AMBULANS KABİNİNDEKİ HAVA KOŞULLARININ SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Candaş YURDAKUL

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AMBULANS KABİNİNDEKİ HAVA KOŞULLARININ SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Candaş YURDAKUL
0000-0003- 2855-0701

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AMBULANS KABİNİNDEKİ HAVA KOŞULLARININ SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Candaş YURDAKUL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Ambulanslar, acil müdahale ve ilk yardım sebebiyle önemlidir. Soğuk iklim şartlarının olduğu bölgelerde aracın kendine ait hava ısıtma sistemi bazen yeterli olmamaktadır. Bu yüzden araca ek olarak ısıtıcı ilavesi yapılmaktadır. Ambulansların hastaya ulaşma süresi önemlidir. Bu sebeple kabin içi termal koşulların kısa sürede uygun olması gerekmektedir. Kabin içerisinde bulunan bir hasta için termal konfor şartları önemlidir. Bu tez çalışmasında, ambulans kabini havasının ısıtılma süreci deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışma yöntemi olarak geçici rejim hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmada uygun ortam koşulları sağlanarak zamana bağlı ölçüm sonuçları kaydedilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonuçları doğrulanmıştır. Elde edilen veriler sonucunda sistemin rejime girme süresi, sıcaklık dağılımı ve termal konfor etkisi değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: ANSYS, Ambulans, Deneysel, HAD, Isıtma, Sıcaklık, Termal

2023, viii + 58 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF AIR CONDITIONS IN AN AMBULANCE CABIN

Candaş YURDAKUL

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Ambulances are important for emergency response and first aid. In regions with cold climatic conditions, the vehicle's own air heating system is sometimes not sufficient. Therefore, a heater is additionally added to the vehicle. The amount of time it takes ambulances to arrive at the patient is crucial. For this reason, the thermal conditions in the cabin must be suitable in a short time. Thermal comfort conditions are important for a patient in the cabin. In this thesis, the heating process of ambulance cabin air is investigated experimentally and numerically. Transient regime computational fluid dynamics method is used as the numerical study method. In the experimental study, suitable ambient conditions were provided and time dependent measurement results were recorded. The results of the experimental study were verified with the results of computational fluid dynamics method analysis. As a result of the data obtained, the system's regime entry time, temperature distribution and thermal comfort effect were evaluated and recommendations were made.

Key words: ANSYS, Ambulance, CFD, Experimental, Heating, Temperature, Thermal

2023, viii + 58 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında emeği geçen danışmanım Prof. Dr. Muhsin KILIÇ başta olmak üzere, yüksek lisans eğitimime katkı sağlayan Doç. Dr. M. Özgün KORUKÇU ve tüm akademisyen hocalarıma, iş faaliyeti gösterdiğim YILKAR ekibine ve desteğini asla esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Candaş YURDAKUL
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……..……i
ABSTRACT…… ii
TEŞEKKÜR…….……iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ……..……....v
ŞEKİLLER DİZİNİ……...……...vi
ÇİZELGELER DİZİNİ……..…….…….……..viii
1. GİRİŞ……1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI…..…….……...……..3
2.1. Ambulanslar Hakkında İstatiksel Yaklaşımlar……..…….3
2.2. Türkiye'de Ambulans Sistemi……....6
2.3. Ambulans Araç Kabin Özellikleri……..……6
2.4. Araç Kabin Havasına Yönelik Yapılan Önemli Çalışmalar…….……..7
2.5. HAD Analizi Çalışmalarında kullanılan Ağ Yapıları……9
2.6. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği…..…….…..11
2.7. Sonlu Hacimler Yöntemi……...14
2.8. Spalart – Allmaras Türbülans Modeli……14
2.9. Deneysel ve Sayısal Çalışma Bütünlüğü……...15
3. MATERYAL ve YÖNTEM……..……...16
3.1. HAD Analizi…….....16
3.1.1. Analiz Geometrisi……..16
3.1.2. Çözüm İçin Ağ Yapısının Oluşturulması……17
3.1.3. Sınır Şartları……...22
3.1.4. Çözüm Metodu……...22
3.1.5. Kabin Havası Başlangıç Sıcaklığı ve Çözüm Parametreleri …..……...23
3.2. Deneysel Çalışma……..24
4. BULGULAR……29
4.1. HAD Analizi ve Deneysel Sonuçlar…….……29
4.2. İki Menfezli Sistem Analizi……...44
4.3. Dört Menfezli Sistem Analizi……48
5. SONUÇ……...……54
KAYNAKLAR…….....55
ÖZGEÇMİŞ…….…58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
T	Sıcaklık (K)
x, y, z	Uzunluk (m)
t	Zaman (s)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
P	Basınç (Pa)
μ	Dinamik viskozite (Pa.s)
u	x yönündeki hız bileşeni (m/s)
v	y yönündeki hız bileşeni (m/s)
w	z yönündeki hız bileşeni (m/s)
U	Hız bileşeni (m/s)
ν	Kinematik viskozite (m^2/s)
ν_T	Girdap viskozitesi (m^2/s)
S_u	x yönündeki dış kuvvet kaynak terimi
S_v	y yönündeki dış kuvvet kaynak terimi
S_w	z yönündeki dış kuvvet kaynak terimi
Pr	Prandtl sayısı
Pr_T	Türbülanslı Prandtl sayısı
S_T	Kaynak terimi
G_ν	Spalart – Allmaras türbülans modeli türbülans viskozitesi gelişme terimi
Y_ν	Spalart – Allmaras türbülans modeli türbülans viskozitesi bozulma terimi
S_ν	Spalart – Allmaras türbülans modeli kaynak terimi
σ_ν , c_{b_2}	Spalart – Allmaras türbülans modeli sabit terimleri

Kısaltmalar	**Açıklama**
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
SHM	Sonlu Hacimler Metodu
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Yıllara göre ambulans sayısı…….	3
Şekil 2.2.	Yıllara göre ambulans başına düşen nüfus sayısı……..	4
Şekil 2.3.	Ambulans kabin hacminin gösterimi…….	7
Şekil 2.4.	Üç boyutlu ağ yapıları……	9
Şekil 2.5.	Çarpıklık (skewness) kriteri spektrumu…….	10
Şekil 2.6.	Ortogonal kalite spektrumu……	10
Şekil 2.7.	En ve boy oranı kriteri spektrumu……..	11
Şekil 3.1.	HAD Analizi için hazırlanan geometri……...	16
Şekil 3.2.	Gerekli yüzeylerin isimlendirmesi……..	17
Şekil 3.3.	Akış hacminin isimlendirilmesi……..……	17
Şekil 3.4.	Ağ boyutu 0,02 m değerinde uygulanan ağ işlemi…….…….	18
Şekil 3.5.	Katmanlı ağ (Inflation) işlemi sonucu oluşan görüntü.……	18
Şekil 3.6.	İnsan vücudu kol kısmından alınan ağ sınır katmanı…….…….	19
Şekil 3.7.	Ağ işlemleri sonucunda elde edilen çarpıklık (skewness) grafiği……	19
Şekil 3.8.	Ağ işlemleri sonucunda elde edilen ortogonal ağ kalitesi grafiği.....	20
Şekil 3.9.	Ağ işlemi sonucunda oluşan görüntü…….....	20
Şekil 3.10.	Isıtıcının bazı bölümleri……	25
Şekil 3.11.	Isıtıcının montajlanmış görseli…….....	26
Şekil 3.12.	Data logger cihazının görseli…….....	26
Şekil 3.13.	Termo kupl görseli…….....	27
Şekil 3.14.	Ambulans Kabinine uygulanan yalıtım işlemi……	27
Şekil 3.15.	Kabin içerisinde sensörün bulunduğu bölge……	28
Şekil 4.1.	HAD analizi sonucu elde edilen yakınsama grafiği…….	29
Şekil 4.2.	Analiz yakınsama değerleri……..…….....	29
Şekil 4.3.	Ağdan bağımsızlık sonuçlarını değerlendirme çizgisi…….....	30
Şekil 4.4.	Ağdan bağımsızlık çalışması grafiği…….	31
Şekil 4.5.	t=0 (s) (Başlangıç) zamanındaki sıcaklık göüntüsü …….....	31
Şekil 4.6.	t=300 (s) zamanındaki sıcaklık göüntüsü..……..	32
Şekil 4.7.	t=600 (s) zamanındaki sıcaklık göüntüsü …….....	32
Şekil 4.8.	t=900 (s) zamanındaki sıcaklık göüntüsü…….....	33
Şekil 4.9.	t=1200 (s) zamanındaki sıcaklık görüntüsü…….....	33
Şekil 4.10.	Sıcaklık değerlerinin referans alındığı noktasal bölüm……	34
Şekil 4.11.	Kabin orta düzlemi hız vektör görüntüsü…….....	34
Şekil 4.12.	Isıtıcıdan çıkan havanın izlediği yol…….....	35
Şekil 4.13.	HAD analizi ve deneysel sonuçlara göre sedye üzeri ısınma süreci ..	36
Şekil 4.14.	Hasta üzerinde belirlenen eksen……..	37
Şekil 4.15.	Hasta üzerindeki havanın sıcaklık değerleri…….....	38
Şekil 4.16.	Hasta üzerine etkiyen hava akımı……..…….……	39
Şekil 4.17.	Hastanın baş hizasına etkiyen hava akımı……..…….	39
Şekil 4.18.	Hastanın baş bölümü için belirlenen eksen …...……..	40
Şekil 4.19.	Hastanın baş bölümü hava sıcaklık değerleri ……..	41
Şekil 4.20.	Isıtıcı havası menfezi kesit görüntüsü……..……..	41
Şekil 4.21.	Hava sıcaklığının sol bölümden hacimsel gösterimi……...	42
Şekil 4.22.	Hava sıcaklığının sağ bölümden hacimsel gösterimi…..…….	43
Şekil 4.23.	Homojen sıcaklık dağılımı göstermeyen bölümler……...	43
Şekil 4.24.	Hacimsel olarak kabin içi hava sıcaklık dağılımı……	44

Şekil 4.25. Kullanılan iki adet sıcak hava menfezinin konumu…… 45
Şekil 4.26. İki menfezli sistemin sol yandan sıcaklık dağılımı……. 46
Şekil 4.27. İki menfezli sistemin sağ yandan sıcaklık dağılımı……. 46
Şekil 4.28. İki menfezli sistemin ön bölümdeki sıcaklık dağılımı…… 47
Şekil 4.29. İki menfezli durumda kabin içi sıcaklık dağılımı…… 47
Şekil 4.30. Kullanılan dört adet sıcak hava menfezinin konumu…….……. 48
Şekil 4.31. Dört menfezli sistemin sol yandan sıcaklık dağılımı…… 49
Şekil 4.32. Dört menfezli sistemin sağ yandan sıcaklık dağılımı…… 49
Şekil 4.33. Dört menfezli durumda kabin içi sıcaklık dağılımı…….…. 50
Şekil 4.34. Menfez durumlarına göre sedye üzeri hava hızı değerleri……..... 50
Şekil 4.35. Bir menfezli sistemin kabin eksenindeki farklı zamanlarda sıcaklık değişimi…….. 51
Şekil 4.36. İki menfezli sistemin kabin eksenindeki farklı zamanlarda sıcaklık değişimi …….……. 52
Şekil 4.37. Dört menfezli sistemin kabin eksenindeki farklı zamanlarda sıcaklık değişimi …… 52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. 2015 Yılında bazı ülkelere göre ambulansların hastaya varış süreleri.. 5
Çizelge 2.2. Ambulans istasyon tipleri özellikleri…….. 6
Çizelge 3.1. Ağdan bağımsızlık çalışması için eleman sayısı değerleri…….…….. 21
Çizelge 3.2. Çözüm metodu……..…… 22
Çizelge 3.3. Çözüm sonuçlarının kaydedilme aralığı…….…… 23
Çizelge 3.4. Çözüm için belirlenen başlangıç kriterleri…… 24
Çizelge 3.5. YH5 ısıtıcısının YH 5 Isıtıcısının sahip olduğu bazı özellikler ……. 24
Çizelge 3.6. Isıtıcının bazı bölümleri…… 25
Çizelge 4.1. Çizgilerin ifade ettiği eleman sayıları..…..…….…… 30
Çizelge 4.2. HAD analizi sonucu elde edilen sedye üzeri hava sıcaklık değeri… 35
Çizelge 4.3. Deneysel sonuçlardan elde edilen sedye üzeri hava sıcaklık değerleri.. 36

1. GİRİŞ

Araçlar için yapılan ısıl konfor çalışmaları, diğer ısıl konfor çalışmalarına nispeten oldukça azdır. Bunun nedeni, kabinin karmaşık geometrisi ve havalandırma sisteminin karmaşıklığıdır. Araç kabininin ikliminde termal geçişler hakimdir. Bunlar, yüksek lokalize hava hızları, daha yüksek bağıl nem seviyeleri, güneş ısısı akısı, iç mekanın ışıma ısı akısı, homojen olmayan yüzeyler, güneşlenme yoğunluğu, güneş ışınımının geliş açıları, araç açıklıklarındaki ısıl kayıplar vb. gibi etmenlerdir. Ancak günümüzde bu konuda yapılan deneysel çalışmalar ve alternatif çözümlemeler, araç içi ısıl konfor şartlarının önceden hesaplanmasına ışık olmaktadır. Özellikle HAD yöntemiyle yapılan çalışmalarda sınır şartları açısından önem taşıyan termal koşulların doğruluk payının artmasına ve sonucun daha doğru simüle edilmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle teknolojinin gelişmesiyle birlikte araç içi ısıl konfor çalışmaları önem kazanmaya başlamıştır.

HAD yöntemiyle yapılan ısıl konfor çalışmalarında sınır şartları insan sağlığı faktörüne göre şekillendirilmektedir. Örneğin, bir minibüs kabininde klima menfezinden gelen soğuk havanın direkt yolcu üzerine gelmesi ya da hiç gelmemesi, konforsuz bir durumdur. Bu durumda şartlar yolculuk yapan insan modeline göre belirlenmelidir.

Araçlar için yapılan ısıl konfor çalışmaları genellikle otobüs kabinleri, minibüs kabinleri, otomobil kabinleri üzerinedir. Ambulans kabinleri üzerine yapılan çalışmalar yok denilecek kadar azdır. Çok karmaşık bir geometriye sahip olan ambulans kabini içerisinde hastanın, hemşirenin ve tıbbi ilaç dolaplarının ısıl durumları incelenmelidir. Ayrıca sıcak hava klimaları, dış ortam sıcaklığının çok düşük olduğu bölgelerde devreye girmekte zorluk yaşamaktadır. Bu sebeple ambulanslar için dizel yakıtla ve dış ortam sıcaklığından bağımsız çalışan bir ısıtıcı önerilmektedir. Sistem çalıştığında sedye üzeri, koltuk üzeri ve dolap bölgelerindeki sıcaklıkların standartlara uygun olması gerekmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ambulans kabini havasının termal konfor etkileri incelenmiştir. HAD analizi yöntemiyle sayısal çözümleme yapılmış ve sedye üzerindeki belirlenen bir noktadan alınan sıcaklık değerleri, deneysel çalışma sonucu elde edilen

sıcaklık değerleri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Kabin havasının sıcaklık dağılımı incelenerek sıcaklığın homojen dağılıp dağılmadığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda sıcaklığın homojen dağılım göstermediği bölgelerdeki sıcaklık farkları belirlenmiştir. Sistemin rejime girme süreleri sayısal ve deneysel olarak belirlenerek yorumlanmıştır. Kabin içi sıcaklık dağılımının homojen olması için menfez konum ve sayıları hakkında önerilerde bulunulmuş ve bu öneriler değerlendirilerek sonuçlandırılmıştır.

Bu tez çalışmasında cevaplanması beklenen sorular:

- Ambulans kabini sıcaklık dağılımı nasıldır?
- Kabin havası sıcaklığı deneysel ve sayısal olarak ne zaman rejime girmiştir?
- Hastanın bulunduğu sedye bölümünde hava akımı ve sıcaklık nasıl gelişmiştir?
- Sıcaklık dağılımının homojen olmama sebepleri nelerden kaynaklıdır?
- Sıcaklık dağılımının homojen olması için menfez konumu ve sayısı nasıl olmalıdır?

Tez çalışmasının 2. Bölümünde ambulanslarla ilgili bazı istatistik verilerine ve kabin ölçü standartlarına değinilmiş, ardından kabin geometrisine yönelik daha önce yapılmış termal konfor analizlerinden bahsedilmiştir. Sayısal çözümleme için bazı kuramsal temellerden bahsedilip deneysel çalışmayla birlikte inceleme yöntemi de 2. Bölümde anlatılmıştır. 3. Bölümde, geometrik modellemenin yapılıp HAD analizi yöntemiyle çözümün oluşturulmasına ve deneysel çalışma detaylarına yer verilmiştir. 4. Bölümde, elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak kabin içi sıcaklık dağılımı ve sistemin rejime girme süreleri yorumlanmıştır. Kabin içi sıcaklık dağılımının homojen olması için önerilerde bulunulmuştur. 5. Bölümde elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir.

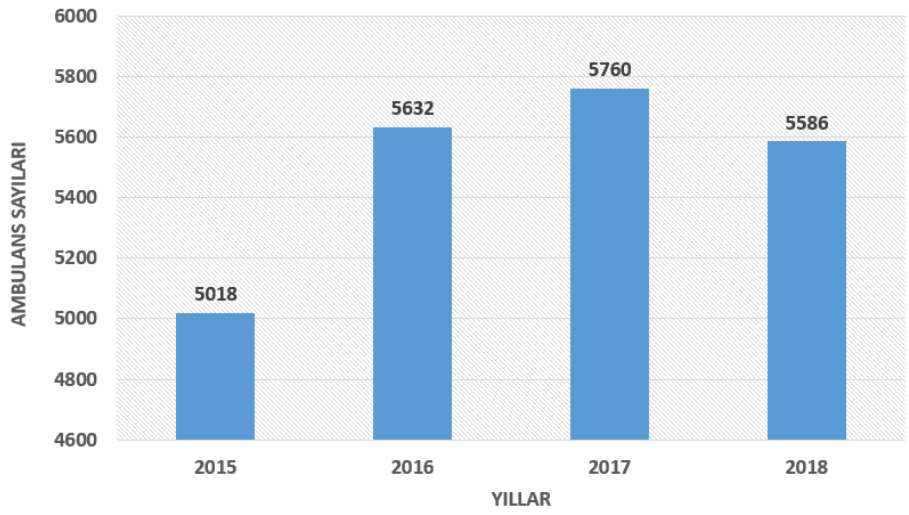
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bölüm 2.1'de ambulanslar hakkında daha önce yapılmış çalışmaların istatiksel incelemeleri, Bölüm 2.2'de Türkiye'de ambulans sistemi, Bölüm 2.3'te ambulans kabin ölçüleri, Bölüm 2.4'te konuya benzer literatür çalışmaları, Bölüm 2.5'te mesh yöntemleri, Bölüm 2.6'te akışkanlar mekaniği kuramları, Bölüm 2.7'da sonlu hacimler yöntemi, Bölüm 2.8'de Spalart – Allmaras türbülans modeli, Bölüm 2.9'da deneysel ve sayısal çalışma bütünlüğü bahsedilmiştir.

2.1. Ambulanslar Hakkında İstatistiksel Yaklaşımlar

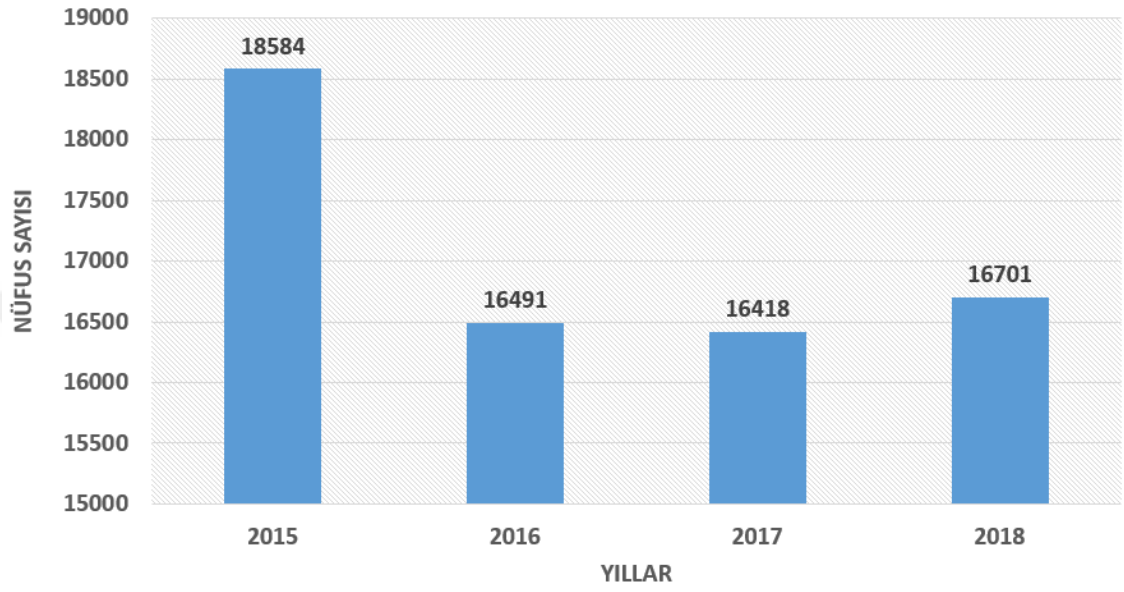
Ambulans hizmetleri yönetmeliğine göre tasarlanmış, tıbbi donanıma sahip, karadan, havadan ve denizden ulaşım sağlayan vasıtalara ambulans denir (T.C. Resmi Gazete, 10 Nisan 2012 R.G. Sayısı 28260).

Sağlık istatistik verilerine göre 2015 yılındaki ambulans sayısı 5018'dir. Bu sayı 2018 yılında 5586'ya ulaşarak artış göstermiştir. Sağlık bilgi sistemi 2018 yıllığından alınan bu veriler Şekil 2.1'de gösterilmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Bilgi Sistemleri Yıllığı, 2018).



Şekil 2.1. Yıllara göre ambulans sayısı

Ambulans hizmetinin artmasıyla birlikte, ambulans başına düşen nüfusun azaldığı gözlemlenmiştir. 2015 yılında ambulans başına düşen nüfus 185 584'tür. 2018 yılında bu değer 16 701 değerine kadar gerilemiştir. Elde edilen veriler Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Aksu, 2020).



Şekil 2.2. Yıllara göre ambulans başına düşen nüfus sayısı

Ambulanslar belirli gruplara ayrılmaktadır. Bunlar kara ambulansları, hava ambulansları ve deniz ambulansı olmak üzere üç gruptan oluşmaktadır. Kara ambulansları içlerinde en çok kullanılan ambulans grubudur. Acil yardım ambulansı, yoğun bakım ambulansı, hasta nakil ambulansı ve özel donanımlı ambulanslar olarak kara ambulansları dört grupta incelenmektedir (T.C. Resmi Gazete, 10 Nisan 2012 R.G. Sayısı 28260).

