

BİR AMELİYATHANE İÇİN ÇIKIŞ MENFEZ KONUMUNUN TEMİZLEME SÜRESİNE ETKİSİ

The Effect of Air Exhaust Position on Recovery Time in an Operating Room

Yunus Emre ÇETİN
Mete AVCI
Orhan AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada, bir ameliyathane için çıkış menfez konumunun temizleme süresine (recovery time) etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Çıkış menfezi, zemin seviyesinde, tavan seviyesinde ve hem tavan hem de zemin seviyesinde olmak üzere üç farklı şekilde yerleştirilmiştir. Kirletici olarak, 0,5 µm boyutunda partiküller ameliyathaneye homojen olarak dağıtılmış ve seyrelme süreçleri karşılaştırılmıştır. En düşük temizleme süresi zemin ve tavan seviyesinde yer alan çıkış menfezlerinin beraber kullanıldığı durumda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ameliyathane, Temizleme süresi, Menfez konumu.

ABSTRACT

In this study, effect of exhaust location on the recovery time for an operating room is investigated numerically. The exhaust location is examined for three configurations as at floor level, ceiling level and both at ceiling and floor level. As contaminants, particles of 0.5 µm diameter are distributed homogeneously to the operating room and the decay processes are compared. It is found that the lowest recovery time is obtained when the exhaust vents in the floor and ceiling level are used together.

Key Words: Operating room, Recovery time, Exhaust location.

1. GİRİŞ

Cerrahi alan enfeksiyonu (CAE), cerrahiyi takip eden ilk 30 gün içinde operasyon bölgesinde veya ilişkili dokularda gözlenen enfeksiyonlardır [1]. Yapılan çalışmalar [2,3] CAE gelişen hastaların gelişmeyenlere oranla yoğun bakım ünitesinde daha uzun süre kaldıklarını, tekrar hastaneye yatma oranlarının ve ölüm risklerinin de daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum bakım maliyetlerinin, hastane ve hasta giderlerinin artmasına sebep olmaktadır.

Günümüz cerrahisinin en önemli problemlerinden birini oluşturan CAE, operasyonun tipi, cerrahi ekibin deneyimi, hastanın durumu vb. farklı parametrelerin yanı sıra ameliyathane yapısı ile de ilişkilidir. Patojen partiküllerin yayılımına katkı sunan hava hareketleri ameliyathanelerde kullanılan hava dağıtım sistemlerini önemli hale getirmektedir.

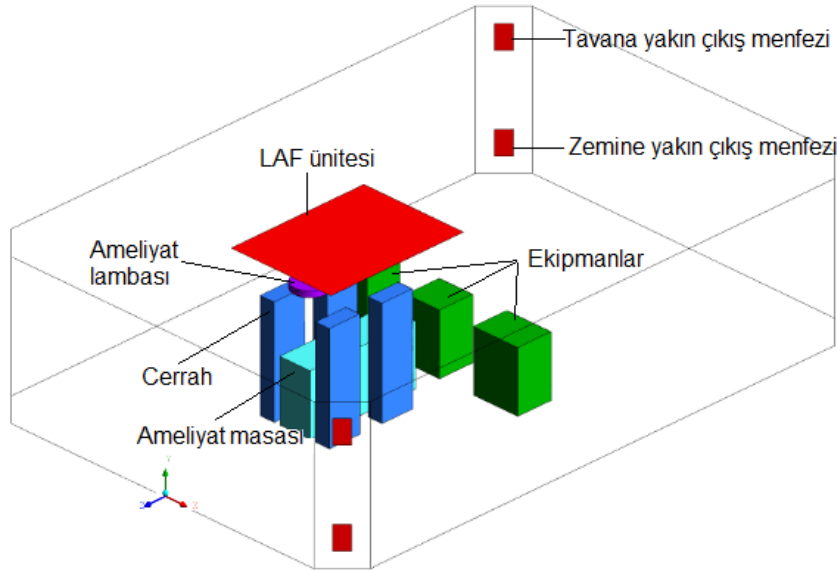
DIN 1946-4' e [4] göre ameliyathaneler havalandırma sistemi açısından Sınıf 1a ve 1b olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sınıf 1a ameliyathanelerde cerrahi alanı tüm bileşenleri ile kapsayacak şekilde tavanda konumlandırılmış en az 3,2 m x 3,2 m ebatlarında bir üfleme menfezi (Laminar airflow unit – LAF ünitesi) bulunmaktadır. İlgili menfezin yaratacağı tek yönlü akış alanı sayesinde kirleticiler bu ortamdan uzaklaştırılır ve cerrahi alan korunur. Sınıf 1b ameliyathanelerde ise daha küçük ebatla LAF

