

AMELİYATHANE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE HAVA GİRİŞ SICAKLIĞININ MAHAL İÇERİSİNDEKİ HAVA DAĞILIMINA ETKİSİ

Inlet Air Temperature Of An Operating Room Air Conditioning System Effect On Indoor Air Distribution

Hande UFAT
Giray GONCAGÜL
Recep YAMANKARADENİZ

ÖZET

Ameliyathane iklimlendirme sistemlerinde, uygun bir hava dağılımı için hava giriş sıcaklığının oda sıcaklığından birkaç derece düşük olması istenir. Bu sayede hava kendi yoğunluğu ile zemine kadar bir perde oluşturur ameliyat bölgesindeki partikül sayısı düşük seviyelerde kalır. Bu çalışmada, Laminer Akış Ünitesi (LAF) bulunan bir ameliyathanede farklı oda sıcaklıklarında, hava giriş sıcaklığına bağlı olarak odadaki hava dağılımı incelenmiştir. LAF ünitesi altında belli bir hat üzerinden zemine kadar belirli aralıklarla hava hızı ölçümleri alınmış ve odanın hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile analizi yapılarak hava dağılımı incelenmiştir. Alınan ölçümlerle analiz sonuçlarının birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Analiz sonuçlarındaki hava dağılımına bakıldığında giren hava sıcaklığı ile oda sıcaklığı arasındaki farkın LAF ünitesi altındaki bölgede hava hızını etkilediği açıkça görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: ameliyathane iklimlendirmesi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, hava dağılımı

ABSTRACT

It is desirable that the inlet temperature a few degrees lower than room temperature for a suitable air distribution in an operating room air conditioning system. Through the air creates a air curtain up to the ground with its own density, the number of particles in the surgical zone remains low. In this study, air distribution in an operating room with Laminar air flow (LAF) unit was investigated in different room temperatures, depending on the inlet temperature. Air velocity measurements were taken at certain intervals up to the ground through a certain line under the LAF unit and air distribution was analyzed by CFD software. It has been found that experimental and numerical results are in good agreement. Air distribution analysis results show that, it is clear that the difference between the inlet air temperature and room temperature affects the air velocity in the area under the LAF unit.

Key Words: operating room air conditioning, computational fluid dynamics, air distribution

1. GİRİŞ

Hastane iklimlendirmesi tesisat mühendisliğinin en karmaşık alanlarından biridir. Isıl konfor şartlarını sağlamanın yanında, hava yoluyla yayılan enfeksiyon kaynaklarının azaltılması ve minimize edilmesi için iklimlendirme ve havalandırma sistemleri gereklidir [1, 2]. Özellikle ameliyathane iklimlendirmesi, ameliyat enfeksiyonunu önemli derecede etkilemekte olduğundan iklimlendirme sistemlerinin tasarımı, uygulaması ve işletmesi sırasında oldukça dikkatli olmak gerekmektedir. İklimlendirme sistemi, ameliyat boyunca hastayı enfeksiyondan korumalı, havayla yayılan enfeksiyon kaynaklarını minimize etmeli ve aynı zamanda hem hasta hem de ameliyat ekibi için konforlu ve hijyenik bir ortam oluşturmalıdır. Bu şartların hepsinin bir arada sağlanması gerektiğinden dolayı, ameliyathane iklimlendirmesi tesisat mühendisliği alanının en zor konularından biridir [3, 4, 5, 6]

2. AMELİYATHANE İKLİMLELENDİRME SİSTEMLERİNDE HAVA GİRİŞ HIZININ VE SICAKLIĞININ ÖNEMİ

İklimlendirme sistemlerinde havanın mahale giriş hızı ve sıcaklığı oldukça önemli iki konfor parametresidir. Bu değerlerin standartlarda hangi aralıklarda olması gerektiği belirtilmiştir. Ameliyathane iklimlendirme sistemlerinde ise bu iki parametre konforun yanında ortamın iç hava kalitesini de oldukça etkilemektedir.

Ameliyathanelerde kullanılan Laminer akış (LAF) ünitelerinden çıkan havanın, ameliyat alanındaki partikülleri süpürerek uzaklaştırması gerekir ve bunun için hava giriş sıcaklığı ve hızı değerlerinin oldukça iyi ayarlanması gerekir. Uygun hava giriş sıcaklığı ve hızı ameliyat alanında partiküllerin azalmasında oldukça etkilidir [7].

ASHRAE standartlarına göre hava giriş sıcaklığı 20-24 °C, DIN 1946-4 standardında 19-26 °C ve VDI 2167 standartlarına göre 22 °C arasında olmalıdır [2].

Eski standartlarda daha çok karışık hava akışlı sistemler önerilmekteydi. Ancak bu sistemlerde parçacıklar tüm ortama dağılmaktadır [8]. Daha sonra tek yönlü laminer akış sağlayan “Laminer Akış Üniteleri” kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta çoğunlukla 120 x 240 cm boyutlarında LAF üniteleri kullanılmaktaydı. Ancak bu ölçülerdeki ünitelerde özellikle personelin üzerinde türbülanslı hava akış bölgeleri oluşmaktadır. Ayrıca steril cerrahi aletlerin bulunduğu masa bu akış bölgesinin dışında kaldığından dolayı bu aletlerin üzerinde de yüksek miktarda bakteri üremesi görülmekteydi [9]. Sonrasında VDI 2167 standardında 320 x 320 cm boyutlarında LAF ünitesi tavsiye edilmiştir. Bu sayede hastayla birlikte ameliyathane personeli ve steril aletlerin bulunduğu masa da laminer akış altına alınmıştır [10]. Partiküllerin ortamdan uzaklaştırılması için hava giriş hızı da oldukça önemlidir. Hava giriş hızı ise ASHRAE standartlarında 0.25-0.45 m/s, VDI 2167’de ise minimum 0.22 m/s civarlarında tavsiye edilmektedir [9]. Ancak çalışmalarda 0.45 m/s hızın ameliyathane personeli rahatsız ettiği belirtilmiştir [2].