Kara ambulanslarında personel ve araç sayısı oldukça fazladır. Aynı zamanda hava ve deniz ambulanslarına nazaran, kara ambulanslarına daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır (Yaman, 2015).

Tasarım ve dizayn açısından kara ambulansları hastayı nakil yapmaya yönelik olarak tasarlanırlar. Ambulans içerisinde malzeme ve tıbbi donanım eksiksiz olarak bulunmakta

ve müdahale anında ambulans içerisinden sağlanmaktadır (Şimşek, Günaydın, ve Gündüz, 2019).

Hava ambulansları genellikle çok acil tıbbi müdahale gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. Çalışma ve uçuş izinlerini sivil havacılık yetkili birimlerinden almaktadır. Bu araçlar uçak veya helikopterler olmaktadır (T.C. Resmi Gazete, 10 Nisan 2012 R.G. Sayısı 28260).

Deniz sevklerinde ve çok acil durumlarda deniz ambulansları kullanılmaktadır. Çalışma izinlerini denizcilik ve haberleşme bakanlığından almaktadırlar. Deniz araçları kullanılmaktadır (T.C. Resmi Gazete, 10 Nisan 2012 R.G. Sayısı 28260).

Müdahale süresi ambulans hizmetleri için oldukça önemlidir. Bu sürenin tanımı, acil yardım çağrısından itibaren hastaya ulaşılıp ilk müdahalenin yapıldığı süreyi içermektedir. 2015 yılında Türkiye ve bazı avrupa ülkelerinde ambulansların, hastaya ortalama varış süreleri Çizelge 2.1'de değerlendirilmiştir (Şimşek vd., 2019).

Çizelge 2.1. 2015 Yılında bazı ülkere göre ambulanslarının hastaya varış süreleri (dakika)

Ülke	**1. Seviye Aciliyet**	**2. Seviye Aciliyet**	**3. Seviye Aciliyet**
Türkiye	10	-	-
İspanya	8	20	-
İngiltere	8	8	19
Almanya	5	10	5
Macaristan	15	15	15
Çek Cumhuriyeti	20	20	20
Hollanda	15	30	-

Türkiye'de yaygınlaşan istasyon ağıyla birlikte kırsal kesimlerde ilk 10, şehir içi çağrılarında ise ilk 30 dakika içerisinde ulaşım oranı % 95'tir. Ülke çapında 2016 yılında 4 974 368 vakaya hizmet verilmiştir (Şimşek vd., 2019).

2.2. Türkiye'de Ambulans Sistemi

Son 15 yılda, hastane öncesi acil sağlık hizmeti Türkiye'de büyük gelişme göstermiştir. Kırsal kesimlerde de giderek artış göstererek tüm ülkede yaygın hale gelmiştir. 2002 yılında 481 olan ambulans istasyonu sayısı 2017 yılında 2466'ya ulaşmıştır.

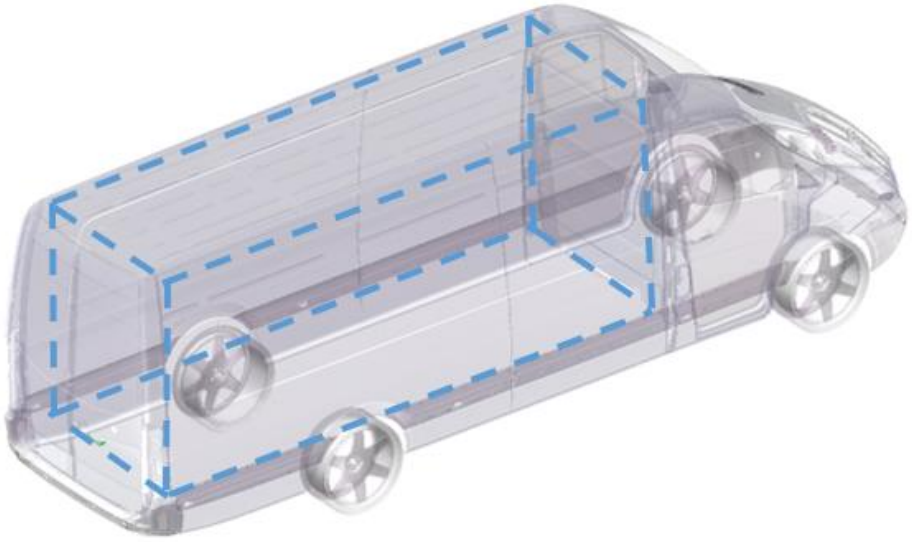
Ambulans istasyonları üç farklı tiptedir. Bunlar A tipi istasyon, B tipi istasyon ve C tipi istasyondur (Şimşek vd., 2019). Bu istasyon tiplerinin özellikleri Çizelge 2.2'de anlatılmıştır.

Çizelge 2.2. Ambulans istasyonu tipleri özellikleri

A tipi istasyon	**B tipi istasyon**	**C tipi istasyon**
Başhekimliğe bağlı olan ve 24 saat boyunca yalnızca ambulans hizmeti veren istasyon tipidir.	Resmi sağlık kuruluşu bünyesine bağlıdır ve hem ambulans hizmeti hem de acil sağlık hizmeti vermektedir.	Günün belirli saatlerinde ambulans hizmeti veren istasyon tipidir.

2.3. Ambulans Araç Kabin Özellikleri

Hasta kabininde, kişilere zarar vermemesi açısından içe doğru girintiler bulunmamalıdır. Konfor açısından mutlaka iklimlendirme sisteminin olması gerekmektedir. Sedyenin bulunduğu konum önemlidir. Yaklaşık 2 metre boyutundaki sedyenin baş tarafında 0,6 metre, ayak ucunda 0,4 metre boşluk bulunmalıdır. Minimum Kabin tavan yüksekliği ise 1,55 metre olmalıdır. Hasta kabini içi uzunluğu en az 3 metre olmalıdır (Ekşi, 2005). Ambulans kabin hacmi Şekil 2.3'te kesikli çizgi ile sınırlandırılarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ambulans kabin hacminin gösterimi

2.4. Araç Kabin Havasına Yönelik Yapılan Önemli Çalışmalar

Korukçu ve ark. (2013), aynı ortam şartlarında araç kabini içerisindeki ısıtma sürecinde farklı hava hızı kullanımını HAD yöntemiyle analiz etmişler ve bu sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırarak elde ettikleri bulgulardan bahsetmişlerdir.

Aronson ve ark. (2000), üfleme menfezlerinden çıkan hava dağılımını, yapmış oldukları model ile karşılaştırmak için parçacık görüntüleme ve hız ölçüm sistemi ile ölçüm yapmışlardır. Çalışma sonucunda sayısal model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının birebir eşleştiğini ortaya koymuşlardır.

Sevilgen ve Kılıç (2012), araç kabini içerisinde sıcaklık parametresini üç eksende HAD analizi yöntemiyle incelemişler ve ısıl konforun araç yakıt sistemi ve zararlı soğutucu gazın çevremize olan etkileri üzerinde rolünün olduğuna değinmişlerdir.

Currle ve Maue (2000), araç içerisindeki yapmış oldukları çalışmada sayısal analiz yöntemiyle menfez boyutlarındaki değişimin ve debi değişiminin konfor şartlarını nasıl değiştirdiğini göstermişlerdir.

Kataoka (2001), değişken akış ve termal koşulların ısıl konfor üzerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışma ile birlikte sayısal bir model geliştirip ısıl konforun öznel olarak ölçülmesi yönünde bir notlandırma sistemi geliştirmiştir.

Sevilgen ve Kılıç (2010), araç kabin içerisindeki hava hızı ve sıcaklık etkilerini HAD analizi yöntemiyle geçici rejimde inceleyerek ısıl konfor sürecinin nasıl geliştiği ve ne gibi etkiler oluşturdukları yönünde çalışmışlardır.

Han ve ark. (2001), ısıl konfor alanındaki yaptıkları çalışmalardan bahsetmişlerdir. Isıl konfor alanındaki yaptıkları çalışmalarda dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsetmişler ve uygunluklarını irdelemişlerdir. Araç dizayn başlangıcında ısıl konfor etmenlerinin hangi durumlar açısından göz önüne alınması gerektiğinin öneminden bahsetmişlerdir.

Kılıç ve Akyol (2009), araç kabini içerisinde sürekli değişen ısıl konfor parametrelerini farklı hava yönlendiriciler ile test ederek sürücü etrafındaki çeşitli noktalardan hız ve sıcaklık verisi almışlardır. Matlab-Simulink ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Roy ve ark. (2001), araç içi ısıl konfor analizi için aracın tüm hacmine ağ oluşturup çalışmak yerine bu hacmin belirli bölgelere ayrılması yöntemiyle çalışma yapıldığında daha kısa bir süre içerisinde sonuç verilerinin alınabileceğini sunmuşlardır. Belirli bölgelere ayrılıp yapılan çalışmanın sonuçlarını, tüm hacim kullanılarak yapılan çalışmanın sonuçları ile karşılaştırıp bu durumu irdelemişlerdir.

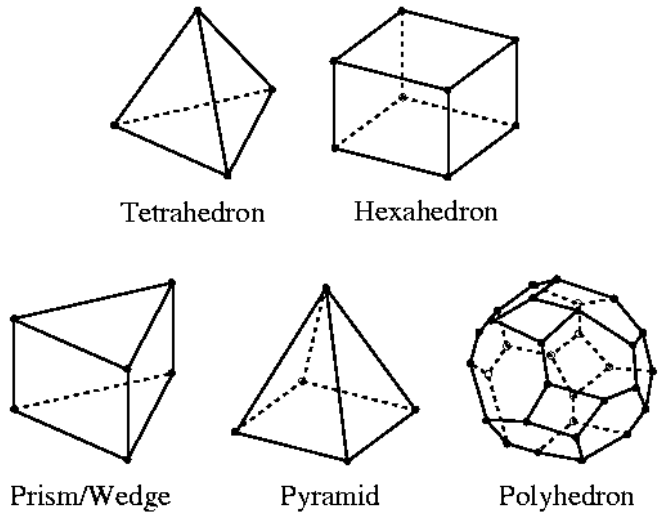
Mhetre N. ve ark. (2019) araç kabininin zamana bağlı olarak maruz kaldığı güneş radyasyon yükünü araştırmış ve bu konu hakkındaki sonuçları sayısal olarak incelemişlerdir.

Reggio ve ark. (2001), çalışmalarında hareket etmekte olan bir aracın cam seviyesinin farklı düzeylerde açık olması durumunda hava akışının araç içerisine nasıl etki ettiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu çalışmanın yanı sıra yine yaptıkları bir çalışmada

camları kapalı olarak inceleyip sayısal sonuçları değerlendirmişlerdir. Bu iki çalışmayı elimine edip araç menfezlerinin konumunu irdelemişlerdir.

2.5. HAD Analizi Çalışmalarında Kullanılan Ağ Yapıları

Ağ yapıları incelendiğinde farklı hücre modelleri içermektedir. Bu modeller iki boyutlu ve üç boyutlu olmasına göre farklılık göstermektedir. İki boyutlu ağ yapıları Triangle ve Quadrangle olarak isimlendirilirken, üç boyutlu ağ yapıları Tetrahedron, Hexahedron, Pyramid, Wedge ve Polyhedron olarak isimlendirilmektedir. Ağ şekilleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Üç boyutlu ağ yapıları

Eleman kalitesi açısından en ideal ağ yapısı hexahedron ağ yapısıdır. Hexahedron bir ağ yapısını bazı modellerde elde etmek oldukça güçtür. Geometrik yüzeylerdeki eğrilik ve yüzey açıları, hexahedron ağ yapının oluşumunu zorlaştırmaktadır (Korkmaz, 2021).

Hexahedron ağ yapısının kullanıldığı modeller oldukça sınırlıdır. Bu ağ yapısının kullanılamadığı durumlarda devreye tetrahedran ağ yapısı girmektedir. Ağ yapısı kalitesi, hexahedron ağ yapısına göre düşüktür ancak bazı geometrik modellerde, tetrahodron ağ yapısı bile kullanılamamaktadır (Peneklioğlu, 2021).

Ağ kalitesi kriterleri genellikle HAD analizlerinde çarpıklık (skewness), ortogonal kalite ve en ve boy oranı (aspect ratio) olarak incelenmektedir.

Çarpıklık kriteri, ideal kare veya üçgen (eşkenar üçgen) modelinden sapma faktörüdür. Olması gereken eleman boyutu ile gerçekte oluşan eleman boyutu farkına bakılmaktadır. Kalite aralığı, ağ hücrelerinin idealdeki durumdan sapma ölçüsü ile ifade edilmektedir. Çarpıklık kriteri spektrumu Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Korkmaz, 2021).

Mükemmel	Çok İyi	İyi	Kabul Edilebilir	Kötü	Kabul Edilemez
0 - 0,25	0,25 - 0,50	0,50 - 0,80	0,80 - 0,94	0,95 - 0,97	0,98 - 1,00

Şekil 2.5. Çarpıklık (skewness) kriteri spektrumu

Ortogonal kalite kriteri, hücre yüzeylerinin orta noktasının merkezine olan uzaklığının, komşu ağ eleman yüzeylerinin orta noktalarında birbirine olan uzaklığa oranıdır. Değerlendirme yapılırken minimum değere bakılmalıdır. Ortogonal kalite spektrumu Şekil 2.6'da verilmiştir (Korkmaz, 2021).

Kabul Edilemez	Kötü	Kabul Edilebilir	İyi	Çok İyi	Mükemmel
0 - 0,001	0,001 - 0,14	0,15 - 0,20	0,20 - 0,69	0,70 - 0,95	0,95 - 1,00

Şekil 2.6. Ortogonal kalite spektrumu

En ve boy oranı (Aspect ratio), ağ hücresinde uzun kenarın kısa kenara olan uzunluk oranıdır. Ağ kalitesinin iyi olması için bu oranın 1'e yaklaşması gerekmektedir. Bu değerin 20'den büyük olması istenilmemektedir (Korkmaz, 2021). Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

1	5-10	20 - ∞
Mükemmel		Kötü

Şekil 2.7. En ve boy oranı kriteri spektrumu (Korkmaz, 2021)

2.6. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği genel olarak akış koşullarını inceleyen ve bunun analizini içeren bir yöntemdir. Bu yöntem içeriğinde temelde enerji, momentum ve süreklilik denklemleri esas alınmıştır. Basınç, hız ve sıcaklık parametreleri bu kapsamda çözümlenir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği günümüzde bir ürün tasarımında, araştırma ve geliştirme süreçlerindeki iyileştirmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılarak termal sistemlerdeki sıcaklık dağılımları, pompa verimliliği, araç aerodinamisi, kabin içerisi konfor şartları gibi akışkanlar mekaniğini içeren her alanda hesaplama yapmak hemen hemen mümkündür.

Son zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalarda hesaplamalı akışkanlar dinamiği teorisi ve bilgisayar algoritmasına dayalı yazılımlardaki geliştirmeler, türbülanslı akışların ve dinamik hareketli sistemlerin sayısal olarak incelenmesine ve bilgisayar ortamında simüle edilmesine olanak göstermiştir. Örneğin bir jet motorunun soğutma sistemleri analizlerle verimli hale getirilerek daha iyi performans sağlaması mümkün kılınmıştır. Günümüzde bu alanda profesyonel bir şekilde faaliyet gösteren ve değişik akış modüllerini çözüme ulaştıran kişilere ulaşmak oldukça kolaydır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, zaman alan akışkanlar mekaniği ile ilgili problemleri, bilgisayar ortamında matrisler oluşturarak daha kısa sürede çözümleyebilmektedir. Sonlu hacimler metodunun kullanılmasıyla ortaya çıkan karmaşık ve uzun zaman alan problemlerin bilgisayar performansına bağlı olarak daha kısa çözümlenmesi ve sonuçlandırılması mümkündür.

Hesaplamalı akışkanlar mekaniği kapsamında kullanılan korunum denklemleri aşağıdaki gibidir.

Kütlenin korunumu:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \tag{2.1}$$

Kütlenin korunum denklemi, kartezyen koordinatlarda üç boyutlu sıkıştırılamaz akış için verilmiştir. Hız bileşenleri ise x yönünde u, y yönünde v ve z yönünde w ile ifade edilmektedir (m/s).

Momentumun korunumu:

x ekseni için,

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial (uu)}{\partial x}+\frac{\partial (vu)}{\partial y}+\frac{\partial (wu)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial u}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial u}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial u}{\partial z}\right]+\left(S_u=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+S_u'\right) \tag{2.2}$$

y ekseni için,

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial (uv)}{\partial x}+\frac{\partial (vv)}{\partial y}+\frac{\partial (wv)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial v}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial v}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial v}{\partial z}\right]+\left(S_v=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+S_v'\right) \tag{2.3}$$

z ekseni için,

$$\frac{\partial w}{\partial t}+\frac{\partial (uw)}{\partial x}+\frac{\partial (vw)}{\partial y}+\frac{\partial (ww)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial w}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial w}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[(\nu+\nu_T)\frac{\partial w}{\partial z}\right]+\left(S_w=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}+S_w'\right) \tag{2.4}$$

Momentumun korunumu denklemi kartezyen koordinatlarda üç boyutlu sıkıştırılamaz türbülanslı akış için verilmiştir. Burada P basınç büyüklüğüdür (Pa). Yoğunluk ρ ile

tanımlanmıştır (kg/m^3). Hız bileşenleri ise x yönünde u, y yönünde v ve z yönünde w ile ifade edilmektedir (m/s). Girdap viskozitesi ν_T , kinematik viskozite ise ν ile gösterilmiştir (m^2/s). Momentum denkleminde S_u x yönünde, S_v y yönünde, S_w z yönünde birim hacime etkiyen dış kuvvetlerin kaynak terimleridir.

Enerjinin korunumu:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial (uT)}{\partial x}+\frac{\partial (vT)}{\partial y}+\frac{\partial (wT)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\frac{\nu}{Pr}+\frac{\nu_T}{Pr_T}\right)\frac{\partial T}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\frac{\nu}{Pr}+\frac{\nu_T}{Pr_T}\right)\frac{\partial T}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\frac{\nu}{Pr}+\frac{\nu_T}{Pr_T}\right)\frac{\partial T}{\partial z}\right]+S_T \qquad (2.5)$$

Bu denklemde girdap viskozitesi ν_T , kinematik viskozite ise ν ile gösterilmiştir (m^2/s). Sıcaklık T ile ifade edilmektedir (K). Hız bileşenleri ise x yönünde u, y yönünde v ve z yönünde w ile ifade edilmektedir (m/s). Prandtl sayısı Pr , türbülanslı Prandtl sayısı ise Pr_T ile gösterilmiştir. Hacimsel kaynak terimi enerji denklemi için S_T ile belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında yapılan HAD analizi çalışmasında, kabin içerisindeki akışkan yoğunluğu neredeyse sabit kaldığı için sıkıştırılamaz akış için korunum denklemleri verilmiştir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yönteminin dört çözüm aşaması bulunmaktadır.

Ön işlem: Geometrik modelin oluşturulması ve sonrasında gerçekleştirilen mesh işlemini kapsar. Çözüm işlemine kadar olan süreci kapsamaktadır.

Çözüm: Probleme uygun sınır şartlarının belirlenmesi ve sonrasında bu kapsamda gerçekleştirilen çözüm işlemi aşamasıdır.

Son İşlem: Çözüm sonucu elde edilen verilerin incelenmesi ve yorumlanması aşamasıdır.

Deneysel Doğrulama: Sonuçların yeterli hassasiyette olduğunu doğrulamak için deneysel sonuçlarla karşılaştırılıp yorumlandığı aşamadır.

2.7. Sonlu Hacimler Yöntemi

Sonlu hacimler metodu (SHM), bir veya birden fazla büyüklüğün korunmasını ifade eden kısmi diferansiyel denklem sistemlerinin yaklaştırılması için kullanılan bir ayrıklaştırma metodudur. Sonlu hacimler yöntemi, kısmi diferansiyel denklemlerin cebirsel denklemler ile çözülmesidir. Bu kısmi diferansiyel denklemlere genellikle koruma kanunları denir; bu açıdan farklı niteliklere sahip olabilirler.

Fiziksel bakış açısından sonlu hacimler metodu, kontrol hacimleri aracılığıyla akıların dengelenmesinde Euler kavramını kullanır. Sonlu farklar yöntemine oldukça benzerdir.

2.8. Spalart – Allmaras Türbülans Modeli

Spalart – Allmaras türbülans modeli, kinematik girdap viskozitesini çözen tek denklemli bir türbülans modelidir. Ters basınç gradyanlarına maruz kalan sınır tabaka çözümlemelerinde, Spalart – Allmaras türbülans modeli iyi sonuçlar vermektedir (Wilcox, 2006). Taşınım denklemi, bu modelin içerisinde ν_T değişkenini bulundurmaktadır.

Spalart – Allmaras türbülans modeli denklemi Eşitlik 2.6'da verilmiştir.

$$\rho \frac{\partial \nu_T}{\partial t} + \rho \mathrm{U}.\nabla \nu_T = G_\nu + \frac{1}{\sigma_\nu}\left[\nabla\{(\mu + \rho\nu_T)\nabla\nu_T\} + c_{b_2}\rho\left\{\left(\frac{\partial \nu_T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \nu_T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \nu_T}{\partial z}\right)^2\right\}\right] + S_\nu - Y_\nu \quad (2.6)$$

Burada ν_T girdap viskozitesini, G_ν türbülans viskozitesinin gelişme terimini ifade etmektedir. Duvarın blokaj etkisiyle duvarın yakınında meydana gelen türbülans viskozitesinin bozulmasını ise Y_ν belirtmektedir. Spalart – Allmaras türbülans modeli denkleminde kaynak terimi S_ν ile ifade edilmiştir. Hız bileşeni denklem içerisinde U ile ifade gösterilmektedir (m/s). Dinamik viskozite μ ile ifade edilmiştir (Pa.s). Denklemde varsayılan sabit değerler ise σ_ν = 2/3, ve c_{b_2}= 0,622 şeklindedir (Spalart ve Allmaras, 1992).

2.9. Deneysel ve Sayısal Çalışma Bütünlüğü

Genellikle, mühendislik sistemlerinin yaklaşımında sayısal ve deneysel olarak iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Deneysel çalışma için bir düzenin dizayn edilmesi gerekirken sayısal çalışmada diferansiyel denklem modellerinin çözümü gereklidir.

Yapılan bu iki çalışma sonucunda deneysel ve sayısal verilerin birbiri ile örtüşmesi durumunda yöntemin doğruluğu ortaya konulmaktadır. Maliyet kriteri değerlendirmeye alındığında bilgisayar destekli modellemeler daha ucuz bir yoldur (Kaya, 2013).

HAD yöntemi, karmaşık mühendislik modellerinin matematiksel modeller kullanılarak çözülmesi işlemidir. Geçmişte bu alanda yapılan çözümlemeler genellikle deneysel çalışmalardır. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte HAD analizi yöntemi hız kazanarak deneysel çalışmaları doğrulayıcı bir nitelik kazanmaktadır (Sevilgen, 2010). Böylelikle deneysel ve sayısal çalışmaların birlikte yürütülmesi önemlidir.