üniteleri veya havayı ameliyathaneye homojen bir şekilde dağıtma maksadıyla tavanda konumlandırılmış swirl difüzörler bulunmaktadır. LAF ünitesi ile oluşacak tek yönlü akış alanının muhafaza edilmesi alan içerisinde bulunan lambaların aerodinamik yapısı ve çıkış menfezi konumlarının bir fonksiyonu olduğundan, bu parametrelere bağlı olarak ilgili bileşenlerde olası herhangi bir yapısal veya konumsal fark cerrahi alanın yeterli miktarda temizlenememesine yol açabilir. Bu durumda LAF kullanımı anlamını yitirebilmektedir [5].

Söz konusu değişkenlere bağlı olarak literatürde, ameliyathanelerde partikül dağılımı ile ilgili çalışmalar genelde farklı LAF ünitesi konfigürasyonlarını [6,7,8,9,10] ve ameliyat lambalarının hava akışına etkisi [11,12,13] üzerine yoğunlaşmıştır. Daha sağlıklı bir ameliyathane ortamının belirlenmesi için çıkış menfez konumlarına bağlı olarak kirlilik seyrelme süreçleri ele alınmalıdır.

Bu çalışmada, Sınıf 1b bir ameliyathane için farklı çıkış menfezi konumlarına (zemin seviyesinde, tavan seviyesinde, zemin ve tavan seviyelerinde) göre seyrelme süreçleri bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS Fluent 16.0 ile incelenerek karşılaştırılmıştır.

2. GEOMETRİ VE SAYISAL YÖNTEM



Şekil 1. Ameliyathanenin şematik resmi

Çalışmada kullanılan ve geometrik detayları Şekil 1’ de verilen ameliyathane Karadeniz Teknik Üniversitesi Farabi Hastanesinde yer almaktadır. Ameliyathane 6.5 m (uzunluk) x 9.43 m (genişlik) x 2.43 m (yükseklik) ebatlarında olup, orijinal tasarımda çıkış menfezleri odanın dört köşesinde zemin seviyesine yakın olacak şekilde konumlandırılmıştır. LAF ünitesi 1.8 m x 2.4 m boyutlarında olup, çalışılan tüm geometrilerde hava değişim katsayısı 30 olarak belirlenmiştir. Bununla beraber ameliyathanede 1 adet ameliyat masası, 1 adet ameliyat lambası, 3 adet ekipman ve 4 kişilik operasyon ekibi bulunmaktadır.

Çıkış menfezi konumlarının partikül seyrelme sürecine etkisini incelemek için üç farklı menfez konumu ele alınmıştır. Bunlar:

- Durum I: Zemine yakın çıkış menfezleri (4 adet) (orijinal geometri)
- Durum II: Tavana yakın çıkış menfezleri (4 adet)
- Durum III: Zemine ve tavan yakın çıkış menfezleri (8 adet)

Hava akışını modellemek için korunum denklemleri son zamanlarda benzer havalandırma çalışmalarında tercih edilen [14,15] Realizable $k - \epsilon$ türbülans modeli yardımıyla ve sonlu hacimler yöntemi ile çözülmüştür. Korunum denklemleri sıkıştırılmaz bir akışkan için en genel hali ile şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varphi) + \nabla \cdot (\mathbf{u}\varphi) = \nabla \cdot (\Gamma_{\varphi} \nabla \varphi) + S_{\varphi} \quad (1)$$

Burada \mathbf{u} hız vektörünü, φ hız bileşenlerini (u, v, w) ifade etmektedir. Γ_{φ} difüzyon katsayısı ve S_{φ} ise kaynak terimidir.