Yapılan çalışmalarda hava giriş sıcaklığının da LAF ünitesi altındaki havanın dağılımını etkilediği görülmüştür. Laminer bir hava akışı oluşturup partikülleri ameliyat bölgesinden uzaklaştırmak için mahale giren hava sıcaklığının, oda sıcaklığından mutlak birkaç derece düşük olması gerekmektedir [11]. Bu sayede iklimlendirme sisteminden giren havanın yoğunluğu, odadaki havanın yoğunluğundan daha fazla olacağından dolayı hava kendi ağırlığı ve yerçekimi etkisiyle bir hava perdesi oluşturup partikülleri uzaklaştırabilecektir.

3. ÇALIŞMANIN YAPILDIĞI AMELİYATHANE VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1 Çalışmanın Yapıldığı Ameliyathane

Ölçümlerin alındığı ameliyathanenin iklimlendirmesi 300 x 300 cm boyutlarında LAF ünitesi ile yapılmaktadır. Ünite etrafında 50 cm genişliğinde kısmi perde vardır. Ameliyat masası ünitenin altındaki alanın ortasında konumlandırılmıştır. Odanın çapraz iki köşesinden toplamda 4 noktadan emiş yapılmaktadır. Menfezin ikisi tabana, diğer ikisi de tavana yakın konumlandırılmıştır. Ameliyat lambalarının da ameliyathane esnasından genelde Şekil 1’deki konumunda kullanıldığı öğrenilmiştir ve ölçümler sırasında bu konumda tutulmuştur.

Sıcaklık ölçüm cihazlarıyla LAF ünitesinin izdüşümü dışarısında kalan bölgedeki dört noktadan ölçümler alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak odanın sıcaklığı belirlenmiştir. LAF ünitesi yüzeyinden de 6 noktada hava hızı ölçümü alınıp ortalaması bulunarak yaklaşık hava giriş hızı hesaplanmıştır. Başka bir sıcaklık ölçüm probu ile ölçümler süresince LAF ünitesi yüzeyinden hava giriş sıcaklığı ölçümü alınmıştır.

Ölçümler sırasında lambaların ve ameliyat masasının konumları her ölçümde aynı pozisyona getirilmiştir. Lambaların konumu da bir ameliyathane hemşiresine danışılarak ameliyatlarda en çok tercih edilen konuma ayarlanmıştır.



Şekil 1 Laminer Flow üniteli ameliyathane

3.1 Çalışmada Kullanılan Ölçüm Cihazları

3.1.1 Ameliyathane sıcaklık ölçümü

Oda içerisindeki sıcaklık kararlı hale geldikten sonra oda içerisinde, hava dağıtım difüzörü izdüşümü alanı dışında ve duvarlardan 0.5 m uzaklıkta eşit mesafede 4 nokta belirlenerek, yer seviyesinden 1.5m yükseklikte sıcaklık ölçümleri yapılmıştır [12].

Cihazlar online olarak çalışmakta ve alınan ölçümler bir baz ünitesine iletilmektedir ve ölçümler buradan bilgisayara aktarılabilir. Cihazlar dakikada bir ölçüm alacak şekilde ayarlanmıştır. Cihazların bulundukları noktalarda 30'ar dakika boyunca ölçüm alınmış ve ortalamaları alınarak odanın sıcaklık değeri belirlenmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'te baz ünitesi ile radyofrekanslı sıcaklık ve bağıl nem ölçer görülmektedir.



Şekil 2 Baz Ünitesi



Şekil 3 Online sıcaklık ve bağıl nem ölçer

3.1.2 Hava giriş sıcaklığı ve hızı ölçümü

Ortalama giriş havası hızının belirlenmesi için en az 100 saniye ölçüm alınması gereklidir [12]. Hava giriş hızını belirlemek için laminar flow üzerinde belli noktalardan Şekil 5'de gösterilen transmitter ve online hız probu ile 5 dakika boyunca ölçüm alınarak bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Probu bir de ölçümler süresince LAF ünitesi yüzeyinde tutularak hava hızının değişimi de ölçülmüştür.



Şekil 4 Transmitter ve hız/sıcaklık probu

Ayrıca LAF ünitesi altında kalan bölgedeki bir hat üzerinden, ilk 50 cm olan kısım 10 cm aralıklar ile daha sonra da 20 cm aralıklarla laminar flow yüzeyinden yere kadar ölçüm alınmıştır. Ölçümler için Şekil 5'te görülen Testo 435 ölçüm cihazı ve buna bağlı Şekil 6'da görülen hız/sıcaklık probu kullanılmıştır.



Şekil 5 Testo 435 ölçüm cihazı



Şekil 6 Hız/Sıcaklık Probu

4. AMELİYATHANENİN SAYISAL MODELLEMESİ

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

4.1 Korunum Denklemleri

Çözümlemelerde kullanılan sürekli rejim için korunum denklemleri aşağıdaki gibidir.

4.2 Kütlenin Korunumu

En genel halde kütle korunum denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

S_m terimi faz değişimi sırasında değişen kütle miktarıdır.

