

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**LAMİNER HAVA AKIŞINA SAHİP BİR AMELİYATHANEDE PARTİKÜL  
KONTROLÜNÜN SAYISAL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Mühendisi Aleyna AĞIRMAN**

**HAZİRAN 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
Aleyna AĞIRMAN Tarafından Hazırlanan**

**LAMİNER HAVA AKIŞINA SAHİP BİR AMELİYATHANEDE PARTİKÜL  
KONTROLÜNÜN SAYISAL ANALİZİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Orhan AYDIN**

**Üye : Doç. Dr. Mete AVCI**

**Üye : Prof. Dr. Bayram ŞAHİN**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Ameliyathaneler teknik anlamda bir temiz oda örneğidir ve hastanelerde en yüksek derecede hijyen gerektiren mahallerdir. Ameliyathanelerde gerek çalışan personel ve hastalardan, gerekse de odaya sokulan cihazlardan kaynaklı oluşan patojen partiküller, cerrahi alanda enfeksiyon riski oluşturmaktadır. Cerrahi alan enfeksiyon riski kullanılan havalandırma sistemi ile doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden, ameliyathanelerde temiz hava sisteminin standartlara uygun olarak tasarlanması ve belirli zaman aralıklarında partikül ölçümlerinin alınması gerekmektedir.

Yüksek lisans tezi kapsamında, laminer hava akışına sahip bir ameliyathanedeki hava akışı ve partikül dağılımı farklı geometrik ve akış koşulları için sayısal olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, cerrahi alandaki partikül dağılımı ve hava değişim verimliliği üzerinde tavan yüksekliği, çıkış menfez konumu, hava değişim katsayısı, laminer akış ünitesinin etkileri araştırılmıştır.

Yüksek lisans eğitimim süresince, her zaman görüş ve desteğini gördüğüm değerli hocam Sayın Prof. Dr. Orhan AYDIN'a, engin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mete AVCI'ya ve Öğr. Gör. Yunus Emre ÇETİN'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Bu süreçte yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Mehmet SAĞLAM'a ve Arş. Gör. Soner BİRİNCİ'ye teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini yanımda hissettiğim aileme sonsuz teşekkür ederim.

Aleyna AĞIRMAN  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Laminer Hava Akışına Sahip Bir Ameliyathanede Partikül Kontrolünün Sayısal Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Mete AVCI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10/06/2019

Aleyna AĞIRMAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLOLAR DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Temiz Oda Standartları.....	2
1.1.1. U. S. 209 Standartları.....	2
1.1.2. ISO Standartları 14644 .....	3
1.1.3. Hastanelerdeki Temiz Odalar İçin Sınıflandırma .....	4
1.2. Ameliyathanelerde Kullanılan Havalandırma Sistemleri .....	5
1.2.1. Karma Havalandırma Sistemi .....	6
1.2.2. Laminer Havalandırma Sistemi .....	6
1.2.3. Deplasmanlı Havalandırma Sistemi .....	7
1.2.4. Hibrit Havalandırma Sistemi .....	8
1.2.5. Sıcaklık Kontrollü Havalandırma Sistemi .....	9
1.3. Literatür Özeti.....	9
1.4. Tezin Amacı, Kapsamı ve Özgün Değeri .....	22
2. SAYISAL ÇALIŞMA .....	24
2.1. Geometrik Modelin Oluşturulması .....	24
2.2. Hava Akışının Modellenmesi .....	25
2.3. Partikül Hareketinin Modellenmesi .....	27
2.4. Sınır Koşulları.....	28
2.5. Ağ Yapısı .....	29
2.6. Matematiksel Modelin Doğrulanması .....	32

3.	BULGULAR VE İRDELEME .....	36
3.1.	Hava Değişim Katsayısının Etkisi .....	36
3.2.	Tavan Yüksekliğinin Etkisi .....	39
3.3.	Laminer Akış Difüzör Boyutunun Etkisi.....	43
3.4.	Çıkış Menfez Konum ve Sayısının Etkisi.....	48
3.5.	Hava Değişim Verimliliği.....	53
4.	SONUÇLAR.....	63
5.	ÖNERİLER.....	65
6.	KAYNAKLAR .....	66

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

LAMİNER HAVA AKIŞINA SAHİP BİR AMELİYATHANEDE PARTİKÜL  
KONTROLÜNÜN SAYISAL ANALİZİ

Aleyna AĞIRMAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Mete AVCI  
2019, 69 Sayfa

Bu tezde, laminer havalandırma sistemine sahip bir ameliyathanedeki hava akışı ve partikül dağılımı farklı geometrik ve akış koşulları için sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada, tavan yüksekliği, çıkış menfez konum ve sayısı, laminer akış difüzör boyutu, hava değişim katsayısı ve partikül boyutu araştırma parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin cerrahi alandaki partikül dağılımı ve hava değişim verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ameliyathane boyutlarının oluşturulmasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Farabi hastanesinde yer alan bir ameliyathane referans olarak dikkate alınmıştır. Sayısal çalışma, ANSYS Fluent (v.15) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Genel karakter olarak incelenen her bir araştırma parametresi için, laminer havalandırma sistemi ile cerrahi alan üzerinde tek yönlü bir hava akışının olduğu belirlenmiştir. Ameliyathane tavan yüksekliğinin azalması ve hava değişim katsayısının artmasıyla cerrahi alandaki partikül miktarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, çıkış menfez konum ve sayısının enfeksiyon yayılım kontrolünde etkili olduğu ve laminer akış ünitesi boyutunun artmasıyla hasta etrafındaki partikül konsantrasyonunun önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ameliyathane, Partikül dağılımı, Tavan yüksekliği, Menfez konumu, Hava değişim katsayısı, Laminer akış difüzör boyutu.



Master Thesis

SUMMARY

NUMERICAL ANALYSIS of PARTICULAR CONTROL in an OPERATING ROOM  
with LAMINAR AIRFLOW

Aleyna AGIRMAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mechanical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Doç. Dr. Mete AVCI  
2019, 69 Pages

In this thesis, the airflow and particle distribution in an operating room with laminar ventilation system are investigated numerically for different geometric and flow conditions. In this study, the ceiling height, air exhaust – outlet position and number, laminar flow diffuser size, air change rate and particle diameter are determined as the research parameters. The effects on the particle distribution in the surgical field and air exchange efficiency of these parameters are investigated. An operating room that is located in Karadeniz Technical University Farabi Hospital is considered as a reference for the establishment of operating room dimensions. Numerical study is performed with ANSYS Fluent (v.15) software. For each research parameter examined, as a general character, it is determined that the laminar ventilation system creates an unidirectional airflow over the surgical area. It is determined that the amount of particle in the surgical field decrease with decreasing of the ceiling height in the operating room and increasing of the air change rate. In addition, it is found that the air – exhaust outlet number and location are effective in controlling the spread of infection and the particle concentration around the patient decrease significantly with increasing of the laminar airflow unit size.

**Key Words:** Operating room, Particle distribution, Ceiling height, Exhaust outlet, Air change rate, Laminar flow diffuser size.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Karma havalandırma sistemi .....	6
Şekil 1.2. Yatay laminer havalandırma sistemi .....	7
Şekil 1.3. Dikey laminer havalandırma sistemi .....	7
Şekil 1.4. Deplasmanlı havalandırma sistemi .....	8
Şekil 1.5. Hibrit havalandırma sistemi.....	8
Şekil 1.6. Sıcaklık kontrollü havalandırma sistemi .....	9
Şekil 2.1. Model ameliyathanenin izometrik görünüşü .....	24
Şekil 2.2. Kirletici kaynak konumu .....	29
Şekil 2.3. Ameliyathaneye uygulanan ağ yapısı .....	30
Şekil 2.4. Ameliyat masası üzerindeki ölçüm noktaları ( $y = 1.1$ m) .....	31
Şekil 2.5. Model odanın geometrisi ve ölçüm noktaları (Chen vd., 2006).....	32
Şekil 2.6. Üç farklı lokasyonda 0.225 m/s giriş hızı için x doğrultusundaki yerel hızların karşılaştırılması.....	33
Şekil 2.7. Üç farklı lokasyonda 0.225 m/s giriş hızı için partikül konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması .....	33
Şekil 2.8. Model odanın geometrisi ve ölçüm noktaları (Zhang vd., 2006) .....	34
Şekil 2.9. Üç farklı lokasyonda yerel hız ve sıcaklıkların karşılaştırılması; (a) hız, (b) normalize edilmiş sıcaklık .....	35
Şekil 2.10. Üç farklı lokasyonda partikül konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 3.1. Ameliyat masasının merkez düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) 20 HDK, (b) 30 HDK ve (c) 40 HDK.....	37
Şekil 3.2. Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu (20 $\mu$ m); (a) 20 HDK, (b) 30 HDK ve (c) 40 HDK.....	38
Şekil 3.3. Üç farklı HDK altında ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı.....	39
Şekil 3.4. Farklı tavan yükseklikleri için ameliyat masasının merkez düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) 2.43 m, (b) 2.8 m ve (c) 3 m.....	41
Şekil 3.5. Farklı tavan yükseklikleri için ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu (20 $\mu$ m); (a) 2.43 m, (b) 2.8 m ve (c) 3 m...	42

Şekil 3.6.	Üç farklı tavan yüksekliğinde ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı .....	43
Şekil 3.7.	Ameliyat masasının merkez düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) 1.8 m x 1.8 m, (b) 2.4 m x 2.4 m ve (c) 3.2 m x 3.2 m ..	45
Şekil 3.8.	Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu (20 µm); (a) 1.8 m x 1.8 m, (b) 2.4 m x 2.4 m ve (c) 3.2 m x 3.2 m .....	46
Şekil 3.9.	Üç farklı laminer akış difüzör boyutunda ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı .....	47
Şekil 3.10.	Dört farklı çıkış menfez konumu; (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) alt – üst menfez.....	48
Şekil 3.11.	Ameliyat masasının merkez düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) üst – alt menfez.....	49
Şekil 3.12.	Ameliyat lambasının merkez düzlemindeki (z = 2.04 m) akım çizgileri; (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) üst – alt menfez.....	50
Şekil 3.13.	Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu (20 µm); (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) alt – üst menfez.....	52
Şekil 3.14.	Farklı menfez konum ve sayılarında ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı .....	53
Şekil 3.15.	Ameliyat masası düzlemindeki ortalama hava yaşı; (a) 20 HDK, (b) 30 HDK ve (c) 40 HDK .....	55
Şekil 3.16.	Ameliyat masası düzlemindeki ortalama hava yaşı; (a) 2.43 m, (b) 2.8 m ve (c) 3 m.....	56
Şekil 3.17.	Ameliyat masası düzlemindeki ortalama hava yaşı; (a) 1.8 m x 2.4 m, (b) 2.4 m x 2.4 m ve (c) 3.2 m x 3.2 m .....	57
Şekil 3.18.	Ameliyat masası düzlemindeki ortalama hava yaşı; (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) üst – alt menfez.....	58
Şekil 3.19.	Hava yaşının hesaplatıldığı alanların izometrik görüntüleri; (a) işgal edilen alan ve (b) solunum alanı .....	59

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1.1. Federal Standart 209D'ye göre temiz oda sınıfları (Whyte, 2001) ....	2
Tablo 1.2. Federal Standart 209E'ye göre temiz oda sınıfları (Whyte, 2001).....	3
Tablo 1.3. Çeşitli standartların karşılaştırılması (Whyte, 2001) .....	3
Tablo 1.4. ISO Temiz oda standartları .....	4
Tablo 1.5. ISO Standart 14644 – 1'e göre temiz oda sınıfları.....	4
Tablo 1.6. Federal Standart 209 ve ISO 14644 – 1'in eşdeğer sınıfları arasında karşılaştırma (Whyte, 2001) .....	4
Tablo 1.7. Yapılan Çalışmalar .....	10
Tablo 2.1. Türbülans modeline ait katsayılar .....	26
Tablo 2.2. Akış hızı için gerçekleştirilen ağ bağımsızlık çalışmasının sonuçları. ....	31
Tablo 2.3. Partikül çökme miktarı için gerçekleştirilen ağ bağımsızlık çalışmasının sonuçları.....	31
Tablo 3.1. Çalışılan üç farklı HDK ve üç farklı partikül çapı değerleri.....	36
Tablo 3.2. Çalışılan üç farklı tavan yüksekliği ve iki farklı partikül çapı değerleri .....	40
Tablo 3.3. Çalışılan üç farklı laminer akış difüzör boyutu ve üç farklı partikül çapı değerleri .....	44
Tablo 3.4. Çalışılan dört farklı çıkış menfez konumu ve üç farklı partikül çapı değerleri .....	48
Tablo 3.5. Farklı HDK değerleri için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri .....	54
Tablo 3.6. Farklı tavan yüksekliği için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri .....	56
Tablo 3.7. Farklı laminer akış difüzör boyutu için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri .....	58
Tablo 3.8. Farklı çıkış menfez konum ve sayısı için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri .....	59
Tablo 3.9. Ameliyathane hacmindeki ortalama hava yaşı ve hava değişim verimliliği .....	60
Tablo 3.10. İşgal edilen alandaki ortalama hava yaşı ve hava değişim verimliliği .....	61



## SEMBOLLER DİZİNİ

$C$	: realizable k- $\epsilon$ türbülans modelinde kullanılan denklem katsayıları
$C_d$	:küre şeklindeki partiküller için sürüklenme katsayısı
$d_p$	:partikül çapı [ $\mu\text{m}$ ]
$F_D$	:gevşeme zamanının tersi [1/s]
$F_e$	:partiküle etki eden ek kuvvetler
$g$	: yerçekimi ivmesi [ $\text{m/s}^2$ ]
$G_k$	: hız gradyanlarına bağlı türbülans kinetik enerji üretimi
$G_b$	: kaldırma kuvvetlerine bağlı türbülans kinetik enerji üretimi
$k$	: türbülans kinetik enerjisi
$k_{eff}$	: efektif ısı iletkenlik
$p$	: basınç [Pa]
$Pr_t$	: türbülans Prandtl sayısı
$Re$	: Reynolds sayısı
$S_h$	: kaynak terim
$t$	: zaman [s]
$T$	:sıcaklık [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$u$	: x doğrultusundaki hız bileşeni [m/s]
$u_j$	:kartezyen koordinatlarda hız bileşeni [m/s]
$u_p$	:partikülün hız vektörü [m/s]
$v$	: y doğrultusundaki hız bileşeni [m/s]
$w$	: z doğrultusundaki hız bileşeni [m/s]
$x, y, z$	:kartezyen koordinatlar
$\delta_{ij}$	: kronekar delta

### Greek Harfleri

$\epsilon$	: türbülans kinetik enerjisi yayılım oranı
$\mu$	: akışkanın dinamik viskozitesi [kg/m.s]
$\rho$	: yoğunluk [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\rho_p$	:partikülün yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma_k$	: $k$ için türbülans Prandtl sayısı
$\sigma_\varepsilon$	: $\varepsilon$ için türbülans Prandtl sayısı
$\xi_1, \xi_2, \xi_3$	:partikülün sürüklenme denklemindeki sabitler

### Üst İndisler

'	: çalkantı değeri
—	: ortalama değeri



## 1. GİRİŞ

Günümüzde birçok alanda teknolojinin ilerlemesiyle birlikte kirlilik kontrolü sorunları oluşmuş ve bu sorunlara karşı başlatılan çalışmalar sonucunda temiz oda kavramı ortaya çıkmıştır. Federal Standart 209E'ye göre temiz oda, "Havadaki partikül konsantrasyonunu kontrol altında tutan bir veya daha fazla bölümden oluşan mahallerdir". ISO 14644-1'e göre ise, "Havadaki partikül konsantrasyonu, partikül giriş, üretim ve kalışı kontrol altında olacak şekilde oluşturulan ve kullanılan, sıcaklık, nem ve basınç gibi ilgili diğer parametreleri kontrol altında tutabilen mahallerdir".

Temiz oda, cep telefonları, televizyon ve bilgisayar ekranları, yarı iletken cihaz üretimi, otomobil kaportaların boyanması gibi alanlarda kullanılmasının yanı sıra ilaç üretimi ve hastane gibi insan sağlığını doğrudan ya da dolaylı olarak ilgilendiren alanlarda da kullanılmaktadır. Tıp bilimi, insanların var olan hastalıkları yenebilmeleri için gerekli olan ilaçları ve teknolojiyi başarıyla geliştirmektedir. Ancak, bu teknoloji ameliyathane, yoğun bakım ve laboratuvar gibi mahallerde uygun hava şartlarında kullanılamaz ise maddi kayıplara ve daha da önemlisi ölümlere yol açabilmektedir.

Hastanelerde, hijyenik ortamlar içinde enfeksiyon açısından en büyük riski ameliyathaneler taşımaktadır. Ameliyathanelerde uygulanan sterilizasyona büyük ölçüde önem gösterilmesine rağmen cerrahi alan enfeksiyonları tamamıyla ortadan kaldırılmış değildir. Cerrahi alan enfeksiyonu, cerrahi işleme bağlı gelişen ve ameliyatı izleyen 30 veya 90 gün içinde meydana gelen enfeksiyondur. Her yıl yaklaşık 27 milyon cerrahi prosedür gerçekleştirildiğinde, bu sayının yaklaşık 700,000 kadarı hasta için cerrahi alan enfeksiyon riski oluşturmaktadır (Nichols, 2001). Havadaki patojen partikül sayısı ile cerrahi alan enfeksiyonu gelişme riski doğrudan ilişkilidir. *Staphylococcus aureus*'un ameliyathanelerde en sık rastlanan bakteriyel patojen olduğu enfeksiyon alanındaki uzmanlar arasında yaygın olarak kabul görmektedir. Cerrahi alan enfeksiyonlarını başlatabilen *Staph* bakterisinin birçok tipi çoğu antibiyotiklere karşı direnç göstermeye başladığı için son zamanlarda büyük bir endişe konusu olmuştur. Ameliyat sırasında ilgili personelden hastaya yayılan partiküller, cerrahi alan enfeksiyonlarının ana kaynağını oluşturmaktadır. Hasta ve personelde enfeksiyon riski olarak düşünülen partikül çapları, 2.5-20 µm arasında değişmektedir (Chow ve Yang, 2005). Cerrahi alanda enfeksiyon oluşumunu azaltmak için, cerrahi kıyafetlerin



uygun şekilde kullanılması, cerrahi personel sayısının ve ortamdaki faaliyetinin azaltılması ve etkin bir havalandırma sisteminin kullanılması gerekmektedir.

### 1.1. Temiz Oda Standartları

Temiz oda sınıfının seçimi, temiz oda dizaynının en önemli aşamalarından birisidir. Çalışma alanlarına göre temiz odaların sınıflandırılması farklılık göstermektedir. Temiz oda sınıflandırılmasında en önemli kıstas, ortam havasındaki partikül çapı ve konsantrasyondur.

#### 1.1.1. U.S. 209 Standartları

Temiz oda teknolojisinin temel standardı olarak kabul edilen Federal Standart 209 Amerika'da 1963 yılında oluşturulmuş ve "Temiz oda ve iş istasyonu gereklilikleri, kontrollü çevre" olarak adlandırılmıştır. 1966 yılında 209A, 1973'de 209B, 1987'de 209C, 1988'de 209D ve 1992'de 209E olarak revize edilmiştir. Federal Standart 209 (A-D)'ye kadar olan sınıflandırma, temiz oda sınıfı odanın, 1 feet küpündeki 0.5 mikrondan büyük partiküllerin ölçülmesi ile bulunmaktadır. Tablo 1.1'de Federal Standart 209D'ye göre temiz oda sınıfları verilmektedir.

Tablo 1.1. Federal Standart 209D'ye göre temiz oda sınıfları (Whyte, 2001)

Sınıf Adı	Partikül Sayısı/ft <sup>3</sup>				
	$\geq 0.1\mu\text{m}$	$\geq 0.2\mu\text{m}$	$\geq 0.3\mu\text{m}$	$\geq 0.5\mu\text{m}$	$\geq 5.0\mu\text{m}$
1	35	7.5	3	1	-
10	350	75	30	10	-
100	-	750	300	100	-
1000	-	-	-	1000	7
10000	-	-	-	10000	70
100000	-	-	-	100000	700

Federal Standart 209E'de ise sınıflandırma 0.5 mikrondan büyük partiküllerin konsantrasyonunun logaritması olarak belirlenmiştir. Tablo 1.2'de Federal Standart 209E'ye göre temiz oda sınıflandırılması, Tablo 1.3'de ise diğer ülkelerin standartları ile olan karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 1.2. Federal Standart 209E'ye göre temiz oda sınıfları (Whyte, 2001)

Anılan Çapa Eşit Ya da Büyük Maksimum Tanecik Adedi/m <sup>3</sup> veya ft <sup>3</sup>											
Sınıf Adı		≥ 0.1 µm		≥ 0.2 µm		≥ 0.3 µm		≥ 0.5 µm		≥ 5.0 µm	
		Hacim Birimi		Hacim Birimi		Hacim Birimi		Hacim Birimi		Hacim Birimi	
SI	İngiliz	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )
M 1		350	9,91	75,7	2,14	30,9	0,875	10	0,283	-	-
M 1.5	1	1.240	35	265	7,5	106	3	35,3	1	-	-
M 2		3.500	99,1	757	21,4	309	8,75	100	2,83	-	-
M 2.5	10	12.400	350	2.650	75,0	1.060	30	353	10	-	-
M 3		35.000	991	7.570	214	3.090	87,5	1.000	28,3	-	-
M 3.5	100	-	-	26.500	750	10.600	300	3.530	100	-	-
M 4		-	-	75.700	2.14	30.900	875	10.000	283	-	-
M 4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35.300	1.000	247	7
M 5		-	-	-	-	-	-	100.000	2.830	618	17,5
M 5.5	10.000	-	-	-	-	-	-	353.000	10.000	2.470	70
M 6		-	-	-	-	-	-	1.000.000	28.300	6.180	175
M 6.5	100.000	-	-	-	-	-	-	3.350.000	100.000	24.700	700
M 7		-	-	-	-	-	-	10.000.000	283.000	61.800	1.750

Tablo 1.3. Çeşitli standartların karşılaştırılması (Whyte, 2001)

USA 209 E 1992	ISO 14644-1 1997	Japan B 9920 1989	France *44101 1981	Germany VDI 2083 1990	UK BS 5295 1989	Australia AS 1386 1989
	ISO Class 1	1				
1	ISO Class 2	2		0		
10	ISO Class 3	3		1	C	0.035
100	ISO Class 4	4		2	D	0.35
1.000	ISO Class 5	5	4.000	3	E,F	3.5
10.000	ISO Class 6	6	-	4	G,H	35
100.000	ISO Class 7	7	4.000.000	5	J	350
	ISO Class 8	8	4.000.000	6	K	3.500
	ISO Class 9			7	L	

### 1.1.2 ISO Standartları 14644

Her ülkenin kendi standartlarını belirlemesiyle birlikte birçok temiz oda standardı oluşmuştur. Dolayısıyla, tüm dünya çapında kabul gören ortak bir standarda ihtiyaç duyulmuştur. Tablo 1.4'te ISO Temiz oda standartları, Tablo 1.5'te ISO Standart 14644-1'e göre temiz oda sınıflandırılması ve Tablo 1.6'da ise Federal Standart 209 - ISO Standart 14644-1'in seçilmiş eşdeğer sınıfları arasındaki karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo 1.4. ISO Temiz oda standartları

ISO-14644-1	Temiz Havanın Sınıflandırılması
ISO-14644-2	Temiz Oda Test Ve Uygunluk
ISO-14644-3	Ölçüm Ve Çevre Kontrol Yöntemleri
ISO-14644-4	Temiz Oda Dizayn Ve İnşai İşleri
ISO-14644-5	Temiz Oda Uygulama
ISO-14644-6	Terimler, Tanımlar Ve Birimler
ISO-14644-7	Gelişmiş Temiz Oda Cihazları
ISO-14644-8	Moleküler Kirlilik
ISO-14698-1	Bio Kirlilik Ve Genel Kontrol Prensipleri
ISO-14698-2	Bio Kirlilik Ölçüm Ve Dataların Yorumu
ISO-14698-3	Bio Kirlilik Durağan Yüzeylerin Temizliğinin Ölçüm Verimliliğinin Metotları

Tablo 1.5. ISO Standart 14644-1'e göre temiz oda sınıfları

ISO Sınıf Numarası	Partikül/m <sup>3</sup>					
	≥ 0.1 µm	≥ 0.2 µm	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1 µm	≥ 5.0 µm
ISO Sınıf 1	10	2				
ISO Sınıf 2	100	24	10	4		
ISO Sınıf 3	1.000	237	102	35	8	
ISO Sınıf 4	10.000	2.370	1.020	352	83	
ISO Sınıf 5	100.000	23.700	10.200	3.520	832	29
ISO Sınıf 6	1.000.000	237.000	102.000	35.200	8.320	293
ISO Sınıf 7				352.000	83.200	2.930
ISO Sınıf 8				3.520.000	832.000	29.300
ISO Sınıf 9				35.200.000	8.320.000	293.000

Tablo 1.6. Federal Standart 209 ve ISO 14644-1'in eşdeğer sınıfları arasında karşılaştırma (Whyte, 2001)

ISO 14644-1 Sınıflar	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 6	Sınıf 7	Sınıf 8
FS 209 Sınıflar	Sınıf 1	Sınıf 10	Sınıf 100	Sınıf 1.000	Sınıf 10.000	Sınıf 100.000

### 1.1.3 Hastanelerdeki Temiz Odalar İçin Sınıflandırma

Alman Standardı DIN 1946, hastanelerdeki odalar için, Sınıf I ve Sınıf II olmak üzere iki grup oluşturmuştur. Bu grupların uygulamada hangi odaları temsil ettikleri aşağıda verilmektedir.

a. Sınıf I kapsamına giren alanlar

Bu gruba giren odalar çok steril oldukları için, US 209 E'ye göre sınıf - M 3.5 (100) ve daha küçük sınıflara denktir. ISO 14644-1'e göre ise ISO 5 ve ISO 6 sınıflarına karşılık gelmektedir. Bu mahallerin klima ve havalandırma sistemlerinin tasarım safhasında, nem, sıcaklık, canlı ve cansız partikül sayısı, mahaller arası hava akış yönü ve taze hava miktarı tasarım parametreleri olarak dikkate alınmaktadır. Ameliyathaneler, yoğun bakım odaları, doğumhaneler, karantina odaları, uyandırma odaları ve steril malzeme depoları, bu kategoriye giren hijyenik mahallerdir.

b. Sınıf II kapsamına giren alanlar

Bu gruba giren odalar, yaklaşık olarak US 209 E'ye göre sınıf - M 5.5 (10.000) odalara denktir. ISO 14644-1'e göre ise ISO 7 sınıfına tekabül etmektedir. Muayenehaneler, hasta yatak odaları, fizik tedavi alanları, pansuman odaları ve temiz malzeme odalarını içermektedir.

