



**AMELİYATHANE ODASININ ISIL KONFOR VE
HİJYENİK ŞARTLARININ DENEYSEL VE
NÜMERİK İNCELENMESİ**

HANDE UFAT



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AMELİYATHANE ODASININ ISIL KONFOR VE HİJYENİK ŞARTLARININ
DENEYSEL VE NÜMERİK İNCELENMESİ**

Hande UFAT

Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2017

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Hande UFAT tarafından hazırlanan "Ameliyathane Odasının Isıl Konfor ve Hijyenik Şartlarının Deneysel ve Nümerik İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Başkan: Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

İmza

Üye: Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI
U.Ü. Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

İmza

Üye: Doç. Dr. Salih COŞKUN
U.Ü. Teknik Bilimler MYO
Elektrik ve Enerji Bölümü

İmza

Üye: Doç. Dr. İbrahim ATMACA
Akdeniz Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Müh. Bölümü

İmza

Üye: Yrd.Doç. Dr. Kemal Furkan Sökmen
BTÜ Doğa Bil., Mim. ve Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

15./05/2017

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/04/2017

İmza

Ad ve Soyadı

Hande UFAT

ÖZET

Doktora Tezi

AMELİYATHANE ODASININ ISIL KONFOR VE HİJYENİK ŞARTLARININ DENEYSSEL VE NÜMERİK İNCELENMESİ

Hande UFAT

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Ameliyathane iklimlendirme sistemleri hem ameliyathane ekibinin ısı konforunu sağlamak hem de ortamın hijyenini sağlayabilmek açısından oldukça önemlidir. Yapılan birçok çalışmada ameliyat enfeksiyonlarının büyük kısmının, ameliyathane iklimlendirme sistemine bağlı olduğu görülmüştür. Isıl konfor, önemli derecede hava sıcaklığına, bağıl neme ve hava hızına bağlıdır. Mahalin hijyenini sağlamak için de ortamdaki partikül miktarını en aza indirmek gerekmektedir. Bunu en çok etkileyen faktörler ise havanın filtrasyonu ve havanın mahale dağıtım şeklidir.

Yapılan bu çalışmada, türbülanslı ve laminer hava akışlı iki adet ameliyathanede deneyler yapılarak, farklı hava giriş sıcaklıkları ve hızlarında odanın bağıl nem ölçümü, sıcaklığı ve ameliyat masası üzerinden partikül sayımı yapılmıştır. Hava giriş hızının ve sıcaklığının mahal hijyenini ne derecede etkilediğine bakılmıştır. Bu iki ameliyathane ANSYS-Fluent programında modellenerek, yapılan deneylerle analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ameliyathane iklimlendirmesi, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, İç hava kalitesi, Isıl konfor

2017, xvi+140

ABSTRACT

PhD Thesis

**EXPERIMENTAL and NUMERICAL INVESTIGATIONS of THERMAL COMFORT
AND HYGIENIC CONDITIONS of an OPERATING ROOM**

Hande UFAT

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

Supervisor: Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Operating room air conditioning systems are very important in terms of both providing thermal comfort to the operating room team and ensuring the hygiene of the environment. Many studies have shown that the majority of surgical infections are due to the operating room air-conditioning system. Thermal comfort depends on air temperature, relative humidity and air velocity at significant levels. In order to ensure hygiene of the indoor air, it is necessary to reduce the amount of particles in the environment to the minimum. The most important factors affecting this are air filtration and air distribution.

In this study, experiments were carried out in two operating rooms with turbulence and laminar airflow, and the relative humidity measurements, temperature and particle counts on the operation table were performed at different air inlet temperatures and velocities. Inlet air velocity and temperature have affected how much the room hygiene affects. These two operating rooms were modeled in the ANSYS-Fluent program and the results of the experiments were compared.

Keywords: Operating room air conditioning, Computational fluid dynamics, indoor air quality, thermal comfort

TEŞEKKÜR

Bu tezin ortaya çıkmasını sağlayan ve tez süreci boyunca bilgilerini paylaşan ve desteğini esirgemeyen danışmanım sayın Prof.Dr. Recep Yamankaradeniz'e, değerli fikirlerine ve bilgilerine başvurduğum sayın Prof.Dr. Ömer Kaynaklı'ya, gerekli yerlerde önerileriyle katkı sağlayan sayın Doç.Dr. Erhan Pulat'a teşekkür ederim.

Tez çalışması için ihtiyaç duyulan fiziki ölçümlerin yapılabilmesi için ameliyathanelerinde çalışmama izin veren Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Ameliyathane ve Merkezi Sterilizasyon Ünitesi Sorumlusu Prof.Dr. Şükran Şahin'e, çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen ameliyathane Başhemşiresi Hülya Yanık'a ve diğer hemşirelere, ölçümleri alma sırasında ameliyathane klimalarındaki gerekli ayarlamaların yapılmasını sağlayan sistem odası sorumlularına teşekkür ederim.

Tezin kapsamında yürütülen OUAP (M) 2013/2 nolu "Ameliyathane Odasında Konfor ve Hijyenik Şartların İncelenmesi" isimli orta ölçekli araştırma projesine maddi destekte bulunan ve bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim

Tezimle ilgili gerekli yerlerde bilgilerine başvurduğum ve bu süreçte bana destek olan çalışma arkadaşlarım Yrd.Doç.Dr. Özgün Korukçu, Dr.Mustafa Mutlu ve Dr. Zeynep Ömeroğulları Başyığıt'e teşekkür ederim.

Son olarak bu zor süreçte desteğiyle her zaman yanımda olan eşime ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Hande Ufat
25/04/2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Ameliyathane Konfor Şartları ile İlgili Kaynak Araştırmaları	3
2.2 Ameliyathane Hijyenik Şartları ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	6
2.3 Yapılan Tez Çalışmasının Literatürdeki Çalışmalardan Farkı ve Sağladığı Katkılar	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1 Ameliyathane İklimlendirme Sistemleri ve İç Hava Şartları İle İlgili Genel Bilgiler	13
3.2 Deney Yapılan Ameliyathaneler	16
3.3 Deneyler Sırasında Ölçülen Parametreler ve Kullanılan Ölçüm Cihazları	18
3.3.1 Sıcaklık ve Bağıl Nem	18
3.3.2 Hava Giriş Hızı Ölçümü.....	22
3.3.3 Havadan Partikül Sayım Cihazı	23
3.4 Sayısal Modelleme	24
3.4.1 Korunum Denklemleri	24
3.4.2 Türbülans Modelleri.....	25
3.4.3 Duvar Yaklaşımları	28
3.4.4 Geometri ve Sınır Şartları	35
3.4.5 Ağ Yapısı ve Kontrolü	37
4. BULGULAR.....	39
4.1 Laminer Flow Sistemi Olan Odada Alınan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Sonuçlar	39
4.1.1 Hız, Sıcaklık ve Bağıl Nem Ölçümleri	39
4.1.2 Partikül Sayımı.....	46
4.2 Swirl Difüzör Sistemi Olan Ameliyathaneden Alınan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Sonuçlar.....	49
4.3 CFD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Değerler ve Alınan Ölçümlerle Karşılaştırılması	53
4.3.1 LAF Üniteli Ameliyathanenin CFD Analizi Sonuçları.....	54
4.3.2 Difüzörlü Ameliyathanenin CFD Analizi Sonuçları.....	118
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	135
KAYNAKLAR	136

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi
U_p	Akışkanın duvara bitişik hücre merkezindeki ortalama hızı
ρ	Akışkanın yoğunluğu
c_p	Akışkanın özgül ısısı
I	Birim tensör
y_T^*	Boyutsuz ısı tabaka kalınlığı
\dot{q}	Duvar ısı üretimi
T_w	Duvar sıcaklığı
y_p	Duvara bitişik hücre merkezinin duvara olan uzaklığı
T_p	Duvara bitişik hücre merkezinin sıcaklığı
k_p	Duvara bitişik hücrenin merkezindeki türbülans kinetik enerjisi
S_m	Faz değişimi sırasında değişen kütle miktarıdır
$\bar{\tau}$	Gerilme tensörü
G_i	i yönündeki yerçekimi vektörü
Pr	Moleküler Prandtl sayısı
μ	Moleküler viskozite
Pr_t	Prandtl sayısı
α	Ses hızı
Y_M	Dalgalı yayınının genel dağılıma etkisi
p	Statik basınç
μ_t	Türbülans viskozitesi
G_b	Türbülans kinetik enerjisi
M_t	Türbülans Mach sayısı
Pr_t	Türbülans Prandtl sayısı
Re_y	Türbülans Reynolds sayısı
μ_k	Türbülans viskozitesi
l_μ	Uzunluk ölçeği
κ	Von Karman sabiti
A	Van Driest sabiti
S	Zorlanma tensörü modülü
Kısaltmalar	Açıklama
LAF	Laminer air flow
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Laminer Flow üniteli ameliyathane	16
Şekil 3.2 Difüzörlü Ameliyathane	17
Şekil 3.3 Baz Ünitesi	19
Şekil 3.4 Online sıcaklık ve bağıl nem ölçer	19
Şekil 3.5 Testo 435 ölçüm cihazı ve sıcaklık/nem probu	21
Şekil 3.6 Testo 435 ölçüm cihazı sıcaklık/hız probu	22
Şekil 3.7 Testo 5100 Transmitter ve hız probu.....	23
Şekil 3.8 Havadan Partikül Sayım Cihazı.....	24
Şekil 3.9 LAF üniteli Oda Modeli	35
Şekil 3.10 Difüzörlü Oda Modeli	36
Şekil 3.11 LAF Üniteli odanın ağ yapısı	38
Şekil 3.12 Difüzörlü odanın ağ yapısı.....	38
Şekil 4.1 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.2\text{m/s}$ için Hız-Yükseklik diyagramı	40
Şekil 4.2 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.2\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı.....	40
Şekil 4.3 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.2\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı.....	40
Şekil 4.4 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.2\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı.....	40
Şekil 4.5 $V_{g_ort}=0.2\text{ m/s}$ için ölçümler sırasındaki hava giriş hızının değişimi.....	41
Şekil 4.6 $V_{g_ort}=0.2\text{ m/s}$ için ölçümler sırasındaki hava giriş sıcaklığının değişimi	41
Şekil 4.7 $V_{g_ort}=0.1\text{ m/s}$ için farklı oda sıcaklıklarında LAF altında tavandan yere sıcaklık değişimi	42
Şekil 4.8 $V_{g_ort}=0.2\text{ m/s}$ için farklı oda sıcaklıklarında LAF altında tavandan yere sıcaklık değişimi	42
Şekil 4.9 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.1\text{m/s}$ için Hız-Yükseklik diyagramı.....	43
Şekil 4.10 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.1\text{m/s}$ için Hız-Yükseklik diyagramı.....	43
Şekil 4.11 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.1\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı	43
Şekil 4.12 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.1\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı.....	43
Şekil 4.13 $V_{g_ort}=0.1\text{ m/s}$ için ölçümler sırasındaki hava giriş hızının değişimi.....	44
Şekil 4.14 $V_{g_ort}=0.1\text{ m/s}$ için ölçümler sırasındaki hava giriş sıcaklığıdeğişimi	44
Şekil 4.15 Oda sıcaklıklarına göre ortalama oda bağıl nem değerleri	45
Şekil 4.16 Difüzörlü sistemde hız-yükseklik değişim	50
Şekil 4.17 Difüzörlü sistemde sıcaklık-yükseklik değişimi.....	50
Şekil 4.18 Difüzörlü sistemde oda sıcaklık-bağıl nem değişimi.....	53
Şekil 4.19 Yükseklik-Hava hızı grafiği	54
Şekil 4.20 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1\text{ m/s}$ $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	55
Şekil 4.21 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1\text{ m/s}$ $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	56
Şekil 4.22 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1\text{ m/s}$ $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	56

Şekil 4.23 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	57
Şekil 4.24 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	58
Şekil 4.25 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	58
Şekil 4.26 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	59
Şekil 4.27 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	59
Şekil 4.28 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	60
Şekil 4.29 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	61
Şekil 4.30 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	61
Şekil 4.31 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	62
Şekil 4.32 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	63
Şekil 4.33 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	63
Şekil 4.34 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	64
Şekil 4.35 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	64
Şekil 4.36 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	65
Şekil 4.37 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	65
Şekil 4.38 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	66
Şekil 4.39 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	66
Şekil 4.40 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	67
Şekil 4.41 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	68
Şekil 4.42 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	68
Şekil 4.43 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	69

Şekil 4.44 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	70
Şekil 4.45 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	70
Şekil 4.46 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	71
Şekil 4.47 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	71
Şekil 4.48 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	72
Şekil 4.49 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	73
Şekil 4.50 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	73
Şekil 4.51 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	73
Şekil 4.52 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	74
Şekil 4.53 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	75
Şekil 4.54 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	75
Şekil 4.55 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	76
Şekil 4.56 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	77
Şekil 4.57 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	77
Şekil 4.58 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	78
Şekil 4.59 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	78
Şekil 4.60 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	79
Şekil 4.61 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	80
Şekil 4.62 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	80
Şekil 4.63 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	81
Şekil 4.64 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	81

Şekil 4.65 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	82
Şekil 4.66 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	82
Şekil 4.67 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	83
Şekil 4.68 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ $V_g=0.1$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı	84
Şekil 4.69 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ $V_g=0.1$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı	84
Şekil 4.70 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ $V_g=0.1$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı	85
Şekil 4.71 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ $V_g=0.1$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı	85
Şekil 4.72 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	86
Şekil 4.73 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	87
Şekil 4.74 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	87
Şekil 4.75 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	88
Şekil 4.76 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	89
Şekil 4.77 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	90
Şekil 4.78 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	90
Şekil 4.79 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	91
Şekil 4.80 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	92
Şekil 4.81 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	92
Şekil 4.82 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	93
Şekil 4.83 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	94
Şekil 4.84 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	95
Şekil 4.85 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	95
Şekil 4.86 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	96
Şekil 4.87 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	97

Şekil 4.88 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	98
Şekil 4.89 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	98
Şekil 4.90 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	99
Şekil 4.91 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	99
Şekil 4.92 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	100
Şekil 4.93 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	101
Şekil 4.94 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	101
Şekil 4.95 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	102
Şekil 4.96 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	103
Şekil 4.97 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	103
Şekil 4.98 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	104
Şekil 4.99 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	104
Şekil 4.100 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	105
Şekil 4.101 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	106
Şekil 4.102 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	106
Şekil 4.103 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	107
Şekil 4.104 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	108
Şekil 4.105 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	108
Şekil 4.106 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	109
Şekil 4.107 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	109
Şekil 4.108 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	110

Şekil 4.109 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	111
Şekil 4.110 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	111
Şekil 4.111 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı	111
Şekil 4.112 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	112
Şekil 4.113 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	112
Şekil 4.114 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	113
Şekil 4.115 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı	113
Şekil 4.116 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	114
Şekil 4.117 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	114
Şekil 4.118 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	115
Şekil 4.119 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı	115
Şekil 4.120 $T_o=19^\circ\text{C}$ $V_g=0.2$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı	117
Şekil 4.121 $T_o=20^\circ\text{C}$ $V_g=0.2$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı	117
Şekil 4.122 $T_o=21^\circ\text{C}$ $V_g=0.2$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı	118
Şekil 4.123 $T_o=22^\circ\text{C}$ $V_g=0.2$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı	118
Şekil 4.124 $T_o=19^\circ\text{C}$ için xz ekseninde hava hızı dağılımı	120
Şekil 4.125 $T_o=19^\circ\text{C}$ için yz ekseninde hava hızı dağılımı	121
Şekil 4.126 $T_o=19^\circ\text{C}$ için xz ekseninde sıcaklık dağılımı	121
Şekil 4.127 $T_o=19^\circ\text{C}$ için yz ekseninde sıcaklık dağılımı	122
Şekil 4.128 $T_o=19^\circ\text{C}$ için xz ekseninde bağıl nem dağılımı	123
Şekil 4.129 $T_o=19^\circ\text{C}$ için yz ekseninde bağıl nem dağılımı	123
Şekil 4.130 $T_o=20^\circ\text{C}$ için xz ekseninde hava hızı dağılımı	124
Şekil 4.131 $T_o=20^\circ\text{C}$ için yz ekseninde hava hızı dağılımı	124
Şekil 4.132 $T_o=20^\circ\text{C}$ için xz ekseninde sıcaklık dağılımı	125
Şekil 4.133 $T_o=20^\circ\text{C}$ için yz ekseninde sıcaklık dağılımı	125
Şekil 4.134 $T_o=20^\circ\text{C}$ için xz ekseninde bağıl nem dağılımı	126
Şekil 4.135 $T_o=20^\circ\text{C}$ için yz ekseninde bağıl nem dağılımı	126
Şekil 4.136 $T_o=21^\circ\text{C}$ için xz ekseninde hava hızı dağılımı	127
Şekil 4.137 $T_o=21^\circ\text{C}$ için yz ekseninde hava hızı dağılımı	127
Şekil 4.138 $T_o=21^\circ\text{C}$ için xz ekseninde sıcaklık dağılımı	128
Şekil 4.139 $T_o=21^\circ\text{C}$ için yz ekseninde sıcaklık dağılımı	128

Şekil 4.140 $T_o=21^\circ\text{C}$ için xz ekseninde bağıl nem dağılımı	129
Şekil 4.141 $T_o=21^\circ\text{C}$ için yz ekseninde bağıl nem dağılımı	129
Şekil 4.142 $T_o=22^\circ\text{C}$ için xz ekseninde hava hızı dağılımı	130
Şekil 4.143 $T_o=22^\circ\text{C}$ için yz ekseninde hava hızı dağılımı	130
Şekil 4.144 $T_o=22^\circ\text{C}$ için xz ekseninde sıcaklık dağılımı	131
Şekil 4.145 $T_o=22^\circ\text{C}$ için yz ekseninde sıcaklık dağılımı	132
Şekil 4.146 $T_o=22^\circ\text{C}$ için xz ekseninde bağıl nem dağılımı	132
Şekil 4.147 $T_o=22^\circ\text{C}$ için yz ekseninde bağıl nem dağılımı	133
Şekil 4.148 $T_o=19^\circ\text{C}$ için yükseklik-hız grafiği.....	133
Şekil 4.149 $T_o=20^\circ\text{C}$ için yükseklik-hız grafiği.....	133
Şekil 4.151 $T_o=21^\circ\text{C}$ için yükseklik-hız grafiği.....	134
Şekil 4.150 $T_o=22^\circ\text{C}$ için yükseklik-hız grafiği.....	134



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 ISO standardına göre 1 m ³ havada bulunabilecek maksimum partikül sayısı (Dharan and Pittet 2002)	15
Çizelge 4.1 Oda=19°C V=0,1 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı	46
Çizelge 4.2 Oda=20°C V=0,1 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı	47
Çizelge 4.3 Oda=21°C V=0,1 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı	47
Çizelge 4.4 Oda=22°C V=0,1 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı	47
Çizelge 4.5 Oda=19°C V=0,2 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı	48
Çizelge 4.6 Oda=20°C V=0,2 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı	48
Çizelge 4.7 Oda=21°C V=0,2 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül üzerSayısı	48
Çizelge 4.8 Oda=22°C V=0,2 m/s için ameliyat masası.....	48
üzerindeki ortalama Partikül Sayısı	48
Çizelge 4.9 Ortalama Partikül Sayısı T _{oda} =19°C	51
Çizelge 4.10 Ortalama Partikül Sayısı T _{oda} =20°C	51
Çizelge 4.11 Ortalama Partikül Sayısı T _{oda} =21°C	51
Çizelge 4.12 Ortalama Partikül Sayısı T _{oda} =22°C	52
Çizelge 4.13 Ortalama giriş havasının ve odanın bağıl neminin ölçüm değerleri	116

1. GİRİŞ

Hastane iklimlendirmesi tesisat mühendisliğinin en karmaşık alanlarından biridir. Isıl konfor şartlarını sağlamanın yanında, hava yoluyla yayılan enfeksiyon kaynaklarının azaltılması ve minimize edilmesi için iklimlendirme ve havalandırma sistemleri gereklidir (Anıl ve ark. 2009, Gaever ve ark.2014). Özellikle ameliyathane iklimlendirmesi, ameliyat enfeksiyonunu önemli derecede etkilemekte olduğundan iklimlendirme sistemlerinin tasarımı, uygulaması ve işletmesi sırasında oldukça dikkatli olmak gerekmektedir. İklimlendirme sistemi, ameliyat boyunca hastayı enfeksiyondan korumalı, havayla yayılan enfeksiyon kaynaklarını minimize etmeli ve aynı zamanda hem hasta hem de ameliyat ekibi için konforlu ve hijyenik bir ortam oluşturmalıdır. Bu şartların hepsinin bir arada sağlanması gerektiğinden dolayı, ameliyathane iklimlendirmesi tesisat mühendisliği alanının en zor konularından biridir (Forejt ve ark. 2007, Ho ve ark. 2009, Wang ve ark. 2011, Gharbi ve ark. 2012).

Standartlara uygun yapılmayan ve işletim sırasındaki bakımlarına dikkat edilmeyen ameliyathane iklimlendirme sistemleri, ortamdaki ısı konfor şartlarını sağlayamadığı gibi hava yoluyla gelen mikrobiyolojik maddeler enfeksiyona sebep olabilmektedir. Ameliyathane enfeksiyonu hastanın sağlığını tehlikeye soktuğu gibi hastanın iyileşme süresini uzatarak maddi anlamda da büyük kayıplara neden olmaktadır.

Bu sebeplerden dolayı ameliyathane iklimlendirme sistemleri üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Yurtdışındaki araştırmacıları yaptıkları yayın sayısı oldukça fazlayken ülkemizde bu konunun önemi üzerinde çok fazla durulmadığı görülmüştür.

Bu çalışmaya başlamadan önce belirlenen hedefler aşağıdaki şekildeydi;

- Belirlenen ameliyathane odalarında hava giriş hızı, sıcaklığı ve bağıl nemine bağlı olarak partikül ve mikrobiyolojik canlı sayısının belirlenmesi ve bu parametrelere bağlı olarak bunların sayısının ne şekilde değiştiğinin incelenmesi.
- Laminer flow üniteli (LAF) ve difüzör bulunan iki adet ameliyathanenin de kendi aralarında karşılaştırılarak hava akış şeklinin ortam konforuna ve hijyene etkisinin incelenmesi.

- Deneysel çalışma yapılan bu iki ameliyathanenin ANSYS Fluent programında modellenerek analizinin yapılması ve deneysel verilerle karşılaştırılması.

Bu hedeflerle başlanan çalışmada, hastanedeki iklimlendirme sistemindeki nemlendiricinin çalışmasına müdahale edilememesinden dolayı sadece hava giriş hızı ve sıcaklıkları değiştirilerek çalışma yürütülmüştür.

Çalışma Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinin ameliyathanelerinde yapılmıştır. Başlangıçta 3,2 x 3,2 m boyutlarında Laminer akış ünitesi (LAF) ünitesi bulunan bir ameliyathanede çalışılmıştır. Odada LAF izdüşümü hizasındaki 4 noktadan sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri alınarak operasyon alanı içerisindeki ortalama değerleri bulunmuştur. Hava giriş hızının ortalamasını bulmak için de LAF ünitesi yüzeyindeki 4 noktadan ölçüm alınarak ortalama alınmıştır. Partikül sayımı için de ameliyat masasının baş, orta ve ayak kısmı hizalarından ölçümler alınmıştır.

Benzer ölçümler difüzörle hava verilen ameliyathanelerden birinde de yapılmıştır. Hem ayrı ayrı her bir oda içerisindeki konfor ve hijyenik şartları sağlayan optimum hava hızı ve sıcaklıkları bulunmuş hem de iki oda arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir.

Deney yapılan iki oda ANSYS Fluent programında modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Deneyle elde edilen verilerle analiz verileri yakın çıktığından ilerideki çalışmalarda deney yapmadan sadece analiz yapılarak farklı sınır şartlarında odalardaki durum değerlendirilebilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ameliyathane enfeksiyonun en büyük sebeplerinden biri ortamdaki hava olduğu için, ameliyathane iklimlendirme sistemleri üzerinde oldukça fazla durulmaktadır. Konuyla ilgili deneysel ve sayısal olarak birçok çalışma vardır ve sürdürülmeye de devam etmektedir. Aşağıda yapılmış olan bazı çalışmalardan özetler sunulmuştur.

2.1 Ameliyathane Konfor Şartları ile İlgili Kaynak Araştırmaları

Anıl ve ark. (2009) bir ameliyathaneye konulan cihazlarla, odanın sıcaklığını, bağıl nemini ve partikül sayısını 1 hafta boyunca kesintisiz olarak 5'er dakika aralıklarla ölçülmüşlerdir. Ayrıca mahale giren havanın sıcaklığı ve bağıl nemi de 15'er dakika aralıklarla ölçülmüştür. Ameliyathane odasının kullanımda olmadığı ve ameliyat olduğu sıralardaki ölçümleri incelenmiştir. Kullanımda olmadığı sıralarda sistem düşük kapasiteli çalıştığından sıcaklık 22-23°C civarlarında tutulurken, ameliyat olduğu zamanlarda ameliyat tipine göre sıcaklıkların değiştiği görülmüştür. Bu sıcaklık değişimlerinden dolayı bağıl nem sürekli değişmektedir ve sistem tasarımı bu değişimlere çok hızlı adapte olacak şekilde yapılması gerektiğinin önemi vurgulanmıştır. Ayrıca odadaki en ufak bir hareketin bile partikül sayısını çok yüksek miktarda arttırdığı gözlenmiştir.

Son ve ark. (2009) bir ameliyathane odasının sayısal çözümlemesini yapmışlardır. Sistemde hava üfleme menfezi yan duvarda konumlandırılmıştır ve hava yere paralel şekilde üflenmektedir. Menfezin yeri duvarın yatay konumunda ortaya ve biraz daha kenara doğru modellenerek sayısal çözümleme yapılmıştır. Menfezin ortadaki konumunda sıcaklık dağılımının daha uygun olduğu ve partikül miktarının da daha az olduğu görülmüştür.

Balaras ve ark. (2007) çalışmalarında ameliyathane tasarım kriterlerinden kısaca bahsetmişlerdir. 10 farklı hastanedeki 20 ameliyathaneden sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri alınmış ve hava değişim sayılarına bakılmıştır. Elde edilen sonuçlarda hastanelerdeki termal konforun zayıf olduğu kanaatine varılmıştır.

Wang ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada bir hastane içerisinde termal ölçümler yaparken aynı zamanda da hastane personeline anket çalışması uygulamışlardır. Doktorlara, hemşirelere, hastabakıcılara, teknik personele, yönetim personeline ve bekleyen hastaların bazılarında anket yapılmıştır. İlk aşamada, anketi uygulayanların yaşı, cinsiyeti, sağlık durumu, kıyafeti ve aktivite durumları, ikinci aşamada ise çevrenin termal konforuyla ilgili basit sorular sorulmuştur. Anket yapılırken de aynı zamanda çevrenin sıcaklık, bağıl nemi ve hava hızı ölçülmüştür. Ayrıca karbondioksit ve uçucu organik madde miktarları ile ilgili de ölçümler alınmıştır. Termal hissin kişiden kişiye değişebileceği gibi, bağıl nem ve hava hızının sıcaklık hissi üzerinde oldukça etkili olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca iç hava kalitesi de istenilen hava tercihlerini de değiştirmektedir.

Attia ve ark. (2013) ameliyathane kapısının açılması esnasında içeride olan etkilerini incelemişlerdir. Kapı açıldığında ameliyat personeli etrafında hafif bir hava sirkülasyonu gözükmektedir. Kapı 75°'den fazla açıldığında sirkülasyon artmakta ve operasyon alanı içinde ölü zonlar (hızın sıfır olduğu noktalar) oluştuğu tespit edilmiştir. Kapı 90°'den fazla açıldığında ise içerideki sıcaklığın, özellikle de hastanın baş hizasında sıcaklığın arttığı ($\geq 26^{\circ}\text{C}$) olduğu görülmüştür. 60°'den fazla açıldığında ise personelin baş hizasında da sıcaklığın arttığı görülmüştür. Sonuç olarak ameliyathane kapısının açılmasının hasta ve personeli olumsuz etkilemekte olduğu tespit edilmiştir.

Gaever ve ark (2014) bazı ameliyathane standartlarından bahsetmişler ve Almanya'da bir ameliyathanede ISO 7730 standardına göre Fanger Methodu kullanarak termal konforu iyileştirilmeye çalışılan bir ameliyathaneden elde edilen sonuçlarla kendi çalışmalarını karşılaştırmışlardır. Fanger Metodu kısaca termal his -3 ve +3 arasında derecelendirilir. -3'ten +3'e sırasıyla soğuk, serin, hafif serin, nötr, hafif ılık, ılık ve sıcak şeklinde değerlendirilerek yapılır Bu standarda göre Almanya'daki çalışmada ameliyathanedeki operasyon ekibinin tek tek konfor şartlarını sağlamaya çalışmışlardır. Ameliyathanede çoğunlukla kullanılan hava giriş şartları 19°C ve 0.3 m/s 'dir. Anestezi uzmanı sürekli hareketsiz ve oturur halde olduğundan bu şartları oldukça soğuk bulduğunu belirtmiştir. Sıcaklık 22°C ve hava giriş hızı 0 m/s olsa bile anestezi için uygun şartlar sağlanamamıştır. Belirtilen şartlarda hemşireler uzun kollu kıyafet

kullandıklarında termal konforun iyi olduğunu belirtmişlerdir. Kısa kollu kıyafet giydiklerinde ise hava giriş şartları 21.5°C ve 0.1 m/s olduğunda ortam şartlarını uygun bulmuşlardır. Cerrahlar ise uzun kollu kıyafet kullandıklarından ve hareketli halde olduklarından genelde kullandıkları hava giriş şartlarında ortamın sıcak olduğunu söylemişlerdir. Hava hızı 1 m/s'ye çıkarılıp sıcaklık 19°C'de tutulmasına rağmen kendilerini konforlu hissetmemişlerdir. Hava giriş sıcaklığı 13 °C ve hızı 0.5 m/s olarak ayarlandığında ortamı konforlu bulmuşlardır. Yazarlar benzer şekilde operasyon ekibine anket uygulayarak ameliyathanedeki şartları değerlendirmişlerdir. Anestezi uzmanı ortamı soğuk bulurken hemşireler de serin bulmaktadırlar. Cerrahlar ise ortamı sıcak bulduklarını söylemişlerdir. Sonuç olarak ameliyat ekibinin tek tek termal konforunun sağlanmasının mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu sebeplerden dolayı da görülmektedir ki hem termal konfor sağlamak hem de hastanın sağlığını ön planda tutmak kolay bir iş değildir.

Vilain ve ark (2013) spiral hava difüzörü ile iklimlendirilmesi sağlanan bir ameliyathanede termal konfor çalışması yapmışlardır. Termal manken üzerine yerleştirilen sensörler ile ölçümler alıp değerlendirmişlerdir. Özellikle ameliyathane lambası altında kalan bölgelerdeki sıcaklık yüksek çıkmıştır. Cerrah ve hemşirenin bulunduğu kısımda termal mankenin baş kısmında, hastanın ise göğüs kısmında sıcaklık yüksek çıkmıştır. Diğer kısımlarda ise çok fazla sıcaklık farkı görülmemektedir. Ancak metabolik hıza göre sıcaklık aynı olsa bile verdiği hissin kişiden kişiye değişeceğini belirtmişlerdir. Hasta anestezi altında olduğundan aynı sıcaklığı cerrah fazla bulabilecekken, hasta için bu sıcaklığın düşük olabileceğini düşünmektedirler.

Atılgan ve Ataer (2009) bir test odası oluşturarak termal mankenler ameliyat pozisyonunda yerleştirilerek Fanger Metodu ile termal konfor değerlendirilmesi yapılmıştır. Ortam sıcaklığı 19°C iken cerrah için uygun ancak hemşireler için serin bir ortam olduğunda bahsedilmiştir. Hasta ise anestezi altında ve hareketsiz olduğundan çevre sıcaklığı 21-24°C arasında uygundur. Bu durumda hemşireler biraz daha korumalı cerrahi kıyafet seçerek kendileri için termal konforu sağlayabilirler ancak hasta için bu sıcaklığın problem oluşturabileceği söylenmiştir.

2.2 Ameliyathane Hijyenik Şartları ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Forejt and ark. (2007) çalışmalarında, mobil bir ameliyathane ortamı için sayısal modelleme ve iki farklı durum için çözüm yapmışlardır. İlk durumda VDI standardındaki verilerle, ikinci durumda ise literatürden elde edilen verilerle çözdürerek sonuçları kıyaslamışlardır. İkinci durumdaki partikül dağılımına bakıldığında birincisindeki gibi homojenik değildir. Kirletici kaynağının yeri biraz değiştirildiğinde partikül sayısının oldukça fazla değiştiği görülmüştür. Odada istenilen 22°C'lik sıcaklığı sağlamak için 12°C civarında hava girişi olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Yaklaşık 0.2 m/s'lik hızlarda bu sıcaklıktaki havanın ameliyat personelini oldukça rahatsız edeceği düşünülmektedir.

Gharbi ve ark. (2011) çalışmalarında bir ameliyathane odasını farklı hava giriş ve emiş şekilleri için sayısal çözümlene yapmışlardır. İlk durumda havayı karşılıklı iki duvardan tavana yakın noktalardan yere paralel olarak verip zemine yakın iki noktadan da havayı toplamışlardır. İkinci durumda tavanda dört adet difüzör ve karşılıklı iki duvarın tavana ve tabana yakın kısımlarından olacak şekilde dört adet emiş menfezi düşünülmüştür. Ameliyat masası da difüzörlerin ortasında olacak şekilde konumlandırılmıştır. Üçüncü durumda ise difüzörler uzunlamasına konumlandırılarak etrafında hava perdesi olacak şekilde bir dizayn yapılmıştır. Bu üç tasarımın da dünyada pek çok ameliyathanede kullanıldığından bahsetmişlerdir. İlk durumdaki tasarım ortamdaki kirleticileri azaltma konusunda pek başarılı değildir. Zaten bu sebepten dolayı karşılık çapraz şekilde akış değil tavandan tek yönlü akış tercih edilmektedir. Üçüncü tasarım hava perdesinden dolayı partikül sayısını azaltmıştır.

Chow ve Yang (2003) çalışmalarında mevcut bir ameliyathane odasında hem deneysel çalışma yapmışlar hem de odanın modelini sayısal olarak çözümlemişlerdir. Araştırmalarında ameliyathane personelinden hastaya, hastadan da personele bakteri geçişinden kaynaklanabilecek sağlık riskleri incelenmiştir. Ameliyat lambasının farklı konumları için çalışmalar yapılmıştır. Lambanın konumunun sıcaklık dağılımını pek etkilemediği görülmüştür. Ancak partikül dağılımına etkisi oldukça dikkat çekicidir. Lamba konumuna göre partikül yoğunluğunun olduğu yerler değişmektedir.

Balocco ve ark. (2014) mevcut bir hastanenin ameliyathanesinde hem boş konumda hem de ameliyat ekibini temsilen birilerinin bulunması durumunda ölçümler almışlar ve sayısal çözümünü yapmışlardır. Ortamın sıcaklık, hava hızı, partikül sayısı ve karbondioksit ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda ameliyathanenin boş olması durumu için istenilen standartlar sağlanırken, ameliyathane personelinin olması durumunda değerler istenilen aralıkları geçebilmektedir. Ameliyat enfeksiyonunu azaltmak ve ameliyathane kirliliğinin önüne geçebilmek için ameliyathane personelinin dikkatinin önemi vurgulanmıştır.

Swift ve ark (2007) çalışmalarında farklı hava dağılımlarının enfeksiyon kontrolü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada da hem deneysel sonuçlar alınmış hem de sayısal çözümleme yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma iki farklı ameliyathanede yapılmıştır. Ameliyathanenin birinde sadece LAF ünitesi varken diğerinde ünite etrafında hava perdesi de bulunmaktadır. Hava perdesi olan sistemde, temiz hava direk olarak ameliyat alanına doğru yönlendirilmektedir ve buna bağlı olarak partikül sayısı azalmaktadır. Diğerinde ise hava bir miktar etrafa dağıldığından LAF ünitesi altındaki temiz alan küçülmektedir ve partikül sayısında artış görülmektedir.

Memarzadeh ve Manning (2002), 11 farklı iklimlendirme sistemi ve farklı hava değişim sayıları için bir ameliyathane odasının sayısal çözümlemesini yaptırmışlardır. Sıcaklık dağılımı en iyi olduğu ve partikül sayısının en az olduğu sistem laminer hava girişli olan sistem olduğu görülmüştür. Bunun yanında genelde çok fazla incelenmeyen ameliyathane personeli ve lambalarının yüzey sıcaklıklarının akışa olan etkisi de çözümlemeye dahil edilmiştir. Ameliyat alanı yeterli derecede ılık olursa oluşan sıcaklık dağılımının mahali partikül kirlenmesinden koruyacağı ortaya konulmuştur.

Zoon ve ark. (2007) ameliyathane odasına benzetilmiş bir test odasında ölçümler almışlar ve sayısal çözümleme yapmışlardır. Çalışmanın amacı VDI-2167 standardına uygun tasarlanmış bir ameliyathane odasının performansını değerlendirmektir. Giriş havası sıcaklığının önemi de vurgulanmıştır. Sıcaklığın ortam sıcaklığından daha düşük olması gerektiğini, bu sayede havanın kendi ağırlığıyla yere kadar ulaşabileceğinden söz etmişlerdir. Deneysel çalışma yapılan alan iki farklı sayısal çözüm programıyla

çözdürülmüştür. Sıcaklık dağılımı deneysel ölçümlerle oldukça yakın çıkarken, partikül sayısı ölçülen değerlerden daha düşük çıkmıştır. Yapılan çalışmada mahal içinde insanları temsil eden silindirler konulmuş ve partikül üretici vasıtasıyla insanlardan yayılan partiküller temsil edilmiştir. Partikül üreticiden çıkan duman her ölçümde aynı miktarda ayarlanamadığında bazı ölçüm hatalarına sebebiyet vermektedir.

Ameliyathane personelinin aktivitesi ve giydiği kıyafete bağlı olarak, termal konforlarıyla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak hava dağılımının etkisinin ameliyat alanına etkisi yakın zamanda incelenmeye başlanmıştır. McNeill ve ark. (2012) bir ameliyathane ortamında personelin farklı kıyafet durumlarına göre vücut sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca ameliyathanedeki cihazların çalışır durumdayken etrafa yaydıkları ısıları da bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar sayısal çözümlemeli programların sınır şartlarını oluşturma konusunda yardımcı olmaktadır.

HVAC sistem performansının iyileştirilmesi amacıyla stratejik bir yaklaşım geliştirmek için Wang ve ark. (2010) bir ameliyathane ortamında deneysel çalışmalar ve sayısal çözümleme yapılmıştır. Çalışma, LAF ünitesi etrafında 0.4 m ve 1.2 m hava perdeli ve hava perdesiz olmak üzere yapılmıştır. Hız dağılımının, 0.2 m/s ve 0.3 m/s giriş hızları durumunda çok fazla değişmediği ancak partikül sayıları arasında oldukça büyük değişiklikler olduğu görülmüştür. Partikül konsantrasyonu 0.2 m/s hızda 0.3 m/s hıza göre biraz daha düşük çıkmıştır. Bu durumda hız biraz daha düşük tutularak enerji tasarrufu sağlanabilir. Ameliyathane içerisinde 8 farklı nokta alınmış ve 0.2 m/s, 0.25 m/s ve 0.3 m/s giriş hızları için $\geq 5 \mu\text{m}$ partikül ve bakteri sayımları yapılmıştır. Elde edilen sonuçların hepsi ISO class 7 standardını sağlamakla birlikte hız düştükçe partikül sayısının arttığı görülmüştür. En çok artış da operasyon alanı içindeki noktalardan alınan ölçümlerde görülmüştür. Bununla birlikte 0.2 m/s hız için farklı perde genişlikleri için ölçümler alınmıştır. Perde genişliği arttıkça partikül sayısının operasyon alanı içinde düştüğü ve operasyon alanı dışında da arttığı görülmüştür. Sıcaklık ve bağıl nem değerleri de ölçümler sırasında takip edilmiştir. Hava giriş hız 0.3 m/s'den 0.2 m/s 'ye inerken sıcaklık da 19°C civarından 21°C civarına çıkmıştır. Bağıl nem değeri de hava hızı 0.25 m/s değerine indiğinde % 60 civarındayken, hava hızı 0.3 m/s'ye çıktığında

%65 civarlarındadır ve %55 \pm 5 değerine uygun değildir. Hava hızındaki artmanın gizli ısı miktarını arttırmasından dolayı nem kontrolünün zorlaştığını söylemektedirler.

Liu ve ark. (2003) Partikül konsantrasyonu bakımında problemlili olan bir ameliyathanenin sayısal çözümlemesini yapmışlardır. Ameliyat lambasının büyük veya küçük olması ve ameliyat masasının LAF ünitesi altında tam ortada veya biraz daha kenarlarda olması durumları için çözümlemeler yapılmıştır. Lambanın büyük olduğu durumlarda hava akışı kesildiğinden partikül konsantrasyonu artmıştır. Lamba daha küçükken ve ameliyat masası tam olarak LAF ünitesi izdüşümünün ortasında olmadığı durumda masanın bir kenarında hızı azalmaktayken diğer kenarında artmaktadır. Hızın azaldığı kısımda partikül konsantrasyonu artmaktadır. Yine daha küçük olan lambayla ameliyat masasının tam ortada durması koşuluyla çözüm yapılmıştır. Bu durumda ise hava akışı simetrik ve masa yanlarında hava hızı eşittir. Partikül konsantrasyonu, masanın tam ortada durmaması durumuna göre daha azdır. Hiç lamba olmaması durumunda hava dağılımının daha üniform olduğu görülmüştür. Ayrıca hızın 0.14 m/s'nin altına inildiğinde termal etkilerin baskın gelmesinde dolayı hava yukarıya doğru yönelmektedir. Buna bağlı olarak da ameliyat masası üzerinde partikül konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. Sonuç olarak lamba büyüklüğü, ameliyat masasının yeri ve hava hızı partikül konsantrasyonu üzerinde oldukça etkili olduğu görüşüne varılmıştır.

Ameliyathane ekibinden hastaya ve hastadan ameliyathane ekibine partikül yayılımını etkileyen sebeplerin kontrol altına alınması oldukça önemlidir önemlidir. Chow ve Yang (2005) çalışmalarında bu konu üzerinde durarak bir ameliyathane odasının sayısal çözümlemesini yapmışlardır. Giriş havasının hızının arttırılması, kısmi perde bulunmaması, lamba pozisyonlarının değiştirilmesi ve lamba ısı akısının düşürülmesi gibi farklı şartlar altında çözümlemeler yapmışlardır. İlk çalışmada yerden iki metre yüksekliğe kadar inen kısmi hava perde bulunmakta, ameliyathane lambasının ana lambası hastanın başı üzerinde, uydu olan lamba da masanın yan kenarına doğru durmaktadır. Hava giriş hızı da 0.38 m/s olarak alınmıştır. İkinci durumda hız 1/3 oranında azaltılarak 0.25 m/s, üçüncü durumda %50 azaltılarak 0.19 m/s, dördüncü durumda 2/3 oranında azaltılarak 0.13 m/s alınmıştır. Beşinci durumda birinci durumun

aynısı kısmi perde olmadan, altıncı durumda ilk durumdaki lamba konumları masanın üzerinde karşılıklı duracak şekilde ayarlanmıştır. Son durumda ise birinci durumda lamba ısı yayılımını %50 düşürülmüştür. Lambaların alt kısımlarında kalan alanlarda bakteri sayısının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca hava hızının düşürülmesiyle birlikte özellikle operasyon alanının içerisinde partikül sayısı ve buna bağlı olarak da bakteri sayısı artmıştır. Kısmi perdenin olması durumunda da hava çok daha düzenli bir şekilde aşağıya kadar indiği görülmüştür. Lambaların konumlarına göre olan durumlarda hemen hemen aynı sonuçlar çıkmıştır.

Han ve ark. (2011) bir havalandırma kanalı içerisindeki akışı modelleyerek sıcaklık ve bağıl nemin partikül dağılımına etkisini incelemişlerdir. Giren havanın sıcaklığı yükseldiğinde kanalın tabanı ve yan yüzeyi üzerinde partikül dağılım hızı azalmışken kanalın tavan kısmında arttığı görülmüştür. Reynolds sayısının düşmesinin bunu etkileyeceği söylenmiştir. Bağıl nemin artması da kanal yüzeylerinde partikül dağılımının arttırmıştır. Bunun sebebinin de yüzeylerde nemle beraber artan viskozite yüzünden hız düşmekte partiküllerin burada birikmesi olarak gösterilmiştir.

Türbülanslı akış olan sistemli ameliyathanelerdeki kirliliğin, LAF üniteli olan ameliyathanelerden yüksek olduğu gerçeği bilinmektedir. Pasquarella ve ark. (2007) türbülanslı akış sistemi olan bir ameliyathanede operasyonlar esnasında mobil LAF ünitesi kullanarak mikrobiyolojik sayım yapmışlardır. Mobil LAF ünitesi kullandıklarında mikrobiyolojik canlı sayısında azalma görmüşlerdir.

Ameliyathane kapısının etkilerinin konfor açısından incelendiği gibi mikrobiyolojik organizma dağılımına da etkisi incelenmiştir. Smith ve ark. (2013) LAF ünitesi olan ve olmayan farklı ameliyathanelerden hava örnekleme almışlardır. Laminer akış olan ameliyathanelerde mikrobiyolojik örnekler daha düşük çıkmıştır. Diğer taraftan kapının açılıp kapanma durumları da değerlendirilmiştir. LAF ünitesinin ameliyathane odasının kapalı olması durumunda tek başına bakteri sayısını oldukça azalttığını söylemektedirler. Ancak kapıların açılıp kapanması esnasında oluşan türbülansın havayı kontamine ettiğini ve LAF ünitesinin pek etkili olmadığını söylemektedirler.

Sadrizadeh ve ark. (2014) içerideki kişi sayısının ameliyathane enfeksiyonunu ne kadar etkilediğini araştırmışlar ve kişi sayısı arttıkça bakteri sayısının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca bu artışın partikül boyutuna göre de farklılık gösterdiği görülmektedir. 5-10 µm boyutundaki partiküllerin artışı, 20 µm boyutundaki partiküllerin artışından çok daha az olduğu görülmüştür.

Rui and ark. (2008) farklı iki iklimlendirme sisteminin ait ameliyathanede biyolojik kirlilikle ilgili çalışma yapmışlar ve aynı zamanda sayısal modellemesi üzerinde çalışmışlardır. Ameliyathanelerdeki ortalama hava hızlarından biri 0,2 m/s iken diğer 0,43 m/s'dir. Hızı düşük olan ameliyathane 8 personel vardır ve bunların içerisindeki bir hemşire ameliyathane esnasında içeride dolaşan bir hemşiredir. Diğerinde ise 9 personel vardır. Bu şartlarda hızı yüksek olan ameliyathanede biyolojik kirlilik daha azdır. Hızın bu kadar yüksek olmasına rağmen daha hijyenik bir ortam olması, diğer ameliyathaneki hemşirenin hareket haline olmasının partikül sayısını ve dolayısıyla mikrobiyolojik kirliliğin artmasıdır. Çalışma içinde ayrıca hızı düşük olan ameliyathanenin farklı hız şartlarında sayısal modellemesi yapılmış ve burası için en uygun ortalama hızın maksimum 0,3 m/s olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu hızdan daha yüksek olan hava hızı türbülans oluşturup partikülleri saçılmasını arttırmakta ve dolayısıyla mikrobiyolojik kirlilik artmakta olduğu sonucuna varılmıştır.

Chow ve ark. (2006) bir ameliyathane içerisinde farklı ameliyat lambası yerleşimleri farklı hava giriş hızlarında sayısal çözümleme yapmışlardır. Farklı lamba yerleşimlerine göre, ameliyat masasının farklı yerlerinde partikül konsantrasyonunda artış görülmektedir. Lambanın bulunduğu kısımda laminar akış bozulmakta ve lamba altında ters akışlar görülebilmektedir. Bu da partiküllerin bölgeden uzaklaşma süresini uzatmakta ve o bölgede sayılarının artmasına sebep olmaktadır. Her lamba konumu için 0,13 m/s ve 0,38 m/s hızlarında çalışılmıştır. Hava giriş hızları hızlar arasındaki farklara baktığımızda yüksek hızla yapılan çözümlerinde partikül sayılarının daha az olduğu görülmüştür. Özellikle lamba altlarında da düşük hıza göre daha az partikül görülmüştür. Düşük hava giriş hızlarında hava yıkama etkisini kaybetmekte ve ameliyat masası üzerindeki partikülleri uzaklaştıramamaktadır. Bu

sebeple hava giriş hızı yeteri derecede yüksek olursa lamba altlarındaki partikül birikmesi minimize edilebilir.

2.3 Yapılan Tez Çalışmasının Literatürdeki Çalışmalardan Farkı ve Katkıları

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak LAF ünitesi ve swirl difüzör sistemlerini kullanan iki farklı ameliyathane için, farklı hava giriş hızı ve sıcaklıkları için, ameliyat masası üzerinde 3 noktada partikül sayısı ölçümlerinin hepsi birden değerlendirilmiş ve sayısal çözümlenmesi yapılmıştır. Ayrıca sistemin çalışması sırasında hava giriş sıcaklığı sürekli bir değişim halindedir. Odanın sıcaklığı, ayarlanan oda sıcaklığını yaklaşık 1°C geçtiğinde hava giriş sıcaklığı ayarlanan oda sıcaklığından 4-5 °C düşük sıcaklıkta hava üflenmektedir. Oda sıcaklığı ayarlanan değerin yaklaşık 1°C altına indiğinde üfleme sıcaklığı yaklaşık olarak oda sıcaklığına çıkmaktadır. Yani bu süreç içerisinde oda sıcaklığının biraz üzerindeki bir sıcaklıkta hava girişi olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, sistemin bu değişken süreçlerinde ölçümler alınarak inceleme yapılmamıştır. Çalışmanın başında sıcaklık ve hava hızı değişimlerinin etkisi yanında bağıl nem değişimlerinin etkisinin de incelenmesi yapılmak istenmiştir. Ancak hastane iklimlendirme sistemindeki nemlendiricilerde problem olması sebebiyle bağıl nemin direk olarak etkisi incelenememiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Ameliyathane İklimlendirme Sistemleri ve İç Hava Şartları İle İlgili Genel Bilgiler

Ameliyathane iklimlendirmesi de hastane iklimlendirmesinin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Ameliyathane personelinin ısı konforunu sağlarken ameliyat yarasının enfeksiyon kapma olasılığını minimize etmek gerekir. Bunları sağlamak için içerideki sıcaklık, bağıl nem, hava giriş hızı, odanın basınç farkı ve mahaldeki partikül sayısı gibi parametrelerin hepsinin belli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir ve işin zorluğu da bunu yapabilmektir. Bu şartların olması gereken sınır değerleri için uluslararası geçerli tek bir standart yoktur. Her ülkenin kullandığı belli standartlar bulunmaktadır ve klima tasarımlarını bu standartlara göre yapmaktadırlar. Ülkemizde genelde DIN 1946/4, ISO 14644, ASHRAE ve VDI 2167 standartları tercih edilmektedir.

Yapılan çalışmalarda hastane enfeksiyonunun %14-16 civarı ameliyathanelerden kaynaklanmaktadır. Hastane enfeksiyonu hastanın hayatını tehlikeye soktuğu gibi tedavi süresini de 10 gün civarında uzatabilmektedir (Rui ve ark. 2008). Uzayan bu süreç maddi olarak da bir yük oluşturmaktadır. Ameliyat yarasındaki kontaminasyon %80-90 oranında ortamdaki havadan kaynaklanmaktadır. (Liu ve ark. 2003, Balaras ve ark. 2006). Bu sebeplerden dolayı hem ısı konforu sağlamak hem de içeriği hijyenik tutmak için aşağıda bahsedilen özelliklerin sürekli kontrol altında olması gerekir.

Sıcaklık: Konfor şartını sağlayan en önemli parametrelerden birisidir. Ayrıca uygun sıcaklık dağılımıyla partikül sayısı düşürülebilmektedir (Memarzadeh ve Manning 2002). ASHRAE standartlarına göre hava giriş sıcaklığı 20-24 °C, DIN 1946-4 standardında 19-26 °C ve VDI 2167 standartlarına göre 22 °C arasında olmalıdır (Van Gaeve ve ark. 2014). Ameliyathane içerisindeki herkesin ısı konforunu sağlamak oldukça zordur. Cerrahlar 18-19 °C'de, hemşireler ise 22-24.5 °C arasında kendilerini konforlu hissetmektedir. Hasta için ise 24-26 °C aralığı tavsiye edilmektedir (Balaras ve ark. 2006).

Bağıl Nem: Bağıl nem de ısı konforu sağlamak için sıcaklık kadar önemli bir parametredir. Ayrıca belli bir bağıl nem oranı üzerinde bakteri artışı hızlandığından hijyen kontrolü için de önemlidir. Çok düşük bağıl nem değerleri de ameliyat sırasında hastanın kan pıhtılaşmasına engel olabildiği gibi ameliyathane içerisindeki cihazların statik yükünü arttırmaktadır. Bu fazla statik yük de içerideki anestezi gazlarının tutuşmasına sebep olabilmektedir (Balaras ve ark. 2006). Standartlarda istenilen bağıl nem değerleri ASHRAE’ de %30-60, DIN 1946-4’te %30-60 ve % VDI 2167 standardında %40-50 önerilmektedir (Anıl ve ark. 2007, Anıl ve ark. 2008).

Hava Giriş Hızı ve Dağıtım-Toplama Şekli: Hava dağıtım şekli ameliyathanenin hijyenini sağlamak açısından oldukça önemlidir. Eski hastanelerde daha çok karışık hava akışlı sistemler kullanılmaktaydı. Ancak bu sistemlerde parçacıklar tüm ortama dağılmaktadır. (Anıl ve ark. 2007) Daha sonra tek yönlü laminer akış sağlayan “Laminer Akış Üniteleri” kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta çoğunlukla 120 x 240 cm boyutlarında LAF üniteleri kullanılmaktaydı. Ancak bu ölçülerdeki ünitelerde özellikle personelin üzerin türbülanslı hava akış bölgeleri oluşmaktadır. Ayrıca steril cerrahi aletlerin bulunduğu masa bu akış bölgesinin dışında kaldığından dolayı bu aletlerin üzerindeki bakteri üremesine engel olunamamıştır (Diab-Elschahawi ve ark. 2011). Sonrasında VDI 2167 standardında 320 x 320 cm boyutlarında LAF ünitesi tavsiye edilmiştir. Bu sayede hastayla birlikte ameliyathane personeli ve steril aletlerin bulunduğu masa da laminer akış altına alınmıştır (Balaras ve ark. 2006). Partiküllerin ortamdaki uzaklaştırılması için hava giriş hızı da oldukça önemlidir. Hava giriş hızı ise ASHRAE standartlarında 0.25-0.45 m/s, VDI 2167’de ise minimum 0.22 m/s civarlarında tavsiye edilmektedir (Anıl ve ark. 2007). Ancak çalışmalarda 0.45 m/s hızın ameliyathane personelinin rahatsız ettiği belirtilmiştir (Gaever ve ark. 2014). Mahalde en uygun akışı yakalayabilmek havanın toplama şekline de dikkat etmek gerekir. Genelde tavsiye edilen odanın köşelerinden, havanın 2/3’ünün tabandan 1/3’ünün de tavandan yakın olacak şekilde toplamda 8 noktadan toplanmasıdır. Benzer mantıkla 4 noktadan da toplanabilir (Yamankaradeniz ve ark. 2012).

Basınçlandırma: Ameliyathanenin hijyenini koruyabilmek için içeriden dışarıya doğru bir hava akışı oluşturmak gerekir. Buna pozitif basınçlandırma denir. Bu sayede komşu mahalden içeriye doğru toz ve partiküllerin geçişini önlemiş oluruz (Anıl ve ark. 2007).

Bunun için üflenen havanın bir kısmı egzoz havası olarak atılırken bir kısmı içeride basınç oluşturmak üzere bırakılır.

Partiküller: Ameliyat yaralarında meydana gelen enfeksiyonun %98'inin havadan geçtiği belirlenmiştir (Sadrizadeh ve Holmberg 2015). Havayla taşınan deri döküntüleri ve diğer partiküller, anestezi gazları, aerosoller v.b. canlı mikroorganizma kaynaklarıdır (Balaras ve ark. 2006) ve bunlar enfeksiyona sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalarda bakterilerin 1-5 µm (Liu ve ark 2003), 2.5-20 µm (Chow ve Yang 2003, 2005) ve 5-10µm (Sadrizadeh ve ark. 2013) arasındaki boyutlarda partiküllerle taşınmakla olduğunu söylenmektedir. Partikül sayım işlemlerinde ise 0.5 µm'den büyük partiküllerin sayısı önemsenmektedir (Pasquarella ve ark. 2007, Anıl ve ark. 2009). Ayrıca 5µm'den büyük partiküllerle canlı mikroorganizma arasında bir bağlantı vardır (Sadrizadeh ve ark. 2013). ISO standardında oda sınıflarına göre mahalde bulunabilecek maksimum partikül sayıları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 ISO standardına göre 1 m³ havada bulunabilecek maksimum partikül sayısı (Dharan and Pittet 2002)

ISO Sınıf	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	1 µm	5 µm
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1,000	237	102	35	8	
4	10,000	2,370	1,020	352	83	
5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
7				352,000	83,200	2,930
8				3,520,000	832,000	29,300
9				35,200,000	8,320,000	293,000

3.2 Deneysel Yapılan Ameliyathaneler

Deneysel çalışma için kullanılan ölçüm cihazlarından sıcaklık-bağıl nem ve hava hızı ölçüm cihazları daha öncesinde mevcut laboratuvar şartlarında bulunmaktadır. Partikül sayım cihazı, mikrobiyolojik örnekleme cihazı ve sayısal çözümlene için kullanılan iş istasyonu Rektörlük Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminden temin edilen kaynakla alınmıştır. Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi içerisindeki iki adet ameliyathanenin boş olduğu zamanlarda ölçümler alınmıştır. Odalardan birinde LAF ünitesi ile diğeri ise difüzörle hava dağıtımı yapılmaktadır.

LAF ünitesi bulunan ameliyathanedeki ünite 300 x 300 cm boyutlarındadır. Ünite etrafında 50 cm genişliğinde kısmi perde vardır. Ameliyat masası ünitenin altında tam ortada konumlandırılmıştır. Odanın karşılıklı iki duvarında 4 noktadan emiş yapılmaktadır. Menfezin ikisi tabana, diğeri ikisi de tavana yakın konumlandırılmıştır. Ameliyat lambalarının da ameliyathane esnasından genelde şekil 3.1'deki konumunda kullanıldığı öğrenilmiştir ve ölçümler sırasında bu konumda tutulmuştur.