Ağ yapısı ICFM CFD yazılımı ile oluşturulmuştur. Partikül çökmesinin önemli olduğu çalışmalarda doğru sonuçlar elde etmek için önerilen [16] ve yüzeylerde sınır tabakanın daha hassas ele alınmasını sağlayacak şekilde yoğun bir ağ yapısı tasarlanmıştır. Ağ bağımsız çözümler için 3 farklı ağ yapısında (4.5 milyon, 6 milyon, 9 milyon) belirli noktalarda hız ve konsantrasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Tanımlanan noktalar üzerinden, maksimum %5 değişim düzeyi dikkate alınarak 6 milyon hücre sayısına sahip üniform hexahedral bir ağ yapısı tercih edilmiştir.

Operasyon ekibi, ameliyat masası üzeri, ameliyat lambası ve ekipman yüzeylerinde sabit ısı akışı ısı sınır şartı öngörülmüştür. LAF ünitesi çıkışında “velocity inlet” ve çıkış menfezi girişinde “outflow” sınır şartları tanımlanmıştır. Basınç hız çiftinin çözümünde SIMPLE algoritması, diferansiyel denklemlerin çözümünde ikinci dereceden ayrıklaştırma kullanılmıştır. Hesaplamalarda yer çekimi etkisi göz önüne alınmıştır.

Partikül hareketlerinin incelenmesinde, Lagrange yaklaşımına dayanan “ayrık faz modeli” (DPM - Discrete Phase Modeling) kullanılmıştır. Her bir partikülde kuvvet dengesi şu şekilde ele alınır:

$$\frac{du_p}{dt} = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2 C_c} (u - u_p) + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_D \quad (2)$$

Burada; d_p partikül çapını, u ve u_p sırasıyla havanın ve partikülün hızlarını, ρ ve ρ_p sırasıyla havanın ve partikülün yoğunluklarını, g yer çekimi kuvvetini ve F_D partikül hareketine etki edebilecek diğer kuvvetleri ifade etmektedir [17].

Tüm yüzeylerde, partikülün teması halinde tutunacağını öngören “Trap” sınır şartı, çıkış menfezlerinde ise partikülün mahali terk etmesi anlamına gelen “Escape” sınır şartı tanımlanmıştır.

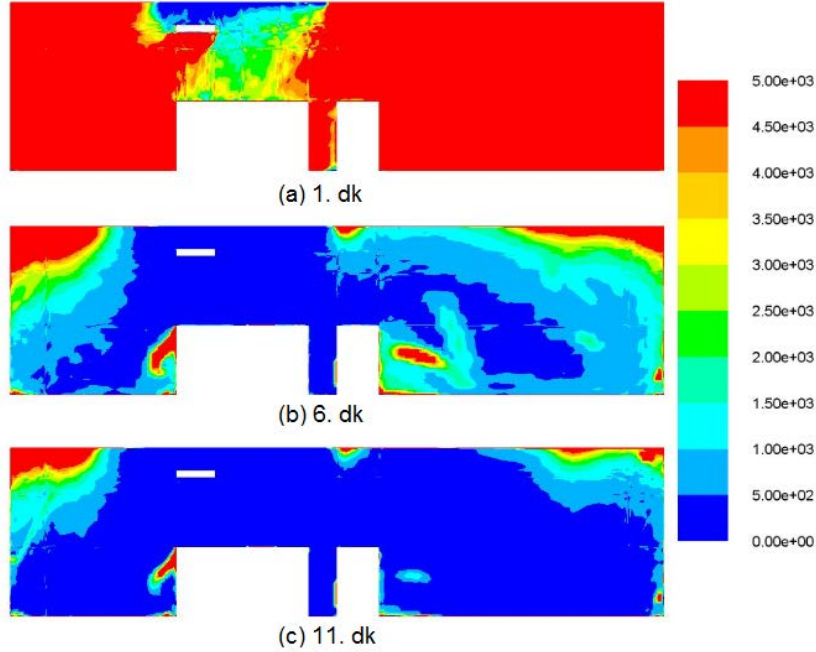
2.1 Yeniden Temizleme Testi

Yeniden temizleme testi (recovery test) kontrollü sahalarda 14644-3:2005 [18] standardındaki tanımıyla hava dağıtım sisteminin havadaki partikülleri elimine etme yetisinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Bu test, temizleme zamanı (recovery time) veya temizleme oranına (cleanliness recovery rate) göre değerlendirilmektedir. Temizleme zamanı, partikül konsantrasyonunun 1/100 oranına kadar azaltılması için gerekli süre olarak tanımlanır. Temizleme oranı ise zamana bağlı partikül konsantrasyon değişim oranıdır. Her iki parametre de aynı seyrelme grafiği kullanılarak elde edilebilmektedir. Testin yürütülebilmesi için ameliyathane partikül konsantrasyon miktarının ilgili temiz oda sınıfındaki limit değerinin en az 100 katına çıkarılması gerekir.