Birçok ülkede hastanelerin havalandırma sistem tasarımı için kullanılmakta olan standartlar ve kılavuzlar aşağıda verilmektedir:

- Hastane havalandırma sistemleri için düzenlenmiş Alman standardı DIN 1946/4
- İngiltere hastane havalandırma standardı BS5295
- Fransız hastane havalandırma standardı NF S90:351
- Hastane klima ve havalandırma sistemleri için DIN 1946/4 ve SWKI 99-3 standartlarından yola çıkılarak hazırlanmış kılavuz
- İspanyol havalandırma standardı UNE100713:2003
- Hastane mahalleri iç hava kalitesine ilişkin Brezilya standardı NBR 7256
- Hollanda'da kullanılan hastane tasarımıyla ilgili kılavuz CBZ

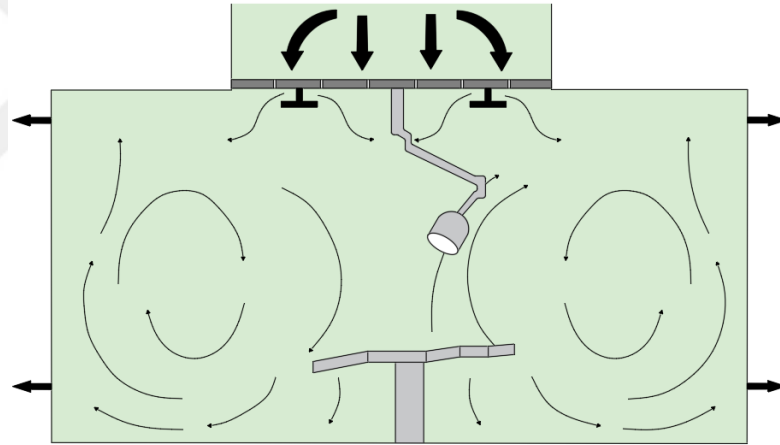
## 1.2. Ameliyathanelerde Kullanılan Havalandırma Sistemleri

Ameliyat esnasında oluşabilecek enfeksiyon riski, ameliyathane içerisindeki hava kalitesi ve cerrahi alandaki partikül seviyesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Uygun bir havalandırma sisteminin kullanılmasıyla; cerrahi alandan anestezi gazları, kokuları, partikülleri uzaklaştırmak, ameliyathane içerisindeki hava kalitesini korumak, görevli

personelin çalışma koşullarını kolaylaştırmak ve uygun termal konfor seviyesini sağlamak mümkündür. Günümüzde ameliyathanelerde kullanılan en yaygın havalandırma sistemleri; karma, laminer, deplasmanlı, hibrit ve sıcaklık kontrollü havalandırma sistemleridir.

### 1.2.1. Karma Havalandırma Sistemi

Karma havalandırma sisteminin kullanıldığı ameliyathanelerde, iklimlendirilmiş hava tavan üzerinde bulunan difüzörler boyunca beslenilir. Difüzörden yüksek hızda gelen hava ameliyathane havası ile karışır ve böylece, tüm oda hacmi boyunca kirlenmiş hava seyreltilerek çıkış menfezleri aracılığıyla tahliye edilir. Tüm alandaki hava tamamıyla karma olduğu için, sıcaklık değişimleri küçüktür ve kirletici konsantrasyonu üniformdur. İlgili havalandırma sistemine ait şematik gösterim Şekil 1.1’de verilmektedir.

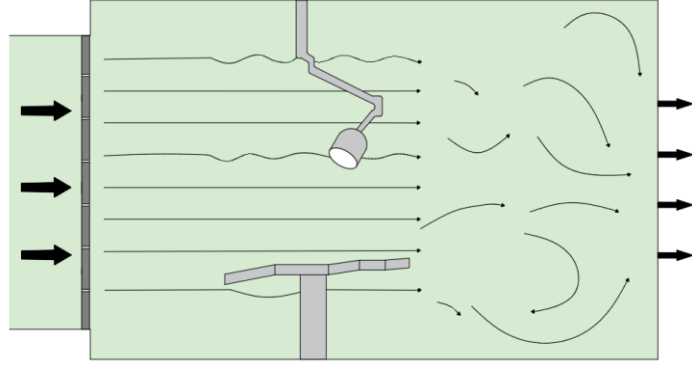


Şekil 1.1. Karma havalandırma sistemi

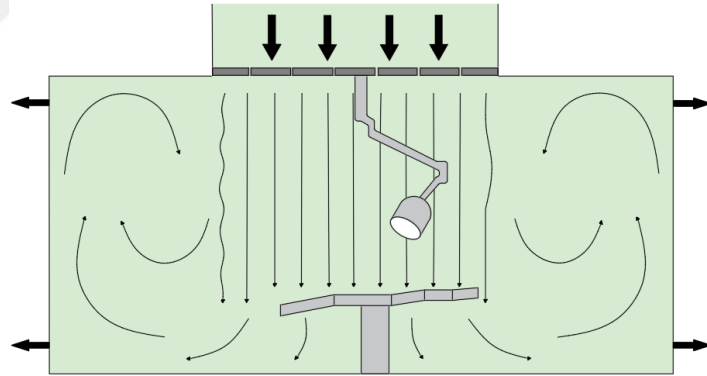
### 1.2.2. Laminer Havalandırma Sistemi

Laminer havalandırma sistemi ile cerrahi alan üzerine yüksek hava debisinde düşük türbülanslı hava direkt olarak gönderilir. Burada oluşan hava akışı, paralel akım çizgileri doğrultusunda hareket eder ve üniform bir hız dağılımına sahip olur. Böylece, cerrahi alanda çok düşük türbülansa sahip tek yönlü hava akış şeklinin oluşmasıyla ortam havasının türbülanslı bir yapıya dönüşümü engellenir. Bu durum, cerrahi alanda son derece düşük partikül seviyesine olanak sağlar. Oda içerisindeki ısı kaynaklarının ve görevli personelin

ürettiği ısı nedeniyle oluşan termik yükselme hızını yenibilmek için, laminer akış ünitesindeki terminal hızının 0.2 m/s ile 0.45 m/s arasında olması gerekmektedir. Laminer havalandırma sisteminin yatay ve dikey havalandırma olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Şekil 1.2’de yatay havalandırma sistemi, Şekil 1.3’de ise dikey havalandırma sistemine ait şematik resimler verilmektedir.



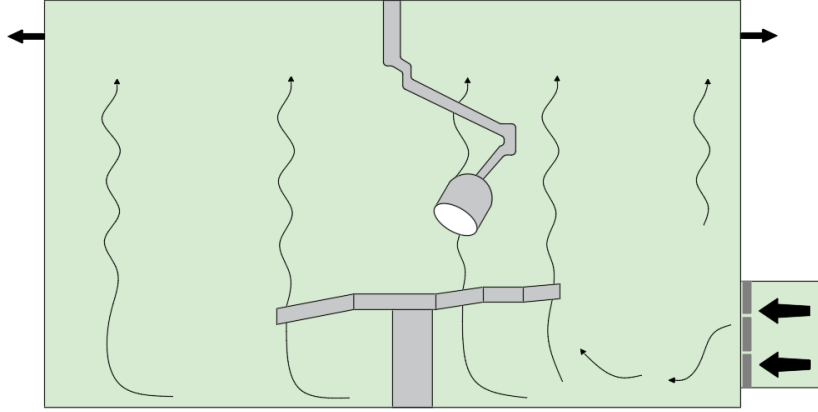
Şekil 1.2. Yatay laminer havalandırma sistemi



Şekil 1.3. Dikey laminer havalandırma sistemi

### 1.2.3. Deplasmanlı Havalandırma Sistemi

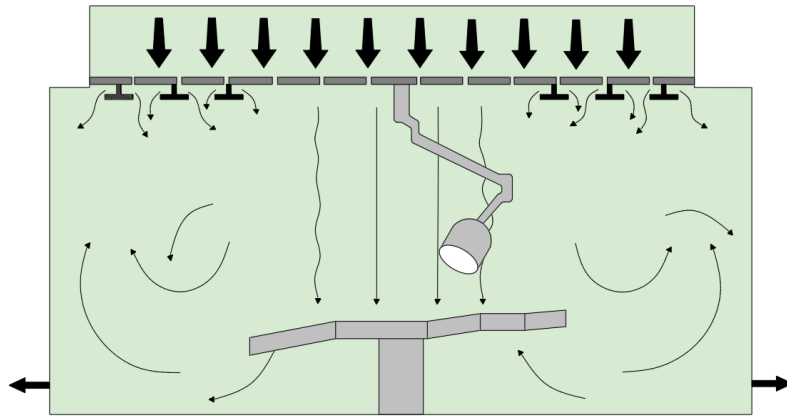
Düşük bir hızda zemine yakın seviyeden odaya giren temiz soğutulmuş hava, ameliyathanede bulunan ısı kaynaklarına ulaşana kadar oda boyunca yayılır. Soğutulan hava daha sonra ekipman ve cerrahi personeldeki ısıyı absorbe ederek yavaşça tavana doğru yükselir ve ardından tavan yüksekliğine yakın seviyeden dışarı tahliye edilir. İlgili havalandırma sistemine ait şematik gösterim Şekil 1.4’te verilmektedir



Şekil 1.4. Deplasmanlı havalandırma sistemi

#### 1.2.4. Hibrit Havalandırma Sistemi

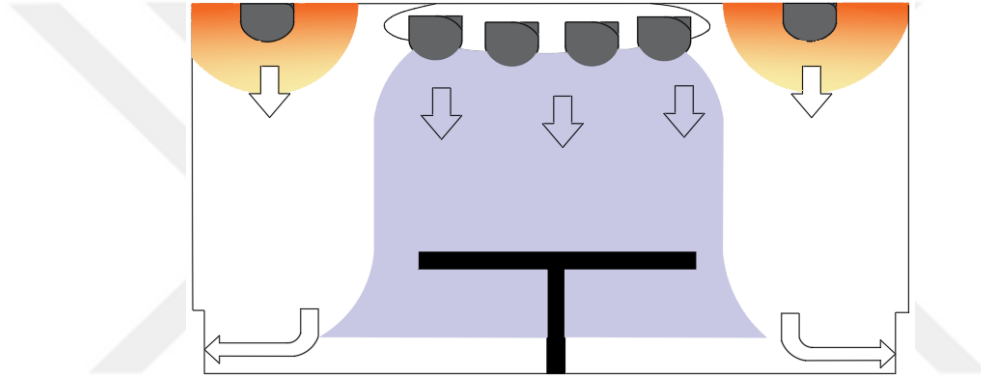
Hibrit havalandırma sistemi, ameliyathane içerisinde yüksek verimliliğe sahip bir havalandırma sağlamak amacıyla karma ve laminar havalandırma sisteminin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu sistemde, ameliyathanenin merkezinde bulunan cerrahi alan laminar havalandırma, ameliyathane çevresi ise karma havalandırma prensibi ile havalandırılır. Tek yönlü havalandırmanın etkisiyle cerrahi alandan süpürülen partiküller daha sonra ameliyathane çevresindeki karma hava akış alanı ile seyreltilir ve çıkış menfezi ile oda içerisinden dışarı atılır. Böylece, hem görevli personel hem de hasta için konforlu bir ortam sağlanmış olur. İlgili havalandırma sistemine ait şematik gösterim Şekil 1.5'te verilmektedir.



Şekil 1.5. Hibrit havalandırma sistemi

### 1.2.5. Sıcaklık Kontrollü Havalandırma Sistemi

Yeni geliştirilen sıcaklık kontrollü havalandırma sisteminde ameliyat masasının üzerinde, çevre havasından 1.5 °C daha soğuk olan HEPA filtresinden geçirilmiş hava kullanılmaktadır (Alsved vd., 2018). Mevcut sistemle soğutulmuş ve filtrelenmiş hava, tavanda bulunan sekiz adet yarı küresel difüzörlerden girerek odanın merkezinde genişleyen temiz bir bölge yaratır. Merkezi hava akışını çevreleyen daha sıcak HEPA filtreli hava ise benzer şekilde, tavana monte edilmiş sekiz adet yarı küresel difüzörden dağılır ve zemin seviyesindeki çıkış menfezleri ile dışarı atılır.



Şekil 1.6. Sıcaklık kontrollü havalandırma sistemi

### 1.3. Literatür Özeti

Ameliyathane havalandırma sistemlerini konu alan çalışmalar detaylı bir şekilde incelendiğinde, araştırmacıların tavan yüksekliği, görevli personel termal konforu, görevli personel sayısı ve pozisyonu, ameliyat lambası, farklı havalandırma akış şekilleri, giriş – çıkış menfezi ve mobil laminer hava akış ünitesinin ameliyathane içerisindeki hava akışı ve cerrahi alandaki partikül dağılımına olan etkisi konuları üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. İlgili çalışmalar, özet halinde Tablo 1.7’de ve açık formda aşağıda verilmektedir.



Tablo 1.7. Yapılan Çalışmalar

## Tavan yüksekliği

Yazar(lar)	İncelenen parametreler	Bulgular
Memarzadeh ve Jiang (2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Farklı hava değişim katsayısı: 20-30</li> <li>- Farklı tavan yüksekliği (2.74 m-3.66 m)</li> <li>- Partikül boyutu: 25<math>\mu</math>m</li> </ul>	Aynı hava değişim katsayısında tavan yüksekliğinin azalmasıyla cerrahi alana düşen partikül miktarı azalmaktadır.

## Görevli personelin termal konforu

Yazar(lar)	İncelenen parametreler	Bulgular
Ho vd. (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giriş ve çıkış menfezi</li> </ul>	Termal konfor üzerinde giriş menfezi etkili iken çıkış menfezi önemli bir değişime neden olmamaktadır.
Sadrizadeh ve Holmberg (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karma ve laminer havalandırma sistemi</li> </ul>	Karma havalandırma sistemi laminer havalandırma sistemine kıyasla termal konfor bakımından daha iyi bir performansa sahiptir.

## Görevli personel pozisyonu

Yazar(lar)	İncelenen parametreler	Bulgular
Chow ve Wang (2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Görevli personelin 45° eğilme ve doğrulma pozisyonu</li> <li>- Partikül boyutları: 5<math>\mu</math>m, 6<math>\mu</math>m, 8<math>\mu</math>m, 10<math>\mu</math>m.</li> </ul>	Cerrahi alandaki partikül konsantrasyonu, personelin eğilme pozisyonunda artarken, doğrulma pozisyonunda ise azalmaktadır.
Sadrizadeh vd. (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Görevli personellerin eğilme ve doğrulma pozisyonları</li> <li>- Alet masası ve ameliyat masasına konulan taşınabilir laminer havalandırma ünitesi</li> <li>-Partikül boyutu:12<math>\mu</math>m.</li> </ul>	Taşınabilir laminer havalandırma sisteminin performansı personelin eğilme pozisyonu ile azalmaktadır.

Tablo 1.7'nin devamı

## Görevli personel sayısı

Yazar(lar)	İncelenen parametreler	Bulgular
Sadrizadeh vd. (2014)	- Ameliyathanedeki görevli personel sayısı=10 - Partikül boyutları: 5µm, 10µm, 20µm	Personel sayısının artmasıyla cerrahi alandaki partikül konsantrasyonu artmaktadır.

## Ameliyat lambası konumu ve boyutu

Yazar(lar)	İncelenen parametreler	Bulgular
Chow ve Yang (2003)	- Ameliyat lamba konumu	Ameliyat lamba konumu, hasta etrafındaki partikül dağılımını ve hava akışını etkilemektedir.
Aganovic vd. (2017)	- Ameliyat lambası yüzey alanları: 0.33 m <sup>2</sup> , 0.38 m <sup>2</sup> , 0.5 m <sup>2</sup> - Partikül boyutları: 0.3µm, 0.5µm, 1µm, 3µm, 5µm, 10µm	Farklı yüzey alanına sahip ameliyat lamba kullanımı cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunda önemli bir değişime neden olmamaktadır.

## Havalandırma akış şekilleri

Yazar(lar)	İncelenen parametreler	Bulgular
Friberg vd. (1996)	- Deplasmanlı ve karma havalandırma sistemi	Deplasmanlı havalandırma sistemiyle hastanın yara bölgesindeki partikül konsantrasyonu artmaktadır.
Memarzadeh ve Manning (2002)	- Geleneksel, laminar deplasmanlı havalandırma sistemi - Farklı hava değişim sayısı (HDK): 15-150 - Partikül boyutu: 25µm	Cerrahi alandaki kirletici kontrolünü gerçekleştiren en iyi sistem laminar havalandırma sistemidir.

Tablo 1.7'nin devamı

Woloszyn vd. (2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diyagonal hava dağıtım sistemi</li> <li>- Menfez konumu</li> </ul>	Hasta etrafındaki kirletici seviyesini azaltmada giriş menfezinin zemine yakın, çıkış menfezinin ise tavana yakın konumlandırılması gerekmektedir.
Chow ve Yang (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Farklı besleme hızı</li> <li>- Kısmi duvar</li> <li>- Lamba konumu</li> <li>- Partikül boyutu: 7.5<math>\mu</math>m</li> </ul>	Besleme hava hızının artmasıyla cerrahi alandan partiküllerin süpürülme etkisi artmaktadır. Ayrıca, ameliyat lambaların uygun olmayan pozisyonları ve kısmi duvarın bulunmaması ile personelin enfeksiyon riski artmaktadır.
Rui vd. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ISO Sınıf 5 ve ISO Sınıf 6</li> <li>- Besleme hava hızı</li> <li>- Partikül boyutu: 6<math>\mu</math>m</li> </ul>	Cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azaltma bakımından ISO Sınıf 5'e sahip ameliyathane, ISO Sınıf 6'ya kıyasla daha iyi performansa sahiptir.
Mendez vd. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hava perdesi</li> <li>- Kısmi duvar</li> <li>- Hava yaşı</li> <li>- Hava değişim verimliliği</li> </ul>	Kısmi duvarın kısa tutulduğu ve hava perdesinin var olduğu durumda odadaki hava değişim verimliliği en yüksek değere ulaşmaktadır.
Liu vd. (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ameliyat lamba</li> <li>- Cerrahi alan etrafındaki doğal taşınım</li> <li>- Hasta pozisyonu</li> <li>- Partikül boyutu: 5<math>\mu</math>m, 7<math>\mu</math>m, 10<math>\mu</math>m.</li> </ul>	Yatay havalandırma sistemiyle ameliyat lambası ve doğal taşınım etkileri azalmaktadır. Bununla birlikte, hasta pozisyonu cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu etkilemektedir.
Waked (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kısmi duvar</li> <li>- Hava değişim katsayısı</li> <li>- Partikül boyutu: 10<math>\mu</math>m</li> </ul>	Hava değişim katsayısını sürekli arttırmak yerine, iç hava kalitesine uygun en düşük HDK değeri seçilmelidir. Ayrıca, kısmi duvarın varlığı hasta etrafında oluşan doğal taşınımı arttırmaktadır.
Zhai ve Osborne (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genişletilmiş laminar akış difüzörü (LAD)</li> <li>- Farklı konumda ve debilerde hava perdesi</li> </ul>	LAD alanı arttırıldığında cerrahi alandaki partikül konsantrasyonu azalmaktadır. Ayrıca, cerrahi alandaki partikül dağılımını azaltmak için yüksek hıza sahip hava perdesi yerine LAD kullanılmalıdır.

Tablo 1.7'nin devamı

Sadrizadeh vd. (2014)	- Yatay ve dikey havalandırma sistemi - Farklı hava değişim katsayısı (20-50) - Partikül boyutu: 12 $\mu$ m	Yatay havalandırma sistemi dikey havalandırma sistemine kıyasla daha avantajlıdır. Ayrıca, HDK'nın artmasıyla cerrahi alandaki partikül konsantrasyonu azalmaktadır.
Sadrizadeh ve Holmberg (2014)	- Yatay ve dikey havalandırma sistemi	Cerrahi alandaki partikül konsantrasyonu azaltmada yatay havalandırma sistemi dikey havalandırma sistemine kıyasla daha iyi performansa sahiptir.
Sadrizadeh ve Holmberg (2014)	- Türbülanslı, laminar ve sıcaklık kontrollü havalandırma sistemi	Cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azaltmada türbülanslı havalandırma sistemi en kötü performansa sahiptir.
Sadrizadeh ve Nielsen (2016)	- Karma havalandırma sistemi - Hastadan salınan partikül boyutları: 40 $\mu$ m, 70 $\mu$ m, 150 $\mu$ m, 250 $\mu$ m	Küçük çaptaki partiküllerin kolaylıkla odanın tamamına yayılmakta, büyük çaptaki partiküllerin ise yerçekiminden dolayı hızlı bir şekilde zemine düşmektedir.
Zhai ve Preechawuttidet (2016)	- Geliştirilmiş havalandırma sistemi için besleme difüzörünün etrafına kısmi duvar ve tavana çıkış menfezi yerleştirilmiştir.	Uygun kısmi duvar ve çıkış menfez konumları tek yönlü hava akışına yardımcı olmaktadır.
Wang vd. (2018)	- Türbülanslı, laminar ve sıcaklık kontrollü havalandırma sistemi - Partikül boyutu: 12 $\mu$ m	Cerrahi alandan partikülleri uzaklaştırma verimliliği bakımından en iyi havalandırma sistemi, sıcaklık kontrollü havalandırma sistemidir.
Alsved vd. (2018)	- Türbülanslı, laminar ve sıcaklık kontrollü havalandırma sistemi	Cerrahi alandan partikülleri uzaklaştırma verimliliği bakımından en iyi performansı, sıcaklık kontrollü havalandırma sistemi sağlamaktadır.

Tablo 1.7'nin devamı

## Giriş – çıkış menfezi

Yazar(lar)	İncelenen parametreler	Bulgular
Chen vd. (1992)	- Giriş menfez boyutu - Çıkış menfez konumu	Partikül konsantrasyonu üzerinde giriş menfezi etkiliyken, çıkış menfezi ise konsantrasyon üzerinde önemli bir değişime neden olmamaktadır.
Kumar vd. (2008)	- Giriş menfez yüksekliği	Giriş menfez yüksekliği, partikülün ortamda kalma süresini, hava akışını ve hız dağılımını etkilemektedir.
Sadrizadeh ve Holmberg (2014)	- Tavan, zemin, tavan – zemin - Partikül boyutu: 12µm	Cerrahi alandan partikülleri uzaklaştırmada en iyi optimal düzen tavan – zemin menfez konumuyla sağlanmaktadır.
Sadrizadeh ve Holmberg (2015)	- Hastanın baş kısmına yerleştirilen yerel çıkış menfez hızı	Yerel çıkış menfezindeki hava hızının artmasıyla hasta etrafındaki partikül konsantrasyonu azalmaktadır.
Ning vd. (2016)	- Çıkış menfez konumu - Hava yaşı - Hava değişim verimliliği	Kişiyeye yakın konumlandırılan çıkış menfeziyle hava değişim verimliliği en yüksek değere ulaşmaktadır.
Verma vd. (2016)	- Giriş – çıkış menfez konumu	Hasta etrafındaki partikül dağılımını azaltmada gerekli olan minimum zaman, giriş ve çıkış menfezlerinin buldukları duvarın orta konumuna yakın olmasıyla sağlanmaktadır.

Tablo 1.7'nin devamı

## Mobil laminer hava akış ünitesi

Yazar(lar)	İncelenen parametreler	Sonuç
Pasquarella vd. (2007)	- Mobil laminer hava akış ünitesi (MLHA)	Yüksek enfeksiyon riski taşıyan ameliyathanelerde, MLHA ünitesi, cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azaltmaktadır.
Sadrizadeh ve Holmberg (2014)	- Mobil laminer hava akış ünitesi (ameliyat masası – alet masası) - Partikül boyutları: 5 µm - 10 µm -20µm	Cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azaltmada MLHA üniteleri etkilidir.

Chen vd. (1992), bir ameliyathanede cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, kirletici konumu, besleme hava hızı, çıkış menfez konumu ve giriş menfez boyutu araştırma parametreleri olarak dikkate alınmıştır. Besleme hızının ve giriş menfez boyutunun artması cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azaltırken, çıkış menfezinin ise partikül dağılımında etkin bir parametre olmadığını belirlemişlerdir.

Friberg vd. (1996), ameliyathanede farklı havalandırma sistemlerinin hastanın yara bölgesindeki partikül konsantrasyonuna etkisini incelemişlerdir. Deplasmanlı havalandırma sisteminin karma havalandırmaya kıyasla, yara alanındaki partikül konsantrasyonunu arttırdığını belirlemişlerdir.

Memarzadeh ve Manning (2002), bir ameliyathanede farklı havalandırma sistemleri (laminer, geleneksel, deplasmanlı) kullanılarak cerrahi alana düşen partikül miktarını sayısal olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar, aynı hava değişim katsayısında cerrahi alandan partikülleri uzaklaştırma verimliliği bakımından havalandırma sistemleri arasında farklılıkların olduğu ve cerrahi alandaki kirletici kontrolünü gerçekleştiren en iyi sistemin laminer havalandırma ile sağlandığını belirtmişlerdir.