4.3 Momentumun Korunumu Denklemi

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\bar{\tau}}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

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

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

μ : Moleküler viskozite

I : Birim tensör

p : statik basınç

4.4 Enerjinin Korunumu Denklemi

Enerjinin korunumu denklemi en genel halde aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho \vec{v} + p)) = -\nabla \cdot \left(\sum_j h_j J_j \right) + S_h \quad (4)$$

4.5 Türbülans Modelleri

Literatür taramalarında 3 boyutlu oda iklimlendirmelerinde en çok kullanılan modeller Standart k- ϵ [13, 14, 15] ve RNG k- ϵ [6, 16] modelleridir. Yapılan çalışmada standart k- ϵ modeliyle çözüm yapılmıştır.

Standart k- ϵ Türbülans Modeli

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

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + G_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (6)$$

Türbülans viskozitesi μ_t ;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

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

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

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

$$G_k = -\rho \overline{u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (8)$$

G_k değeri Boussinesq modeline uygun şekilde yazdığımızda,

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (9)$$

S , zorlanma tensörü modülü olup

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir.

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

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (11)$$

Pr_t : Prandtl sayısı

G_i : i yönündeki yerçekimi vektörü

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

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (12)$$

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

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (13)$$

şeklinde bulunur.

M_t türbülans Mach sayısı olup

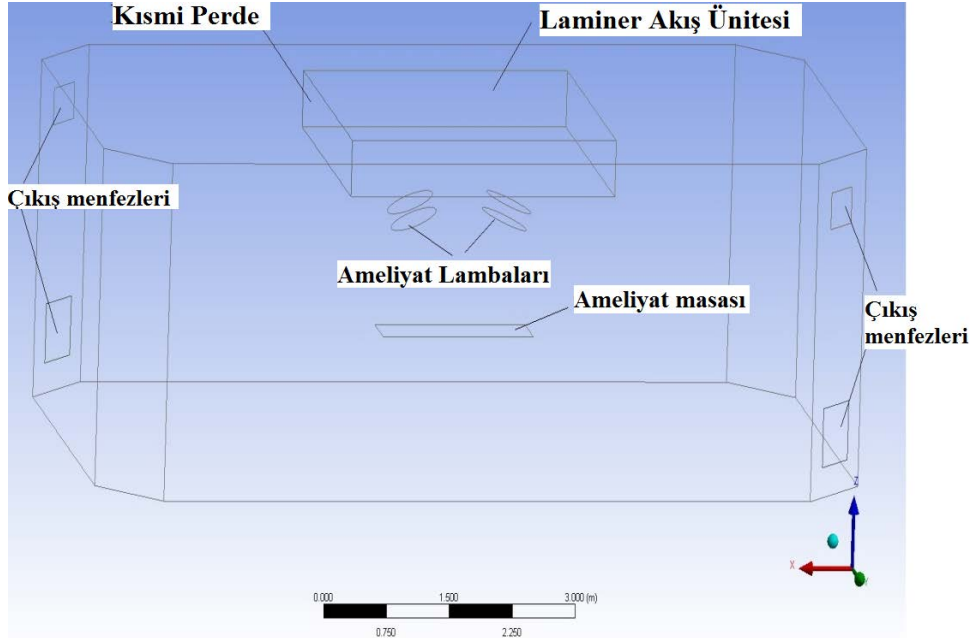
$$M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}} \quad (14)$$

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

4.6 Geometri ve Sınır Şartları

Çalışma yapılan ameliyathaneler ANSYS Workbench programında modellenerek Fluent ile analizi yapılmıştır. Şekil 7’de ameliyathanenin modeli görülmektedir.

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



Şekil 7. Ameliyathane Modeli

Çalışmada kullanılan sınır şartları aşağıdaki gibidir;

Giriş: “Inlet” sınır şartı kullanılmış ve laminar flow için sadece z yönünde değer verilmiştir. Difüzör için ise teğetsel ve eksenel yönlerde hız verilmiştir. Hava giriş hızı ve sıcaklık değerleri deneysel verilerin ortalaması olarak alınmıştır.

Çıkış: “Outflow” sınır şartı girilmiştir.

Lamba 1 ve Lamba 2: Programda “Wall” sınır şartı girilmiş ve “Temperature” seçeneğiyle sabit yüzey sıcaklığı verilmiştir.

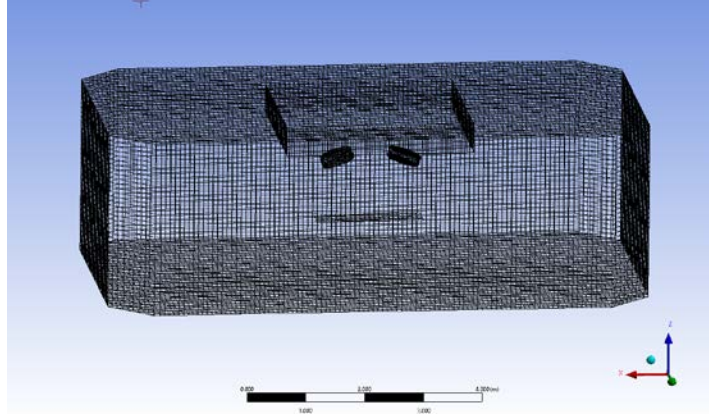
Yan duvarlar, Tavan ve Zemin: Programda sınır şartı olarak “Wall” girilmiş ve bitişik mahaller için ortalama bir sıcaklık ve duvarlar için ortalama bir ısı transfer katsayısı seçilerek “Convective Heat Transfer” seçeneği girilmiştir.

Türbülans modelleri ve duvar fonksiyonu: Standart k-ε türbülans modeli ve “standart wall function” duvar seçenekleri ile çözümlemeler yapılmıştır.