Şekil 3.1 Laminar Flow üniteli ameliyathane

Difüzörler vasıtasıyla iklimlendirilmesi yapılan ameliyathane de Şekil 3.2’de görülmektedir. 61 x 61 cm boyutlarında 4 adet difüzörle ortama hava girişi yapılmaktadır ve kirli hava LAF ünitesi olan odayla aynı şekilde dışarıya atılmaktadır. Her iki sistemde HEPA filtreler mevcuttur.



Şekil 3.2 Difüzörlü Ameliyathane

Sıcaklık-Nem ölçüm cihazlarıyla laminer flow izdüşümü içerisinde ve dışarısında, ameliyat masası yanında olmak üzere 4’er noktadan ölçümler alınmıştır. LAF ünitesi dışındaki ölçümlerin ortalaması alınarak odanın sıcaklık ve bağıl nem değerleri belirlenmiştir. Laminer flow izdüşümünden alınan değerlerin ortalamasıyla operasyon alanı sıcaklık ve bağıl nem değerlerine bakılmıştır. LAF ünitesi yüzeyinden bir noktadan başlayarak 10 cm aralıklarla 5 noktadan ve devamında da 20 cm aralıklarla zemine kadar devam ederek bir çizgi üzerinden sıcaklık ve hava hızı ölçümleri alınmıştır. Laminer flow yüzeyinden de 6 noktada hava hızı ölçümü alınıp ortalaması bulunarak yaklaşık hava giriş hızı hesaplanmıştır. Benzer şekilde de hava giriş ve bağıl

nemi ölçülerek ortalama hava giriş şartları bulunmuştur. Ameliyat masası üzerinden, masanın baş, orta ve ayak kısmı olmak üzere 3 noktadan partikül sayımı yapılmıştır. Benzer ölçümler Şekil 3.2’de görülen difüzörlü sistemle iklimlendirilmesi sağlanan ameliyathanede de yapılmıştır. Ölçümler sırasında lambaların ve ameliyat masasının konumları her ölçümde aynı pozisyona getirilmiştir. Lambaların konumu da bir ameliyathane hemşiresine danışılarak ayarlanmıştır. Ameliyat sırasında şekil 3.1 ve şekil 3.2 konumlarında kullanıldığı söylenmiştir.

Çalışma yapılan ameliyat odaları Ölçülen sıcaklık, bağıl nem ve hava giriş hızı değerlerinden faydalanılarak sayısal çözümleme de yaptırılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

3.3 Deneyler Sırasında Ölçülen Parametreler ve Kullanılan Ölçüm Cihazları

3.3.1 Sıcaklık ve Bağıl Nem

Ameliyathane sıcaklığını ve bağıl nemini belirlemek için laminer flow ünitesi izdüşümü dışarısında 4 noktadan kablosuz sinyal gönderen sıcaklık ve bağıl nem ölçen sensörlerle ölçümler alınmıştır. Cihazlar online olarak çalışmakta ve alınan ölçümler bir baz ünitesine iletilmektedir ve ölçümler buradan bilgisayara aktarılabilmektedir. Baz ünitesi ve sensörler sırasıyla şekil 3.3 ve şekil 3.4’te görülmektedir. Cihazlar dakikada bir ölçüm alacak şekilde ayarlanmıştır. Buldukları noktalarda 30’ar dakika boyunca ölçüm alınmış ve ortalamaları alınarak odanın sıcaklık ve bağıl nem değerleri belirlenmiştir. Ünite içinde ve masanın yanından alınan ölçümler de aynı şekilde yapılarak ünitenin izdüşümü içerisinde ve masa yanındaki sıcaklık ve bağıl nem değerleri de belirlenmiştir.



Şekil 3.3 Testo Saveris Baz Ünitesi

Boyut: 225 x 150 x 40 mm

Radyo Frekansı: 868 MHz

Çalışma Sıcaklığı: -10...+50°C

Hafıza: Kanal başına 40,000 değer

Belirlenen süre aralıklarında, kendisine bağlı cihazlardan kablosuz bağlantıyla veri olarak depolar. Cihazı bir bilgisayara bağlayarak, kendisiyle uyumlu bir programa veriler aktarılır ve veriler istenilen şekilde düzenlenir.



Şekil 3.4 Testo H2D Online sıcaklık ve bağıl nem ölçer

Boyut: 80 x 100 x 38 mm

Radyo Frekansı: 868 MHz

Ölçüm Aralığı: Sıcaklık: -20...+50°C

Nem: 0...+%100

Doğruluk: Sıcaklık $\pm 0.5^\circ\text{C}$

Nem: %90 bağıl neme kadar ± 2 ,

25° C'de \geq %90 bağıl nem için ± 3 25° C'de $\pm 0,03$ %RH/K

Ölçüm Sıklığı: 1dakika...24 saat ayarlanabilir

Hafıza: Kanal başına 6,000 okuma

İletim Mesafesi: 868 MHz frekansta boş alanda yaklaşık 300m

Şekil 3.4'te görülen radyofrekanslı sıcaklık ve bağıl nem ölçen cihaz, belirlenen süre aralıklarında Şekil 3.3'de görülen dataloggera veri gönderir.

Giriş havasının sıcaklık ve bağıl nemini tespit etmek için Laminer flow yüzeyinden 4 farklı noktadan ölçümler alınarak ortalamaları alınmıştır. Elde edilen değerlerle giriş havasının sıcaklığı ve bağıl nemi belirlenmiştir. Bu ölçümler Şekil 3.5'de görülen Testo 435 ölçüm cihazı ve buna bağlı sıcaklık/nem probu ile alınmıştır.



Şekil 3.5 Testo 435 ölçüm cihazı ve sıcaklık/nem probu

Ölçüm Cihazı

10.000 veri hafızası bulunmaktadır.

Sıcaklık ve Nem Ölçüm Probu

Prob, sıcaklık ve nemin yanında karbondioksit ve basınç ölçümü de yapmaktadır.

Sıcaklık sensörü

Ölçüm aralığı: 0...+50 °C

Doğruluk: $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$

Nem Sensörü

Ölçüm aralığı: 0...+100 % rF

Doğruluk: $\pm 2\%rF$ (+2...+98 %rF)

Mutlak Basınç

Ölçüm aralığı: +600...+1150 hPa

Doğruluk: ± 10 hPa

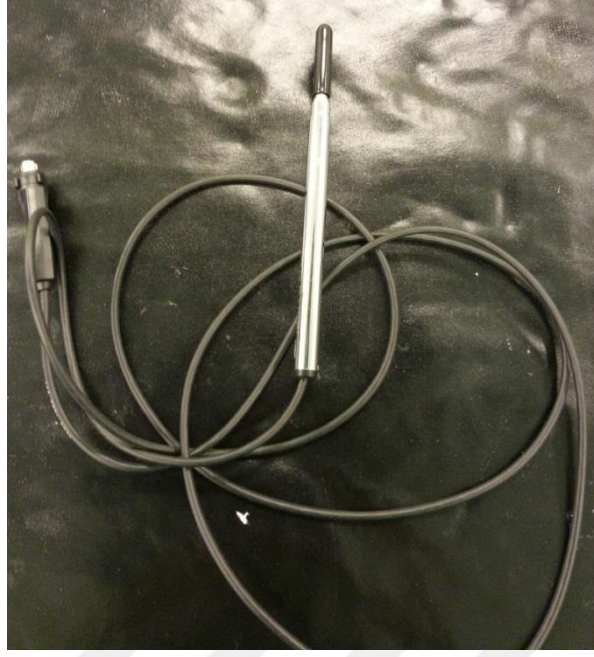
Ortam CO₂ ölçümü

Ölçüm aralığı: 0...+10000 ppm

Doğruluk: $\pm(75$ ppm ± 3 % ölç.değ.) (1 ... 5000 ppm

$\pm(150$ ppm ± 5 % ölç.değ.) (+5001 ... +10000 ppm

Laminer flow altında kalan bölgedeki bir noktada, ilk 50 cm olan kısım 10 cm aralıklar ile daha sonra da 20 cm aralıklarla laminer flow yüzeyinden zemine kadar ölçüm alınmıştır. Ölçümler için Şekil 3.5’de görülen Testo 435 ölçüm cihazı ve buna bağlı Şekil 3.6’da görülen hız/sıcaklık probu ile ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.6 Testo 435 ölçüm cihazı sıcaklık/hız probu

Hız Probu

Ölçüm aralığı: Sıcaklık: -20...+70 °C

Hız: 0...20 m/s

Doğruluk: $\pm(0,03 \text{ m/sn} \pm 5 \% \text{ ölç.değ.})$

$\pm 0,0 \text{ °C} (-20 \dots +70 \text{ °C})$

3.3.2 Hava Giriş Hızı Ölçümü

Hava giriş hızını belirlemek için laminer flow üzerinde belli noktalardan Şekil 3.7’de gösterilen Testo 5100 transmitter ve hız probu ile filtre yüzeylerinden ölçüm alınarak ortalaması alınmıştır. Bu cihaz online olarak çalışmaktadır. Hız probuyla alınan ölçümler transmittere ve oradan da sinyalle baz ünitesine gönderilmektedir. Prob istenirse sıcaklık ölçümü için de kullanılabilmekte ancak cihaz kurulumu sırasında tanımlamanın ona göre yapılması gerekmektedir. Aynı anda sıcaklık ve hava hızı verileri alınamamaktadır.



Şekil 3.7 Testo 5100 Transmitter ve hız probu

Testo 5100 Transmitter

Çalışma sıcaklığı: 0 ... +60°C

Doğruluk: 0,02mA / 1,5mV resp. 15mV

Sıcak Tel Tipi Termal Teleskobik Hız Probu

Ölçüm Aralığı ve hassasiyet: 0 ... +20 m/s; $\pm 0,03$ m/s

-20...+70°C $\pm 0,6$ °C

3.3.3 Havadan Partikül Sayım Cihazı

Ameliyathane içerisinde laminer flow ünitesinin altı ve özellikle ameliyat masası üzeri hizasındaki, özellikle $>0.5\mu\text{m}$ 'den büyük partikül sayıları önemli olduğundan ameliyat masası üzerinde partikül sayım değerleri alınmıştır. Masanın baş kısmı, ortası ve ayak kısmına gelen noktalardan Şekil 3.8'de görülen cihaz yardımı ile 3'er adet ölçüm alınarak ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.8 Havadan Partikül Sayım Cihazı

Cihaz Climet marka CI-754 modelidir. 0.3 µm, 0.5 µm, 1 µm ve 5 µm boyutlarında 4 kanalda ölçüm almaktadır ve 75 lt/dk hızda hava çekmektedir. Ölçümler alınırken 1m³ hava için ölçümler alınmıştır ve bu miktarda hava ölçümü yaklaşık 13 dakika sürmektedir.

Hız: 75 lt/dk

Partikül kanal boyutları: 0.3 µm, 0.5 µm, 1 µm ve 5 µm

Konsantrasyon limiti: 13.3 x 10⁶ adet/m³

Sapma: %10

Çalışma aralığı: 0 - 36°C, %10-90 bağıl nem

3.4 Sayısal Modelleme

Sayısal modelleme kısmında akış ve ısı transferi mekanizmalarını temsil eden korunum denklemleri çözüldü. Bunun için literatürde çokça tercih edilen sonlu hacim metodu kullanılmıştır. Çözüm için bu yöntemi kullanan ANSYS-Fluent 14.5 paket programı kullanılmıştır.

3.4.1 Korunum Denklemleri

Çözümlenelerde kullanılan sürekli rejim için korunum denklemleri aşağıdaki gibidir.

Kütlenin Korunumu

En genel halde kütle korunum denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = S_m \quad (3.1)$$

S_m terimi faz değişimi sırasında değişen kütle miktarıdır.

Momentumun Korunumu Denklemi

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3.2)$$

$\bar{\tau}$ değeri gerilme tensörü olup aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (3.3)$$

μ : Moleküler viskozite

I: Birim tensör

p: statik basınç

Enerjinin Korunumu Denklemi

Enerjinin korunumu denklemi en genel halde aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho \vec{v} + p)) = -\nabla \cdot \left(\sum_j h_j J_j \right) + S_h \quad (3.4)$$

3.4.2 Türbülans Modelleri

Literatür taramalarında görüldüğü üzere 3 boyutlu oda iklimlendirmelerinde en çok kullanılan modeller Standart k- ϵ (Chow ve Yang 2003, Loomans ve ark 2008, Han ve ark. 2011) ve RNG k- ϵ (Gharbi ve ark 2012, Smith ve ark 2013) modelleridir. Yapılan çalışmada standart k- ϵ modeliyle çözüm yapılmıştır.

Standart k-ε Model

Türbülans kinetik enerjisi, k , ve onun yayılma oranı, ε , aşağıdaki transport denklemlerinde elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (3.6)$$

Türbülans viskozitesi μ_t ;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.7)$$

Şeklinde ifade edilir. C_μ sabit sayıdır ve 0.09 olarak alınır.

$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, σ_k ve σ_ε değerleri şu şekilde verilir;

$C_{1\varepsilon}=1.44$, $C_{2\varepsilon}=1.92$, $\sigma_k=1.0$ ve $\sigma_\varepsilon=1.3$

$$G_k = -\rho \overline{u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.8)$$

G_k değeri Boussinesq modeline uygun şekilde yazdığımızda,

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (3.9)$$

S , zorlanma tensörü modülü olup

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilir.

G_b , Buoyancy etkisine bağlı olarak yazılan türbülans kinetik enerjisidir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (3.11)$$

Pr_t : Prandtl sayısı

G_i : i yönündeki yerçekimi vektörü

Standart k- ε modelinde $Pr_t=0.85$ olarak alınır. β ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (3.12)$$

Y_M ise sıkıştırılabilir türbülansın dalgalı yayılımının genel dağılıma etkisini ifade eder.

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (3.13)$$

şeklinde bulunur.

M_t türbülans Mach sayısı olup

$$M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}} \quad (3.14)$$

şeklinde. a ses hızı olup $a(\equiv \gamma RT)$ şeklinde bulunur.

RNG (Renormalization Group) k- ε Model

Bu model, standart k- ε modelindeki transport denklemlerine benzer denklemler kullanır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) \\ & = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon \\ & + S_\varepsilon \quad (3.16) \end{aligned}$$

G_k , G_b ve Y_M standart k- ϵ modelinde tanımlandığı şekildedir. S_k ve S_ϵ kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir.

RNG k- ϵ modelindeki türbülans viskozitesi

$$d \left(\frac{\rho^2 k}{\sqrt{\epsilon \mu}} \right) = 1.72 \frac{\hat{v}}{\sqrt{\hat{v}^3 - 1 + C_v}} d\hat{v} \quad (3.17)$$

$$\hat{v} = \frac{\mu_{eff}}{\mu}$$

$$C_v \approx 100$$

Yüksek Reynolds sayısı limitlerinde denklem 3.17 'den

$$\mu_k = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.18)$$

C_μ sabit sayıdır ve 0.0845 değerindedir. Standart k- ϵ modelindeki C_μ değerine çok yakındır.

3.4.3 Duvar Yaklaşımları

Türbülans modelleri türbülanslı kor bölgelerde kullanıma uygundur. Ancak cidara yakın kısımlarda laminer alt tabaka ve tampon bölge gibi kısımlar ortaya çıkmaktadır. Türbülans modelleri bu bölgeler için çıkarılmadıklarından, bu bölgelerde kullanılmaları durumunda çözümlerde hatalar oluşabilmektedir. Bu durumun engellenmesi için iki ana metot geliştirilmiştir. Bunlardan biri duvar fonksiyonu (Wall Function (WF)) metodu diğeri ise yakın duvar yaklaşımı (Near-Wall Treatment (NWT)) metodudur. Duvar fonksiyonu kullanıldığında cidar ile türbülanslı kor bölge arasında kalan bölge modellenmez ancak bu duvar fonksiyonları, cidar ile türbülanslı kor bölge arasında bir köprü vazifesi yaparlar. Bu yüzden, bu metotta ilk nodun yüzeye olan uzaklığı çok önemlidir ve cidara çok fazla yakın olması istenmez.

Yakın duvar yaklaşımında ise bu ara bölge de modellenir, türbülans modelleri uyarlanarak bu bölgede kullanılabilir hale getirilir ve çözüme gidilir. Dolayısıyla bu metotta duvar fonksiyonu metoduna kıyasla daha sık bir ağ yapısı kullanılması gerekmektedir.

Standart Wall Function Duvar yaklaşımı

Bu yöntem Launder ve Spalding'in çalışmaları sonucu elde edilmiş olup, endüstriyel akışlarda en çok kullanılan yöntemlerden biridir. (Launder and Spalding 1974.)

Momentum

Çeper yasasına göre ortalama hız;

$$U^* = \frac{1}{\kappa} \ln(E y^*) \quad (3.19)$$

Boyutsuz hız;

$$U^* \equiv \frac{U_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\tau_w / \rho} \quad (3.20)$$

Duvarдан boyutsuz uzaklık y^* ise;

$$y^* = \frac{\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} y_p}{\mu} \quad (3.21)$$

κ : von Karman sabiti (=0.4187)

E: Ampirik sabit (=9.793)

U_p : Akışkanın duvara bitişik hücre merkezindeki ortalama hızı

k_p : Duvara bitişik hücre merkezindeki türbülans kinetik enerjisi

y_p : Duvara bitişik hücre merkezinin duvara olan uzaklığı

μ : Akışkanın dinamik viskozitesi

ANSYS Fluent çözümlerinde $y^* \geq 11.225$ değeri için verilen denklemler kullanılır.

$y^* < 11.225$ olduğunda laminar gerilme-deformasyon ilişkisi kullanılır ve

$$U^* = y^* \quad (3.22)$$

şeklinde hesaplanır.

ANSYS Fluent y^* yerine çoğunlukla $y^+ (\equiv \rho u_\tau y / \mu)$ değeri kullanılır.

Enerji

Reynolds analojisi, ortalama sıcaklık için momentum ve enerji transportu arasında benzer deklemler verir.

$$T^* \equiv \frac{(T_w - T_p) \rho c_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\dot{q}}$$

$$= \begin{cases} Pr y^* + \frac{1}{2} \rho Pr \frac{C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\dot{q}} U_p^2 & (y^* < y_T^*) \\ Pr_t \left[\frac{1}{k} \ln(E y^*) + P \right] + \\ \frac{1}{2} \rho \frac{C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\dot{q}} \{ Pr_t U_p^2 + (Pr - Pr_t) U_c^2 \} & (y^* \geq y_T^*) \end{cases} \quad (3.23)$$

P değeri, Jayatilleke' nin çalışmasında verilen ifadeye göre (Jayatillaka 1969);

$$P = 9.24 \left[\left(\frac{P}{Pr_t} \right)^{3/4} - 1 \right] \left[1 + 0.2 e^{-0.007 Pr / Pr_t} \right] \quad (3.24)$$

şeklinde hesaplanır.

y_T^* : Boyutsuz ısı tabaka kalınlığı

k_p : Duvara bitişik hücrenin merkezindeki türbülans kinetik enerjisi

ρ : Akışkanın yoğunluğu

c_p : Akışkanın özgül ısısı

\dot{q} : duvar ısı üretimi

T_p : Duvara bitişik hücre merkezinin sıcaklığı

T_w : Duvar sıcaklığı

Pr : Moleküler Prandtl sayısı ($\mu c_p / k_f$)

Pr_t : Türbülans Prandtl sayısı (Duvarda 0.85)

A : Van Driest sabiti (= 26)

U_c : $y^* = y_T^*$ noktasındaki ortalama hız değeri

Denklemin 3.23'teki $\frac{1}{2} \rho Pr \frac{C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\dot{q}} U_p^2$ ve $\frac{1}{2} \rho \frac{C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\dot{q}} \{ Pr_t U_p^2 + (Pr - Pr_t) U_c^2 \}$

terimleri sadece sıkıştırılabilir akışlarda kullanılır.

Scalable Wall Function Duvar Yaklaşımı

$y^* < 11$ olan yerlerde standart wall function denklemleri uygun olmadığından Scalable Wall Function modeli kullanılır. $y^* \geq 11$ olduğunda iki model de aynı sonuçları verir.

$$\hat{y}^* = \text{MAX}(y^*, y^*_{\text{limit}}) \quad (3.25)$$

$y^*_{\text{limit}} = 11.225$ olarak alınır.

Standart Wall Function modelindeki denklemlerde y^* yerine \hat{y}^* değeri konularak çözümlenir.

Enhanced Wall Treatment Duvar Yaklaşımı

ANSYS Fluent'te yakın duvar yaklaşımları, viskozite etkili yakın duvar bölgesi tamamen viskoz alt tabaka ile çözümlenir. Bu yaklaşımda, iki tabakalı akışlarda hem ϵ hem de türbülans sınır tabakası birlikte çözülür. Çözüm viskoz etkili bölge ve tam türbülans türbülanslı bölge olmak üzere ikiye bölünmüştür. İki bölgenin ayrımı duvar uzaklığına bağlı olarak türbülans Reynolds sayısı Re_y ;

$$Re_y \equiv \frac{\rho y \sqrt{k}}{\mu} \quad (3.26)$$

y , ilk nodun merkezinin duvara uzaklığıdır. ANSYS Fluent'te en yakın duvar mesafesi

$$y \equiv \min_{\vec{r}_w \in \Gamma_w} \|\vec{r} - \vec{r}_w\| \quad (3.27)$$

\vec{r} alan noktasındaki vektörel konumu, \vec{r}_w duvar sınırındaki vektörel konumu göstermektedir. Γ_w , ilgili tüm duvar sınırlarını ifade etmektedir.

Tam türbülanslı bölgede k- ϵ modelleri ve Reynolds Stress Modeli (RSM) uygulanırken viskoz akışlı bölgede Wolfstein tek denklemleri uygulanır (Wolfstein 1969).

Bu modelde momentum ve k denklemleri Standart, RNG ve RSM modellerindeki gibi çözümlenir. Ancak türbülans viskozitesi μ_k şu şekilde hesaplanır ;

$$\mu_{t,2 \text{ layer}} = \rho C_\mu l_\mu \sqrt{k} \quad (3.28)$$

Uzunluk ölçeği;

$$l_{\mu} = yC_l^*(1 - e^{-Re_y/A_{\mu}}) \quad (3.29)$$

şeklinde tanımlanır.

Yukarıda tanımlanan türbülans viskozitesi “Enhanced Wall Treatment” modelinin bir paçası olarak kullanılır ve dış bölgedeki yüksek Reynolds sayılarında kullanılan türbülans viskozitesi μ_t birleştirilerek aşağıdaki ifade elde edilir;

$$\mu_{t,enh} = \lambda_{\varepsilon}\mu_t + (1 - \lambda_{\varepsilon})\mu_{t,2layer} \quad (3.30)$$

λ_{ε} duvardan birim uzaklık tanımlanan ve duvar çevresinde sıfır olan harmanlanmış bir fonksiyondur. Tanımlanan bu harmanlanmış fonksiyon şu şekildedir;

$$\lambda_{\varepsilon} = \frac{1}{2} \left[1 + \tanh\left(\frac{Re_y - Re_y^*}{A}\right) \right] \quad (3.31)$$

A, sabit bir değer olup harmanlanmış fonksiyonun genişliğidir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$A = \frac{|\Delta Re_y|}{\text{artanh}(0.98)} \quad (3.32)$$

ΔRe_y çoğunlukla Re_y^* değerinin %5-20’si arasında değişir.

Viskozite etkili bölgedeki ε alanının hesabı için;

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{l_{\varepsilon}} \quad (3.33)$$

Bu denklemdaki uzunluk ölçeği l_{ε} aşağıdaki şekilde yazılır (Chen ve Patel 1988):

$$l_{\varepsilon} = y C_l^* (1 - e^{-Re_y/A_{\varepsilon}}) \quad (3.34)$$

Reynolds sayısı 200’den küçükse transport denklemi çözülmez. Bunun yerine denklem 3.33’teki denklem çözülür.

3.29 ve 3.34 denklemlerindeki sabitler ise:

$$C_l^* = \kappa C_\mu^{-3/4}, A_\mu = 70, A_\varepsilon = 2C_l^* \quad (3.35)$$

şeklindedir.

Enhanced Wall Treatment Modeli İçin Momentum ve Enerji Denklemleri

Duvar kenarındaki bölgede (viskoz alt tabaka, tampon bölge ve tam gelişmiş türbülanslı akış bölgesi) çözüm yapabilecek şekilde bir metodu genişletebilmek için duvar kanununu giriş bölgesi için tek bir denklem haline getirmek gerekir.

$$u^+ = e^\Gamma u_{lam}^+ + e^{1/\Gamma} u_{turb}^+ \quad (3.36)$$

Harmanlanmış fonksiyon şu şekilde yazılır:

$$\Gamma = -\frac{a(y^+)^4}{1 + by^+} \quad (3.37)$$

a=0.01 ve b=5 değerlerindedir.

3.36 denkleminin türevini aldığımızda;

$$\frac{du^+}{dy^+} = e^\Gamma \frac{du_{lam}^+}{dy^+} + e^{1/\Gamma} \frac{du_{turb}^+}{dy^+} \quad (3.38)$$

Bu yaklaşımda tam gelişmiş türbülans kanunu rahatlıkla modifiye edilebilir ve basınç grandyanı ile diğer değişken özellikleri de içerecek şekilde genişletilebilir. Bu formül ayrıca y^+ değerinin çok büyük veya çok küçük olduğu durumlarda doğru asimptotik davranışı sağlar ve y^+ değeri tampon bölgede kaldığında hız profillerini makul bir şekilde temsil eder.

“Enhanced Wall fonksiyonları, logaritmik tabaka fonksiyonlarının laminar formülasyona uyarlanmasıyla geliştirilmiştir. Isı transferi ve basınç grandyanlı sıkıştırılabilir akışlar için gelişmiş türbülanslı duvar kanunu White and Cristoph (1971) ve Huang et al. (1993)’un çalışmaları birleştirilerek geliştirilmiştir.

$$\frac{du_{turb}^+}{dy^+} = \frac{1}{\kappa y^+} [S'(1 - \beta u^+ - \gamma(u^+)^2)]^{1/2} \quad (3.39)$$

$$S' = \begin{cases} 1 + \alpha y^+ & \rightarrow y^+ < y_s^+ \\ 1 + \alpha y_s^+ & \rightarrow y^+ \geq y_s^+ \end{cases} \quad (3.40)$$

ve

$$\alpha \equiv \frac{\nu_w}{\tau_w u^*} \frac{dp}{dx} = \frac{\mu}{\rho^2 (u^*)^3} \frac{dp}{dx} \quad (3.41)$$

$$\beta \equiv \frac{\sigma_t q_w u^*}{c_p \tau_w T_w} = \frac{\sigma_t q_w}{\rho c_p u^* T_w} \quad (3.42)$$

$$\gamma \equiv \frac{\sigma_t (u^*)^2}{2 c_p T_w} \quad (3.43)$$

α basınç gradyanı etkisini gösteren bir katsayı iken, γ ve β termal gradyan etkisini gösteren katsayılardır. Denklem 3.39 bir adi diferansiyel denklem olup, ANSYS Fluent bu denklem için uygun bir analitik çözüm sağlayacaktır. α , β ve γ sıfıra eşitse analitik çözüm klasik türbülanslı logaritmik duvar kanununu uygulayacaktır.

Laminer duvar kanunu ise;

$$\frac{du_{lam}^+}{dy^+} = 1 + \alpha y^+ \quad (3.44)$$

Yukarıdaki denklemde ısı transferi ve sıkıştırılabilir akışlardaki laminer kanundaki değişken özellikler ihmal edilirken sadece α 'ya bağlı basınç gradyanı değişimi gözönüne alınmıştır. Birleşik duvar termal fonksiyonu, laminer ve türbülanslı akış profilleri Kader 1981'in çalışmasına göre şu şekilde harmanlanır;

$$u_{lam}^+ = y^+ \left(1 + \frac{\alpha}{2} y^+ \right) \quad (3.45)$$

Geliştirilmiş termal duvar fonksiyonu, u^+ için geliştirilmiş profille aynı şekilde yaklaşacaktır.

$$T^+ \equiv \frac{(T_w T_p) \rho c_p u_T}{\dot{q}} = e^\Gamma T_{lam}^+ + e^{1/\Gamma} T_{turb}^+ \quad (3.46)$$

T_p ve \dot{q} , denklem 3.23'te tanımlanan aynı notasyonlardır. Ayrıca harmanlama faktörü Γ ise aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$\Gamma = -\frac{a(Pr y^+)^4}{1 + bPr^3 y^+} \quad (3.47)$$

Pr , moleküler Pr sayısı olup, a ve b değerleri denklem 3.37' de tanımlanan değerlerle aynıdır.

T^+ formülasyonunun yanı sıra, genişletilmiş termal duvar fonksiyonu standart fonksiyonundaki aynı mantığı takip eder. Sonuç olarak laminer ve türbülanslı akış için termal duvar fonksiyonu;

$$T_{lam}^+ = Pr \left(u_{lam}^+ + \frac{\rho u_*}{2\dot{q}} u^2 \right) \quad (3.48)$$

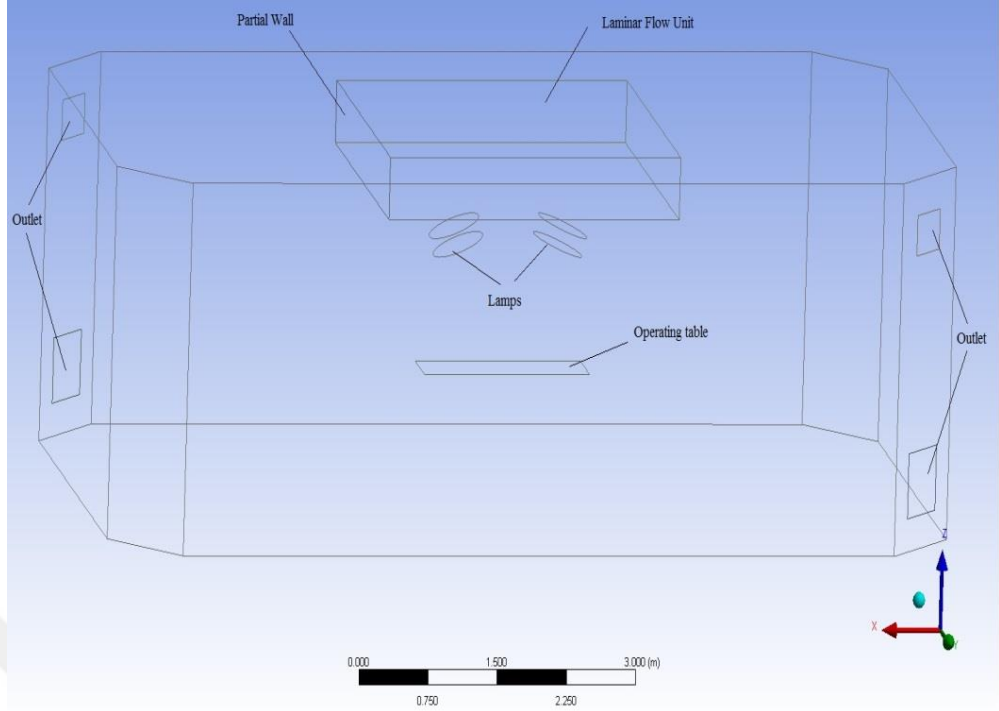
$$T_{turb}^+ = Pr_t \left\{ u_{turb}^+ + P + \frac{\rho u_*}{2\dot{q}} \left[u^2 - \left(\frac{Pr}{Pr_t} - 1 \right) (u_c^+)^2 (u_*)^2 \right] \right\} \quad (3.49)$$

u_c^+ değeri, laminer ve türbülanslı akış bölgeleri arasında kalan hayali geçiş bölgesindeki u^+ değeridir. P ise standart duvar fonksiyonundakiyle aynı şekilde tanımlanır.

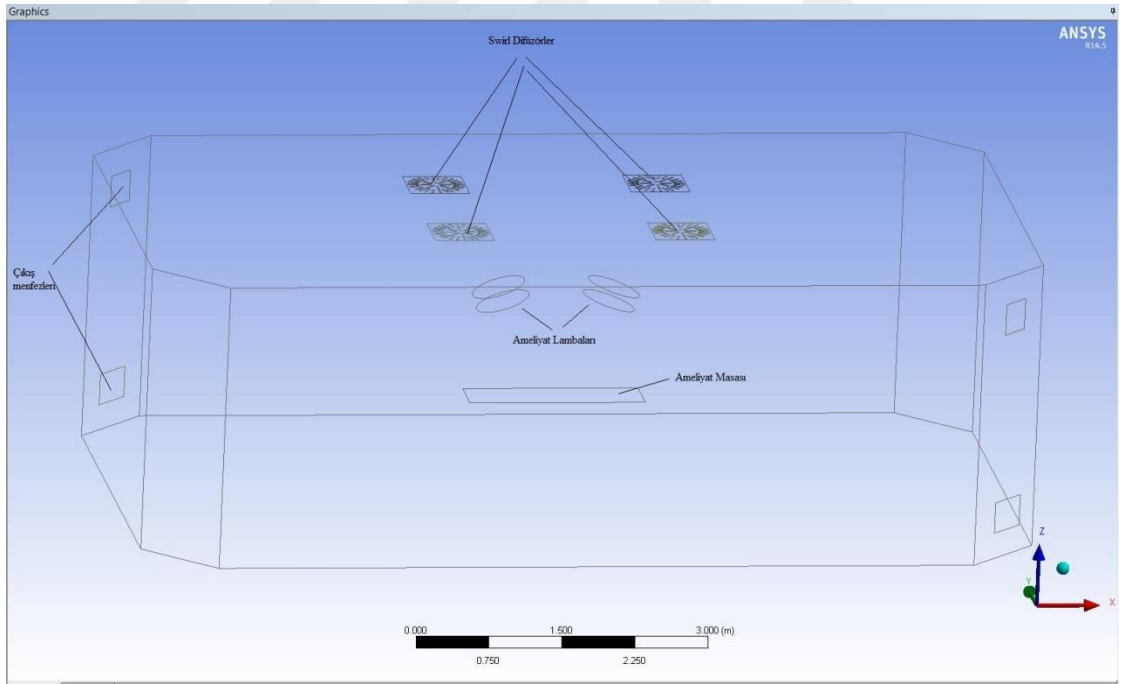
3.4.4 Geometri ve Sınır Şartları

Çalışma yapılan ameliyathaneler ANSYS Workbench programında modellenerek Fluent ile analizi yapılmıştır. Şekil 3.9'da Laminer Flow Üniteli ameliyathanenin, Şekil 3.10'da ise difüzörle iklimlendirmesi yapılan ameliyathanenin modeli görülmektedir.

Program, sayısal çözümleme için bazı sınır şartlarına gerek duymaktadır. Bu sınır şartlarına deneysel verilerden elde edilen ortalama değerler girilmiştir.



Şekil 3.9 LAF üniteli Oda Modeli



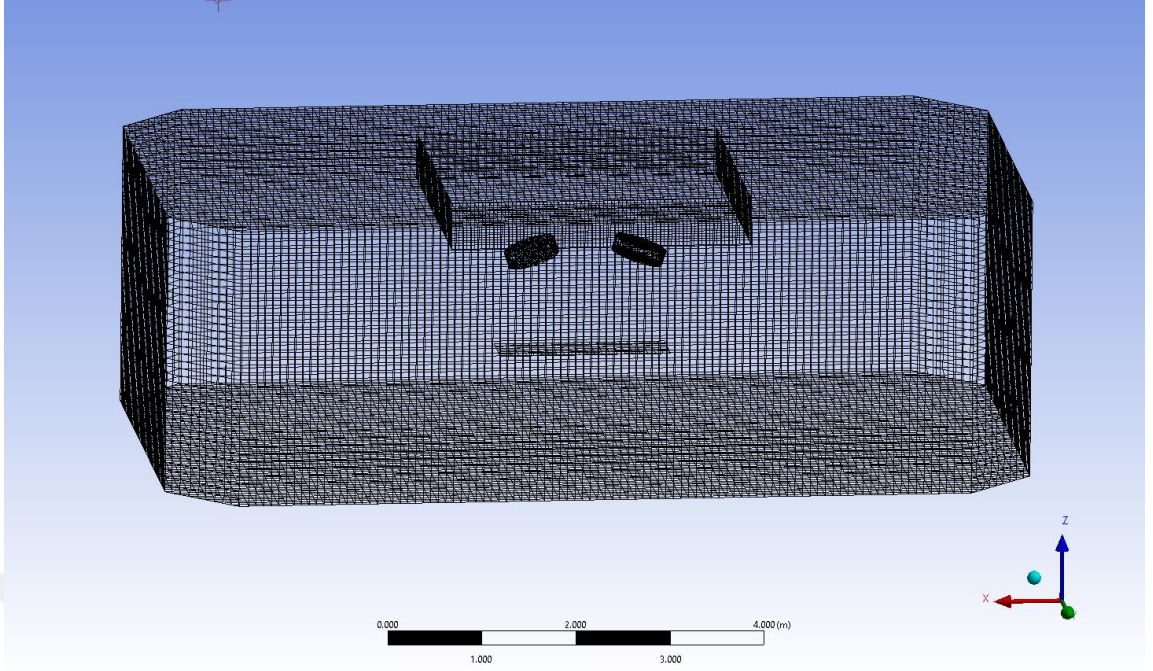
Şekil 3.10 Difüzörlü Oda Modeli

Çalışmada kullanılan sınır şartları aşağıdaki gibidir;

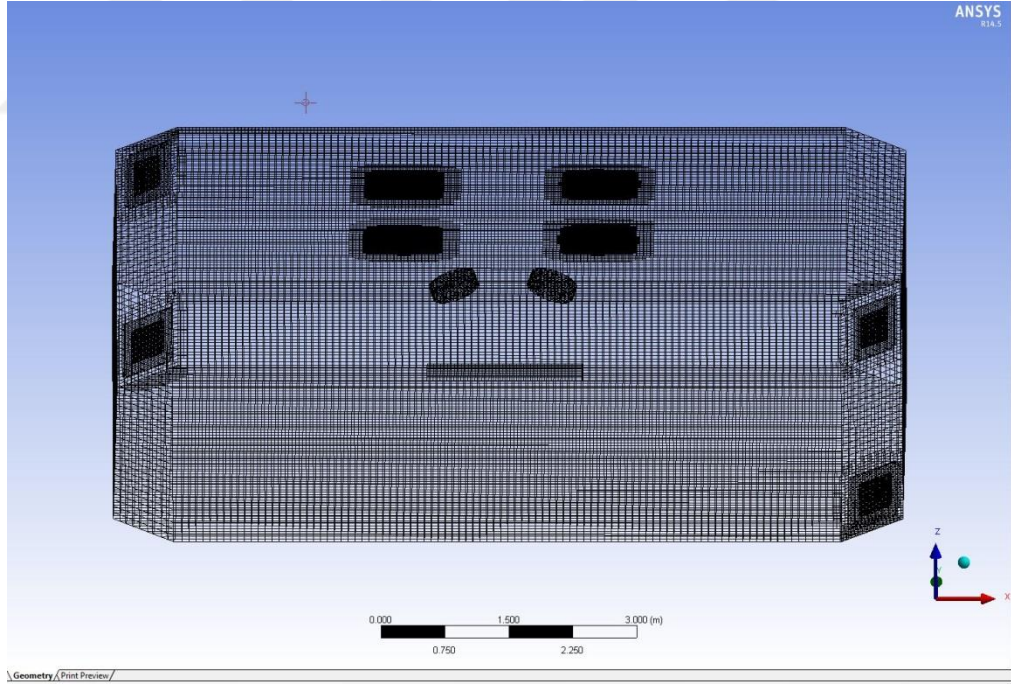
1. **Giriş:** “Inlet” sınır şartı kullanılmış ve laminer flow için sadece z yönünde değer verilmiştir. Difüzör için ise tangential ve axial yönlerde hız verilmiştir. Hava giriş hızı ve sıcaklık değerleri deneysel verilerden elde edilen değerlere göre bir ortalama belirlenmiştir. Inlet sınır şartı içerisindeki “Species Mass Fractions” kısmına da ölçüm sonucu elde edilen bağıl nem ve sıcaklık değeri yardımıyla psikrometrik diyagramdan bulunan özgül nem değeri girilmiştir.
2. **Çıkış:** “Outflow” sınır şartı girilmiştir.
3. **Lamba 1 ve Lamba 2:** Programda “Wall” sınır şartı girilmiş ve “Temperature” seçeneğiyle sabit yüzey sıcaklığı verilmiştir.
4. **Yan duvarlar, Tavan ve Zemin:** Programda sınır şartı olarak “Wall” girilmiş ve bitişik mahaller için ortalama bir sıcaklık ve duvarlar için ortalama bir ısı transfer katsayısı seçilerek “Convective Heat Transfer” seçeneği girilmiştir.
5. **Türbülans modelleri ve duvar fonksiyonu:** Standart k-ε türbülans modeli ve “standart wall function” duvar seçenekleri ile çözümlenmeler yapılmıştır.

3.4.5 Ağ Yapısı ve Kontrolü

Şekil 3.11 ve 3.12’de görülen modellerin istenilen sınır şartları altında, sonlu hacimler metodu ile çözülebilmesi için bu metodun gerektirdiği şekilde sonlu hacimlere ayrılması gerekmektedir. Bu işleme “ağ” veya “mesh” oluşturma işlemi denmektedir. Üç boyutlu ağ yapısı tetrahedral ve hexahedral elemanlar şeklinde oluşturulabilmektedir. Şekil 3.13’te laminer flow sistemli odanın, Şekil 3.14’te de difüzörlü odanın ağ yapısı görülmektedir. Her iki model de “Hexahedral Mesh” ile ağlara ayrılmıştır.



Şekil 3.11 LAF Üniteli odanın ağ yapısı



Şekil 3.12 Difüzörlü odanın ağ yapısı

4. BULGULAR

Yukarıda belirtildiği üzere bu çalışma hem deneysel hem de sayısal olarak birlikte sürdürülmüştür. Çalışmada hem laminer akış ünitesi hem difüzyörlü sistem olan ameliyathane odalarının kendi aralarında karşılaştırılırken, deneysel verilerle sayısal veriler de karşılaştırılmıştır.

Oda içerisindeki sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı dağılımlarının hem sayısal hem de deneysel sonuçları verilmiştir. Partikül dağılımı ise sadece deneysel çalışma olarak yapılmış, sayısal modellemesi yapılmamıştır.

4.1 Laminer Flow Sistemi Olan Odada Alınan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Sonuçlar

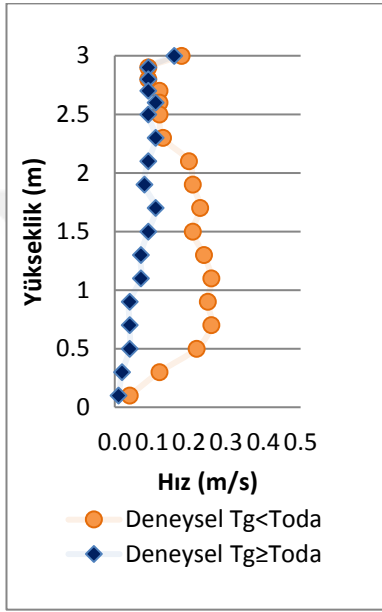
4.1.1 Hız, Sıcaklık ve Bağıl Nem Ölçümleri

Ölçüm alınan ameliyathanenin günlük çalışma şartlarında hava giriş hızının ortalama 0.1 m/s olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık değerinin de 18-24 °C arasında olması gerekmekte olup çoğunlukla 19 °C’ de çalışıldığı ölçülmüştür.

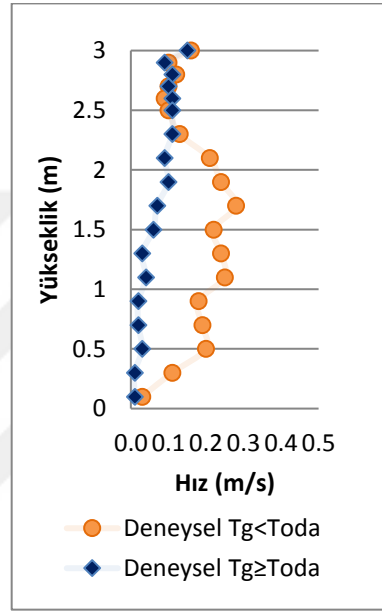
Sistem maksimum basınç farkına ayarlandığında, olabilecek en yüksek hava giriş hızının ortalama 0.2 m/s civarlarında olduğu görülmüştür. Bu sebepten dolayı mevcut çalışma şartları olan ortalama giriş hızı (V_{g_ort}) 0.1 m/s ile 0.2 m/s arasında kıyaslama yapılmıştır.

Önceden bahsedildiği gibi klima sistemin çalışma şekline bağlı olarak giriş havası sıcaklığı sürekli olarak değişmektedir. Bu değişiklikten dolayı havanın LAF ünitesinden yere kadar olan hızı sürekli olarak değişmektedir. Odanın soğutulması esnasında, giren hava sıcaklığı oda sıcaklığının altına indiğinde ($T_g < T_o$) aşağı inen havanın hızı belirli bir hızın üzerinde kalmakta ve bir hava perdesi oluşturabilmektedir. Giren havanın sıcaklığı oda sıcaklığına çok yakın veya oda sıcaklığının çok üzerinde olduğunda ($T_g \geq T_o$) ise yere inen havanın hızı çok fazla düşmektedir. Bu yüzden her iki süreçte ayrı ayrı hız ölçümleri alınmıştır.

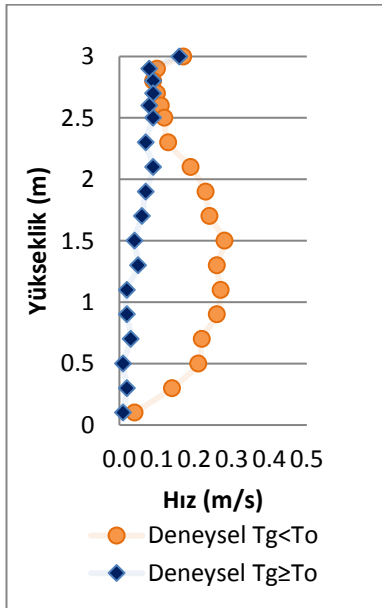
Grafik 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te, sırasıyla oda sıcaklığının 19°C, 20°C, 21°C ve 22°C olduğu durumlara göre belli bir çizgi üzerinde hava hızı değerleri ölçülmüştür. Bu grafiklerde de yukarıda belirtilen fark rahatlıkla görülebilmektedir. Operasyon alanının sürekli olarak hava perdesi altında kalması gerekirken sadece odanın sıcaklığını düşürme sırasında bu perde oluşabilmektedir. Yani mevcuttaki iklimlendirme sistemi ile $T_g < T_o$ olduğu süreç ne kadar uzun olursa, partikül sayısı o kadar az olacaktır.



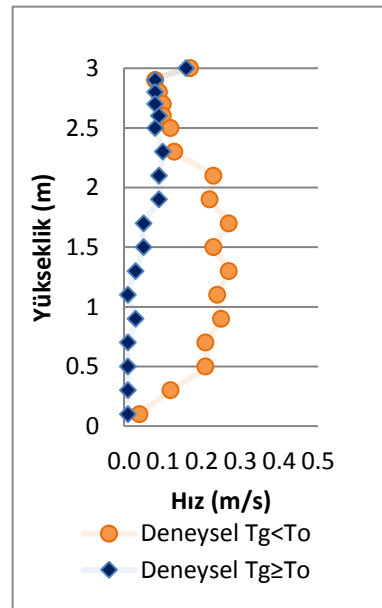
Şekil 4.1 $T_o=19^\circ\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.2\text{m/s}$ için Hız-Yükseklik diyagramı



Şekil 4.2 $T_o=20^\circ\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.2\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı



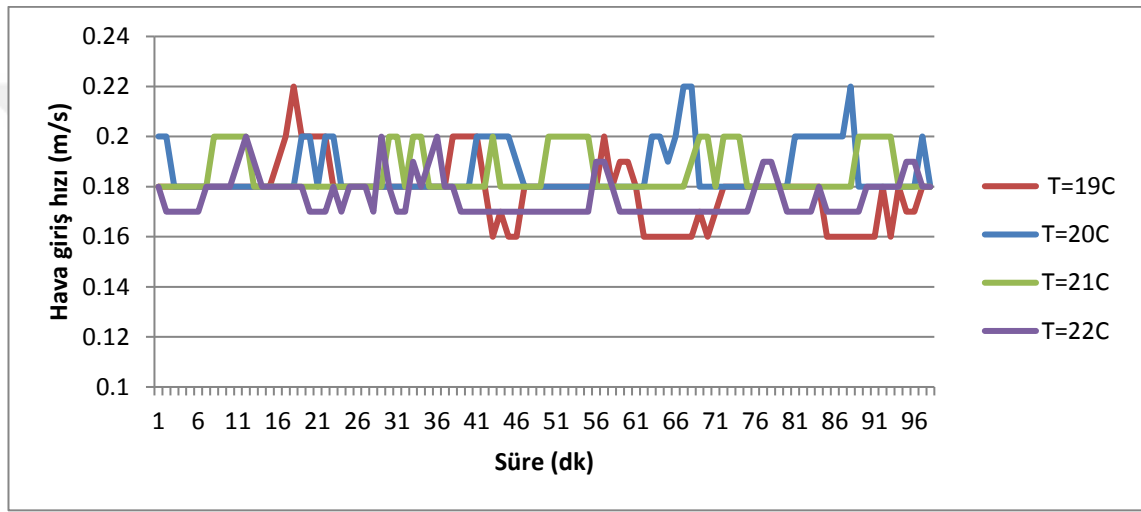
Şekil 4.3 $T_o=21^\circ\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.2\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı



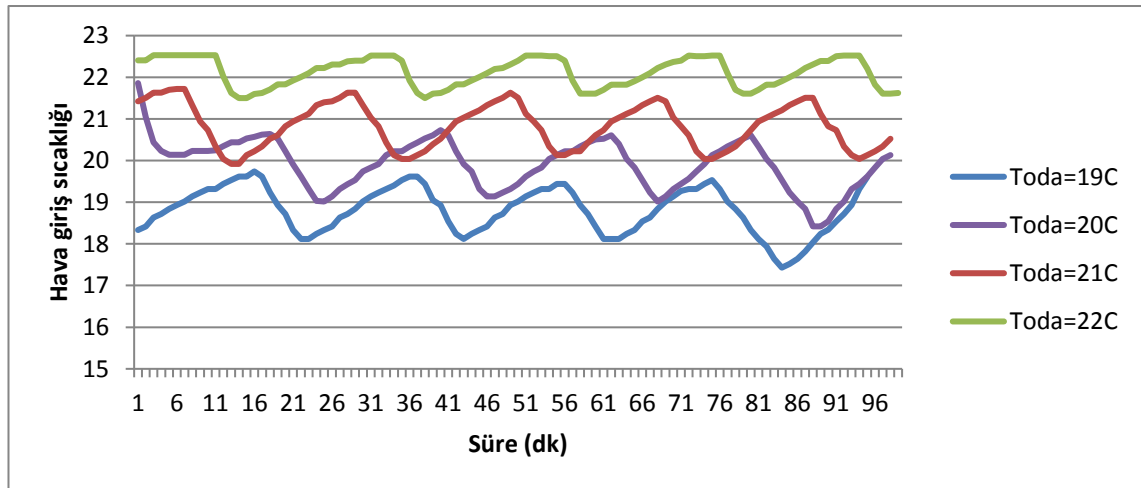
Şekil 4.4 $T_o=22^\circ\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.2\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı

Üstteki grafiklere bakıldığında, oda sıcaklıklarının hava iniş hızını çok fazla etkilemediği görülmektedir. Önemli olan, hava giriş sıcaklığının oda sıcaklığından düşük olmasıdır.

Şekil 4.5 ve 4.6’te sırasıyla LAF ünitesi yüzeyinden alınan yaklaşık 90 dakikalık hava giriş hızı ve sıcaklığının ölçümleri verilmiştir. Şekil 4.6’da hava giriş sıcaklığının sürekli olarak nasıl değiştiği de rahatlıkla görülebilmektedir. Hava hızı da benzer şekilde sıcaklık düşürülürken az bir miktar artmakta ve daha sonra azalmaktadır.

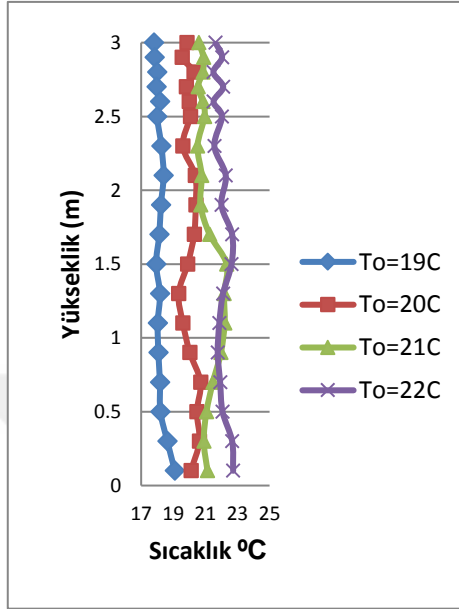


Şekil 4.5 $V_{g_ort}=0.2$ m/s için ölçümler sırasındaki hava giriş hızının değişimi

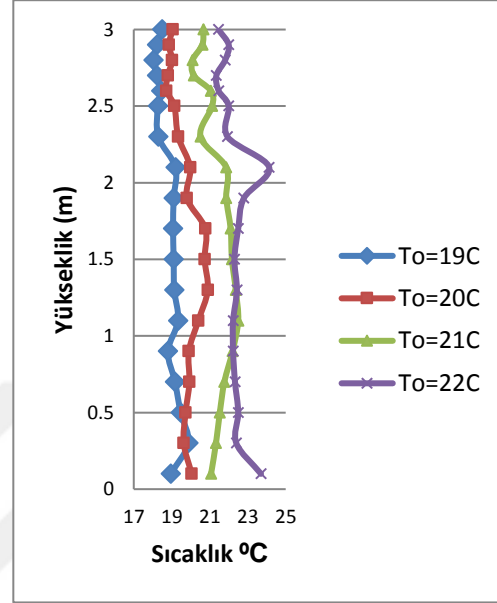


Şekil 4.6 $V_{g_ort}=0.2$ m/s için ölçümler sırasındaki hava giriş sıcaklığının değişimi

LAF ünitesi altında bir hat üzerinden tavandan zemine kadar hız ölçümüyle aynı şekilde sıcaklık ölçümleri de alınmıştır. Bununla ilgili grafikler de Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



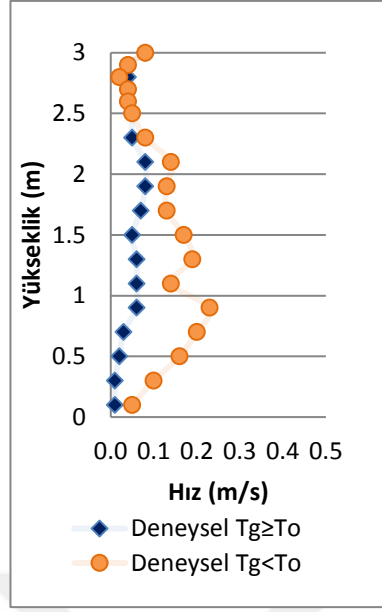
Şekil 4.7 $V_{g_ort}=0.1$ m/s için farklı oda sıcaklıklarında LAF altında tavandan yere sıcaklık değişimi



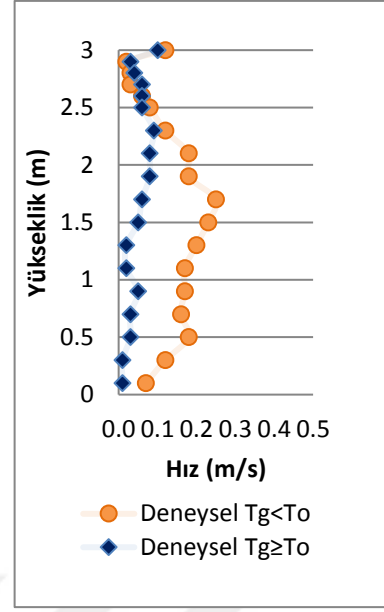
Şekil 4.8 $V_{g_ort}=0.2$ m/s için farklı oda sıcaklıklarında LAF altında tavandan yere sıcaklık değişimi

Görüldüğü gibi sıcaklık değişimleri çok fazla olmamaktadır. LAF ünitesi altındaki bölgeyle oda arasında da çok büyük sıcaklık farklılıkları görünmemektedir.

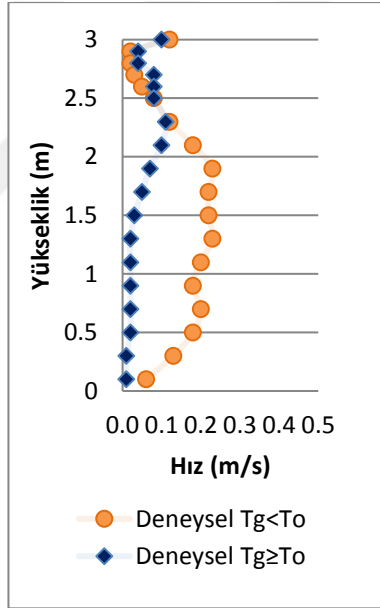
$V_g=0.1$ m/s hızı için de, $V_g=0.2$ m/s hızı için yapılan ölçümlerin aynısı yapılmıştır. Elde edilen veriler şekil 4.9 - 4.12 arasında görülmektedir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, hava iniş hızı $V_g=0.2$ m/s' ye göre daha düşüktür ama $T_g < T_o$ olduğunda, elde edilen hız değerleri beklenilenden değerlerden yüksektir. $T_g \geq T_o$ civarlarında ise her iki hız değerinde de sonuçlar çok yakındır.