Chow ve Yang (2003), standart olmayan bir ameliyathanede havalandırma sisteminin performansını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, ameliyat lamba konumunun cerrahi alandaki kirletici dağılımı ve hava akışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan kapsamlı incelemede, cerrahi alanda ameliyat lamba konumunun, hasta etrafındaki partikül dağılımı ve hava akışı üzerinde etkili bir parametre olduğunu ortaya koymuşlardır.

Memarzadeh ve Jiang (2004), farklı tavan yüksekliği (2.74m – 3.66m) ve hava değişim katsayısının (20-30) cerrahi alana düşen partikül sayısı üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemiştirler. Tavan yüksekliğinin azalmasıyla, aynı hava değişim katsayısı için, cerrahi alana düşen partikül miktarının azaldığı ve en uygun hava değişim katsayı değerinin 20 - 25 arasında olması gerektiğini belirlemiştirler.

Woloszyn vd. (2004), diyagonal hava dağıtım sistemine sahip bir ameliyathanedeki hava akışını ve cerrahi alandaki partikül dağılımını deneysel ve sayısal olarak incelemiştirler. Hava akışını bozabilecek objelerin, kirletici kaynağın ve menfez konumlarının hasta üzerindeki enfeksiyon riskinde önemli bir parametre olmaktadır. Ayrıca, hasta etrafındaki kirletici seviyesini azaltmak için giriş menfezinin zemine yakın, çıkış menfezinin ise tavana yakın konumlandırılması gerektiğini belirlemiştirler.

Chow ve Yang (2005), bir ameliyathanede farklı havalandırma koşullarının cerrahi alandaki partikül dağılımına etkisini sayısal olarak incelemiştirler. Çalışmada farklı besleme hava hızları, kısmi duvarın var olduğu ve olmadığı durum ve ameliyat lamba konumu araştırma parametreleri olarak ele alınmıştır. Elde edilen veriler besleme difüzöründeki hava hızının cerrahi alandaki partikül dağılımında en önemli parametre olduğu ve bu hızın artmasıyla partikül çökmesine karşı yeterli düzeyde süpürme etkisinin yaratıldığı, ameliyat lambaların uygun olmayan pozisyonlarının tek yönlü hava akışını bozduğu ve kısmi duvarın bulunmaması durumunda personelin enfeksiyon riskinin artabileceğini belirlemiştirler.

Pasquarella vd. (2007), türbülanslı havalandırma sistemine sahip bir ameliyathanedeki partikül konsantrasyonu üzerinde taşınabilir laminer hava akış ünitesinin (TLHA) ilaveli ve ilavesiz durumlarını deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Yüksek enfeksiyon riski taşıyan ameliyathanelerde, TLHA ünitesinin cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azalttığını ve kullanılmasının zorunlu olması gerektiğini belirlemiştirler.

Rui vd. (2008), ISO Class 5 ve ISO Class 6 sınıflarına karşılık gelen ameliyathanelerde cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu farklı besleme hava hızları için deneysel ve sayısal olarak incelemiştirler. ISO Class 5 sınıfındaki ameliyathanede, ISO Class 6'ya kıyasla, cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunun daha az olduğunu belirlemiştirler. Ayrıca, ISO class 6 sınıfına sahip ameliyathanede besleme hava hızının belli bir değerden sonra artırılması ile cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunun arttığı ve bu nedenle en uygun besleme hava hızının 0.25 m/s olması gerektiğini belirlemiştirler.

Kumar vd. (2008), izolasyonlu bir hastane odasında bağışıklığı güçlü ve enfeksiyonlu bir hasta etrafındaki partikül dağılımını sayısal olarak incelemiştirler. Çalışmada tek yönlü

havalandırma sistemi kullanılmış ve giriş menfez yüksekliği değiştirilmiştir. Araştırmacılar, giriş menfez yüksekliğinin partikülün ortamda kalma süresini, hava akışını ve hız dağılımını etkilediği, bağışıklığı güçlü olan hastaların giriş menfezine enfeksiyonlu hastaların ise çıkış menfezine yakın olarak konumlandırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Mendez vd. (2008), iki yataklı hastane odasında, farklı havalandırma akış şekillerinin etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, hastaların arasına farklı konfigürasyonlarda kısmi duvar ve hava perdesi konulmuştur. Hava değişim verimliliğinin en yüksek ve havanın ortalama yaşının en düşük olduğu konfigürasyonun kısmi duvarın kısa tutulduğu ve hava perdesinin olduğu durum ile sağlandığı, hava değişim verimliliğinin en kötü ve hava yaşının en yüksek olduğu konfigürasyonun ise kısmi duvarın tavandan zemine kadar olduğu ve hava perdesinin bulunduğu durumda ortaya çıktığını belirlemişlerdir.

Ho vd. (2009), bir ameliyathanede giriş ve çıkış menfez konumunun cerrahi alandaki kirleticiyi uzaklaştırma verimliliği ve görevli personelin termal konforu üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar, cerrahi alandan kirleticiyi uzaklaştırma ve görevli personelin termal konforu üzerinde hava akış şeklinin önemli bir parametre olduğu ve termal konfor üzerinde giriş menfezinin etkisi bulunurken çıkış menfezinin etkisinin bulunmadığını belirtmişlerdir.

Liu vd. (2009), yatay hava akış sistemine sahip bir ameliyathanede, görevli personel kaynaklı doğal taşınımın ve ameliyat lambası konumunun cerrahi alandaki partikül dağılımına etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Hava akışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan ameliyat lambası ve cerrahi alandaki doğal taşınım etkisinin yatay havalandırma sistemiyle azaldığı ve cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunun hasta pozisyonu ve kaynak konumu ile yüksek oranda ilişkili olduğunu belirlemişlerdir.

Waked (2010), bir ameliyathanede farklı havalandırma akış şekillerinin yara alanındaki partikül konsantrasyonuna etkisini sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada, farklı ameliyat lamba tipleri ve ısı yükleri, hava değişim katsayısı, kısmi duvarın var olduğu ve olmadığı durum ele alınmıştır. Akışın sürdürülebilirliği için minimum yüzeye sahip ameliyat lambası kullanımının gerekli olduğu ve en düşük ısı yüküne sahip ameliyat lambasıyla cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunun azaldığını belirlemiştir. Ayrıca, hava değişim katsayısını sürekli arttırmak yerine iç hava kalitesine uygun en düşük katsayı değerinin seçilmesi gerektiği ve kısmi duvar varlığının hasta etrafındaki doğal taşınım etkisini arttırabileceğini ortaya koymuştur.



Chow ve Wang (2012), bir ameliyathanede görevli personel hareketinin (doğrulma, 45° öne ve arkaya eğilme) cerrahi alan içerisindeki hava akış alanına ve partikül dağılımına etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Tüm personellerin hareket etmediği durumda cerrahi alan içerisinde partikül konsantrasyonunun  $1\text{cfu}/\text{m}^3$ 'den daha az olduğu, personelin öne eğilmesi durumunda bu alandaki konsantrasyonun  $10\text{cfu}/\text{m}^3$  değerini aştığı ve arkaya eğilme durumunda ise cerrahi alanda en yüksek partikül konsantrasyon değerinin elde edildiğini belirlemişlerdir.

Zhai ve Osborne (2013), bir ameliyathanede farklı hava dağıtım konfigürasyonlarının yara alanı kirletici seviyesi üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Konfigürasyon olarak, genişletilmiş laminer akış dizüförü (LAD) ve farklı konumda ve debide hava perdesi kullanılmıştır. Yara alanındaki en düşük kirletici seviyesinin, hava perdesine uygulanan en yüksek hava debisiyle sağlanacağı, LAD alanı arttırıldığında cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunun azaldığı ve cerrahi alanda maksimum hava asepsisini sağlamak için LAD tarafından sağlanmış olan tek yönlü hava akışının, yüksek hıza sahip hava perdesi kullanımından çok daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Sadrizadeh ve Holmberg (2014a), yatay ve dikey havalandırma sistemlerinin verimliliğini sayısal olarak karşılaştırmışlardır. Çalışmada, operasyon sırasında her bir personel için üç farklı cerrahi kıyafet (1.5, 4, 5 BCP/s) kullanılmıştır. Cerrahi alandaki partikül konsantrasyonu azaltmada yatay havalandırma sisteminin dikeye göre daha iyi performansa sahip olduğunu ve yatay havalandırma sistemi kullanıldığında hava akışını etkileyen ameliyat lambasının ve hasta etrafındaki doğal taşınım etkisinin daha az görüldüğünü belirlemişlerdir. Ayrıca, her iki havalandırma sisteminde 4 ve 5 BTP/s partikül salınımına sahip kıyafet kullanılması durumunda, istenilen seviyedeki mikrobiyolojik hava kalitesinin sağlanamadığını ortaya koymuşlardır.

Sadrizadeh ve Holmberg (2014b), türbülanslı havalandırmaya sahip ameliyathanede, üç farklı (tavan, zemin ve tavan-zemin) çıkış menfez konumunun cerrahi alandaki partikül dağılımına etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, iki yaygın anestezi gaz olan halotan ve desflurane ile bakteri taşıyan partiküllerin tahliyesi başarımları parametresi olarak tanımlanmıştır. Zemin seviyesindeki menfezlerin anestezi gazları, tavan seviyesindeki menfezlerin ise partikül taşıyan mikroorganizmaları uzaklaştırmada etkili olduğu ve ameliyathanenin her köşesinde tavan-zemin menfez konumunun olması ile optimal düzenin sağlanacağını belirlemişlerdir.

Sadrizadeh ve Holmberg (2014c), bir ameliyathanede farklı hava akış şekillerinin (türbülanslı, laminer ve sıcaklık kontrollü), ameliyat masası ve ekipman masası üzerindeki partikül konsantrasyonuna etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Laminer ve sıcaklık kontrollü havalandırma sistemi performanslarının yaklaşık olarak aynı olduğu ve türbülanslı havalandırma sisteminin partikül konsantrasyonunu azaltma bakımından diğer havalandırma sistemlerine göre daha az etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca, aynı hava değişim katsayısında kritik yüzeyler üzerindeki partikül çökeltme miktarının uygun havalandırma sisteminin seçilmesi ile önemli derecede azalacağını belirtmişlerdir.

Balocco vd. (2014), tek yönlü havalandırmaya sahip ameliyathanede, görevli personelin iç hava kalitesi üzerindeki etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, partikül konsantrasyonunun, havanın ortalama yaşının, karbondioksit konsantrasyonunun, hız ve sıcaklık gibi parametrelerin ameliyathanenin farklı bölümlerine (solunum alanı, cerrahi alan ve çevre alan) olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Görevli personel hareketi ve sayısının yara alanındaki kirletici seviyesi ve karbondioksit konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu, en düşük ortalama hava yaşının ve en yüksek hava değişim verimliliğinin solunum alanında ortaya çıktığını belirlemişlerdir.

Sadrizadeh vd. (2014a), bir ameliyathanede yatay ve dikey havalandırma sisteminin cerrahi alandaki partikül dağılımı üzerindeki etkinliğini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, hava değişim katsayısı (HDK) 20-50 aralığında seçilmiştir. Yatay ve dikey havalandırma sistemi seçiminin personel konumuna, hava debisine ve çalışma koşuluna bağlı olduğu, HDK'nın artmasıyla cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunun azaldığı ve yatay havalandırma sisteminin kurulmasının kolay, sürdürülebilir ve maliyetinin düşük olması sebebiyle dikey havalandırma sisteminden daha avantajlı olduğunu belirlemişlerdir.

Sadrizadeh vd. (2014b), bir ameliyathanede cerrahi alandaki hava akışı ve partikül çökeltmesini farklı görevli personel sayısı için sayısal olarak incelemişlerdir. Partikül çökeltme oranının partikül boyutuyla ilişkili olduğu, ameliyat masasına yakın alanlarda personel sayısının artmasıyla bu alandaki partikül dağılımının artabileceği ve enfeksiyona özgü ameliyatlarda personel sayısının altıdan fazla olmaması gerektiğini belirlemişlerdir.

Romano vd. (2015), Standart DIN 1946-4'e göre düzenlenmiş bir ameliyathanede cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada tavan filtre sisteminde farklı hava hızları kullanılmış ve cerrahi alanın iç ve dış bölgesine aerosol üreticiler yerleştirilmiştir. Değerlendirilen farklı hava hızlarına sahip tavan difüzörünün ameliyat masasının üzerindeki partikül konsantrasyon seviyesini azaltmada

etkili olduğu ve cerrahi alanın iç bölgesine yerleştirilen aerosol üreticilerin cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu arttırdığını belirlemişlerdir.

Sadrizadeh ve Holmberg (2015a), iki yataklı hastane odasında, hasta etrafındaki enfeksiyon yayılımını kontrol etmek için hastanın baş kısmına konulan yerel çıkış menfez konumunun etkinliğini sayısal olarak incelemişlerdir. Yerel çıkış menfezindeki hava hızının arttırılmasıyla hasta etrafından partikülü uzaklaştırma ve havalandırma performansının etkili bir şekilde artacağını ortaya koymuşlardır.

Sadrizadeh ve Holmberg (2015b), bir ameliyathanede cerrahi alanda bakteri taşıyan partikül dağılımı ve çökeltisi üzerinde mobil laminer hava akış (MLHA) ünitelerinin etkinliğini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada mobil üniteler ameliyat masası ve alet masasına yerleştirilmiştir. Araştırmacılar cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azaltmada MLHA ünitelerinin etkili olduğu ve bu ünitelerin besleme hızı optimum değerinin 0.4 m/s olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ning vd. (2016), havalandırma sistemi kullanılan bir uyku odasında, çıkış menfezinin konumuna bağlı olarak oda içerisindeki hava akışı, hava değişim verimliliği ve havanın ortalama yaşının değişimini sayısal olarak incelemişlerdir. Farklı çıkış menfez konumları ile oda içerisinde farklı hava akış şekillerinin olduğu, havanın ortalama yaşının ve hava değişim verimliliğinin en etkili olduğu yerin kişiye en yakın çıkış menfeziyle ortaya çıktığını belirlemişlerdir.

Sadrizadeh ve Nielsen (2016), karma havalandırmaya sahip hastane odasında, öksürme kaynaklı partikül dağılımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada hastadan salınan partikül çapları 40-70-150 ve 250  $\mu\text{m}$  olarak seçilmiştir. Küçük çaptaki partiküllerin kolaylıkla odanın tamamına yayılabildiği, büyük çaptakilerin ise yerçekiminden dolayı hızlı bir şekilde zemine düştüğü, 40 - 70 $\mu\text{m}$ 'deki partiküllerin çıkış menfezine ulaşabildiği ancak 150 - 250 $\mu\text{m}$ 'dekilerin salınım alanından kısa bir mesafe sonra çökeldiğini belirlemişlerdir.

Zhai ve Preechawuttidet (2016), bir ameliyathanede cerrahi alan enfeksiyonunu azaltmada standart ve geliştirilmiş havalandırma sistemlerinin etkinliğini sayısal olarak incelemişlerdir. Geliştirilmiş havalandırma sistemi için besleme difüzörünün etrafına kısmi duvar ve tavana çıkış menfezi yerleştirilmiştir. Düşük besleme hava hızına sahip geniş difüzörlerin tek yönlü hava akışını sağlayamadığı, aynı besleme hava hızında daha uzun kısmi duvar kullanılmasıyla difüzörden ayrılan hava hızının artacağı ve uygun kısmi duvar ile çıkış menfez konumlarının tek yönlü hava akışına yardımcı olabileceğini belirlemişlerdir.

Verma vd. (2016), bir hasta odasında farklı giriş - çıkış menfez konumlarının hasta etrafındaki partikül dağılımına etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Hastada oluşabilecek yüksek enfeksiyon riskinin yüksek hava değişim katsayısı ile minimize edilebileceği, yerel ortalama hava yaşının hava debisinin arttırılmasıyla azalabileceği ve hasta etrafındaki partikül dağılımını azaltmak için gerekli olan minimum zamanın giriş ve çıkış menfezlerin buldukları duvarın orta konumuna yakın olmasıyla sağlanacağını belirlemişlerdir.

Sadrizadeh vd. (2016), karma havalandırma sistemine sahip ameliyathanede, personel pozisyonunun cerrahi alandaki partikül dağılımına etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, ultra temiz havalandırma sistemi (UTH) ameliyat masası ve alet masasına yerleştirilmiştir. Araştırmacılar, cerrahın eğilme pozisyonunda UTH sisteminin performansının önemli derecede azaldığını, cerrahın doğrulma pozisyonunda ise hasta etrafındaki partikül konsantrasyonunun azaldığını ve yüksek koruma kapasitesine sahip kıyafet kullanımının cerrahi alan içerisindeki partikül konsantrasyonunu azalttığını belirtmişlerdir.

Sadrizadeh ve Holmberg (2016), karma ve laminer havalandırma sistemlerine sahip ameliyathanede görevli personellerin termal konforunu sayısal olarak incelemişlerdir. Termal konfor üzerinde karma havalandırma sisteminin laminer havalandırma sistemine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği, cerrahi alandaki kirleticiyi uzaklaştırma verimliliği bakımından ise laminer havalandırma sisteminin daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Aganovic vd. (2017), dikey laminer hava akış sistemine sahip ameliyathanede, hava akış dağılımı ve cerrahi alandaki kirletici seviyesi üzerinde üç farklı ameliyat lamba boyutunun etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı yüzey alanına sahip lambalarda, her bir partikül çapı için cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunda önemli bir farkın görülmediği ve farklı yüksekliklerde konumlandırılan lambaların alt bölgelerinde ölçülen ortalama hız değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğunu belirlemişlerdir.

Ufat vd. (2017), farklı giriş hızları (0.1-0.2 m/s) ve ortam sıcaklıklarının (20-22 °C) ameliyat masasının üzerine düşen partikül miktarı üzerindeki etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Giriş sıcaklığının oda sıcaklığından düşük tutulması, ameliyat sırasında çok iyi bir hava perdesi formunun oluşturulması, giriş menfezinin 0.2 m/s hızında ve düşük sıcaklıklarda tutulması durumlarında ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarının azalacağını belirlemişlerdir.

Dong vd. (2017), bir ameliyathanedeki cerrahi alanda görevli personelden kaynaklı doğal taşınımın etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada farklı şekillerde insan

simülatörleri kullanılmıştır. Görevli personel şekli ve çalışma yoğunluğunun cerrahi alandaki doğal taşınımını önemli düzeyde etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Wang vd. (2018), bir cerrahi alandaki partikül dağılımını türbülanslı, laminar ve sıcaklık kontrollü havalandırma sistemleri için sayısal olarak incelemişlerdir. Bu sistemlerin karşılaştırılması için aynı ve farklı hava debileri kullanılmıştır. Laminar havalandırma sisteminde hava debisi düşürüldüğünde partiküllerin cerrahi alandan uzaklaştırma verimliliğinin azaldığı, sıcaklık kontrollü havalandırma sisteminde ise hava debisinin artması veya azalmasıyla verimlilik üzerinde gözle görülebilir bir etkinin bulunmadığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azaltma bakımından en kötü performansın türbülanslı havalandırma sistemlerinde ortaya çıktığını belirlemişlerdir.

Alsved vd. (2018), bir ameliyathanede enerji tüketimi, çalışma konforu ve cerrahi alandaki partikül konsantrasyonu bakımından üç farklı (türbülanslı, laminar ve sıcaklık kontrollü) havalandırma sistemlerinin etkinliğini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Cerrahi alandan partikülü uzaklaştırma verimliliği bakımından en kötü performansın türbülanslı havalandırmada, en iyi performansın ise sıcaklık kontrollü havalandırma sisteminde görüldüğü ve laminar havalandırma ile karşılaştırıldığında sıcaklık kontrollü havalandırma sisteminin enerji tüketiminin %28 daha az olduğunu belirlemişlerdir.

### **1.3. Tezin Amacı, Kapsamı ve Özgün Değeri**

Ameliyathanelerde, gerek çalışan personel ve hastalardan gerekse odaya sokulan cihazlardan kaynaklı mikroorganizmalar cerrahi alanda enfeksiyon riski oluşturmaktadır. Bu enfeksiyonlar, hastanın hastanede kalış süresinin uzamasına, hastalık ve ölüm oranlarının artmasına, sağlık hizmetlerini sağlayan kişiler ve hastalar için ekonomik kayba neden olmaktadır. Ameliyat esnasında oluşan enfeksiyon riskini azaltmak için ameliyathanedeki havalandırma sistemi performansını etkileyen unsurların iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Konu kapsamında yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; araştırmacılar, cerrahi alandaki kirletici seviyesini azaltmada farklı havalandırma akış şekillerinin ve tavan yüksekliğinin etkili olduğu, ameliyat lambası ve giriş – çıkış menfez konum ve boyutunun kritik alandaki hava akışı ve partikül dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, ameliyat sırasında görevli personel pozisyon ve sayısının hasta etrafındaki partikül konsantrasyonunu önemli derecede etkilediği ve yüksek enfeksiyon riski taşıyan

ameliyatlarda taşınabilir laminer hava akış ünitesinin cerrahi alandaki partikül konsantrasyonunu azalttığını ortaya koymaktadır. Buna karşın, ilgili literatür araştırmasında görüleceği üzere, ameliyathanede aynı geometrik koşullar ve hava dağıtım sistemi için hava değişim katsayısının, çıkış menfez konum ve sayısının, tavan yüksekliğinin ve laminer akış ünite boyutunun cerrahi alandaki partikül dağılımına etkisini inceleyen çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Ayrıca, hava değişim verimliliğinin dikkate alınmaması diğer önemli bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır.

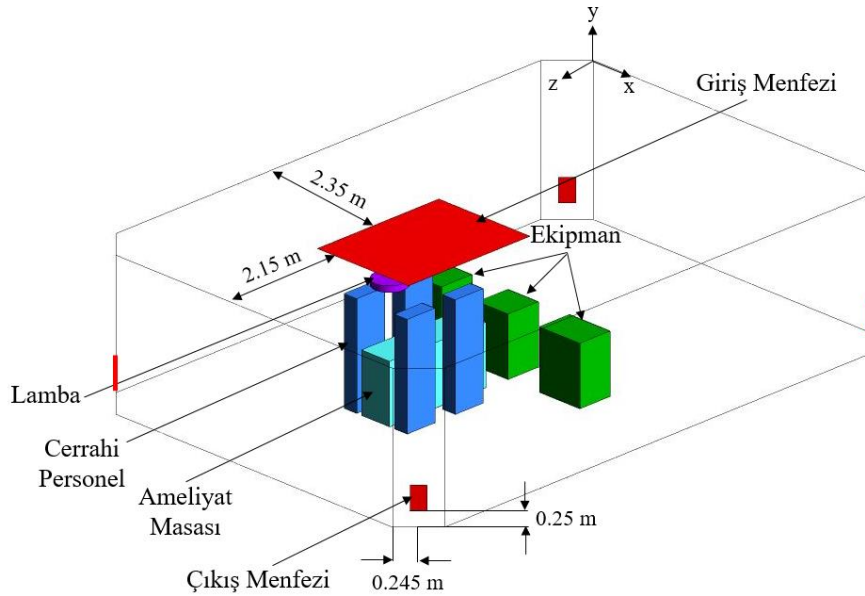
Tez kapsamında, laminer hava akış sistemine sahip bir ameliyathanedeki hava akışı ve partikül dağılımı farklı geometrik konfigürasyon ve akış koşulları için sayısal olarak incelenmiştir. Farklı tavan yükseklikleri, çıkış menfez konum ve sayısı, farklı hava değişim katsayıları, laminer akış ünitesi boyutu ve farklı partikül boyutlarının ( $5\mu\text{m}$  -  $20\mu\text{m}$ ) cerrahi alandaki partikül dağılımı ve hava değişim verimliliği üzerindeki etkileri tez kapsamında yöneltilen araştırma sorularını oluşturmaktadır. Ameliyathane boyutlarının oluşturulmasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Farabi hastanesinde yer alan bir ameliyathane referans olarak dikkate alınmıştır.

## 2. SAYISAL ÇALIŞMA

Bu bölümde, sayısal çalışmada kullanılacak ameliyathanenin geometrik şekli, sınır koşulları, ağ yapısı, hava akışı ve partikül hareketinin modellenmesi ve matematiksel modelin doğrulanmasına ait bilgiler sunulmaktadır. Çalışma, bilgisayar destekli mühendislik programı olan ANSYS – Fluent (v.15) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Geometrik Modelin Oluşturulması

Model ameliyathanenin geometrik boyutları Karadeniz Teknik Üniversitesi Farabi Hastanesinde yer alan bir ameliyathane dikkate alınarak tanımlanmıştır. Ameliyathaneye ait ilgili boyutlar 6.5 m (uzunluk) x 9.43 m (genişlik) x 2.43 m (yükseklik) olup, izometrik görüntü Şekil 2.1’de şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.1. Model ameliyathanenin izometrik görünüşü

Temiz hava, ameliyathane tavanında bulunan 1.8 m genişliğinde ve 2.4 m uzunluğunda laminer akış ünitesi tarafından sağlanmaktadır. Kirli hava ise ameliyathanenin her köşesinde zemine yakın konumlandırılmış dört adet çıkış menfezi (0.24 m (uzunluk) x 0.39 m (yükseklik)) ile oda dışına atılmaktadır. Ameliyat masası 0.55 m (genişlik) x 1.9 m (uzunluk)

x 1m (yükseklik) boyutlarına sahip olup, laminar akış ünitesinin altında yer almaktadır. İki alet masası (0.8 m (uzunluk) x 0.6 m (genişlik) x 1 m (yükseklik)) ve bir ekipman masası (0.6 m (uzunluk) x 0.5 m (genişlik) x 1m (yükseklik)) ameliyat masası komşuluğunda konumlandırılmıştır. Bir medikal lamba (0.52 m (çap) x 0.13 m (kalınlık)) ameliyat masası üzerine ve dört görevli personel (0.5 m (uzunluk) x 0.25 m (genişlik) x 1.75 m (yükseklik)) ameliyat masası etrafına yerleştirilmiştir.