Bu çalışmada, temizleme zamanının belirlenmesi için çözülen akış alanına $0.5 \mu\text{m}$ ebatında 750.000 adet partikül homojen olarak dağıtılmıştır. Bunun için partiküllerin konum, hız, sıcaklık, çap vb. değerlerini içeren bir dosyanın Fluent programına tanıtılması gerekmektedir.

3. BULGULAR

Çıkış menfezinin zemine yakın olarak konumlandırıldığı ilk durum için, sırasıyla, 1., 6. ve 11. dakikalarda oda orta düzleminde elde edilen eş konsantrasyon eğrileri Şekil 2' de görülmektedir. İlgili eş konsantrasyon eğrileri incelendiğinde, 1. dakikada partikül konsantrasyonunun LAF ünitesi iz düşüm bölgesinde seyrelmeye başladığı ve ilerleyen süreçte seyrelmenin yanıl doğrultularda genişleyerek, üst köşeler hariç, tüm alanı etkisi içerisine aldığı görülmektedir. 11. dakikada ameliyathane orta düzlemindeki partikül konsantrasyonu, alansal açıdan, büyük oranda 500 adedin altına inmiştir.



Şekil 2. Eş konsantrasyon eğrileri

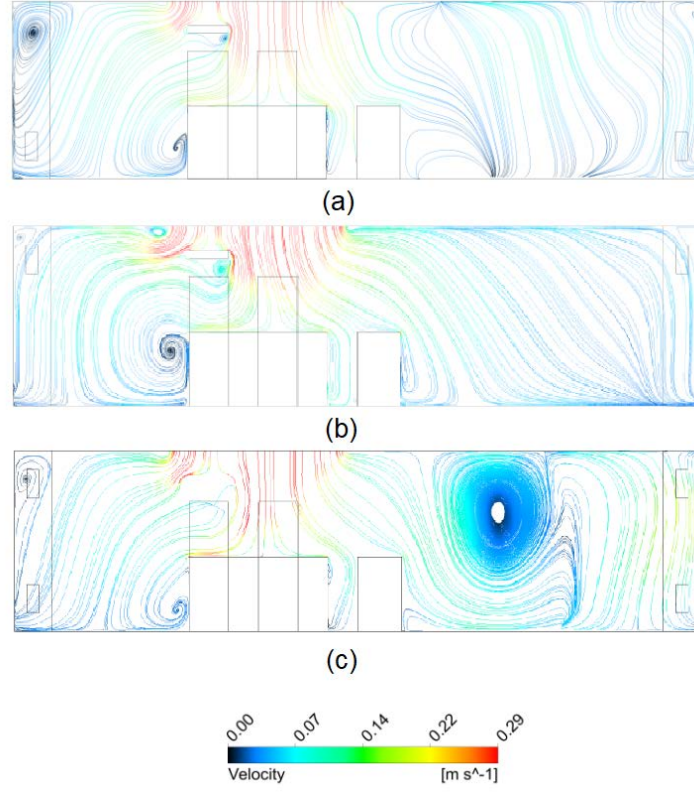
Partikül birikimini ve akış alanlarını daha iyi değerlendirebilmek için Şekil 3'te, sırasıyla, tüm menfez konumlarını içerecek şekilde ameliyathane orta düzleminde elde edilen akım çizgileri verilmiştir.

Çıkış menfezlerinin zemine yakın olarak konumlandırıldığı ilk durumda (Şekil 3(a)), sol üst köşede ve ameliyat yatağının sol tarafında sirkülasyon bölgeleri görülmektedir. Duvar komşuluğunda bulunan ilgili sirkülasyon bölgeleri partiküllerin ana akış alanına geçişini engellemekte ve böylelikle, seyrelme sürecini geciktirmektedir.

