

BİR AMELİYATHANEDE HAVA DEĞİŞİM KATSAYISININ PARTİKÜL DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİ

Effect of Air Change Rate on Particle Distribution in an Operating Room

Aleyna AĞIRMAN
Yunus Emre ÇETİN
Mete AVCI
Orhan AYDIN

ÖZET

Cerrahi alan enfeksiyonları (CAE) cerrahinin önemli problemlerindendir. Ameliyathanelerde, havadaki patojen partikül sayısı ile CAE gelişme riski doğrudan ilişkilidir. Ameliyathane havalandırmasına ait hava değişim katsayısı (HDK), kirletici dağılımını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada, laminer hava akış sistemine sahip bir ameliyathanede ameliyat masası üzerine düşen partikül sayısı ve partikül dağılımı, farklı hava değişim katsayısı değerleri için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada üç farklı HDK değeri (20,30 ve 40) ve üç farklı partikül çapı (10,15 ve 20 μm) dikkate alınmıştır. Ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarının, partikül çapının azalması ve HDK değerinin artması ile azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ameliyathane, Enfeksiyon, Hava değişim sayısı, Partikül dağılımı

ABSTRACT

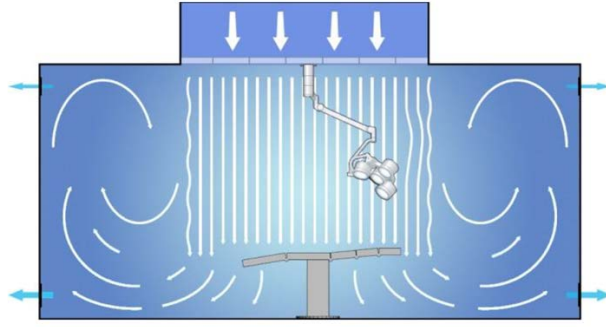
Surgical site infections (SSI) are important problems of surgery. There is a direct correlation between risk of developing surgical site infection and number of pathogen particles in operating room air. Air change rate (ACH) for operating room ventilation is one of the important factors affecting the distribution of pollutants in the environment. In this study, particle distribution and number of particle deposition on the operating table in an operating room with laminar air flow system is investigated using computational fluid dynamics for different ACH values. In the study, three different ACH values (20,30 and 40) and three different particle diameters (10,15 and 20 μm) are taken into consideration. It is obtained that the amount of particles deposited on the operating table decrease with decreasing particle diameter and increasing of ACH value.

Key Words: Operating room, Infection, Air change rate, Particle distribution

1. GİRİŞ

Ameliyathanelerde uygulanan sterilizasyona büyük ölçüde önem gösterilmesine rağmen cerrahi alan enfeksiyonları tamamıyla ortadan kaldırılmış değildir. Ameliyat esnasında görevli personelden hastaya yayılan partiküller cerrahi alan enfeksiyonlarının ana kaynağını oluşturmaktadır. Cerrahi alanda enfeksiyon riski oluşturan bu partiküllerin çapları 2.5-20 μm arasında değişmektedir [1]. Hasta, 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 (BTP) için ana kaynak (1.5 BTP/s) olarak değerlendirilmektedir [2].

Uygun bir havalandırma sisteminin kullanılmasıyla, cerrahi alandan partiküllerin uzaklaştırılması ve ameliyathane içerisindeki hava kalitesinin korunması mümkündür. Bu maksatla günümüz ameliyathanelerinde laminer havalandırma sistemi (*Laminar airflow unit-LAF*) olarak bilinen tek yönlü hava dağıtım sistemleri tercih edilmektedir. Bu sistemler sayesinde cerrahi alan, oluşturulan tek yönlü hava akımının içinde tutularak sürekli bir süpürmeye maruz bırakılmaktadır.



