simülasyonlarda çözüm i lemleri için iki farklı çözüm a ı kullanılması, sanal insan modeline ait yüzeylerde farklı sınır artlarının uygulanması, otomobil kabineine ait dı ortamla temasta olan yüzeylerde ta ınım sınır artının belirlenmesi, hesaplamalarda RNG k – ϵ türbülans modelinin kullanılması, giri menfezlerinde deneysel sonuçlara ba lı olarak menfez çıkı sıcaklı ı ve hız sınır artının tayin edilmesi, Fluent yazılımında yer alan mevcut çözüm planları ve hesaplamalarda kullanılan basınca ba lı çözüm planı vb. ara tırma metoduna ili kin temel konular Bölüm 3’te materyal ve metot kısmında ifade edilmi ti.

Bu böümde yer alan ara tırma sonuçları, otomobil kabini için standart ısıtma ve so utma süreçlerini içeren iki ana ba lık altında verilmi tir.

Bu bölümde ısıtma periyodunda tetrahedral çözüm a ı ile gerçekte tirilen simülasyon sonuçları, optimum çözüm a ının elde edilmesine yönelik çalı malardan elde edilen sonuçlar, sanal insan modeli yüzeylerinde uygulanan iki farklı sınır artının uygulanması sonucu elde edilen sonuçların de erlendirilmesine ve insan vücudu yüzeyleri için lokal ve ortalama ısıl karakteristiklerin de i imlerinin incelenmesine yönelik çalı malardan elde edilen sonuçlar, kabin iç ortam yüzeyleri arasındaki ı nım ile ısı transferi hesaplamaları için kullanılan iki farklı ı nım modeli ile gerçekte tirilen sayısal simülasyonların ve farklı ortam ko ulları için gerçekte tirilen simülülasyonların sonuçları yer alamaktadır.

Bu bölümün son kısmında ise standart so utma süreci için gerçekte tirilen simülasyonlarla ilgili çalı maların sonuçlarına yer verilmi tir. So utma simülasyonları, otomobil klimasının so utma yükünü ve sabit tutarak, farklı menfezlerin kullanıldı ı durumları içeren çalı malar ve güne ı nımının etkisinin de dikkate alındı ı so utma analizlerine yönelik çalı malar olmak üzere iki kısımdan olu maktadır..

Ayrıca hem ısıtma hemde so utma kısımlarında yer alan simülasyonların büyük bir kısmında, deneysel verilerle kar ıla tırma yapılarak elde edilen sonuçlar da yer almaktadır.

4.2 Isıtma Periyodunda Otomobil Kabini Simülasyonları

4.2.1 Tetrahedral A Yapısı ile Gerçekle tirilen Simülasyonlar

Sanal insan modeli ve otomobil kabininden olu an bilgisayar modeli kullanılarak tetrahedral a yapısı ile geçici rejimde sayısal hesaplamalar yapılmı tır. Tetrahedral a yapısı ile gerçekle tirilen simülasyonlarda seri çözüm metodu kullanılmı tır. Otomobil kabini için gerçekle tirilen simülasyonlarda kullanılan çözüm metodu, yakınsama kriterleri, a yapısı, sınır artları gibi çözüme ili kin temel bilgiler çizelge 4.1–4.4’te yer almaktadır

Çizelge 4.1 Çözücü Ayarları, türbülans ve 1 inım modeli

Çözücü Ayarları, türbülans ve 1 inım modeli	
Zaman	Geçici Rejim
Çözücü	Basınca ba lı e zamanlı çözüm (Pressure Based/Coupled)
Gradyen seçene i	Dü üm noktası tabanlı (node-based)
Formülasyon	2.Dereceden kapalı çözüm (2 nd order implicit)
Denklemler	Akı , türbülans ve enerji denklemlerinin birlikte çözümü
Türbülans Modeli	RNG $k-\varepsilon$
I inım modeli	Ayrık ordinat(DO)

Sayısal hesaplamalarda deneysel verilerle kar ıla tırılan sonuçların do rulu unu ve hassasiyetini etkileyen iki temel faktör vardır. Bunlar, a yapısının hassasiyeti ve sınır artlarıdır. Otomobil kabininde iç ve dı yüzeylede farklı sınır artları kullanılabilir. Gerçekle tirilen bu çalı malarda, manken yüzeylelerine sabit ısı akısı sınır artı, kabin dı ve cam yüzeylelerine ta inım sınır artı, kabin iç yüzeylelerine ise adyabatik sınır artı uygulanmı tır. Tetrahedral a yapısı için gerçekle tirilen simülasyonlarda yüzeylelerde tanımlanan sınır artlarına ili kin detaylı bilgiler çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2 A yapısı ve sınır artları

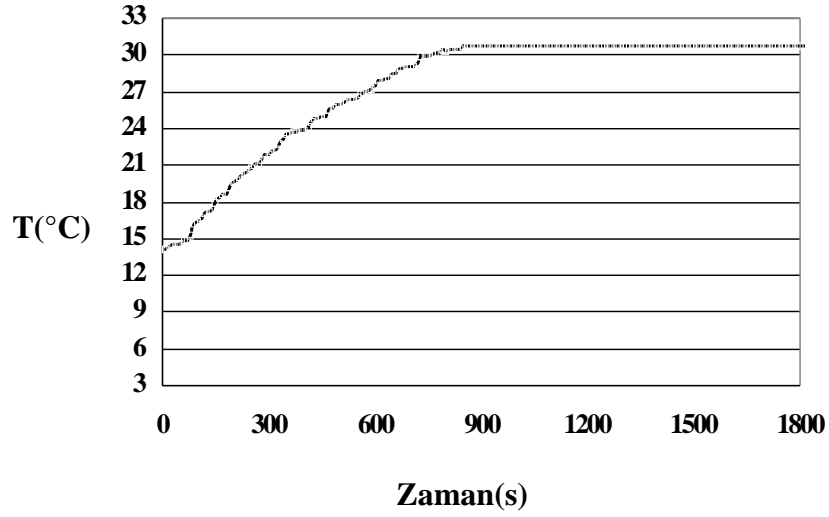
A yapısı	
A yapısı	Tür: Tetrahedral
Hacim eleman sayısı	Hacim eleman sayısı: 900.000
Düüm noktası sayısı	165.000
Yüzey a yapısı	Tür: Üçgen eleman
Sınır artları	
Manken yüzeyleri	Sabit ısı akısı($60\text{W}/\text{m}^2$)
Giri menfezleri(Sıcaklık)	De i ken sıcaklık ($T(t)$) sınır artı
Giri menfezleri(Hız)	Hız kademesine ba lı sabit hız de eri
Kabin dı yüzeyleri	Rüzgar hızına ba lı ta nım sınır artı
Kabin iç yüzeyleri	Isıl adyabatik sınır artı $q = 0 \text{ W}/\text{m}^2$

Geçici rejim analizlerinde kabin iç ortam ba langıç ko ulları sonuçların do rulu u açısından son derece önemlidir. Bu çalı mada kabin iç ortamında ve yüzeylerinde ba langıç sıcaklı ı 8.7°C alınmı tır. Bu de er e zamanlı gerçekte tirilen deneysel çalı malarından elde edilmi tir. Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriterine ili kin temel bilgiler çizelge 4.3’de yer almaktadır.

Giri menfezlerinde zamana ba lı sıcaklık de i imini içeren sınır artı deneysel çalı malar ile elde edilen menfez çıkı sıcaklıklarına ba lı olarak belirlenmi tir. Bahsedilen bu sınır artı ile ilgili sıcaklık e risi ekil 4.1’de yer almaktadır. Tetrahedral a yapısı ile gerçekte tirilen geçici rejim analizlerinde kullanılan otomobil kabini yüzeylerine ait a yapısı ve bu yapının $z = -0.28 \text{ m}$ düzleminde(manken düzlemi) çözüm a ı kesit görünümü ekil 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.3 Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri

Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri	
Kabin iç ortam ve yüzey sıcaklığı	8.7°C
Dış ortam sıcaklığı	8.7°C
($t_{gerçek} = 5$ dak.)	zaman adımı: 1s
($t_{gerçek} > 5$ dak.)	zaman adımı > 1 s
Yakınsama kriteri	Normalize edilmiş kalanlar
Süreklilik, momentum, enerji	$10^{-4} / 10^{-4} / 10^{-6}$
Basınç-hız ilişkisi	SIMPLE
Ayrıklı tırma metodu(Basınç)	Standart
Ayrıklı tırma metodu(Akış, enerji ve diğerleri)	2.dereceden Upwind yöntemi



ekil 4.1 Giriş menfezlerinde zamana bağlı sıcaklık değişimi



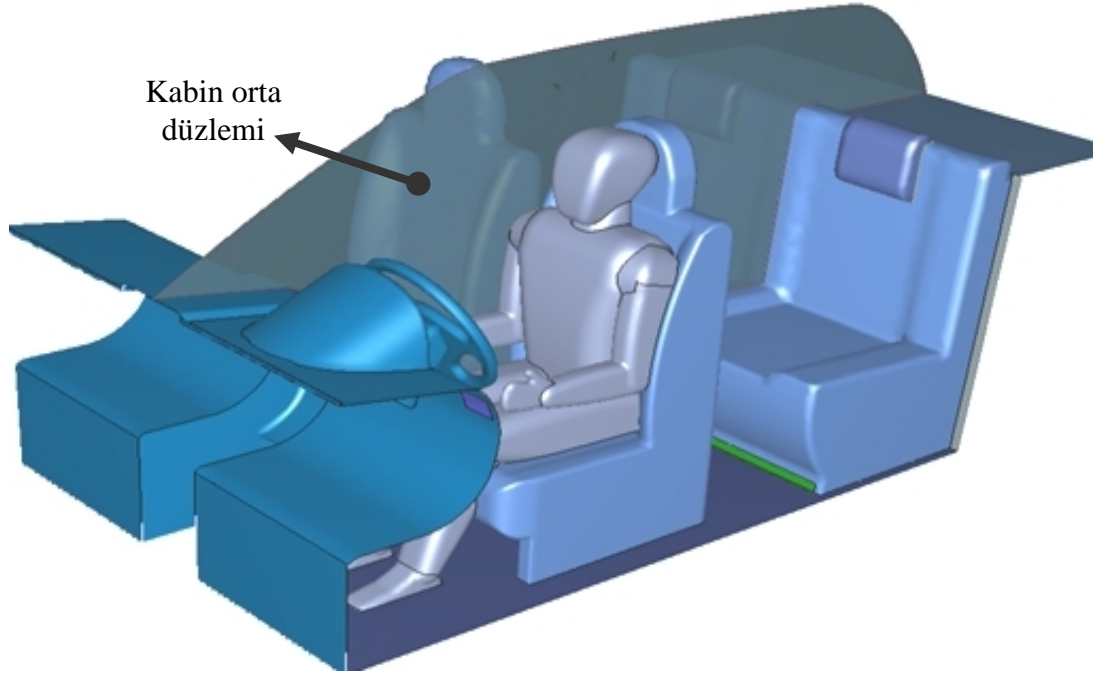
ekil 4.2 Otomobil kabini yüzey a yapısı ve $z=-0.28\text{m}$ 'de a kesit görünümü

Tetrahedral a yapısı ile gerçekleştirilen simülasyonlar 30 dakikalık standart ısıtma periyodunda gerçekleştirilmiştir. Hesaplama zamanları a yapısında kullanılan eleman sayısına, seçilen 1 mm modeline ve zaman adımına bağlı olarak ortalama 6-7 gün arasında değişmektedir. Çözüm metodu ve hesaplama zamanlarına ilişkin bilgiler çizelge 4.4'te yer almaktadır.

Çizelge 4.4 Çözüm metodu ve hesaplama zamanları

Çözüm metodu ve workstation	
Çözüm metodu	3D Single
Workstation	2 x Quad-Core Intel Xeon processor
Toplam hesaplama zamanı	6-7 gün
Isıtma Süresi	30 dak.

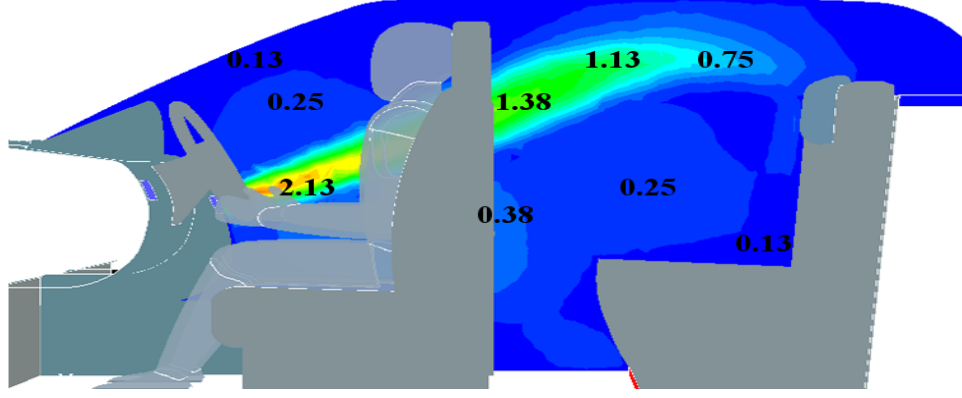
Isıtma periyodunda geçici rejim analizleri sonucunda elde edilen sayısal sonuçları değerlendirilebilmek amacıyla kabin içerisinde düzlemler ve noktalar tanımlanmıştır. Kabin içinde gerçekleştirilen hava akışı, sıcaklık değişimleri ve diğer parametreler açısından en karmaşık düzlemlerden biri olan kabin orta düzlemi ve menfez düzlemi tanımlanmıştır. Ekil 4.3'te kabin orta düzlemi yer almaktadır.



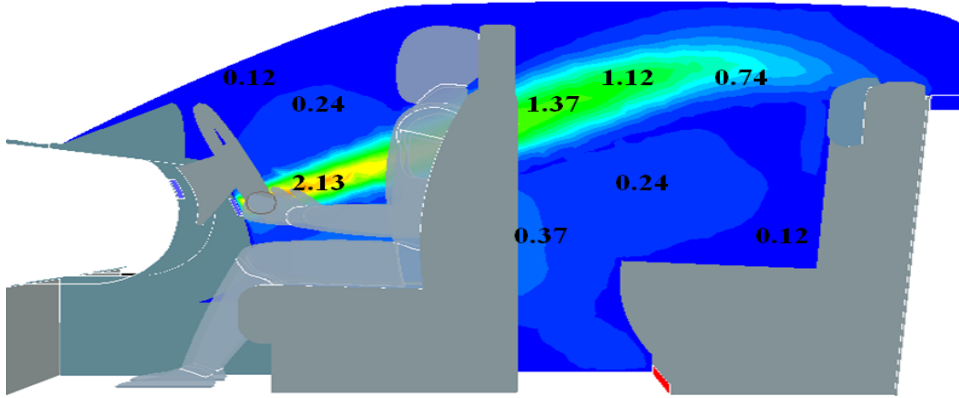
ekil 4.3 Kabin orta düzlemi ve otomobil içindeki konumu

Bu düzlemlerde hesaplamalar sonucunda elde edilen zamana bağlı sıcaklık ve hız dağılımına ilişkin sonuçlar ekil 4.4–4.7'de yer almaktadır. Kabin orta düzleminde

3-8 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda elde edilen hız da ılımı ekil 4.4'te yer almaktadır. Maksimum hız de eri menfezlere yakın olan bölgede elde edilmi ve yakla ık 2.13 m/s'dir. Taban yüzeyine yakın kısımlarda kısmen daha dü ük hız de erleri hesaplanmı ve yakla ık olarak 0.3 m/s'dir.



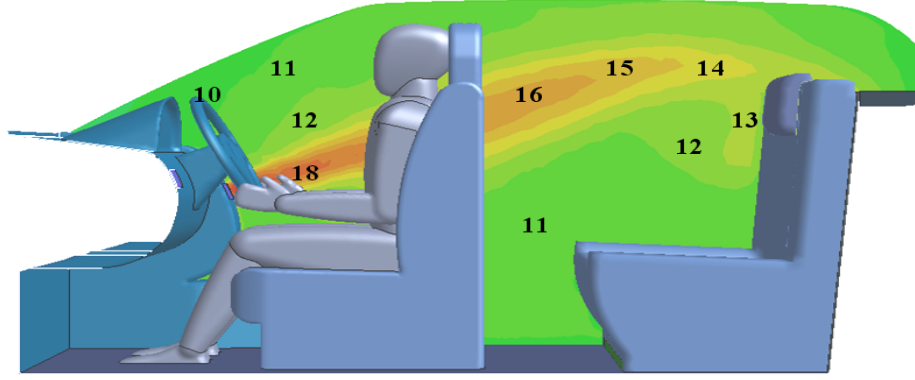
(a)



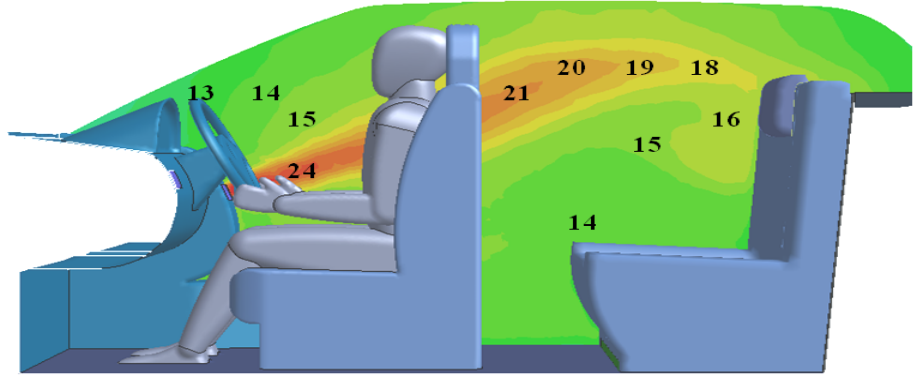
(b)

ekil 4.4 Kabin orta düzleminde hız da ılımının zamana ba lı de i imi, (a) 180s (b) 480s

ekil 4.4'te yer alan $t=8$ dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin orta düzleminde elde edilen hız da ılımı ve $t=3$ dakika sonucunda elde edilen hız da ılımı birlikte de erlendirilecek olursa, gerçekte tirilen analizler sonucunda 5 dakikalık ısıtma süresi sonucunda hız da ılımının sürekli rejim ko ullarına yakla tı ı dolayısıyla hesaplanan hız de erleri arasında dikkate de er farklılıklar olmadı ı söylenebilir. Isıtma periyodu süresince kabin orta düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları ekil 4.5-4.7'de gösterilmi tir.



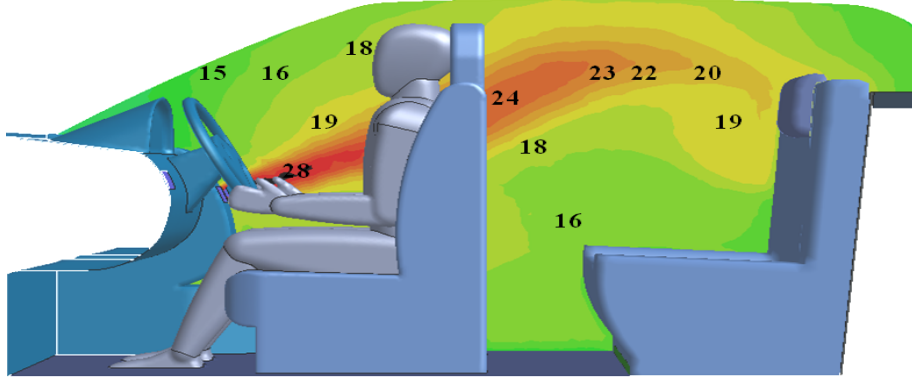
(a)



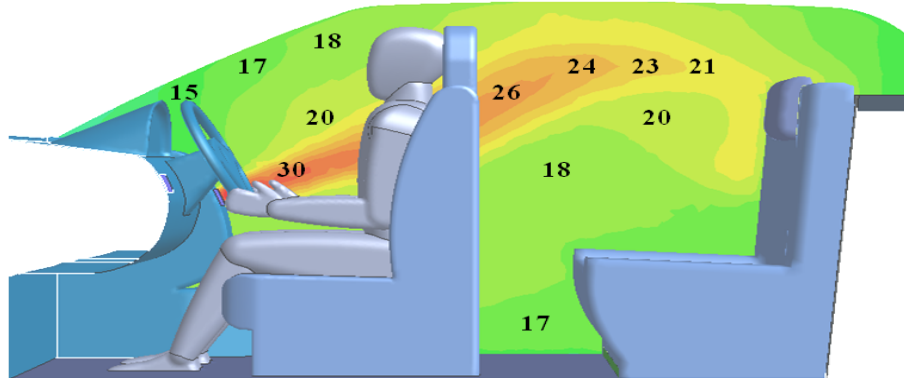
(b)

ekil 4.5 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı, (a) 180s (b) 480s

8 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda, kabin orta düzleminde ayak ve baş seviyeleri arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık olarak $6-7^{\circ}\text{C}$ arasında değişmekte ve kabin ön kısmında menfez yüzeylerine yakın noktalarda maksimum sıcaklık değeri 24°C olarak hesaplanmıştır. En düşük sıcaklık değeri ise kabin taban yüzeyine ve ön cam yüzeylerine yakın bölgelerde elde edilmiştir.



(a)



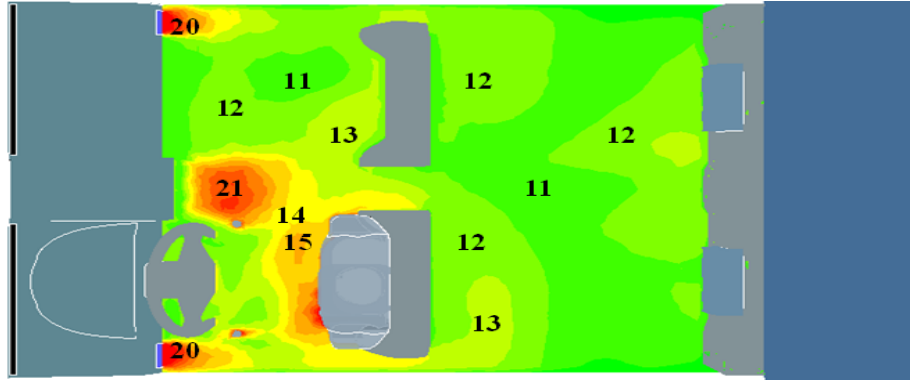
(b)

ekil 4.6 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı, (a) 900s (b) 1200s

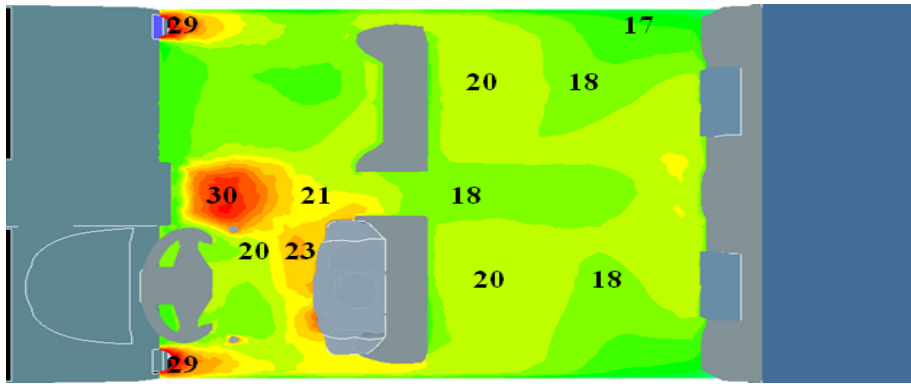
20 dakikalık ısıtma periyodu sonunda maksimum sıcaklık 30°C olmak üzere kabin ön kısmında menfezlere yakın noktalarda elde edilmiştir. Taban yüzeyine en yakın bölgede sıcaklık 17°C olarak hesaplanmıştır. Elde edilen en düşük sıcaklık ise ön cam yüzeyine yakın kısımlarda ve yaklaşık 15°C civarındadır.

Kabin orta düzleminde 15 ve 20 dakikalık ısıtma periyotları sonucunda aynı noktalarda elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, $1-2^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık farkı görülmektedir. Dolayısıyla 20 dakikalık ısıtma periyodu sonunda sürekli rejim koşullarına yaklaşıldığı sonucuna varılabilir.

Kabin menfez düzleminde zamana bağlı sıcaklık değişimine ilişkin sonuçlar ekil 4.7'de yer almaktadır.



(a)



(b)

ekil 4.7 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) dağılımı, (a) 180s (b) 1200s

3 dakikalık ısıtma periyodu sonrasında hesaplanan en düşük sıcaklık 11°C 'dir. 20 dakikalık ısıtma periyodu sonrasında kabin ön ve arka kısım arasındaki maksimum sıcaklık farkı 13°C olmaktadır. Manken yüzeyine uygulanan sabit ısı akısı artışı ve menfez sıcaklığı nedeniyle manken yüzeyine yakın kısımlarda 20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda yaklaşık olarak 23°C sıcaklık değeri hesaplanmıştır.

20 dakikalık ısıtma periyodu süresince insan vücuduna ait yüzeylerde hesaplanan lokal ve genel ısı transfer karakteristikleri çizelge 4.5–4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 t=8 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sanal insan modeli yüzeylerinde ısı ta nım karakteristiklerinin zamana ba lı lokal ve genel de i imi

Vücut Yüzeyleri	t=3 dakika			t=8 dakika		
	q_c (W/m ²)	h_c (W/m ² K)	T_s (°C)	q_c (W/m ²)	h_c (W/m ² K)	T_s (°C)
Ba	37.2	7.8	15.6	33.2	6.1	18.9
Boyun	32.3	3.4	20.4	28.7	2.7	24.0
Gövde	33.5	2.0	27.7	30.4	1.9	29.3
Kasık	44.9	2.8	26.9	46.1	3.5	26.6
Sa ayak	33.9	6.4	16.2	34.3	10.1	16.9
Sa bacak	39.5	4.5	19.7	38.6	4.6	21.8
Sa baldır	30.3	4.4	17.7	29.2	5.4	18.9
Sa el	31.9	4.7	17.7	28.3	4.0	20.6
Sa kol	32.7	2.3	25.0	30.3	2.3	26.8
Sa omuz	27.4	4.3	17.2	19.6	2.5	21.2
Sol ayak	36.6	8.2	15.4	37.6	15.1	16.0
Sol bacak	36.3	4.0	19.9	35.9	4.5	21.4
Sol baldır	30.9	5.0	17.1	30.7	6.9	17.9
Sol el	36.2	6.0	17.0	35.2	6.4	19.0
Sol kol	38.1	3.4	22.2	36.7	3.5	23.8
Sol omuz	37.2	8.4	15.3	31.5	5.7	19.0
Vücut ortalaması	34.9	4.2	20.9	33.0	4.5	22.7

Çizelge 4.6 t=20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sanal insan modeli yüzeylerinde ısı ta nım karakteristiklerinin zamana ba lı lokal ve genel de i imi

Vücut Yüzeyleri	t=15 dakika			t=20 dakika		
	q_c (W/m ²)	h_c (W/m ² K)	T_s (°C)	q_c (W/m ²)	h_c (W/m ² K)	T_s (°C)
Ba	31.1	5.4	21.6	31.0	5.3	22.6
Boyun	27.1	2.4	27.0	27.3	2.5	27.8
Gövde	28.5	1.8	31.6	28.6	1.8	32.6
Kasık	47.0	3.9	27.8	46.9	4.0	28.6
Sa ayak	34.6	16.7	17.9	34.6	20.7	18.4
Sa bacak	38.4	4.8	23.8	38.3	4.8	24.7
Sa baldır	29.3	6.9	20.1	29.1	7.4	20.7
Sa el	27.4	3.9	22.8	27.5	4.0	23.7
Sa kol	28.9	2.2	28.9	28.9	2.2	29.9
Sa omuz	15.0	1.8	24.3	16.1	2.0	25.0
Sol ayak	37.8	31.7	17.0	37.7	45.5	17.6
Sol bacak	36.0	4.9	23.1	35.8	4.9	24.1
Sol baldır	30.0	8.8	19.2	29.6	9.5	19.9
Sol el	34.2	6.4	21.1	33.5	6.3	22.1
Sol kol	35.5	3.5	26.0	35.2	3.4	27.0
Sol omuz	28.4	4.6	22.0	29.0	4.8	22.8
Vücut ortalaması	31.9	5.2	24.7	31.8	5.7	25.6

Çizelge 4.5'te yer alan veriler dikkate alındığında, 8 dakikalık ısıtma periyodu süresince lokal ısı ta nım katsayısı 2–15 W/m²K arasında de i mesine kar ın vücut için ortalama ısı ta nım katsayısı 4.2–4.5 W/m²K olarak hesaplanmıştır. 15 ve 20 dakikalık ısıtma periyotları arasında ise lokal ısı ta nım katsayısı 2–45 W/m²K değerleri arasında de i im göstermektedir. Bahsedilen bu be dakikalık ısıtma süresince vücut için ortalama ısı ta nım katsayısı 5.2–5.7 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda, manken yüzeylerine sabit ısı akısı uygulandı ı dikkate alınarak sol ayak yüzeyinde en dü ük yüzey sıcaklı ı yaklaşık olarak 18°C belirlenmiştir. Bunun yanında sol ayak yüzeyine yakın bölgede hava hareketleri oldukça dü üktür. Güçlü hava hareketinin meydana geldi i sol omuz yüzeyinde ise 3 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda yaklaşık olarak 15°C yüzey sıcaklı ı elde edilmiştir. Ortalama vücut yüzey sıcaklı ı dü ük bir artışla zamana ba lı olarak artmakta ve 20 dakikalık ısıtma periyodu sonrasında yaklaşık olarak 26°C hesaplanmıştır. Hesaplanan bu de er literatürde, Kaynaklı ve ark. (2005); ASHRAE (1997); Kaynaklı ve Kılıç (2005), tarafından gerçekleştirilen çalı malarda belirtilen aralıkta ve benzer çalı malarla uyum içerisinde dir.

Çizelge 4.7 t=8 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sanal insan modeli yüzeylerinde ı nım karakteristiklerinin zamana ba lı lokal ve genel de i imi

Vücut Yüzeyleri	t=3 dakika		t=8 dakika	
	q _r (W/m ²)	T _r (°C)	q _r (W/m ²)	T _r (°C)
Ba	22.8	11.3	26.8	13.9
Boyun	27.7	15.4	31.3	18.5
Gövde	26.5	23.2	29.6	24.4
Kasık	15.1	24.3	13.9	24.2
Sa ayak	26.1	11.2	25.7	12.0
Sa bacak	20.5	16.0	21.4	18.0
Sa baldır	29.7	12.1	30.8	13.1
Sa el	28.1	12.4	31.7	14.8
Sa kol	27.3	20.2	29.7	21.7
Sa omuz	32.6	11.1	40.4	13.8
Sol ayak	23.4	10.9	22.4	11.7
Sol bacak	23.7	15.6	24.1	17.1
Sol baldır	29.1	11.6	29.3	12.4
Sol el	23.8	12.5	24.8	14.4
Sol kol	21.9	18.3	23.3	19.8
Sol omuz	22.8	10.9	28.5	13.7
Vücut ortalaması	25.1	16.4	27.0	17.9

Çizelge 4.8 t=20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sanal insan modeli yüzeylerinde 1 mım karakteristiklerinin zamana ba lı lokal ve genel de i imi

Vücut Yüzeyleri	t=15 dakika		t=20 dakika	
	q_r (W/m ²)	T_r (°C)	q_r (W/m ²)	T_r (°C)
Ba	28.9	16.4	29.0	17.4
Boyun	32.9	21.4	32.7	22.2
Gövde	31.5	26.5	31.4	27.6
Kasık	13.0	25.6	13.1	26.4
Sa ayak	25.4	13.1	25.4	13.7
Sa bacak	21.6	20.0	21.7	21.0
Sa baldır	30.7	14.4	30.9	15.1
Sa el	32.6	17.0	32.5	17.9
Sa kol	31.1	23.7	31.1	24.7
Sa omuz	45.0	16.3	43.9	17.3
Sol ayak	22.2	12.8	22.3	13.4
Sol bacak	24.0	18.9	24.2	19.8
Sol baldır	30.0	13.7	30.4	14.3
Sol el	25.8	16.4	26.5	17.4
Sol kol	24.5	21.8	24.8	22.8
Sol omuz	31.6	16.3	31.0	17.2
Vücut ortalaması	28.1	19.8	28.2	20.8

1 mım ile olan ısı transferi hesaplamaları sonucunda çizelge 4.8-4.9’da yer alan 1 mım akıları de erlendirildi inde, 20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda lokal olarak ısı akıları 13–45 W/m² arasında de i mektedir. 20 dakikalık ısıtma periyodunun sonunda vücut için 1 mım akısının ortalama de eri yakla ık olarak 30 W/m² olarak hesaplanmı tır. 60 W/m² yüzey sınır artı dikkate alındı nda, ısıtma ba langıcında ta mım ile olan ısı transferinin vücut ile ortam arasında gerçekte en ısı transferi üzerindeki etkisinin daha fazla oldu u ancak ısıtma sürecinin devamında, 1 mım ile olan ısı transferinin etkisinin ta mım ile olan ısı transferine göre giderek arttı ı sonucu ifade edilebilir.

Çizelge 4.9’da ise kabin yüzeylerinde hesaplanan ortalama sıcaklık de erlerinin ve iç ortam havası ortalama sıcaklı mın zamana ba lı de i imi yer almaktadır.

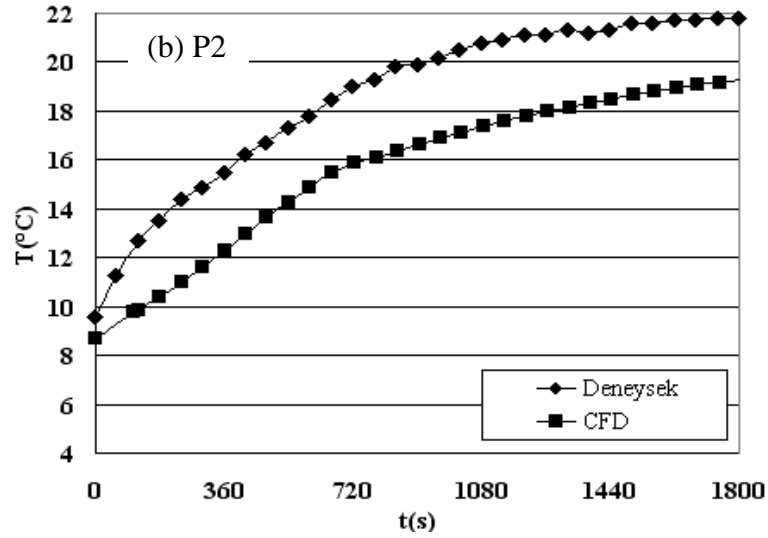
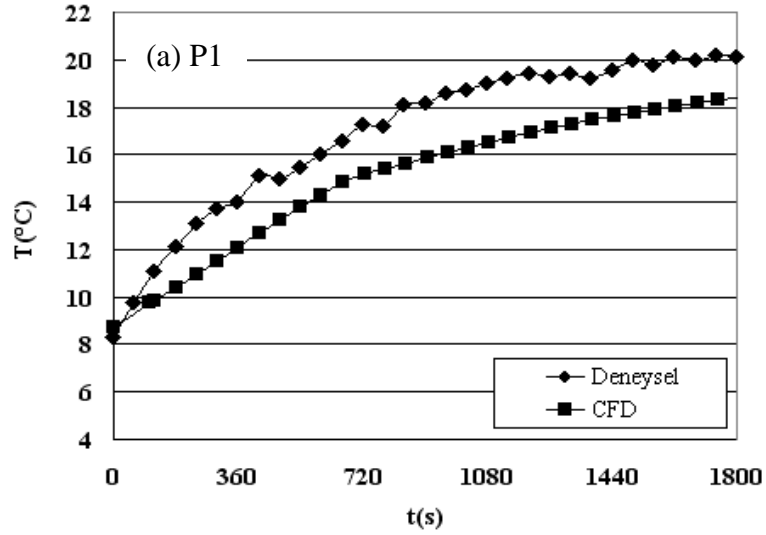
Çizelge 4.9 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi

Kabin Yüzeyleri	T(°C)			
	t=3 dakika	t=8 dakika	t=15 dakika	t=20 dakika
Ön cam	9.4	11.0	13.0	13.9
Arka cam	9.4	10.8	12.5	13.2
Sağ ön cam	9.3	10.9	12.8	13.7
Sağ arka cam	9.8	11.7	13.9	14.8
Sol ön cam	10.0	12.1	14.4	15.3
Sol arka cam	9.4	11.0	13.0	13.9
Sürücü koltuğu	12.0	14.0	15.8	16.6
Yolcu koltuğu (ön)	10.5	12.6	14.5	15.3
Yolcu koltuğu (arka)	10.1	12.1	14.0	14.9
Konsol	10.1	11.5	13.1	14.0
Merkez konsol	10.3	11.8	13.3	14.1
Direksiyon	12.4	14.6	16.8	17.8
Taban	9.2	10.0	10.8	11.2
Tavan	10.3	12.9	15.4	16.5
Kabin iç ortam(hava) sıcaklığı	10.9	13.5	15.8	16.8

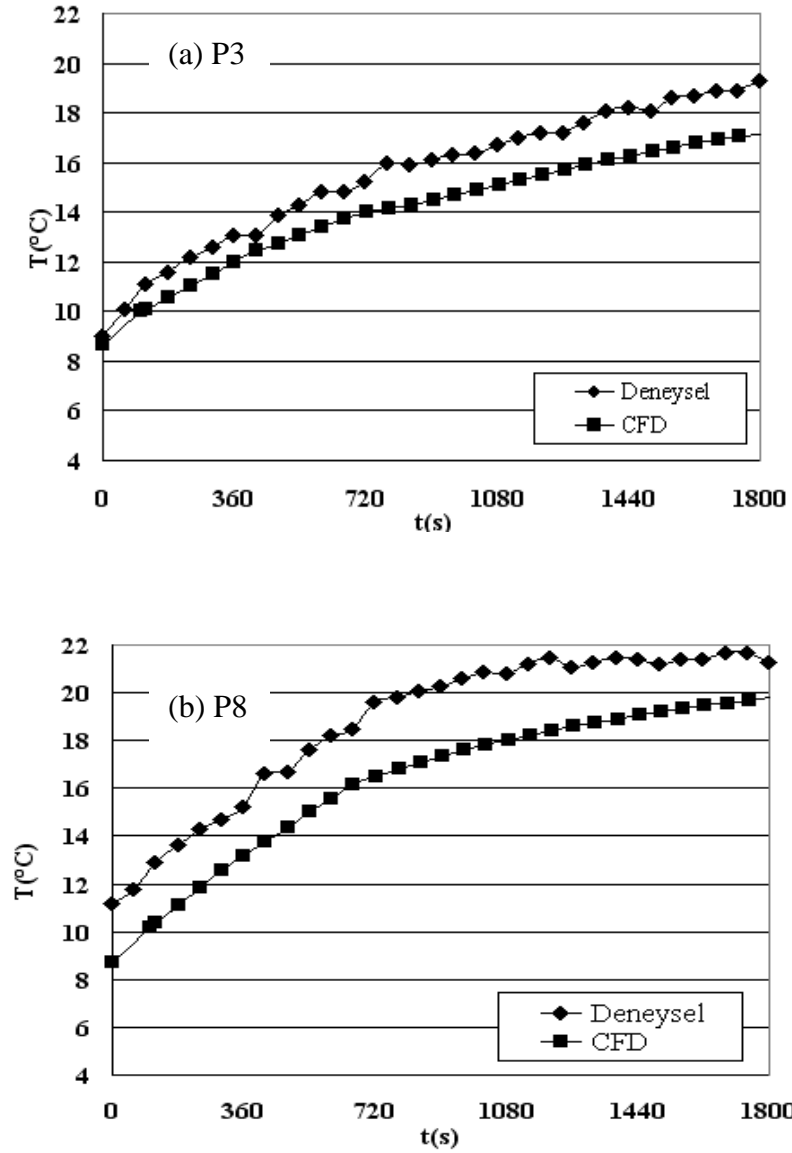
20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda maksimum sıcaklık direksiyon yüzeyinde yaklaşık 18°C elde edilmiştir. Hesaplanan en düşük sıcaklıklar ise taban ve cam yüzeylerinde olup, taban yüzeyinde elde edilen ortalama sıcaklık değeri yaklaşık olarak 11°C'dir. Isıtma periyodunun sonunda taban ile tavan arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık olarak 5°C'dir. İç ortam havası sıcaklığı ise 20 dakikalık ısıtma süresince sürekli artmakta ve bu sürecin sonunda yaklaşık olarak 17°C'ye ulaşmaktadır.

4.2.2 Tetrahedral A Yapısı ile Gerçekle tirilen Simülasyonların Do rulanması

Sayısal hesaplamalarda bölüm 3’te açıklandı ı üzere kabin içinde yer alan kritik noktalarda elde edilen zamana ba lı sıcaklık de erleri ve bu de erlerin deneysel verilerle kar ıla tırılması ekil 4.8-4.9’da yer almaktadır.



ekil 4.8 Kritik noktalarda (P1(a), P2(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması



ekil 4.9 Kritik noktalarda (P3(a), P8(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması

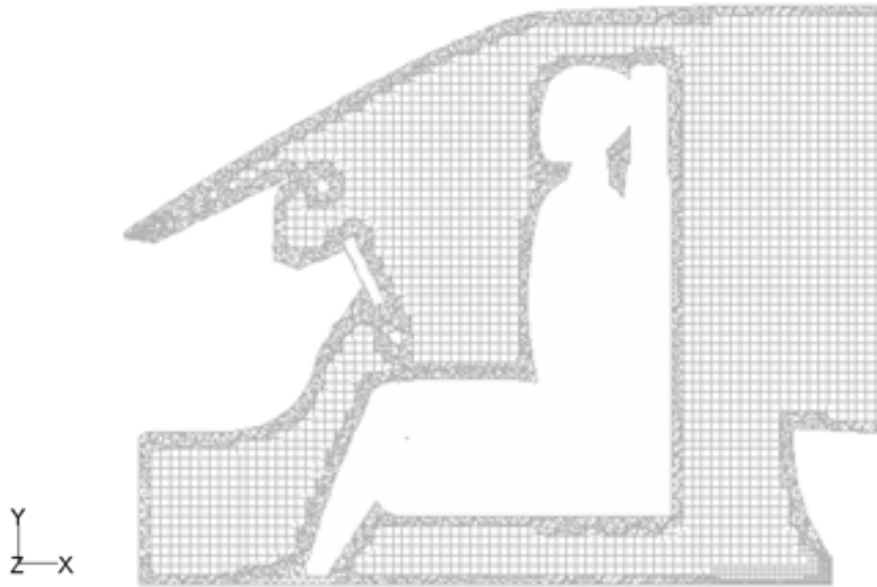
Kritik noktalarda hesaplanan sıcaklık de erleri ile deneysel ölçümler sonucunda elde edilen sıcaklık de erleri arasındaki fark genel olarak 2°C'dir. Hesaplamalar sonucu elde edilen sıcaklık e rileri deneysel çalı malardan elde edilen sıcaklık e rileri ile benzer karakteristikler göstermektedir.

4.2.3 Optimum A Yapısının Elde Edilmesi

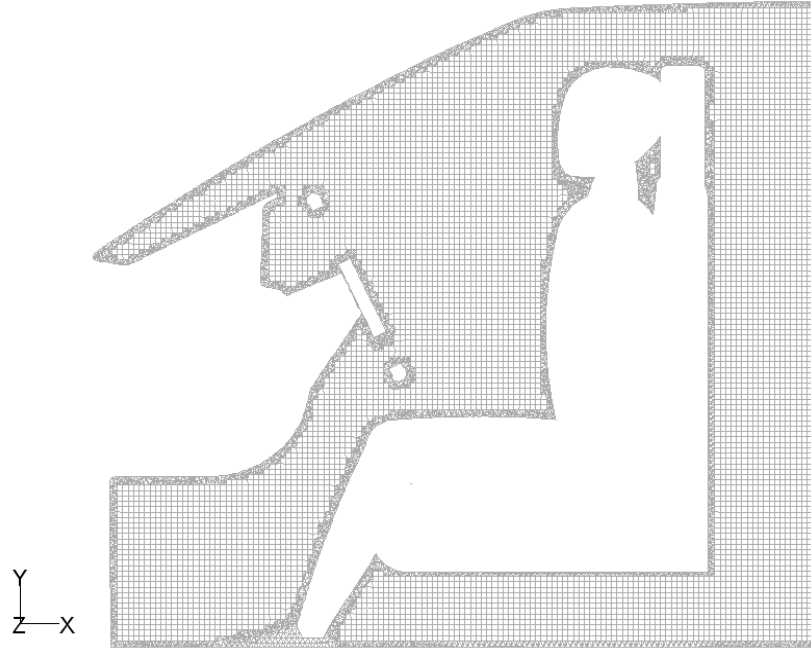
Tetrahedral a yapısı ile gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen verilerin deneysel çalışmalar ile karşılaştırılması sonucunda kritik noktalarda yaklaşık 2°C farklılık olduğu ifade edilmiştir. Bu farklılığı azaltmak ve hesaplamaların güvenilirliğini arttırmak amacıyla tetrahedral a yapısından farklı olarak Bölüm 3'te açıklanan Hex-Core adı verilen farklı bir a yapısı oluşturulmuştur. Burada amaç hacim içinde mümkün mertebe daha fazla düğüm noktasına sahip ve hexahedron elemanlardan oluşan bir a yapısı elde etmektir.

Bağlantıda 2.000.000 elemandan oluşan bir çözüm ağı ile analizler gerçekleştirilmiş ve daha sonra ise hesaplama zamanlarında sonuçlardan ödün vermeden iyileştirme yapabilmek için optimum eleman sayısına sahip Hex Core a yapısı elde edilmiştir. Bu bölümde 1.000.000 ve 2.000.000 eleman sayılarına sahip Hex Core A yapıları ile elde edilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması üzerinde durulacaktır.

Yaklaşık olarak 1.000.000 elemandan(Hex Core 1) ve yaklaşık 2.000.000 elemandan(Hex Core 2) oluşan çözüm ağlarının kesit görüntüleri ekil 4.10–4.11'de yer almaktadır. Her iki çözüme ilişkin detaylı bilgiler çizelge 4.10'da yer almaktadır.



ekil 4.10 Hex Core A Yapısının $Z=-0.3\text{m}$ düzleminde kesit görünümü(Hex Core-1)

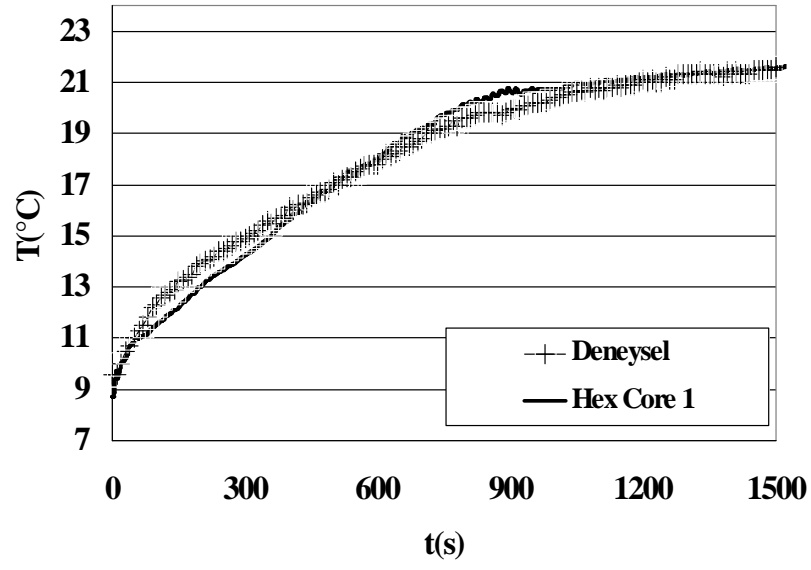


ekil 4.11 Hex Core A Yapısının $Z=-0.3m$ düzleminde kesit görünümü(Hex Core-2)

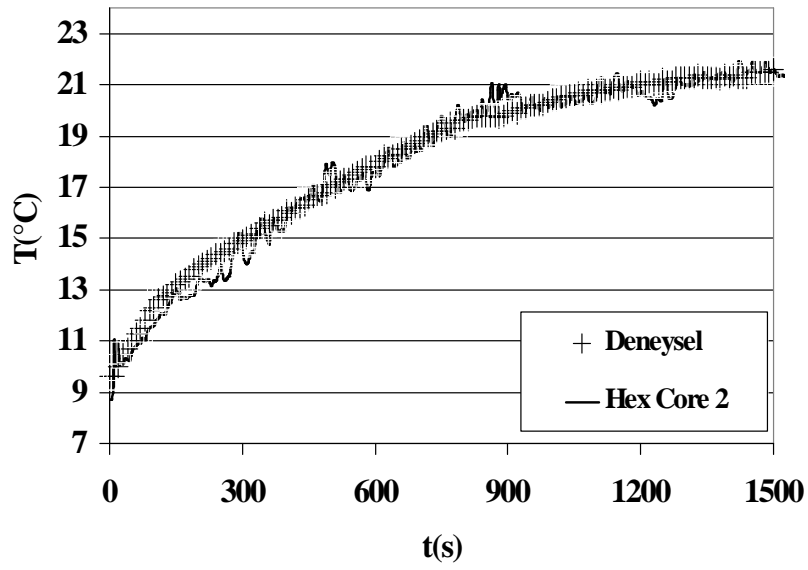
Çizelge 4.10 Hex Core çözüm a larına ili kin detaylı bilgiler

A yapısı	Hex Core 1	Hex Core 2
Yaklaşık Hacim eleman sayısı	1.000.000	2.000.000
Yaklaşık düğüm noktası sayısı	374.000	871.000
Yüzey a yapısı	Üçgen eleman	Üçgen eleman
Yaklaşık yüzey sayısı	2.000.000	5.000.000

1.000.000 ve 2.000.000 elemandan oluşan Hex Core a yapıları ile elde edilen sonuçların, sol arka koltuk baş seviyesinde(P2), sağ ön koltuk diz seviyesi(P4), iki koltuk arası baş seviyesi(P6) gibi bazı kritik noktalarda deneysel verilerle karşılaştırılması ekil 4.12–4.14’te yer almaktadır.

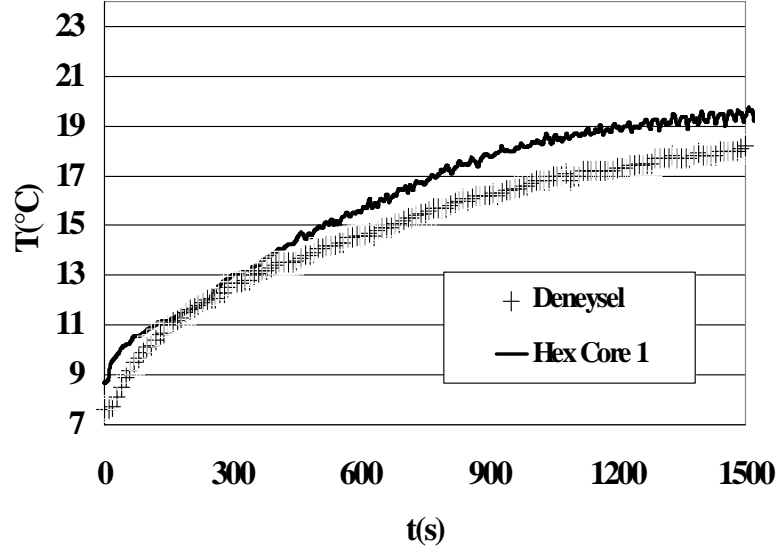


(a)

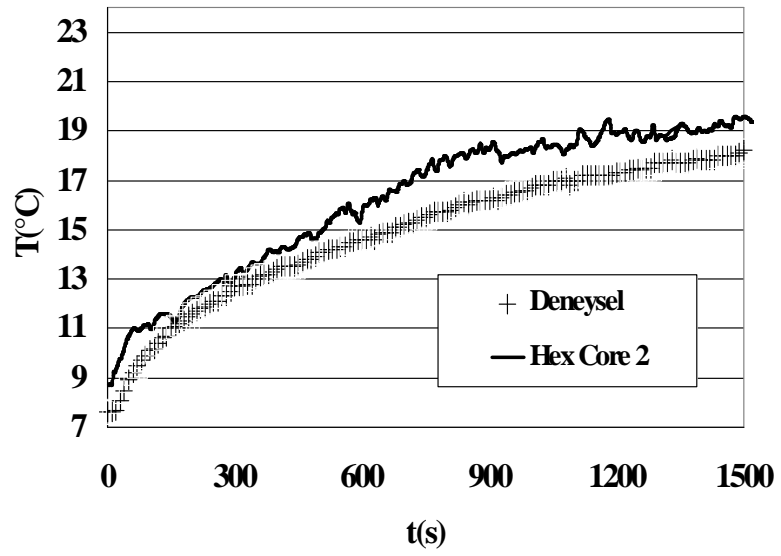


(b)

ekil 4.12 Farklı Hex Core A Yapıları ile P2 noktasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması, (a) Hex Core 1 (b) Hexcore 2

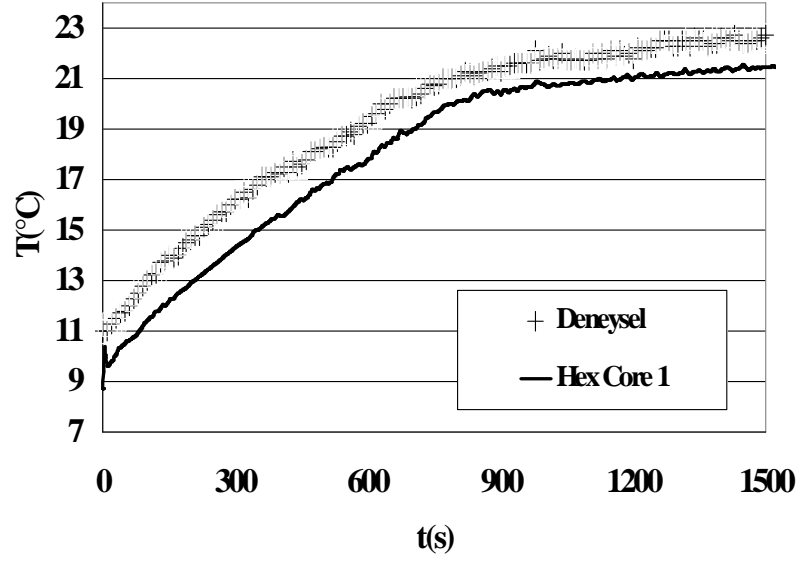


(a)

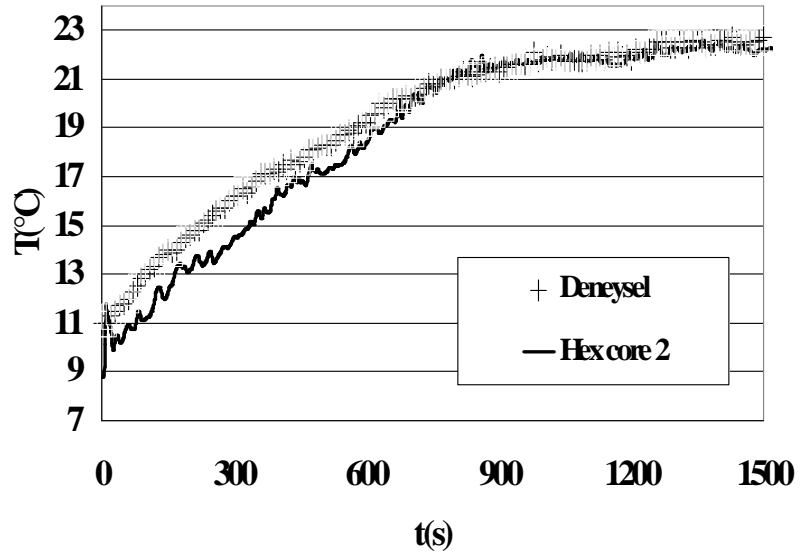


(b)

ekil 4.13 Farklı Hex Core A Yapıları ile P4 noktasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması, (a) Hex Core 1 (b) Hexcore 2



(a)



(b)

ekil 4.14 Farklı Hex Core A Yapıları ile P6 noktasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması, (a) Hex Core 1 (b) Hexcore 2

ekil 4.12-4.14'te yer alan kar ıla tırmalar ve tetrahedral çözüm a 1 ile elde edilen veriler de erlendirildi inde, Hex Core 1 ve Hex Core 2 çözüm a ları ile kritik noktalarda elde edilen sıcaklık de erleri, tetrahedral çözüm a 1 ile elde edilen sıcaklık de erlerine göre deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar vermektedir. Tetrahedral çözüm a 1 ile elde edilen sıcaklık de erleri ile deneysel verilerin kar ıla tırılması i leminde yakla ık 2°C sıcaklık farkı oldu u 4.2.2 kısmında ifade edilmi ti. Bu de er Hex Core çözüm a ları ile yakla ık 1°C'ye kadar dü ürülmü tür.

Hex Core 1 ve Hex Core 2 çözüm a ları kendi içinde kar ıla tırıldı ında ise elde edilen sıcaklık e rileri benzer e ilim göstermekte ancak hesaplama zamanları açısından Hex Core 2 çözüm a 1 yakla ık olarak iki kat daha fazla çözümleme zamanına sahiptir. Bu nedenle yakla ık 1.000.000 eleman sayısına sahip Hex Core 1 optimum çözüm a 1 olarak kabul edilebilir.

Hex Core 1 çözüm a 1 ile insan vücudu yüzeylerinde iki farklı sınır artı kullanılarak yapılan sayısal analizlerden elde edile sonuçlar bu bölümün 4.2.4 kısmında detaylı olarak aktarılmı tır.

4.2.4 Sabit Isı Akısı ve Sabit Sıcaklık Sınır Artları ile Kabin Simülasyonu

Bu kısımda, sanal insan ve otomobil kabininden oluşan bilgisayar modeli ile geçici rejimde ısıtma süreci için insan vücut yüzeylerinde farklı sınır artlarının kullanıldığı sayısal hesaplamalara ilişkin sonuçlar bulunmaktadır. Sanal insan modeli üzerinde sabit ısı akısı(I.Durum) ve sabit sıcaklık(II. Durum) olmak üzere iki farklı sınır artı kullanılmıdır. Otomobil kabini için gerçekleştirilen simülasyonlarda kullanılan çözüm metodu, yakınsama kriterleri, ağ yapısı, sınır artları gibi çözüme ilişkin temel bilgiler çizelge 4.11–4.14’te yer almaktadır.

Çizelge 4.11 Çözücü Ayarları, türbülans ve 1 inim modeli

Çözücü Ayarları, türbülans ve 1 inim modeli	
Zaman	Geçici Rejim
Çözücü	Basınca bağımlı e-zamanlı çözüm (Pressure Based/Coupled)
Gradyen seçeneği	Düüm noktası tabanlı (node-based)
Formülasyon	2.Dereceden kapalı çözüm (2 nd order implicit)
Denklemler	Akış, türbülans ve enerji denklemlerinin birlikte çözümü
Türbülans Modeli	RNG $k-\varepsilon$
1 inim modeli	Ayrık ordinat(DO)

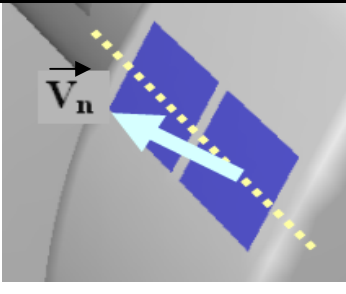
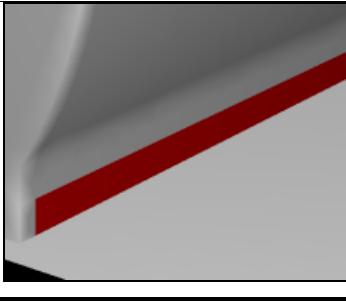
Gerçekleştirilen simülasyonlarda türbülans modeli olarak RNG $k-\varepsilon$ modeli seçilmiş ve akış, türbülans ve enerji denklemlerinin birlikte ele alındığı çözüm ekli kullanılmıdır. Hesaplamalarda kabin iç ortamında bulunan yüzeylerin 1 inim ile ısı transfer hesaplamaları için DO 1 inim modeli kullanılmıdır.

Lombardi ve ark. (2007), çalışmalarında hesaplamalar için Fluent yazılımını, kabin iç ortamında tetrahedral ağ yapısı oluşturularak yaklaşık 3.4 milyon elemandan oluşan bir çözüm ağını kullanmışlardır. Türbülans modeli olarak standart $k-\varepsilon$ modelini, 1 inim ile ısı transferi için DO modelini, cam yüzeylerde ise tam 1 inim sınır artını içeren HAD analizleri gerçekleştirmişlerdir.

Çizelge 4.12 A yapısı ve sınır artları

A yapısı	
A yapısı	Tür: Hex Core
Hacim eleman sayısı	Hacim eleman sayısı: 1.000.000
Düüm noktası sayısı	Düüm noktası sayısı : 374.000
Yüzey a yapısı	Tür: Üçgen eleman
Sınır artları	
Manken yüzeyleri(I.Durum)	Sabit ısı akısı(60W/m^2)
Manken yüzeyleri(II. Durum)	Sabit sıcaklık sınır artı ($T=33.7$ ve $T=24.4^\circ\text{C}$)
Giri menfezleri(Sıcaklık)	De i ken sıcaklık ($T(t)$) sınır artı,
Giri menfezleri(Hız)	Hız kademesine ba lı sabit hız de eri
Çıkı menfezleri	Geriye dönü sıcaklı ı sınır artı
Kabin dı yüzeyleri	Rüzgar hızına ba lı ta nım sınır artı
Kabin iç yüzeyleri	Isıl adyabatik sınır artı $q = 0 \text{ W/m}^2$

Hesaplamalarda, otomobil kabininde, hacimde hexahedron elemanlardan olu an Hex Core a yapısı belirlenmi tir. Yüzeylerde ise geometrinin karma ıklı ı nedeniyle üçgen elemanlar tercih edilmi tir. Burada amaç mümkün mertebe hacim içerisinde hexahedron elemanlardan olu an bir çözüm a ı olu turmaktır. Menfezlerde belirlenen sınır artlarına ili kin detay bilgiler ekil 4.15'te yer almaktadır.

<p style="text-align: center;"><u>Giri Menfezleri</u></p> <p><u>Momentum :</u> -V_n (Hız) : 2.5 m/s -Türbülans yo unlu u: % 10</p> <p><u>Isı Transferi:</u> -$T_{giri} = T(t)$ (De i ken menfez giri sıcaklı ı sınır artı)</p>	
<p style="text-align: center;"><u>Çıkı Menfezleri(s)</u></p> <p><u>Momentum :</u> - Geriye akı türbülans yo unlu u : % 10 - D_h : 0.2m</p>	

ekil 4.15 Menfezlerde kullanılan sınır artları

nsan vücut yüzeyleri ve tüm vücut için ısı karakteristikleri hesaplamaları, kabin içerisinde sürücünün kabin yüzeyleri ile temasta olmasından dolayı toplam yüzey alanının azaldı ı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Otomobil kabininde sanal insan modeli, modele ait yüzeyler ve toplam yüzey alanı ekil 4.16'da gösterilmiştir.

Sanal insan modeli yüzeylerinde belirlenen sabit ısı akısı ve sabit sıcaklık sınır artı ile gerçekleştirilen tüm analizler ısıtma periyodunda geçici rejimde gerçekleştirilmiştir. Sürücünün otomobil içerisinde sürü esnasında üretti i metabolik ısı miktarı $60-115 \text{ W/m}^2$ 'dir(ASHRAE 1997). Bu de er dikkate alınarak sabit ısı akısı sınır artı uygulanmıştır.

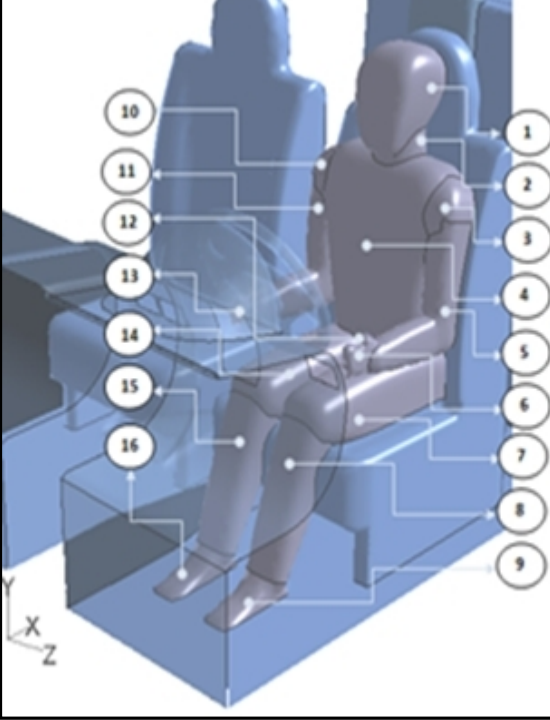
Gerçekle tirilen sayısal simülasyonlarda insan vücudundan ortama geçen toplam ısı miktarının hesaplanmasında a a ıda belirtilen ısı geçi i mekanizmaları dikkate alınarak çözümlenmektedir. Bu mekanizmalar a a ıda yer almaktadır.

1- Deriden iletim, ta ınım ve ı ınım mekanizmaları ile gerçekle en duyulur ısı geçi i

2- Deriden ortama buharla ma yoluyla gerçekle en ısı geçi i.

3- Solunum aracılı ıyla vücuttan ortama gerçekle en duyulur ve gizli ısı geçi i

olarak ifade edilebilir. Buharla ma yoluyla deriden ortama gerçekle en ısı geçi i, terleme sonucu olu an terin buharla ması ile ortama geçen ısı ve terin vücuttan difüzyon ile uzakla tırılması sonucu ortama geçen ısı olmak üzere ikiye ayrılır.



Yüzey Numarası	Yüzey adı	Yüzey alanı (m ²)
1	Ba	0.119
2	Boyun	0.020
3	Sol omuz	0.016
4	Gövde	0.237
5	Sol kol	0.113
6	Sol el	0.018
7	Sol baldır	0.096
8	Sol bacak	0.139
9	Sol ayak	0.027
10	Sa omuz	0.016
11	Sa kol	0.113
12	Kasık	0.005
13	Sa el	0.018
14	Sa baldır	0.096
15	Sa bacak	0.139
16	Sa ayak	0.027
Toplam yüzey alanı (m ²)		1.20

ekil 4.16 Mankene ait lokal yüzeyler

Hesaplamalarda insan vücudunun kabin yüzeyleri ile temasta olan yüzeylerinde iletim olan ısı transferi hesaplamaları için ısıl adyabatik yüzey sınır artı kullanılmı tır. Hesaplamalarda solunum yoluyla gerçekle en ısı geçi i ihmal edilmi tır. Dolayısıyla sabit ısı akısı ile gerçekle tirilen analizlerde deriden ortama ta ınım ve ı ınım yoluyla gerçekle en duyulur ısı geçi i dikkate alınarak insan vücut yüzeylerinde sabit ısı

akısı($60\text{W}/\text{m}^2$) olacak ekilde sınır artı tanımlanmıştır. İkinci durumda ise giysili yüzeyler için giysi ısı direnci $1\text{ clo}(0.155\text{m}^2\text{C}/\text{W})$ olacak ekilde giysili yüzeylerde 24.4°C , giysi olmayan yüzeylerde(ba , boyun ve eller) ise 33.7°C olacak ekilde sabit sıcaklık sınır artı kullanılmıştır.

Çözüm i lemlerinde kullanılan bilgisayar, hesaplama zamanı ve çözüm metoduna ili kin bilgiler çizelge 4.13'te yer almaktadır.

Çözüm i lemlerinde yakınsama kriterleri ve ba langıç ko ullarına ili kin temel bilgiler çizelge 4.14'te ifade edilmiştir. Gerçekle tirilen sayısal hesaplamalar yüksek hız kapasitesine sahip workstation türü bilgisayarda ve paralel çözüm metodu kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede çözümlene zamanlarında iyile tirmeler sa lanmıştır.

Hesaplamalarda deneysel çalı malar sonucunda elde edilen verilerle kabin iç ortam ba langıç sıcaklı ı 8.7°C olarak belirlenmiştir. Hesaplama i lemleri için zaman adımı ba langıçta 0.001s seçilmiştir ve daha sonra sonuçların yakınsama durumuna göre, 1s zaman adımını a mayacak ekilde çözümler gerçekle tirilmiştir.

Zhang ve ark. (2009), çalı malarında Fluent yazılımı kullanarak, otomobil kabini içerisinde hava akı ı ve sıcaklık da ılımı analizlerini gerçekle tirmişlerdir. Türbülans modeli olarak standart $k-\varepsilon$ modelini, ayrıkla tırma metodu formülasyonu olarak 2.dereceden kapalı çözüm metodunu, a yapısında tetrahedron eleman türünü, basınç hız ili kilendirmesinde ise SIMPLE algoritmasını ve çözümlerde ise 1s 'lik bir zaman adımını kullanarak sayısal hesaplamalar yapmışlardır. Hesaplamalarında basit geometriye sahip dört adet sanal insan modeli kullanmışlar ve sanal insan modeli yüzeylerinde sürücü için vücut üzerinde uniform da ılıma sahip toplam 176W , yolcular için ise 116W olacak ekilde sınır artı belirlemi lerdir

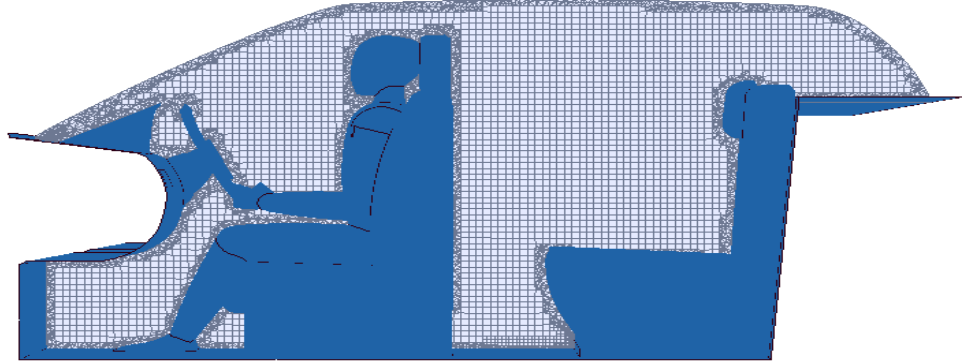
Çizelge 4.13 Çözüm metodu, Workstation ve ayırma metodu

Çözüm metodu ve workstation	
Çözüm metodu	3D Paralel
Workstation	2 x Quad-Core Intel Xeon processor
Çözüm a ımının kısımlara ayrılması	Kartezyen metot
Toplam hesaplama zamanı	10-15 gün
Isıtma Süresi	30 dak.

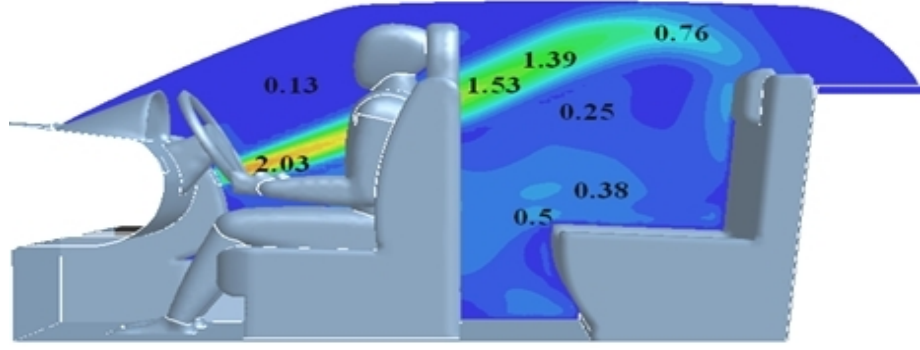
Çizelge 4.14 Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri

Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri	
Kabin iç ortam sıcaklığı	8.7°C
Dış ortam sıcaklığı	8.7°C
($t_{gerçek} = 1$ dak.)	zaman adımı: 0.001s
($t_{gerçek} = 1-3$ dak.)	zaman adımı: 0.01s
($t_{gerçek} = 3-5$ dak.)	zaman adımı: 0.1s
($t_{gerçek} = 5-30$ dak.)	zaman adımı: 1s
Yakınsama kriteri	Normalize edilmiş kalanlar
Süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi	$10^{-4} / 10^{-5} / 10^{-7} / 10^{-6}$
Basınç-hız ilişkisi tanımlanması	SIMPLE
Ayrıklı tırma metodu(Basınç)	Standart
Ayrıklı tırma metodu(Akışkanlık, enerji ve kütle)	2.dereceden Upwind yöntemi

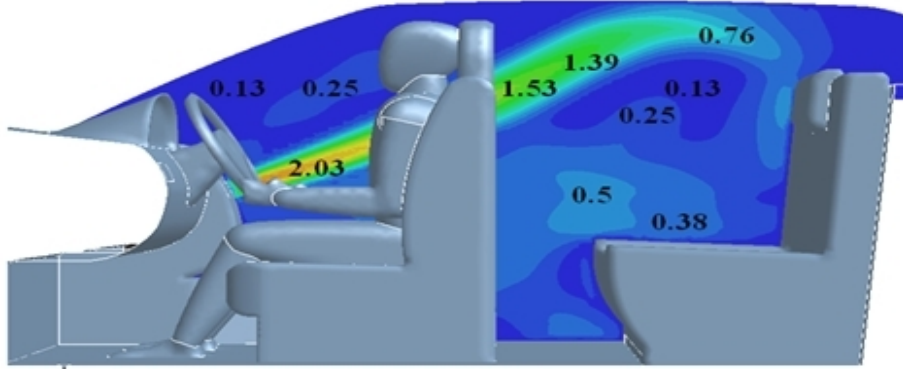
Hesaplamalarda kullanılan a yapısının kabin orta düzleminde kesit görünümü ekil 4.17’de yer almaktadır. Bu düzlemlerde hesaplamalar sonucunda her iki durum için elde edilen zamana bağlı sıcaklık ve hız dağılımına ilişkin sonuçlar ekil 4.18–4.24’de yer almaktadır.



ekil 4.17 Isıtma analizlerinde kullanılan Hex Core a yapısının kabin orta düzleminde kesit görünümü



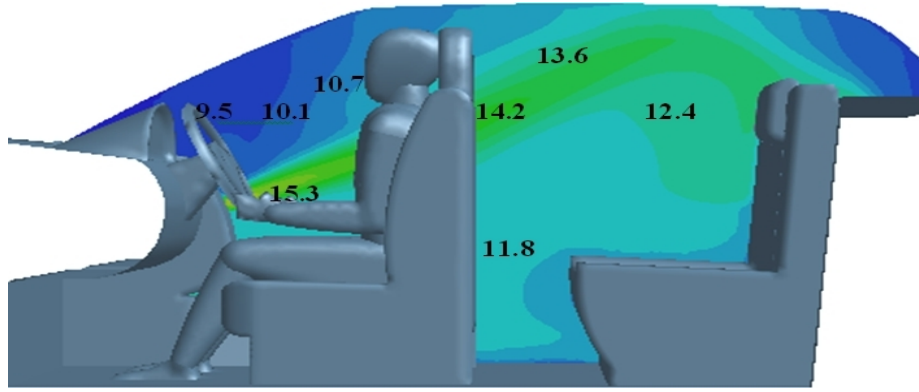
(a)



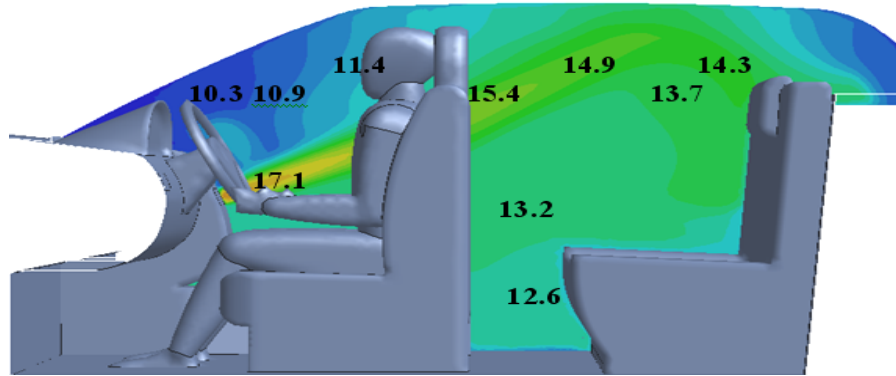
(b)

ekil 4.18 Kabin orta düzleminde hız dağılımının zamana bağlı değişimi (I.Durum),
(a) 300s (b) 900s

ekil 4.18'de yer alan hız dağılımına ilişkin sonuçlar incelendiğinde, kabin içinde hız dağılımı, ısıtma süresinin ilk 5–10 dakikalık kısmında sürekli rejim koşullarına yaklaştığı sonucu çıkarılabilir. İlerleyen zaman dilimlerinde küçük değişiklikler meydana gelmektedir. Maksimum hız değerleri giriş menfezlerine yakın bölgede ve yaklaşık 2.1 m/s olarak hesaplanmıştır. Hız değerleri menfezlerden uzaklaştıkça arka kısımda giderek azalmaktadır. Hesaplamalar sonucunda insan yüzeyine yakın bölgelerde hız yaklaşık 0.1-0.2m/s olarak elde edilmiştir. Kabin orta düzleminde 30 dakikalık ısıtma periyodu süresince elde edilen sıcaklık dağılımları ekil 4.19–4.21'de yer almaktadır.



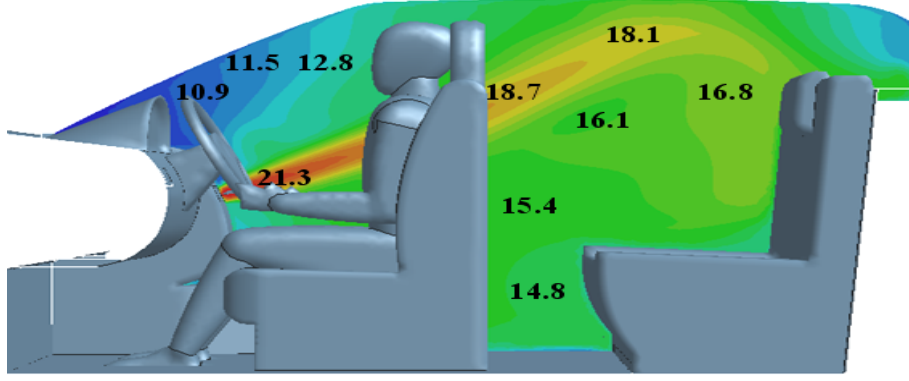
(a)



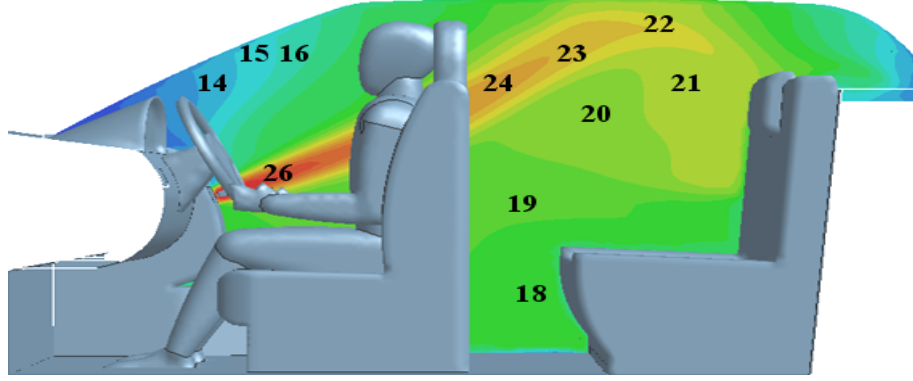
(b)

ekil 4.19 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı(I.Durum), (a) 60s (b) 120s

Ba langıçtan itibaren 1 dakika süren ısıtma süresince, kabin orta düzleminde sıcaklık de erleri yakla ık $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ arasında olmak üzere dü ük de erlerde hesaplanmı tır. Dolayısıyla ısıtma ba langıcında maksimum sıcaklık farkı 5°C 'dir. En dü ük sıcaklık de eri ön cam yüzeyine yakın bölgede meydana gelmekte ve yakla ık 10°C hesaplanmı tır. Bunun nedeni cam yüzeyinden dı ortama olan ısı kaybıdır. Bir ve iki dakikalık ısıtma süreçleri sonunda, kabin arka kısmında hesaplanan en dü ük sıcaklık de erleri ise ayak seviyesinde yakla ık $12\text{--}12.5^{\circ}\text{C}$ arasında hesaplanmı tır. ki dakikalık ısıtma süresi sonunda maksimum sıcaklık de eri ise menfeze yakın bölgelerde yakla ık 17°C bulunmu tur.



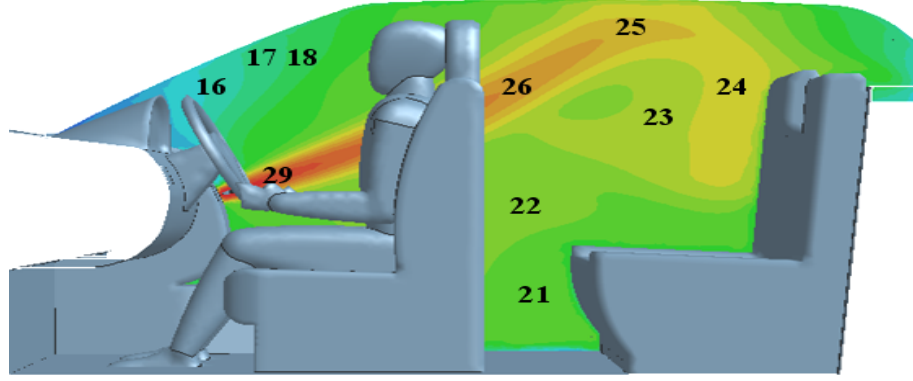
(a)



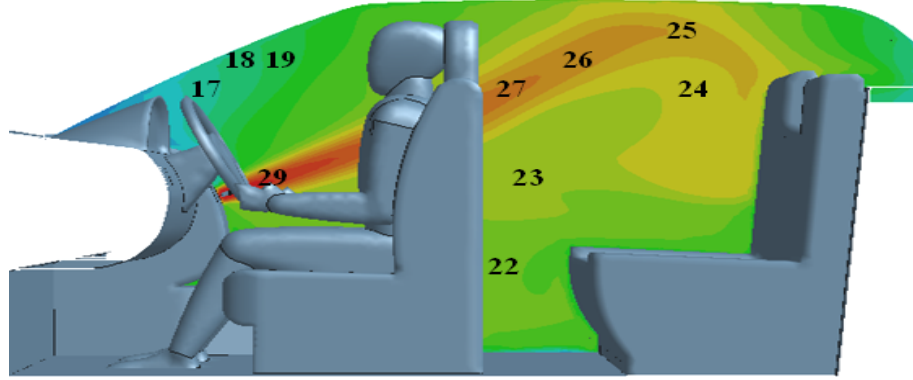
(b)

ekil 4.20 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı(I.Durum), (a) 300s (b) 600s

10 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin içinde orta düzlemde minimum sıcaklık 14°C'dir. Bu süreçte kabin orta düzleminde maksimum sıcaklık farkı yaklaşık olarak 10°C'dir. Sıcaklık gradyanı'nın ısıtma başlangıcına göre hızla arttığı gözlemlenmektedir. Bu sıcaklık gradyanındaki artışın nedenleri arasında zamana bağlı olarak artan menfez sıcaklıkları ve iç ortam sıcaklığı verilebilir. Diğer taraftan dış ortam 8.7°C sıcaklığı sabit olup iç ortam sıcaklığı artmaya devam ettiği için kabin dış yüzeyleri ve cam yüzeylerden olan ısı kayıpları artmaktadır. Bu ise cam yüzeylere yakın bölgeler ile diğer kabin bölgeleri arasında yüksek sıcaklık farklılıkları meydana getirmektedir.