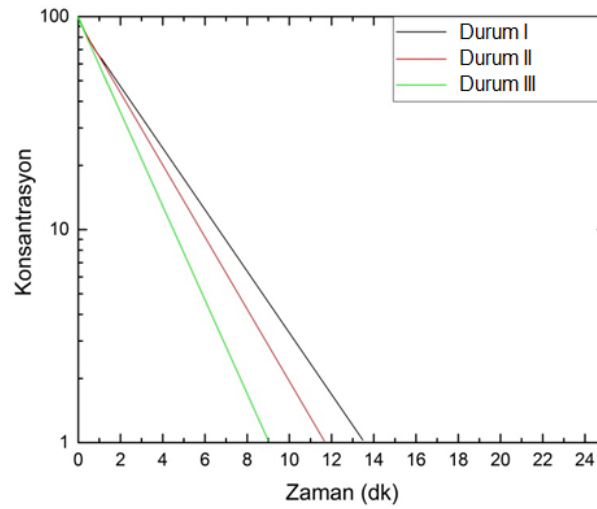
Şekil 3b ve 3c' de, sırasıyla, tavana yakın ve hem tavan hem de zeminde bir arada konumlandırılan çıkış menfezlerine ait akım çizgileri verilmektedir. İlgili grafiklerde, menfez konumuna bağlı olarak akım çizgilerinin farklı dağılımlar sergilediği ve sirkülasyon bölgelerinin büyüklük ve konum olarak önemli değişimler gösterdiği anlaşılmaktadır. Çıkış menfezinin tavana yakın olduğu durumda (Şekil 3b), zemine yakın duruma (Şekil 3a) kıyasla, sol üst köşede görülen sirkülasyon bölgesi küçülmekte fakat, ameliyat yatağı yanında yer alan sirkülasyon bölgesi büyümektedir. Zemine ve tavana yakın çıkış menfezlerinin bir arada kullanıldığı durumda ise (Şekil 3c), daha önce sözü edilen sirkülasyon bölgeleri varlıklarını sürdürmekle beraber düzlemin sağ tarafında diğer iki sirkülasyon bölgesine oranla daha yüksek bir hız değerine sahip yeni bir sirkülasyon alanı ortaya çıkmaktadır. Kısmen yapı bileşenleri ile sınırlandırılan diğer sirkülasyon alanlarına karşın bu alan konumu ve hızı gereği çevresiyle daha etkileşimli bir davranış sergileyecektir.

Farklı çıkış menfezi konumlarının temizleme zamanına etkisi Şekil 4' te verilmektedir. Temizleme zamanı zemine yakın çıkış menfezi için 13.4 dk., tavana yakın çıkış menfezi için 11.6 dk. ve her iki menfez konumunun bir arada kullanıldığı durumda 9 dk. olarak elde edilmiştir. Temizleme zamanı

üzerindeki bu önemli azalım, partikül taşımına direnç teşkil eden sirkülasyon bölgelerinin (kapalı hacmin üst sol köşesi ve ameliyat masasının sol yanı) boyut ve şiddet açısından küçülmesinin bir sonucudur. Bu davranış, zemine ve tavana yakın çıkış menfezi için, sırasıyla, Şekil 3a ve b'de verilen akım çizgileri üzerinden rahatlıkla görülebilir. Her iki menfez konumun bir arada kullanıldığı durumda ise (Şekil 3c), kapalı hacim orta düzleminin sağ üst bölgesinde ilave bir sirkülasyon bölgesi oluşmasına karşın, toplam çıkış menfez alanınının 2 katına çıkması seyrelme sürecini kısaltmaktadır.