## 2.2. Hava Akışının Modellenmesi

Ameliyathanedeki türbülanslı hava akışı ve ısı transferi üç boyutlu olarak modellenmiştir. Türbülanslı akış şartları için, sırasıyla, süreklilik, Reynolds ortalamalı Navier - Stokes (RANS) ve enerjinin korunumu denklemleri, genel formda, aşağıda verilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{u_i u_j}) + \rho g_i \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i(\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + S_h \quad (2.3)$$

Momentumun korunumu denkleminin sağ tarafında kalan üçüncü terim,  $-\rho \overline{u_i u_j}$ , Reynolds gerilmelerini temsil etmekte olup; açık formda aşağıda verilmektedir.

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left( \rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \quad (2.4)$$

Burada,  $\delta_{ij}$ ,  $E$ ,  $\mu_t$ ,  $k_{eff}$  ve  $S_h$ , sırasıyla, kronekar delta terimini, toplam enerjii, türbülans viskozitesini, efektif ısıl iletkenliği ve kaynak terimi ifade etmektedir.



Efektif ısı iletkenlik ( $k_{eff}$ ) ve türbülans viskozitesinin açık formları ( $\mu_t$ ), sırasıyla,

$$k_{eff} = k + \frac{c_p}{Pr_t} \mu_t \quad (2.5)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (2.6)$$

biçiminde yazılabilir. Burada,  $Pr_t$  türbülans Prandtl sayısını,  $k$  türbülans kinetik enerjisini ve  $\epsilon$  türbülans kinetik enerjisi yayılım oranını temsil etmektedir.

Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerinin çözümünde, *Realizable*  $k-\epsilon$  türbülans modeli (Srebric vd., 2008) kullanılmıştır. Bu türbülans modeline ait transport denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b \quad (2.8)$$

İlgili denklemlerde yer alan  $G_k$ ,  $G_b$ ,  $\sigma_k$  ve  $\sigma_\epsilon$ , sırasıyla, ortalama hız gradyanlarına bağlı olan türbülans kinetik enerji üretimini, kaldırma kuvvetlerinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimini,  $k$  için türbülans Prandtl sayısını ve  $\epsilon$  için türbülans Prandtl sayısını temsil etmektedir.

*Realizable*  $k-\epsilon$  türbülans modeline ait denklem katsayıları Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1. Türbülans modeline ait katsayılar

$C_1$	$C_2$	$\sigma_\epsilon$	$\sigma_k$
1.44	1.9	1.2	1.0

Sayısal çalışmada, taşınım terimleri için ayrıklaştırma yöntemi olarak *second-order upwind*, basınç-hız çiftinin çözümünde SIMPLE ve yoğunluk - sıcaklık ilişkisi için Boussinesq yaklaşımı tercih edilmiştir. Yüzeylerde, sınır tabakanın çözümlenmesinde iyileştirilmiş duvar fonksiyonu (*Enhanced wall treatment*) kullanılmıştır. Navier-Stokes ve enerjinin korunumu denklemlerinin çözümünde yakınsama kriteri,  $10^{-5}$  olarak dikkate alınmıştır.

### 2.3. Partikül Hareketinin Modellenmesi

İç ortamdaki partikül hareketini modellemek için kullanılan en yaygın iki yöntem, Euler ve Lagrange yaklaşımlarıdır. Bu çalışmada, zamana bağlı momentum denklemini her bir partikül için ele alan Lagrange yaklaşımı kullanılmıştır. Momentum denklemi genel formda:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_e \quad (2.9)$$

biçiminde yazılabilir. Burada,  $du_p/dt$  ve  $F_D(u - u_p)$ , sırasıyla, atalet kuvvetini ve sürüklenme kuvvetini ifade etmektedir.  $u_p$ , partikülün hız vektörünü,  $u$  hava hızını,  $\rho_p$  ve  $\rho$ , sırasıyla, partikülün ve havanın yoğunluğunu göstermektedir. Denklemin sağ tarafındaki ikinci terim yerçekimi ve kaldırma kuvvetini,  $F_e$  ise partiküle etki edebilecek ek kuvvetleri (Termoforetik kuvvet, Saffman kaldırma kuvveti ve Brownian kuvveti) temsil etmektedir (ANSYS Inc., 2013).

$F_D$ , gevşeme zamanının tersi olup (*relaxation time*) açık formda aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$F_D = \frac{18\mu C_d Re_p}{\rho_p d_p^2} \frac{1}{24} \quad (2.10)$$

Burada,  $\mu$  havanın moleküler viskozitesi,  $d_p$  partikül çapı ve  $Re_p$  partikül çapına bağlı Reynolds sayısıdır.  $C_d$ , küre şeklindeki partiküller için sürüklenme katsayısını ifade etmekte olup,

$$C_d = \frac{\xi_1}{Re_p} + \frac{\xi_2}{Re_p^2} + \xi_3 \quad (2.11)$$

formunda ifade edilir. Burada  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  ve  $\xi_3$  sabit katsayıları temsil etmektedir (Morsi vd., 1972).  $Re_p$  ise partikül çapına bağlı Reynolds sayısı olup açık formda aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Re_p = \frac{\rho d_p |u_p - u|}{\mu} \quad (2.12)$$

Türbülanslı akış alanı belirlendikten sonra, partikül dağılımı detayları yukarıda verilen Lagrange yaklaşımına dayanan DPM modeli (*Discrete Phase Modeling*) kullanılarak hesaplanmıştır. Akış alanına bırakılan partiküller, türbülanslı hız alanının etkisiyle oluşan rastgele yörüngeleri takip etmektedir. Türbülans dalgalanmalarının partikül dağılımı üzerindeki stokastik etkisi DRW (*Discrete Random Walk*) modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Modelin doğru sonuç vermesi ve türbülansın etkisiyle partiküllerin takip edeceği farklı yörüngelerin değerlendirilerek ortalama bir yörüngenin hesaplanması için deneme sayısının (*Number of tries*) yüksek tutulması gerekmektedir. Çalışmada, deneme sayısı  $10^6$  alınarak; ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarının değişmediği görülmüştür.

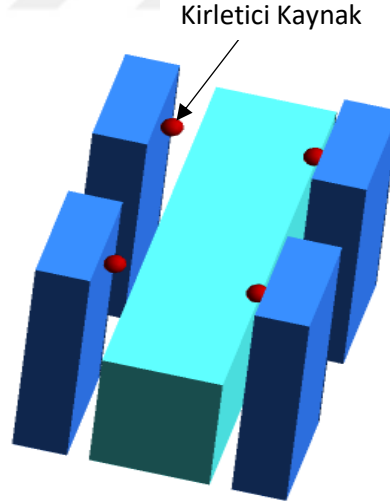
#### 2.4. Sınır Koşulları

Yarı – açık ortamlardaki akış alanı, ortama giren ve ortamdan çıkan akışkan miktarı ve türü, akış rejimi, akışkan – yüzey etkileşimi ve ısı sınır koşullarının güçlü birer fonksiyonudur. İlgili koşulların eksiksiz ve doğru bir şekilde tanımlanması, oluşturulan matematiksel modelin başarısını doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmada, besleme havası ve çıkış menfezleri için sırasıyla, *velocity - inlet* ve *outflow* sınır koşulları uygulanmıştır. Analizlerde, besleme havasının sıcaklığı  $20^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır. Ayrıca, iç akıştaki türbülans parametrelerini belirlemek için giriş menfezinin hidrolik çapıyla birlikte türbülans yoğunluğu % 5 – 10 aralığında alınmıştır (Sadriyadeh, 2016). Görevli personel ve medikal ekipmanın tüm yüzeylerinde, ameliyat masasının üzerinde ve ameliyat lambasının alt yüzeyinde sabit ısı akısı sınır koşulu öngörülmüştür. Her bir görevli personele ait ısı akısı  $45 \text{ W/m}^2$  iken, ekipman masası, ameliyat lambası ve

ameliyat masası üzerine uygulanan ısı akıları ise sırasıyla,  $170 \text{ W/m}^2$ ,  $215 \text{ W/m}^2$ ,  $45 \text{ W/m}^2$ 'dir (ISO 7730:2005, 2005). Ameliyathane duvarları, alet masaları ve ameliyat lambasının geriye kalan yüzeyleri adyabatik kabul edilmiş ve ilgili yüzeylerde kaymama sınır koşulu öngörülmüştür.

Partiküllerin mahal içindeki hareketi verilen sınır koşullarıyla belirlenmektedir. Bu sınır koşullarına göre, çıkış menfezi vasıtası ile ameliyathaneden ayrılan partiküller için *escape sınır koşulu*, diğer tüm katı yüzeyler için *trap sınır koşulu* uygulanmıştır. *Trap sınır koşulu* yüzeylere temas eden partiküllerin tekrar hava ile taşınmayıp bu yüzeylere tutunduğunu ifade etmektedir. Çalışmada,  $5\mu\text{m} - 20\mu\text{m}$  aralığında değişen partikül çapında ve  $1000 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğundaki küresel forma sahip partiküller görevli personelin ağız kısmından ( $y = 1.55 \text{ m}$ ) akış alanına bırakılmıştır. Ayrıca, hastanın cerrahi işlem sırasındaki hareketi en düşük düzeyde olduğu için önemli bir kirletici kaynağı olarak görülmezken; operasyon sırasında ortamda bulunan her bir personel bakteri taşıyan partiküller için ana kaynak ( $1.5 \text{ BTP/s}$ ) olarak değerlendirilmiştir (Sadriyadeh vd., 2014). Kirletici kaynak konumları Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilmektedir.

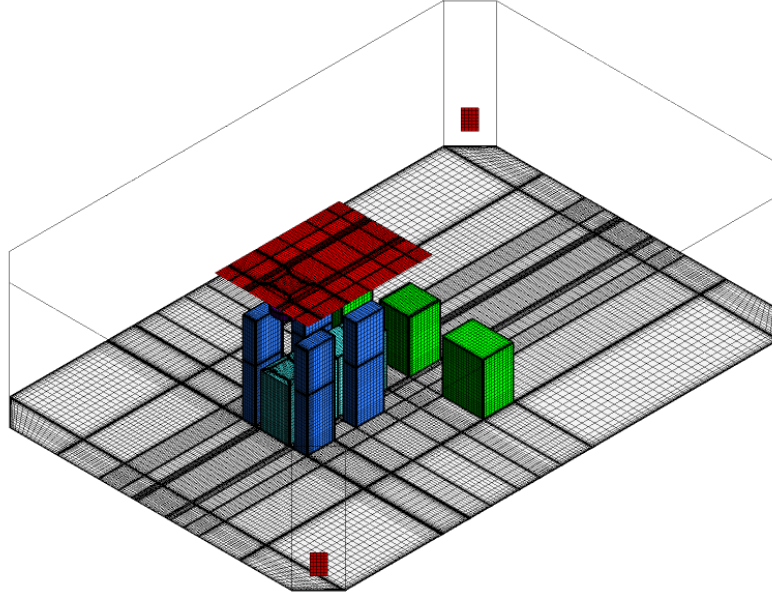


Şekil 2.2. Kirletici kaynak konumları

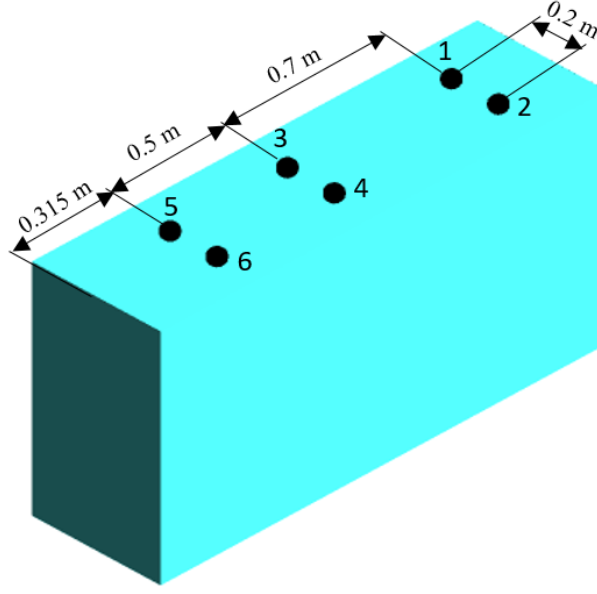
## 2.5. Ağ Yapısı

Sayısal analizde nihai çözümlere başlamadan önce, sonuçların ağ yapısından etkilenmemesi için ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Çalışmada, üniform olmayan ağ

yapısı kullanılmıştır. Cerrahi alanda, akış hızı ve partikül çökme miktarında önemli değişimler olduğu için bu bölgelerde daha sık, diğer bölgelerde ise daha geniş ağ yapısı tercih edilmiştir. Şekil 2.3’de uygulanan ağ yapısı şematik olarak gösterilmektedir. Farklı ağ yapılarında, akış hızı için ameliyat masasının üzerindeki belirli noktalarda, partikül çökme miktarı için ise masa yüzeyinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 2.4’te akış hızı için belirlenen lokasyonlar gösterilmektedir. Üç farklı ağ yapısında (yaklaşık 5.5 milyon, 6.5 milyon ve 7.5 milyon) ağ bağımsızlık çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan ağ bağımsızlık çalışmaları sonucunda, 6.5 milyon hücre sayısından sonra sonuçların ihmal edilebilir düzeyde değiştiği görülmüş ve çalışma, bu ağ yapısında sürdürülmüştür. Tercih edilen ağ yapısında tüm yüzeylerde  $y^+$  değeri  $1 \leq y^+ \leq 7$  aralığındadır. Yerel hız ve çökme miktarı üzerinden yapılan ağ bağımsızlık çalışmaları, sırasıyla, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’de verilmektedir.



Şekil 2.3. Ameliyathaneye uygulanan ağ yapısı



Şekil 2.4. Ameliyat masası üzerindeki ölçüm noktaları (y=1.1m)

Tablo 2.2. Akış hızı için gerçekleştirilen ağ bağımsızlık çalışmasının sonuçları

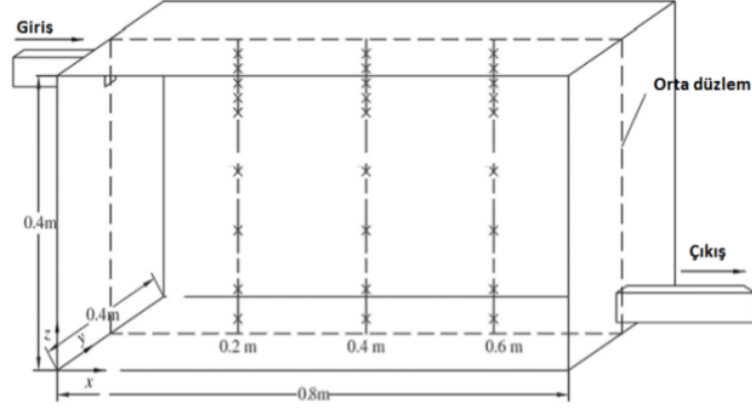
Hız	5.5 Milyon Hücre	Değişim %	6.5 Milyon Hücre	Değişim %	7.5 Milyon Hücre
$V_1$ [m/s]	0.1745	4.52	0.1666	0.84	0.1652
$V_2$ [m/s]	0.1991	4.91	0.2094	0.89	0.2113
$V_3$ [m/s]	0.1345	19.4	0.1619	1.05	0.1602
$V_4$ [m/s]	0.1802	15.5	0.2134	1.56	0.2168
$V_5$ [m/s]	0.1976	5.68	0.2095	0.47	0.2105
$V_6$ [m/s]	0.1835	10.1	0.2041	2.67	0.2097

Tablo 2.3. Partikül çökeltme miktarı için gerçekleştirilen ağ bağımsızlık çalışmasının sonuçları

Partikül boyutu	5.5 Milyon Hücre	Değişim %	6.5 Milyon Hücre	Değişim %	7.5 Milyon Hücre
20 $\mu\text{m}$	950	2.06	970	0.51	975
15 $\mu\text{m}$	850	2.35	830	0.60	825
10 $\mu\text{m}$	621	12.5	710	4.22	680

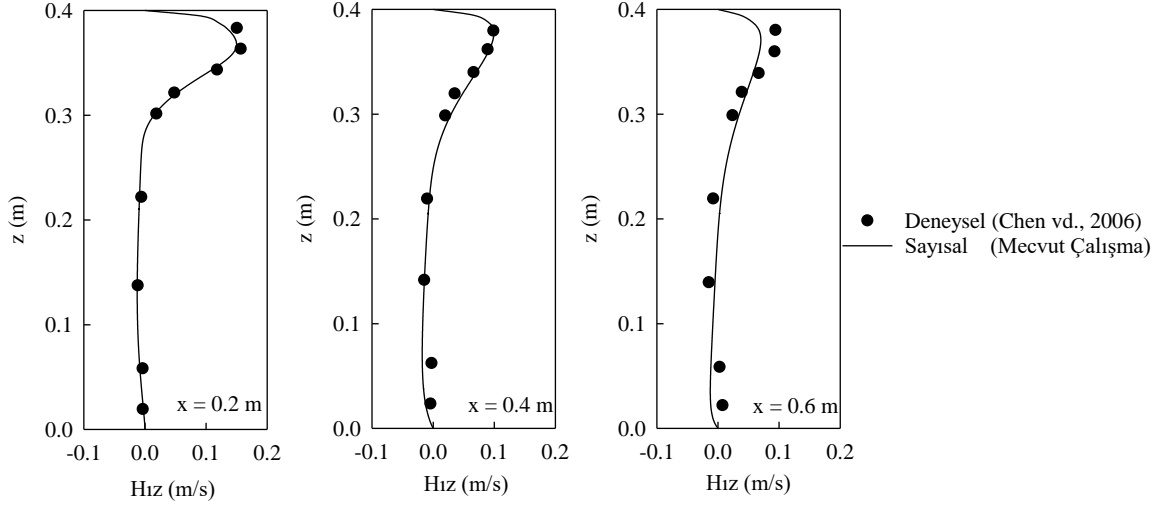
## 2.6. Matematiksel Modelin Doğrulanması

Sayısal modeli doğrulamak için Chen vd. (2006) ve Zhang vd. (2006) tarafından yapılan iki farklı deneysel çalışmanın sonuçları referans alınmıştır.

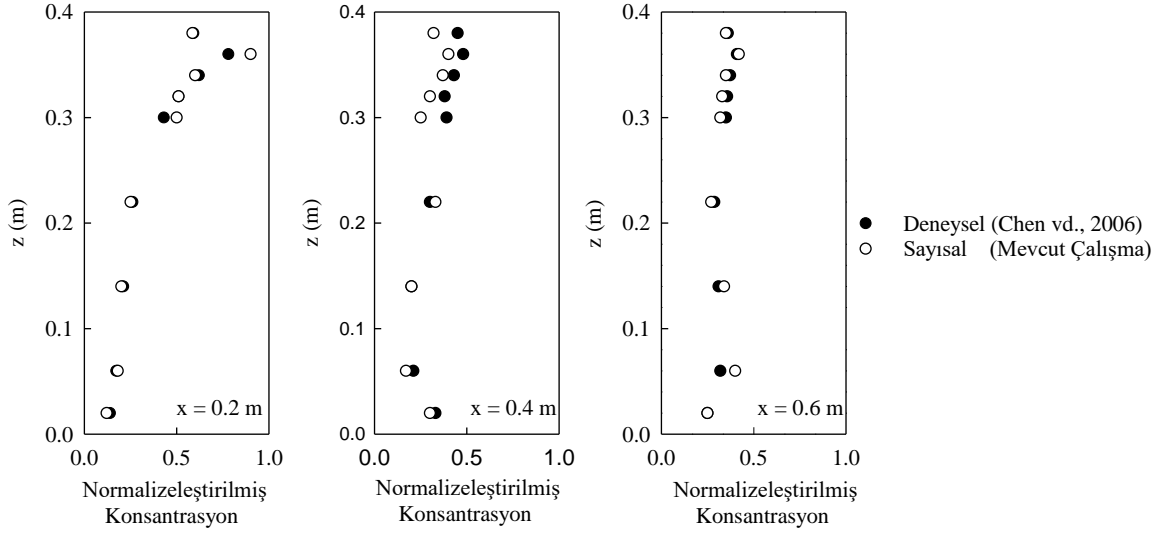


Şekil 2.5. Model odanın geometrisi ve ölçüm noktaları (Chen vd., 2006)

Model odanın boyutları boy (x) x en (y) x yükseklik (z) = 0,8 m x 0,4 m x 0,4 m'dir. Giriş ve çıkış menfezleri orta düzleme simetrik olarak konumlandırılmış ve boyutları 0,04 m x 0,04 m'dir. Üfleme hızı 0,225 m/s olarak seçilmiş ve sırasıyla, 10  $\mu\text{m}$  ve 1400  $\text{kg}/\text{m}^3$  çap ve yoğunluğa sahip partiküller giriş menfezi ile ortama verilmiştir. Şekil 2.6 ve 2.7'de mevcut simülasyonla elde edilen hız ve partikül konsantrasyon değerlerinin deneysel veriler (Chen vd., 2006) ile karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Üç farklı lokasyonda 0.225 m/s giriş hızı için x doğrultusundaki yerel hızların karşılaştırılması



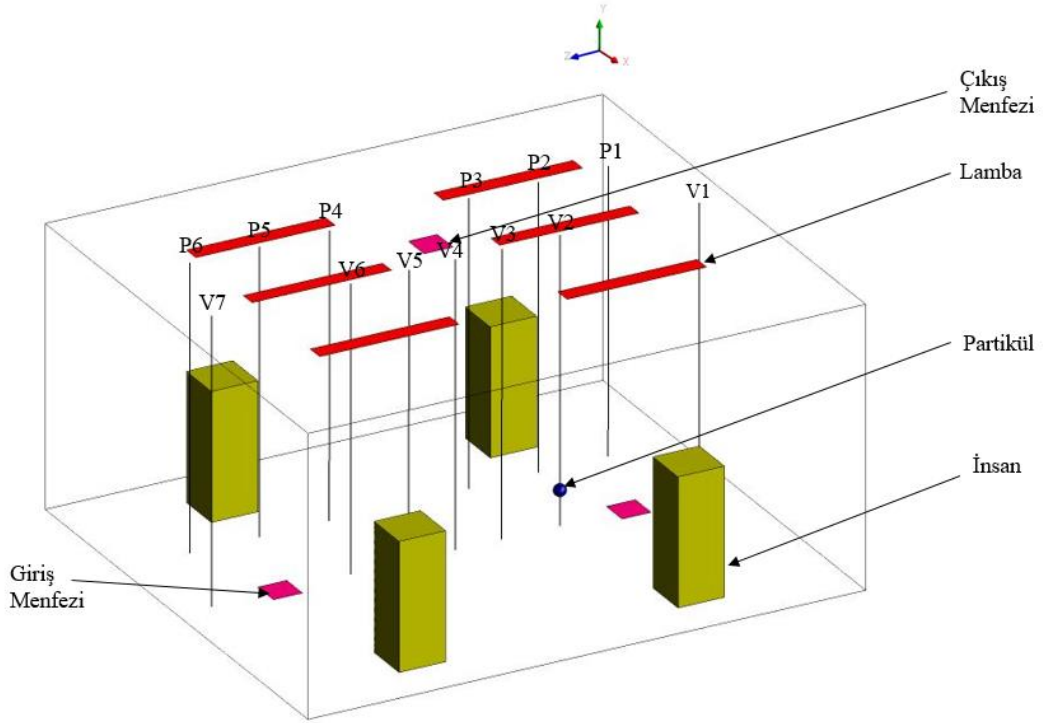
Şekil 2.7. Üç farklı lokasyonda 0.225 m/s giriş hızı için partikül konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması

İlgili değerler dikkatli bir şekilde incelendiğinde, hem hız hem de Lagrange yaklaşımı ile hesaplanan konsantrasyon değerlerinin deneysel çalışma ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durum, tercih edilen sayısal yaklaşımın doğruluğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır.