Yakınsama kriteri olarak “second order upwind scheme” seçilmiş, “Buoyancy” etkisi göz önüne alınarak “Boussinesq” modeliyle çözümlemeler yapılmıştır. Yakınsama kriteri 1×10^{-5} , türbülans şiddeti %5 ve hidrolik çap da 3m olarak alınmıştır. Hava giriş hızı “inlet” değeri 0.2 m/s, oda sıcaklığı 19-22°C arasında birer derecelik fark olacak şekilde belirlenmiştir. Giriş havası sıcaklığı da oda sıcaklığından 3°C aşağıda ve oda sıcaklığına eşit olarak girilerek ayrı ayrı çözümlenmiştir.

4.7 Ağ Yapısı ve Kontrolü

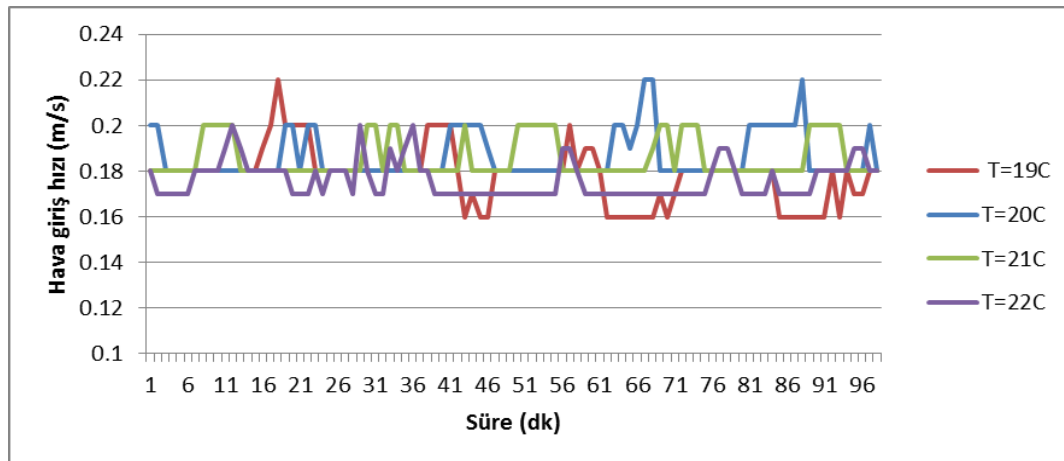
Şekil 7’de görülen modelin istenilen sınır şartları altında, sonlu hacimler metodu ile çözülebilmesi için bu metodun gerektirdiği şekilde sonlu hacimlere ayrılması gerekmektedir. Bu işleme “ağ” veya “mesh” oluşturma işlemi denmektedir. Üç boyutlu ağ yapısı tetrahedral ve hexahedral elemanlar şeklinde oluşturulabilmektedir. Şekil 8’de odanın “Hexahedral Mesh” ile ağlara ayrılmış şekli görülmektedir.



Şekil 8 Ameliyathane modelinin ağ yapısı

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

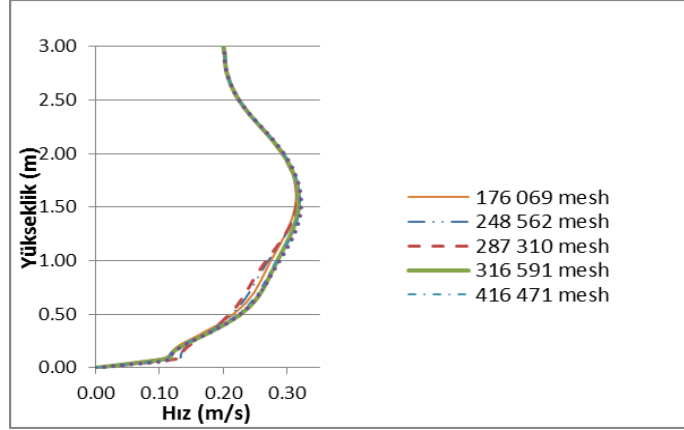
Hava giriş hızı standartlarda 0.22 - 0.45 m/s arasında olması gerektiği belirtilmekle birlikte ölçüm alınan ameliyathanedeki klima santrali en yüksek çalışma hızına ayarlandığına bile ortalama yaklaşık olarak 0.2 m/s hızında girmektedir. Şekil 9’de giren havanın 100 dakika boyunca olan değişimi görülmektedir.



Şekil 9 Ölçümler sırasındaki hava giriş hızının değişimi

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

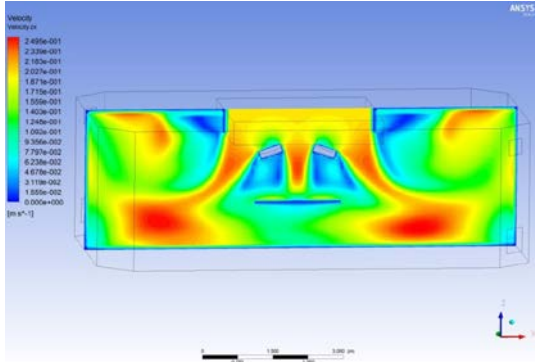
Yapılan ölçümler sonunda elde edilen değerler analizlerin sınır şartları olarak kullanılmıştır. Analizlerin öncesinden çözümüleme yapılacak modelin ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. 176.069, 248.562, 287.310, 316.591, 416.471 ve 532.420 ağ sayılarında çözümler yapılmış ve belli bir çizgi üzerinden yükseklik-hava hızı grafiği oluşturulmuştur ve şekil 10'da gösterilmiştir.