Şekil 1. Laminer akış ünitesi tarafından oluşturulan hava akışı [3]

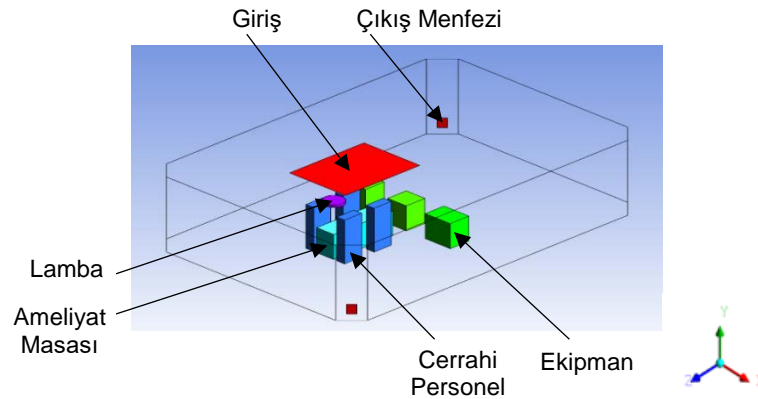
Etkin bir süpürme verimliliği için hava değişim katsayısı (HDK), önemli bir parametredir. HDK, tercih edilen hava debisinin (m^3/h) ameliyathane hacmine (m^3) oranını ifade etmektedir. Literatürde ameliyathaneler için HDK üzerine yapılan çalışmalarda, cerrahi alandan partikülleri uzaklaştırma verimliliği bakımından farklı veya aynı HDK'ya sahip havalandırma sistemleri arasında önemli farklılıkların görüldüğü [4-6], HDK değerinin artmasıyla cerrahi alandaki kirletici konsantrasyonunun azaldığı [7] ve belirli bir değerin üzerinde kirletici konsantrasyon değerinin artabileceği ifade edilmektedir [8-10]. Bununla birlikte, aynı geometrik koşullar ve hava dağıtım sistemi için hava değişim katsayısının partikül dağılımına etkisini inceleyen çalışmaların yetersiz olduğu açıktır.

Bu çalışmanın amacı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak dikey laminer hava akış sistemine sahip bir ameliyathane farklı hava değişim katsayılarının partikül dağılımına ve ameliyat masası üzerine düşen partikül sayısına etkisinin araştırılmasıdır.

2. SAYISAL ÇALIŞMA

2.1. GEOMETRİ

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi Farabi Hastanesinde yer alan bir ameliyathane incelenmiştir. İlgili ameliyathane [6.5 m (uzunluk) x 9.43 m (genişlik) x 2.43 m (yükseklik)] izometrik görüntüsü Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir. Ameliyathanede 1 adet medikal lamba, 2 adet ekipman masası, 1 adet medikal ekipman, 1 adet ameliyat masası, 4 adet cerrahi personel, laminer hava akış ünitesi (1.8 m x 2.4 m) ve her köşede zemine yakın konumlandırılmış 4 adet çıkış menfezi bulunmaktadır.



Şekil 2. Model ameliyathanenin izometrik görünüşü

2.2. HAVA AKIŞININ MODELLENMESİ

Sayısal analizde, Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemlerinin çözümünde, Realizable $k - \varepsilon$ türbülans modeli [11] kullanılmıştır. İlgili korunum denklemleri genel formda şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \Delta(\rho\phi\vec{V}) = \Delta(\Gamma_\phi\Delta\phi) + S_\phi \quad (1)$$

Burada, ρ havanın yoğunluğu, ϕ hız bileşeni (u, v, w), \vec{V} hız vektörü, S_ϕ kaynak terim ve Γ_ϕ difüzyon katsayısını ifade etmektedir.