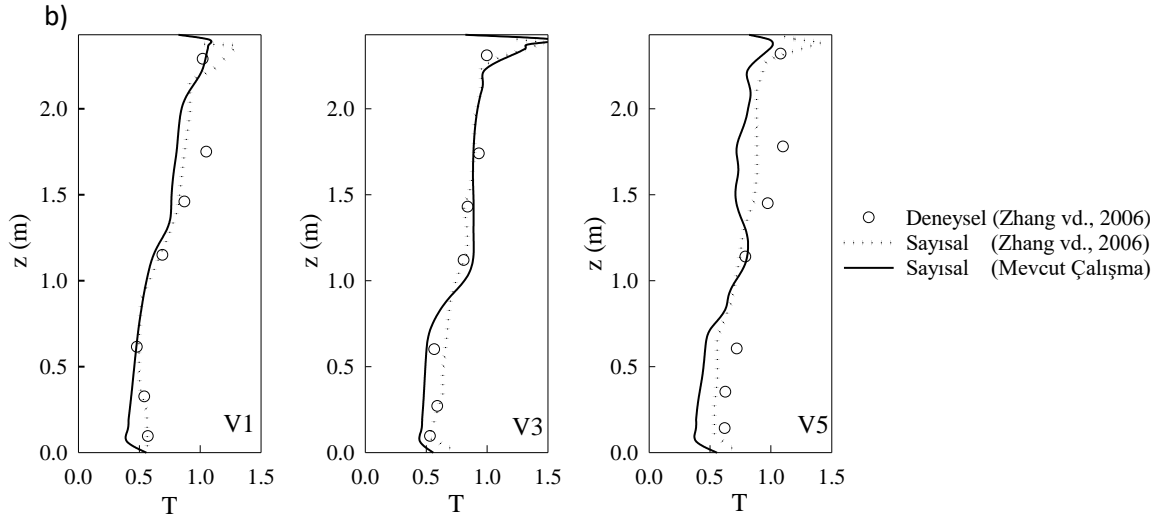
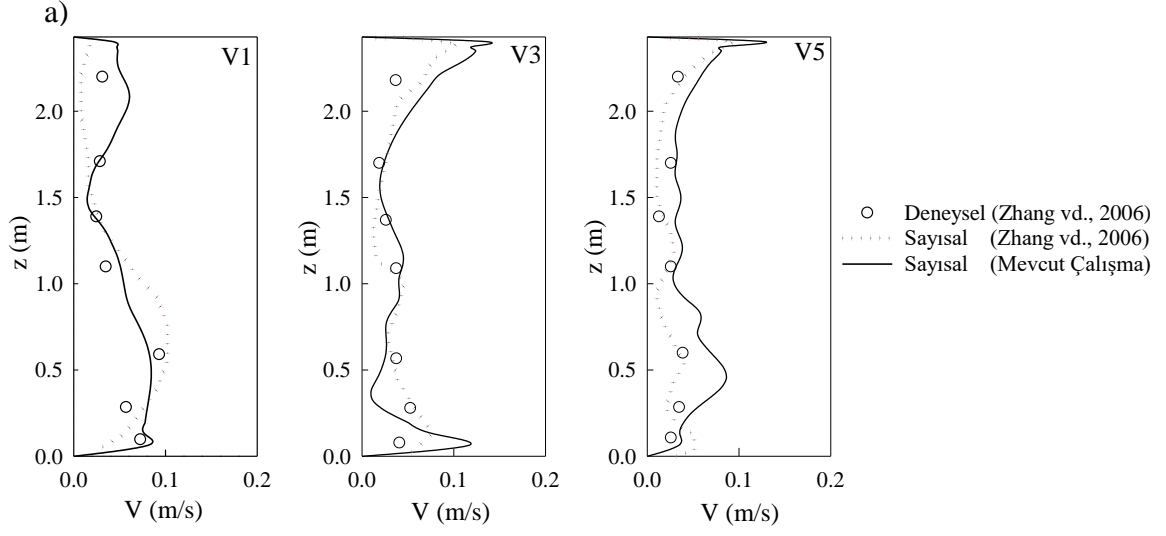
Sayısal modelin doğruluğuna ilişkin diğer bir karşılaştırma ise içerisinde insan bulunan ve boy (x) x en (y) x yükseklik (z) = 4,8 m x 4,2 m x 2,4 m boyutlarına sahip bir



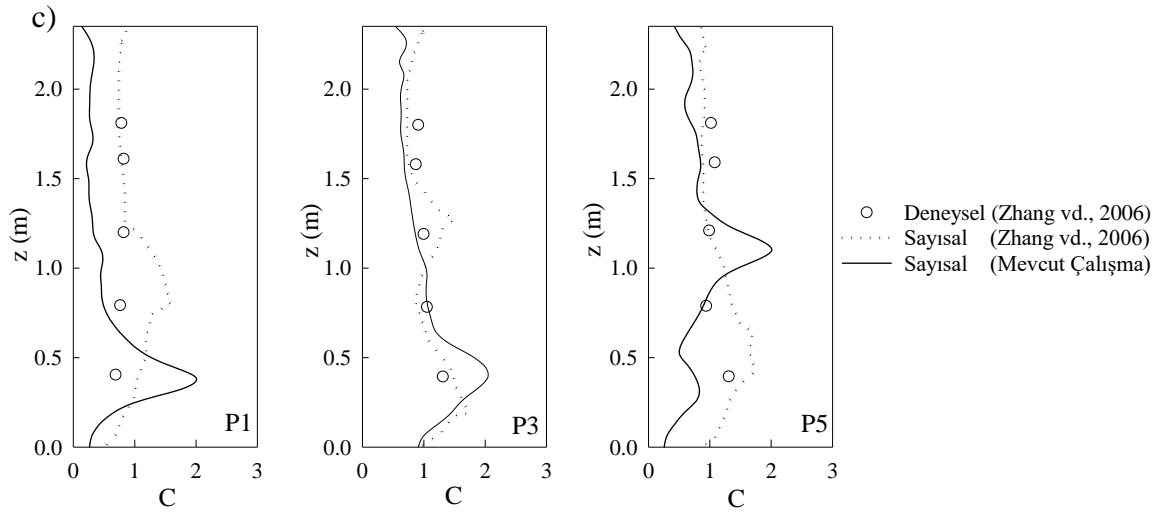
model oda üzerinden gerçekleştirilmiştir (Zhang vd., 2006). Çalışmada, hava toplam debisi  $360 \text{ m}^3/\text{h}$  olan iki adet giriş menfezi ile oda içerisine gönderilmiştir. Isı kaynağını temsil eden altı adet lamba ve dört adet insan simülatörü kullanılmıştır. Ortalama çapı  $0.7 \mu\text{m}$  olan partiküller, zeminden  $0.3 \text{ m}$  yükseklikte konumlandırılmış noktasal kaynaktan oda içerisine bırakılmıştır. Şekil 2.9'da V1 – V3 – V5 için simüle edilen hız ve sıcaklık ile Şekil 2.10'da P1 – P3 – P5 için simüle edilen partikül konsantrasyon değerlerinin deneysel veriler (Zhang vd., 2006) ile karşılaştırılması gösterilmiştir. Hem hız – sıcaklık profillerinin hem de partikül konsantrasyon değerlerinin deneysel çalışma ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 2.8. Model odanın geometrisi ve ölçüm noktaları (Zhang vd., 2006)



Şekil 2.9. Üç farklı lokasyonda yerel hız ve sıcaklıkların karşılaştırılması; (a) hız; (b) normalize edilmiş sıcaklık  $T = (T - T_{giriş}) / (T_{çıkış} - T_{giriş})$



Şekil 2.10. Üç farklı lokasyonda partikül konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu çalışmada, laminer hava akış sistemine sahip bir ameliyathanedeki hava akışı ve partikül taşınımı farklı geometrik düzenlemeler ve akış koşulları için sayısal olarak incelenmiştir. Hava değişim katsayısı, tavan yüksekliği, laminer akış difüzör boyutu, çıkış menfez konum ve sayısı araştırma parametreleri olarak tanımlanmış ve her bir parametrenin cerrahi alan içerisindeki partikül dağılımı, ameliyat masası üzerine düşen partikül sayısı ve hava değişim verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ulaşılan bulgular, ayrıık başlıklar altında sırasıyla aşağıda sunulmaktadır.

#### 3.1. Hava Değişim Katsayısının Etkisi

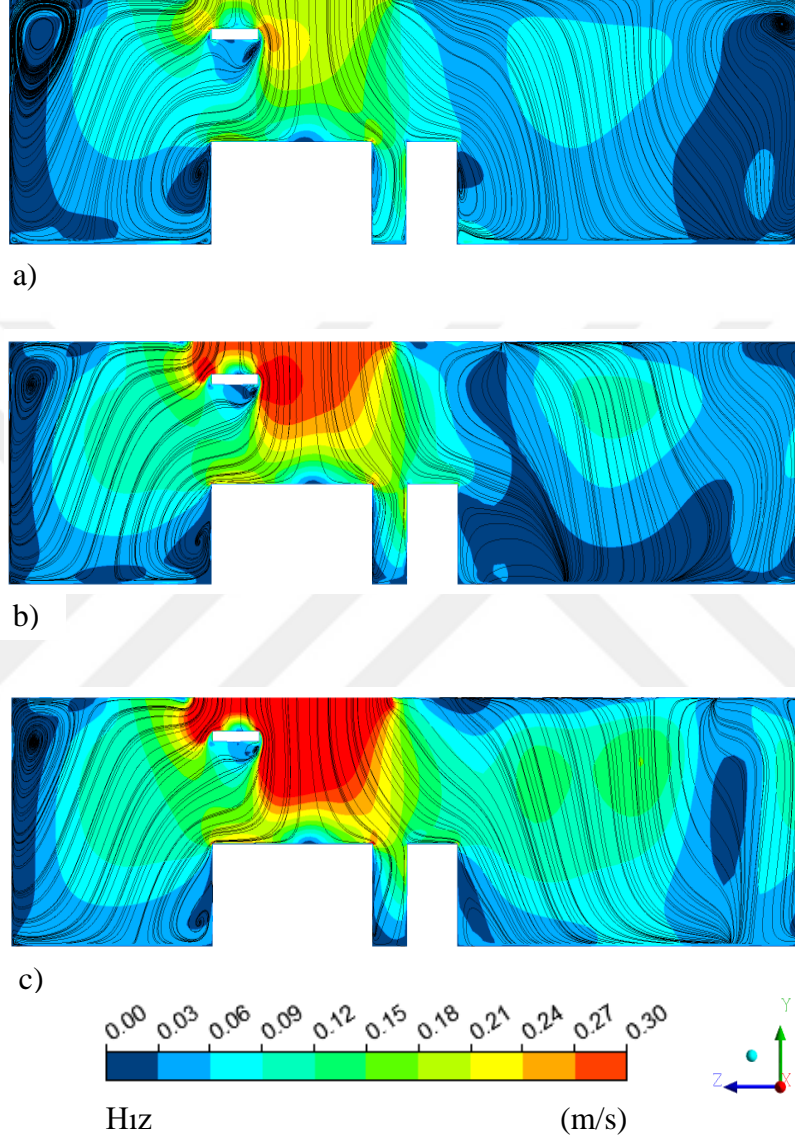
Ameliyathanede, cerrahi alanda etkin bir süpürme verimliliği elde etmede hava değişim katsayısı (HDK) önemli bir parametredir. HDK, tercih edilen hava debisinin ( $m^3/h$ ) ameliyathane hacmine ( $m^3$ ) oranını ifade etmektedir. Çalışmada, üç farklı HDK değeri ve üç farklı partikül çapı kullanılmıştır. İlgili değerler Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Çalışılan üç farklı HDK ve üç farklı partikül çapı değerleri

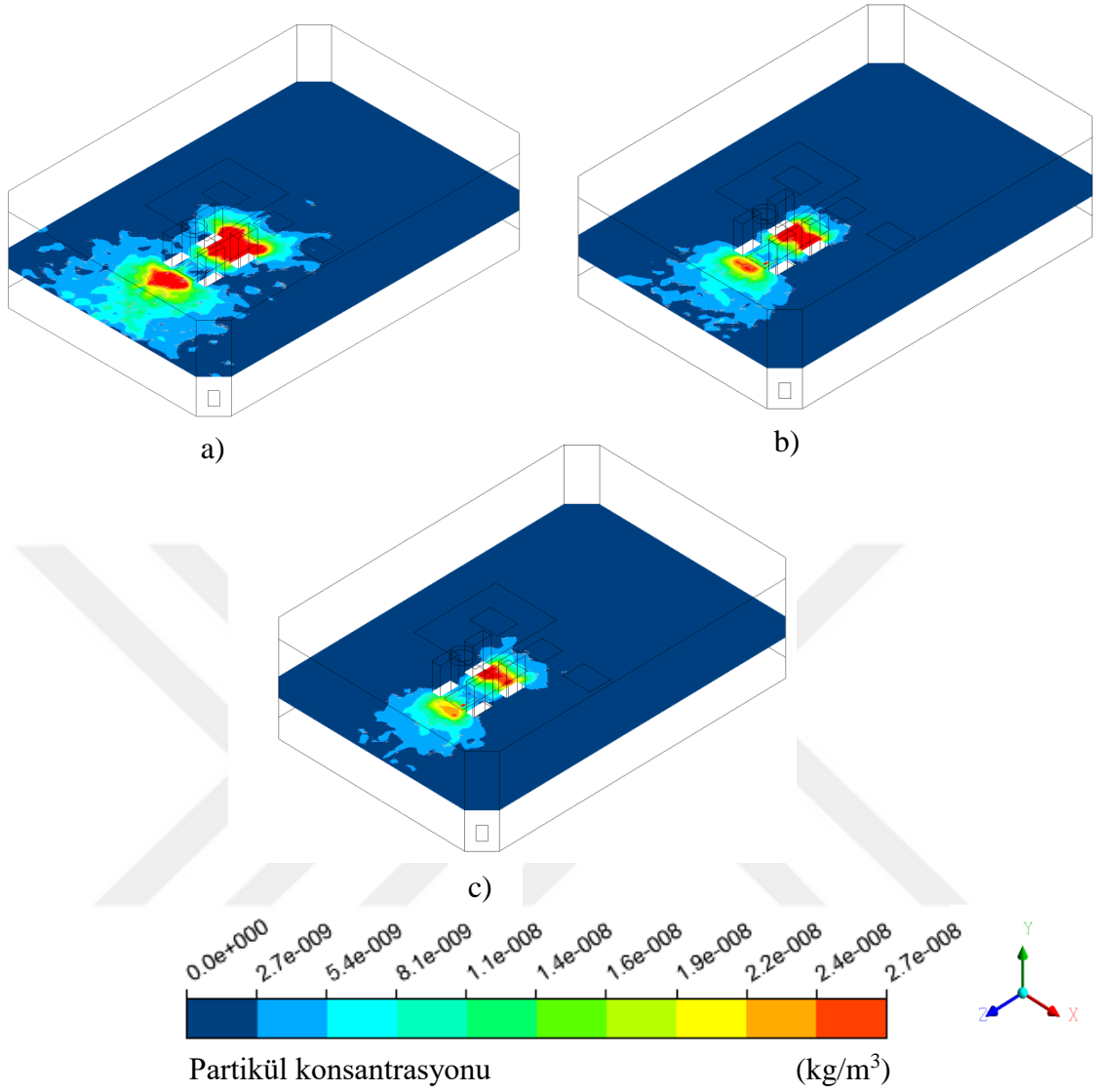
Hava Değişim Katsayısı			Partikül Çapı ( $\mu m$ )		
20	30	40	10	15	20

Şekil 3.1’de, ameliyathane orta düzlemi boyunca farklı hava değişim katsayıları için elde edilen eş hız eğrileri ve akım çizgileri verilmektedir. Genel karakter olarak, her bir hava değişim katsayısı için laminer havalandırma sistemi ile cerrahi alan üzerinde tek yönlü bir hava akışı oluşmaktadır. Akış alanları dikkatli bir şekilde incelendiğinde, artan HDK ile cerrahi alanın hemen üzerindeki hava hızlarının yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. İlgili hızlar, partiküllerin cerrahi alandan uzaklaştırılmasında belirleyici mekanizmayı oluşturmaktadır. Bununla birlikte, artan HDK ile düşük HDK değerlerinde ortaya çıkan sirkülasyon bölgelerinin (üst köşeler ve ameliyat masasının sol yanı) küçüldüğü görülmektedir. Bu davranış, sirkülasyon bölgelerinde barınan partiküllerin ortamdan uzaklaştırılmasına önemli düzeyde katkı sunmaktadır. Akış alanının bozulmasına neden olan

diğer önemli bir faktör ise ameliyat lambasının varlığıdır. Şekil 3.1 (a-c) dikkatli bir şekilde incelendiğinde, artan HDK ile ameliyat lambasının alt komşuluğundaki düşük hızlı bölgenin küçüldüğü görülmektedir.

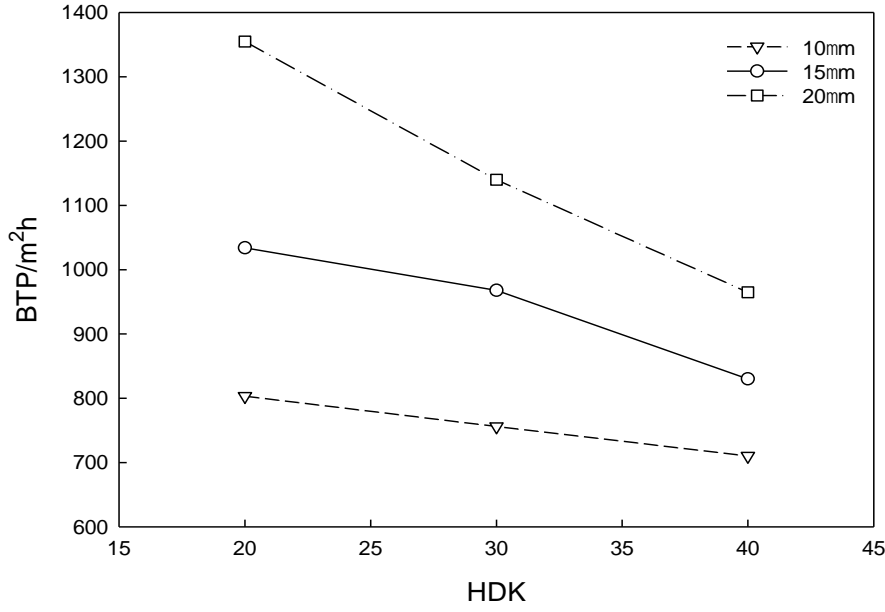


Şekil 3.1. Ameliyat masasının merkez düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) 20 HDK, (b) 30 HDK ve (c) 40 HDK



Şekil 3.2. Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu ( $20 \mu\text{m}$ ); (a) 20 HDK, (b) 30 HD ve (c) 40 HDK

Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonunun farklı HDK'lar altındaki dağılımı Şekil 3.2'de verilmektedir. Artan HDK değeriyle ilgili düzlemdeki partikül konsantrasyonu azalma eğilimi sergilemektedir. Bununla birlikte, kritik bölge olarak tanımlanan ameliyat masasının etrafındaki kirletici dağılımının artan HDK ile birlikte azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.3. Üç farklı HDK altında ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı

Partikül çapı ve HDK'nın ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı üzerindeki etkisi Şekil 3.3'de verilmektedir. Genel karakter olarak, artan HDK ile ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı azalmaktadır. Bu davranış, yüksek HDK değerlerinde cerrahi alanda oluşan yüksek hava hızlarından kaynaklanmaktadır. Partikül taşınımında belirleyici büyüklüğün sürüklenme/yerçekimi kuvveti olduğu hatırlanacak olursa, hava hızındaki artışın sabit yerçekimi kuvveti karşısında sabit partikül çapı için, bu oranı arttıracığı ve partikülün taşınımını hızlandıracağı açıktır. Partikül çapının artmasına bağlı olarak ise partikül kütlesinin artışıyla, aynı HDK değeri için, bu oran azalmakta ve çökme miktarı artmaktadır. Nicel olarak bu azalış, HDK'nın 20 – 40 değerleri arasında partikül çapının 10 µm, 15 µm ve 20 µm değerleri için, sırasıyla, % 12.5, % 19 ve % 26 düzeylerindedir.

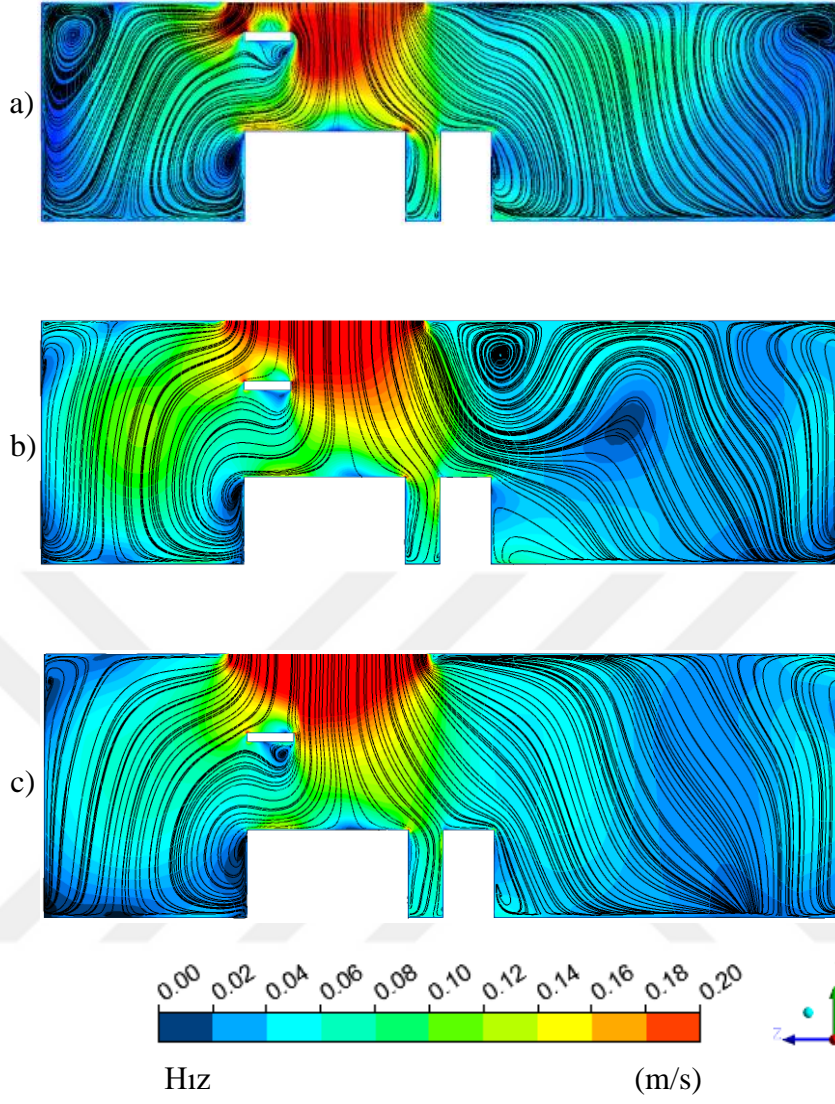
### 3.2. Tavan Yüksekliğinin Etkisi

Çalışmanın bu bölümünde, farklı tavan yüksekliklerinin cerrahi alandaki hava akışı ve partikül dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, aynı hava değişim katsayısında (20 HDK) üç farklı tavan yüksekliği ve iki farklı partikül çapı dikkate alınmış olup, ilgili araştırma parametrelerine ait nicel değerler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışılan üç farklı tavan yüksekliği ve iki farklı partikül çapı değerleri

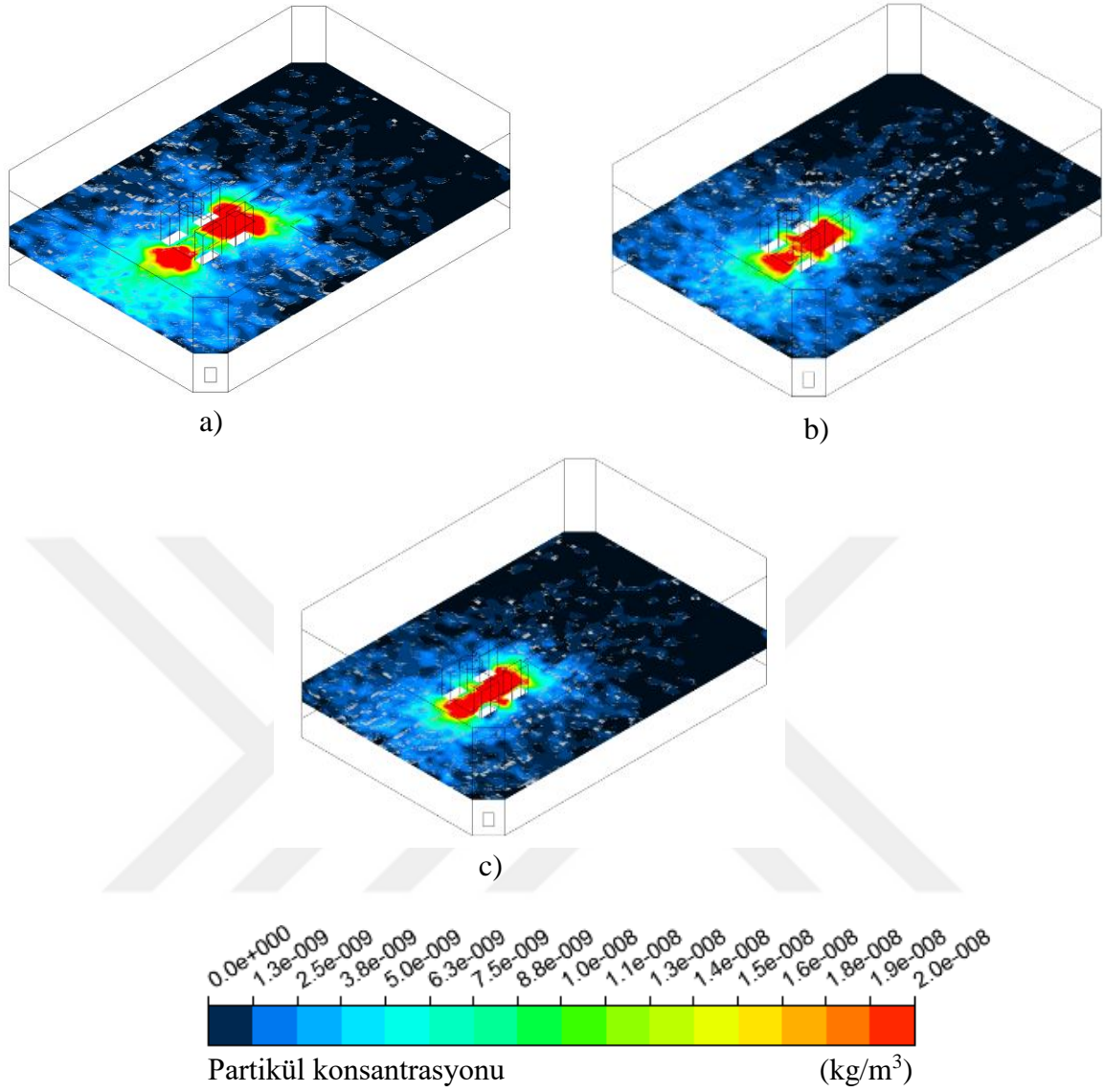
Tavan Yüksekliği (m)			Partikül Çapı ( $\mu\text{m}$ )	
2.43	2.8	3	12	20

Ameliyathane orta düzlemi boyunca farklı tavan yükseklikleri için elde edilen eş hız eğrileri ve akım çizgileri Şekil 3.4'te verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi laminer havalandırma sistemi, cerrahi alan üzerinde minimum türbülans etkisi yaratarak tek yönlü hava akışını sağlamaktadır. Eş hız eğrileri incelendiğinde, aynı hava değişim katsayısında tavan yüksekliğinin artmasıyla cerrahi alan komşuluğundaki hava hızlarının azaldığı görülmektedir. Tavan yüksekliğindeki artışa bağlı olarak ise ameliyathanenin üst köşe bölgelerinde ve ekipman masasının sağ yanında oluşan sirkülasyon bölgeleri küçülmekte, ameliyat masasının sol yanında oluşan sirkülasyon bölgelerinde ise önemli bir değişiklik görülmemektedir. Bununla birlikte, tüm tavan yüksekliklerinde, ameliyat masasının üzerinde bulunan ameliyat lambası laminer havalandırma sistemi ile sağlanan tek yönlü hava akış formunu kısmen bozmakta ve lambanın alt komşuluğunda durağan bir bölge oluşmaktadır. Bu bölge, patojen partiküllerin bu alan boyunca süpürülmesini kısıtlamakta ve ameliyat masası üzerine düşen partikül sayısının artmasına neden olabilmektedir.