(a)

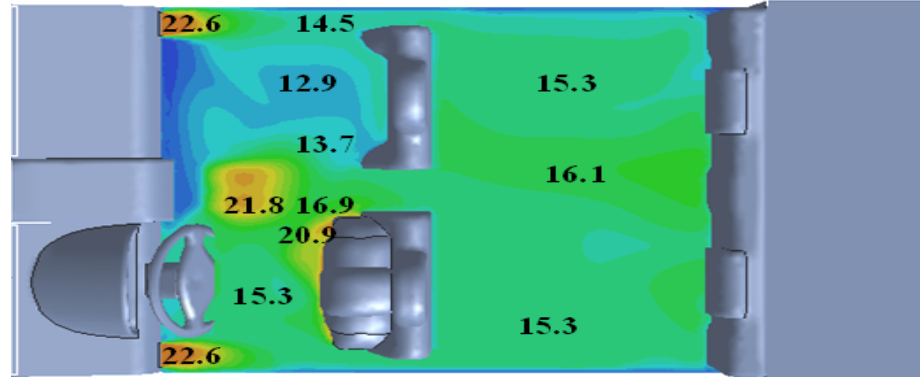


(b)

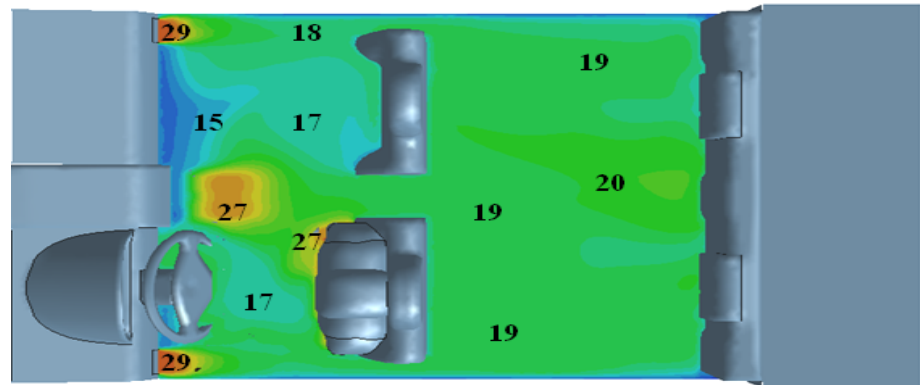
ekil 4.21 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) dağılımı(I.Durum) (a) 1200s (b) 1800s

20 dakikalık ısıtma periyodu ve devam eden zaman dilimi sonucunda kabin orta düzleminde aynı noktalar için elde edilen sıcaklık değerleri arasında küçük sayılabilecek ($1-2^{\circ}\text{C}$) değişiklikler meydana gelmektedir. İç ortam sürekli rejim koşullarına yaklaşmaktadır. Kabin arka kısmında sıcaklık değerleri 20°C 'nin üzerinde hesaplanmıştır. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda maksimum sıcaklık menfez bölgelerine yakın kısımlarda yaklaşık 30°C elde edilmiştir.

Kabin orta düzleminde elde edilen sıcaklık değerleri dikkate alındığında ısıtma periyodunun ilk 10 dakikasında sıcaklık gradyanı oldukça hızlı değişim göstermektedir. Aynı noktalar arasındaki sıcaklık farkı 20 ve 30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda yaklaşık $1-2^{\circ}\text{C}$ seviyesine düşmektedir. Dolayısıyla sürekli rejim koşullarına 30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda ulaşıldığı sonucuna varılabilir.



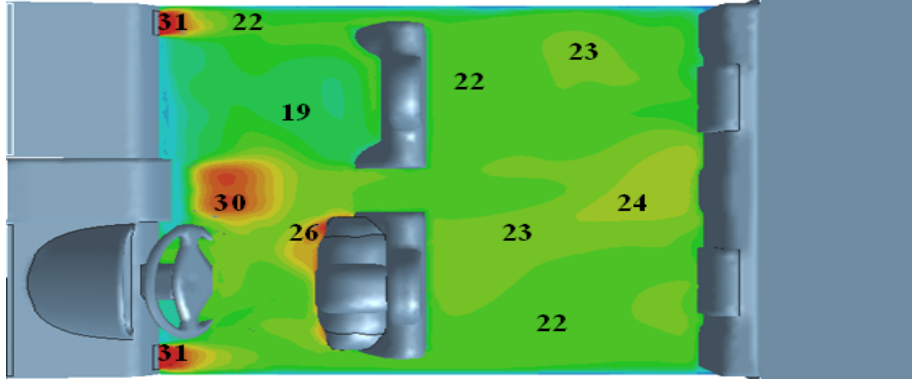
(a)



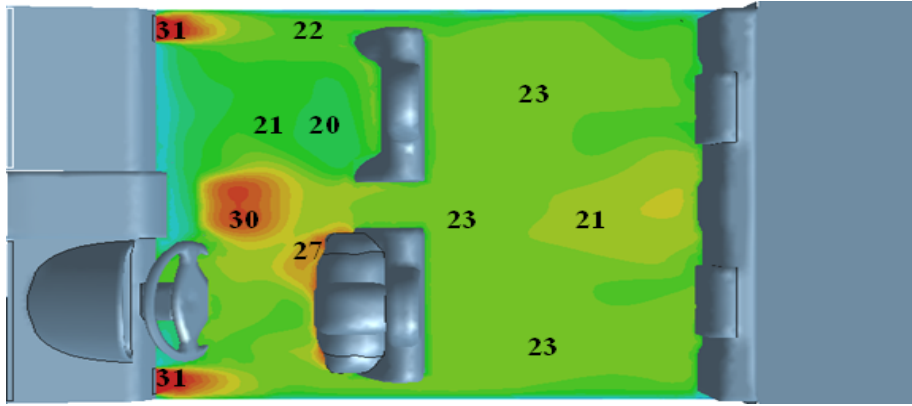
(b)

ekil 4.22 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) dağılımı (I.Durum), (a) 300s (b) 600s

ekil 4.22-4.23'te yer alan menfez düzleminde de kabin orta düzlemine benzer bir durum gözlemlenmektedir. Kabin ön kısmında arka kısma göre daha büyük sıcaklık farklılıkları meydana gelmektedir. 5 dakikalık ısıtma sonucunda kabin ön koltuk kısmında düşük sıcaklık değerleri elde edilmiş ve yaklaşık 13°C 'dir. Bu düzlemde insan vücuduna yakın bölgelerde $15\text{-}22^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Bu sonucun başlıca nedenleri arasında, insan vücudu yüzeylerinden ortama olan ısı geçişi ve menfez sıcaklıklarındaki artış gösterilebilir. Kabin arka kısmında ise farklı noktalar arasında düşük sıcaklık farklılıkları meydana gelmekte ve dış yüzeylere yakın bölgelerde ise kabin iç ortamına göre ısı kaybından dolayı daha düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir.



(a)



(b)

ekil 4.23 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı(I.Durum),(a)1200s (b) 1800s

Kabin menfez düzleminde 20 ve 30 dakikalık ısıtma periyotları sonucunda elde edilen sıcaklık da ılımları incelendi inde sıcaklık de erleri açısından dikkate de er büyüklükte farklılıklar olmadı ı görülmektedir. Kabin ön ve arka kısmında farklı durumlar söz konusudur. Arka kısımda sıcaklıklar arasındaki fark $1-2^{\circ}\text{C}$ arasında de i irken, ön kısımda ise sıcaklık de erinde yaklaşık 20°C 'den 31°C ye varan bir de i im meydana gelmektedir. Kabin menfez düzleminde ön konsola ve cam yüzeylerine yakın bölgelerde daha dü ük sıcaklıklar hesaplanmı tır.

nsan vücut yüzeylerinde ısı karakteristlikler için gerçekte tirilen hesaplamalarda her bir kısım için toplam 6 adet parametrenin zamana ba lı lokal de i imi incelenmi tir. Benzer hesaplama her bir durum için vücut yüzeyinde ortalama de erler ele alınarak da incelenmi tir. Gerçekte tirilen hesaplamalarda tüm fiziksel parametreler alan a ırlıklı ortalama kullanılarak hesaplanmı tır.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad 4.2.1$$

Burada i vücut kısımlarını, x_i bu kısımlarda hesaplanan parametreyi, A_i her bir vücut kısmının alanını, n ise hesaplamalarda kullanılan insan vücudunun toplam kısım sayısını göstermektedir. Ayrıca vücut yüzeyleri ile ortam arasında ta nım ve ı nım ile gerçekte en ısı transfer hesaplamalarını kar ıla tırmak amacıyla boyutsuz bir ϕ sayısı tanımlanmı tır. Bu sayı ile ilgili ifadeler 4.2.2-4.2.4'te yer almaktadır.

$$\phi_c = \frac{q_c}{q_c + q_r} \quad 4.2.2$$

$$\phi_r = \frac{q_r}{q_r + q_t} \quad 4.2.3$$

$$\phi_c = 1 - \phi_r \quad 4.2.4$$

Bu ifadelerde ϕ_c , ϕ_r sırasıyla ta nım ve ı nım ile gerçekte en ısı transferini de erlendirmek için belirlenen boyutsuz sayılardır. Tanımlanan bu sayılarla vücut ile ortam arasında ısıtma sürecinde gerçekte en toplam ısı transferinde ta nım ve ı nımın ne derece etkili oldu u konusunda sonuçlsr elde edilmi tir. 30 dakikalık ısıtma periyodu süresince insan vücuduna ait yüzeylerde hesaplanan lokal ısı transfer karakteristikleri çizelge 4.15'de gösterilmi tir.

Çizelge 4.15 Sanal insan modeli yüzeylerinde ısı transfer karakteristiklerinin zamana bağlı lokal değişimi(I.Durum)

t (s)	q_c W/m ²	h_c W/m ² K	T_s °C	q_r W/m ²	h_r W/m ² K	T_r °C	q_c W/m ²	h_c W/m ² K	T_s °C	q_r W/m ²	h_r W/m ² K	T_r °C
Ba							Sa bacak					
60	32.2	4.5	16.1	27.8	5.2	10.8	36.6	15.5	20.3	23.4	5.5	16.1
180	29.2	29.3	18.0	30.8	5.3	12.2	36.3	11.1	21.4	23.7	5.6	17.1
300	27.6	36.2	19.4	32.4	5.4	13.3	35.6	9.1	22.3	24.4	5.6	17.9
600	25.0	10.1	22.2	35.0	5.5	15.9	32.5	5.8	25.7	27.5	5.8	20.9
900	22.1	6.8	24.5	37.9	5.7	17.8	32.6	5.0	27.3	27.4	5.9	22.7
1200	22.9	6.3	25.2	37.1	5.7	18.7	32.5	4.7	28.0	27.5	5.9	23.4
1800	22.8	5.7	26.0	37.2	5.8	19.5	32.7	4.4	28.9	27.3	6.0	24.3
Gövde							Sol bacak					
60	30.4	15.3	25.0	29.6	5.7	19.9	34.8	15.9	20.1	25.2	5.5	15.5
180	28.3	9.2	26.1	31.7	5.8	20.6	34.5	11.6	21.3	25.5	5.5	16.6
300	27.5	7.6	27.3	32.5	5.9	21.7	34.3	9.8	21.9	25.7	5.6	17.3
600	24.9	5.4	30.5	35.1	6.0	24.7	31.5	6.5	24.8	28.5	5.7	19.9
900	23.7	4.4	32.5	36.3	6.2	26.6	31.8	5.5	26.4	28.2	5.8	21.6
1200	24.2	4.2	33.5	35.8	6.2	27.7	31.7	5.1	27.2	28.3	5.9	22.3
1800	24.2	3.9	34.3	35.8	6.3	28.6	31.5	4.7	28.1	28.5	5.9	23.3
Sa kol							Sa baldır					
60	32.5	21.0	23.0	27.5	5.6	18.1	29.1	23.9	18.0	30.9	5.3	12.2
180	31.1	12.2	23.7	28.9	5.7	18.6	28.0	16.6	18.9	32.0	5.4	12.9
300	30.0	9.6	25.0	30.0	5.7	19.8	28.3	15.4	19.1	31.7	5.4	13.2
600	26.1	5.8	28.6	33.9	5.9	22.9	27.3	10.4	21.2	32.7	5.5	15.2
900	25.5	4.9	30.3	34.5	6.0	24.6	25.9	8.0	22.8	34.1	5.6	16.7
1200	25.7	4.6	31.2	34.3	6.1	25.5	24.9	7.3	23.5	35.1	5.6	17.3
1800	25.5	4.3	32.0	34.5	6.1	26.4	25.0	6.6	24.3	35.0	5.7	18.1
Sol kol							Sol baldır					
60	33.7	20.4	20.8	26.3	5.5	16.1	27.9	29.3	17.6	32.1	5.3	11.6
180	31.8	15.2	22.3	28.2	5.6	17.2	26.9	20.5	18.4	33.1	5.3	12.2
300	30.8	11.4	23.1	29.2	5.6	17.9	26.5	17.7	18.8	33.5	5.4	12.6
600	27.4	7.2	26.0	32.6	5.8	20.4	25.4	11.6	20.7	34.6	5.5	14.4
900	26.1	5.8	27.9	33.9	5.9	22.2	23.8	8.9	22.2	36.2	5.5	15.7
1200	25.8	5.3	29.0	34.2	6.0	23.3	23.0	7.9	22.9	37.0	5.6	16.3
1800	26.1	4.9	29.8	33.9	6.0	24.1	22.8	7.1	23.8	37.2	5.6	17.2

Çizelge 4.15'te yer alan q_c (W/m²) ve q_r (W/m²) vücut yüzeyleri ile ortam arasında gerçekleşen ısı transferi için sırasıyla ta nım ve ı nım ısı akılarını, h_c (W/m²K) ve h_r (W/m²K) ise sırasıyla ısı ta nım ve ı nım ile ısı transfer katsayılarını, T_s (°C)vücut yüzey sıcaklığını, T_r (°C) ise vücut yüzeyleri için hesaplanan ı nım sıcaklığını göstermektedir. I.durumda T_s (°C) vücut yüzey sıcaklığı, Fluent yazılımında hesaplamalar sonucunda elde edilebilmektedir. q_r (W/m²) ısı akısının deri ise bölüm 3'te açıklanan ı nım modelleri kullanılarak Fluent yazılımından doğrudan elde edilmektedir. Ta nım ve ı nım ile gerçekleşen toplam ısı akısı(60W/m²) I.durumda

sabit alındı ından, $q_c (W/m^2)$ ta ınım ile ısı akısı bu sınır artından hesaplanabilir. $T_r(^{\circ}C)$ ı ınım sıcaklı ı, $h_c(W/m^2K)$ ısı ta ınım katsayısı ve $h_r(W/m^2K)$ ı ınımla ısı tranfer katsayılarının hesaplanmasına ili kin bilgiler bölüm 3'te bahsedilmi ti.

Çizelge 4.5'te yer alan lokal bölgelerde hesaplanan $T_r(^{\circ}C)$ ı ınım sıcaklı ı, kabin yüzey sıcaklıklarının zamana ba lı artı ı nedeniyle, ortam sıcaklı ından daha çok artı göstermektedir. Dolayısıyla artan zamanla birlikte $q_r (W/m^2)$ ısı akısının de eri hızla artmaktadır. Di er taraftan vücut yüzeyleri için hesaplanan ı ınım sıcaklı ı, ı ınımla ısı transfer katsayısı ve ı ınım ile olan ısı akısı benzer bir davranı göstererek zamana ba lı olarak ısıtma süresince artmaktadır. nsan vücutu yüzey sıcaklıkları ise artan ortam sıcaklı ına ba lı olarak artı göstermektedir. Buna kar ın lokal ısı ta ınım katsayılarında ısıtma ba langıcında zamanla oldukça hızlı azalma görülmekte ve zamana ba lı olarak bu de i im giderek azalmaktadır. En dü ük yüzey sıcaklı ı bir dakikalık ısıtma sonucunda $16.1^{\circ}C$ olarak ba yüzeyinde hesaplanmı tır. Sa ve sol baldır gibi kabin tabanına yakın bölgelerde bir dakikalık ısıtma periyodu sonucunda bulunan yüzeylerde nispeten daha dü ük sıcaklıklar hesaplanmı tır. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda en yüksek yüzey sıcaklı ı ve ı ınım sıcaklı ı de erleri sırasıyla $34.3^{\circ}C$ ve $28^{\circ}C$ olmak üzere gövde yüzeyinde hesaplanmı tır.

Genel olarak insan vücutu ile ortam arasında gerçekte en ısı transferi sonucu elde edilen ısı karakteristikler çizelge 4.16'da yer almaktadır.

Çizelge 4.16 Sanal insan vücutu ısı transfer karakteristiklerinin zamana ba lı de i imi(I.Durum)

t(s)	nsan vücutu							
	q_c (W/m^2)	h_c (W/m^2K)	T_s ($^{\circ}C$)	ϕ_c	q_r (W/m^2)	h_r (W/m^2K)	T_r ($^{\circ}C$)	ϕ_r
60	32.2	17.9	20.4	0.54	27.8	5.5	15.3	0.46
180	30.8	14.9	21.5	0.51	29.2	5.5	16.2	0.49
300	30.1	13.0	22.4	0.50	29.9	5.6	17.0	0.50
600	27.5	8.1	25.3	0.46	32.5	5.7	19.6	0.54
900	26.5	6.6	27.1	0.44	33.5	5.8	21.4	0.56
1200	26.5	5.2	27.9	0.44	33.5	5.9	22.2	0.56
1800	26.6	5.7	28.7	0.44	33.4	5.9	23.1	0.56

Çizelge 4.16'da yer alan veriler dikkate alındı ında, ba langıçta ϕ_c de eri ϕ_r de erinden daha büyük de eler almakta bu nedenle insan vücutu ile ortam arasında

gerçekle en toplam ısı transferinde, ta nım ile ısı transferinin ısıtma ba langıcında daha etkili oldu u söylenebilir. Ancak artan zamanla birlikte ı nımın etkisini arttırması nedeniyle ϕ_c ve ϕ_r sırasıyla 0.44 ve 0.56 de erlerini almaktadır. Dolayısıyla vücut yüzeylerinde ısıtma süresine ba lı olarak ı nım ile olan ısı transferinin vücut yüzeylerinde genel olarak etkisini giderek arttırdı ı bunun aksine ta nım ile ısı transferinin ba langıçta daha etkili oldu u ve artan zamanla bu etkinin giderek azaldı ı söylenebilir. nsan vücudu için ortalama ısı ta nım katsayısı h_c , 17.9–5.7 arasında oldukça hızlı bir de i im göstererek azalırken vücut için ortalama yüzey sıcaklı ı ise daha dü ük bir hızla artarak 30 dakikalık ısıtma sonucunda 28.7°C olmaktadır. Bu de er literatürde, Kaynaklı ve ark (2005), Kaynaklı ve Kılıç (2005) ve ASHRAE (1997) ‘de belirtilen kabul edilebilir sıcaklık aralı ındadır.

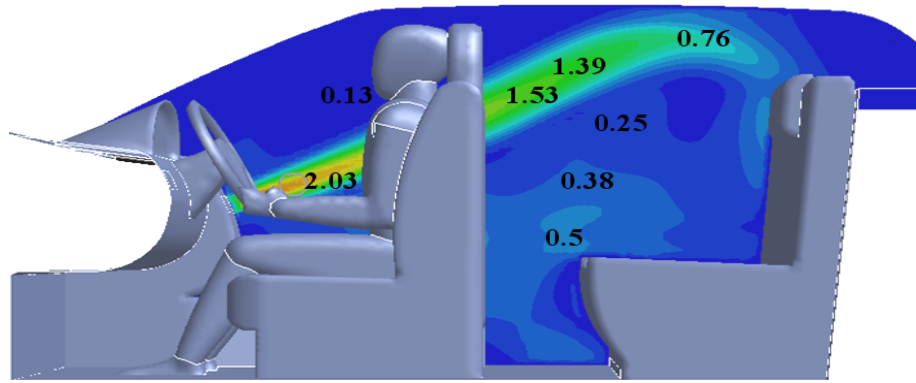
Kabine ait di er yüzeylerin sıcaklıklarının ısıtma süresince zamana ba lı de i imi çizelge 4.17’de yer almaktadır.

Çizelge 4.17 Kabin yüzeylerinde sıcaklı ın zamana ba lı de i imi(I.Durum)

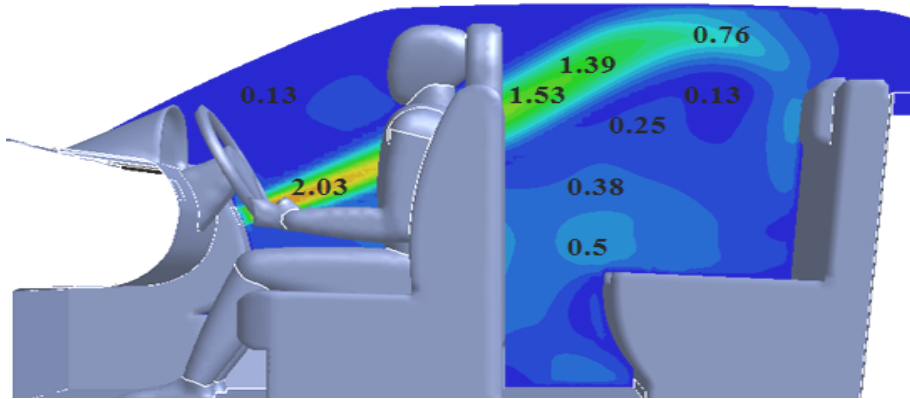
Kabin yüzeyleri	T(°C)			
	t=5 dak.	t=10 dak.	t=20 dak.	t=30 dak.
Ön cam	10.3	12.3	15.1	16.0
Arka cam	10.6	12.5	15.2	16.2
Sa ön kapı	10.3	12.0	14.4	15.2
Sa arka kapı	10.6	12.6	15.2	16.0
Sol ön kapı	10.8	12.5	14.9	15.7
Sol arka kapı	11.3	13.2	16.0	16.9
Sürücü koltu u	14.1	16.2	18.7	19.5
Yolcu koltu u(ön)	12.5	14.9	17.2	17.9
Yolcu koltu u(arka)	12.8	15.1	17.5	18.4
Konsol	11.2	13.2	15.3	16.3
Orta konsol	11.6	13.8	15.8	16.9
Direksiyon	14.2	16.4	19.2	20.0
Taban	10.2	11.0	12.2	12.9
Tavan	13.3	16.3	19.2	20.1
Kabin iç ortam sıcaklı ı	13.8	16.7	19.5	20.3

Çizelge 4.17’de yer alan veriler dikkate alındı ında, kabin iç ortamında ısıtma ba langıcında en dü ük sıcaklık taban yüzeyinde meydana gelmekte ve 10.3°C’dir. Isıtma ba langıcında hesaplanan dü ük yüzey sıcaklı ına sahip di er yüzeyler ise kabinin dı ortam ile temasta olan yüzeyleridir. t=5 ve t=30 dakikalık ısıtma periyodu

süresince en yüksek sıcaklık artışı tavan yüzeyinde ve yaklaşık 7°C olarak hesaplanmıştır. Bu değer taban yüzeyinde en düşük olarak hesaplanmıştır ve yaklaşık 3°C 'dir. Diğer kabin yüzeylerinde ise ısıtma sürecinde sıcaklık farklılıkları $5\text{--}6^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda taban ve tavan yüzey sıcaklıkları arasındaki fark yaklaşık olarak 7°C hesaplanmıştır. $t=20$ ve $t=30$ dakikalık ısıtma periyotları arasında kabin yüzeyine ait sıcaklıklarda $0.7\text{--}1^{\circ}\text{C}$ arasında artış görülmektedir. Dolayısıyla 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin iç ortamında sürekli rejim koşullarının elde edildiğini söyleyebiliriz.



(a)

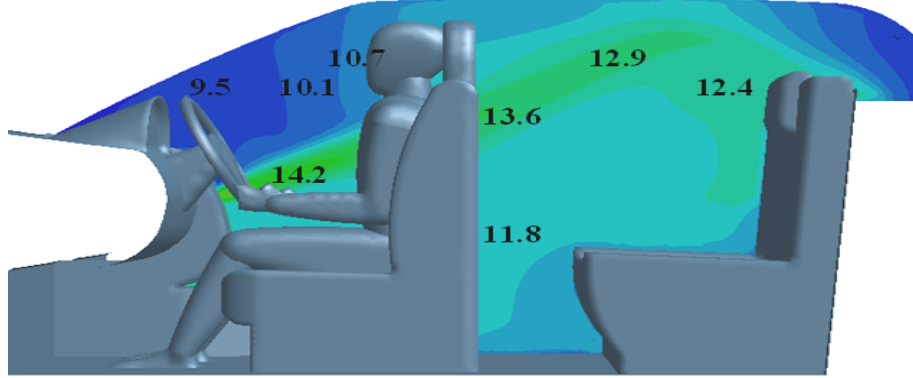


(b)

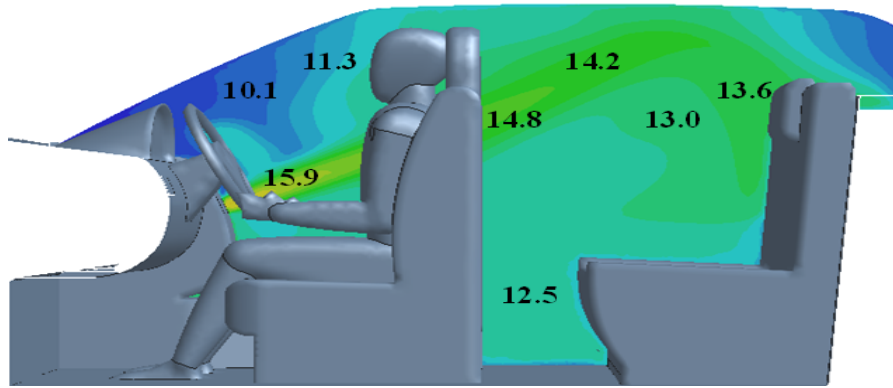
ekil 4.24 Kabin orta düzleminde hız dağılımının zamana bağlı değişimi (II.Durum),
(a) 300s (b) 900s

ekil 4.24'de II. durum için $t=5\text{--}15$ dakikalık zaman dilimlerinde kabin orta düzleminde hız dağılımları yer almaktadır. II. durumda kabin orta düzleminde elde edilen hız dağılımları, I.durumda elde edilen hız dağılımlarına benzerdir ve $5\text{--}10$ dakika içerisinde hava akımının kabin iç ortamında sürekli rejim koşullarına yaklaştığı sonucu

çıkarılabilir. Sanal insan modeli yüzeylerinde uygulanan sabit sıcaklık sınır artının hava da ılımında önemli bir de i iklik meydana getirmedir i söylenebilir.



(a)

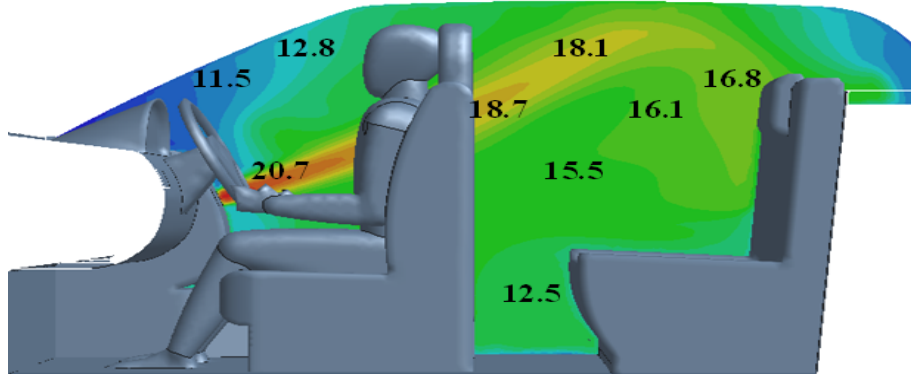


(b)

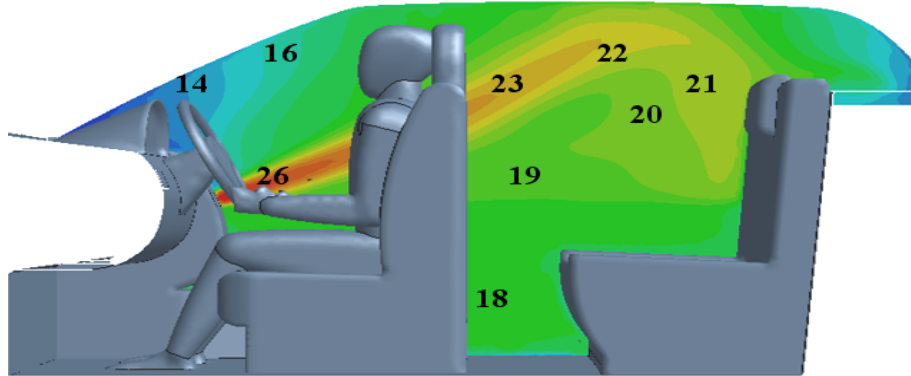
ekil 4.25 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı(II.Durum), (a) 60s (b) 120s

ekil 4.25’de yer alan sıcaklık de i imleri dikkate alındı nda ba langıçtan itibaren iki dakika süren ısıtma süresince kabin orta düzleminde sıcaklık de erleri I.durumda elde edilen sonuçlara benzer olarak yaklaşık $10\text{--}16^{\circ}\text{C}$ arasında olmak üzere dü ük de erlerde hesaplanmıştır. II. durumda iki dakikalık ısıtma süresi sonunda maksimum sıcaklık farkı 5.8°C ‘dir. Bu süre sonunda elde edilen en dü ük sıcaklık de eri ise ön cam yüzeyine yakın bölgede meydana gelmekte ve yaklaşık 10°C hesaplanmıştır. Kabin arka kısmında hesaplanan en dü ük sıcaklık de eri ise ayak seviyesinde yaklaşık 12.5°C hesaplanmıştır. Maksimum sıcaklık de eri ise menfeze

yakın bölgelerde ve I.duruma benzer şekilde yaklaşıklık 16°C bulunmaktadır. Kabin orta düzleminde iki dakikalık ısıtma periyodu sonucunda hesaplanan sıcaklık dağılımlarında, insan yüzeyinde farklı sınır artışının kullanıldığı II. durumda, I.duruma göre büyük değişimler görülmemiştir.



(a)

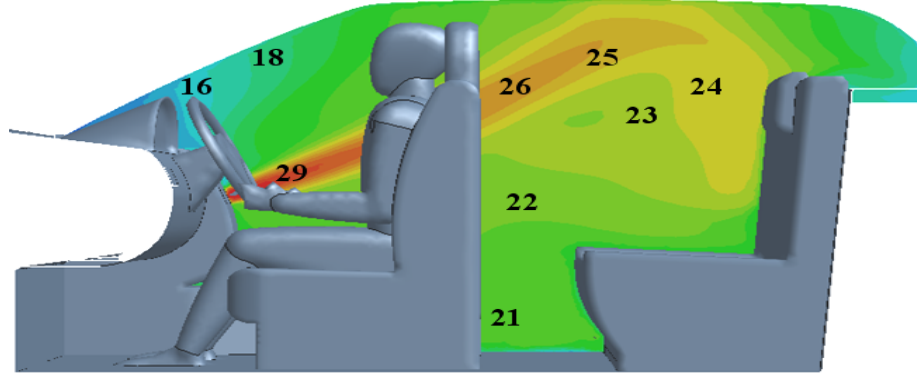


(b)

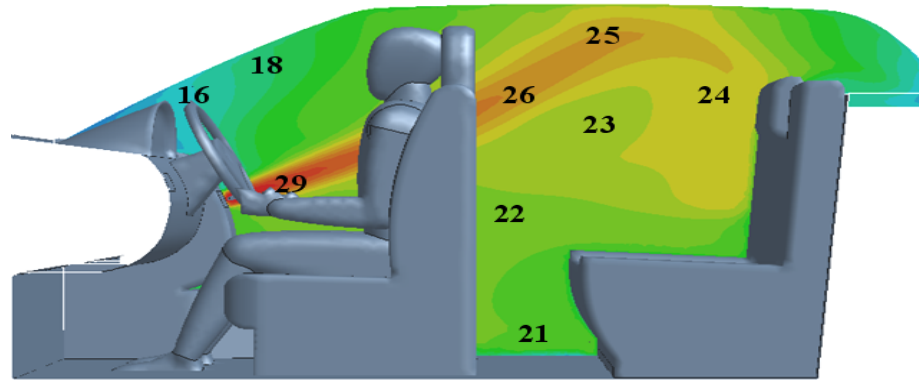
ekil 4.26 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) dağılımı(II.Durum), (a) 300s (b) 600s

ekil 4.26 'da yer alan sonuçlar değerlendirildiğinde, 10 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin içinde orta düzlemde minimum sıcaklık 14°C 'dir. Bu süreçte kabin orta düzleminde maksimum sıcaklık farkı yaklaşık olarak 12°C 'dir. Kabin alt ve üst seviyeleri arasındaki sıcaklık gradyanı'nın ısıtma başlangıcına göre hızla arttığı gözlemlenmektedir. Bu sıcaklık gradyanındaki artışın nedenleri arasında zamana bağlı olarak artan menfez sıcaklıkları ve iç ortam sıcaklığı verilebilir. Diğer taraftan dış ortam 8.7°C sıcaklığı sabit olup iç ortam sıcaklığı artmaya devam ettiği için kabin dış yüzeyleri ve cam yüzeylerden olan ısı kayıpları I.durumdakine benzer şekilde

artmaktadır ve sonuç olarak cam yüzeylere yakın bölgeler ile diğer kabin bölgeleri arasında yüksek sıcaklık farklılıkları meydana gelmektedir.



(a)

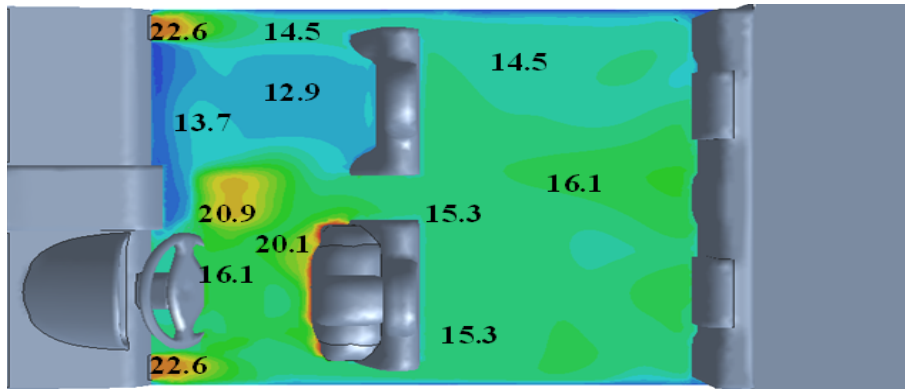


(b)

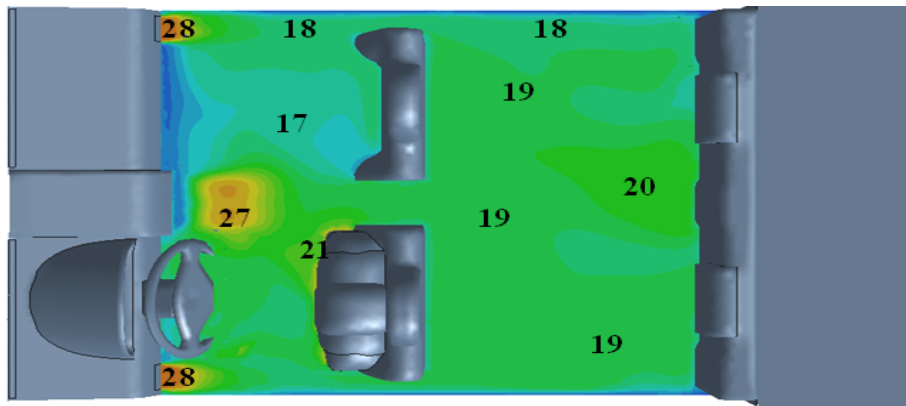
ekil 4.27 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (II.Durum), (a) 1200s (b) 1800s

ekil 4.27’de 20–30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin orta düzleminde sıcaklık dağılımları yer almaktadır. 20–30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda aynı noktalarda hesaplanan sıcaklık değerlerinde küçük sayılabilecek(1°C)değişimler meydana gelmektedir dolayısıyla iç ortam sürekli rejim koşullarına ulaşmaktadır. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda maksimum sıcaklık farkı ise 13°C hesaplanmıştır. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda I.durumdakine benzer olarak maksimum sıcaklık menfez bölgelerine yakın kısımlarda yaklaşık 30°C elde edilmiş ve kabin arka kısmında ise sıcaklık değerleri 20°C’nin üzerinde hesaplanmıştır.

Kabin orta düzleminde elde edilen sıcaklık değerleri dikkate alındığında 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sürekli rejim koşullarında kabin orta düzleminde I.durumda elde edilen sıcaklık da ılımlına oldukça yakın bir da ılım elde edilmiştir. Dolayısıyla insan vücudu üzerinde tanımlanan sabit sıcaklık sınır artışının bu düzlemde meydana gelen sıcaklık değerlerini dikkate değer büyüklükte etkilemediği ifade edilebilir. II.durumda 5-15 dakikalık ısıtma sürecinde kabin menfez düzleminde hesaplanan sıcaklık da ılımları ekil 4.30'da yer almaktadır.



(a)

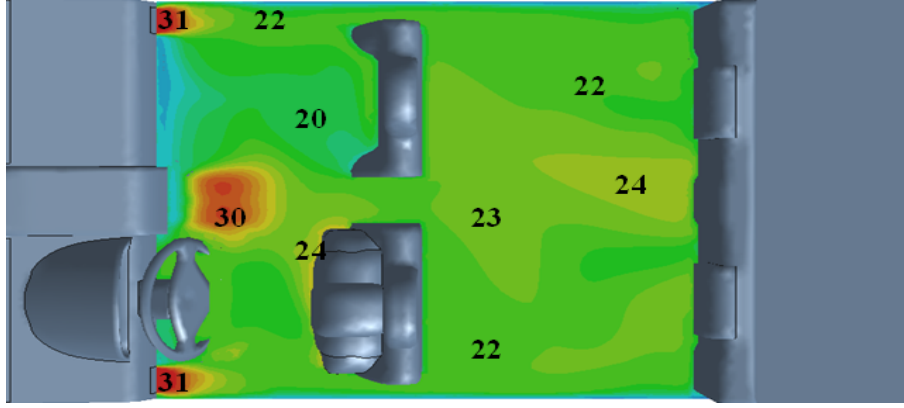


(b)

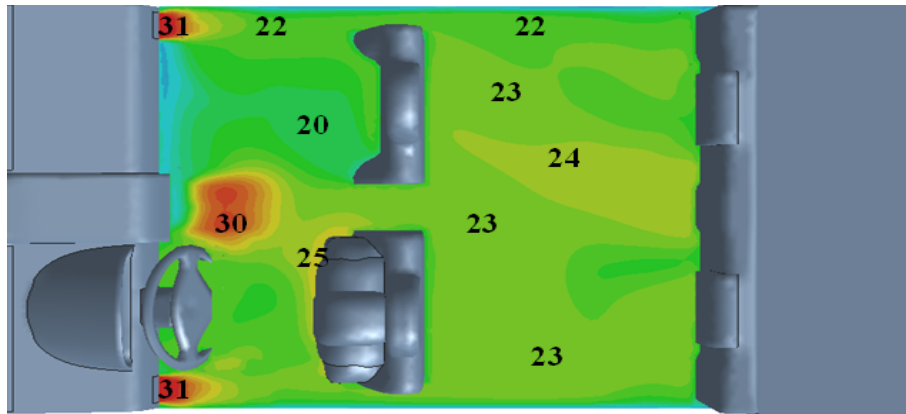
ekil 4.28 Kabin menfez düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı(II.Durum),(a) 300s (b) 600s

Menfez düzleminde kabin ön kısmında arka kısma göre daha büyük sıcaklık farklılıkları meydana gelmektedir. 5 dakikalık ısıtma sonucunda kabin sa ön koltuk kısmında ve konsola yakın yüzeylerde düşük sıcaklık değerleri elde edilmiş ve 13-14°C arasında değişmektedir. Bu düzlemde insan vücuduna yakın bölgelerde 16-20°C

arasında de i en sıcaklık de erleri hesaplanmı tır. Kabin arka kısmında ise farklı noktalar arasında dü ük sıcaklık farklılıkları meydana gelmektedir.



(a)



(b)

ekil 4.29 Kabin menfez düzleminde sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) dağılımı (II. Durum),
(a)1200s (b) 1800s

ekil 4.29'da yer alan sonuçlar değerlendirildiğinde, kabin menfez düzleminde 20 ve 30 dakikalık ısıtma periyotları sonucunda bu düzlemde aynı noktalarda elde edilen sıcaklık de erleri arasında büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir. Kabin ön ve arka kısmında I.durumda yer alan sonuçlara benzer olarak farklı durumlar söz konusudur. Arka kısımda sıcaklıklar arasındaki fark $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$ arasında de i irken, ön kısımda ise farklı noktalarda elde edilen sıcaklık de erleri $20\text{-}31^{\circ}\text{C}$ arasında de i im göstermektedir. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda insan vücuduna yakın bölgelerde hesaplanan en yüksek sıcaklık de eri yaklaşık 25°C 'dir.

nsan vücudu yüzeylerinde ısıtma periyodu süresince ısı transfer karakteristiklerinin zamana ba lı lokal de i mi II.Durum için çizelge 4.18'de yer almaktadır.

Çizelge 4.18 Sanal insan modeli yüzeylerinde ısı transfer karakteristiklerinin zamana ba lı lokal de i mi(II.Durum)

t (s)	q_c W/m ²	h_c W/m ² K	q_t W/m ²	q_r W/m ²	h_r W/m ² K	T_r °C	q_c W/m ²	h_c W/m ² K	q_t W/m ²	q_r W/m ²	h_r W/m ² K	T_r °C
Ba							Sa bacak					
60	356.8	25.5	477.4	120.6	5.8	12.9	53.6	9.9	92.7	39.1	5.7	17.5
180	292.3	21.8	406.8	114.5	5.8	14.1	49.4	9.1	85.6	36.2	5.7	18.0
300	268.4	20.2	377.7	109.3	5.9	15.0	44.6	8.3	78.1	33.4	5.7	18.5
600	225.7	17.4	324.7	99.0	5.9	17.0	27.0	5.7	53.2	26.2	5.7	19.8
900	193.3	15.2	284.0	90.7	6.0	18.5	18.2	4.2	39.3	21.0	5.7	20.7
1200	183.4	14.5	270.4	87.0	6.0	19.2	16.4	3.8	35.4	19.0	5.8	21.1
1800	173.0	13.7	256.3	83.2	6.0	19.8	13.8	3.3	30.7	16.9	5.8	21.5
Gövde							Sol bacak					
60	47.7	9.3	88.0	40.3	5.6	17.3	49.8	9.6	89.7	40.0	5.6	17.3
180	40.6	8.3	78.0	37.4	5.7	17.8	44.3	8.7	81.5	37.3	5.7	17.8
300	32.7	7.1	67.2	34.5	5.7	18.3	40.8	8.1	75.8	35.1	5.7	18.2
600	16.7	4.7	44.7	27.9	5.7	19.5	28.4	6.2	57.9	29.6	5.7	19.2
900	6.9	3.2	29.9	22.9	5.7	20.4	21.2	4.9	46.3	25.1	5.7	20.0
1200	4.6	2.7	25.1	20.5	5.8	20.8	19.3	4.5	42.3	23.1	5.7	20.4
1800	1.4	2.1	19.5	18.0	5.8	21.3	16.0	3.9	36.4	20.4	5.8	20.8
Sa kol							Sa baldır					
60	61.6	11.5	108.0	46.4	5.6	16.1	55.3	11.9	111.4	56.1	5.6	14.3
180	53.9	10.4	97.3	43.3	5.6	16.7	48.6	10.8	101.6	53.0	5.6	14.9
300	45.9	9.2	86.1	40.2	5.6	17.3	46.5	10.4	97.3	50.8	5.6	15.3
600	21.9	5.8	54.4	32.5	5.7	18.7	34.9	8.5	80.1	45.2	5.6	16.4
900	9.5	3.9	36.2	26.7	5.7	19.7	28.5	7.3	68.8	40.4	5.6	17.3
1200	6.7	3.3	30.8	24.2	5.7	20.2	26.5	7.0	65.4	38.8	5.7	17.5
1800	2.7	2.6	24.3	21.6	5.7	20.6	24.1	6.4	60.5	36.4	5.7	18.0
Sol kol							Sol baldır					
60	58.5	11.2	105.6	47.1	5.6	16.0	54.0	12.1	113.6	59.7	5.5	13.6
180	53.3	10.4	97.6	44.3	5.6	16.5	47.6	11.1	104.4	56.9	5.6	14.2
300	46.2	9.4	88.0	41.7	5.6	17.0	43.4	10.5	98.4	55.0	5.6	14.5
600	30.3	7.1	66.4	36.0	5.7	18.0	35.9	9.1	85.9	49.9	5.6	15.5
900	19.0	5.3	50.3	31.3	5.7	18.9	29.5	8.0	74.9	45.4	5.6	16.3
1200	16.0	4.8	44.8	28.8	5.7	19.3	27.7	7.6	71.5	43.7	5.6	16.6
1800	11.9	4.0	37.7	25.8	5.7	19.9	24.4	7.0	65.5	41.1	5.6	17.1

Çizelge 4.18 'de yer alan verilerden yola çıkarak ısıtma ba langıcında ba yüzeyi hariç di er yüzeylerde hesaplanan toplam ısı akısı 100 W/m² olacak ekilde elde edilmi tir. Ba yüzeyinde yüksek sıcaklık sınır artının kullanılmasının ve bu bölgede

güçlü sayılabilecek hava hareketlerinin bulunmasının, bu yüzeyde toplam ısı akısının yüksek de erlerde hesaplanmasına neden oldu u söylenebilir.

Tüm lokal yüzeylerde t_a nım ile ısı transferi sonucu olu an q_c (W/m^2) ısı t_a nım akısı, I.durumdakine benzer olarak artan iç ortam sıcaklı na ba lı olarak azalmaktadır.

10 dakikalık ısıtma periyodu ve ilerleyen zaman dilimlerinde hemen hemen tüm yüzeylerde q_r (W/m^2) ı nım ile olan ısı akısı t_a nım ile olan ısı akısına göre daha büyük de erler almaktadır. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda elde edilen yüksek ı nım sıcaklıklarından biri gövde yüzeyinde olu makta ve de eri $21.3^{\circ}C$ 'dir. Isıtma süresince ı nımla olan ısı transfer katsayıları zamanla artmakta ve I.durumda elde edilen sonuçlara benzer sayısal de erler görülmektedir.

Genel olarak insan vücudu ile ortam arasında gerçekleş en ısı transferi sonucu elde edilen ısı karakteristikler II. durum için çizelge 4.19'da yer almaktadır.

Çizelge 4.19 Sanal insan vücudu ısı transfer karakteristiklerinin zamana ba lı de i imi(II.Durum)

t(s)	nsan Vücudu							
	q_c (W/m^2)	h_c (W/m^2K)	\emptyset_c	q_t (W/m^2)	q_r (W/m^2)	h_r (W/m^2K)	T_r ($^{\circ}C$)	\emptyset_r
60	90.4	12.4	0.62	146.8	56.4	5.7	15.8	0.38
180	78.1	11.3	0.60	131.2	53.0	5.8	16.4	0.40
300	70.1	10.3	0.58	120.2	50.1	5.8	16.9	0.42
600	51.3	8.0	0.54	94.6	43.2	5.9	18.2	0.46
900	39.4	6.4	0.51	77.3	37.8	5.9	19.2	0.49
1200	36.3	5.9	0.51	71.8	35.5	5.9	19.6	0.49
1800	32.0	5.2	0.49	64.8	32.7	6.0	20.1	0.51

Isıtma ba langıcında insan vücudu ve ortam arasında gerçekleş en ısı transferinde, t_a nım ile olan ısı transferi, ı nım ile olan ısı transferine oranla daha etkilidir dolayısıyla \emptyset_c ve \emptyset_r sırasıyla 0.62 ve 0.38 olarak hesaplanmı tır. II. durumda insan vücudu üzerinde tanımlanan yüksek sabit sıcaklık sınır artı nedeniyle \emptyset_c boyutsuz sayısının ba langıçtaki de eri I.durumda elde edilen de erden daha büyüktür. ilerleyen zamanla birlikte her iki boyutsuz sayının de eri birbirine yakla arak yakla ık 0.50 de erine 15 dakikalık ısıtma periyodundan sonra ula maktadır. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda tüm vücut için ortalama ısı transfer katsayısı $12.4 W/m^2K$ de erinden $5.2 W/m^2K$ de erine dü mektedir. Tüm vücut için toplam ısı akısının

ortalama de erinde ise $146.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ de erinden $64.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ de erine do ru azalma görülmektedir ve bu de er 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda I.durumda belirtilen $60 \text{ W/m}^2\text{K}$ de erine yakla maktadır. Tüm vücut için ı nım sıcaklı ının, ı nım katsayısının ve ı nım ile olan ısı akısının ortalama de erleri ise ısıtma süresince zamana ba lı olarak artmaktadır. Hesaplanan bu verilerden yola çıkarak ısıtma periyodunun ilk 20 dakikasında otomobil kabini içinde bu de erlerin oldukça hızlı de i ti i bir geçici rejim durumu meydana geldi i söylenebilir. 20 dakikalık ısıtma periyodu ve sonrasında hesaplanan bu de erler arasında oldukça dü ük farklılıklar olmakta bu nedenle 30 dakikalık ısıtma periyodu sonrasında sürekli rejim ko ullarına ula ıldı ı söylenebilir.

Çizelge 4.20 Kabin yüzeylerinde sıcaklı ın zamana ba lı de i imi(II.Durum)

Kabin yüzeyleri	T(°C)			
	t=5 dak.	t=10 dak.	t=20 dak.	t=30 dak.
Ön cam	10.6	12.6	15.2	16.1
Arka cam	10.5	12.4	15.0	15.7
Sa ön kapı	10.2	12.0	14.5	15.3
Sa arka kapı	10.5	12.5	15.3	16.1
Sol ön kapı	11.0	12.9	15.1	15.9
Sol arka kapı	11.2	13.3	16.0	16.9
Sürücü koltu u	14.3	16.2	18.1	18.8
Yolcu koltu u(ön)	12.5	16.2	18.1	18.8
Yolcu koltu u(arka)	12.8	15.1	17.7	18.6
Konsol	11.9	13.4	15.5	16.2
Orta konsol	12.4	14.2	16.1	16.8
Direksiyon	14.9	16.8	19.2	20.1
Taban	10.5	11.3	12.5	13.1
Tavan	13.4	16.3	19.3	20.2
Kabin iç ortam(hava) sıcaklı ı	13.8	16.7	19.5	20.2

Çizelge 4.20'de yer alan veriler dikkate alındı ında, kabin iç ortamında ısıtma ba langıcında hesaplanan dü ük sıcaklıklardan biri taban yüzeyinde meydana gelmekte ve 10.5°C 'dir. Isıtma ba langıcında hesaplanan dü ük yüzey sıcaklı ına sahip di er yüzeyler ise I.durumda elde edilen de ere benzer olarak kabinin dı ortam ile temasta olan yüzeyleridir. t=5 ve t=30 dakikalık ısıtma periyodu süresince en yüksek sıcaklık artı ı tavan yüzeyinde ve I.durumda elde edilen de ere benzer olarak yakla ık 7°C hesaplanmı tır. Di er kabin yüzeylerinde ise ısıtma sürecinde sıcaklık farklılıkları

4–6°C arasında de i mektedir. Hesaplamalar sonucunda en dü ük sıcaklık artı nı meydana geldi i yüzey taban yüzeyi olup bu sıcaklık artı nı yakla ık 3°C'dir. t=20 ve t=30 dakikalık ısıtma periyodu süresinde kabin yüzeyine ait sıcaklıklarda yakla ık 0.6–1°C arasında artı görülmektedir. Kabin yüzeylerinde II.durum için hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler I.durumdakine benzer sonuçlar içermektedir. I.durum için ve II. durum için elde edilen sonuçlar kar ıla tırıldı nda a a ıda belirtilen sonuçlar ifade edilebilir.

Otomobil kabininde sıcaklık ve hız da ılımlarının hesaplamasında sabit ısı akısı ve sabit sıcaklık sınır artının genel olarak hesaplamalara olan etkisinin benzer sonuçlar içerd i söylenebilir.

Her iki durumda da vücut ile ortam arasında gerçekleşen en ısı transferi sonucu elde edilen toplam ısı akısı üzerinde ba langıçta ta nım ile olan ısı transferinin daha etkili oldu u söylenebilir dolayısıyla ϕ_c boyutsuz sayısı ba langıçta I. Ve II. durum için sırasıyla 0.54 ve 0.62 olarak hesaplanmı tır. I nım ile olan ısı akısının zamanla artmasından dolayı 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda her iki durum için ϕ_c boyutsuz sayısı 0.47 ± 0.03 arasında, ϕ_r boyutsuz sayısı 0.53 ± 0.03 arasında de im göstermektedir.

Vücut yüzeylerinde ısıl karakteristiklerin lokal de erlerinin hesaplanmasında, sabit ısı akısı sınır artı kullanarak vücut yüzeylerinde lokal sıcaklık de i imlerinin elde edilebilece i ifade edilebilir. Di er taraftan sabit sıcaklık sınır artı ile vücut yüzeylerinde lokal ısı akısı de erlerinin hesaplanması daha gerçekçi bir yakla ımdır.

Her iki sınır artı ile elde edilen sonuçlar benzer e ilimler göstermesine kar ın ilgili parametreler için farklı sayısal de erler edilmi tir. Di er taraftan sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı nda bu parametreler birbirine yakın de erler almaktadır. Özellikle tüm vücut için hesaplanan ortalama de erler açısından bakıldı nda bu durum daha net ortaya çıkmaktadır.

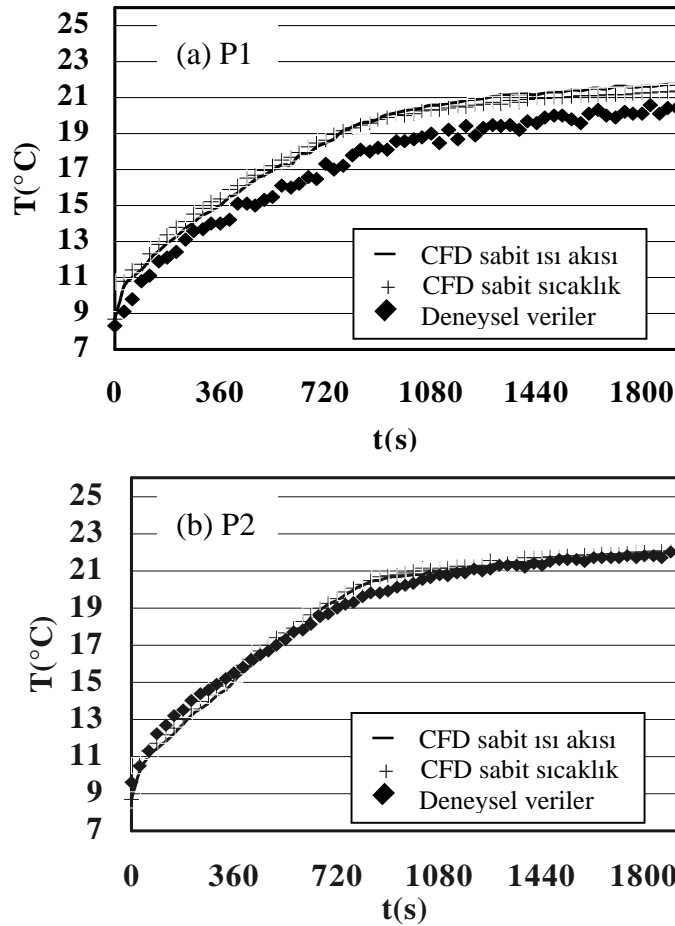
Her iki sınır artı kullanılarak elde edilen ı nım ile gerçekleşen en ısı transfer hesaplamalarında ı nımla olan ısı transfer katsayısı, ısıtma ba langıcında 5.6 ± 0.1 de erinde, 30 dakikalık ısıtma sonucunda ise bu de er 5.9 ± 0.1 de erinde hesaplanmı tır.

Otomobil kabininde ısıl konfor ko ullarını ara tırma sürecinde her iki sınır artı da lokal bölgelerde ilgili parametrelerin de i imini inceleme açısından önem ta ımaktadır.

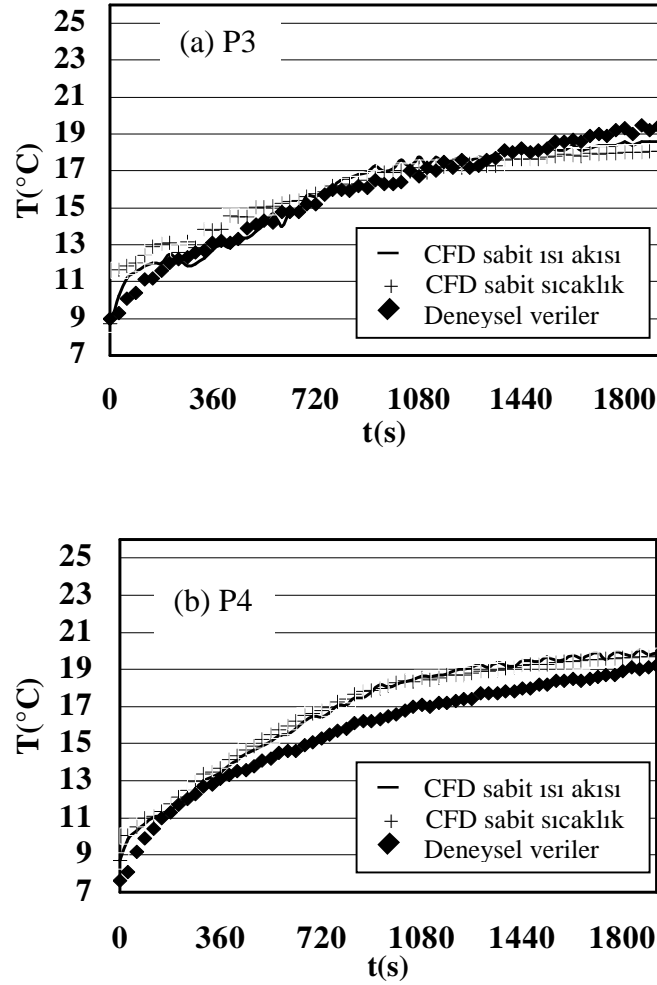
Geçici rejimde gerçekte tirilen hesaplamalar sonucunda sabit sıcaklık sınır artının, fizyolojik modeller dikkate alındığında sabit ısı akısı sınır artına göre daha uygun bir sınır artı olduğu ifade edilebilir. Tavan yüzeyi hariç tüm sınır artı kullanılan kabin di yüzeylerinde her iki durumda da ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda düşük sıcaklıkların hesaplandığı yüzeyler taban yüzeyi ve cam yüzeyleridir. Her iki durum için 30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda benzer olarak taban ve tavan yüzeylerinde ortalama sıcaklık değerleri arasındaki fark yaklaşık 7°C 'dir.

4.2.5 Hex Core A Yapısı ile Gerçekte tirilen Simülasyonların Doğrulaması

Sayısal hesaplamalarda bölüm 3'te açıklanan kabin içinde yer alan kritik noktalarda elde edilen zamana bağlı sıcaklık değerleri ve bu değerlerin her iki durum için kendi içinde ve deneysel verilerle karşılaştırılması ekil 4.30-4.32'de yer almaktadır.



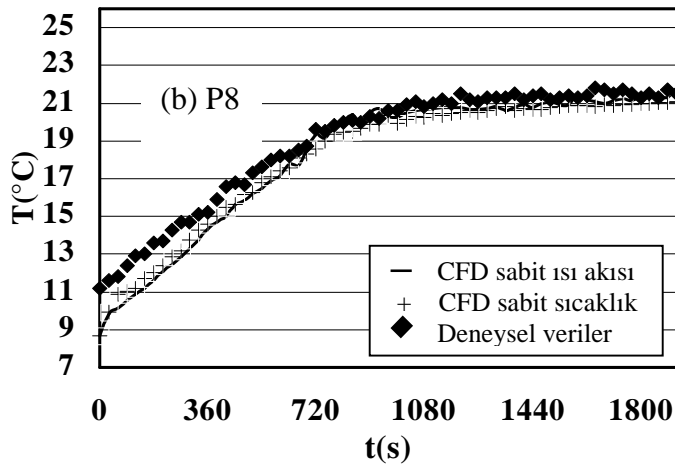
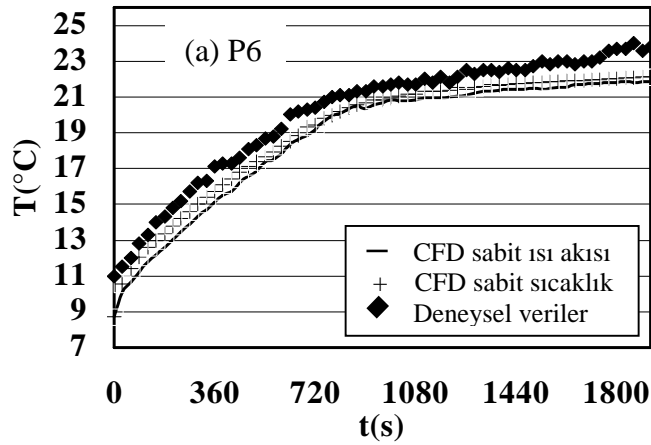
ekil 4.30 Kritik noktalarda(P1(a), P2(b)) hesaplanan sıcaklık değerleri ve deneysel verilerle karşılaştırılması



ekil 4.31 Kritik noktalarda(P3(a), P4(b)) hesaplanan sıcaklık değerleri ve deneysel verilerle karşılaştırılması

Isıtma periyodunda geçici rejimde gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda kritik noktalarda elde edilen sıcaklık değerleri, deneysel ölçümler sonucunda elde edilen sıcaklık değerleriyle benzer eğilim göstermekte ve deneysel verilerle sayısal hesaplamalar sonucu elde edilen veriler arasında yaklaşık olarak $\pm 1^\circ\text{C}$ fark gözlemlenmektedir.

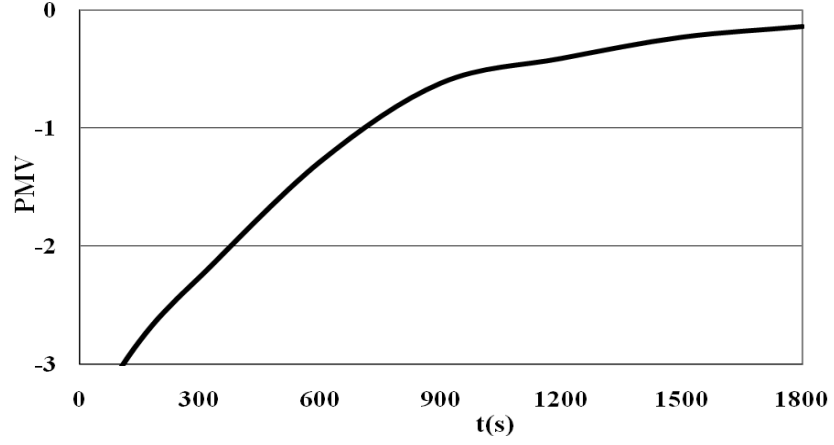
Bölüm 3'te ifade edilen sürücünün metabolik ısı üretimi, kabin dış yüzeylerinden olan ısı kaybı, dış ortam koşulları, dış ortam menfez giri sıcaklıkları, hava akışı karakteristikleri vs. gibi birçok parametrenin otomobil kabini içinde gerçekleştirilen ısı transferini etkilediği düşünülecek olursa, hesaplama sonucu elde edilen bu sonuçların kabul edilebilir aralıkta olduğu sonucu çıkarılabilir.



ekil 4.32 Kritik noktalarda(P6(a), P8(b)) hesaplanan sıcaklık değerleri ve deneysel verilerle karşılaştırılması

insan vücudu yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, kabin içinde düzlemlerde ve noktalarda elde edilen hız ve sıcaklık dağılımları, kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık dağılımları, insan vücudu ile temasta olan soğuk yüzeyler(direksiyon, koltuk vs.), sürücü etrafında elde edilen uniform olmayan hız ve sıcaklık dağılımı gibi birçok neden dikkate alındığında otomobilde ısıtma süresince oldukça uniform olmayan geçici rejim koşullarının olduğunu söyleyebiliriz. Bu koşulların sürekli rejim şartlarını sağlaması için belirli bir zaman dilimi geçmesi gerekmektedir. Dolayısıyla hava sıcaklığının yanında farklı parametreler de sürücünün ve yolcuların ısı konforu üzerinde etkide bulunur. İnsan vücudunu bir bütün olarak ele aldığımızda PMV indeksi sürücü ve yolcuların ısı konforu değerlendirilmesi için kullanılabilir. Bu indeksin ISO 7730(1994)'e göre nasıl hesaplanabileceği bölüm

3'te ifade edilmiştir. Gerçekleştirilen sayısal hesaplamalar dikkate alınarak II. durumda PMV indeksinin zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 4.33'te yer almaktadır.



Şekil 4.33 PMV değerlerinin zamanla değişimi

Bağlantıda PMV değeri yaklaşık olarak -3 hesaplanmıştır. Dolayısıyla 8.7°C iç ortam sıcaklığına sahip bir otomobil kabini sürücü için soğuk ve konforsuz bir ortamdır. PMV indeksi ısıtma süresince zamanla artmakta ve 10 dakikalık ısıtma periyodunun sonunda -2 ile -1 arasında değişmektedir. Bu ise sürücü için konfor açısından soğuk (PMV=-2) ve serin (PMV=-1) anlamına gelmektedir. 15 dakikalık ısıtma periyodunun sonunda ise bu indeks 0 değerine doğru yani nötr koşullara doğru yaklaşmaktadır. Dolayısıyla gerçekleştirilen analizlerde bu ortam koşullarında sürücü için konfor artları 20 dakikalık ısıtma periyodunda sağlanmaktadır.

4.2.6 Ayrık Ordinat (DO) ve S2S İnm Modellerinin Karşılaştırılması

Sayısal simülasyonlarda kabin içinde 1 mm ile ısı transferi hesaplamaları için kullanılan S2S ve DO olarak adlandırılan 1 mm modelleri Hex Core çözüm ağı ile birlikte kullanılmı ve ısıtma sürecinde elde edilen sonuçlar iki farklı model için karşılaştırılmıştır. İnsan vücudu yüzeylerinde sabit ısı akısı sınır şartı ile her iki model kullanılarak hesaplanan ısı transfer karakteristikleri çizelge 4.21-27'de yer almaktadır.

Çizelge 4.21 $t=60s$ vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) S2S 1 mm modeli , (b) DO 1 mm modeli

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=60s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	35.1	24.9	15.8	11.0	10.7
Boyun	32.4	27.6	19.2	14.1	
Gövde	31.6	28.4	24.8	19.9	
Kasık	38.4	21.6	29.7	26.2	
Sa ayak	38.0	22.0	15.7	11.5	
Sa bacak	36.0	24.0	20.4	16.0	
Sa baldır	30.2	29.8	17.9	12.3	
Sa el	29.3	30.7	18.1	12.3	
Sa kol	32.4	27.6	22.7	17.8	
Sa omuz	32.8	27.2	15.9	10.7	
Sol ayak	36.8	23.2	15.6	11.1	
Sol bacak	34.6	25.4	20.3	15.7	
Sol baldır	28.5	31.5	17.7	11.8	
Sol el	33.3	26.7	17.4	12.4	
Sol kol	33.4	26.6	21.3	16.5	
Sol omuz	24.3	35.7	17.4	10.6	
Ort. De er	32.9	27.1	20.3	15.4	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=60s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	32.2	27.8	16.1	10.8	10.9
Boyun	30.6	29.4	19.6	14.1	
Gövde	30.4	29.6	25.0	19.9	
Kasık	38.4	21.6	29.9	26.3	
Sa ayak	36.5	23.5	15.6	11.1	
Sa bacak	36.6	23.4	20.3	16.1	
Sa baldır	29.1	30.9	18.0	12.2	
Sa el	26.9	33.1	18.5	12.3	
Sa kol	32.5	27.5	23.0	18.1	
Sa omuz	30.8	29.2	16.2	10.6	
Sol ayak	35.5	24.5	15.4	10.7	
Sol bacak	34.8	25.2	20.1	15.5	
Sol baldır	27.9	32.1	17.6	11.6	
Sol el	33.3	26.7	17.3	12.2	
Sol kol	33.7	26.3	20.8	16.1	
Sol omuz	26.3	33.7	16.8	10.4	
Ort. De er	32.2	27.8	20.4	15.3	

Çizelge 4.22 $t=180s$ için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) S2S 1 mm modeli , (b) DO 1 mm modeli

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=180s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	30.6	29.4	17.9	12.4	12.2
Boyun	29.4	30.6	21.7	16.1	
Gövde	28.7	31.3	26.2	20.8	
Kasık	38.8	21.2	30.3	26.8	
Sa ayak	38.1	21.9	16.3	12.1	
Sa bacak	36.5	23.5	21.2	17.0	
Sa baldır	28.6	31.4	18.9	13.1	
Sa el	28.8	31.2	19.2	13.4	
Sa kol	31.2	28.8	23.8	18.8	
Sa omuz	23.9	36.1	18.9	12.1	
Sol ayak	37.2	22.8	16.0	11.7	
Sol bacak	34.8	25.2	21.2	16.6	
Sol baldır	27.7	32.3	18.5	12.4	
Sol el	32.0	28.0	18.6	13.3	
Sol kol	32.6	27.4	22.2	17.3	
Sol omuz	25.5	34.5	18.6	12.1	
Ort. De er	31.4	28.6	21.5	16.3	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=180s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	29.2	30.8	18.0	12.2	12.4
Boyun	28.7	31.3	21.6	16.0	
Gövde	28.3	31.7	26.1	20.6	
Kasık	38.9	21.1	30.7	27.3	
Sa ayak	36.7	23.3	16.1	11.7	
Sa bacak	36.3	23.7	21.4	17.1	
Sa baldır	28.0	32.0	18.9	12.9	
Sa el	28.1	31.9	19.4	13.5	
Sa kol	31.1	28.9	23.7	18.6	
Sa omuz	22.9	37.1	18.9	12.0	
Sol ayak	35.8	24.2	15.9	11.3	
Sol bacak	34.5	25.5	21.3	16.6	
Sol baldır	26.9	33.1	18.4	12.2	
Sol el	31.5	28.5	18.5	13.2	
Sol kol	31.8	28.2	22.3	17.2	
Sol omuz	23.7	36.3	18.5	11.7	
Ort. De er	30.8	29.2	21.5	16.2	

Çizelge 4.23 $t=300s$ için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) S2S 1 mm modeli , (b) DO 1 mm modeli

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=300s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	29.1	30.9	19.3	13.6	13.6
Boyun	28.3	31.7	23.2	17.6	
Gövde	27.8	32.2	27.1	21.6	
Kasık	39.1	20.9	30.9	27.5	
Sa ayak	38.0	22.0	16.7	12.5	
Sa bacak	35.8	24.2	22.2	17.9	
Sa baldır	29.2	30.8	19.2	13.5	
Sa el	27.6	32.4	20.2	14.3	
Sa kol	29.9	30.1	24.8	19.5	
Sa omuz	20.9	39.1	20.5	13.3	
Sol ayak	37.1	22.9	16.4	12.1	
Sol bacak	34.7	25.3	22.0	17.4	
Sol baldır	27.2	32.8	19.0	12.9	
Sol el	30.1	29.9	19.7	14.2	
Sol kol	31.6	28.4	23.1	18.1	
Sol omuz	24.2	35.8	19.8	13.2	
Ort. De er	30.7	29.3	22.4	17.1	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=300s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	27.6	32.4	19.4	13.3	13.8
Boyun	27.4	32.6	23.2	17.4	
Gövde	27.5	32.5	27.3	21.7	
Kasık	39.2	20.8	31.0	27.6	
Sa ayak	36.5	23.5	16.5	12.0	
Sa bacak	35.6	24.4	22.3	17.9	
Sa baldır	28.3	31.7	19.1	13.2	
Sa el	27.8	32.2	20.2	14.3	
Sa kol	30.0	30.0	25.0	19.8	
Sa omuz	20.4	39.6	20.5	13.2	
Sol ayak	35.7	24.3	16.2	11.6	
Sol bacak	34.3	25.7	21.9	17.3	
Sol baldır	26.5	33.5	18.8	12.6	
Sol el	29.2	30.8	19.8	14.1	
Sol kol	30.8	29.2	23.1	17.9	
Sol omuz	22.3	37.7	19.8	12.8	
Ort. De er	30.1	29.9	22.4	17.0	

Çizelge 4.24 $t=600s$ için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, (a) S2S 1 mm modeli , (b) DO 1 mm modeli

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=600s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	26.7	33.3	22.1	16.1	16.5
Boyun	25.6	34.4	26.8	20.9	
Gövde	24.4	35.6	30.7	24.8	
Kasık	40.3	19.7	32.9	29.8	
Sa ayak	38.9	21.1	17.9	14.0	
Sa bacak	33.3	26.7	25.4	20.7	
Sa baldır	27.6	32.4	21.3	15.4	
Sa el	23.5	36.5	23.4	16.9	
Sa kol	26.2	33.8	28.5	22.8	
Sa omuz	17.8	42.2	23.6	16.0	
Sol ayak	37.9	22.1	17.7	13.6	
Sol bacak	32.1	27.9	24.8	19.9	
Sol baldır	26.1	33.9	20.8	14.6	
Sol el	25.7	34.3	22.6	16.5	
Sol kol	28.2	31.8	26.2	20.7	
Sol omuz	18.6	41.4	23.1	15.7	
Ort. De er	28.0	32.0	25.3	19.7	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=600s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	25.0	35.0	22.2	15.9	16.7
Boyun	24.7	35.3	26.6	20.5	
Gövde	24.9	35.1	30.5	24.7	
Kasık	40.2	19.8	33.2	30.1	
Sa ayak	37.5	22.5	17.8	13.5	
Sa bacak	32.5	27.5	25.7	20.9	
Sa baldır	27.3	32.7	21.2	15.2	
Sa el	23.4	36.6	23.5	17.0	
sag kol	26.1	33.9	28.6	22.9	
Sa omuz	17.3	42.7	23.6	16.0	
Sol ayak	36.5	23.5	17.5	13.1	
Sol bacak	31.5	28.5	24.8	19.9	
Sol baldır	25.4	34.6	20.7	14.4	
Sol el	24.1	35.9	22.7	16.3	
Sol kol	27.4	32.6	26.0	20.4	
Sol omuz	16.6	43.4	23.1	15.3	
Ort. De er	27.5	32.5	25.3	19.6	

Çizelge 4.25 t=900s için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) S2S 1 mm modeli , (b) DO 1 mm modeli

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=900s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	24.1	35.9	24.4	18.1	18.6
Boyun	24.8	35.2	28.7	22.8	
Gövde	24.7	35.3	32.3	26.5	
Kasık	39.3	20.7	34.7	31.5	
Sa ayak	38.9	21.1	19.1	15.3	
Sa bacak	32.4	27.6	27.1	22.4	
Sa baldır	26.2	33.8	22.9	16.8	
Sa el	21.3	38.7	25.3	18.6	
Sa kol	25.5	34.5	30.2	24.5	
Sa omuz	17.8	42.2	25.4	18.0	
Sol ayak	37.7	22.3	18.9	14.8	
Sol bacak	31.7	28.3	26.3	21.5	
Sol baldır	24.2	35.8	22.4	16.0	
Sol el	24.9	35.1	24.2	18.0	
Sol kol	27.2	32.8	27.8	22.2	
Sol omuz	16.7	43.3	25.1	17.5	
Ort. De er	27.2	32.8	27.0	21.4	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=900s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	22.1	37.9	24.5	17.8	18.8
Boyun	23.6	36.4	28.9	22.7	
Gövde	23.7	36.3	32.5	26.6	
Kasık	39.5	20.5	35.2	32.0	
Sa ayak	37.7	22.3	19.0	14.8	
Sa bacak	32.6	27.4	27.3	22.7	
Sa baldır	25.9	34.1	22.8	16.7	
Sa el	21.9	38.1	25.4	18.8	
Sa kol	25.5	34.5	30.3	24.6	
Sa omuz	15.5	44.5	25.8	18.0	
Sol ayak	36.5	23.5	18.7	14.4	
Sol bacak	31.8	28.2	26.4	21.6	
Sol baldır	23.8	36.2	22.2	15.7	
Sol el	24.1	35.9	24.2	17.9	
Sol kol	26.1	33.9	27.9	22.2	
Sol omuz	15.1	44.9	25.0	17.1	
Ort. De er	26.5	33.5	27.1	21.4	

Çizelge 4.26 $t=1200s$ için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) S2S 1 mm modeli , (b) DO 1 mm modeli

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1200s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	24.5	35.5	25.2	19.0	19.4
Boyun	24.9	35.1	29.7	23.8	
Gövde	24.6	35.4	33.4	27.7	
Kasık	39.5	20.5	35.3	32.1	
Sa ayak	38.6	21.4	19.8	15.9	
Sa bacak	32.5	27.5	27.9	23.3	
Sa baldır	25.6	34.4	23.6	17.5	
Sa el	22.0	38.0	26.1	19.5	
Sa kol	25.7	34.3	31.1	25.5	
Sa omuz	18.1	41.9	26.2	18.9	
Sol ayak	37.4	22.6	19.5	15.4	
Sol bacak	32.0	28.0	27.2	22.4	
Sol baldır	23.8	36.2	23.0	16.6	
Sol el	25.3	34.7	25.0	18.9	
Sol kol	26.7	33.3	29.0	23.4	
Sol omuz	18.2	41.8	25.7	18.4	
Ort. De er	27.2	32.8	27.9	22.3	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1200s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	22.9	37.1	25.2	18.7	19.5
Boyun	23.8	36.2	29.6	23.5	
Gövde	24.2	35.8	33.5	27.7	
Kasık	39.6	20.4	35.5	32.3	
Sa ayak	37.2	22.8	19.6	15.5	
Sa bacak	32.5	27.5	28.0	23.4	
Sa baldır	24.9	35.1	23.5	17.3	
Sa el	22.2	37.8	26.1	19.6	
Sa kol	25.7	34.3	31.2	25.5	
Sa omuz	17.1	42.9	26.2	18.8	
Sol ayak	36.1	23.9	19.4	15.0	
Sol bacak	31.7	28.3	27.2	22.3	
Sol baldır	23.0	37.0	22.9	16.3	
Sol el	24.5	35.5	24.9	18.7	
Sol kol	25.8	34.2	29.0	23.3	
Sol omuz	16.3	43.7	25.7	18.0	
Ort. De er	26.5	33.5	27.9	22.2	

Çizelge 4.27 t=1800s için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,

(a) S2S 1 inim modeli , (b) DO 1 inim modeli

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=1800s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	24.1	35.9	26.1	19.9	20.2
Boyun	24.7	35.3	30.3	24.5	
Gövde	24.5	35.5	34.4	28.8	
Kasık	39.2	20.8	36.5	33.3	
Sa ayak	38.7	21.3	20.7	16.9	
Sa bacak	32.7	27.3	28.8	24.3	
Sa baldır	25.4	34.6	24.5	18.4	
Sa el	22.1	37.9	27.0	20.4	
Sa kol	25.6	34.4	32.1	26.5	
Sa omuz	19.0	41.0	26.8	19.7	
Sol ayak	37.5	22.5	20.4	16.3	
Sol bacak	31.6	28.4	28.3	23.5	
Sol baldır	23.4	36.6	24.0	17.6	
Sol el	24.9	35.1	26.1	20.0	
Sol kol	26.3	33.7	30.1	24.5	
Sol omuz	17.3	42.7	26.8	19.4	
Ort. De er	27.0	33.0	28.9	23.3	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=1800s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	22.8	37.2	26.0	19.5	20.3
Boyun	24.5	35.5	30.0	24.1	
Gövde	24.2	35.8	34.3	28.6	
Kasık	39.2	20.8	36.6	33.4	
Sa ayak	37.1	22.9	20.5	16.3	
Sa bacak	32.7	27.3	28.9	24.3	
Sa baldır	25.0	35.0	24.3	18.1	
Sa el	22.0	38.0	27.0	20.4	
Sa _kol	25.5	34.5	32.0	26.4	
Sa omuz	18.0	42.0	26.8	19.6	
Sol ayak	36.1	23.9	20.2	15.9	
Sol bacak	31.5	28.5	28.1	23.3	
Sol baldır	22.8	37.2	23.8	17.2	
Sol el	24.8	35.2	25.8	19.7	
Sol kol	26.1	33.9	29.8	24.1	
Sol omuz	16.7	43.3	26.3	18.8	
Ort. De er	26.6	33.4	28.7	23.1	

Farklı 1 m² modelleri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlara bağlı olarak aşağıdaki sonuçlar ifade edilebilir.

Her iki 1 m² modeli kullanılarak elde edilen ısı karakteristikleri 30 dakikalık ısıtma periyodu süresince benzer davranış göstermektedir.

Hesaplamalar sonucunda elde edilen sayısal değerler birbirine yakındır. Dolayısıyla her iki 1 m² modeli de insan vücudu ısı karakteristikleri için kullanılabilir.