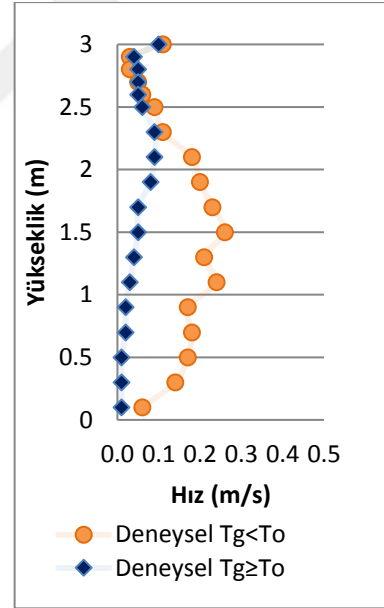
Şekil 4.9 $T_o=19^\circ\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.1\text{m/s}$ için Hız-Yükseklik



Şekil 4.10 $T_o=20^\circ\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.1\text{m/s}$ için Hız-Yükseklik diyagramı



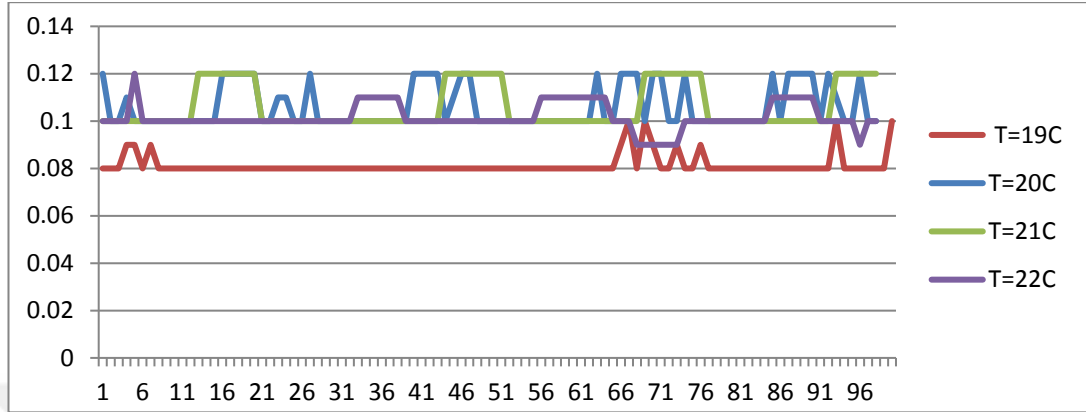
Şekil 4.11 $T_o=21^\circ\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.1\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı



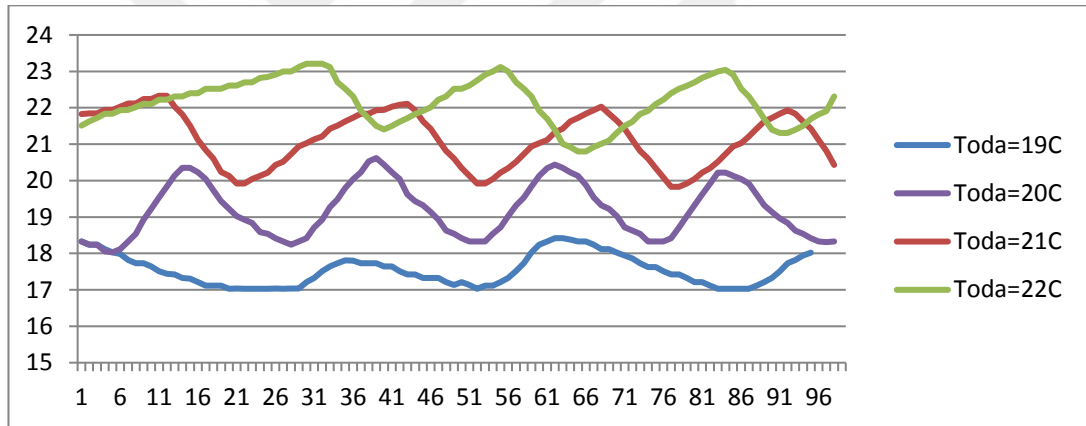
Şekil 4.12 $T_o=22^\circ\text{C}$ ve $V_{g_ort}=0.1\text{m/s}$ için Hız- Yükseklik diyagramı

Şekil 4.13 ve şekil 4.14'te de $V_g=0.1\text{ m/s}$ için hızı için sırasıyla hava giriş hızının değişimiyle hava giriş sıcaklığının belirli bir ölçüm süresi içindeki değişimi görülmektedir. $V_g=0.2\text{ m/s}$ hıza göre kıyasladığımızda, odanın soğutulması süreci olan

$T_g < T_o$ olduğu süre daha azdır. Yani $V_g = 0.2$ 'ye göre daha az aralıklarla soğutma devreye girmektedir. Bu sebepten dolayı hava perdesinin olduğu süreç daha az olmaktadır.



Şekil 4.13 $V_{g_ort}=0.1$ m/s için ölçümler sırasındaki hava giriş hızının değişimi



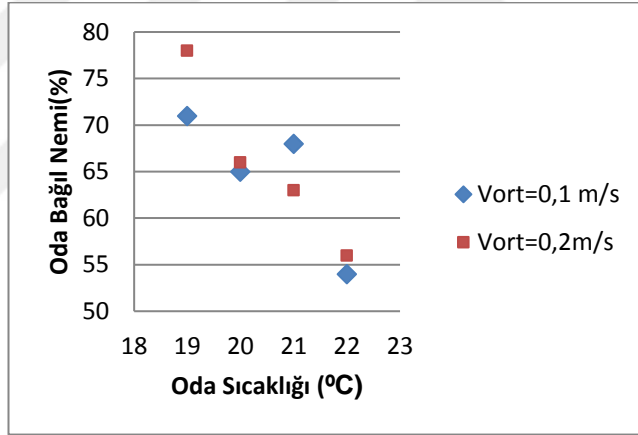
Şekil 4.14 $V_{g_ort}=0.1$ m/s için ölçümler sırasındaki hava giriş sıcaklığı değişimi

Hava giriş hızının önemiyle birlikte, belirtildiği üzere hava giriş sıcaklığının önemi de açıkça görülmektedir. Hava giriş hızının standartlarda istenilen değerleri sağlaması iyi bir hava perdesi oluşturacağı anlamına gelmediği anlaşılmaktadır. Bunun yanında ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta hava girdiğinde istenilen hızlarda zemine kadar ulaşmaktadır ve partikülleri operasyon alanında uzaklaştırabilmektedir.

Ameliyathane odalarında nem kontrolü yapılması oldukça önemlidir. Yüksek bağıl nem bakteri üretiminin hızlı bir şekilde artmasına sebep olmaktadır. Bu da hastanın

enfeksiyon riskini arttırmaktadır. Ayrıca içeride yüksek nem oranı, içeride çalışan personeli rahatsız edebilir.

Odanın bağıl nem ölçümleri, laminer flow ünitesi altında kalan alanın dışından alınmıştır. Oda sıcaklıklarına göre ortalama bağıl nem değerleri Grafik 4.15’de görülmektedir. Odanın sıcaklığı arttıkça bağıl nemin düştüğü görülmektedir. Nem kontrolü olmadığından odanın bağıl nemi direkt olarak odanın sıcaklığıyla ilişkili değildir. Dış havanın bağıl nemi odayı etkilemektedir. Bu yüzden dış havanın nemine göre odanın nemi de değişmektedir. Bu odanın bağıl neminin ölçüldüğü zaman Ağustos-Ekim ayları arasındadır ve bu zaman aralığında Bursa’daki bağıl nem değerleri oldukça yüksektir. Bu sebeple odanın bağıl nem değerleri de yüksek çıkmıştır. Odanın nem kontrolünün mutlak suretle yapılması gerektiği açıktır.



Şekil 4.15 Oda sıcaklıklarına göre ortalama oda bağıl nem değerleri

4.1.2 Partikül Sayımı

Partikül sayısını etkileyen birçok etken bulunmaktadır. İçerideki insanların sayısı, hareketliliği, ameliyathane kapısının açılıp kapanması, içerisindeki iyi dezenfekte edilip edilmediği gibi birçok sebep partikül sayısını etkileyebilmektedir.

Ameliyat masasının üzerinde masanın baş, orta ve ayak bölgesinden $V_g = 0.1$ m/s, 0.2 m/s ve $T_o = 19^\circ\text{C}$, 20°C , 21°C ve 22°C için partikül sayımları alınmıştır. Her bölgeden üçer kere ölçüm alınmıştır ve her ölçüm için de üç ölçümün ortalamasını alacak şekilde cihazın ayarı yapılmıştır. Ölçümler 1m^3 hava için alınmıştır ve bir ölçüm yaklaşık 13 dakika sürmektedir.

Ölçümler sırasında ameliyathane içerisinde sadece bir kişi bulunmaktaydı. Ameliyathane katındaki personelin oda içerisinde ihtiyaç duydukları malzemeleri almak için bazı zamanlarda odaya girip çıkmışlardır ve bazı zamanlarda cihaz yakınlarında da bulunmuşlardır. Yani kapının açılıp kapanması ve içeri giren personel kontrol dışında kalmıştır.

Çizelge 4.1-4.4 arasında $V_g = 0.1$ m/s için elde edilen partikül sayım değerleri verilmiştir. Standartlara uygunluğu tespit etmek için $\geq 0.3\mu\text{m}$, $\geq 0.5\mu\text{m}$, $\geq 1\mu\text{m}$ ve $\geq 5\mu\text{m}$ boyutlarındaki partiküller ölçülmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda bakteri taşıyan ve enfeksiyon riskini arttıran en riskli partikül boyutu $\geq 5\mu\text{m}$ 'dir (Sadriyadeh ve Holmberg, 2014).

ISO 6 sınıfı ameliyathane için partikül sayılarının olması gereken değerlerine çizelge 3.1'den bakarak, uygun olmayan değerler çizelge üzerinde (* ile) işaretlenmiştir.

Çizelge 4.1 Oda= 19°C $V=0,1$ m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı

	$\geq 0,3\mu\text{m}$	$\geq 0,5$	≥ 1	≥ 5
Baş kısmı	19.362.829*	6.963	1.204	296*
Orta Kısım	487.832	21.499	2.202	259
Ayak Kısım	2.881.079*	7.852	1.736	516*

Çizelge 4.2 Oda=20°C V=0,1 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı

	$\geq 0,3$	$\geq 0,5$	≥ 1	≥ 5
Baş kısmı	1.038.215*	19.713	2.553	430*
Orta Kısım	337.535*	23.450	2.440	352*
Ayak Kısım	10.294.254*	10.501	1.400	321*

Çizelge 4.3 Oda=21°C V=0,1 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı

	$\geq 0,3$	$\geq 0,5$	≥ 1	≥ 5
Baş kısmı	2.516.513*	15.331	2.070	376*
Orta Kısım	262.679*	15.249	1.790	363*
Ayak Kısım	315.987*	11.797	1.797	622*

Çizelge 4.4 Oda=22°C V=0,1 m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı

	$\geq 0,3$	$\geq 0,5$	≥ 1	≥ 5
Baş kısmı	9.950.544*	18.731	2.324	331*
Orta Kısım	200.009*	12.424	1.688	267
Ayak Kısım	76.637	5.603	1.246	350*

Partikül sayımlarıyla ilgili net olarak konuşmak çok mümkün değildir. Odanın ölçüm alınan günlük temizlik durumu, ölçüm esnasında cihazın yakınında bulunmak, ameliyathane kapısının açılıp kapanması v.b. gibi birçok kontrol edilemeyen etken vardır. Hava giriş hızının, sıcaklığının ve bağıl neminin partikül sayıları üzerinde etkisi vardır ama bunların tek başına etkisini görmek için çok iyi kontrol edilen bir odada ölçüm alınması gerektiğini düşünülmektedir. Özellikle masanın baş kısmından alınan ölçümlerde kimi zaman $\geq 0,3$ μm partiküllerin on milyon değerinden fazla çıktığı görülmekteyken kimi zaman bir milyon civarlarında kalmıştır. $\geq 0,3$ μm partiküllerin bu derece değişkenlik göstermesinin sebebi belirlenememiştir.

$\geq 0,5$ μm olan partiküller enfeksiyon taşıma açısından çok daha risklidir. Bu boyuttaki partikül sayılarına bakıldığında 0.1 m/s ortalama hava giriş hızındaki ölçümlerde, hava giriş sıcaklığının direkt olarak etkisi olduğunu söylemek pek doğru olmayacaktır. Belli bir sıcaklığa bağlı olarak partikül sayısında artma veya azalma olduğunu söylemek mümkün değildir.

Ayrıca yapılan ölçümler sırasında odada sadece tek kişi bulunduğu ve ölçümler sırasında cihazın sürekli olarak çok yakınında bulunmadığı gerçeğini de göz önüne almak gereklidir. Ameliyat sırasında içeride en az 5 kişilik bir ameliyat ekibi bulunmakta ve sürekli masanın yakınında durmaktadırlar. Bu esnada partikül sayılarının çok fazla artacağı da açıktır.

Çizelge 4.5-4.8 arasında ortalama hava giriş sıcaklığı $V_g=0.2$ m/s için 19-22°C arası oda sıcaklıkları için $V_g=0.1$ m/s durumundaki aynı bölgelerden alınan ölçümler sonucu elde edilen partikül sayıları verilmiştir.

Çizelge 4.5 Oda=19°C $V=0,2$ m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı

	$\geq 0,3$	$\geq 0,5$	≥ 1	≥ 5
Baş kısmı	15.925.862*	11.506	878	134
Orta Kısım	235.430*	12.479	805	80
Ayak Kısım	233.185*	14.443	1.239	150

Çizelge 4.6 Oda=20°C $V=0,2$ m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı

	$\geq 0,3$	$\geq 0,5$	≥ 1	≥ 5
Baş kısmı	30.172.732*	5.244	726	76
Orta Kısım	211.683*	8.716	791	71
Ayak Kısım	53.428	8.891	1.220	278

Çizelge 4.7 Oda=21°C $V=0,2$ m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı

	$\geq 0,3$	$\geq 0,5$	≥ 1	≥ 5
Baş kısmı	74.360	4.027	858	142
Orta Kısım	45.528	3.350	723	104
Ayak Kısım	20.202	1.469	332	90

Çizelge 4.8 Oda=22°C $V=0,2$ m/s için ameliyat masası üzerindeki ortalama Partikül Sayısı

	$\geq 0,3$	$\geq 0,5$	≥ 1	≥ 5
Baş kısmı	2.183.176*	35.533*	3.565	268
Orta Kısım	483.982*	32.418	3.006	168
Ayak Kısım	149.086	12.139	1.292	218

Çizelge 4.5-4.8 arasındaki değerler ISO 6 sınıfındaki değerlerle kıyaslanarak uygun olmayan değerler (* ile) işaretlenmiştir. Bu çizelgeleri incelediğimizde $\geq 0.5\mu\text{m}$ partiküllerin çok daha az olduğu, neredeyse bazı noktalarda 4 katına kadar azaldığı görülmektedir. $\geq 0.5\mu\text{m}$ boyutundaki partikül sayıları ISO 6 sınıfında bir ameliyathane için ölçüm alınan bütün sıcaklıklarda, maksimum değerlerin altında kalmaktadır. Ancak $T_o=22^\circ\text{C}$ ayarlandığında, oda sıcaklığı ile odaya giren havanın giriş sıcaklığı arasında çok fazla fark yoktur. Yani neredeyse sürekli oda sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta hava girişi olmaktadır. Bu yüzden hava aşağıya kadar inememekte ve perde görevini yerine getirememektedir. Hava giriş sıcaklığının nasıl değiştiği grafik 4.6'dan da takip edilebilir. Bu sebepten dolayı ölçüm alınan diğer hava giriş sıcaklığı değerlerine göre partikül sayılarının biraz daha fazla çıktığı görülmektedir ancak yine de standart değerleri karşılamaktadır. Ancak yukarıda bahsedildiği gibi ölçüm alındığı sırada odanın boş olması, ameliyat olduğu durumda partikül sayılarının çok daha fazla artacağı hesaba katılırsa oda sıcaklığını 21°C üzerinde tutmamak daha iyi olacaktır.

Hava giriş hızının etkisi ise oldukça açıktır. Çizelge 4.1-4.4 ve çizelge 4.5-4.8'e bakıldığında hava giriş hızı ortalama 0.2 m/s iken partikül sayısında düşüş görülebilir. Bu sebepten dolayı standartlarda ortalama hava giriş hızının en az 0.2 m/s civarlarında olması gerektiği söylenir.

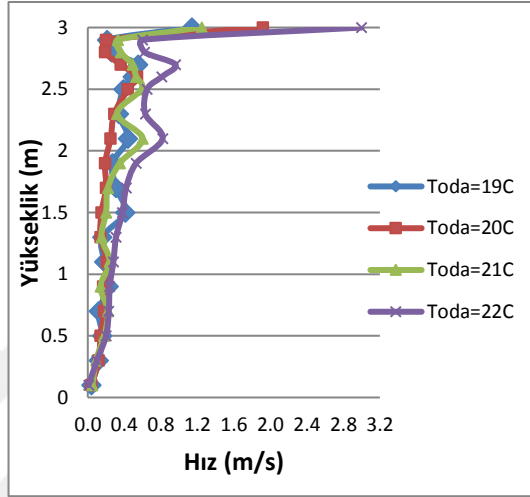
4.2 Swirl Difüzör Sistemi Olan Ameliyathaneden Alınan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Sonuçlar

Şekil 3.2'de gösterilen ameliyathanede ölçümler alınmış ve sonuçlar incelenmiştir. Swirl difüzör olan sistemlerde, ortama $2.400\text{ m}^3/\text{s}$ hava verilmesi gerekmektedir (Anıl ve ark. 2008). Bu sistemlerde istenilen bu hava miktarını karşılamak için yüksek hız değerlerinde hava girişi sağlanmaktadır.

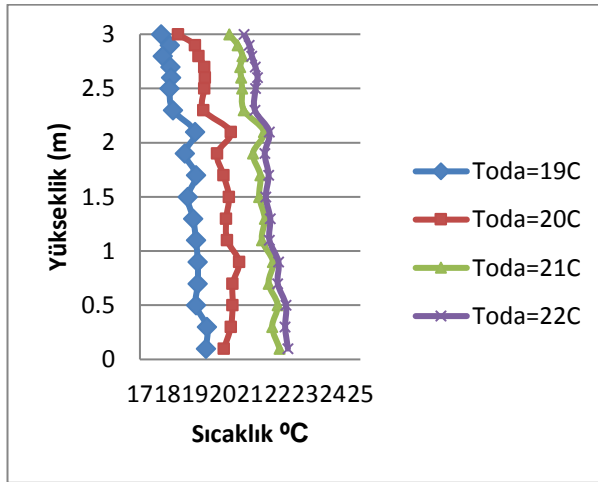
Yeni yayınlanan standartlarda, artık swirl difüzör olan iklimlendirme sistemlerinin ameliyathanelerde kullanılması istenmemektedir. Ancak Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde ve güncellenme sağlanmamış eski yapılarda çalışan hastanelerde bu sisteme sahip ameliyathaneler mevcuttur. Bu yüzden swirl difüzör bulunan

ameliyathanelerden birinde, oda sıcaklığı 19-22°C arasında birer derecelik farklarla olacak şekilde ölçüm olarak laminer flow ünitesi olan odayla kıyaslama yapılmıştır.

LAF ünitesi olan odadaki ile aynı şekilde, belli bir hat üzerinde tavandan yere hava hızı ve sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Grafik 4.16 ve 4.17' de sırasıyla hava hızı-yükseklik ve sıcaklık-yükseklik ölçümleri verilmiştir.



Şekil 4.16 Difüzörlü sistemde hız-yükseklik değişimi



Şekil 4.17 Difüzörlü sistemde sıcaklık-yükseklik değişimi

Kullanılan difüzör modelinin etkili deşarj alanı 0.056784 m² değerindedir (<http://www.imeksan.com/PDF/4/isda3.pdf>). Bu difüzörlerle 2.400 m³/h taze hava değerini elde etmek için yaklaşık 2.93 m/s hızda hava girişinin olması gerekmektedir. Difüzörden hava girerken, laminer flow ünitesi sistemdeki gibi düzenli bir davranış

göstermemektedir ve hava biraz daha çalkantılı girmektedir. Bu sebepten dolayı hava giriş hızları değişik değerlerde çıkmıştır. Ancak difüzörlü odalardaki klima santralleri odaya yeterli taze havayı verecek şekilde ayarlanmıştır ve ihtiyaç olan miktar sağlanmaktadır.

Difüzörlü sistemlerde havayı homojen olarak odaya dağıtmak için, hava girişi yüksek hızlarda olmaktadır. Yükseklik – hız grafiğine baktığımızda, LAF üniteli sisteme göre hava hızı yere inene kadar yüksek hızlarda kalmaktadır. Ancak hava giriş hızı yüksek olmasına rağmen aşağı inerken girişe göre hız oldukça fazla düştüğünden çalışan personeli rahatsız etmemektedir.

Oda sıcaklıklarına göre baktığımızda da özellikle 1m mesafeden itibaren yere kadar olan kısımda hızlar hemen hemen aynıdır.

Grafik 4.17’de belirtilen ortalama oda sıcaklıklarına göre tavandan yere belli bir hat üzerinde alınan ölçümler verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi tavandan yere çok fazla sıcaklık değişimi olmamaktadır. Yaklaşık 2 m civarında görülen sıcaklık artışı, ölçüm alınan hattın ameliyathane lambasına olan yakınlığından kaynaklanmaktadır. 2m yükseklikte bulunan ameliyathane lambaları çevresindeki havayı bir miktar ısıttığından bu noktada biraz artış görülmektedir.

Çizelge 4.9 Ortalama Partikül Sayısı $T_{oda}=19^{\circ}\text{C}$

	$\geq 0,3\mu\text{m}$	$\geq 0,5\mu\text{m}$	$\geq 1\mu\text{m}$	$\geq 5\mu\text{m}$
Baş kısmı	213.638*	14.426	1.960	484*
Orta Kısım	159.644*	11.034	1.411	394*
Ayak Kısım	148.033*	8.958	1.335	487*

Çizelge 4.10 Ortalama Partikül Sayısı $T_{oda}=20^{\circ}\text{C}$

	$\geq 0,3\mu\text{m}$	$\geq 0,5\mu\text{m}$	$\geq 1\mu\text{m}$	$\geq 5\mu\text{m}$
Baş kısmı	978.424*	5.681	2.342	536*
Orta Kısım	25.926	4.071	1.575	384*
Ayak Kısım	15.273	2.533	1.058	389*

Çizelge 4.11 Ortalama Partikül Sayısı $T_{oda}=21^{\circ}\text{C}$

	$\geq 0,3\mu\text{m}$	$\geq 0,5\mu\text{m}$	$\geq 1\mu\text{m}$	$\geq 5\mu\text{m}$
Baş kısmı	4.894.441*	3.751	1.989	457*
Orta Kısım	10.663	1.860	926	260
Ayak Kısım	9.356	1.799	1.035	1.219*

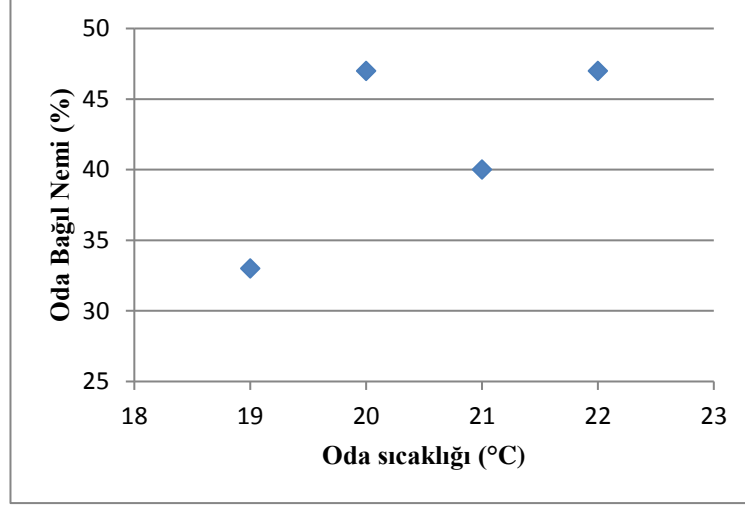
Çizelge 4.12 Ortalama Partikül Sayısı $T_{oda}=22^{\circ}C$

	$\geq 0,3\mu m$	$\geq 0,5 \mu m$	$\geq 1 \mu m$	$\geq 5 \mu m$
Baş kısmı	24.014.902*	3.670	1.689	445*
Orta Kısım	22.742	3.145	1.353	355*
Ayak Kısım	19.670	3.057	1.423	377*

Çizelge 4.10-4.12 arasında farklı oda sıcaklıklarında alınan partikül sayım değerleri verilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği gibi, tam kontrollü bir odada çalışılmadığından partikül sayısı ve hava sıcaklığını birbiriyle ilişkilendirebilmek çok mümkün değildir. Değerlere bakıldığında $\geq 5\mu m$ boyutundaki partiküllerin ortalama olarak değerleri birbirine yakındır.

(*) ile işaretlenen değerler ISO6 standardına göre kabul edilebilir partikül sayılarının üzerinde olan noktalardır. Diğer boyutlardaki partikül sayılarına bakıldığında bazı noktalarda çok yüksek değerler görülmektedir. Oda tamamen kontrol altında olmadığından net olarak açıklamak çok mümkün olmamaktadır. Ameliyathane personeli bazı zamanlarda odaya girerek cihaz yanından geçtiğinden ölçüm esnasında sayımı etkilemiş olabilmektedirler. Özellikle enfeksiyona sebep olan $\geq 5\mu m$ boyutundaki partiküllerin sayılarının hemen hepsinin standartlarda kabul edilebilen değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca difüzörlü odada yapılan partikül sayım değerleriyle LAF üniteli sistemin $V_g=0.1$ m/s olduğu şartlarda alınan partikül sayım değerlerine baktığımızda, özellikle riskli olan $\geq 0.5\mu m$ boyutundaki partikül sayılarının izin verilen değerlerin üzerinde ve standart dışı olduğu görülmektedir.

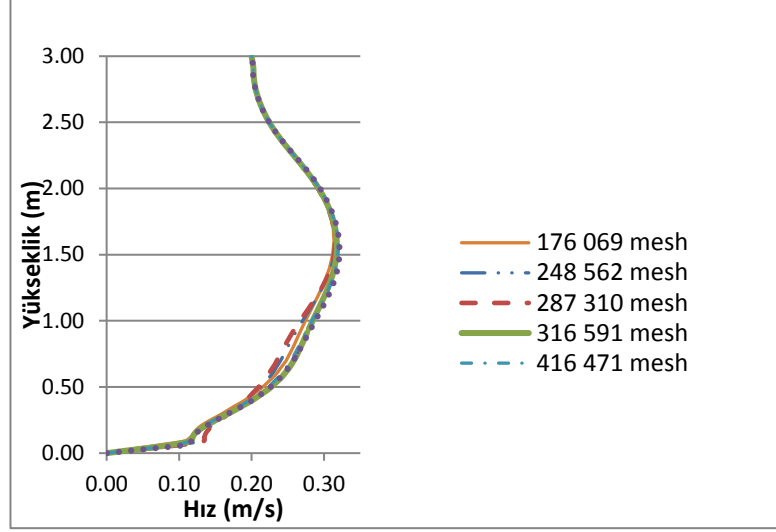


Şekil 4.18 Difüzörlü sistemde oda sıcaklık-bağıl nem değişimi

Şekil 4.18’de difüzörlü ameliyathaneden alınan oda sıcaklık-bağıl nem değerlerinin grafiği görülmektedir. Bu ameliyathanedeki nem değerlerinin diğer odaya göre daha düşük olması odadan kaynaklı bir durum değildir. LAF üniteli ameliyathanenin bağıl nem ölçümleri Ağustos-Ekim arasında, difüzörlü ameliyathanenin ölçümleri de Kasım-Ocak arasında alınmıştır. Odalarda nem kontrolü olmadığından, oda içerisindeki nem dış havanın nemine göre değişmektedir. LAF üniteli ameliyathanenin bağıl nem ölçümlerinin alındığı aylar dış havanın neminin oldukça yüksek olduğu zamanlarken, difüzörlü ameliyathanenin olduğu bağıl nem ölçümü alındığı zamanlarda da dış havanın nemi düşüktür. Şekil 4.18’den görüldüğü üzere difüzörlü odada bağıl nem değerleri istenilen değerlerden düşük çıkmıştır.

4.3 CFD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Değerler ve Alınan Ölçümlerle Karşılaştırılması

Çalışmanın bu kısmında, ölçümlerin alındığı ameliyathanelerin modeli oluşturulmuştur ve CFD çözümleri yapılmıştır. Ameliyathanelerin çözümlerinden önce LAF üniteli ameliyathanede ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. 176.069, 248.562, 287.310, 316.591, 416.471 ve 532.420 ağ sayılarında çözümler yapılmış ve belli bir çizgi üzerinden yükseklik-hava hızı grafiği oluşturulmuştur ve şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19 Yükseklik-Hava hızı grafiği

Grafikten görüldüğü üzere 316.591, 416.471 ve 532.420 ağ sayılarındaki yükseklik-hız değerlerini gösteren grafikler neredeyse çakışık çıkmıştır. Analiz süresinin kısa sürmesi amacıyla 316.591 ağ sayısında analizler yapılmıştır.

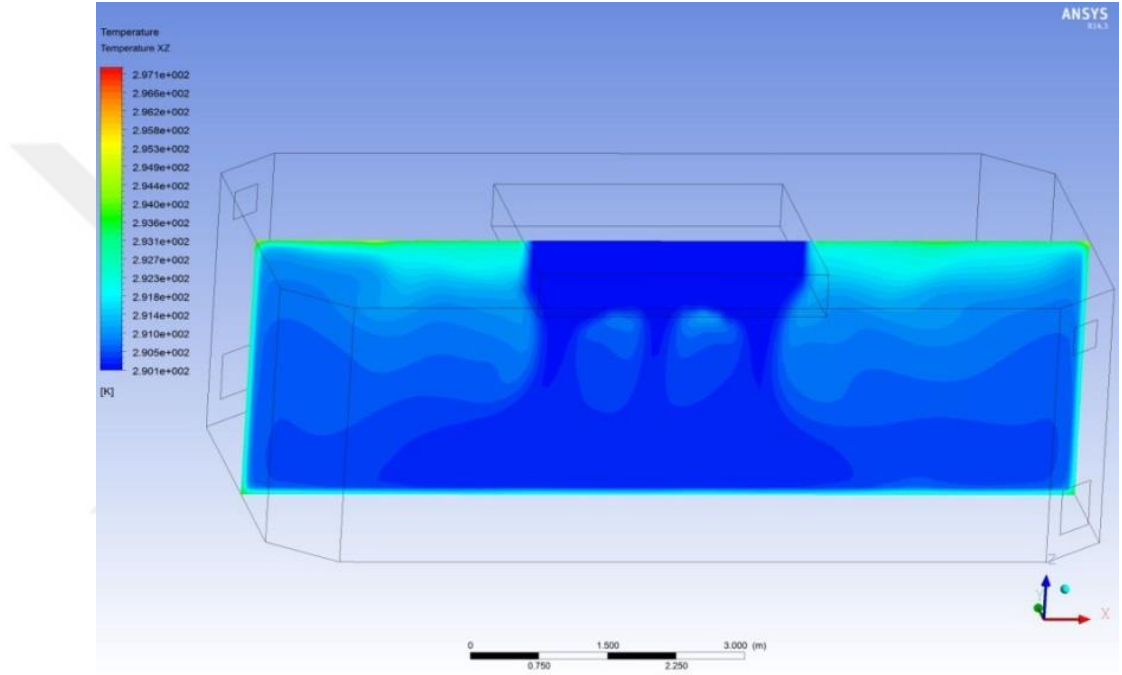
4.3.1 LAF Üniteli Ameliyathanenin CFD Analizi Sonuçları

Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler görsel olarak aşağıda verilmiştir. $T_o=19^{\circ}\text{C}$, 20°C , 21°C ve 22°C ve $V_g=0.1\text{m/s} - 0.2\text{m/s}$ değerleri için $T_g < T_o$ ve $T_g \geq T_o$ durumlarına göre ayrı ayrı analizler yapılmış ve xz ve yz eksenlerinde belli bir kesitteki görüntüleri verilmiştir.

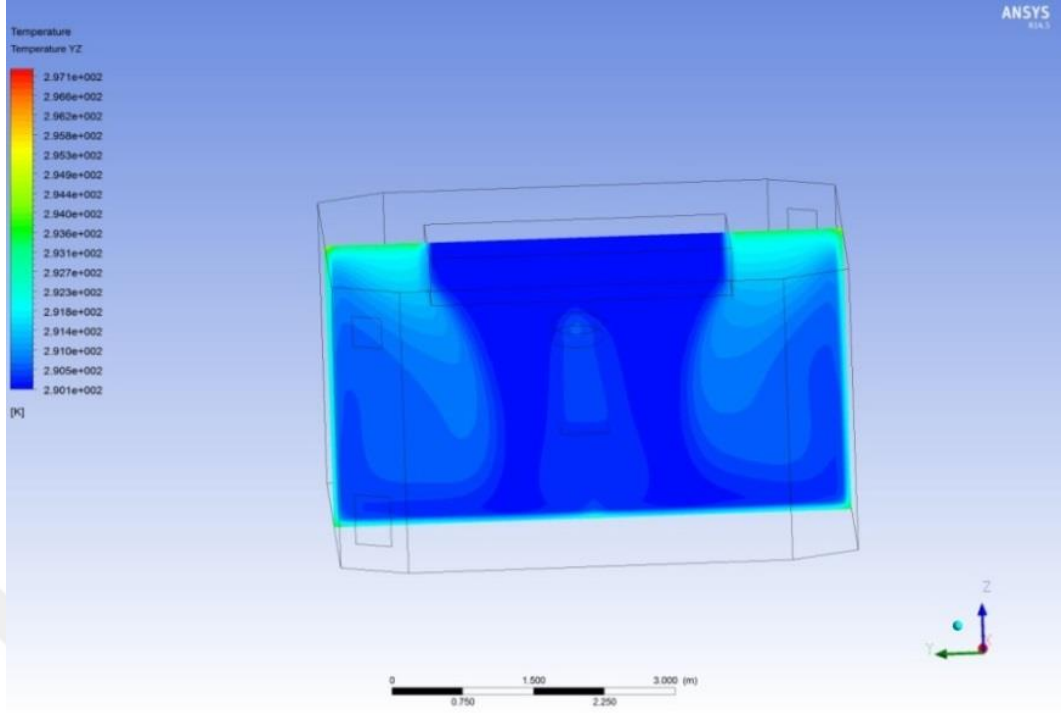
$V_g=0.1\text{m/s}$ için yapılan analizler

Şekil 4.20 ve 4.21'de ortalama oda sıcaklığı $T_o=19^{\circ}\text{C}$ için odanın sıcaklığı ayarlanan oda sıcaklığının üzerine çıktığında, T_g sıcaklığının düştüğü ve V_g hızının çok az arttığı odanın soğutulması sırasındaki analizinin görüntüleridir. Yani T_g sıcaklığı T_o sıcaklığından düşüktür. Laminer akış ünitesi altındaki operasyon bölgesindeki hava hemen hemen giriş sıcaklığına yakinken, bu bölgede dışındaki alan yaklaşık 1°C kadar daha yüksektir. Tavan çatıyla bitişik olduğundan ve ölçümler yaz aylarında yapıldığından tavan sıcaklığı biraz yüksek alınmıştır. Bu sebepten dolayı tavana doğru olan havanın sıcaklığı yüksektir.

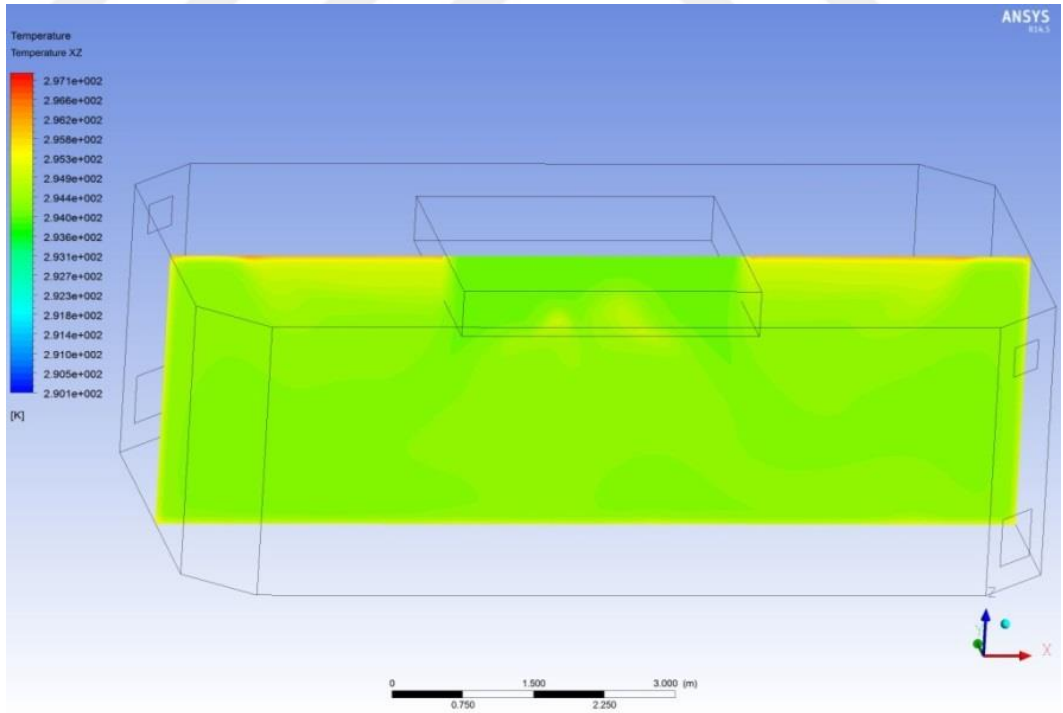
$T_o=19^\circ\text{C}$ için ameliyathane istenilen sıcaklığa geldikten sonra T_g sıcaklığı yükselmekte ve V_g çok az düşmektedir. Bu şartlarda yapılan analiz sonuçları da Şekil 4.22 ve 4.23’de görülmektedir. Analizlerde de görüldüğü üzere T_o ile T_g sıcaklıkları hemen hemen aynı olmaktadır. İkisi arasında çok sıcaklık farkı olmadığından ve giren havanın miktarı fazla olduğundan T_o kısa sürede T_g değerlerine ulaşabilmektedir. T_g sıcaklığı ve buna bağlı olarak T_o sıcaklığı sürekli bir değişim göstermekle birlikte T_o sıcaklığı ortalama 19°C olmaktadır.



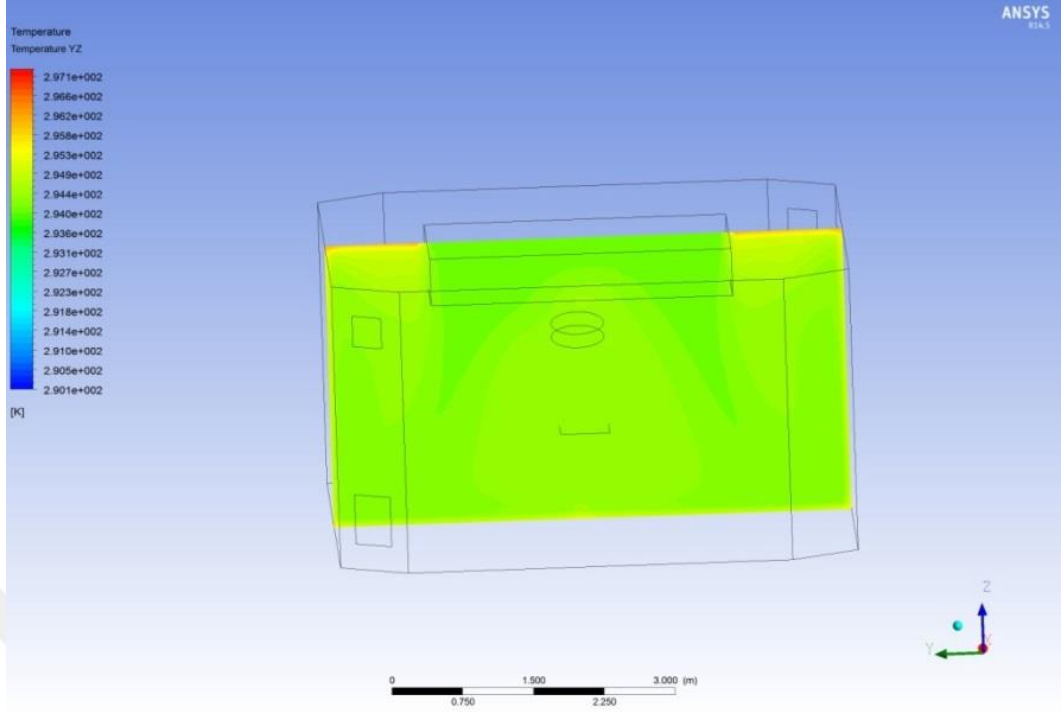
Şekil 4.20 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.21 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

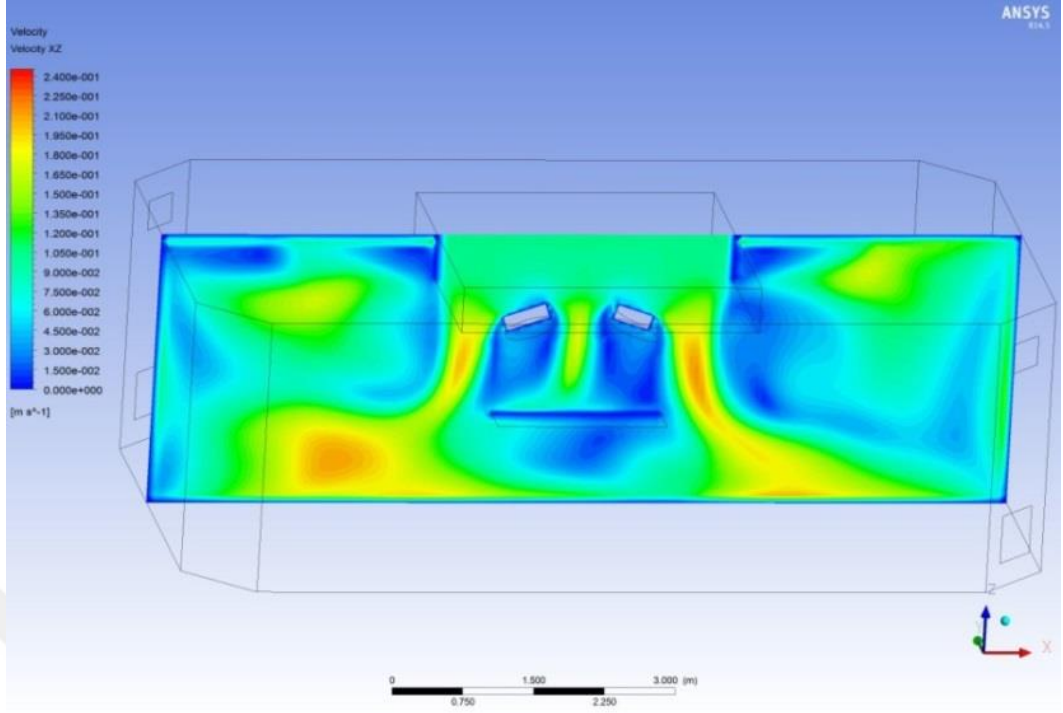


Şekil 4.22 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

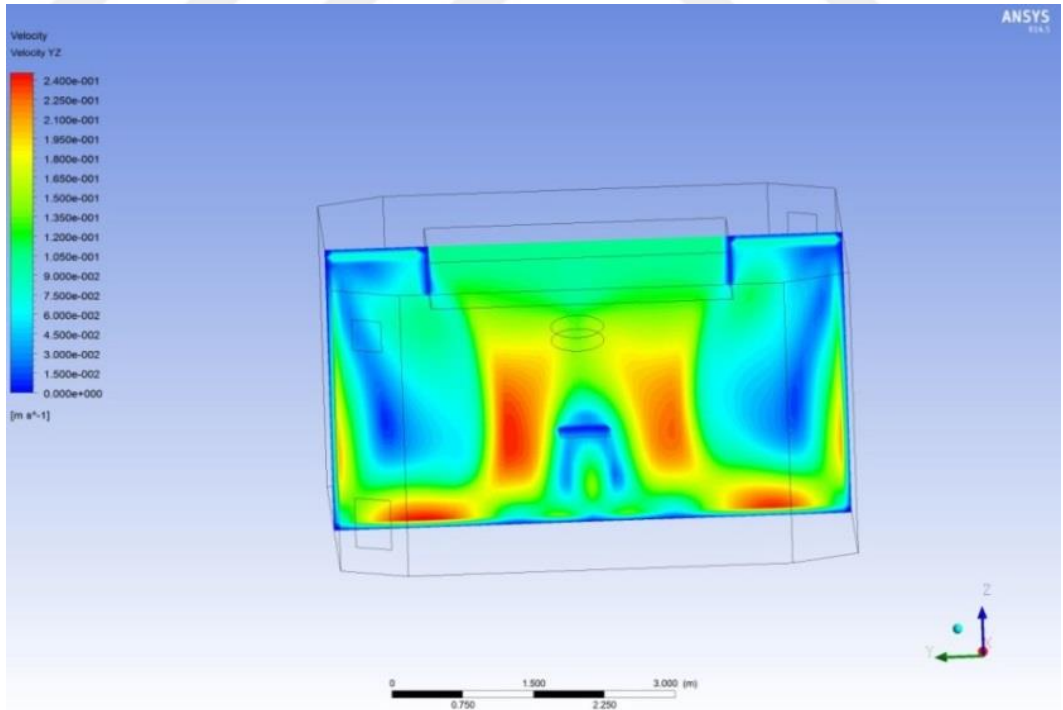


Şekil 4.23 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

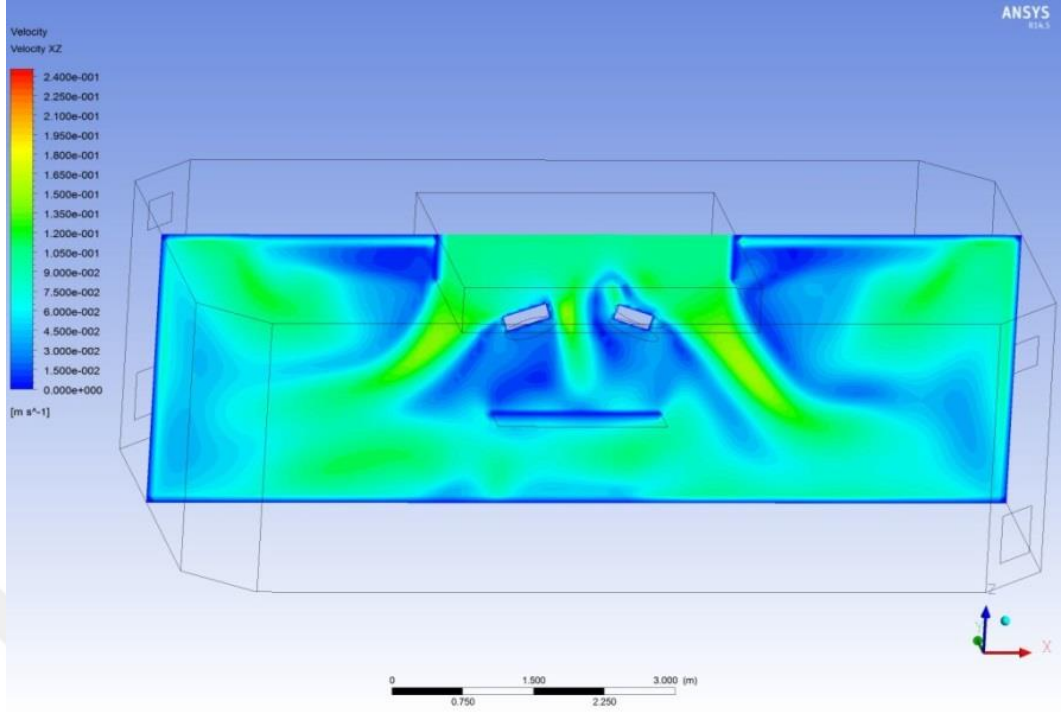
Şekil 4.24 ve 4.25'te T_g sıcaklığının T_o sıcaklığından küçük olduğu durum için yapılan analizin farklı kesitlerden hava hızı değerinin görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.26 ve 4.27'de de tersi durum için yapılan analizin sonuçları görülmektedir. Ayrıca T_g sıcaklığının T_o sıcaklığından yüksek olduğu durumda V_g hızı çok az düşmektedir. Bu şartlar altında yapılan analizlerde meydana hız değişimleri bu şekillerde görülmektedir. Hız değerlerine baktığımızda V_g değeri çok az düşmesine rağmen hava hızının çok fazla düştüğü görülmektedir. T_g ve T_o arasındaki sıcaklık farkı hava hızını oldukça değiştirebilmektedir. T_g sıcaklığı T_o sıcaklığının üzerine çıktığında veya eşit değere geldiğinde havanın LAF ünitesinden odaya girdiğinde, zemine inene kadar hızı çok fazla düşmekte ve perdeleme görevini yerine getirememektedir. Bu sebepten dolayı V_g hızının belli bir değer üzerinde olması gerektiği şartıyla birlikte T_g sıcaklığı da mümkün olduğunda oda sıcaklığından birkaç derece aşağıda tutulmalıdır.



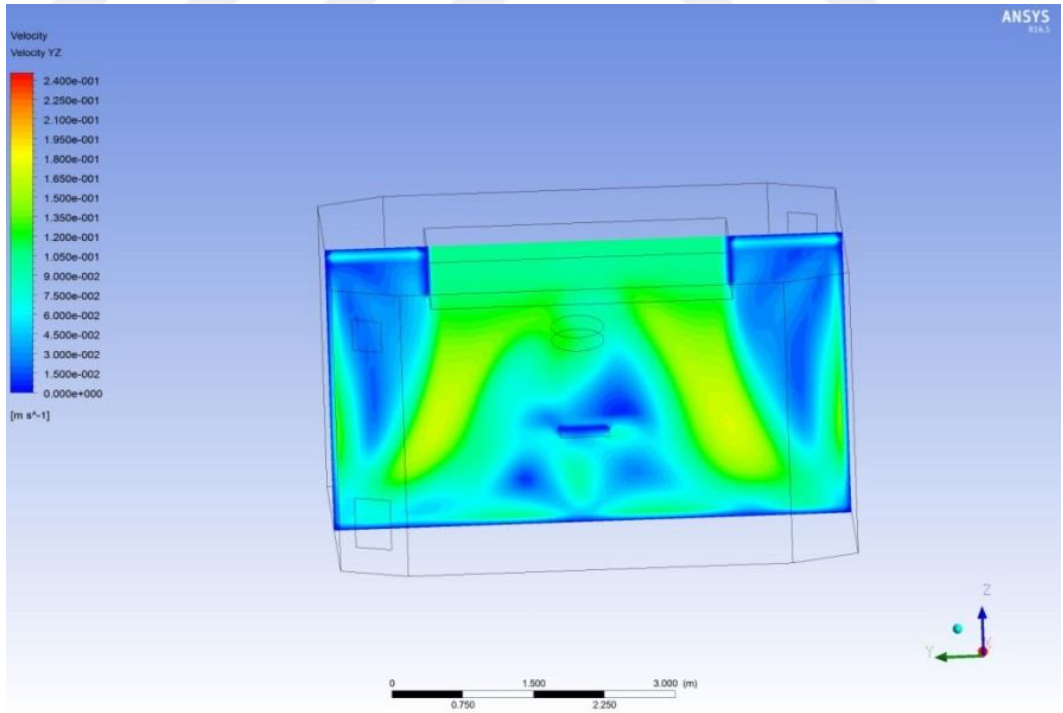
Şekil 4.24 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 4.25 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

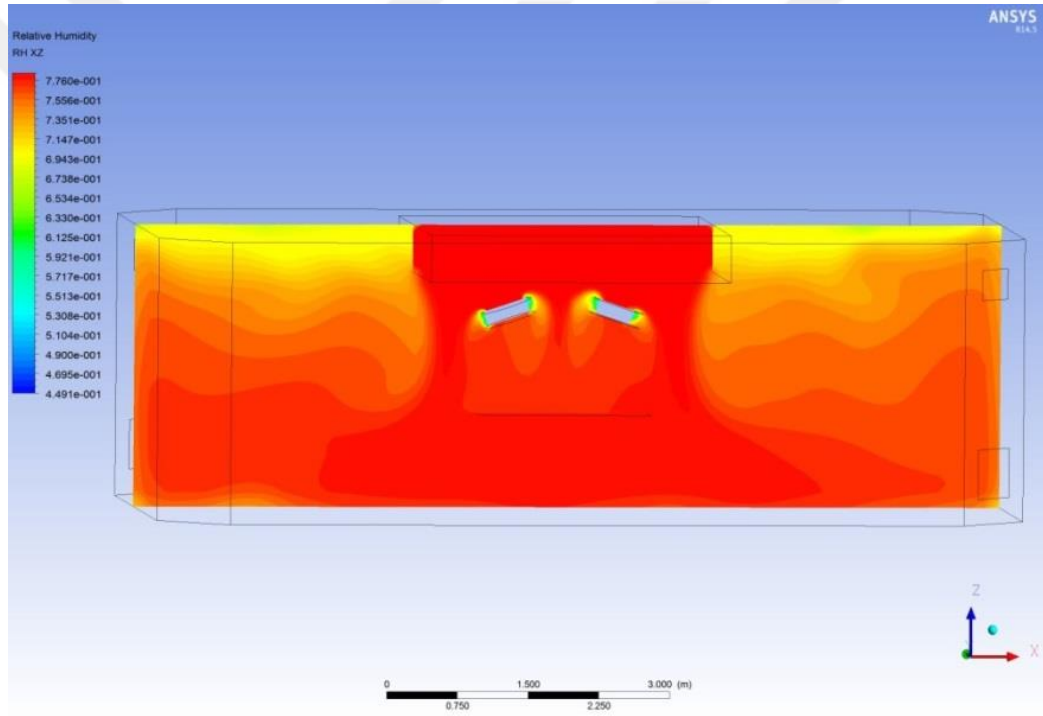


Şekil 4.26 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

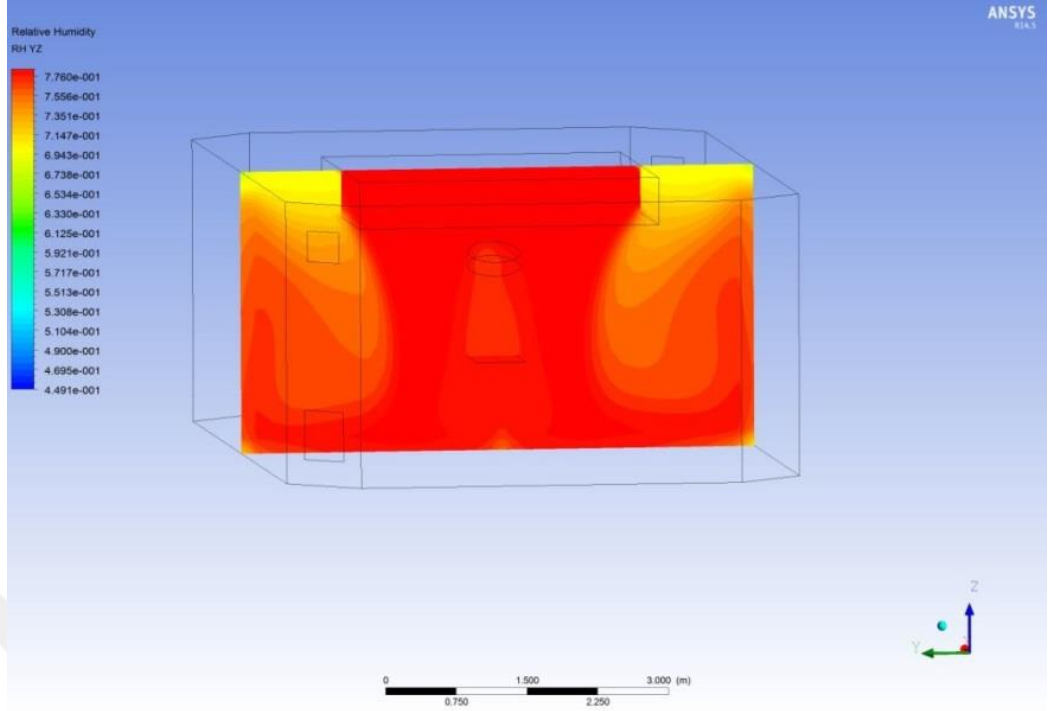


Şekil 4.27 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

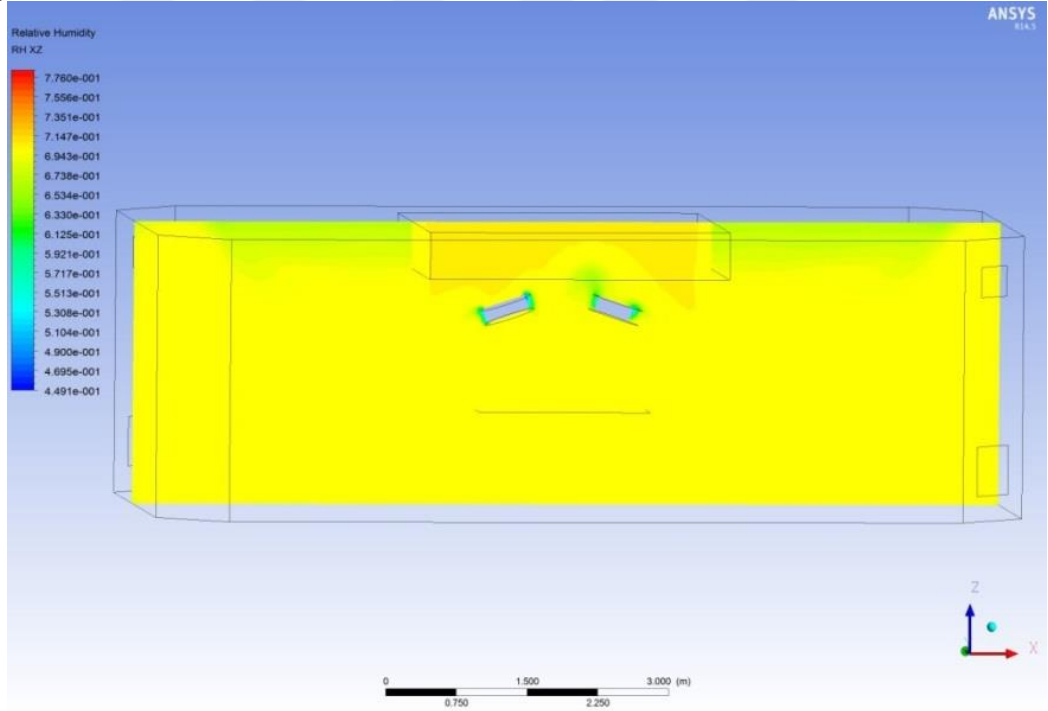
Şekil 4.28 ve 4.29'da $T_g < T_o$ şartlarında ve ölçümler sırasında elde edilen bağıl nem değerlerinin sınır şartı olarak kullanıldığı analizler sonucunda, oda içinde farklı kesitlerde elde edilen bağıl nem değerleri gözükmemektedir. Şekil 4.30 ve 4.31'de ise $T_g \geq T_o$ şartlarında yapılan analizlerin sonuçlarıdır. Oda içerisinde bağıl nemin kontrol altında olmadığını ve dış mahalden gelen hava şartlarına göre değiştiğinden bahsedilmişti. Odadaki bağıl nem değerinin dağılımı da giriş havasının bağıl nem değerine yakındır. Tavana doğru sıcaklık değeri biraz daha yüksek olduğundan tavana doğru bağıl nem değeri düşmektedir. Benzer şekilde ameliyathane lambalarının etrafındaki sıcaklık oda sıcaklığına göre daha yüksek olduğundan lambaların etrafında da bağıl nem değeri daha düşüktür.