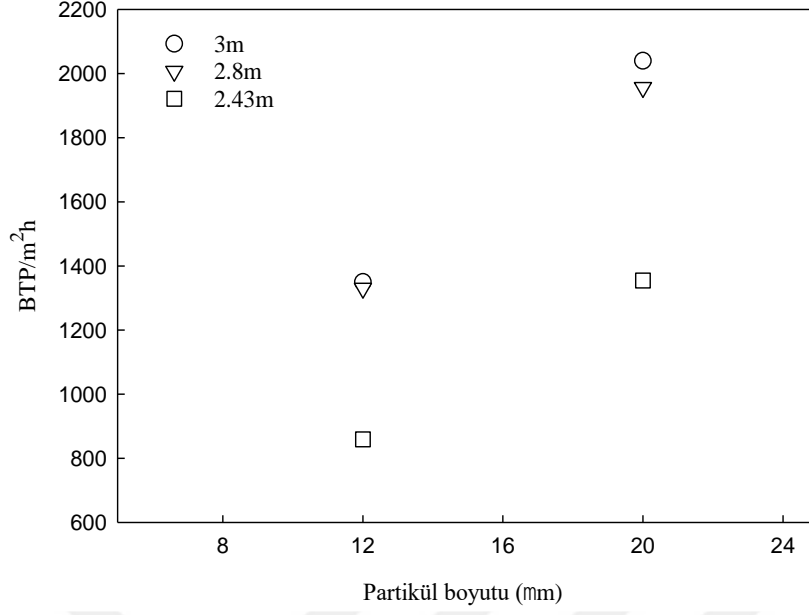
Şekil 3.4. Farklı tavan yükseklikleri için ameliyat masasının merkez düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) 2.43m, (b) 2.8m ve (c) 3m





Şekil 3.5. Farklı tavan yükseklikleri için ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu (20µm); (a) 2.43m, (b) 2.8m ve (c) 3m

Farklı tavan yükseklikleri için, 20 µm çapa sahip partiküllerin ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyon dağılımı Şekil 3.5'te verilmektedir. Aynı hava değişim katsayısında tavan yüksekliğinin azalmasıyla cerrahi alan komşuluğundaki hava hızları yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 3.4). Bu durum, sürüklenme kuvvetinin artmasına ve bunun bir sonucu olarak daha düşük partikül konsantrasyonlarına imkan sunmaktadır. Tavan yüksekliğinin 2.43 m değerine ait konsantrasyon dağılımında (Şekil 3.5a) bu davranış net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, ilgili düzlemde tavan yüksekliğindeki değişime bağlı olarak, cerrahi alanın dışında kalan bölgelerdeki konsantrasyon dağılımında önemli bir değişiklik görülmemektedir.



Şekil 3.6. Üç farklı tavan yüksekliğinde ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı

Partikül çapı ve tavan yüksekliğinin ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı üzerindeki etkisi Şekil 3.6'da verilmektedir. Aynı hava değişim katsayısında, tavan yüksekliğinin azalmasıyla ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı azalmaktadır. Bu davranış, tavan yüksekliğinin azalmasıyla cerrahi alan komşuluğunda ortaya çıkan yüksek hava hızlarının bir sonucudur. Tavan yüksekliğinden bağımsız olarak, partikül çapının azalmasıyla partiküle etki eden sürüklenme kuvveti artmakta ve buna bağlı olarak partikül çökme miktarı azalmaktadır. Bu durum, laminer hava akış ünitesi ile ameliyat masası arasındaki mesafenin cerrahi alandaki patojen partiküllerin süpürülmesinde önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

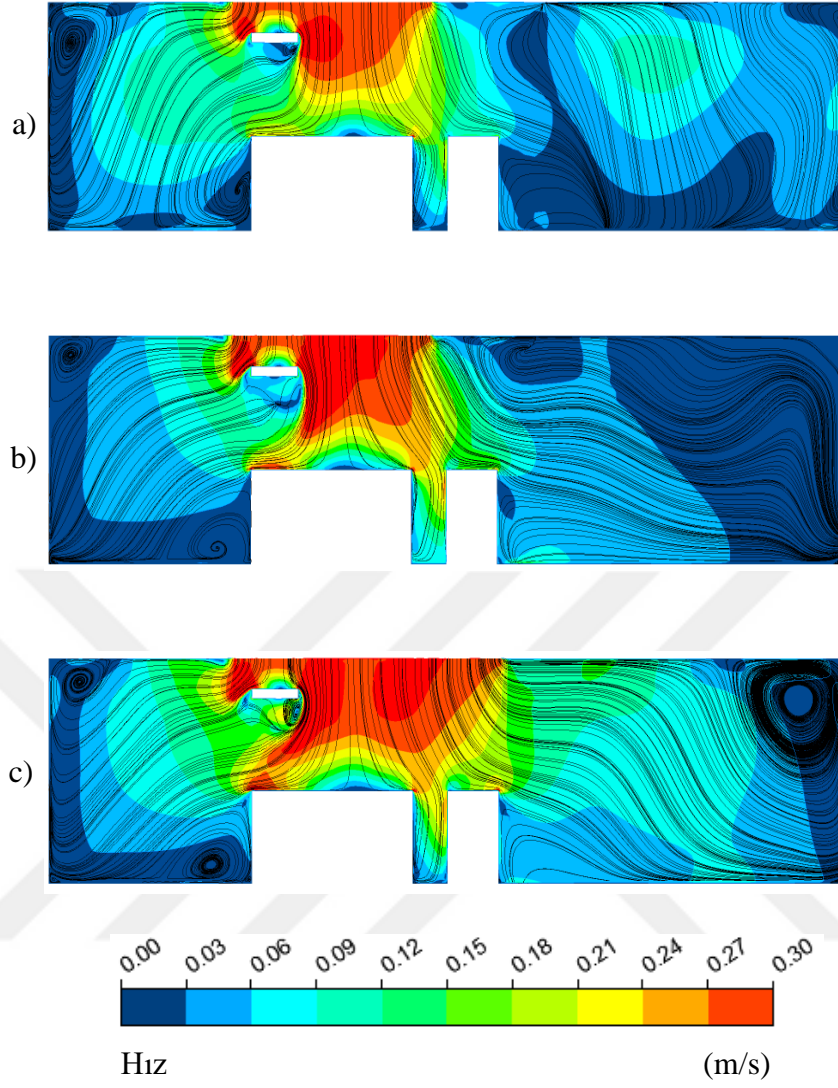
### 3.3. Laminer Akış Difüzör Boyutunun Etkisi

Bu bölümde, laminer akış difüzör boyutunun cerrahi alandaki hava akışı ve partikül dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, aynı besleme hava hızı ( $v = 0.29$  m/s) ve tavan yüksekliği ( $h = 2.43$  m) için, üç farklı laminer akış difüzör boyutu ve üç farklı partikül çapı dikkate alınmış olup, ilgili değerler Tablo 3.3'de verilmiştir.

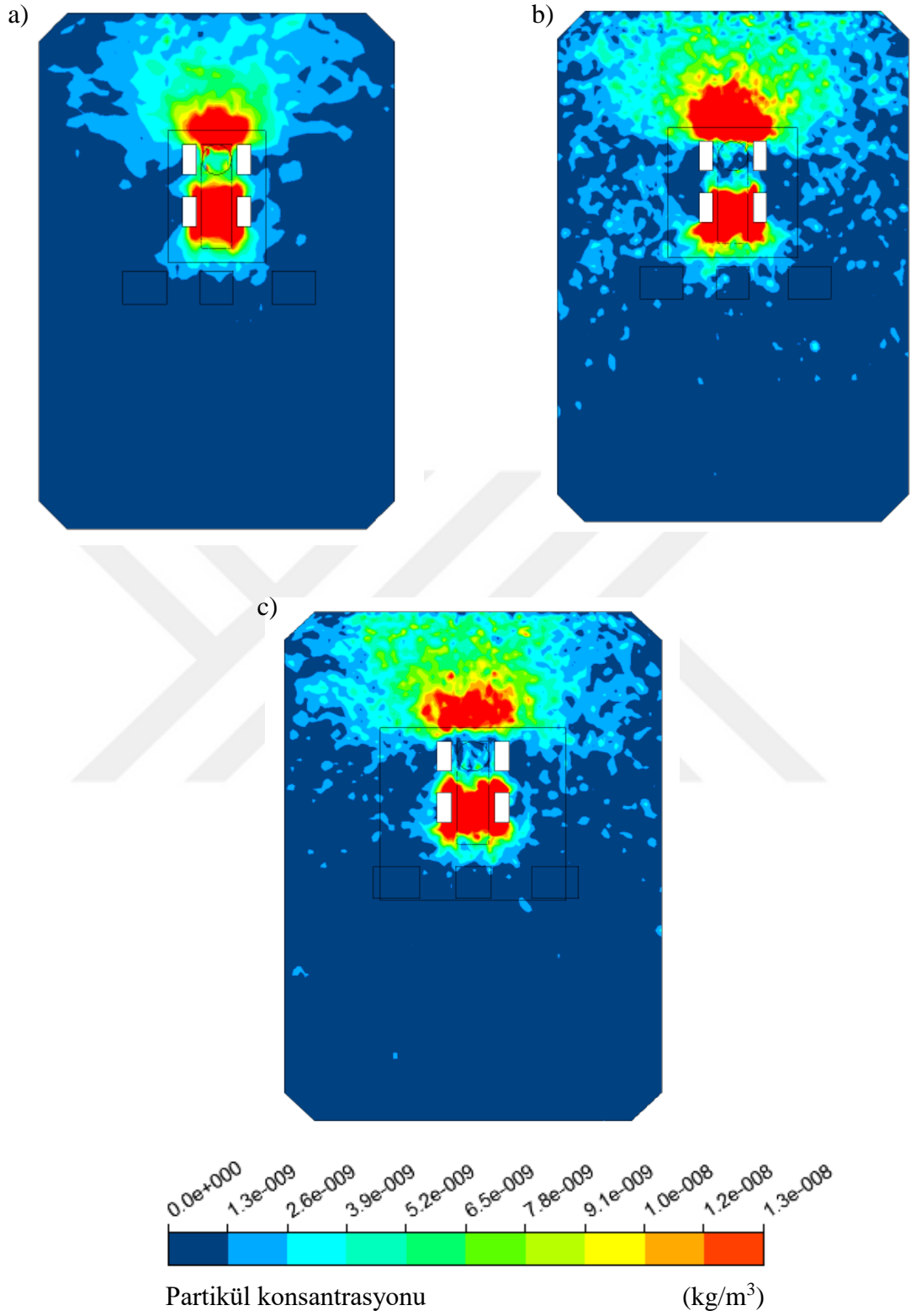
Tablo 3.3. Çalışılan üç farklı laminer akış difüzör boyutu ve üç farklı partikül çapı değerleri

Laminer Akış Difüzör Boyutu			Partikül Çapı ( $\mu\text{m}$ )		
1.8 m x 2.4 m	2.4 m x 2.4 m	3.2 m x 3.2 m	5	10	20

Ameliyathane orta düzlemi boyunca farklı laminer akış difüzör boyutları için elde edilen eş hız eğrileri ve akım çizgileri Şekil 3.7'de verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, tüm difüzör boyutları için cerrahi alan üzerinde tek yönlü bir hava akışı oluşmaktadır. Akış alanları incelendiğinde, aynı besleme hava hızında laminer akış difüzör boyutunun artmasıyla cerrahi alan komşuluğundaki hava hızlarının arttığı görülmektedir. Difüzör boyutlarına bağlı olarak ise, ameliyathanenin farklı bölgelerinde farklı büyüklüklerde sirkülasyon bölgeleri oluşmaktadır. Artan difüzör boyutu ile ameliyathanenin sol üst köşesinde ve ameliyat masasının sol yanında oluşan sirkülasyon bölgelerinde önemli bir değişim görülmemektedir. Bununla birlikte, en büyük difüzör boyutunda ise ameliyathanenin sağ üst köşesinde büyük bir sirkülasyon bölgesi oluşmaktadır. Bu durum, patojen partiküllerin sirkülasyon bölgeleri içerisindeki kalış süresini arttırmakta ve böylece partiküllerin ana akışa aktarılıp ortamdaki uzaklaştırılmasını engellemektedir. Ayrıca, cerrahi alandaki tek yönlü hava akışını bozan ameliyat lambasının altında düşük hızlı bir bölgenin oluştuğu görülmektedir. İlgili bölge, hava akışını sınırlandırmakta ve partiküllerin bu alandan süpürülmesini kısıtlamaktadır. Difüzör boyutundaki artışa bağlı olarak, ameliyat lambasının alt komşuluğundaki bölge büyümekte ve oluşan sirkülasyon bölgesinden kaynaklı bu alandaki hızlar yüksek değerlere ulaşmaktadır.

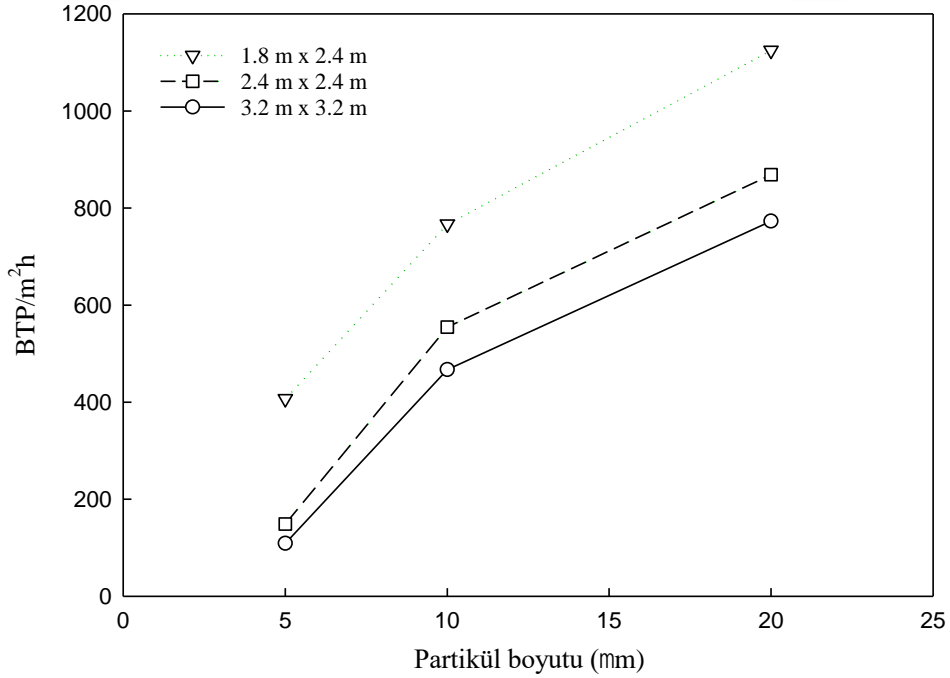


Şekil 3.7. Ameliyat masasının merkez düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) 1.8 m x 1.8 m, (b) 2.4 m x 2.4 m ve (c) 3.2 m x 3.2 m



Şekil 3.8. Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu (20 $\mu$ m);  
(a) 1.8 m x 1.8 m, (b) 2.4 m x 2.4 m ve (c) 3.2 m x 3.2 m

Farklı laminer difüzör boyutları için, 20 µm çapa sahip partiküllerin ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyon dağılımları Şekil 3.8’de verilmektedir. Aynı besleme hava hızında, laminer akış difüzör boyutunun artmasıyla ameliyat masası üzerinde partikül konsantrasyonunun azaldığı bir bölge oluşurken, bu bölgenin sağ kısmındaki kirletici yoğunluğunda önemli bir değişiklik görülmemektedir. Bununla birlikte, en küçük difüzör boyutunda diğer difüzör ebatlarına kıyasla kirletici dağılımı daha dar bir bölgede sınırlı kalmaktadır. Bu davranış, artan difüzör boyutu ile hava değişim katsayısı artmakta ve buna bağlı olarak cerrahi alanın dışında kalan bölgelerdeki konsantrasyon dağılımının artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.9. Üç farklı laminer akış difüzör boyutunda ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı

Partikül çapı ve laminer akış difüzör boyutunun ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı üzerindeki etkisi Şekil 3.9’da verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, aynı besleme hava hızında difüzör boyutundaki artışa bağlı olarak ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı azalmaktadır. Bu davranış, difüzör boyutunun artmasıyla cerrahi alandaki koruma alanının büyümesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, laminer akış difüzör boyutundan bağımsız olarak, partikül çapı ile çökme miktarı arasında doğru orantı bulunmaktadır. Bu durum, çap azalışı ile artan sürüklenme kuvvetinin bir sonucudur. Nicel olarak, en büyük

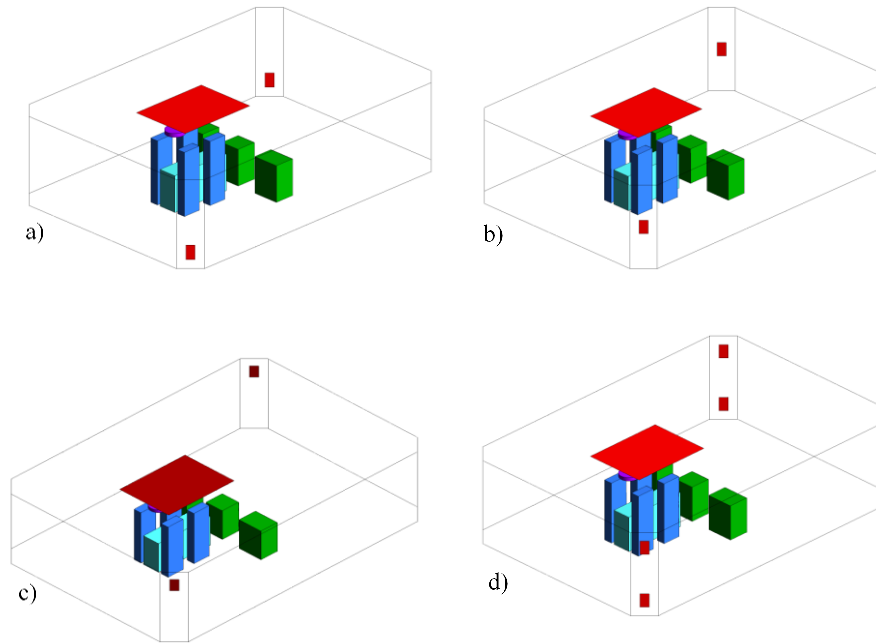
difüzör boyutunun kullanılmasıyla ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı, küçük partiküller ( $5 \mu\text{m}$ ) için % 73 oranında ve büyük partiküller ( $20 \mu\text{m}$ ) için ise % 32 oranında azalmaktadır.

### 3.4. Çıkış Menfez Konumu ve Sayısının Etkisi

Bu bölümde, çıkış menfez konumu ve sayısının cerrahi alandaki hava akışı ve partikül dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, aynı hava değişim katsayısı (30 HDK) ve tavan yüksekliği ( $h=2.43$ ) için dört farklı çıkış menfez konumu ve üç farklı partikül çapı dikkate alınmış olup, ilgili değerler Tablo 3.4’de verilmiştir. Şekil 3.10’da çıkış menfez konum ve sayıları şematik olarak verilmektedir. Şekil 3.10 (a-b-c)’da ameliyathanenin her köşesinde toplam dört adet, Şekil 3.10 d’de ise ameliyathanenin her köşesinde toplam sekiz adet çıkış menfezi bulunmaktadır.

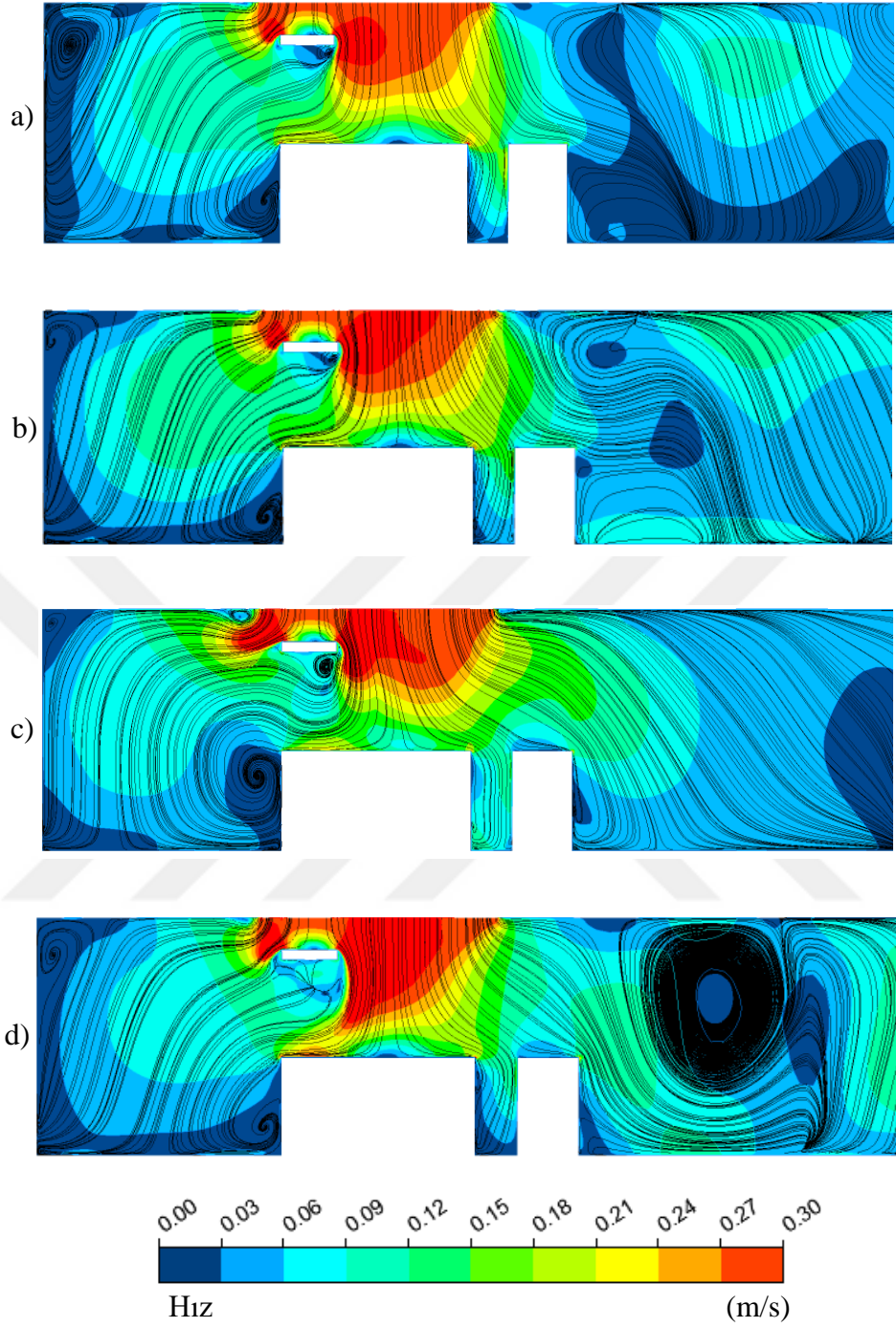
Tablo 3.4. Çalışılan dört farklı çıkış menfez konumu ve üç farklı partikül çapı değerleri

Çıkış Menfez Konumu				Partikül Çapı ( $\mu\text{m}$ )		
Alt	Orta	Üst	Alt - Üst	5	10	20



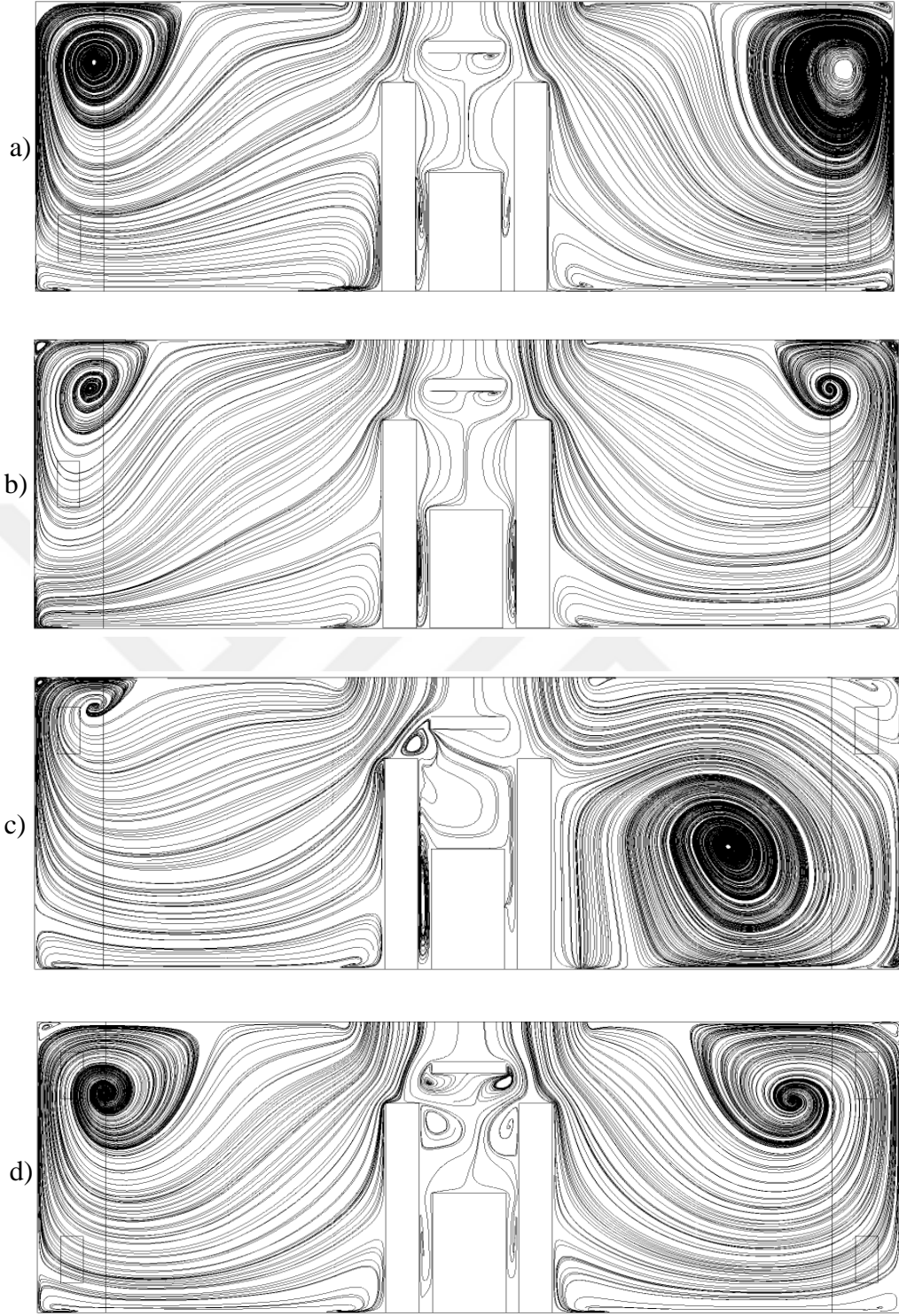
Şekil 3.10. Dört farklı çıkış menfez konumu; (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) alt – üst menfez