Besleme havası ve çıkış menfezleri için, sırasıyla, *velocity-inlet* ve *outflow* sınır koşulları uygulanmıştır. Analizlerde, besleme havasının sıcaklığı 20 °C ve türbülans yoğunluğu %10 alınmıştır. Taşınım terimleri için ayrıklaştırma yöntemi olarak *second-order upwind*, basınç-hız çiftinin çözümünde SIMPLE algoritması ve yoğunluğun sıcaklık ile değişimi için *Boussinesq* yaklaşımı kullanılmıştır. Cerrahi personel ve medikal ekipmanın tüm yüzeylerinde, ameliyat masasının üzerinde ve cerrahi lambanın alt yüzeyinde sabit ısı akısı sınır koşulu uygulanmıştır. Ayrıca, tüm ameliyathane duvarları adyabatik kabul edilmiştir. Navier-Stokes denklemlerinin çözümünde yakınsama kriteri 10^{-5} olarak dikkate alınmıştır. Partiküllerin izlediği yol boyunca hem hava akış özelliklerini hem de türbülans alanını çözmek için ağ yapısının yeteri kadar ince olması gerekmektedir. Üç farklı ağ yapısında (yaklaşık 4 milyon, 6.5 milyon ve 9 milyon) ağ bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Karşılaştırılan hız ve partikül konsantrasyonu değerlerinin 6.5 milyon hücre sayısından daha yoğun ağ yapısında değişmediği hesaplanarak çalışma bu ağ yapısında sürdürülmüştür. Tercih edilen ağ yapısında tüm yüzeylerde y^+ değeri $1 \leq y^+ \leq 7$ aralığındadır. Yüzeylerde sınır tabakanın çözümlenmesinde iyileştirilmiş duvar fonksiyonu (*Enhanced wall treatment*) kullanılmıştır. Korunum denklemleri yukarıda belirtilen sınır koşulları ile birlikte ticari bir paket program olan ANSYS Fluent 16.0 ile çözülmüştür.

2.3. PARTİKÜL HAREKETİNİN MODELLENMESİ

İç ortamdaki partikül hareketini modellemek için kullanılan en yaygın iki yöntem, Euler ve Lagrange yaklaşımlarıdır. Bu çalışmada, zamana bağlı momentum denkleminin her bir partikül için ele alan Lagrange yaklaşımı kullanılmıştır. İlgili denklem, şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_e \quad (2)$$

Bu denklemde, du_p/dt ve $F_D(u - u_p)$, sırasıyla, atalet kuvvetini ve sürüklenme terimini ifade etmektedir. U_p partikülün hız vektörünü, u hava hızını, ρ_p ve ρ , sırasıyla, partikülün ve havanın yoğunluğunu göstermektedir. Denklem sağ tarafındaki ikinci terim yerçekimini ve kaldırma kuvvetini, F_e ise partiküle etki edebilecek ek kuvvetleri (Termoforetik kuvvet, Saffman kaldırma kuvveti ve Brownian kuvveti) temsil etmektedir [12].

F_D , gevşeme zamanı (*relaxation time*) olup; açık formda aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$F_D = \frac{18\mu C_d Re_p}{\rho_p d_p^2} \quad (3)$$

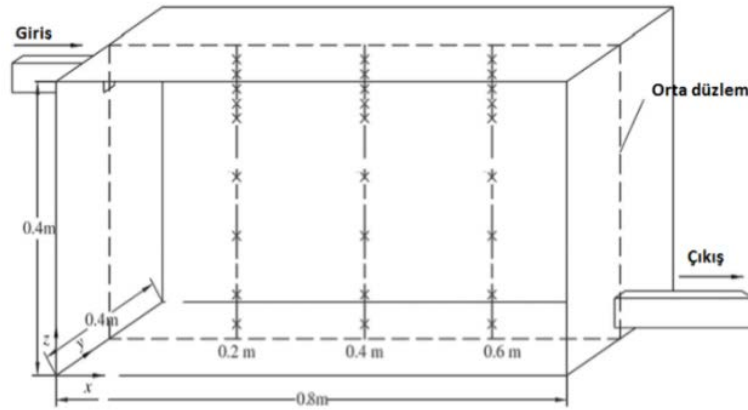
Burada, μ havanın moleküler viskozitesi, d partikül çapı ve Re partikül çapına bağlı Reynolds sayısıdır. C_d küre şeklindeki partiküller için sürüklenme katsayısını ifade etmekte olup ζ_1, ζ_2 , and ζ_3 katsayıları ile beraber şu şekilde ifade edilir [13]:

$$C_d = \frac{\zeta_1}{Re_p} + \frac{\zeta_2}{Re_p^2} + \zeta_3 \quad (4)$$

Türbülanslı akış alanı analiz edildikten sonra partikül dağılımı detayları yukarıda verilen Lagrange yaklaşımına dayanan DPM modeli (*Discrete Phase Modeling*) kullanılarak hesaplanmıştır. 10 μm , 15 μm ve 20 μm çapa sahip partiküller cerrahi personelin ağız kısmından akış alanına bırakılmıştır. 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.