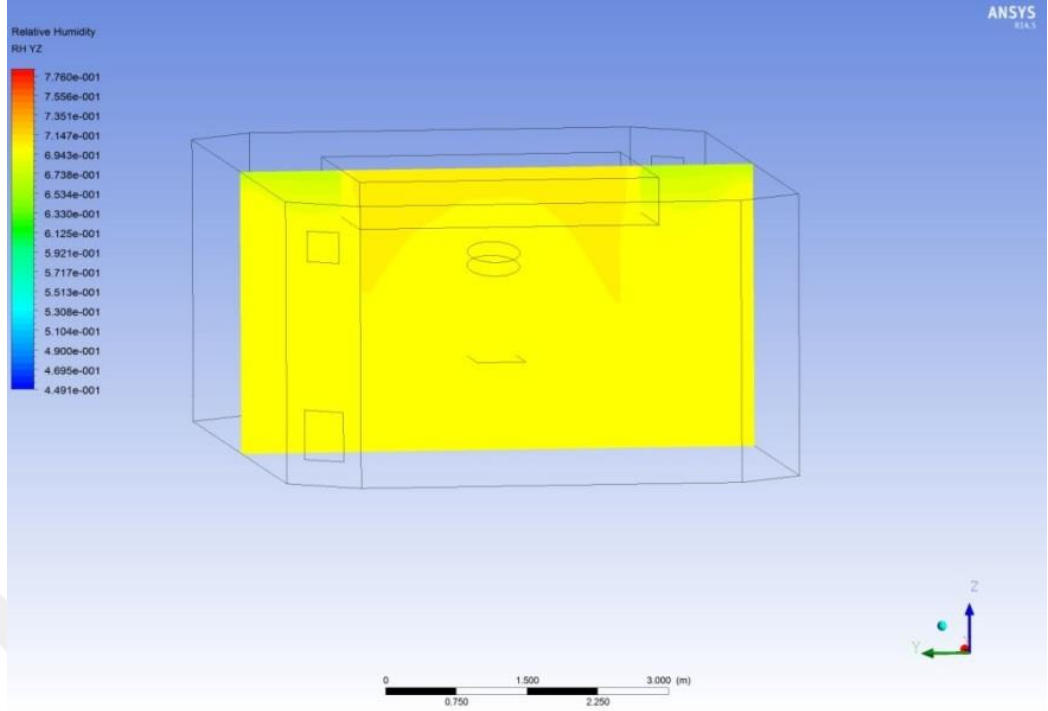
Şekil 4.28 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.29 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

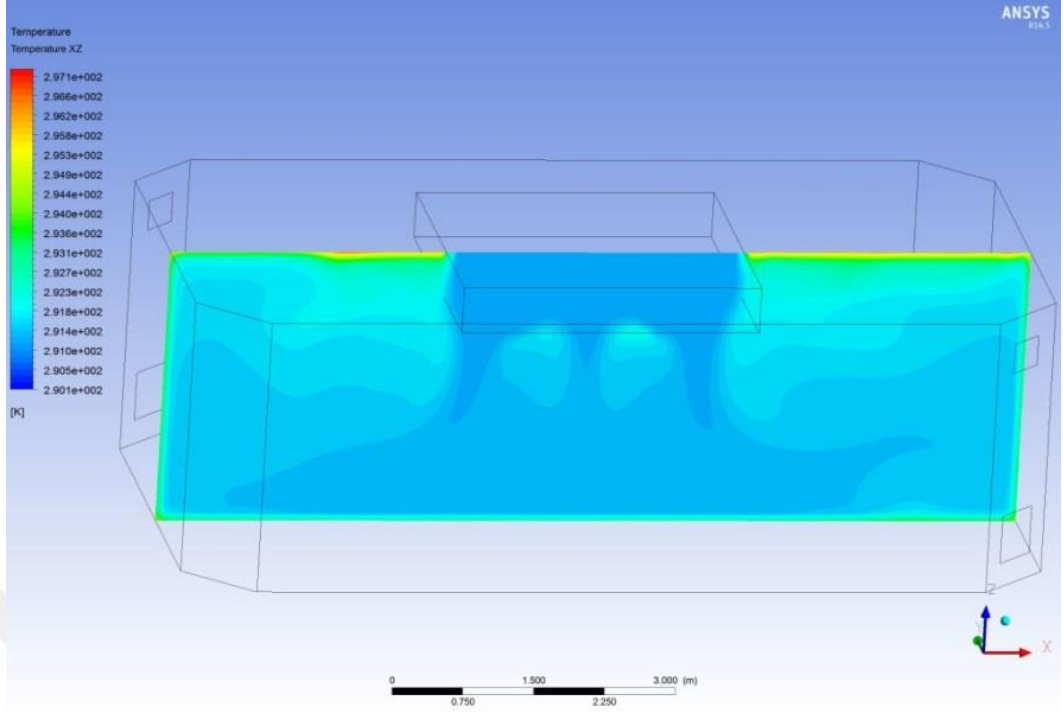


Şekil 4.30 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

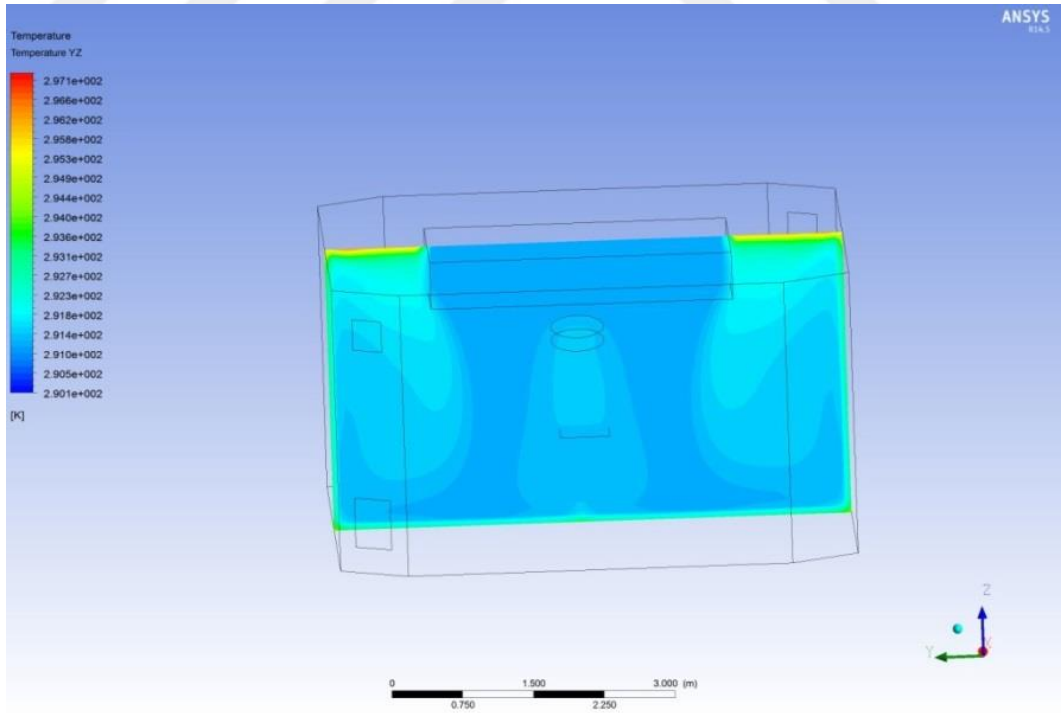


Şekil 4.31 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

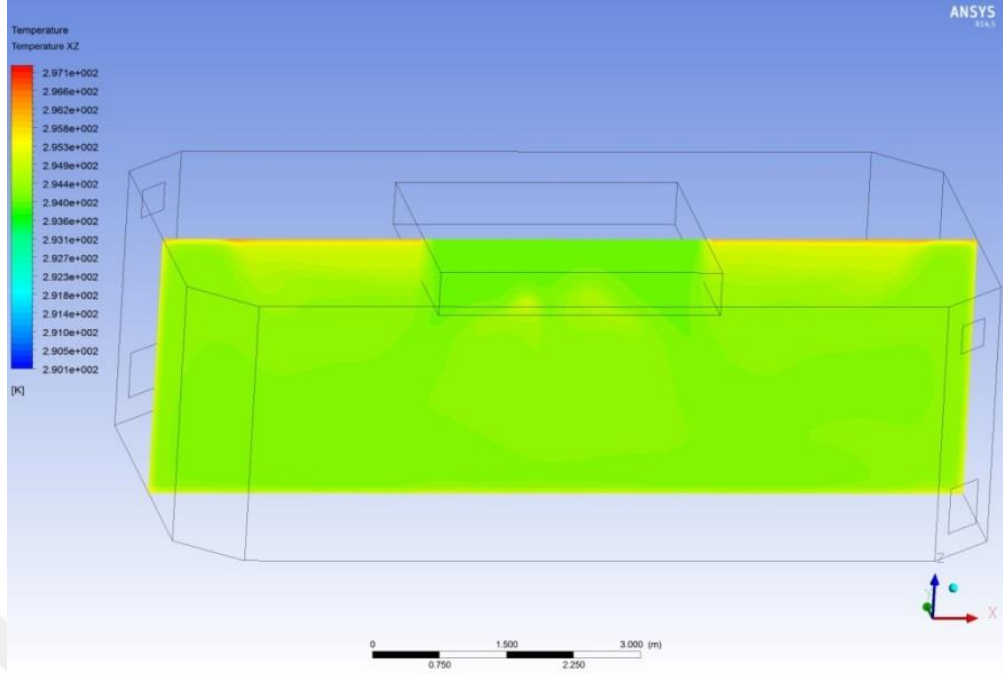
Şekil 4.32–4.33 ve Şekil 4.34-4.35'te $T_o=20^\circ\text{C}$ için sırasıyla $T_g < T_o$ ve $T_g \geq T_o$ şartlarında yapılan analizler sonucu elde edilen oda içerisindeki sıcaklık dağılımının farklı kesitlerdeki görüntüleri verilmiştir. Değerler $T_o=19^\circ\text{C}$ 'dekine benzer şekilde T_o ve T_g değerleri neredeyse aynıdır. T_g ve T_o değerleri sürekli değişmekle birlikte ortalama olarak $T_o=20^\circ\text{C}$ civarlarındadır. Tavan yüzeyinde ve ameliyathane lambaları etrafında sıcaklık biraz daha yüksek olup, diğer yerlerde sıcaklıklar hemen hemen aynıdır.



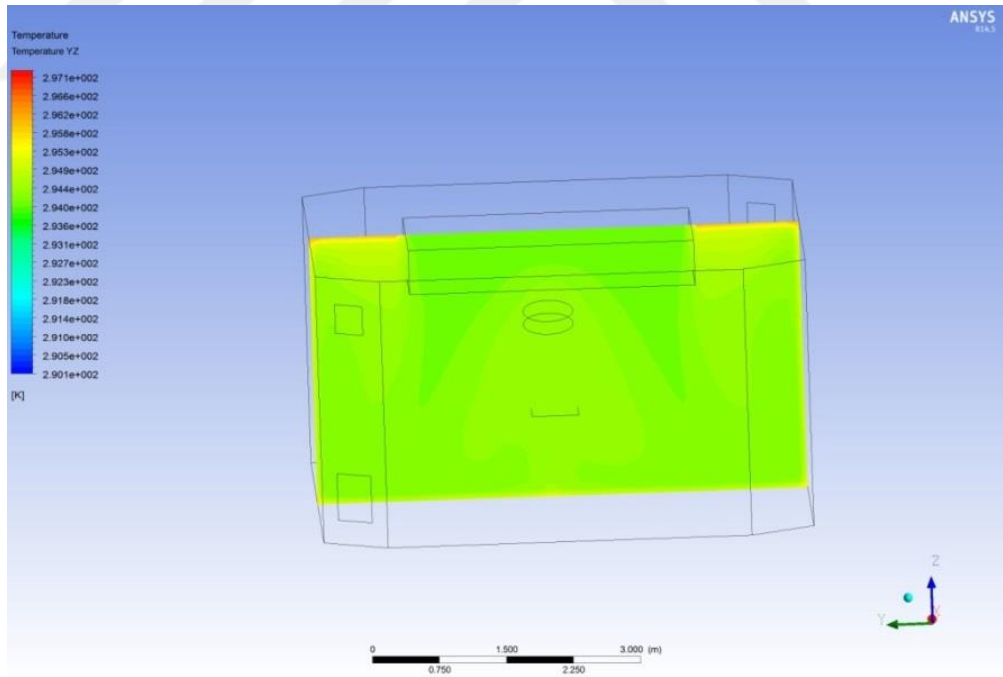
Şekil 4.32 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.33 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

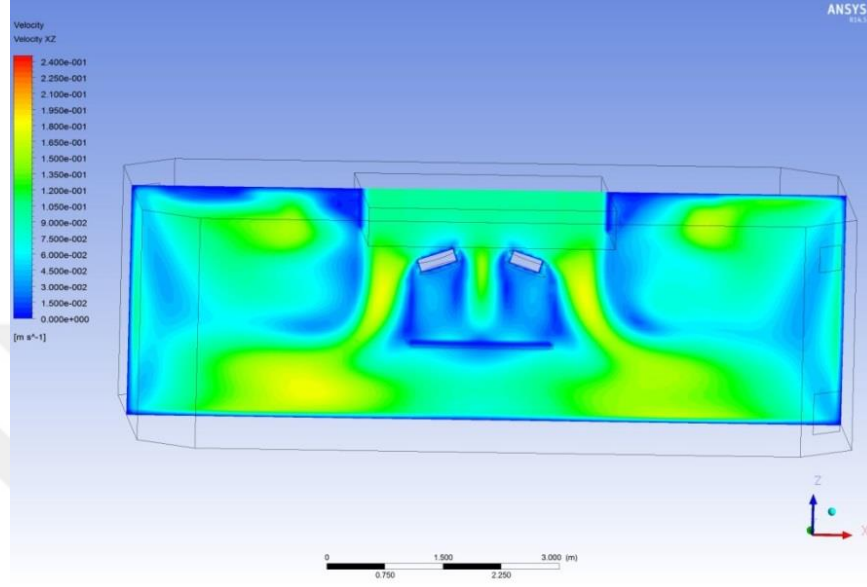


Şekil 4.34 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

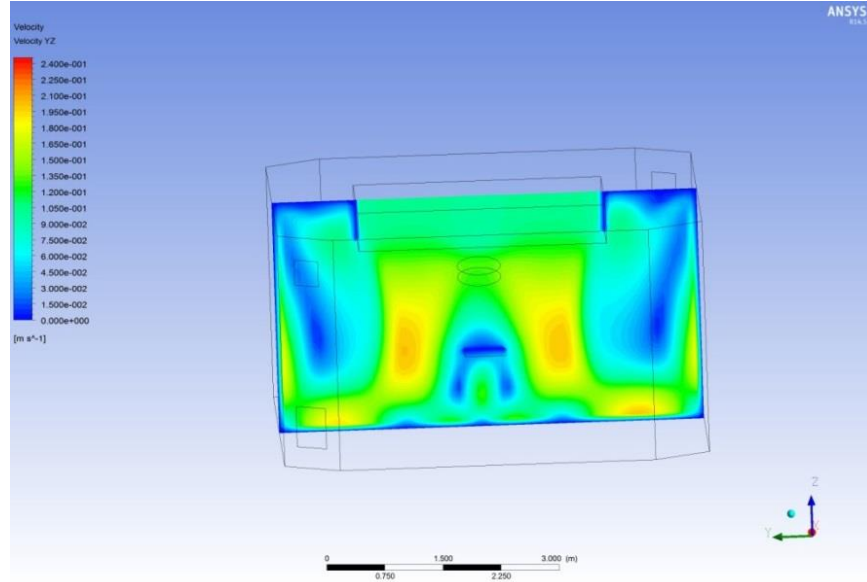


Şekil 4.35 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

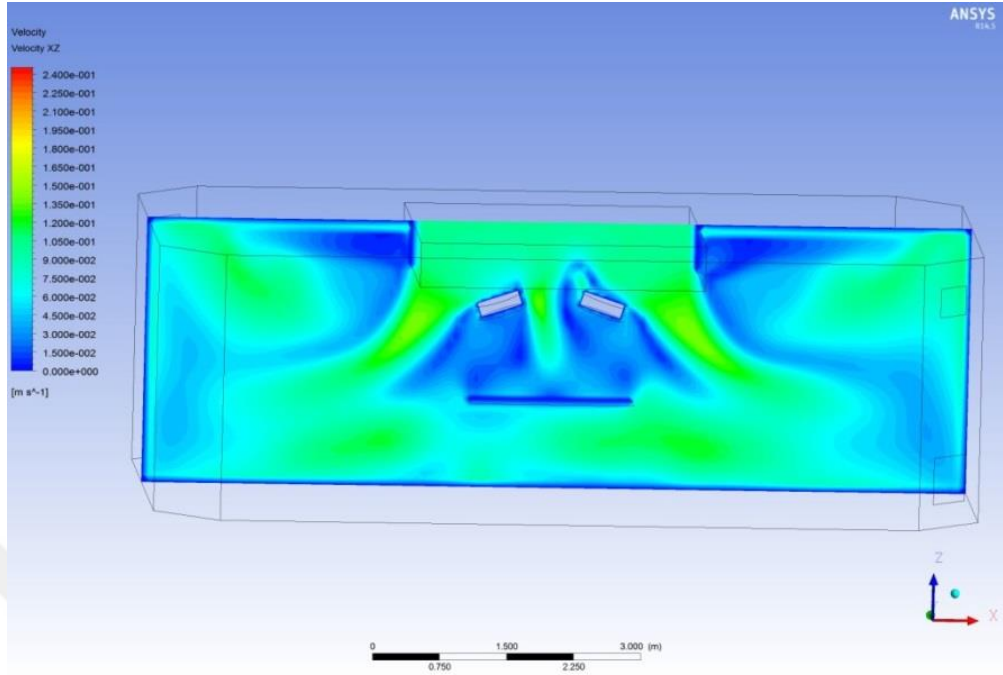
Şekil 4.36-4.37’de $T_o < T_r$ için, Şekil 4.38-4.39’da $T_o \geq T_r$ şartında ortalama oda sıcaklığının 20°C olduğu durumda yapılan analiz sonuçlarında elde edilen oda içerisindeki hız dağılımının farklı kesitlerdeki görüntüsü görülmektedir. $T_g < T_o$ olduğunda havanın daha hızlı bir şekilde zemine kadar inebildiği görülmektedir.



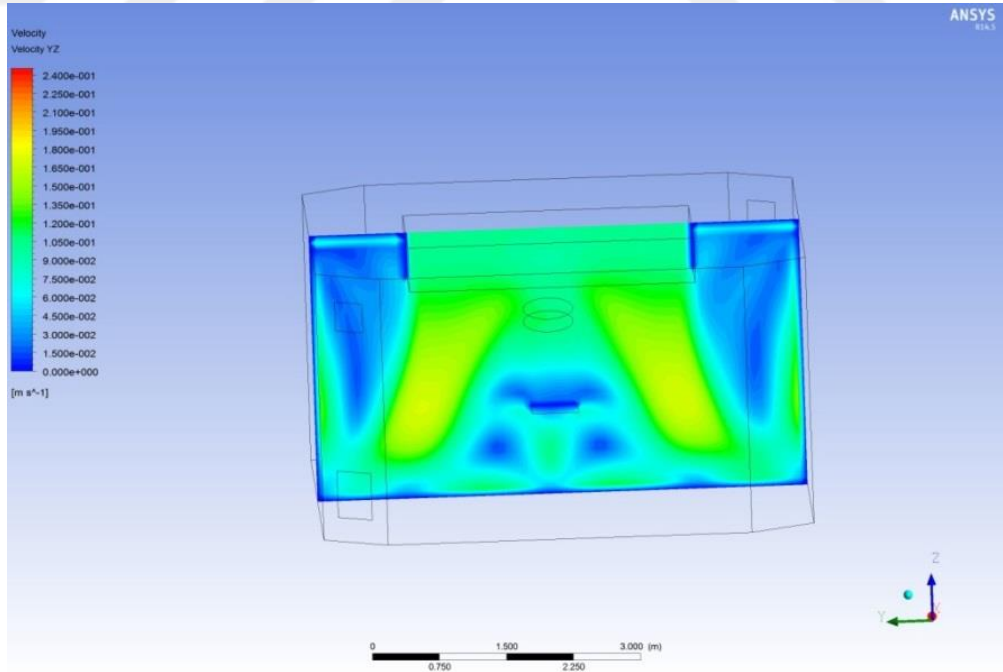
Şekil 4.36 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 4.37 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

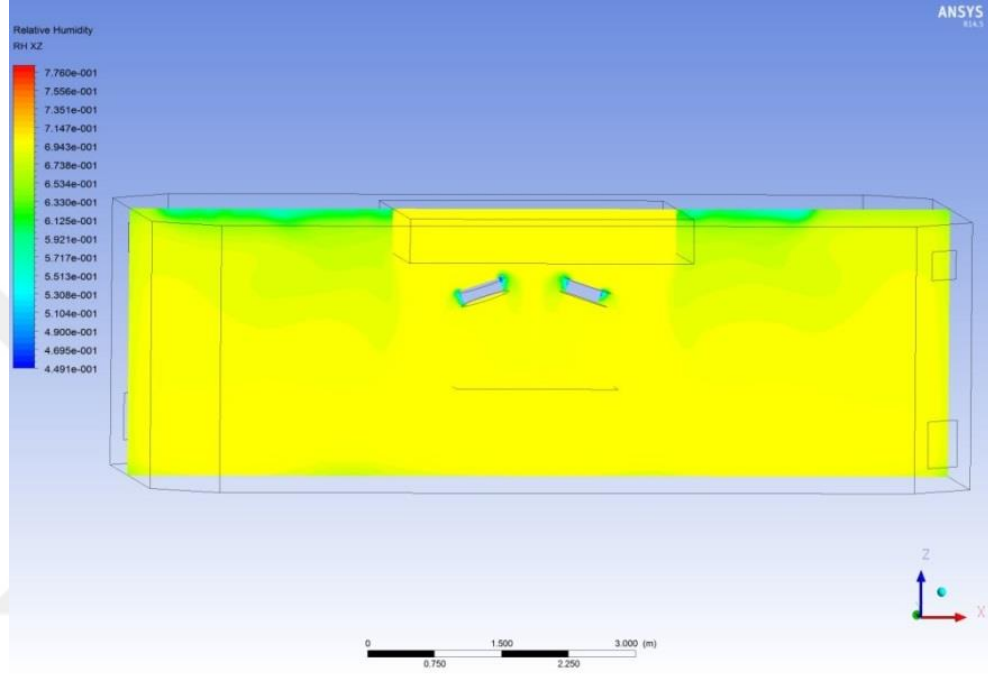


Şekil 4.38 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

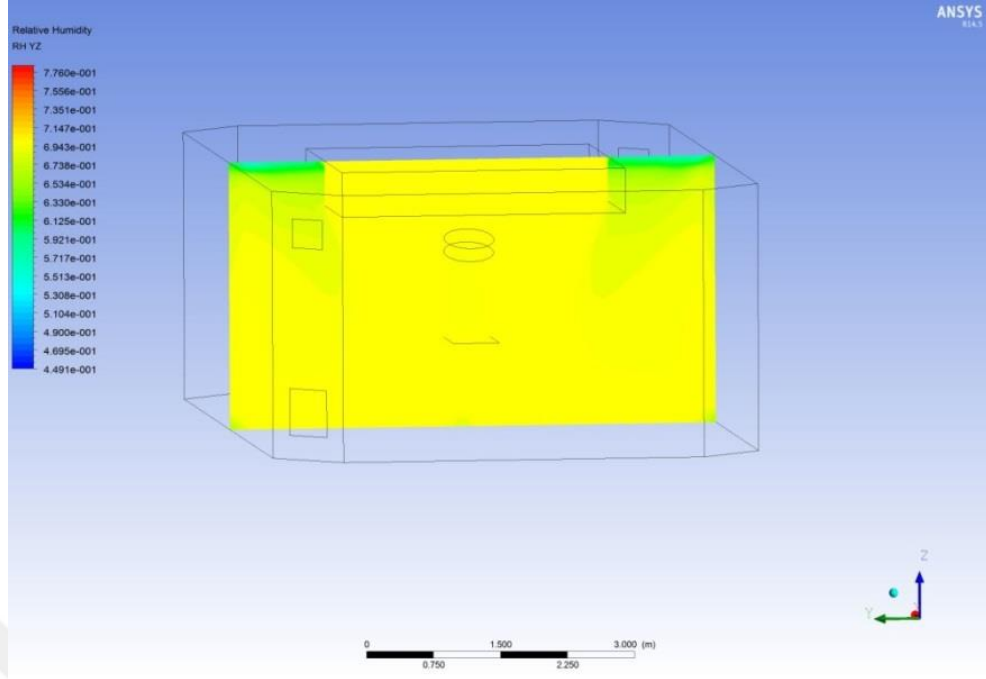


Şekil 4.39 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

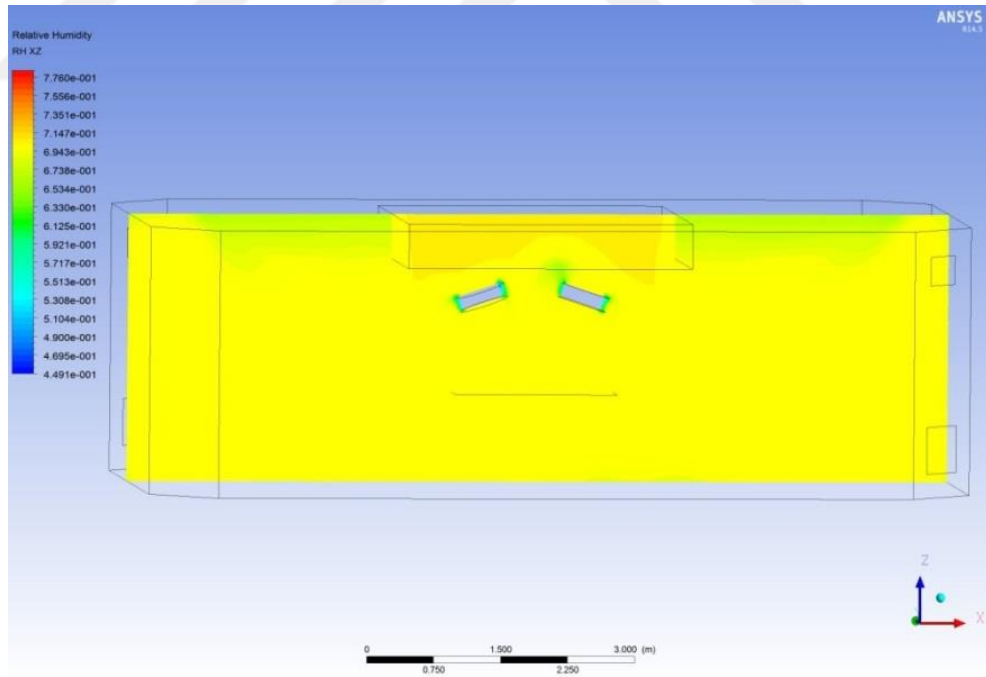
Şekil 4.40-4.41'de $T_o < T_r$ için, Şekil 4.42-4.43'de $T_o \geq T_r$ şartında ortalama oda sıcaklığının 20°C olduğu durumda ve ölçümler sonucu elde edilen bağıl nem değerlerine bağlı olarak yapılan analiz sonuçlarında elde edilen oda içerisindeki bağıl nem dağılımının farklı kesitlerdeki görüntüsü görülmektedir.



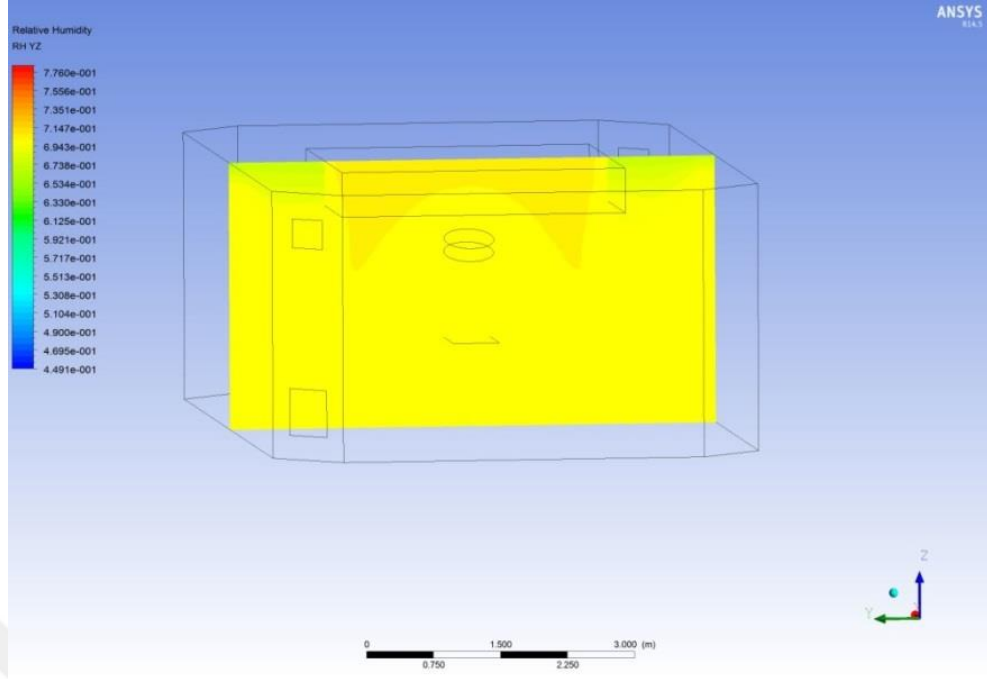
Şekil 4.40 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.41 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

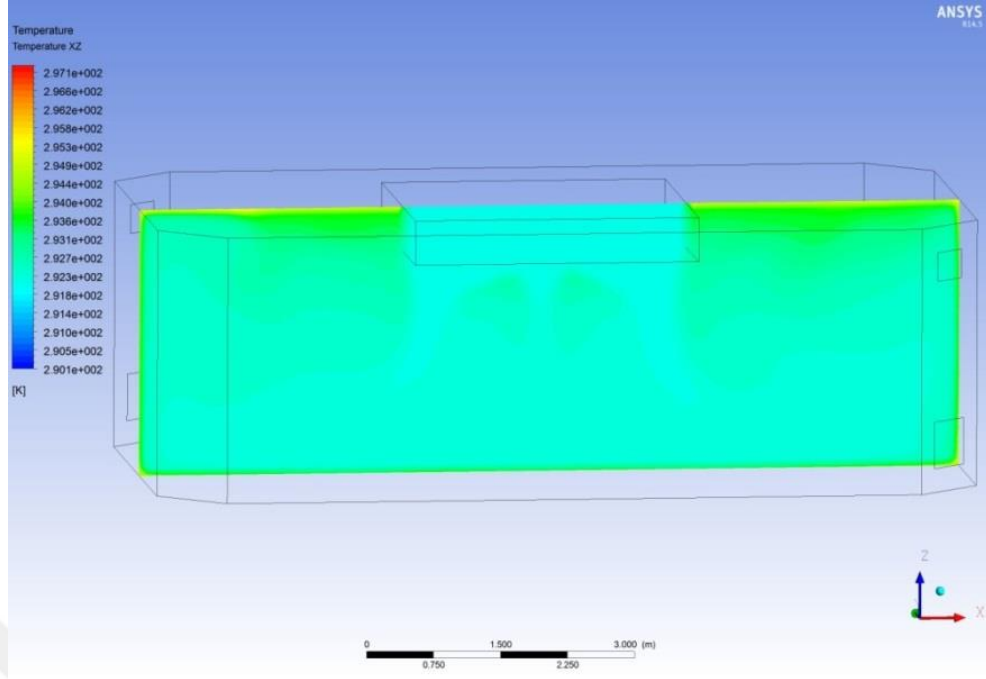


Şekil 4.42 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

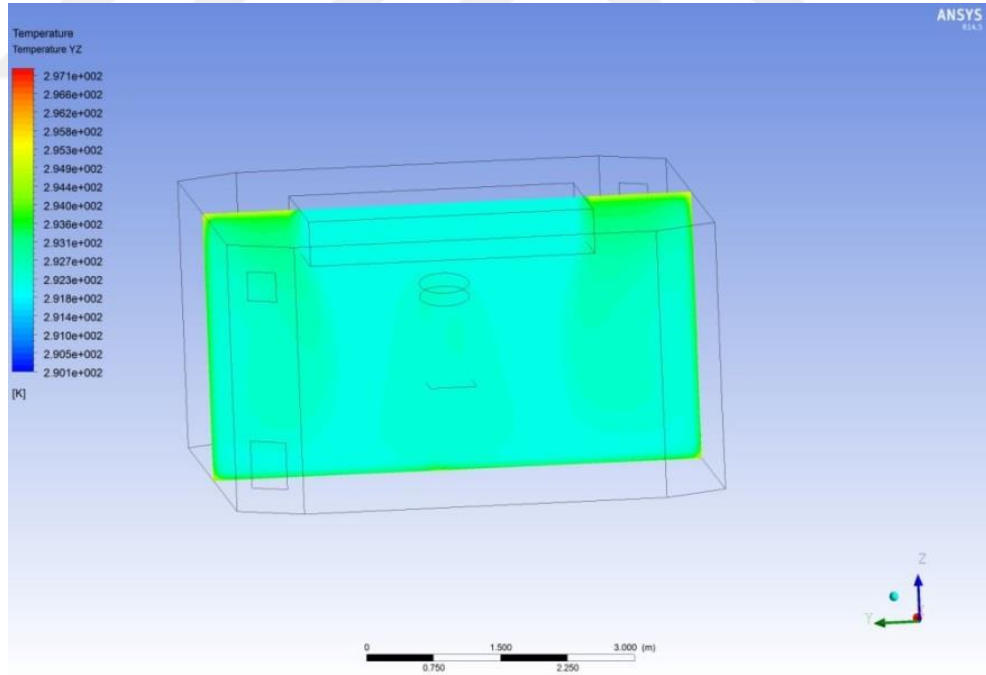


Şekil 4.43 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

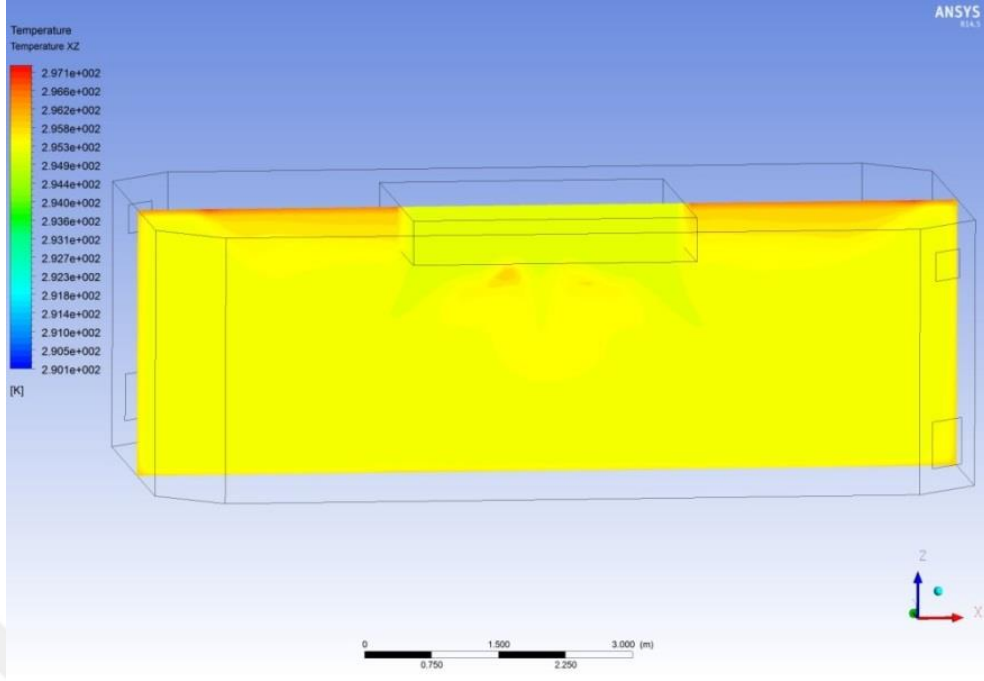
Şekil 4.44-4.45 ve şekil 4.46-4.47'de sırasıyla $T_o < T_r$ ve $T_o \geq T_r$ şartlarında ortalama oda sıcaklığı 21°C için yapılan analizler sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımı farklı kesitlerde gösterilmiştir. Benzer şekilde tavana doğru ve ameliyathane lambaları etrafında sıcaklık daha yüksek olup genel olarak sıcaklık dağılımı T_g sıcaklığı ile hemen hemen aynıdır.



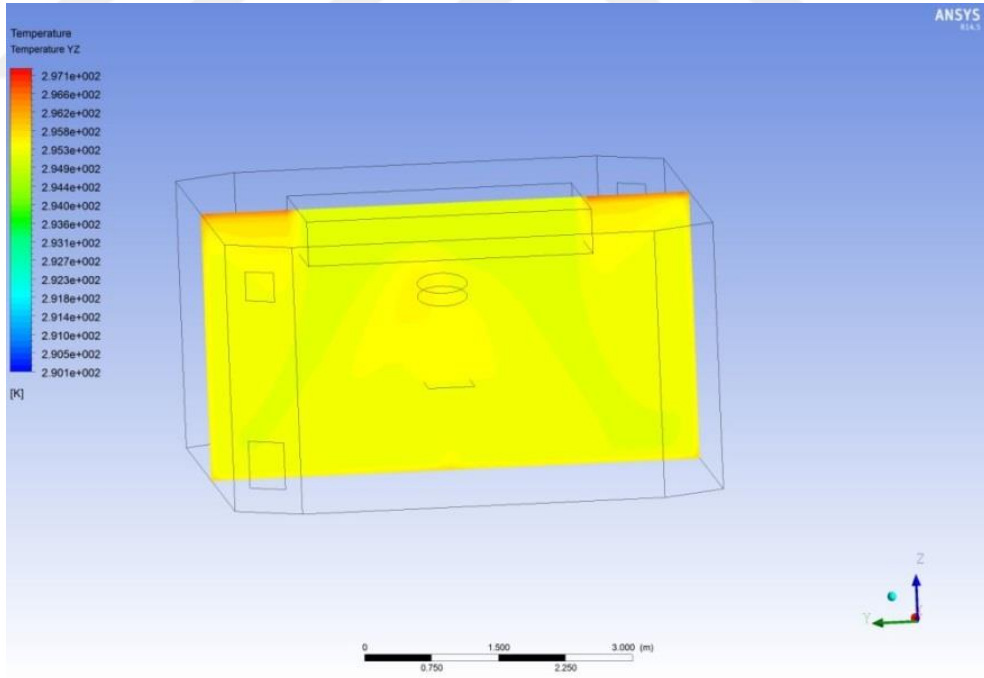
Şekil 4.44 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.45 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

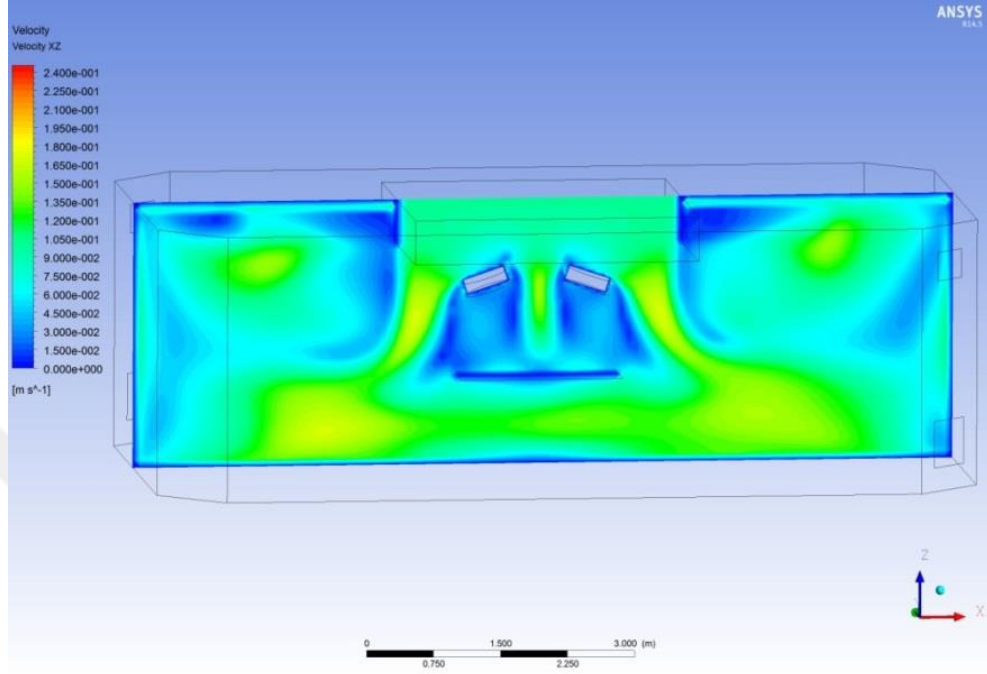


Şekil 4.46 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

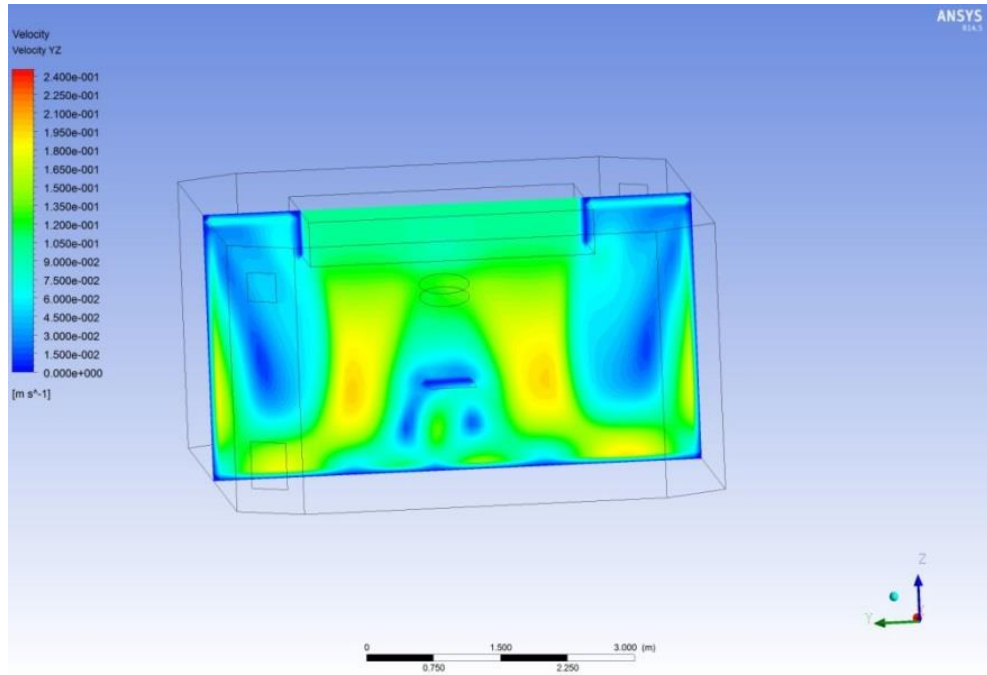


Şekil 4.47 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

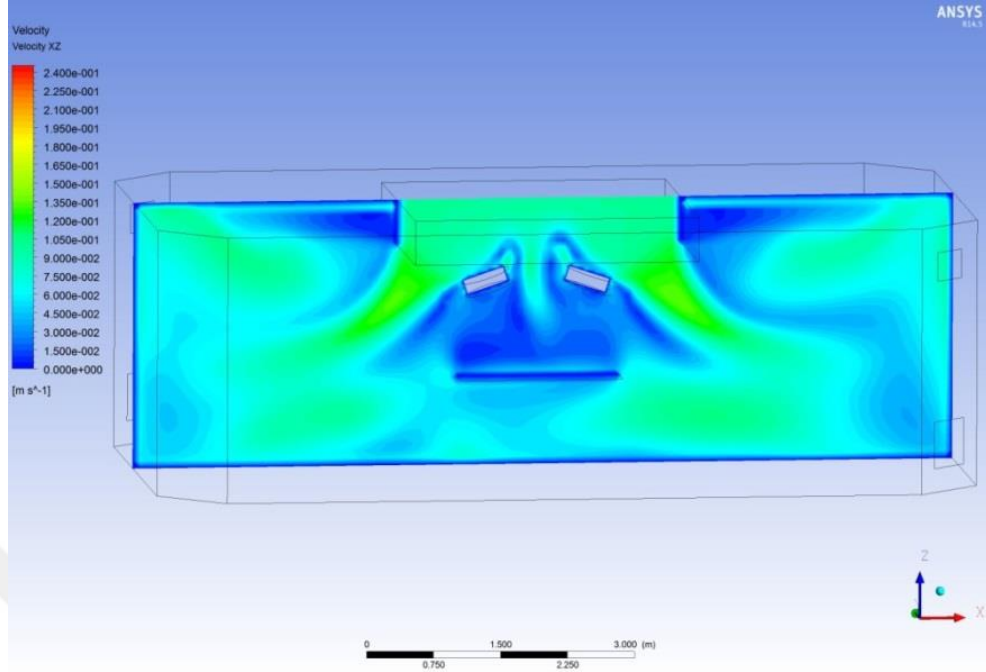
Şekil 4.48-4.49'da $T_o < T_r$ için, şekil 4.50-4.51'de $T_o \geq T_r$ yapılan analizlerde elde edilen hava hızı dağılımının farklı kesitlerdeki görüntüleri verilmiştir. Benzer şekilde $T_o < T_r$ olduğunda hava daha hızlı bir şekilde zemine inebilmektedir.



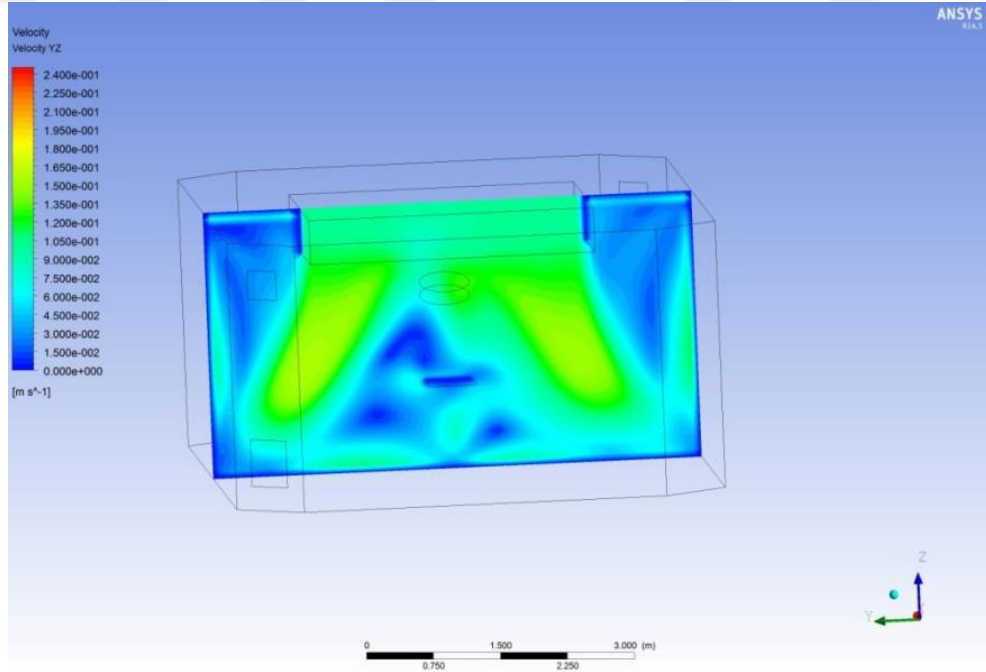
Şekil 4.48 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 4.49 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

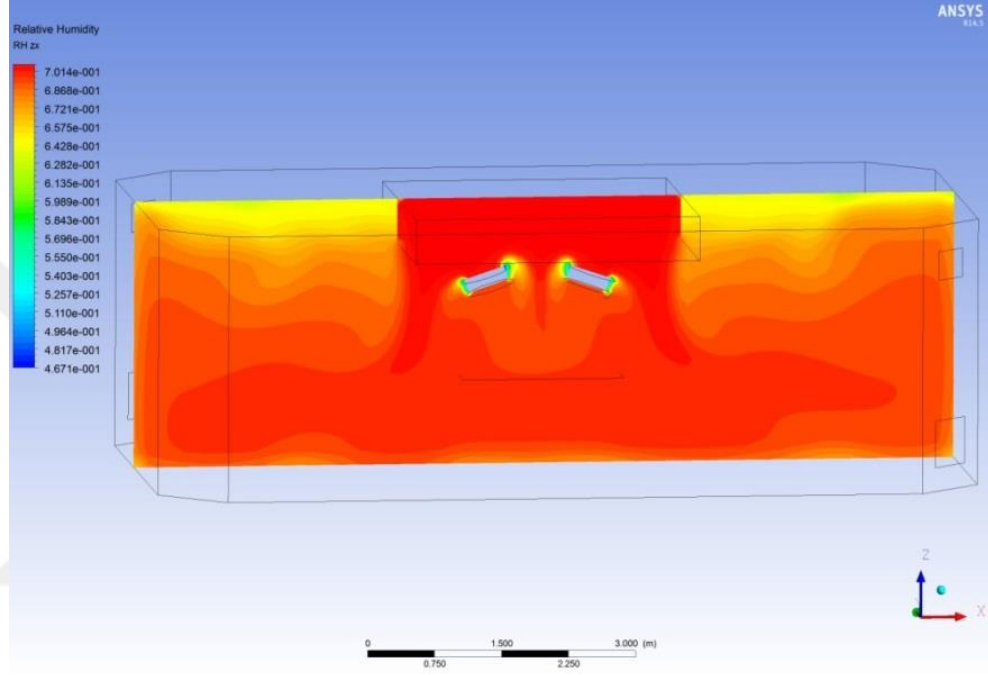


Şekil 4.50 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

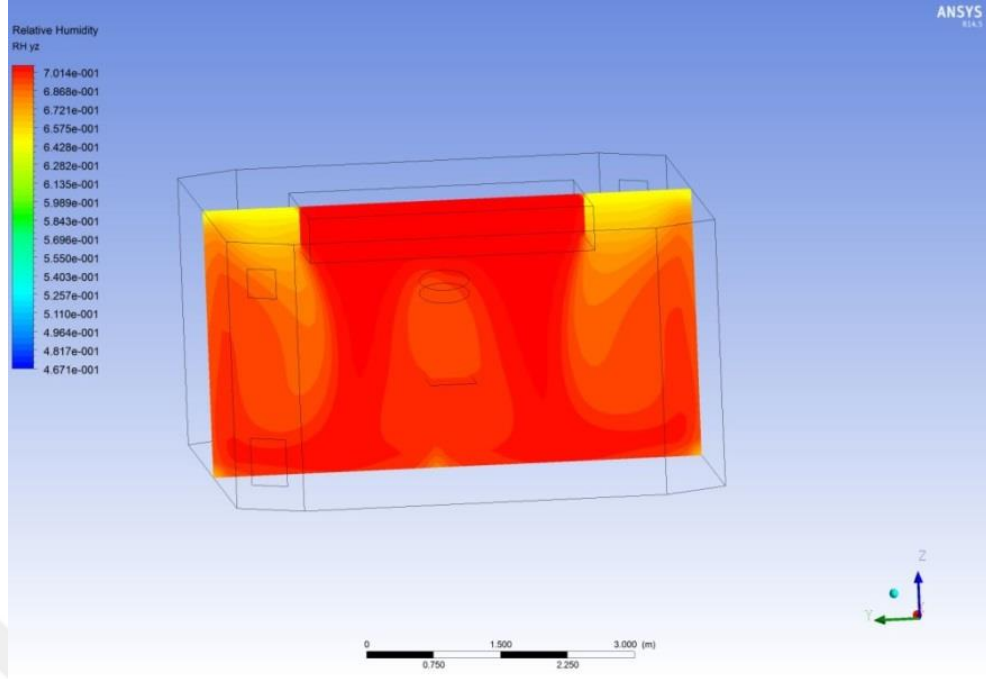


Şekil 4.51 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

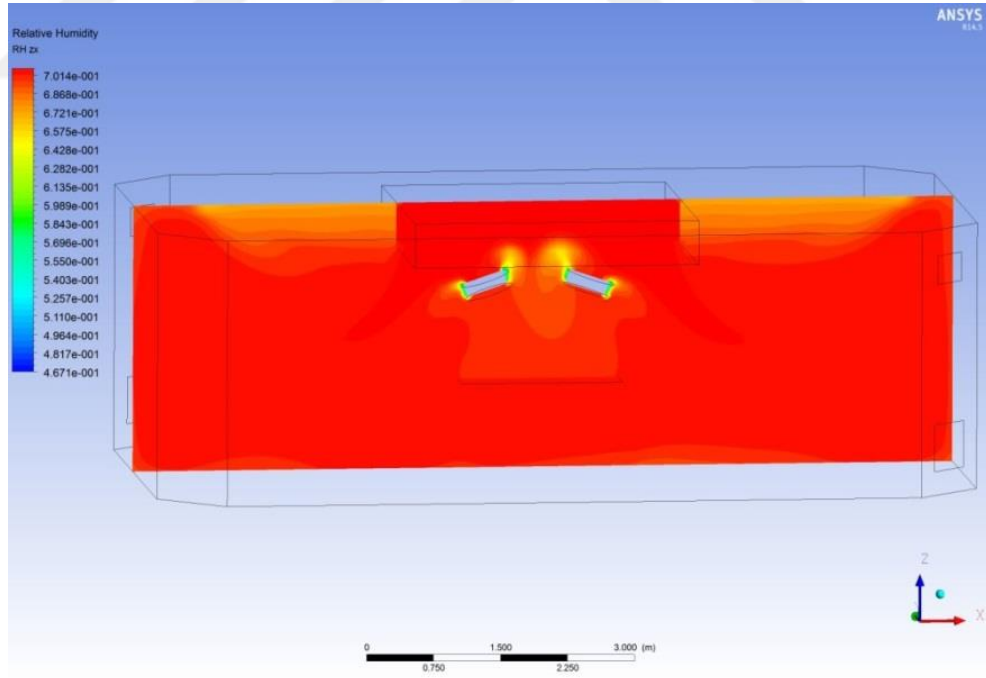
Şekil 4.52-4.53 ve şekil 4.54-4.55' de sırasıyla $T_o < T_r$ ve $T_o \geq T_r$ şartlarında, ölçüm alınan değerlere göre elde edilen bağıl nem değerleriyle analizler yapılmış ve sonuçlar farklı kesitlerden görüntülerle gösterilmiştir. Diğer oda sıcaklıklarındakilere benzer şekilde oda içerisindeki bağıl nem dağılımıyla girişteki bağıl nem değeri birbirine yakın olup tavana doğru olan sıcaklıkla lam etraflarındaki sıcaklık yüksek olduğundan bu civarlardaki bağıl nem değeri odaya göre daha düşüktür.



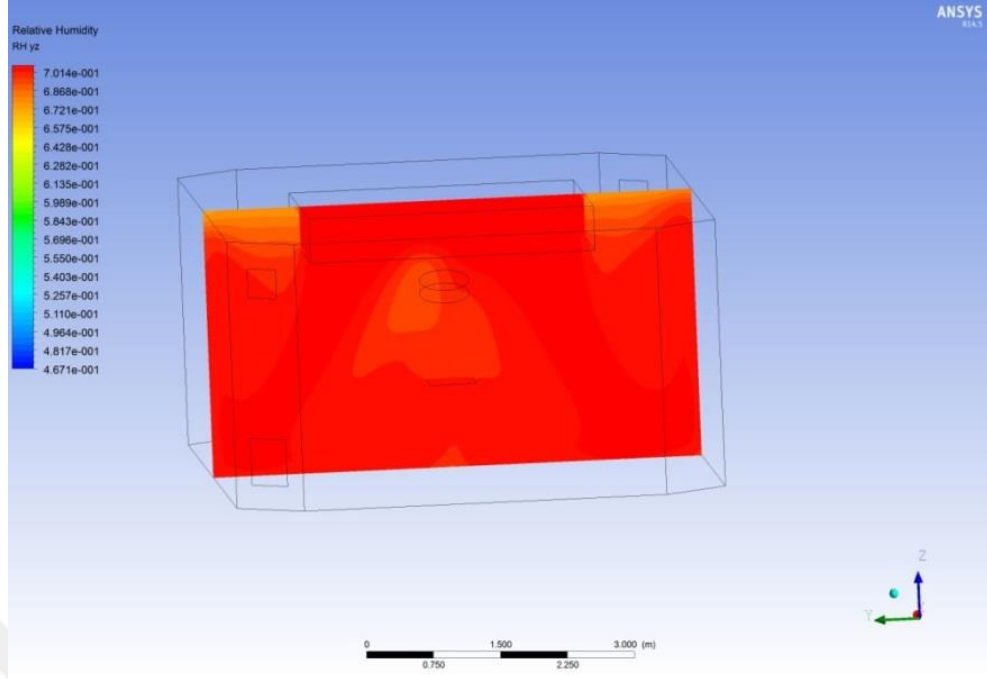
Şekil 4.52 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.53 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

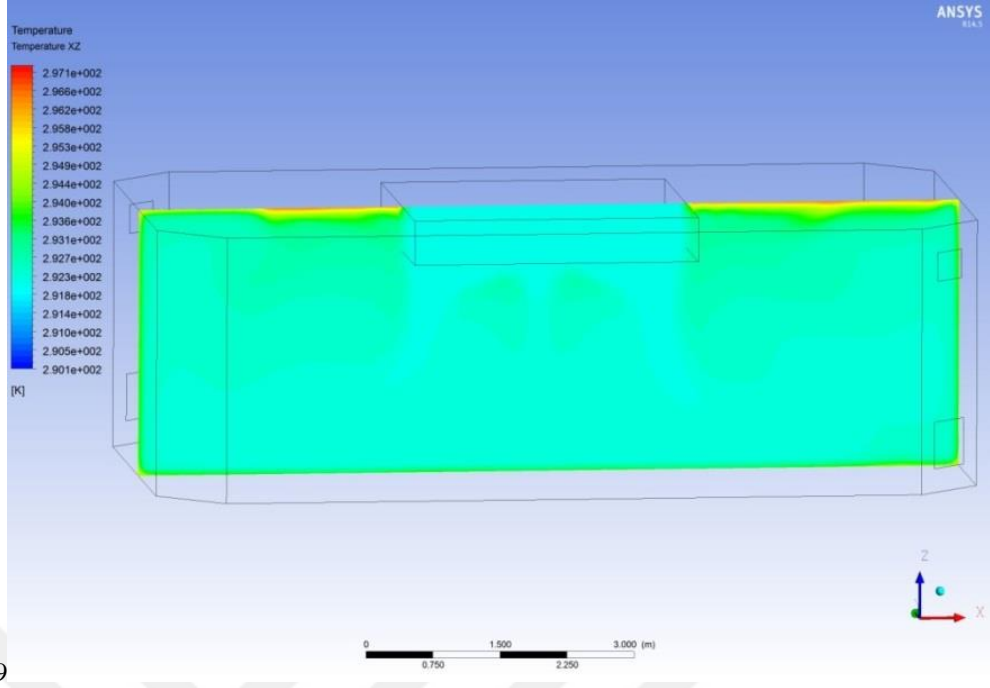


Şekil 4.54 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



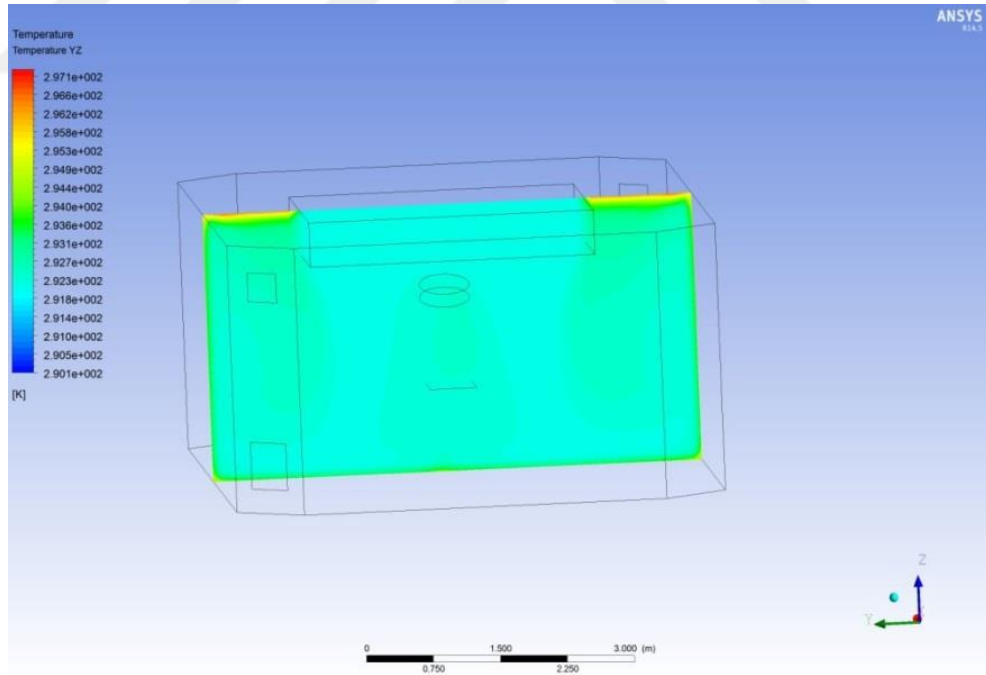
Şekil 4.55 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

Ortalama oda sıcaklığının $T_o=22^\circ\text{C}$ olduğu şartta $T_o < T_r$ durumunda oda içerisindeki sıcaklık dağılımı şekil 4.56-4.57'de farklı kesitlerde gösterilmiştir. $T_o \geq T_r$ için olan sıcaklık dağılımı da şekil 4.58-4.59'da verilmiştir. Dağılım diğer oda sıcaklıklarına benzer şekildedir.