Şekil 3.11. Ameliyat masasının merkez düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) üst – alt menfez

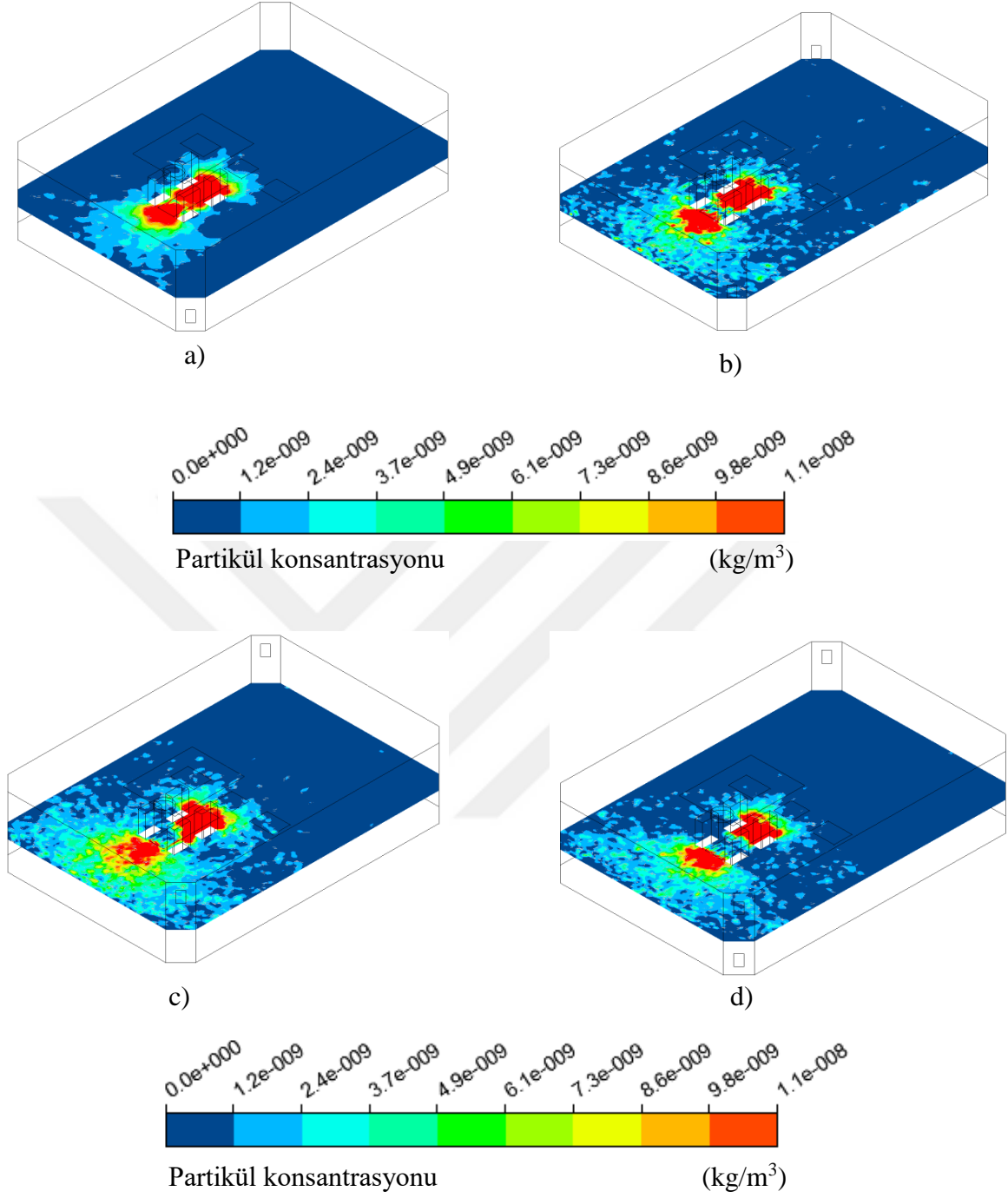




Şekil 3.12. Ameliyat lambasının merkez düzlemindeki ( $z = 2.04$  m) akım çizgileri;  
(a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) üst – alt menfez

Ameliyathane orta düzlemi boyunca farklı menfez konumları için elde edilen eş hız eğrileri ve akım çizgileri Şekil 3.11’de verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi genel karakter olarak, tüm menfez konumları için, laminer havalandırma sistemiyle cerrahi alanda tek yönlü hava akışı oluşmaktadır. Bu hava hareketi, patojen partiküllerin operasyon bölgesinden hızlı ve etkin bir şekilde süpürülmesine olanak sağlamaktadır. Eş hız eğrileri incelendiğinde, tüm konfigürasyonlar için, ameliyat masası üzerindeki akış alanlarının ortak bir dağılım sergilediği, cerrahi alanın dışındaki bölgelerde ise akış alanlarının farklı formlara sahip olduğu görülmektedir. Çıkış menfezlerine bağlı olarak, ameliyathanenin farklı bölgelerinde farklı büyüklüklerde sirkülasyon bölgeleri oluşmaktadır. Tüm menfez konumlarında, ameliyathanenin üst sol köşesinde ve ameliyat masasının sol yanında oluşan sirkülasyon bölgelerinde önemli bir değişim görülmemektedir. Bu sirkülasyon bölgeleri, patojen partikülleri uzun süre içerisinde barındırdıkları için kontrollü çevrede istenilmeyen akış yapılarıdır.

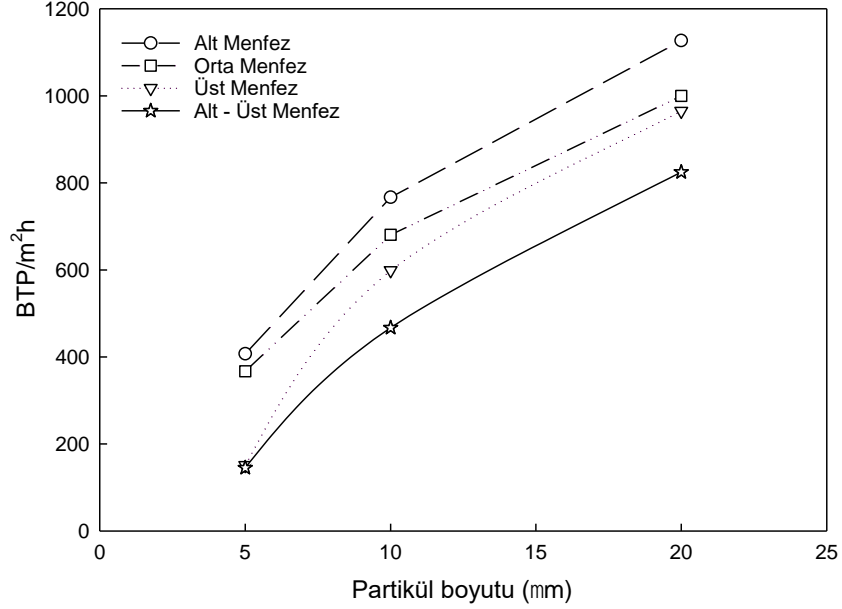
Ameliyat lambasının orta düzlemindeki ( $z = 2.04$  m) akım çizgileri Şekil 3.12’de verilmektedir. Akım çizgileri incelendiğinde, ilgili düzlemde değişken konumlara sahip farklı büyüklüklerde sirkülasyon bölgelerinin oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte, ameliyat lambasının cerrahi alandaki tek yönlü hava akış gelişimini önemli düzeyde sınırladığı ve ameliyat lambasının alt komşuluğunda oluşan ölü bölgenin (düşük hızlı sirkülasyon bölgesi) form ve şiddet açısından menfez konumuyla önemli değişimler sergilediği görülmektedir. Bu ölü bölge, görevli personelin solunum alanındaki partikül konsantrasyonunun artışına neden olabilmektedir.



Şekil 3.13. Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu (20µm); (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) alt – üst menfez

Farklı menfez konum ve sayıları için, 20 µm çapa sahip partiküllerin ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyon dağılımı Şekil 3.13’de verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, tüm konfigürasyonlarda en yüksek partikül konsantrasyonu genellikle ameliyat masası üzerinde oluşmaktadır. Çıkış menfezi konum ve sayısına bağlı olarak, konsantrasyon dağılımı ilgili düzlem üzerinde farklı değişimler sergilemektedir. Alt menfez

konumunda, partiküller genellikle ameliyat masasının yakınındaki alana sınırlı kalırken, diğer menfez konumlarında kirletici dağılımı ameliyat masası – duvar arası bölgesine doğru kaymaktadır.



Şekil 3.14. Farklı menfez konum ve sayılarında ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı

Partikül çapı ve menfez konumunun ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarına etkisi Şekil 3.14'te verilmektedir. Aynı hava değişim katsayısında, ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarının alt menfez konumunda en fazla, alt – üst menfez konumunda ise en az olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, çıkış menfez konum ve sayısından bağımsız olarak, partikül çapının artışıyla ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarının arttığı görülmektedir. Bu davranış, daha önceki bölümlerde ifade edildiği üzere, çap – yerçekimi kuvveti arasındaki doğru orantının bir sonucudur. Nicel olarak, alt menfez konumuna kıyasla alt – üst menfez konumunda ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarının küçük partiküller (5  $\mu\text{m}$ ) için % 64 ve büyük partiküller (20 $\mu\text{m}$ ) için ise % 25 oranında azalma sergilemektedir.

### 3.5. Hava Değişim Verimliliği

İç hava kalitesinin tanımlanmasında kullanılan en önemli parametrelerden birisi de hava değişim verimliliğidir. Hava değişim verimliliği (HDV), ameliyathanedeki havalandırma sisteminin mahal havasını değiştirme yetisinin bir ölçüsüdür. HDV açık formda aşağıdaki şekilde ifade edilir.

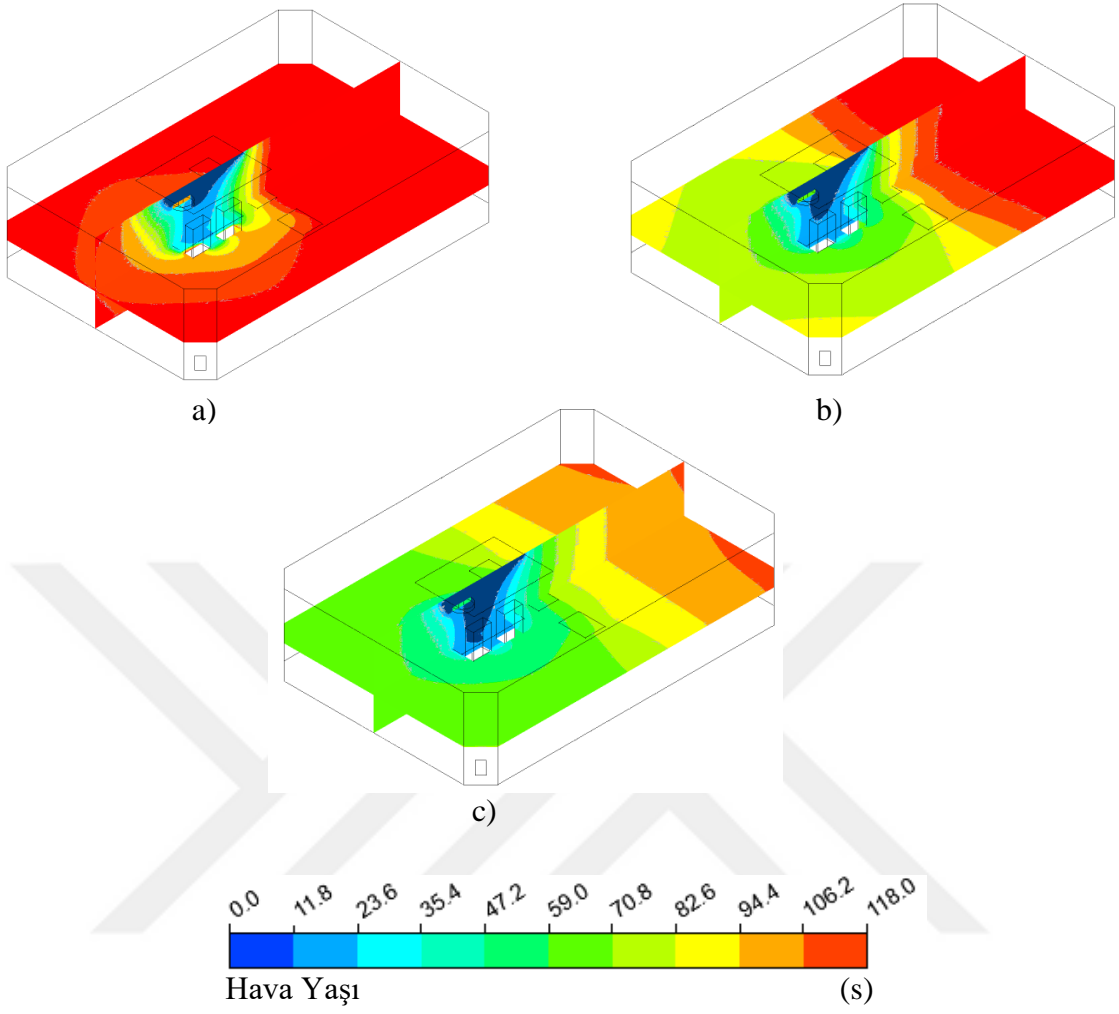
$$HDV = \frac{\tau_e}{2 \times \langle \bar{\tau} \rangle} \times 100[\%] \quad (3.1)$$

Burada,  $\langle \bar{\tau} \rangle$  mahal ortalama hava yaşı,  $\tau_e$  ise çıkış menfezindeki havanın ortalama yaşını temsil etmektedir. Tez kapsamında, incelenen her bir araştırma parametresinin (HDK, menfez konumu ve sayısı, tavan yüksekliği ve laminer akış difüzör boyutu) hava yaşı üzerindeki etkileri sırasıyla, Şekil 3.15, 3.16, 3.17 ve 3.18’de verilmektedir.

Hava değişim katsayısının hava yaşı üzerindeki etkisi iki farklı düzlem (ameliyat masasına dik ve paralel düzlemler) üzerinden Şekil 3.15’de sunulmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi, artan HDK ile cerrahi alan üzerindeki ortalama hava yaşı azalmaktadır. Bu davranış, HDK’nın artmasıyla beraber cerrahi alan komşuluğundaki hava hızlarının yüksek değerlere ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, artan HDK ile giriş menfezinden gelen havanın çıkış menfezine ortalama ulaşma süresi de azalmaktadır. Diğer bir ifadeyle, mahal içerisindeki kirlenmiş hava taze havayla daha hızlı bir şekilde yer değiştirmektedir. Farklı HDK değerleri için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri Tablo 3.5’de verilmektedir.

Tablo 3.5. Farklı HDK değerleri için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri

Hava Değişim Katsayısı	Ortalama Hava Yaşı (s)	
	Ameliyat Masası	Çıkış Menfezi
20	28.18	168.31
30	20.23	111.04
40	16.88	88.32

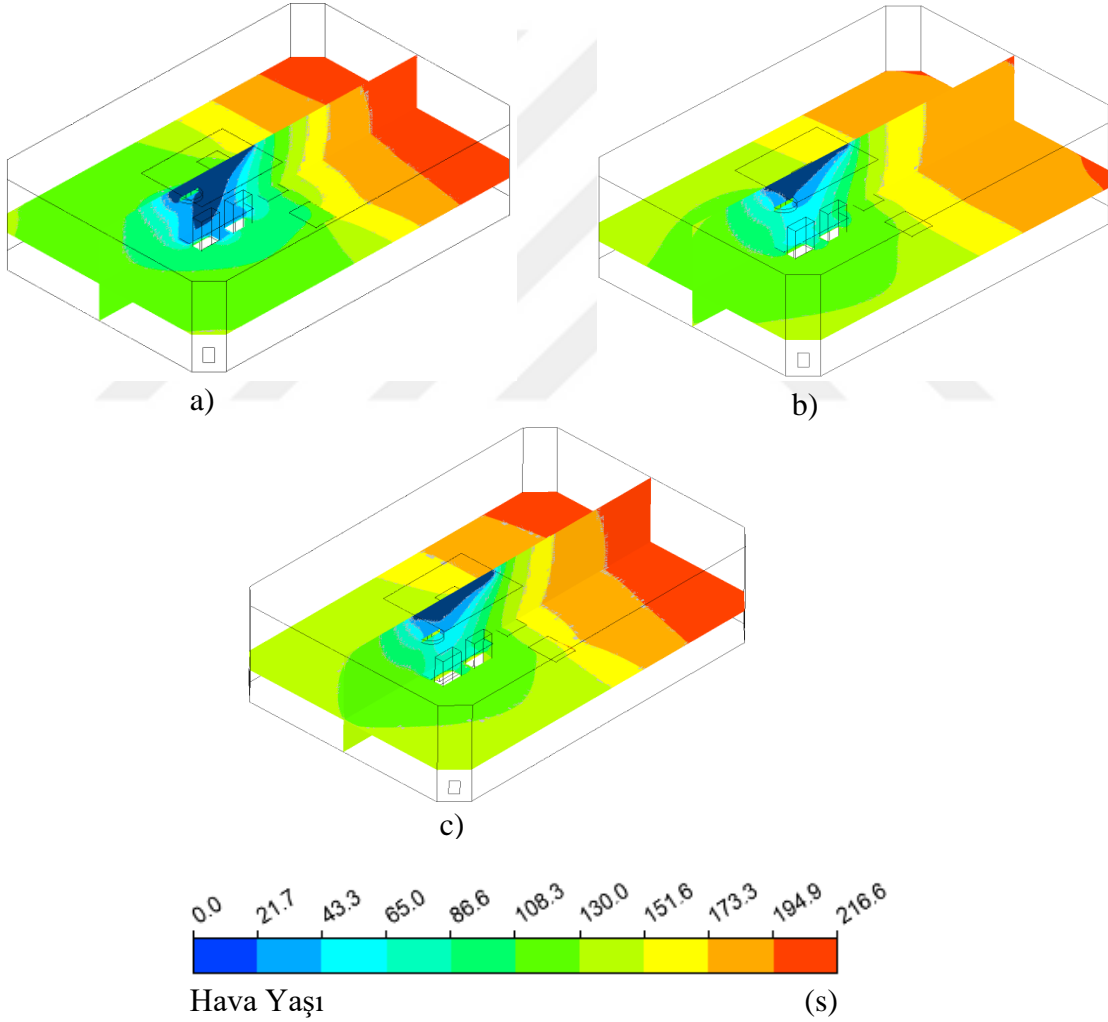


Şekil 3.15. Ameliyat masası düzlemindeki ortalama hava yaşı; (a) 20 HDK, (b) 30 HDK ve (c) 40 HDK

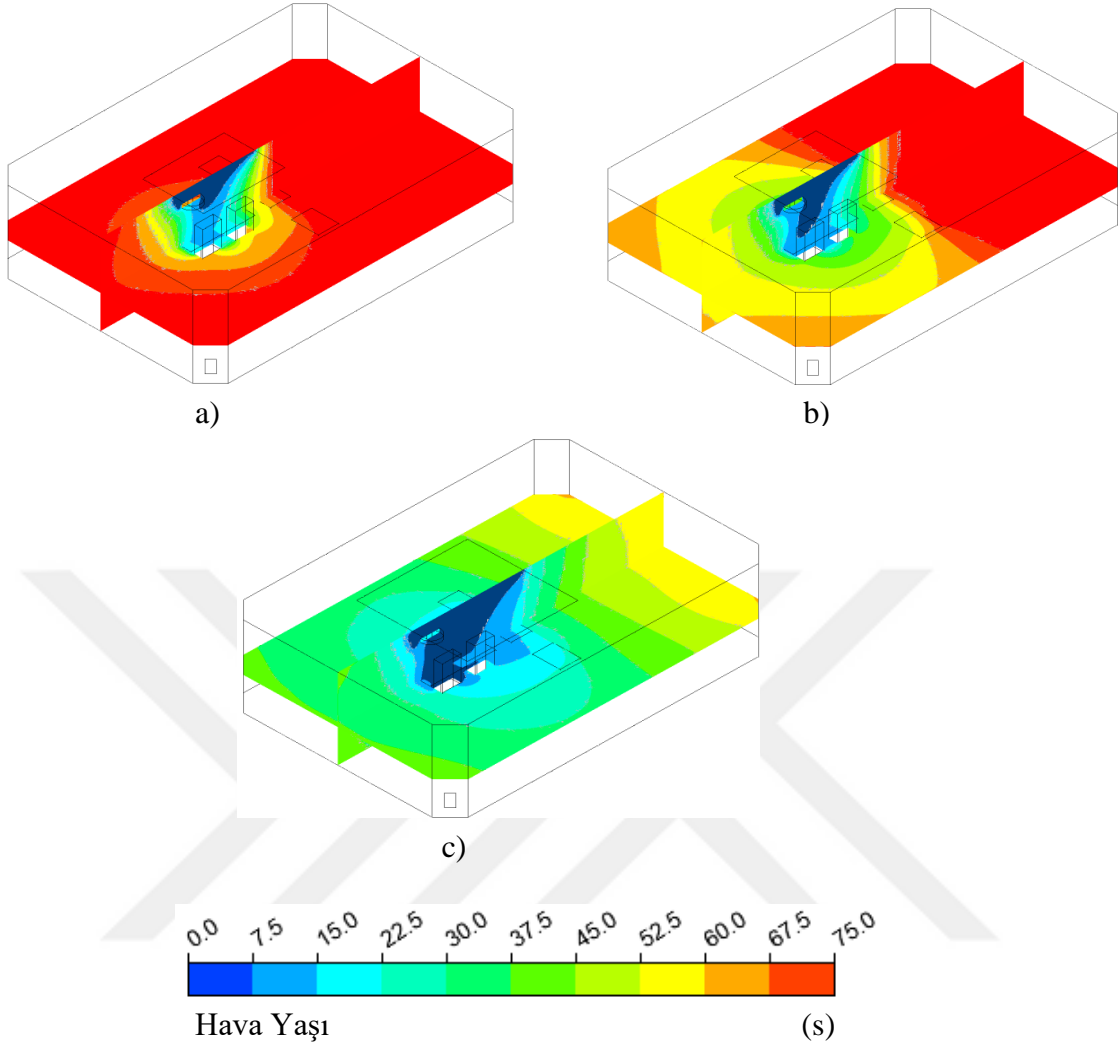
Tavan yüksekliğinin hava yaşı üzerindeki etkisi aynı referans düzlemler üzerinden Şekil 3.16'da sunulmaktadır. Aynı hava değişim katsayısı için, tavan yüksekliğinin artmasıyla cerrahi alan komşuluğundaki ve çıkış menfezlerindeki ortalama hava yaşı artmaktadır. Bu durum, tavan yüksekliğindeki artışa bağlı olarak, mahal içerisindeki havanın daha uzun sürede yenildiğini ifade etmektedir. Tablo 3.6'da farklı tavan yükseklikleri için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri verilmektedir. İlgili değerler incelendiğinde, tavan yüksekliğinin 3 m'den 2.43 m'ye düşürülmesiyle ameliyat masası üzerindeki ortalama hava yaşının % 65 düzeyinde azaldığı görülmektedir.