Hesaplama zamanları açısından değerlendirme yapıldığında DO modeli kullanılarak yapılan simülasyonlar, S2S modeli ile yapılan simülasyonlara göre daha uzun zaman almaktadır. Ancak S2S modeli ile gerçekleştirilen çözümlerinde sayısal simülasyon başlatılmadan önce Fluent yazılımında görüş faktörlerini içeren bir veri dosyası hazırlanmalıdır. Bu verilerin hesaplanması yaklaşık olarak 2-3 gün süre almaktadır.

Görüş faktörleri ile ilgili veriler çözümleri sırasında ilgili denklemlerde kullanılmaktadır. Çözümler sırasında S2S modelinde görüş faktörleri doğrudan kullanıldığından hesaplama sürecinde iterasyon adımları daha hızlı ilerlemektedir. DO modelinde ise her iterasyon adımı için ayrı 1 m² hesaplamaları söz konusu olduğundan dolayı hesaplama sürecinde iterasyon adımları S2S modeline göre nispeten daha yavaş ilerlemektedir.

Diğer taraftan S2S modeli için hesaplanan görüş faktörleri kullanılarak otomobil kabininde ısıtma ve soğutma sürecinde literatürde belirtilen ampirik bağımlılar kullanılarak 1 m² ile ısı transferi için daha detaylı hesaplamalar gerçekleştirilebilir.

Çizelge 4.28'de ısıtma sürecinde kabin yüzeylerinde hesaplanan sıcaklık değerleri yer almaktadır. Her iki model kullanılarak belirli bir zaman dilimi için aynı yüzeyde elde edilen sıcaklık değerleri arasında küçük farklılıklar gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.28 Isıtma periyodunda için kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık değerleri
(a) S2S 1 mm modeli , (b) DO 1 mm modeli

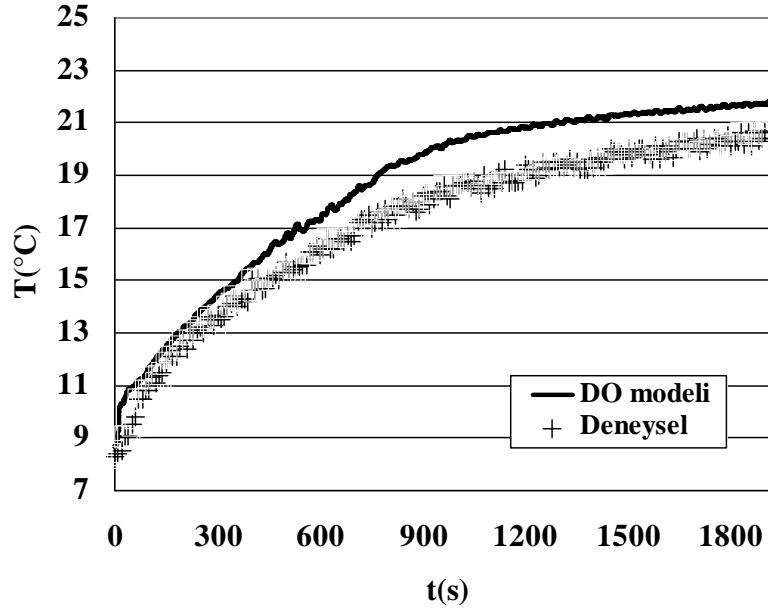
(a)

Kabin Yüzeyleri	T(°C)						
	t=60s	t=180s	t=300s	t=600s	t=900s	t=1200s	t=1800s
Arka cam	8.9	9.6	10.3	12.2	14.0	15.1	16.1
Ön cam	8.9	9.4	10.1	12.0	13.8	14.9	15.9
Sa arka cam	9.1	9.8	10.5	12.5	14.2	15.1	16.0
Sa ön cam	9.0	9.5	10.1	11.8	13.3	14.2	15.1
Sol arka cam	9.3	10.2	11.1	13.0	14.8	15.9	16.8
Sol ön cam	9.2	9.9	10.7	12.4	13.8	14.8	15.6
Arka koltuk	10.3	11.6	12.7	15.0	16.7	17.6	18.5
Direksiyon	11.6	13.2	14.2	16.5	17.6	19.1	20.0
Ön konsol	10.1	10.7	11.3	13.1	14.4	15.3	16.4
Kadran	9.7	10.4	11.0	12.0	13.4	14.6	15.7
Orta konsol	10.5	11.1	11.6	13.7	15.1	15.9	16.9
Sürücü koltu u	11.7	13.0	14.0	16.1	17.8	18.7	19.5
Taban	9.4	9.8	10.1	10.9	11.6	12.1	12.8
Tavan	10.1	11.7	13.1	16.1	18.3	19.1	20.0
Yolcu koltu u	10.4	11.3	12.4	14.8	16.3	17.1	17.9
Ortam Sıcaklı ı	10.7	12.2	13.6	16.5	18.6	19.4	20.2

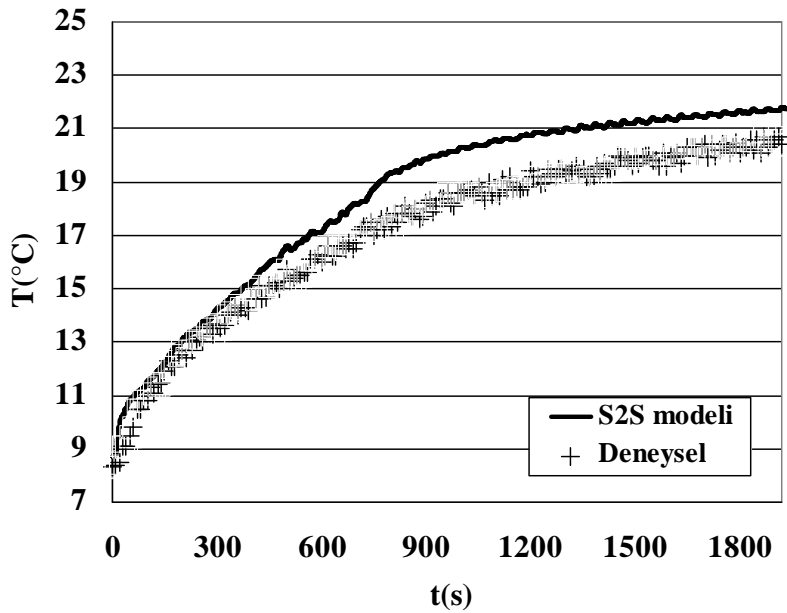
(b)

Tüm yüzeyler	T(°C)						
	t=60s	t=180s	t=300s	t=600s	t=900s	t=1200s	t=1800s
Arka cam	9.1	9.8	10.6	12.5	14.1	15.2	16.2
Ön cam	9.0	9.6	10.3	12.3	14.1	15.1	16.0
Sa arka cam	9.2	9.8	10.6	12.6	14.3	15.2	16.0
Sa ön cam	9.1	9.6	10.3	12.0	13.5	14.4	15.2
Sol arka cam	9.4	10.3	11.3	13.2	15.0	16.0	16.9
Sol ön cam	9.3	10.0	10.8	12.5	14.0	14.9	15.7
Arka koltuk	10.4	11.8	12.8	15.1	16.9	17.5	18.4
Direksiyon	11.9	13.3	14.2	16.4	18.2	19.2	20.0
Ön konsol	10.1	10.7	11.2	13.2	14.6	15.3	16.3
Kadran	9.7	10.5	11.0	12.1	13.6	14.7	15.7
Orta konsol	10.5	11.2	11.6	13.8	15.1	15.8	16.9
Sürücü koltu u	11.9	13.2	14.1	16.2	17.9	18.7	19.5
Taban	9.5	9.9	10.2	11.0	11.7	12.2	12.9
Tavan	10.5	12.0	13.3	16.3	18.4	19.2	20.1
Yolcu koltu u	10.4	11.5	12.5	14.9	16.5	17.2	17.9
Ortam Sıcaklı ı	10.9	12.4	13.8	16.7	18.8	19.5	20.3

Hex Core a yapısı ile S2S ve DO 1 mm modelleri kullanılarak gerçekte tirilen simülasyonlarda kabin içinde tanımlanan bazı kritik noktalarda her iki modelin deneysel verilerle ve kendi içinde kar ıla tırılması ekil 4.34–4.37’de gösterilmi tir.

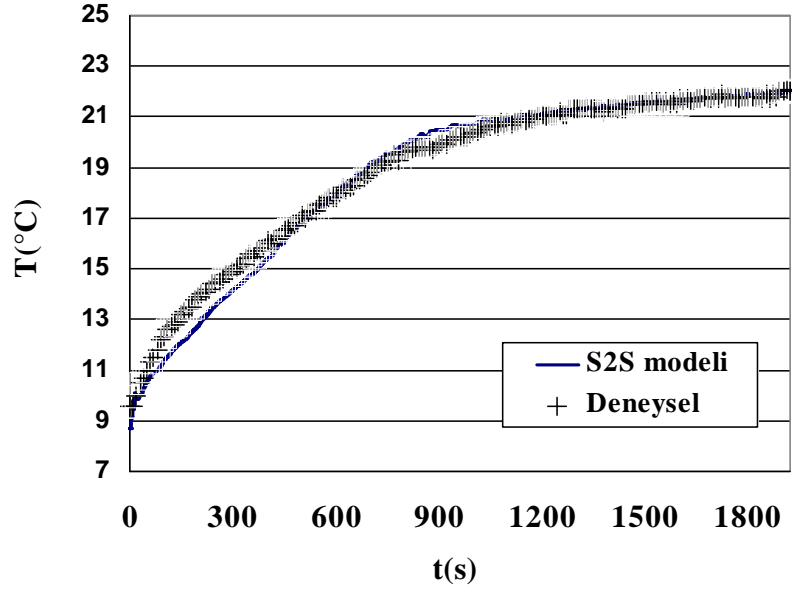


(a)

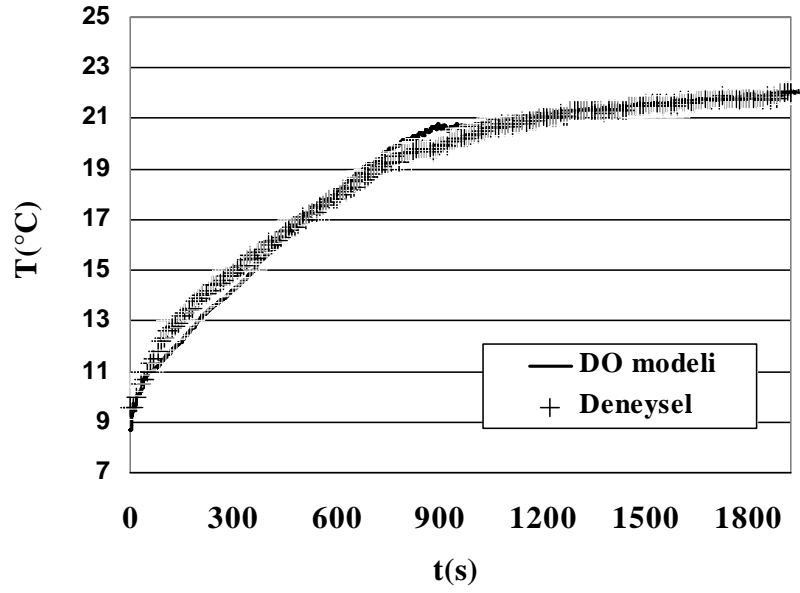


(b)

ekil 4.34 S2S Modeli kullanılarak P1 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması, (a) S2S (b) DO

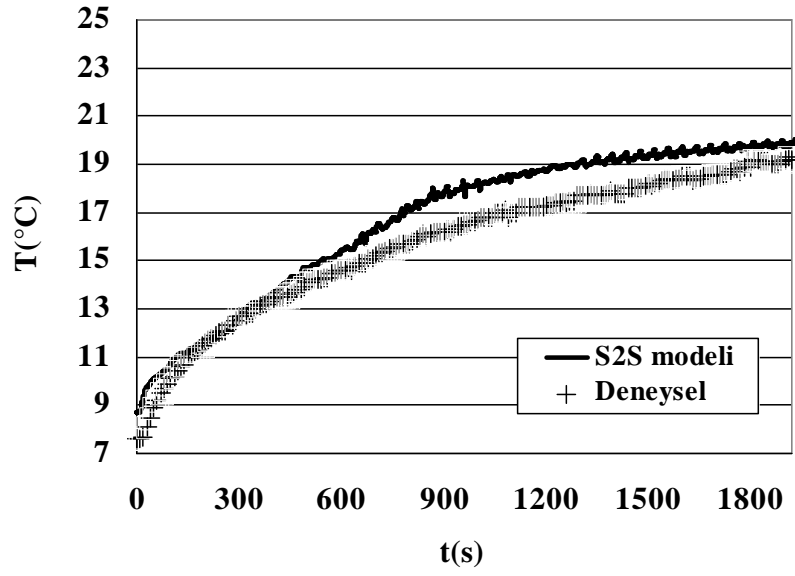


(a)

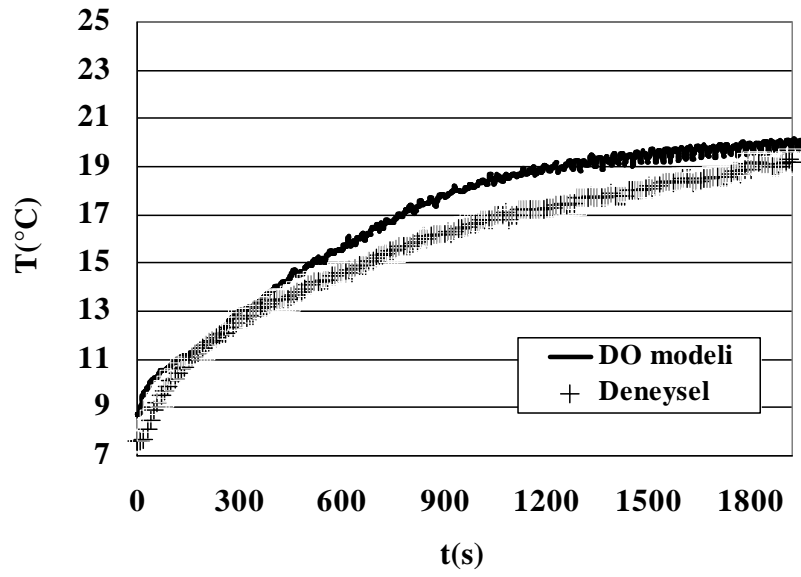


(b)

ekil 4.35 S2S Modeli kullanılarak P2 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması, (a) S2S (b) DO

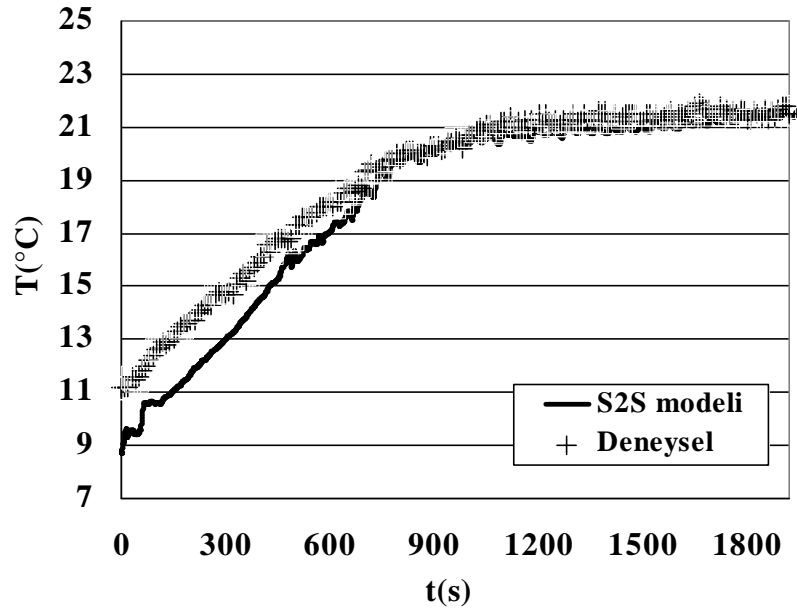


(a)

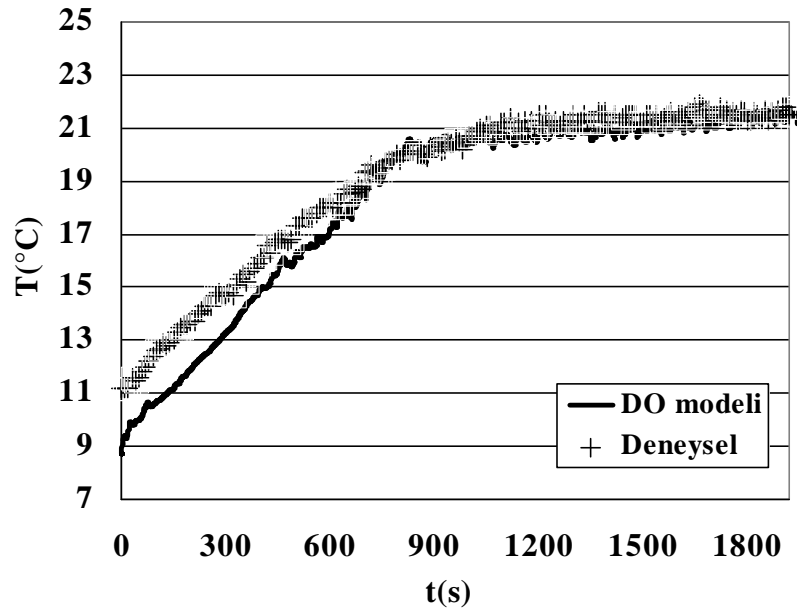


(b)

ekil 4.36 S2S Modeli kullanılarak P4 noktasında elde edilen sonuçların kar ıla tırılması, (a) S2S (b) DO



(a)



(b)

ekil 4.37 S2S Modeli kullanılarak P8 noktasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması, (a) S2S (b) DO

Isıtma periyodu için her iki 1 mm modeli kullanılarak kabin içinde yapılan sıcaklık tahminlerinin deneysel verilerle paralel olduğunu gösterdiği ifade edilebilir. Her iki durumda da deneysel verilerle elde edilen sıcaklık değerleri ile sayısal hesaplamalar

sonucu elde edilen sıcaklık değerleri arasında yaklaşık 1–2°C'lik bir fark olmaktadır. İkinci inimum modeli ile kabin içinde tanımlanan aynı noktalarda 30 dakikalık ısıtma periyodunda elde edilen sıcaklık değerleri benzer eğilim göstermektedir.

4.2.7 Farklı Ortam Koşullarında Gerçekleştirilen Simülasyonlar

Araştırma sonuçları bölümünde bu kısımdan önce, sayısal simülasyonlarla elde edilen hesaplama sonuçlarına ve bu sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılmasına ilişkin detaylı olarak bilgi verilmiştir. Bahsedilen tüm bu hesaplamalarda kabin iç ortam bağıl nem koşulları aynıdır. Bu kısımda ise farklı ortam koşullarında Hex Core yapıları ile gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

Otomobil kabini için gerçekleştirilen bu simülasyonlarda kullanılan çözüm metodu, yakınsama kriterleri, yapıları, sınır şartları gibi çözüme ilişkin temel bilgiler Çizelge 4.29–4.31'de yer almaktadır.

Çizelge 4.29 Bağıl nem koşulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri

Bağıl nem koşulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri	
Kabin iç ve dış ortam bağıl nem sıcaklığı	
II.Durum	-10°C
II.Durum	0°C
III.Durum	10°C
($t_{gerçek} = 5$ dak.)	zaman adımı: 0.001s
($t_{gerçek} = 5-30$ dak.)	zaman adımı: 1s
Yakınsama kriteri	Normalize edilmiş kalanlar
Süreklilik, momentum, enerji	$10^{-4} / 10^{-5} / 10^{-7}$
Basınç-hız ilişkilerinin kaldırılması	SIMPLE
Ayrıntılı tırma metodu(Basınç)	Standart
Ayrıntılı tırma metodu(Akış, enerji ve diğer)	2.dereceden Upwind yöntemi

Kabin iç ortam bağıl nem sıcaklığı sırasıyla -10°C, 0°C ve 10°C olmak üzere üç ayrı durum için ısıtma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Isıtma periyodu için yapılan bu üç farklı çözümlemede 2.000.000 hacim eleman sayısına sahip çözüm ağı kullanılmıştır. Manken yüzeylerinde sabit ısı akısı sınır şartı, kabin dışı ve cam

yüzeylerinde ta mım sınır artı, kabin iç yüzeylerinde ısı adyabatik sınır artı ve menfezlerde ise zamana ba lı de i en sıcaklık sınır artı kullanılmı tır. Tüm giri menfezlerinde hava hızı, konsol yüzeyine dik do rultuda olacak ekilde 2.5 m/s olarak belirlenmi tir. Kabin iç ortam yüzeyleri arasında gerçekte en 1 mım ile olan ısı transferi hesaplamaları için DO 1 mım modeli kullanılmı tır.

Çizelge 4.30 A yapısı ve sınır artları

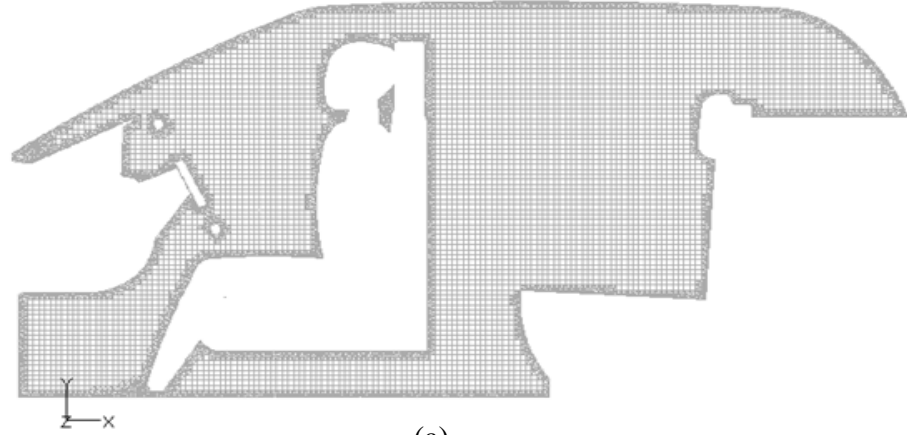
A yapısı	
A yapısı	Tür: Hex Core
Hacim eleman sayısı	Hacim eleman sayısı: 1.959.495
Dü üm noktası sayısı	Dü üm noktası sayısı: 871.871
Yüzey a yapısı	Tür: Üçgen eleman Yüzey sayısı: 5.224.138
Sınır artları	
Manken yüzeyleri	Sabit ısı akısı(60W/m ²)
Giri menfezleri(Sıcaklık)	De i ken sıcaklık ($T(t)$) sınır artı,
Giri menfezleri(Hız)	Hız kademesine ba lı sabit hız de eri
Çıkı menfezleri	Geriye dönü sıcaklı ı sınır artı
Kabin dı yüzeyleri	Rüzgar hızına ba lı ta mım sınır artı
Kabin iç yüzeyleri	Isıl adyabatik sınır artı $q = 0 \text{ W/m}^2$

Çizelge 4.31 Çözüm metodu, workstation, kısımlara ayırma metodu

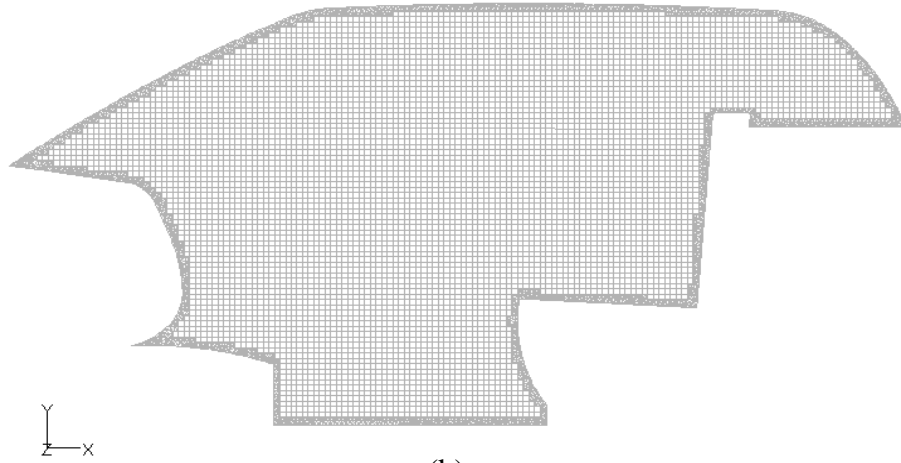
Çözüm metodu ve workstation	
Çözüm metodu	3D Paralel
Workstation	2 x Quad-Core Intel Xeon processor
Çözüm a mın kısımlara ayrılması	Kartezyen metot
Toplam hesaplama zamanı	15-20 gün
Isıtma Süresi	40 dak.

Otomobil kabini için gerçekte tirilen bu simülasyonlarda kullanılan çözüm a mın kesit görünümüleri ekil 4.38'de ve giri menfezlerinde her üç durum için belirlenen sıcaklık e risi ise ekil 4.39'da yer almaktadır. ç ortam ba langıç

sıcaklığının -10°C olduğu I. durum için insan vücudu yüzeylerinde ısıtma sürecinde ısı karakteristiklerinin zamana bağlı değişimi çizelge 4.32–4.34'te yer almaktadır.

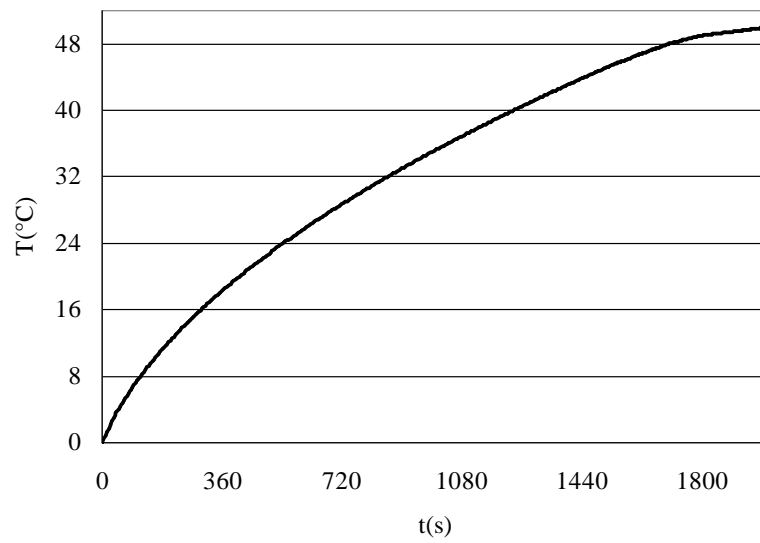


(a)



(b)

ekil 4.38 A yapısı kesit görünümü, (a) $z = -0.3$ m (b) $z = -0.65$ m



ekil 4.39 Giriş menfezlerinde zamana bağlı sıcaklık değişimi

Çizelge 4.32 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, I.Durum (a) $t=240s$, (b) $t=360s$

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=240s$)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	22.0	38.0	5.0	-2.0
Boyun	30.3	29.7	7.7	
Gövde	30.1	29.9	11.5	
Kasık	53.3	6.7	7.5	
Sa ayak	36.8	23.2	-0.3	
Sa bacak	37.9	22.1	5.1	
Sa baldır	31.0	29.0	2.1	
Sa el	28.5	31.5	4.1	
Sa kol	29.7	30.3	9.7	
Sa omuz	15.9	44.1	6.3	
Sol ayak	37.7	22.3	-1.0	
Sol bacak	37.6	22.4	4.1	
Sol baldır	29.6	30.4	1.7	
Sol el	30.5	29.5	3.2	
Sol kol	32.1	27.9	6.8	
Sol omuz	14.6	45.4	5.1	
Ort. De er	31.2	28.8	6.0	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=360s$)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	19.5	40.5	7.8	0.9
Boyun	28.3	31.7	10.9	
Gövde	27.0	33.0	14.6	
Kasık	51.9	8.1	11.9	
Sa ayak	37.1	22.9	1.0	
Sa bacak	37.3	22.7	7.7	
Sa baldır	27.8	32.2	4.3	
Sa el	23.1	36.9	7.4	
Sa kol	26.6	33.4	12.3	
Sa omuz	10.4	49.6	10.1	
Sol ayak	34.5	25.5	1.1	
Sol bacak	36.2	23.8	6.6	
Sol baldır	26.5	33.5	3.8	
Sol el	28.1	31.9	5.5	
Sol kol	30.2	29.8	9.5	
Sol omuz	6.8	53.2	8.6	
Ort. De er	28.7	31.3	8.7	

Çizelge 4.33 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, I.Durum (a) t= 600s, (b) t=900s

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=600s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	14.6	45.4	12.4	5.3
Boyun	25.1	34.9	15.9	
Gövde	22.9	37.1	19.1	
Kasık	50.0	10.0	16.4	
Sa ayak	38.0	22.0	3.0	
Sa bacak	35.3	24.7	11.9	
Sa baldır	26.6	33.4	7.2	
Sa el	18.7	41.3	11.7	
Sa _kol	23.7	36.3	16.3	
Sa omuz	2.8	57.2	15.4	
Sol ayak	35.1	24.9	3.1	
Sol bacak	33.6	26.4	10.5	
Sol baldır	22.0	38.0	6.9	
Sol el	23.7	36.3	9.3	
Sol kol	25.8	34.2	13.8	
Sol omuz	-3.9	63.9	13.8	
Ort. De er	25.3	34.7	12.7	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=900s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	10.9	49.1	17.1	9.9
Boyun	22.4	37.6	21.0	
Gövde	19.5	40.5	24.1	
Kasık	49.9	10.1	21.0	
Sa ayak	36.7	23.3	6.4	
Sa bacak	34.5	25.5	16.2	
Sa baldır	21.6	38.4	11.5	
Sa el	20.5	39.5	15.1	
Sa kol	20.9	39.1	21.0	
Sa omuz	-4.4	64.4	20.8	
Sol ayak	36.1	23.9	5.6	
Sol bacak	32.5	27.5	14.4	
Sol baldır	22.4	37.6	9.7	
Sol el	22.3	37.7	12.9	
Sol kol	20.9	39.1	18.5	
Sol omuz	-13.6	73.6	19.0	
Ort. De er	22.7	37.3	17.0	

Çizelge 4.34 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, I.Durum (a) $t=1200s$, (b) $t=1800s$

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1200s$)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	9.5	50.5	20.5	13.9
Boyun	20.7	39.3	24.8	
Gövde	17.9	42.1	27.1	
Kasık	44.2	15.8	25.2	
Sa ayak	37.2	22.8	8.5	
Sa bacak	32.2	27.8	19.9	
Sa baldır	23.9	36.1	13.3	
Sa el	18.9	41.1	18.3	
Sa kol	20.5	39.5	23.9	
Sa omuz	-8.8	68.8	24.8	
Sol ayak	34.8	25.2	8.1	
Sol bacak	29.9	30.1	17.9	
Sol baldır	18.1	41.9	12.8	
Sol el	20.5	39.5	15.8	
Sol kol	18.8	41.2	21.3	
Sol omuz	-21.6	81.6	23.0	
Ort. Değer	21.0	39.0	20.1	

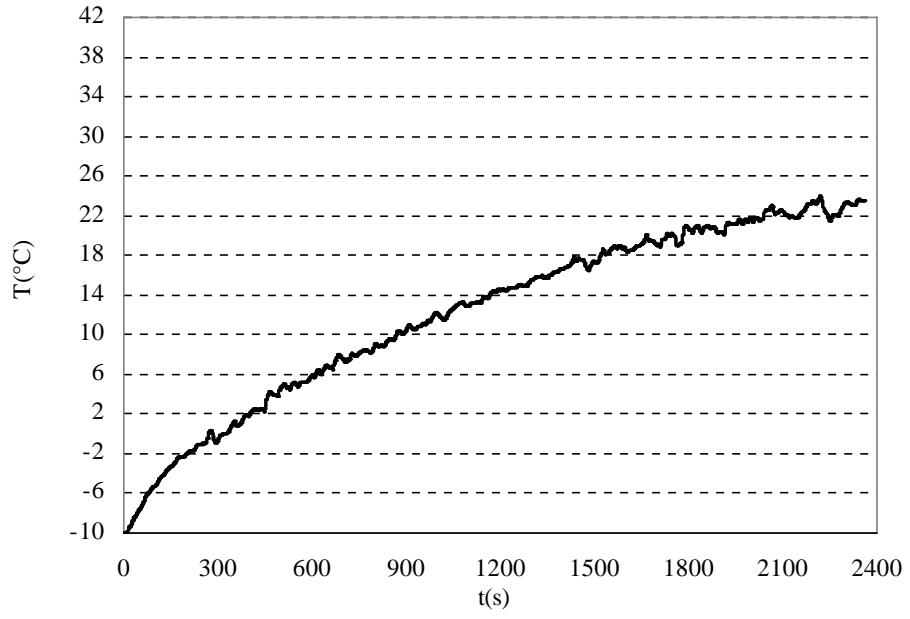
(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1800s$)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	2.8	57.2	27.4	20.1
Boyun	15.3	44.7	32.2	
Gövde	13.0	47.0	33.7	
Kasık	48.1	11.9	29.9	
Sa ayak	36.3	23.7	12.1	
Sa bacak	32.8	27.2	24.8	
Sa baldır	20.3	39.7	17.8	
Sa el	11.5	48.5	24.7	
Sa kol	15.9	44.1	29.6	
Sa omuz	-23.2	83.2	32.8	
Sol ayak	36.3	23.7	11.2	
Sol bacak	29.3	30.7	23.0	
Sol baldır	12.9	47.1	17.3	
Sol el	12.4	47.6	22.1	
Sol kol	9.4	50.6	28.4	
Sol omuz	-36.9	96.9	30.4	
Ort. Değer	16.6	43.4	25.9	

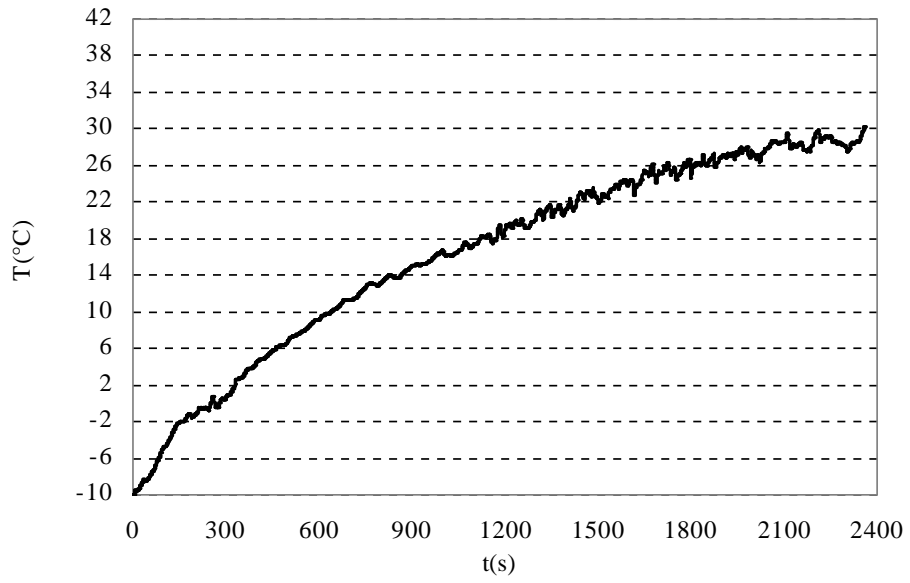
Çizelge 4.32–4.34'te yer alan değerler incelendiğinde 4 dakikalık ısıtma sürecinin sonunda iç ortam sıcaklığı oldukça düşük olduğundan dolayı maksimum yüzey sıcaklığı 11.5°C olarak gövde yüzeyinde elde edilmiştir. Bu periyotta en düşük yüzey sıcaklıkları ayak yüzeylerinde yaklaşık olarak -1°C ve 0°C arasında hesaplanmıştır. Isıtma süresine bağlı olarak yüzey sıcaklıkları artan ortam sıcaklığı ile birlikte artmaktadır.

20 dakikalık ısıtma periyodu sonunda, vücut ile ortam arasında gerçekleşen ısı transferinde minimum ile ısı transferinin belirgin bir şekilde etkisini arttırdığı görülmektedir. Bu periyodun sonunda en yüksek yüzey sıcaklığı gövde yüzeyinde yaklaşık olarak 27°C hesaplanmıştır. 30 dakikalık ısıtma periyodunun sonunda ise bu değer yaklaşık olarak 33.7°C ye yükselmiştir. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda hesaplanan ortalama vücut yüzey sıcaklığı ise yaklaşık olarak 26°C 'dir.

Kabin iç ortamında tanımlanan 10 adet kritik noktada hesaplanan sıcaklık dağılımları ekil 4.40-4.44'te yer almaktadır. Sol arka koltuk baş seviyesinde(P2) 40 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda hesaplanan ortalama sıcaklık değeri yaklaşık 30°C 'dir. Sol ön koltuk omuz ve iki koltuk arası baş seviyelerinde hesaplanan ortalama sıcaklık değeri en yüksek değerlerde ve ısıtma periyodunun sonunda yaklaşık olarak 34°C hesaplanmıştır. Hesaplanan düşük ortalama sıcaklık değerleri ise sol kapı döşemesi ve torpido yüzeyinde, sürekli rejim koşullarında yaklaşık olarak 10°C olarak hesaplanmıştır. Isıtma periyodu sonucunda ön koltuk diz seviyelerinde ise ortalama sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 22°C olarak hesaplanmıştır.

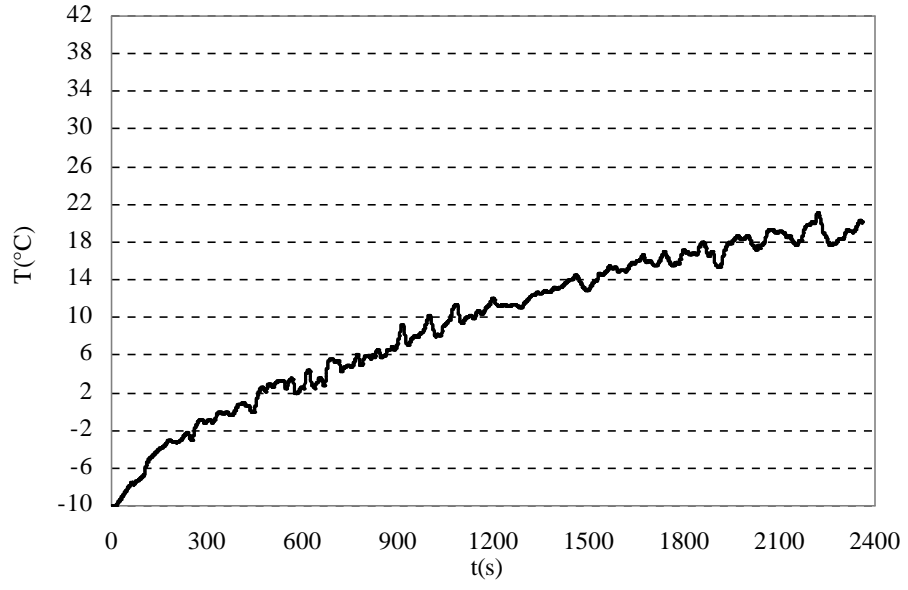


(a) P(1)

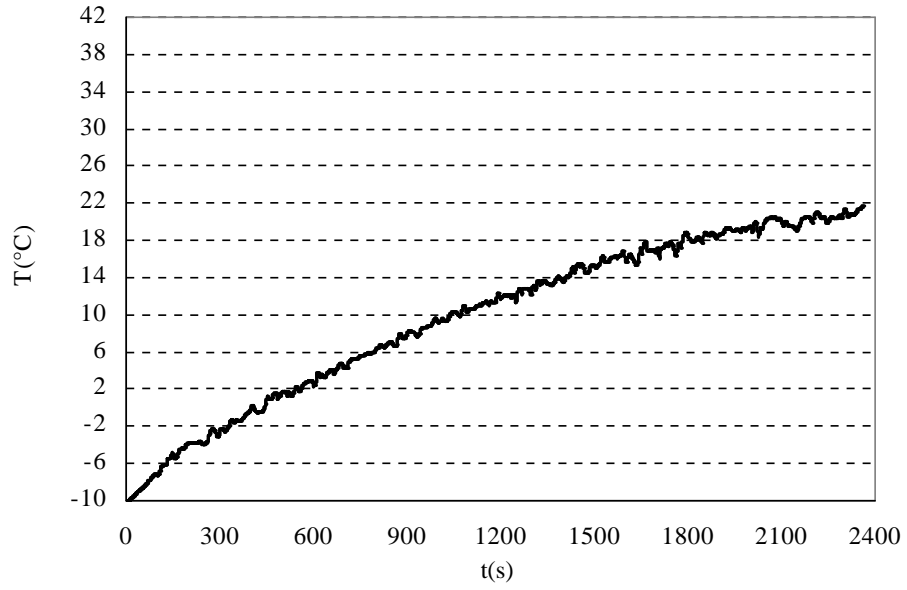


(b) P(2)

ekil 4.40 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P1 (b) P2

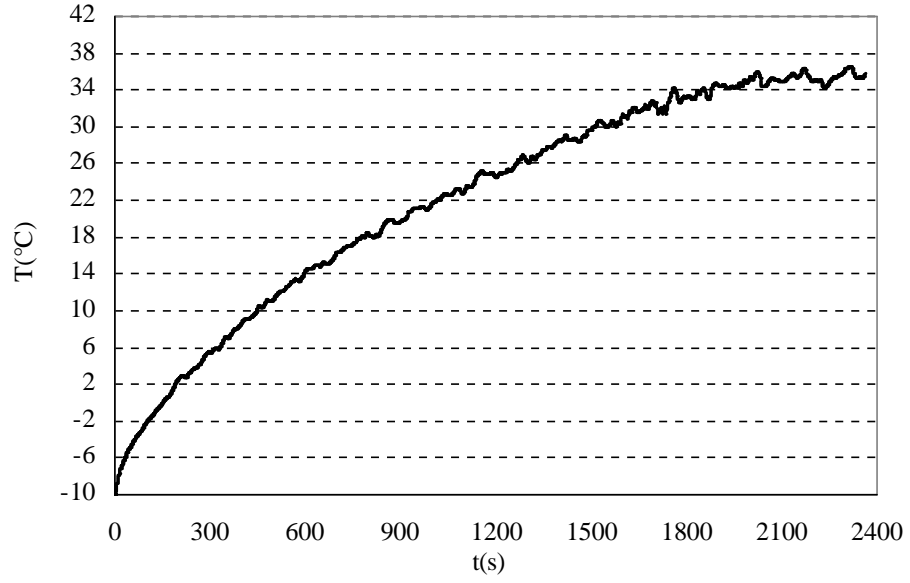


(a) P(3)

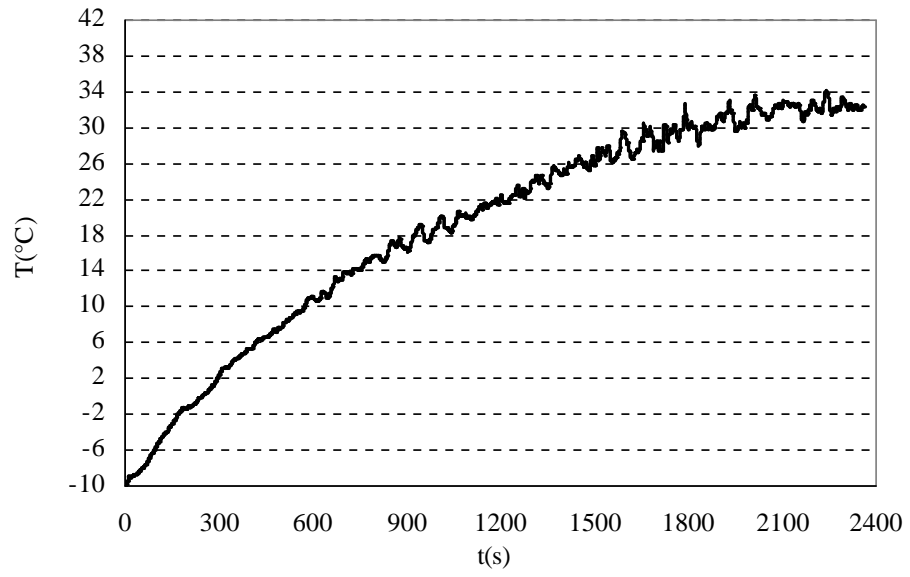


(b) P(4)

ekil 4.41 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P3 (b) P4

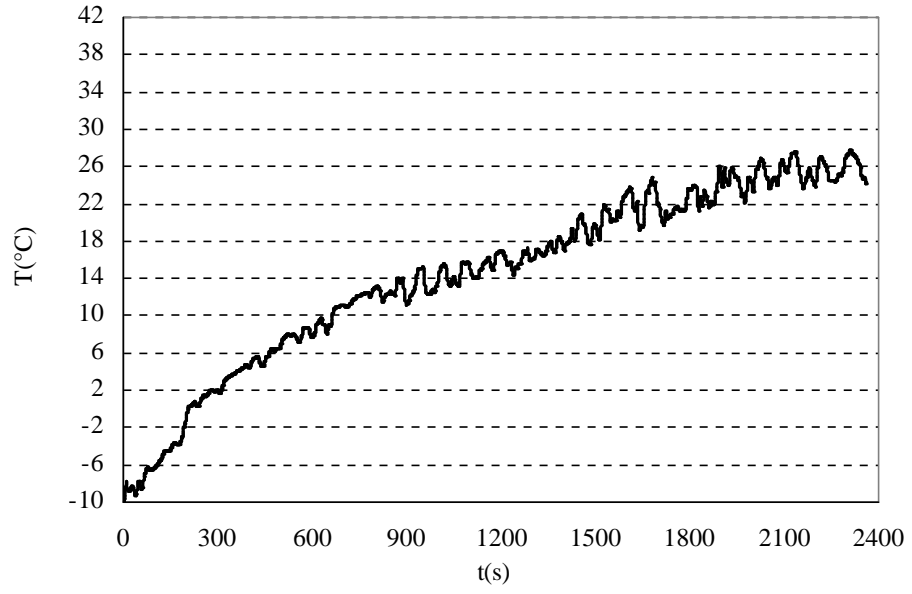


(a) P(5)

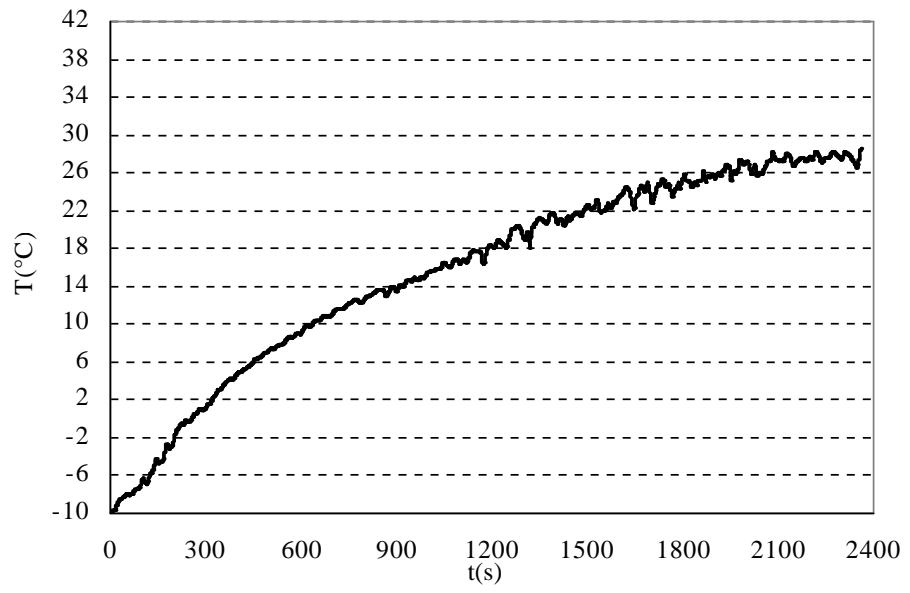


(b) P(6)

ekil 4.42 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P5 (b) P6

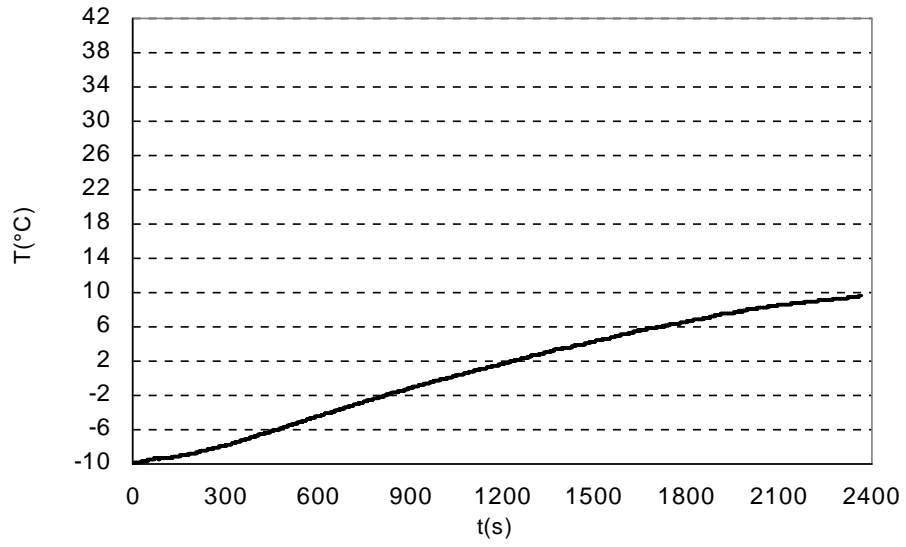


(a) P(7)

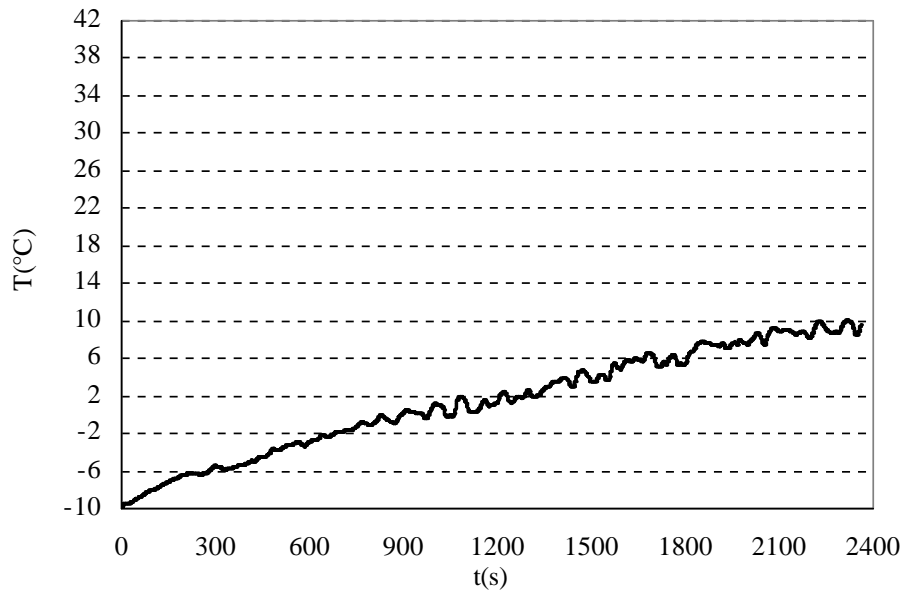


(b) P(8)

ekil 4.43 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P7 (b) P8



(a) P(9)



(b) P(10)

ekil 4.44 I.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P9 (b) P10

ç ortam ba langıç sıcaklı mın 0°C oldu u II.durum için insan vücudu yüzeylerinde ısıtma sürecinde ısıl karakteristiklerin zamana ba lı de i imi çizelge 4.35–4.37’de yer almaktadır.

Çizelge 4.35 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, II.Durum (a) t= 180s, (b) t=360s

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=180s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	27.1	32.9	9.8	3.6
Boyun	34.1	25.9	11.6	
Gövde	33.9	26.1	16.8	
Kasık	49.0	11.0	17.1	
Sa ayak	36.0	24.0	7.8	
Sa bacak	38.4	21.6	11.9	
Sa baldır	31.2	28.8	9.6	
Sa el	32.5	27.5	9.8	
Sa kol	34.3	25.7	14.5	
Sa omuz	29.8	30.2	9.0	
Sol ayak	35.6	24.4	7.5	
Sol bacak	36.5	23.5	11.9	
Sol baldır	29.4	30.6	9.4	
Sol el	32.2	27.8	9.9	
Sol kol	33.7	26.3	13.6	
Sol omuz	26.9	33.1	9.1	
Ort. Değer	33.4	26.6	12.3	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=360s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	22.0	38.0	13.3	7.0
Boyun	30.3	29.7	15.9	
Gövde	29.2	30.8	20.1	
Kasık	48.4	11.6	19.5	
Sa ayak	35.5	24.5	9.3	
Sa bacak	35.4	24.6	15.0	
Sa baldır	28.3	31.7	11.9	
Sa el	27.3	32.7	13.1	
Sa kol	28.4	31.6	18.2	
Sa omuz	20.9	39.1	13.5	
Sol ayak	34.8	25.2	9.0	
Sol bacak	35.1	24.9	14.1	
Sol baldır	27.8	32.2	11.2	
Sol el	28.8	31.2	12.3	
Sol kol	30.9	29.1	16.0	
Sol omuz	18.4	41.6	12.8	
Ort. Değer	29.8	30.2	15.2	

Çizelge 4.36 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, II.Durum (a) t= 600s, (b) t=900s
(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=600s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	17.2	42.8	17.8	11.3
Boyun	26.3	33.7	21.0	
Gövde	25.4	34.6	24.8	
Kasık	50.6	9.4	22.3	
Sa ayak	35.4	24.6	11.3	
Sa bacak	36.1	23.9	17.9	
Sa baldır	28.3	31.7	14.0	
Sa el	22.9	37.1	17.0	
Sa kol	24.2	35.8	22.8	
Sa omuz	7.7	52.3	19.9	
Sol ayak	34.6	25.4	10.8	
Sol bacak	34.3	25.7	17.0	
Sol baldır	25.0	35.0	13.6	
Sol el	25.7	34.3	15.7	
Sol kol	27.7	32.3	19.9	
Sol omuz	5.7	54.3	18.3	
Ort. De er	27.1	32.9	18.9	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=900s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	14.2	45.8	20.9	14.7
Boyun	24.0	36.0	24.5	
Gövde	22.0	38.0	28.4	
Kasık	49.7	10.3	25.9	
Sa ayak	36.0	24.0	12.7	
Sa bacak	34.2	25.8	21.1	
Sa baldır	25.5	34.5	16.3	
Sa el	15.8	44.2	21.0	
Sa kol	21.6	38.4	25.5	
Sa omuz	2.2	57.8	23.8	
Sol ayak	33.8	26.2	12.6	
Sol bacak	31.9	28.1	20.0	
Sol baldır	21.2	38.8	16.0	
Sol el	24.3	35.7	18.1	
Sol kol	23.8	36.2	23.6	
Sol omuz	-4.2	64.2	22.4	
Ort. De er	24.1	35.9	21.9	

Çizelge 4.37 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, II.Durum (a) t= 1200s, (b) t=1800s

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=1200s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	9.5	50.5	25.5	19.2
Boyun	20.6	39.4	29.5	
Gövde	18.0	42.0	32.6	
Kasık	48.5	11.5	30.3	
Sa ayak	35.2	24.8	15.5	
Sa bacak	33.8	26.2	25.0	
Sa baldır	23.3	36.7	19.6	
Sa el	12.8	47.2	25.0	
Sa kol	18.7	41.3	29.8	
Sa omuz	-6.6	66.6	29.3	
Sol ayak	33.4	26.6	15.1	
Sol bacak	31.0	29.0	23.5	
Sol baldır	17.8	42.2	19.1	
Sol el	20.4	39.6	21.9	
Sol kol	20.8	39.2	27.0	
Sol omuz	-15.1	75.1	27.4	
Ort. Değer	21.2	38.8	25.8	

(b)

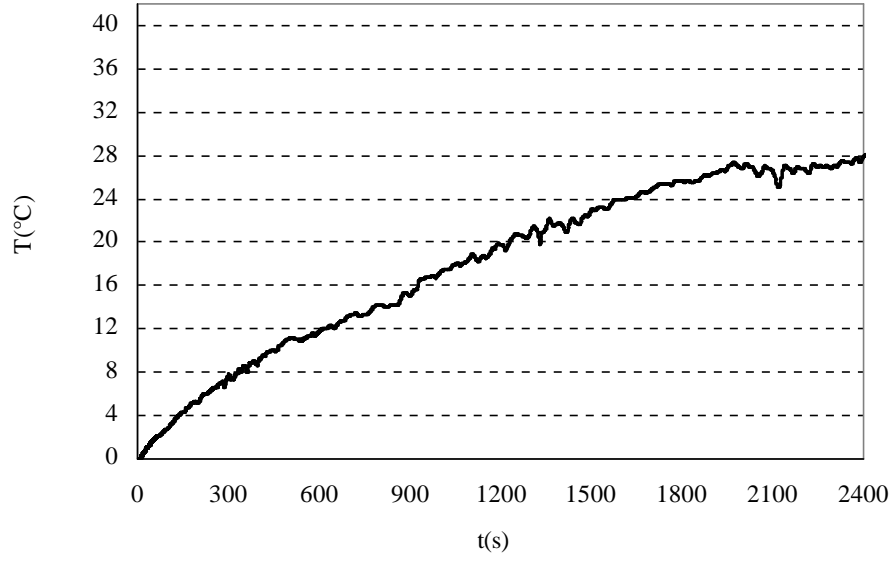
Isı Transfer Karakteristikleri (t=1800s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	4.9	55.1	31.4	25.0
Boyun	17.0	43.0	35.7	
Gövde	15.2	44.8	37.7	
Kasık	48.0	12.0	35.8	
Sa ayak	35.8	24.2	19.1	
Sa bacak	30.6	29.4	30.6	
Sa baldır	20.2	39.8	24.3	
Sa el	12.8	47.2	29.6	
Sa kol	15.9	44.1	34.7	
Sa omuz	-16.0	76.0	35.8	
Sol ayak	33.2	26.8	18.8	
Sol bacak	27.2	32.8	28.8	
Sol baldır	14.9	45.1	23.5	
Sol el	13.6	46.4	27.5	
Sol kol	15.3	44.7	32.2	
Sol omuz	-26.3	86.3	33.5	
Ort. Değer	17.7	42.3	30.9	

Çizelge 4.35–4.37’de yer alan ısı karakteristlikler de erlendirildi inde, ba langıçta 3 dakikalık ısıtma periyodu sonunda vücut yüzeyinde elde edilen en dü ük sıcaklık sol ayak yüzeyinde elde edilmi ve ortalama 7.5°C olarak hesaplanmı tır. Bu periyotta iç ortam sıcaklı ı yakla ık olarak 3.6°C olarak hesaplanmı tır.

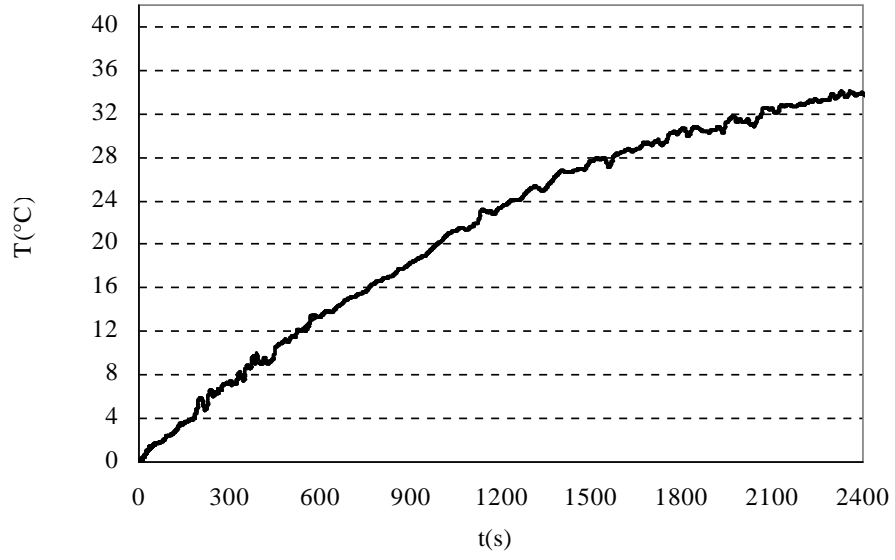
Artan ısıtma süresi ile birlikte vücut yüzey sıcaklı ının ortalama de eri 10 dakikalık ısıtma periyodu sonunda yakla ık olarak 19°C ’ye ula mı tır. Buna ba lı olarak ı nım ile olan ısı transferi ta nım ile olan ısı transferine göre daha etkin hale gelmi ve bu periyot sonunda hesaplanan ı nım ısı akısı $33\text{W}/\text{m}^2$ de erine ula mı tır. Vücut yüzeyinde $60\text{W}/\text{m}^2$ sabit ısı akısı sınır artı uygulanan bu hesaplamalarda, ısıtma periyodunun ilk 10 dakikasında vücut yüzeyinde lokal bölgelerde ısı karakteristlikler oldukça hızlı de i mesine ra men vücut için ortalama de erler kısmen daha az de i mektedir.

30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda, ortalama vücut yüzey sıcaklı ı 31°C ’dir. Bu periyot sonunda hesaplanan maksimum yüzey sıcaklı ı gövde yüzeyinde yakla ık olarak 38°C hesaplanmı tır. En dü ük sıcaklık ise 19°C olarak sol ayak yüzeyinde hesaplanmı tır.

Kabin iç ortamında tanımlanan 10 adet kritik noktada hesaplanan sıcaklık da ılımları ekil 4.45–4.49’da yer almaktadır.

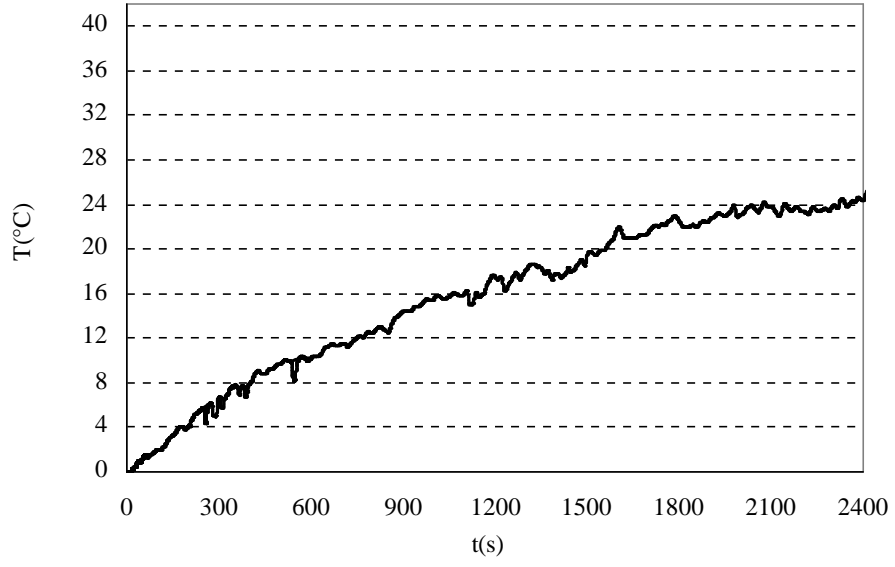


(a) P(1)

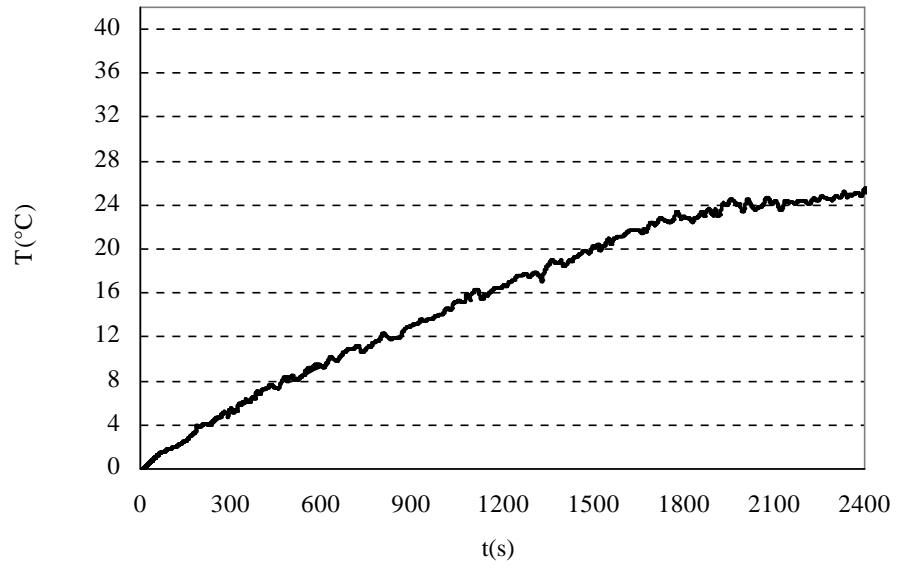


(b) P(2)

ekil 4.45 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P1 (b) P2

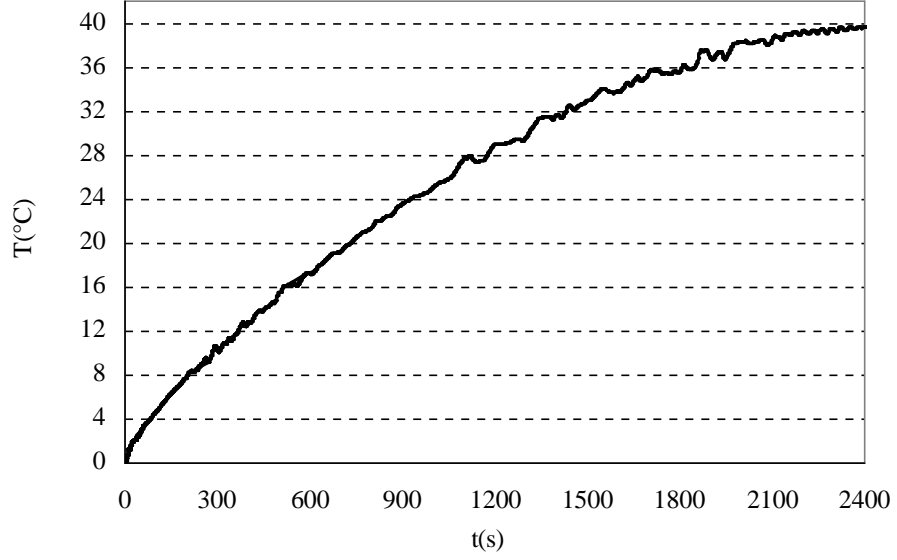


(a) P(3)

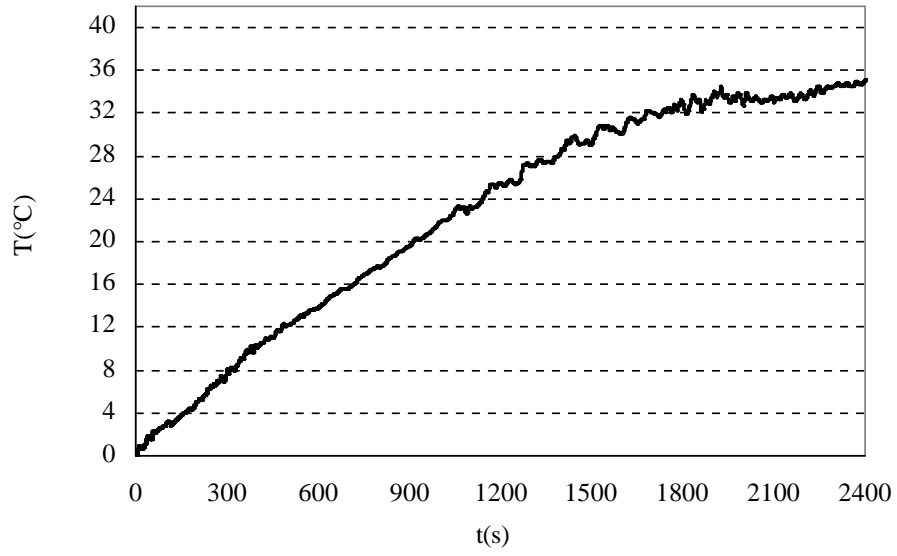


(b) P(4)

ekil 4.46 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P3 (b) P4

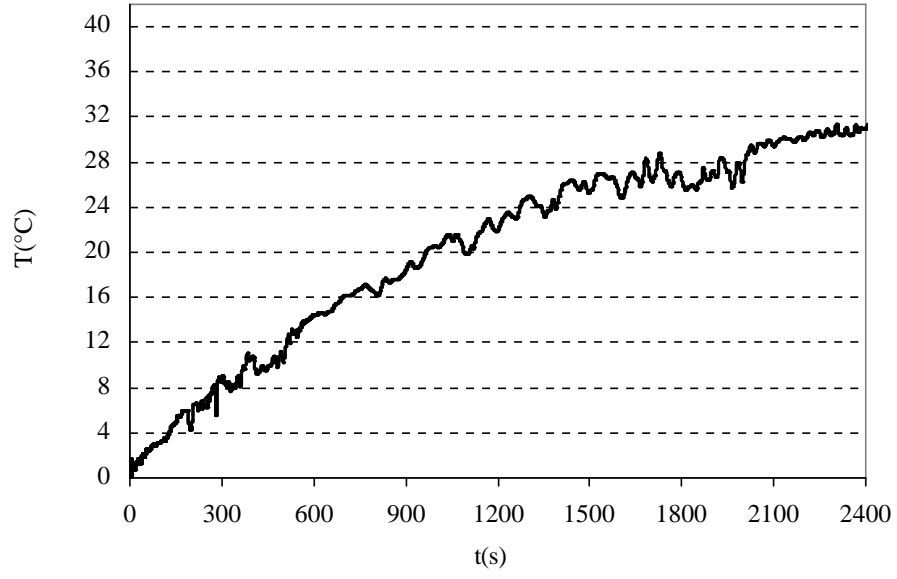


(a) P(5)

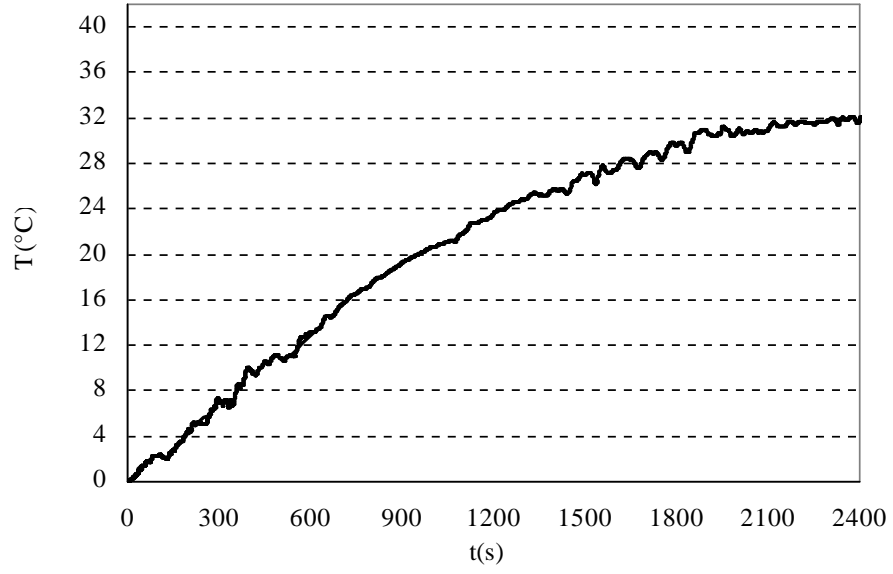


(b) P(6)

ekil 4.47 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P5 (b) P6

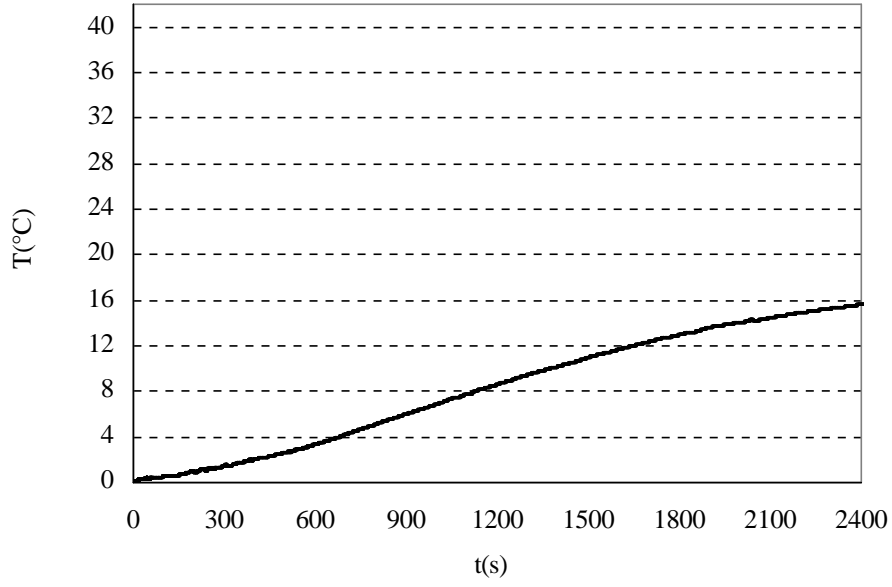


(a) P(7)

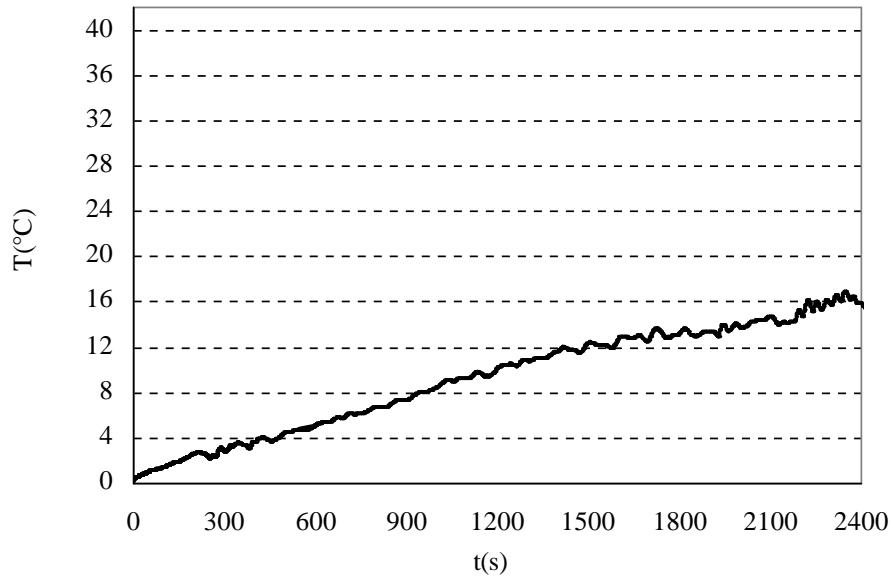


(b) P(8)

ekil 4.48 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P7 (b) P8



(a) P(9)



(b) P(10)

ekil 4.49 II.Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P9 (b) P10

II. durumda kritik noktalarda elde edilen sıcaklık da ılımları de erlendirildi inde, ısıtma periyodu sonunda en dü ük sıcaklıklar yüzey üzerinde belirlenen P9 ve P10 noktalarında yakla ık 16°C 'dir. 30 dakikalık ısıtma periyodu süresince hacim içinde tanımlanan noktalar arasında elde edilen en yüksek sıcaklık sol ön koltuk omuz seviyesinde ve yakla ık olarak 40°C 'dir. Kabin ön kısım ba seviyelerinde ise ortalama

32°C 'ye yakla ık 30 dakikalık ısıtma sonunda ula ılmı tır. Arka koltuk diz seviyesinde ise bu periyot sonucunda daha dü ük sıcaklık de erleri elde edilmi ve yakla ık olarak 24°C ve 28°C arasındadır.

III. durum da ise iç ortam ba langıç sıcaklı ı 10°C olarak yapılan hesaplamalarda insan vücudu için ısı karakteristlikler çizelge 4.38-4.40'da yer almaktadır. Artan ortam sıcaklı ı ve insan vücudu için tanımlanan sınır artı ısı karakteristliklerde dikkate de er de i imler göstermektedir.

Çizelge 4.38 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, III.Durum (a) $t=180s$, (b) $t=360s$

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=180s$)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	26.2	33.8	18.7	12.7
Boyun	31.1	28.9	20.8	
Gövde	31.8	28.2	26.1	
Kasık	47.1	12.9	27.1	
Sa ayak	34.7	25.3	17.3	
Sa bacak	37.7	22.3	21.2	
Sa baldır	29.9	30.1	18.9	
Sa el	31.1	28.9	19.1	
Sa kol	34.2	25.8	23.5	
Sa omuz	28.0	32.0	18.1	
Sol ayak	33.8	26.2	17.1	
Sol bacak	35.0	25.0	21.3	
Sol baldır	28.6	31.4	18.7	
Sol el	32.4	27.6	18.8	
Sol kol	33.5	26.5	22.6	
Sol omuz	27.0	33.0	18.0	
Ort. Değer	32.3	27.7	21.5	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=360s$)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	24.0	36.0	20.8	15.1
Boyun	29.7	30.3	23.2	
Gövde	29.3	30.7	28.3	
Kasık	49.4	10.6	28.2	
Sa ayak	33.5	26.5	18.4	
Sa bacak	35.0	25.0	23.4	
Sa baldır	27.2	32.8	20.5	
Sa el	28.1	31.9	21.1	
Sa kol	29.7	30.3	26.3	
Sa omuz	23.1	36.9	20.8	
Sol ayak	33.4	26.6	18.0	
Sol bacak	34.0	26.0	22.7	
Sol baldır	27.2	32.8	19.9	
Sol el	29.6	30.4	20.5	
Sol kol	31.6	28.4	24.2	
Sol omuz	21.6	38.4	20.4	
Ort. Değer	29.9	30.1	23.4	

Çizelge 4.39 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, III.Durum (a) t= 600s, (b) t=900s

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=600s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	18.7	41.3	24.2	18.2
Boyun	26.8	33.2	27.1	
Gövde	26.2	33.8	32.7	
Kasık	45.8	14.2	31.4	
Sa ayak	35.8	24.2	19.4	
Sa bacak	33.1	26.9	26.2	
Sa baldır	26.4	33.6	22.3	
Sa el	21.7	38.3	24.5	
Sa kol	25.3	34.7	30.5	
Sa omuz	15.7	44.3	25.1	
Sol ayak	34.6	25.4	19.2	
Sol bacak	32.8	27.2	25.2	
Sol baldır	24.5	35.5	21.9	
Sol el	25.5	34.5	23.2	
Sol kol	28.2	31.8	27.8	
Sol omuz	14.3	45.7	24.2	
Ort. Değer	27.2	32.8	26.6	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=900s)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	14.9	45.1	27.7	21.9
Boyun	24.4	35.6	30.8	
Gövde	22.6	37.4	35.0	
Kasık	48.7	11.3	34.0	
Sa ayak	33.3	26.7	21.5	
Sa bacak	33.0	27.0	28.9	
Sa baldır	23.9	36.1	24.5	
Sa el	19.8	40.2	27.5	
Sa kol	21.6	38.4	33.1	
Sa omuz	4.9	55.1	29.8	
Sol ayak	28.8	31.2	21.9	
Sol bacak	31.9	28.1	27.6	
Sol baldır	22.8	37.2	23.8	
Sol el	23.6	36.4	25.9	
Sol kol	25.4	34.6	30.0	
Sol omuz	2.4	57.6	28.3	
Ort. Değer	24.3	35.7	29.2	

Çizelge 4.40 Vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, III.Durum (a) $t=1200s$, (b) $t=1800s$

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1200s$)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	11.1	48.9	31.6	26.0
Boyun	21.4	38.6	35.3	
Gövde	18.8	41.2	39.1	
Kasık	47.4	12.6	37.7	
Sa ayak	33.8	26.2	23.5	
Sa bacak	31.5	28.5	32.4	
Sa baldır	22.8	37.2	27.1	
Sa el	11.9	48.1	31.9	
Sa kol	17.9	42.1	36.8	
Sa omuz	-2.3	62.3	34.6	
Sol ayak	31.9	28.1	23.3	
Sol bacak	29.3	30.7	31.1	
Sol baldır	18.0	42.0	26.7	
Sol el	21.1	38.9	29.0	
Sol kol	22.0	38.0	33.7	
Sol omuz	-9.3	69.3	33.0	
Ort. Değer	21.2	38.8	32.8	

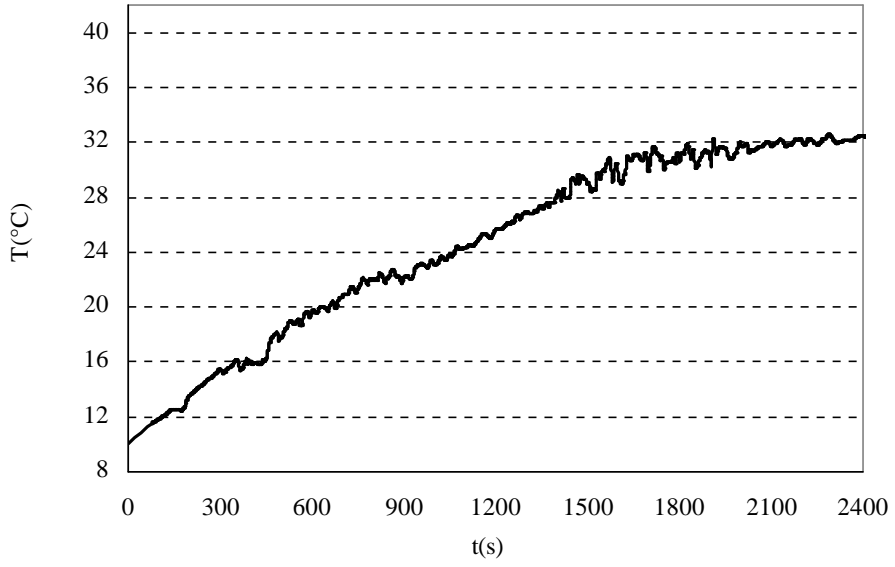
(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1800s$)				
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	6.6	53.4	36.2	30.5
Boyun	18.5	41.5	40.0	
Gövde	15.3	44.7	43.9	
Kasık	47.9	12.1	41.4	
Sa ayak	33.0	27.0	26.3	
Sa bacak	29.9	30.1	36.4	
Sa baldır	18.2	41.8	30.7	
Sa el	9.5	50.5	35.9	
Sa kol	15.5	44.5	41.0	
Sa omuz	-8.1	68.1	39.4	
Sol ayak	32.2	27.8	25.6	
Sol bacak	29.3	30.7	34.2	
Sol baldır	14.4	45.6	29.8	
Sol el	19.7	40.3	32.3	
Sol kol	17.0	43.0	38.4	
Sol omuz	-20.4	80.4	38.1	
Ort. Değer	18.2	41.8	36.8	

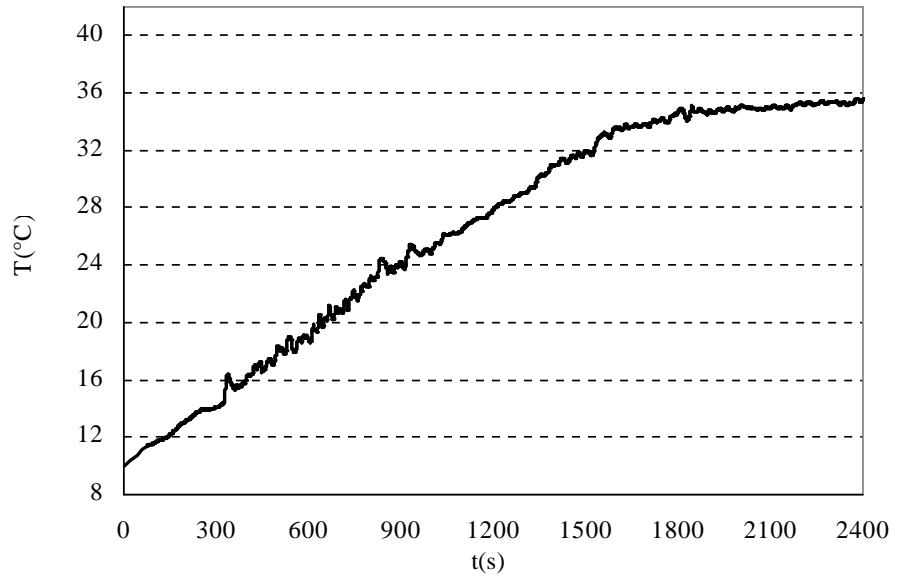
III. durum için vücut yüzeyinde hesaplanan lokal ve ortalama yüzey sıcaklıkları kabin iç ortam ba langıç sıcaklığı na ba lı olarak hızlı bir artış göstermektedir. 6 dakikalık ısıtma periyodu sonunda ortalama vücut yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 23°C hesaplanmıştır. 10 dakikalık ısıtma sonunda ise bu değer 27°C olarak elde edilmiştir. 6-10 dakikalık ısıtma periyotları arasında hesaplanan maksimum yüzey sıcaklığı na sahip gövde yüzeyinde sıcaklık 28.3°C 'den 32.7°C 'ye yükselmiştir. 20 dakikalık ısıtma periyodu sonunda ortalama vücut yüzey sıcaklığı ise 32.8°C hesaplanmıştır. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda ise bu değer 36.8°C 'ye ulaşmaktadır.