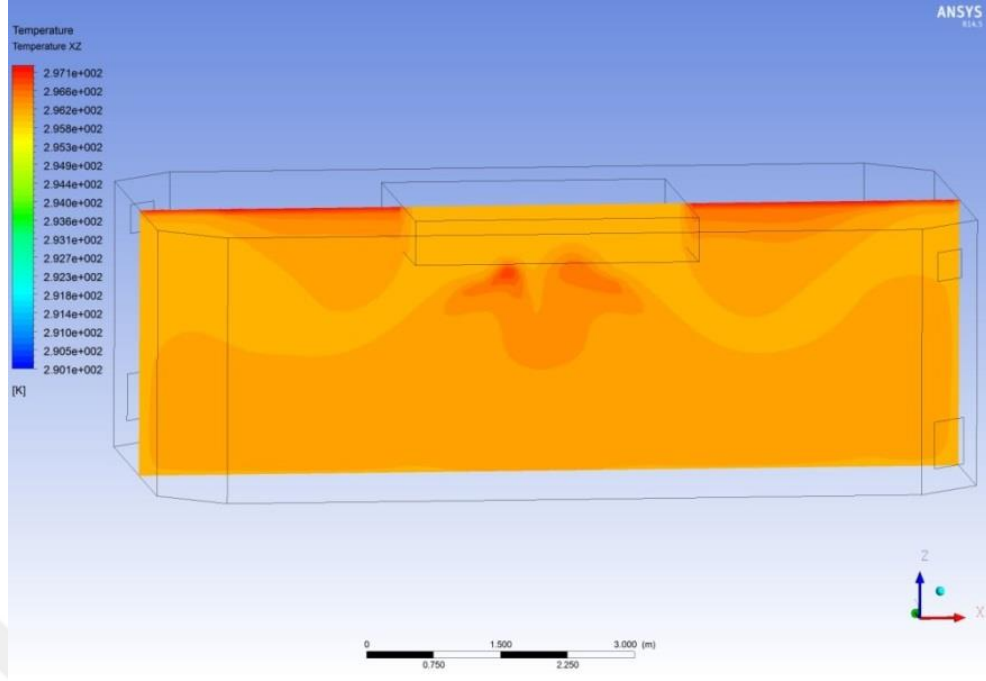


9

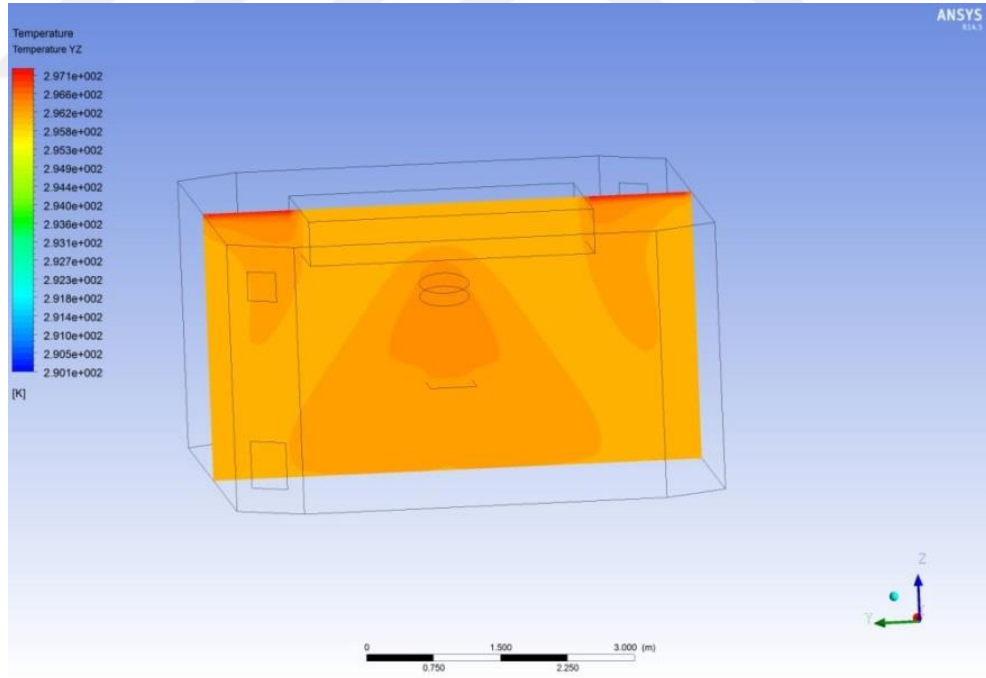
Şekil 4.56 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.57 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

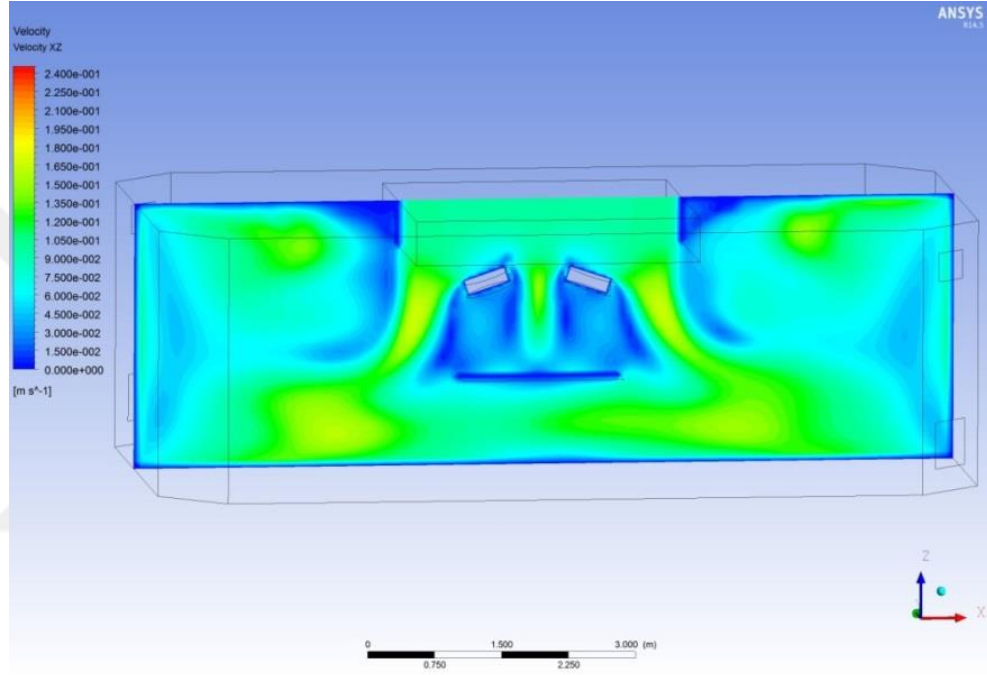


Şekil 4.58 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

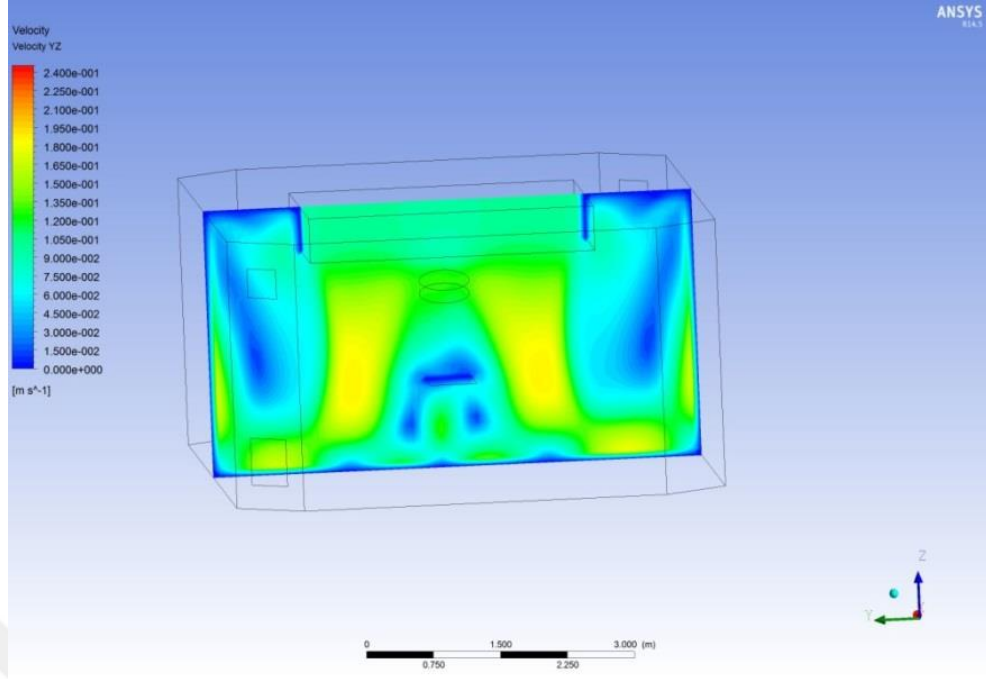


Şekil 4.59 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

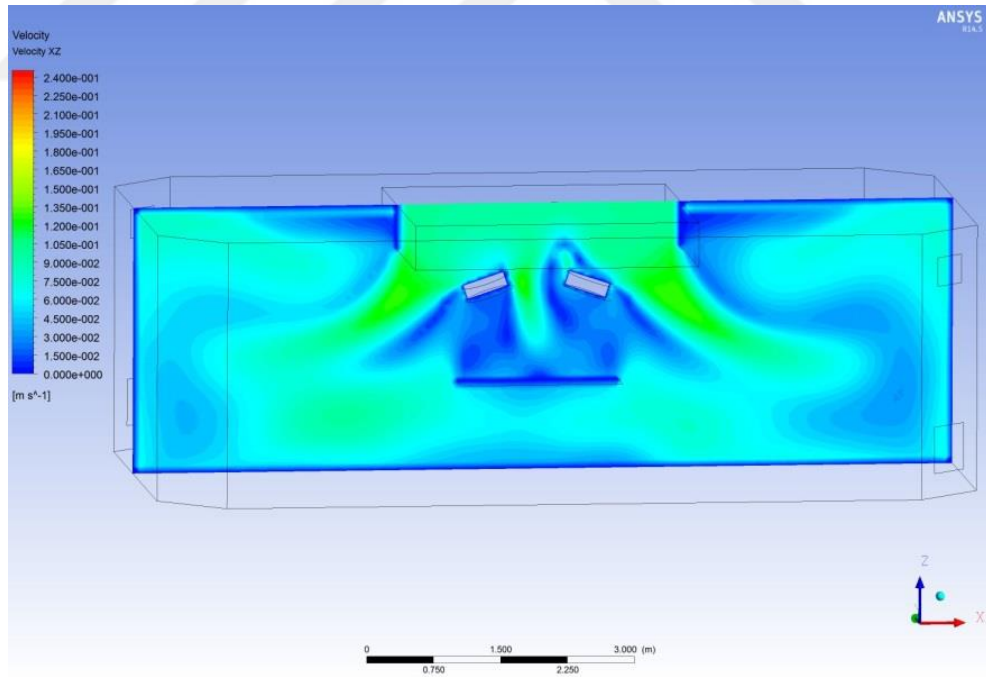
Şekil 4.60-4.61’de $T_o < T_r$ için, şekil 4.62-4.63’de $T_o \geq T_r$ için farklı kesitlerde oda içindeki hava hızı dağılımı görülmektedir. Diğer sıcaklıklarda olduğu gibi $T_o < T_r$ durumunda, havanın LAF ünitesinden zemine iniş hızı daha yüksektir. Ancak ortalama oda sıcaklığının en düşük olduğu çalışma şartında yani $T_o=19^\circ\text{C}$ ’de havanın LAF ünitesinden zemine iniş hızı diğer sıcaklıklara göre daha yüksektir. T_o arttıkça T_g sıcaklığı da arttığından daha az yoğunlukta hava girmekte ve havanın zemine iniş hızı azalmaktadır.



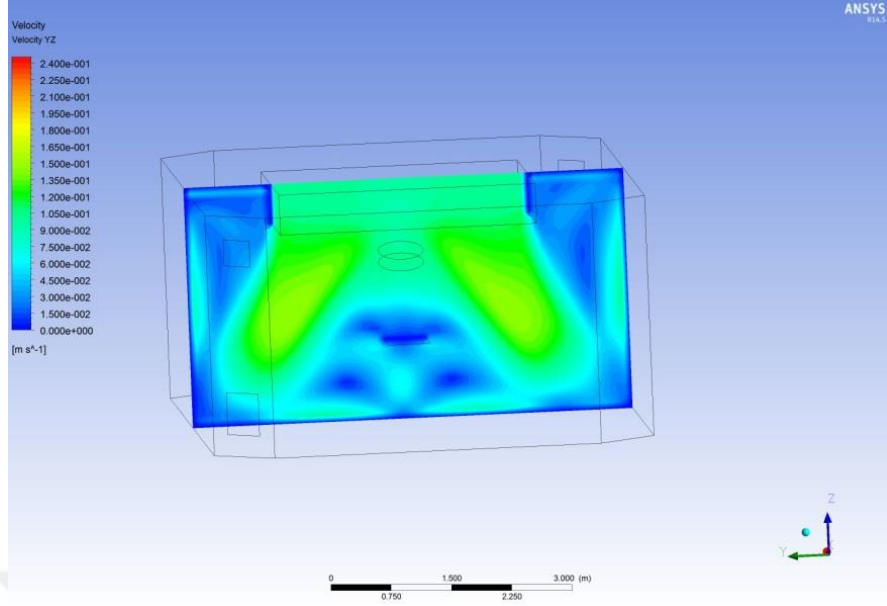
Şekil 4.60 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 4.61 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

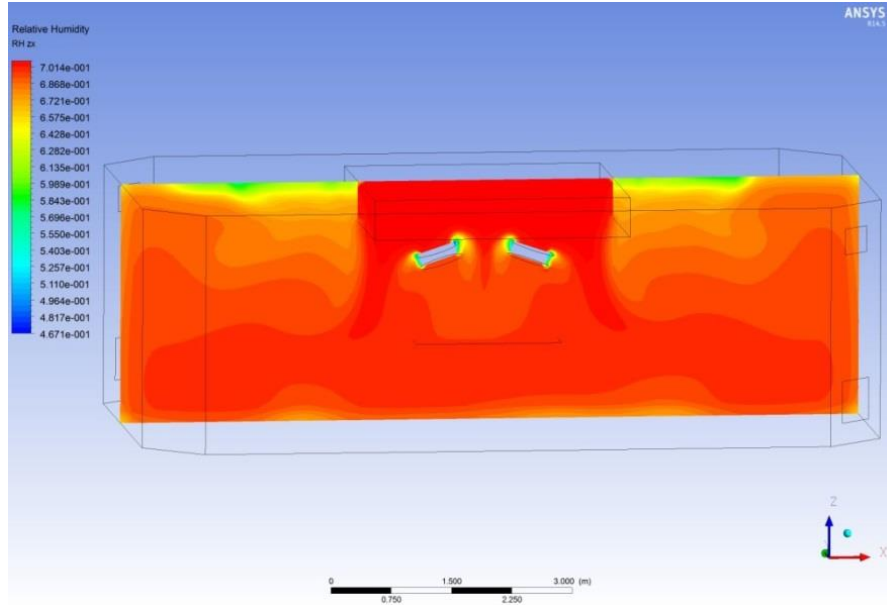


Şekil 4.62 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

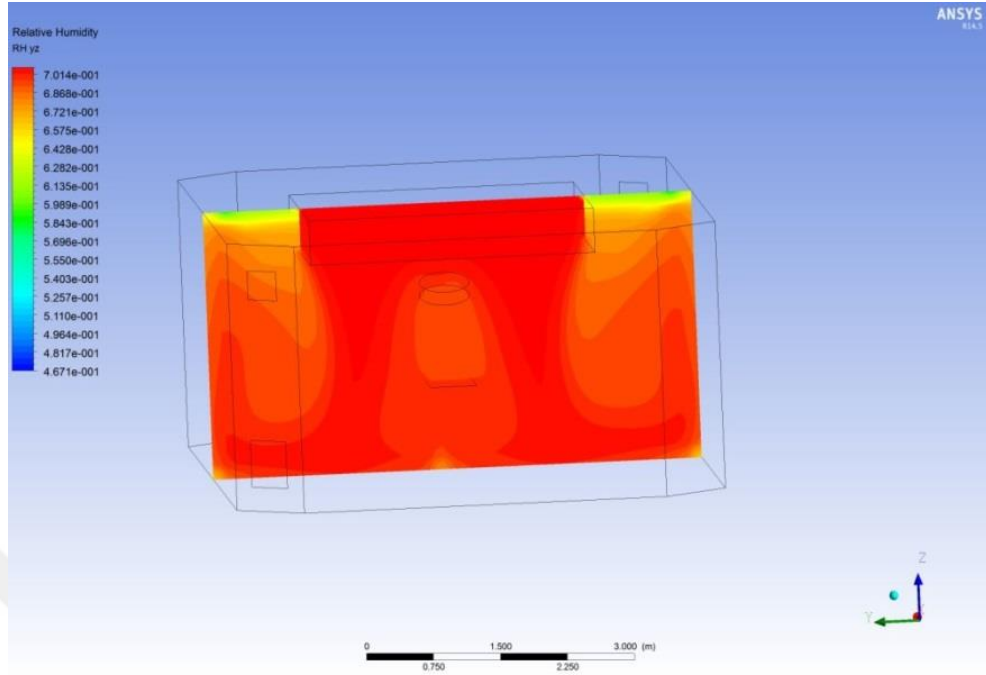


Şekil 4.63 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

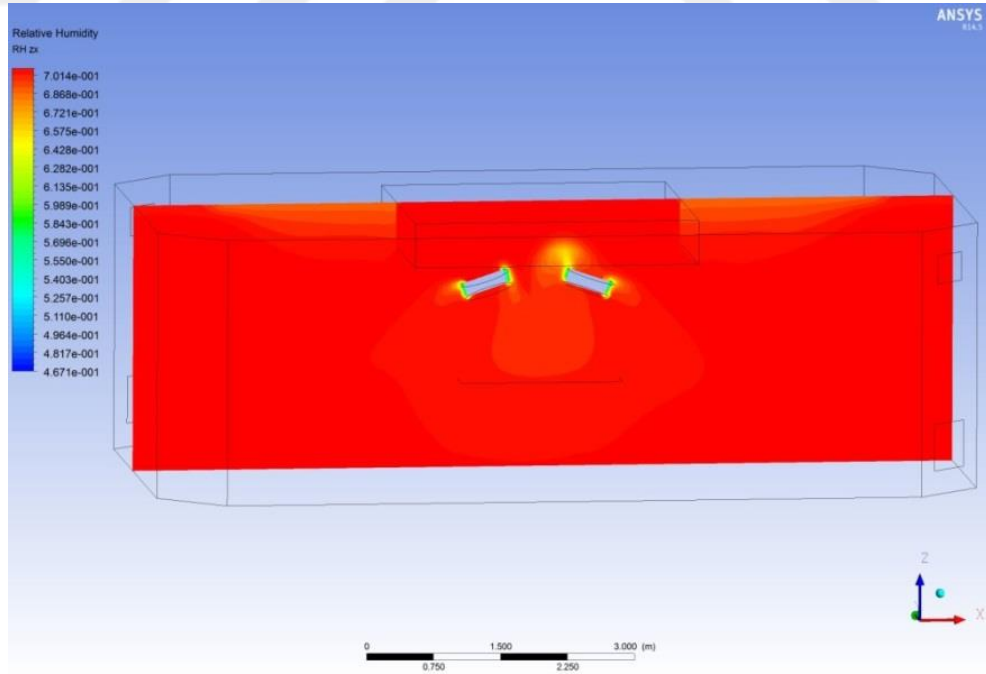
Şekil 4.64-4.65'te ve şekil 4.66-4.67'de sırasıyla $T_o < T_r$ ve $T_o \geq T_r$ için oda içerisinde elde edilen bağıl nem dağılımları görülmektedir. Dağılım diğer oda sıcaklıklarında görülene benzer şekildedir.



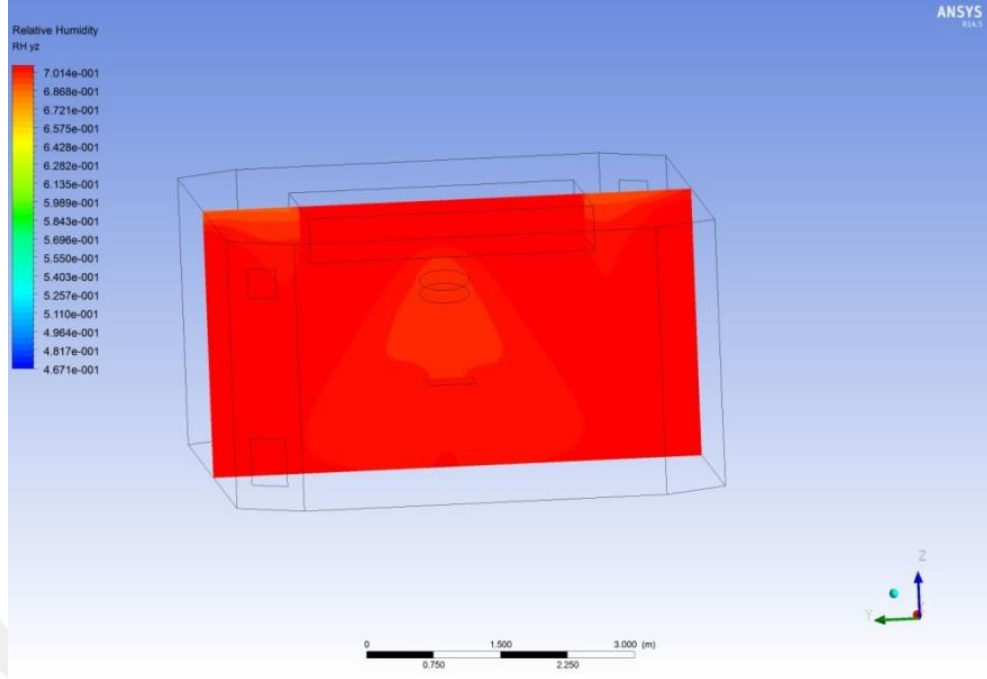
Şekil 4.64 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.65 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

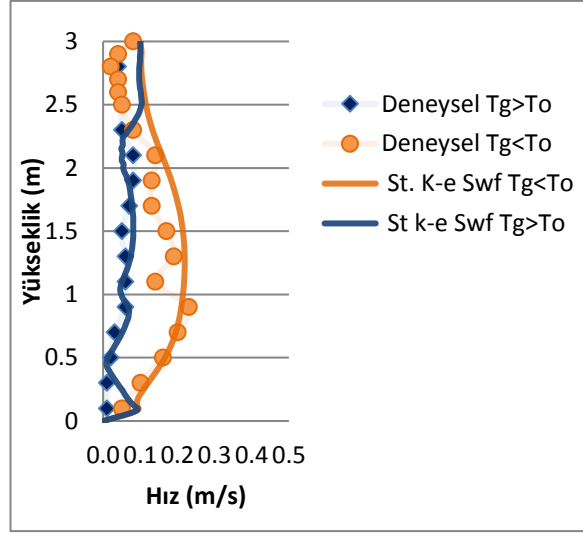


Şekil 4.66 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

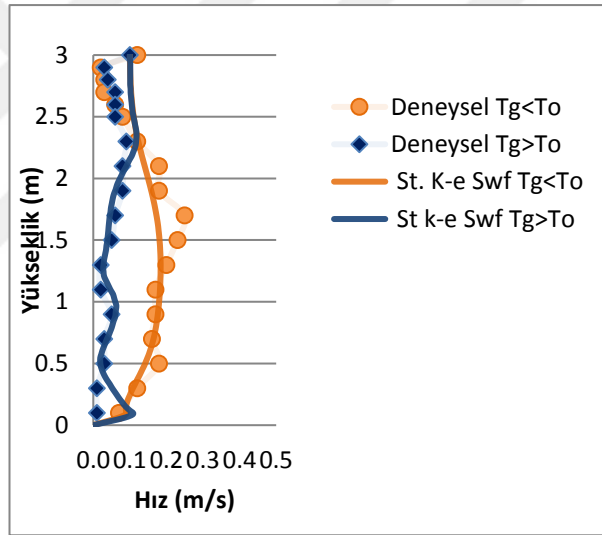


Şekil 4.67 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.1$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

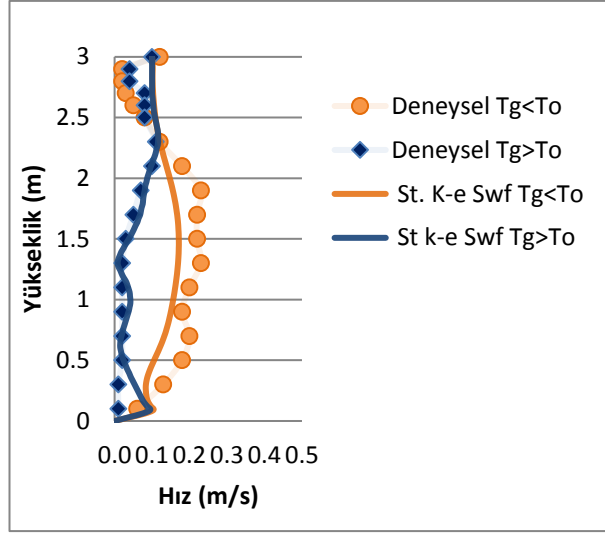
Şekil 4.68 – Şekil 4.71 arasında, oda içerisinde tavandan tabana kadar belli bir çizgi üzerinden alınmış olan ölçümlerle yapılan analizlerin sonucundan elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Grafiklere bakıldığında elde edilen hız profili, ölçümlerle elde edilen değerlere yakındır. Ameliyathane içerisinde bulunan ve modellenmemiş olan bazı cihazlar, sistemin analizdeki gibi stabil çalışmaması, ortam şartlarının belli bir değerde sabit kalmaması gibi sebeplerden dolayı analiz ve ölçümler arasında bazı farklılıklar vardır.



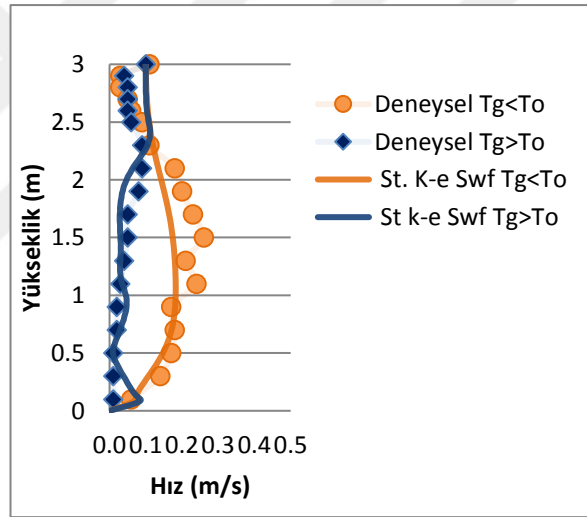
Şekil 4.68 $T_0=19^\circ\text{C}$ $V_g=0.1\text{ m/s}$ Yükseklik-Hız Diyagramı



Şekil 4.69 $T_0=20^\circ\text{C}$ $V_g=0.1\text{ m/s}$ Yükseklik-Hız Diyagramı



Şekil 4.70 $T_o=21^\circ\text{C}$ $V_g=0.1$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı



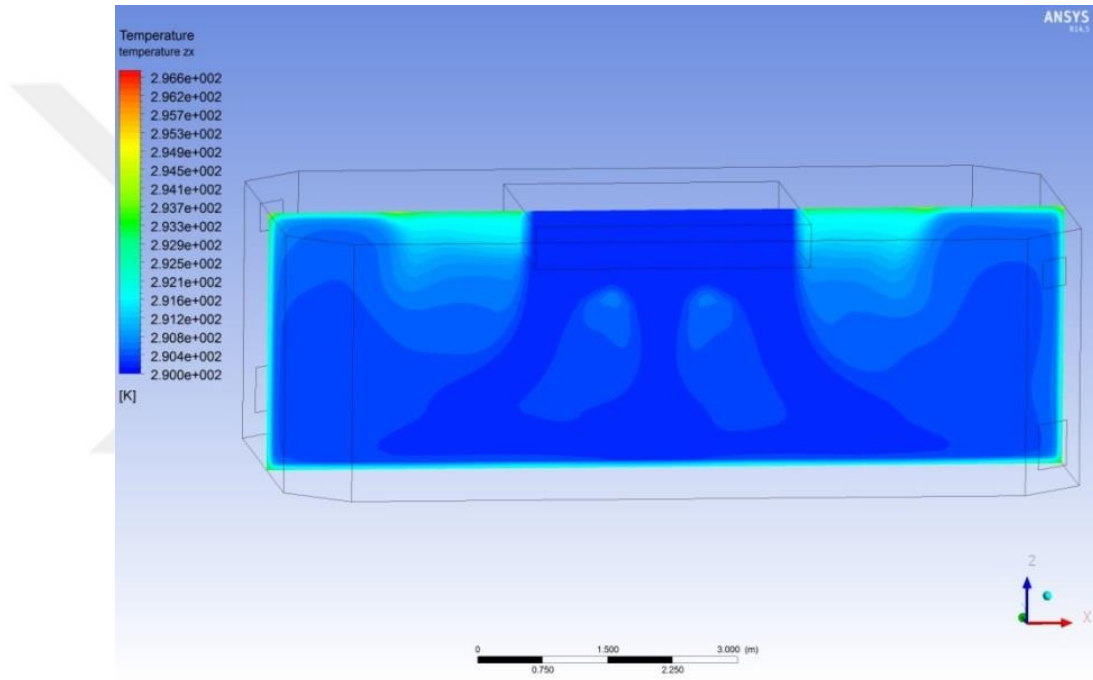
Şekil 4.71 $T_o=22^\circ\text{C}$ $V_g=0.1$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı

$V_g=0.2$ m/s için yapılan analizler

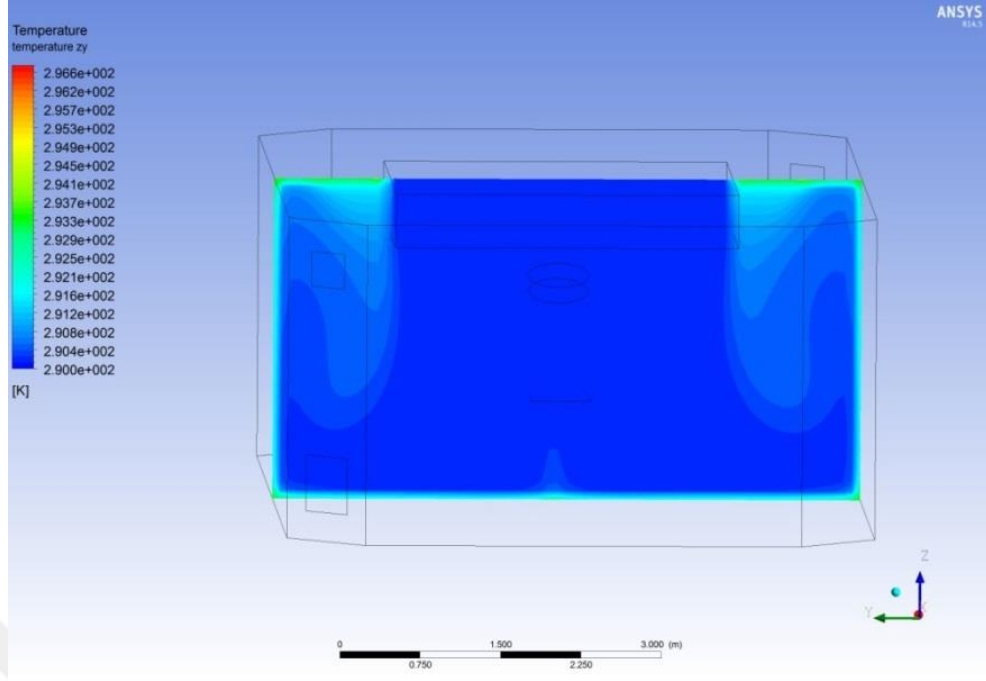
Şekil 4.72 ve Şekil 4.73 'te $T_o=19^\circ\text{C}$ için $T_g < T_o$ şartında, Şekil 4.74 ve Şekil 4.75' te ise $T_g \geq T_o$ şartında sırasıyla xz ve yz eksenlerinden alınan kesitlerden sıcaklık dağılımları görülmektedir. $V_g=0.1$ m/s hızıyla kıyaslandığından LAF ünitesi altında daha geniş bir alan giriş havası sıcaklığına yakındır. Bu sayede ünite altında bulunan personelin hemen hepsi aynı sıcaklıkta bulunabilmektedir. Her iki durumda da odaya

giren hava miktarı fazla olduğundan oda içerisindeki sıcaklık, giriş havası sıcaklığına çok yakındır. Alınan ölçümlerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

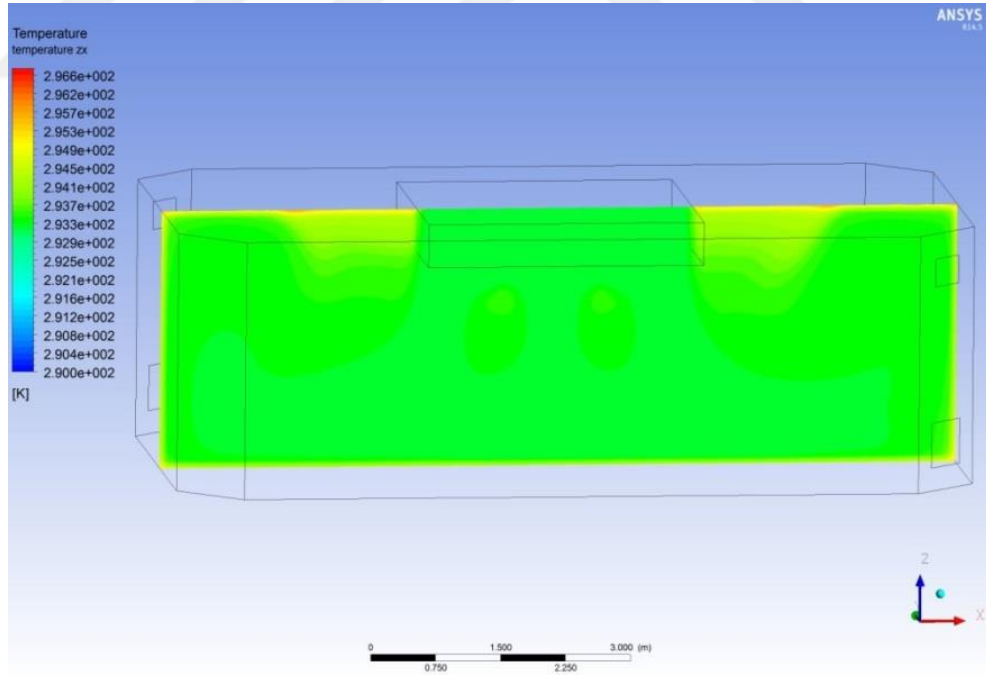
Şekil 4.84 - 4.85' te $T_o = 20^\circ\text{C}$, Şekil 4.96 - 4.97' de $T_o = 21^\circ\text{C}$, Şekil 4.108 - 4.109' da $T_o = 22^\circ\text{C}$ için $T_g < T_o$ şartında; Şekil 4.86 - 4.87' te $T_o = 20^\circ\text{C}$, Şekil 4.98 - 4.99' de $T_o = 21^\circ\text{C}$, Şekil 4.110 - 4.111' da $T_o = 22^\circ\text{C}$ için $T_g \geq T_o$ şartında yapılan analizlerden elde edilen sonuçların sırasıyla xz ve yz eksenlerindeki görüntüleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar $T_o = 19^\circ\text{C}$ için yapılan analizlerle benzerdir. Odanın sıcaklığının, giriş havası sıcaklığıyla aynı değerlere ulaştığı görülmektedir.



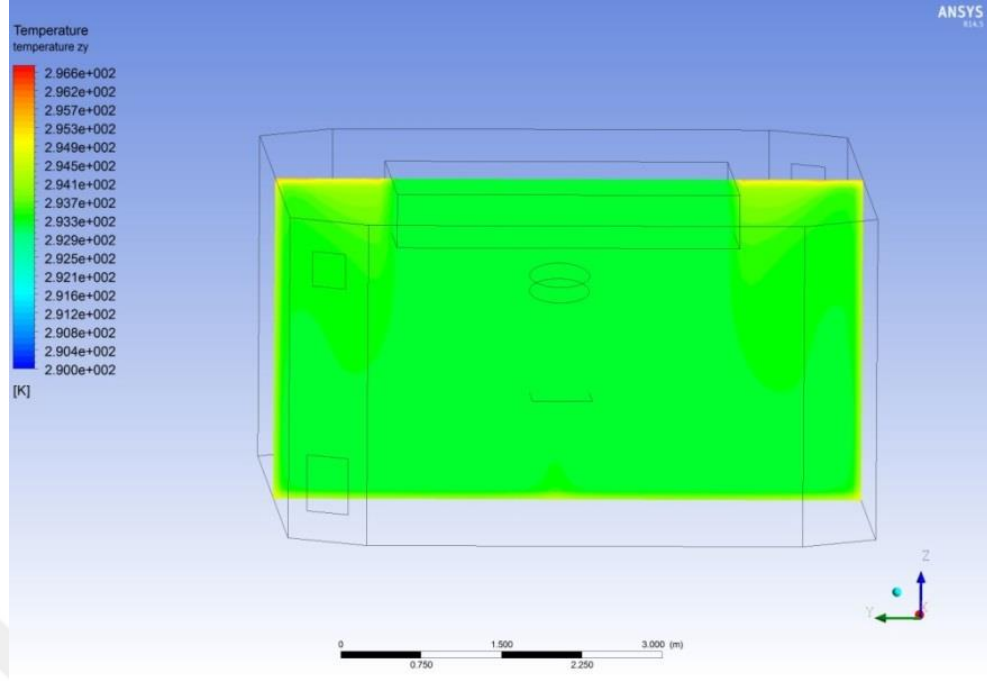
Şekil 4.72 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.73 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.74 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



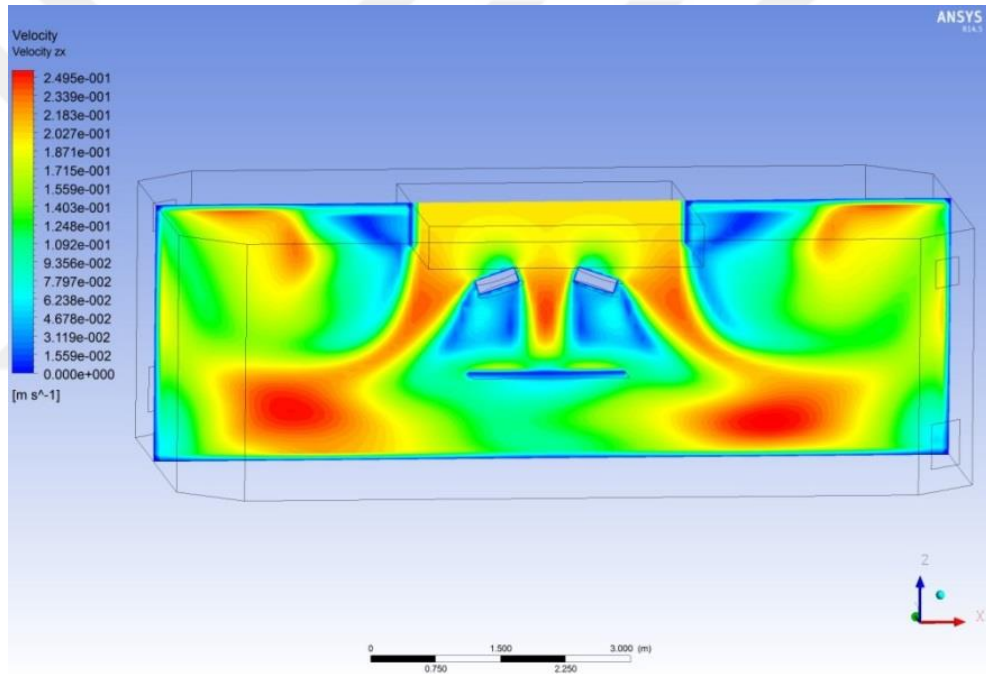
Şekil 4.75 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.76 ve Şekil 4.77' de $T_g < T_o$ için, Şekil 4.78 ve Şekil 4.79' da $T_{oda} = 19^\circ\text{C}$ için, ise $T_g \geq T_o$ şartlarında sırasıyla xz ve yz eksenlerinden alınan kesitlerden hız dağılımları görülmektedir. $T_g < T_o$ olduğunda ise giren havanın yoğunluğu mahaldeki havadan fazla olduğu için yerçekimi etkisinde kendi ağırlığıyla giriş hızından daha yüksek değerlere ulaşabilmekte ve zemine kadar rahatlıkla inebildiği görülmektedir. Oda istenilen şartlara geldiğinde hava giriş hızının çok az düşüp sıcaklığının istenilen oda değerine çıktığından bahsetmiştik. Bu esnada giriş havası sıcaklığının oda sıcaklığından biraz yüksek olmasından dolayı, sistem belli bir süre $T_g \geq T_o$ şartında çalışmaktaydı. Bu esnada ise havanın zemine inerken $T_g < T_o$ şartında olduğu gibi hızlanmadığını görmekteyiz. Hatta havanın zemine kadar inemediğini ve perde görevini yerine getiremediği analizlerde açıkça görülebilmektedir. Bu sebepten dolayı havanın istenilen giriş hızını sağlamasının yanında mümkün olduğunda oda sıcaklığının altında tutmak gerekmektedir.

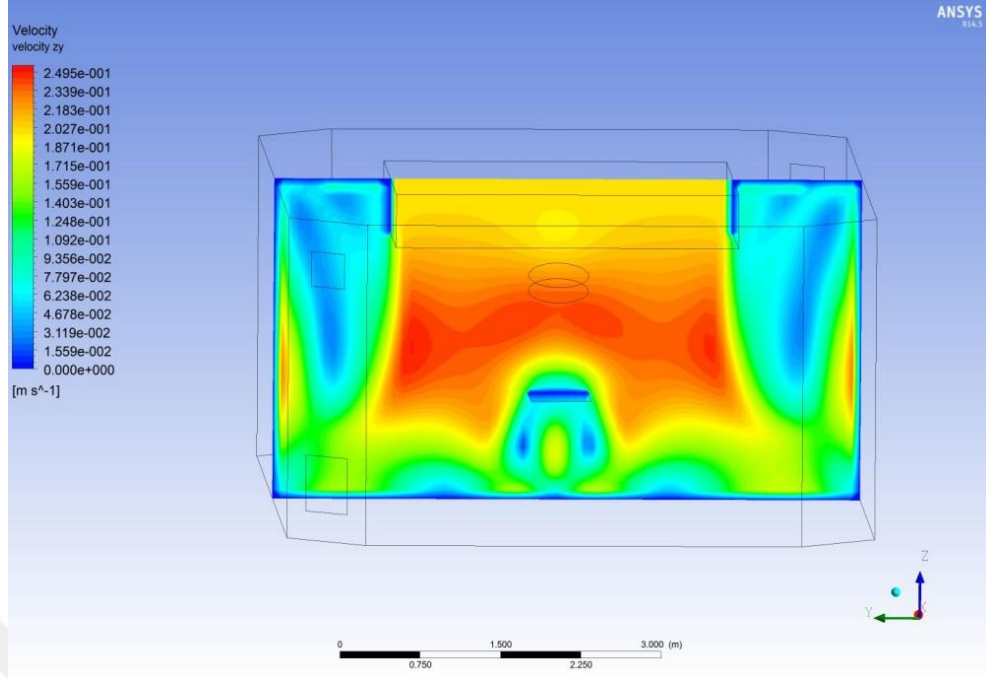
Zemine ve tavana yakın yerlerde oluşan hızlanmanın ise emiş menfezlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Hava yüksek hızda çekildiğinden dolayı emiş menfezlerine doğru hava hızı artmaktadır. Her iki hava giriş hızı için de ameliyat

lambalarının hava iniş hızını oldukça etkilediği görülmektedir. Ancak hız arttığında beklendiği gibi lambaların bu etkisi biraz da olsa yenilebilmektedir.

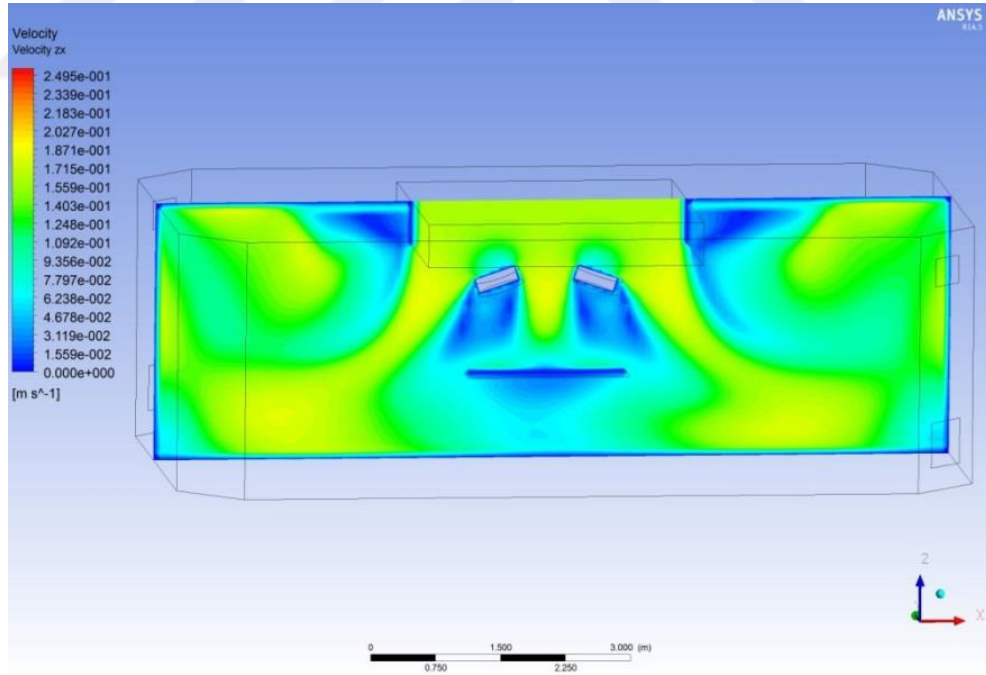
$T_{oda} = 20^{\circ}\text{C}$, 21°C ve 22°C için $T_g < T_o$ ve $T_g \geq T_o$ şartlarında analizler yapılmış ve xz ve yz eksenlerinden elde edilen görüntüler verilmiştir. Verilen sıcaklıklara göre sırasıyla, Şekil 4.88 – 4.89, Şekil 4.96 - 4.97 ve Şekil 4.108 – 4.109’da $T_g < T_o$ için, Şekil 4.90 – 4.91, Şekil 4.102 – 4.103 ve Şekil 4.118 – 4.119’da $T_g \geq T_o$ şartında yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar xz ve yz eksenlerinde gösterilmiştir. Bulgular $T_{oda} = 19^{\circ}\text{C}$ ’de elde edilenlerle benzerlik göstermektedir. Sadece sıcaklık arttıkça havanın hızı çok az bir miktar düşmektedir.



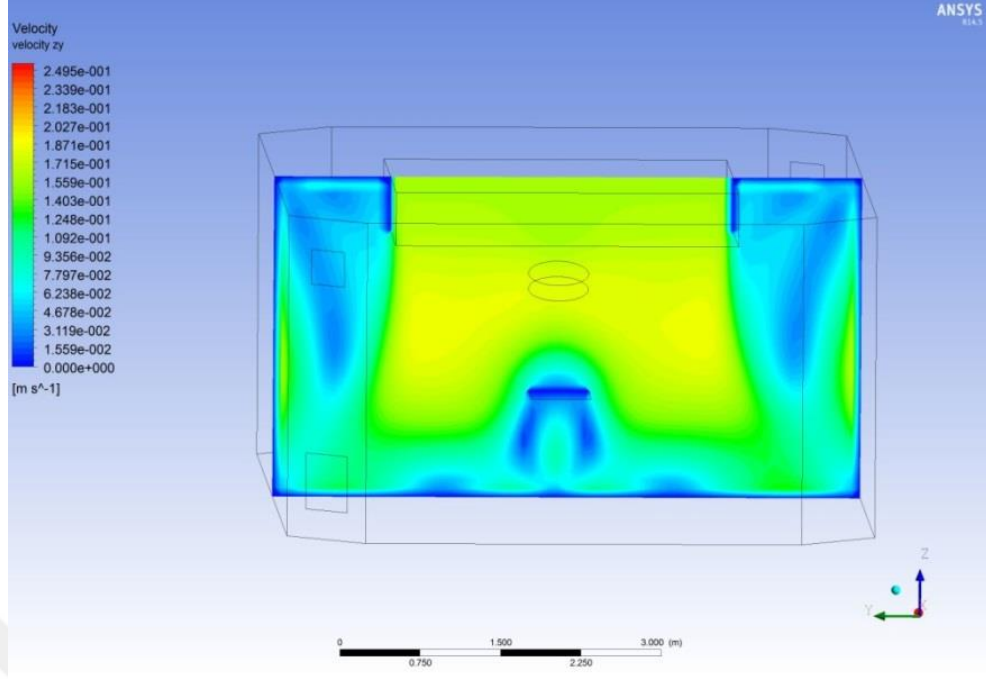
Şekil 4.76 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ ’de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 4.77 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

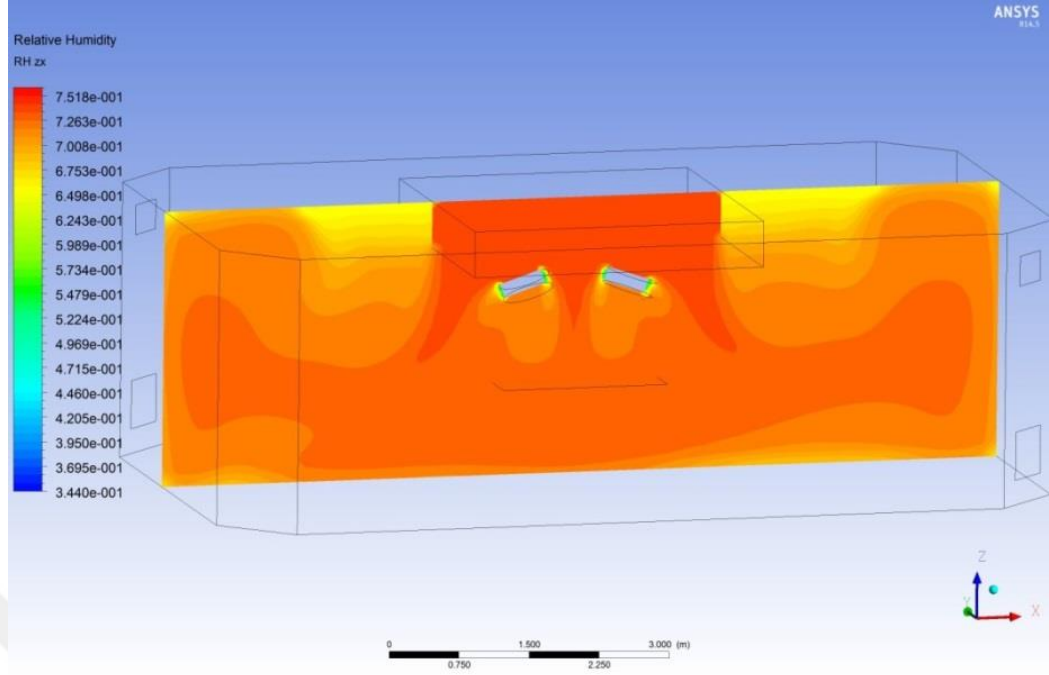


Şekil 4.78 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

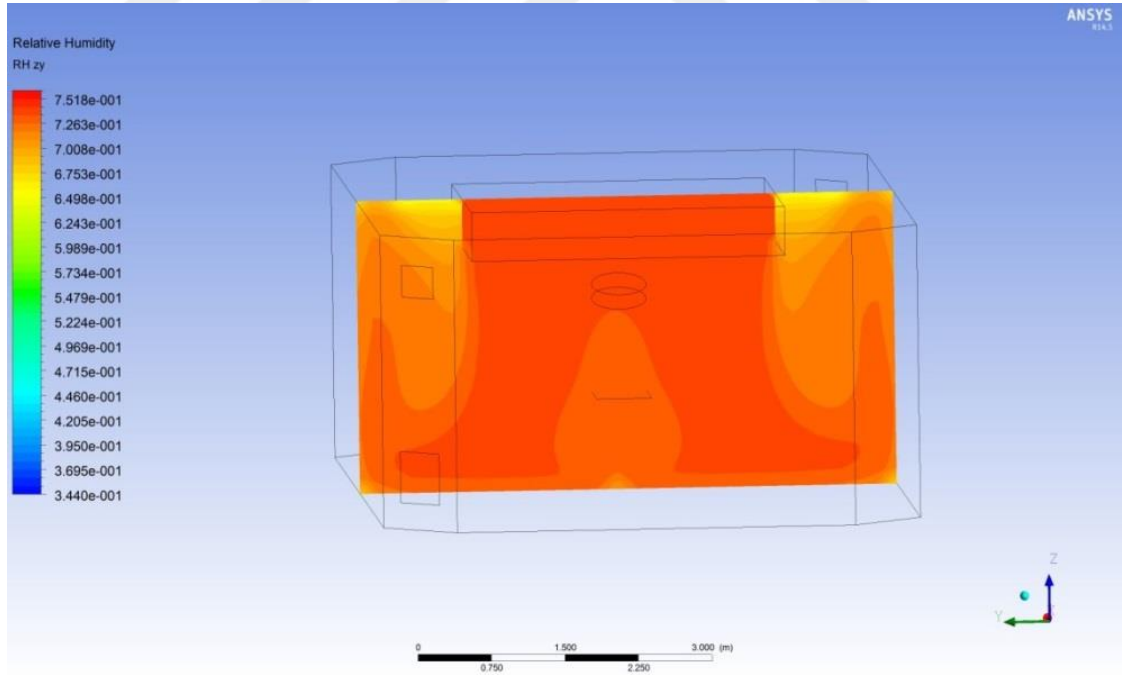


Şekil 4.79 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

$T_{oda} = 19^\circ\text{C}$, 20°C , 21°C ve 22°C sıcaklıkları için sırasıyla, Şekil 4.80 – 4.81, Şekil 4.92 - 4.93, Şekil 4.104 – 4.105 ve Şekil 4.116 - 4.117'de $T_g < T_o$ için, Şekil 4.82 – 4.83, Şekil 4.94 – 4.95, Şekil 4.106 – 4.107 ve Şekil 4.118 - 4.119'da $T_g \geq T_o$ şartında yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar xz ve yz eksenlerinde gösterilmiştir. Sistemin nemlendiricisi çalışmadığından dolayı, giriş havasının bağıl nemi herhangi bir değere ayarlanamamıştır. Elde edilen ölçümlerle CFD analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen verilere baktığımızda, oda içerisindeki bağıl nem değerinin giriş havasının bağıl nem değerine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Özellikle LAF ünitesi altındaki bölgede bağıl nem değeri, giren havanın bağıl nemiyle hemen hemen aynı olup, bu bölge dışında biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Ameliyathane katının en üst katta olduğundan ve tavanın çatıyla bitişik olduğundan bahsedilmişti. $V_g = 0.1$ m/s hızda olduğu gibi benzer şekilde tavan yüzey sıcaklığı diğer bitişik mahallere göre biraz yüksek olduğunda bu yüzeye yakın olan havanın sıcaklığı da odanın diğer bölgelerindeki havaya göre biraz daha sıcak ve bağıl nemi düşüktür. Bu sebepten dolayı tavana doğru bağıl nem değerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

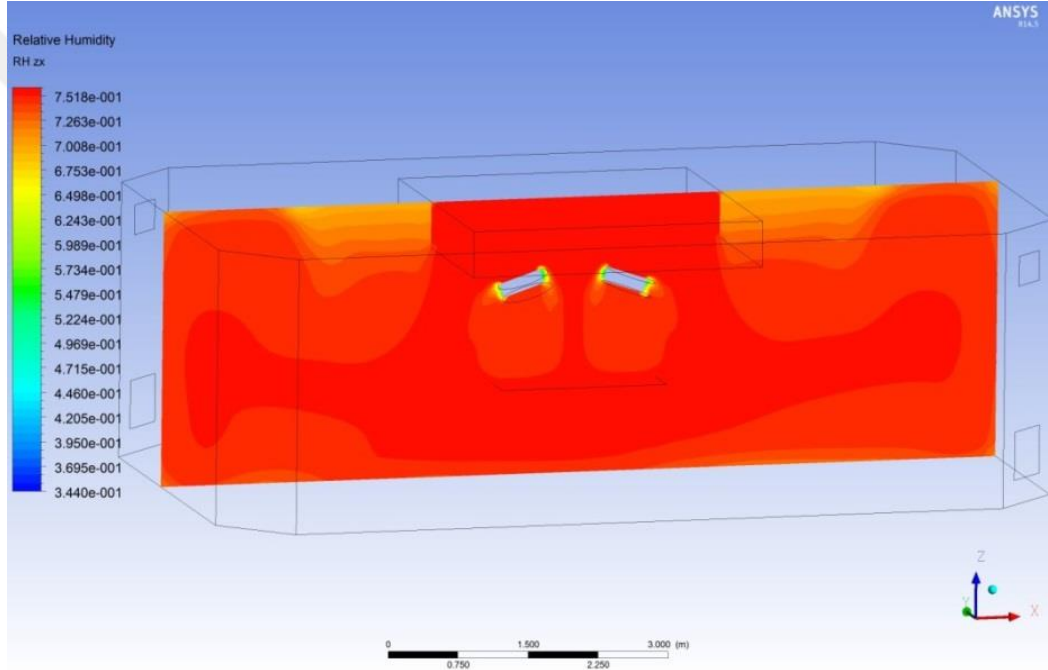


Şekil 4.80 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

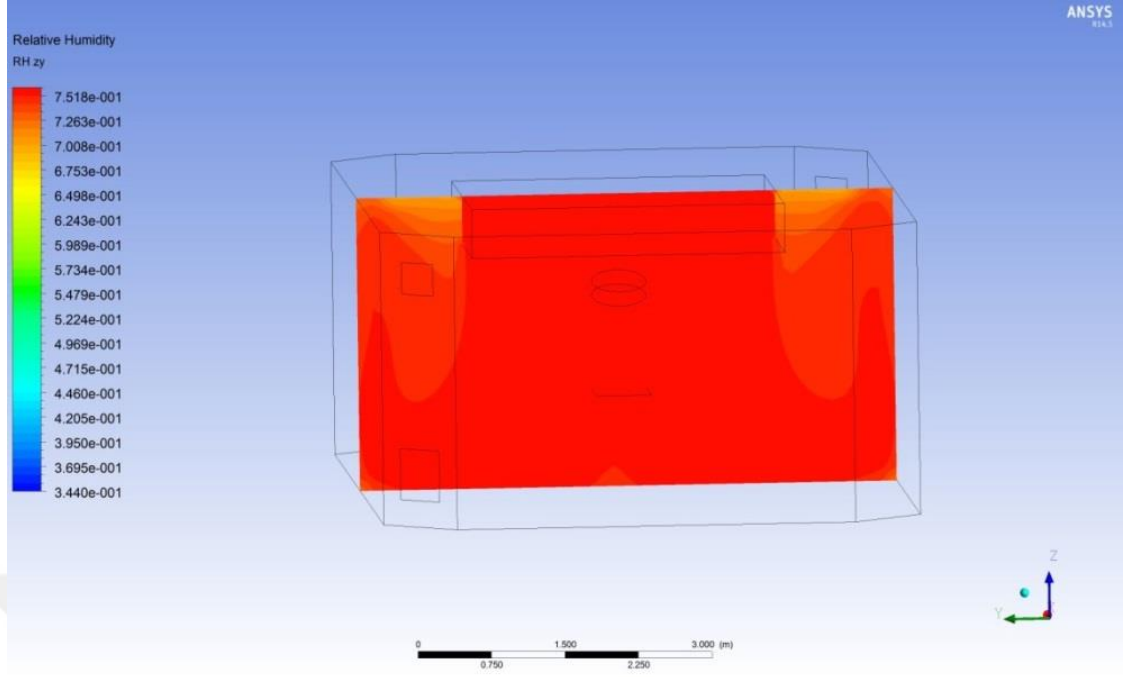


Şekil 4.81 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

Şekil 4.80-4.81 'de ölçüm alınan şartlarda yapılan analizler sonucu elde edilen bağıl nem değişimi görülmektedir. LAF ünitesi altında bağıl nem değeri odanın geri kalanına göre biraz daha yüksektir. İçeri giren havanın bağıl nemi bir miktar düşerek odaya dağılmaktadır. Özellikle hava ısındığında tavana doğru yükselmektedir ve ısınan havanın bağıl nemi daha düşük olduğundan, tavana doğru havanın bağıl nemi bir miktar daha düşüktür. Ayrıca ameliyathane lambalarının yüzey sıcaklığı biraz yüksek olduğundan lamba etrafındaki havanın bağıl nemi biraz daha düşüktür.