Tablo 3.6. Farklı tavan yüksekliği için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri

Tavan Yüksekliği (m)	Ortalama Hava Yaşı (s)	
	Ameliyat Masası	Çıkış Menfezi
2.43	28.18	165.88
2.8	71	168.31
3	80.44	174.14



Şekil 3.16. Ameliyat masası düzlemindeki ortalama hava yaşı; (a) 2.43m, (b) 2.8 m ve (c) 3 m



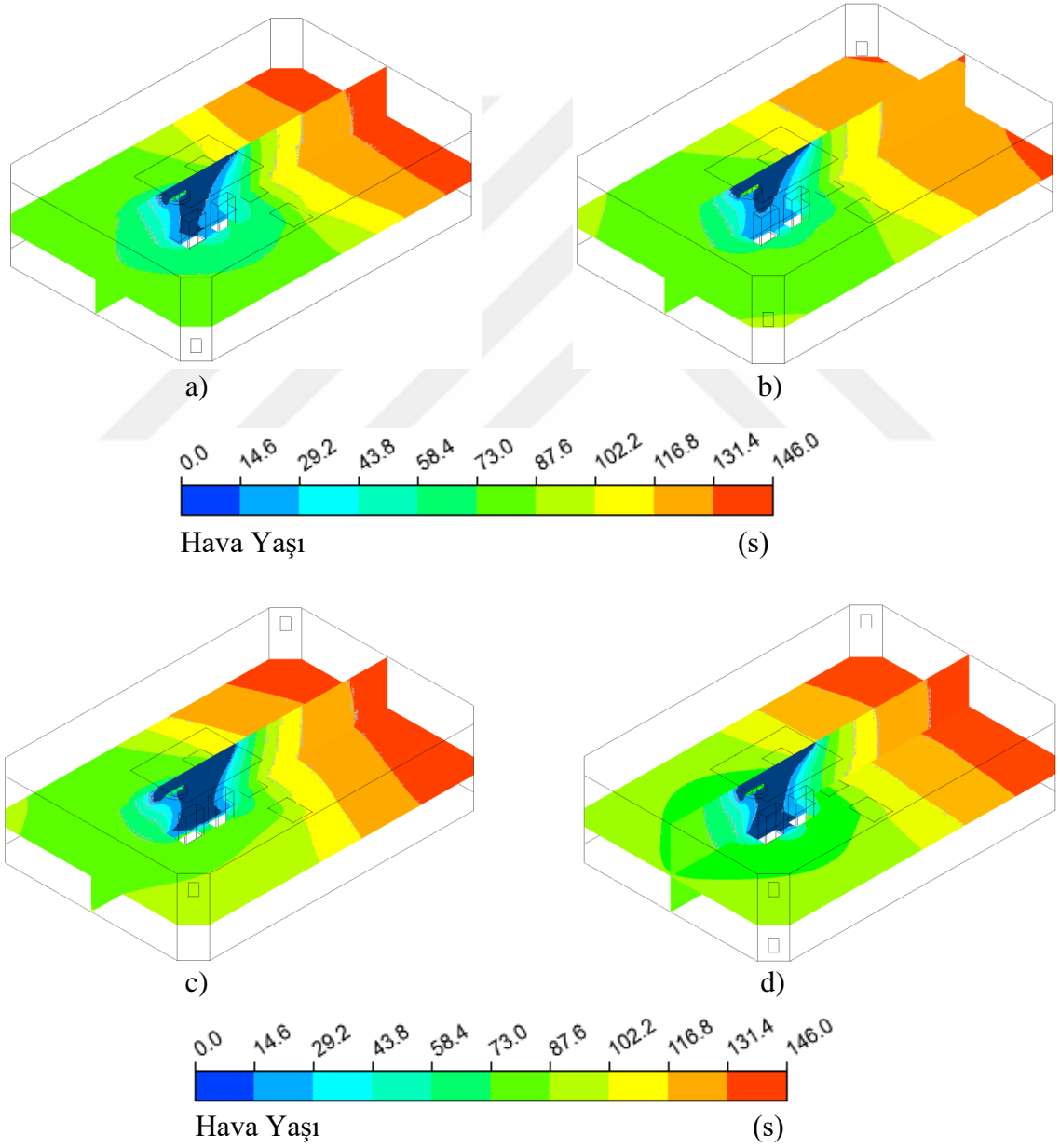
Şekil 3.17. Ameliyat masası düzlemindeki ortalama hava yaşı; (a) 1.8 m x 2.4 m, (b) 2.4 m x 2.4 m ve (c) 3.2 m x 3.2 m

Laminer difüzör boyutunun hava yaşı üzerindeki etkisi Şekil 3.17’de verilmektedir. İlgili dağılımlar detaylı bir şekilde incelendiğinde, laminer akış difüzör boyutunun artmasıyla cerrahi alan komşuluğundaki ortalama hava yaşının ciddi oranda azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. Bu davranış, difüzör boyutundaki artışa bağlı olarak ulaşılan daha etkin ve geniş süpürme alanlarının varlığı ile açıklanabilir. Ayrıca, aynı besleme hızı için geniş difüzör kesitinin yüksek HDK’lara cevap verdiği, diğer bir ifadeyle daha hızlı kirli – temiz hava yer değişiminin sağlandığı vurgulanmalıdır. Farklı laminer akış difüzör boyutları için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri Tablo 3.7’de verilmektedir.



Tablo 3.7. Farklı laminer akış difüzör boyutu için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri

Laminer Akış Difüzör Boyutu	Ortalama Hava Yaşı (s)	
	Ameliyat Masası	Çıkış Menfezi
1.8 m x 2.4 m	20.23	111.04
2.4 m x 2.4 m	13.43	86.16
3.2 m x 3.2 m	7.02	47.65



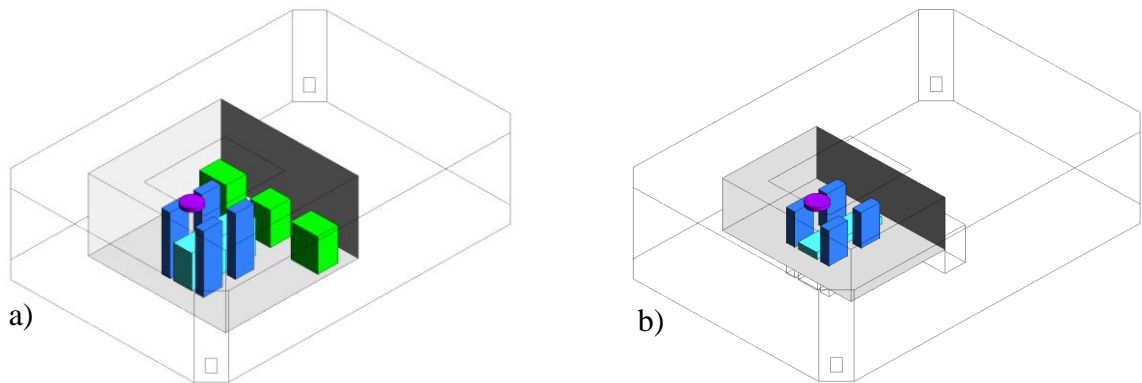
Şekil 3.18. Ameliyat masası düzlemindeki ortalama hava yaşı; (a) alt menfez, (b) orta menfez, (c) üst menfez ve (d) üst – alt menfez

Hava yaşının çıkış menfez konumu ve sayısına bağlı değişimi grafiksel ve tablosal formda sırasıyla, Şekil 3.18 ve Tablo 3.8’de sunulmaktadır. Aynı hava değişim katsayısı için (30 HDK), ameliyat masası üzerindeki ortalama hava yaşının orta menfez konumunda en yüksek, üst - alt menfez konumunda ise en düşük değerini aldığı görülmektedir. Bu davranış, cerrahi alanın hemen üzerindeki yüksek hava hızlarının bir sonucudur. Çıkış menfezlerindeki ortalama hava yaşları incelendiğinde ise, alt ile orta menfez ve üst ile üst – alt menfezleri arasında önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

Tablo 3.8. Farklı çıkış menfez konum ve sayısı için ameliyat masası üzerindeki ve çıkış menfezindeki ortalama hava yaşı değerleri

Çıkış Menfez Konumu	Ortalama Hava Yaşı (s)	
	Ameliyat Masası	Çıkış Menfezi
Alt Menfez	20.23	111.04
Orta Menfez	25.38	110.86
Üst Menfez	17.8	115.30
Üst – Alt Menfez	14.42	115.20

Çalışmada, ortalama hava yaşı, ameliyathanenin toplam hacmi ve farklı bölümler (işgal edilen alan, solunum alanı) için de hesaplatılmıştır. İlgili bölümlerin izometrik görüntüleri Şekil 3.19’da şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3.19. Hava yaşının hesaplatıldığı alanların izometrik görüntüleri; (a) işgal edilen alan ve (b) solunum alanı

Her bir araştırma parametresi için, tüm ameliyathane hacmine ait ortalama hava yaşı ve hava değişim verimliliği değerleri Tablo 3.9'da verilmektedir. İlgili değerler incelendiğinde, tavan yüksekliğinin artışıyla ameliyathane hacmindeki ortalama hava yaşının arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, 2.43 m tavan yüksekliğindeki hava değişim verimliliğinin en yüksek düzeyde olduğu, diğer yükseklikteki verimlilikler arasında ise önemli bir yüzdelik farkın olmadığı görülmektedir. Diğer bir parametre olan HDK'nın artışına bağlı olarak ilgili hacimdeki ortalama hava yaşı azalmaktadır. Ayrıca, tüm HDK değerleri için elde edilen ortalama hava yaşları arasında ciddi oranda farklılıklar olmasına rağmen, verimlilikler arasında önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Bu durum, hava değişim katsayısının ameliyathane hacmi için hesaplanan hava değişim verimliliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, LAD boyutunun artışına bağlı olarak ameliyathane hacmindeki ortalama hava yaşı ciddi oranda azalırken, hava değişim verimliliği ise artış göstermektedir. Menfez konumunun etkisi incelendiğinde, ortalama hava yaşının en düşük ve en yüksek değerlerine sırasıyla, alt menfez ve üst menfez konumlarında ulaştığı görülmektedir. Ayrıca, hava değişim verimliliği üzerinde menfez konumunun önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. İşgal edilen alan ve solunum alanı için hesaplanan ortalama hava yaşı ve hava değişim verimliliği değerlerinin, ilgili parametrelere bağlı olarak ameliyathane hacmi için hesaplatılan değerler ile oransal olarak benzer sonuçlar vermektedir. İlgili değerler Tablo 3.10 ve Tablo 3.11'de verilmektedir.

Tablo 3.9. Ameliyathane hacmindeki ortalama hava yaşı ve hava değişim verimliliği

Tavan Yüksekliği (20 HDK)	2.43 m	2.8 m	3 m
Ortalama Hava Yaşı (s)	142.94	147.75	154.05
Hava Değişim Verimliliği	% 58.80	% 56.10	% 56.50

Hava Değişim Katsayısı	20	30	40
Ortalama Hava Yaşı (s)	142.94	94.68	75.71
Hava Değişim Verimliliği	% 58.80	% 58.60	% 58.30

Tablo 3.9'un devamı

LAD Boyutu	1.8 m x 2.4 m	2.4 m x 2.4 m	3.2 m x 3.2 m
Ortalama Hava Yaşı (s)	94.68	70.6	35.71
Hava Değişim Verimliliği	%58.60	%61.0	%66.70

Menfez Konumu (30 HDK)	Alt	Orta	Üst	Üst - Alt
Ortalama Hava Yaşı (s)	94.68	97.08	99.89	98.51
Hava Değişim Verimliliği	% 58.60	% 57.0	%57.70	%58.40

Tablo 3.10. İşgal edilen alandaki ortalama hava yaşı ve hava değişim verimliliği

Tavan Yüksekliği (20 HDK)	2.43 m	2.8 m	3 m
Ortalama Hava Yaşı (s)	101.87	121.82	128.57
Hava Değişim Verimliliği	% 82.6	% 68.0	%67.70

Hava Değişim Katsayısı	20	30	40
Ortalama Hava Yaşı (s)	101.87	67.02	55.02
Hava Değişim Verimliliği	% 82.6	% 82.80	% 80.20

LAD Boyutu	1.8 m x 2.4 m	2.4 m x 2.4 m	3.2 m x 3.2 m
Ortalama Hava Yaşı (s)	67.02	45.21	20.58
Hava Değişim Verimliliği	% 82.80	% 95.20	% 115.70

Menfez Konumu (30 HDK)	Alt	Orta	Üst	Üst - Alt
Ortalama Hava Yaşı (s)	67.02	73.55	72.6	71.9
Hava Değişim Verimliliği	% 82.80	% 75.30	% 79.40	% 80.11

Tablo 3.11. Solunum alanındaki ortalama hava yaşı ve hava değişim verimliliği

Tavan Yüksekliği (20 HDK)	2.43 m	2.8 m	3 m
Ortalama Hava Yaşı (s)	78.94	103.54	109.45
Hava Değişim Verimliliği	% 106	% 80.10	% 79.50

Hava Değişim Katsayısı	20	30	40
Ortalama Hava Yaşı (s)	78.84	52.37	43.76
Hava Değişim Verimliliği	% 106.0	% 106.0	% 104.0

LAD Boyutu	1.8 m x 2.4 m	2.4 m x 2.4 m	3.2 m x 3.2 m
Ortalama Hava Yaşı (s)	52.37	33.27	15.41
Hava Değişim Verimliliği	% 106.0	% 129.0	% 154.60

Menfez Konumu (30 HDK)	Alt	Orta	st	st - Alt
Ortalama Hava Yaşı (s)	52.37	58.96	55.25	56.88
Hava Değişim Verimliliği	% 106.0	% 94.0	% 104.0	% 105.0

#### 4. SONUÇLAR

Tez kapsamında, laminer hava akış sistemine sahip bir ameliyathanedeki akış alanı ve partikül taşınımı farklı geometrik düzenlemeler ve çalışma koşulları altında sayısal olarak incelenmiştir. Araştırma parametresi olarak, tavan yüksekliği, hava değişim katsayısı, çıkış menfez konum ve sayısı, laminer akış difüzör boyutu dikkate alınmış ve her bir parametrenin partikül dağılımı ve hava değişim verimliliği üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Oluşturulan 3 – boyutlu matematiksel modelde boyut ve çalışma koşulları açısından gerçek uygulamaya bağlı kalınmıştır. Çalışma kapsamında ulaşılan bulgular özet halinde aşağıda verilmiştir.

1. Cerrahi bölgedeki akış alanının şekillenmesinde tavan yüksekliği, hava değişim katsayısı, çıkış menfez konumu ve laminer akış difüzör boyutu önemli roller üstlenmektedir.
2. Ameliyat lambası, cerrahi alandaki tek yönlü hava akış gelişimini önemli düzeyde sınırlamakta ve ameliyat lambasının alt komşuluğunda ana akışa kısmi katılım sağlayan düşük hızlı bir sirkülasyon bölgesinin oluşumuna neden olmaktadır.
3. Partikül taşınımında, belirleyici taşınım mekanizması sürüklenme/yerçekimi oranı üzerinden gerçekleşmektedir. Bu durum, yüksek akışkan hızı ve/veya düşük partikül çaplarında ilgili bölgede daha az partikül çökmesine neden olmaktadır.
4. HDK'nın artışı ile birlikte (20 → 40), ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı, küçük çaplı partiküller (10 µm) için % 12.5 ve büyük çaplı partiküller (20 µm) için ise % 26 oranında azalış sergilemektedir. Bununla birlikte, artan HDK ile tüm ameliyathane hacmindeki ortalama hava yaşı ciddi oranda azalırken, hava değişim verimliliğinde ise önemli bir değişim olmamaktadır.
5. Aynı hava değişim katsayısı için tavan yüksekliğinin azalmasıyla cerrahi alan komşuluğundaki hava hızları yüksek değerlere ulaşmakta ve bunun bir sonucu olarak daha düşük partikül konsantrasyon değerleri elde edilmektedir. Ameliyathane hacmindeki en yüksek hava değişim verimliliği 2.43 m tavan yüksekliğinde görülürken, diğer yükseklikler arasında ise önemli bir fark oluşmamaktadır.

6. LAD boyutunun artmasıyla (1.8 m x 2.4 m → 3.2 m x 3.2 m), aynı besleme havası hızında, ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı küçük çaplı partiküller (5 µm) için % 73 oranında ve büyük çaplı partiküller (20 µm) için ise % 32 oranında azalmaktadır. Bununla birlikte, artan LAD boyutu ile ameliyathane hacmindeki ortalama hava yaşı azalmakta, hava değişim verimliliği ise artmaktadır.
7. Çıkış menfez konumuna bağlı olarak cerrahi alandaki en düşük ve en yüksek partikül konsantrasyonlarına sırasıyla, alt menfez ve üst – alt menfez konumlarında ulaşılmaktadır. İncelenen menfez konumları hava değişim verimliliği üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahiptir.



## 5. ÖNERİLER

Tez kapsamında yapılan çalışmanın ileride yapılacak çalışmalara yön vermesi açısından konu ile ilgili bazı öneriler aşağıda verilmektedir:

1. Tez kapsamında yapılan çalışmalar deneysel veriler ile desteklenebilir.
2. Farklı lamba tip ve sayıları çalışmaya dahil edilebilir.
3. Ameliyathanede kullanılan laminer havalandırma sistemi yerine yeni geliştirilen sıcaklık kontrollü havalandırma sistemi uygulanabilir.
4. Mevcut geometri ve çalışma koşulları için görevli personelin termal konforu incelenebilir.
5. Ameliyat masasına mobil laminer hava akış ünitesi dahil edilerek mevcut çalışma genişletilebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Aganovic, A., Cao, G., Stenstad, L. ve Skogås, J., 2017. Impact of Surgical Lights on the Velocity Distribution and Airborne Contamination Level in an Operating Room with Laminar Airflow System, Building and Environment, 126, 42-53.
- Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Andersson, A., E., Jakobsson, J., Svensson, T., Ramstorp, M., Sadrizadeh, S., Larsson, P., A., Bohgard, M., Santl-Temkiv, T. ve Löndahl, J., 2018. Temperature – Controlled Airflow Ventilation in Operating Rooms Compared with Laminar Airflow and Turbulent Mixed Airflow, Journal of Hospital Infection, 98; 181-190.
- Al-Waked, R., 2010. Effect of Ventilation Strategies on Infection Control Inside Operating Theatres, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 4,{1}, 1-16.
- ANSYS, 2013 Fluent 15.0 User's Guide, Ansys Inc.
- Balocco, C., Petrone, G., Cammarata, G., Vitali, P., Albertini, R. ve Pasquarella, C., 2014. Indoor Air Quality in a Real Operating Theatre under Effective Use Conditions, Journal of Biomedical Science and Engineering, 07,{11}, 866-883.
- Chen, F., Yu, S., C., M. ve Lai, A., C., K., 2006. Modeling Particle Distribution and Deposition in Indoor Environments with a New Drift - Flux Model, Atmospheric Environment, 40;357-367.
- Chen, Q., Jiang, Z. ve Moser, A., 1992. Control of Airborne Particle Concentration and Draught Risk in an Operating Room, Indoor Air, 2;154-167.
- Chow, T. ve Wang, J., 2012. Dynamic Simulation on Impact of Surgeon Bending Movement on Bacteria - Carrying Particles Distribution in Operating Theatre, Building and Environment, 57, 68-80.
- Chow, T., T. ve Yang, X., Y., 2003. Performance of Ventilation System in a Non – Standard Operating Room, Building and Environment, 38;1401-1411.
- Chow, T., T. ve 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; 138-174.
- Dong, Z., Zhou, B., Li, F., Wang, Y., Lin, X. ve Wu, X., 2017. Investigation of Thermal Plume around a Simulated Standing Operator in an Operating Room, Procedia Engineering, 205, 1940-1945.
- Friberg, B., Friberg, S., Burman, L., G., Lundholm, R. ve Östensson, R., 1996. Inefficiency of Upward Displacement Operating Theatre Ventilation, Journal of Hospital Infection, 33;263-272.

- Ho, S., Rosario, L. ve Rahman, M., 2009. Three - Dimensional Analysis for Hospital Operating Room Thermal Comfort and Contaminant Removal, Applied Thermal Engineering, 29,{10}, 2080-2092.
- ISO 7730:2005, 2005. Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria.
- Kumar, R., Kumar, R. ve Gupta, A., 2016. Analysis of the Ventilation System of an Isolation Room for a Hospital, International Journal of Ventilation,7; 2,139-149.
- Liu, J., Wang, H. ve Wen, W., 2009. Numerical Simulation on a Horizontal Airflow for Airborne Particles Control in Hospital Operating Room, Building and Environment, 44,{11}, 2284-2289.
- Memarzadeh, F. ve Jiang, Z., 2004. Effect of Operation Room Geometry and Ventilation System Parameter Variations on the Protection of the Surgical Site, In: Proceedings of IAQ.
- Memarzadeh, F. ve Manning, A., 2002. Comparison of Operating Room Ventilation Systems in the Protection of the Surgical Site, ASHRAE Transactions, 108,{2}, 3-15.
- Mendez, C., San Jose, J., F., Villafruela, J., M. ve Castro, F., 2008. Optimization of a Hospital Room by means of CFD for More Efficient Ventilation, Energy and Building, 40;849-854.
- Morsi, S. A. ve Alexander, A., J., 1972. An Investigation of Particle Trajectories in Two - Phase Flow Systems, Journal of Fluid Mechanics, 55,{02}, 193-208.
- Nichols,RL., 2001. Preventing Surgical Site Infections: A Surgeon's Perspective. Emerging Infectious Diseases, 7,{2}, 220 – 224.
- Ning, M., Mengjie, S., Mingyin, C., Dongmei, P. ve Shiming, D., 2016. Computational Fluid Dynamics (CFD) Modelling of AirFlow Field, Mean Age of Air and CO<sub>2</sub> Distributions Inside a Bedroom with Different Heights of Conditioned Air Supply Outlet, Applied Energy, 164, 906-915.
- Pasquarella, C., Sansebastiona, G., E., Ferretti, S., Saccani, E., Fanti, M., Moscato, U., Giannetti, G., Fornia, S., Cortellini, P., Vitali, P. ve 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; 313-319.
- Romano, F., Marocco, L., Gustén, J. ve Joppolo, C., 2015. Numerical and Experimental Analysis of Airborne Particles Control in an Operating Theater, Building and Environment, 89, 369-379.

- Rui, Z., Guangbei, T. ve Jihong, L., 2008. Study on Biological Contaminant Control Strategies Under Different Ventilation Models in Hospital Operating Room, Building and Environment, 43;793-803.
- Sadrizadeh, S. ve Holmberg, S., 2014. Comparison of Different Ventilation Principles in an Operating Suite, In: Proceedings of 13th Scanvac International Conference on Air Distribution in Rooms.
- Sadrizadeh, S. ve Holmberg, S., 2014. Optimal Positioning of Air – Exhaust Opening in an Operating Room Based on Recovery Test: A Numerical Study, 35<sup>th</sup> AIVC – 4<sup>th</sup> Tightvent and 2<sup>nd</sup> Venticool Conference.
- Sadrizadeh, S. ve Holmberg, S., 2014. Surgical Clothing Systems in Laminar Airflow Operating Room: A Numerical Assessment. Journal of Infection and Public Health, 7,{6}, 508-516.
- Sadrizadeh, S. ve Holmberg, S., 2015. Cross – Infection in a Hospital Wardroom with Individual Return Opening, Healty Building Europe.
- Sadrizadeh, S. ve Holmberg, S., 2015. Effect of a Portable Ultra - Clean Exponential Airflow Unit on the Particle Distribution in an Operating Room, Particuology, 18, 170-178.
- Sadrizadeh, S. ve Holmberg, S., 2016. Thermal Comfort of the Surgical Staff in an Operating Theatre: A Numerical Study on Laminar and Mixing Ventilation Systems, The 14th International Conference of Indoor Air Quality and Climate.
- Sadrizadeh, S. ve Nielsen, P., 2016. Modelling of Coughed Droplets in a Hospital Ward, The 12th International Conference of Indoor Air Quality and Climate.
- Sadrizadeh, S., Afshari, A., Karimipannah, T., Håkansson, U. ve Nielsen, P., 2016. Numerical Simulation of The Impact of Surgeon Posture on Airborne Particle Distribution in a Turbulent Mixing Operating Theatre, Building and Environment, 110, 140-147.
- Sadrizadeh, S., Holmberg, S. ve Tammelin, A., 2014. A Numerical Investigation of Vertical and Horizontal Laminar Airflow Ventilation in an Operating Room, Building and Environment, 82, 517-525.
- Sadrizadeh, S., Tammelin, A., Ekolind, P. ve Holmberg, S., 2014. Influence of Staff Number and Internal Constellation on Surgical Site Infection in an Operating Room, Particuology, 13, 42-51.
- Sarizadeh, S., 2016. Design of Hospital Operating Room Ventilation using Computational Fluid Dynamics, Doktora Tezi, KTH Royal Institute of Technology.
- Srebric, J., Vukovic, V., Guoqing, H. ve Yang, X., 2008. CFD Boundary Conditions for Contaminant Dispersion, Heat Transfer and Airflow Simulations around Human Occupants in Indoor Environments, Building and Environment, 43;294-303.

- Ufat, H., Kaynakli, O., Yamankaradeniz, N. ve Yamankaradeniz, R., 2017. Investigation of the Number of Particles in an Operating Room at Different Ambient Temperatures and Inlet Velocities, International Journal of Ventilation, 17,{3}, 209-223.
- Verma, T., Sahu, A. ve Sinha, S., 2017. Study of Particle Dispersion on One Bed Hospital using Computational Fluid Dynamics. Materials Today: Proceedings, 4,{9}, 10074-10079.
- Wang, C., Holmberg, S. ve Sadrizadeh, S., 2018. Numerical Study of Temperature - Controlled Airflow in Comparison with Turbulent Mixing and Laminar Airflow for Operating Room Ventilation. Building and Environment, 144, 45-56.
- Whyte, W., 2001. Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing and Operation.
- Woloszyn, M., Virgone, J. ve Melen, S., 2005. Experimental Study of an Air Distribution System for Operating Room Applications, International Journal of Ventilation, 4;1, 1-11.
- Zhai, Z. ve Osborne, A., 2013. Simulation - Based Feasibility Study of Improved Air Conditioning Systems for Hospital Operating Room, Frontiers of Architectural Research, 2,{4}, 468-475.
- Zhai, Z. ve Preechawuttidet, P., 2016. Simulation and Analysis of Standard and Advanced Ventilation Systems in Hospital Operating Rooms, 9th International Conference on Indoor Air Quality Ventilation and Energy Conservation in Buildings.
- Zhang, Z. ve Chen, Q., 2006. Experimental Measurements and Numerical Simulations of Particle Transport and Distribution in Ventilated Rooms. Atmospheric Environment, 40,{18}, 3396-3408.

## ÖZGEÇMİŞ

Aleyna AĞIRMAN, 1993 yılı Trabzon Çaykara doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2015 yılında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılından itibaren aynı üniversitenin Enerji Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