Isı akıları kar ıla tırıldı nda ba langıçta ta nım ile ısı transferinin belirgin bir etkisi mevcuttur. Isıtma süresindeki artış a paralel olarak ı nım di er durumlarda elde edilen sonuçlara benzer olarak giderek etkisini arttırmakta ve 30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda vücut için ı nım ısı akısı yaklaşık olarak 42 W/m^2 de erindedir. Bu sonuçtan yola çıkarak ı nım ile ısı transferinin, insan vücudu ile ortam arasında gerçekleşen toplam ısı transferi hesaplamalarında önemli rol oynadığını söyleyebiliriz.

Kabin iç ortamında tanımlanan 10 adet kritik noktada hesaplanan sıcaklık da ılımları ekil 4.50–4.54'te yer almaktadır.

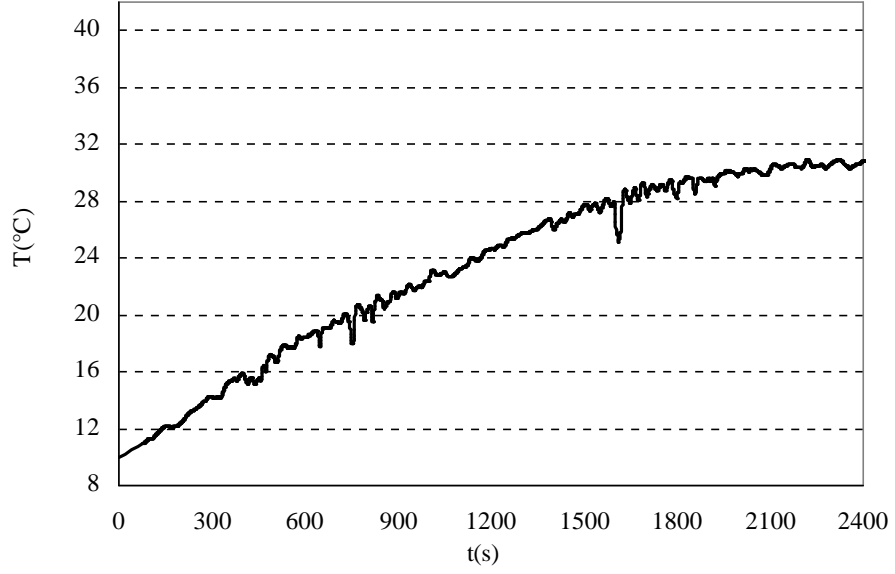


(a) P(1)

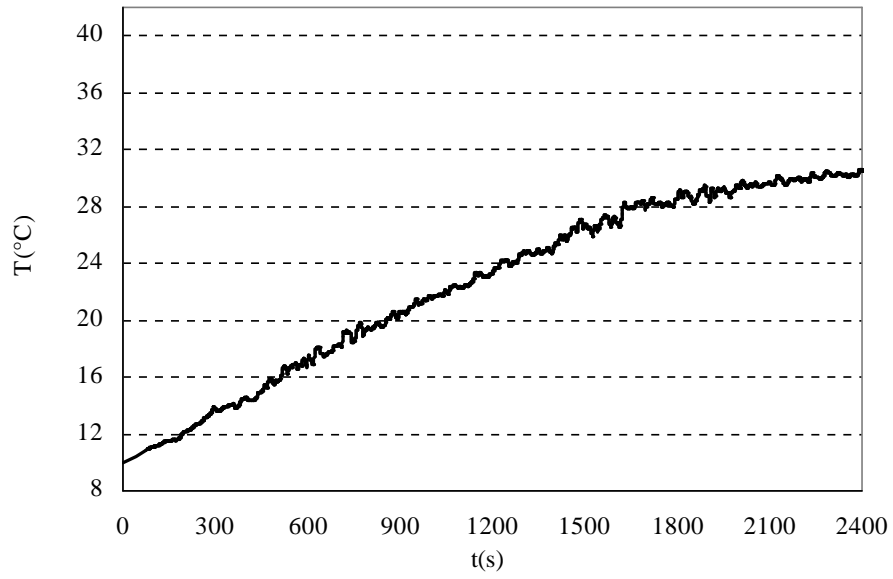


(b) P(2)

ekil 4.50 III. Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P1 (b) P2

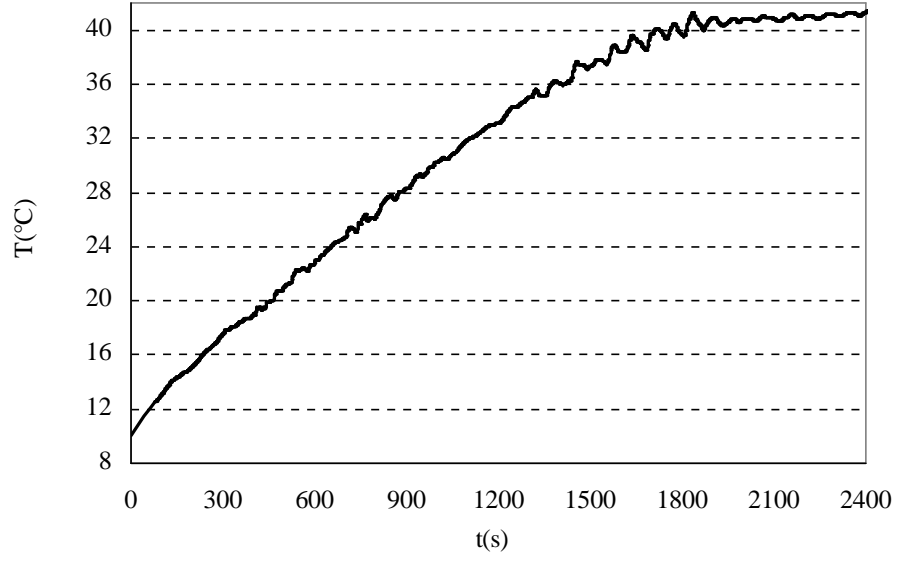


(a) P(3)

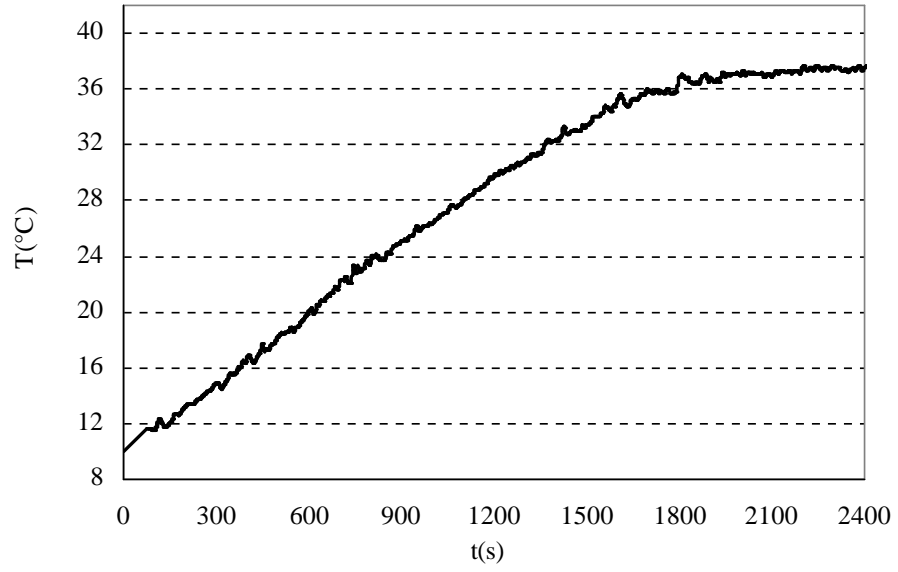


(b) P(4)

ekil 4.51 III. Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P3 (b) P4

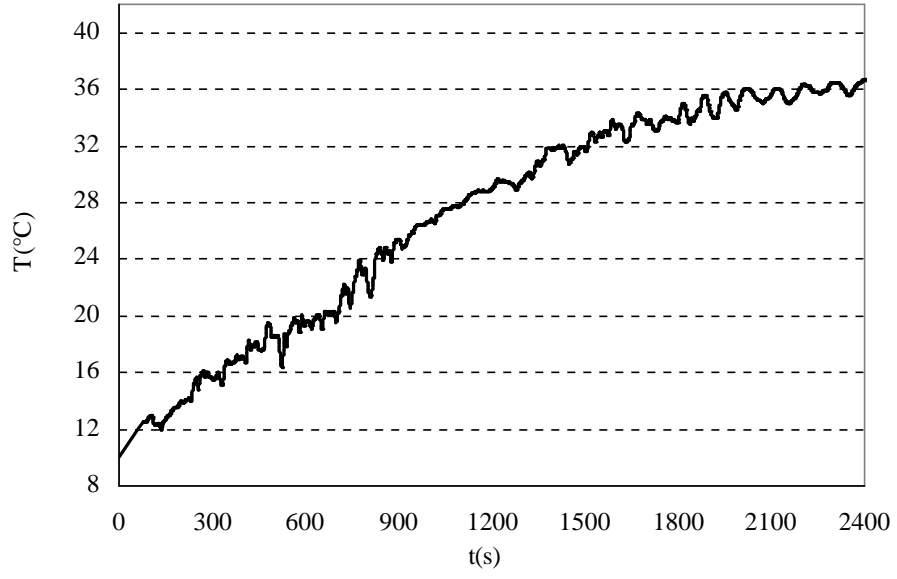


(a) P(5)

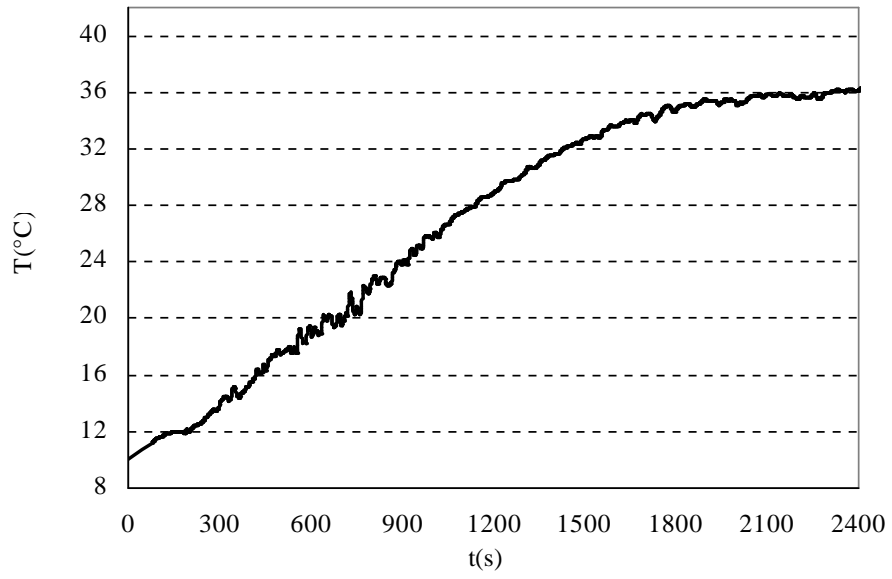


(b) P(6)

ekil 4.52 III. Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P5 (b) P6

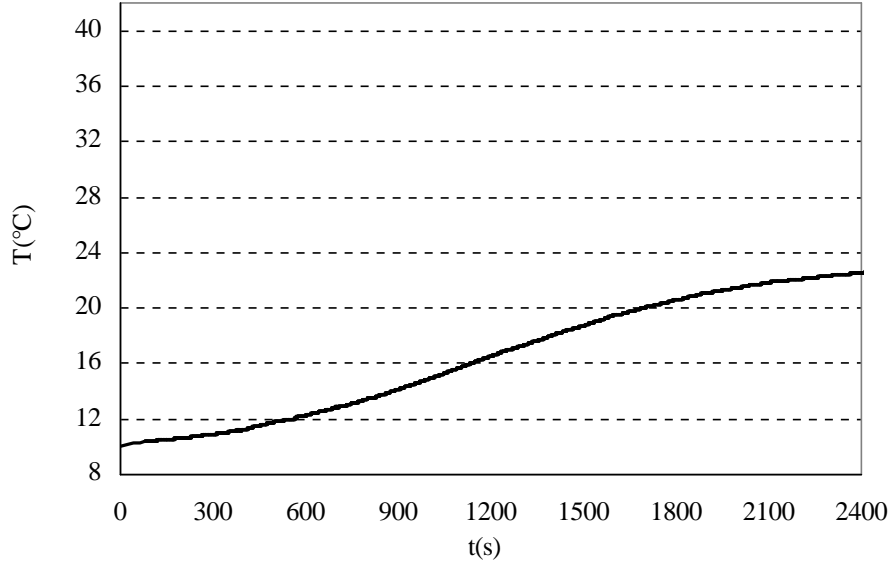


(a) P(7)

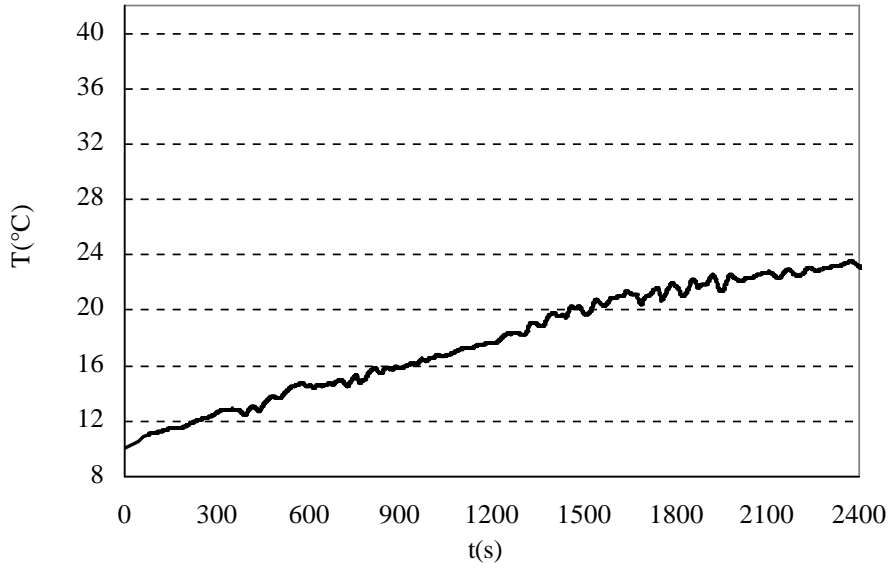


(b) P(8)

ekil 4.53 III. Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P7 (b) P8



(a) P(9)



(b) P(10)

ekil 4.54 III. Durum için kritik noktalarda elde edilen sıcaklık e rileri (a) P9 (b) P10

III. durum da kritik noktalarda elde edilen sıcaklık değerleri incelendi inde di er durumlarda elde edilen verilerle benzer olarak yüksek sıcaklıklar, iki koltuk arası ba (P5)ve sol ön koltuk ba (P6) seviyelerinde sırasıyla 40°C ve 38°C olarak hesaplanmıştır. 40 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin yüzeylerinde tanımlanan P9 ve P10 noktalarında en düşük sıcaklıklar yaklaşık olarak 24°C'dir. Ön koltuk diz seviyelerinde ise sıcaklık değeri yaklaşık olarak 32°C'ye ulaşmaktadır. Artan ortam sıcaklığına bağlı olarak kabin içinde tanımlanan noktalarda elde edilen sıcaklıklarda ısıtma süresince hızlı bir artış gözlemlenmektedir.

Bahsedilen tüm durumlar için kabine ait di er yüzeylerde elde edilen ortalama sıcaklık değerleri çizelge 4.41-4.43'te yer almaktadır.

Çizelge 4.41 Isıtma periyodu süresince kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık değerleri(I. Durum)

Kabin Yüzeyleri	T(°C)					
	t=240s	t=360s	t=600s	t=900s	t=1200s	t=1800s
Arka cam	-8.1	-6.7	-3.7	-0.5	2.4	7.1
Ön cam	-8.0	-6.2	-2.7	1.0	4.0	9.3
Sa arka cam	-8.0	-6.6	-3.9	-0.9	1.8	6.0
Sa ön cam	-8.3	-7.0	-4.7	-1.8	0.9	5.2
Sol arka cam	-7.6	-6.2	-3.7	-0.5	2.2	6.1
Sol ön cam	-8.1	-7.0	-4.8	-2.2	0.3	4.5
Arka koltuk	-8.0	-1.0	2.3	-0.2	8.8	13.9
Direksiyon	-3.7	-0.9	2.4	6.7	9.6	15.5
Ön konsol	-7.0	-5.4	-2.6	0.8	3.6	8.4
Kadran	-7.8	-6.2	-3.9	-0.7	1.9	6.9
Orta konsol	-6.0	-4.2	-1.2	2.7	5.6	10.2
Sürücü koltu u	-2.6	-0.5	3.0	6.9	10.1	14.9
Taban	-8.4	-7.7	-6.4	-4.7	-3.0	-0.1
Tavan	-2.8	0.3	4.8	9.6	13.6	20.3
Yolcu koltu u	-4.1	-1.9	1.6	5.5	8.7	13.8
Ortam Sıcaklığı	-2.0	0.9	5.3	3.9	7.3	20.1

I.durumda 4 dakikalık ısıtma süresi sonunda en düşük sıcaklık taban yüzeyinde elde edilmiştir. Tavan yüzeyinde ise maksimum sıcaklık hesaplanmıştır. Genel olarak düşük sıcaklıklar taban yüzeyi dışında kabinin dış ortamla temasta olan cam yüzeylerinde elde edilmiştir.

Çizelge 4.42 Isıtma periyodu süresince kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık de erleri(II. Durum)

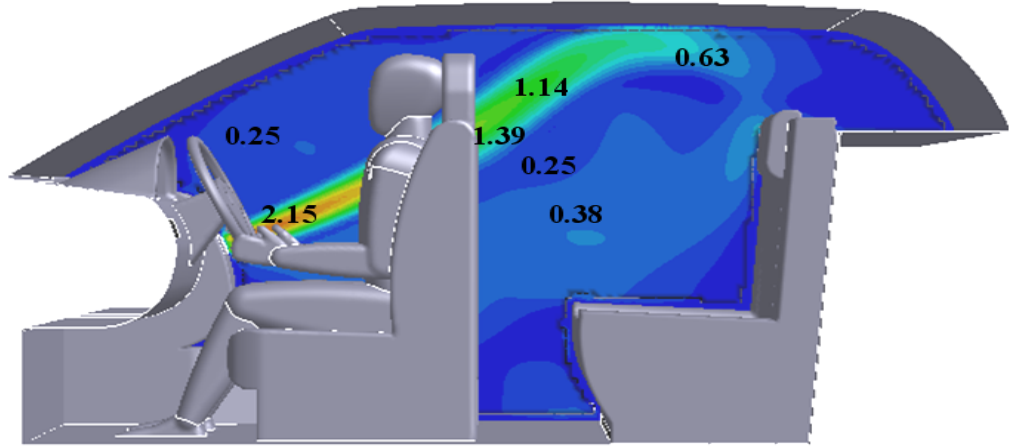
Kabin Yüzeyleri	T(°C)					
	t=180s	t=360s	t=600s	t=900s	t=1200s	t=1800s
Arka cam	0.9	2.3	4.6	6.6	9.4	13.6
Ön cam	0.6	1.9	4.7	7.1	10.5	15.2
Sa arka cam	0.7	2.1	4.4	6.5	9.1	13.3
Sa ön cam	0.6	1.9	3.9	5.7	8.2	12.3
Sol arka cam	1.0	2.2	4.7	6.7	9.3	13.6
Sol ön cam	0.8	2.0	3.9	5.6	7.8	11.6
Arka koltuk	3.3	6.0	4.5	12.2	15.7	19.9
Direksiyon	3.2	5.1	9.5	11.9	15.8	20.7
Ön konsol	1.6	2.9	5.2	7.1	10.3	14.7
Kadran	0.9	1.7	4.5	6.0	9.0	13.0
Orta konsol	2.0	3.9	6.3	8.4	11.7	16.5
Sürücü koltu u	4.3	6.7	10.0	12.5	16.0	20.8
Taban	1.0	1.7	2.7	3.7	5.3	7.8
Tavan	2.9	6.0	10.5	13.8	18.6	24.9
Yolcu koltu u	2.6	5.3	8.5	11.1	14.7	19.5
Ortam Sıcaklı ı	3.6	7.0	11.3	14.7	19.2	25.0

Çizelge 4.43 Isıtma periyodu süresince kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık de erleri(III. Durum)

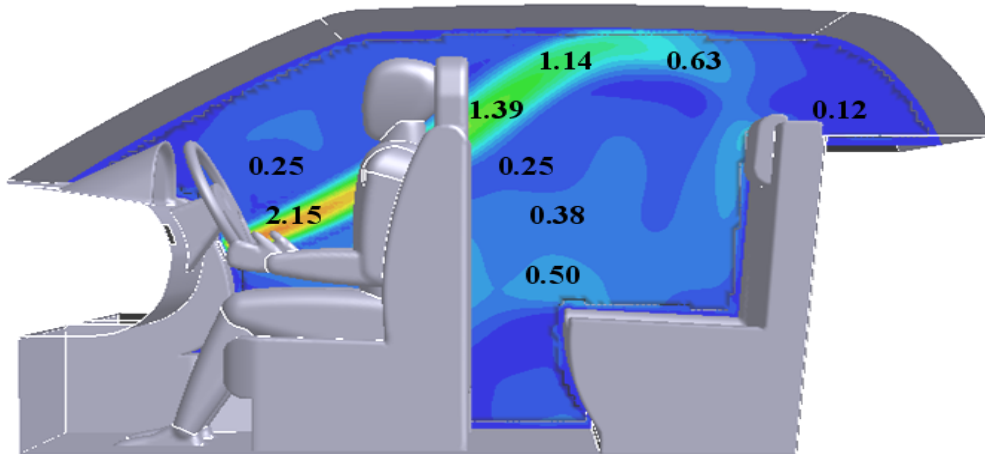
Kabin Yüzeyleri	T(°C)					
	t=180s	t=360s	t=600s	t=900s	t=1200s	t=1800s
Arka cam	10.7	11.7	13.3	15.4	18.0	21.2
Ön cam	10.4	11.2	12.7	15.1	18.3	22.1
Sa arka cam	10.5	11.5	13.0	15.1	17.6	20.7
Sa ön cam	10.5	11.3	12.7	14.6	16.7	19.7
Sol arka cam	10.8	11.8	13.4	15.4	17.7	20.6
Sol ön cam	10.8	11.6	12.9	14.5	16.5	19.2
Arka koltuk	12.3	14.6	17.2	19.6	23.2	26.9
Direksiyon	13.3	13.9	16.4	20.0	23.2	27.4
Ön konsol	11.4	12.4	13.5	15.7	18.2	21.5
Kadran	11.1	11.3	12.5	14.8	17.1	20.6
Orta konsol	11.7	13.0	14.5	17.0	19.6	23.1
Sürücü koltu u	13.4	15.2	17.6	20.3	23.4	26.9
Taban	10.8	11.3	12.1	13.1	14.5	16.3
Tavan	12.0	14.2	17.1	20.8	25.0	29.7
Yolcu koltu u	12.0	13.8	16.1	19.0	22.2	25.8
Ortam Sıcaklı ı	12.7	15.1	18.2	21.9	26.0	30.5

II. ve III. durumlarda artan dı ortam ba langıç sıcaklı na paralel olarak yüzey sıcaklıkları belirgin artı göstermektedir. Isıtma ba langıcından 4 dakika sonra taban ve tavan yüzey sıcaklıkları arasındaki farkı, II. durum için 1.9°C ve III. durum için 2.8°C olmasına rağmen. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda, bahsedilen bu değer II. durum için 17.1°C ve III. durum için 13.4°C olarak hesaplanmıştır. Her iki durumda da 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda, tavan yüzey sıcaklı ı ortam sıcaklı na yakın değerler almaktadır ve taban yüzeyleri dı nda sol ve sa ön cam yüzeylerinde de dü ük sıcaklıklar elde edilmiştir.

Farklı kabin iç ortam ba langıç sıcaklıkları ile gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda kabin orta ve menfez düzlemlerinde sıcaklık ve hız dağılımlarının zamana bağlı değişimleri üç farklı durum için ekil 4.55–4.69’da yer almaktadır.



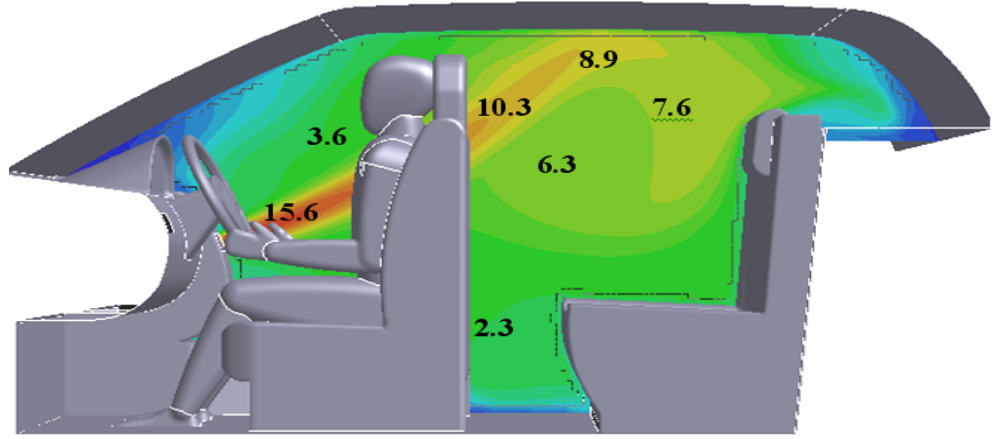
(a)



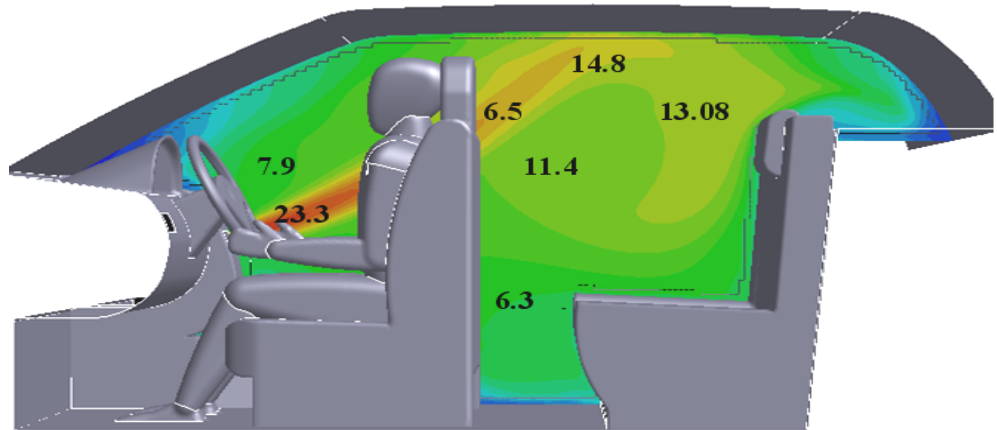
(b)

ekil 4.55 Kabin orta düzleminde hız (m/s) dağılımı (I.Durum), (a) 360s (b) 600s

I.durum için 6 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin orta düzleminde elde edilen hız da ılımı ekil 4.55 (a)'da yer almaktadır. Kabin arka kısmında diz seviyesinde hız de eri 0.5 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu düzlemde maksimum hız menfez bölgesine yakın kısımda ve yaklaşık 2.1 m/s de erindedir. ekil 4.55 (b)'de yer alan 10 dakikalık ısıtma periyodu sonunda kabin orta düzleminde elde edilen hız da ılımı incelendi inde sayısal de er ve düzlem içinde da ılım açısından 6 dakikalık ısıtma periyodunda elde edilen verilerle karşılaştırıldı ında dikkate de er farklılıklar gözlemlenmemektedir. Bu nedenle 10 dakikalık ısıtma periyodu sonrasında ilgili düzlemde hız da ılımının zamana ba lı de i medi ini söyleyebiliriz.

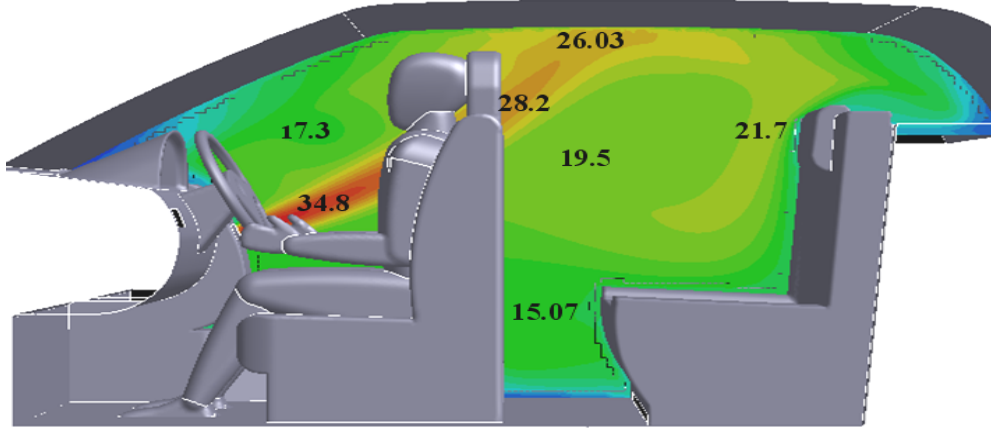


(a)

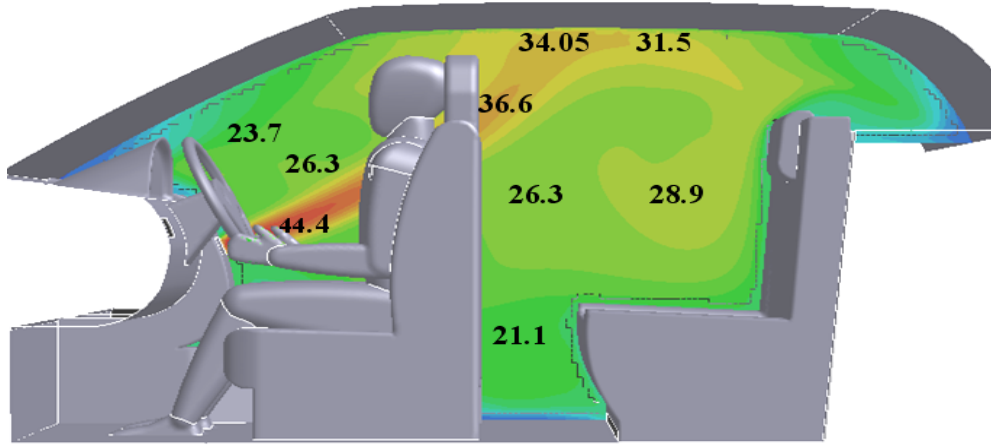


(b)

ekil 4.56 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) da ılımı (I.Durum), (a) 360s (b) 600s



(a)

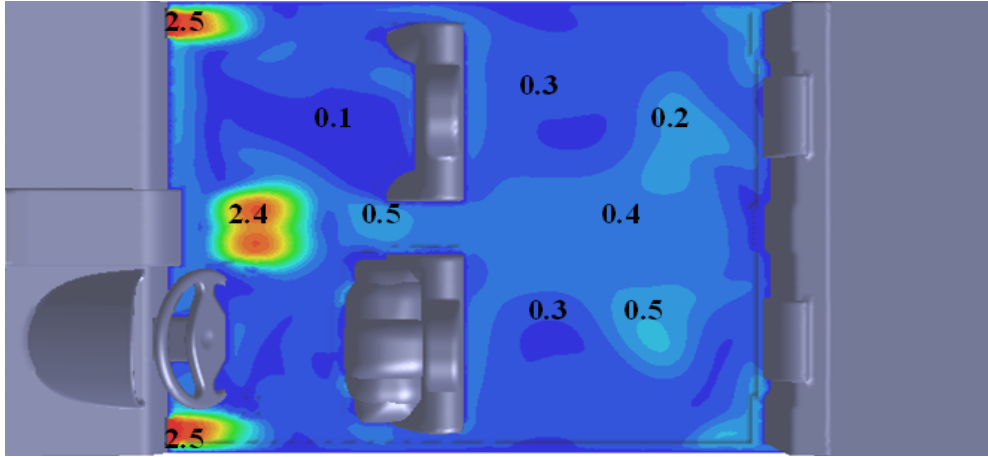


(b)

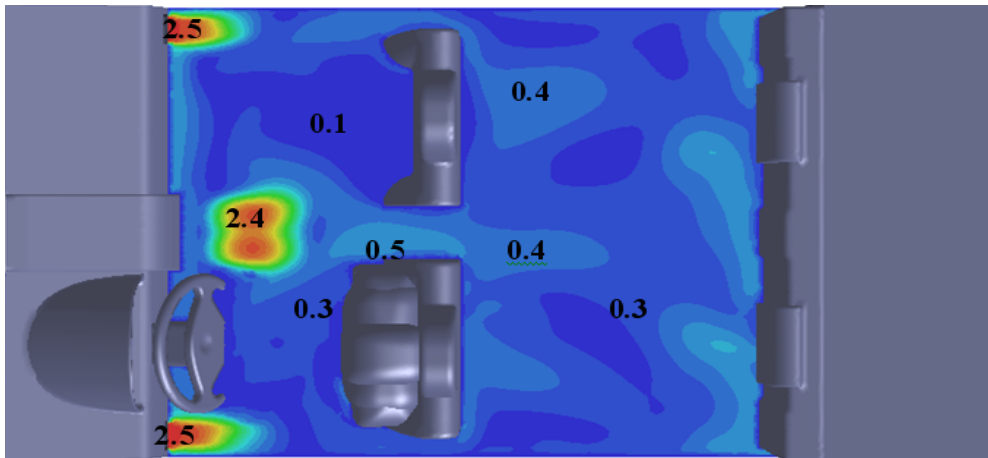
ekil 4.57 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (I.Durum), (a) 1200s (b) 1800s

ekil 4.56 'da yer alan I.durum için 10 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin orta düzlemde elde edilen sıcaklık dağılımı dikkate alındığında, maksimum sıcaklık yaklaşık 23.3°C olmak üzere kabin orta menfez kısmına yakın bölgede hesaplanmıştır. Bu ısıtma periyodu sonunda en düşük sıcaklık ise taban yüzeyine yakın bölgede yaklaşık olarak 6.3°C hesaplanmıştır. Tavan yüzeyine yakın bölgelerde ise sıcaklık 15°C olarak elde edilmiştir. 10 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin orta düzleminde maksimum sıcaklık farkı yaklaşık 10°C olmak üzere kabin içinde farklı noktalarda dikkate değer sıcaklık değerleri ve farkları elde edilmiştir. Bu sonuçlardan

yola çıkarak ilk 10 dakikalık kısımda kabin içinde sıcaklık parametresi oldukça hızlı bir şekilde değişmektedir. Ekil 4.57'de yer alan I.durum için 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda, artan menfez sıcaklığına bağlı olarak maksimum sıcaklık 44°C hesaplanmıştır ve en düşük sıcaklık ise taban yüzeyine yakın bölgede ve yaklaşık olarak 21°C 'dir.



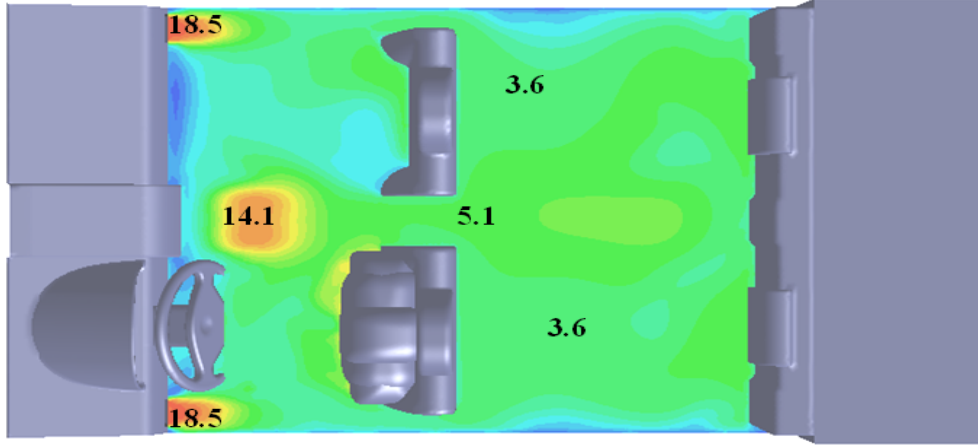
(a)



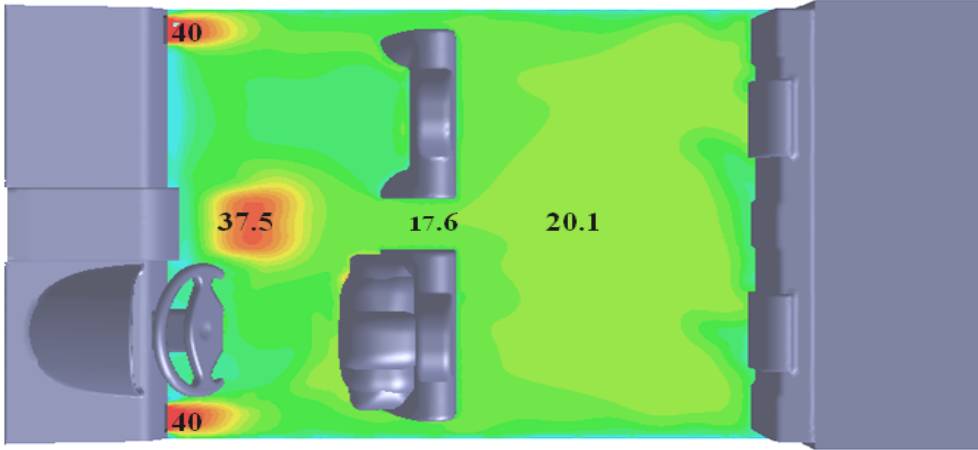
(b)

Ekil 4.58 Kabin menfez düzleminde hız (m/s) dağılımını (I.Durum), (a) 360s (b) 1200s

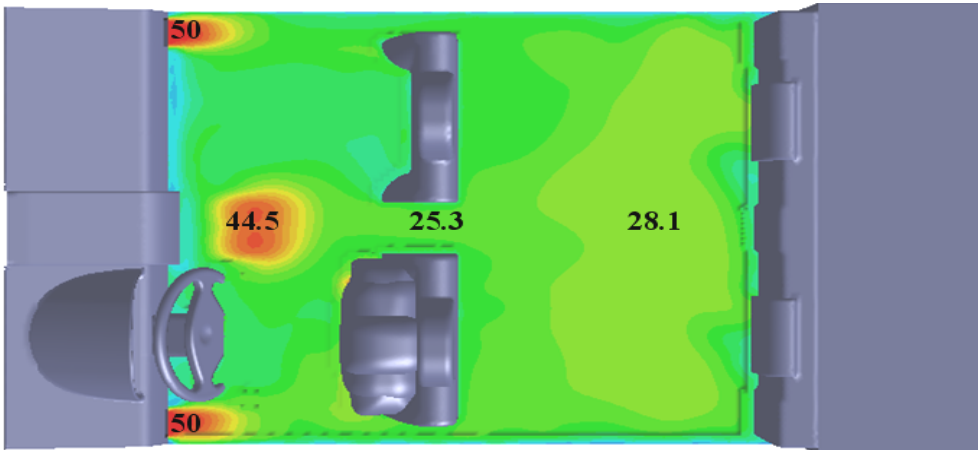
Ekil 4.58'de yer alan I.durum için 20 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin menfez düzleminde elde edilen hız dağılımları değerlendirildiğinde, insan vücudu çevresinde hız değerleri $0.1\text{--}0.3\text{ m/s}$ arasında değişmektedir. Bu periyotta elde edilen maksimum hız yaklaşık olarak 2.5 m/s değerinde ve menfezlere yakın bölgelerde elde edilmiştir.



(a)



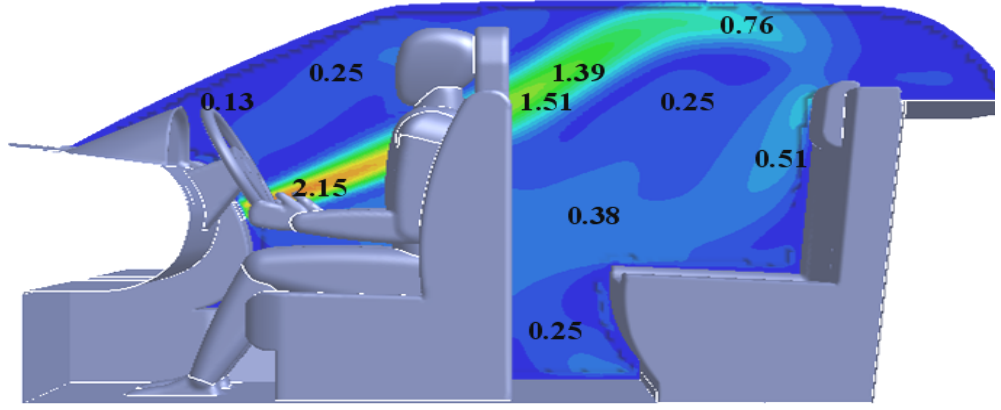
(b)



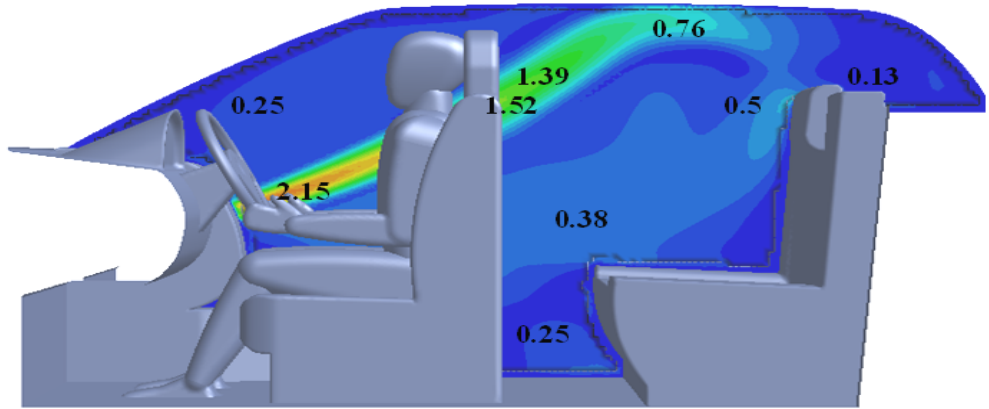
(c)

ekil 4.59 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) dağılımı (I.Durum),
 (a)360s (b) 1200s (c) 1800s

ekil 4.59'da ise I.durum için 6-20-30 dakikalık ısıtma periyotları sonunda kabin menfez düzleminde sıcaklık dağılımları yer almaktadır. 6 dakikalık ısıtma periyodu sonunda kabin arka kısmında yaklaşık olarak $4-5^{\circ}\text{C}$ arasında değişen ve diğer bölgelere göre nispeten daha düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. Ön kısımda ise menfez sıcaklıklarının yüksek olmasından dolayı arka kısma göre daha yüksek sıcaklık değerleri hesaplanmıştır ve en yüksek sıcaklık değeri yaklaşık olarak 18.5°C elde edilmiştir. Isıtma süresi ve menfez sıcaklıklarına bağlı olarak 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda bu düzlemde farklı bölgelerde elde edilen sıcaklıklar 25°C 'nin üzerinde değerler almaktadır.



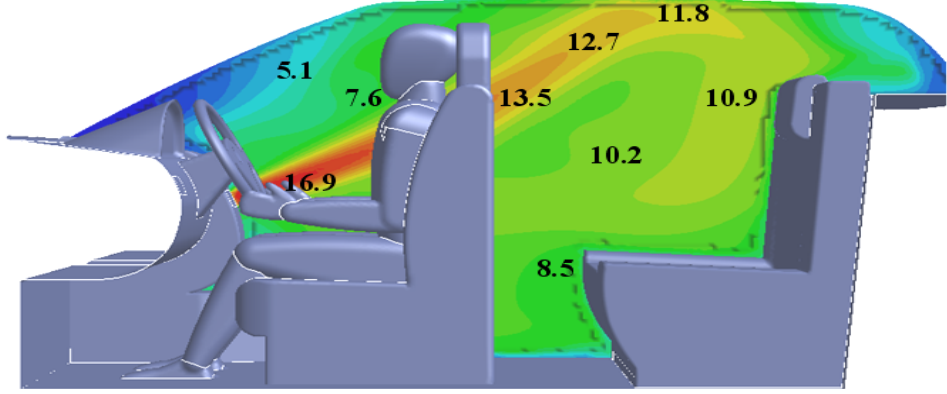
(a)



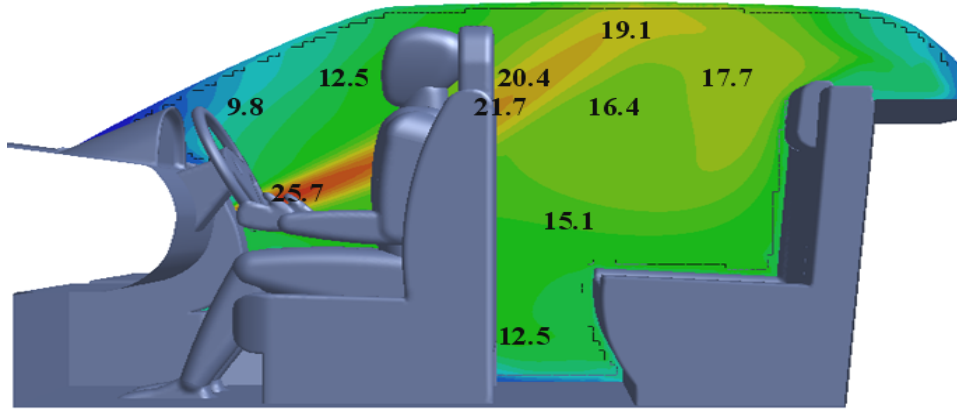
(b)

ekil 4.60 Kabin orta düzleminde hız (m/s) dağılımı (II. Durum), (a) 360s (b) 600s

ekil 4.60'da gösterilen II.durum için 10 dakikalık ısıtma periyodu sonunda elde edilen hız değerleri de değerlendirildiğinde, düşük hız değerleri I.durumdakine benzer olarak taban yüzeyine ve cam yüzeylerine yakın bölgelerde yaklaşık olarak 0.1–0.25 m/s arasında değişmektedir. Kabin arka kısmında bu periyot sonunda elde edilen en yüksek hız değeri tavan yüzeyine yakın kısımda ve yaklaşık olarak 0.8 m/s'dir. 6-10 dakikalık ısıtma periyotları sonunda elde edilen hız dağılımları karşılaştırıldığında büyük farklılıklar elde edilmemiştir dolayısıyla I.durumdakine benzer olarak hız dağılımının 10 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda sürekli rejim durumuna geldiğini söyleyebiliriz.



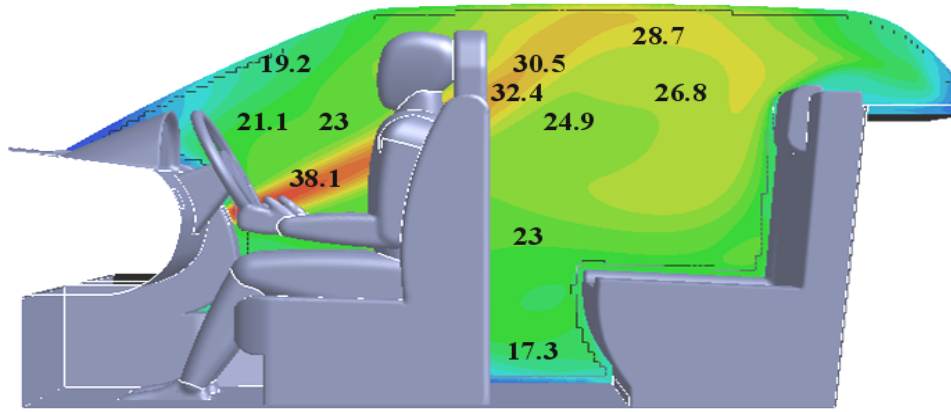
(a)



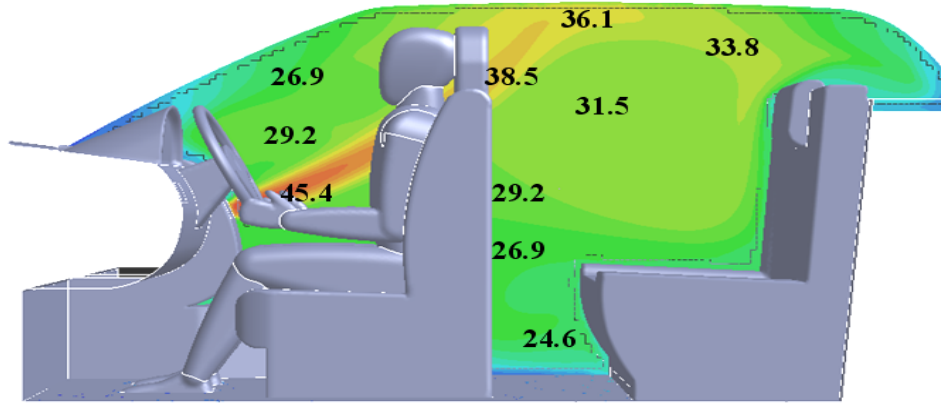
(b)

ekil 4.61 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (II.Durum), (a) 360s (b) 600s

ekil 4.61’de ise II.durum için 10 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin orta düzleminde hesaplanan sıcaklık değerleri yer almaktadır. II.durumda, I.duruma göre artan kabin iç ortam ba lanç sıcaklığı na ba lı olarak daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir. 10 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda düşük sıcaklık değerleri taban yüzeyine ve cam yüzeylere yakın bölgelerde olmaktadır ve yaklaşık olarak 10-13°C arasında değişmektedir. Maksimum sıcaklık ise orta menfez girişlerine yakın bölgede ve yaklaşık olarak 26°C hesaplanmıştır.



(a)

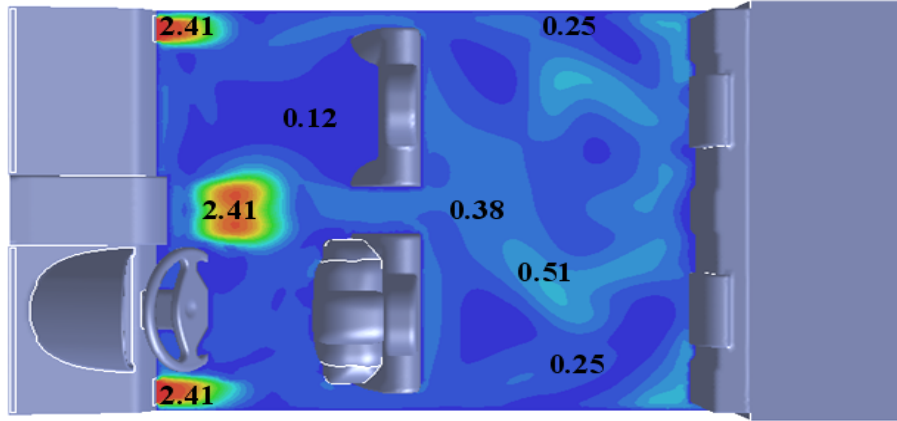


(b)

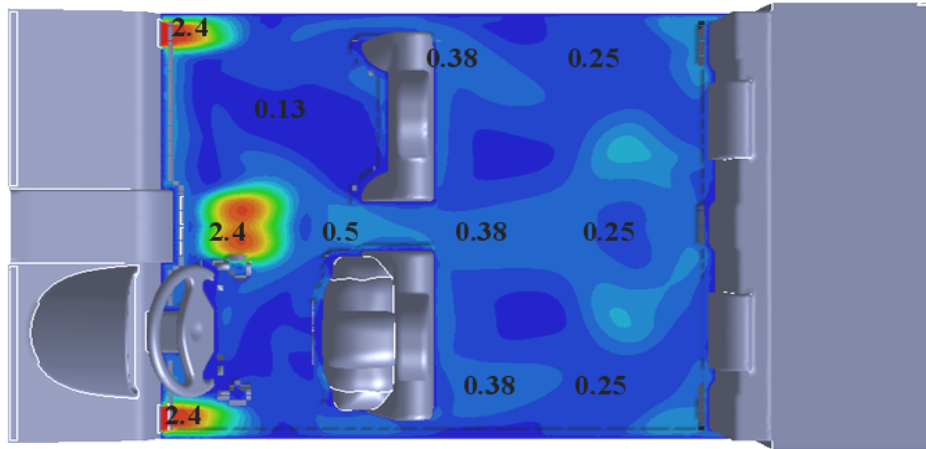
ekil 4.62 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (II.Durum), (a) 1200s (b) 1800s

ekil 4.62’de yer alan II.durum için 20–30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda kabin orta düzleminde hesaplanan sıcaklık değerleri dikkate alındığında, maksimum sıcaklıklar kabin orta menfez girişlerine yakın bölgelerde sırasıyla 38 ve 45°C olarak

elde edilmiştir. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda I.durumda elde edilen sonuçlara benzer olarak düşük sıcaklık değerleri cam yüzeylerine ve taban yüzeyine yakın bölgelerde hesaplanmıştır. Bahsedilen bu ısıtma periyodu sonunda arka kısımda tavan yüzeyine yakın kısımda 36.1°C olarak yüksek sıcaklık değeri görülmektedir. Maksimum sıcaklık ise kabin ön kısmında yaklaşık olarak 45°C hesaplanmıştır.



(a)

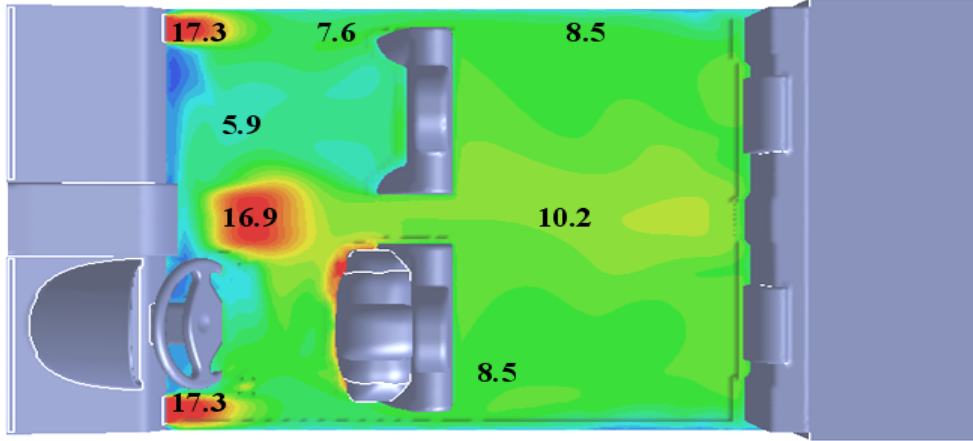


(b)

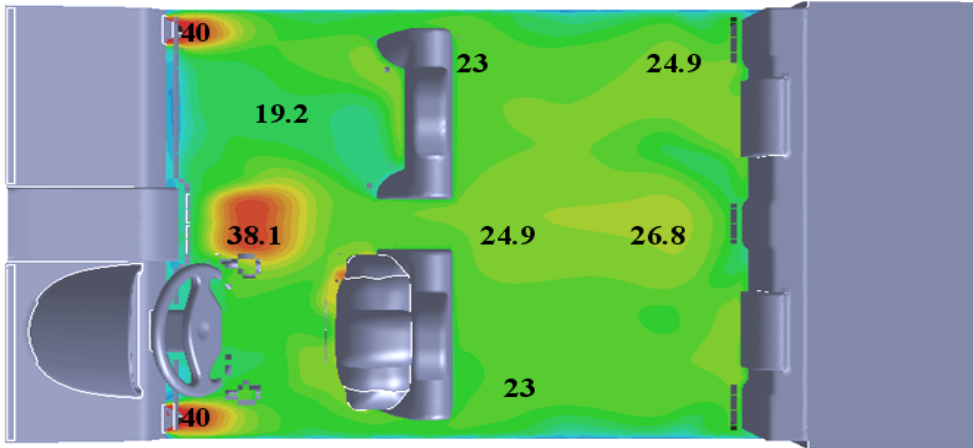
ekil 4.63 Kabin menfez düzleminde hız (m/s) dağılımı (II.Durum), (a) 360s (b) 1200s

II.durumda 6-20 dakikalık ısıtma periyotları sonunda kabin menfez düzleminde elde edilen hız dağılımları ekil 4.63'te yer almaktadır. Kabin arka kısmında bu periyotlarda elde edilen hız değerleri $0.25-0.5$ m/s arasında değişim göstermektedir. Ön kısımda ise daha büyük hız farklılıkları gözlemlenmekte ve

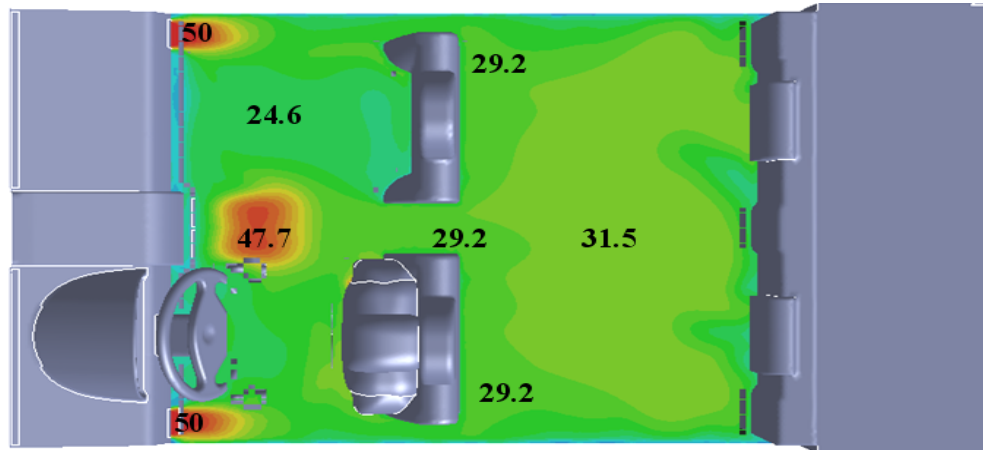
maksimum hız yaklaşık olarak 2.4m/s de erindedir. İnsan vücudu yakın çevresinde ise hız değerleri 0.1-0.3 m/s arasında değişen değerler almaktadır.



(a)



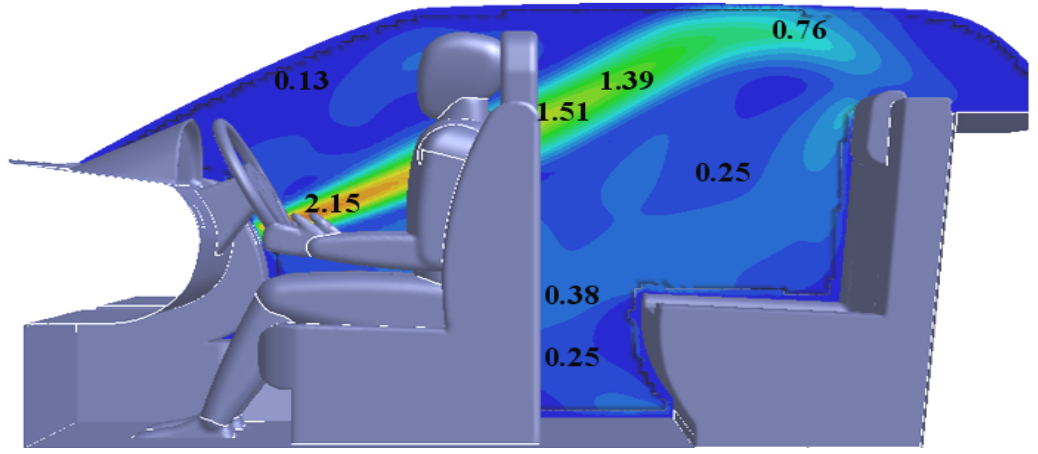
(b)



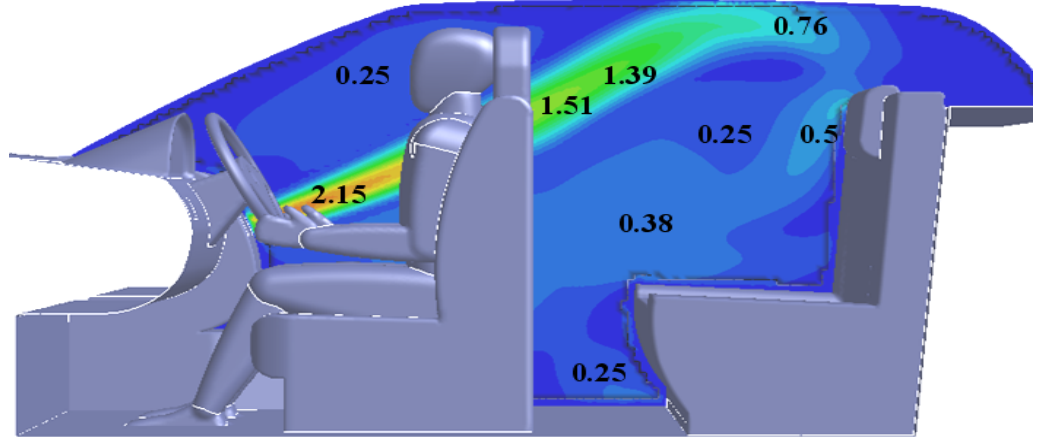
(c)

ekil 4.64 Kabin menfez düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (II.Durum),
(a)360s (b) 1200s (c) 1800s

ekil-4.64'te II.durum için 6-20-30 dakikalık ısıtma periyotları sonunda kabin menfez düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımları yer almaktadır. 6 dakikalık ısıtma periyodu sonunda kabin arka kısmında ön kısma göre daha düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. Arka kısımda sıcaklıklar $8.5-10^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Bu değerler 30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda sırasıyla $29.2-31.5^{\circ}\text{C}$ ve $24.6-30.0^{\circ}\text{C}$ arasında bir değişim göstermektedir. Dolayısıyla ısıtma süresince menfez sıcaklıklarının artmasına bağlı olarak belirtilen bu sıcaklık farklılıkları giderek artmaktadır.



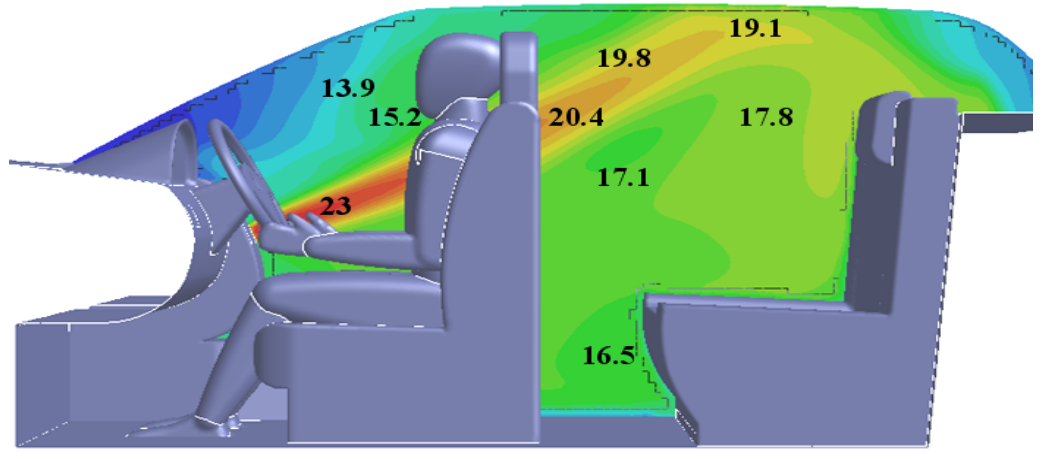
(a)



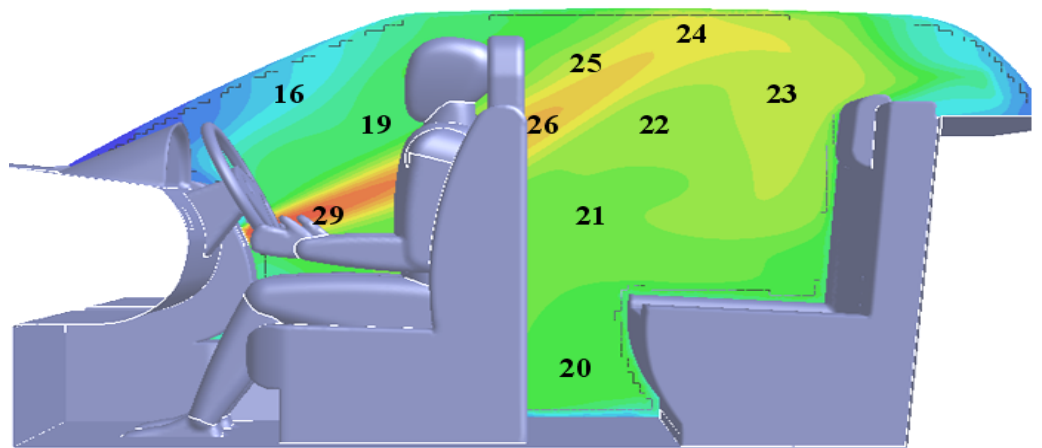
(b)

ekil 4.65 Kabin orta düzleminde hız (m/s) dağılımı (III.Durum), (a) 360s (b) 600s

ekil 4.65’de ise III.durum için 10 dakikalık ısıtma periyodu sonunda kabin orta düzleminde elde edilen hız dağılımları gösterilmiştir. I. ve II.durumda aynı periyotta elde edilen hız dağılımlarına benzer olarak düşük hız değerleri cam yüzeylerine ve taban yüzeyine yakın bölgelerde görülmektedir. En yüksek hız değeri ise orta menfeze yakın bölgede ve yaklaşık olarak 2.15m/s ’dir. Kabin arka kısmında elde edilen en yüksek hız değeri 1.51m/s olarak kabin ön koltukları arasında yer alan bölgede edilmiştir. Diğer durumlara benzer olarak 10 dakikalık periyot sonunda kabin orta düzleminde elde edilen hız dağılımı, 6 dakikalık periyot sonunda elde edilen hız dağılımı ile karşılaştırıldığında büyük değişiklikler gözlemlenmemektedir.



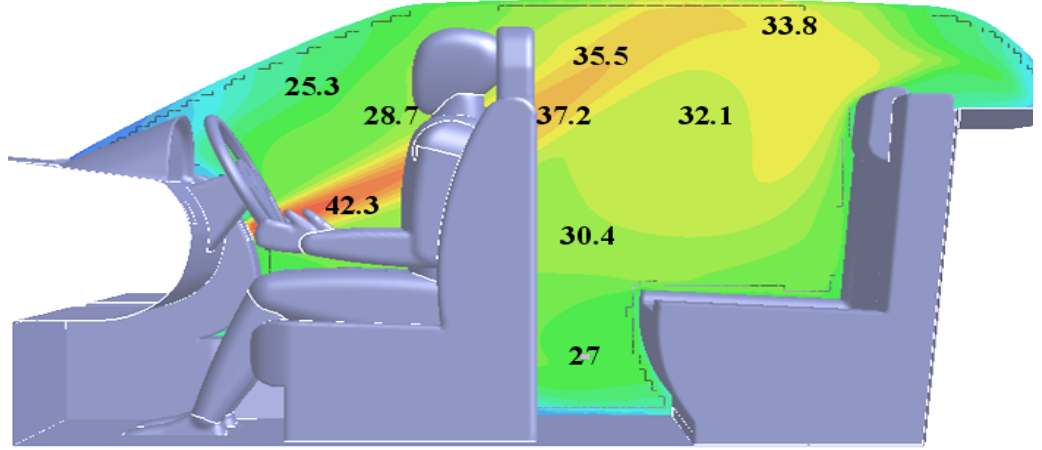
(a)



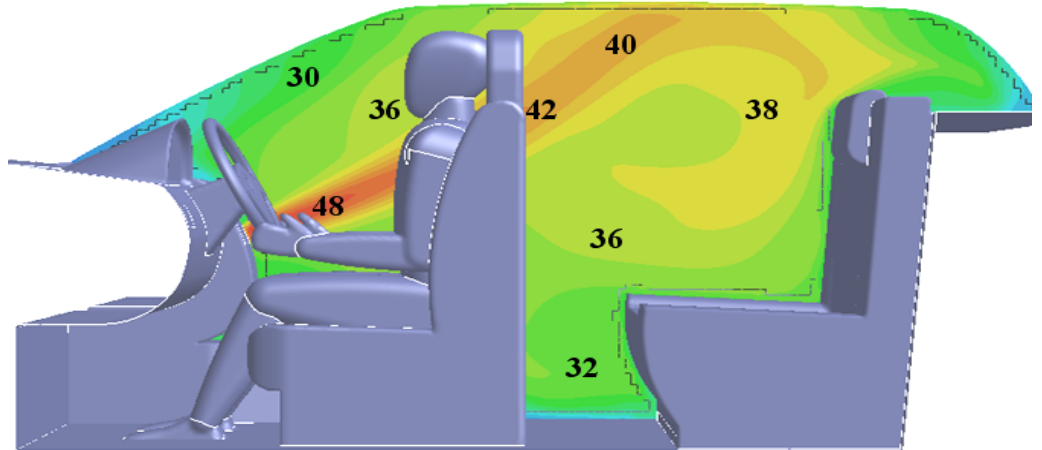
(b)

ekil 4.66 Kabin orta düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) dağılımı (III.Durum), (a) 360s (b) 600s

ekil 4.66'da ise III.durum için 6–10 dakikalık ısıtma periyotları sonucunda kabin orta düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımı yer almaktadır. Bu periyotlar sonucunda bu düzlemde elde edilen maksimum sıcaklık sırasıyla 23°C ve 29°C'dir. Taban yüzeyine yakın bölgelerde ise yaklaşık olarak 6–10 dakikalık ısıtma sonunda sırasıyla 16.5°C ve 20°C olmak üzere diğer bölgelere göre nispeten düşük sıcaklıklar elde edilmiştir.



(a)

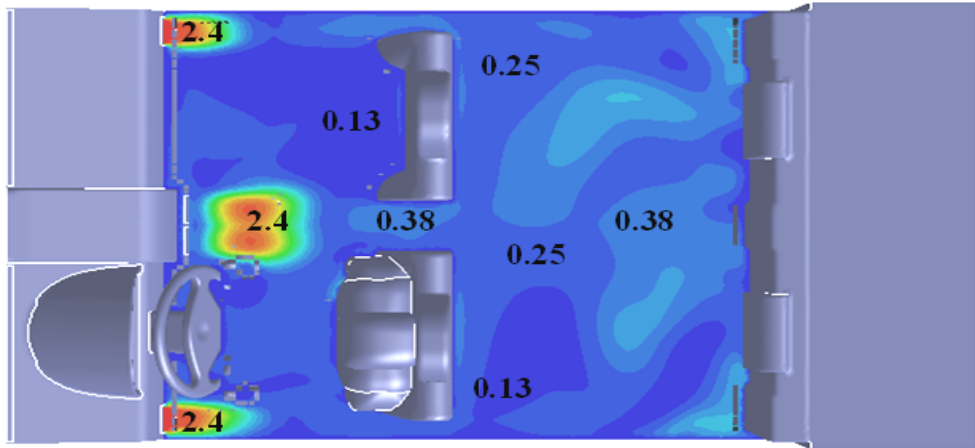


(b)

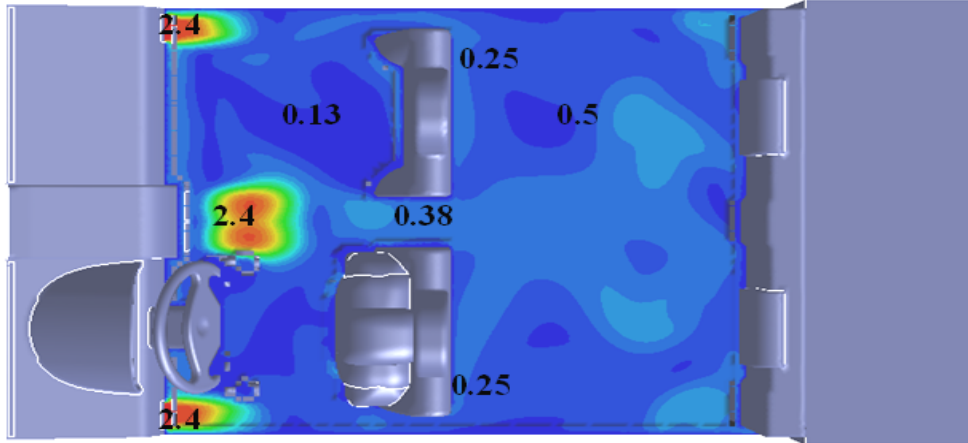
ekil 4.67 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (III.Durum), (a)1200s (b) 1800s

ekil 4.67'de yer alan 20-30 dakikalık ısıtma periyotları sonunda III.durum için elde edilen sıcaklık dağılımları değerlendirildiğinde, maksimum sıcaklık 48°C olarak

diğer durumlara benzer bir şekilde menfezlere yakın bölgelerde elde edilmiştir. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda arka kısımda elde edilen maksimum sıcaklık ön koltuklar arasında yaklaşık olarak 42°C hesaplanmıştır. Arka kısımda sıcaklık farkı maksimum 10°C , ön kısımda ise bu değer 18°C ye ulaşmaktadır. En düşük sıcaklıklar diğer durumlarda elde edilen sonuçlara paralel olarak dış ortamla temasta bulunan cam yüzeylere yakın bölgelerde ve taban yüzeyinde sırasıyla 30°C ve 32°C olarak hesaplanmıştır.



(a)

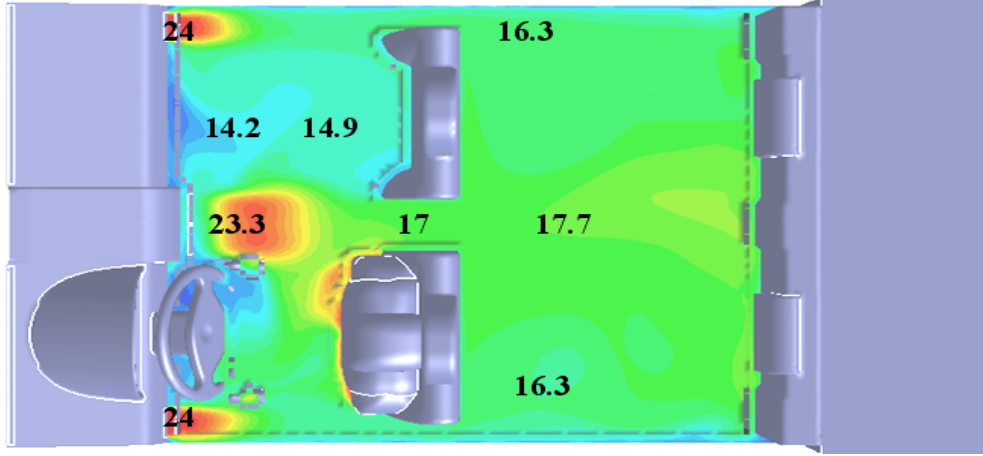


(b)

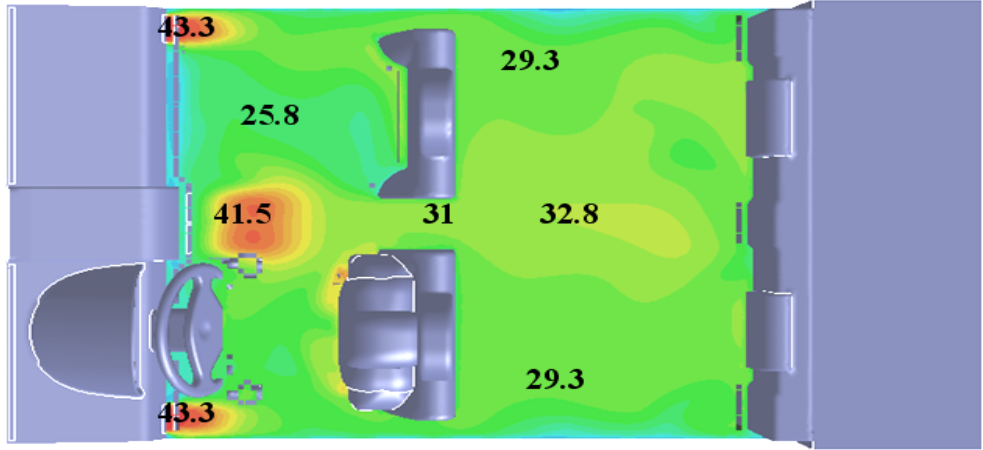
Şekil 4.68 Kabin menfez düzleminde hız (m/s) dağılımı (III.Durum), (a) 360s (b) 1200s

Şekil 4.68'de yer alan III.durum için hesaplanan hız dağılımları incelendiğinde, arka kısımda 0.1-0.4 m/s arasında değişen hız değerleri elde edilmiştir.

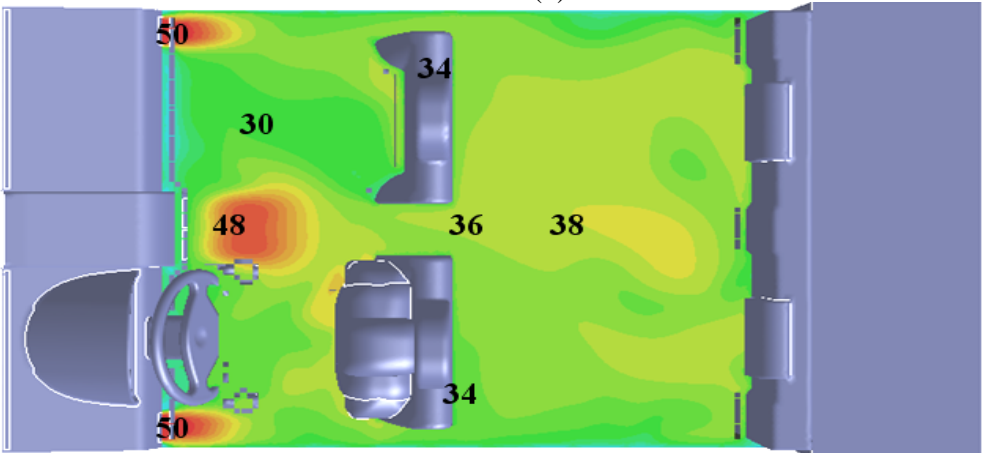
Ön kısımda ise bu değerler 0.1-2.4 m/s arasında değişmektedir. İnsan vücudu çevresinde hız değeri 0.2-0.3m/s arasında bir değişim göstermektedir.



(a)



(b)



(c)

ekil 4.69 Kabin menfez düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (III.Durum),
(a) 360s (b) 1200s (c) 1800s

ekil 4.71'de III.durum için 6–20–30 dakikalık ısıtma periyotları sonunda kabin menfez düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları yer almaktadır. 6 dakikalık ısıtma periyodu sonunda arka kısımda sıcaklıklar 16–18°C arasında de i mektedir. Bu de er 20 ve 30 dakikalık ısıtma periyotları sonunda sırasıyla 29–32°C ve 34–38°C arasında de i mektedir. Kabin ön kısmında ise 6 dakikalık ısıtma periyodu sonunda en dü ük sıcaklık 14.2°C ve en yüksek sıcaklık ise 24°C olarak hesaplanmı tır. 30 dakikalık ısıtma periyodu sonunda bahsedilen bu yüksek sıcaklık de erleri 30°C ve 50°C olarak hesaplanmı tır.

Farklı kabin iç ve dı ortam ba langıç ko ullarında gerçekte tirilen üç farklı sayısal hesaplamalardan elde edilen veriler de erlendirildi inde a a ıda belirtilen temel sonuçlar ifade edilebilir.