Tasarlanan CAD modelin oluşturulması sonrasında HAD analizi ile bilgisayar üzerinde hesaplama yapılır. Elde edilen sonuçların uygunluğu hedeflenen sonuca göre değerlendirilir. Hedeflenen sonuçların elde edilmemesi durumunda tekrardan CAD modeli tasarlanarak güncellenir. Hedeflenen sonuçların uygun olması durumunda deneysel çalışma yapılarak HAD analizi sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak birbiri ile değerlendirilmelidir. Değerlendirilme sonrası, hedeflenen sonuçlara farklı yöntemlerle ulaşmak mümkün olabildiği için farklı yöntemler uygulanıp sonuçlar değerlendirilebilir. Bu durum için CAD tasarımı güncellenerek farklı hesaplamalar yapılabilir. Deneysel ve sayısal çalışma şeması, hedeflenen sonuca ulaşmak için zaman kazandıran bir yöntemdir. Sadece deneysel çalışma yapıldığında birçok deneysel senaryonun uygulanması oldukça zaman alabilir. HAD analizi yöntemiyle birlikte uygulandığında sonuca daha doğru yaklaşıldığı gibi aynı zamanda olabilecek problemlerin daha kısa sürede saptanması adına bize bir öngörü durumu oluşturmaktadır.

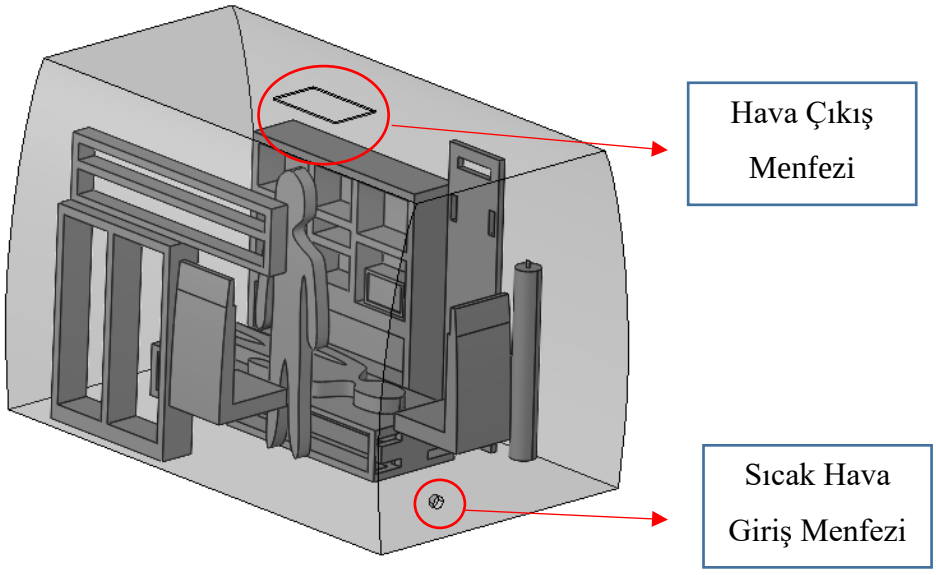
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bölüm 3.1'de HAD analizi çözümünden ve sınır şartlarından, Bölüm 3.2'de, yapılan deneysel çalışma yönteminden bahsedilmiştir.

3.1. HAD Analizi

3.1.1. Analiz Geometrisi

Ambulans kabininin HAD analizi için Mercedes Sprinter 417 modelinin kabin geometri sınırları referans alınmıştır. Modelleme Solidworks programında yapılmıştır. Modelleme yapılırken dikkat edilen hususlardan birisi analiz edilecek geometrinin ağ işlemi için uygunluğudur. Çok küçük boyutlardaki geometrik çıkıntılar (Serum hortumu, hemşire terliği, sedye örtüsü, ilaç şişeleri, elektronik düğmeler, insan yüz detayları vb. gibi) ağ sayısını gereğinden fazla arttırdığı için ve önem arz etmediği için modellenmemiştir. Modellenen parametreler tıbbi dolaplar, insan vücutları, koltuklar, tıbbi tüp, sedyeler, tıbbi monitör, sıcak hava giriş menfezi, havalandırma menfezi ve kabin şeklindedir. Kabin boyutları x, y ve z eksenlerinde x: 3000 mm, y:1767 mm, z: 2000 mm boyutlarındadır. Kabin uzunluğu x, kabin genişliği y ve kabin yüksekliği z eksenindedir.

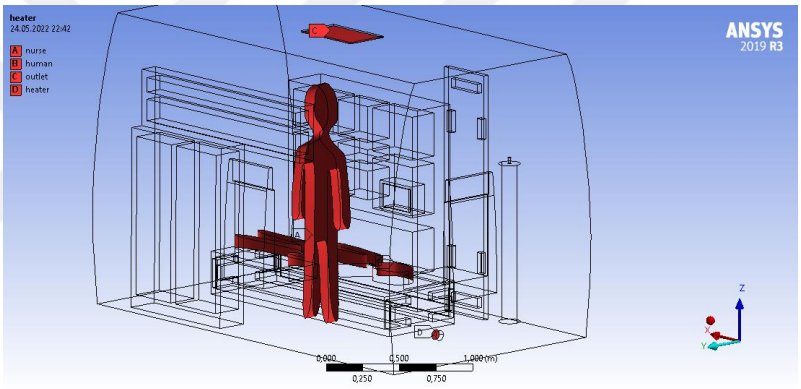


Şekil 3.1. HAD Analizi için hazırlanan geometri

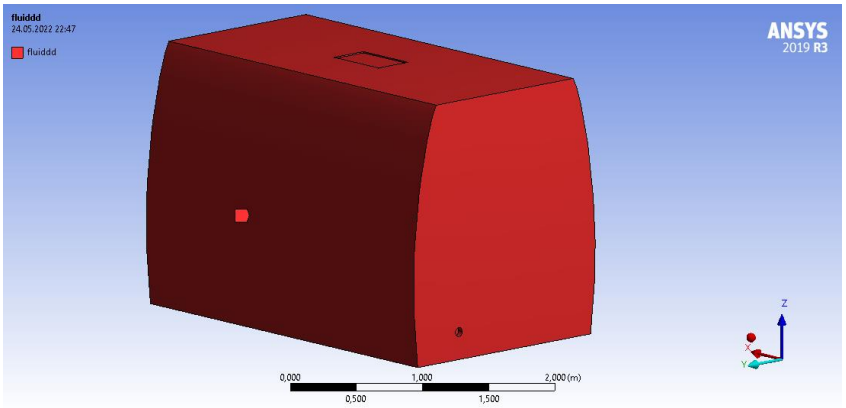
Ambulans kabininin tasarımı tamamlandıktan sonra analiz edilmek üzere Ansys Fluent yazılımına dahil edildi. Geometri bölümünde, katı modeller dışında kalacak olan hava akışkanı üzerinde çözüm yapılacağı için katı modeller ile akışkan ayrımı gerçekleştirilerek akışkan hacmi oluşturuldu.

3.1.2. Çözüm İçin Ağ Yapısının Oluşturulması

Geometri işlemi tamamlandıktan sonra ağ işlemine geçildi. Bu bölümde öncelikle isimlendirmeler yapıldı. Böylelikle, ağ işlemindeki kritik bölgelerin seçilmesi kolaylaştırıldı. Ayrıca sınır şartlarının tanımlanmasında da bu durum gereklidir. Tanımlanan isimlendirmeler Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

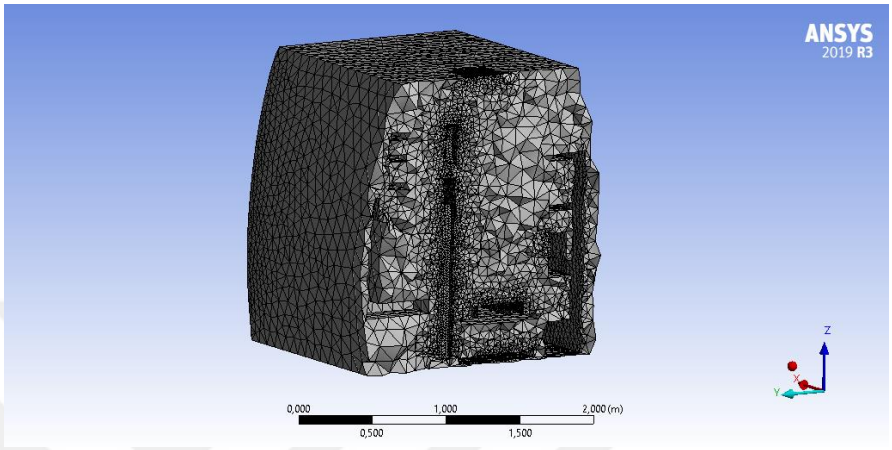


Şekil 3.2. Gerekli yüzeylerin isimlendirilmesi



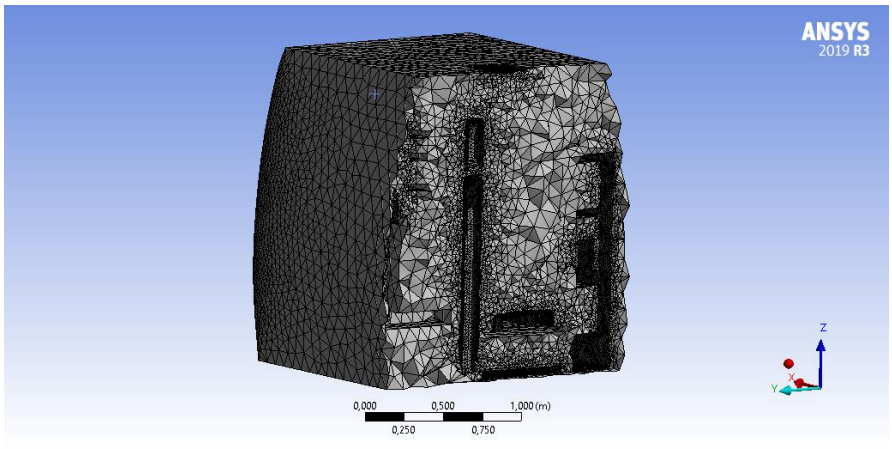
Şekil 3.3. Akış hacminin isimlendirilmesi

Ağ kalitesi ve sayısı, analiz sonuçları için oldukça önemlidir. Bu sebeple ağ boyutlarının akışın çözüm hassasiyetine uygun olması ve aynı zamanda geometrik sınırlarda sınır tabaka akışının daha iyi çözümlenmesi için katmanlı ağ (inflation) işlemlerinin yapılması öngörülmüştür. Uygulanan ağ boyutu 0,02 m değerindedir (Şekil 3.4).

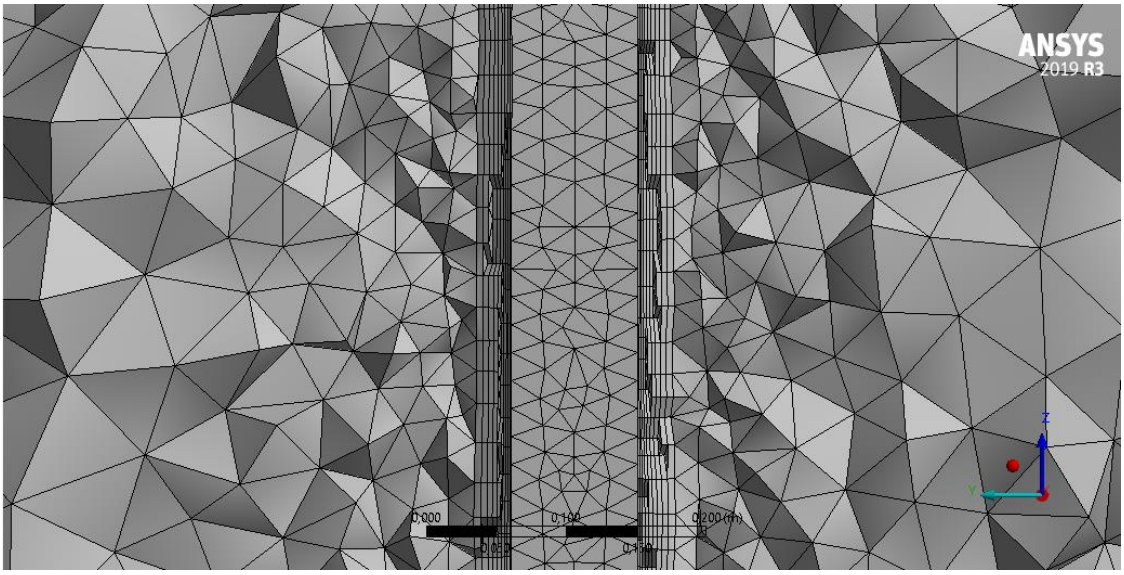


Şekil 3.4. Ağ boyutu 0,02 m değerinde uygulanan ağ işlemi

Sınır tabaka akışının daha iyi çözümlenmesi ve akış ayrılmalarındaki hassasiyet için yüzeylere katmanlı ağ (inflation) tanımlaması yapılmıştır. Bu tanımlama sonucunda sınır bölgelerde ağ daha düzenli bir yapıya bürünmüştür. Böylelikle ağ işlemi tamamlanmıştır. Çözümleme için oluşturulan ağ yapısının görüntüsü Şekil 3.5'te ve Şekil 3.6'da verilmiştir.

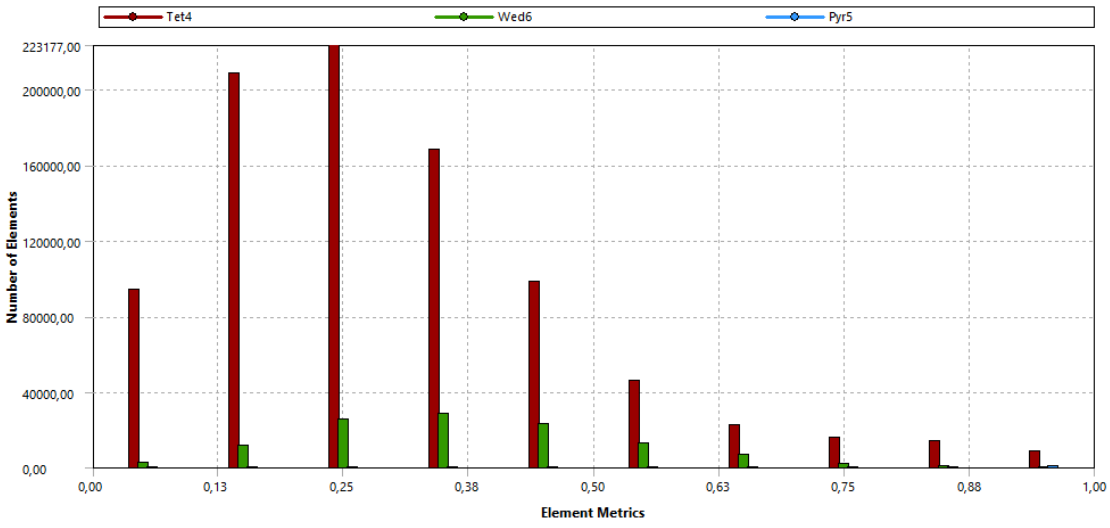


Şekil 3.5. Katmanlı ağ (inflation) işlemi sonucu oluşan görüntü

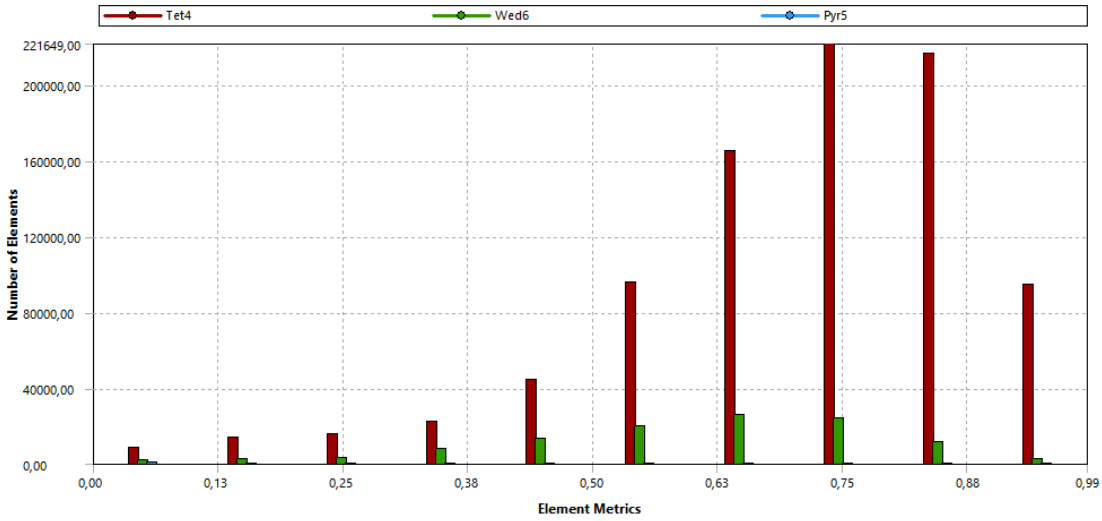


Şekil 3.6. İnsan vücudu kol kısmından alınan ağ sınır katmanı

Ağ kalitesinin grafiği bize ağ yapısının düzgünlüğü hakkında bilgi vermektedir. Bu kriter için iki grafik incelemesi gerçekleştirilmiştir. Bunlar çarpıklık (skewness) ve ortogonal ağ kalitesi grafikleridir. Şekil 3.7'de çarpıklık (skewness) grafiği gösterilmiştir. Şekil 3.8'de ortogonal ağ kalitesi grafiği gösterilmiştir.

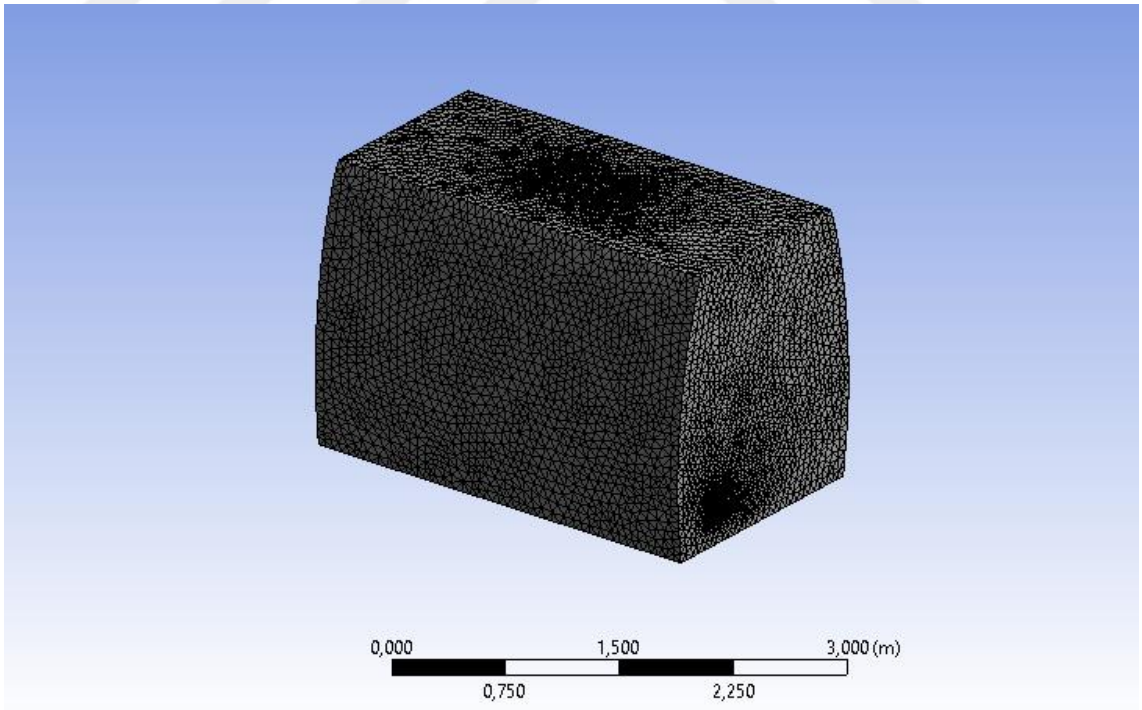


Şekil 3.7. Ağ işlemleri sonucunda elde edilen çarpıklık (skewness) grafiği



Şekil 3.8. Ağ işlemleri sonucunda elde edilen ortogonal ağ kalitesi grafiği

Ağ kalitesi için çarpıklık ve ortogonal mesh kalitesi grafiklerini incelediğimizde çarpıklık değer aralığının 0,13 – 0,38 aralığında yükseliş gösterdiği, ortogonal ağ kalitesi değer aralığının ise 0,63 – 0,88 aralığında yükseliş gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.9. Ağ işlemi sonucunda oluşan görüntü

Ağ sayısının çok az olması, analiz çözümlerinde hassasiyeti düşüren bir etmenken çok fazla olması ise hassasiyeti gereksiz arttıran ve bilgisayarın gereksiz çalışmasını sağlayan bir etmendir. Bu sebeple ağ sayısında bir optimizasyon gerekli kılınmaktadır. Bu optimizasyon belirli ağ sayısı artışlarıyla sağlanmış analiz çözümlerindeki sonuçların hassasiyetinin yakınsanmasıyla alakalı bir durumdur.

Sadece ağ sayısının belirli aralıklarla artmış olması ağdan bağımsızlık çalışmasını sağlamak için yeterli bir durum değildir. Burada önemlilik arz eden faktör, ağ yapısını çok değiştirmeden mesh boyutlarındaki değişimin sağlanmasıdır.

Örneğin bir ağdan bağımsızlık çalışmasında bir modülün ağ sayısındaki artışını sadece katmanlı ağ yüksekliği üzerinden sağlayıp diğer modülün ağ sayısındaki artışını sadece belirli yüzeylerden sağlandığında, durum iki farklı kombinasyonun sonucu haline gelmektedir ve farklı bölgelerden alınan karşılaştırma değerlerinin doğruluğunu ortadan kaldırmaktadır. Bu sebeple ağ arttırılış ve azalışları genel ağ boyutu skalasından sağlanmalıdır. Böylelikle ağdan bağımsızlık modüllerinin her birisinde ağ yapısı sabit kalıp, boyutları değiştirilmiş olunacaktır.

Bu çalışmada yapılan ağdan bağımsızlık faaliyetinde belirlenen ağ sayıları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ağdan bağımsızlık çalışması için eleman sayısı değerleri

Çalışma Numarası	**Ağ Boyutu (m)**	**Eleman Sayısı**
1.	0,09	482 039
2.	0,05	524 520
3.	0,02	615 684
4.	0,015	824 815
5.	0,01	918 512

3.1.3. Sınır Şartları

Sınır şartlarının belirlenmesinde ilk olarak enerji denkleminin çözüme dahil edilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çünkü yapılmak istenilen HAD analizinde, sıcaklık değişimi incelenecektir. Türbülans modeli, Spalart–Allmaras modelidir. Akışkan olarak hava akışı seçilmiştir.

Sınır şartları tanımlamasında hemşire ve yatan hastanın vücut sıcaklığı tanımlanmıştır. Burada hemşire ve yatan hastanın vücut sıcaklığı 309 K olarak belirlenmiştir. Dış ortam sıcaklığı 278 K olduğu için, ambulans kabin kenarları 278 K değerinde tanımlanmıştır.