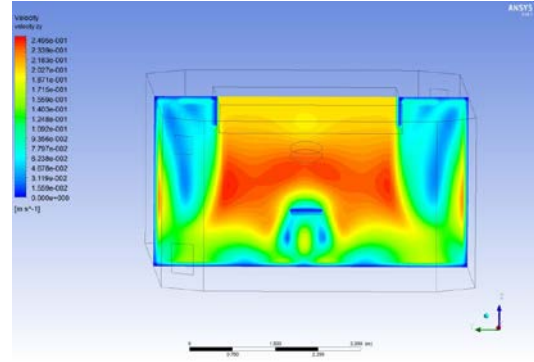
Şekil 10 Yükseklik-Hava hızı grafiği

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

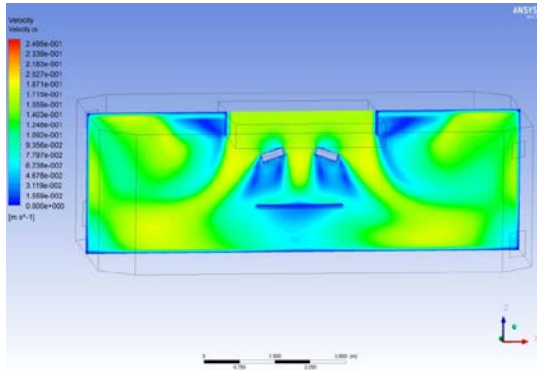
Şekil 11-12'de oda sıcaklığı 19°C iken odaya giren havanın hızı 0.2 m/s ve sıcaklığı oda sıcaklığından 3°C düşük olması durumunda sırasıyla xz ve yz düzlemlerinin orta kesinde oluşan hava dağılımı görülmektedir. Şekil 13-14'te ise hava sıcaklığının oda sıcaklığıyla aynı olması durumundaki hava dağılımı görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi hava giriş hızı ve oda sıcaklığı aynı olmasına rağmen odaya giren hava sıcaklığının oda sıcaklığından düşük olduğunda hava kendi yoğunluğuyla hızlanarak zemine doğru inmekte ve standartlarda verilen hız değerlerinde olmaktadır. Ayrıca partiküllerin ameliyat alanından uzaklaştırılması için iyi bir hava perdesi oluşturmaktadır. Giren havanın hızı oda sıcaklığına eşit olduğunda ise ameliyat alanındaki havanın hızı düşmektedir. Bu durum ameliyat alanındaki partiküllerin uzaklaştırılması açısından olumsuz bir durum oluşturmaktadır.



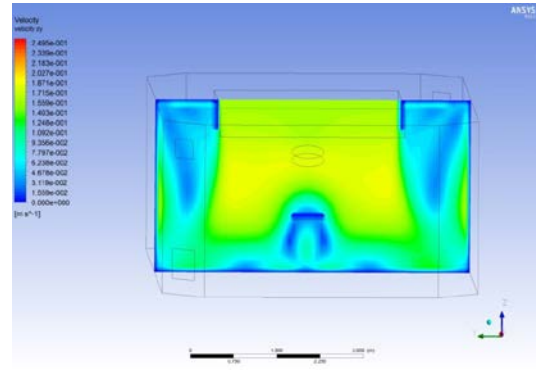
Şekil 11 $T_0=19^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_0$ için xz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 12 $T_0=19^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_0$ için yz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı

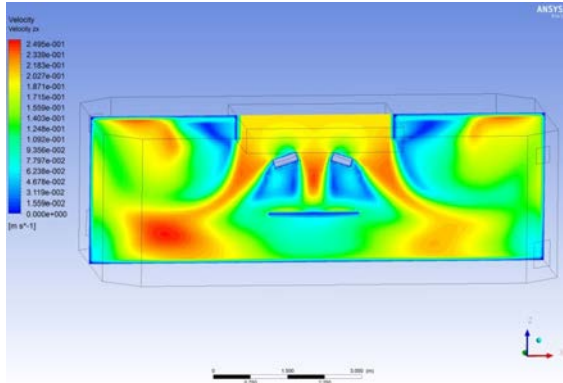


Şekil 13 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $T_g = T_o$ için xz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı

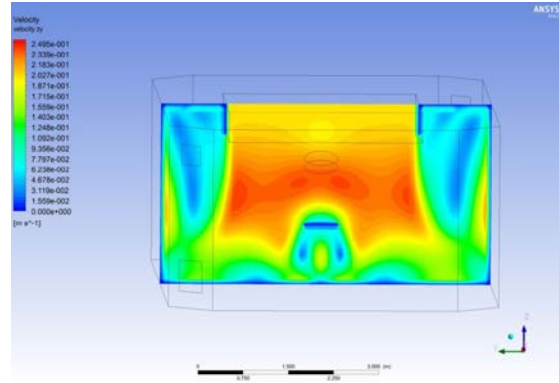


Şekil 14 $T_o=19^\circ\text{C}$ 'de $T_g = T_o$ için yz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı

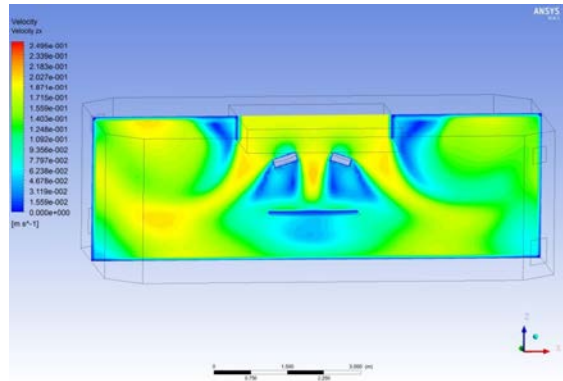
Şekil 15-16, 19-20, 23-24'te ise sırasıyla oda sıcaklığının 20°C , 21°C ve 22°C olması durumunda şekil 10-11'deki gibi hava giriş sıcaklığının oda sıcaklığından 3°C aşağısında, şekil 17-18, 21-22, 25-26'da ise sırasıyla oda sıcaklıklarının 20°C , 21°C ve 22°C olması halinde şekil 13-14'teki gibi odaya giren hava sıcaklığının oda sıcaklığına eşit olması durumundaki hava dağılımlarını göstermektedir. Bu şekillerde de görüldüğü gibi hava giriş hızı hepsinde aynı olmasına rağmen oda sıcaklığından düşük sıcaklıkta hava girdiği durumda hava dağılımının daha iyi olduğu görülmektedir.