Her üç durumda da kabin orta düzleminde hız da ılımı 10 dakikalık ısıtma periyodu sonunda sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı söylenebilir.

Kabin orta düzleminde dü ük sıcaklıklar, dı ortamla temasta bulunan cam yüzeylerde ve taban yüzeyinde olu maktadır.

Kabin arka kısmında farklı bölgelerde elde edilen sıcaklık de erleri arasındaki fark, kabin ön kısmında elde edilen sıcaklık de erleri arasındaki farktan daha dü üktür.

Her üç durumda da kabin orta ve menfez düzlemlerinde elde edilen sıcaklıklar asimetric da ılım özelli ine sahiptir.

Kabin iç ortamında en yüksek sıcaklık ve hız de erleri giri menfezlerine yakın bölgelerde elde edilmi tir.

Tüm durumlarda kabin içinde tanımlanan kritik noktalardan ön koltuklar arası ba (P5) seviyesinde ve sol omuz(P6) seviyesinde di er noktalara göre daha yüksek sıcaklıklar elde edilmi tir.

I.,II., ve III. durumlarda dı ortam sıcaklı ı -10°C, 0°C,ve 10°C alınarak aynı menfez giri ko ulları altında gerçekte tirilen sayısal hesaplamalarda, kabin iç ortam sıcaklı ı yakla ık olarak sırasıyla 20°C , 25°C, 31°C olarak hesaplanmı tır.

nsan vücudu ısıl karakteristikleri açısından de erlendirildi inde vücutla ortam arasında gerçekte en toplam ısı transferinde ısıtma ba langıcında ta nım ile olan ısı transferinin, 1 mm ile olan ısı transferine göre daha etkili oldu u ancak ısıtma süresine ba lı olarak 1 mm ile olan ısı transferinin toplam ısı transferi üzerindeki etkisini giderek arttırdı ı sonucuna varılabilir.

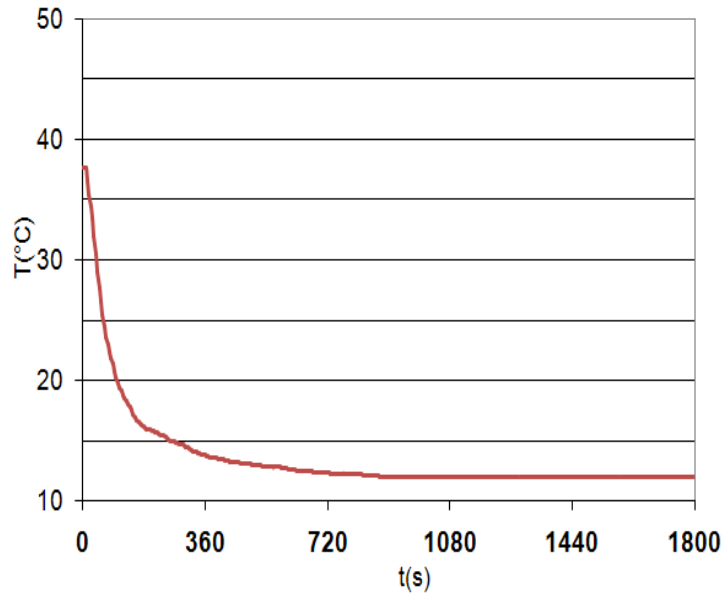
4.3 So utma Periyodunda Otomobil Kabini Simülasyonları

4.3.1 Farklı giri menfezleri kullanılarak gerçekleştirilen kabin simülasyonları

Bu bölümde, otomobil klimasının so utma yükünü sabit alarak ızgara tipi menfezlerin konsol menfezleri ile birlikte açık konumda olması ya da olmaması durumlarını içeren üç farklı durum için gerçekleştirilen so utma simülasyonlarına ait sonuçlar yer almaktadır. Bu amaçla başlangıçta ön konsol yüzeyi üzerinde bulunan ızgara tipi menfez, so utma analizlerinde kapalı tutulup diğer menfezler açık konumdayken so utma analizleri yapılmıştır. Daha sonra ise ızgara tipi menfezler diğer menfezlerle birlikte açık hale getirilerek sabit so utma yüküne bağlı olarak belirlenen hız kademelerinde hesaplamalar aynı tür so utma hızında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede daha verimli bir so utma gerçekleştirme için menfezlerin kullanımına bağlı hangi tür stratejiler geliştirilebileceği konusunda temel bulgular elde edilmeye çalışılmıştır. Çizelge 4.44'te so utma analizlerinde menfezlerde kullanılan hız sınırları gösterilmektedir.

Çizelge 4.44 Sabit so utma yüküne bağlı gerçekleştirilen sayısal analizler

Kabin iç Ortam Başlangıç Sıcaklığı: 41°C		So utma Süresi 30 dakika	
Analiz Adı	So utmada Kullanılan Menfez Türleri	Menfez Hızı ve Sıcaklığı	
		Hız (sabit)	Sıcaklık (Değeri)
I. Durum	Ön Konsol Menfezleri	2.5 m/s	T=T(t)
II. Durum	Ön Konsol Menfezleri	1.2 m/s	T=T(t)
	Ön Cam Izgara Tipi Menfez	1.5 m/s	T=T(t)
III. Durum	Ön Konsol Menfezleri	2.0 m/s	T=T(t)
	Ön Cam Izgara Tipi Menfez	0.6 m/s	T=T(t)



ekil 4.70 Menfezlerde kullanılan so utma e risi ($T=T(t)$)

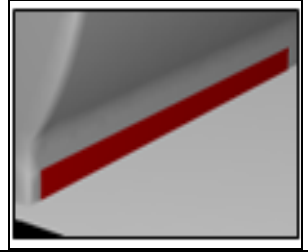
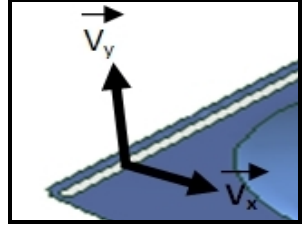
Kabin yüzeylerinde ilgili malzemeler tanımlanarak kabinin dış ortam ile temasta olan yüzeylerinde ta nım sınır artı, mankene ait yüzeylerde ise sabit sıcaklık sınır artı kullanılmı tır. Giysili ve giysi olmayan yüzeylerde sıcaklık sırasıyla 33°C ve 33.7°C olarak belirlenmi tir. Menfez giri lerinde ise de i ken sıcaklık sınır artı kullanılarak aynı tür so utma hızında (ekil 4.70) kullanılan farklı menfezlerin, kabin iç ortamının verimli so utulması üzerindeki etkisi incelenmi tir. Ayrıca so utma sürecinde farklı menfez kullanımının insan vücudu ısıl karakteristiklerine olan etkilerini incelemek için ise lokal ve genel olmak üzere detaylı hesaplamalar gerçekleştirilmi tir. Tüm analizlerde iç ortam ba langıç sıcaklı ı 41°C olacak ekilde e it alınmı tır.

Bu bölümde aktarılan so utma analizlerde kullanılan sınır artları çizelge 4.45'te yer almaktadır So utma analizlerinde menfez giri hızlarına ait hız bile enleri ve sayısal de erleri çizelge 4.46'da gösterilmi tir.

Geçici rejim ko ulları açısından de erlendirildi inde analizlerin ilk 10 dakikalık kısımları yakla ık olarak 0.2s gibi çok dü ük bir zaman adımı belirlenerek gerçekleştirilmi ve daha sonraki zaman diliminde sabit olacak ekilde 1s seçilerek analizler gerçekleştirilmi tir. Bu sayede otomobillerde geçici rejim ko ullarında önem ta ıyan ilk 15 dakikalık so utma sürecinde çözümün hassasiyetinin artırılması amaçlanmı tır.

Çizelge 4.45 Menfez sınır artları ve hız kademeleri

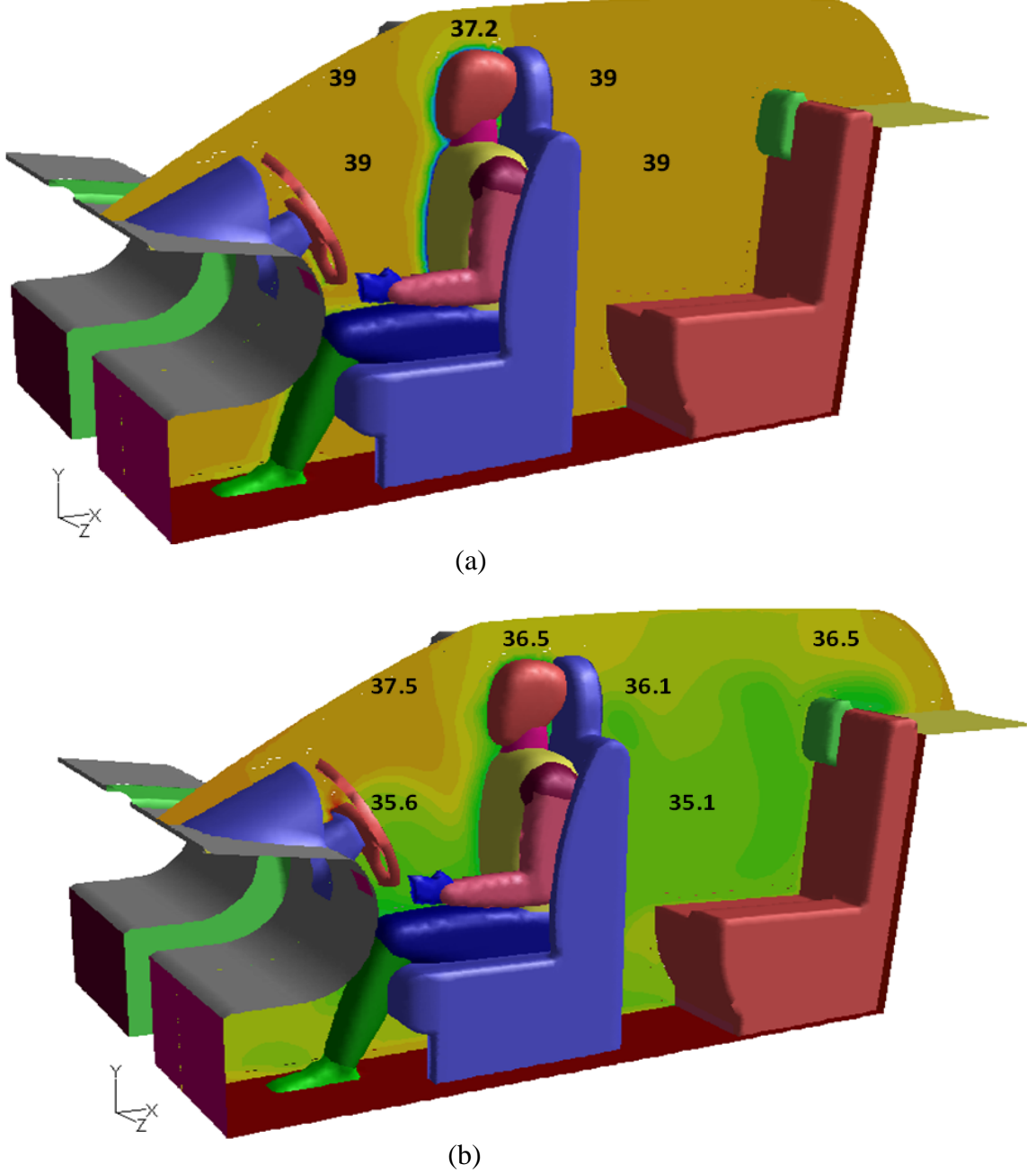
Kabin İç Ortam Ba lanğıç Sıcaklı ı 41°C		
üzey	Sınır artı	Kalınlık(m)
Manken yüzeyleri	Sabit sıcaklık ve nem sınır artı	0.000
Cam yüzeyler	Ta nım sınır artı	0.005
Kabin dı yüzeyleri	Ta nım sınır artı	0.012
Di er tüm yüzeyler	Adyabatik sınır artı	0.000
<u>Konsol menfezleri</u>		
Momentum :		
V _x (m/s) . V _y (m/s)		
Türbulans Yo un.: %10		
Isı Transferi :		
T _{giri} =T(t) (De i ken sıcaklık sınır artı)		
<u>Ön Konsol Izgara Tipi menfez</u>		
Momentum :		
V _x (m/s) . V _y (m/s)		
Türbulans Yo un.: %10		
Isı Transferi :		
T _{giri} =T(t) (De i ken sıcaklık sınır artı)		
<u>Çıkı Menfezi (Geriye akı özellikleri)</u>		
Momentum :		
Geriye akı türbulans yo un.: % 10		
Gauge Pressure : 0 Pa		
Isı Transferi :		
T _{çıkı} =15°C		



Çizelge 4.46 Menfez hız kademeleri ve hız bile enleri

Analiz adı	Menfez türü	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V(m/s)
I. Durum	Ön Konsol	1.58 m/s	1.58 m/s	2.50 m/s
II. Durum	Ön Konsol	1.50 m/s	0.00 m/s	1.50 m/s
	Ön Cam Izgara Tipi Menfez	0.85 m/s	0.85 m/s	1.20 m/s
III. Durum	Ön Konsol	2.00 m/s	0.00 m/s	2.00 m/s
	Ön Cam Izgara Tipi Menfez	0.42 m/s	0.42 m/s	0.60 m/s

Gerçekleştirilen soğutma analizleri neticesinde kabin manken düzleminde hesaplanan sıcaklık ve hız dağılımları I.durum için ekil 4.71-4.73'te yer almaktadır.

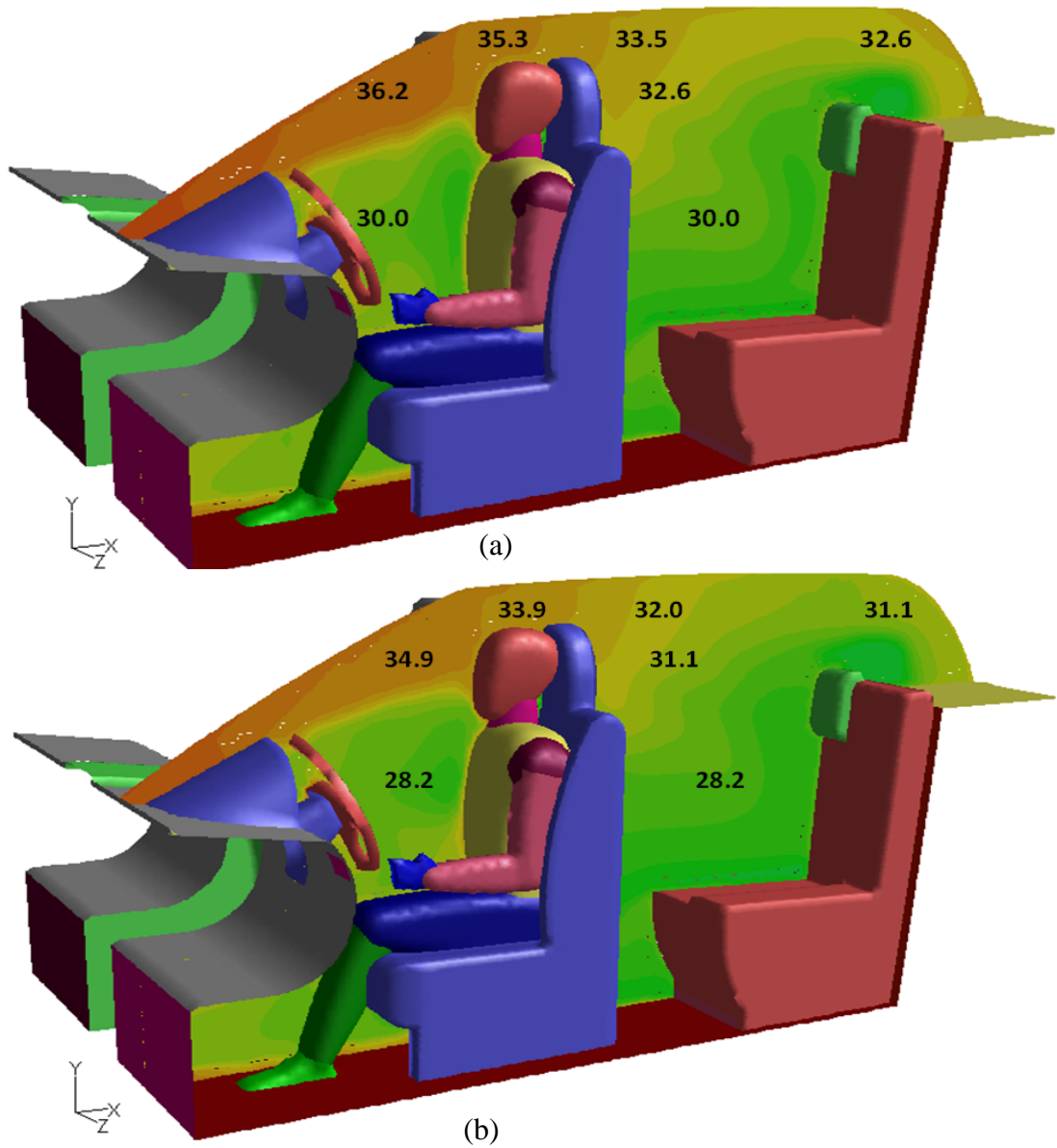


ekil 4.71 Manken orta düzleminde sıcaklık dağılımı (I. Durum), (a) 1s (b) 60s

Kabin iç ortamında soğutma başlangıcında ve bir dakika sonra kabin manken düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımı (ekil 4.71 (a), (b)) dikkate alındığında en düşük ortalama sıcaklık kabin arka kısmında 35.1°C hesaplanmıştır. Bu düzlemde ayak ve baş seviyeleri arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık olarak 3°C 'dir. 5 dakikalık soğutma

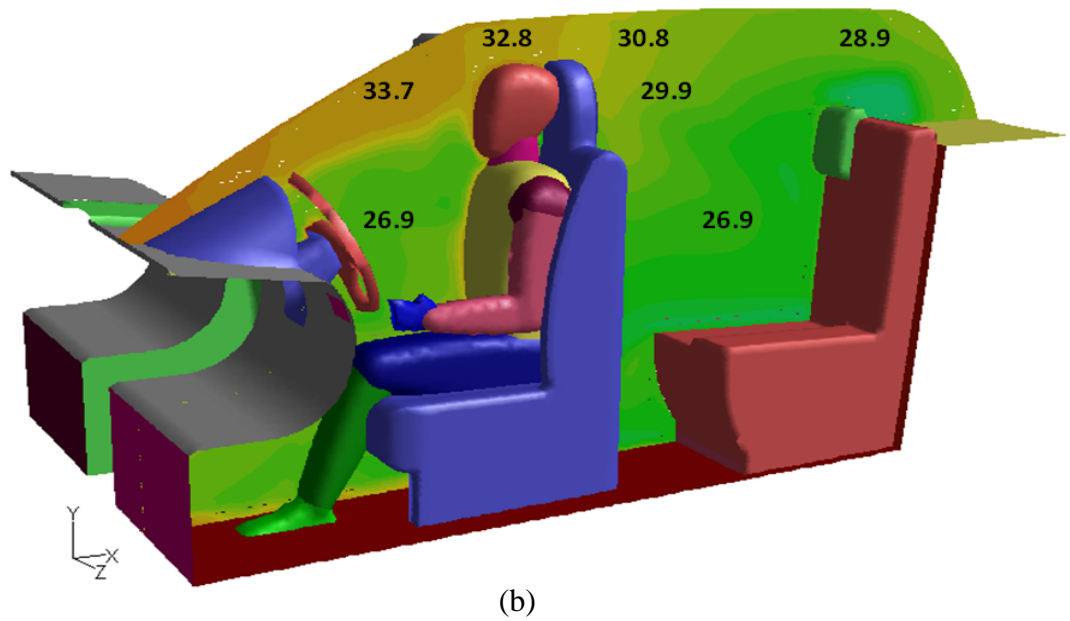
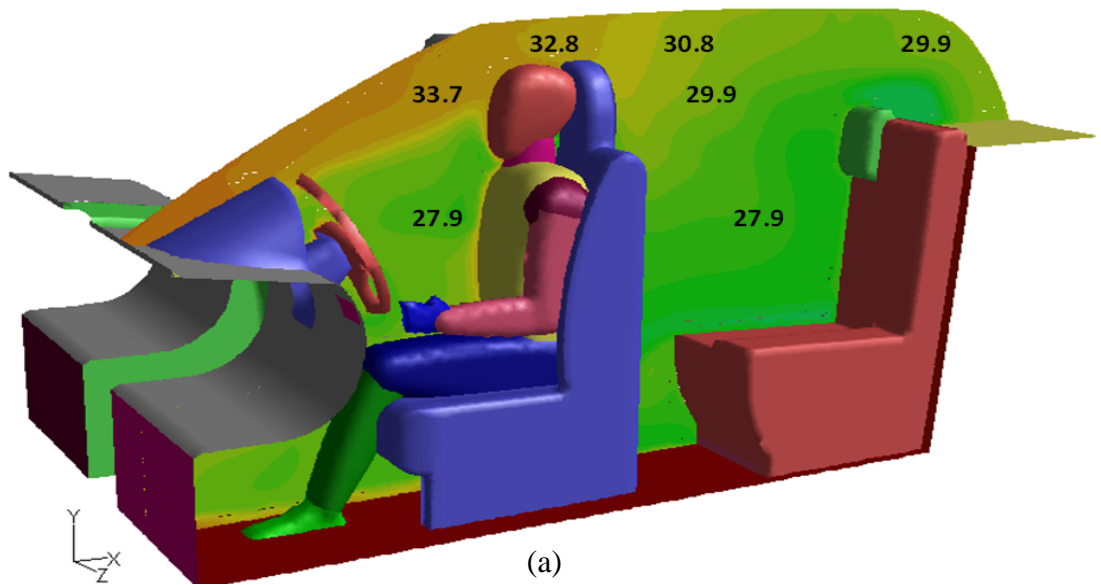
sürecinin sonunda bahsedilen bu değer $5-6^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır ve 10 dakikalık ısıtma periyodu sonunda ise yaklaşık olarak 7°C seviyesine ulaşmaktadır. Kabin baş ve ayak seviyesi arasındaki sıcaklık farkı soğutma süreci ile birlikte giderek artmaktadır.

Kabin ön kısmında insan vücudu baş seviyesinde, gövde ve ayak seviyesine göre daha yüksek sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Soğutma başlangıcından itibaren 10 dakikalık soğutma sürecinde ön cam ve tavan yüzeyine kısmen uzak bölgelerde diğer bölgelere göre daha iyi bir soğutma gerçekleştirilmiştir. 10 dakikalık soğutma süreci tamamlanmasına rağmen insan vücudu baş seviyesinde $34-35^{\circ}\text{C}$ gibi yüksek sayılabilecek sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.



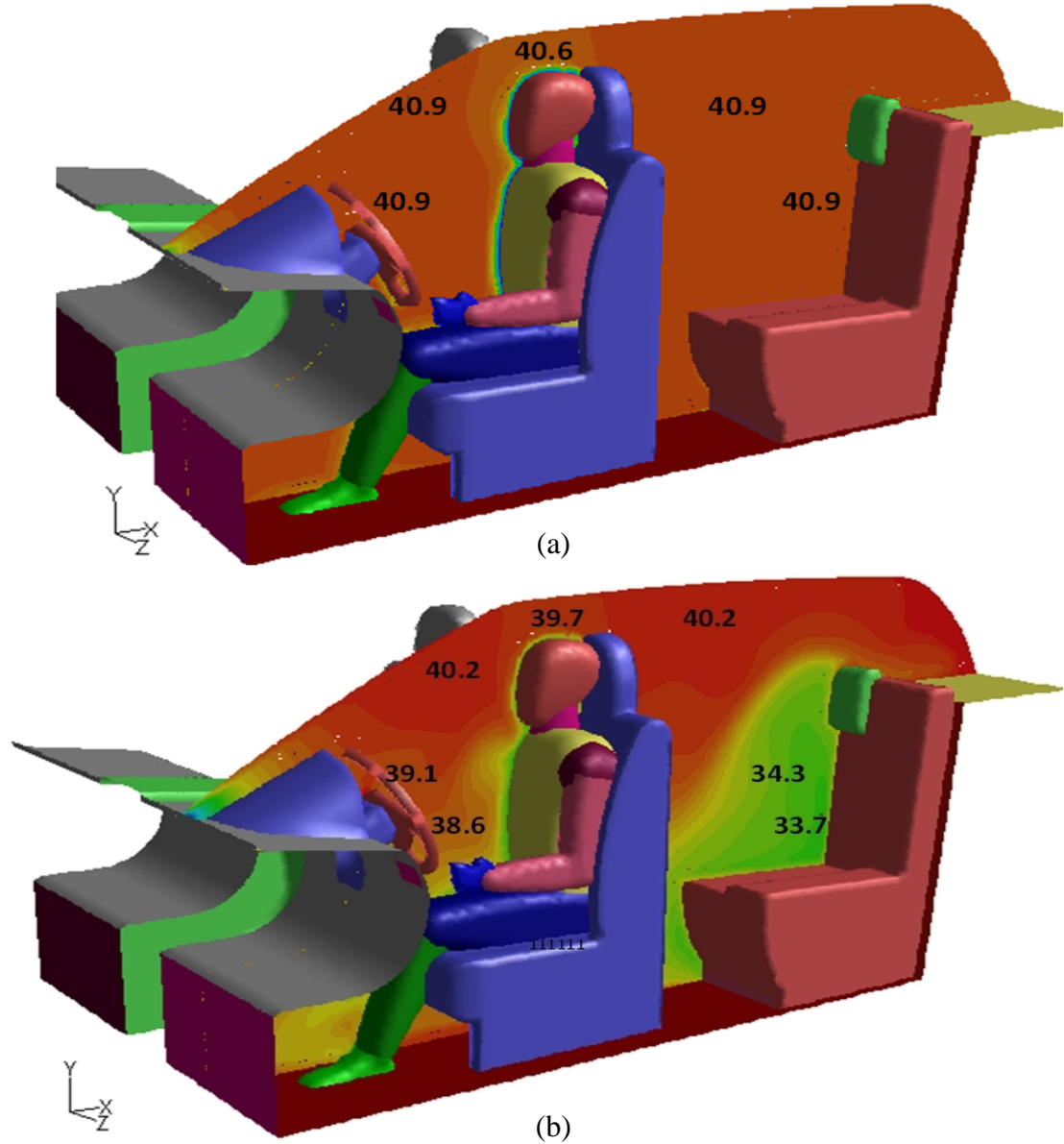
ekil 4.72 Manken orta düzleminde sıcaklık dağılımı (I. Durum), (a) 300s (b) 600s

Bu düzlemde 20 dakikalık so utma sonunda elde edilen sıcaklık dağılımı (ekil 4.73(a))de erlendirildi inde, kabin manken düzleminde hesaplanan sıcaklıklar ortalama 28°C ile 34°C arasında de i mektedir. Kabin arka kısmında ortalama sıcaklık 28°C–31°C arasında de i mektedir. Ancak kabin ön kısmında ön cam yüzeyine yakın bölgede yüksek de erde sayılabilecek yakla ık 34°C sıcaklık de eri hesaplanmı tır. Bu bölgede di er bölgelere göre daha az so utmanın gerçekte mesinin nedenleri arasında 41°C sıcaklı a sahip dı ortam ile temasta bulunan cam yüzeylerden kabin iç ortamına do ru gerçekte en ısı transferi ve ızgara tipi menfezlerin kapalı konumda tutulması yer almaktadır.



ekil 4.73 Manken orta düzleminde sıcaklık dağılımı (I. Durum), (a) 1200s (b) 1800s

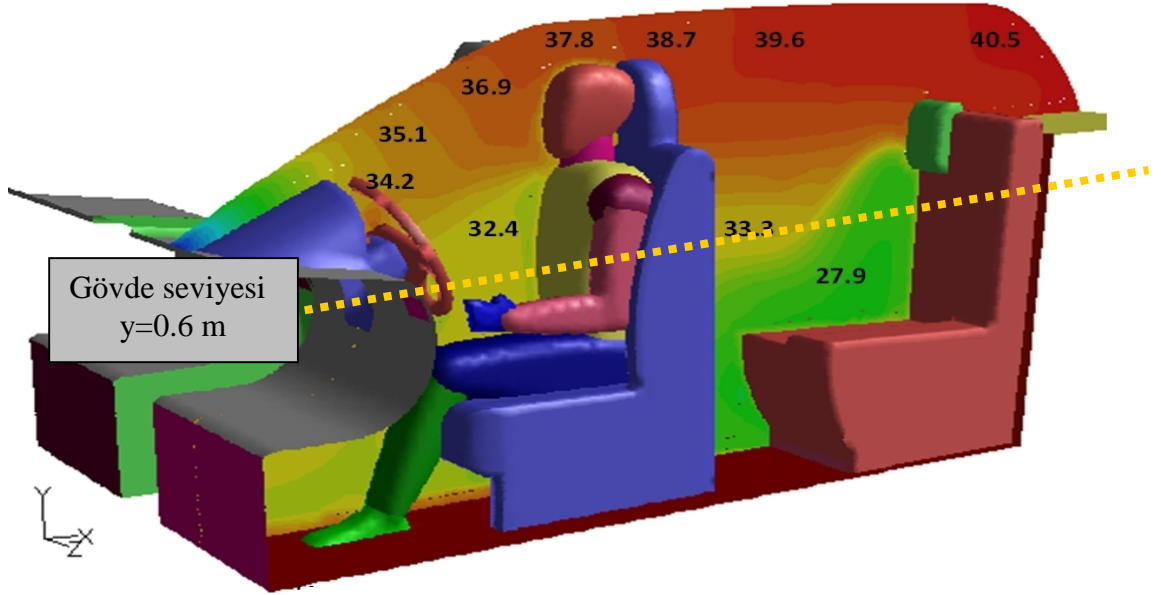
20 ve 30 dakikalık so utma süreci sonunda I.durumda elde edilen sıcaklık da ılımları kar ıla tırıldı ına birbirine oldukça yakın de erler elde edildi i dolayısıyla sürekli rejim ko ullarına 30 dakika so utma sonucunda yakla ıldı ı ifade edilebilir.



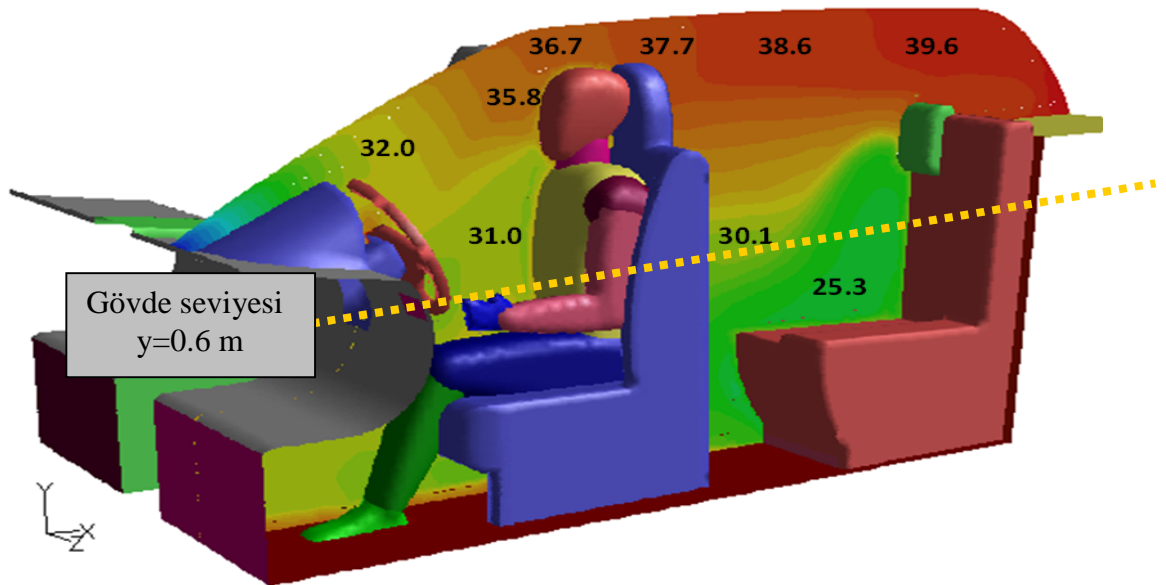
ekil 4.74 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum), (a) 1s (b) 60s

Izgara tipi menfezlerin açık konumda oldu u durumlardan biri olan II. durumda gerçekleştirilen so utma analizleri sonucunda, kabin manken düzleminde hesaplanan sıcaklık da ılımları ekil 4.74-4.76'da yer almaktadır. 1 dakikalık so utma süreci sonunda bu düzlemde ön cam yüzeyine yakın bölgede so umanın ba ladı ı gözlemlenmekte ve kabin arka kısmında arka koltuk gövde seviyesinde yakla ık 34°C

sıcaklık de eri hesaplanmasına ra men di er bölgelerde hesaplanan sıcaklık de erleri yakla ık 41°C'dir.



(a)



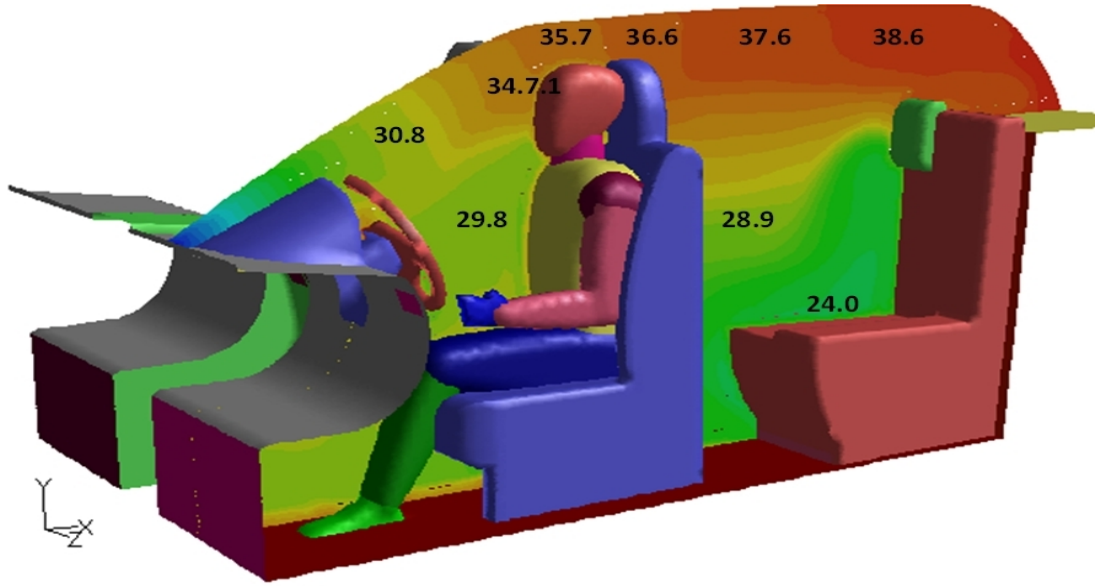
(b)

ekil 4.75 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum), (a) 300s (b) 600s

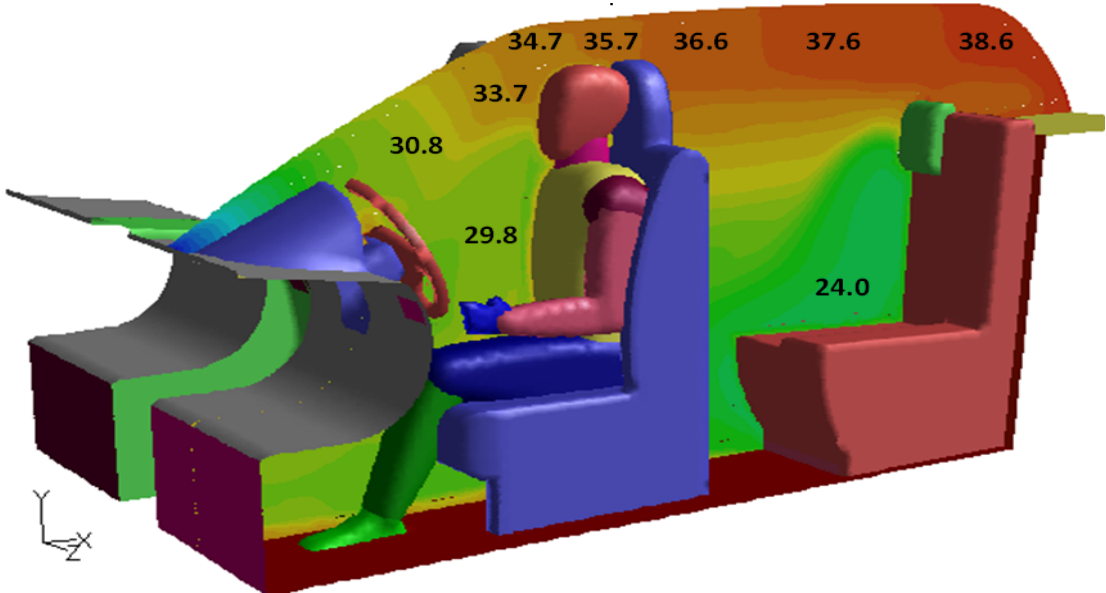
Kabin iç ortamında 5 ve 10 dakikalık so utma süreci sonunda manken düzleminde elde edilen sıcaklık de erleri genel olarak de erlendirildi inde, kabin ön ve arka kısmında tabandan gövde seviyesine kadar olan bölgede ba seviyesi ve üzerindeki

bölgelere göre daha düşük sıcaklık değerleri görülmektedir. Bu süreçlerde elde edilen en düşük sıcaklık değeri yaklaşık olarak 25°C ve arka koltuk diz seviyesinde hesaplanmıştır.

20 ve 30 dakikalık soğutma süreçleri sonunda manken düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımları ekil 4.76'da yer almaktadır. Bu iki süreçte elde edilen sıcaklık değerleri arasındaki fark oldukça düşük değerlere sahiptir.



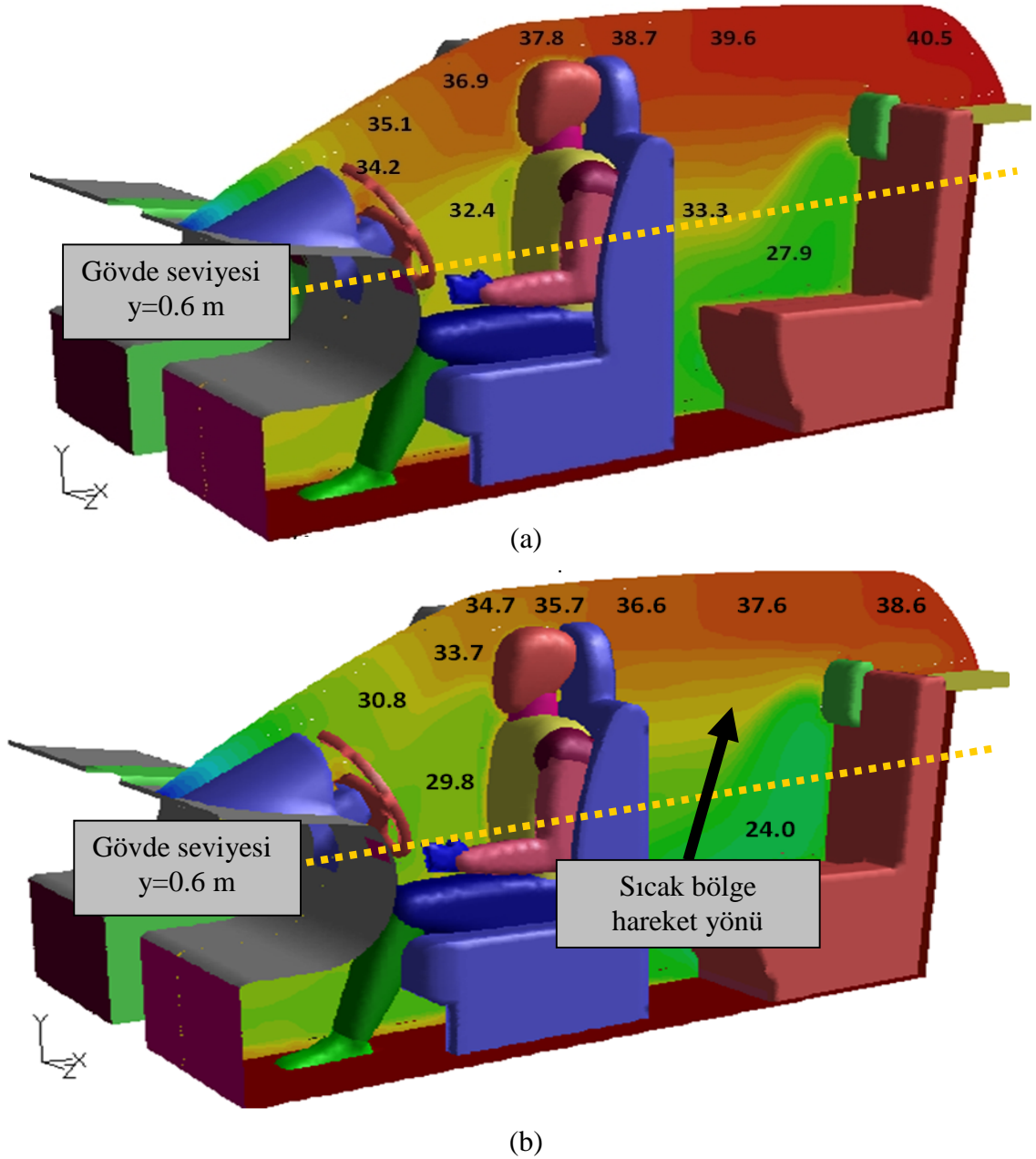
(a)



(b)

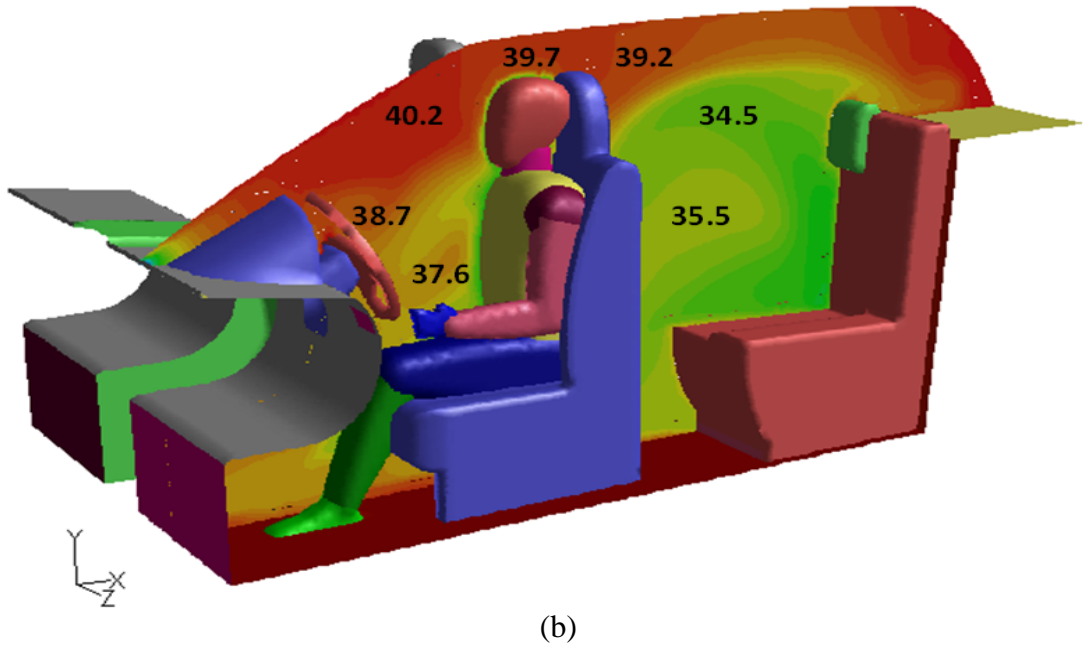
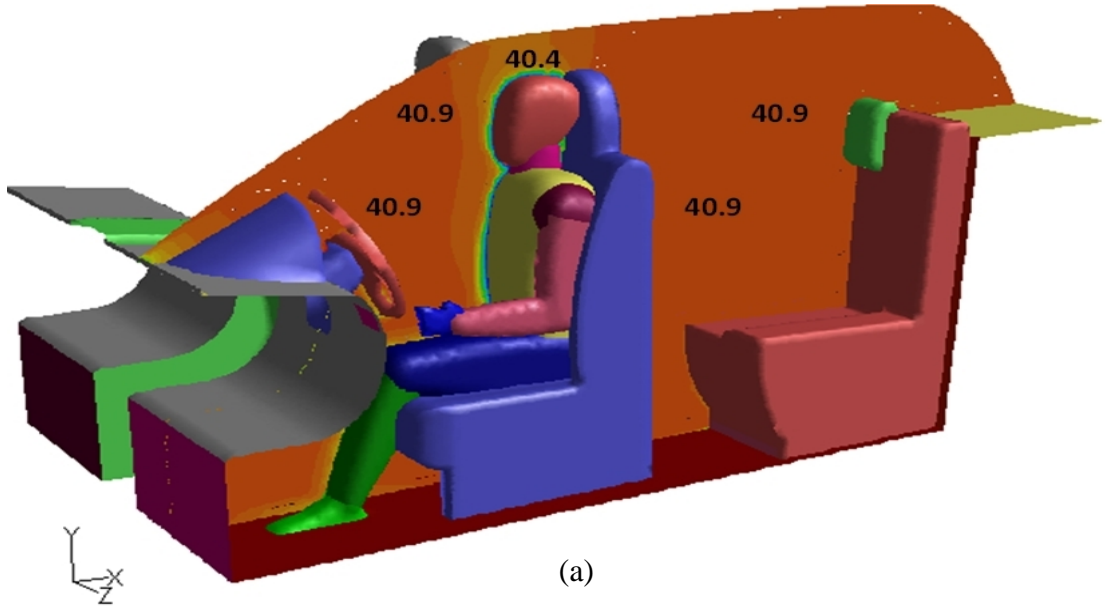
ekil 4.76 Manken orta düzleminde sıcaklık dağılımı (II. Durum), (a) 1200s (b) 1800s

II.durumda 5-30 dakikalık so utma periyotlarında elde edilen sıcaklık da ılımları kar ıla tırıldı nda insan vücudu gövde seviyesi($y=0.6\text{m}$) referans alınırsa bu seviyenin üstünde kalan bölge daha yüksek sıcaklık de erlerine sahiptir. Bu bölge ekil 4.77'de gösterilmi tir. Bahsedilen bu sıcak bölge artan so utma zamanı ve so utma hızı da ılımına ba lı olarak kabinin arka ve üst kısımlarına do ru hareket etmektedir.



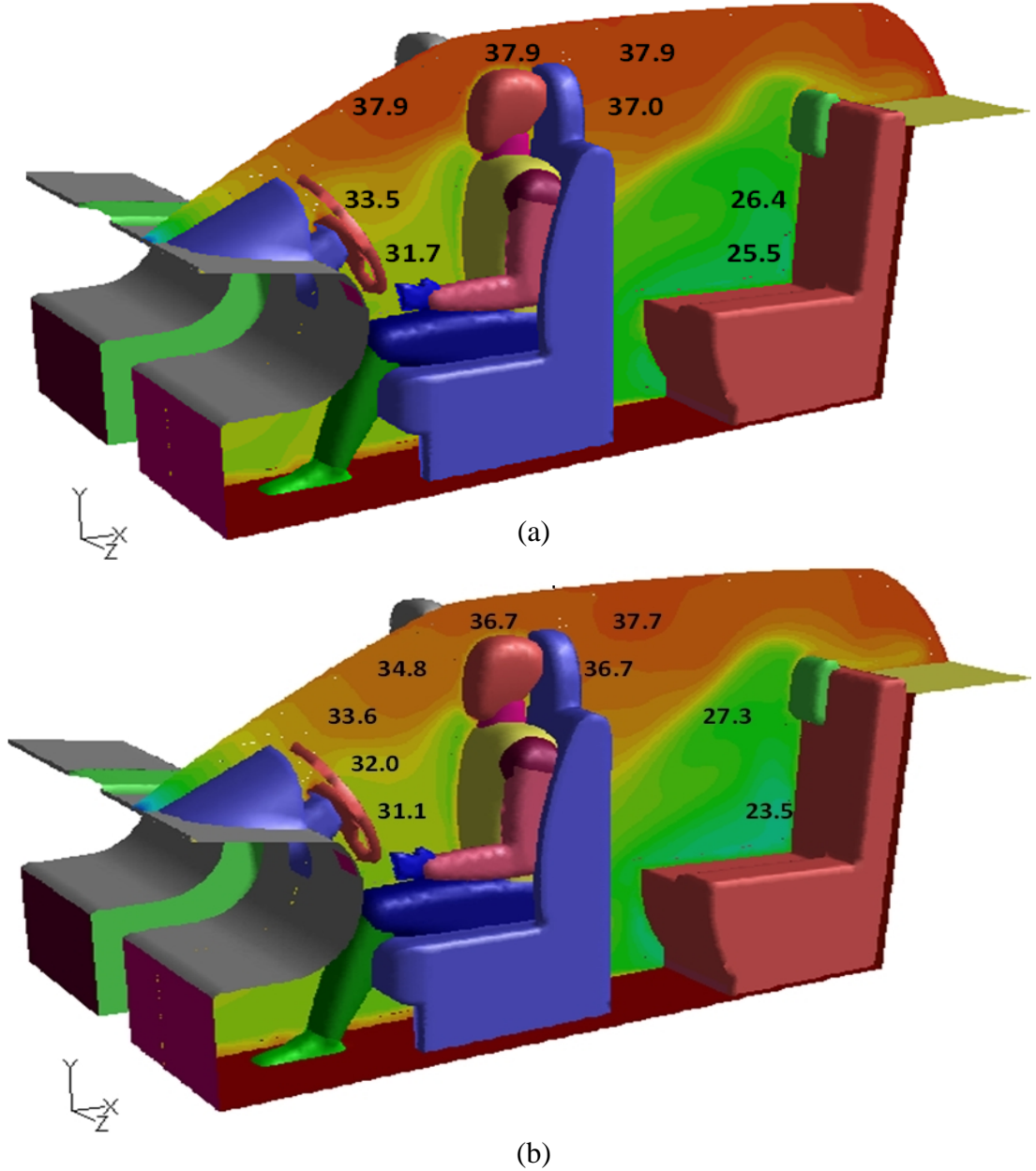
ekil 4.77 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum), (a) 300s (b) 1800s

III. durum için manken düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımları ekil 4.78–4.80’de gösterilmiştir. 1 dakikalık soğutma süreci sonunda hesaplanan sıcaklık dağılımları dikkate alındığında, II. duruma benzer olarak arka kısımda arka koltuk yüzeyine yakın bölgede daha düşük sıcaklık dağılımları hesaplanmıştır. Bu süreçte hesaplanan en düşük sıcaklık 35.5°C ve kabin arka kısım gövde seviyesindedir.



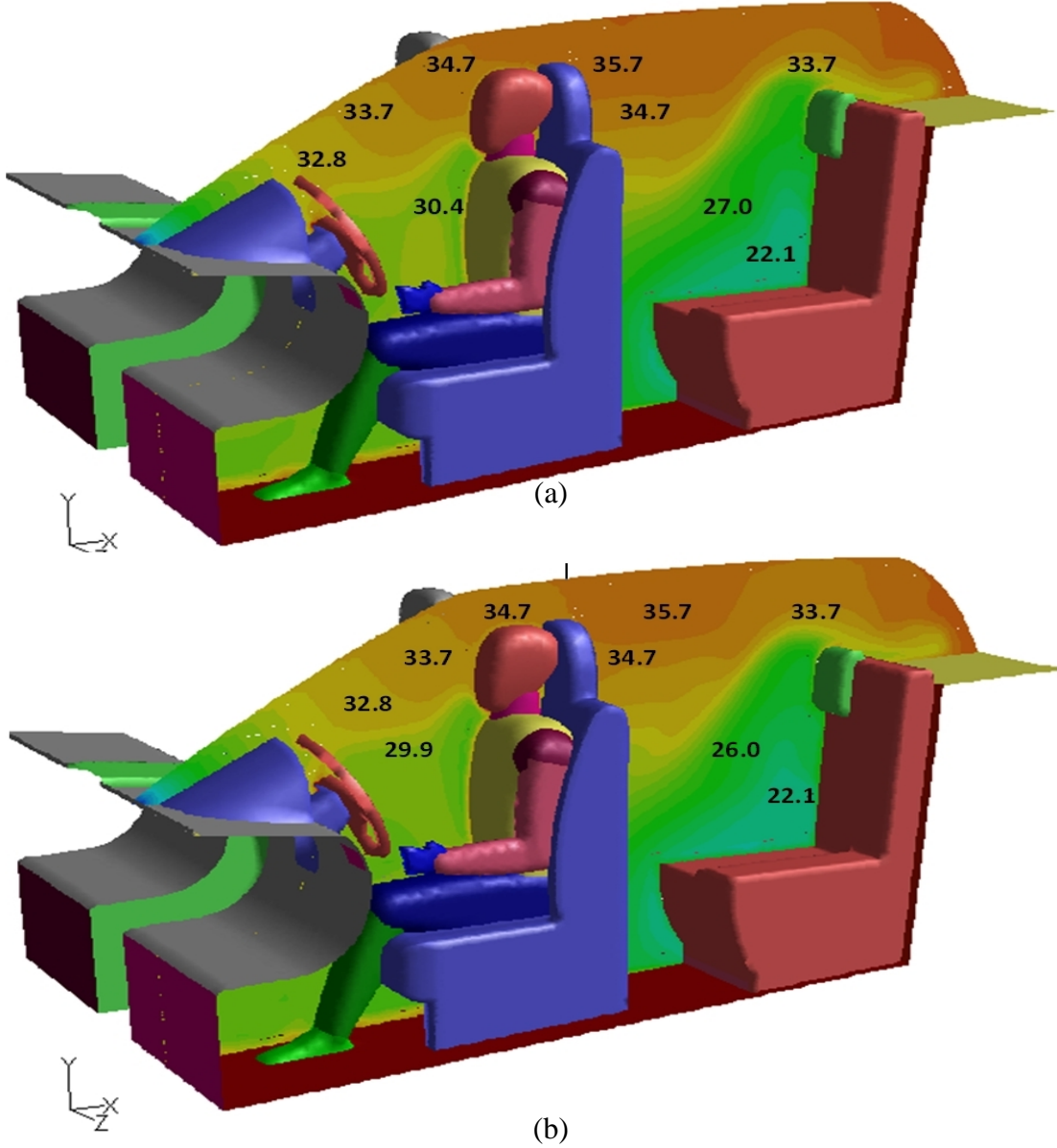
ekil 4.78 Manken orta düzleminde sıcaklık dağılımları (III Durum), (a) 1s (b) 60s

5-10 dakikalık so utma süreci sonunda III. durum için manken orta düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımı ekil 4.79'da yer almaktadır. 5 dakikalık so utma sürecinde elde edilen maksimum sıcaklık farkı yaklaşık olarak 12°C olup ilerleyen zamanla birlikte 10 dakikalık so utma sonucunda bu değer $14\text{--}15^{\circ}\text{C}$ seviyesine ulaşmaktadır. Her iki so utma sürecinde de manken bacak yüzeyi üzerinde yüksek sıcaklık dağılımı elde edilmiş ve yaklaşık olarak $37\text{--}38^{\circ}\text{C}$ arasındadır.



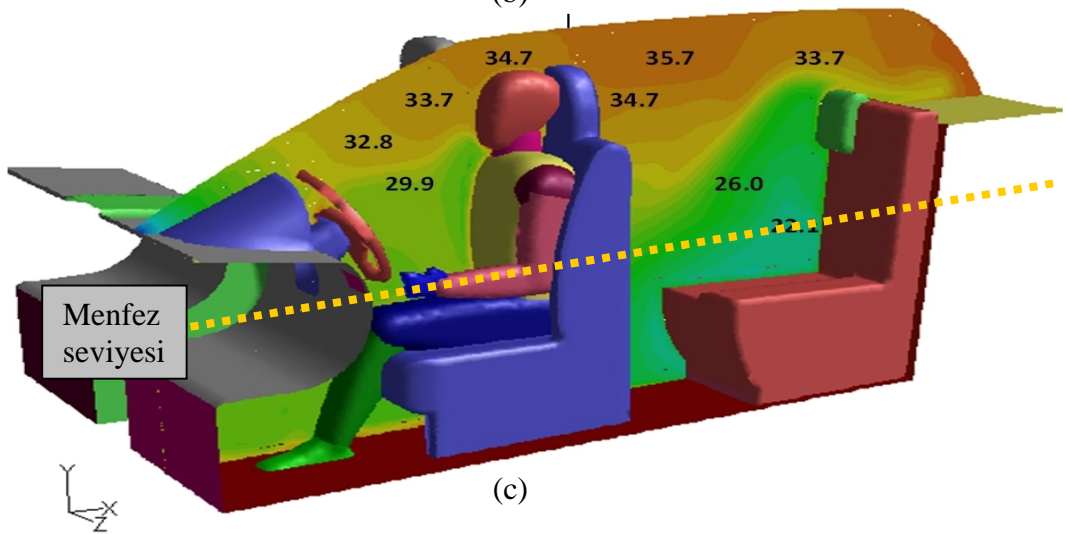
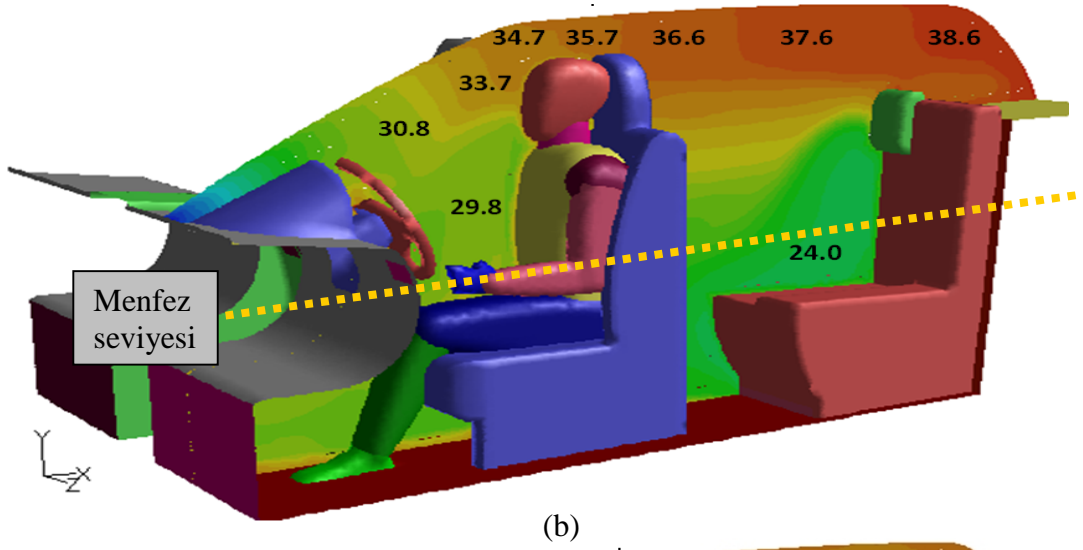
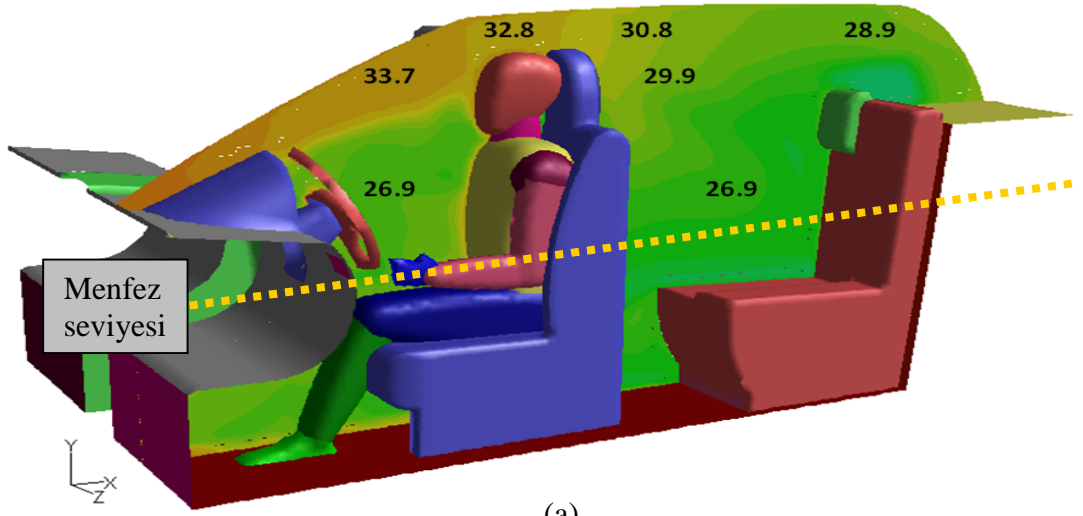
ekil 4.79 Manken orta düzleminde sıcaklık dağılımı (III Durum), (a) 300s (b) 600s

ekil 4.80'de yer alan 20 ve 30 dakikalık so utma süreçleri sonunda elde edilen sıcaklık da ılımları kar ıla tırıldı nda aynı bölge ve seviyelerde birbirine yakın sıcaklık de erleri hesaplanmı tır. Dolayısıyla 30 dakikalık so utma periyodu sonucunda sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı söylenebilir.



ekil 4.80 Manken orta düzleminde sıcaklık da ılımı (III. Durum), (a) 1200s (b) 1800s

Manken orta düzleminde her üç durum için 1800s sonucunda elde edilen sıcaklık da ılımları ekil 4.81'de yer almaktadır.



ekil 4.81 30 dakikalık so utma sonucunda tüm durumlar için manken orta düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları, (a) I.durum (b) II. durum (c) III. durum

Gerçekle tirilen sıcaklık hesaplamaları sonucunda ekil 4.81'de gösterilen sıcaklık da ılımları da dikkate alınarak, üç farklı durum için a a ıda belirtilen sonuçlar ifade edilebilir;

Her üç durumda da taban yüzeyine yakın bölgelerde sıcaklık daha dü ük tavan yüzeyine yakın kısımlarda ise daha yüksektir.

Her üç durumda da insan ba yüzeyi üzerinde yüksek de erde sayılabilecek sıcaklık de erleri hesaplanmı tır.

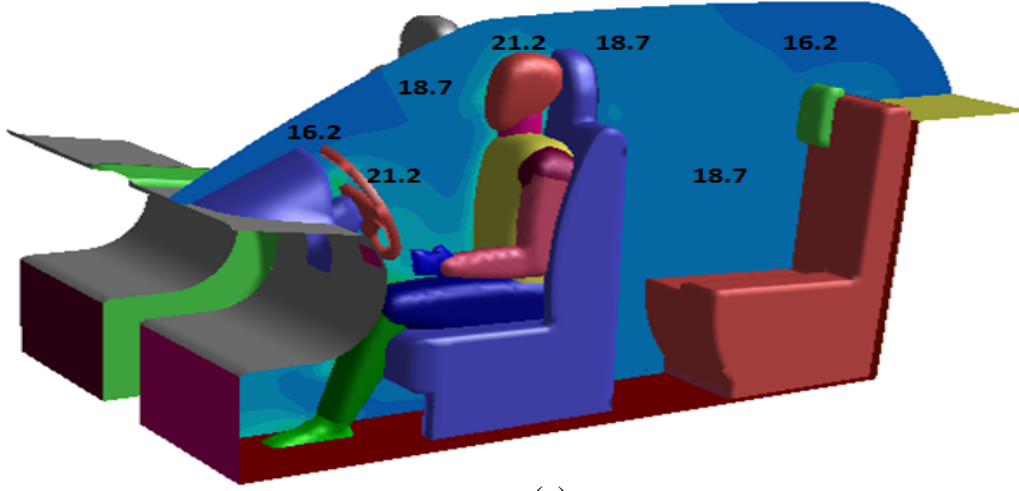
nsan vücudu gövde seviyesinde üç durum için elde edilen sıcaklık de erleri göz önünde bulunduruldu unda, en dü ük sıcaklık de eri yakla ık 27°C olmak üzere sadece konsol menfezlerinin kullanıldı ı I.durumda elde edilmi tir.

II. ve III. durumlarda elde edilen sıcaklık da ılımları benzer nitelikler ta ımaktadır. Her iki durumda da menfez seviyesinin üzerinde tavan yüzeyine yakın bir bölgede di er bölgelere göre daha sıcak bir bölge bulunmaktadır. Bu bölge II. ve III. durumlarda kabin arka kısmında yo unla ırken I.durumda ise bahsedilen bu bölge kabin ön kısmında olu maktadır.

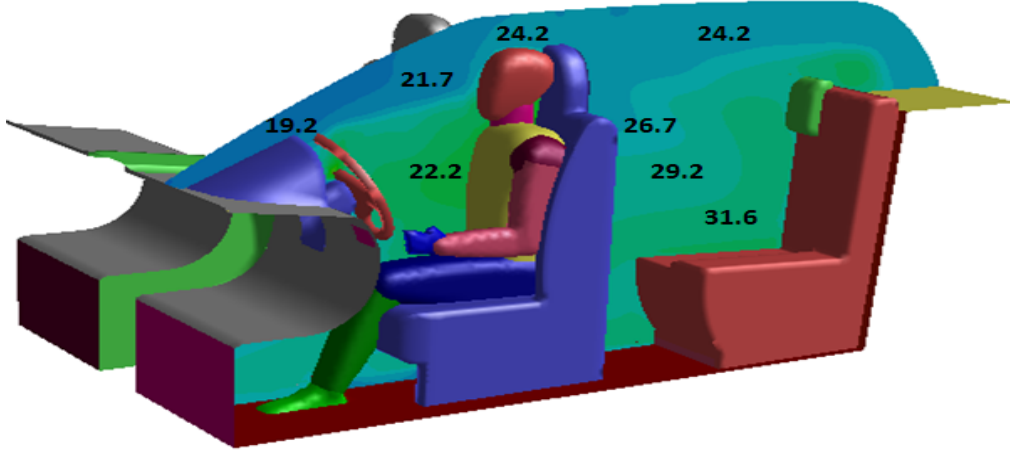
Her üç durumda da ilk 15 dakikalık so utma sürecinde sıcaklık parametresinde olukça hızlı de i imler görülmektedir ve 30 dakikalık so utma süreci sonunda gerçekleştirilen hesaplamalar dikkate alındı ında sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı ifade edilebilir.

Aynı so utma hızına ve so utma yüküne sahip üç durum için manken orta düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları de erlendirildi inde farklı menfezlerde farklı hız kademeleri kullanılması durumunda kabin iç ortamında sıcaklık da ılımı oldukça de i ken bir yapıya sahip oldu u söylenebilir. Dolayısıyla hem ısı konfor hem de enerjinin verimli kullanılması bakımından bu de i ken yapının daha hassas bir ekilde lokal olarak kontrol edilmesi gerekti i sonucuna varılabilir.

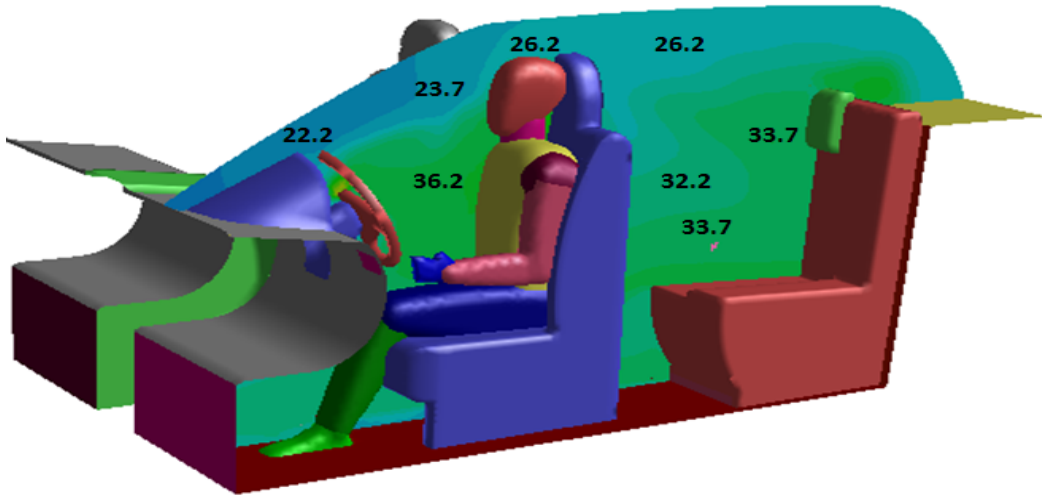
Kabin manken düzleminde tüm durumlarda so utma süresince elde edilen ba ıl nem da ılımı ekil 4.82-4.84'de yer almaktadır.



(a)

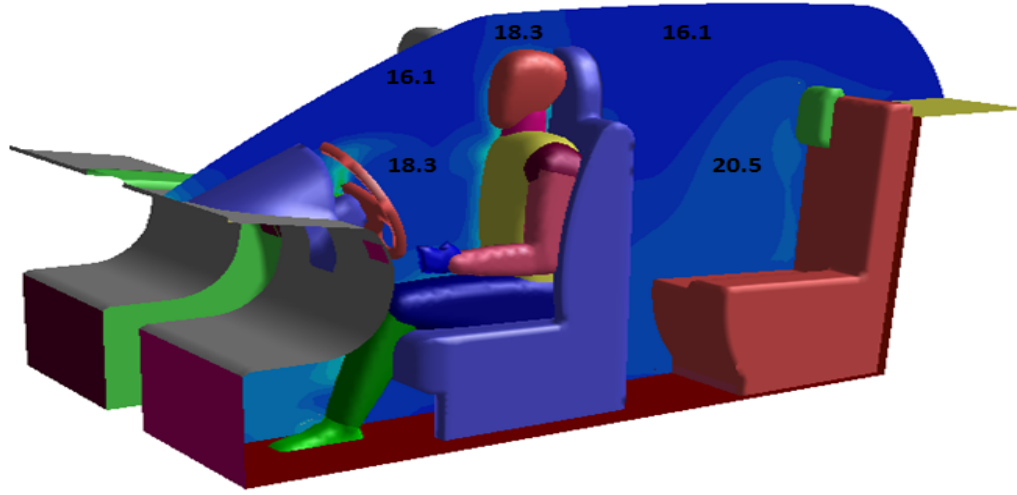


(b)

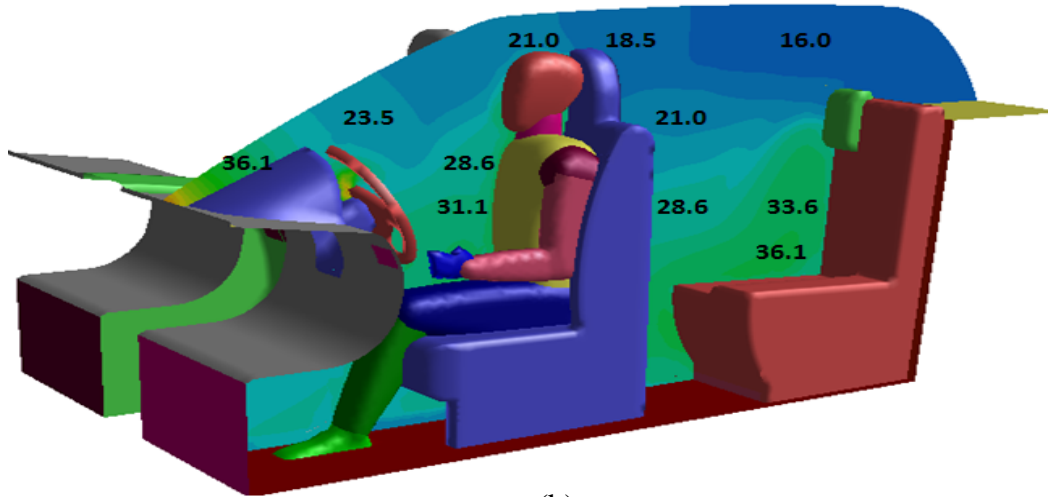


(c)

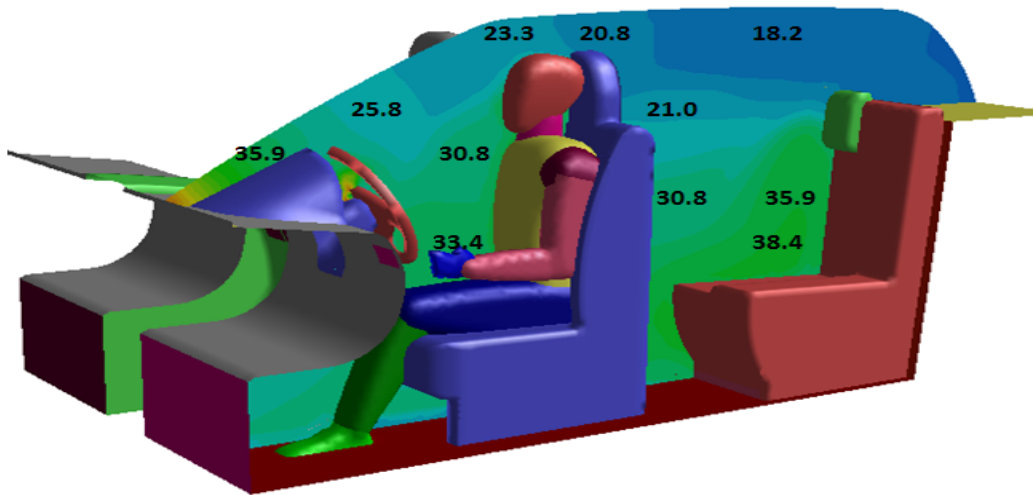
ekil 4.82 30 dakikalık so utma süresince kabin manken düzleminde elde edilen ba ıl nem(%) da ılımı (I.Durum) (a) t=60s (b) t=600s (c) t=1800s



(a)

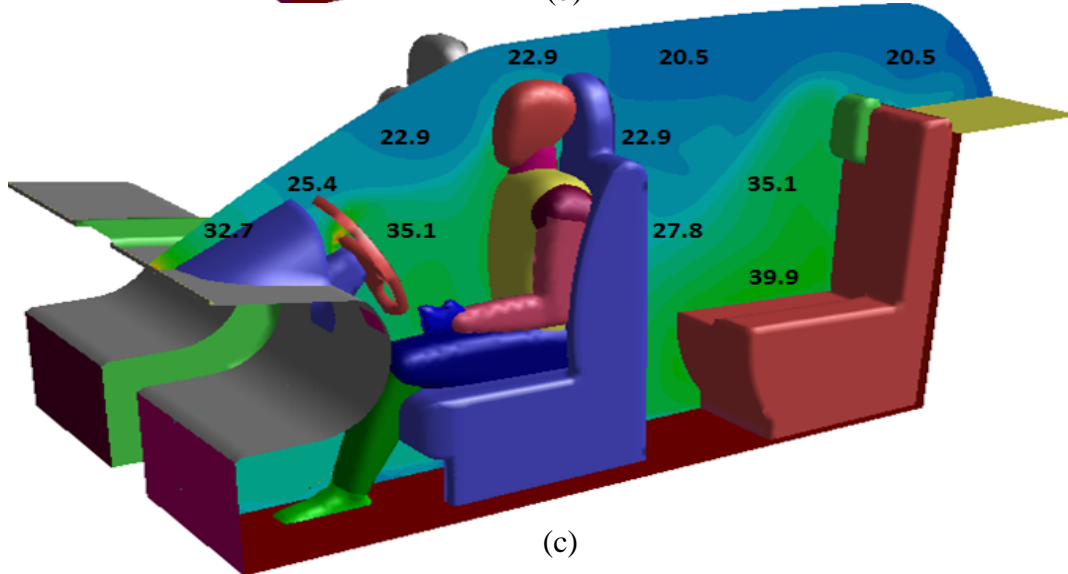
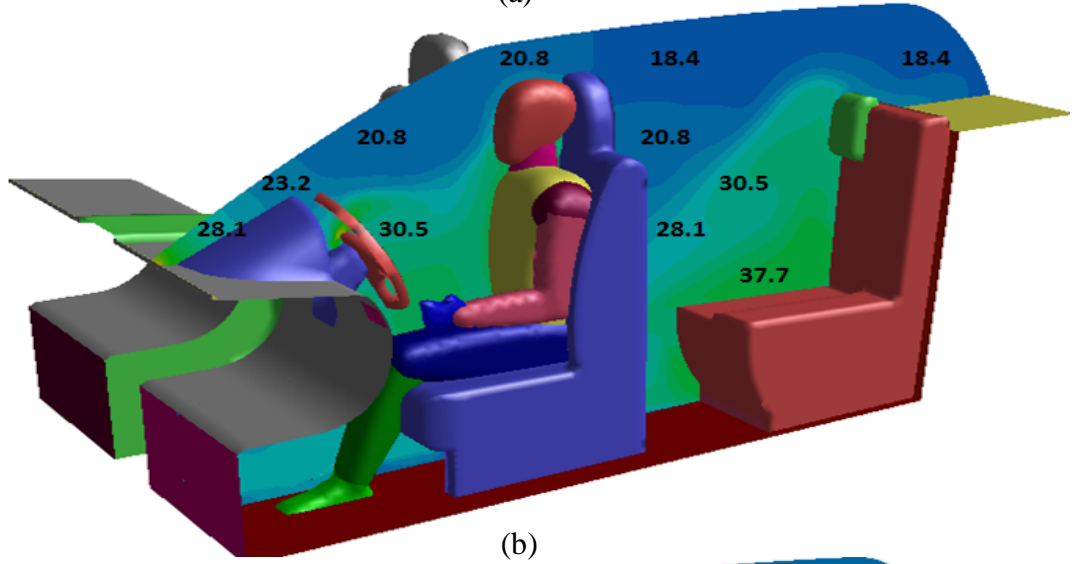
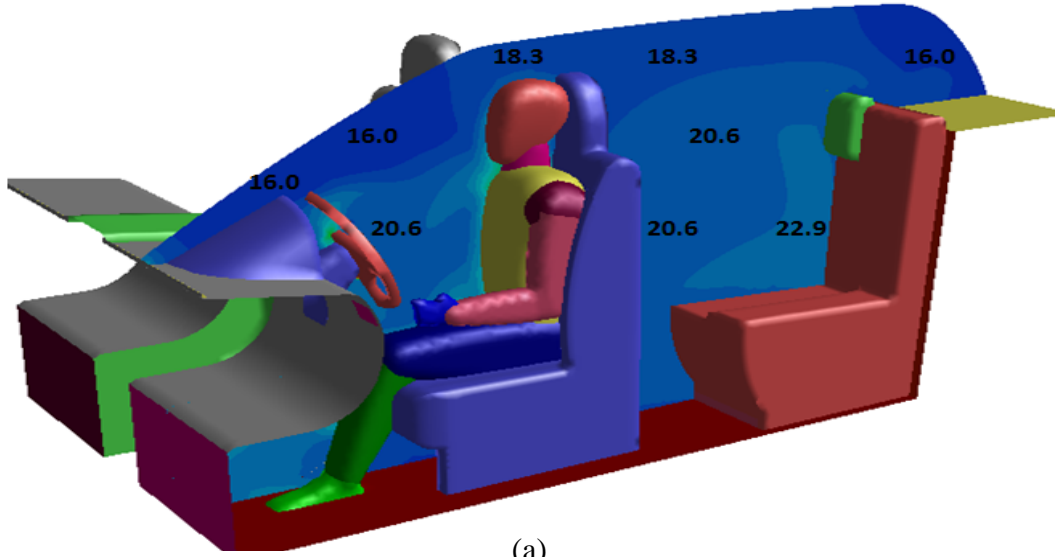


(b)



(c)

ekil 4.83 30 dakikalık so utma süresince kabin manken düzleminde elde edilen ba ıl nem(%) da ılımı (II.Durum) (a) t=60s (b) t=600s (c) t=1800s



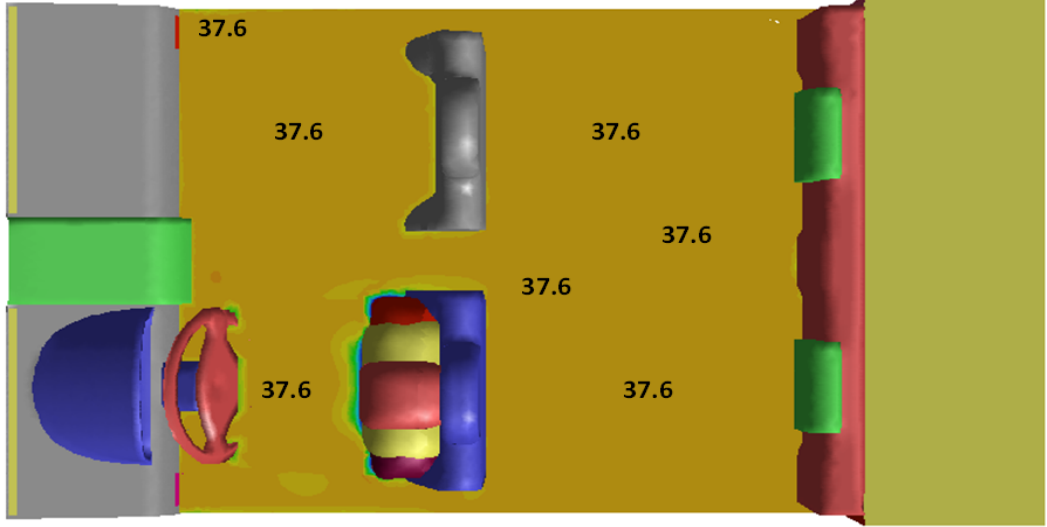
ekil 4.84 30 dakikalık so utma süresince kabin manken düzleminde elde edilen ba ıl nem(%) da ılımı (III.Durum) (a) $t=60s$ (b) $t=600s$ (c) $t=1800s$

ekil 4.82-4.84'de tüm durumlar için manken düzleminde hesaplanan nem da ılımı de erlendirildi inde genel olarak 1 dakikalık so utma sresi sonunda ba ıl nem de eri tüm durumlarda %16-23 arasında de i mektedir. Artan so utma süresi ve azalan iç ortam sıcaklı ına ba lı olarak hesaplanan ba ıl nem de erleri giderek artmakta ve tüm durumlarda 30 dakikalık so utma periyodu sonunda, %18-40 aralı ında de i en de erler hesaplanmı tır.