Ambulans kabininin içerisine ısıtıcı ile sıcak hava girişi sağlanmaktadır. Bu durumda sınır şartı olarak tanımlanacak parametreler hem hava hızı hem de sıcaklık parametresi olarak belirlenmiştir. Hava hızı 5 m/s'dir ve üflenen havanın sıcaklığı 370 K alınmıştır.

3.1.4. Çözüm Metodu

HAD analizi için tanımlanan çözüm metotları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Çözümlemede seçilen algoritma SIMPLE algoritmasıdır. Bu algoritma, Navier - Stokes denklemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Fidan, 2022).

Çizelge 3.2. Çözüm metodu

Parametre	**Metot**
Basınç – Hız Bileşeni	SIMPLE Çözüm Metodu
Basınç	İkinci Dereceden Çözüm Metodu
Momentum	İkinci Dereceden Upwind Çözüm Metodu
Değiştirilmiş Türbülanslı Viskozite	Birinci Dereceden Upwind Çözüm Metodu
Enerji	İkinci Dereceden Upwind Çözüm Metodu
Geçici Rejim Formülasyonu	Birinci Dereceden Kapalı Çözüm Metodu

Çözüm sonuçlarının kaydedilmesi için belirlenen kriterler Çizelge 3.3'te verilmiştir. Sonuçlar 300 saniyede bir olacak şekilde kaydedilmiştir.

Çizelge 3.3. Çözüm sonuçlarının kaydedilme aralığı

Parametre	**Kriter**
Veri Dosyası Kaydedilme Periyodu (s)	300
Kaydedilen Ondalık Değer Sayısı	6

3.1.5. Kabin Havası Başlangıç Sıcaklığı ve Çözüm Parametreleri

Çözüm için standart çözümleme metodu seçilmiştir. Isınma sürecinin başlangıcında kabin içi havasının sıcaklık değeri 278 K olarak belirlenmiştir. Bu değerin belirlenme sebebi kabin havasının ısıtılmadan önceki sıcaklığının 278 K olarak referans alınmasından kaynaklıdır.

Çözüm işlemi geçici rejimde gerçekleştirilecektir. Kabin havasının ısınma süresi için belirlenen zaman dilimi 20 dakikadır. Bunun nedeni, ambulansın sağlık istasyonundan ayrılıp hastaya varış süresinin ortalama olarak 15 - 20 dk aralığında olmasından kaynaklıdır. 20 dakikalık zaman diliminin çözümü için 12 000 zaman adımı sayısı belirlenmiştir. Zaman adımı 0,1 olarak tanımlanıp her zaman adımı için 10 iterasyon çözümü belirlenmiştir. Herbir zaman adımı için 10 iterasyon çözümlemesi yapıldığında toplamda 120 000 iterasyon sayısında çözüm yapılacağı anlamına gelmektedir. HAD analizinin iterasyona bağlı çözümü sonucunda ondalık basamak hassasiyetinin minimum yakınsama kriteri için 10^{-4}, hız bileşenleri için 10^{-6}, enerji denklemi için 10^{-7}, olması beklenmektedir. Bu sonuçların gerçekleşmesi için öngörülen zaman adımı ve iterasyon değeriyle işleme devam edilmiştir. Zaman adımı, belirlenen metot ile yapılan çözüm algoritmasındaki zaman değişimi periyodunu ifade etmektedir. Akışın karakteristiğini daha iyi yakalamak için zaman adımının küçük tutulması önerilmektedir. Zaman adımının belirlenmesinde, analiz edilecek zaman dilimi miktarı da önemlidir.

Bu çözümleme modeli bize, analiz çözümünün toplamda 120 000 iterasyon için çözüm yapacağını göstermektedir. Çözüm için belirlenen şartlar Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Çözüm için belirlenen başlangıç kriterleri

Parametre	**Kriter**
Zaman Adımı Sayısı	12 000
Zaman Adımı (s)	0,1
Maksimum İterasyon / Zaman Adımı	10
Raporlama Aralığı	4
Profil Güncelleme Aralığı	1

3.2. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma, "Yılkar Klima" firması bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde ambulansın kabin içi sıcaklığı başlangıçta 278 K değerine kadar soğutulmuştur. Sonrasında ısıtıcının çalışması ile birlikte kabin içi ısıtılmakta ve tıbbi şartlar altında insan sağlığına uygun olarak konfor şartı sağlanmaktadır. Bu durum sürecinde sıcaklık değerleri data logger cihazı ile kayıt altına alınmıştır. Deney düzeneğinde bir adet YH 5 Yılkar Klima marka ısıtıcı, bir adet datalogger, dört adet termokupl iki adet insan ve bir adet ambulans kullanılmıştır. Ambulans iç kabini üzerine montajlanan "YH 5" dizel yakıtlı ısıtıcı cihaz ile ısıtma sağlanmıştır. Kullanılan ısıtıcının termal özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

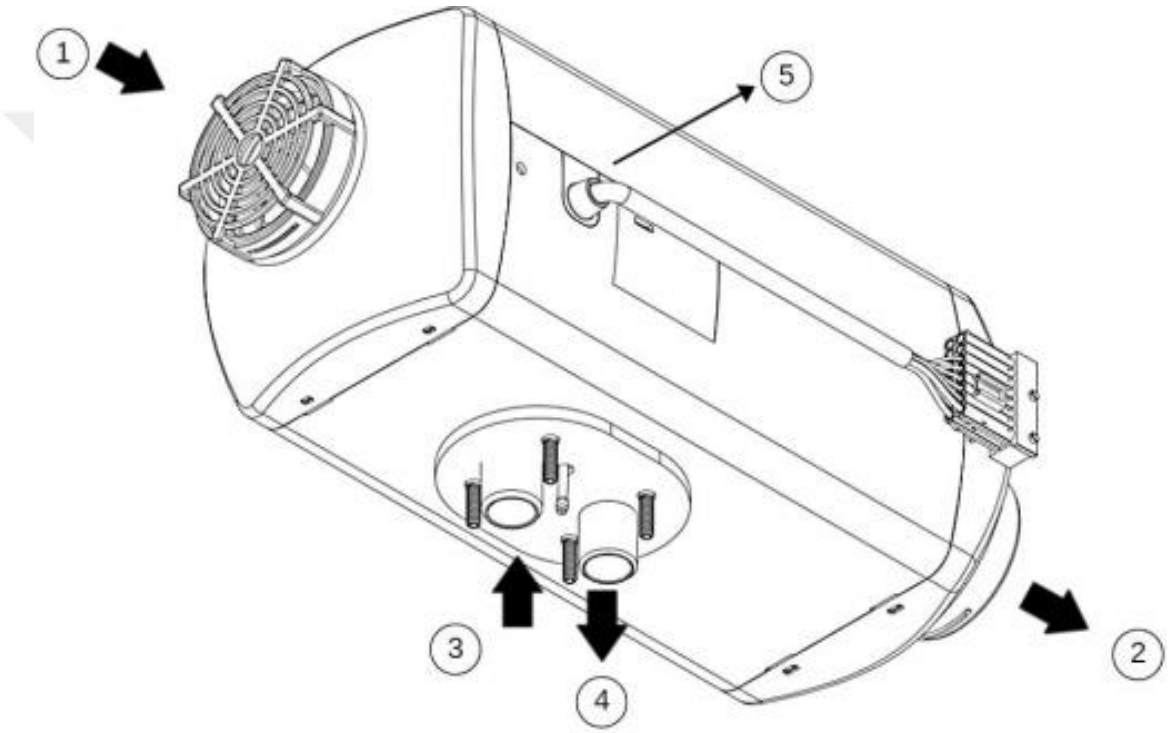
Çizelge 3.5. YH 5 Isıtıcısının sahip olduğu bazı özellikler

Ünite Ölçüleri	400 x 140 x 180 mm
Ünite Ağırlığı	5,2 Kg
Yakıt Cinsi	Dizel
Isıtma Kapasitesi	1 – 5 kW

Isıtıcının çalışma prosesi Çizelge 3.6'da ve Şekil 3.10'da verilmiştir. Ambulans kabini içerisine sıcak havanın girişini, 2 numaralı sıcak hava çıkış menfezi sağlamaktadır.

Çizelge 3.6. Isıtıcının bazı bölümleri

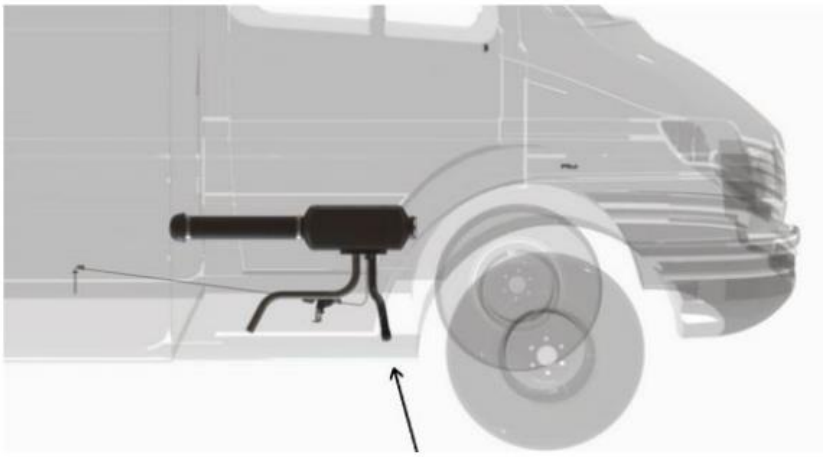
1	Soğuk hava giriş menfezi
2	Sıcak hava çıkış menfezi
3	Yanma havası giriş borusu
4	Egzoz havası çıkış borusu
5	Kablo çıkış bölümü



Şekil 3.10. Isıtıcının bazı bölümleri

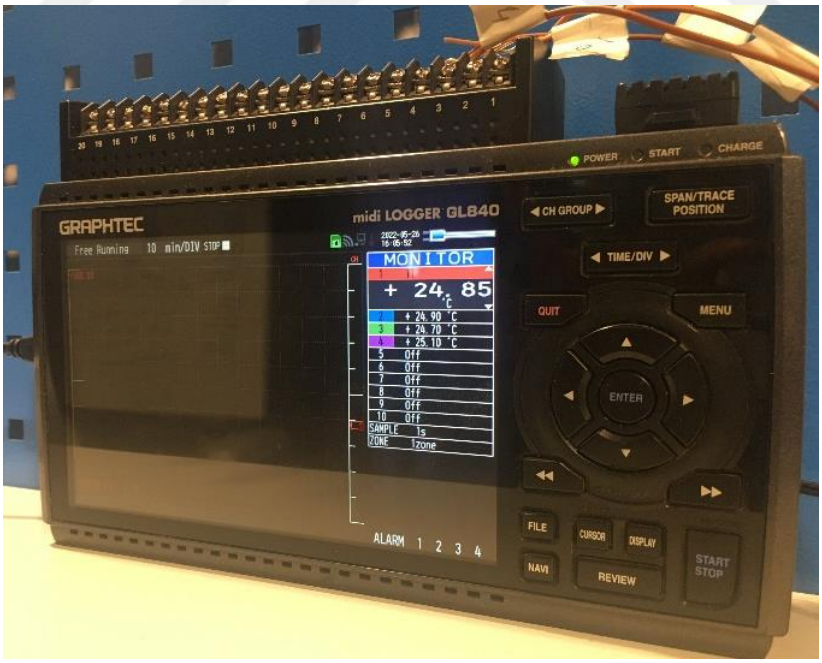
Ambulans kabini içerisine yerleştirilen ısıtıcının montaj görseli Şekil 3.11'de gösterilmiştir. 2 numaralı çıkış menfezi üzerine bağlı boru ile kabin içerisine hava akışı sağlanmaktadır.

Isıtıcının diğer bir özelliği, çalışmaya başladığı andan itibaren 5 m/s hava hızına ve maksimum 370 K sıcaklığına süre olarak 16 s'de ulaşmaktadır.



Şekil 3.11. Isıtıcının montajlanmış görseli

Ölçüm için Graphtec GL840 marka data logger cihazı kullanılmıştır. Veri kaydedebileceği yirmi kanalı bulunmaktadır. Kaydedilen veriler bilgisayar üzerinden saniyede bir değer olacak şekilde test süresince incelenemiştir. Deneysel çalışmada kullanılan data logger cihazı Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Data logger cihazının görseli

Data logger cihazına verinin gelmesi için dört adet termokupl kullanılmıştır. Ölçüm aralığı -50 °C ile +350 °C aralığındadır. Kullanılan termokupl kablolar Şekil 3.13'te gösterilmiştir. "T" tipi termokupl kullanılmıştır. Gecikme süresi ortalama 1 s'dir.



Şekil 3.13. Termokupl görseli

Araç kabini yalıtımında cam elyaf kullanılmıştır. Böylelikle dışarıdaki soğuk havaya karşı direnç göstermesi düşünülmüştür. Yapılan yalıtım işlemi Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Ambulans kabinine uygulanılan yalıtım işlemi

Bu işlemler sonrasında ambulans ekipmanları dizildi ve genel dizayn işlemi tamamlanmış oldu. Kabin içerisinde sıcaklık sensörün konumlandırılacağı bölüm Şekil 3.15'te verilmiştir. Sensörün, kabin arkasına uzaklığı 0,5 m, sedye üzerine uzaklığı 0,01 m'dir. Test esnasında kabin içerisinde iki adet insan bulunmaktadır.



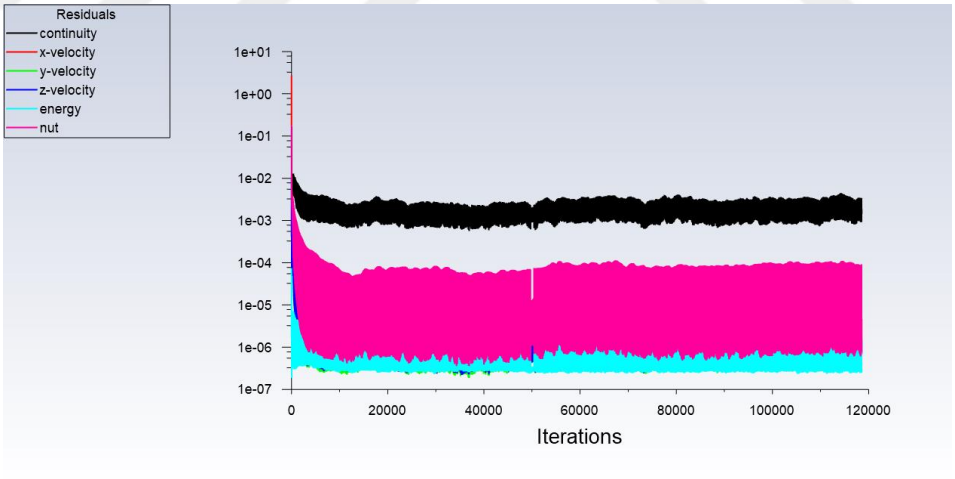
Şekil 3.15. Kabin içerisinde sensörün bulunduğu bölge

4. BULGULAR

Bu bölümde, Bölüm 4.1'de analizi sonucu ve deneysel çalışma sonucu elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Sistemin rejime girme süreleri ve sıcaklık dağılımının kabin içerisinde homojen olup olmadığı, sayısal ve görsel olarak belirtilmiştir. Bölüm 4.2'de sıcak hava menfezi sayısı ikiye çıkarılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bölüm 4.3'te dört adet sıcak hava menfezi konumlandırılarak kabin içi sıcaklık dağılımı belirlenmiştir.

4.1. HAD Analizi ve Deneysel Sonuçlar

Yapılan HAD analizi sonucunda elde edilen yakınsama grafiği Şekil 4.1'de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında HAD analizi çözümlemesinin normal bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Analiz yakınsama değerleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Yakınsama değerleri, HAD analizinde çözümlenen denklemlerin hangi basamak değerlerine kadar yakınsandığı hakkında bilgi vermektedir. Yakınsanan ondalıklı basamak değerleri sonuçların hassasiyeti için yeterli görülmüştür.

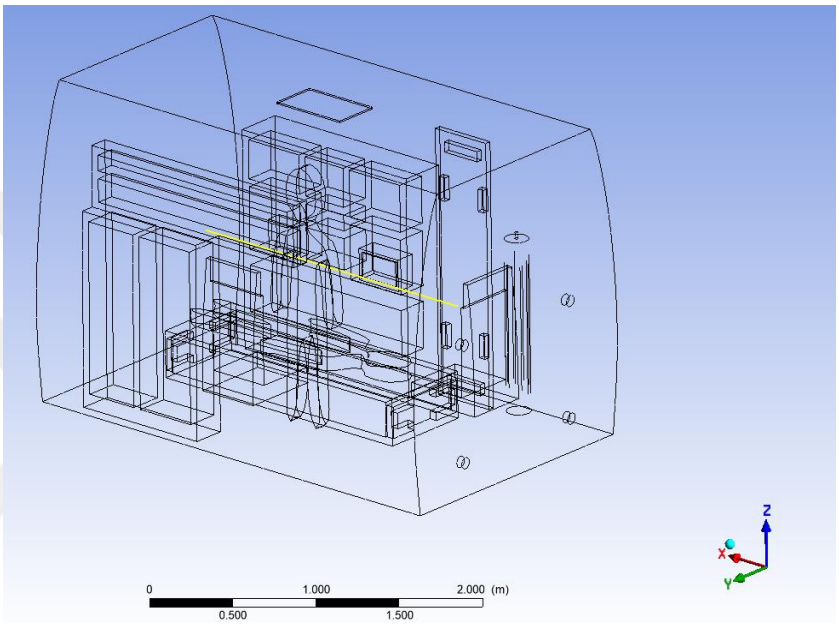


Şekil 4.1. HAD analizi sonucu elde edilen yakınsama grafiği

Süreklilik	x-hız	y-hız	z-hız	enerji	nut
$1{,}3966 \times 10^{-4}$	$1{,}4488 \times 10^{-6}$	$6{,}6251 \times 10^{-7}$	$6{,}9047 \times 10^{-7}$	$2{,}5720 \times 10^{-7}$	$1{,}6558 \times 10^{-6}$

Şekil 4.2. Analiz yakınsama değerleri

Beş farklı mesh düzenindeki yapı çözümlenmiş ve değerlendirilmiştir. Karşılaştırma ve değerlendirme için araç kabini ortasına çizgi çekilip bu çizgi üzerindeki veriler grafikte karşılaştırılmıştır. Alınan veriler için oluşturulan eksenin iki ucundaki noktalardan ilk noktanın koordinatları, x:0,3 m, y:0 m, z:1 m şeklinde olup ikinci noktanın koordinatları ise x:2,3 m, y:0 m, z:1 m şeklindedir. Belirlenen eksenin görüntüsü Şekil 4.3'te verilmiştir.



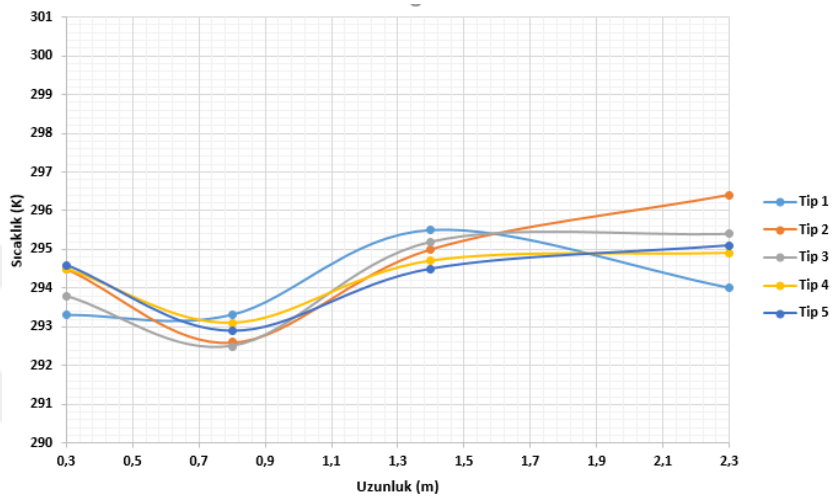
Şekil 4.3. Ağdan bağımsızlık sonuçlarını değerlendirme çizgisi

Ağdan bağımsızlık değerlendirmesi için çizgisel veri alınmasının sebebi, elde edilen noktasal sonuçlardaki değişimi ve yakınsamayı daha iyi saptamak içindir. Hangi çizginin hangi mesh değerini ifade ettiği Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Çizgilerin ifade ettiği eleman sayıları

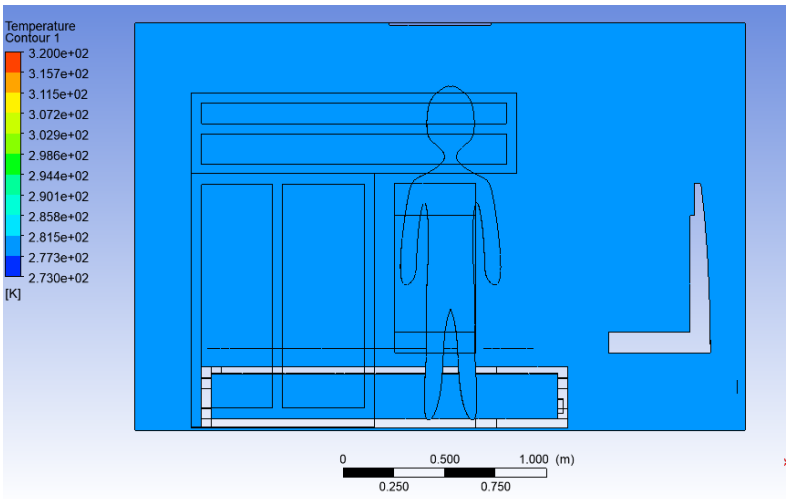
Çalışma Numarası	**Çizgi**	**Eleman Sayısı**
1.	Tip 1	482 039
2.	Tip 2	524 520
3.	Tip 3	615 684
4.	Tip 4	824 815
5.	Tip 5	918 512

Ağdan bağımsızlık sonuçları grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir. Sonuçlar, 5. dakika sonundaki sıcaklık değerleri olup, kabinin dikey ve yatay orta eksenlerinin 0,3 m ile 2,3 m uzunlukları arasındaki verilerden oluşmaktadır. 918 512 eleman değerindeki çözüm, 824 815 eleman değerindeki çözümle hemen hemen aynı sonuçları vermiştir. Bu sebeple irdelenecek sonuçlar için 824 815 eleman değeri uygundur.

