



## Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesi Süresince Hava Akımının Modellenmesi

Yasin Polat<sup>1</sup>, Hüseyin Yağlı<sup>2</sup>, Yıldız Koç<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1255-9990)

<sup>2</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9777-0698)

<sup>3</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2219-645X)

(İlk Geliş Tarihi 22 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 14 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.531362)

**ATIF/REFERENCE:** Polat, Y., Yağlı, H. & Koç, Y. (2019). Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesi Süresince Hava Akımının Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 420-432.

### Öz

Günümüz ameliyathanelerinin iklimlendirilmesinde kullanılan klima sistemleriyle; sıcaklık ve nem kontrolünün yapılmasının istenmesinin yanı sıra havada taşınabilen mikroorganizma ve toz miktarının, atık anestezi gazı ve kötü koku oranının önemli ölçüde azaltılması da istenmektedir. Ayrıca kullanılan klima sistemleri ile standartlarda belirtilen koruma alanının oluşturabilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede ameliyat esnasında kesi yapılan bölgeden hastaya enfeksiyon bulaşma riski de en aza indirgenmelidir. Bu nedenle mevcut çalışmada, Türkiye’de mevcut durumda bulunan bir devlet hastanesinin ameliyathanesinin iklimlendirilmesi sonucunda oluşabilecek sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çalışma kapsamında ameliyathanenin incelenmesinde iki farklı model (Model 1 ve Model 2) tasarlanmış ve tasarlanan bu modeller ANSYS Fluent programı ile simüle edilerek sayısal olarak analiz edilmiştir. Model 1 tavandan üfleme, kenarlardan emme menfezleri ile hava emen bir sistem olarak tasarlanırken Model 2 aseptizör cihazı ile iklimlendirme yapacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan her bir model için x düzlemi boyunca beş ve z düzlemi boyunca üç farklı kesitte inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda, Model 1’de ameliyat lambalarının cerrahi alan üzerinde konumlandırılması sonucu ölü kış bölgelerinin oluştuğu görülmüştür. Ayrıca bu modelde incelenen kesitlerde salondaki sıcaklık değerlerinin personeli ve hastayı rahatsız edici değerler olmadığı görülmüştür. Model 2’de yüksek hava akış hızı nedeniyle ameliyathane personelinin konforsuzluk yaşadığı, cerrahi alan üzerinde laminer akışın sağlanamaması nedeniyle de cerrahi alan enfeksiyonu gelişiminin mümkün olabileceği görülmüştür. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, standartlara ve literatürdeki çalışmaların sonuçlarına paralel olarak ameliyathanelerde en uygun havalandırma tekniğinin bu çalışmada Model 1 olarak tanımlanan tavandan üfleme ve kenarlardan emme menfezleri ile hava emen iklimlendirme sistemi olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Ameliyathane, İklimlendirme, Aseptizör, Modelleme, Fluent.

## Modelling of Air Flow During Air Conditioning in an Operating Room

### Abstract

With the air conditioning systems used in the air conditioning of today's operating rooms; it is desirable that the amount of microorganism and powder that can be carried in the air to be significantly reduced as well as the temperature, humidity, waste anaesthesia gas, the odour ratio control. In addition, it is aimed to be able to form the protection area specified in the standards with the air-conditioning systems used. In this way, the risk of infection to the patient from the incision site during the operation should be minimized. Therefore, in the present study, the temperature distribution in an operating room of a state hospital in Turkey were examined. In the study, two different models (Model 1 and Model 2) were designed and the designed models were numerically analysed and simulated by using ANSYS Fluent software. Model 1 is designed as a system that blows air from the ceiling, sucking air from the sides with suction grilles, while the Model 2 is designed to air-conditioning with the aseptizer. For each designed model, five different sections along the x-plane and three along the z-plane were examined. In Model-1, it was observed that the dead winter regions were formed as a result of the positioning of the surgical lamps on the surgical area. In addition, it was observed that the temperature values in the room were not disturbing for the personnel and the patient. Because of the high air flow rate in the Model 2, it was seen that the operating room is uncomfortable for the personnel due to high air flow rate and also surgical area infection development is possible due to the lack of laminar flow on the surgical area. When the results of the study are examined, it is seen that the most suitable air-conditioning

\* Sorumlu Yazar: İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, [yildiz.koc@iste.edu.tr](mailto:yildiz.koc@iste.edu.tr)

system for the operating rooms in accordance with the standards and the results of the studies in the literature is air-blowing from the ceiling and air-sucking from the sides with suction grilles system, which is defined as Model 1 in the present study.