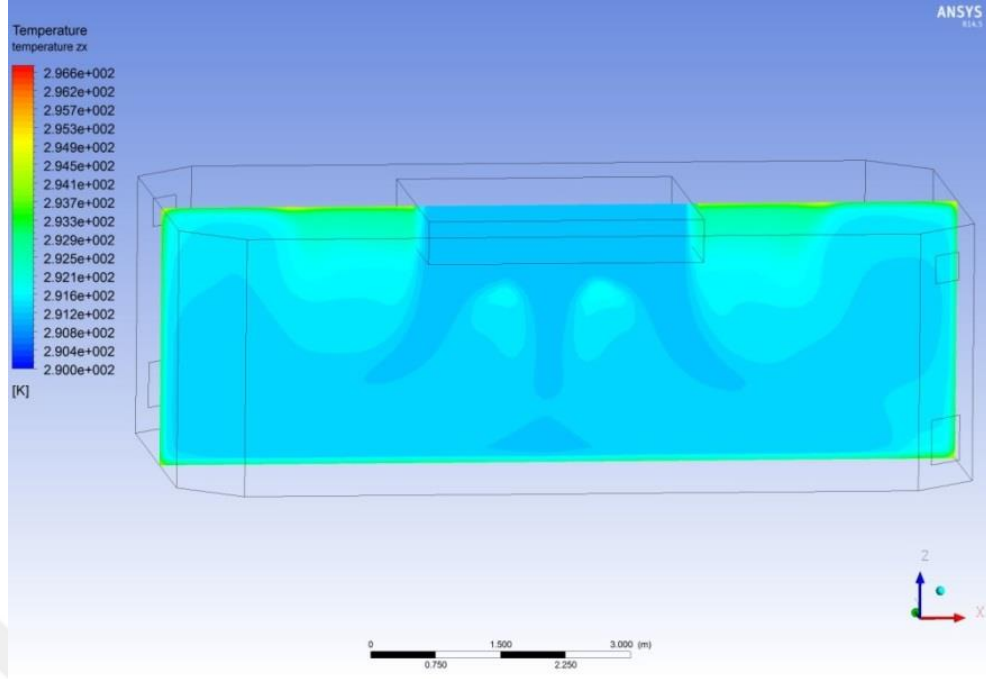


Şekil 4.82 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

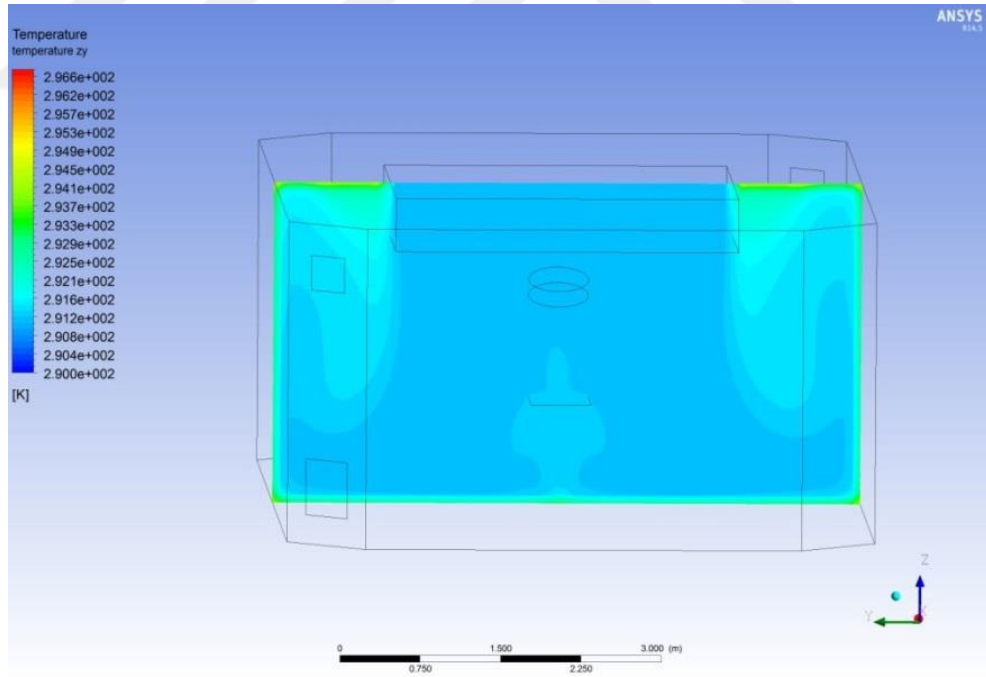


Şekil 4.83 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

Şekil 4.82-4.83'te oda sıcaklığı ortalama 19°C iken ve sistemin üfleme sıcaklığını yükselttiği sıradaki bağıl nem dağılımı görülmektedir. Yine genel olarak oda içerisindeki bağıl nem dağılımı giriş havasına çok yakındır. Az öncekine benzer şekilde giriş bölgesi altında oda geneline göre biraz daha yüksek, tavana doğru ve lambalar etrafında biraz daha düşüktür.

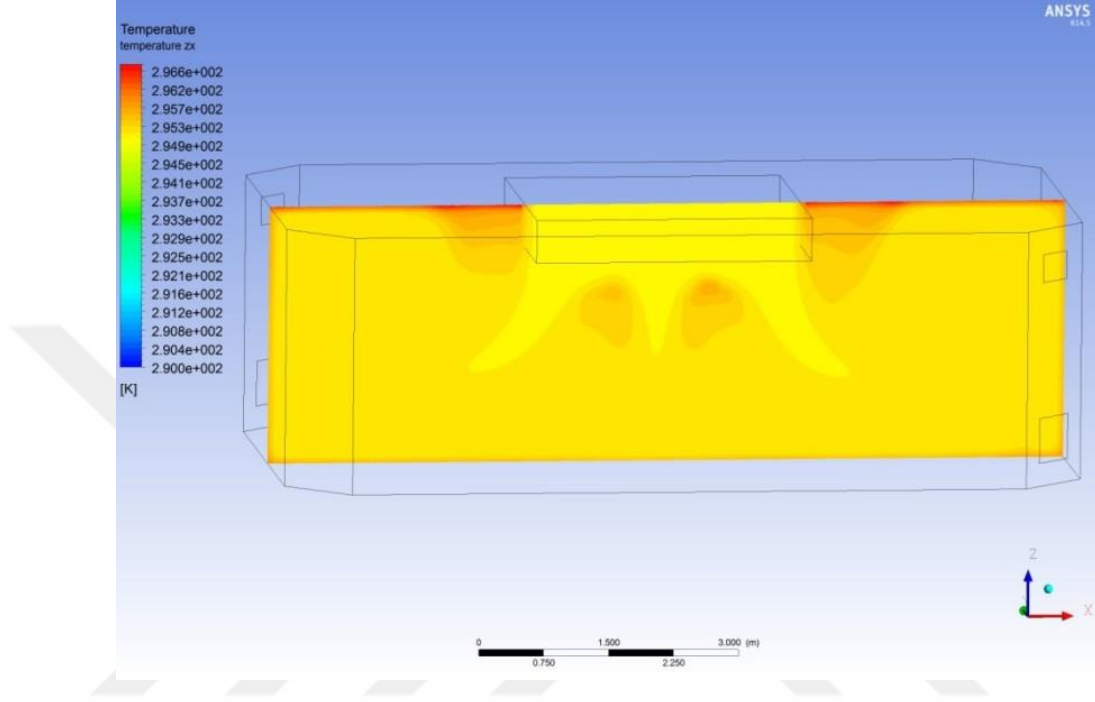


Şekil 4.84 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

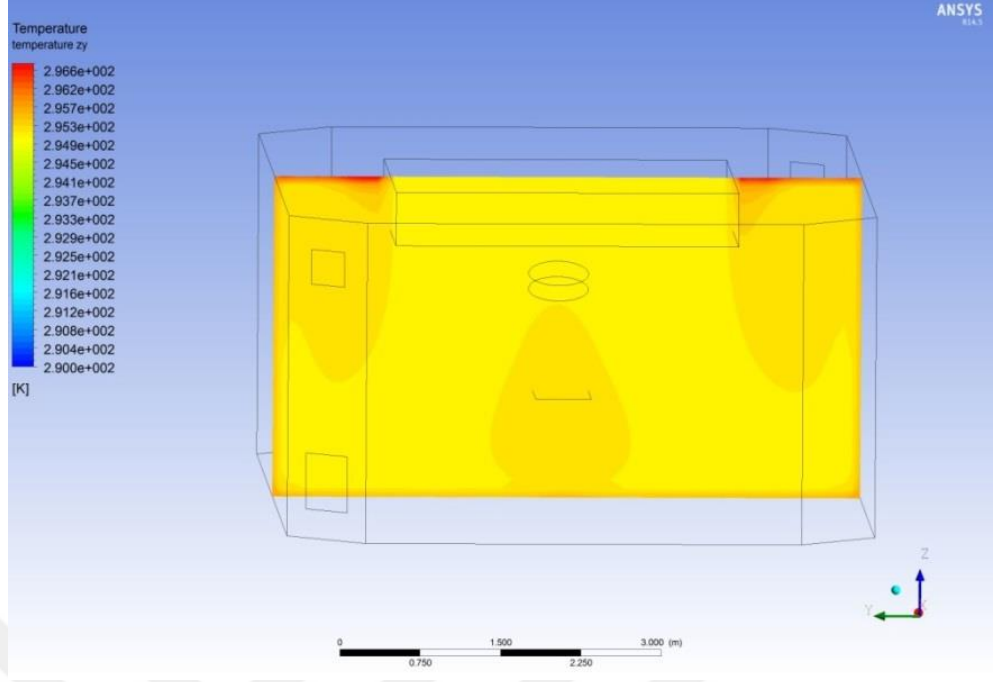


Şekil 4.85 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.84-4.85’de $T_o=20^\circ\text{C}$ iken ve hava giriş sıcaklığının oda sıcaklığından düşük olduğu sıradaki bağıl nem dağılımı iki farklı eksenden görünmektedir. Sonuçlar $T_o=19^\circ\text{C}$ ’dekine benzer şekilde, odanın bağıl nem dağılımı giriş havasının bağıl nemine oldukça yakındır.

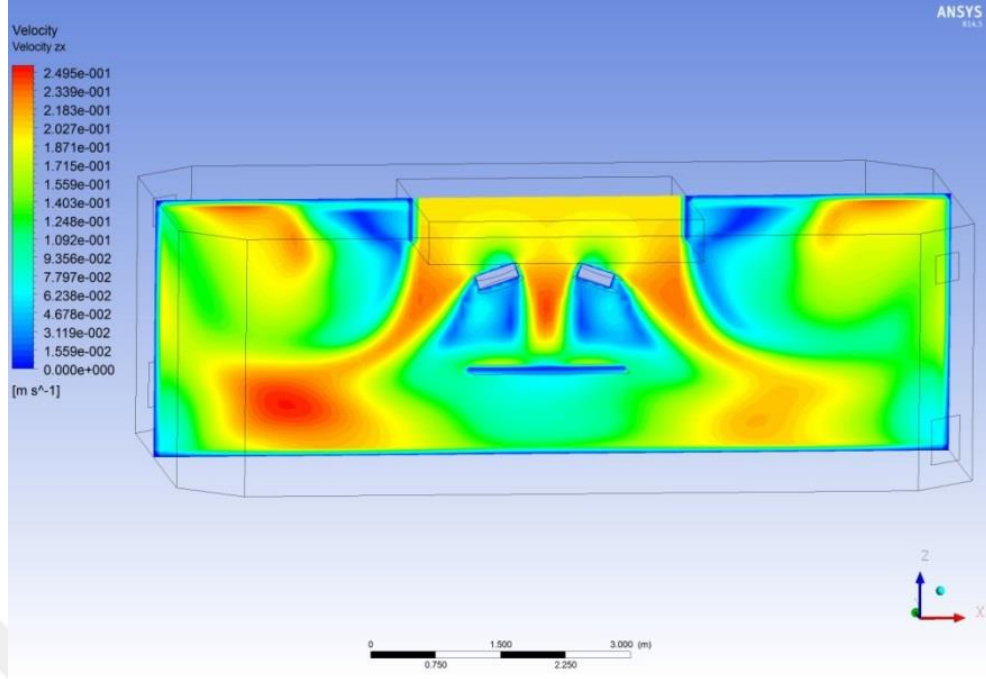


Şekil 4.86 $T_o=20^\circ\text{C}$ ’de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

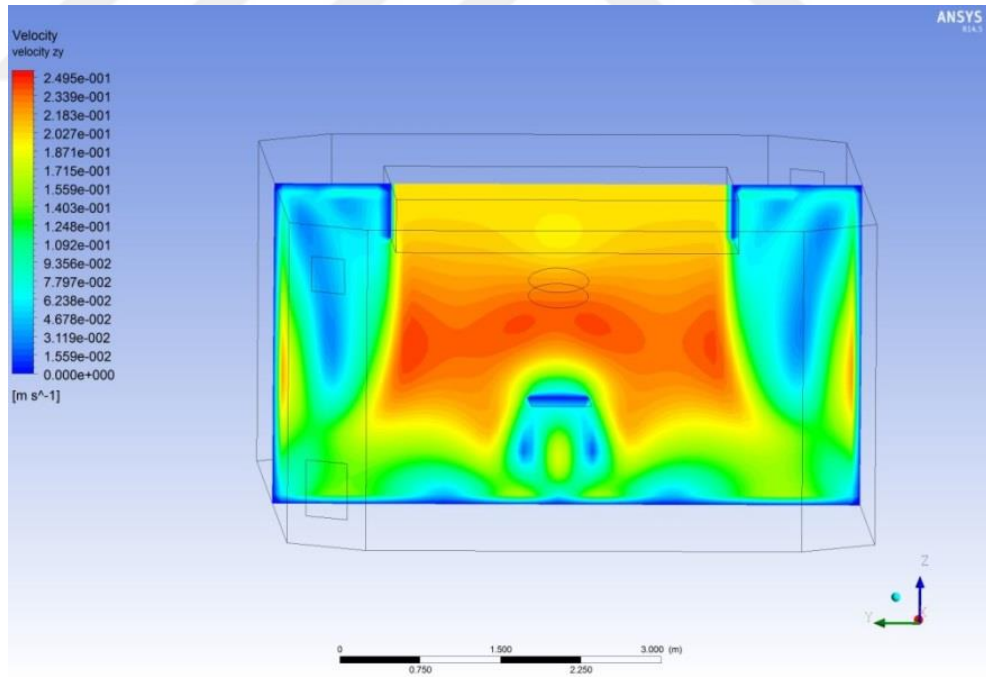


Şekil 4.87 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

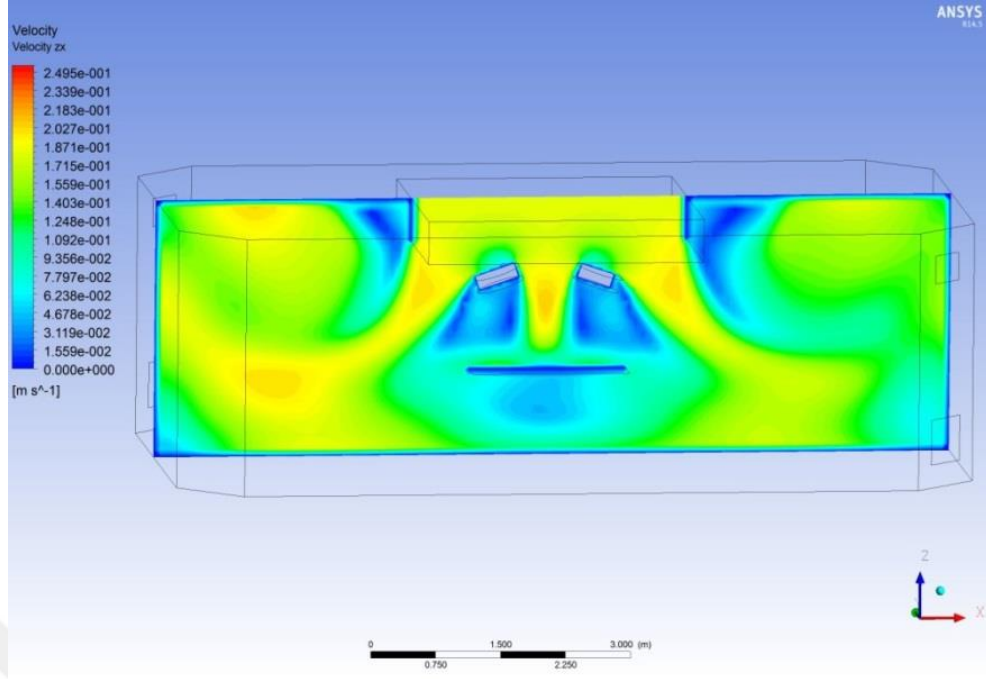
Şekil 4.86-4.87'de $T_o=20^\circ\text{C}$ iken ve hava giriş sıcaklığının oda sıcaklığına yakın ve biraz yüksek olduğu sıradaki bağıl nem dağılımı iki farklı eksenden görünmektedir. Sonuçlar $T_o=19^\circ\text{C}$ 'dekine benzer şekilde, odanın bağıl nem dağılımı giriş havasının bağıl nemine oldukça yakındır.



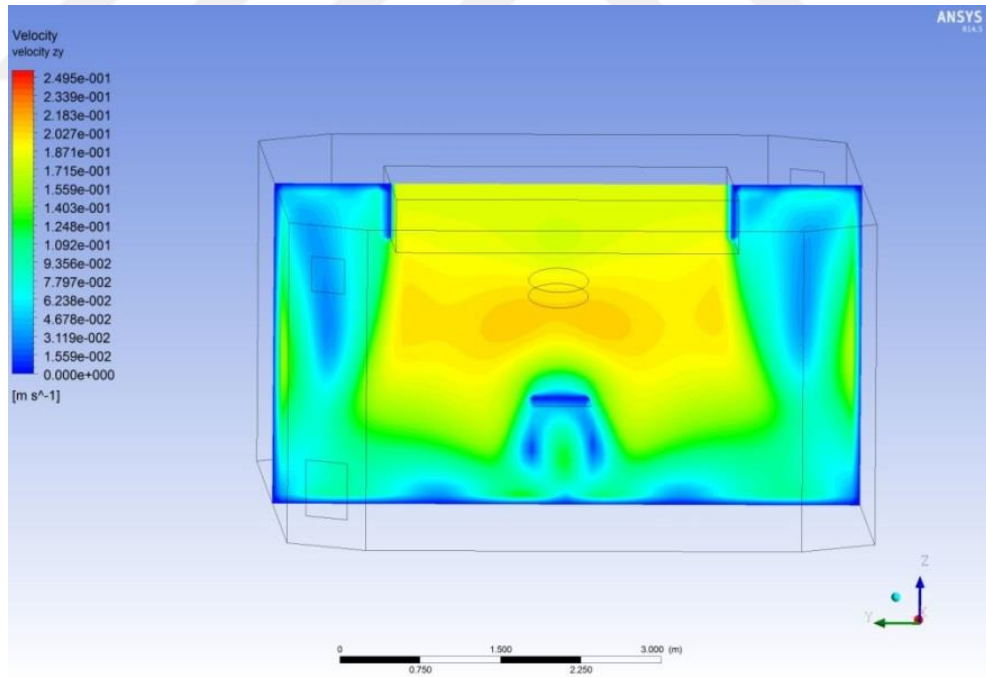
Şekil 4.88 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 4.89 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

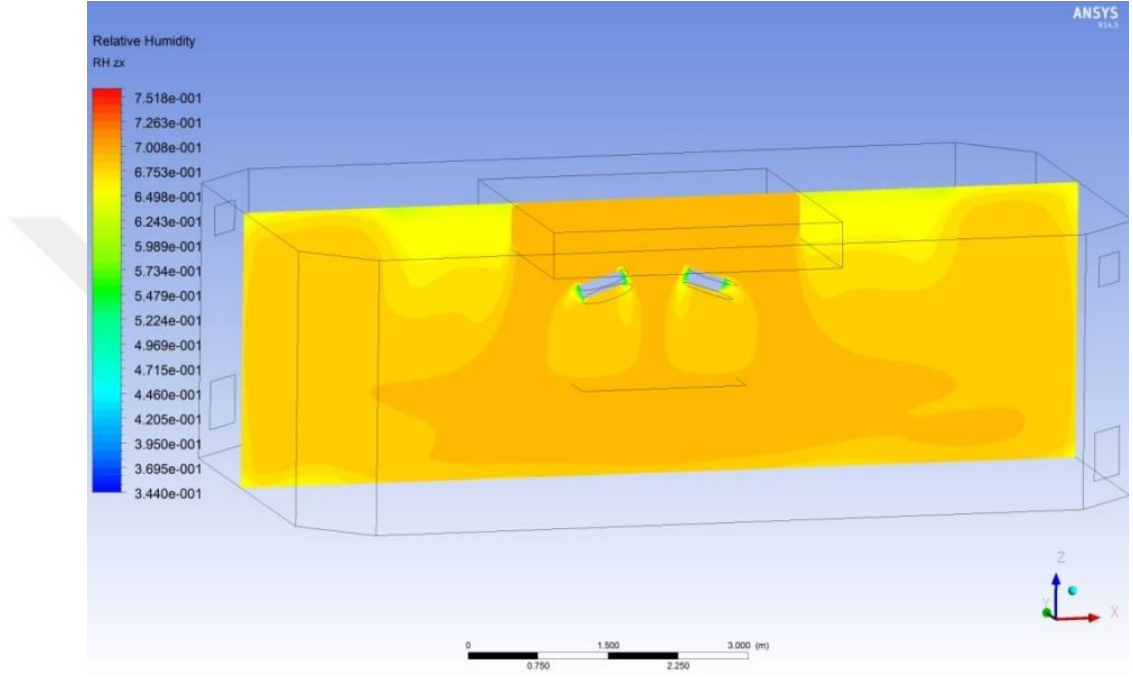


Şekil 4.90 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

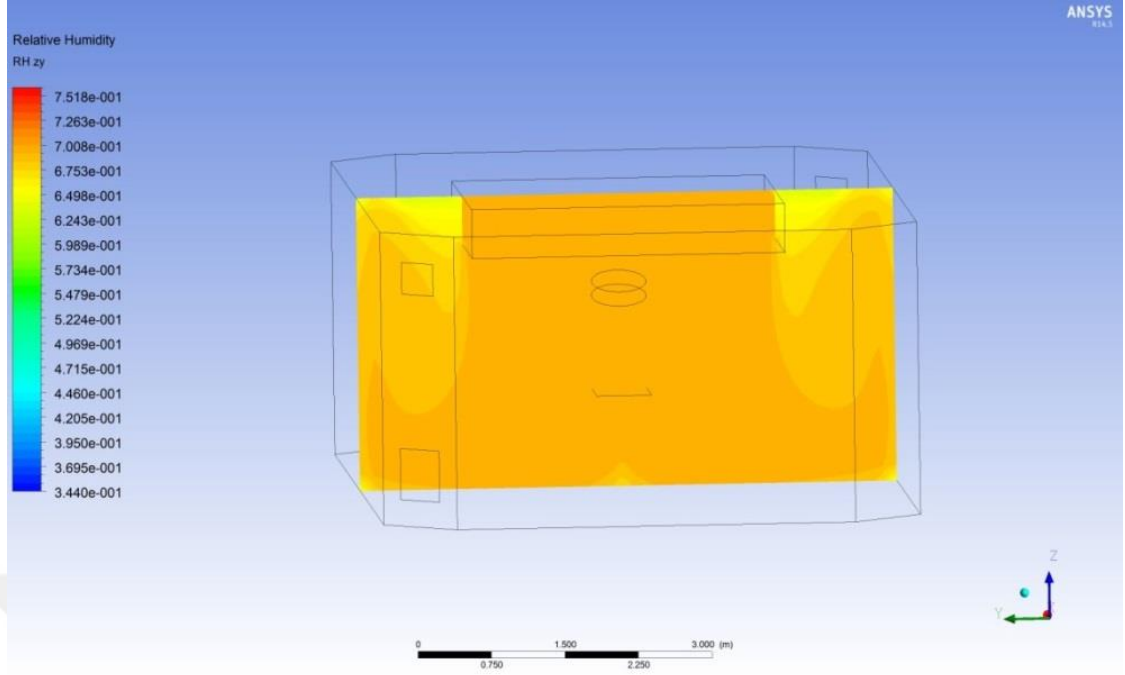


Şekil 4.91 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

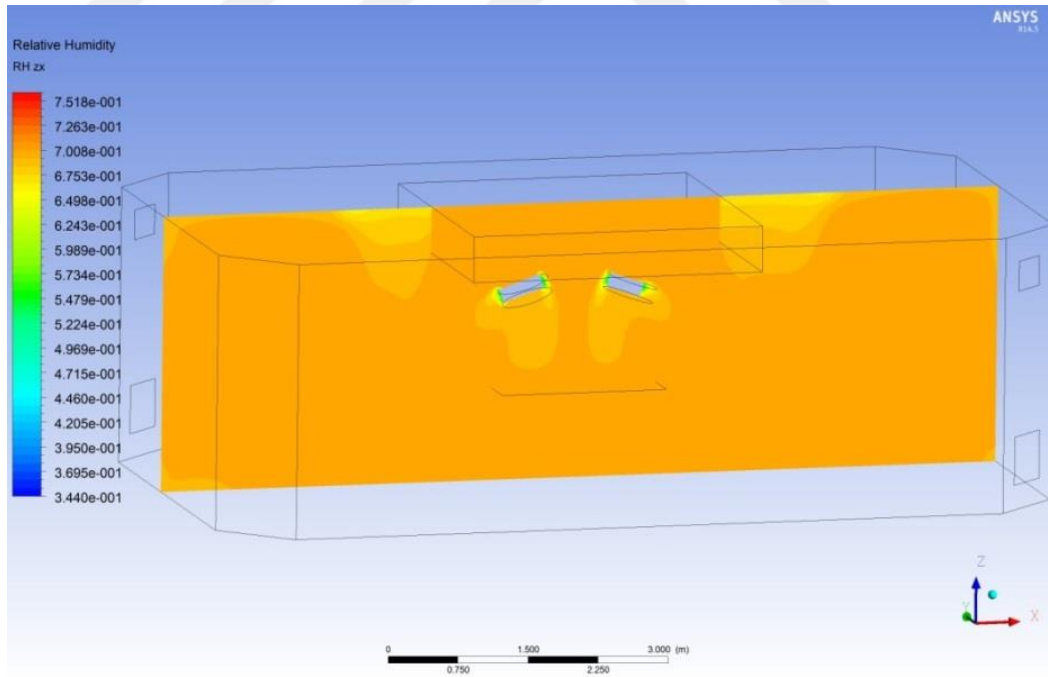
Şekil 4.88-4.89’da $V_g=0.2$ m/s ve $T_o=20^\circ\text{C}$ için $T_g < T_o$ durumundaki hava dağılımı, Şekil 4.90-4.91’de ise $T_g \geq T_o$ durumundaki hava dağılımı iki farklı eksende görülmektedir. $T_g < T_o$ olduğunda hava zemine doğru daha hızlı bir hareketle inerken, $T_g \geq T_o$ olduğunda havanın hızı düşmektedir. Bahsedildiği gibi soğuk havanın yoğunluğunun fazla olması bu hızı etkilemektedir. Dağılım $T_o=19^\circ\text{C}$ ’dekine benzemekle birlikte biraz daha hız düşümü vardır.



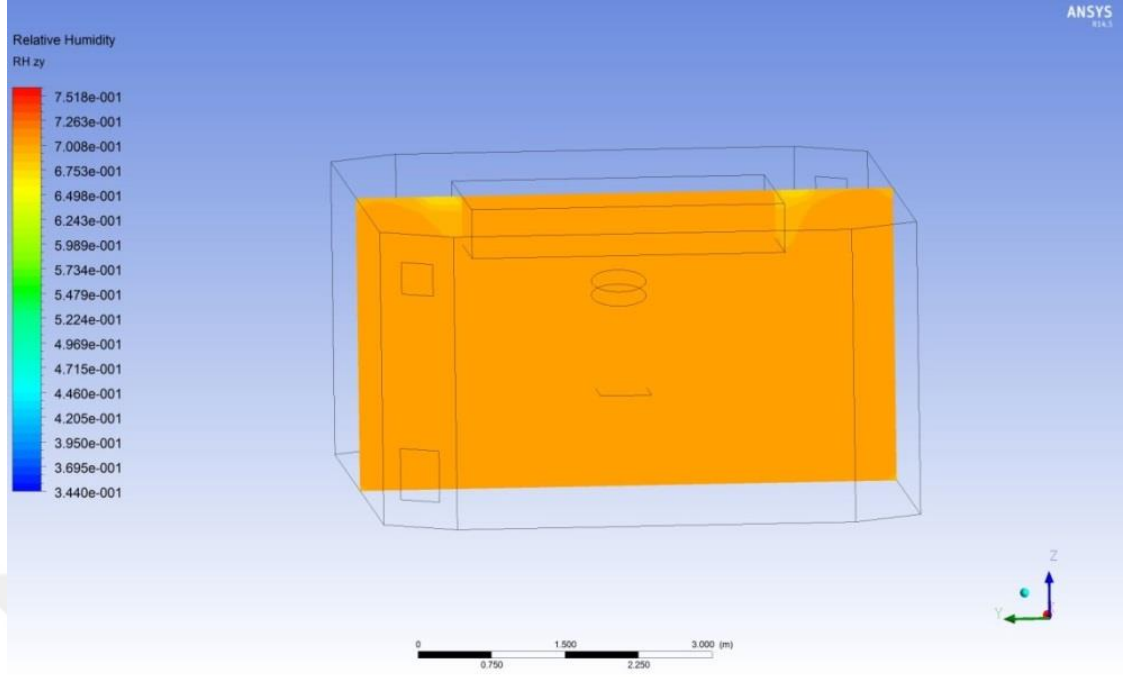
Şekil 4.92 $T_o=20^\circ\text{C}$ ’de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.93 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

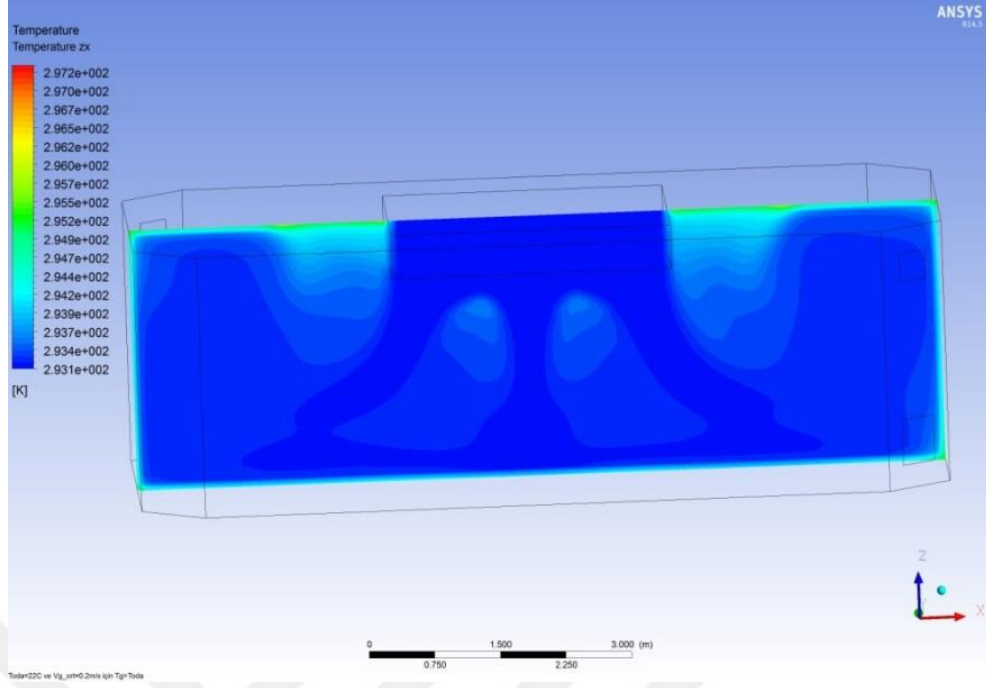


Şekil 4.94 $T_o=20^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

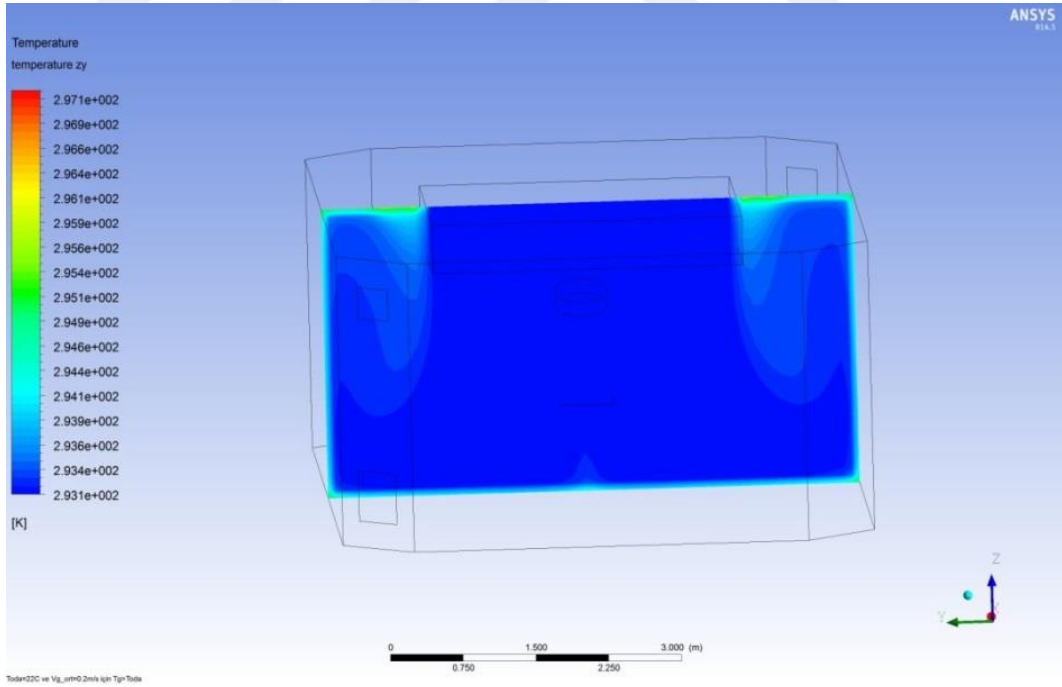


Şekil 4.95 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

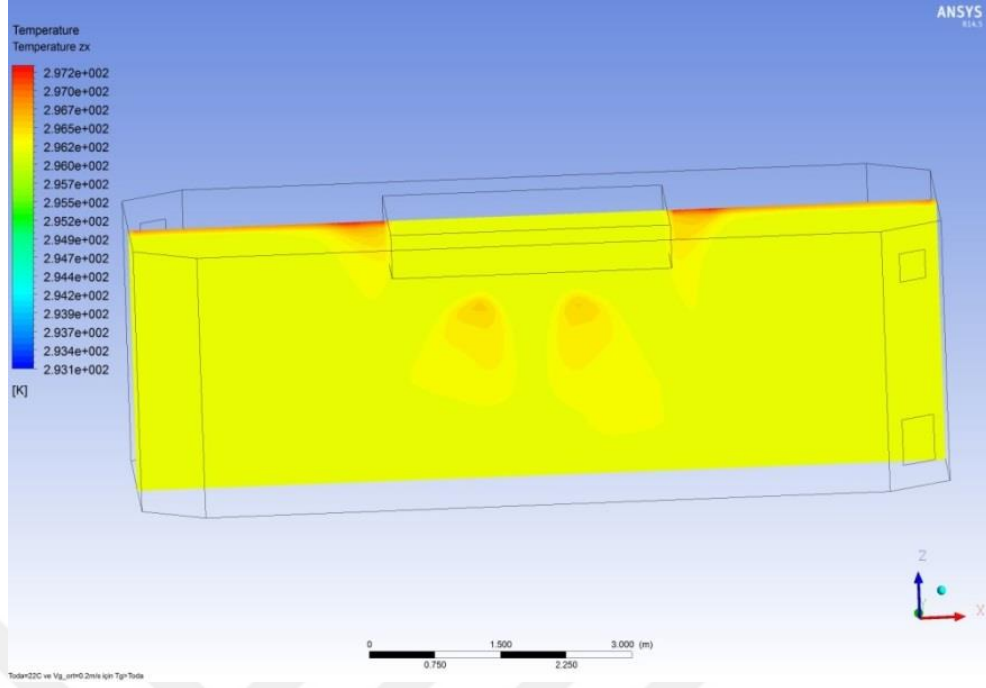
Şekil 4.92-4.93' te $V_g=0.2$ m/s ve $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_o$ için, şekil 4.94-4.95'te ise $T_g \geq T_o$ için iki farklı kesitten bağıl nem dağılımı gözükmektedir. Analizler ölçülen değerlerin sınır şartı olarak kullanılmasıyla yapılmıştır. Görüldüğü gibi diğer sıcaklık ve hava giriş hızlarına göre çok büyük farklılıklar yoktur. Odadaki bağıl nem dağılımı giriş havasının bağıl nemine çok yakındır. Lamba etraflarında lambaların sıcaklığından dolayı, ısınan havanın tavana doğru yükselmesinden dolayı da tavana doğru bağıl nem biraz daha düşüktür.



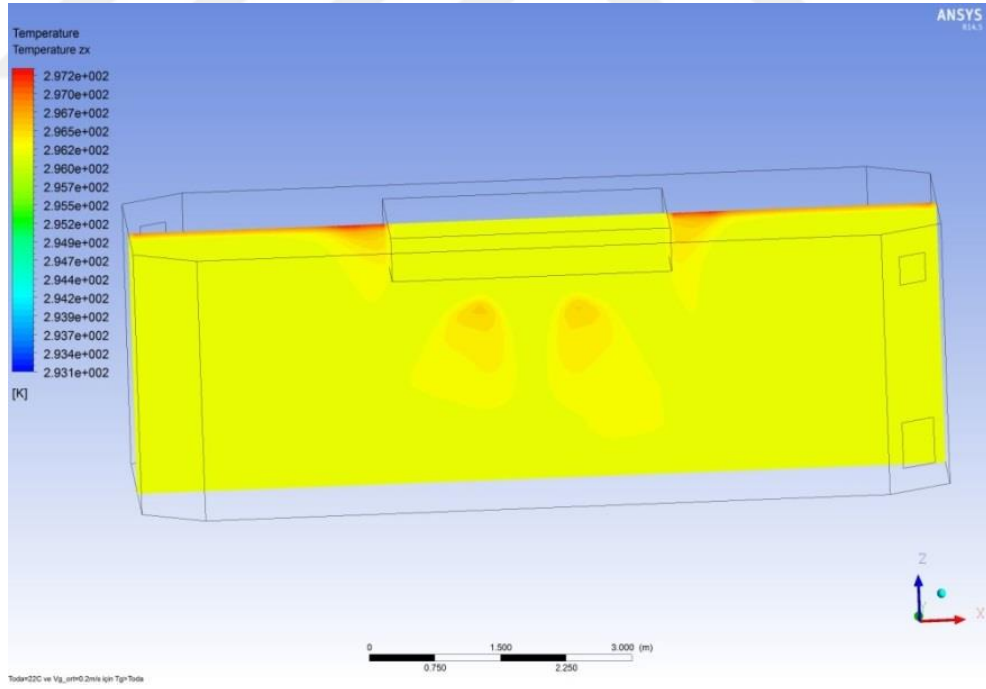
Şekil 4.96 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.97 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

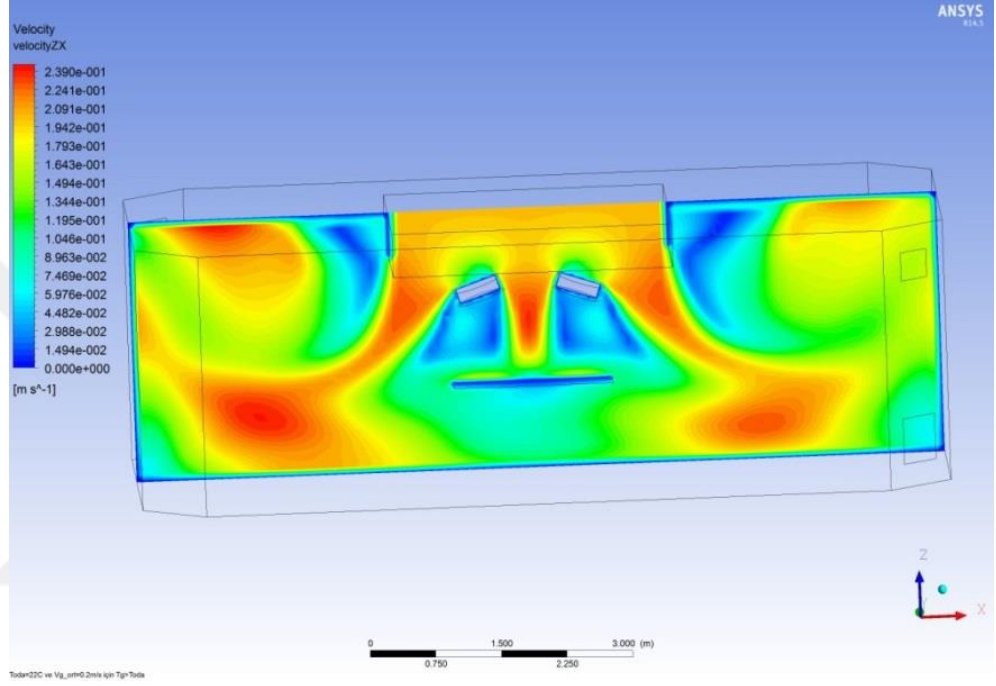


Şekil 4.98 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

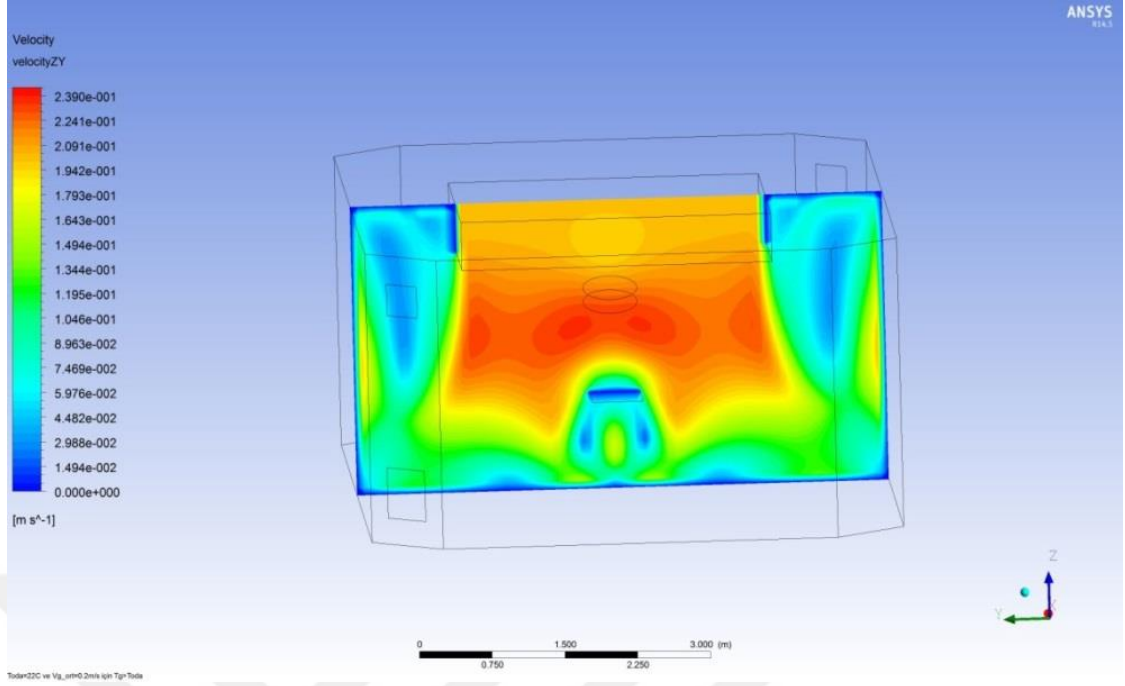


Şekil 4.99 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

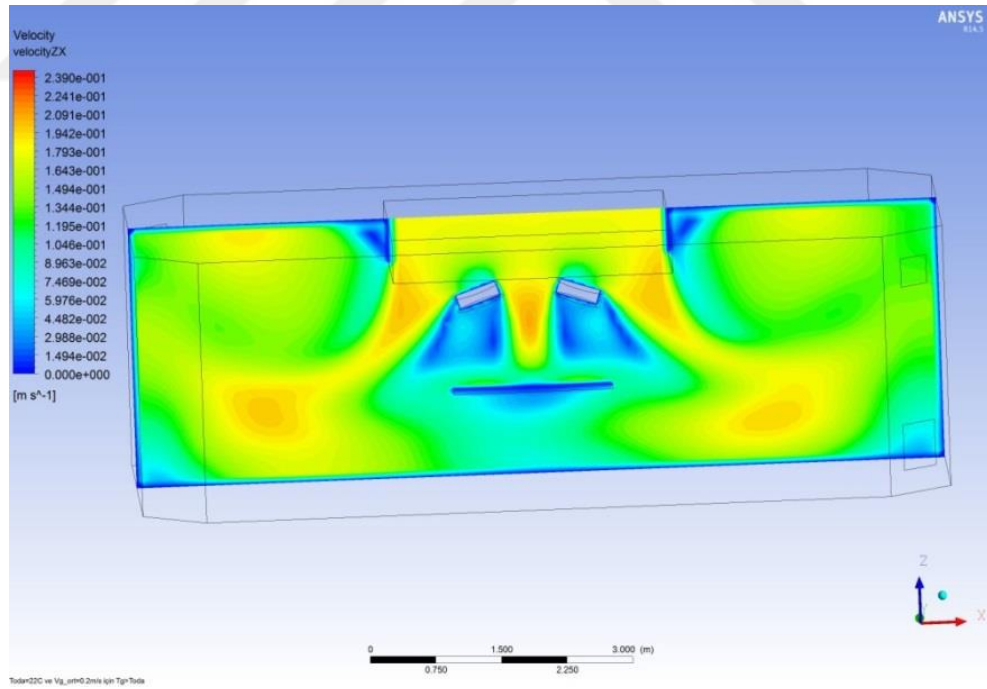
Şekil 4.96-4.97’de $T_o=21^\circ\text{C}$ ’de ve $V_g=0.2$ m/s için $T_g < T_o$ durumunda, şekil 4.98-4.99’da ise $T_g \geq T_o$ durumunda oda içinde sıcaklık dağılımı iki farklı eksende görülmektedir. Şartların, bu dağılımı diğer durumlardaki gibi etkilemediği görülebilir. Oda içerisindeki sıcaklık giriş havası sıcaklığına çok yakındır. Lambaların yüzey sıcaklığından dolayı lambaların etrafında ve yükselen sıcak havadan dolayı tavana doğru bir miktar artış vardır.



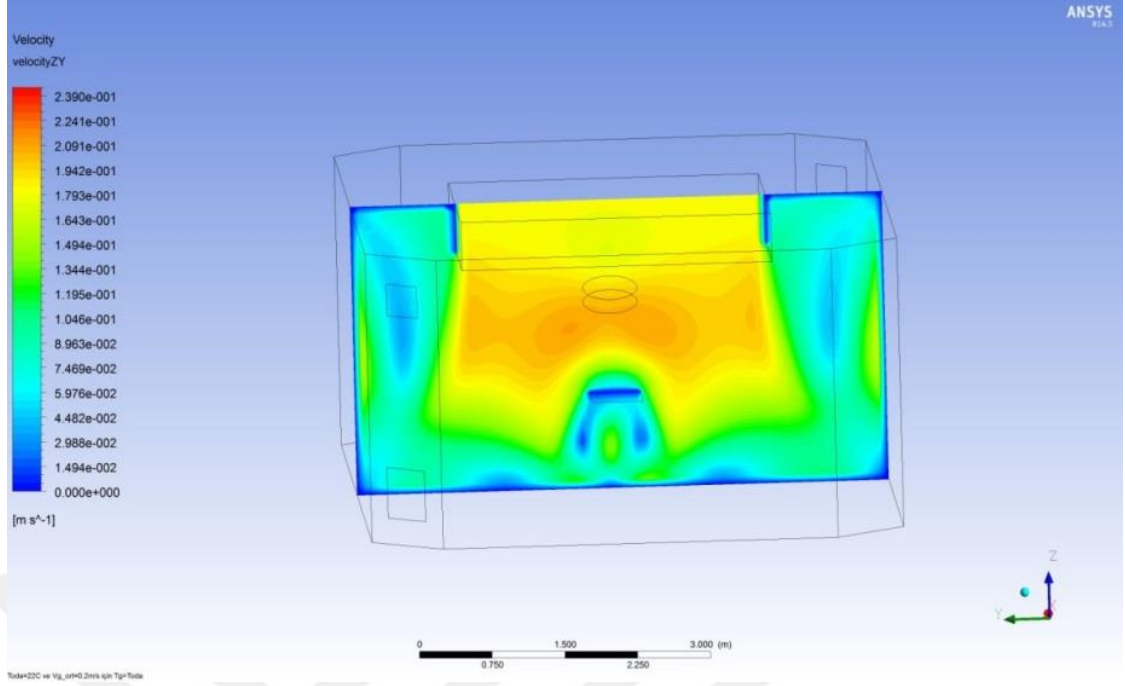
Şekil 4.100 $T_o=21^\circ\text{C}$ ’de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 4.101 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

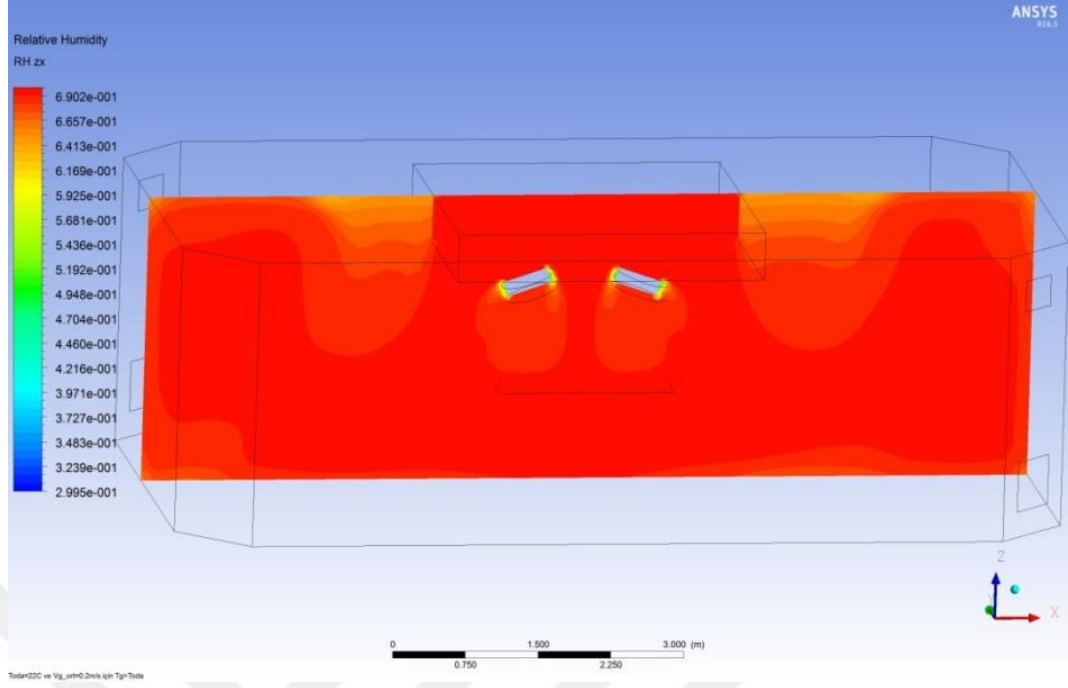


Şekil 4.102 $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

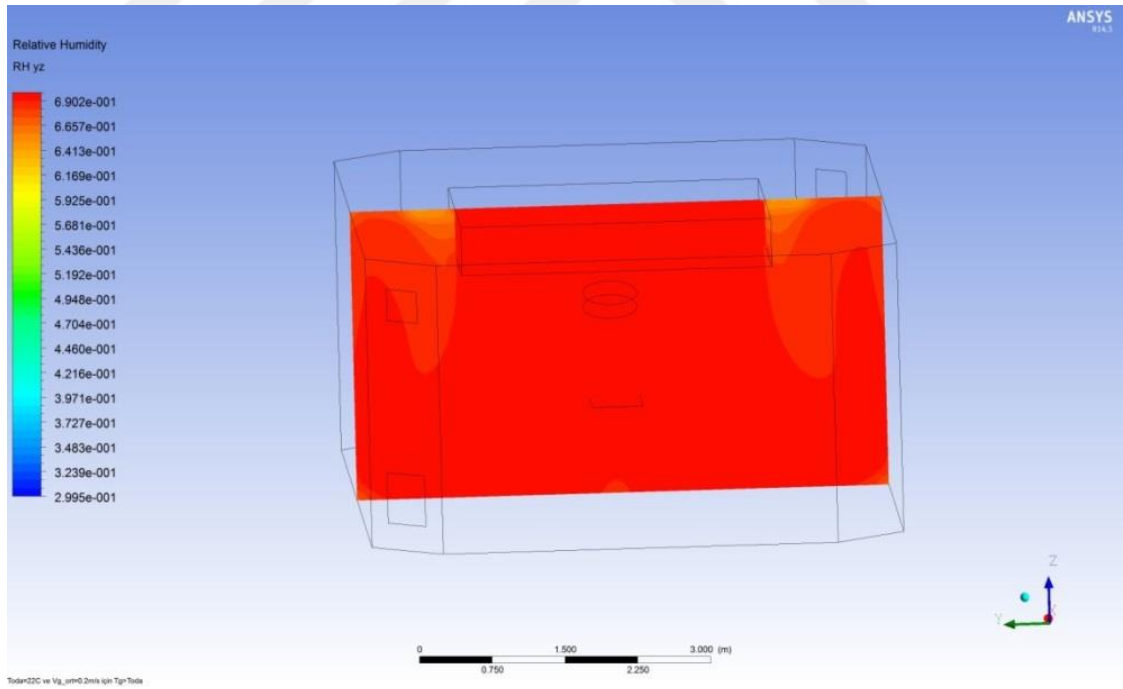


Şekil 4.103 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

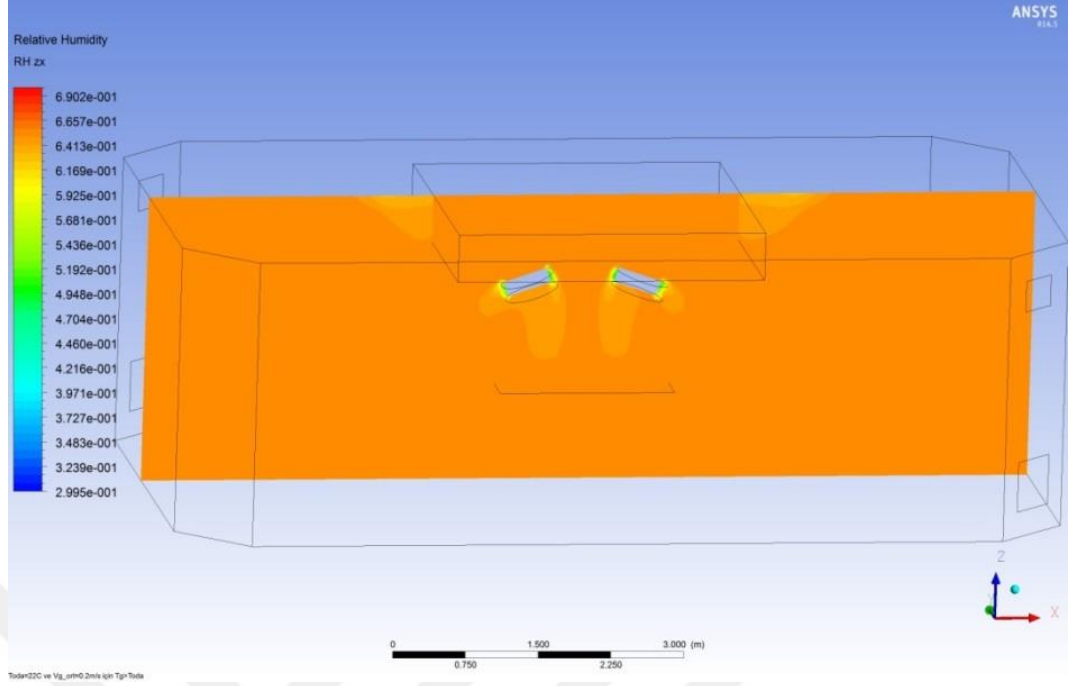
Şekil 4.100-4.101'de $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de ve $V_g=0.2$ m/s için $T_g < T_o$ durumunda, şekil 4.102 ve 4.103'te $T_g \geq T_o$ ' durumu için yine iki farklı kesitte hava hızı dağılımı görülmektedir. Diğer oda sıcaklıklarındaki gibi oda sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta hava girdiğinde, giren havanın yoğunluğunun fazla olması sebebiyle hava hızlanarak aşağıya inmektedir. Oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıkta olduğunda bu hız düşmektedir.