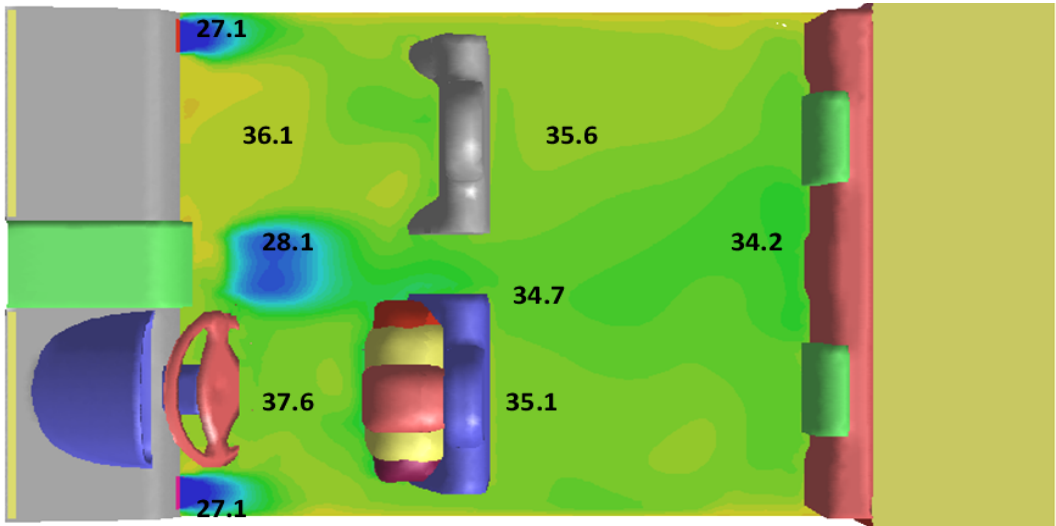
Sadece konsol menfezlerin kullanıldı ı I.durumda 30 dakikalık so utma periyodu sonunda, kabin menfez düzleminin ön kısmında di er bölgelere kıyasla daha dü ük ba ıl nem de erleri elde edilmi tir. II. ve III. durumlarda bahsedilen bu periyot sonunda kabin ön kısmında I. duruma göre daha yüksek ba ıl nem de erleri hesaplanmı tır. Bunun nedeni bu bölgede ızgara tipi menfezlerin kullanılmasıyla birlikte I.duruma göre daha dü ük sıcaklık de erlerinin elde edilmesidir.

Ba ıl nem için hesaplanan tüm de erler göz önünde bulunduruldu unda, kabin manken düzlemi için elde edilen sıcaklık da ılımına paralel olarak ba ıl nem de erlerinin de i ti i ifade edilebilir.

Kabin menfez seviyesinde bulunan düzlemde her üç durum için geçici rejimde elde edilen hız ve sıcaklık da ılımları ise ekil 4.85–4.93'te yer almaktadır.



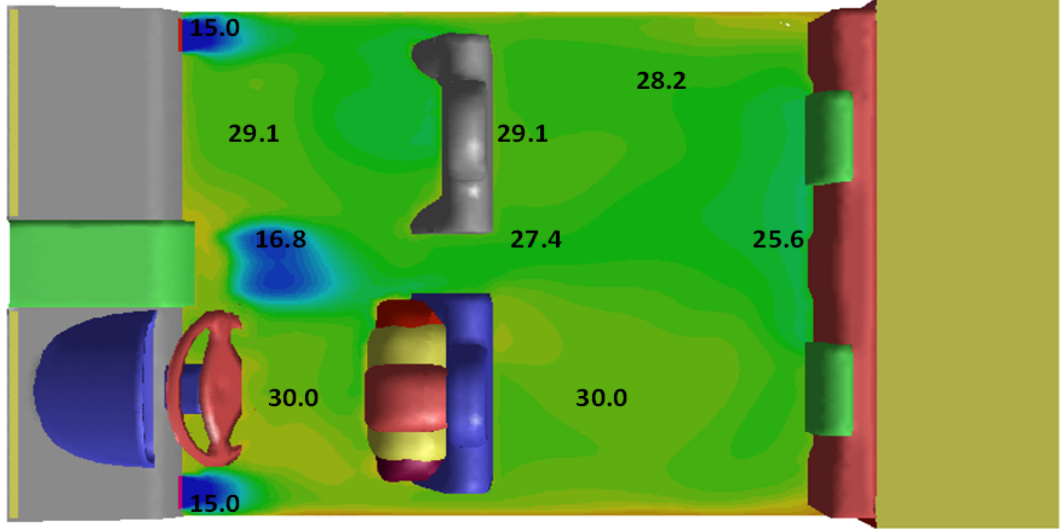
(a)



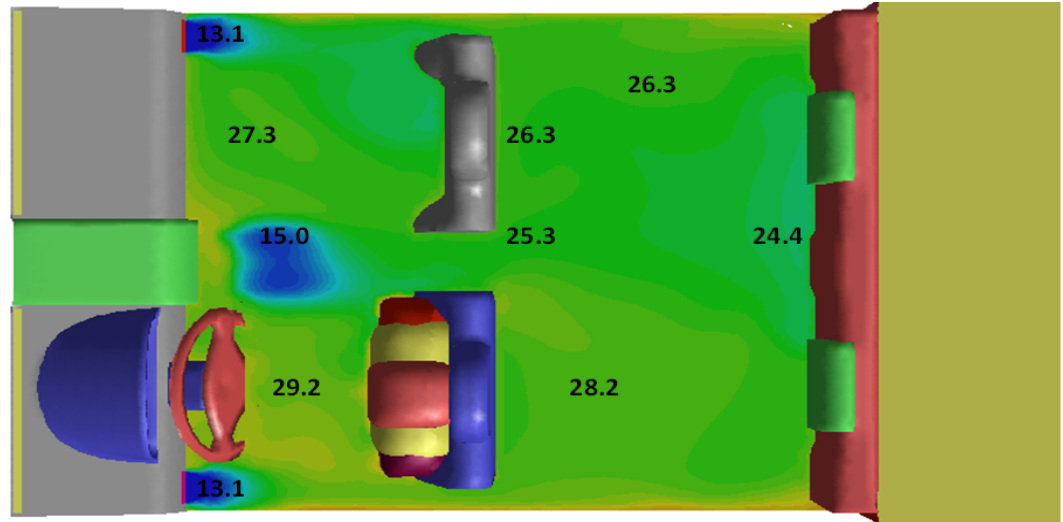
(b)

ekil 4.85 Kabin menfez düzleminde sıcaklık dağılımı (I. Durum), (a) 1s (b) 60s

I.durum için gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, 1 dakikalık soğutma sonucunda kabin menfez düzleminde elde edilen sıcaklıklar 27-38°C arasında oldukça dengesiz bir yapıya sahiptir. İnsan vücudu gövde seviyesine yakın olan menfez seviyesinde yaklaşık 38°C yüksek sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Kabin arka kısmında daha hızlı bir soğutma gerçekleştiği görülmektedir. Bu düzlemde elde edilen en düşük sıcaklık menfezlere yakın bölgelerde hesaplanmıştır.



(a)

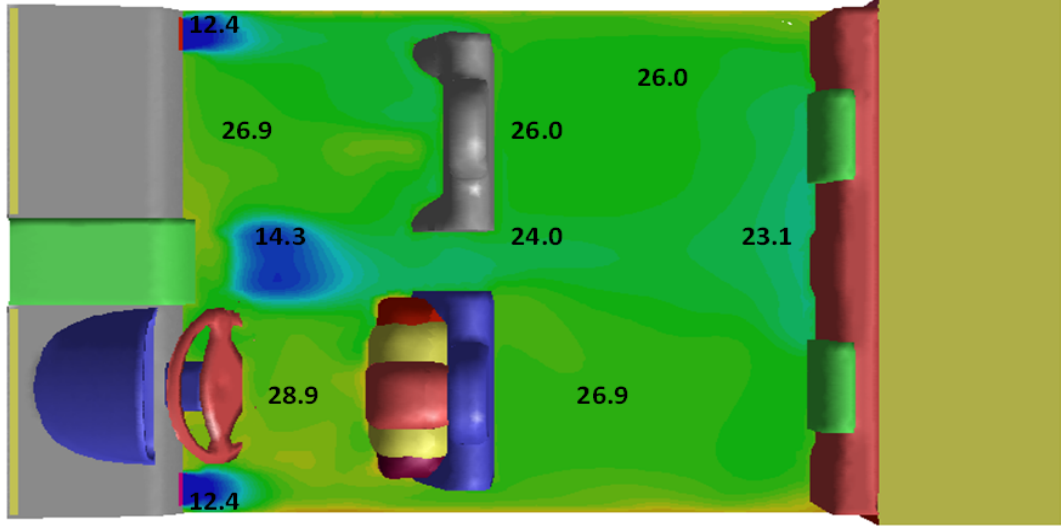


(b)

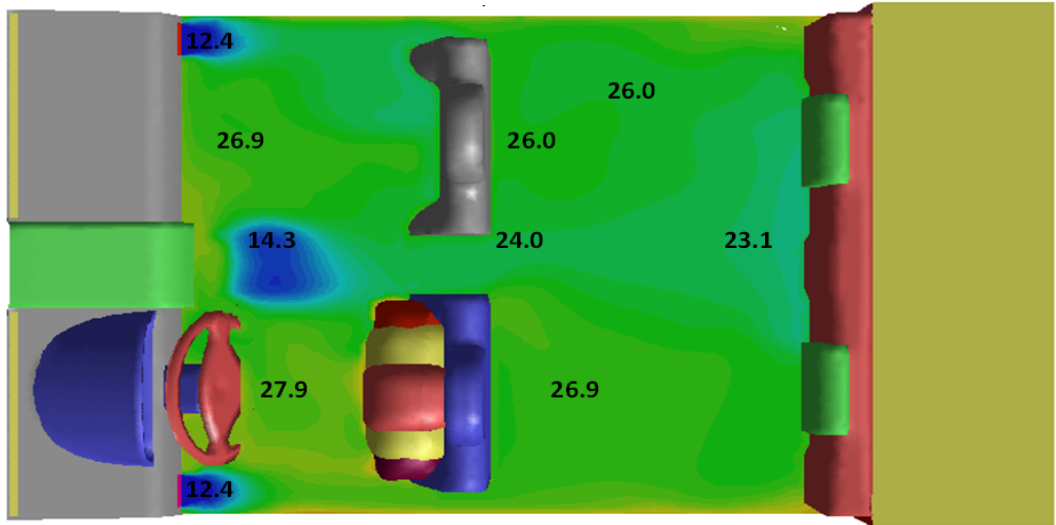
ekil 4.86 Kabin menfez düzleminde sıcaklık dağılımı (I. Durum), (a) 300s (b) 600s

5–10 dakikalık soğutma süreçleri sonunda menfez düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımları ekil 4.86’da yer almaktadır. İnsan vücudu gövde seviyesine yakın olan menfez seviyesinde sıcaklık değerleri yaklaşık 29–30°C arasında değişmektedir. Bu düzlemde elde edilen en yüksek sıcaklık farkı 16°C’ye ulaşmaktadır. Kabin arka

kısmında sıcaklık değerlerinde ön kısma göre daha düşük değerler meydana geldiği görülmektedir.



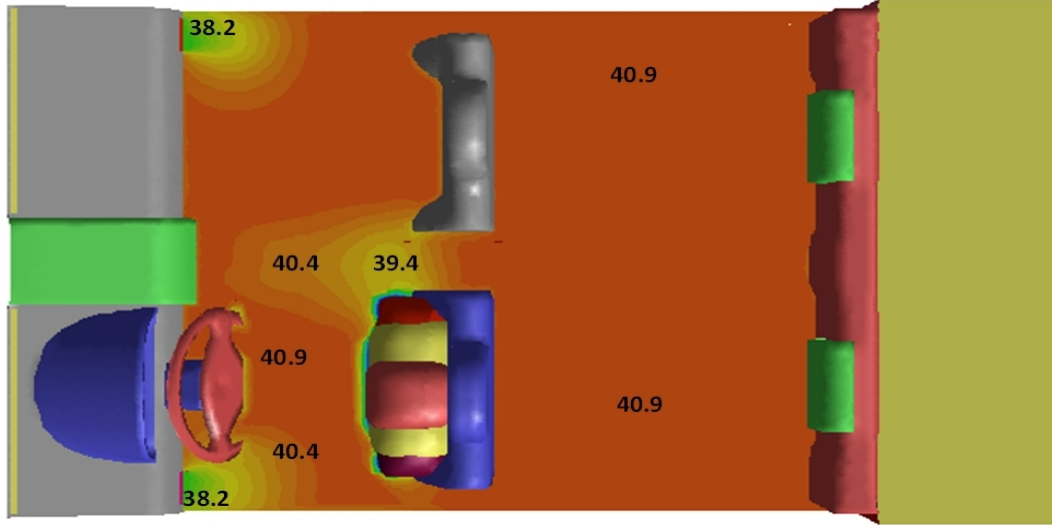
(a)



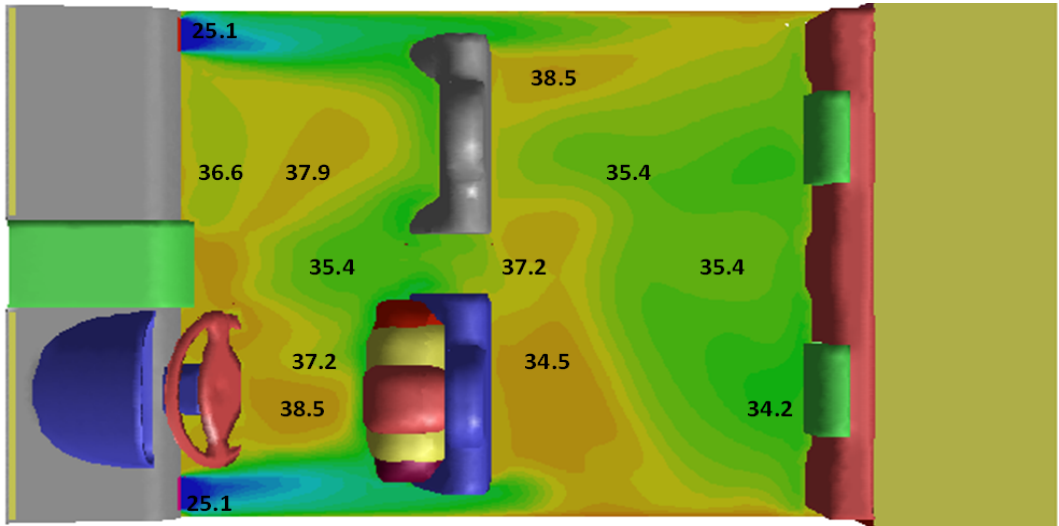
(b)

ekil 4.87 Kabin menfez düzleminde sıcaklık dağılımı (I. Durum), (a) 1200s (b) 1800s

ekil 4.87’de yer alan 20–30 dakikalık soğutma periyotları sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımları dikkate alındığında ise sıcaklık değerlerinde değişiklikler görülmediği dolayısıyla sürekli rejim koşullarına yaklaşıldığı ifade edilebilir.



(a)

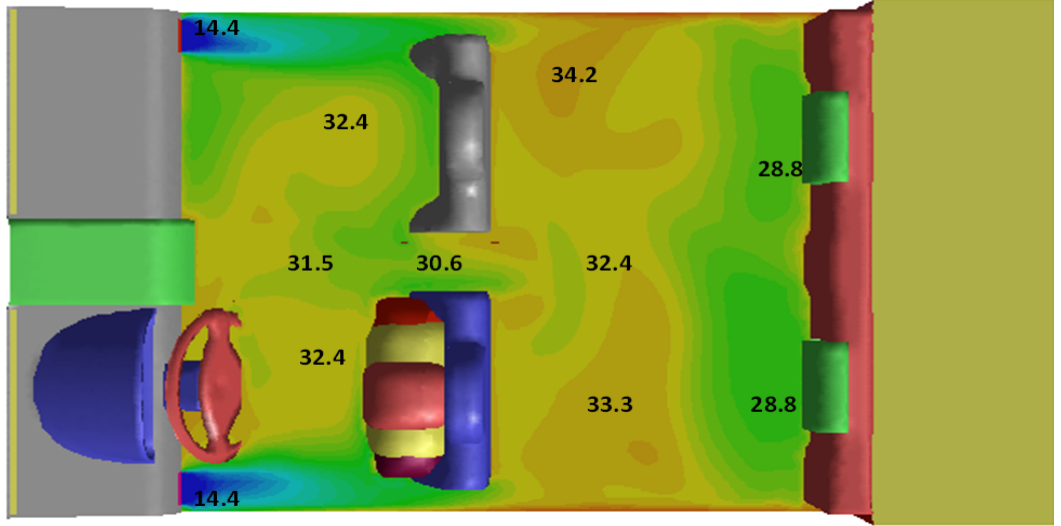


(b)

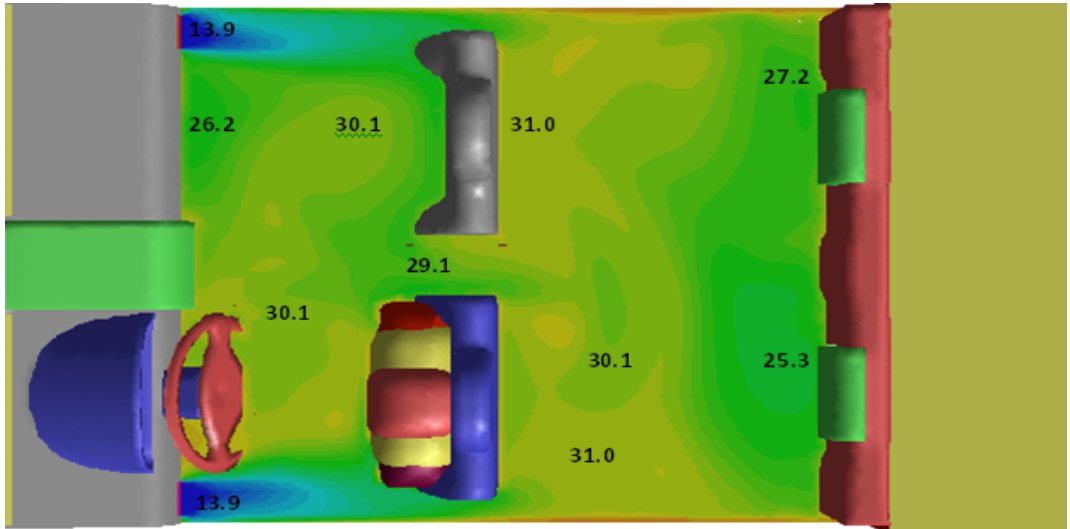
ekil 4.88 Kabin menfez düzleminde sıcaklık dağılımını (II. Durum), (a) 1s (b) 60s

Soğutma sürecinde konsol menfezlerinin yanında ızgara tipi menfezlerinin de kullanıldığı II. durum için 1 dakikalık ısıtma periyodu sonunda I.durumdan farklı olarak yolcu koltuğu yüzeyine yakın bölgede daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bunun başlıca nedeni olarak konsol menfezlerindeki hızın I.duruma göre daha düşük olması gösterilebilir. İnsan vücudu yakın çevresinde elde edilen sıcaklık değerleri ise

37-39°C arasında de i mektedir. Gerçekle tirilen sayısal hesaplamalarda yakla ık olarak 33°C sabit yüzey sıcaklı ı sınır artı dikkate alınırsa, bir dakikalık periyotta ısı transferinin yönü, kabin iç ortamından insan vücudu yüzeylerine do rudur. Kabin arka kısmında arka koltuk yüzeyine yakın bölgelerde ise ön kısma göre daha dü ük sıcaklık de erleri hesaplanmı tır.



(a)

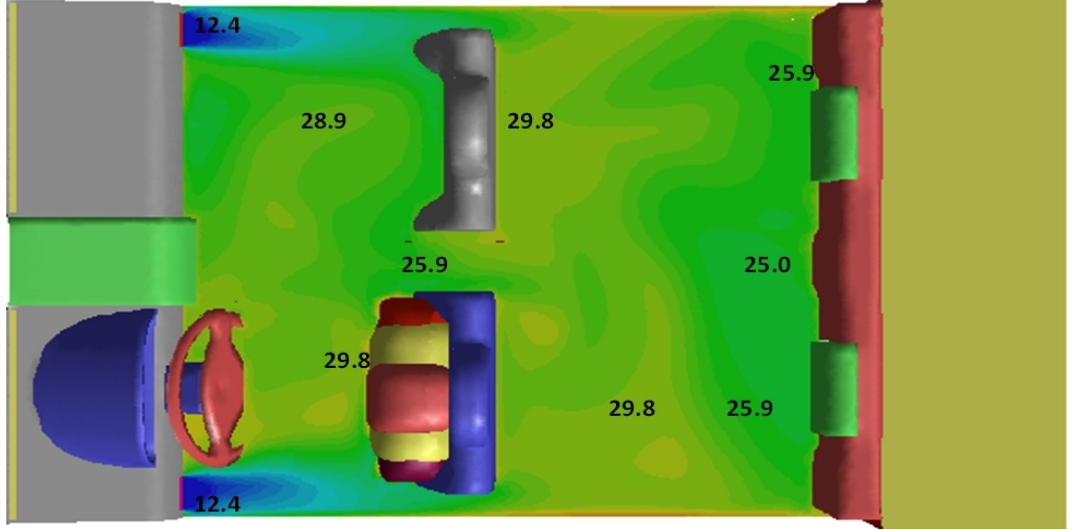


(b)

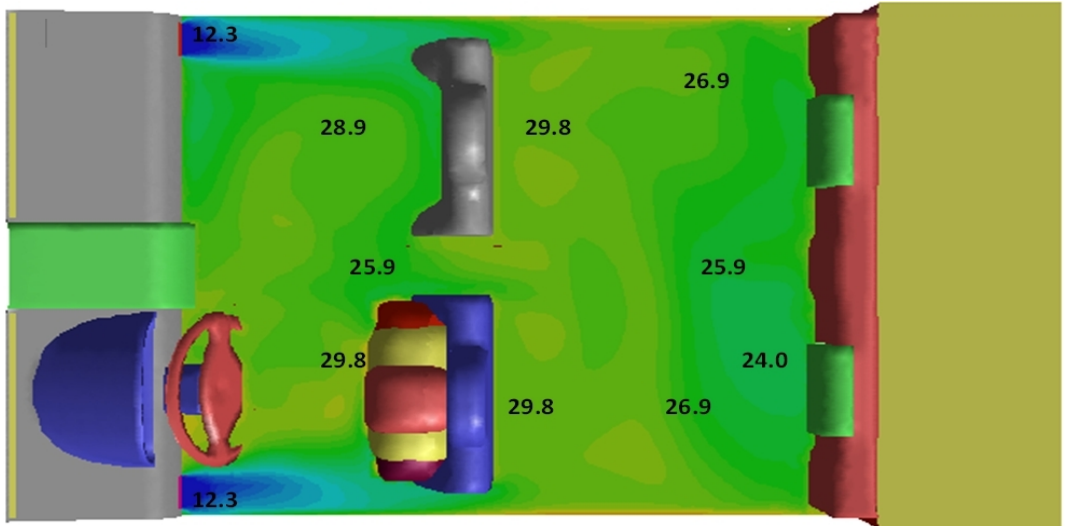
ekil 4.89 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (II. Durum), (a) 300s (b) 600s

5–10 dakikalık so utma süreci sonucunda II. durum için menfez düzleminde elde edilen sıcaklık de erleri ekil 4.89'da gösterilmi tir. Bu düzlemde 5–10 dakikalık

so utma süreçleri sonunda elde edilen sıcaklık dağılımları karşılaştırıldığında, 5 dakikalık so utma sonunda kabin arka kısmında hesaplanan en düşük sıcaklık değeri yaklaşık 29°C iken, bu değer 10 dakikalık so utma sonunda yaklaşık 25°C elde edilmiştir.



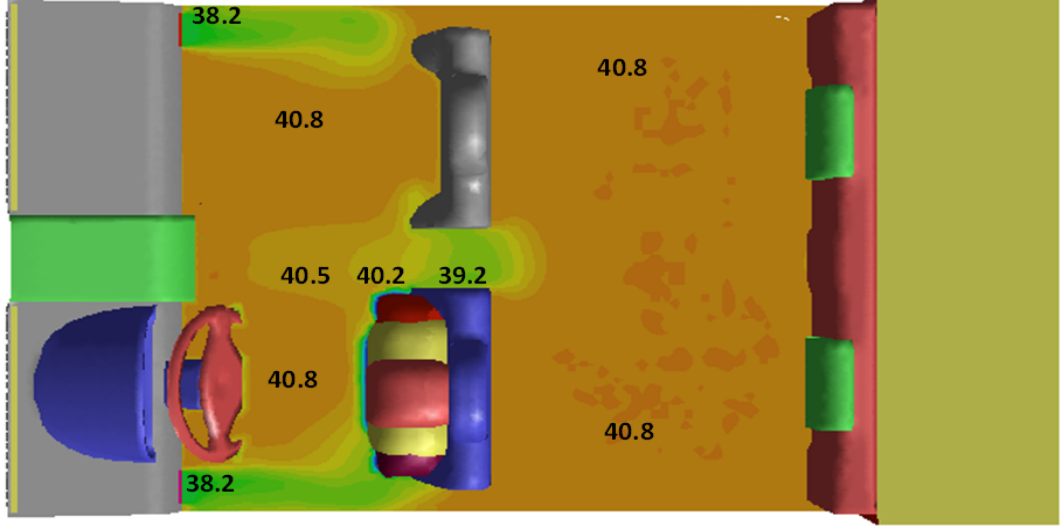
(a)



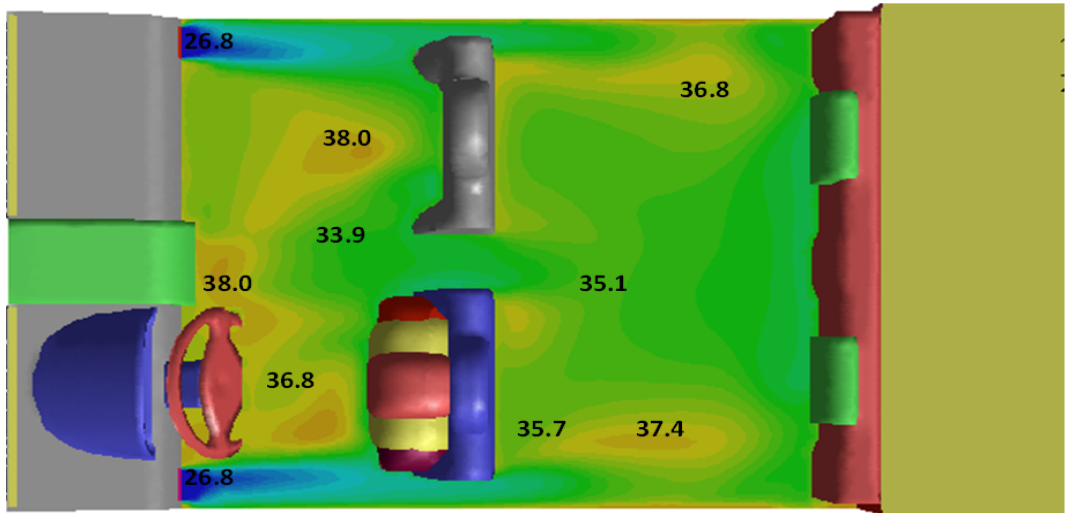
(b)

Şekil 4.90 Kabin menfez düzleminde sıcaklık dağılımı (II. Durum), (a) 1200s (b) 1800s

ekil 4.90'de yer alan 20 ve 30 dakikalık so utma sonunda menfez düzleminde elde edilen sıcaklık de erleri arasında büyük farklılıklar görülmemektedir. 30 dakikalık so utma sonunda insan vücudu yakın çevresinde bu düzlemde yakla ık 26–30°C arasında de i en sıcaklık de erleri hesaplanmı tır.



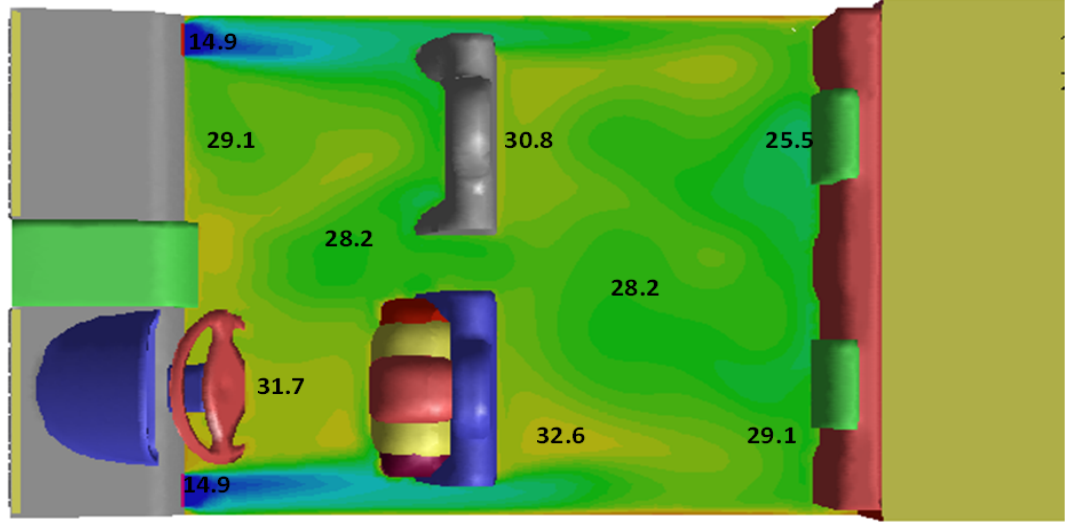
(a)



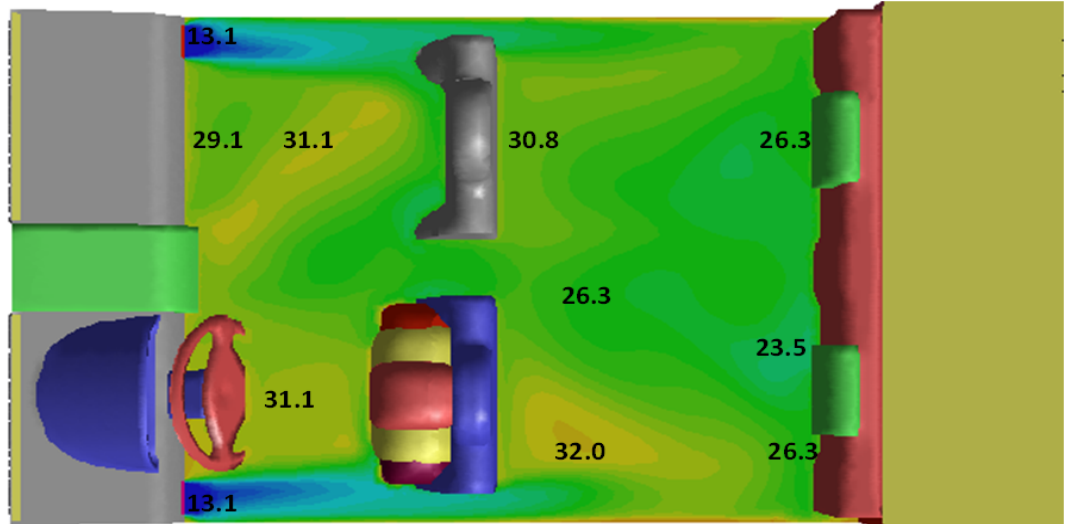
(b)

ekil 4.91 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (III. Durum), (a) 1s (b) 60s

ekil 4.91'de yer alan 1 dakikalık so utma sonunda elde edilen sıcaklık de erleri dikkate alındı ında, kabin arka kısmında II. duruma göre daha dü ük sıcaklık de erleri elde edilmi tir. Bunun temel nedeni olarak II. duruma göre daha büyük konsol menfez hızına ait yatay(x) hız bile eni kullanılmasıdır. 1 dakikalık so utma sonunda kabin arka kısmında yakla ık 35 °C sıcaklık de eri hakim olup ön kısımda ise 27-38°C arasında de i en bir sıcaklık yapısı elde edilmi tir.



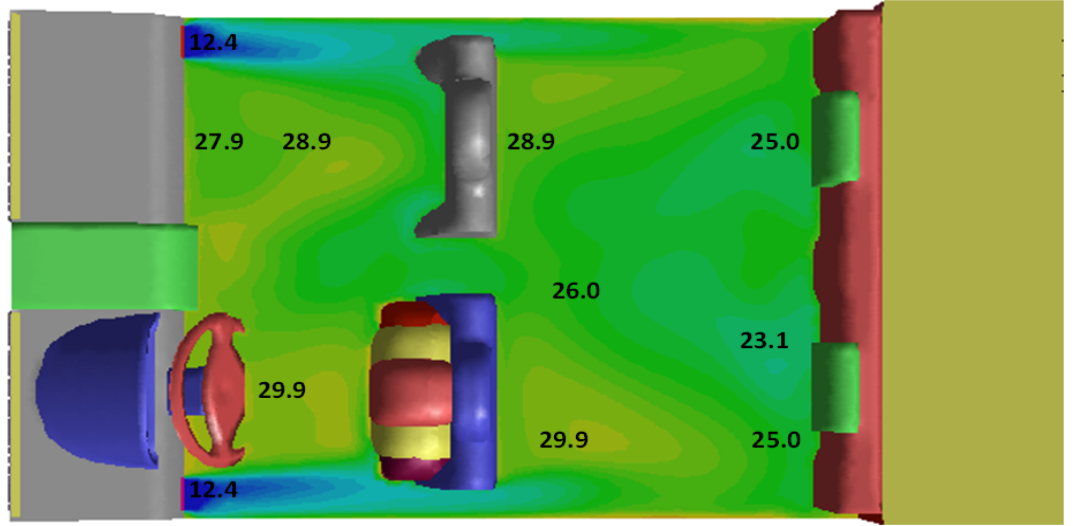
(a)



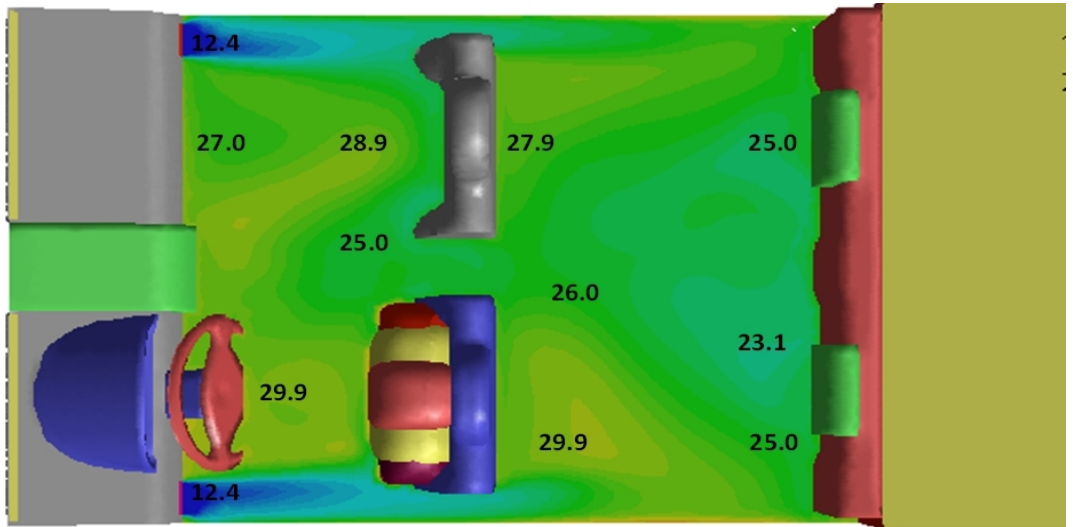
(b)

ekil 4.92 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (III. Durum), (a) 300s (b) 600s

III. durumda 5–10 dakikalık so utma sonunda menfez düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları ekil 4.92’de yer almaktadır. Her iki süreç sonunda da insan vücudu sol kol yüzeyine yakın bölgelerde dü ük sıcaklık de erleri bulunmaktadır. Bu süreç sonunda benzer noktalarda elde edilen sıcaklık de erleri arasındaki fark $0.5\text{--}3^{\circ}\text{C}$ arasında de i mektedir.



(a)



(b)

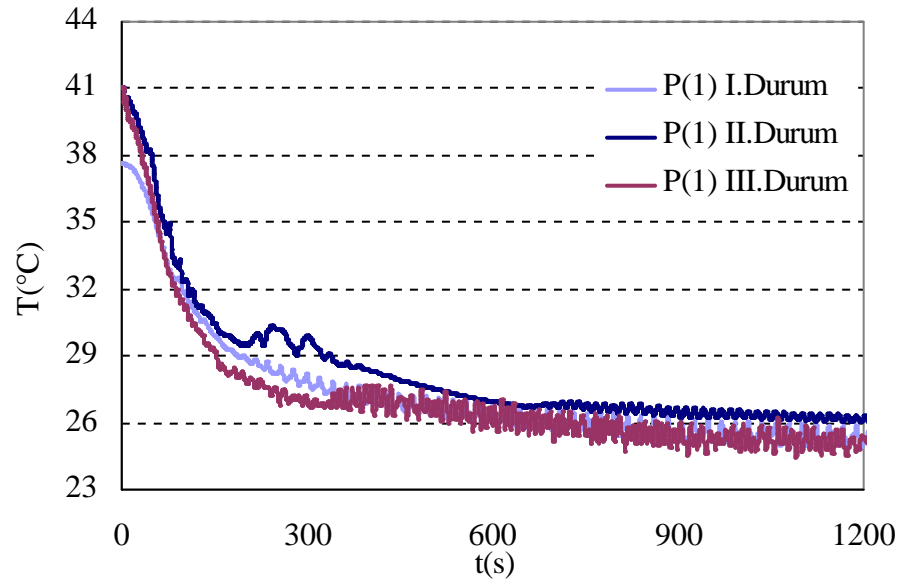
ekil 4.93 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (III. Durum), (a) 1200s (b) 1800s

III. durumda 20–30 dakikalık so utma sonunda menfez düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları de erlendirildi inde ise benzer noktalarda elde edilen sıcaklık de erleri arasındaki fark oldukça dü üktür. Bunun sonucunda III. durumda da di er durumlara benzer olarak 30 dakikalık so utma sonunda sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı ifade edilebilir.

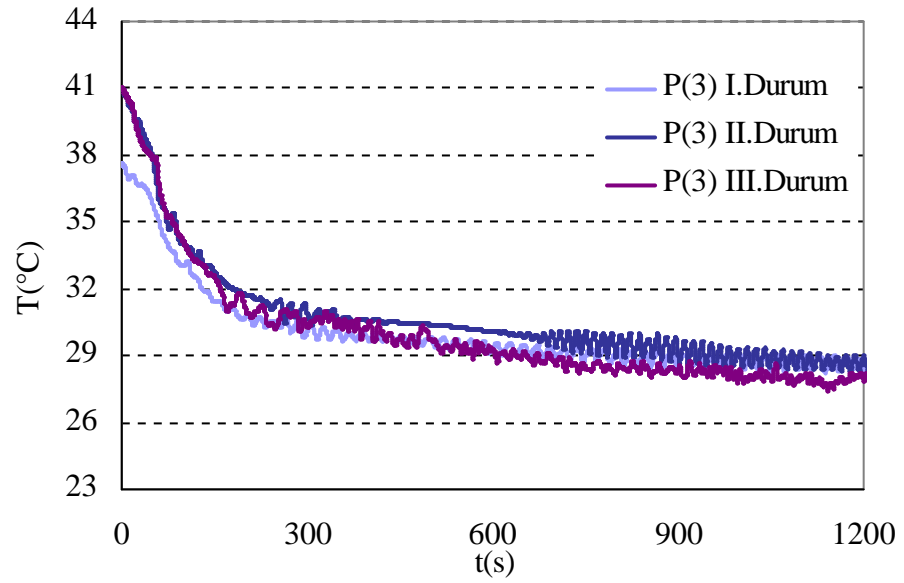
Kabin içinde üç farklı durum için bazı kritik noktalarda elde edilen sıcaklık da ılımları; (P1) sol arka koltuk diz seviyesi, (P3) sol ön koltuk diz seviyesi, (P4) sa ön koltuk diz seviyesi, P(6) iki koltuk arası ba seviyesi, (P7) sol ön koltuk ba seviyesi ve P(8) sa ön koltuk ba seviyesi olmak üzere ekil 4.94-96'da yer almaktadır. Bu noktalarda elde edilen sıcaklık da ılımları ile üç durum kar ıla tırılmalar gerçekleştirilerek kabin içinde hacimsel olarak farklı noktalarda hangi seviyede sıcaklık de erleri elde edildi i hakkında bilgiler elde edilmiştir.

ekil 4.94(a)'da yer alan sol arka koltuk diz seviyesinde hesaplanan sıcaklıklar de erlendirildi inde, her üç durumda da 30 dakika sonunda hesaplanan sıcaklık de erleri arasında yaklaşık olarak 1°C sıcaklık farklılı ı meydana gelmektedir. Üç durum için elde edilen tüm sıcaklık e rileri 30 dakikalık so utma süresince benzer e ilim göstermektedirler. Bunun sonucunda ise konsol tipi menfezlerin kullanıldı ı I.durum ile ızgara tipi ve konsol menfezlerinin kullanıldı ı II ve III. durumlar için ön ve arka kolduk diz seviyelerinde tanımlanan noktalarda, 30 dakika sonunda elde edilen sıcaklık de erlerinin büyük oranda etkilenmedi i sonucuna varabiliriz. Ancak ilk 5 dakikalık so utma süresinde e riler arasındaki farklılık daha belirgin hale gelmektedir ve sıcaklık farklılıkları üç durum için kar ıla tırıldı ında 3°C' ye kadar çıkmaktadır ve (P1) noktasında elde edilen maksimum sıcaklık II. durumda yaklaşık 30°C civarındadır. Bahsedilen bu noktada 30 dakika sonunda her üç durum için elde edilen ortalama sıcaklık de eri yaklaşık olarak 26°C'dir.

ekil 4.94(b)'de yer alan sol ön koltuk diz seviyesinde(P(3)) 30 dakikalık so utma süresince elde edilen sıcaklık da ılımları kar ıla tırıldı ında ise (P1) noktasında elde edilen da ılıma benzer özellikler görülmektedir. Bu noktada 30 dakika sonunda her üç durum için elde edilen ortalama sıcaklık de eri yaklaşık olarak 29°C'dir. Bu verilerden yola çıkarak daha önce düzlemlerin sıcaklık da ılımlarında belirtildi i gibi kabin arka kısmında her üç durumda da daha dü ük sıcaklıklar olmaktadır.



(a)

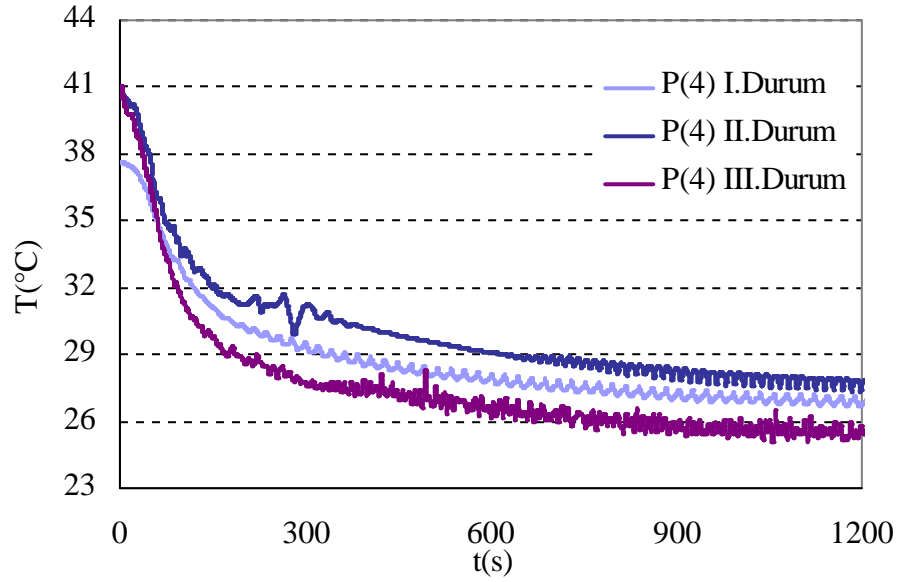


(b)

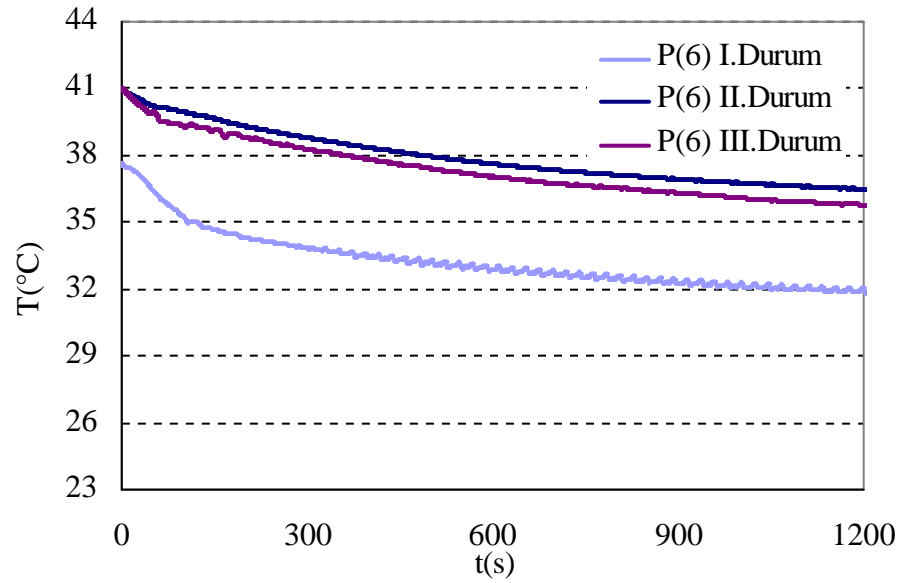
ekil 4.94 Üç farklı durumda kabin içinde noktasal sıcaklık değerlerinin kararlaştırılması (a) P1 (b) P3

ekil 4.95(a)'da sağ ön koltuk diz seviyesi(P(4)) için elde edilen sıcaklık dağılımları değerlendirildiğinde, ızgara tipi menfezlerin kullanıldığı II. ve III. durumda daha düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. ekil 4.95(b) 'de kabin ön kısmında iki koltuk arasındaki seviyeleri arasında elde edilen sıcaklık dağılımları kararlaştırıldı. En

yüksek sıcaklık sadece konsol menfezlerinin kullanıldığı II. durum için yaklaşık olarak 37°C hesaplanmıştır.



(a)

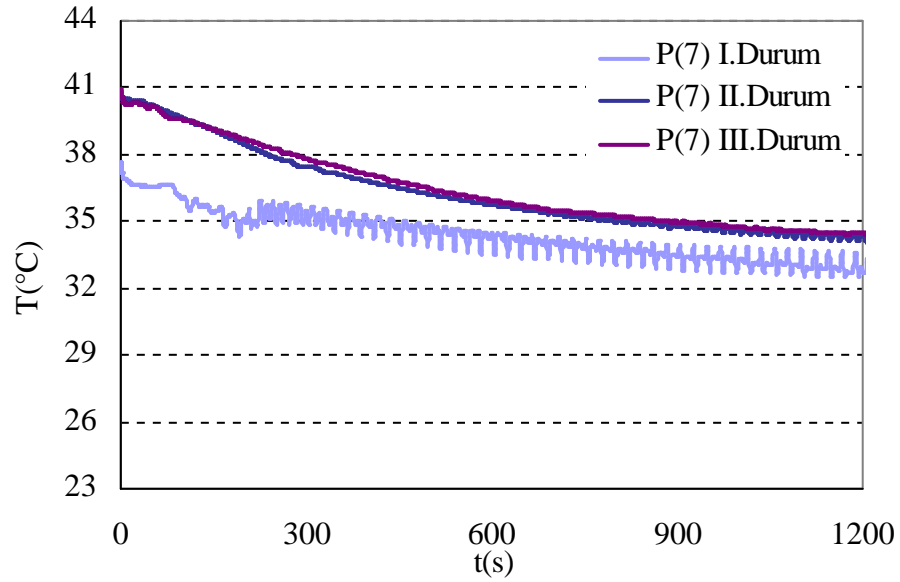


(b)

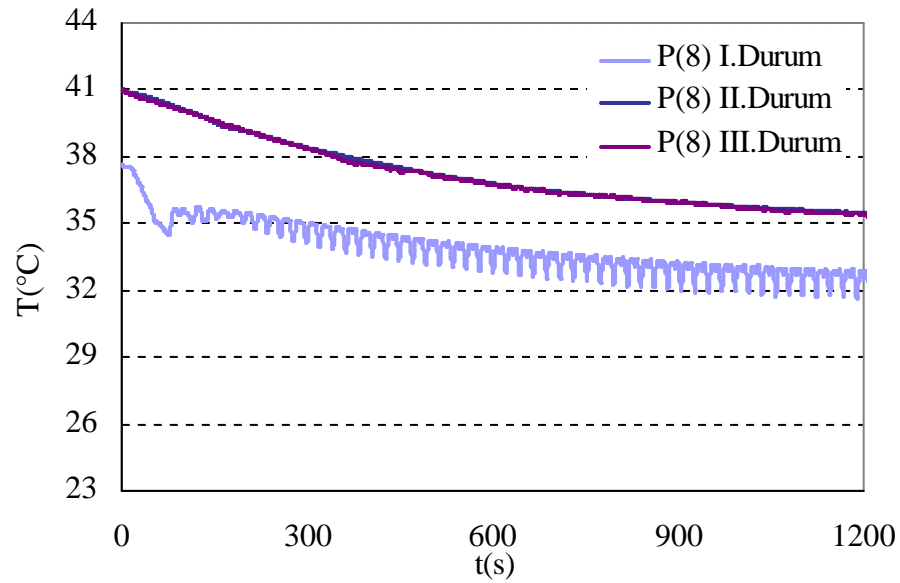
Şekil 4.95 Üç farklı durumda kabin içinde noktasal sıcaklık değerlerinin kararlaştırılması (a) P4 (b) P6

En düşük sıcaklık ise I.durumda konsol menfezlerinde hava giriş hızının daha yüksek alındığı I.durum için yaklaşık olarak 32°C elde edilmiştir. II. ve III. durumlarda

P(6) noktasında elde edilen sıcaklık değerleri oldukça yüksek bir sıcaklıktır. Bu noktanın ön kısmında bulunan insan baş yüzeyine yakın bir bölgede olduğu ve insan vücut yüzey sıcaklığının ortalama 33°C alındığı göz önünde bulundurulduğunda, I. durumda bu noktada elde edilen sıcaklık değerinin, ısı konfor açısından diğer durumlara göre daha uygun bir değer olduğu sonucuna varabiliriz.



(a)

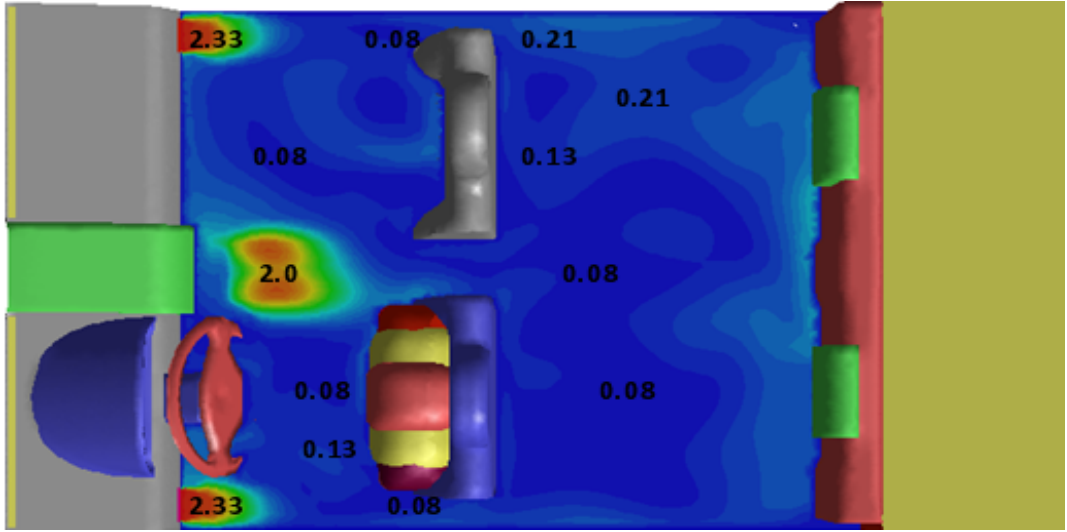


(b)

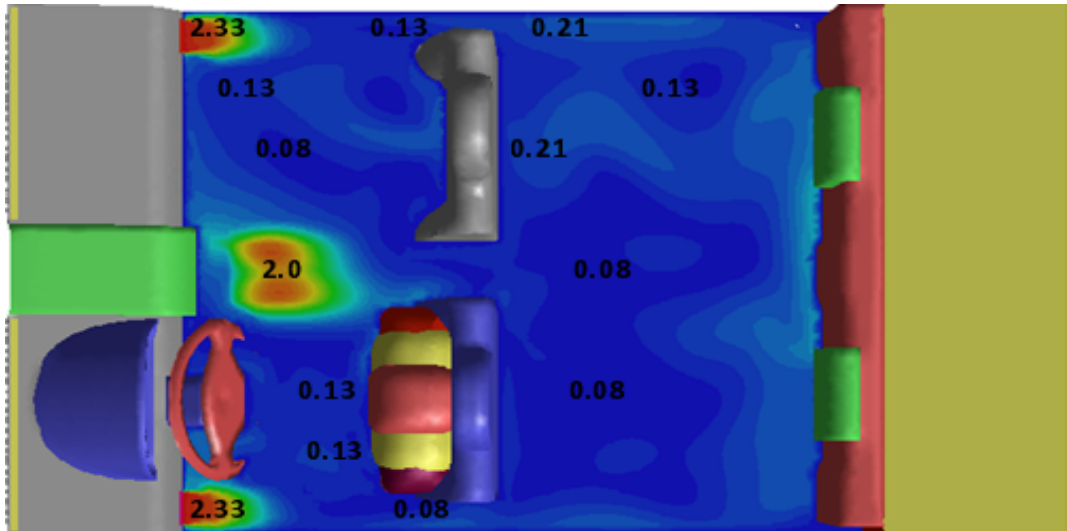
Şekil 4.96 Üç farklı durumda kabin içinde noktasal sıcaklık değerlerinin kararlaştırılması (a) P7 (b) P8

ekil 4.96'de sa ve sol ön koltuk ba (P8)) seviyelerinde hesaplanan sıcaklık de erleri dikkate alındı nda ise P(6) noktasına benzer olarak I.durumda elde edilen sıcaklık de erleri daha dü ük olup yakla ık 32°C'dir. II. ve III. durumlarda ise bu noktada 35°C olmak üzere daha yüksek sıcaklık de eri hesaplanmı tır.

Kabin menfez seviyesinde bulunan düzlemde her üç durum için geçici rejimde elde edilen hız da ılımları ise ekil 4.97–4.99'da yer almaktadır.



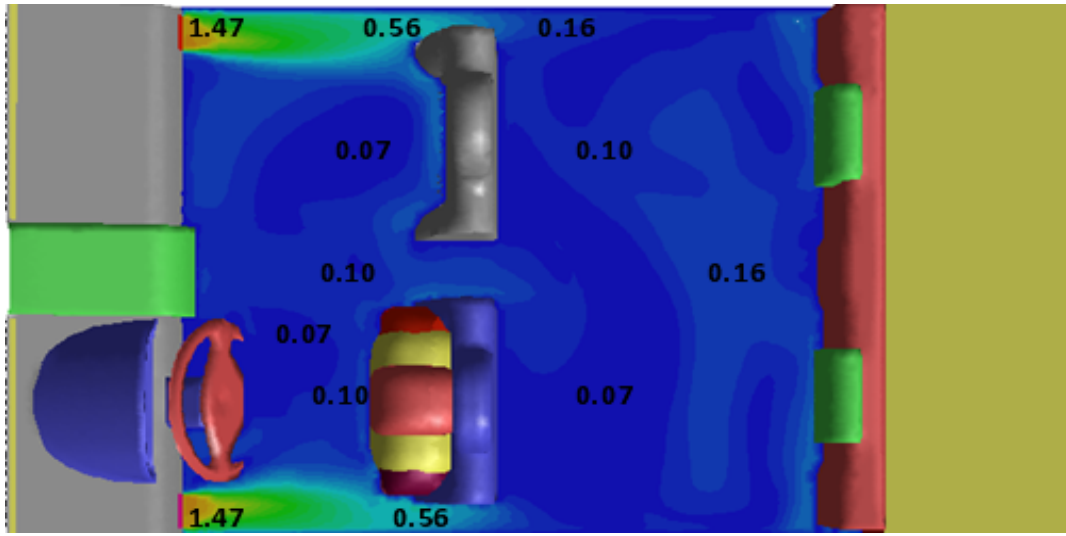
(a)



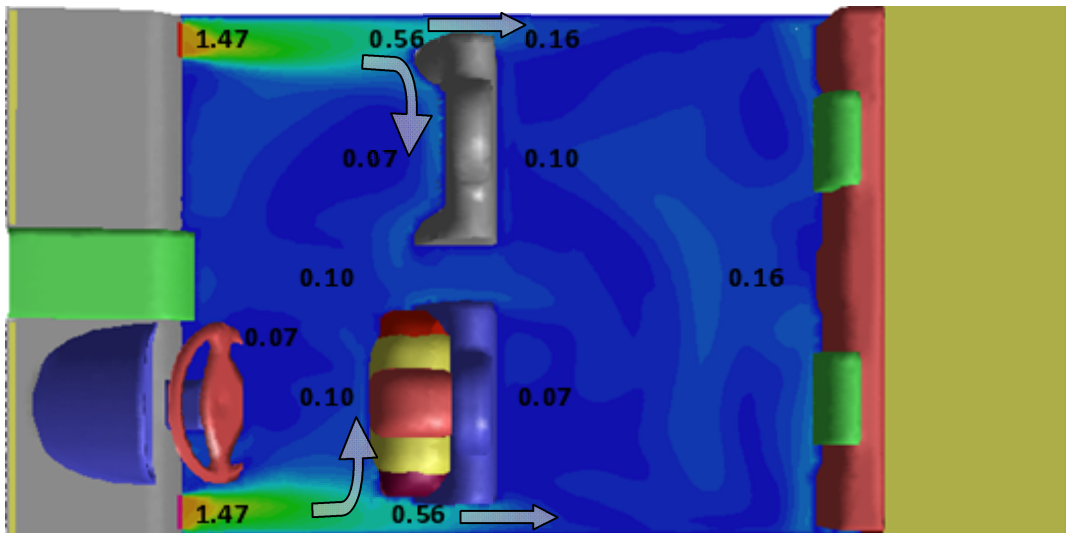
(b)

ekil 4.97 Kabin menfez düzleminde sıcaklık da ılımı (I. Durum), (a) 300s (b) 600s

I.durum için kabin menfez düzleminde elde edilen hız dağılımları dikkate alındığında 10 dakikalık soğutma periyodu sonunda elde edilen maksimum hız değerleri menfez yüzeylerine yakın bölgelerde ve yaklaşık 2.3 m/s olarak hesaplanmıştır. I. durumda kabin arka kısmında bu periyot sonunda elde edilen hız değerleri ise 0.08–0.21 m/s arasında değişmektedir. İnsan vücudu yüzeylerine yakın bölgelerde hız değerleri genel olarak 0.08–0.13 m/s arasında değişmekte, sırt omuz yüzeyine yakın bölgede ise daha yüksek hız değerleri elde edilmiştir.



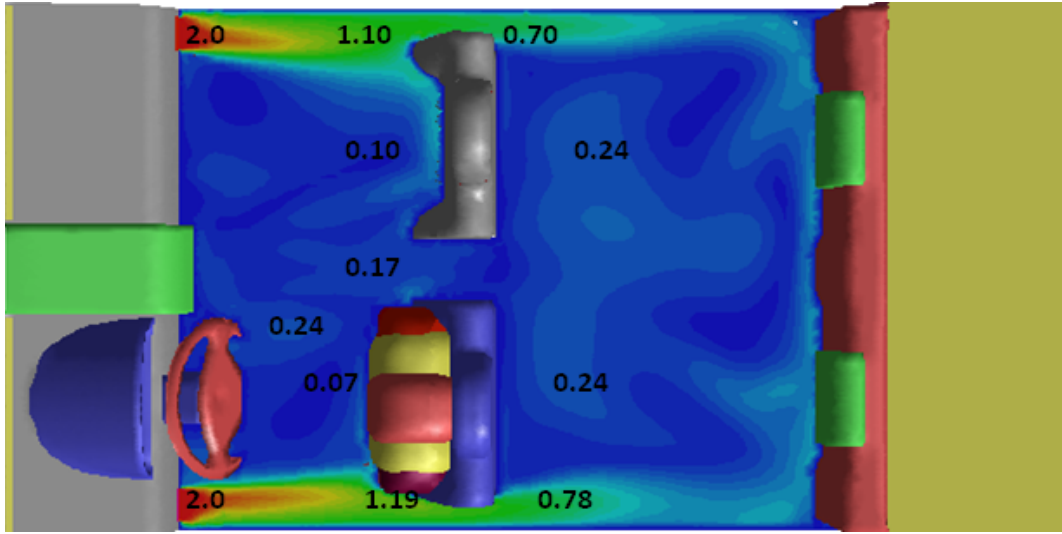
(a)



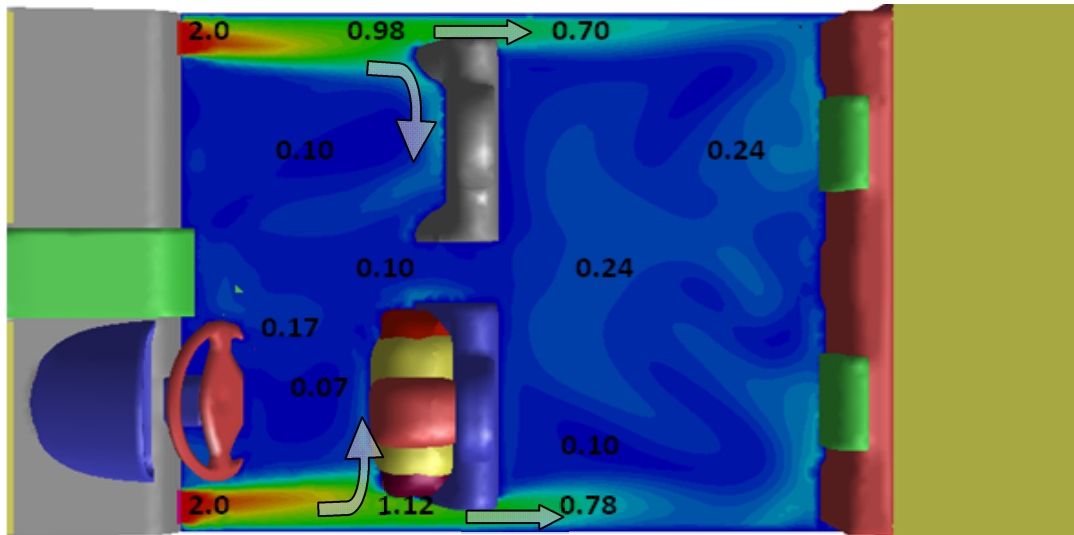
(b)

Şekil 4.98 Kabin menfez düzleminde sıcaklık dağılımı (II. Durum), (a) 300s (b) 600s

I.durum için ekil 4.98'de yer alan kabin menfez düzleminde elde edilen hız dağılımları dikkate alındığında 10 dakikalık soğutma periyodu sonunda, konsol menfezlerinde giriş hızı x doğrultusunda belirlendiğinden dolayı insan vücuduna ait sol omuz yüzeyinde I.duruma göre daha yüksek hız değerleri elde edilmiştir. Sol omuza yakın bölgede hız 0.56 m/s değerinde hesaplanmıştır. Vücut yüzeylerine yakın diğer bölgelerde ise menfez seviyesinde hız 0.1 m/s mertebesinde dir. Kabin arka kısmında ise $0.07\text{--}0.16 \text{ m/s}$ arasında değerlerin I.duruma göre daha düşük hız değerleri elde edilmiştir.



(a)



(b)

ekil 4.99 Kabin menfez düzleminde sıcaklık dağılımı (III. Durum), (a) 300s (b) 600s

III. durum için ekil 4.99'da yer alan kabin menfez düzleminde elde edilen hız da ılımları dikkate alındığında 10 dakikalık so utma periyodu sonunda ise II.duruma benzer bir da ılım elde edilmiştir. Ancak konsol menfezlerinde daha yüksek hava giri hızı alındığından sol omuza yakın bölgede hız 1.12 m/s de erinde hesaplanmıştır. Buna ba lı olarak arka kısımda 0.1–0.78 m/s arasında de i en ve I. ve II. durumlarda elde edilen de erlerinden daha yüksek hız de erleri elde edilmiştir.

I. durumda giri hızı vektörünün do rultusu konsol menfezinin bulundu u yüzeye dik konumda oldu undan dolayı insan vücudu yüzeylerine yakın bölgede yüksek hız de erleri elde edilmemiştir. Di er taraftan II. ve III. durumlarda, konsol menfezlerinde giri hızı vektörü x do rultusunda alındığından özellikle sol omuz yüzeyinde yüksek hız de erleri hesaplanmıştır. Ayrıca II. ve III. durumlarda menfez düzleminde hız da ılımı(ekil 4.98(b)–4.99(b)) incelendi inde ön kısımda sa ve sol menfezlerden sonra iki ayrı bölgeye ayrılmaktadır.

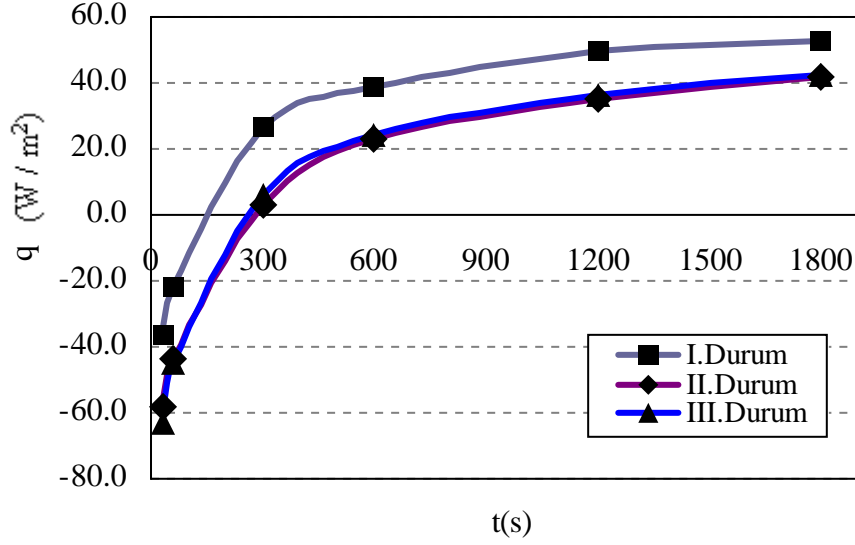
Üç farklı durum için insan vücut yüzeyleri için zamana ba lı olarak hesaplanan toplam ortalama ısı akısı de erleri ve iç ortam sıcaklıkları çizelge 4.47'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.47 Üç farklı durum için vücut için hesaplanan toplam ısı akısı ve iç ortam sıcaklıkları

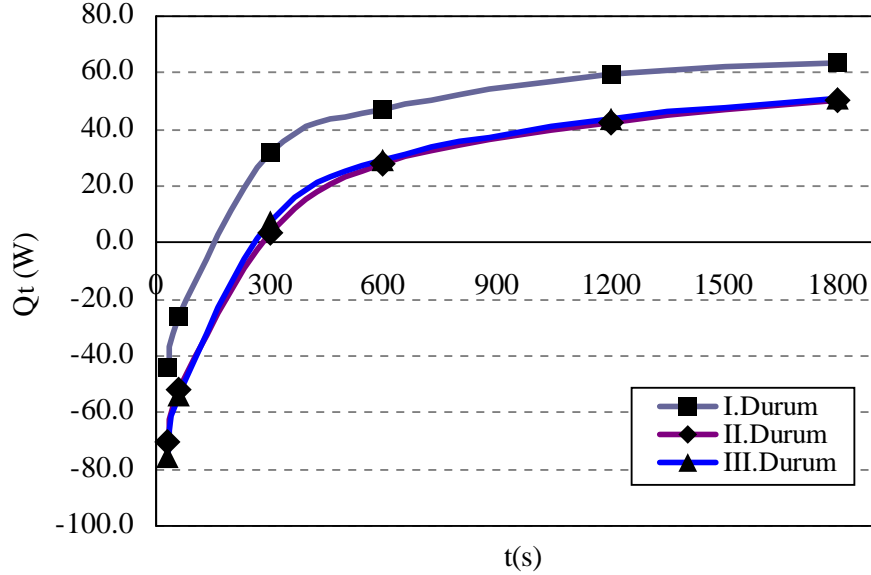
t(s)	I.Durum		II.Durum		III.Durum	
	q_t (W/m ²)	T_{ortam} (°C)	q_t (W/m ²)	T_{ortam} (°C)	q_t (W/m ²)	T_{ortam} (°C)
30	-36.5	37.1	-58.4	39.4	-63.0	39.2
60	-21.6	35.6	-43.4	37.8	-44.8	37.2
300	26.5	30.3	2.9	34.0	6.2	32.9
600	39.0	28.8	23.0	32.2	24.2	31.6
1200	49.8	27.8	35.3	31.0	36.4	30.3
1800	52.9	27.4	41.9	30.5	42.3	29.9

Çizelge 4.47'de yer alan ısı akıları de erlendirildi inde I.durumda 30 saniyelik so utma süreci sonunda di er durumlara göre vücut için hesaplanan toplam ısı akısı daha dü üktür. I.durumda hesaplanan toplam ısı akısı de eri yakla ık olarak -40 W/m² de erindeyken di er durumlarda bu de er yakla ık olarak -60 W/m² hesaplanmıştır. Her

üç durumda da ilk 5 dakikalık so utma sürecinde hesaplanan toplam ısı akıları negatif de erler almakta dolayısıyla toplam ısı transferinin yönü ortamdandır. erlerle birlikte ortam sıcaklı ının vücut yüzey sıcaklı ının altına dü mesi ile hesaplanan ısı akıları pozitif de erlere ulaşmaktadır. 30 dakikalık so utma periyodu sonunda ise sadece konsol menfezlerinin kullanıldığı I.durum için toplam ısı akısı 53 W/m^2 iken ızgara tipi menfezlerin konsol menfezleri ile birlikte kullanıldığı II. ve III. durum için bu de erler yaklaşık olarak 42 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.



ekil 4.100 Üç farklı durumda vücut için hesaplanan ortalama ısı akısı(W/m^2) de erleri



ekil 4.101 Üç farklı durumda vücut için hesaplanan ortalama toplam ısı(W) de erleri

ekil 4.100–4.101’de ise vücut ile çevresi arasında gerçekleşen ısı transferi sonucu hesaplanan toplam ısı akısının (W/m^2) ve toplam ısının (W) zamana bağlı olarak değişim grafikleri gösterilmiştir. İç ortam sıcaklığı ve diğer faktörlere bağlı olarak I. durumda diğer durumlara göre vücuttan olan ortalama toplam ısı akısı ve ısı değişimleri diğer durumlara göre daha önce pozitif değerlere ulaşmaktadır. 30 dakikalık soğutma sonucunda I. durumda ASHRAE (1997) standartlarında otomobil sürücüsü için belirtilen ($60–115W/m^2$) metabolik ısı üretimi aralığına yakın değerler elde edilmiştir.

ekil 4.100–4.101’de vücut için yer alan grafikler değerlendirildiğinde 30 dakikalık soğutma sürecinin ilk 20 dakikasında ısı karakteristیکler bakımından oldukça hızlı değişimler meydana geldiği görülmektedir.

Çizelge 4.48–4.56’da ise her üç durumda vücut için soğutma sürecinde hesaplanan lokal ve genel ısı karakteristیکler yer almaktadır. I. durumda 1 dakikalık soğutma süreci sonunda çizelge 4.48 (b)’de yer alan ısı karakteristیکler değerlendirildiğinde, yüksek sıcaklıklardan ve diğer faktörlerden dolayı vücuttan olan toplam ısı akısında minimum ile olan ısı transferinin etkisinin daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Artan zamanla birlikte minimum vücuttan olan toplam ısı transferinde giderek etkisini artırmaktadır. Belirtilen bu süreç sonunda iç ortam sıcaklığı $35.6^{\circ}C$ olarak elde edilmiştir. Vücut yüzeyleri için minimum sıcaklıkları ise $33.5–36.5^{\circ}C$ arasında değişim göstermektedir. En yüksek minimum sıcaklığı ise bu süreçte 36.5° olarak baş ve omuz yüzeylerinde hesaplanmıştır. Çizelge 4.49’da yer alan ısı karakteristیکler değerlendirildiğinde artan zamanla birlikte, minimum ile olan ısı transferi vücuttan olan toplam ısı transferinde giderek etkisini arttırmış ve vücut için 5 dakika sonunda minimum ile olan toplam ısı akısı $27.8W/m^2$ değerine ulaşmıştır. Bu süreç sonunda vücut için ortalama minimum sıcaklığı, $33.3^{\circ}C$, iç ortam sıcaklığı ise $30.3^{\circ}C$ olarak hesaplanmıştır. 5 dakikalık soğutma periyodu öncesinde vücut ile çevresi arasında gerçekleşen toplam ısı transferinin yönü iç ortamdaki vücuda doğru iken, bu periyot sonrasında vücuttan iç ortama doğru olmaktadır. Bu periyot süresince omuzlarda meydana gelen güçlü hava hareketleri nedeniyle bu yüzeylerde minimum ile olan ısı transferi, bu yüzeyde gerçekleşen toplam ısı transferinde daha etkin rol oynamaktadır. 20-30 dakikalık soğutma süreci sonunda vücut için elde edilen ısı karakteristیکler değerlendirildiğinde ise bu periyotların sonunda elde edilen ısı karakteristیکler birbirine oldukça yakın

de erler aldı ı ifade edilebilir. Dolayısıyla 30 dakikalık so utma periyodu sonrasında sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı ifade edilebilir.

Çizelge 4.48 I.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, (a) t= 30s, (b) t=60s

(a)					
Isı Transfer Karakteristikleri (t=30s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	-57.9	-18.5	-76.4	36.5	37.1
Boyun	-10.5	-11.0	-21.5	35.4	
Gövde	-21.5	-12.3	-33.8	34.9	
Kasık	-2.9	-3.1	-6.0	33.5	
Sa ayak	-23.6	-17.0	-40.6	35.6	
Sa bacak	-12.0	-10.8	-22.8	34.7	
Sa baldır	-15.2	-17.4	-32.6	35.7	
Sa el	-19.1	-7.1	-26.2	34.8	
Sa kol	-26.4	-13.3	-39.7	35.1	
Sa omuz	-42.5	-21.6	-64.1	36.3	
Sol ayak	-23.3	-18.0	-41.3	35.8	
Sol bacak	-10.0	-11.5	-21.5	34.8	
Sol baldır	-14.2	-18.3	-32.5	35.8	
Sol el	-12.7	-12.5	-25.2	35.6	
Sol kol	-21.0	-14.3	-35.3	35.2	
Sol omuz	-42.7	-23.0	-65.7	36.5	
Ort. De er	-22.3	-14.2	-36.5	35.3	
(b)					
Isı Transfer Karakteristikleri (t=60s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	-36.7	-14.9	-51.6	36.0	35.6
Boyun	10.2	-5.2	5.0	34.5	
Gövde	-2.8	-10.5	-13.3	34.6	
Kasık	-0.7	-2.7	-3.3	33.4	
Sa ayak	-26.0	-15.9	-41.9	35.5	
Sa bacak	-5.9	-8.3	-14.2	34.3	
Sa baldır	-14.4	-15.4	-29.8	35.4	
Sa el	-5.0	-3.4	-8.4	34.2	
Sa kol	-0.5	-10.0	-10.5	34.6	
Sa omuz	19.9	-16.7	3.2	35.6	
Sol ayak	-24.7	-17.0	-41.8	35.6	
Sol bacak	-5.6	-10.2	-15.8	34.6	
Sol baldır	-14.6	-17.1	-31.7	35.7	
Sol el	-15.1	-9.9	-25.1	35.2	
Sol kol	-9.3	-12.3	-21.6	34.9	
Sol omuz	13.6	-19.4	-5.8	36.0	
Ort. De er	-9.6	-12.0	-21.6	35.0	

Çizelge 4.49 I.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,

(a) t= 300s, (b) t=600s

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=300s)					
Manken Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	-0.2	-2.1	-2.2	34.0	30.3
Boyun	59.4	12.5	72.0	31.7	
Gövde	44.5	-2.4	42.1	33.4	
Kasık	1.6	-1.0	0.7	33.2	
Sa ayak	-0.5	-4.3	-4.8	33.7	
Sa bacak	18.7	2.5	21.2	32.6	
Sa baldır	17.0	-1.6	15.4	33.3	
Sa el	37.8	12.4	50.2	31.8	
Sa kol	55.7	3.1	58.8	32.5	
Sa omuz	125.2	-1.3	123.9	33.2	
Sol ayak	0.5	-6.3	-5.8	34.0	
Sol bacak	9.4	-2.9	6.5	33.5	
Sol baldır	13.8	-5.7	8.1	33.9	
Sol el	17.4	1.6	19.0	33.5	
Sol kol	23.0	-3.3	19.7	33.5	
Sol omuz	169.6	-3.3	166.3	33.5	
Ort. De er	27.8	-1.3	26.5	33.3	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=600s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	17.8	3.8	21.6	33.1	28.8
Boyun	68.0	17.7	85.7	30.9	
Gövde	47.5	1.0	48.5	32.8	
Kasık	1.0	-0.2	0.8	33.0	
Sa ayak	12.9	-0.3	12.5	33.1	
Sa bacak	24.7	6.4	31.1	32.0	
Sa baldır	26.4	2.8	29.1	32.6	
Sa el	45.9	17.8	63.7	30.9	
Sa kol	65.5	7.6	73.1	31.8	
Sa omuz	137.8	4.8	142.6	32.2	
Sol ayak	10.3	-2.5	7.8	33.4	
Sol bacak	14.3	0.1	14.5	33.0	
Sol baldır	23.3	-1.7	21.6	33.3	
Sol el	26.5	6.0	32.5	32.8	
Sol kol	32.5	0.3	32.9	32.9	
Sol omuz	198.9	4.1	203.0	32.4	
Ort. De er	36.2	2.8	39.0	32.7	

Çizelge 4.50 I.durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) t= 1200s, (b) t=1800s

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=1200s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	40.5	9.2	49.7	32.3	27.8
Boyun	78.1	21.4	99.5	30.3	
Gövde	48.1	4.2	52.3	32.3	
Kasık	1.1	0.7	1.7	32.9	
Sa ayak	18.3	3.1	21.4	32.5	
Sa bacak	35.0	10.0	45.0	31.4	
Sa baldır	34.0	6.4	40.4	32.0	
Sa el	49.1	22.9	72.0	30.1	
Sa kol	71.7	11.6	83.3	31.2	
Sa omuz	141.6	10.6	152.2	31.3	
Sol ayak	23.8	1.0	24.8	32.8	
Sol bacak	20.5	2.8	23.3	32.6	
Sol baldır	29.1	1.6	30.8	32.7	
Sol el	34.3	9.6	43.9	32.2	
Sol kol	35.5	3.3	38.9	32.5	
Sol omuz	210.0	9.4	219.5	31.5	
Ort. De er	43.4	6.4	49.8	32.1	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=1800s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	43.6	11.3	54.9	31.9	27.4
Boyun	76.8	22.7	99.5	30.1	
Gövde	47.1	5.5	52.6	32.1	
Kasık	3.7	1.0	4.8	32.8	
Sa ayak	29.1	5.0	34.2	32.2	
Sa bacak	36.6	11.2	47.8	31.2	
Sa baldır	37.3	8.4	45.8	31.7	
Sa el	51.0	24.8	75.8	29.8	
Sa kol	69.2	13.1	82.3	30.9	
Sa omuz	135.4	12.5	148.0	31.0	
Sol ayak	23.6	2.9	26.5	32.5	
Sol bacak	23.0	4.3	27.3	32.3	
Sol baldır	31.3	3.6	35.0	32.4	
Sol el	37.2	11.7	48.9	31.9	
Sol kol	39.5	5.0	44.5	32.2	
Sol omuz	215.1	11.2	226.3	31.2	
Ort. De er	44.9	8.0	52.9	31.8	

II. ve III. durumlarda 30 dakikalık so utma süresince vücut yüzeylerinde elde edilen ısı karakteristlikler çizelge 4.51-56'da yer almaktadır. Her iki durumda elde

edilen sonuçlar benzer özellikler göstermektedir. 1 dakikalık so utma süreci sonunda ortam sıcaklığı II. durumda 37.8°C hesaplanmıştır III durumda ise bu değer 37.2°C olarak elde edilmiştir. 1 dakikalık so utma sonunda, her iki durumda da vücut ile çevresi arasında gerçekleşen toplam ısı transferinde ta nım ve ı nım aynı oranda etki etmektedir. II. durumda vücut için ta nım ile olan ortalama ısı akısı -22.5 W/m^2 olarak hesaplanırken ı nım ile olan ortalama ısı akısı ise -20.9 W/m^2 'dir. III. durumda bu değerler sırasıyla -23.7 W/m^2 ve -21.1 W/m^2 'dir. Bu süreçte en yüksek ı nım sıcaklığı ba ve sol omuz yüzeylerinde her iki durum için yaklaşık olarak 39°C olarak hesaplanmıştır. 5 dakikalık so utma sonunda ise ortam sıcaklığı II. ve III. durumlar için sırasıyla 34°C ve 33°C hesaplanmıştır. Bu süreç sonunda elde edilen en yüksek toplam ısı akısı ise ba bölgesinde II. durum için yaklaşık olarak -119 W/m^2 , III. durum için ise -93 W/m^2 değerine ulaşmaktadır. I.durumun aksine II. ve III. durumlarda ta nım ile olan ısı akısının en yüksek değeri omuzlar yerine kol ve el yüzeylerinde meydana gelmektedir. II. ve III durumların her ikisinde de 5 dakika sonunda vücutla çevresi arasında gerçekleşen toplam ısı akısı değeri negatif değerlerden pozitif değerlere ulaşmış dolayısıyla bu süreçten itibaren ısı transferinin yönü bazı lokal bölgeler hariç insan vücudundan ortama doğru olduğu ifade edilebilir. 10 dakikalık so utma periyodu sonunda ise II. ve III. durumlarda ortam sıcaklığı yaklaşık olarak 32°C ye ulaşmıştır. Bu periyot sonunda vücut yüzeylerine ait ı nım ve ta nım ısı akıları değerlendirildiğinde, ta nım ile ısı transferinin ı nım ile olan ısı transferine göre daha etkili olduğu söylenebilir. 20 dakikalık so utma süreci sonunda ise el ve kol yüzeyleri gibi güçlü hava hareketlerinin olduğu yüzeylerde ta nım ile ısı akısı değerleri her iki durumda da vücudun diğer bölgelerine göre daha yüksek değerler almaktadır. Örneğin sol el yüzeyi için II. durumda bu periyot sonunda ta nım ile olan ısı akısı 76 W/m^2 , III durumda ise yaklaşık olarak 100 W/m^2 değerindedir. Her iki durumda da bu periyot sonunda ba ve sol omuz yüzeylerinde maksimum ı nım sıcaklığı yaklaşık 34.1°C hesaplanmıştır. Azalan iç ortam sıcaklığı ve yüzey sıcaklıklarına bağlı olarak bu değer zamanla azalmaktadır. 30 dakikalık periyot sonunda ise iç ortam sıcaklığı 30°C hesaplanmıştır ve II. ve III. durumlar için toplam ısı akısı değerleri ortalama 42 W/m^2 değerinde elde edilmiştir. 30 dakikalık so utma sonunda her iki durum için elde edilen değerler dikkate alındığında sürekli rejim koşullarına giderek yaklaşıldığı ifade edilebilir.