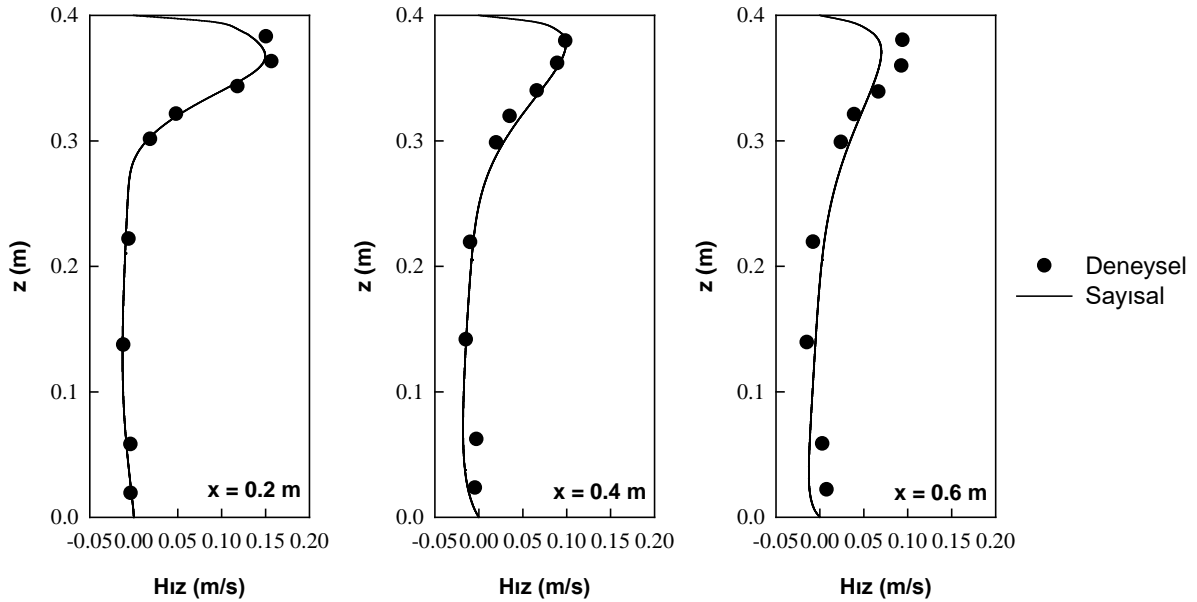
2.4. MATEMATİKSEL MODELİN DOĞRULANMASI

Sayısal modeli doğrulamak için Chen vd. [14] tarafından yapılan deneysel çalışmanın sonuçları kullanılmıştır.