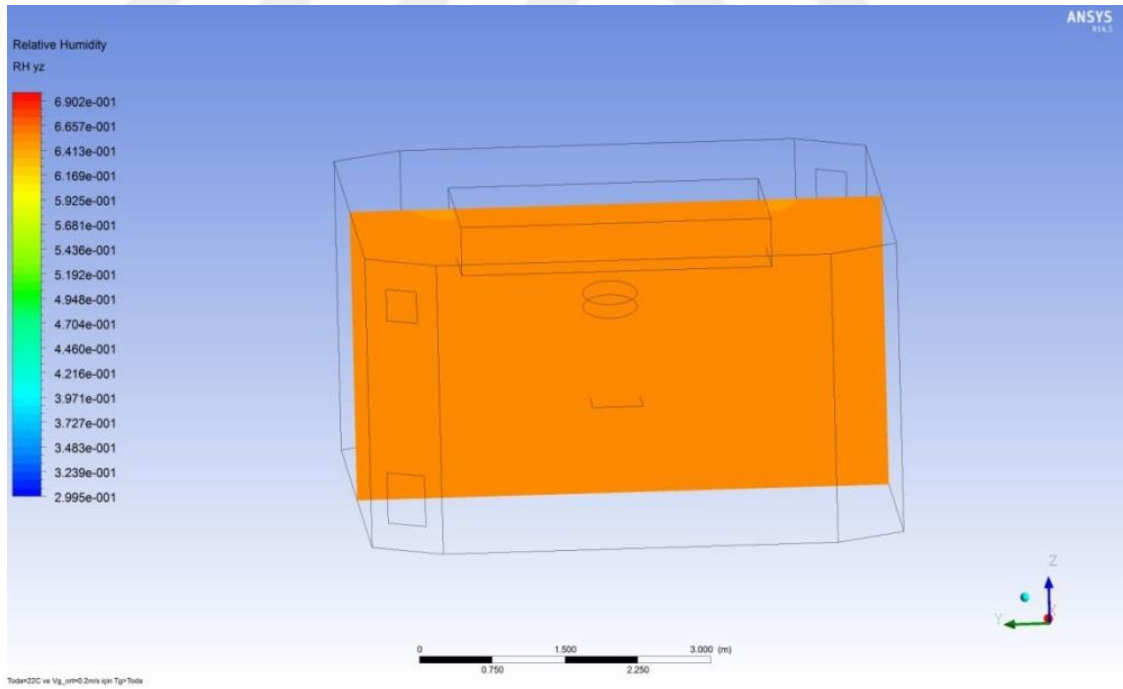
Şekil 4.104 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.105 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

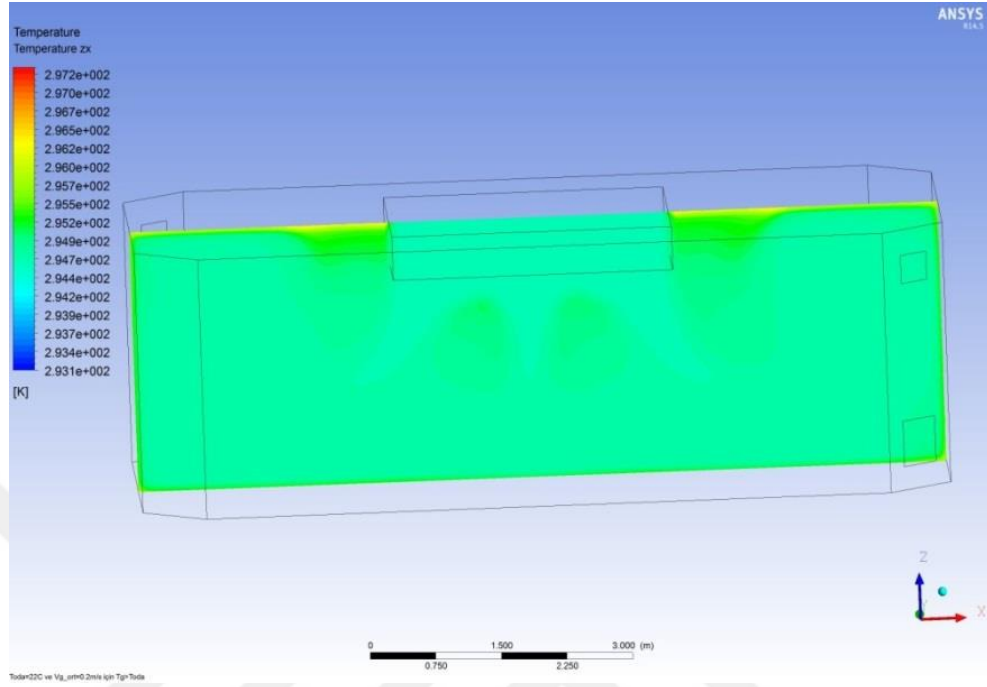


Şekil 4.106 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

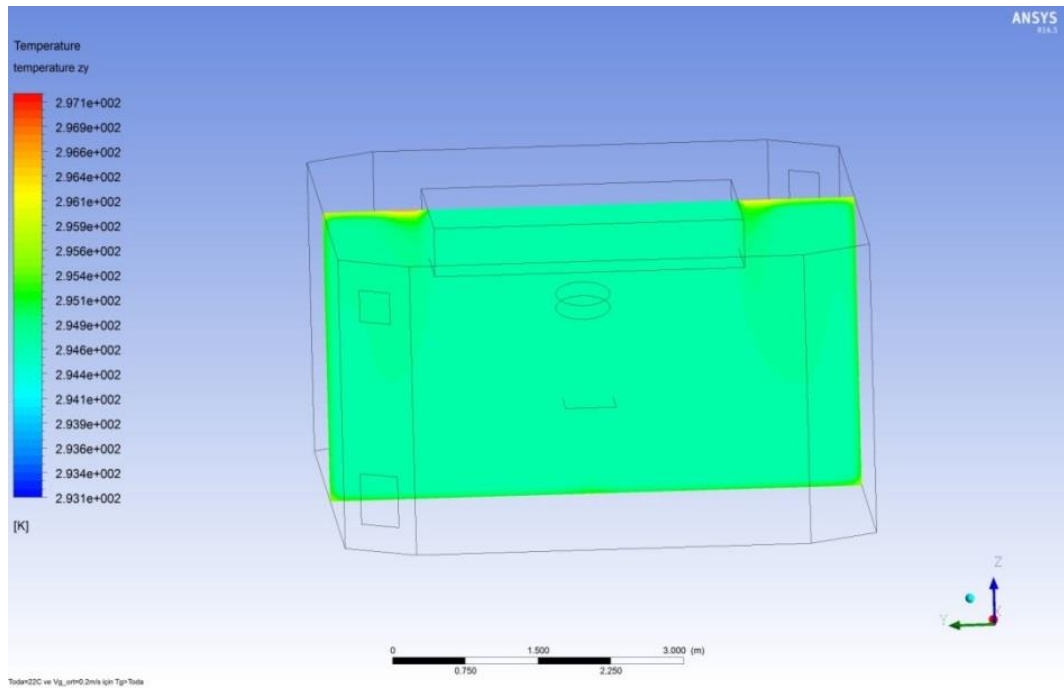


Şekil 4.107 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

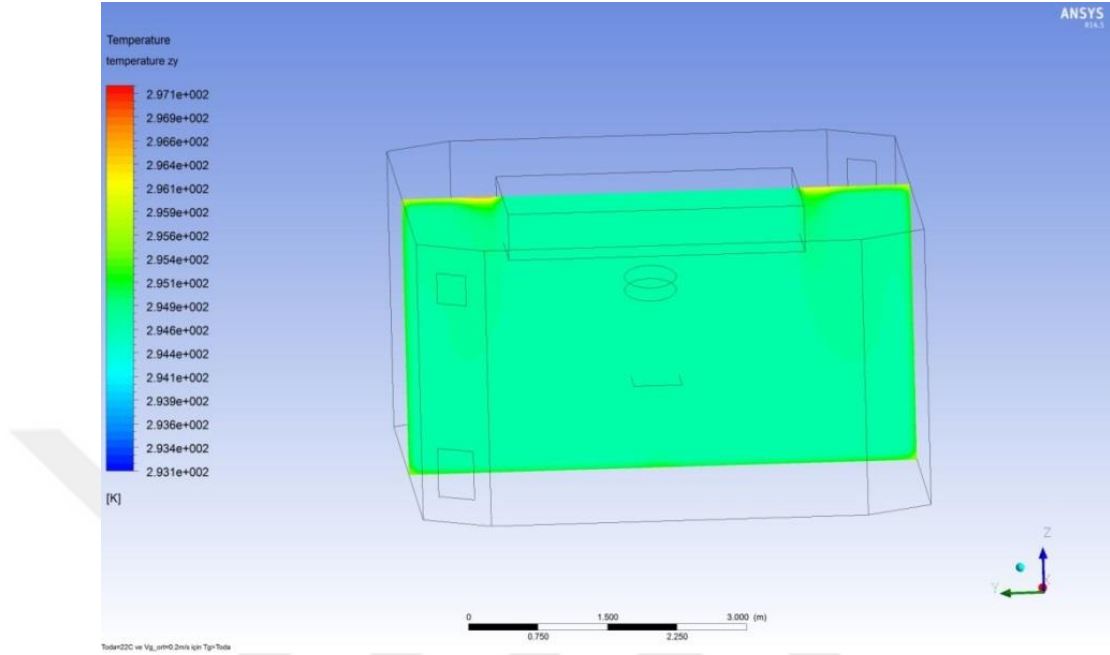
Şekil 4.104-4.107 arası $T_o=21^\circ\text{C}$ 'de ve $V_g=0.2$ m/s için diğer oda sıcaklıklarındaki gibi bağıl nem dağılımları verilmiştir ve bu dağılım giriş havası sıcaklığına yakındır.



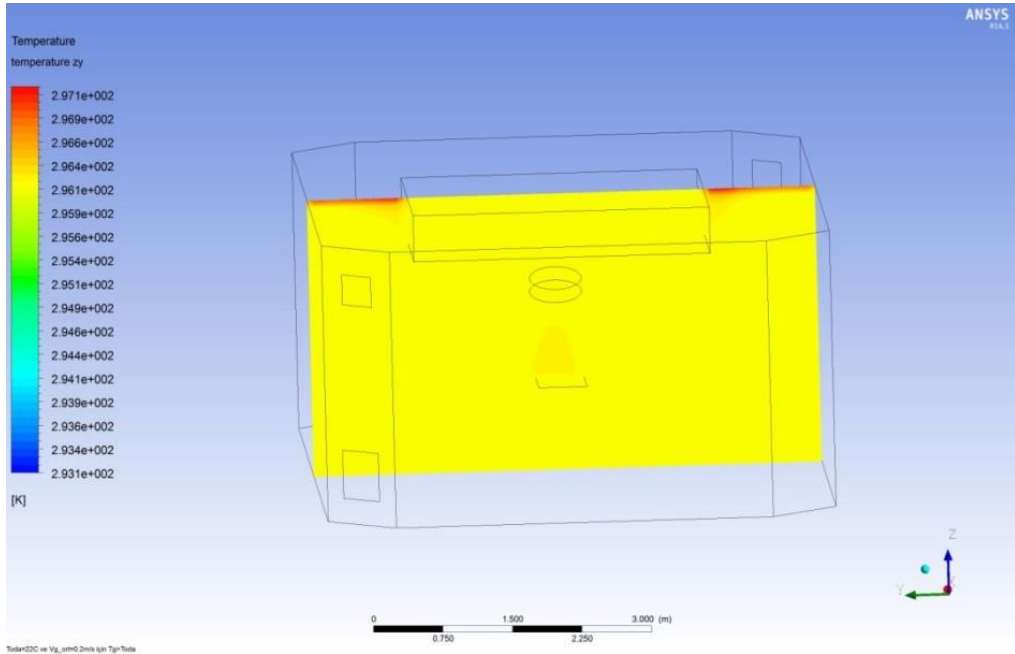
Şekil 4.108 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.109 $T_0=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_0$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

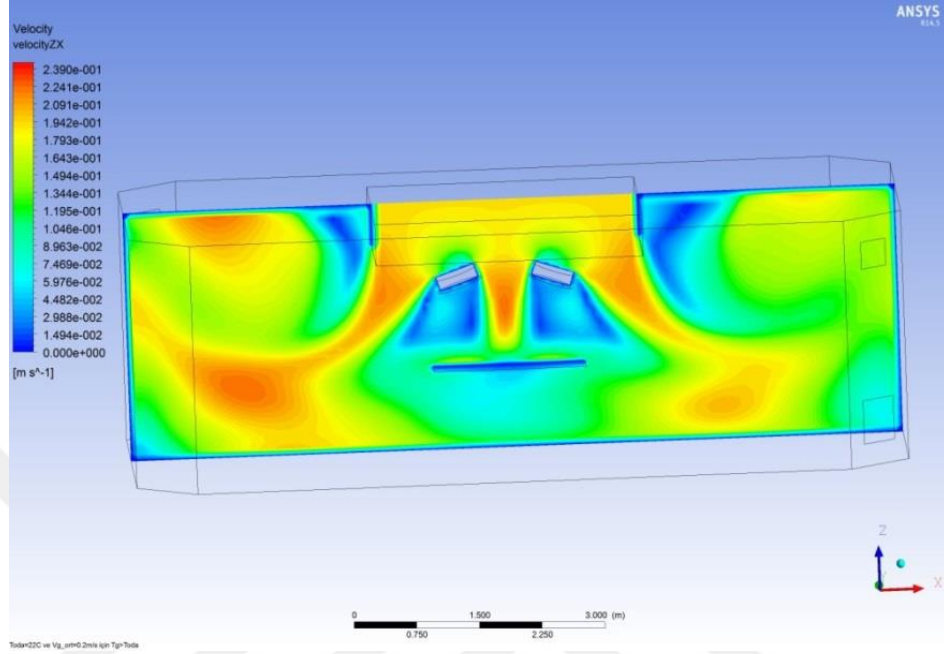


Şekil 4.110 $T_0=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_0$ için xz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

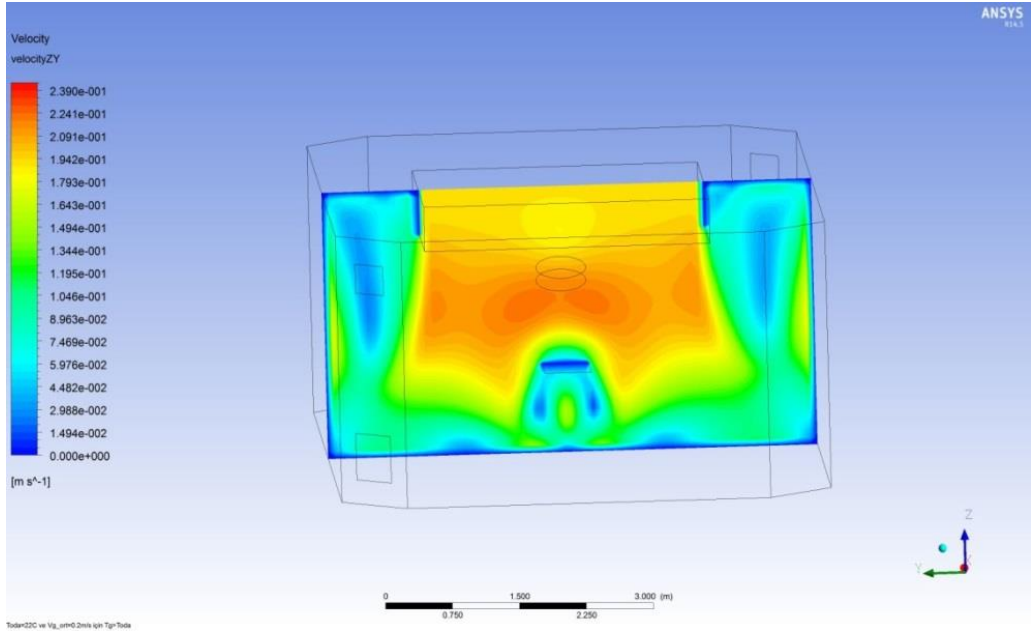


Şekil 4.111 $T_0=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_0$ için yz ekseninde oda içindeki sıcaklık dağılımı

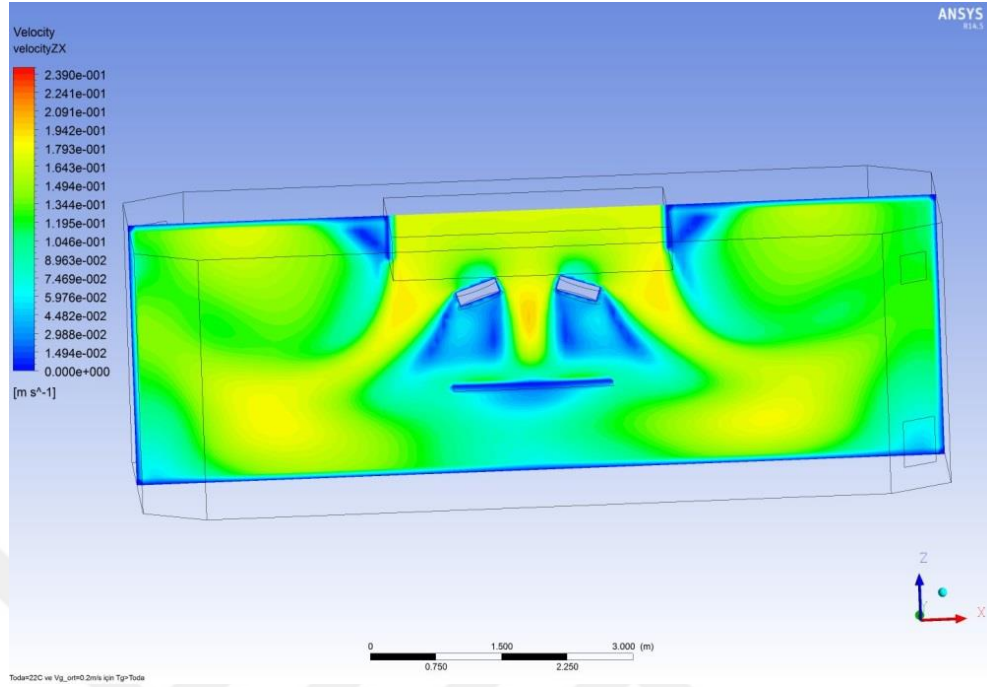
Şekil 4.108-4.109'da $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de ve $V_g=0.2$ m/s için $T_g < T_o$ durumunda, şekil 4.110-4.111'de $T_g \geq T_o$ durumu için sıcaklık dağılımları oda içerisindeki iki farklı kesitten görülmektedir ve dağılım diğer oda sıcaklıklarındaki gibidir.



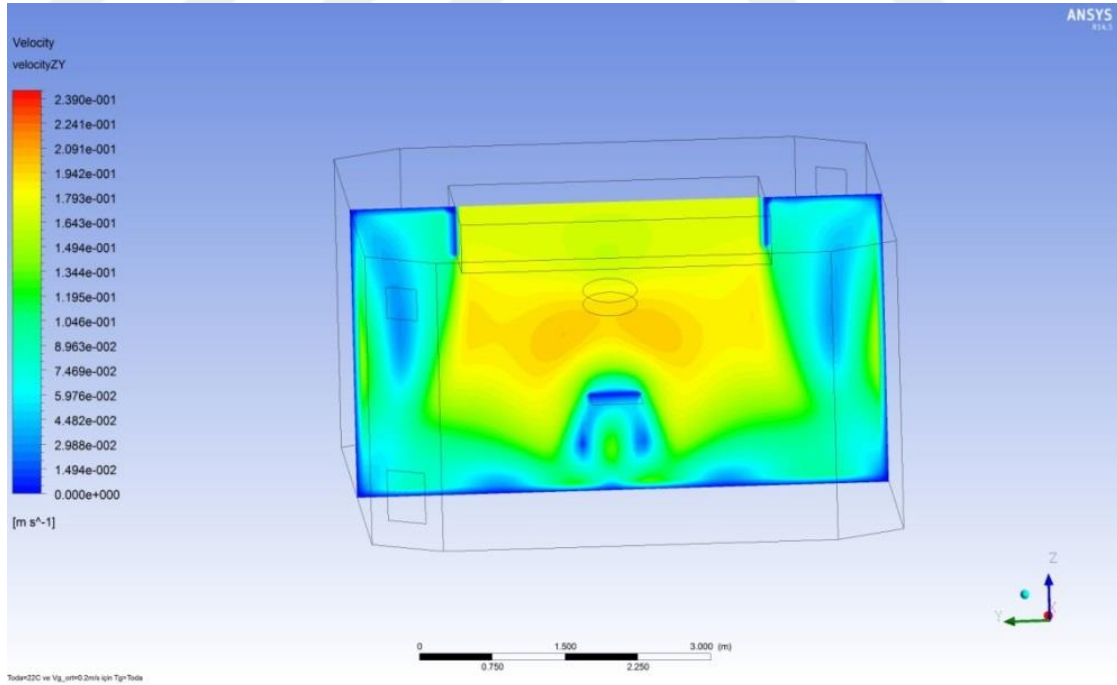
Şekil 4.112 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 4.113 $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

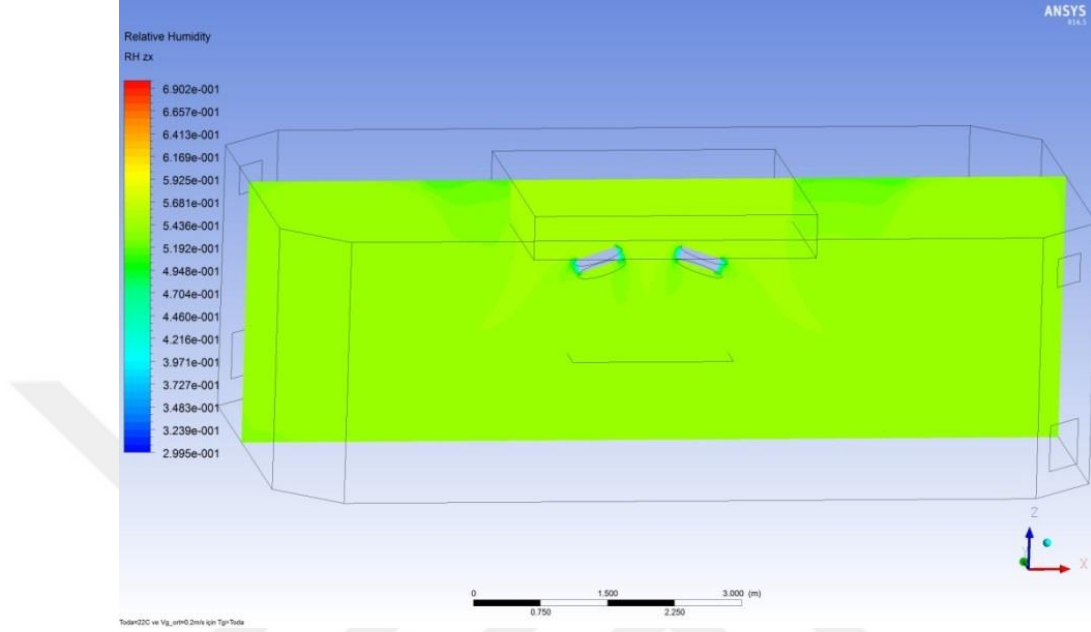


Şekil 4.114 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

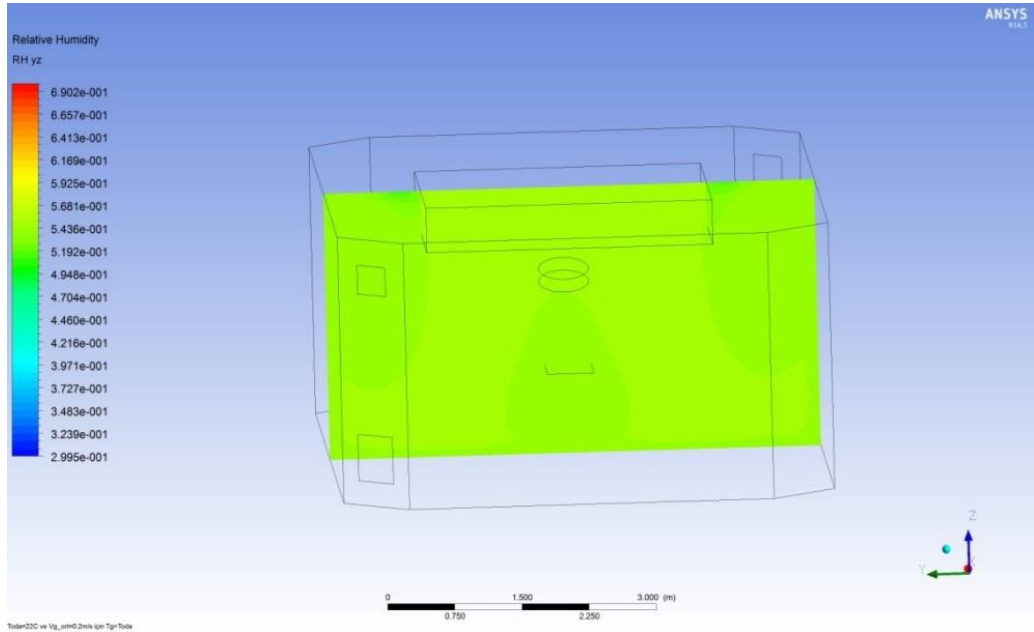


Şekil 4.115 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki hava hızı dağılımı

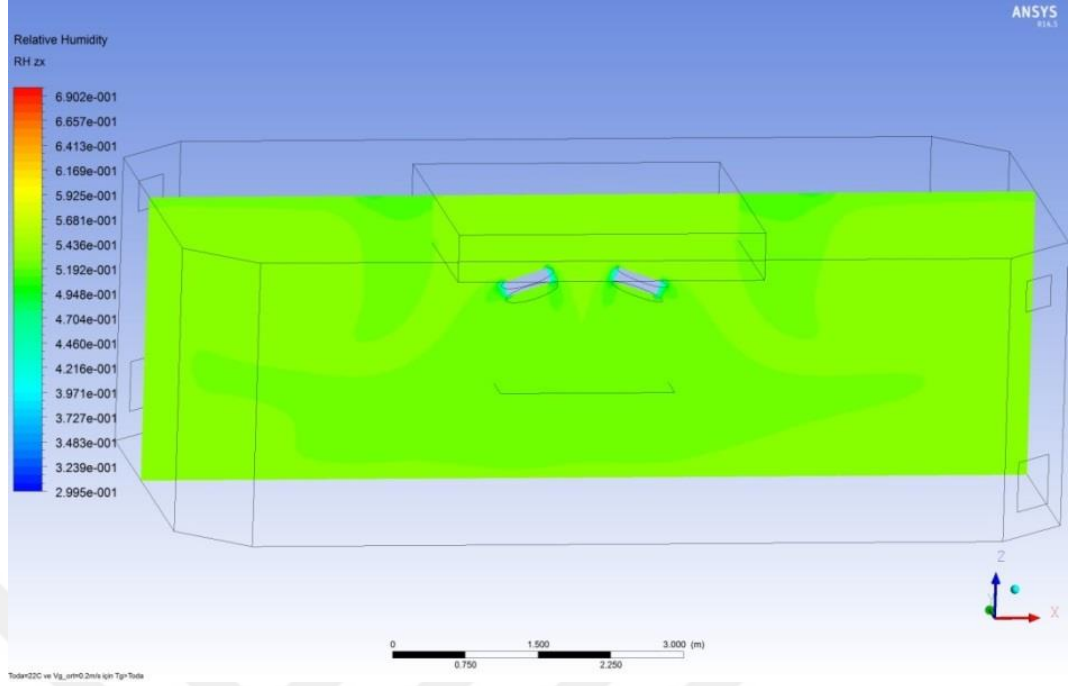
Şekil 4.112-4.113’da $T_o=22^\circ\text{C}$ ’de ve $V_g=0.2$ m/s için $T_g < T_o$ durumunda, şekil 4.114-4.115’de ise $T_g \geq T_o$ durumundaki hız dağılımları iki farklı kesitten görülmektedir. Bu dağılım da diğer oda sıcaklıklarındakine benzerdir.



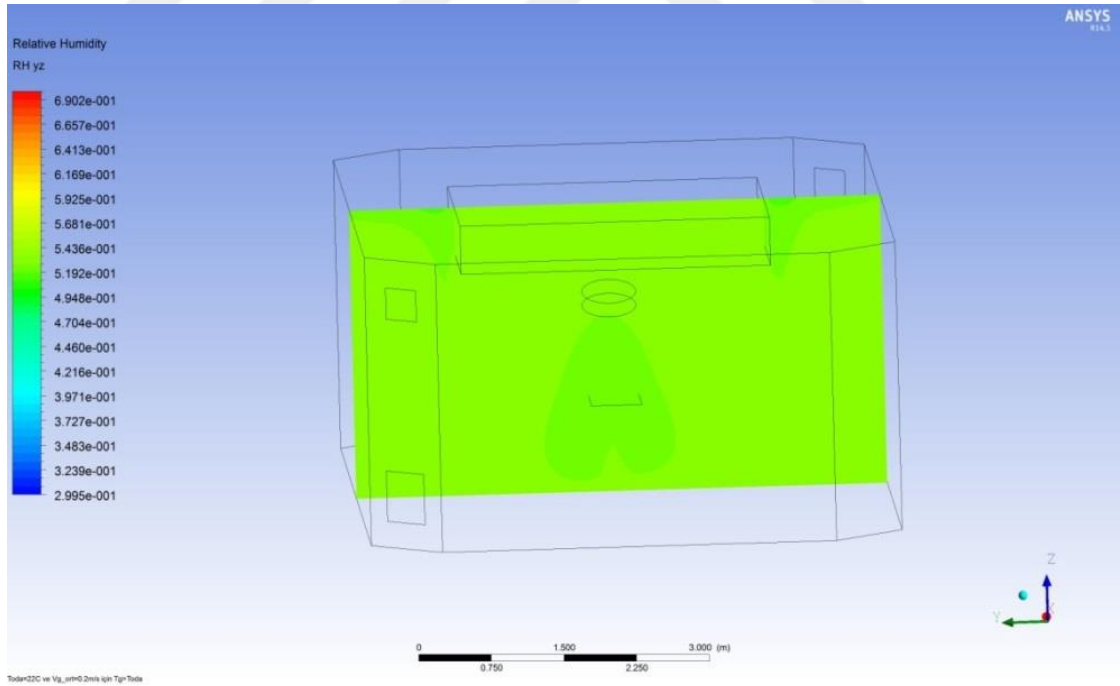
Şekil 4.116 $T_o=22^\circ\text{C}$ ’de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.117 $T_o=22^\circ\text{C}$ ’de $V_g=0.2$ m/s $T_g < T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.118 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için xz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı



Şekil 4.119 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $V_g=0.2$ m/s $T_g \geq T_o$ için yz ekseninde oda içindeki bağıl nem dağılımı

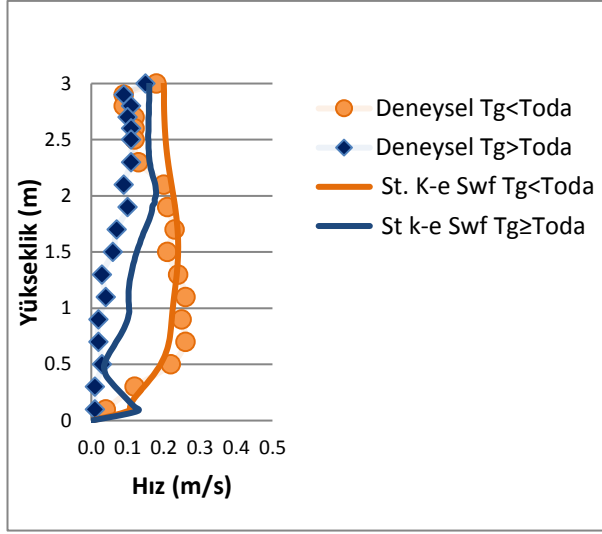
Şekil 4.116-4.117’de $T_o=22^\circ\text{C}$ ’de ve $V_g=0.2$ m/s için $T_g < T_o$ durumunda, şekil 4.118-4.119’da ise $T_g \geq T_o$ durumundaki bağıl nem dağılımı iki farklı kesitten görülmektedir. Bu dağılım da diğer oda sıcaklıklarındakine benzerdir.

Çizelge 4.13’te görülebileceği gibi $V_g = 0.1$ m/s ve $V_g = 0.2$ m/s hızları için giriş havasının ve odanın ölçülen ortalama bağıl nem değerleri görülmektedir. Odanın bağıl neminin ölçümü için LAF ünitesi altında kalan alan dışında dört noktadan alınan ölçümlerin ortalaması ile elde edilmiştir (Boylu 2009).

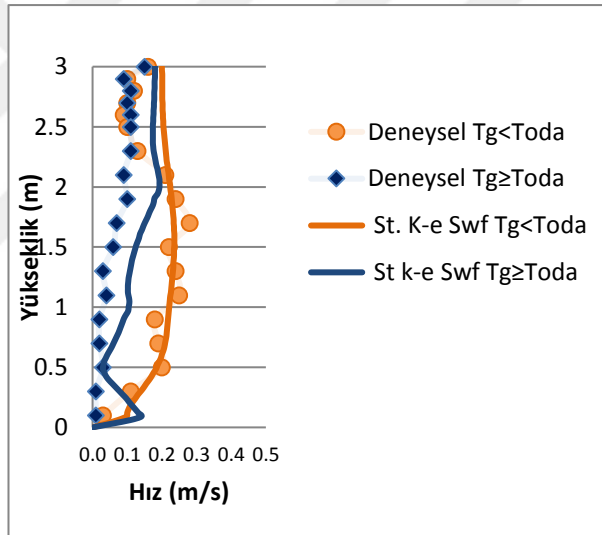
Çizelge 4.13 Ortalama giriş havasının ve odanın bağıl neminin ölçüm değerleri

T_{oda}	$V_g = 0.1$ m/s		$V_g = 0.2$ m/s	
	ϕ_{oda} (%)	ϕ_{giren} (%)	ϕ_{oda} (%)	ϕ_{giren} (%)
19°C	71	73	71,8	72,7
20°C	65	66,5	66	67,5
21°C	68,5	70	65,8	67,9
22°C	53,8	54,4	55	56,4

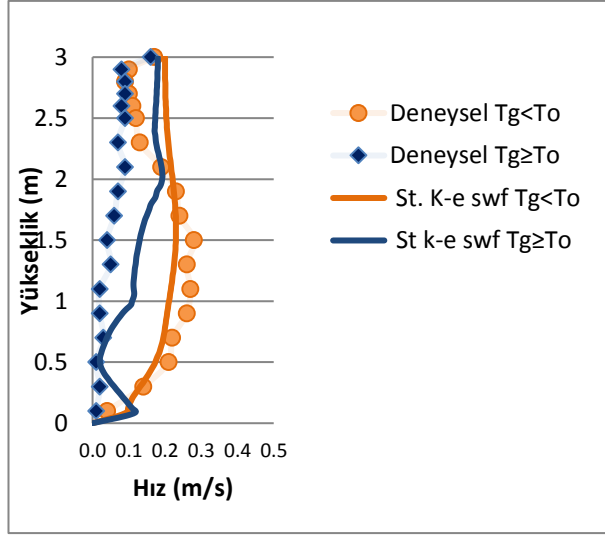
Şekil 4.120 – 4.124 arasında, oda içerisinde belli bir çizgi üzerinden tavandan zemine belirli aralıklarla alınan hız ölçümleriyle, analizlerden elde edilen verilerle oluşturulan hız – yükseklik grafikleri görülmektedir. Analizler ve ölçümler benzer hız profilleri göstermektedir ve yakın değerlerdedirler. $V_g = 0.1$ m/s hızıyla benzer şekilde bir profil göstermekte olup, biraz daha yüksektir. $T_g < T_o$ olduğunda hava daha hızlı şekilde zemine doğru inmekte ve iyi bir hava perdesi oluşturmakta ve $T_g \geq T_o$ olduğunda ise hava zemine çok yavaş inmekte ve iyi bir perdeleme görevi görememektedir. Bu grafiklerden bunu çok rahat bir şekilde görebiliriz. $V_g = 0.2$ m/s olmasına rağmen $T_g \geq T_o$ şartında, havanı aşağıya doğru iniş hızı $V_g = 0.1$ m/s hızındakine oldukça yakındır. Yine buradan hava giriş sıcaklığının oda sıcaklığından birkaç derece aşağıda olması gerektiğinin önemini görebilmekteyiz.



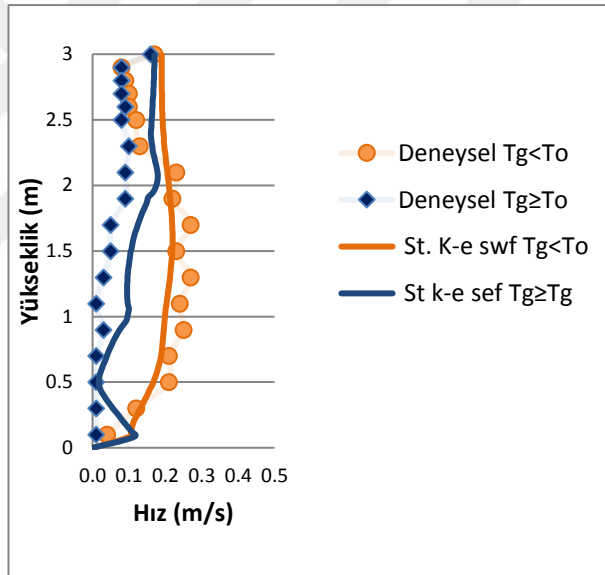
Şekil 4.120 $T_0=19^\circ\text{C}$ $V_g=0.2$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı



Şekil 4.121 $T_0=20^\circ\text{C}$ $V_g=0.2$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı



Şekil 4.122 $T_0=21^\circ\text{C}$ $V_g=0.2$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı



Şekil 4.123 $T_0=22^\circ\text{C}$ $V_g=0.2$ m/s Yükseklik-Hız Diyagramı

4.3.2 Difüzörlü Ameliyathanenin CFD Analizi Sonuçları

Difüzörlerle hava dağıtımı yapan sistemin analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. Oda sıcaklığının 19°C - 22°C arasında olduğu şartlarda ölçümler alınmış ve elde edilen bu değerler sınır şartı kullanılarak analizler yapılmıştır. Standart k- ϵ türbülans modeliyle ve standart wall function duvar modeliyle çözümler yapılmıştır. Difüzörün hava giriş kanatları bir miktar açılı olduğundan hem yatay hem de düşey yönde hız ölçümleri

alınış ve sınır şartlarına da aynı şekilde değerler verilmiştir. Oda sıcaklığına göre alınan ortalama hız ölçümleri Tablo 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14 Oda sıcaklıklarına göre alınan ortalama hava giriş hızı değerleri

Ortalama Oda Sıcaklığı (°C)	Düşey yönde Ortalama hız (m/s)	Yatay yönde Ortalama hız (m/s)
19	0.98	0.34
20	1.12	0.25
21	1.25	0.37
22	2.9	0.36

Tabloda elde edilen veriler sınır şartı olarak girilmiş ve analiz sonucunda xz ve yz eksenlerinden farklı kesitlerdeki görüntüler alınarak Şekil 4.123 ve Şekil 4.146 arasında verilmiştir. Şekil 4.123-4.124, Şekil 4.129-4.130, Şekil 4.135-4.136 ve Şekil 4.141-4.142' da sırasıyla 19°C, 20°C, 21°C ve 22°C oda sıcaklıkları için xz ve yz eksenlerinde oda içerisindeki hava dağılımları görülmektedir. Difüzyörlü sistemlerde amaç odanın ihtiyacı olan temiz hava miktarını karşılamaktır. Bu sebepten dolayı havanın odaya giriş hızı yüksek değerlerde olmaktadır. Ortalama giriş hızındaki değişikliklerin havanın çalkantılı gelmesinden dolayı olduğundan bahsedilmiştir. Analiz sonuçlarından görüldüğü üzere $T_o = 22^\circ\text{C}$ şartında alınan ölçümde ortalama hava giriş hızı istenilen taze hava ihtiyacını karşılamaktadır. Şekil 4.141-4.142' de hava bu hızla giriş yaptığında oda içerisindeki hava hareketinin de oldukça hızlı olduğu görülebilmektedir. Yüksek hava hızı partiküllerin oda içerisinde dağılmasına sebep olacağı gibi ameliyathane personelini de rahatsız edecektir. Düşük hızda olduğunda da istenilen taze hava miktarı sağlanamayacaktır.

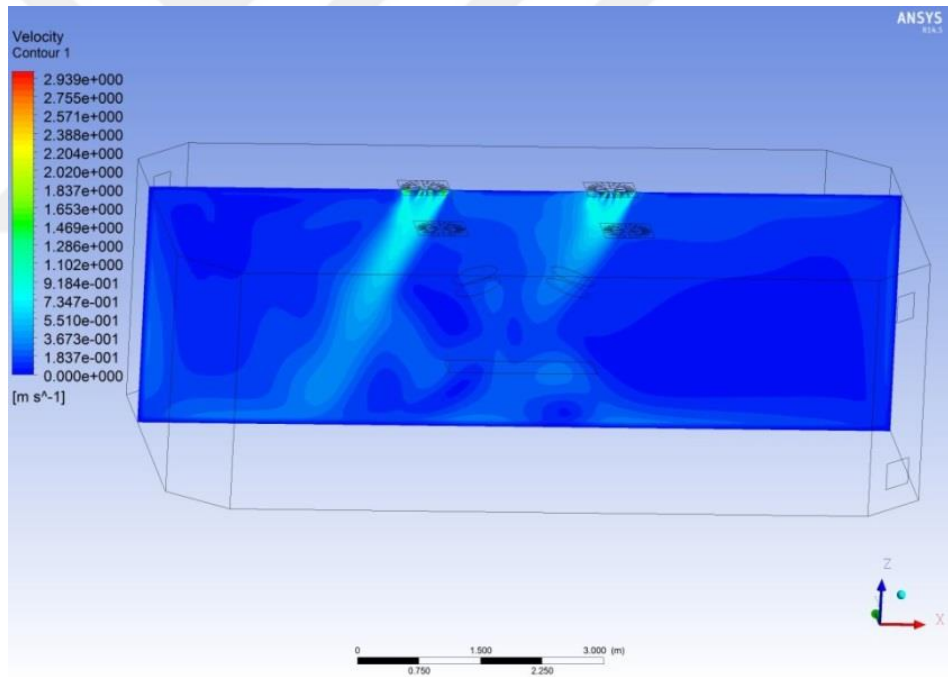
Sıcaklık dağılımlarına baktığımızda ise ameliyathanelerin dış mahalle bağlantısı olmadığından odaya çok fazla ısı kazancına neden olan bir etken yoktur. Bundan dolayı şekil 4.125-4.126, şekil 4.131-4.132, şekil 4.137-4.138 ve şekil 4.143-4.144' te sırasıyla 19°C, 20°C, 21°C ve 22°C oda sıcaklıkları için xz ve yz eksenlerinde oda içerisindeki sıcaklık dağılımları görülmektedir. Oda sıcaklığı genel olarak giriş havası sıcaklığından 1-2°C daha yüksektir.

Bu odada da LAF üniteli ameliyathane odasındaki gibi bağıl nem kontrolü yoktur ve dış mahalden alınan havanın nemine göre odanın bağıl nemi değişmektedir. Bu

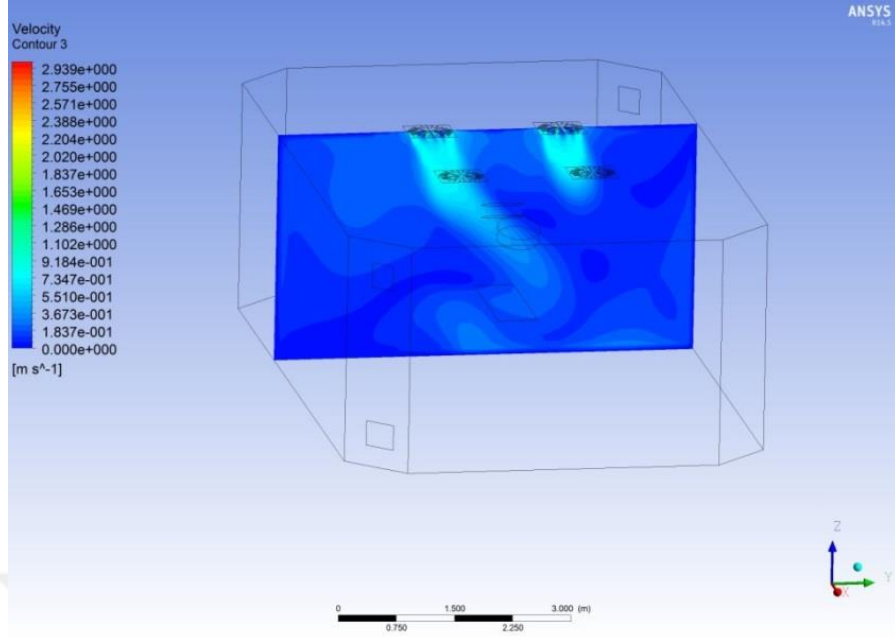
ameliyathanede ölçümler sonbahar aylarında alındığından nem oranı LAF üniteli odadan daha düşük çıkmıştır ve bulunan değerler standartlarda istenilen değerlerin altındadır. Oda içerisindeki dağılımlar şekil 4.127-4.128, şekil 4.133-4.134, şekil 4.139-4.140 ve şekil 4.145-4.146'da görülmektedir. Tablo 4.15'e bakıldığında odanın ortalama bağıl neminin odaya giren havanın ortalama bağıl neminden %3-4 civarlarında daha düşük olduğu görülmektedir ve oda genelinde hemen hemen aynı değerlerdedir.

Çizelge 4.15 Hava giriş bağıl nem değerine göre oda içerisindeki ortalama bağıl nem değerleri

Oda sıcaklığı (°C)	Ortalama Oda Bağıl nemi (%)	Ortalama giriş havası bağıl nemi (%)
19	33.2	37.9
20	40.2	43
21	45.3	48.3
22	46	50

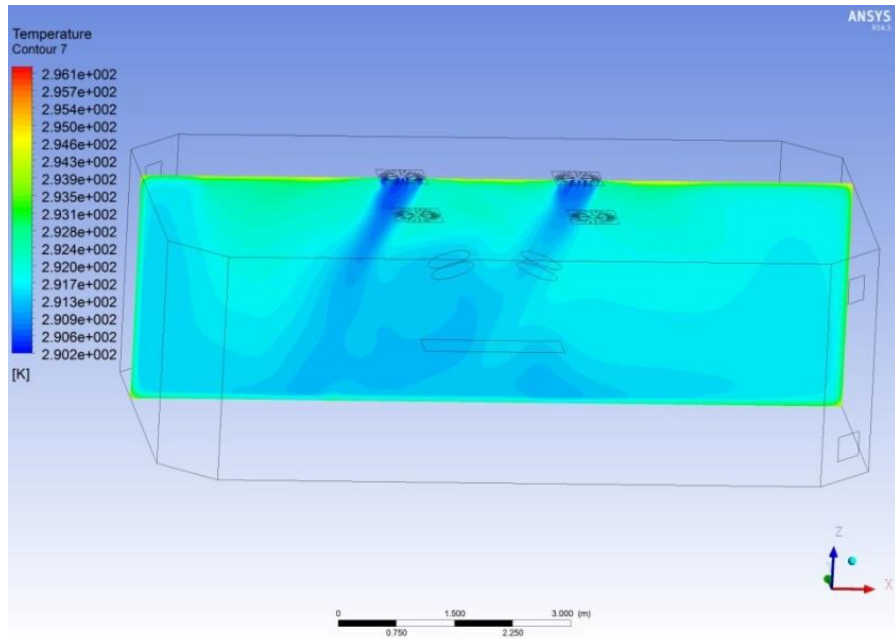


Şekil 4.124 T₀=19°C için xz ekseninde hava hızı dağılımı

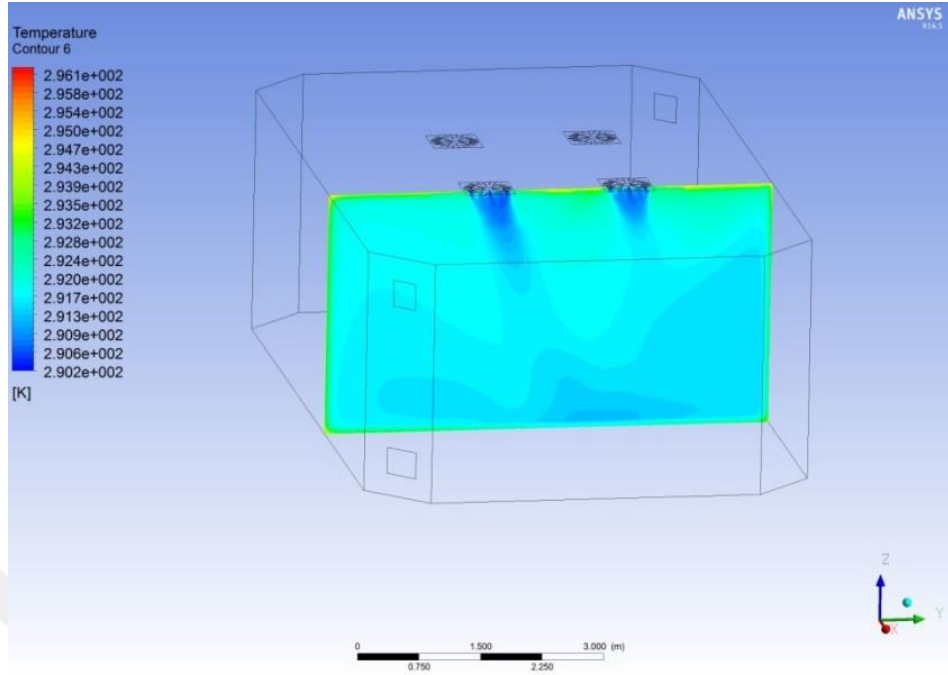


Şekil 4.125 $T_0=19^\circ\text{C}$ için yz ekseninde hava hızı dağılımı

Şekil 4.124-4.125'te $T_0=19^\circ\text{C}$ ve düşey yönde 0.98 m/s hava giriş hızı için difüzlü ameliyathanedeki hız dağılımı iki farklı kesitten görülebilir. Giren havanın hızı LAF üniteli sisteme göre daha yüksektir ve tek yönlü bir akış olmadığından oda içerisinde meydana gelen düzensiz hava akışı rahatlıkla görülebilmektedir.

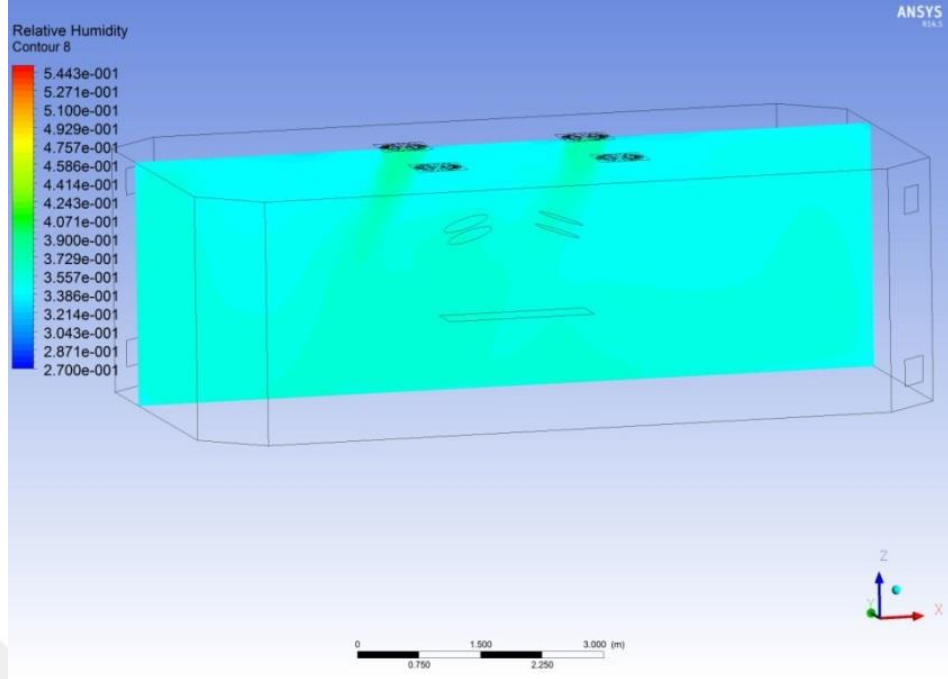


Şekil 4.126 $T_0=19^\circ\text{C}$ için xz ekseninde sıcaklık dağılımı

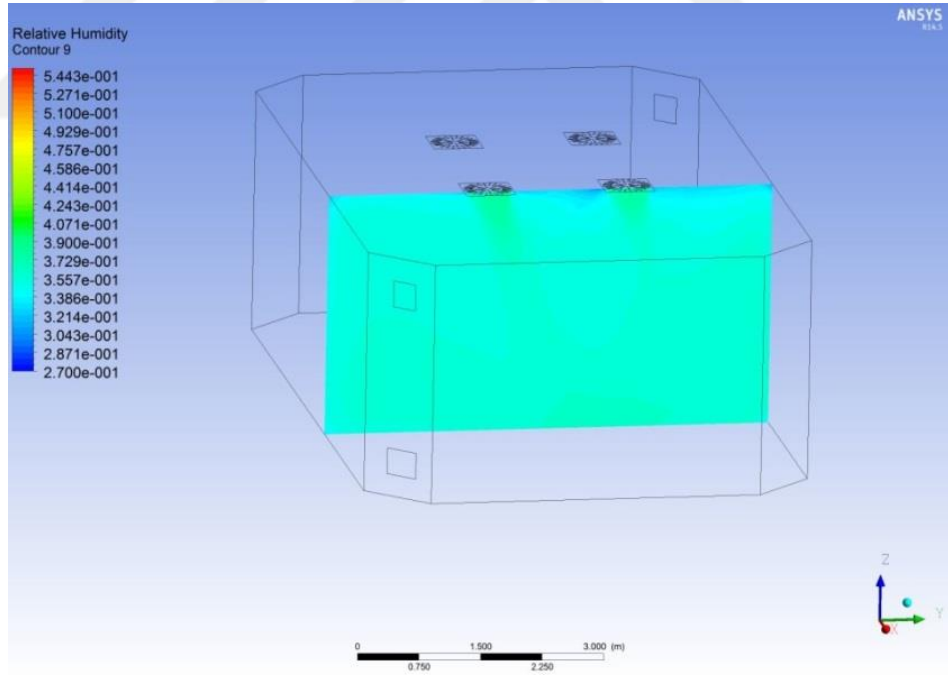


Şekil 4.127 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ için yz ekseninde sıcaklık dağılımı

Şekil 4.126-4.127’de $T_o=19^{\circ}\text{C}$ için difüzörlü ameliyathane içerisindeki sıcaklık dağılımı iki farklı kesitte görülebilir. Giriş havası sıcaklığı arasındaki fark LAF üniteli sisteme göre biraz daha fazladır. Ancak odanın genel dağılımındaki sıcaklık hemen hemen aynıdır.