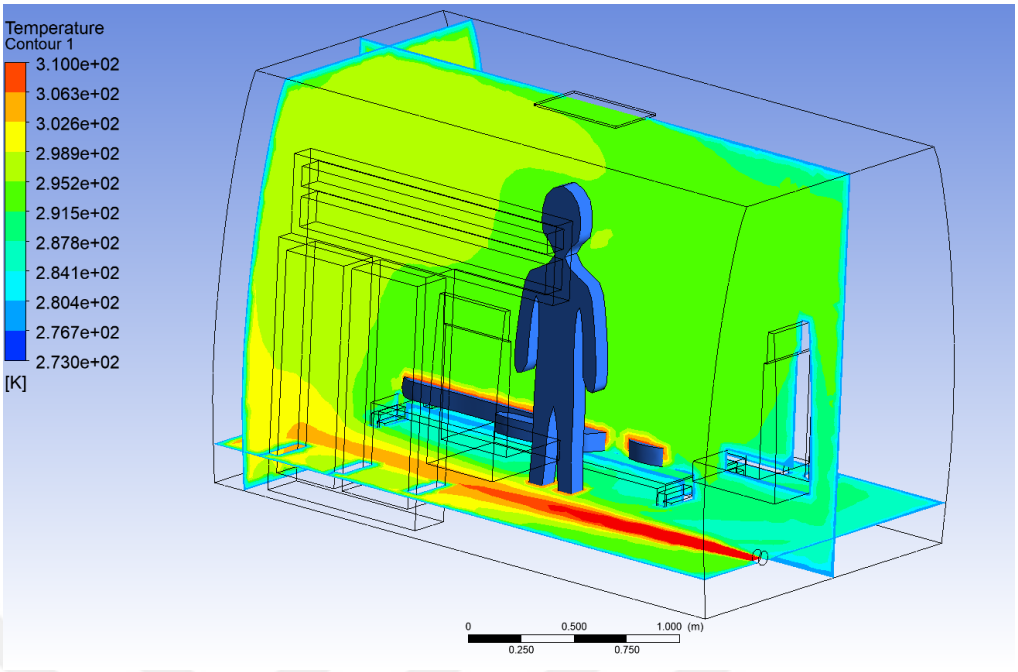


Şekil 4.4. Ağdan bağımsızlık çalışması grafiği

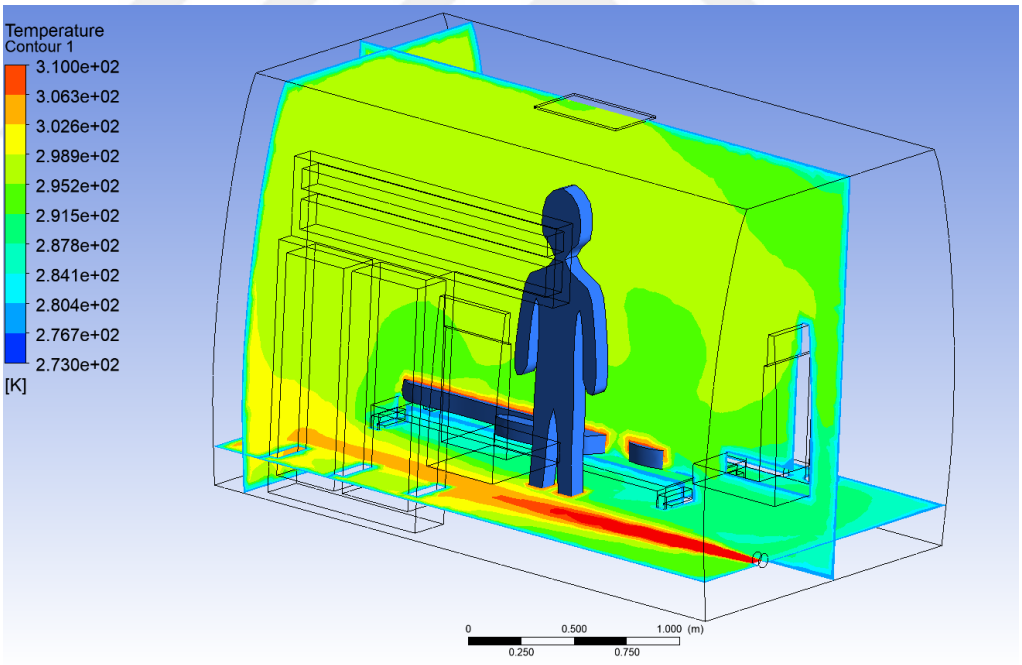
Sedye üzeri sıcaklık değerinin saptanması için hemşire ve yatan hastanın bulunduğu bölümden sedye kesit görüntüsü alınmıştır. Zamana göre alınan kesit görüntüleri Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



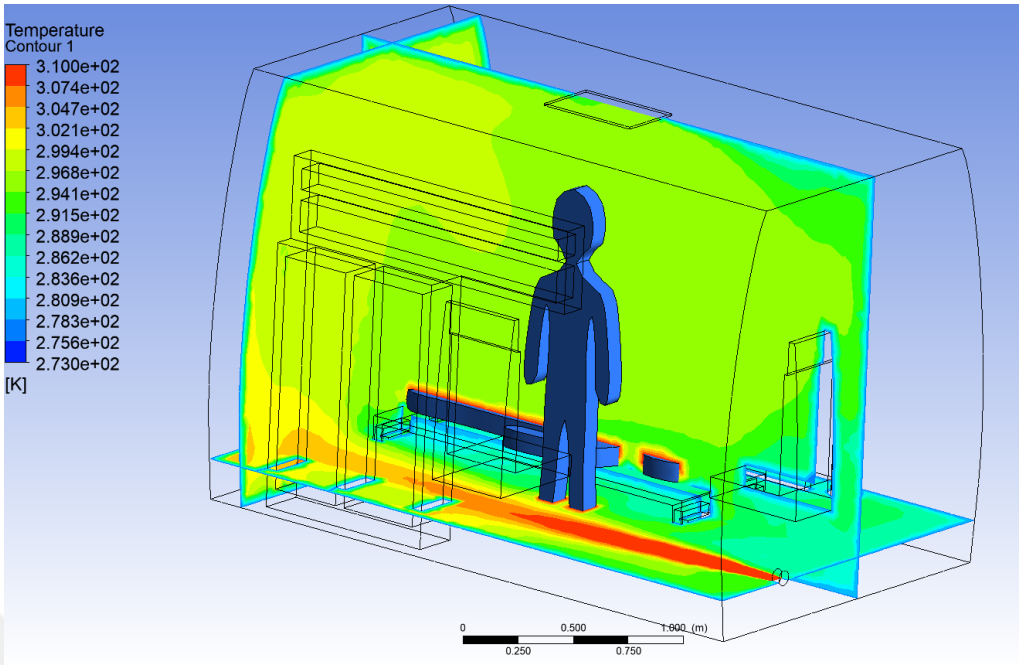
Şekil 4.5. t=0 (s) zamanındaki sıcaklık görüntüsü



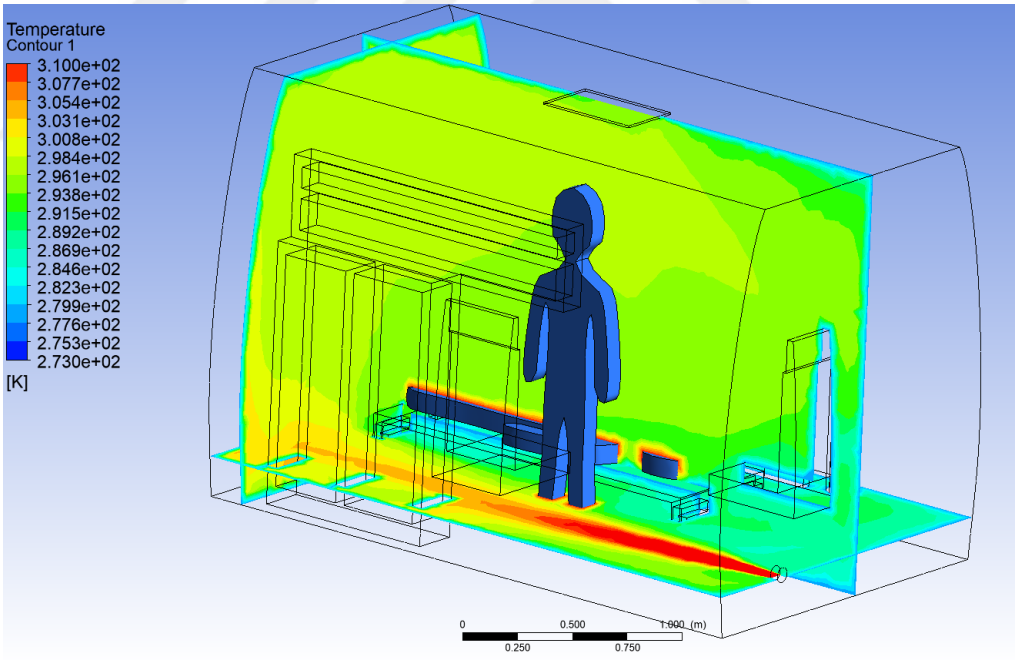
Şekil 4.6. t=300 (s) zamanındaki sıcaklık görüntüsü



Şekil 4.7. t=600 (s) zamanındaki sıcaklık görüntüsü

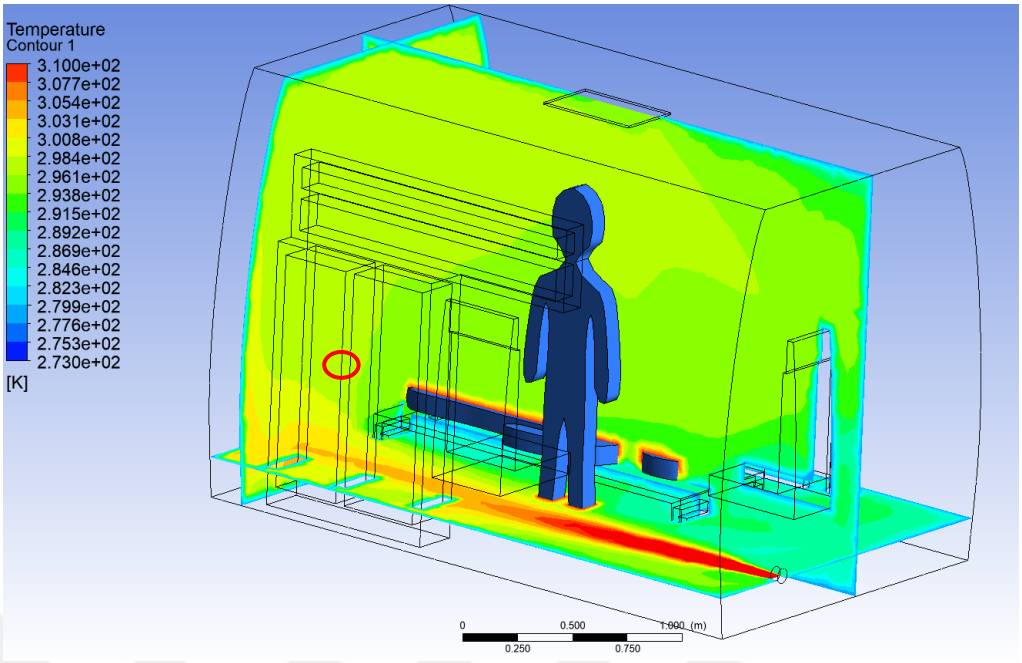


Şekil 4.8. t=900 (s) zamanındaki sıcaklık görüntüsü



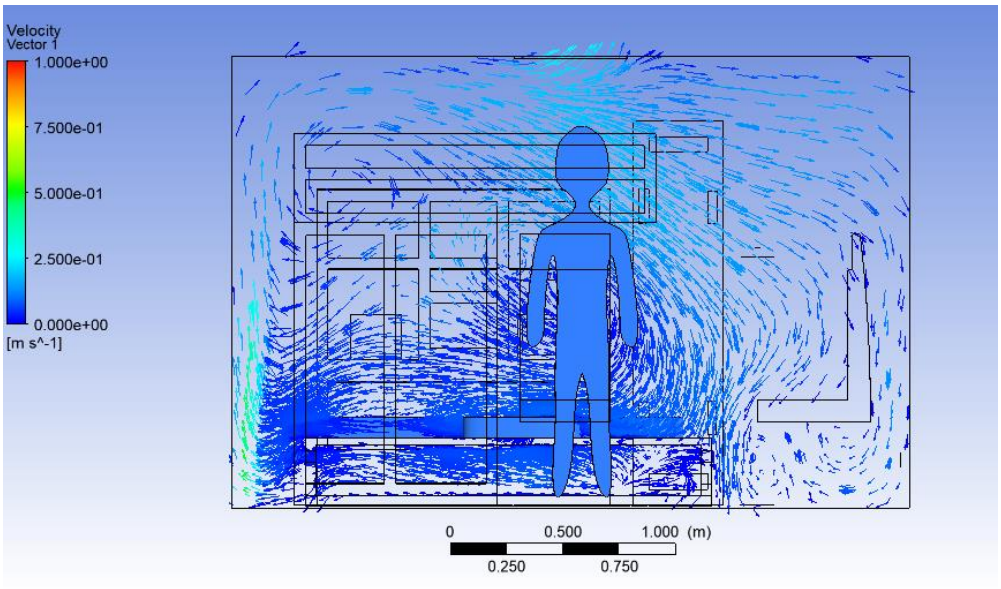
Şekil 4.9. t=1200 (s) zamanındaki sıcaklık görüntüsü

Sıcaklık değerinin alındığı noktasal bölüm Şekil 4.10'da daire içerisinde gösterilmiştir. Sonuçların bu bölgeden alınma sebebi, Bölüm 3.2'de yapılan deneysel çalışmada sıcaklık sensörü bu bölüme konumlandırıldığı içindir.



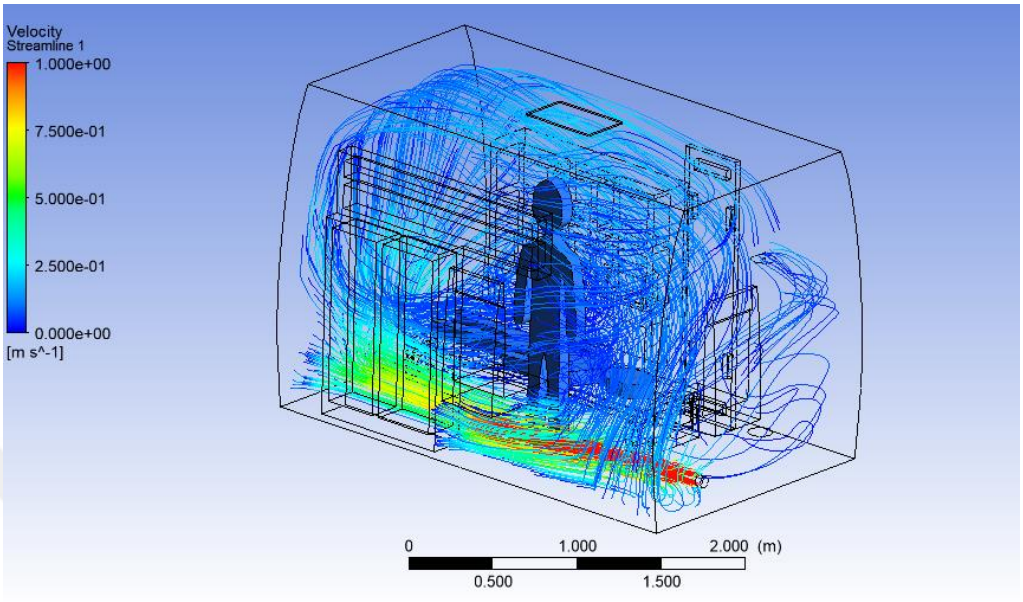
Şekil 4.10. Sıcaklık değerlerinin referans alındığı noktasal bölüm

Kabin ortasından alınan kesitte hava sirkülasyonunun hız vektör görüntüsü Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Havanın girdap etkileri sedye etrafında yoğunluk göstermektedir. Tavanda bulunan havalandırma menfezinden akış çıkışı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.11. Kabin orta düzlemi hız vektör görüntüsü

Isıtıcıdan çıkan havanın izlediği yolun akış çizgisi hız görüntüsü Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Isıtıcıdan çıkan havanın izlediği yol

t=0 (s), t=300 (s), t=600 (s), t=900 (s) ve t=1200 (s) zamanlarında HAD analizi sonucu elde edilen sedye üzeri hava sıcaklık değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. HAD analizi sonucu elde edilen sedye üzeri hava sıcaklık değerleri

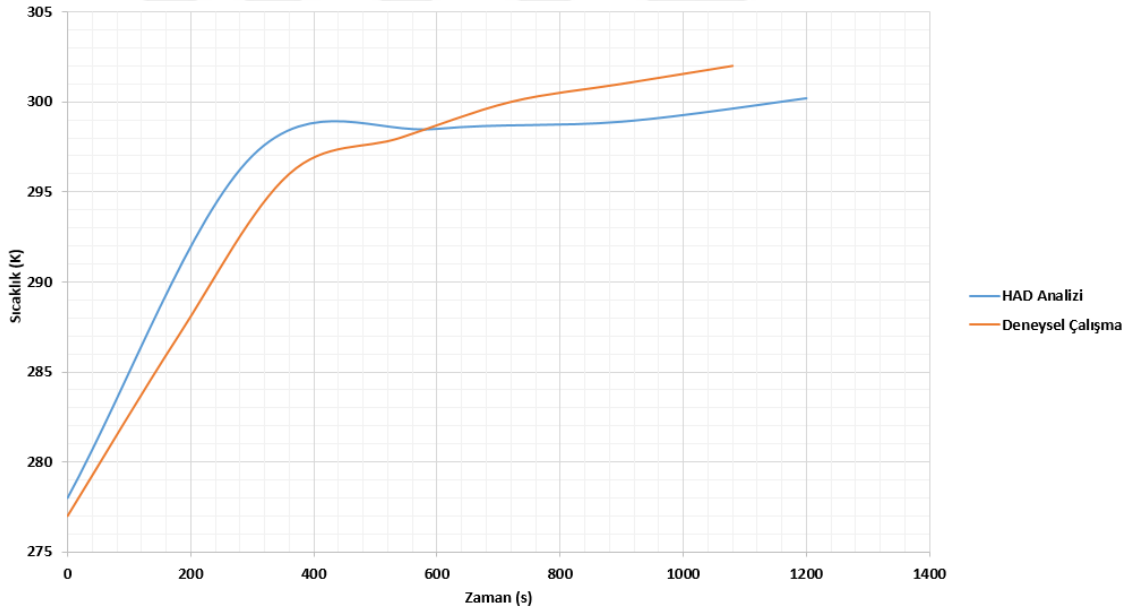
Zaman (s)	**Sıcaklık (K)**
0	278
300	297
600	299,4
900	299,9
1200	300,2

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen, sedye üzerindeki havanın sıcaklık değerleri zamana bağlı olarak Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Deneysel sonuçlardan elde edilen sedye üzeri hava sıcaklık değerleri

Zaman (s)	**Sıcaklık (K)**
0	277
180	287
360	296
540	298
720	300
900	301
1080	302

Yapılan HAD analizi sonuçlarından alınan veriler ile deneysel sonuçlardan alınan veriler sıcaklık – zaman grafiğinde Şekil 4.13'de karşılaştırılmıştır.

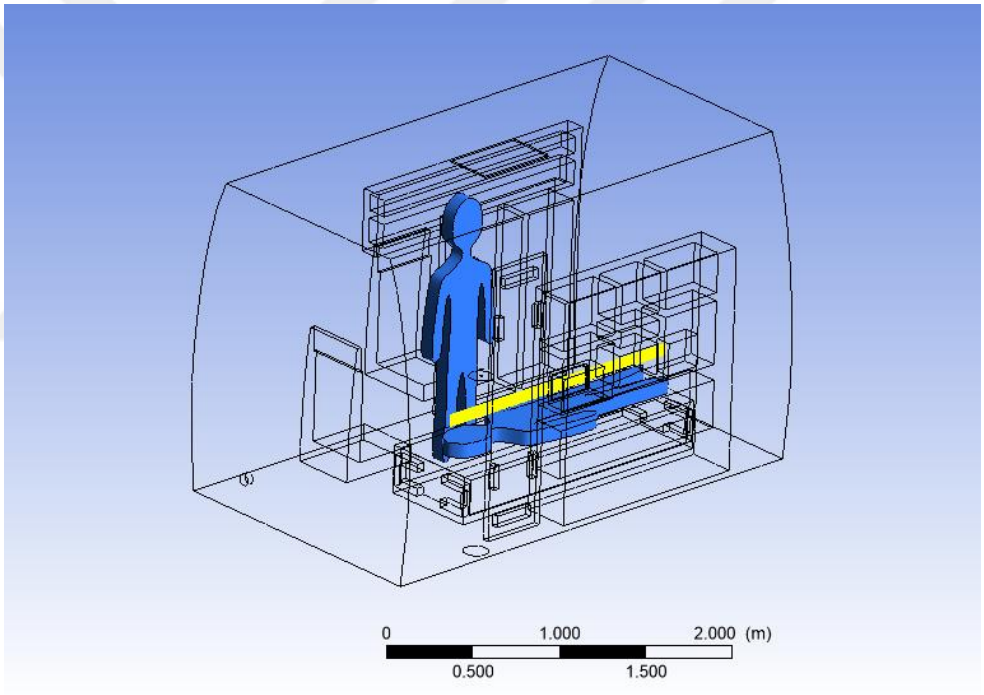


Şekil 4.13. HAD analizi ve deneysel sonuçlara göre sedye üzeri ısınma süreci

Sedye üzeri hava sıcaklığının 300 K değerine ulaşması beklenmektedir. Yapılan HAD analizine göre sedye üzeri hava sıcaklığı yaklaşık olarak 10. dakikada 299 K değerine ulaşmaktadır**.** Deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre ise sistem yaklaşık olarak 11. dakikada 300 K değerine ulaşmaktadır.

Sistemin rejime girme süreleri değerlendirildiğinde HAD analizi çalışmasına göre sistem 10. dakikada rejime girmeye başlamış ve sonraki sürelerde sıcaklık artışında daha az değişimler gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmaya göre sistem 9. dakikada rejime girmeye başlamış ve sonraki sürelerde sıcaklık artışında daha az değişimler gözlemlenmiştir.

Ambulans kabini içerisinde yatan hastaya nüfuz eden sıcaklık dağılımı ve hava akımı incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan sıcaklık dağılımı incelemesinde, sedyede yatan hastanın baş kısmından ayak ucuna kadar çizgisel bir eksenden sıcaklık verileri alınarak inceleme yapılmıştır. Bu eksen, hastanın göğüs yüzeyinden 0,1 m yukarıdadır. Belirlenen eksen Şekil 4.14'te sarı renkte gösterilmiştir.