Şekil 3. Akım çizgileri ((a)Zemine yakın çıkış menfezleri, (b) Tavana yakın çıkış menfezleri, (c) Zemine ve tavan yakın çıkış menfezleri)



Şekil 4. Temizleme zamanı

SONUÇ

Bu çalışmada gerçek boyutlardaki bir ameliyathane modellenerek farklı menfez konumlarının temizleme süresine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular şu şekilde sıralanabilir:

- Çıkış menfezi konumları mahal içi hava dağılımına etki etmektedir.
- Seyrelme süreci LAF ünitesine bağlı olarak ilerlemekte ve tercih edilen menfez konumuna bağlı olarak oluşan sirkülasyon bölgeleri ve hız alanlarından etkilenmektedir.
- Çıkış menfezlerinin tavanda ve zeminde beraber kullanıldığı tasarımlar en düşük temizleme süresinin eldesi açısından değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] BARIE, PS., “Surgical Site Infections: Epidemiology and Prevention”, Surgical Infections, 3, 9-21, 2002.
- [2] TERZİ, C., “Cerrahi alan enfeksiyonu yönetimi”, Yoğun Bakım Dergisi, 6 (Ek 1), 18-26, 2006.
- [3] THOMAS, C., CADWALLADER, H.L., RILEY, T.V., “Surgical site infections after orthopaedic surgery: statewide surveillance using linked administrative databases”, J Hosp Infect, 57, 25-30, 2004.
- [4] DIN 1946-4, “Hastane Havalandırması”, 2008.
- [5] KUELPMANN, R., CHRISTIANSEN, B., KRAMER, A., LUEDERITZ, P., PITTEN, F.A., WILLE, F., ZASTROW, K.D., LEMM, F., SOMMER, R., HALABI, M., “Hygiene guideline for the planning, installation, and operation of ventilation and air-conditioning systems in health-care settings—Guideline of the German Society for Hospital Hygiene (DGKH)”, GMS hygiene and infection control, 11, 2016
- [6] CHEN, Q., JIANG, Z., MOSER, A., “Control of airborne particle concentration and draught risk in an operating room”, Indoor air, 2, 154-167, 1992.
- [7] MEMARZADEH, F., MANNING, A.P., “Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site”, ASHRAE transactions, 108, 3, 2002.
- [8] ZHAI, Z.J., OSBORNE, A.L., “Simulation-based feasibility study of improved air conditioning systems for hospital operating room”, Frontiers of Architectural Research, 2, 468-475, 2013.
- [9] 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.
- [10] BALOCCO, C., PETRONE, G., CAMMARATA, G., “Thermo-fluid dynamics analysis and air quality for different ventilation patterns in an operating theatre”, International Journal of Heat and technology, 33, 25-32, 2015.
- [11] CHOW, T.T., LIN, Z., BAI, W., “The integrated effect of medical lamp position and diffuser discharge velocity on ultra-clean ventilation performance in an operating theatre”, Indoor and built environment, 15, 315-331, 2006.
- [12] AL-WAKED, R., “Effect of ventilation strategies on infection control inside operating theatres”, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 4, 1-16, 2010.
- [13] AGANOVIC, A., CAO, G., STENSTAD, L.I., SKOGAS, J.G., “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, 2017.
- [14] ZHAI, Z., ZHANG, W., CHEN, Q., “Evaluation of various turbulence models in predicting airflow and turbulence in enclosed environments by CFD: Part 1 Summary of prevalent turbulence models”, HVAC&R Res., 13, 37-41, 2007.
- [15] KUZNIK, F., RUSAOJEN, G., BRAU, J., “Experimental and numerical study of a full scale ventilated enclosure: comparison of four two equations closure turbulence models”, Build. Environ., 42, 1043-1053, 2007.
- [16] ZHAO, B., ZHANG, Y., LI, X., YANG, X., HUANG, D., “Comparison of indoor aerosol particle concentration and deposition in different ventilated rooms by numerical method”, Build. Environ., 39, 1-8, 2004.
- [17] ANSYS Fluent 16.0, “Theory Guide”, Ansys Inc, 2011.
- [18] ISO 14644, “Cleanrooms and associated controlled environments—Part 3 Test methods”, 2005.



ÖZGEÇMİŞ

Yunus Emre ÇETİN

2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2008-2012 yılları arasında GEA ISISAN 'da proje mühendisi olarak görev yapmıştır. 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 enerji depolama, Newtonumsu olmayan akışkanlar dinamiği ve gözenekli ortamlarda aktarım konularında çalışmaktadır.

Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyelerinden olan Aydın, 2007 yılında profesör unvanını aldı. Mikro geometriler içerisinde akış ve geçişi, kaynamalı akış, elektronik sistemlerin soğutulması, ısı enerji depolama, kapalı ortamlarda doğal ve karma taşınım ve benzeri konularında çalışmaktadır.