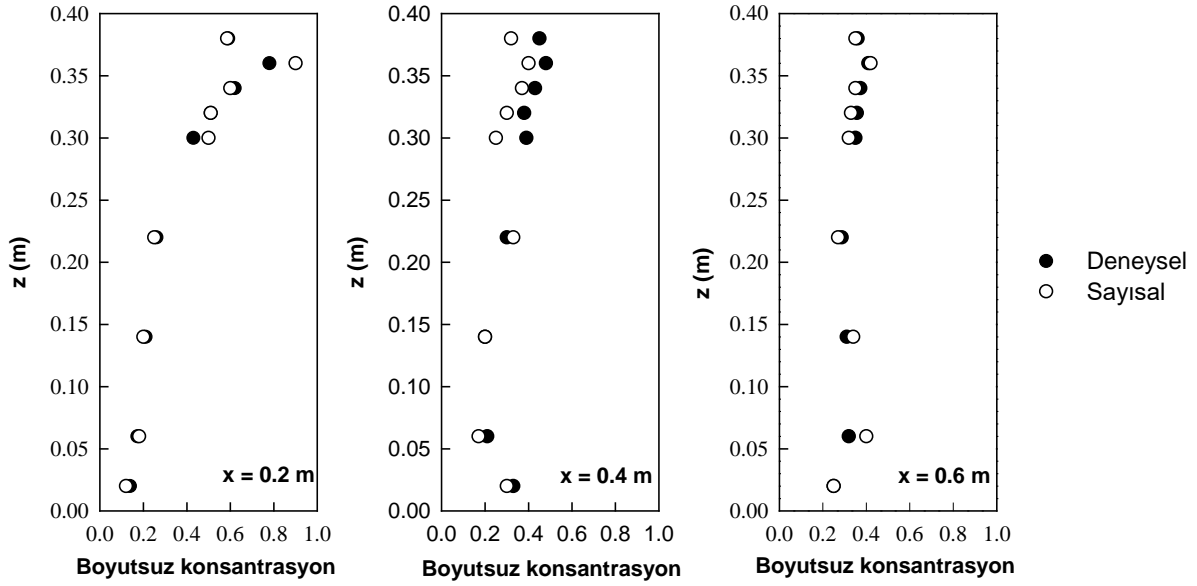


Şekil 3. Model odanın geometrisi ve ölçüm noktaları[14]

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 değerindedir. 10 μm partikül çapı ve 1400 kg/m^3 yoğunluğuna sahip partiküller giriş menfezi ile ortama verilmiştir.



Şekil 4. Üç farklı lokasyonda 0.225 m/s giriş hızı için x doğrultusundaki hız değerlerinin karşılaştırılması

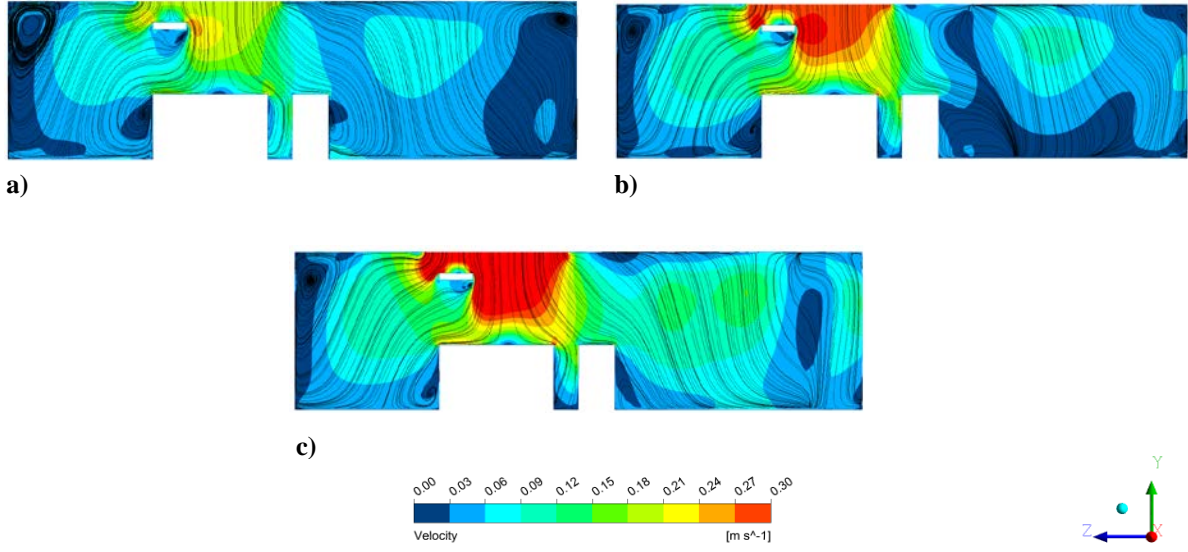


Şekil 5. Üç farklı lokasyonda 0.225 m/s giriş hızı için konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması

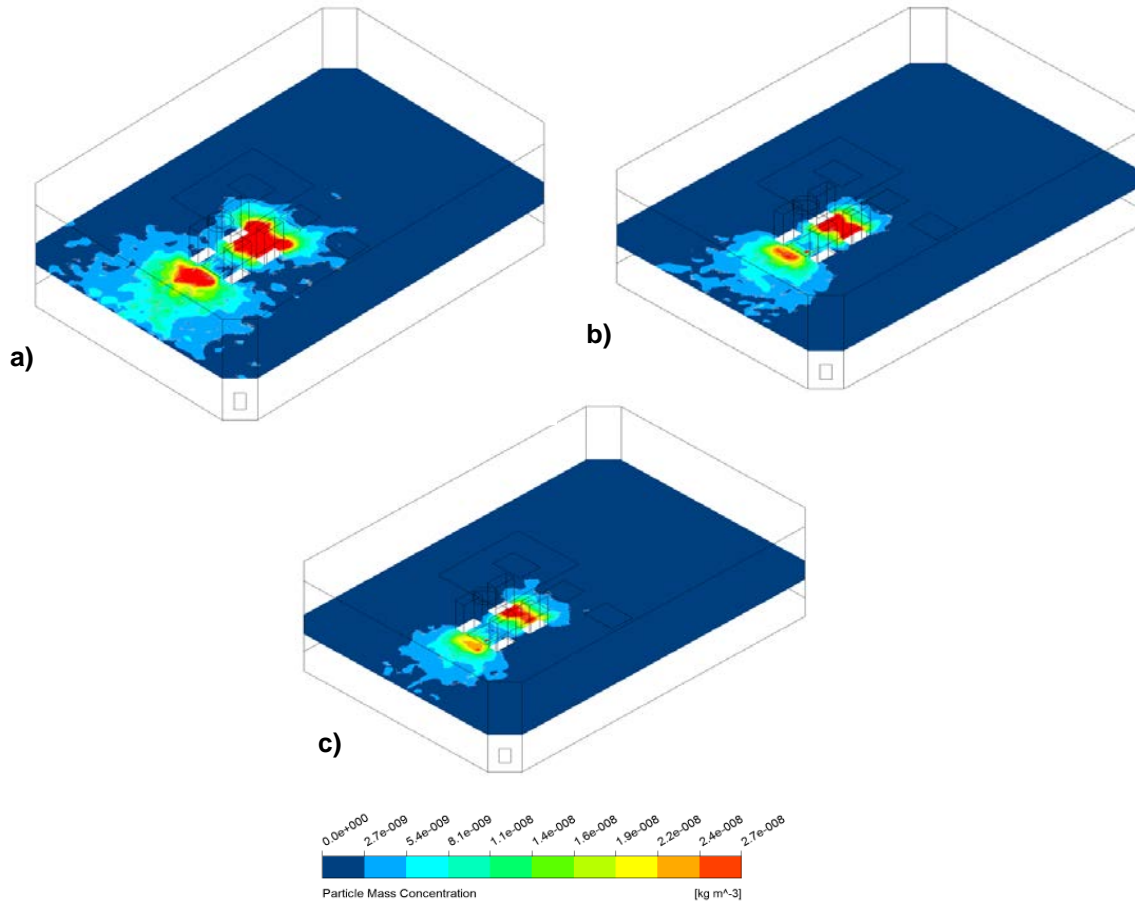
Şekiller 4 ve 5'te simüle edilen hız ve partikül konsantrasyon değerlerinin deneysel veriler [14] ile karşılaştırılması gösterilmiştir. Hem hız profilinin hem de Lagrange yaklaşımı ile hesaplanan konsantrasyon değerlerinin deneysel çalışma ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu neticeye dayanarak, tercih edilen sayısal yaklaşımın tutarlı sonuçlar vereceği ifade edilebilir.