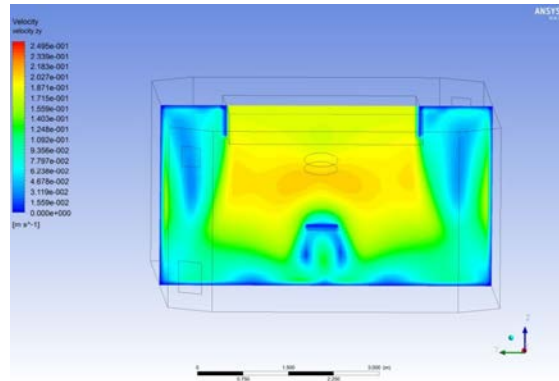
Şekil 15 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_o$ için xz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



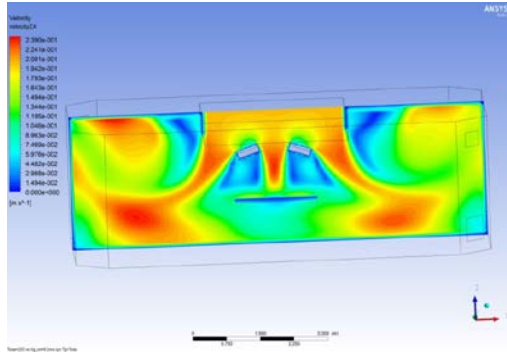
Şekil 16 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_o$ için yz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



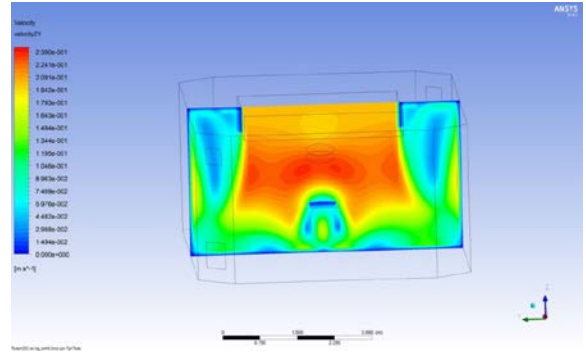
Şekil 17 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $T_g = T_o$ için xz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



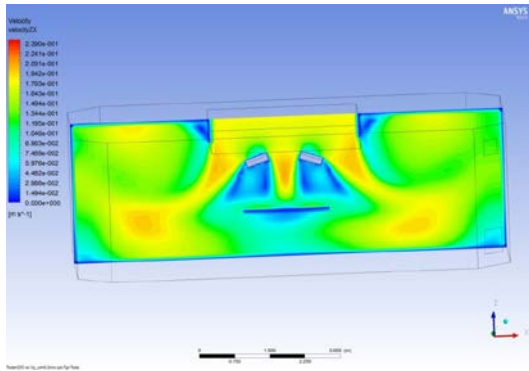
Şekil 18 $T_o=20^\circ\text{C}$ 'de $T_g = T_o$ için yz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



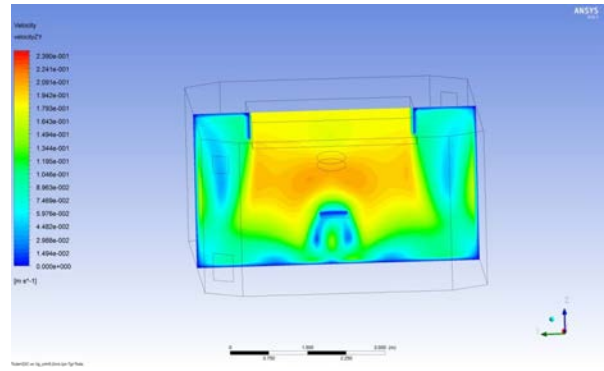
Şekil 19 $T_0=21^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_0$ için xz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



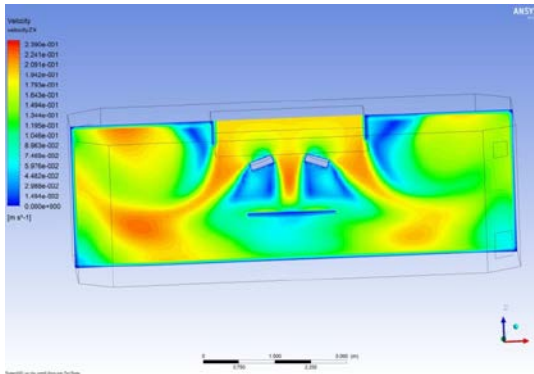
Şekil 20 $T_0=21^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_0$ için yz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



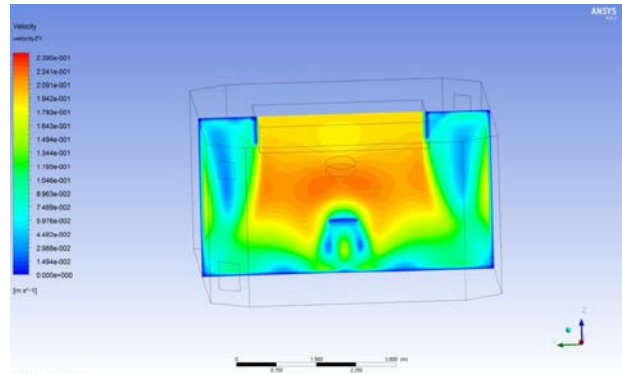
Şekil 21 $T_0=21^\circ\text{C}$ 'de $T_g = T_0$ için xz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