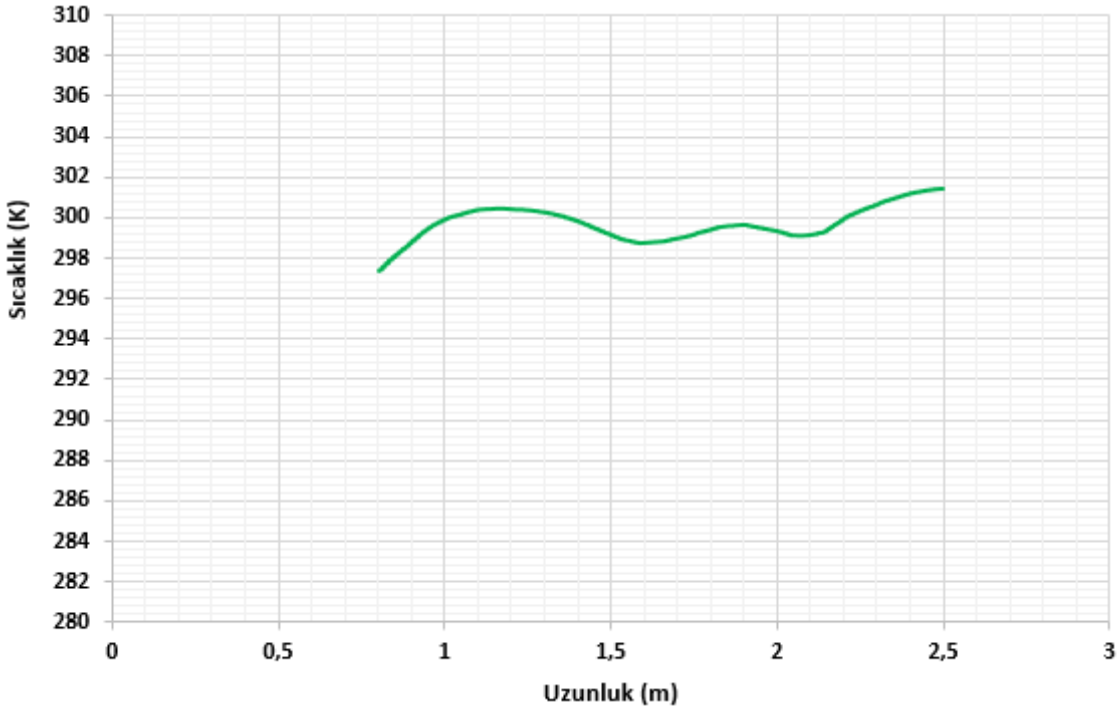


Şekil 4.14. Hasta üzerinde belirlenen eksen

20. dakika sonunda elde edilen sıcaklık değerleri, Şekil 4.15'teki grafikte incelenmiştir. Hastanın baş hizası 0,8 metre, ayak hizası ise 2,5 metreye denk gelmektedir. Bu kapsamda inceleme yapıldığında hastanın baş hizasındaki sıcaklık değeri 298 K ile 300 K aralığında değişim gösterirken ayak ucu hizasındaki sıcaklık değişiminin 300 K ile 302 K aralığında değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Gövde kısmına etkiyen sıcaklık değişimi 299 K ile

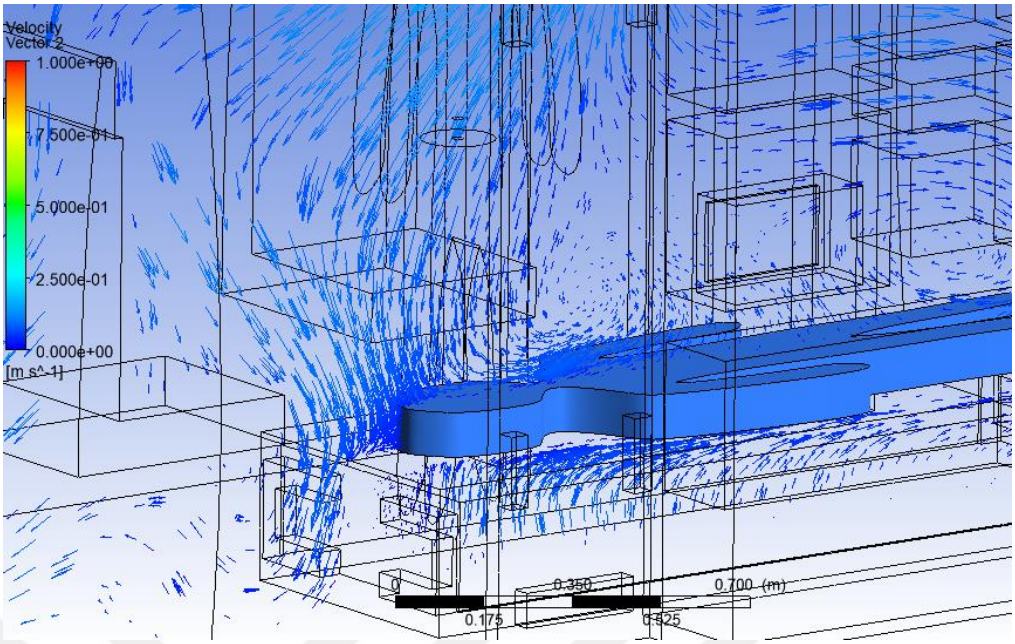
300 K aralığında olup ortalama değerlerdedir. Baş hizası ve ayak hizası arasındaki ortalama fark 2 derecedir.

Hava sıcaklığının hasta üzerine homojen bir şekilde nüfus etmediği görülmektedir. Bu sebeple hasta üzerindeki termal konfor etkileri tam sağlanamamış olacaktır. Isıtıcıdan çıkan sıcak havanın koltuk alt bölümünden ve sedye kenarından geçtikten sonra ambulansın arka bölümüne doğru gitmektedir. İstatistiğe göre ayak hizasının daha sıcak olma sebebi, ısıtıcı havasının öncelikle ambulans arkasına doğru nüfuz etmesinden kaynaklanmaktadır.

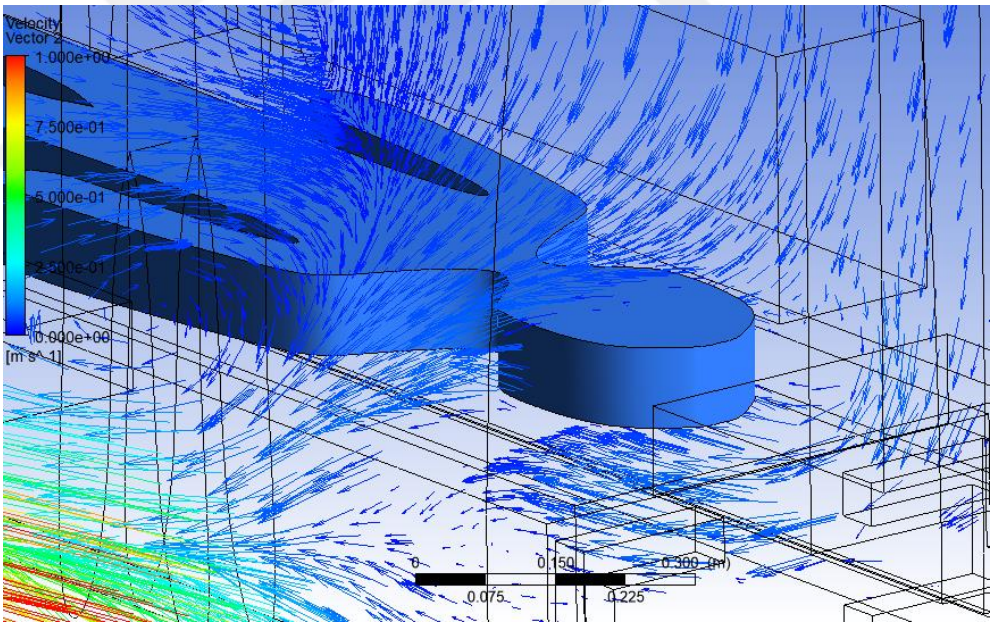


Şekil 4.15. Hasta üzerindaki havanın sıcaklık değerleri

Hastanın üzerine gelecek hava akımının büyüklüğü önemlidir. Hastanın üzerine gelen hava akımı incelendiğinde hızların oldukça düşük olduğu ve maksimum hızın 0,2 m/s olduğu gözlemlenmiştir. Isıtma sürecinin 20. dakika sonrasındaki hava hızının vektörel gösterimi, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Hasta üzerine etkiyen hava akımı

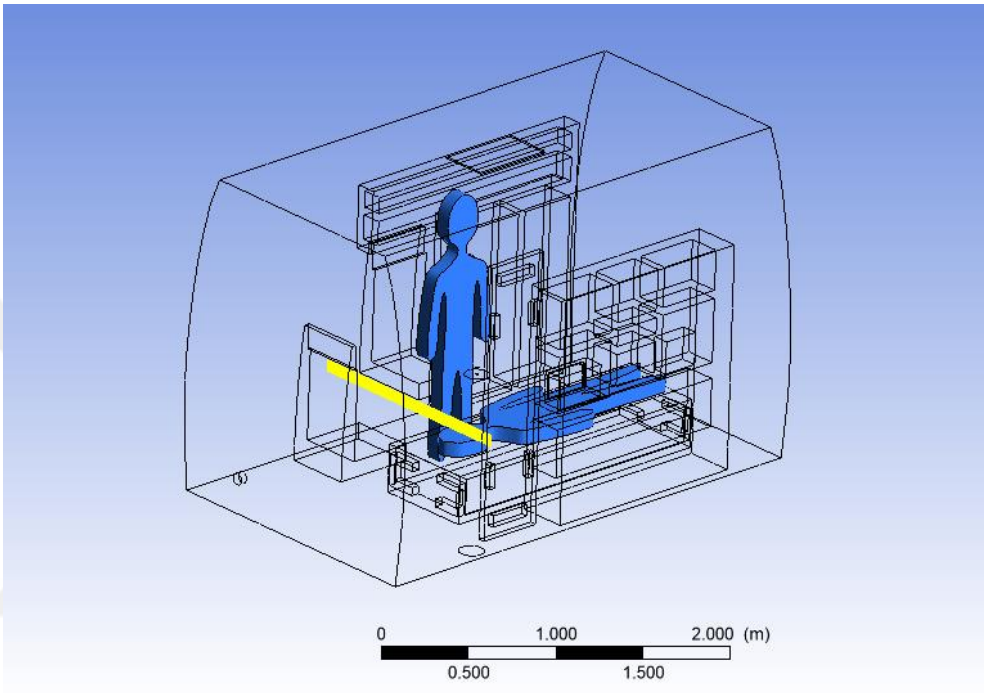


Şekil 4.17. Hastanın baş hizasına etkiyen hava akımı

Kabin havasının ısıtılmasını sağlayan sıcak hava menfezi, kabin içerisinde sol tarafta bulunmaktadır. Bu sebeple araç içerisine giren sıcak hava, kabinin sağ bölümüne yönelemediği için sıcaklık dağılımı homojen değildir. Bu durum ışığında, kabinin sol taraf ve sağ tarafındaki sıcaklık farkını anlamak ve aynı zamanda da sedyede yatan

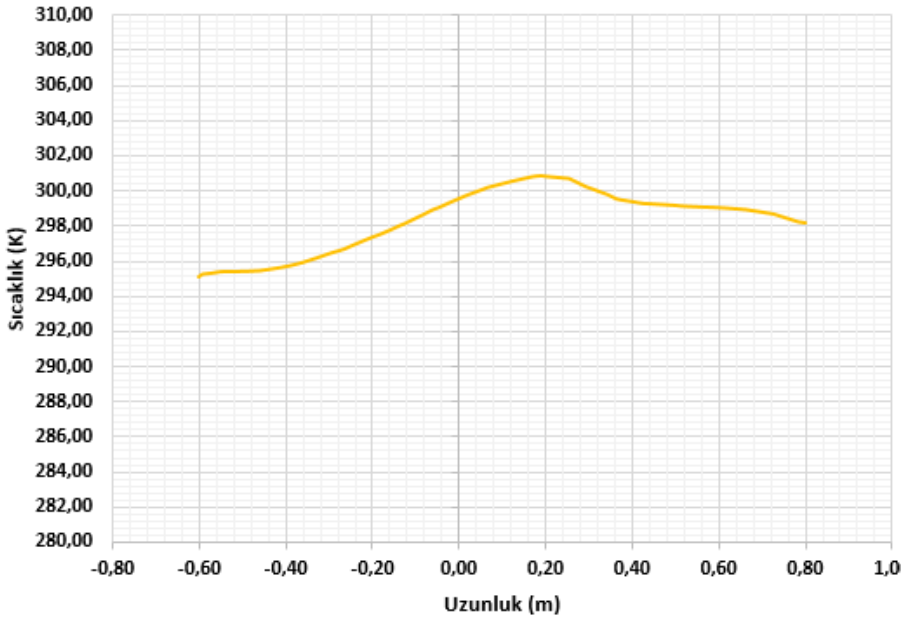
hastanın bu durumdan ne kadar etkilendiğini anlamak için aracın sol bölümünden sağ bölümüne doğru bir eksen belirlenerek sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

Eksenin belirlendiği yükseklik, hastanın yüz sınırından 0,1 m yukarıda ve baş hizasındadır. Belirlenen eksen, Şekil 4.18'de sarı renkte gösterilmiştir.



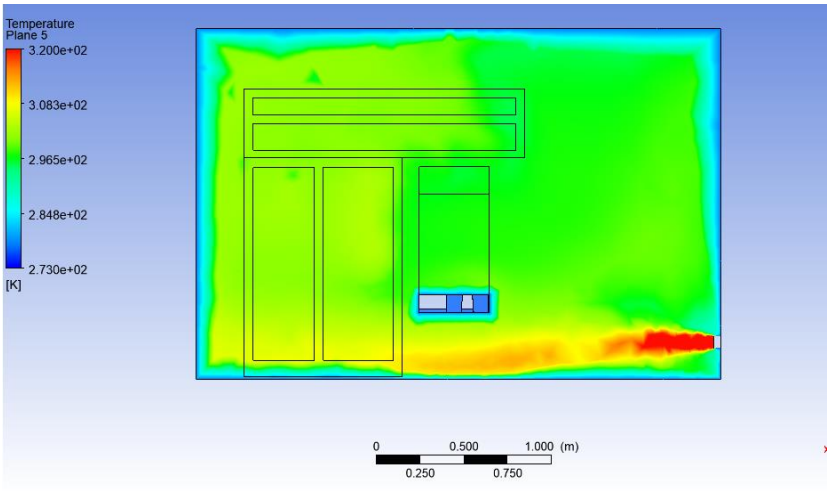
Şekil 4.18. Hastanın baş bölümü için belirlenen eksen

Şekil 4,19'da verilen grafikte görüldüğü gibi sıcaklık homojen bir dağılım sergilememiştir. Şekilde 0,2 m ve 0,8 m aralığı, ısıtıcı menfeze yakın olan aracın sol bölümüdür. Sıcaklık değerleri kabinin sol tarafında, sağ tarafına nazaran daha fazladır. 20. dakika sonunda sıcaklık değerlerini incelediğimizde aracın sol ve sağ bölümleri arasında ortalama sıcaklık farkı 4 derecedir.



Şekil 4.19. Hastanın baş bölümü hava sıcaklık değerleri

Isıtıcı havası menfezinden çıkan sıcak hava akışkanının kesit görüntüsü Şekil 4.20'de verilmiştir. Akış menfezden çıktığı anda sahip olduğu hava hızı gereği, ileriye doğru gitmektedir. Bu sebeple çıktığı andan itibaren başka yönlere yönelmemesi ve direkt olarak ileriye hareket etmesi sebebiyle kabinin sağ bölümünün az ısınmasına ve homojen sıcaklık dağılımının olmamasına sebebiyet vermektedir.

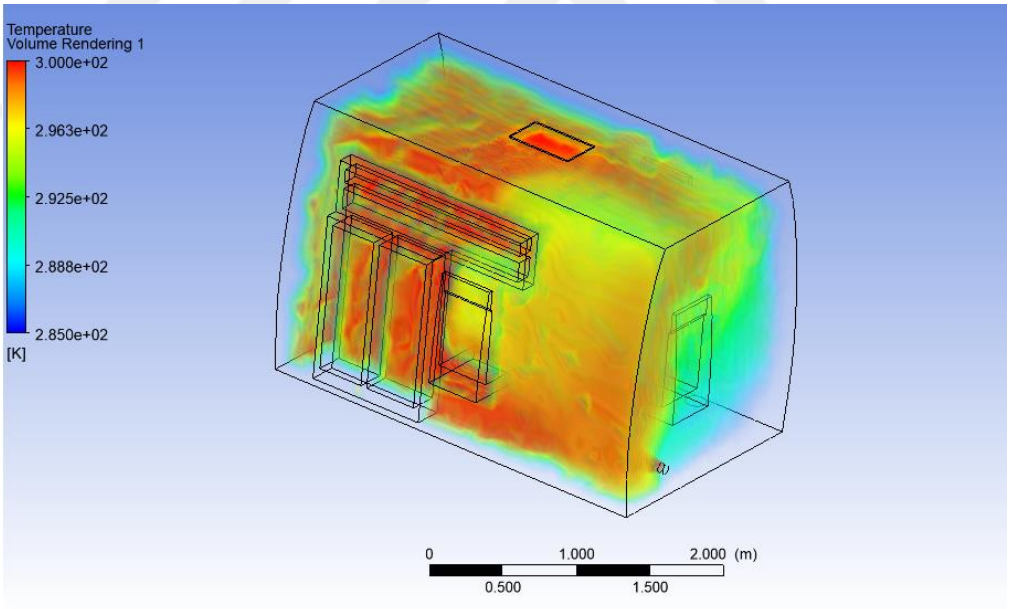


Şekil 4.20. Isıtıcı havası menfezi kesit görüntüsü

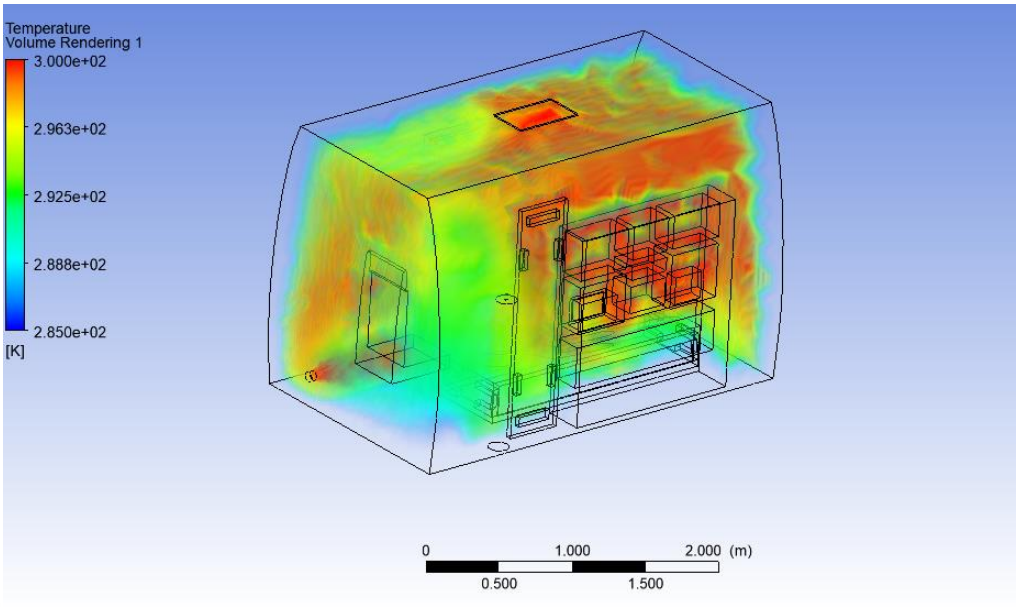
Sıcaklık dağılımının kabin içerisindeki homojenliği incelendiğinde hava sıcaklığının hacimsel görüntüsü, ısıtma sürecinin 20. dakikasında sol yan ve sağ yan bölümlerden Şekil 4.21'de ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir.

Hacimsel olarak değerlendirme yapıldığında ısıtıcı havasının sıcaklık dağılımına etkisi olarak sadece yere yakın bir şekilde devam edip sonlanmadığı, aynı zamanda kabin arkasına doğru yönelen sıcak havanın burada birikerek ortam havasını ısıttığı görülmekte. Böylelikle kabin arkasında biriken hava 300 K değeri ve üzerindeyken, kabinin sağ bölümünde sıcaklığın düşük olduğu görülmekte.

Genel olarak ısıtıcı havasının yönelimi ve ısı transferine olan bölgesel etkisi incelendiğinde, özellikle kabinin ön bölümlerinde sıcaklığın 300 K değerinden düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda ısıtıcıdan çıkan sıcak havanın kabin önüne yakın bölgelere doğru daha az etkinlik gösterdiği açık bir şekilde gözlemlenmiştir.