3. BULGULAR

Şekil 6'da, ameliyathane orta düzlemi boyunca farklı hava değişim katsayıları için eş hız eğrileri ve akım çizgileri görülmektedir. Genel karakter olarak, her bir hava değişim sayısı için laminer havalandırma sistemi ile cerrahi alan üzerinde tek yönlü bir hava akışı oluşmaktadır. Akış alanları dikkatli bir şekilde incelendiğinde, artan HDK ile cerrahi alan komşuluğundaki 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, mahal içerisinde daha etkin bir süpürme sağlayacaktır. Akış alanının bozulmasına neden olan diğer önemli bir faktör ise ameliyat lambasının varlığıdır. Şekil 6 a-c dikkatli bir şekilde incelendiğinde, artan HDK ile ameliyat lambasının alt komşuluğundaki durağan bölgenin (düşük hızlı bölge) küçüldüğü görülmektedir.

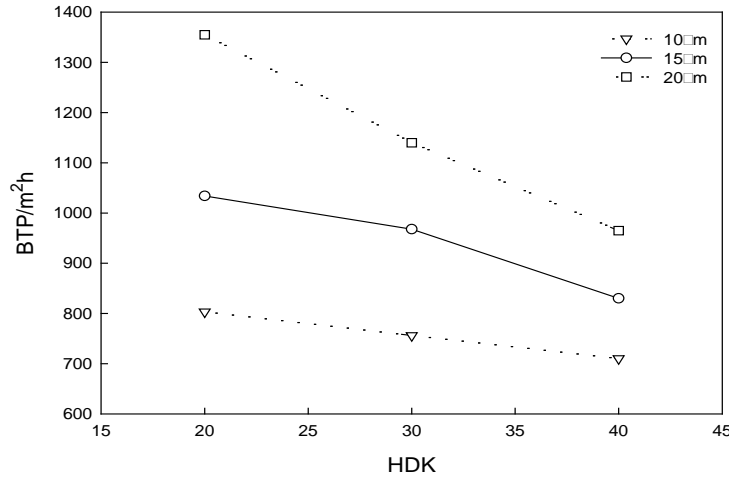


Şekil 6. Ameliyathane orta düzlemindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri; (a) 20 HDK, (b) 30 HDK, (c) 40 HDK



Şekil 7. Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonu (20 µm); (a) 20 HDK, (b) 30 HDK, (c) 40 HDK

Ameliyat masası düzlemindeki partikül konsantrasyonunun farklı HDK'lar altındaki dağılımı Şekil 7'de verilmektedir. Artan HDK değeriyle ilgili düzlemindeki partikül konsantrasyonu azalma eğilimi sergilemektedir.



Şekil 8. Üç farklı HDK altında ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı

Partikül çapı ve HDK'nin ameliyat masası üzerine düşen partikül miktarı üzerindeki etkisi Şekil 8'de verilmektedir. Genel karakter olarak, artan HDK ile partikül miktarı azalmaktadır. Bu davranış, yüksek HDK değerlerinde cerrahi alan komşuluğundaki yüksek akış hızlarından kaynaklanmaktadır. Bir başka ifadeyle, partiküle etki eden sürüklenme kuvveti/yerçekimi kuvveti oranı, artan HDK ile daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Partikül çapının artışına bağlı olarak, bu oran azalmakta ve çökeltme miktarı artmaktadır. Bu davranış, Şekil 7'deki konsantrasyon dağılımlarında açık bir şekilde görülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, bir ameliyathanede farklı hava değişim katsayı (HDK) değerlerinin partikül dağılımına ve ameliyat masası üzerine düşen partikül sayısına olan etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Artan HDK ile cerrahi alan komşuluğundaki hava hızları artmakta olup ilgili hız değerleri partiküllerin cerrahi alandan uzaklaştırılmasında belirleyici faktördür.
- HDK ve partikül çapı, cerrahi alandaki partikül konsantrasyonu üzerinde etkilidir. Partikül konsantrasyonu artan HDK ve azalan partikül çapıyla azalmaktadır.
- Artan HDK ile sirkülasyon bölgeleri küçülmektedir.
- Ameliyat lambasının varlığı cerrahi alandaki akışı olumsuz etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] CHOW, T.T., YANG, X.Y., "Ventilation Performance in The Operating Theatre Against Airborne Infection: Numerical Study on an Ultra-Clean System", Journal of Hospital Infection, 59: 138-174, 2005.
- [2] SADRIZADEH, S., HOLMBERG, S., "Surgical Clothing Systems in Laminar Airflow Operating Room: A Numerical Assessment", Journal of Infection and Public Health, 7: 508-516, 2014.
- [3] SADRIZADEH, S., "Design of Hospital Operating Room Ventilation Using Computational Fluid Dynamics", PhD Thesis, 2016.
- [4] SADRIZADEH, S., HOLMBERG, S., "Comparison of Different Ventilation Principles in an Operating Suite", Proc. 13th SCANVAC Int. Conf. Air Distrib. Rooms, 2014.
- [5] ALSVED, M., CIVILIS, A., EKOLIND, P., TAMMELIN, A., ANDERSSON, A.E., vd. "Temperature-Controlled Airflow Ventilation in Operating Rooms Compared with Laminar Airflow and Turbulent Mixed Airflow", Journal of Hospital Infection, 98:181-190, 2018.