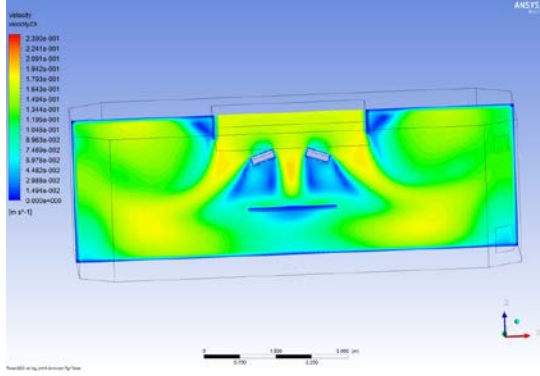
Şekil 22 $T_0=21^\circ\text{C}$ 'de $T_g = T_0$ için yz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



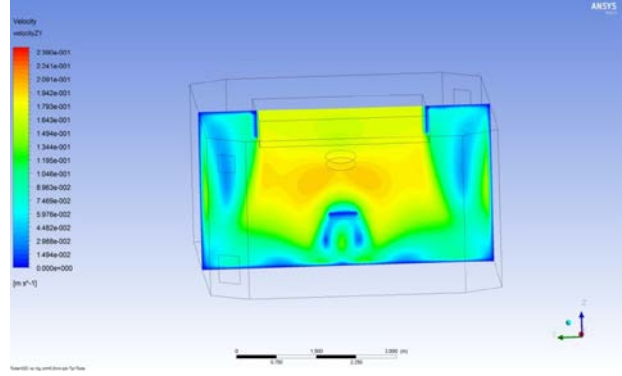
Şekil 23 $T_0=22^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_0$ için xz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 24 $T_0=22^\circ\text{C}$ 'de $T_g < T_0$ için yz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



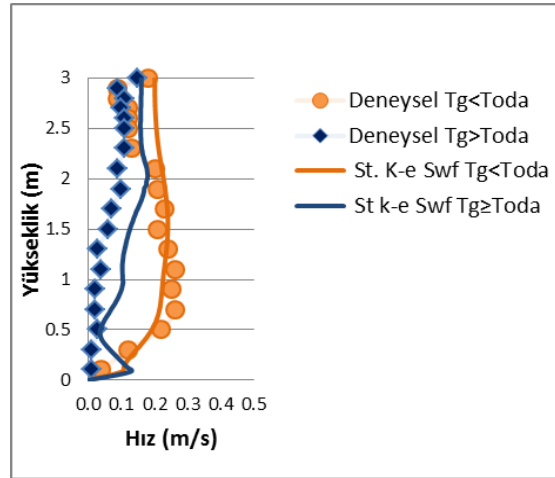
Şekil 25 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $T_g=T_o$ için xz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı



Şekil 26 $T_o=22^{\circ}\text{C}$ 'de $T_g=T_o$ için yz düzleminde oda içindeki hava hızı dağılımı

Ayrıca odaya giren hava sıcaklığı ile oda sıcaklığı arasındaki fark ile giren hava hızı aynı olmasına rağmen oda sıcaklığı arttıkça ameliyat bölgesindeki hava hızının düştüğü görülmektedir. Daha yüksek sıcaklıktaki bir ameliyathanede çalışılmak istendiğinde, ameliyat bölgesindeki hava hızının standartlara uygun olması için mahale biraz daha yüksek hızda hava girmesi gerektiği sonucuna varılabilir. Üflenen hava sıcaklığının oda sıcaklığından 3-4 °C düşük olması gerektiğinin önemi yapılan analizlerden açıkça görülebilmektedir.

Ayrıca oda sıcaklığının 19°C olduğu durumda tavandan zemine belli bir hat üzerinden alınan hız ölçümleri ile aynı hattın analizden elde edilen değerleri için oluşturulan hız-yükseklik grafiği de şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27 $T_o=19^{\circ}\text{C}$ için hız-yükseklik grafiği

Ölçümler, hava giriş sıcaklığının oda sıcaklığından düşük olduğu zaman ve oda sıcaklığına çok yakın olduğu zamanki süreçlerde ayrı ayrı alınmıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler de alınarak şekil 27'da verilen grafik oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara bakıldığında analiz ve ölçümlerden elde edilen sonuçlar yakın çıkmıştır ve yapılan analizlerin doğruya yakın şekilde hava dağılımını gösterdiği sonucuna varabiliriz.