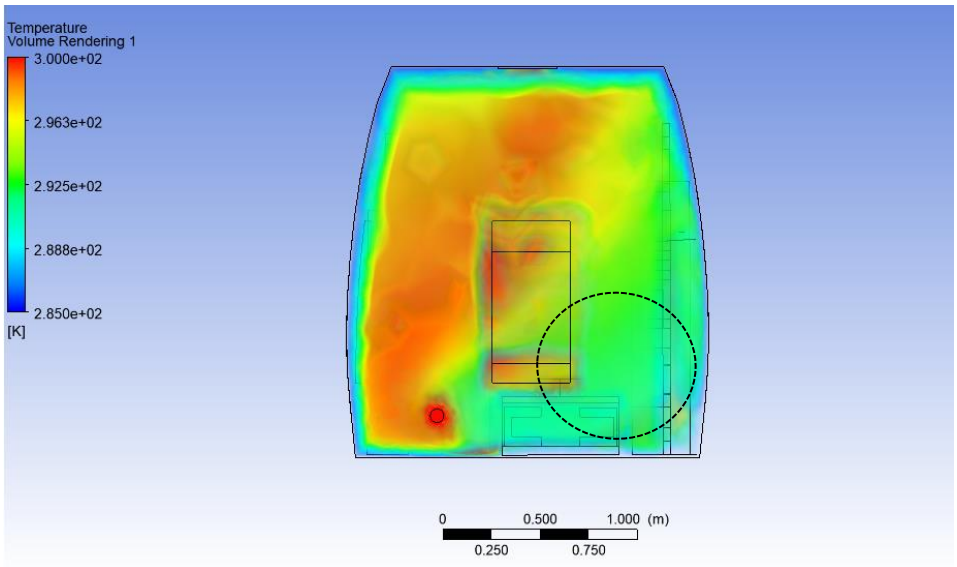


Şekil 4.21. Hava sıcaklığının sol bölümden hacimsel gösterimi



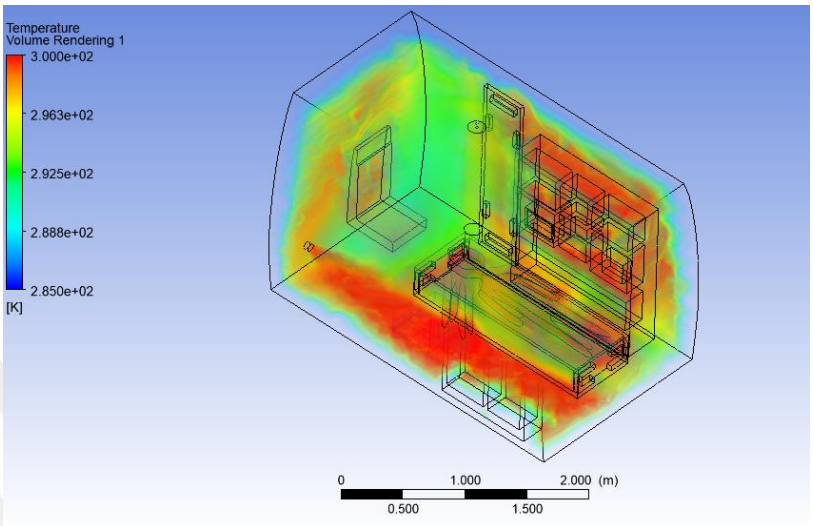
Şekil 4.22. Hava sıcaklığının sağ bölümden hacimsel gösterimi

İlgili görseller incelendiğinde ambulans kabini içerisindeki sıcaklığın homojen dağılım göstermediği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte homojen dağılımın gözlemlenmediği sedyenin sağ alt bölümü ve kabinin sağında bulunan dolap ve oksijen tüpü bölümleri tespit edilerek işaretlenmiştir. Tespit edilen bölüm Şekil 4.23'te işaretlenerek gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Homojen sıcaklık dağılımı göstermeyen bölümler

Homojen dağılım göstermeyen bölgeler için yaklaşık olarak sıcaklık sınırlarının değerlendirmesi yapıldığında 295 K ve 300 K arasında bir dağılım olduğu gözlemlenmiştir. Bölgelerdeki hava sıcaklık dağılımı Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Hacimsel olarak kabin içi hava sıcaklık dağılımı

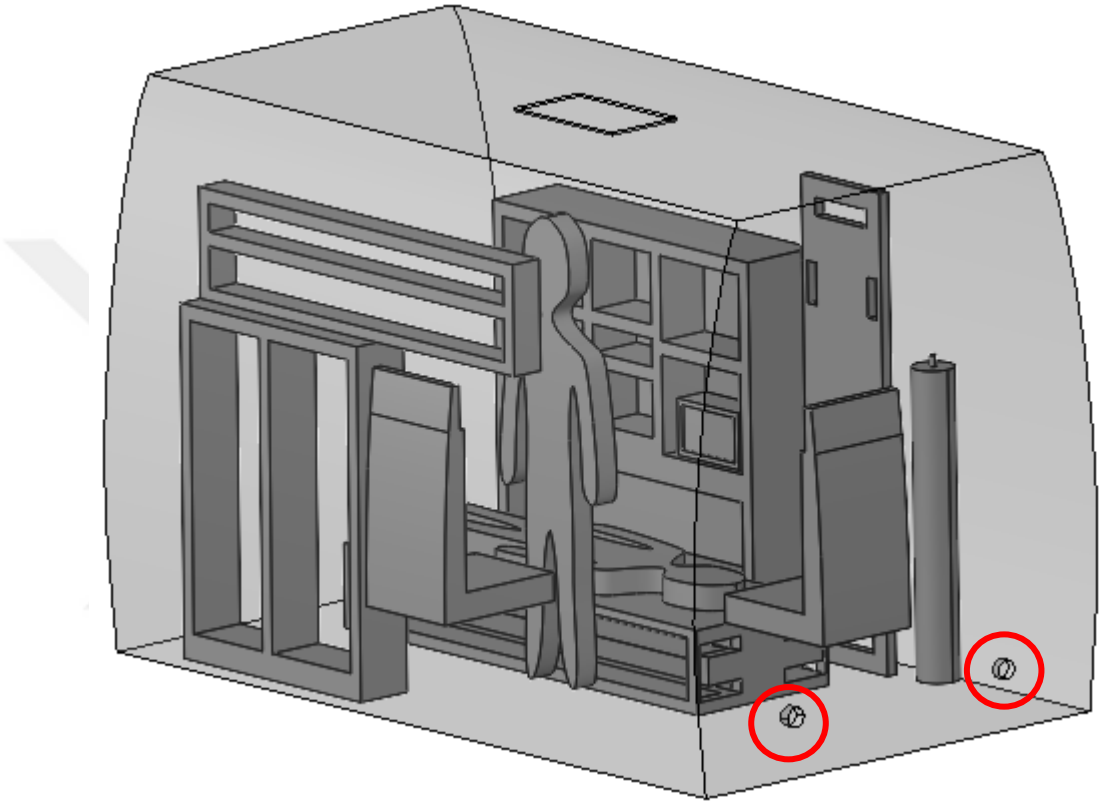
Kabin içerisindeki sıcaklık dağılımının homojen olmamasının başlıca sebepleri vardır. Menfez konumu, geometrik engeller, menfez sayısının çoklu olmaması ve belirli bölgelere dağılmamış olması bu sebepler arasındadır.

Yapılan HAD analizi sonucundan anlaşıldığı üzere, ambulans kabininin sağ bölümü, sıcak hava ile desteklenmelidir. Bu durum sağ bölüme uzatılacak menfez kanalları ile sağlanabilir. Böylelikle ortada bulunan sedyenin sağ ve sol bölümünden gelen sıcak hava ile homojen dağılım sağlanarak termal konfor etkileri daha da iyileştirilebilir.

4.2. İki Menfezli Sistem Analizi

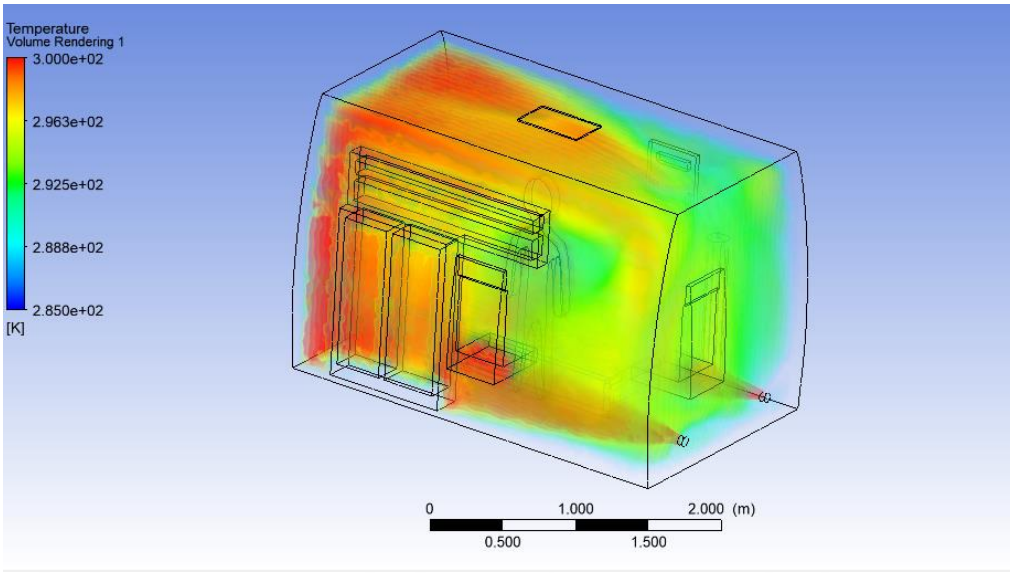
Kabin içerisindeki sıcak hava dağılımının homojen olması için kabin içerisine iki adet sıcak hava giriş menfezi konumlandırılmıştır. Birinci menfez, ilk analiz edilen ve standart ambulans kabini içerisindeki ısıtıcı menfeziyle aynı konumdadır. İkinci menfez ise, birinci menfeze kabin ekseninden simetrik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Böylelikle iki menfezin, ambulans kabininin sağ ve sol bölümüne eşit sıcaklık dağılımını sağlaması

amaçlanmıştır. Konumlandırılan menfez görüntüsü Şekil 4.25'te gösterilmiştir. İki menfezden aynı hava hızında ve aynı sıcaklıkta hava akışkanının geçmesi düşünülmüştür. Bunun sebebi iki menfezin, tek bir ısıtıcıya bağlı olması ve menfez kanal uzunluklarının eşit olmasından dolayıdır. Eklenen ikinci menfez, birinci menfezle aynı eksende olup 968 mm yanındadır.

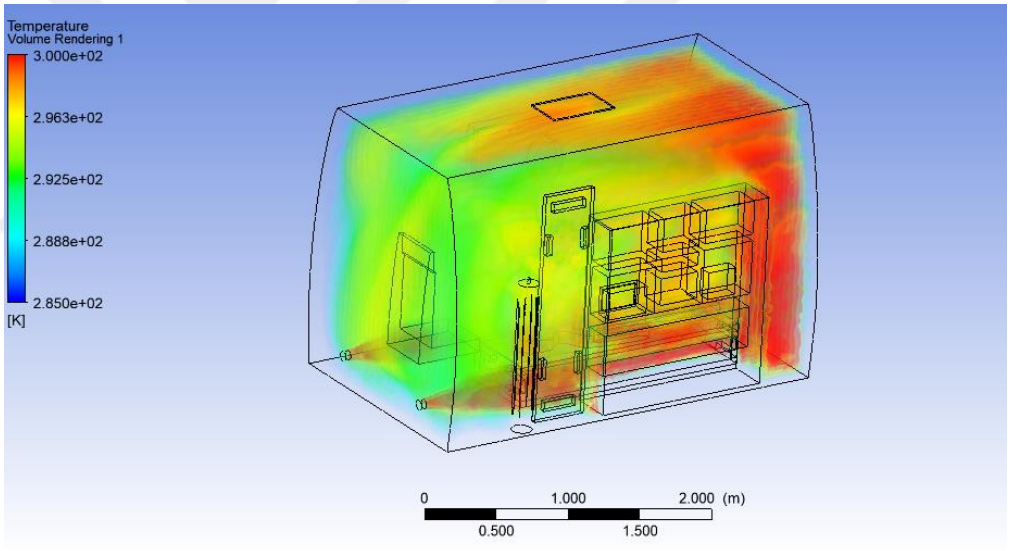


Şekil 4.25. Kullanılan iki adet sıcak hava menfezinin konumu

Sıcak hava menfezlerinden, ambulans kabini içerisine 370 K sıcaklığında ve 2,5 m/s hızında hava girişi sağlanması düşünülmüştür. Sıcak hava giriş menfezlerinin çapları, Bölüm 3.1'de anlatılan kabin sistemindeki sıcak hava menfezinin çapı ile aynı ve 70 mm'dir. Yapılan işlem sonucunda kabin içi sıcaklık dağılımı, ısıtma sürecinin 20. dakikasında, Şekil 4.26'da hacimsel olarak kabinin sol yan bölümü, Şekil 4.27'de ise kabinin sağ yan bölümü gösterilmiştir.

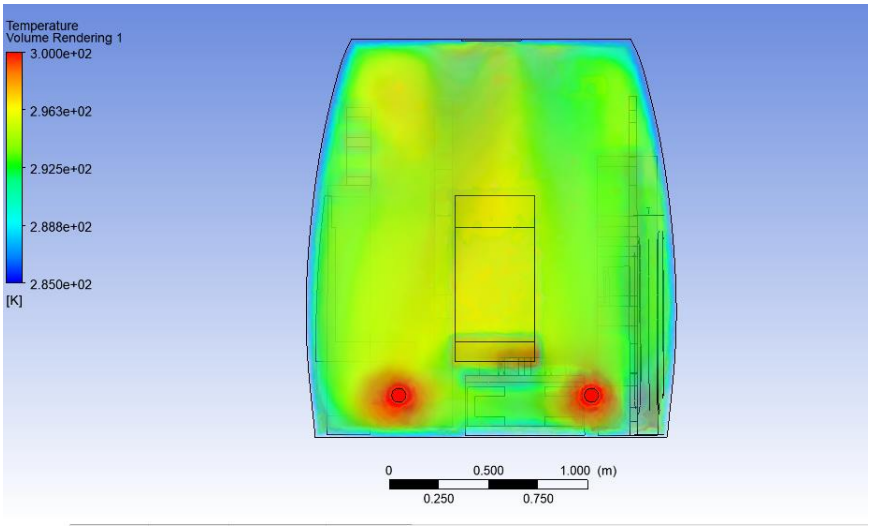


Şekil 4.26. İki menfezli sistemin sol yandan sıcaklık dağılımı



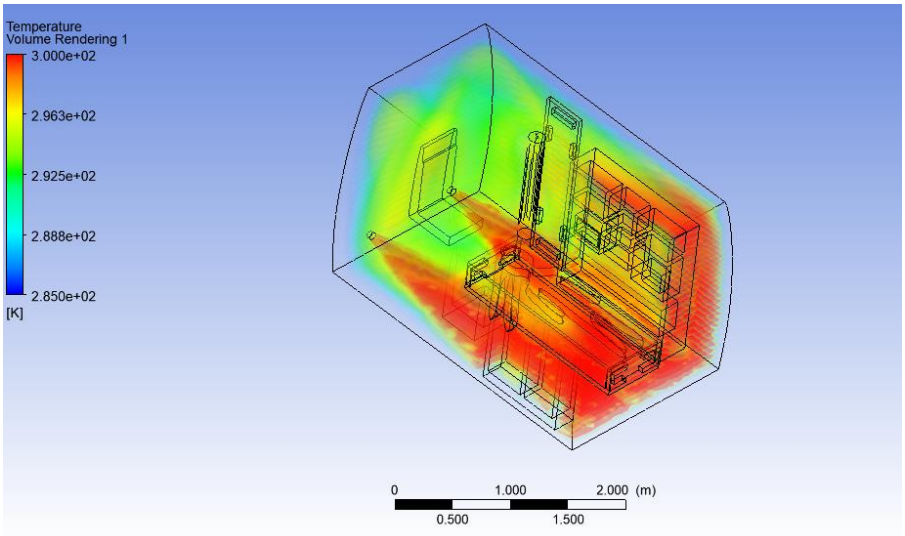
Şekil 4.27. İki menfezli sistemin sağ yandan sıcaklık dağılımı

İki menfezli sistemin sol yandan ve sağ yandan sıcaklık dağılımları incelendiğinde, tek menfezli sisteme göre sıcaklık dağılımı, kabinin sol ve sağ bölümlerinde daha dengeli bir haldedir. Kabinin ön bölümü incelendiğinde, iki menfezli sistemin, tek menfezli sisteme göre daha dengeli bir sıcaklık dağılımı oluşturduğu görülmektedir. Kabinin ön bölümündeki sıcaklık dağılımı Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. İki menfezli sistemin ön bölümdeki sıcaklık dağılımı

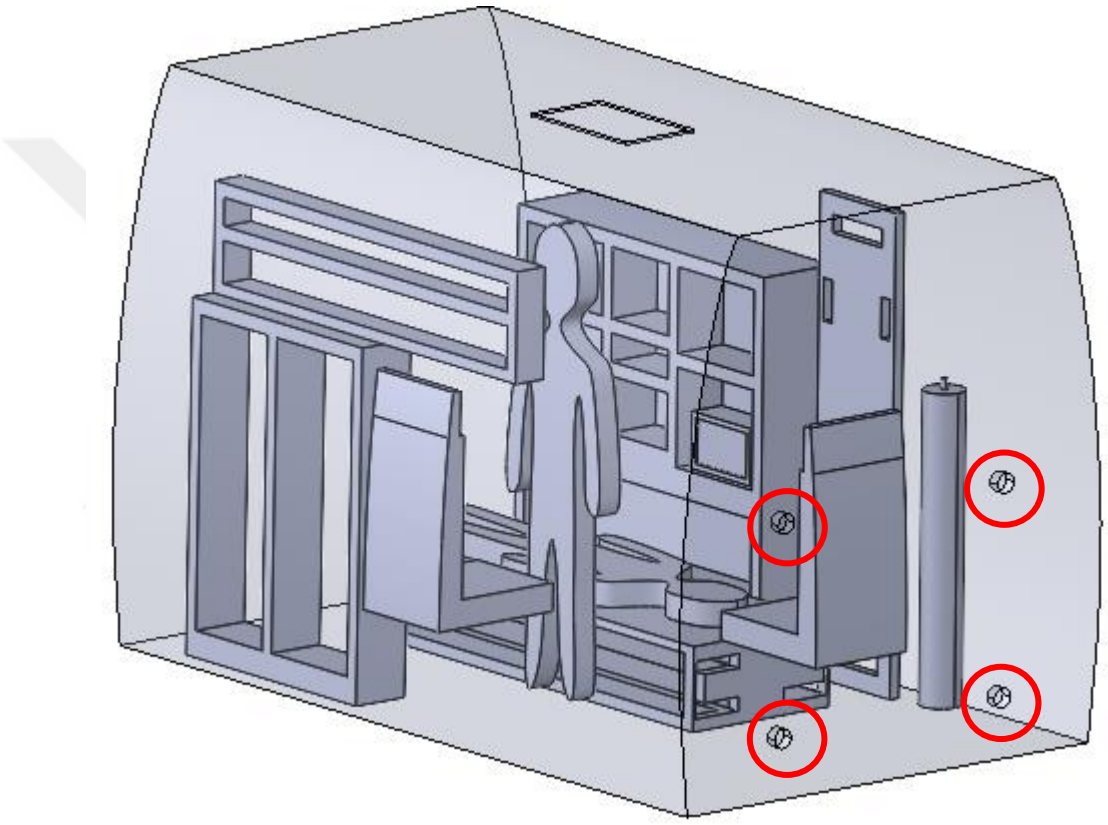
İki menfezli sistemin kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı incelendiğinde, kabin arka bölümündeki havanın sıcaklığı ön bölüme göre fazladır. Kabin içi sıcaklık dağılımının görüntüsü Şekil 4.29'da verilmiştir. Isıtıcı debisinin sabit olmasından dolayı, menfez çapları aynı tutularak sayısı arttırıldığında menfezlerden gelen hava hızları düşecektir. Kabinin orta bölümüne etkiyen iki menfez daha eklenmesinin, sıcaklık dağılımını homojen duruma yaklaştıracağı düşünülmektedir.



Şekil 4.29. İki menfezli durumda kabin içi sıcaklık dağılımı

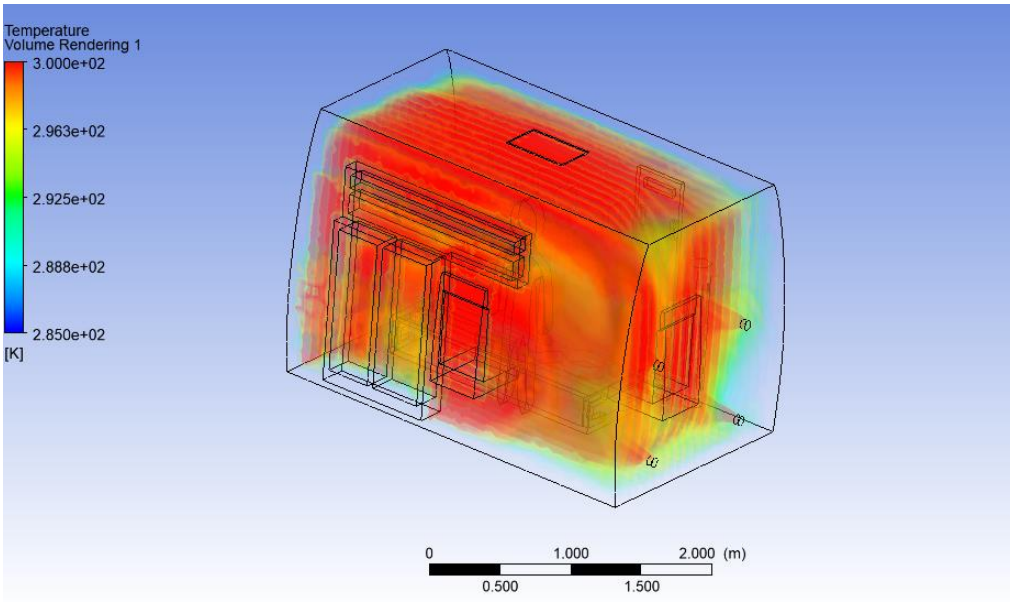
4.3. Dört Menfezli Sistem Analizi

Dört menfezli sistemde, iki menfezli sisteme ek olarak iki adet daha sıcak hava menfezi eklenmiştir. Eklenen menfezler, iki menfezli sistemin üst bölümüne eklenerek kabin orta bölümüne nüfuz etmesi amaçlanmıştır. Eklenen menfezlerin görüntüsü işaretlenerek Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Dört menfezli sistem için eklenen üçüncü ve dördüncü menfez, iki menfezli sistemle aynı eksende olup 750 mm üzerindedir.