Çizelge 4.51 II. durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) t= 30s, (b) t=60s

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=30s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	-83.6	-35.5	-119.1	39.1	39.4
Boyun	-19.5	-22.1	-41.7	37.1	
Gövde	-26.6	-21.7	-48.2	36.3	
Kasık	-6.7	-5.3	-12.0	33.8	
Sa ayak	-40.8	-27.5	-68.3	37.2	
Sa bacak	-25.2	-18.3	-43.4	35.8	
Sa baldır	-21.7	-26.4	-48.1	37.1	
Sa el	-49.2	-19.2	-68.5	36.7	
Sa kol	-34.3	-22.0	-56.3	36.4	
Sa omuz	-40.9	-37.5	-78.4	38.7	
Sol ayak	-37.3	-29.3	-66.6	37.5	
Sol bacak	-25.1	-19.0	-44.1	35.9	
Sol baldır	-21.0	-29.1	-50.1	37.5	
Sol el	-43.5	-24.4	-67.9	37.4	
Sol kol	-38.9	-23.4	-62.2	36.6	
Sol omuz	-37.0	-39.9	-76.9	39.1	
Ort. De er	-34.2	-24.3	-58.4	36.8	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=60s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	-119.1	-32.4	-151.5	38.6	37.8
Boyun	-14.5	-19.8	-34.4	36.7	
Gövde	-9.5	-18.7	-28.2	35.9	
Kasık	-2.9	-4.6	-7.4	33.7	
Sa ayak	-35.4	-24.6	-60.0	36.8	
Sa bacak	-12.2	-13.4	-25.6	35.1	
Sa baldır	-15.0	-23.9	-39.0	36.7	
Sa el	-14.2	-13.2	-27.4	35.7	
Sa kol	-0.7	-16.4	-17.1	35.5	
Sa omuz	-21.3	-33.5	-54.8	38.1	
Sol ayak	-39.5	-26.8	-66.2	37.1	
Sol bacak	-10.6	-16.3	-26.9	35.5	
Sol baldır	-18.4	-27.3	-45.8	37.2	
Sol el	-18.2	-19.5	-37.7	36.7	
Sol kol	-4.9	-19.9	-24.7	36.1	
Sol omuz	-16.9	-37.5	-54.3	38.7	
Ort. De er	-22.5	-20.9	-43.4	36.3	

Çizelge 4.52 II. durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) $t=300s$, (b) $t=600s$

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=300s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	q_t (W/m^2)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	-77.0	-17.8	-94.8	36.4	34
Boyun	-7.7	-10.7	-18.4	35.4	
Gövde	18.7	-5.8	12.9	33.9	
Kasık	4.0	-1.2	2.8	33.2	
Sa ayak	-7.4	-10.6	-17.9	34.6	
Sa bacak	17.7	0.3	18.0	33.0	
Sa baldır	9.1	-7.6	1.5	34.2	
Sa el	47.3	6.2	53.5	32.7	
Sa kol	41.0	-0.6	40.5	33.1	
Sa omuz	-7.7	-16.0	-23.7	35.5	
Sol ayak	-11.8	-13.4	-25.2	35.1	
Sol bacak	8.0	-5.7	2.3	33.9	
Sol baldır	6.7	-12.8	-6.1	35.0	
Sol el	51.0	-1.6	49.4	33.9	
Sol kol	57.3	-6.9	50.4	34.1	
Sol omuz	-7.5	-23.9	-31.4	36.7	
Ort. De er	10.1	-7.1	2.9	34.2	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=600s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	q_t (W/m^2)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	-51.3	-8.9	-60.3	35.1	32.2
Boyun	6.5	-3.2	3.4	34.2	
Gövde	33.1	0.8	33.8	32.9	
Kasık	4.8	0.5	5.3	32.9	
Sa ayak	-1.8	-5.3	-7.0	33.8	
Sa bacak	31.2	6.3	37.5	32.0	
Sa baldır	14.9	-1.9	13.1	33.3	
Sa el	62.1	14.6	76.6	31.4	
Sa kol	65.5	6.3	71.8	32.0	
Sa omuz	6.9	-6.4	0.5	34.0	
Sol ayak	-1.1	-8.0	-9.2	34.2	
Sol bacak	12.5	-1.3	11.2	33.2	
Sol baldır	15.1	-7.2	7.9	34.1	
Sol el	60.9	5.8	66.6	32.8	
Sol kol	71.1	-1.3	69.9	33.2	
Sol omuz	15.1	-14.3	0.8	35.2	
Ort. De er	23.8	-0.8	23.0	33.2	

Çizelge 4.53 II. durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) $t=1200s$, (b) $t=1800s$

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1200s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	q_t (W/m^2)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	-29.3	-2.0	-31.2	34.0	31
Boyun	13.3	2.3	15.5	33.3	
Gövde	39.5	5.0	44.6	32.2	
Kasık	3.7	1.3	5.0	32.8	
Sa ayak	5.1	-0.6	4.5	33.1	
Sa bacak	34.0	10.1	44.1	31.4	
Sa baldır	19.3	2.9	22.1	32.5	
Sa el	69.5	20.5	90.0	30.5	
Sa kol	73.0	11.0	84.0	31.3	
Sa omuz	11.2	0.5	11.7	32.9	
Sol ayak	6.6	-3.1	3.6	33.5	
Sol bacak	15.8	2.3	18.2	32.6	
Sol baldır	20.7	-2.2	18.5	33.3	
Sol el	75.7	11.9	87.7	31.8	
Sol kol	81.4	3.6	85.0	32.4	
Sol omuz	23.2	-6.9	16.3	34.1	
Ort. De er	31.4	3.9	35.3	32.5	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1800s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	q_t (W/m^2)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	-18.5	0.8	-17.7	33.6	30.5
Boyun	14.3	3.9	18.2	33.1	
Gövde	41.9	6.6	48.5	32.0	
Kasık	4.8	1.7	6.6	32.7	
Sa ayak	13.5	2.8	16.3	32.6	
Sa bacak	38.4	11.7	50.1	31.1	
Sa baldır	25.0	6.0	31.1	32.1	
Sa el	76.9	23.0	99.9	30.1	
Sa kol	77.0	12.8	89.8	31.0	
Sa omuz	13.2	3.4	16.6	32.5	
Sol ayak	14.3	0.3	14.6	33.0	
Sol bacak	18.5	4.1	22.6	32.4	
Sol baldır	25.4	1.3	26.7	32.8	
Sol el	77.9	14.8	92.7	31.4	
Sol kol	83.8	5.9	89.7	32.1	
Sol omuz	28.0	-4.3	23.6	33.7	
Ort. De er	35.8	6.2	41.9	32.1	

Çizelge 4.54 III. durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) t= 30s, (b) t=60s

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=30s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	-112.1	-35.1	-147.2	39.0	39.2
Boyun	-20.9	-22.1	-43.1	37.1	
Gövde	-29.7	-21.7	-51.4	36.3	
Kasık	-7.2	-5.3	-12.5	33.8	
Sa ayak	-40.2	-27.4	-67.6	37.2	
Sa bacak	-24.6	-18.1	-42.7	35.8	
Sa baldır	-21.6	-26.6	-48.3	37.1	
Sa el	-51.7	-19.0	-70.7	36.6	
Sa kol	-39.5	-22.0	-61.5	36.4	
Sa omuz	-46.9	-37.5	-84.4	38.7	
Sol ayak	-34.6	-29.2	-63.8	37.5	
Sol bacak	-25.6	-19.2	-44.8	36.0	
Sol baldır	-19.8	-29.2	-49.0	37.5	
Sol el	-48.1	-24.6	-72.7	37.5	
Sol kol	-45.4	-23.5	-68.8	36.6	
Sol omuz	-40.7	-39.6	-80.3	39.0	
Ort. De er	-38.8	-24.3	-63.0	36.8	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri (t=60s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	q_t (W/m ²)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Ba	-113.5	-31.8	-145.3	38.5	37.2
Boyun	-18.4	-19.6	-38.0	36.7	
Gövde	-10.4	-19.0	-29.4	35.9	
Kasık	-2.8	-4.6	-7.4	33.7	
Sa ayak	-40.1	-26.0	-66.1	37.0	
Sa bacak	-10.9	-13.9	-24.9	35.2	
Sa baldır	-18.9	-24.9	-43.7	36.8	
Sa el	-13.3	-13.2	-26.6	35.7	
Sa kol	-1.7	-16.6	-18.3	35.6	
Sa omuz	-30.7	-33.0	-63.8	38.1	
Sol ayak	-41.2	-27.8	-68.9	37.3	
Sol bacak	-12.6	-16.6	-29.1	35.6	
Sol baldır	-23.7	-27.7	-51.4	37.3	
Sol el	-22.1	-19.9	-42.0	36.8	
Sol kol	-7.5	-19.6	-27.1	36.0	
Sol omuz	-16.1	-36.7	-52.8	38.6	
Ort. De er	-23.7	-21.1	-44.8	36.3	

Çizelge 4.55 III. durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) $t=300s$, (b) $t=600s$

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=300s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	q_t (W/m^2)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	-74.9	-18.2	-93.0	36.5	32.9
Boyun	7.4	-8.4	-1.0	35.0	
Gövde	26.3	-7.9	18.5	34.2	
Kasık	0.1	-1.7	-1.7	33.3	
Sa ayak	4.4	-9.0	-4.6	34.4	
Sa bacak	10.7	-0.5	10.2	33.1	
Sa baldır	16.9	-6.2	10.7	34.0	
Sa el	65.7	6.6	72.3	32.7	
Sa kol	57.1	-0.6	56.5	33.1	
Sa omuz	23.6	-16.6	7.0	35.6	
Sol ayak	-8.0	-12.0	-20.1	34.9	
Sol bacak	6.1	-7.7	-1.6	34.2	
Sol baldır	9.2	-11.5	-2.2	34.8	
Sol el	21.3	-3.0	18.3	34.2	
Sol kol	54.3	-8.1	46.2	34.3	
Sol omuz	14.9	-22.4	-7.5	36.5	
Ort. De er	13.9	-7.7	6.2	34.3	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=600s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	q_t (W/m^2)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	-45.3	-10.0	-55.3	35.2	31.6
Boyun	10.9	-3.3	7.6	34.2	
Gövde	37.5	-2.3	35.1	33.4	
Kasık	0.6	-0.5	0.1	33.1	
Sa ayak	8.6	-4.8	3.8	33.8	
Sa bacak	20.6	4.4	25.0	32.3	
Sa baldır	21.8	-1.7	20.1	33.3	
Sa el	94.7	13.2	107.9	31.6	
Sa kol	78.6	5.0	83.6	32.2	
Sa omuz	16.4	-8.5	8.0	34.3	
Sol ayak	0.8	-7.9	-7.1	34.2	
Sol bacak	12.2	-3.6	8.6	33.6	
Sol baldır	18.1	-6.9	11.2	34.1	
Sol el	34.4	3.4	37.8	33.2	
Sol kol	70.3	-3.0	67.4	33.5	
Sol omuz	26.3	-14.2	12.2	35.2	
Ort. De er	26.5	-2.3	24.2	33.5	

Çizelge 4.56 III. durum için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri,
(a) $t=1200s$, (b) $t=1800s$

(a)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1200s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	q_t (W/m^2)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	-21.9	-2.6	-24.6	34.1	30.3
Boyun	12.9	0.6	13.5	33.6	
Gövde	42.2	2.2	44.4	32.7	
Kasık	1.9	0.7	2.6	32.9	
Sa ayak	17.8	0.1	17.9	33.0	
Sa bacak	21.9	8.2	30.1	31.7	
Sa baldır	24.8	3.2	28.0	32.5	
Sa el	99.5	19.4	118.9	30.6	
Sa kol	84.6	9.8	94.3	31.5	
Sa omuz	43.6	-0.4	43.2	33.1	
Sol ayak	11.7	-2.5	9.2	33.4	
Sol bacak	16.6	0.2	16.8	33.0	
Sol baldır	22.0	-1.5	20.5	33.2	
Sol el	39.3	9.9	49.3	32.1	
Sol kol	82.1	1.9	84.0	32.7	
Sol omuz	34.5	-6.9	27.5	34.1	
Ort. De er	33.8	2.6	36.4	32.7	

(b)

Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1800s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	q_t (W/m^2)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Ba	-8.2	0.7	-7.5	33.6	29.9
Boyun	16.6	3.1	19.7	33.2	
Gövde	42.2	4.0	46.2	32.4	
Kasık	2.0	1.0	3.0	32.8	
Sa ayak	27.0	3.5	30.5	32.5	
Sa bacak	25.2	10.0	35.2	31.4	
Sa baldır	31.2	6.5	37.7	32.0	
Sa el	99.3	22.1	121.4	30.2	
Sa kol	85.6	11.9	97.5	31.1	
Sa omuz	43.8	2.7	46.5	32.6	
Sol ayak	19.4	0.9	20.3	32.9	
Sol bacak	16.5	2.1	18.5	32.7	
Sol baldır	27.1	1.9	29.0	32.7	
Sol el	47.5	12.8	60.4	31.7	
Sol kol	83.2	4.3	87.5	32.3	
Sol omuz	38.2	-4.1	34.1	33.6	
Ort. De er	37.3	5.0	42.3	32.3	

Üç farklı durum için hesaplamalar sonucunda kabine ait diğer yüzeylerde elde edilen ortalama sıcaklık değerleri çizelge 4.57–4.59’da yer almaktadır.

Çizelge 4.57 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi(I.Durum)

Kabin Yüzeyleri	T(°C)						
	t=60s	t=120s	t=240s	t=360s	t=600s	t=1200s	t=1800s
Ön cam	37.7	37.6	37.2	36.7	35.9	34.8	34.4
Arka cam	37.5	36.5	34.7	33.4	31.9	30.5	30.1
Sağ ön cam	37.6	37.3	36.5	35.9	35.0	33.8	33.5
Sol ön cam	37.5	37.1	36.4	35.8	35.0	34.0	33.7
Sağ arka cam	37.5	36.8	35.2	34.1	32.6	31.2	30.8
Sol arka cam	37.4	36.5	35.1	34.0	32.7	31.4	31.1
Sürücü koltuğu	35.3	33.0	31.2	30.3	29.4	28.4	28.0
Yolcu koltuğu	35.6	32.4	30.3	29.4	28.4	27.3	26.9
Arka koltuk	35.7	32.8	30.5	29.4	28.5	27.5	27.1
Ön konsol	36.8	35.5	34.2	33.7	32.9	32.0	31.7
Orta konsol	36.3	34.2	32.6	32.0	31.1	30.1	29.7
Direksiyon	40.3	38.1	36.4	36.1	34.8	34.3	34.3
Kadran	37.4	36.4	35.5	35.1	34.3	33.4	33.0
Taban	36.8	35.3	34.2	33.6	32.9	31.9	31.4
Tavan	36.5	35.3	34.1	33.4	32.5	31.3	30.8
Ortam sıcaklığı	35.6	32.8	30.7	29.8	28.8	27.8	27.4

I.durum için çizelge 4.57’de yer alan kabin yüzeyleri için hesaplanan sıcaklık değerleri dikkate alındığında, 1 dakikalık soğutma süreci sonunda elde edilen yüksek sıcaklık değerleri direksiyon kadran ve cam yüzeylerinde hesaplanmıştır. Bunun temel nedeni olarak 41°C gibi yüksek sıcaklığa sahip dış ortam ile sürekli temasta olan yüzeylerin cam yüzeyler olması ve bu yüzeylerde elde edilen yüksek minimum sıcaklıklardır. Bu süreçte elde edilen düşük sıcaklık değerleri ise koltuk yüzeylerinde hesaplanmıştır. Artan zamanla birlikte soğutma giderek etkisini göstermiş ve 10 dakikalık soğutma süreci sonunda koltuk yüzeylerinde yaklaşık 29°C sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Yolcu koltuğunda, konsol orta menfezleri ve sağ menfeze yakınlığı ve akı karakteristیکleri nedeniyle 10 dakikalık soğutma sonunda hesaplanan sıcaklık değeri 28.4°C’dir. Bu periyot sonunda hesaplanan en yüksek sıcaklık değeri ön cam yüzeyine ait olup yaklaşık 36°C’dir. Ortam sıcaklığının yaklaşık 28°C olduğu 20 dakikalık soğutma periyodu ve 28°C olduğu 30 dakikalık soğutma periyotları sonunda aynı yüzeyler için

elde edilen sayısal değerler kararlaştırıldı. İndirgen sıcaklık farkları maksimum 0.5°C 'dir. Dolayısıyla elde edilen bu verilerden de yola çıkarak sürekli rejim koşullarına 30 dakikalık soğutma periyodu sonrasında yaklaşımları ifade edilebilir.

Çizelge 4.58 Kabin yüzeylerinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi(II.Durum)

Kabin Yüzeyleri	T($^{\circ}\text{C}$)						
	t=60s	t=120s	t=240s	t=360s	t=600s	t=1200s	t=1800s
Ön cam	39.7	38.0	35.1	32.6	30.7	29.2	28.8
Arka cam	40.8	40.8	40.6	40.4	40.0	39.3	38.9
Sağ ön cam	40.7	40.3	39.4	38.3	37.1	35.6	35.1
Sol ön cam	40.7	40.5	40.0	39.4	38.6	37.5	37.0
Sağ arka cam	40.6	40.2	39.1	37.9	36.6	35.1	34.6
Sol arka cam	40.8	40.5	40.1	39.5	38.8	37.7	37.2
Sürücü koltuğu	37.1	35.1	33.8	32.6	31.4	30.4	29.8
Yolcu koltuğu	37.3	35.3	33.6	32.1	30.8	29.5	28.9
Arka koltuk	36.6	34.4	33.1	31.6	30.4	29.2	28.7
Ön konsol	36.9	34.4	32.3	31.0	29.8	28.6	28.2
Orta konsol	37.4	35.1	33.2	32.3	31.2	29.9	29.5
Direksiyon	41.5	39.6	37.9	37.5	36.2	35.0	34.8
Kadran	37.5	34.8	31.4	29.0	27.3	26.1	25.7
Taban	39.3	37.9	36.9	35.8	34.9	33.4	32.7
Tavan	40.2	40.1	39.6	39.1	38.5	37.5	37.0
Ortam sıcaklığı	37.8	36.2	34.9	33.5	32.2	31.0	30.5

Soğutma sürecinde konsol menfezlerinin yanı sıra ızgara tipi menfezlerinde kullanıldı. II.durum için çizelge 4.58'de kabin yüzeyleri için hesaplanan sıcaklık değerleri dikkate alındığında, 1 dakikalık soğutma periyodu sonunda I.durumda en düşük sıcaklık değerleri sürücü koltuğunda elde edilirken II.durumda ise en düşük sıcaklık ön konsol yüzeyinde elde edilmiştir. Bunun temel nedeni olarak ızgara tipi menfezlerin konsol yüzeyinde yarattığı soğutma etkisi gösterilebilir. II. durumda bahsedilen soğutma periyodu sonunda taban ile tavan arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 1°C iken I.durumda bu değer 0.3°C olarak hesaplanmıştır. Artan zamanla birlikte II. durumda taban ile tavan arasındaki sıcaklık farkı giderek artmakta olup 30 dakikalık soğutma sonunda bu değer 4.3°C seviyesine ulaşmaktadır. Bu değer 30 dakikalık soğutma sonunda I.durumda yaklaşık 1°C olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, sadece konsol menfezlerinin kullanıldığı I.durumda menfez giriş hızı dolusu havalının konsol yüzeyine dik dolmasıyla oluşmaktadır.

dolayı tavan yüzeyinin akı karakteristiklerinden do rudan etkilenmesi ile açıklanabilir. Ancak II. durumda konsol menfezleri giri hızı do rultuları yatay(x-do rultusu) konumda oldu undan dolayı tavan II. durumda hava akı ı karakteristiklerinden do rudan etkilenmemektedir.

III. durumda çizelge 4.59'da kabin yüzeyleri için hesaplanan sıcaklık de erleri göz önünde bulunduruldu unda, II. durumdakine benzer sonuçlar elde edildi i ifade edilebilir.

Çizelge 4.59 Kabin yüzeylerinde sıcaklı ın zamana ba lı de i imi(III. Durum)

Kabin Yüzeyleri	T(°C)						
	t=60s	t=120s	t=240s	t=360s	t=600s	t=1200s	t=1800s
Ön cam	40.1	38.9	36.7	35.2	33.3	31.7	31.2
Arka cam	40.7	40.3	39.6	39.1	38.4	37.4	36.8
Sa ön cam	40.7	40.2	39.4	38.7	37.7	36.2	35.7
Sol ön cam	40.6	39.9	39.0	38.4	37.6	36.5	35.9
Sa arka cam	40.6	40.1	39.1	38.3	37.1	35.6	35.1
Sol arka cam	40.6	40.0	39.1	38.5	37.7	36.5	36.0
Sürücü koltu u	36.6	34.2	32.9	32.1	31.2	30.2	29.6
Yolcu koltu u	37.0	33.8	32.1	31.3	30.3	28.9	28.4
Arka koltuk	35.9	32.7	31.0	30.5	29.5	28.4	27.8
Ön konsol	37.8	35.2	32.9	32.3	31.3	30.0	29.5
Orta konsol	37.9	35.0	33.0	32.5	31.7	30.4	29.7
Direksiyon	41.4	39.6	37.7	37.4	36.6	35.3	35.2
Kadran	38.7	36.5	34.0	32.6	30.9	29.4	29.1
Taban	39.2	37.6	36.5	35.8	34.9	33.5	32.7
Tavan	39.6	39.2	38.6	38.2	37.4	36.2	35.6
Ortam sıcaklı ı	37.2	34.7	33.3	32.6	31.6	30.3	29.9

4.3.2 Güne 1 mm ile birlikte gerçekleştirilen kabin simülasyonları

Güne 1 mm ile gerçekleştirilen analizler geçici rejimde paralel çözüm metodu ile Fluent yazılımında yer alan “solar load” modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu modelde güneşin konumu, tarih, gün ve saate bağlı olarak belirlenip ve buna bağlı olarak kabin yüzeylerine güne 1 mm nedeniyle etkiyen ısı akıları hesaplanarak enerji denkleminde kaynak terim olarak ilave edilmektedir. Fluent yazılımında yüzeylere güne 1 mm nedeniyle etkiyen ısı akıları “solar ray tracing” algoritması olarak adlandırılan bir model yardımıyla hesaplanmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, bahsedilen bu algoritma ile kabin iç yüzeylerinin 1 mm ile olan ısı transfer hesaplamaları için S2S(yüzeyden yüzeye) modeli birlikte kullanılmıştır. Bu modellere ilişkin detaylı bilgiler Fluent 6.3 (2006) yardımcı kaynaklarından elde edilebilir. Gerçekleştirilen güne 1 mm’li so utma simülasyonlarında kullanılan çözüm metodu ve buna ilişkin temel bilgiler çizelge 4.60’da yer almaktadır.

Çizelge 4.60 Çözüm metodu ve simülasyon süresi

Çözüm metodu ve workstation	
Çözüm metodu	3D Paralel
Workstation	2 x Quad-Core Intel Xeon processor
Çözüm alanının kısımlara ayrılması	Kartezyen metot
Toplam hesaplama zamanı	15-20 gün
So utma süresi	30 dak.

Fluent yazılımında güne 1 mm’ini hesaplamalarında güneşin konumu, “solar calculator” olarak adlandırılan bir seçenek kullanılarak belirlenmiştir. Bu seçenek ile birlikte “solar data” olarak adlandırılan veri dosyaları belirlenen tarih, gün ve saat için otomobilin konumuna bağlı olarak daha önceden seri çözüm metodu kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan bu solar data dosyaları paralel çözümde Fluent yazılımı tarafından iterasyon ve simülasyon zamanına bağlı olarak okunarak hesaplara dahil edilmektedir. Güne 1 mm’li so utma simülasyonlarında 30 dakikalık analiz süresi ortalama 15-20 gün almaktadır. Ancak analizleri başlatabilmek için yukarıda bahsedilen solar data dosyalarının oluşturulması ve S2S modeli için görü

faktörlerinin hesaplanması gerekmektedir. Dolayısıyla hazırlık zamanı ve hesaplama zamanı birlikte düşünüldüğünde güneş ışınımı ile gerçekleştirilen soğutma simülasyonları ortalama 25–30 gün süre almaktadır.

Hesaplamalarda kullanılan türbülans modeli, ışınım modeli ve çözüme ilişkin diğer temel bilgiler Çizelge 4.61’de yer almaktadır. Gerçekleştirilen güneş ışınımı soğutma analizlerinde, çözücü olarak düğüm noktası tabanlı basınç bağımlı çözüm metodu, türbülans modeli olarak ise RNG $k-\varepsilon$ modeli seçilmiştir. Kabin iç ortamında hesaplamalarda Hex-Core çözüm ağı yapısı kullanılmıştır.

Çizelge 4.61 Çözücü Ayarları, türbülans modeli, ışınım modeli ve ağı yapısı

Çözücü Ayarları, kontrolü, türbülans ve ışınım modeli	
Zaman	Geçici Rejim
Çözücü	Basınç bağımlı eş zamanlı çözüm (Pressure Based/Coupled)
Gradyen seçeneği	Düğüm noktası tabanlı (node-based)
Formülasyon	2.Dereceden kapalı çözüm (2 nd order implicit)
Denklemler	Akış, türbülans ve enerji denklemlerinin birlikte çözümü
Türbülans Modeli	RNG $k-\varepsilon$
Işınım modeli	S2S modeli
Güneş ışınımı modeli	Solar load model(solar ray tracing algoritması)
Ağı yapısı	
Ağı yapısı	Tür: Hex Core
Hacim eleman sayısı	Hacim eleman sayısı: 1.000.000
Düğüm noktası sayısı	Düğüm noktası sayısı: 374.000
Yüzey ağı yapısı	Tür: Üçgen eleman

Gerçekleştirilen soğutma analizlerinde kabin iç ve dış ortam bağımlı koşulları ile kabin yüzeylerinde tanımlanan sınır şartları, eş zamanlı yürütülen deneysel çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Bağımlı koşulları, zaman adımı ve yakınsama kriterini içeren bilgiler Çizelge 4.62’de yer almaktadır. Soğutma analizlerinde kabin iç ortam bağımlı koşullarının doğru tahmin edilmesi, geçici rejim analizleri ile gerçek ve yakın sonuçlar elde etmek açısından son derece önemlidir. Dolayısıyla gerçekleştirilen simülasyonlarda çözüm

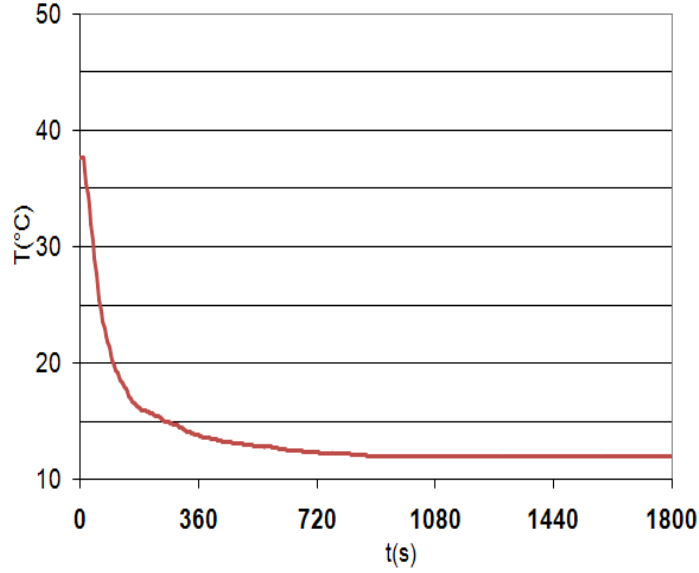
hassasiyetini arttırmak amacıyla 1 dakikalık simülasyon süresince zaman adımı 1s den küçük de erde seçilmi daha sonraki süreçte ise zaman adımı sabit ve 1s olacak ekilde hesaplamalar yapılmı tır. Deneysel çalı malardan elde edilen veriler göz önünde bulundurularak, kabin iç ve dı ortam ba langıç sıcaklıkları sırasıyla 50°C ve 30°C olarak belirlenmi tır.

Çizelge 4.62 Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri

Ba langıç ko ulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri	
Kabin iç ortam ve yüzey sıcaklıkları	50°C
Dı ortam sıcaklı ı	30°C
($t_{gerçek} = 0.1$ san.)	zaman adımı: 0.001s
($t_{gerçek} = 1$ san.)	zaman adımı: 0.01s
($t_{gerçek} = 1$ dak.)	zaman adımı: 0.1s
($t_{gerçek} > 1$ dak.)	zaman adımı: 1s
Yakınsama kriteri	Normalize edilmi kalanlar
Sürekli lik, momentum, enerji	$10^{-4} / 10^{-4} / 10^{-6}$
Basınç-hız ili kilendirilmesi	SIMPLE
Ayrıklı tırma metodu(Basınç)	Standart
Ayrıklı tırma metodu(Akı , enerji ve di .)	2.dereceden Upwind yöntemi

Güne ı ınımlı so utma simülasyonlarında, e zamanlı yürütülen deneysel çalı malardan elde edilen veriler dikkate alınarak sınır artları tanımlanmı tır. Güne ı ınımlı dahil edilen bu analizlerde hesaplamalar, 25.08.2009 günü saat 14.00 ı te test aracının konumu ile aynı konuma sahip otomobil kabini için ilgili enlem ve boylam de erleri belirlenerek gerçekte tirilmi tır. Hesaplamalarda kullanılan güne ı ınımlı modeli ve sınır artlarına ili kin detay bilgiler çizelge 4.63'te yer almaktadır. Kabin yüzeylerine güne ı ınımlı nedeniyle gelen toplam ısı akısı yakla ık olarak 875W/m^2 de erinde hesaplanmı tır. Giri menfezlerinde deneysel veriler dikkate alınarak sabit hız ve de i ken sıcaklık sınır artı kullanılmı , insan vücudu yüzeylerinde ise sabit sıcaklık sınır artı giysili yüzeylerde 33°C giysili olmayan yüzeylerde ise 33.7°C olacak ekilde tanımlanmı tır.

Sayısal simülasyonlarda, giri menfezlerinde deneysel verilerden elde edilen hız ve sıcaklık değerleri kullanılmıdır. Giri menfezlerinde kullanılan sıcaklık eğrisi ekil 4.102’de gösterilmiştir.

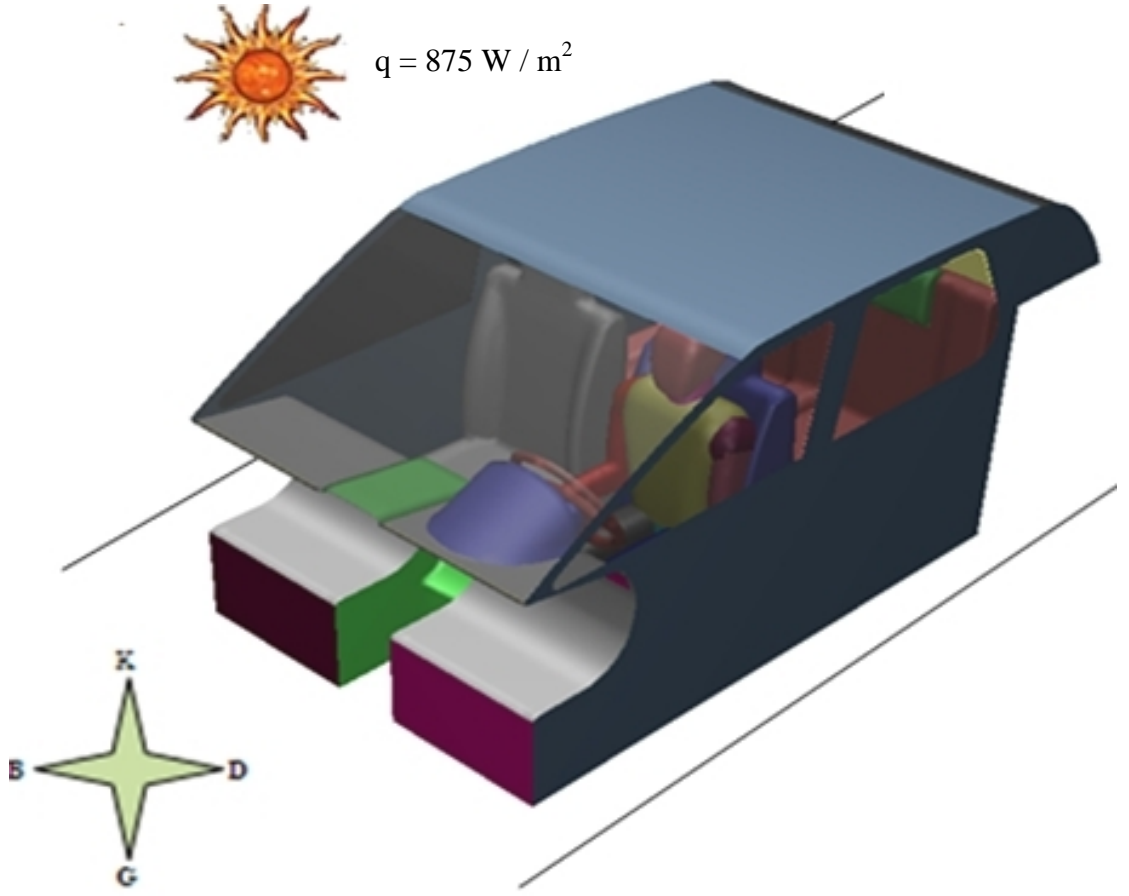


ekil 4.102 Giri menfezlerde kullanılan soğutma eğrisi ($T=T(t)$)

Çizelge 4.63 Güneşin konumu, 1 inim modeli ve sınır şartları

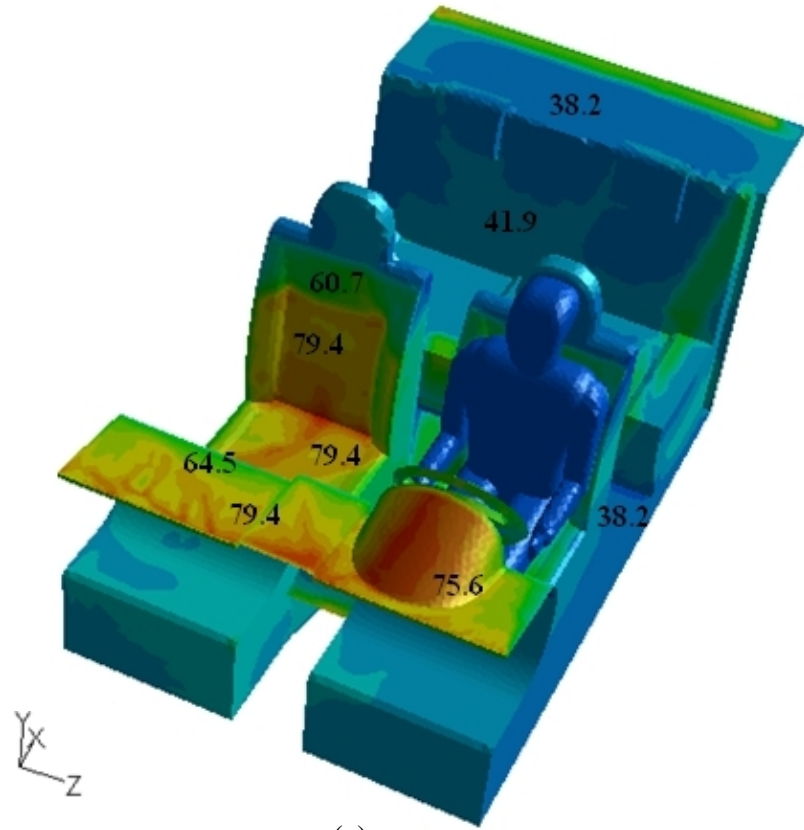
Güneşin konumu ve 1 inim modeli	
Tarih / Gün / Saat	25.08.2009 / Salı / 14:00
Güneş 1 inimi modeli	Solar ray tracing algorithm
Kabin yüzeyleri 1 inim modeli	S2S 1 inim modeli
Güneş Yön Vektörü	X: -0.626271, Y: 0.751848, Z: 0.206177
Güneş ısı yükü(ısı akısı)	875 W/m ²
Sınır şartları	
Manken yüzeyleri	Sabit sıcaklık sınır şartı ($T_{\text{giysisiz}}=33.7^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{giysili}}=33.0^{\circ}\text{C}$)
Giri menfezleri(Sıcaklık)	Değer ken sıcaklık ($T(t)$) sınır şartı,
Giri menfezleri(Hız)	Hız kademesine bağlı sabit hız (2.5m/s) değeri
Dış ortam sıcaklığı	30°C
Cam yüzeyleri	Yarı saydam yüzey, 1 inim sınır şartı (Absorpsivite:0.1,Transmisivite:0.8)
Kabin dış yüzeyleri	Opak yüzey (Absorpsivite:0.8), 1 inim sınır şartı
Kabin iç yüzeyleri	Isıl adyabatik sınır şartı $q = 0 \text{ W/m}^2$

Gerçekle tirilen sayısal simülasyonlarda kullanılan güne güne yön vektörü, otomobil kabinin konumu ve toplam güne ısı yükü ekil 4.103'te yer almaktadır.

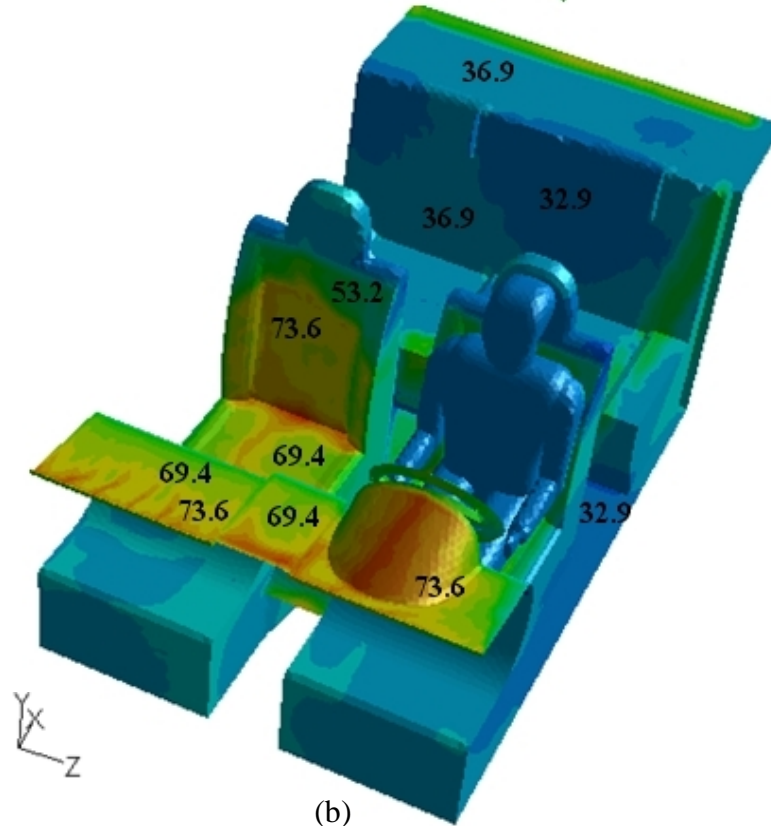


ekil 4.103 Otomobil kabininin konumu ve güne yön vektörü

Gerçekle tirilen sayısal hesaplamalar sonucunda kabin iç ortamına ait yüzeylerde zamana ba lı olarak elde edilen sıcaklık de erleri ekil 4.104-106'da yer almaktadır.

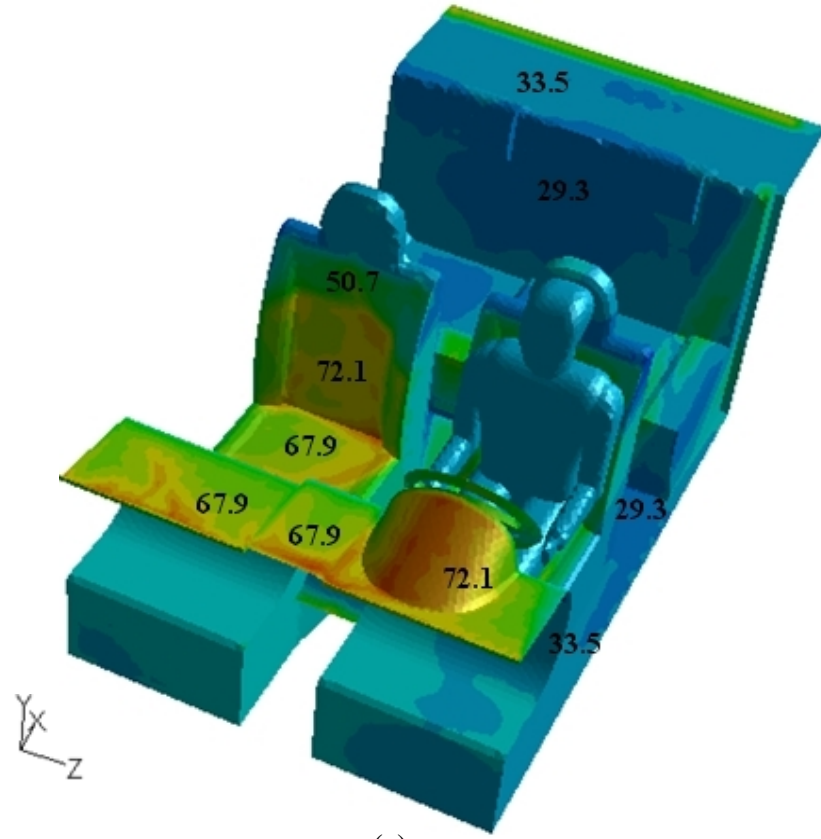


(a)

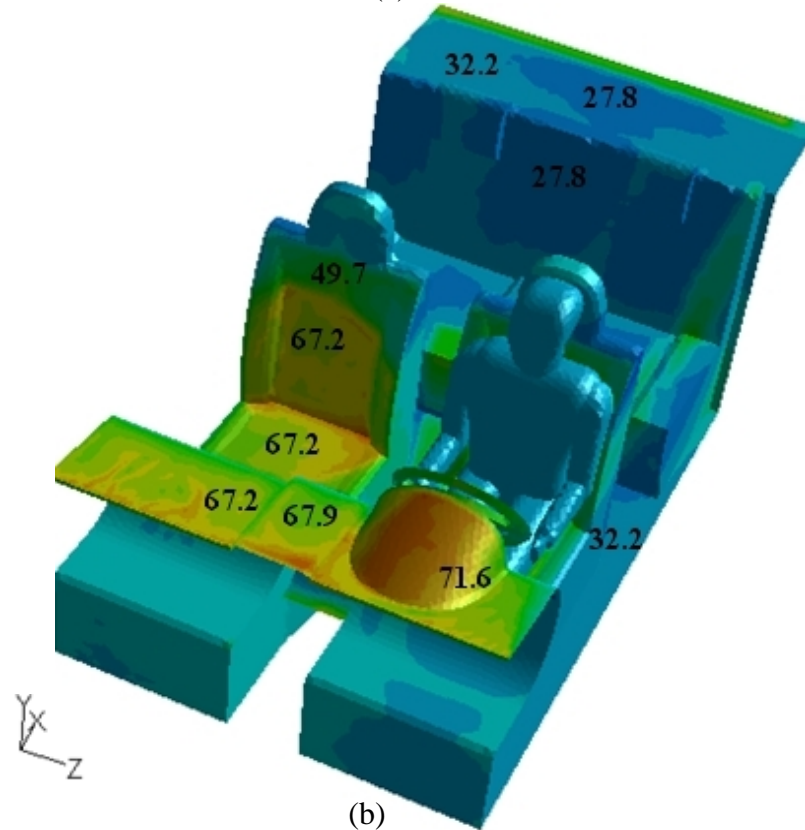


(b)

ekil 4.104 Kabin yüzeylerinde sıcaklık dağılımı (°C) (a) 60s (b) 120s

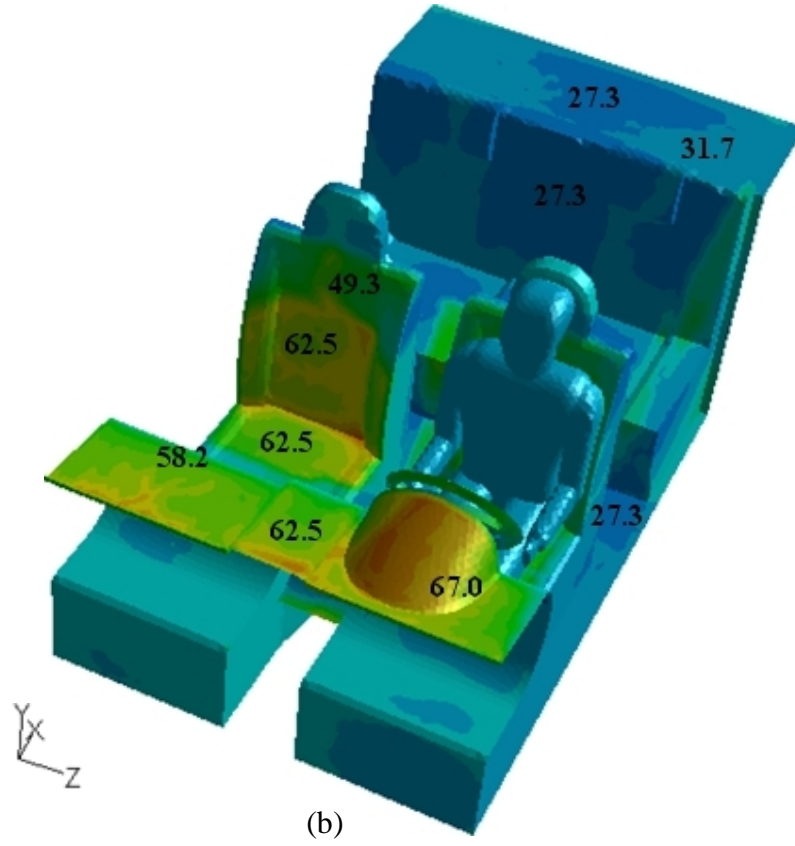
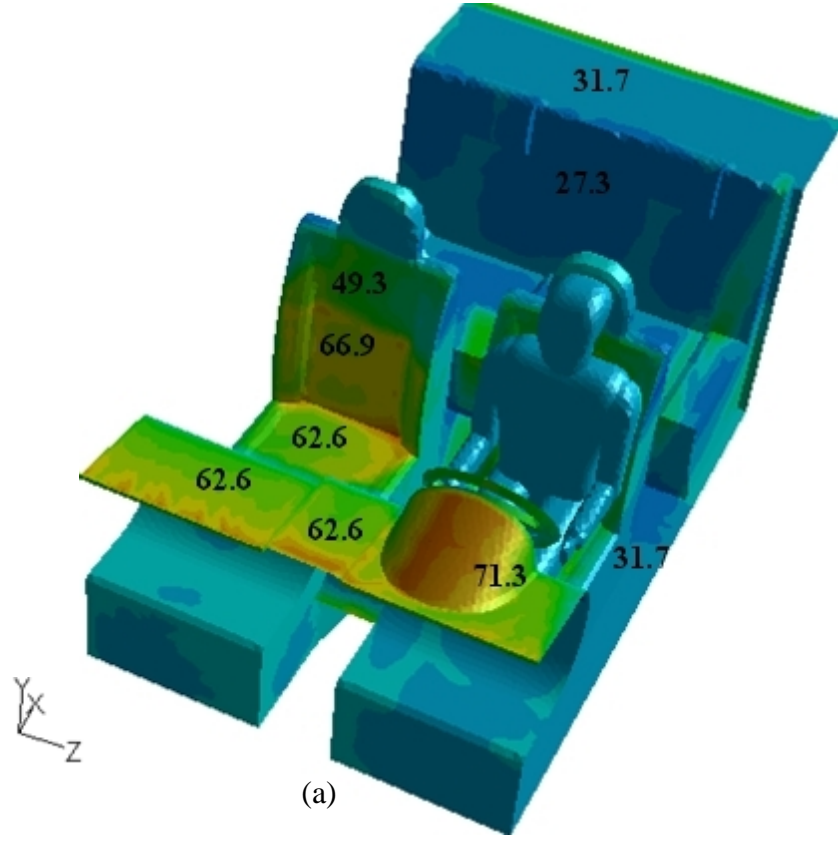


(a)



(b)

ekil 4.105 Kabin yüzeylerinde sıcaklık dağılımı (°C) (a) 300s (b) 600s



ekil 4.106 Kabin yüzeylerinde sıcaklık dağılımı (°C) (a) 1200s (b) 1800s

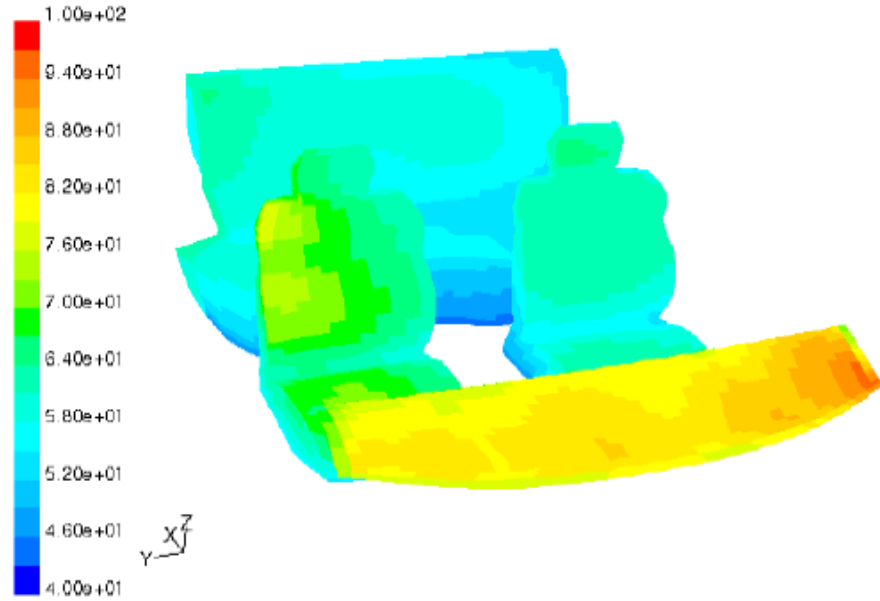
ekil 4.104'de yer alan 1 ve 2 dakikalık so utma sonucunda kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık de erleri de erlendirildi inde, konsol yüzeyinin ön cama yakın olan kısımlarında 65–75°C arasında de i en oldukça yüksek sıcaklık de erleri hesaplanmı tır. Güne in konumuna ba lı olarak direksiyon, kadran, yolcu koltu u ve ön konsol yüzeylerine ait lokal bölgelerde sıcaklık de eri di er yüzeylere göre daha yüksek de erde hesaplanmı tır. Kabin arka kısmında bulunan yüzeylerde ve taban yüzeyinde ise yakla ık 38°C sıcaklık de eri hesaplanmı tır.

ekil 4.105'te gösterilen 5–10 dakikalık so utma süresi sonunda kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık de erleri dikkate alındı nda ise konsol yüzeylerinde yüksek sıcaklık de erleri varlı nı korumaktadır. Bahsedilen bu süreç sonunda yolcu koltu u yüzeyinde güne ı nımına maruz lokal kısımlarda elde edilen sıcaklık de erleri 50–67°C arasında de i irken kabin arka kısmında yer alan arka koltuk yüzeyinde ise sıcaklık de erleri 28–32°C arasında de i mektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak kabin arka kısmında ön kısma göre daha hızlı bir so utma gerçekte ti i ifade edilebilir.

20–30 dakikalık so utma süreci sonunda kabin yüzeylerinde sıcaklık da ılımlarını içeren ekil 4.106 incelendi inde ise kabin yüzeylerinde sıcaklık de erlerinin so utma süresine ba lı olarak giderek azaldı ı ancak güne ı nımına maruz yüzeylerde hesaplanan sıcaklık de erlerindeki azalmanın, güne ı nımının etkili olmadığı yüzeylerde hesaplanan sıcaklık de erlerindeki azalmaya göre daha az oldu u görülmektedir. Konsol yüzeyinde 30 dakikalık so utma sürecinin sonunda ön cam yüzeyine yakın bölgede 58–67°C arasında de i en sıcaklık de erleri elde edilirken, arka koltukta 27–31°C sıcaklık de erleri elde edilmi tir. Elde edilen bu de erler yüzeylere ait lokal bölgelerde hesaplanan sıcaklık de erleridir.

Otomobil kabini için so utma amaçlı gerçekte tirilen hesaplamalar sonucunda elde edilen sıcaklık da ılımlarına ili kin literatürde yer alan bazı çalı maların sonuçları a a ıda verilmi tir.

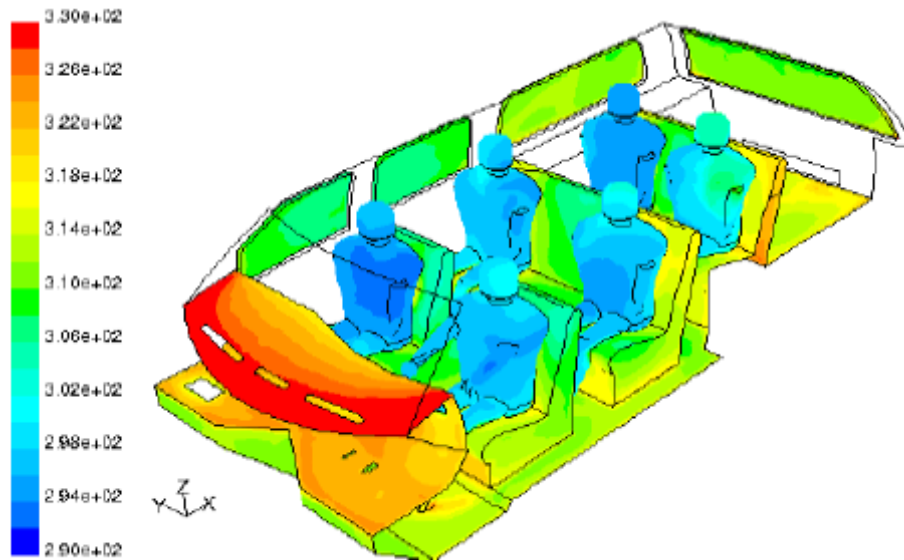
Rugh (2002), çalı masında Fluent yazılımı ile standart $k-\varepsilon$ türbülans modeli ve DO 1 nım modeli kullanılarak güne ı nımı nedeniyle kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık da ılımı ekil 4.107'de yer almaktadır. Bu çalı mada verilen sıcaklık da ılımının 28.07.2001 saat 15:00'te di ortam ısıcaklı ı 35.7°C için yapıldı ı ifade edilmi tir.



ekil 4.107 Kabin iç yüzeylerinde sıcaklık da ılımı(°C)

Kaynak: Rugh, Integrated numerical modeling process for evaluating automobile climate control systems clothing insulation asymmetry and thermal comfort, 2002, 5.

Han ve Huang (2005) çalı malarında Fluent ve Gambit yazılımlarını kullanarak toplam güne 1 inımı ısı akısının $1050\text{W}/\text{m}^2$ olarak belirlemi lerdir. Kabin yüzeyleri 1 inım ile ısı transferi için görü faktörlerinin dikkate alındı ı 30 dakikalık so utma periyodu analizi sonunda kabin yüzeylerinde elde ettikleri sıcaklık da ılımı ekil 4.108'de yer almaktadır.



ekil 4.108 Kabin iç yüzeylerinde sıcaklık da ılımı (K)

Kaynak: Han ve Huang, A sensitivity study of occupant thermal comfort in a cabin using virtual thermal comfort engineering, 2005, 5.

Kabin yüzeylerinde 30 dakikalık so utma süresince hesaplanan ortalama sıcaklık de erleri çizelge 4.64'te yer almaktadır.

Çizelge 4.64 Güne ı nımı analizlerinde kabin yüzeyleri ortalama sıcaklık da ılımı

Kabin yüzeyleri ve iç ortam sıcaklı ı	T(°C)						
	t(s)						
	30s	60s	120s	300s	600s	1200s	1800s
Ön cam	47.8	46.5	44.4	43.1	42.4	42.0	41.5
Arka cam	39.8	37.9	36.0	34.2	33.0	33.3	31.6
Sa ön cam	41.3	38.9	37.3	35.5	35.0	34.3	34.5
Sa arka cam	38.0	35.9	33.7	31.9	31.2	31.3	30.9
Sol ön cam	39.7	38.2	36.3	35.0	34.2	34.0	33.9
Sol arka cam	38.4	36.7	34.4	32.9	31.7	31.3	31.4
Sürücü koltu u	45.4	42.0	37.0	34.2	33.0	33.0	32.4
Yolcu koltu u	53.8	50.3	44.7	41.3	40.7	39.4	39.3
Arka koltuk	46.1	41.8	37.3	33.3	31.8	31.4	31.6
Direksiyon	53.8	50.2	46.7	44.0	42.6	42.8	41.1
Konsol	55.7	52.7	48.0	45.6	44.3	43.0	42.7
Orta konsol	51.6	48.5	43.7	40.3	39.1	38.3	38.1
Kabin sa yüzey	44.1	41.3	38.0	35.7	34.7	34.0	34.0
Kabin sol yüzey	40.7	38.3	35.2	33.0	31.9	31.6	31.5
Taban	41.6	39.2	35.2	33.1	32.4	31.9	31.9
Tavan	41.6	39.5	36.3	34.3	33.6	33.6	33.1
ç ortam sıcaklı ı	43.7	39.2	33.6	29.9	28.7	28.1	27.9

Çizelge 4.64-4.65'te yer alan kabin yüzeyleri için elde edilen ortalama sıcaklık de erleri incelendi inde, genel olarak konsol, yolcu koltu u ve ön cam yüzeyleri gibi güne ı nımından do rudan etkilenen yüzeylerde sıcaklık de erleri, güne ı nımından az etkilenen di er yüzeylere göre daha yüksek hesaplanmı tır. 30s sonunda en yüksek ortalama sıcaklık konsol yüzeyinde meydana gelirken bu süreç sonunda en dü ük ortalama sıcaklık ise güne ı nımından en az etkilenen sa arka cam yüzeyinde elde edilmi tir.

lerleyen zaman dilimiyle birlikte yüzey sıcaklıkları giderek azalmakta ve 5 dakika sonunda konsol, direksiyon, yolcu koltu u ve ön cam yüzeylerinde 41–46°C arasında de i rken arka koltuk, sürücü koltu u taban ve tavan yüzeylerinde ise 33–35°C arasında de i mektedir.

ç ortam sıcaklığının 28°C olarak hesaplandı ve 30 dakikalık soğutma süreci sonunda elde edilen sıcaklık değerleri dikkate alındığında, ön cam, direksiyon ve konsol yüzeylerinde hesaplanan sıcaklıklar sırasıyla 41.5°C, 42.7°C ve 41.1°C'dir. Genel olarak en düşük sıcaklığın hesaplandı ve arka cam yüzeyinde ise sıcaklık değeri 30.9°C olarak hesaplanmıştır. Kabin tavan yüzeyinde, taban yüzeye göre daha yüksek ortalama sıcaklık değeri elde edilmiş ve kabin sağ yüzeyinde ise kabin sol yüzeye göre ortalama 2.5°C sıcaklık farkı hesaplanmıştır.

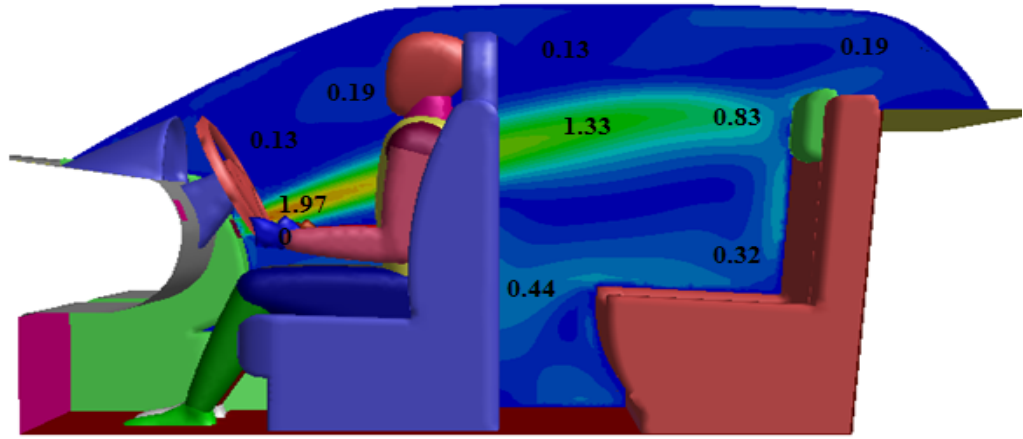
Kabin yüzeylerinde sayısal çalışmalarla eş zamanlı yürütülen deneysel çalışmalarda ısıtıcılarla yapılan noktasal sıcaklık ölçümleri çizelge 4.65'te yer almaktadır.

Çizelge 4.65 Kabin yüzeyleri için hesaplanan ortalama sıcaklık değerleri ve deneysel ölçümler sonucu elde edilen noktasal sıcaklık değerleri

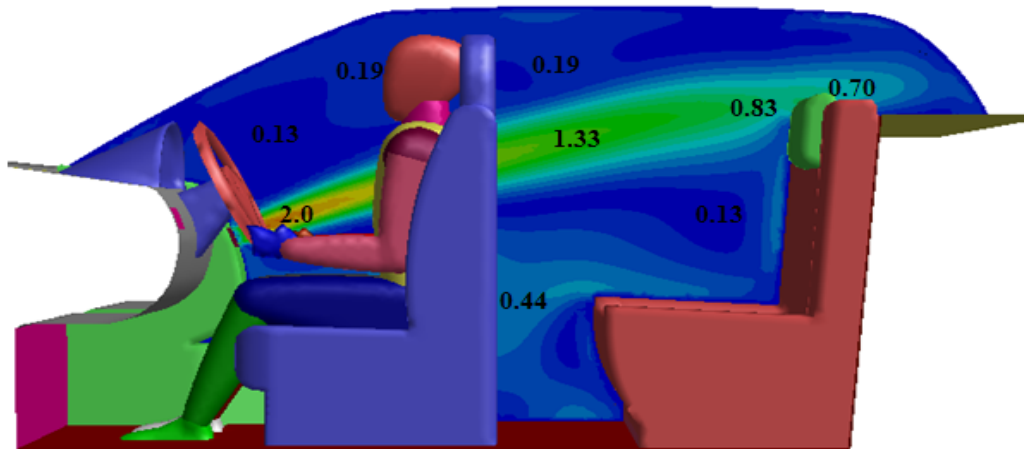
Kabin yüzeyleri	T(°C)	
	t(s)	
	CFD	Deneysel
	1800s	1800s
Ön cam	41.5	45.5
Arka cam	31.6	31.6
Sağ ön cam	34.5	37.6
Sol ön cam	33.9	36.2
Yolcu koltuğu	39.3	36.5
Direksiyon	41.1	38.1
Konsol	42.7	43.9
Kontrol paneli	38.1	32.1
Tavan	33.1	34.2

Deneysel ölçümler sonucunda 1800s sonunda ön cam, yolcu koltuğu, konsol ve direksiyon yüzeylerinde ölçülen noktasal sıcaklık değerleri, sayısal hesaplamalarda elde edilen sonuçlara benzer olarak, diğer yüzeylere göre daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Bu yüzeylerde 1800s sonunda ölçülen noktasal sıcaklık değerleri sırasıyla 45.5°C, 36.5°C, 43.9°C ve 38.1°C'dir. Deneysel çalışmalarla kabin yüzeylerinde ölçülen noktasal sıcaklık değerlerinin, sayısal çalışmalardan elde edilen ortalama sıcaklık değerleri ile benzer bir dağılım gösterdiği ifade edilebilir.

Literatürde yer alan kabin yüzeyleri sıcaklık da ılımlarını içeren bazı çalı malarda elde edilen sonuçlarla birlikte kabin iç ortam ba langıç sıcaklı ının 50°C alınarak hesaplamaların a ustos ayı içinde saat 14:00 için yapıldı ı, hava akı karakteristikleri, insan vücudu ısıl karakteristikleri ve dı ortam ko ulları gibi bir çok parametrenin hesaplamaları etkiledi i göz önünde bulunduruldu unda, bu çalı mada kabin yüzeylerinde geçici rejimde hesaplanan sıcaklık de erlerinin gerçe e yakın sonuçlar içerdi i ifade edilebilir.



(a)



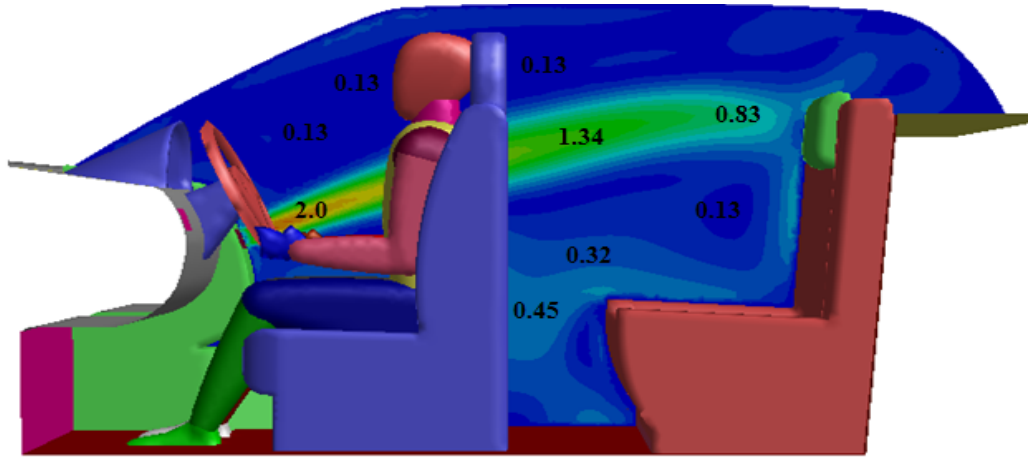
(b)

ekil 4.109 Kabin orta düzleminde hız(m/s) da ılımı (a) 300s (b) 600s

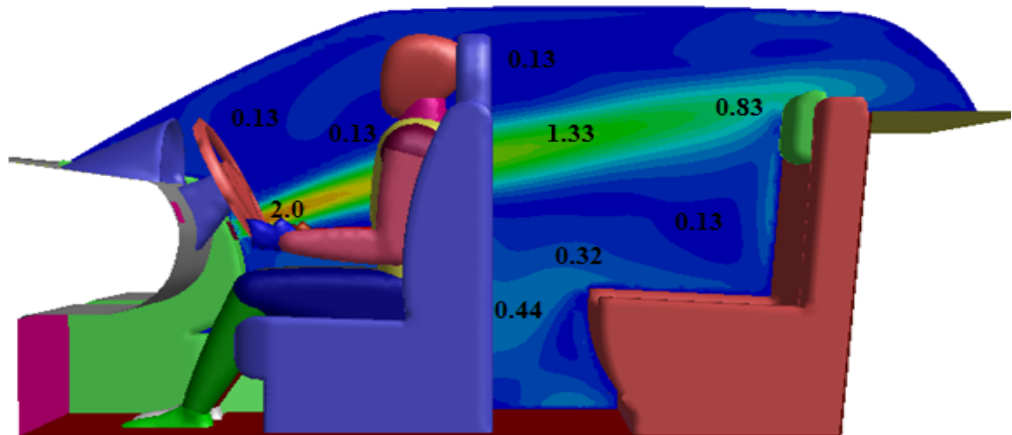
Kabin orta düzleminde hesaplamalar sonucunda elde hız da ılımları de erlendirildi inde ise 10 dakikalık periyot sonucunda kabin orta düzlemindeki hız da ılımının 5 dakikalık periyot sonunda elde edilen hız da ılımına göre büyük bir de i iklik göstermedi i sonucunu çıkartabiliriz. kabin arka kısmında diz seviyesinde hız 0.44 m/s elde edilirken bu kısımda ba seviyesinde 0.83–1.33 m/s arasında de i en hız

de erleri hesaplanmı tır. Hesaplamalar sonucunda bu düzlemde elde edilen en yüksek hız de eri, kabin ön kısmında orta menfezlere yakın bölgede 2.0 m/s de erindedir.

ekil 4.110'da 20–30 dakikalık so utma sonucunda elde edilen hız da ılımları de erlendirildi inde ise, aynı noktalarda hesaplanan hız de erleri arasındaki farkın 0.01 m/s seviyesine kadar dü tü ü görülmektedir. Dolayısıyla 20 dakikalık so utma periyodu sonrasında hız da ılımı açısından sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı ifade edilebilir. Bu periyotta elde edilen hız de erleri dikkate alındı ında hız da ılımının, so utma sürecine ba lı olarak sıcaklık de erlerindeki azalı tan, etkilenmedi ini ifade edebiliriz.



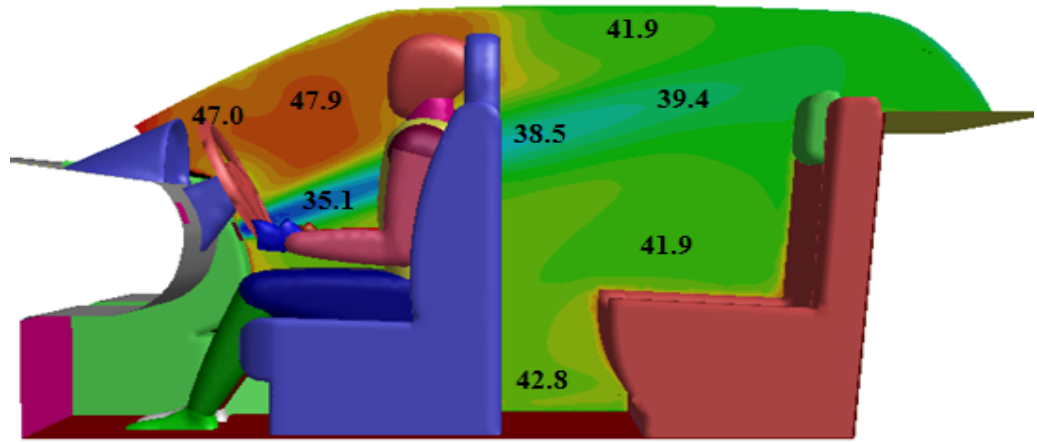
(a)



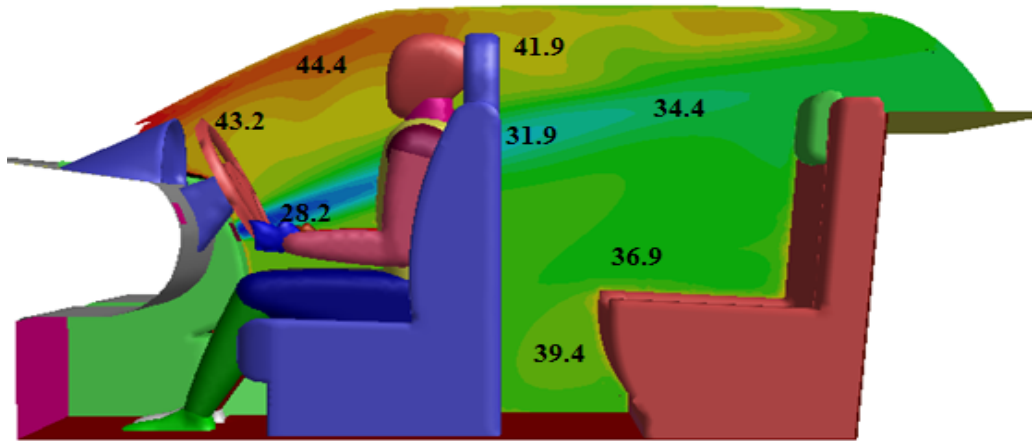
(b)

ekil 4.110 Kabin orta düzleminde hız(m/s) da ılımı (a) 1200s (b) 1800s

Kabin iç ortamında orta düzleminde hesaplanan sıcaklık dağılımları ekil 4.111-113'te yer almaktadır. So utma ba langıcı olarak nitelendirilebilecek 30s'lik so utma süreci sonunda kabin ön kısmında ve sürücüyeye yakın olan kısımda arka kısıma göre daha yüksek sıcaklıklar elde edilmiştir. Bahsedilen bu yüksek sıcaklık bölgesinde sıcaklık değerleri 47–48°C arasında değişmektedir. Arka kısımda ise farklı noktalarda 38–43°C arasında değişen sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Düşük sıcaklıklar ise orta menfeze yakın bölgelerde yaklaşık olarak 35°C elde edilmiştir.



(a)

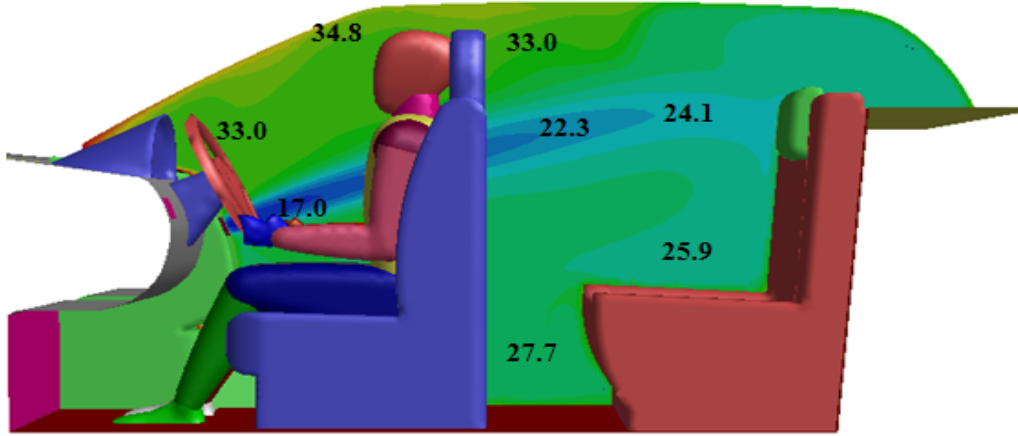


(b)

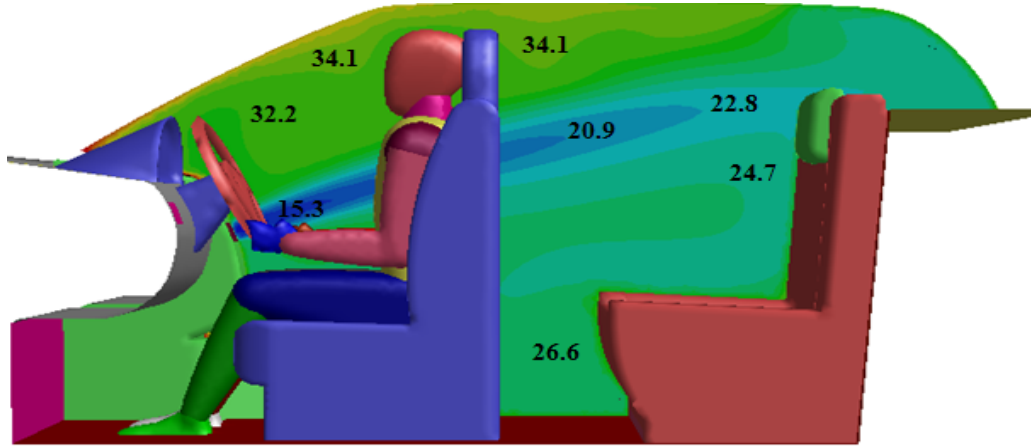
ekil 4.111 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (a) 30s (b) 60s

1 dakikalık so utma periyodu sonunda kabin ön kısmında hesaplanan sıcaklık değerleri 28.2°C- 44.4°C arasında değişirken kabin arka kısmında hesaplanan sıcaklık

de erleri ise 31.9–41.9°C arasında de i mektedir. Kabin arka kısmında ba langıç ko ullarına göre daha belirgin bir so uma gerçekte irken kabin ön kısmında ön cam, konsol ve direksiyon gibi yüzeylerin güne ı nımından daha fazla etkilenmesi nedeniyle kabin ön kısmında yakla ık olarak 44°C sıcaklı ın hesaplandı ı sıcak bir bölge bulunmaktadır.



(a)

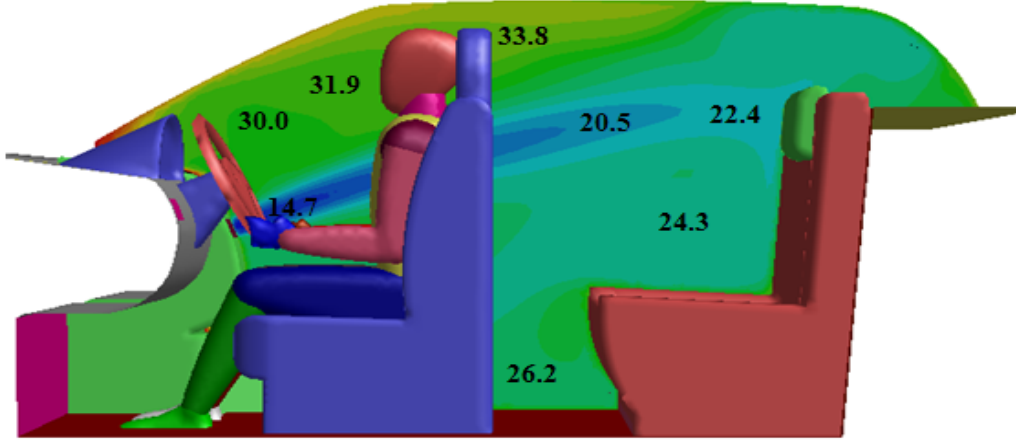


(b)

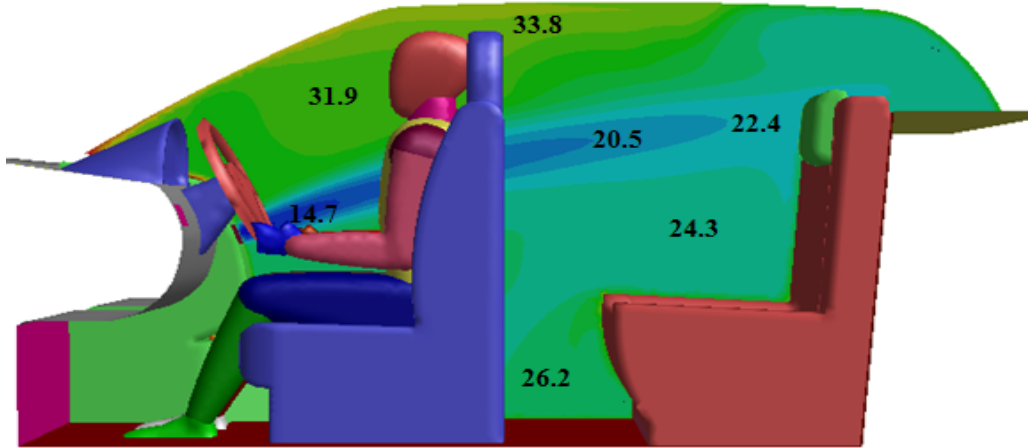
ekil 4.112 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (a) 300s (b) 600s

ekil 4.112'de yer alan 5–10 dakikalık so utma süreci sonunda kabin orta düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları de erlendirildi inde, so umanın etkisini giderek arttırdı ı sonucuna varabiliriz. 10 dakikalık so utma periyodu sonunda kabin ön kısmında sıcaklık de erleri 15–34°C arasında de i irken arka kısımda 21–34° arasında

de i mektedir. Kabin arka kısmına ait büyük bir alanda genel olarak sıcaklık de erleri 23–27°C arasında de i mektedir.



(a)



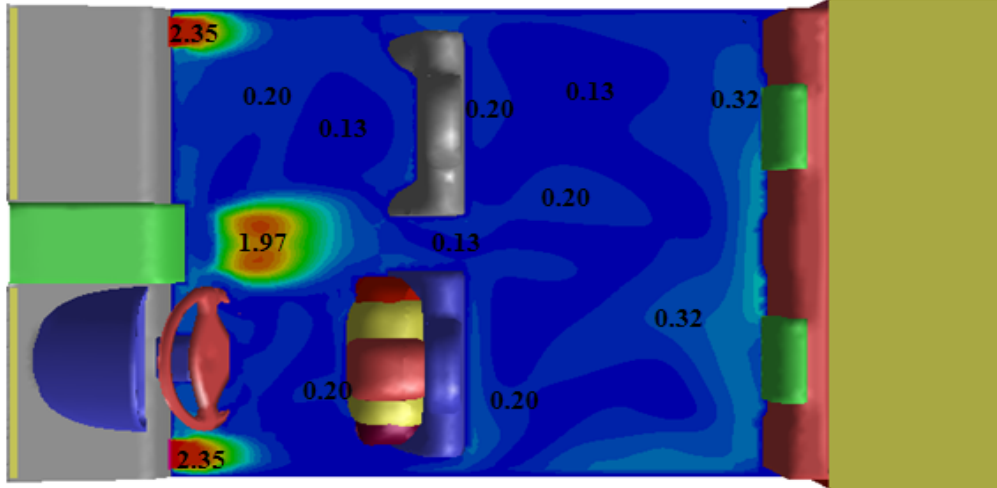
(b)

ekil 4.113 Kabin orta düzleminde sıcaklık(°C) da ılımı (a) 1200s (b) 1800s

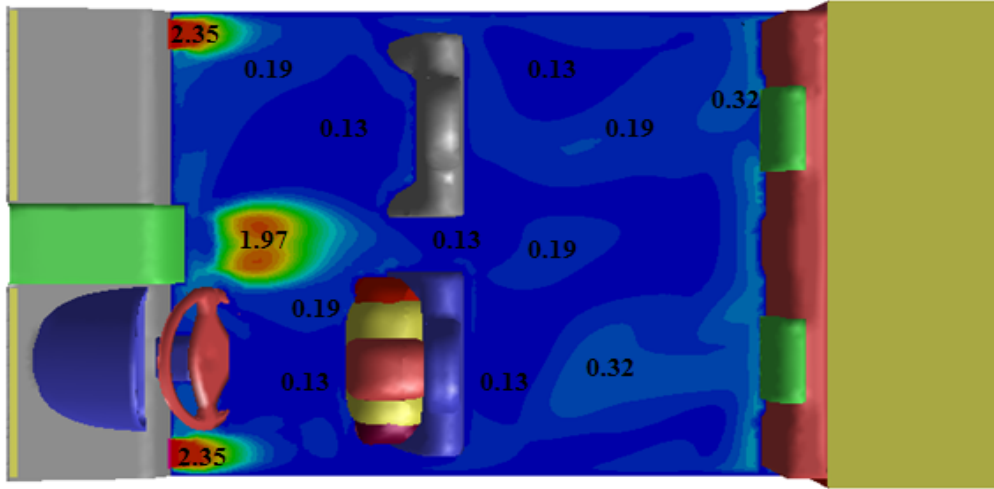
ekil 4.113'de gösterilen 20–30 dakikalık so utma süreci sonunda kabin orta düzleminde elde edilen sıcaklık da ılımları de erlendirildi inde3, aynı noktalar için elde edilen sıcaklık de erleri arasında farkın oldukça dü ük olduu görölmekte dolayısıyla 30 dakikalık periyot sonrasında sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı ifade edilebilir.