- [6] WANG, C., HOLMBERG, S., SADRIZADEH, S., “Numerical study of temperature-controlled airflow in comparison with turbulent mixing and laminar airflow for operating room ventilation”, Building and Environment, DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.08.010, 2018.
- [7] SADRIZADEH, S., HOLMBERG, S., TAMMELIN, A., “A Numerical Investigation of Vertical and Horizontal Laminar Airflow Ventilation in an Operating Room”, Building and Environment, 82:517-525, 2014.
- [8] MEMARZADEH, F., MANNING, A., “Comparison of Operating Room Ventilation Systems in the Protection of the Surgical Site”, ASHRAE Transactions, 108(2), 3-15, 2002.
- [9] AL-WAKED, R., “Effect of Ventilation Strategies on Infection Control Inside Operating Theatres”, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 4:1, 1-16, 2014.
- [10] RUI, Z., GUANGBEI, T., JIHONG, L., “Study on Biological Contaminant Control Strategies Under Different Ventilation Models in Hospital Operating Room”, Building and Environment, 43: 793-803, 2008.
- [11] SREBRIC, J., VUKOVIC, V., GUOQING, H., YANG, X., “CFD Boundary Conditions for Contaminant Dispersion, Heat Transfer and Airflow Simulations Around Human Occupants in Indoor Environments”, Building and Environment, 43: 294-303, 2008.
- [12] ANSYS Fluent 15.0 User’s Guide, Ansys Inc., 2013.
- [13] MORSI, S. A., ALEXANDER, A.J., “An Investigation of Particle Trajectories in Two-phase Flow Systems”, Journal of Fluid Mechanics, 55(02), 193-208, 1972.
- [14] CHEN, F., YU, S.C.M., LAI, A.C.K., “Modeling particle distribution and deposition in indoor environments with a new drift-flux model”, Atmospheric Environment, 40:357-367, 2006.
- [15] ISO 7730:2005, “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”, International Organization for Standardization, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Aleyna AĞIRMAN

1993 yılı Trabzon doğumludur. İlk ve orta öğretimini Trabzon’da tamamladı. 2015 yılında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans eğitimini halen sürdürmektedir. 2018 yılında aynı üniversitenin Enerji Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamıştır.

Yunus Emre ÇETİN

1984 Trabzon doğumludur. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. Aynı yıl GEA İSİSAN ’da proje mühendisi olarak göreve başlamış, çeşitli projelerde görev almıştır. 2012 yılından itibaren KTÜ Arsin Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü’nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü’nde doktora çalışmalarına devam etmektedir.

Mete AVCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Mikrokanallarda ısı ve kütle transferi, ısı enerjisi depolama, Newtonumsu olmayan akışkanlar dinamiği ve gözenekli ortamlarda aktarım konularında çalışmaktadır.

Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyelerinden olan Aydın, 2007 yılında profesör unvanını aldı. Mikrojeometrilere içerisinde akış ve geçişi, kaynamalı akış, elektronik sistemlerin soğutulması, ısı enerjisi depolama, kapalı ortamlarda doğal ve karma taşınım ve benzeri konularda çalışmaktadır.