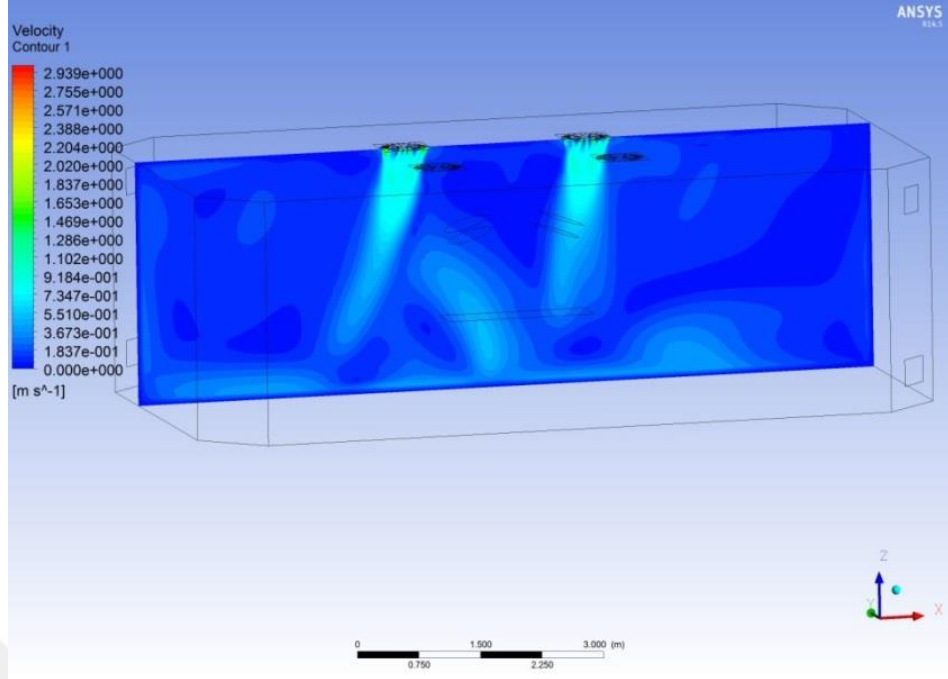


Şekil 4.128 $T_0=19^\circ\text{C}$ için xz ekseninde bağıl nem dağılımı

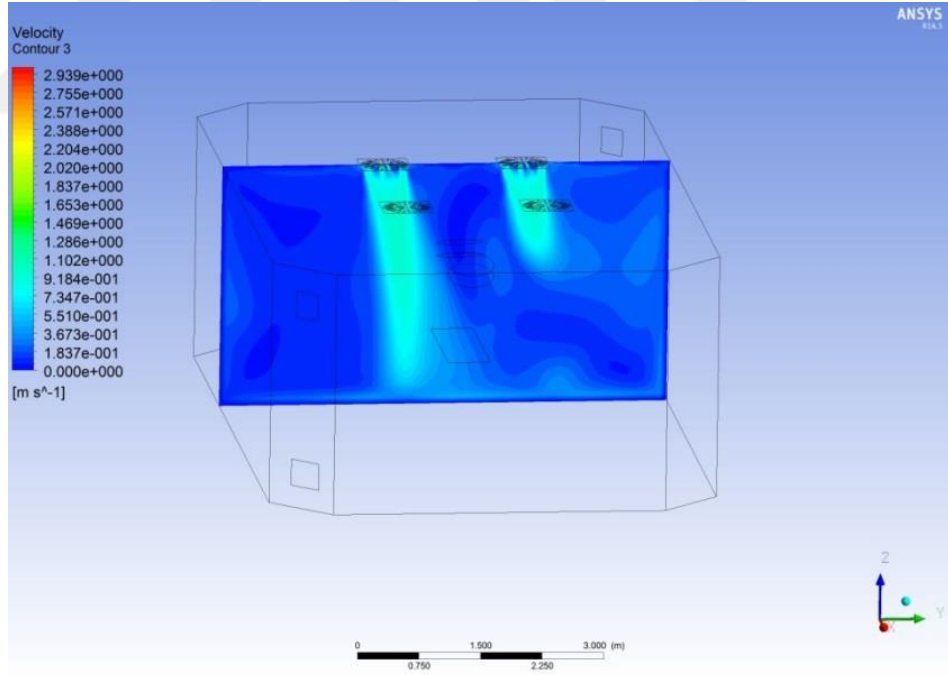


Şekil 4.129 $T_0=19^\circ\text{C}$ için yz ekseninde bağıl nem dağılımı

Şekil 4.128-4.129'da $T_0=19^\circ\text{C}$ için difüzörlü ameliyathane içerisindeki bağıl nem dağılımı görülmektedir. Dağılım, oda içerisinde hemen hemen aynıdır.



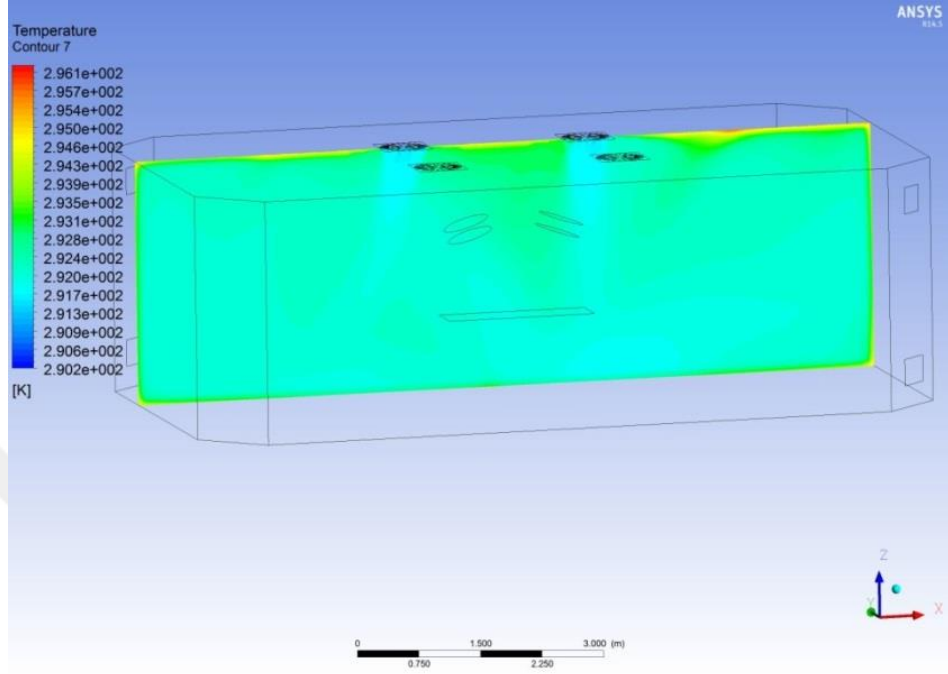
Şekil 4.130 $T_0=20^\circ\text{C}$ için xz ekseninde hava hızı dağılımı



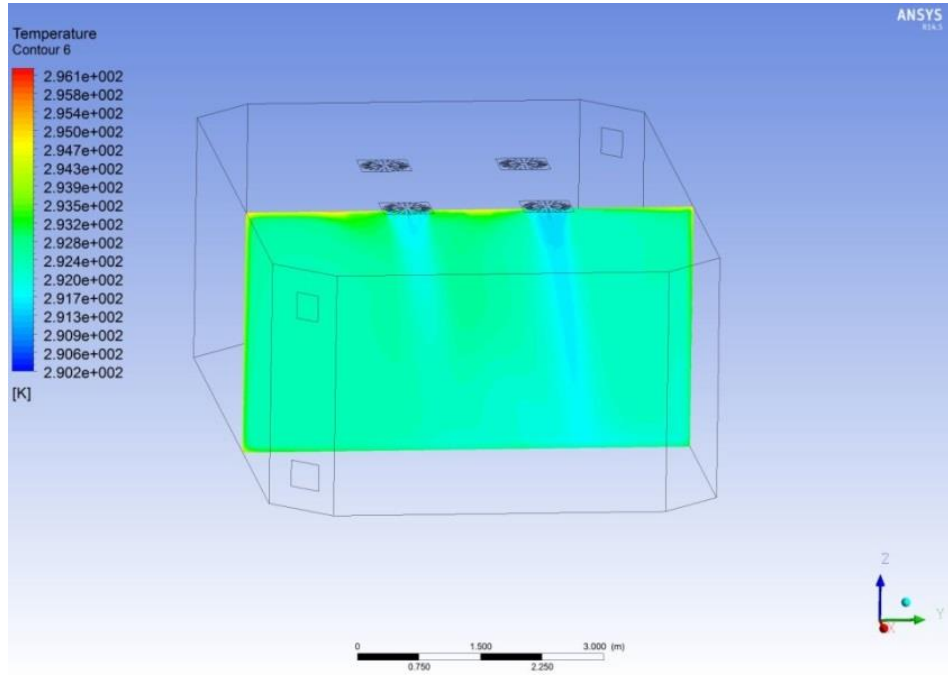
Şekil 4.131 $T_0=20^\circ\text{C}$ için yz ekseninde hava hızı dağılımı

Şekil 4.130-4.131’de $T_0=20^\circ\text{C}$ ve düşey yönde 1.12 m/s olarak ölçülen hava giriş hızı değeri için yapılan analizler oda içerisindeki iki farklı kesit için görülebilir. $T_0=19^\circ\text{C}$ ’ye

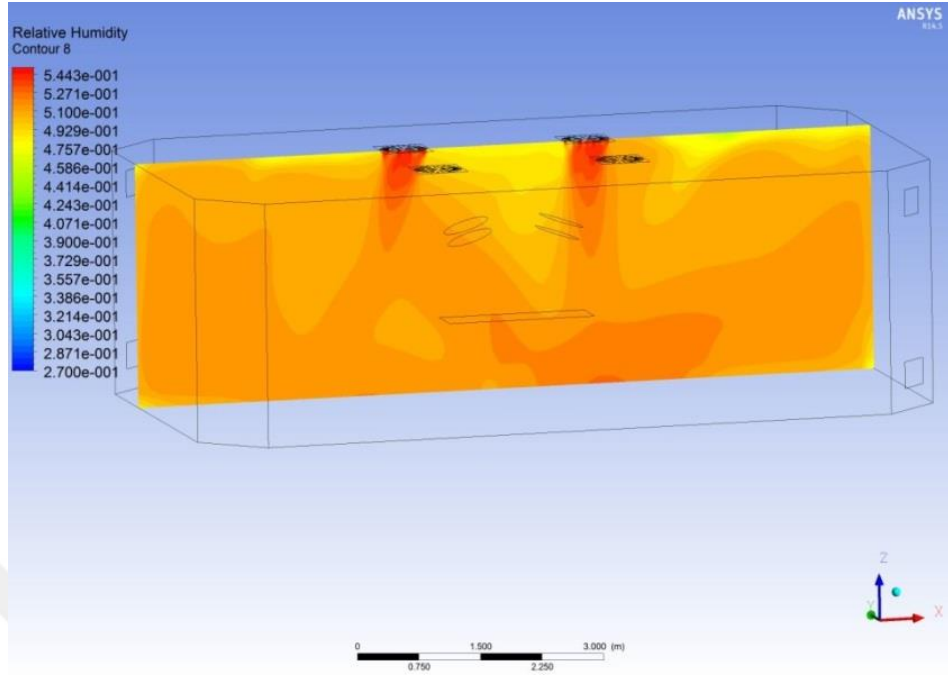
göre giriş hızı daha yüksek olduğundan difüzör altında daha yüksek hızlar meydana gelmektedir. Oda içerisindeki hava hızı dağılımının LAF üniteli sisteme göre oldukça düzensiz olduğu görülmektedir.



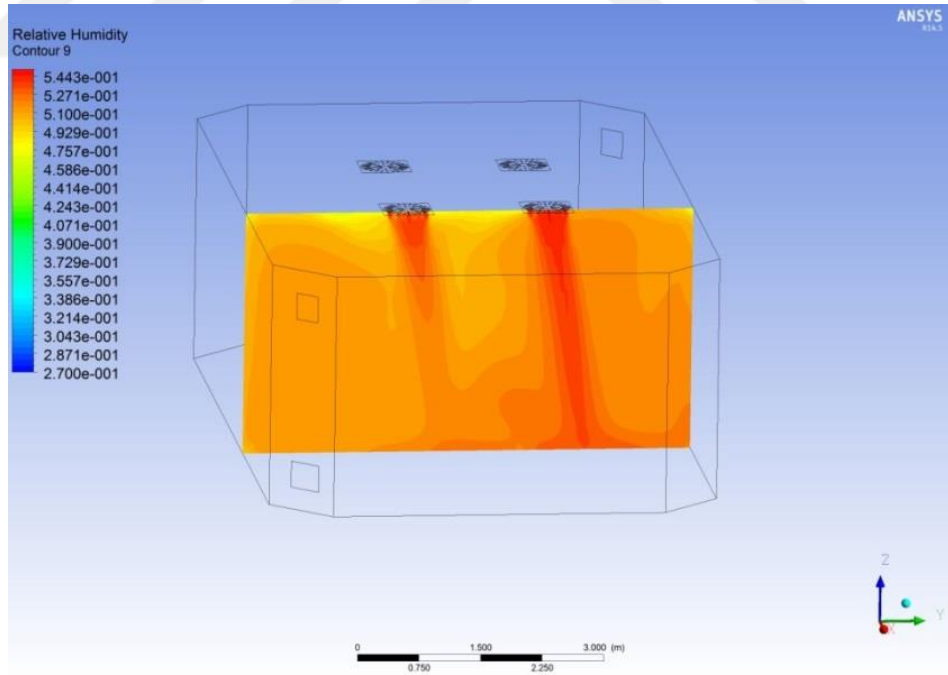
Şekil 4.132 $T_0=20^\circ\text{C}$ için xz ekseninde sıcaklık dağılımı



Şekil 4.133 $T_0=20^\circ\text{C}$ için yz ekseninde sıcaklık dağılımı

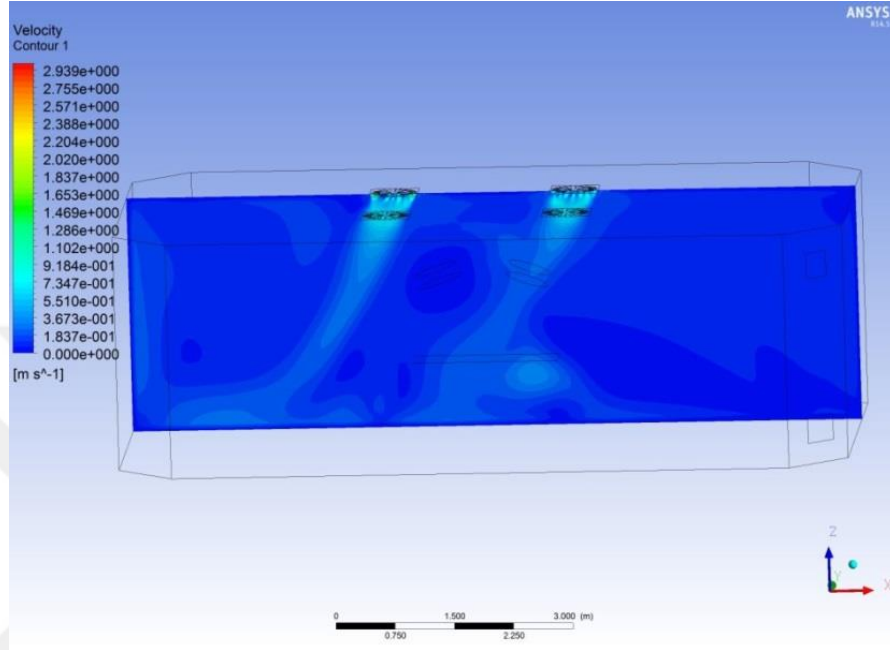


Şekil 4.134 $T_0=20^\circ\text{C}$ için xz ekseninde bağıl nem dağılımı

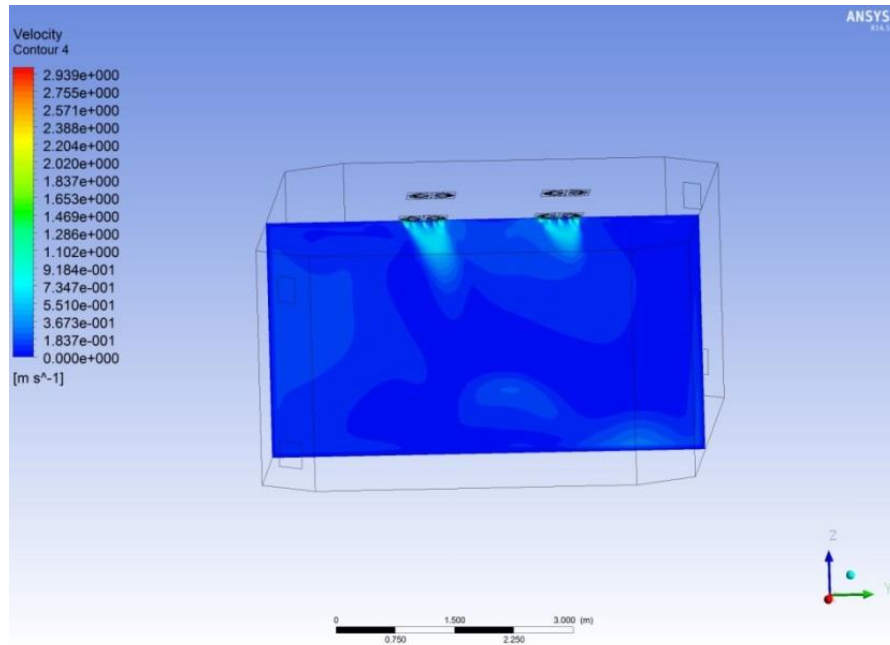


Şekil 4.135 $T_0=20^\circ\text{C}$ için yz ekseninde bağıl nem dağılımı

Şekil 4.132-4.133'de $T_o=20^\circ\text{C}$ için oda içerisindeki sıcaklık dağılımı, şekil 4.134-4.135'de ise oda içerisindeki bağıl nem dağılımları görülmektedir. Giriş değerleri, oda dağılımı değerlerine göre LAF üniteli sisteme kıyasla biraz daha yüksektir. Ancak genel oda içerisindeki dağılım çok farklı değildir.

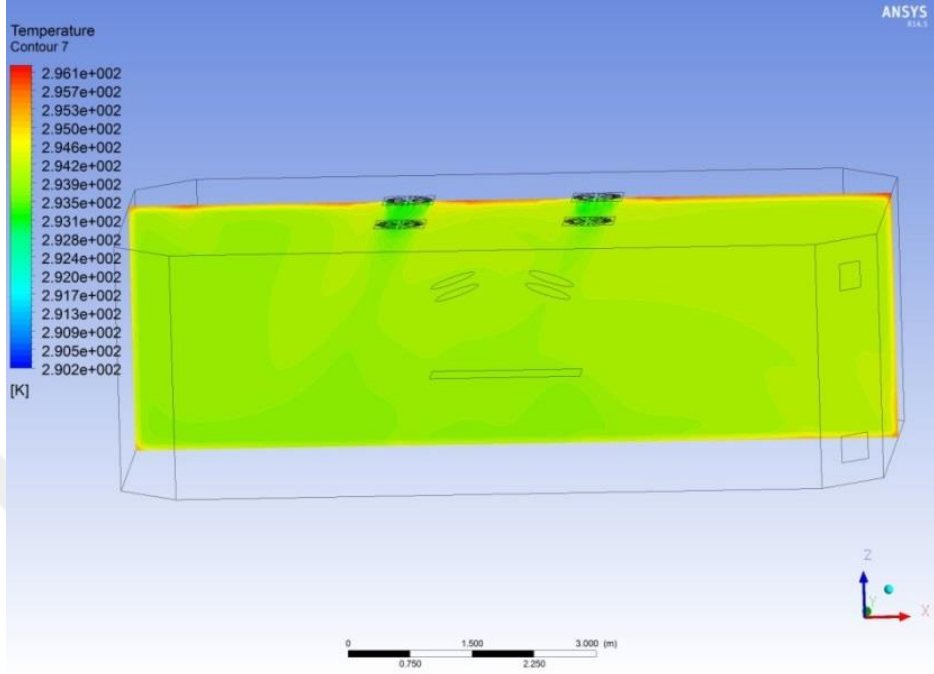


Şekil 4.136 $T_o=21^\circ\text{C}$ için xz ekseninde hava hızı dağılımı

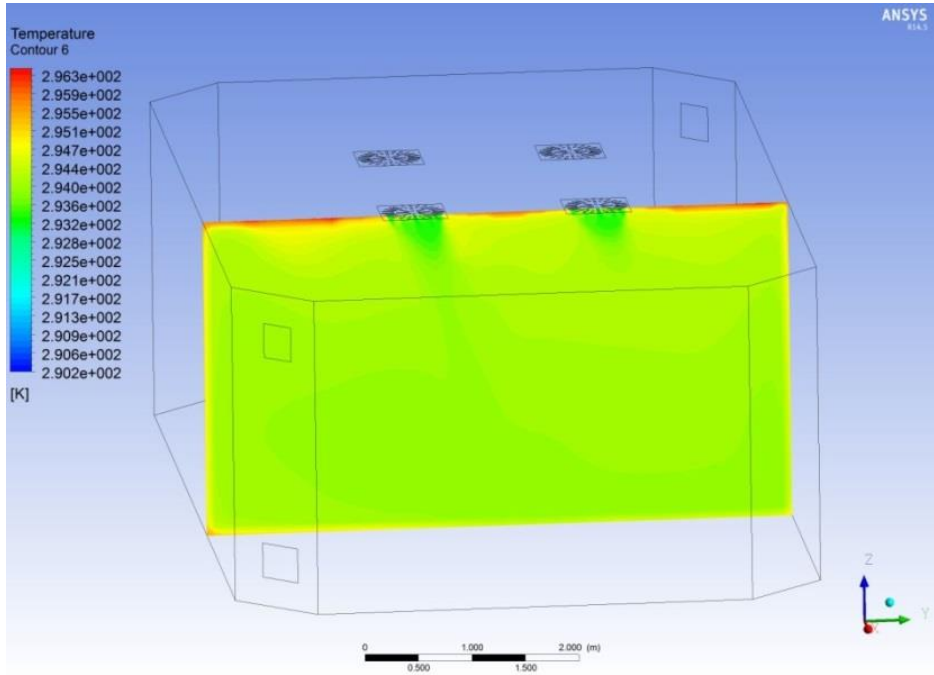


Şekil 4.137 $T_o=21^\circ\text{C}$ için yz ekseninde hava hızı dağılımı

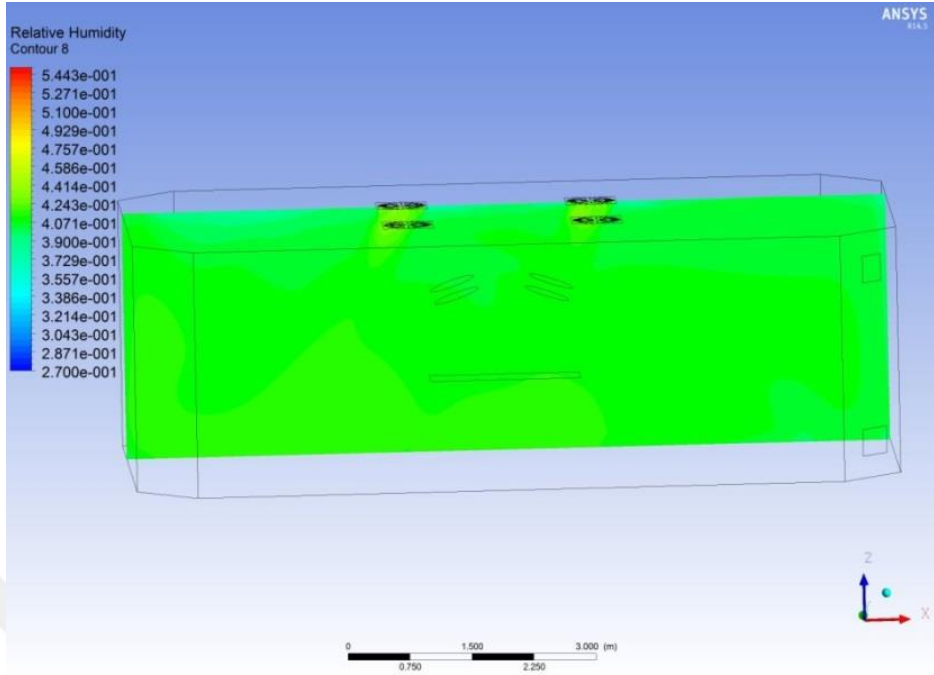
Şekil 4.136-4.137’de $T_0=21^\circ\text{C}$ ve ölçülen difüzör giriş hızı değerlerine göre yapılan analiz sonuçları, oda içerisindeki iki farklı kesitten görülmektedir. Dağılım yine diğerleri gibi düzenli değildir.



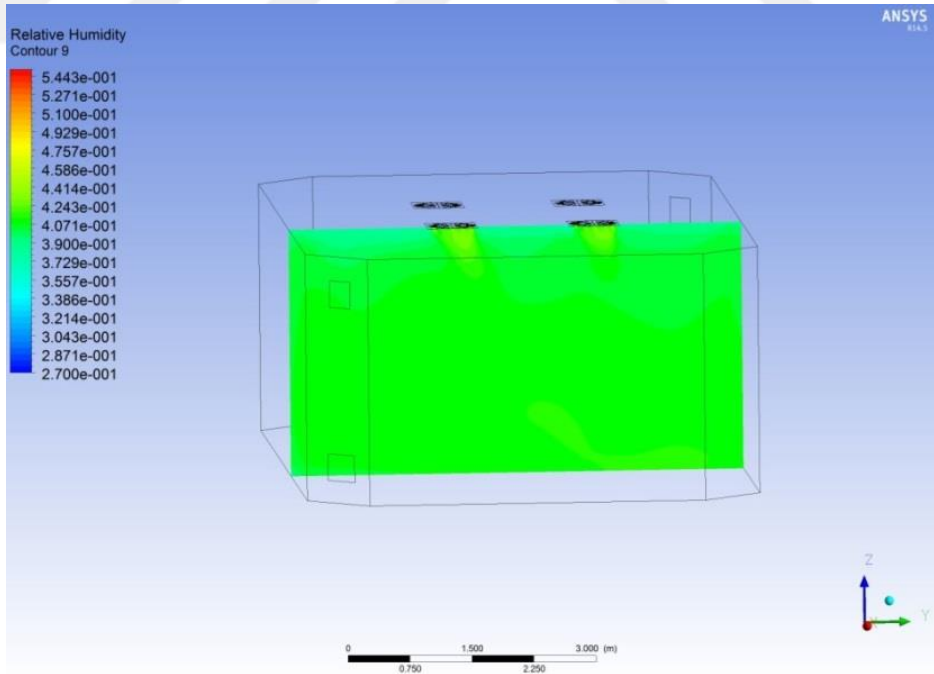
Şekil 4.138 $T_0=21^\circ\text{C}$ için xz ekseninde sıcaklık dağılımı



Şekil 4.139 $T_0=21^\circ\text{C}$ için yz ekseninde sıcaklık dağılımı

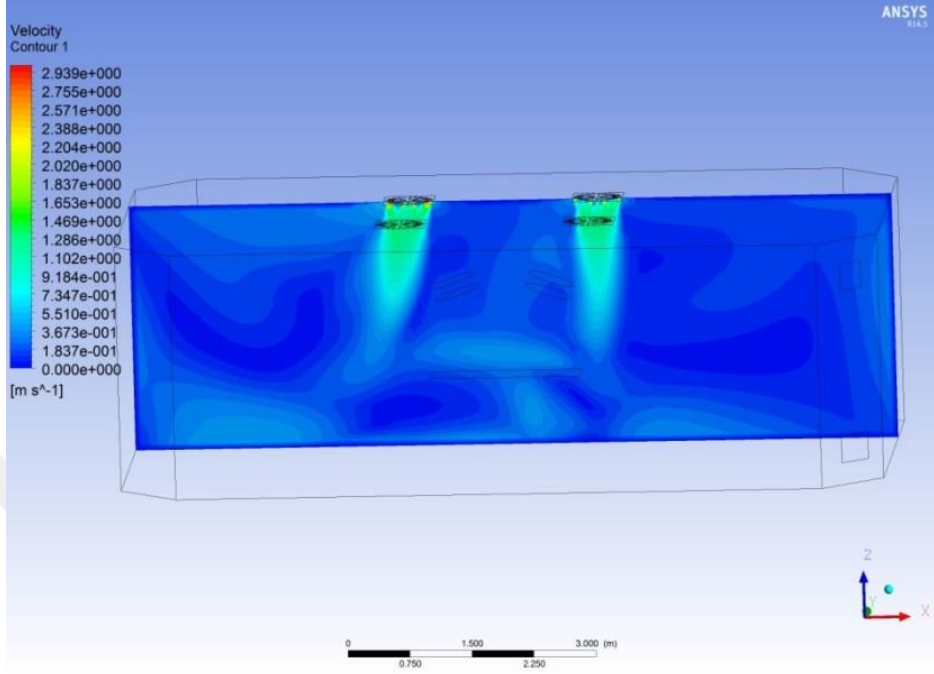


Şekil 4.140 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ için xz ekseninde bağıl nem dağılımı

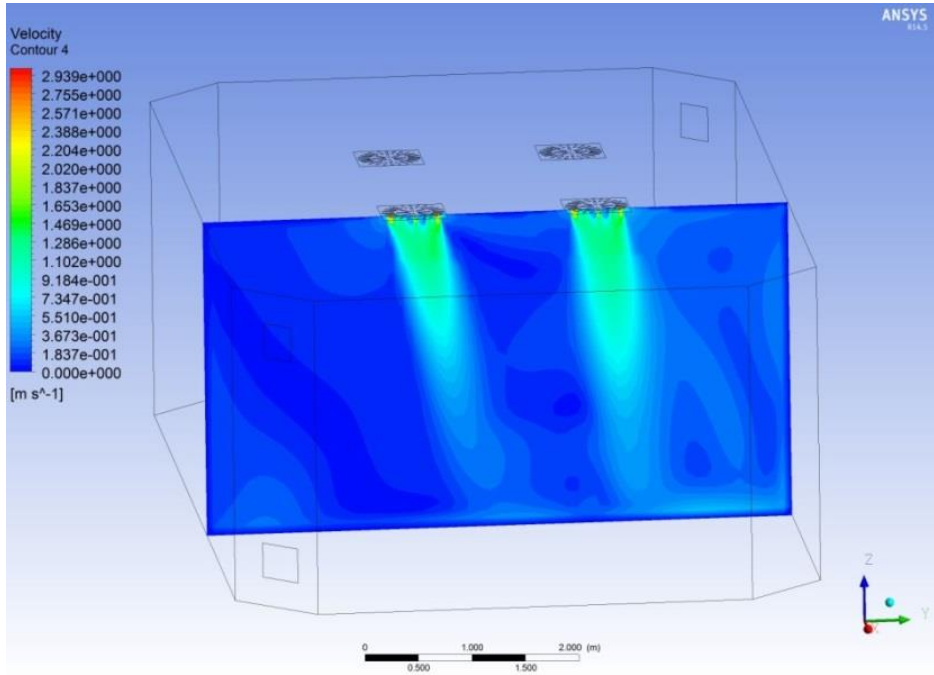


Şekil 4.141 $T_o=21^{\circ}\text{C}$ için yz ekseninde bağıl nem dağılımı

Şekil 4.138-4.139’da $T_0=21^\circ\text{C}$ için difüzörlü odadaki sıcaklık dağılımı, şekil 4.140-4.141’de ise oda içerisindeki bağıl nem dağılımı iki farklı kesitte görülebilir. Dağılım diğer analizlerde olduğu gibi oda genelinde oldukça yakındır.

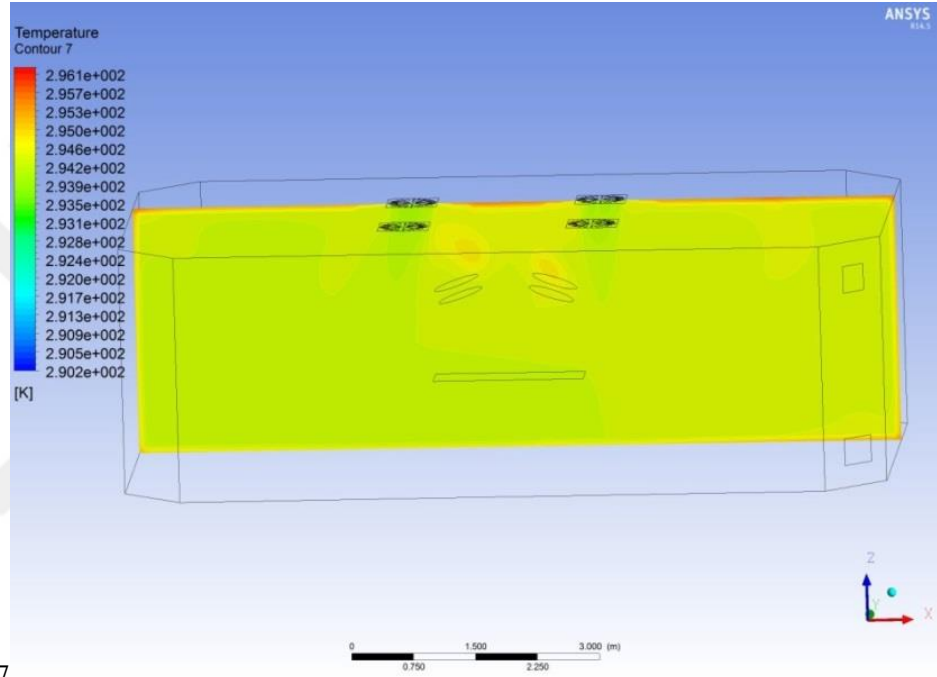


Şekil 4.142 $T_0=22^\circ\text{C}$ için xz ekseninde hava hızı dağılımı



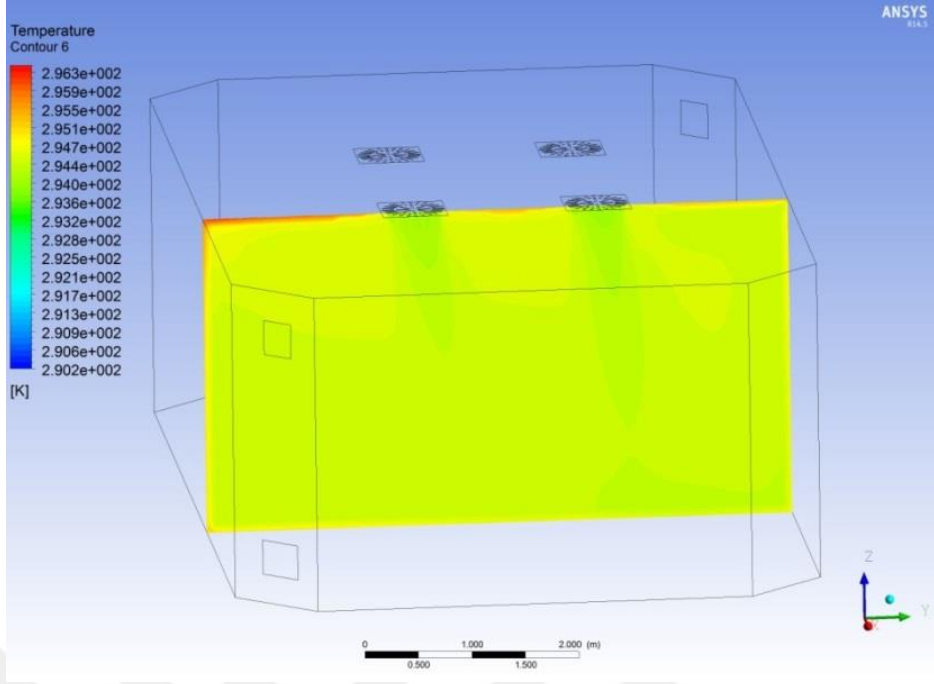
Şekil 4.143 $T_0=22^\circ\text{C}$ için yz ekseninde hava hızı dağılımı

Şekil 4.142-4.143'te $T_o=22^\circ\text{C}$ 'de ölçülen hava giriş hızı değerine göre yapılan analizlerden elde edilen oda içerisindeki iki farklı kesitteki hava hızı dağılımı görülmektedir. Ölçülen hız değeri bu oda sıcaklığında daha yüksek olduğundan difüzörlerin altında ve oda genelindeki hava hızları normal olarak daha yüksektir. Benzer şekilde LAF üniteli sisteme göre oldukça düzensiz bir hava dağılımı söz konusudur.

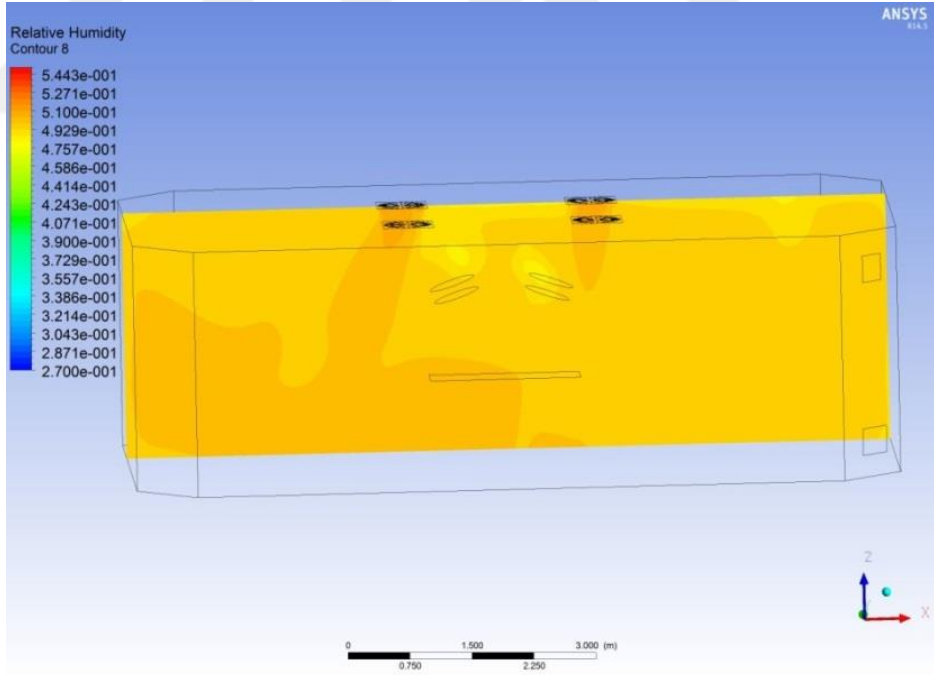


7

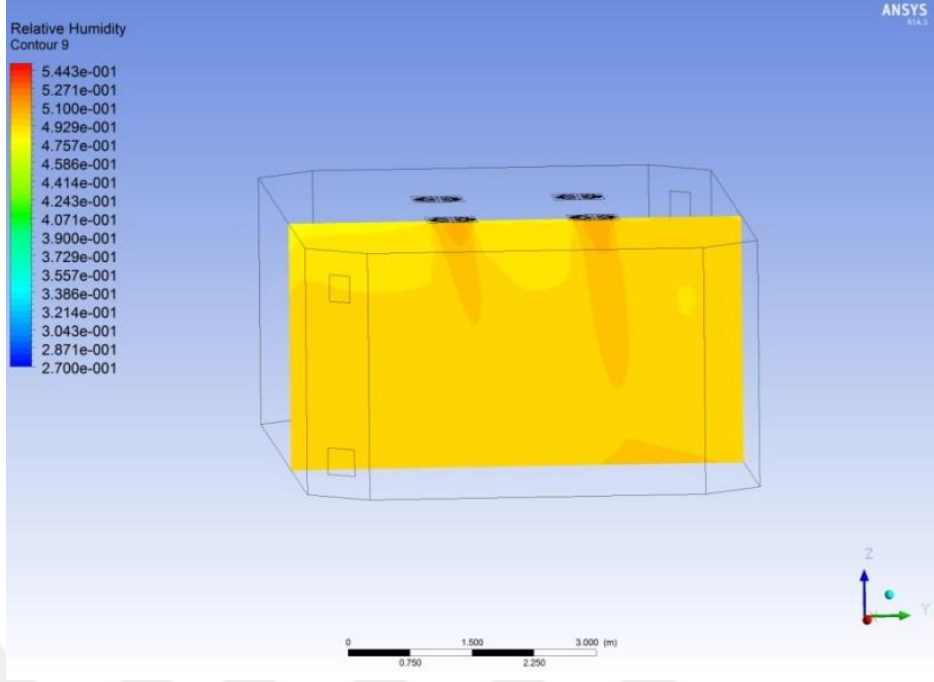
Şekil 4.144 $T_o=22^\circ\text{C}$ için xz ekseninde sıcaklık dağılımı



Şekil 4.145 $T_0=22^\circ\text{C}$ için yz ekseninde sıcaklık dağılımı

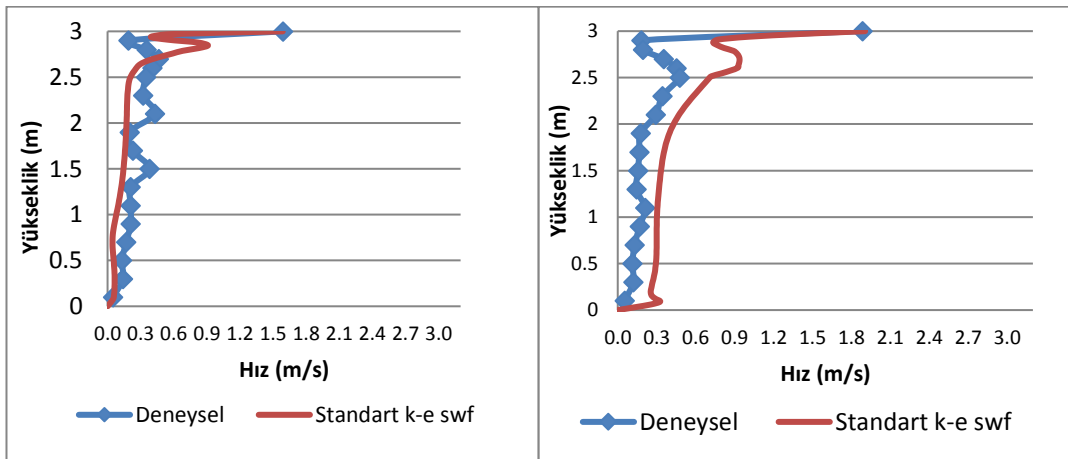


Şekil 4.146 $T_0=22^\circ\text{C}$ için xz ekseninde bağıl nem dağılımı



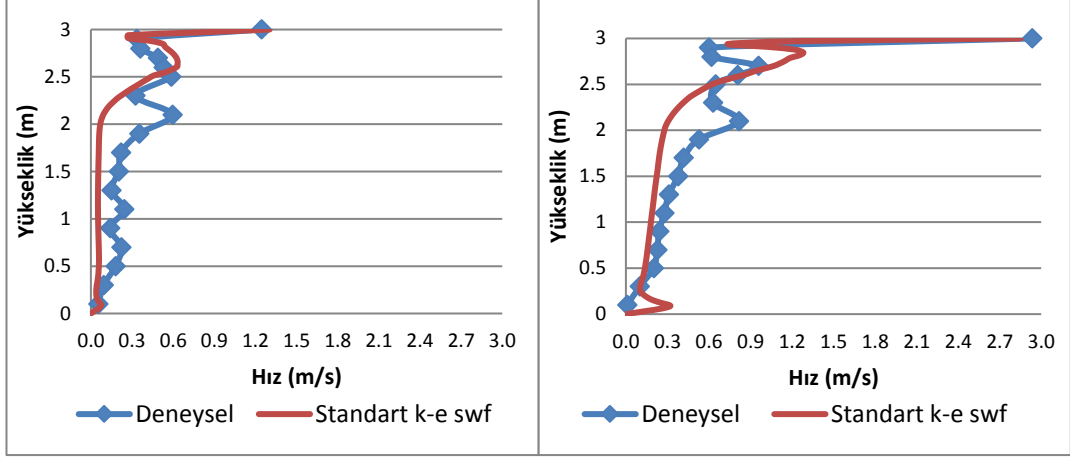
Şekil 4.147 $T_0=22^\circ\text{C}$ için yz ekseninde bağıl nem dağılımı

Şekil 4.144-4.145'de $T_0=22^\circ\text{C}$ 'de oda içerisindeki sıcaklık dağılımı, şekil 4.146-4.147'de ise aynı sıcaklıkta oda içerisindeki bağıl nem dağılımı iki farklı kesitte görülmektedir. Dağılımlar oda genelinde hemen hemen aynıdır.



Şekil 4.148 $T_0=19^\circ\text{C}$ için yükseklik-hız grafiği

Şekil 4.149 $T_0=20^\circ\text{C}$ için yükseklik-hız grafiği



Şekil 4.150 $T_0=21^\circ\text{C}$ için yükseklik-hız grafiği

Şekil 4.151 $T_0=22^\circ\text{C}$ için yükseklik-hız grafiği

Şekil 4.148-Şekil 4.151 arasındaki grafiklerde sırasıyla $T_{\text{oda}} = 19^\circ\text{C}-22^\circ\text{C}$ aralığındaki belirli bir çizgi üzerinden alınan yükseklik-hız grafikleri verilmiştir. Grafiklere bakıldığında yapılan analizlerden elde edilen ölçümlerle, ameliyathaneden alınan ölçümler birbirlerine yakın bir profil izlemektedir. Analizde giren hava hızı kesintisiz olarak aynı değerde hesaplanırken, oda içerisinde giren hava hızı sürekli değişmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ameliyathane odalarındaki iklimlendirmenin amacının konforun yanı sıra hastayı enfeksiyondan korumak olduğundan söz edilmişti. Yeni standartlarda laminar akış ünitesinin kullanılmasının zorunlu tutulmasının amacı, havanın tavandan yere kadar bir perde gibi inmesini sağlayarak türbülansı mümkün olduğunca azaltmak ve partikül sayısını kontrol altında tutmaktır. Ancak bu sistem standartlarda belirtilen hava giriş hızı değerinin altındaki hızlarda çalıştırıldığında, partikül sayısı açısından difüzörlü sistemden pek bir farkı kalmadığını rahatlıkla görülebilir. Çalışma yapılan ameliyathanedeki gibi günlük kullanım şartı $V_g=0.1$ m/s olan bir LAF üniteli ameliyathane ile difüzörlü bir ameliyathanedeki ameliyat masası üzerinde özellikle enfeksiyona sebep olan $\geq 0,5\mu\text{m}$ boyutundaki partikül sayılarının standart dışı olduğu görülmektedir. Oldukça yüksek maliyetlere kurulan LAF üniteli sistemler, görevlerini yerine getirememekte ve yapılan yatırımın bir önemi kalmamaktadır. Bir ameliyathaneye LAF üniteli sistem kurulmasının, enfeksiyon riskini azaltacağı anlamına gelmediği de buradan açıkça görülebilmektedir. Sistemin mutlaka standartlarda belirtilen şartlarda çalıştırılması gerekmektedir.

LAF üniteli klima sisteminde, $V_g=0.2$ m/s hızdayken hava giriş sıcaklığının oda sıcaklığından düşük olduğu zaman aralığında havanın uygun hızlarda zemine kadar inerek bir perde oluşturabildiğini rahatlıkla görebiliriz. Partikül ölçümleri sırasında özellikle bu süreç sırasında partikül sayılarındaki artışın oldukça azaldığı görülmüştür. Hava giriş sıcaklığı yükseldiği zaman aralığında ise her iki giriş hızında havanın aşağı iniş hızlarının birbirine yakın olduğu ve zemine kadar ulaşamadığı görülebilmektedir. Bu sebepten dolayı hava iyi bir perdeleme görevi görememektedir. Partikül ölçümlerinde, partikül sayılarının özellikle bu süreçte çok fazla arttığı gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığı yükseldikçe bu süreç, odanın soğutulma sürecinden daha uzun sürdüğünden partikül sayıları biraz daha fazla çıkmıştır. İklimlendirme sistemi çalışırken hava giriş sıcaklığının mümkün olduğunca oda sıcaklığından düşük tutulmasında fayda vardır.

Ayrıca nem kontrolü de olmadığından odanın bağıl nemi yaz-sonbahar aylarında yapılan ölçümlerde çok yüksek, kış aylarında ise çok düşük çıkmıştır. Yüksek nem,

rahatsız edici bir ortama sebep olmakla birlikte bakteri üremesini de hızlandıran bir durumdur. Düşük nemde ise cihazların statik elektrik yüklenmesinden dolayı yangın çıkma ihtimali bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ameliyathanelerde mutlaka nem kontrolü yapılması gerekmektedir.

Odaların modellenerek CFD analizleri de yapılmış ve alınan ölçümlerle kıyaslamaları yapılarak grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen değerler birbirine yakındır ve gerekli durumlarda ameliyathane içinde ölçüm almadan, sadece analiz yapılarak oda içerisindeki sıcaklık, hava hızı ve bağıl nem dağılımları incelenerek genel bir fikir edinilebilir. Hava giriş sıcaklığı ile oda sıcaklığı arasındaki farkın, havanın aşağı iniş hızını nasıl etkilediği bu analizlerde de rahatlıkla görülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anıl, O.B., Mobedi, M., Özerdem, M.B. 2007.** Hastane hijyenik ortamları için klima ve havalandırma sistemleri tasarım parametreleri. 8. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, 25-28 Ekim 2007, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Anıl, O.B., Mobedi, M., Özerdem, M.B. 2008.** Hastanelerin hijyenik sınıf 1 ortamlarında kullanılan klima ve havalandırma sistemleri için tasarım parametreleri. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 58: 23-30.
- Anıl, O.B., Mobedi, M., Özerdem, M.B. 2009.** Bir ameliyat odasında klima ve havalandırma tasarım parametrelerinin değişimi üzerine deneysel bir çalışma. 9. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, 6-9 Mayıs 2009, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Anonim, 2016.** Helisel difüzör ürün kataloğu. İmeksan. [http://www.imeksan.com/katalog/helisel-difuzorler/isda-1.pdf-\(05.10.2016\)](http://www.imeksan.com/katalog/helisel-difuzorler/isda-1.pdf-(05.10.2016)).
- Atılğan, İ., Ataer, Ö.E. 2009.** Isıl konfor analizinin uygulanması. 9. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, 6-9 Mayıs 2009, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Balaras, C.A., Dascalaki, E., Gaglia, A. 2007.** HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. *Energy and Buildings*, 39(4): 454-470.
- Balocco, C., Petrone, G., Cammarata, G., Vitali, P., Albertini, R., Pasquarella, C. 2014.** Indoor Air Quality in a Real Operating Theatre under Effective Use Conditions. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 7(11): 866-883.
- Boylu, A. 2009.** Ameliyathane ve yoğun bakım hijyenik havalandırma sistemlerinin performans doğrulaması. 9. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, 6-9 Mayıs 2009, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Chen, H.C., Patel, V.C. 1988.** Near-wall turbulence models for complex flows including separation. *The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal*, 26(6): 641-648.
- Chow, T.T., Yang, X.Y. 2003.** Performance of ventilation system in a non-standard operating room. *Building and Environment*, 38(12): 1401-1411.
- Chow, T.T., Yang, X.Y. 2005.** Ventilation performance in the operating theatre against airborne infection: numerical study on an ultra-clean system. *Journal of Hospital Infection*, 59(2): 138-147.
- Chow, T.T., Lin, Z., Bai, W. 2006.** The integrated effect of medical lamp position and diffuser discharge velocity on ultra-clean ventilation performance in an operating theatre. *Indoor and Built Environment*, 15(4): 315-331.
- Dharan, S. and Pittet, D. 2002.** Environmental controls in operating theatres. *Journal of Hospital Infection*, 51(2): 79-84.
- Diab-Elschahawi, M., Berger, J., Blacky, A., Kimberger, O., Oguz, R., Kuelpmann, R., Kramer, A. and Assadian, O. 2011.** Impact of different-sized laminar air flow versus no laminar air flow on bacterial counts in the operating room during orthopedic surgery. *American Journal of Infection Control*, 39(7): 25-29.
- El Hamid Attia, A., El Helw, M. and Teamah, H.A.M. 2013.** Three-dimensional Thermal Comfort Analysis for Hospital Operating Room with the Effect of Door Gradually Opened Part (I) Effect on Velocity and Temperature Distributions. *CFD Letters*, 5(1): 6-19.
- Forejt, L., Drkal, F., Hensen, J., In Seppänen, O., Säteri, J., Seppänen, O. 2007.** June. Assessment of operating room air distribution in a mobile hospital: field

experiment based on VDI 2167. In Proceedings of the 10th int roomvent conference, 13-15 Haziran 2007, Helsinki.

El Gharbi, N., Benzaoui, A., Khalil, E.E., Kameel, R. 2012. Analysis of indoor air quality in surgical operating rooms using experimental and numerical investigations. *Mechanics & Industry*, 13(2): 123-126.

Han, Y., Hu, Y., Qian, F. 2011. Effects of air temperature and humidity on particle deposition. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(10): 2063-2069.

Ho, S.H., Rosario, L., Rahman, M.M. 2009. Three-dimensional analysis for hospital operating room thermal comfort and contaminant removal. *Applied Thermal Engineering*, 29(10): 2080-2092.

Huang, P.G., Bradshaw, P., Coakley, T.J. 1993. Skin friction and velocity profile family for compressible turbulent boundary layers. *The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal*, 31(9): 1600-1604.

Jayatileke, C.L.V. 1966. The influence of Prandtl number and surface roughness on the resistance of the laminar sub-layer to momentum and heat transfer. *Doctoral Dissertation*, University of London.

Kader, B.A. 1981. Temperature and concentration profiles in fully turbulent boundary layers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 24(9): 1541-1544.

Lauder, B.E., Spalding, D.B. 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2): 269-289.

Liu, Y., Moser, A., Harimoto, K. 2003. Numerical study of airborne particle transport in an operating room. *International Journal of Ventilation*, 2(2): 103-110.

Loomans, M.G.L.C., Van Houdt, W., Lemaire, A.D., Hensen, J.L.M. 2008. Performance Assessment of an Operating Theatre Design Using CFD Simulation and Tracer Gas Measurements. *Indoor and Built Environment*, 17(4): 299-312.

McNeill, J.S., Zhai Z., Hertzberg J. 2012. Field Measurements of Thermal Conditions During Surgical Procedures for the Development of CFD Boundary Conditions. *ASHRAE Transactions*, 118: 596-609.

Memarzadeh, F., Manning, A.P. 2002. Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site. Discussion. *ASHRAE Transactions*, 108: 3.

Pasquarella, C., Sanebastiano, G.E., Ferretti, S., Saccani, E., Fanti, M., Moscato, U., Giannetti, G., Fornia, S., Cortellini, P., Vitali, P., Signorelli, C. 2007. A mobile laminar airflow unit to reduce air bacterial contamination at surgical area in a conventionally ventilated operating theatre. *Journal of Hospital Infection*, 66(4): 313-319.

Rui, Z., Guangbei, T., Jihong, L. 2008. Study on biological contaminant control strategies under different ventilation models in hospital operating room. *Building and Environment*, 43(5): 793-803.

Sadrizadeh, S., Tammelin, A., Ekolind, P., Holmberg, S. 2013. Influence of staff number and internal constellation on surgical site infection in an operating room. *Particuology*, 13: 42-51.

Sadrizadeh, S., Holmberg, S. 2015. Effect of a portable ultra-clean exponential airflow unit on the particle distribution in an operating room. *Particuology*, 18: 170-178.

Smith, E.B., Raphael, I.J., Maltenfort, M.G., Honsawek, S., Dolan, K., Younkins, E.A. 2013. The effect of laminar air flow and door openings on operating room contamination. *The Journal of Arthroplasty*, 28(9): 1482-1485.

- Swift, J., Avis, E., Millard, B., Lawrence, T.M. 2007.** Air distribution strategy impact on operating room infection control. In Proceedings of Clima, 10-14 June 2007, Helsinki.
- Van Gaever, R., Jacobs, V.A., Diltoer, M., Peeters, L., Vanlanduit, S. 2014.** Thermal comfort of the surgical staff in the operating room. *Building and Environment*, 81: 37-41.
- Vilain, R., Pereira, M.L., Felix, V., Tribess, A. 2013.** Thermal comfort and local discomfort in an operating room ventilated with spiral diffuser jet. *HVAC&R Research*, 19(8): 1016-1022.
- Wang, F., Lee, M., Cheng, T., Law, Y. 2012.** Field evaluation of thermal comfort and indoor environment quality for a hospital in a hot and humid climate. *HVAC&R Research*, 18(4): 671-680.
- Wang, F.J., Lai, C.M., Cheng, T.J., Liu, Z.Y. 2010.** Performance Investigation for the Cleanroom Contamination Control Strategy in an Operating Room. *ASHRAE Transactions*, 116(1): 74-80.
- White, F.M., Christoph, G.H. 1971.** A simple new analysis of compressible turbulent two-dimensional skin friction under arbitrary conditions. Rhode island university kingston dept. of mechanical engineering and applied mechanics. Technical Report AFFDL-TR-70-133
- Wolfshtein, M. 1969.** The Velocity and Temperature Distribution of One-Dimensional Flow with Turbulence Augmentation and Pressure Gradient. *International Journal of Heat Mass Transfer*. 12: 301–318.
- Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., Yamankaradeniz, N. 2012.** İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları. Dora Yayınevi, Bursa, 602 s.
- Zoon, W.A.C., Heijkant, S.A.M., Hensen, J.L.M., Loomans, M.G.L.C. 2007.** Assessment of the performance of the airflow in an operating theatre. In Proceedings of the 10th int roomvent conference, 13-15 Haziran 2007, Helsinki.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hande Ufat
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 07.03.1983
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Cumhuriyet Lisesi 1996-2000
Lisans : Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 2000-2004
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bilim Dalı 2007-2010

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Etkin Mühendislik 2005
Evo Mühendislik 2006
Biytaş A.Ş. 2007
Uludağ Üniversitesi Makine Müh. Böl. Araştırma Görevlisi 2007- Devam ediyor

İletişim (e-posta) : handet@uludag.edu.tr

Yayınları

:
Şimsek, Z., Yamankaradeniz, R., Akıncıtürk, N., Yamankaradeniz, N., Ufat, H. 2016. Fire Safety Precautions Taken as a Result of Fire Environment Analysis in Intensive Care Units and Pathology Laboratories. *International Refereed Journal of Design and Architecture*, 7:13-28.

Ufat, H., Kaynaklı, O., Yamankaradeniz, N., Yamankaradeniz, R. 2017. Three-dimensional air distribution analysis of different outflow typed operating room at different inlet velocities and room temperature. *Advances in Mechanical Engineering*. Kabul edildi. DOI: 10.1177/1687814017707414

Ufat, H., Yamankaradeniz, R. 2017. Farklı Oda Sıcaklığı ve Hava Hızı Değerlerinde İki Farklı Ameliyathanede Ameliyat Masası Üzerindeki Partikül Sayılarının İncelenmesi. 13. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, 19-22 Nisan 2017, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.