Kabin menfez düzleminde so utma sürecinde elde edilen hız da ılımları ise ekil 4.114-119'te yer almaktadır. 5–10 dakikalık so utma süreci sonunda elde edilen

hız da ılımı incelendi inde, insan vücudu yakın çevresinde hız yaklaşık olarak 0.13–0.2 m/s de erleri arasında, kabin arka kısmında arka koltuk yüzeyinin yakın çevresinde hız 0.32 m/s de erinde hesaplanırken giri menfezlerine yakın bölgelerde ise hız de eri 1.97–2.35 m/s arasında de i mektedir.



(a)

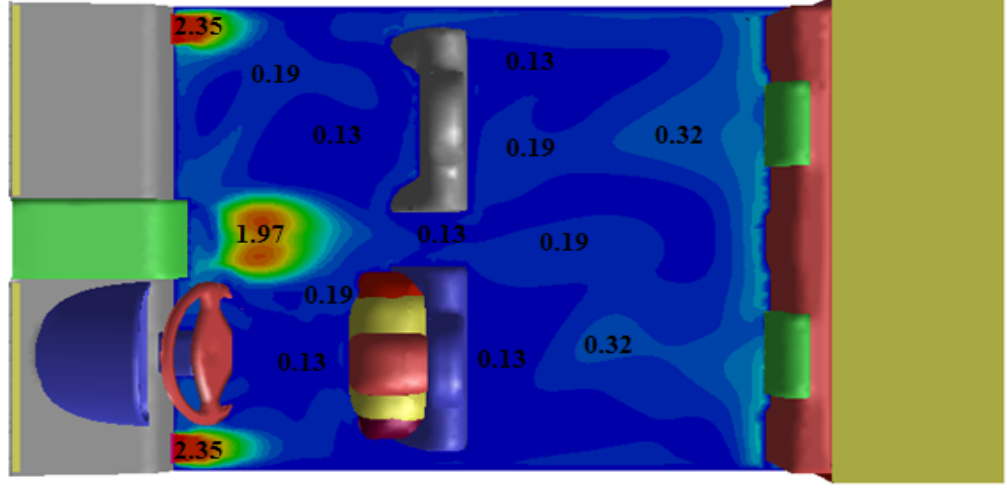


(b)

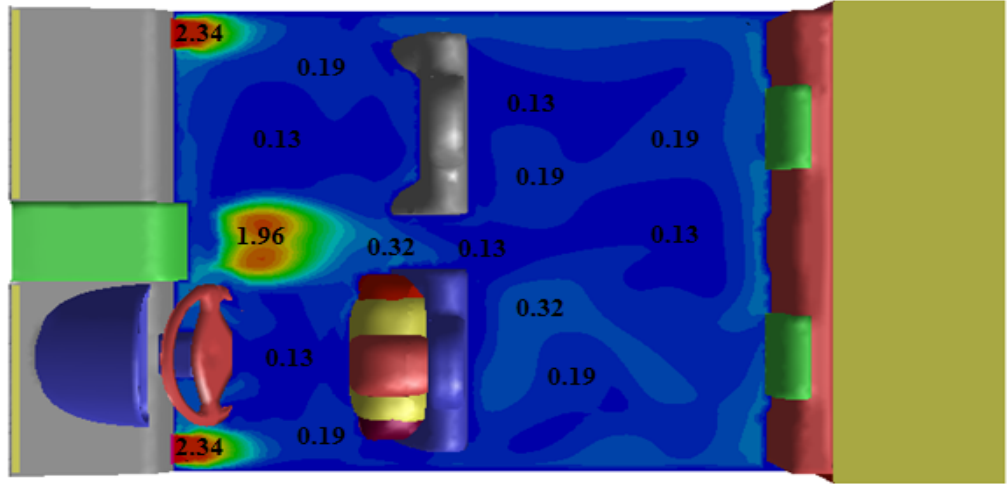
ekil 4.114 Kabin menfez düzleminde hız(m/s) da ılımı (a) 300s (b) 600s

20–30 dakikalık so utma sonunda kabin menfez düzleminde elde edilen hız da ılımları incelendi inde her iki periyot sonunda benzer noktalarda elde edilen hız de erleri arasında büyük farklılıklar görülmedi i ifade edilebilir. 30 dakika sonunda sa omuz yüzeyine yakın bölgede hız de eri 0.32 m/s, sol omuz yüzeyinin yakın çevresinde ise 0.19 m/s hız de eri hesaplanmı tır. Bahsedilen so utma periyodu sonunda kabin

arka kısmında elde edilen hız değerleri 0.13–0.32 m/s arasında değişirken ön kısımda 0.13–2.34 m/s arasında değişmektedir.

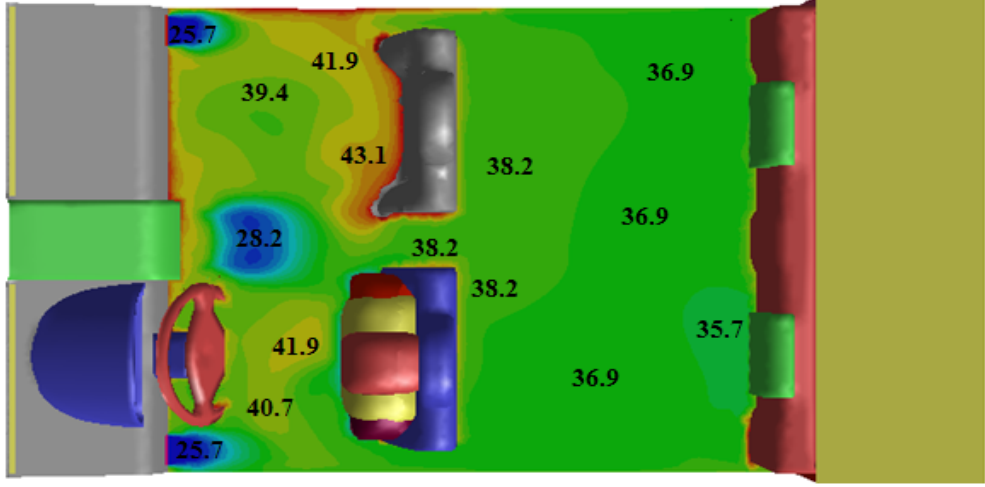


(a)

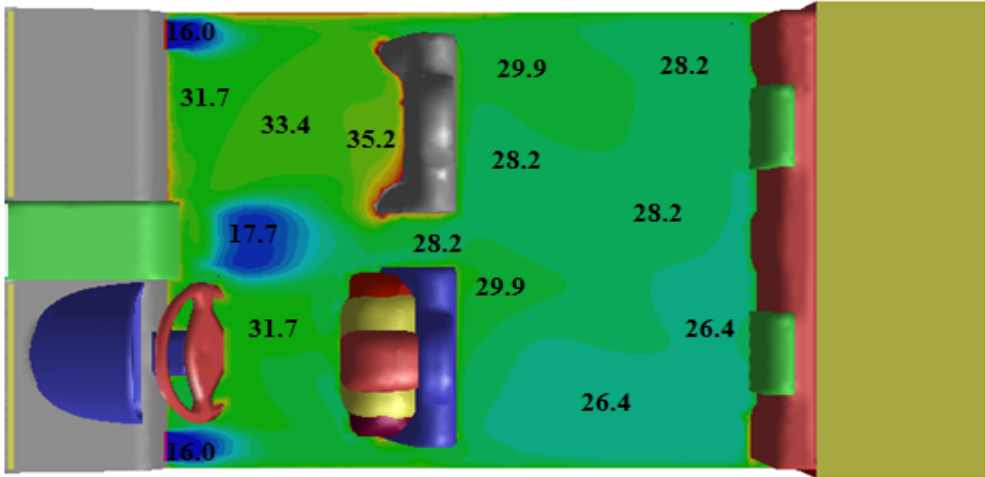


(b)

ekil 4.115 Kabin menfez düzleminde hız(m/s) dağılımı (a) 1200s (b) 1800s



(a)

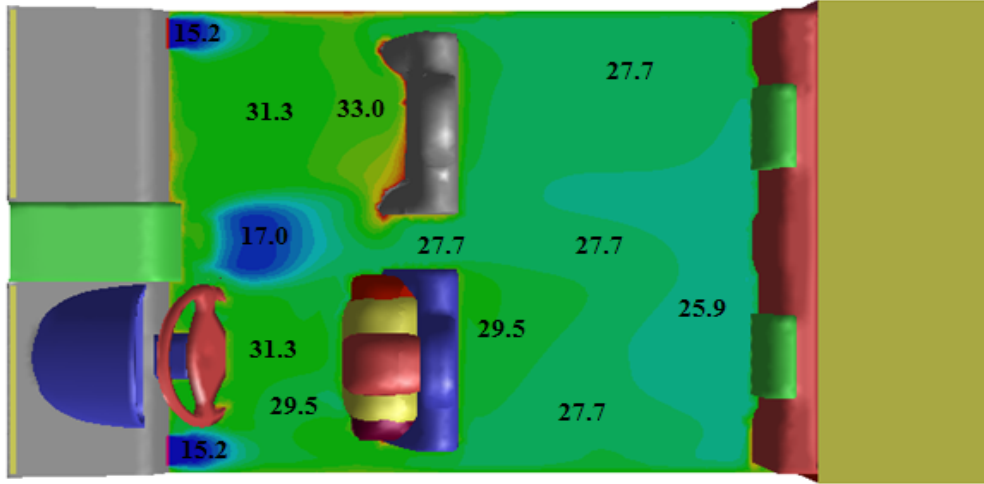


(b)

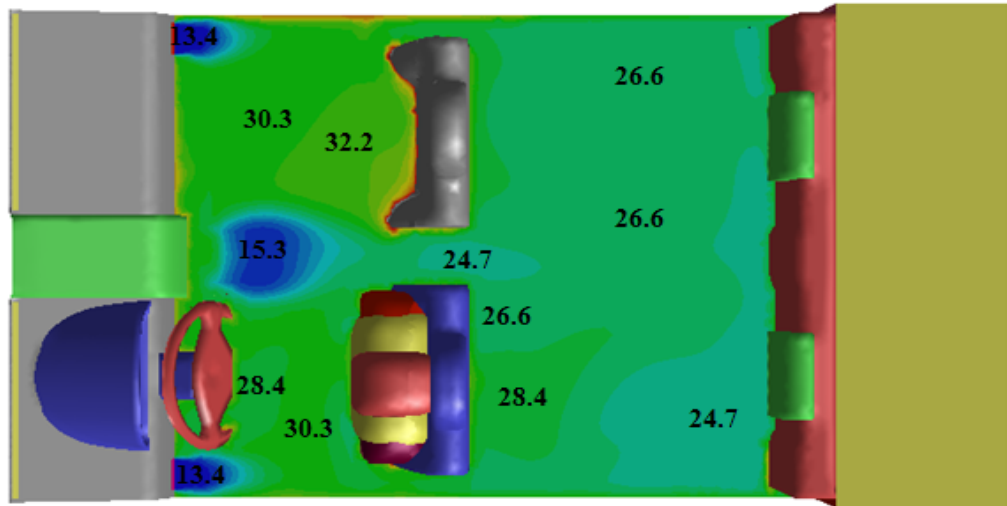
ekil 4.116 Kabin menfez düzleminde sıcaklık(°C) dağılımı (a) 60s (b) 120s

ekil 4.116’da gösterilen 1 dakikalık soğutma süreci sonunda elde edilen kabin menfez düzlemi sıcaklık dağılımı incelendiğinde, yolcu koltuğu yüzeyinin ön kısmında ve insan vücudu yakın çevresinde 39–44°C arasında değişen en yüksek bölgelere göre yüksek sıcaklık değerleri görülmektedir. Kabin arka kısmında ise sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 36–38°C arasında değişmektedir. Ortam menfezlerine yakın bölgede hesaplanan sıcaklık değeri 28.2°C iken sağ ve sol menfezlerine yakın bölgede ise 25.7°C değerindedir. Soğutma süresinin artmasına ve menfezlerin soğutma hızına bağlı olarak 2

5-10 dakikalık so utma sonunda kabin menfez düzleminde hesaplanan sıcaklık değerleri giderek azalmaktadır. Bu dakikalık periyot sonucunda elde edilen en düşük sıcaklık değerleri sağ ve sol menfezlere yakın bölgede ve 16°C 'dir. Bahsedilen periyot sonrasında hesaplanan en yüksek sıcaklık değeri ise yolcu koltuğu yüzeyi yakın çevresinde olmaktadır ve 35.2°C 'dir.



(a)

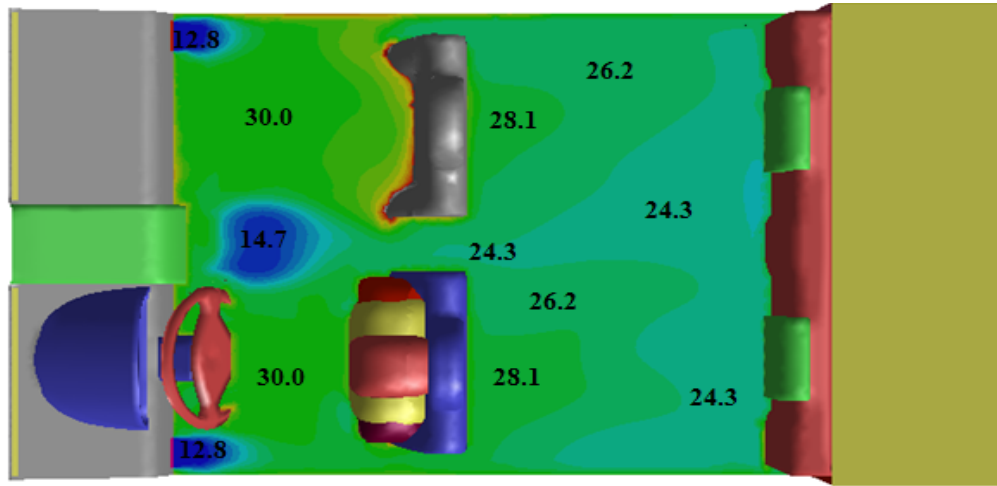


(b)

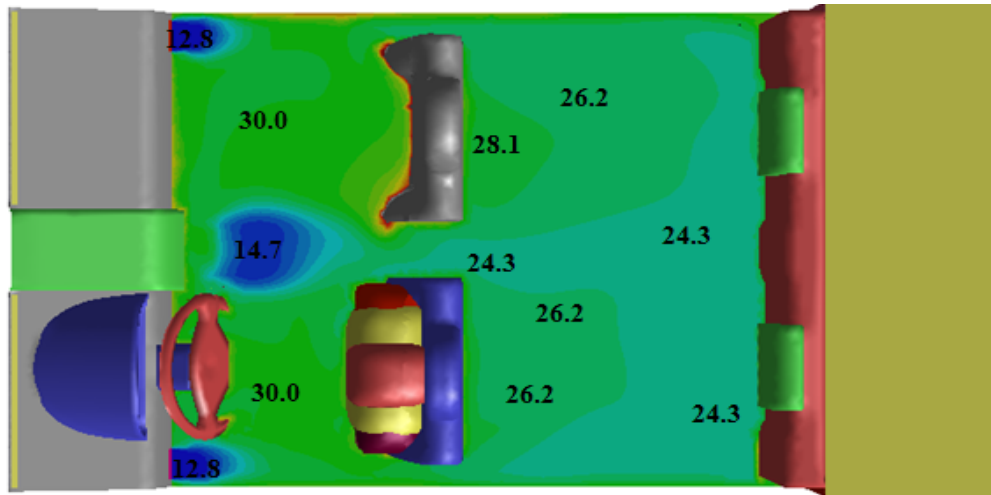
Şekil 4.117 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) dağılımı (a) 300s (b) 600s

5-10 dakikalık so utma süreci sonunda kabin menfez düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 4.117'de yer almaktadır. Bu periyot sonunda genel olarak

kabin arka kısmında sıcaklık değerleri arasındaki fark $2-4^{\circ}\text{C}$ arasında değişirken, kabin ön kısmında ise bu değerler $2-20^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Dolayısıyla 10 dakikalık periyot sonucunda kabin arka kısmında ön kısma göre daha düşük sıcaklık farklılıkları elde edilmiştir. Bunun temel nedenleri arasında kabin ön kısmında güneş ışınımı etkisinin arka kısma göre daha fazla olması ve menfez soğutma sıcaklığının düşük değerlerde olması gösterilebilir.



(a)



(b)

ekil 4.118 Kabin menfez düzleminde sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) dağılımı (a) 1200s (b) 1800s

20–30 dakikalık soğutma süreci sonunda menfez düzleminde hesaplamalar sonucu elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında ise her iki periyot sonucunda

aynı noktalarda elde edilen sıcaklık değerleri arasında 1–2°C'lik bir fark olmaktadır. Dolayısıyla 30 dakikalık so utma periyodu sonuna sürekli rejim koşullarına yaklaşıldığı ifade edilebilir.

So utma sürecinde insan vücut yüzeylerinde sabit sıcaklık sınırı artı kullanılarak insan vücudu ve çevresi arasında gerçekleşen 1 mm ile ısı transferi hesaplamalarına ilişkin veriler Çizelge 4.66–4.67'de yer almaktadır.

Çizelge 4.66 So utma sürecinde insan vücudu 1 mm karakteristikleri (t=5 dak)

Yüzeyler	Ç Ortam Sıcaklığı (°C)		Ç Ortam Sıcaklığı (°C)		Ç Ortam Sıcaklığı (°C)	
	39.2		33.6		29.9	
	t=60s		t=120s		t=300s	
	q_r (W/m ²)	T_r (°C)	q_r (W/m ²)	T_r (°C)	q_r (W/m ²)	T_r (°C)
Ba	-50.7	41.3	-31.8	38.5	-21.1	36.9
Boyun	-36.3	39.2	-18.6	36.6	-12.8	35.7
Gövde	-38.7	38.9	-27.6	37.2	-21.0	36.2
Kasık	-12.5	34.9	-7.8	34.2	-6.5	34.0
Sa ayak	-41.2	39.3	-20.9	36.2	-11.2	34.7
Sa bacak	-48.0	40.3	-35.2	38.4	-25.6	36.9
Sa baldır	-44.9	39.8	-23.0	36.5	-11.8	34.8
Sa el	-56.5	42.1	-36.0	39.2	-22.4	37.1
Sa kol	-59.0	41.9	-42.3	39.4	-30.8	37.7
Sa omuz	-71.2	43.6	-50.9	40.7	-37.6	38.7
Sol ayak	-37.3	38.7	-18.4	35.8	-8.4	34.3
Sol bacak	-30.8	37.7	-21.0	36.2	-15.3	35.4
Sol baldır	-37.8	38.8	-18.2	35.8	-7.9	34.2
Sol el	-32.8	38.7	-15.9	36.1	-7.8	34.9
Sol kol	-28.0	37.3	-16.4	35.5	-10.9	34.7
Sol omuz	-39.2	39.0	-23.9	36.7	-15.2	35.4
Ortalama Değer	-41.8	39.4	-26.9	37.2	-18.3	35.9

Çizelge 4.66'da yer alan 1 dakikalık so utma sürecinde hesaplanan 1 mm karakteristikleri incelendiğinde, yüksek 1 mm sıcaklığı değerleri vücut üst kısımlarında baş, sağ omuz, sağ el ve sağ kol yüzeylerinde sırasıyla 41.3°C, 43.6°C, 42.1°C ve 41.9°C olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan yukarıda bahsedilen insan vücudu yüzeylerine ait 1 mm ile ısı transferi sonucu oluşan ısı akısı değerleri incelendiğinde, diğer yüzeylere göre daha yüksek 1 mm akıları elde edildiği ifade edilebilir.

Bu yüzeylerin di er yüzeylere göre daha yüksek ı nım sıcaklı ı de erlerine sahip olmasının temel nedenleri arasında güne ı nımı faktörü ve güne ı nımından daha fazla etkilenen cam, konsol ve direksiyon gibi yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip yüzeylerle insan vücudu yüzeyleri arasında gerçekleş en ısıl etkileimler verilebilir. Bu periyot sonunda insan vücudu ortalama ı nım sıcaklı ı ise 39.4°C de erinde hesaplanmı tır.

So utma süresinin artı na ba lı olarak, 5 dakikalık so utma süreci sonunda insan vücudu için lokal ve ortalama yüzey ı nım akıları de erlerinin azaldı ı meydana gelmekte dolayısıyla yüzey ı nım sıcaklıklarında azalmalar görülmektedir.

Çizelge 4.67 So utma sürecinde insan vücudu ı nım karakteristikleri(t=10-30dak)

Yüzeyler	ç Ortam Sıcaklı ı (°C)		ç Ortam Sıcaklı ı (°C)		ç Ortam Sıcaklı ı (°C)	
	28.7		28.1		27.9	
	t=600s		t=1200s		t=1800s	
	q_r (W/m ²)	T_r (°C)	q_r (W/m ²)	T_r (°C)	q_r (W/m ²)	T_r (°C)
Ba	-17.6	36.4	-17.0	36.3	-15.5	36.1
Boyun	-11.1	35.4	-14.8	36.0	-12.6	35.6
Gövde	-18.2	35.8	-17.2	35.7	-15.5	35.4
Kasık	-5.6	33.9	-5.4	33.8	-4.7	33.7
Sa ayak	-5.0	33.8	-0.8	33.1	-3.6	33.6
Sa bacak	-22.0	36.4	-18.9	35.9	-16.0	35.5
Sa baldır	-6.1	34.0	-3.0	33.5	-4.1	33.6
Sa el	-17.8	36.4	-13.9	35.8	-11.3	35.4
Sa kol	-27.0	37.2	-23.7	36.6	-20.8	36.2
Sa omuz	-33.7	38.2	-32.4	38.0	-29.3	37.5
Sol ayak	-2.6	33.4	0.5	32.9	-0.7	33.1
Sol bacak	-12.5	34.9	-9.6	34.5	-7.3	34.1
Sol baldır	-2.1	33.3	0.8	32.9	0.5	32.9
Sol el	-4.0	34.3	-0.2	33.7	1.5	33.5
Sol kol	-7.7	34.2	-4.8	33.7	-3.4	33.5
Sol omuz	-11.5	34.8	-10.1	34.6	-10.2	34.6
Ortalama De er	-14.6	35.4	-12.3	35.0	-10.9	34.8

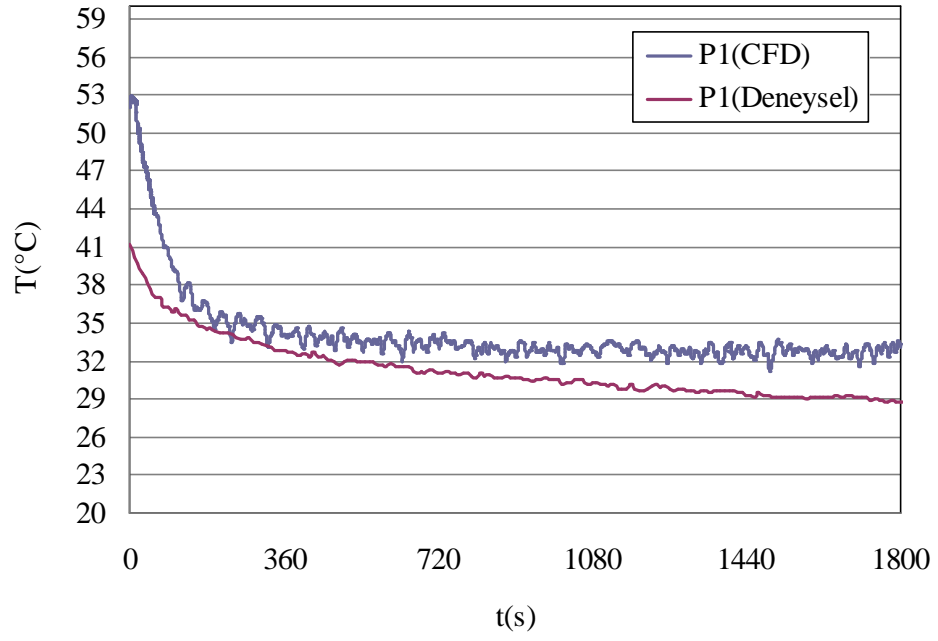
Çizelge 4.67'de yer alan 10,20 ve 30 dakikalık so utma süresi sonunda elde edilen ı nım sıcaklıkları de erlendirildi inde, 10 dakikalık so utma süreci sonunda yüzeylerde hesaplanan ı nım sıcaklıkları 33.3-38.2°C arasında de i irken vücut için

ortalama 1 inim sıcaklığı 35.4°C'dir. Sabit yüzey sıcaklığı sınır artı kullanılarak elde edilen bu değerler, tanımlanan yüzey sıcaklığından (33-33.7°C) yüksek olduğu için 1 inim ısı akıları negatif işaretli olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu yüzeylerde ısı transferinin yönü iç ortamdan yüzeye doğrudur. Aynı zamanda birlikte 20 dakikalık soğutma süreci sonunda yüzeylerde hesaplanan lokal 1 inim akıları giderek azalmakta bazı yüzeylerde lokal 1 inim sıcaklıkları yukarıda bahsedilen sabit yüzey sıcaklığına yaklaştığı için 0 W/m^2 değerine ulaşmaktadır. Ancak vücut için ortalama değer -12.3 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. 30 dakikalık soğutma periyodu sonunda baş, sırt, omuz ve sağ kol yüzeylerinde diğer yüzeylere göre daha yüksek 1 inim akıları dolayısıyla daha yüksek 1 inim sıcaklıkları elde edilmiştir. Bu yüzeylerde elde edilen 1 inim sıcaklıkları sırasıyla 36.1°C, 37.5°C ve 36.2°C iken diğer yüzeylerde hesaplanan 1 inim sıcaklıkları 32.9-35.6°C arasında değişmektedir. Bahsedilen süreç sonunda vücut için ortalama 1 inim sıcaklığı ve 1 inim akısı değerleri sırasıyla 34.8°C ve -10.9 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.66-4.67'de insan vücut yüzeyleri için lokal ve ortalama 1 inim karakteristikleri değerlendirildiğinde genel olarak soğutma sürecinin ilk 15 dakikasında 1 inim ile ısı transferinin diğer zaman dilimlerine kıyasla daha etkili olduğu ve 1 inim karakteristiklerinde hızlı değişimlerin meydana geldiği söylenebilir. Kabin iç ortamında soğutma süresince kabin yüzeylerinde, iç hacim içinde tanımlanan düzlemlerde ve insan vücudu yüzeylerinde meydana gelen hız ve sıcaklık değerlerinin lokal ve ortalama değişimleri günün 1 iniminin etkisi dikkate alınarak yukarıda ifade edilmeye çalışılmıştır.

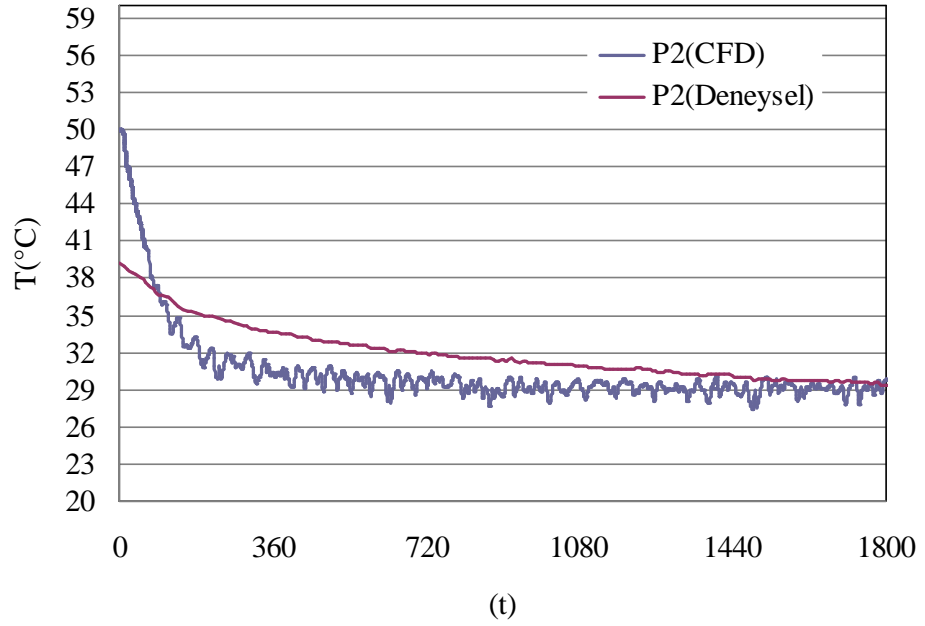
Çizelge 4.73'te ise kabin iç hacmi içinde tanımlanan kritik noktalara ait tanımlamalar yer almaktadır. Tanımlanan bu kritik noktalarda hesaplanan sıcaklık değerleri ile ısı çiftleri ile yapılan deneysel ölçümler sonucunda elde edilen sıcaklık değerlerinin karşılaştırılmasını içeren grafikler ekil 4.119-122'de yer almaktadır.

Çizelge 4.68 Kritik noktalar ve kabin içindeki konumları

Kritik nokta	Konum
P1	Sağ ön diz seviyesi
P2	Sağ ön ayak seviyesi
P3	Sol ön diz seviyesi
P4	Sol ön ayak seviyesi
P5	Sağ arka diz seviyesi
P6	Sağ arka göğüs seviyesi
P7	Sağ arka baş seviyesi
P8	Sol arka diz seviyesi

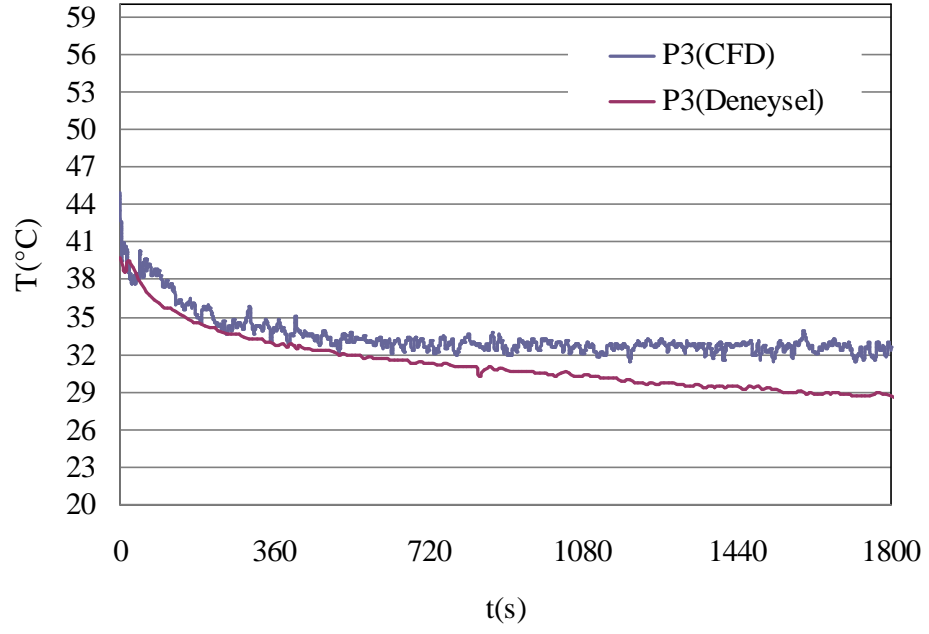


(a)

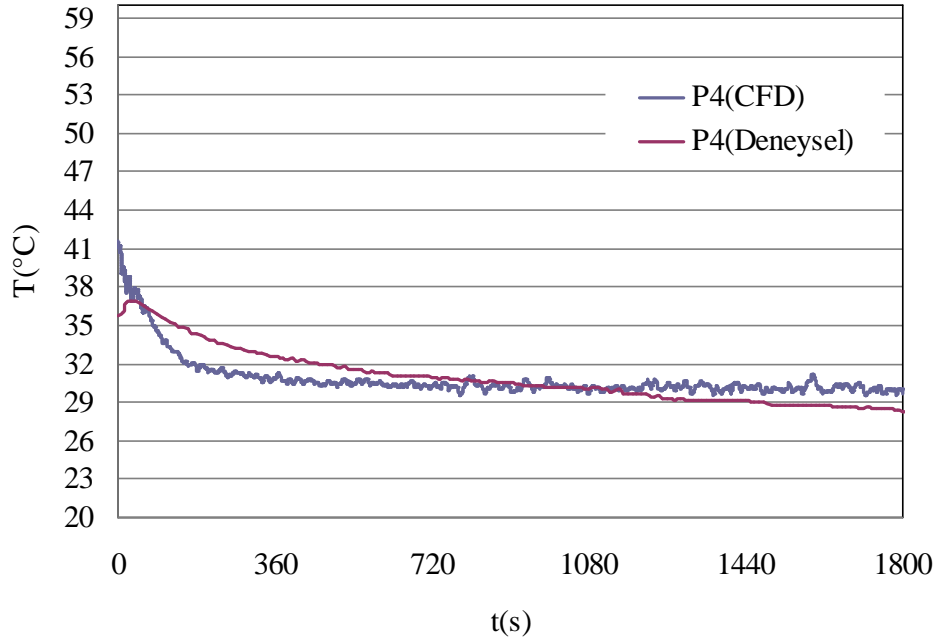


(b)

ekil 4.119 Kritik noktalarda(P1(a), P2(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması

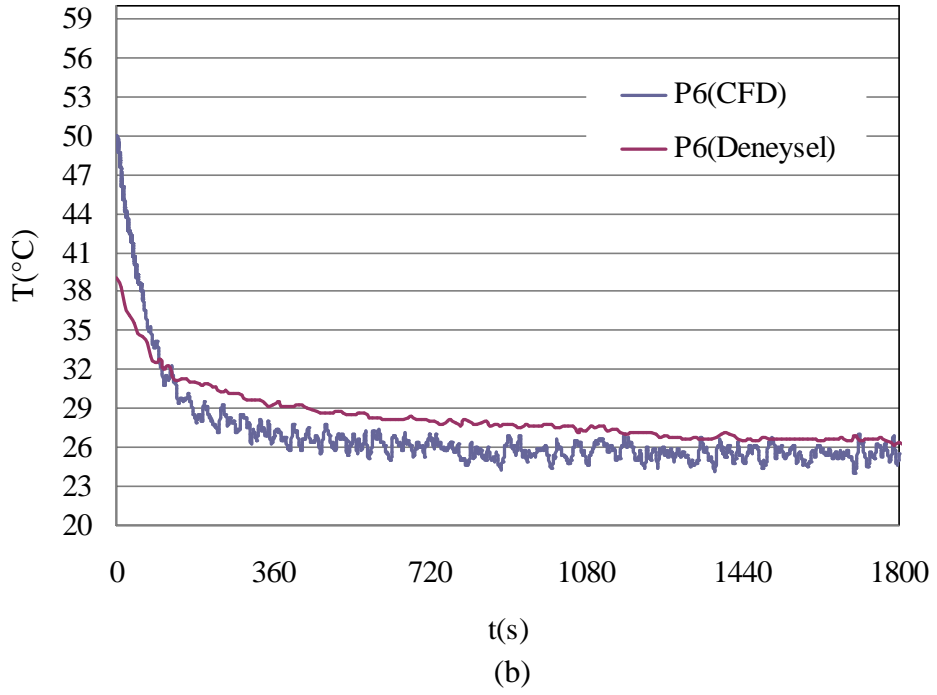
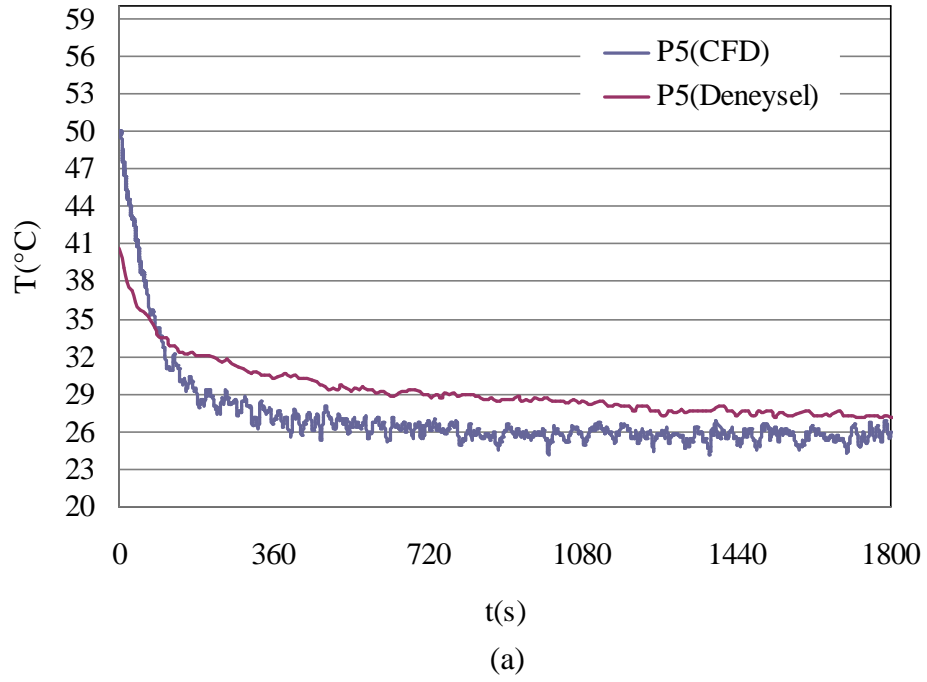


(a)

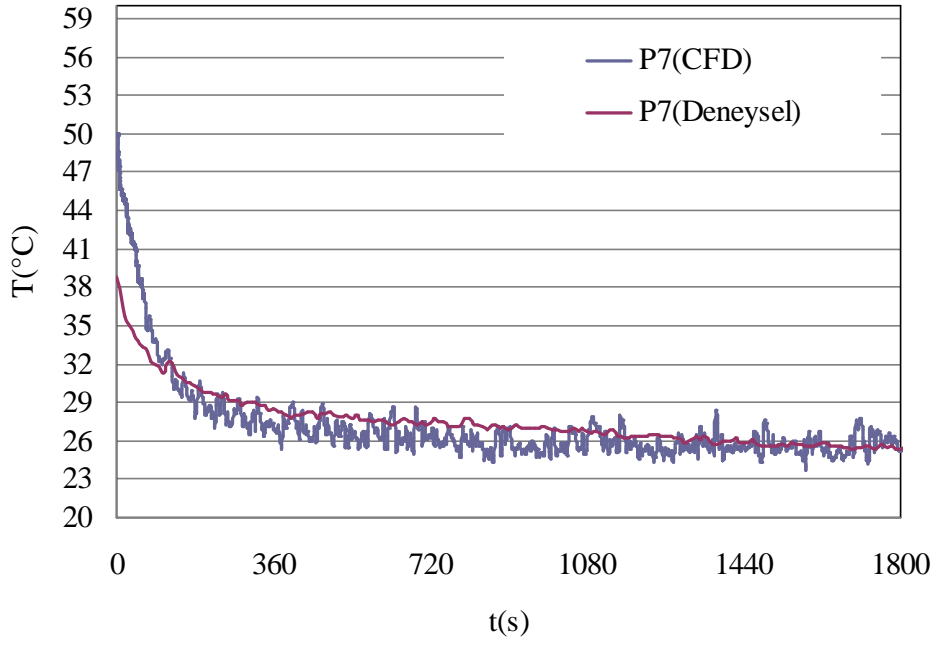


(b)

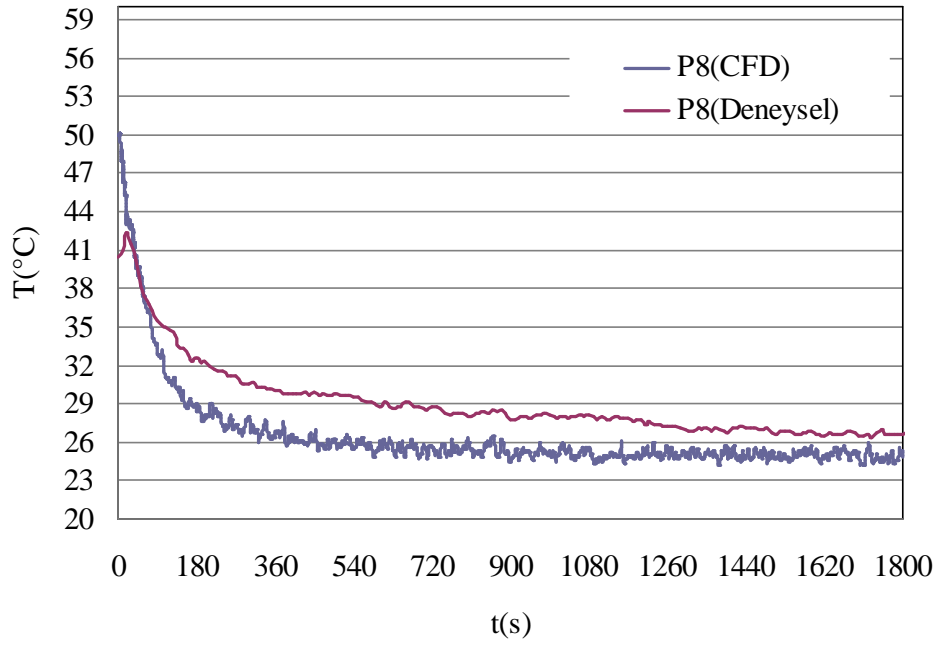
ekil 4.120 Kritik noktalarda(P3(a), P4(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması



ekil 4.121 Kritik noktalarda(P5(a), P6(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması



(a)



(b)

ekil 4.122 Kritik noktalarda(P7(a), P8(b)) hesaplanan sıcaklık de erleri ve deneysel verilerle kar ıla tırılması

ekil 4.119'da Sa ön diz seviyesinde tanımlanan P(1) ve sa ön ayak seviyesinde bulunan P(2) noktaları için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, 30 dakikalık periyot sonucunda P(1) noktasında yaklaşık 32°C sıcaklık değeri hesaplanırken P(2) noktasında ise sıcaklık değeri yaklaşık 29°C elde edilmiştir. 30 dakikalık periyot sonucunda, kabin sa ön kısmında bulunan ayak ve diz seviyeleri için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki fark yaklaşık olarak 3°C iken bu değer P(2) noktası için yaklaşık 1°C 'dir.

ekil 4.120'de yer alan sol ön diz seviyesinde olan P(3) noktası ile sol ön ayak seviyesinde bulunan P(4) noktası için elde edilen sıcaklık değerleri, kabin sa ön kısmında P(1) ve P(2) noktası için elde edilen sıcaklık değerlerine benzer özellikler taşımaktadır. 30 dakikalık so utma süreci sonunda P(3) noktasında hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri arasında yaklaşık 3°C 'lik bir sıcaklık farkı olurken, P(4) noktasında elde edilen bu fark yaklaşık 1°C 'dir.

ekil 4.121'de yer alan sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, sa arka diz ve sa arka gö üs seviyelerinde bulunan P(5) ve P(6) noktaları için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki farkın 30 dakikalık so utma periyodu sonunda yaklaşık 1°C olduğunu ifade edebiliriz. Bu periyot sonunda P(5) ve P(6) noktalarında elde edilen sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 26°C 'dir.

ekil 4.122'de gösterilen sıcaklık değerleri dikkate alındığında, sa arka ba seviyesinde bulunan P(7) ve sol arka diz seviyesinde bulunan P(8) noktaları için 30 dakikalık so utma periyodu sonunda hesaplanan sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 26°C 'dir. Deneysel ölçümler sonucunda P(7) noktasında belirtilen periyot sonunda elde edilen sıcaklık değeri yaklaşık 25°C iken P(8) noktasında elde edilen sıcaklık değeri yaklaşık 27°C 'dir. Dolayısıyla 30 dakikalık so utma süresi sonunda P(7) ve P(8) noktaları için hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki fark ortalama $1-2^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir.

ekil 4.119-122'de gösterilen hesaplamalar sonucu elde edilen sıcaklık değerleri ile deneysel ölçümlerle elde edilen sıcaklık değerleri genel olarak karşılaştırıldığında, hesaplamalar sonucunda elde edilen sıcaklık değerleri ile ölçülen sıcaklık değerleri arasında ortalama $1-3^{\circ}\text{C}$ arasında değişen farklılıklar meydana geldiğini ve hesaplanan sıcaklık değerleri ile ölçümler sonucu oluşan sıcaklık değerlerinin so utma süresince benzer eğilim gösterdiklerini ifade edebiliriz. Güneş ışınımının dikkate alınması bu

çalı mada, hava akı karakteristikleri, iç ortam sıcaklığı, insan vücudu ve çevresi arasında gerçekleşen ısı transferi, menfez soğutma hızı, menfez giriş köşulları, kabin yüzeyleri ile dış ortam arasında taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, kabin yüzeylerinin taşınım ile olan ısı transferi gibi bir çok mekanizmanın aynı anda gerçekleşmesi nedeniyle kabin iç ortamında tanımlanan bu noktalarda hesaplamalar sonucunda tahmin edilen hava sıcaklıklarının makul seviyelerde olduğu ifade edilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Giriş

Bu bölümde, otomobil kabininde hız ve sıcaklık dağılımının üç boyutlu sayısal analizi konusunu içeren daha önce yapılan çalışmaların kısa bir değerlendirilmesi yapılmış ve tez kapsamında elde edilen bulguların özeti verilerek tüm sonuçlar değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, bu konuda ileride teorik veya deneysel çalışacak araştırmacılara da önerilerde bulunulmuştur.

5.2 Sonuçlar

Otomobil kabininde hız ve sıcaklık dağılımının üç boyutlu sayısal analizi için gerçek otomobile ait boyutların kullanılarak otomobil kabin iç ortamının modellenmesi, otomobil kabin iç ortamında insan vücudu ısı karakteristiklerinin ısıtma ve soğutma süreçlerinde değişimlerini incelemek için farklı konumlara getirilebilen bir sanal insan modelinin oluşturulması, ısıtma ve soğutma olmak üzere farklı ortam koşullarında otomobil kabin iç ortamında geçici rejimde üç boyutlu simülasyonların gerçekleştirildiği, otomobil kabini iç ortamında gerçekleştiren 1 inç ile ısı transferi hesaplamaları için kullanılan farklı iki 1 inç modelinin kullanılması ve sonuçların deneysel verilerle karşılaştırıldı, hesaplama zamanları ve sonuçların doğruluğu açısından optimum mesh yapısının elde edilmesi amacıyla farklı çözümler ile üç boyutlu simülasyonların geçici rejim koşullarında yapıldığı, hesaplamaların büyük bir çoğunluğunda elde edilen sayısal değerlerin deneysel ölçümler sonucunda elde edilen verilerle karşılaştırıldı, bu çalışmada varılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

5.2.1 Genel Değerlendirme

- ▲ Ulusal alanda ilk defa otomobil kabini 1:1 ölçekte modellenerek 3 boyutlu HAD yöntemiyle geçici rejimde ısıtma ve soğutma analizlerini içeren bir bilimsel çalışmada gerçekleştirilmiştir.
- ▲ Bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, standart insan vücudu ölçü ve ekline sahip ve farklı konumlara getirilebilen sanal bir insan

modeli ile insan vücudu lokal ve ortalama ısı karakteristliklerini belirlemek için farklı sınır artlarının kullanıldı ı ilk bilimsel çalı madır.

- ▲ Geli tirilen otomobil kabini bilgisayar modeli ile gerçek bir otomobilin farklı iç ortam ko ullarında ısıtma ve so utma sürecinde kabin yüzey sıcaklıkları da ılımı, iç ortam sıcaklı ının de i imi, kabin içinde hız ve nem da ılımı, insan vücudu lokal ve ortalama ısı karakteristlikleri gibi farklı alanlar de erlendirilebilmektedir. Tüm bu parametrelerin birlikte de erlendirildi i, bu konuyla ilgili bilimsel çalı malar uluslararası alanda sınırlı saydadır.
- ▲ Gerçekle tirilen tüm sayısal analizlerin büyük bir kısmında, elde edilen sonuçlar deneysel verilerle do rulanmı tır.
- ▲ Ülkemizde ısı konfor konusunda teorik veya deneysel çalı malar olmasına ra men bu çalı maların, gerçek otomobil kabini ölçüleri kullanılarak ısı konforun üç boyutlu HAD yöntemiyle birlikte de erlendirildi i ilk bilimsel çalı ma olma özelli ine sahiptir.
- ▲ Vücutla kabin iç ortamı arasındaki ısı etkile imin belirlenebilmesi için modellenen 17 kısımdan olu an sanal insan modeli ile vücut bütün olarak ele alınıp ortalama de erler cinsinden ısı karakteristlikler de erlendirilebildi i gibi lokal olarak da de erlendirilebilmekte dolayısıyla lokal konforsuzlukların önemli oldu u otomobil kabin iç ortamında vücut yüzeylerinde giysi dirençleri de dikkate alınarak vücudun lokal yüzeylerinde detaylı sonuçlar elde edilebilmektedir.
- ▲ Vücut yüzeylerinde ısı karakteristliklerin lokal de erlerinin hesaplanmasında, sabit ısı akısı sınır artı kullanarak vücut yüzeylerinde lokal sıcaklık de i imlerinin elde edilebilece i ifade edilebilir. Di er taraftan sabit sıcaklık sınır artı ile vücut yüzeylerinde lokal ısı akısı de erlerinin hesaplanması daha gerçekçi bir yakla ımdır. Her iki sınır artı ile elde edilen sonuçlar benzer e ilimler göstermesine kar ın ilgili parametreler için farklı sayısal de erler edilmi tir. Di er taraftan sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ında bu parametreler birbirine yakın de erler almaktadır. Özellikle tüm vücut için hesaplanan ortalama de erler açısından bakıldı ında bu durum daha net ortaya çıkmaktadır. Otomobil kabini ısı konfor ko ullarını ara tırma sürecinde her iki sınır artı da lokal bölgelerde ilgili parametrelerin de i imini inceleme

açısından önem ta ımaktadır. Geçici rejimde gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda sabit sıcaklık sınır artının, fizyolojik modeller dikkate alındı ında sabit ısı akısı sınır artına göre daha uygun bir sınır artı oldu u ifade edilebilir.

- ▲ Otomobil kabininde hız ve sıcaklık dağılımının üç boyutlu sayısal analizi konusunu içeren daha önce yapılan çalışmalar incelendi inde, genel olarak ulusal alanda bu konu ile ilgili lisansüstü düzeyde gerçekleştirilen hiç bir çalışma bulunmadı ı ve bu konuyla ilgili ilk ara tırmanın gerçekleştirilen bu çalışma oldu u, uluslararası alanda ise 1990'lı yıllardan itibaren belirtilen konu üzerinde bilimsel çalışmaların yoğunla tı ı ve günümüzde artan müşteri talepleri ve buna bağlı olarak gelişen otomobil üreticileri standartları gereksinimleri ile birlikte bilgisayar hesaplama zamanlarındaki iyileştirmeler ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle ulusal ve uluslararası alanda oldukça güncel bir çalışma alanı oldu u görülmü tür. Dolayısıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın daha sonra gerçekleştirilecek olan bilimsel çalışmalara referans olma niteli i ta ımaktadır.
- ▲ Isıtma ve so utma süreci için gerçekleştirilen analizlerin büyük bir kısmında deneysel verilerle karşılaştırma yapılmı ve kabin içinde tanımlanan noktalarda hesaplanan sıcaklık değerleri ile deneysel çalışmalarda aynı noktalar için ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki fark yaklaşık 1–3°C arasındadır.

5.2.2 Isıtma süreci için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen temel sonuçlar:

Isıtma süreci için gerçekleştirilen sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- ▲ Otomobil kabini için gerçekleştirilen ısıtma analizleri sonucunda ilk 15–20 dakikalık ısıtma sürecinde hız ve sıcaklık gibi parametrelerin oldukça hızlı değişimi sonucuna varılmıştır.
- ▲ Otomobil kabini için farklı çözüm alan yapıları ile gerçekleştirilen analizlerden, Hexcore mesh yapısı ile elde edilen sonuçların, tetrahedral mesh yapısı ile elde edilen sonuçlara kıyasla daha gerçekçi ve hassas olduğu ifade edilebilir.
- ▲ Isıtma sürecinde S2S ve DO olmak üzere her iki alan modelinin de kabin iç yüzeyleri arasında alan ile gerçekleştirilen ısı transferi hesaplamalarında kullanılabilir ancak hesaplama zamanları ve hazırlık zamanları açısından iki model arasında farklılıklar olduğu söylenebilir.
- ▲ İnsan vücudu ısı karakteristikleri açısından değerlendirildiğinde vücutla ortam arasında gerçekleştirilen toplam ısı transferinde ısıtma bağıncısında alan ile olan ısı transferinin, alan ile olan ısı transferine göre daha etkili olduğu ancak ısıtma süresine bağlı olarak alan ile olan ısı transferinin toplam ısı transferi üzerindeki etkisini giderek arttırdığı sonucuna varılabilir.
- ▲ 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda kabin yüzeyleri ortalama sıcaklıkları ortam sıcaklığına yakın değerlerde hesaplanmıştır. Bu periyot sonunda tavan yüzeyi hariç alan sınır alan kullanılan kabin dış yüzeylerinde ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda düşük sıcaklıkların hesaplandığı yüzeyler taban yüzeyi ve cam yüzeyleridir. Bahsedilen ısıtma periyodu sonunda taban ve tavan yüzeylerinin ortalama sıcaklık değerleri arasındaki fark yaklaşık 7°C'dir.
- ▲ Isıtma bağıncısında PMV değeri yaklaşık olarak -3 hesaplanmıştır. Dolayısıyla 8.7°C iç ortam sıcaklığına sahip bir otomobil kabini sürücü için soğuk ve konforsuz bir ortamdır. PMV indeksi ısıtma süresince zamanla artmakta ve 10 dakikalık ısıtma periyodunun sonunda -2 ile -1 arasında değer almaktadır. Bu ise sürücü için konfor açısından soğuk (PMV=-2) ve serin (PMV=-1) anlamına

gelmektedir. 15 dakikalık ısıtma periyodunun sonunda ise bu indeks 0 de erine do ru yani nötr ko ullara do ru yakla maktadır. Dolayısıyla gerçekte tirilen analizlerde bu ortam ko ullarında sürücü için konfor artları 20 dakikalık ısıtma periyodunda sa lanmaktadır.

- ▲ Isıtma süreci için gerçekte tirilen hesaplamalar sonucunda kabin orta ve menfez düzleminde hız da ılımı açısından ortalama 10 dakikalık ısıtma periyodu sonunda sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı söylenebilir.
- ▲ Kabin iç ortamında giri menfezlerine yakın bölgelerde yüksek sıcaklık ve hız de erleri elde edilmi tir.
- ▲ Farklı ortam ko ulları için gerçekte tirilen analizler sonucunda, tüm durumlarda kabin içinde tanımlanan noktalar arasında ön koltuklar arası ba seviyesinde ve sol omuz seviyesinde di er noktalara göre daha yüksek sıcaklıklar elde edilmi tir.
- ▲ Genel olarak kabin orta ve menfez düzlemlerinde arka bölgede ön bölgeye göre daha homojen sıcaklık ve hız da ılımı elde edilmi tir.

5.2.3 So utma süreci için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen temel sonuçlar:

So utma süreci için gerçekleştirilen farklı menfezlerin kullanıldığı sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- ▲ Taban yüzeyine yakın bölgelerde sıcaklık daha düşük tavan yüzeyine yakın kısımlarda ise daha yüksektir.
- ▲ İnsan baş yüzeyi üzerinde yüksek derde sayılabilecek sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.
- ▲ İnsan vücudu gövde seviyesinde, en düşük sıcaklık değeri sadece konsol menfezlerinin kullanıldığı durumda elde edilmiştir.
- ▲ Analizler sonucunda menfez seviyesinin üzerinde tavan yüzeyine yakın bir bölgede diğer bölgelere göre daha sıcak bir bölge bulunmaktadır. Bu bölge ızgara tipi menfezlerle konsol menfezlerinin kullanıldığı durumlarda kabin arka kısmında yoğunlaşırken sadece konsol menfezlerinin kullanıldığı durumda ise kabin ön kısmında oluşmaktadır.
- ▲ Tüm durumlarda ilk 15 dakikalık so utma sürecinde sıcaklık parametresinde oldukça hızlı değişimler görülmekte ve 30 dakikalık so utma süreci sonunda gerçekleştirilen hesaplamalar dikkate alındığında sürekli rejim koşullarına yaklaşıldığı ifade edilebilir.
- ▲ Aynı so utma hızına ve so utma yüküne sahip üç durum için manken orta düzleminde elde edilen sıcaklık dağılımları değerlendirildiğinde farklı menfezlerde farklı hız kademeleri kullanılması durumunda kabin iç ortamında sıcaklık dağılımı oldukça dengeli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Dolayısıyla hem ısı konforu hem de enerjinin verimli kullanılması bakımından bu dengeli yapının daha hassas bir şekilde lokal olarak kontrol edilmesi gerektiği sonucuna varılabilir.
- ▲ Konsol menfezlerinin kullanıldığı so utma analizlerinde omuzlarda tahmin ile olan ısı akışı yüksek derde elde edilirken, ızgara tipi menfezlerin kullanıldığı

durumlarda ta nım ile olan ısı akısı ise kol ve el yüzeylerinde yüksek de erlerde elde edilmi tir.

- ▲ Izgara tipi menfezlerin kullanıldı ı analizlerde 5 dakikalık so utma sonucunda vücutla çevresi arasında gerçekleş en toplam ısı akısı de eri negatif de erlerden pozitif de erlere ula mı dolayısıyla bu süreçten itibaren ısı transferinin yönü bazı lokal bölgeler hariç insan vücudundan ortama gerçekleş ti i söylenebilir.
- ▲ Sadece konsol menfezlerinin kullanıldı ı analizler sonucunda, ön cam yüzeyinde hesaplanan ortalama sıcaklık de eri ızgara tipi menfezlerin ve konsol menfezlerin kullanıldı ı durumlarda ön cam yüzeyi için elde edilen ortalama sıcaklık de erinden daha yüksektir.

So utma süreci için gerçekleş tirilen güne ı nımının dikkate alındı ı analizler sonucunda elde edilen temel sonuçlar a ıda maddeler halinde özetlenmi tir.

- ▲ Kabin yüzeyleri için elde edilen ortalama sıcaklık de erleri incelendi inde, genel olarak konsol, yolcu koltu u ve ön cam yüzeyleri gibi güne ı nımından do rudan etkilenen yüzeylerde sıcaklık de erleri, güne ı nımından az etkilenen di er yüzeylere göre daha yüksek hesaplanmı tir
- ▲ 30 dakikalık so utma süreci sonunda en dü ük sıcaklı ın hesaplandı ı yüzey güne ten en az etkilenen sa arka cam yüzeyidir.
- ▲ Deneysel çalı malarda kabin yüzeylerinde ölçülen noktasal sıcaklık de erlerinin, sayısal çalı malardan elde edilen ortalama sıcaklık de erleri ile benzer bir da ılım gösterdi i ifade edilebilir.
- ▲ Literatürde yer alan kabin yüzeyleri sıcaklık da ılımlarını içeren bazı çalı malarda elde edilen sonuçlarla birlikte kabin iç ortam ba langıç sıcaklı ının 50°C alınarak hesaplamaların a ustos ayı içinde saat 14:00 için yapıldı ı, hava akı karakteristikleri, insan vücudu ısıl karakteristikleri ve dı ortam ko ulları gibi bir çok parametrenin hesaplamaları etkiledi i göz önünde bulunduruldu unda, bu çalı mada kabin yüzeylerinde geçici rejimde hesaplanan sıcaklık de erlerinin gerçe e yakın sonuçlar içerdi i ifade edilebilir.
- ▲ Kabin orta düzleminde 20–30 dakikalık so utma sonucunda elde edilen hız da ılımları de erlendirildi inde ise, aynı noktalarda hesaplanan hız de erleri

arasındaki farkın 0.01 m/s seviyesine kadar dü tü ü görülmektedir. Dolayısıyla 20 dakikalık so utma periyodu sonrasında hız da ılımı açısından sürekli rejim ko ullarına yakla ıldı ı ifade edilebilir. Bu periyotta elde edilen hız de erleri dikkate alındı ında hız da ılımının, so utma sürecine ba lı olarak sıcaklık de erlerindeki azalı tan, etkilenmedi ini ifade edebiliriz.

- ▲ Kabin arka kısmında ba langıç ko ullarına göre daha belirgin bir so uma gerçekleşirken kabin ön kısmında ön cam, konsol ve direksiyon gibi yüzeylerin güne ı nımından daha fazla etkilenmesi nedeniyle kabin ön kısmında arka kısma göre daha sıcak bir sıcak bir bölge bulunmaktadır.
- ▲ So utma sürecinde hesaplanan ı nım karakteristikleri incelendi inde, vücut üst kısımlarında ba , sa omuz, sa el ve sa kol yüzeylerinde, güne ı nımı faktörü ve güne ı nımından daha fazla etkilenen cam, konsol ve direksiyon gibi yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip yüzeylerle insan vücutu yüzeyleri arasında gerçekleşen ısı etkile imler nedeniyle yüksek ı nım sıcaklı ı de eri hesaplandı ı ve bu yüzeylerde di er yüzeylere göre daha yüksek ı nım akıları elde edildi i ifade edilebilir.
- ▲ Güne ı nımının dikkate alındı ı analizler sonucunda, hava akı karakteristikleri, iç ortam sıcaklı ı, insan vücutu ve çevresi arasında gerçekleşen ısı transferi, menfez so utma hızı, menfez giri ko ulları, kabin yüzeyleri ile di ortam arasında ta nım ile gerçekleşen ısı transferi, kabin yüzeylerinin ı nım ile olan ısı transferi gibi birçok mekanizmanın kabin iç ortamında birlikte aynı anda gerçekleşmesi nedeniyle, kabin iç ortamında tanımlanan kritik noktalarda hesaplanan sıcaklık de erleri ile aynı noktalar için deneysel çalı malarda ölçülen sıcaklık de erleri arasında olu an farklılıkların kabul edilebilir seviyelerde oldu u ifade edilebilir.

5.3 Öneriler

Gerçekle tirilen sayısal simülasyonlar sadece sürücü ve kabin iç ortamından olu an, test aracına ait bir otomobil kabini bilgisayar modeli için gerçekle tirilmi tir. Otomobil kabininde sürücünün yanında yolcuların da ilave edilmesiyle olu acak otomobil kabini için sayısal simülasyonların ileride yapılacak ara tırmalarda gözönünde bulundurulmalıdır. Bu sayede otomobil kabininde yer alan ki ilerin bireysel ısı karakteristikleri belirlenebilecek ve ki ilerin ısı konforuna ili kin daha detaylı bilgiler elde edilebilecektir.

Gerçekle tirilen bu çalı ma, tek bir otomobil kabine ait simülasyonları içermekte oldu undan ileride farklı otomobil kabinlerine ait sürücü ve yolculardan olu an kabin simülasyonlarının yapılması ve kar ıla tırılması daha sonra yapılacak ara tırmalarda dikkate alınmalıdır.

Kabin içinde menfez konumları sabit tutularak gerçekle tirilmi tir. leride yapılacak olan ara tırmalarda, menfez konumlarına ba lı olarak kabin iç ortamında hız ve sıcaklık da ılımı, vücut yüzeylerine ait ısı karakteristiklerin lokal ve genel de i imi gibi bir çok parametrenin incelenebilece i ara tırmalar yapılarak menfez konumuna ve boyutlarına ba lı ısı konfor optimizasyonlarını içeren çalı malar yapılabilir.

Gelecekte yapılacak çalı malarda, geli tirilen kabin iç ortamı modeli ile farklı malzemelere sahip cam yüzeyleri için buz/bu u çözme performansı gibi daha farklı bir alanda ara tırma yapılarak, ön cam ızgara tipi menfezlerin giri ko ullanlarının optimizasyonu, eklinde çalı malar yapılabilir.

Gerçekle tirilen bu çalı mada otomobil kabini modeli tek bir test aracına ait boyutlar dikkate alınarak olu turulmu ve analizler gerçekle tirilmi tir. leride yapılacak olan çalı malarda otomobil kabini parametrik olarak modellenmesiyle simülasyonlardan elde edilen sonuçların, otomobil tasarım sürecinde kullanılabilmesine olanak sa layan çalı malar yapılabilecektir.

Yukarıda açıklanan gelecekteki çalı malarda yapılması önerilen konular dikkate alındı nda, gerçekle tirilen bu çalı manın bundan sonra ulusal / uluslararası alanda yapılacak olan çalı malara referans olaca ı ve ara tırma yapacak olan akademisyenlere katkıda bulunaca ı kanaatindeyim.

Otomobil Kabin iç ortamında geçici rejim analizleri günümüzde otomobillerde çok daha önem kazanmaktadır. Bunun temel nedeni ısıtma ve so utma sürecinde ilk 5–10 dakikalık süre içerisinde kabin içinde yüksek sıcaklık gradyenlerinin oluşmasıdır. Bu ise hem sürücü ve yolcuların konforu açısından hem de enerjinin verimli kullanılabilmesi açısından negatif bir durum yaratır. Dolayısıyla bahsedilen bu kısa periyodun insan fizyolojisi ve ısı konforu üzerine olan etkilerini inceleyen teorik ve deneysel daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Otomobil içindeki ısı konfor şartlarıyla ilgili bir standardın günümüze kadar henüz geliştirilememiş olması, konu ile ilgili daha çok sayısal ve deneysel çalışmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

6. KAYNAKLAR

- AKYOL, M. ve M. KILIÇ. 2008. Otomobillerde Isıtma Sürecinde Sürücünün Fizyolojik Tepkilerinin Dinamik Olarak Modellenmesi, Uluda Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13(1).
- AMBS, R. 2002. Improved Passenger Thermal Comfort Prediction in the Preprototype Phase by Transient Interior CFD Analysis Including Mannequins, SAE Technical Paper Series 2002-01-0514.
- AROUSI, A. and S. AGHIL. 2000. Characterisation of the flow field in a passenger car model. *Optical Diagnostics in Engineering*, 4 (1): 1-15.
- ASHRAE 1992. Thermal environmental conditions for human occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-1992.
- ASHRAE 1997. Handbook-Fundamentals, chapter 8, Atlanta: American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- BENDELL, E. 2005. Investigation of the Impact of the Trim Package on the Thermal Comfort of a People Carrier, 2nd European Automotive CFD Conference, Frankfurt, Germany.
- BESOMBES, G., C. PETITJEAN, and R. ROBIN. 1997. Preliminary experimental validation of a car cabin model for climate control , SAE Special Publications, 1239, 970530.
- BROHUS, H. and P. NIELSEN. 1996. CFD Models of Persons Evaluated by Full-Scale Wind Channel Experiments, Proceedings of the 5th International conference on air distribution in rooms (ROOMVENT 96), Yokohama, Japan, 137- 144.
- BJØRN, E. 2000. Simulation of human respiration with breathing thermal manikin. Proceedings of the third International Meeting on Thermal Manikin Testing, 3IMM (eds. Nilsson H, Holmér I), *Arbete and Hälsa* 4:78-82.
- BURCH, S.D., J.T. PEARSON and S. RAMADHYANI. 1991(a). Experimental study of passenger thermal comfort in an automobile under severe winter conditioning. *ASHRAE Transactions*, 97: 239-246.
- BUXTON, A., S. ZHUBRIN and H. DAANEN. 2003. The QinetiQ virtual manikin - Incorporation of a thermophysiological model, Proceedings of the 5th International meeting on thermal manikins and modelling, 5I3M, Strasbourg, France.
- CHAKROUN, W. and S. AL-FAHED. 1997. Thermal comfort analysis inside a car, *International journal of Energy Res.* 21(4):327-340.

CHIEN, C.H., J.Y. JANG, Y.H. CHEN and S.C. WU. 2008. 3-D Numerical And Experimental Analysis For Airflow Within A Passenger Compartment, *International Journal of Automotive Technology*, 9(4):437–445.

CHINA, H. and K. YANAGIMOTO. 1987. Prediction of internal air flow of passenger car by three dimensional numerical flow analysis, *JSAE* 41(12):1376-1381

CONCEICAO, E.Z.E., M.C.G. SILVA and D.X. VEGAS. 1997. Airflow around a passenger seated in a bus, *HVAC&R Res.*, 3(4):311-323.

CONCEICAO, E.Z.E., M.C.G. SILVA, J.C.S. ANDRE and D.X. VEGAS. 1999. Thermal behaviour simulation of the passenger compartment of vehicles, *International Journal Of Vehicle Design*, 24(4):372-387.

CURRLE, J. 1997. Numerical simulation of the flow in a passenger compartment and evaluation of the thermal comfort of the occupants. *SAE Special Publications*, 1239, 970529

DAVIS, G.L., E.J. CHIANESE and T. SCOTT. 1972. Computer simulation of automotive air conditioning- components, systems, and vehicles. *SAE Technical Paper Series*, 720077

FANGER, P.O. 1970. *Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, New York.

FIALA D., K. LOMAS and M. STOHRER. 1999. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system, *Journal of Applied Physiology*, 87(5): 1957-1972.

FLUENT 6 2006, User's guide, Lebanon, NH 03766, USA, Fluent Inc.

FUJITA, A., J. KANEMARU, H. NAKAGAWA, Y. OZEKI. 2001. Numerical simulation method to predict the thermal environment inside a car cabin, *JSAE Review* 22:39-47

GAGGE, A., J.A.J. STOLWIJK and Y. NISHI. 1971. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response, *ASHRAE Transactions*, 77:247-257.

GAN, G. 1994. Numerical Method for a full Assessment of Indoor Thermal Comfort, *International journal of indoor air quality and climate*, Munksgaard, 4(3):154-168.

GHIARDI, L. 1999. Occupant Thermal Comfort Evaluation, *Proceedings of SPIE-The International Society of Optical Engineering*, *Proceedings of the 1999 Thermosense XXI*, Orlando ,FL,USA, Apr 6 – 8 , 3700:324-331.

GIVONI, B. and R. GOLDMAN. 1971. Predicting metabolic energy cost, *Journal of Applied Physiology*, 30:429-433.

HAGINO, M. and J. HARA. 1992. Development of a Method for Predicting Comfortable Airflow in the Passenger Compartment, SAE Technical Paper Series, 922131.

HAN, T. 1989. Three-dimensional Navier Stokes simulation for passenger compartment cooling, International Journal of Vehicle Design, 10(2) :175-186.

HAN, T., L. HUANG, S. KELLY, C. HUIZENGA and Z. HUI. 2001. Virtual thermal comfort engineering, SAE 2001 World congress, Detroit, USA, 2001-01-0588.

HAN, T. and L. HUANG. 2005. A Sensitivity Study of Occupant Thermal Comfort in a Cabin Using Virtual Thermal Comfort Engineering, SAE Technical Paper Series, 2005-01-1509

HARA, J., K. FUJITANI and K. KUWAHARA. 1988. Computer simulation of passenger compartment air flow, SAE Technical Paper Series, 881749.

HUIZENGA, C., Z. HUI and E. ARENS. 2001 A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments, Building and Environment, 36: 691-699.

INGERSOLL, J.G., T.G. KALMAN, L.M. MAXWELL and R.J. NIEMIC. 1992. Automobile passenger compartment thermal comfort model-Part II: Human thermal comfort calculation, SAE Technical Paper Series, 920266.

ISO-7730, 1994. Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, ISO—International Organization for Standardization.

JONSSON, J. 2007. Including solar load in CFD analysis of temperature distribution in a car passenger compartment, Master's Thesis, 2007:128 CIV.

KANG, Z. J., H. XUE and T.Y. BONG. 2002. An Occupant-Coupled CFD Model for Local WBGT Analysis in a Ventilated Enclosure. Journal of the Human-Environment System, Society of Human Environment System, 5(2):79-86.

KATAOKA, T. and Y. NAKAMURA. 2001. Prediction of thermal sensation based on simulation of temperature distribution in a vehicle cabin, Heat Transfer Asian Res. 30(3):195-212.

KATO, S. 1996. Numerical analysis of contaminant distribution around a human body. Proceedings of the 5th International conference on air distribution in rooms (ROOMVENT 96), Yokohama, Japan, 2:129-136.

KAYNAKLI, Ö. and M. KILIÇ. 2005. An Investigation of Thermal Comfort Inside an Automobile During the Heating Period, Applied Ergonomics, 36: 301-312.

KIKUCHI S. and K.ITO. 2007. CFD Analysis Of Indoor Environmental Quality In Commuter Train.

KILIÇ, M. and G. SEV LGEN. 2008. Modelling airflow, heat transfer and moisture transport around a standing human body by computational fluid dynamics, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(9):1159-1164.

KILIÇ, M. and G.SEV LGEN. 2009. Evaluation of Heat Transfer Characteristics in an Automobile Cabin with a Virtual Manikin During Heating Period, *Numerical Heat Transfer , Part A: Applications*, 56: 515–539.

KOHRI, I. and T. MOSCHIDA. 2002. Evaluation Method of Thermal Comfort in a Vehicle with a Dispersed Two-Node Model, Part 1 - Development of Dispersed Two-Node Model, *Journal of Human-Environmental System*, 6(1): 19-29.

KOHRI, I. and T. MOSCHIDA. 2003. Evaluation Method of Thermal Comfort in a Vehicle with a Dispersed Two-Node Model. Part 2 - Development of New Evaluation, *Journal of Human-Environmental System*, 6(2):77-91.

KORUKÇU, M.Ö. and M. KILIÇ. 2008. The usage of IR thermography for the temperature measurements inside an automobile cabin, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(8):872-877.

LEE, S.J. and J.H. YOON. 1998. Temperature field measurement of heated ventilation flow in a vehicle interior. *Int. J. Vehicle of Design*, 19 (2): 228-243.

LIN, C., M.A. LELLI, T. HAN, R.J. NIEMIEC and D.C. HAMMOND. 1991. An experimental and computational study of cooling in a simplified GM-10 passenger compartment, *SAE Technical Paper Series*, 910216.

LIN, H., T. HAN and C.A. KOROMILAS. 1992. Effects of HVAC design parameters on passenger thermal comfort , *SAE Technical Paper Series*, 920264.

LOMAX, H., T.H. PULLIAM and D.W. ZINGG. 1999 Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, NASA Ames Research Center, University of Toronto Institute for Aerospace Studies, 4 p.

LOMBARDI, G., M. MAGANZI, F. CANNIZZO and G. SOLINAS. 2007. The Use of CFD to Improve the Thermal Comfort in the Automotive Field, 3rd European Automotive CFD Conference, Frankfurt, Germany.

MANOPULO, N. 2005. An Introduction to Finite Element Methods, JASS 05 Seminar: Interplay of Mathematical Modeling and Numerical Simulation May 4, 2 p.

MAUÉ, J., D. WAHL and J. CURRLE. 1997 Computation of the Thermal Environment in Passenger Compartments and Evaluation of Thermal Comfort. *Proceedings of Comfort in the automotive industry - Recent development and achievements*, Bologna, Italy, 1:147-155.

- MEZRHAB, A., M. BOUZIDI. 2006. Computation of thermal comfort inside a passenger car compartment, *Applied Thermal Engineering* 26:1697–1704
- MCGUFFIN R., BURKE R., HUIZENGA C., HUI Z., VLAHINOS A. and FU G. 2002. Human thermal comfort model and manikin, SAE Technical Paper Series, 2002-01-1955.
- MOFFAT, R.J. 1988. Describing the uncertainties in experimental results. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1: 3-17.
- MURAKAMI, S., S. KATO and J. ZENG. 1997. Flow and Temperature Fields Around Human Body with Various Room Air Distribution: CFD Study on Computational Thermal Manikin - Part I. *ASHRAE Transactions*, 103(part 1):3-15.
- NILSSON, H.O. 2004. Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Methods, p.139.
- NILSSON, H.O. 2004. Evaluation and visualisation of perceived thermal conditions, *European Journal of Applied Physiology* (Springer-Verlag, Germany): Special Issue 5I3M.
- OLSON, R.M. 1962. *Essentials of Engineering Fluid Mechanics*, International Textbook Company, Scranton, Penna.
- OZEKI, Y., J.H. YANG, H. NAGANO, S. KATO, E. NOMURA, M. INOUE and S. KOBAYASHI. 2008. Ventilation Characteristics of Modeled Compact Car Part 1 Airflow velocity measurement with PIV, SAE Technical Paper Series, 2008-01-0732.
- PARSONS, K. 1993. *Human thermal environments*. Taylor & Francis, UK, ISBN 0-7484-0041-9.
- PINIEC, S., F. THELLER, H. DUVEAU and J. DEFFIEUX. 1997. MATHER - Model of local thermal sensations of a car driver, *Proceedings of Comfort in the automotive industry - Recent development and achievements*, Bologna, Italy, 1: 109-117.
- QUALIT, N. and M. MARKOWITZ. 2001. CFD simulation of an indirect ventilation system, *Fluent Conference*
- QUANTEN, S., A. VAN BRECHT and D. BERCKMANS. 2007. Comparison of thermal comfort performance of two different types of road vehicle climate control systems, *Ergonomics* 50(3): 364–378
- ROLLE, D.C. and G.F. ROMITELLI. 1993. Real evaluation of thermal comfort in the car passenger compartment, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 207(3):179-184.
- RUGH, J. 2002. Integrated Numerical Modeling Process for Evaluating Automobile Climate Control Systems, SAE Technical Paper Series 2002-01-1956

RUGH, P.J. and D. BHARATHAN. 2005. Predicting Human Thermal Comfort in Automobiles, Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition, NREL/CP-540-37784.

SEV LGEN, G. and M. KILIÇ. 2010. Transient numerical analysis of airflow and heat transfer in a vehicle cabin during heating period, International journal of vehicle design, 52(1/2/3/4): 144-159.

STOLWIJK, J.A. 1971. Mathematical model of thermoregulation, Physiological and behavioral temperature regulation, Thomas Publisher, Springfield III, 703-721.

TANABE, S. 2002. Numerical Comfort Simulator for Evaluating Thermal Environment, Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Ergonomics, Fukuoka, Japan, 435-438.

TEMMING, J. and W.H. HUCHO. 1979. Passenger-car ventilation for thermal comfort. Society of Automotive Engineers (SAE), No: 790398: 1-8.

TGRID 2006. Tutorial 5, Hexcore Mesh Generation , Fluent Inc, May 25, p.5-1.

VERSTEEG,, H.K. and W. MALALASEKERA. 1995 An Introduction to computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method, p.11.

WALGAMA, C., S. FACKRELL, M. KARIMI, A. FARTAJ and G.W. RANKIN. 2006. Passenger Thermal Comfort in Vehicles - a review, Department of Mechanical, Automotive and Materials Engineering, University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada.

WAN, J.W. and J. VAN DER KOOI. 1991. Influence of the position of supply and exhaust openings on comfort in a passenger vehicle, International Journal of Vehicle Design 12(5-6):588-597

WERNER, J. and P. WEBB. 1993. Six-cylinder model of human thermoregulation for general use on personal computers, Annals of physiological anthropology, 12(3): 123-134.

WISSLER, E 1988. A review of human thermal models. Environmental Ergonomics, Taylor & Francis, 267-285.

WOLFE, N., X. MU, L. HUANG and P. KADLE. 2007. Cooling with Augmented Heated and Cooled Seats, SAE Technical Paper Series, 2007-01-1193.

ZHANG, H., L. DAI, G. XU, Y. LI, W. CHEN, W.Q. TAO. 2009. Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. Part I: Test/numerical model and validation, Applied Thermal Engineering, 29(10):2022-2027.

ZHANG, H., L. DAI, G. XU, Y. LI, W. CHEN, W.Q. TAO. 2009. Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. Part II: Simulation results and discussion, 29(10):2028-2036.

TE EKKÜR

Doktora programı süresince kazandığım tüm bilgi ve birikimin her aamasında büyük eme i olan değerli ö retim üyesi Prof.Dr.Muhsin KILIÇ'a en samimi ve içten dileklerle te ekkür ederim. Aynı zamanda bu süreçte desteklerini esirgemeyen Prof.Dr.Aldulvahap Y İT'e ve Prof.Dr.Erdogan D LAVERO LU'na te ekkürü bir borç bilirim.

Akademik E itim ve Ö retim sürecinde desteklerinden ötürü Prof.Dr.Kamil D LEK'e, Prof.Dr.Recep YAMANKARADEN Z'e ve Prof.Dr.Sedat ÜLKÜ'ye en içten dileklerle te ekkür ederim.

Ayrıca Doktora tez çalı masını 105M262 numaralı proje ile destekleyen TUB TAK kurumuna ve deneysel çalı malarda kullanılmak üzere sa ladıkları test otomobili nedeniyle TOFA TÜRK OTOMOB L FABR KALARI A. .'ye te ekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca gerek maddi gerekse manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen aileme en içten ükranlarımı sunarım.

ÖZGEÇM

1978 yılı ANKARA do umlu olan Gökhan SEV LGEN, 2001 yılında Uluda Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisli i Bölümünden mezun olmu tur. Aynı Üniversitede 2003 yılında Yüksek Lisans ö renimini tamamlayarak Makine Yüksek Mühendisi unvanını almı tır. 2005 yılında Uluda Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisli i Bölümünde ba ladı ı Doktora e itimine devam etmektedir. 2004 yılından itibaren Uluda Üniversitesi Orhangazi Meslek Yüksek Okulunda Makine programında Ö retim Görevlisi olarak çalı malarına devam etmektedir.