6. SONUÇLAR

Yapılan çalışmadan elde edilenlere bakıldığında ameliyathanelerde özellikle LAF ünitesi altında ameliyat yapılan alanda standartlara uygun ve personeli rahatsız etmeyecek düzeyde hava hızını elde etmek ve partikülleri ortamdan uzaklaştırmak için düzgün bir hava perdesi oluşturmak gerekir. Bunun için sadece hava giriş hızının ve oda sıcaklığının standartlara uygun olmasının yeterli olmadığı görülmektedir. Bunların yanında odaya giren hava sıcaklığının oda sıcaklığının 3-4°C altında olması gerektiğinin önemi de analizlerde görülen hava dağılımından anlaşılmaktadır. Özellikle ölçüm alınan ameliyathanede klima santralinin çalışma şekline bağlı olarak, oda istenilen sıcaklığa düşürüldükten sonra üflenen hava sıcaklığının oda sıcaklığına çıktığı süreçten tekrar soğutma moduna geçtiği süreç arasında hava perdesinin düzgün olmayacağı ve ameliyat alanında partikül sayısının artacağı oldukça açıktır. LAF ünitesi altında düzgün bir hava dağılımı olmaması ve hava hızının standartlara uygun olmaması, ameliyat olan hastalardaki enfeksiyon riskini arttıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] ANIL, O.B., MOBEDİ, M., ÖZERDEM, M.B. 2009. "Bir ameliyat odasında klima ve havalandırma tasarım parametrelerinin değişimi üzerine deneysel bir çalışma". 9. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi bildiriler kitabı, Mayıs 2009, Say. 1191-1201.
- [2] VAN GAEVER, R., JACOBS, V.A., DILTOER, M., PEETERS, L., VANLANDUIT, S. "Thermal comfort of the surgical staff in the operating room". Building and Environment, 81: 37-41, 2014.
- [3] FOREJT, L., DRKAL, F., HENSEN, J., IN SEPPÄNEN, O., SÄTERI, J., SEPPÄNEN, O. JUNE. "Assessment of operating room air distribution in a mobile hospital: field experiment based on VDI 2167". In Proceedings of the 10th int roomvent conference, Haziran 2007, Say. 57-69.
- [4] HO, S.H., ROSARIO, L., RAHMAN, M.M. "Three-dimensional analysis for hospital operating room thermal comfort and contaminant removal". Applied Thermal Engineering, 29(10): 2080-2092, 2009.
- [5] WANG, F.J., LAI, C.M., CHENG, T.J., LIU, Z.Y. "Performance Investigation for the Cleanroom Contamination Control Strategy in an Operating Room". ASHRAE Transactions, 116(1): 74-80, 2010.
- [6] EL GHARBI, N., BENZAOUI, A., KHALIL, E.E., KAMEEL, R. " Analysis of indoor air quality in surgical operating rooms using experimental and numerical investigations". Mechanics & Industry, 13(2): 123-126, 2012.
- [7] MEMARZADEH, F., MANNING, A.P. "Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site. Discussion". ASHRAE Transactions, 108: 3. 2002.
- [8] ANIL, O.B., MOBEDİ, M., ÖZERDEM, M.B. "Hastane hijyenik ortamları için klima ve havalandırma sistemleri tasarım parametreleri". 8. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, Ekim 2007, say. 497-509.
- [9] DIAB-ELSCHAHAWI, M., BERGER, J., BLACKY, A., KIMBERGER, O., OGUZ, R., KUELPMANN, R., KRAMER, A. AND ASSADIAN, O. "Impact of different-sized laminar air flow versus no laminar air flow on bacterial counts in the operating room during orthopedic surgery". American journal of infection control, 39(7): 25-29, 2011.
- [10] BALARAS, C.A., DASCALAKI, E. AND GAGLIA, A. "HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms". Energy and Buildings, 39(4): 454-470, 2007.
- [11] ZOON, W.A.C., HEIJKANT, S.A.M., HENSEN, J.L.M., LOOMANS, M.G.L.C. "Assessment of the performance of the airflow in an operating theatre". In Proceedings of the 10th int roomvent conference, 13-15 Haziran 2007, Helsinki. 2007.
- [12] BOYLU, A. " Ameliyathane ve Yoğun Bakım Hijyenik Havalandırma Sistemlerinin Performans Doğrulaması". 9. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi bildiriler kitabı, Mayıs 2009, Say. 1233-1244.
- [13] CHOW, T.T., YANG, X.Y. "Performance of ventilation system in a non-standard operating room". Building and environment, 38(12): 1401-1411 2003.
- [14] LOOMANS, M.G.L.C., VAN HOUDT, W., LEMAIRE, A.D., HENSEN, J.L.M. "Performance Assessment of an Operating Theatre Design Using CFD Simulation and Tracer Gas Measurements". Indoor and Built Environment, 17(4): 299-312. 2008.

- [15] HAN, Y., HU, Y., QIAN, F. "Effects of air temperature and humidity on particle deposition". Chemical Engineering Research and Design, 89(10): 2063-2069. 2011.
- [16] SMİTH, E.B., RAPHAEL, I.J., MALTENFORT, M.G., HONSAWEK, S., DOLAN, K., YOUNKINS, E.A. "The effect of laminar air flow and door openings on operating room contamination". The Journal of Arthroplasty, 28(9): 1482-1485. 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Hande UFAT

1983 yılında Bursa'da doğmuştur. 2004 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2010 yılında Uludağ Üniversitesinde yüksek lisansını, 2017'de doktora eğitimini tamamlamıştır. 2005-2007 yılları arasında çeşitli mekanik tesisat firmalarında proje mühendisi olarak çalışmış, 2008-2017 yılları arasında Uludağ Üniversitesinde Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 2017'den beri Bursa Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Giray GONCAGÜL

1994 yılında Bursa'da doğmuştur. Lise öğrenimini Bursa Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. Daha sonra 2012 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazanmış ve aynı bölümden 2017 yılında mezun olmuştur. Halen Durmazlar Makine San. ve Tic. A.Ş. de çalışmakta olup, aynı zamanda Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

Recep YAMANKARADENİZ

1954 yılında Bafra'da doğdu. 1975 yılında İTÜ Makine Fakültesi'nde doktorasını tamamladı. 1990 yılında Isı Tekniği dalında doçent oldu. 1995 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde Profesör oldu. Halen Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Isıtma, soğutma, klima, doğalgaz ve yangın konularında çalışmalarını sürdürmektedir.