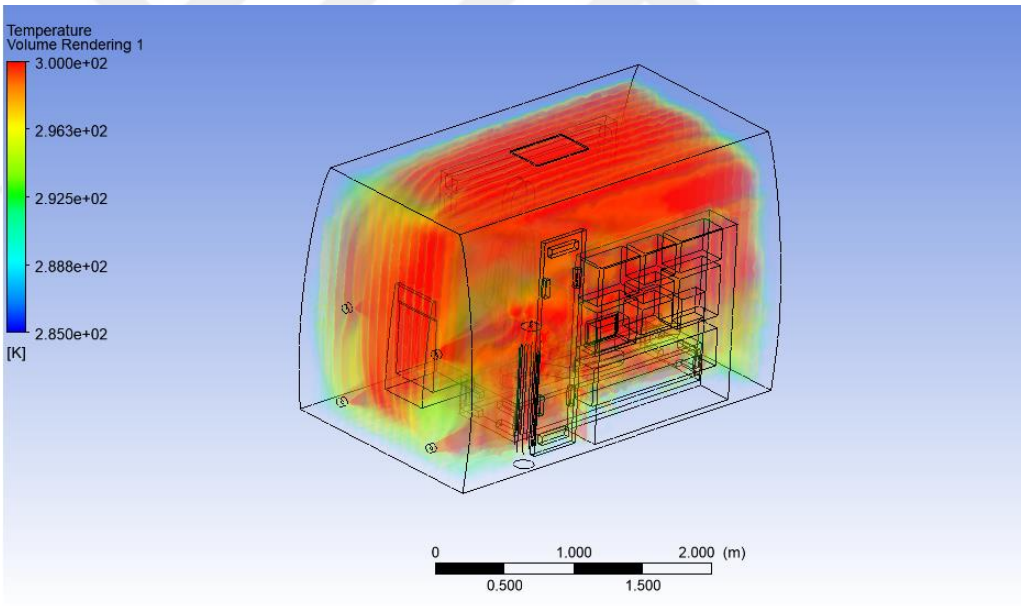


Şekil 4.30. Kullanılan dört adet sıcak hava menfezinin konumu

Sıcak hava menfezlerinden kabin içerisine 1,2 m/s hızında ve 370 K sıcaklığında hava girişinin olması düşünülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda 20. dakika sonunda kabin içerisinde elde edilen sıcaklık dağılımı hacimsel olarak kabinin sol yan bölümden gösterimi Şekil 4.31'de, sağ yan bölümden gösterimi Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

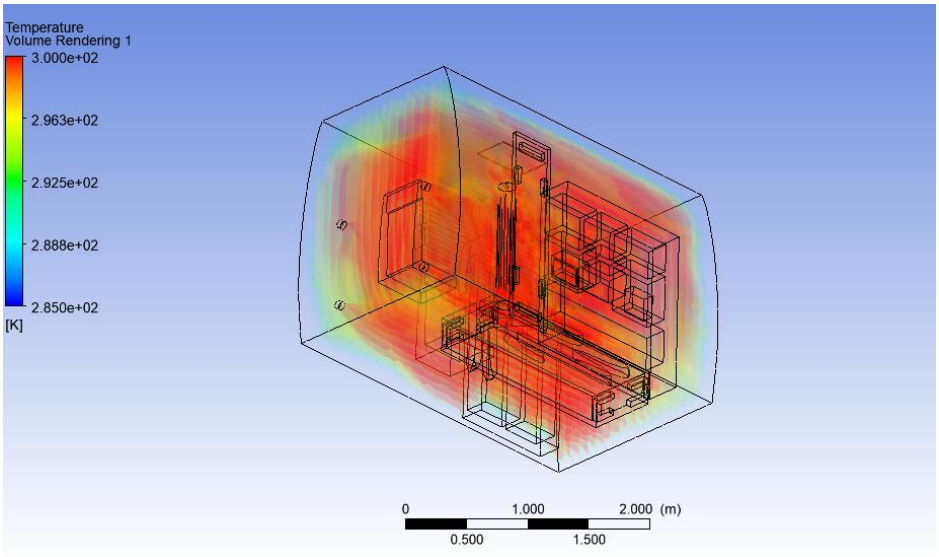


Şekil 4.31. Dört menfezli sistemin sol yandan sıcaklık dağılımı



Şekil 4.32. Dört menfezli sistemin sağ yandan sıcaklık dağılımı

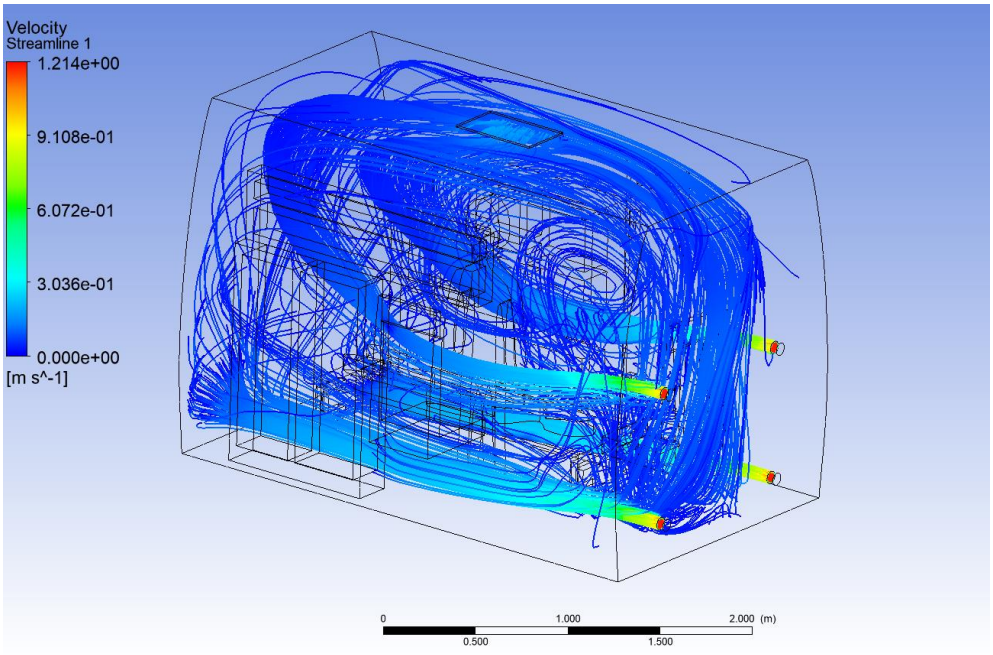
Sol yandan ve sağ yandan sıcaklık dağılımları incelendiğinde, kabin kenarlarında sıcaklık dağılımının homojen dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Kabinin genel hacmine bakıldığında, arka ve ön bölümdeki sıcaklık dağılımlarının aynı olduğu gözlemlenmiştir. Kabin içi sıcaklık dağılımının genel görüntüsü Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.33. Dört menfezli durumda kabin içi sıcaklık dağılımı

Hava akışının kabin içerisindeki dağılımı incelendiğinde, akışın kabinin alt bölümünde ve orta bölümde olduğu gözlemlenmekte olup sonrasında akışın hava çıkış menfezine doğru ve kabinin tavan bölümüne doğru yöneldiği saptanmıştır. Dört menfezli sistemde, 20. dakika sonundaki hava akış sirkülasyonu Şekil 4.34'te gösterilmiştir.

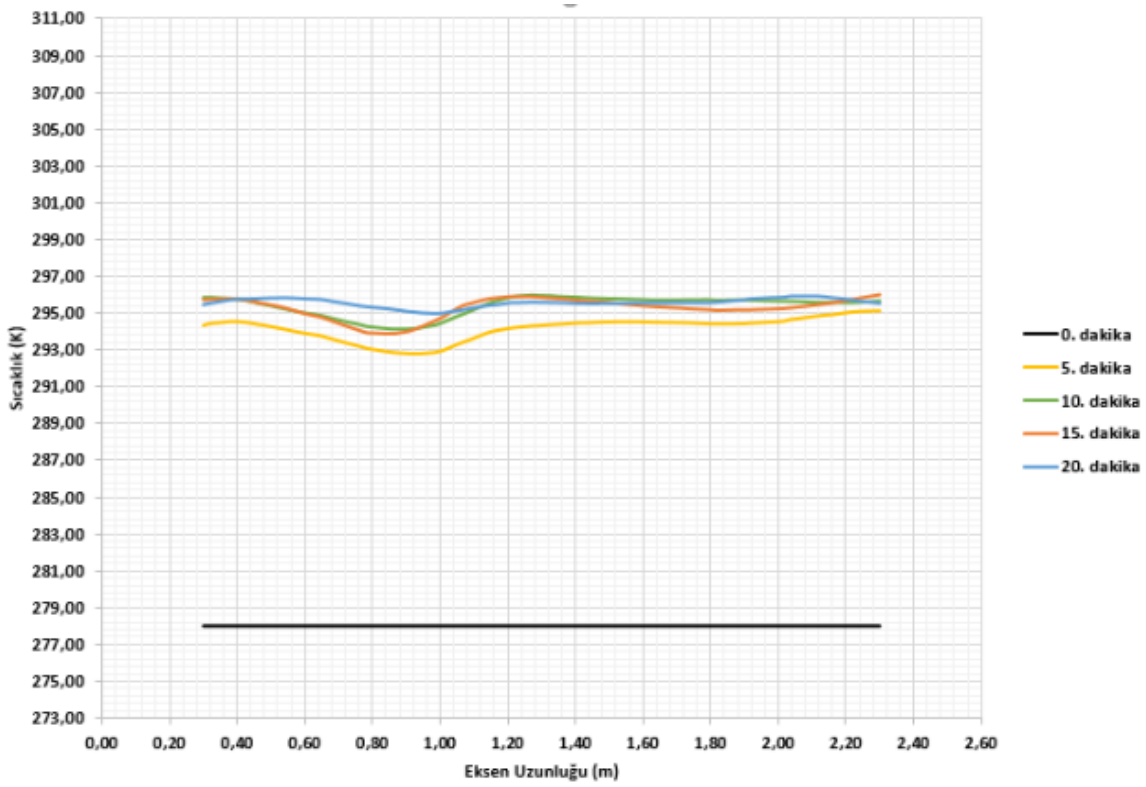
.



Şekil 4.34. Menfez durumlarına göre sedye üzeri hava hızı değerleri

Bir, iki ve dört menfezli sistemler değerlendirilmiş olup kabinin orta ekseni üzerinden alınan sıcaklık değerleri zamana göre incelenmiştir.

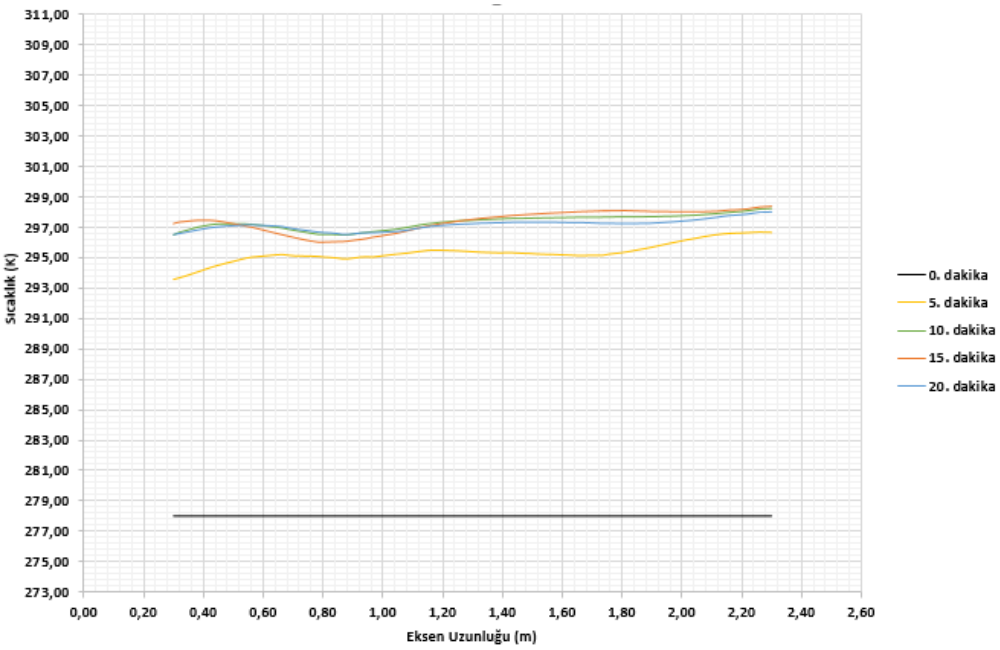
Eksen, iki noktanın oluşturduğu bir çizgi şeklindedir. İlk noktanın koordinatları, x:0,3 m, y:0 m, z:1 m şeklinde olup ikinci noktanın koordinatları ise x:2,3 m, y:0 m, z:1 m şeklindedir. Bir menfezli sistemde zamana göre elde edilen sıcaklıklar Şekil 4.35'te verilmiştir.



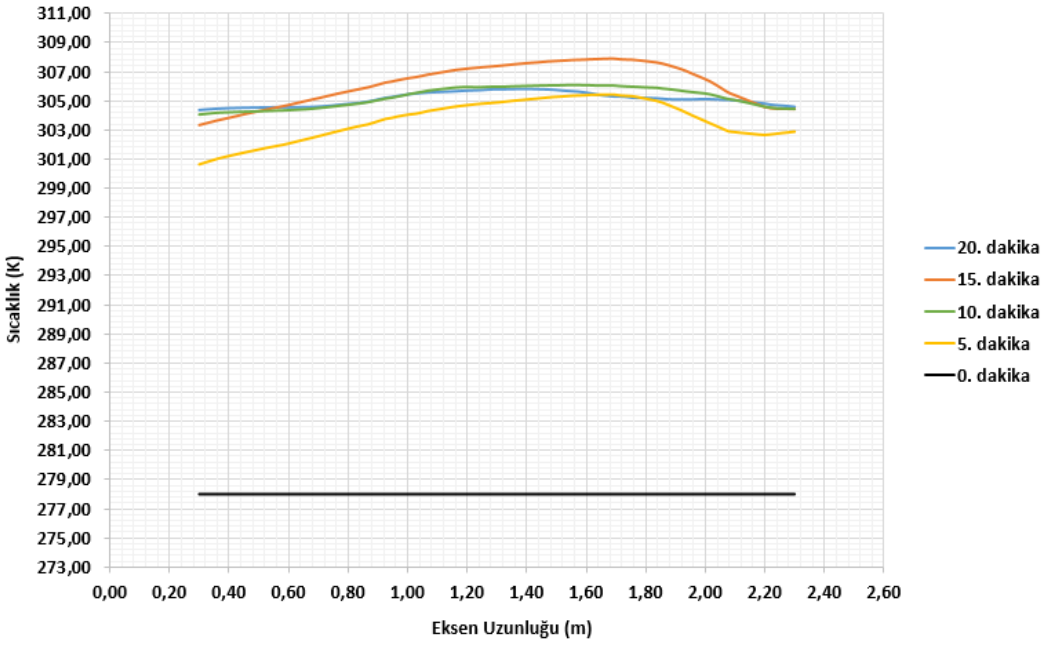
Şekil 4.35. Bir menfezli sistemin kabin eksenindeki farklı zamanlarda sıcaklık değişimi

Bir menfezli sistemin kabin orta eksenindeki sıcaklık değişimi incelendiğinde, 5. dakikada sıcaklık dağılımı dengeli değildir. Kabin ön kısmından itibaren 1,4 m'lik mesafede sıcaklık dağılımındaki dengesizlikler kabinin arka bölümüne doğru daha dengeli bir hal almıştır. Isınma süresinin ilerlemesiyle birlikte orta eksendeki sıcaklık 20. dakikada, önceki zaman dilimlerine göre daha dengeli gibi olsa da yine de homojen bir sıcaklık dağılımı için yeterli dengede değildir.

İki menfezli sistemin ve dört menfezli sistemin zamana göre sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 4.36'da ve Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.36. İki menfezli sistemin kabin eksenindeki farklı zamanlarda sıcaklık değişimi



Şekil 4.37. Dört menfezli sistemin kabin eksenindeki farklı zamanlarda sıcaklık değişimi

İki menfezli sistemin kabin orta eksenindeki sıcaklık dağılımı zamana göre incelediğinde, tek menfezli sistemde olduğu gibi, 5. dakikada sıcaklık dağılımı dengesizdir. Sonraki zaman dilimlerinde sıcaklık dağılımı biraz daha dengeli bir durum izlemeye başlamıştır ancak kabin ön bölümü ve kabin arka bölümü sıcaklıkları arasındaki farktan dolayı homojen bir dağılım oluşturmamıştır. Dört menfezli sistemin zamana göre sıcaklık değişimi orta eksene göre incelendiğinde sıcaklığın bu bölümde 15. dakikaya kadar yükselmekte olduğu, sonrasında sıcaklığın kabin içerisine dağılımından dolayı azaldığı ve dengeli hale geçtiği gözlemlenmiştir. 20. dakika zaman diliminde kabinin ön bölümü ve arka bölümü arasında sıcaklık farkı 1 dereceden daha azdır. Bu sebeple dört menfezli sistemde kabin orta ekseninde, bir ve iki menfezli sisteme göre daha homojen bir dağılım elde edilmiştir.

Kabinin orta eksenindeki ısınma süreci incelendiğinde dört menfezli sistemdeki kabin havası, bir ve iki menfezli sisteme göre daha çabuk ısınmaktadır. Isınma sürecinin 10. dakikasında ortalama kabin sıcaklığı bir menfezli sistemde 295 K, iki menfezli sistemde 298 K ve dört menfezli sistemde ise 305 K'dir. Kabin içi hava sıcaklığının 295 K olması durumu, bir menfezli sistemin ısınma süresinin 10. dakikasında, iki menfezli sistemin ısınma süresinin 5. dakikasında elde edilmektedir. Dört menfezli sistemde 295 K kabin içi hava sıcaklığı 5 dakikadan daha az bir ısınma süresinde elde edilmiştir. Bu sebeple dört menfezli sistem kullanımında ısıtma sistemi, bir ve iki menfezli sisteme göre daha az süre çalıştırılarak kabin içi havası uygun sıcaklığa getirilebilecektir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada ambulans kabininin ısıtılma süreci deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Ambulans kabini üç boyutlu olarak modellenerek hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri gerçekleştirilmiş ve gerçek ambulans üzerinde yapılan ölçümlerle analizler karşılaştırılmıştır. Kabin içindeki sıcaklık dağılımının homojen olmadığı gözlemlenmiş ve problemli bölgeler belirlenirken bu bölgeler için ilave sıcak hava menfezlerinin konumlandırılması önerilmiştir. Kabin içindeki sıcaklık dağılımın zamana bağlı olarak değişimi bir, iki ve dört menfezli sistemler için değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde:

- Sıcak hava menfezinin, kabinin sol bölümünde yer alması durumunda kabin içi sıcaklık dağılımının homojen olmadığı,
- Kullanılan sıcak hava menfez sayısının ikiye çıkarılması durumunda, kabinin sağ ve sol kenarlarında hava sıcaklığının tek menfezli sisteme göre daha dengeli olduğu ancak kabin genelindeki sıcaklık dağılımının homojen olmadığı,
- Sıcak hava menfezinin dörde çıkarılması ve ikisinin kabin ortasına nüfuz etmesi durumunda kabin içi sıcaklık dağılımının bir ve iki menfezli sistemlere göre daha dengeli olduğu,
- Sedye üzeri havasının ısınma süreci incelendiğinde, dört menfezli sistemde havanın daha çabuk ısındığı,

gözlemlenmiştir.

Tüm bu işlemler sonucunda ambulans kabini havasının ısıtılmasında dört menfezli sistemin kabini daha çabuk ısıttığı ve sıcaklık dağılımının bir ve iki menfezli sisteme göre daha dengeli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bundan sonraki çalışmalar için, kabin içindeki farklı bölgelere sıcak hava menfezleri konumlandırılarak HAD analizi ile sıcaklık dağılımları gözlemlenebilir ve deneysel çalışmalar ile doğrulanabilir. Ayrıca farklı ısıtıcı tipleri kullanılarak hava giriş veya çıkış menfez çapları değiştirilerek homojen sıcaklık dağılımları elde edilebilir.

KAYNAKLAR

Aksu, A. (2020). *112 acil sağlık hizmetleri istasyonlarında iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ve risk değerlendirmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Medipol Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Aronson, D., Chroneer, Z., Elofsson, P. ve Fellbom, H. (2000). Comparison Between CFD and PIV Measurements in a Passenger Compartment. *SAE Technical Paper Series,* 6–9 March 2000, Michigan, USA. doi:10.4271/2000-01-0977

Aydın, A. (2021). *Otomobillerde camlar üzerinde oluşan buzun giderilmesinde menfez geometrisi, hava hızı ve sıcaklığın etkisinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle analizi*. (Yüksek lisans tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Currle, J. ve Maué, J. (2000). Numerical Study of the Influence of Air Vent Area and Air Mass Flux on the Thermal Comfort of Car Occupants. *SAE Technical Paper Series,* 6–9 March 2000, Michigan, USA. doi:10.4271/2000-01-0980

Doğan, B. (2011). *Bir taşıt içindeki havalandırma/ısıtma (ısıl dağılım) probleminin sayısal olarak incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ekşi, A. (2005). *Ambulans Kullanımı.* Ankara: ÜBL

Fidan, S. (2022). *Aerodinamik kanatlı radyal fan tasarımı ve sayısal analizi*. (Yüksek lisans tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Han, T., Huang, L., Kelly, S., Huizenga, C. ve Hui, Z. (2001). Virtual Thermal Comfort Engineering. *SAE Technical Paper Series,* 5–8 March 2001, Michigan, USA. doi:10.4271/2001-01-0588

Kataoka, T. (2001). Prediction of Occupant's Thermal Sensation under the Transient Environment in a Vehicle Compartment. *SAE Technical Paper Series,* 5–8 March 2001, Michigan, USA. doi:10.4271/2001-01-0586

Kaya, S., Yalçın, E. ve Koçyiğit, G.A. (2013). Soğuk depo modelinin deneysel ve 3 boyutlu sayısal analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, Nisan, 2013, Balıkesir, 4(1), syf. 23-35.

Kaynakli, O. ve Kilic, M. (2005). An investigation of thermal comfort inside an automobile during the heating period. *Applied Ergonomics,* 36(3), pg. 301–312. doi:10.1016/j.apergo.2005.01.006

Kılıç, M. ve Akyol, Ş.M. (2009). Otomobil Kabinlerinin Isıtılmasında Farklı Hava Yönlendiricileri Kullanımının Isıl Konfora Etkisi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 29(1), syf. 25-36

Korkmaz, C. ve Kaçar, İ. (2021). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Simülasyonları İçin Optimum Eleman Ağ Yapısının Belirlenmesi. *Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Üzerine Güncel Araştırmalar,* 1(8), syf. 109-125. doi: 10.37609/akya.919

Korukçu, M.Ö., Pastakkaya, B. ve İşman, M.K. (2013). Bir otomobil kabini içerisinde ısıtma süreci için farklı hava hızı kullanımının sayısal analizi. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Isıl Konfor Sempozyumu,* 17-20 Nisan, İzmir.

Mhetre, N. (2019). Prediction of HAVC Cool-Down Performance inside a Minibus Passenger Cabin Using CFD and Its Experimental Validation. *SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology,* 11(01), pg. 47-56. doi: 10.18090/samriddhi.v11i01.7

Peneklioğlu, K. (2021). CFD 102: ANSYS Fluent Meshing. Retrieved 30 December 2022, from https://learning.numesys.com.tr/public/portal/75331.

Pirouz, B., Mazzeo, D., Palermo, S. A., Naghib, S. N., Turco, M. ve Piro, P. (2021). CFD Investigation of Vehicle's Ventilation Systems and Analysis of ACH in Typical Airplanes, Cars, and Buses. *Sustainability,* 13(12). doi:10.3390/su13126799

Reggio, M., Kudriavtsev, V. ve Alexandrov, A. (2001). Analysis of Flow Patterns amd Heat Transfer in Generic Passenger Car Mini-Environment. *9th Annual Conferance of the CFD Society of Canada,* 27-29 May, Kitchener/Ontario.

Roy, D., El Khoury, K., Clodic, D. ve Petitjean, C. (2001). Modelling of In-Vehicle Heat Thransfers Using Zonal Approach. *SAE Technical Paper Series.* 5–8 March 2001, Michigan, USA. doi: 10.4271/2001-01-1333

Sevilgen, G. ve Kilic, M. (2010). Transient numerical analysis of airflow and heat transfer in a vehicle cabin during heating period. *International Journal of Vehicle Design,* 52(4), pg. 144-159. doi:10.1504/ijvd.2010.029641

Sevilgen, G. ve Kılıç, M. (2012). Three dimensional numerical analysis of temperature distribution in an automobile cabin. *Thermal science,* 16(1), pg. 321-326. doi:10.2298/TSCI1201321S

Spalart, P. ve Allmaras, S. (1992). A one-equation turbulence model for aerodynamic flows. *30th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit.* 6-9 January 1992, Reno, USA. doi:10.2514/6.1992-439

Svendsen, T., Lund-Kordahl, I. ve Fredriksen, K. (2020). Cabin temperature during prehospital patient transport – a prospective observational study. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine,* Norway. 28(1). doi:10.1186/s13049-020-00759-0

Şimşek, P., Günaydın, M. ve Gündüz, A. (2019). Hastane Öncesi Acil Sağlık Hizmetleri: Türkiye Örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi,* 8(1), syf. 120-127.

T.C. Resmi Gazete. (10 Nisan 2012 R.G. Sayısı 28260). *Ambulansların ve Acil Sağlık Araçlarının Sınıflandırılması.*

T.C. Sağlık Bakanlığı, (2018). *Sağlık Bilgi Sistemleri Yıllığı*.

Ufat, H., Kaynakli, O., Yamankaradeniz, N. ve Yamankaradeniz R. (2017). Three-dimensional air distribution analysis of different outflow typed operating rooms at different inlet velocities and room temperatures. *Advances in Mechanical Engineering.* 9(7), pg. 1-12. doi:10.1177/1687814017707414

Yaman, B. (2015). *Hastanelerde sunulan acil sağlık hizmetlerinin yönetim ve organizasyonu*. (Yüksek lisans tezi). Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Yapıcı, E. (2021). CFD 101: Introduction to ANSYS Meshing. Retrieved 30 December 2022, from https://learning.numesys.com.tr/public/portal/75329.

Wilcox, D.C. (2006). Turbulence modeling for CFD, 3rd ed. DCW Industries, California, USA.