**Keywords:** Operating Room, Air Conditioning, Aseptizer, Modelling, Fluent.

## 1. Giriş

Ameliyathaneler hastaların en savunmasız olduğu ve ortamdaki olumsuz şartlardan en çok etkilendiği alanlardan birisidir. Sterilizasyon ve havalandırma sorunlarından dolayı ameliyathanelerde meydana gelen başlıca komplikasyon ve ölümlerin başında enfeksiyon gelmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ameliyathanelerde her 6 hastadan birisi enfeksiyon nedeni ile ölürken bu oran Avrupa ülkelerinde %45'lere kadar çıkmaktadır [1]. Üriner sistem enfeksiyonlarından sonra en sık karşılaşılan enfeksiyonlar cerrahi alan enfeksiyonlardır [2]. Ameliyathane, acil cerrahi müdahale bölümü, yoğun bakım üniteleri, bulaşıcı hastalık şüphesi olanların teşhis ve tedavi üniteleri vb. gibi önemli ortamlar enfeksiyonların en fazla görüldüğü yerlerdir [3]. Buralarda enfeksiyon miktarının artmasının en önemli nedeni hastaya steril olmayan ortamda ve steril olmayan biçimde müdahalede bulunulmasıdır. Hastanın kendisi, ameliyat aletleri, cerrahi kadro enfeksiyon miktarının artmasındaki diğer önemli etkenlerdir [4]. Dünya'da tahminen yıllık 234 milyon ameliyat gerçekleştirilmekte ve bu durum günden güne cerrahi alan enfeksiyonun görülme riskini arttırmaktadır [3]. Bu nedenle ameliyathane ortamlarının iklimlendirme sistemlerinin projelendirilmesinde daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir [5]. Çünkü hastanelerin riskli alanlarından birisi olan ameliyathanelerde enfeksiyon riskini arttıran en önemli faktörlerden birisi ameliyathanelerin havalandırılması ve soğutulmasında doğru iklimlendirme ve filtrasyon sisteminin seçilmemesidir.

Günümüze kadar ameliyathanelerde birçok iklimlendirme sistemleri kullanılmıştır. Tasarlanan iklimlendirme sistemlerinde sıcaklık, nem, üfleme hızı, cerrahi kadro ameliyathane cihazları gibi birçok etken göz önüne alınmıştır. Sıcaklığın ortalama 21 °C olması ve statik elektriklenmeden dolayı oluşabilecek tehlikeleri engellemek için nemin %30 ile %60 aralığında olması gerekmektedir [6]. Sıcaklık ve nemin belirli bir oranda tutulması enfeksiyonun çoğalmasının minimize edilmesini, cerrahi kadronun daha rahat çalışmasını ve iklimlendirme sisteminin daha verimli olmasını sağlar. İklimlendirme ile eş zamanlı olarak ameliyathanede görev yapan cerrahi kadroda dikkate alınması gereken önemli parametrelerdendir. Personelin hareketinin hava akımı düzenini etkilemesi ve ameliyathane havasındaki enfeksiyonların ameliyathaneye giriş-çıkış yapan insan sayısı ile doğru orantılı olması cerrahi kadroya dikkat edilmesinin temel sebeplerindendir [7]. Bu nedenle ameliyathanelerde insan giriş çıkışı minimum düzeyde tutulmalıdır [8].

İklimlendirme de kullanılan havalandırma sistemlerinde istenilen sıcaklık ve nemin yanı sıra dışarıdaki havadan ameliyathane ortamına girmesi muhtemel olan toz ve partiküllerin temizlenebilmesi için, iklimlendirme sistemi ile entegre çalışan %90 veya üzerinde havayı temizleye bilen filtrasyon sisteminin de olması önemlidir. Ayrıca kullanılan havalandırma sistemlerinde enfeksiyonlar üreyip çoğalma yoluyla daha fazla yayıldığı için ameliyathane havalandırma sisteminin bakımı düzenli olarak yapılmalı ve filtreler belirlenen zaman aralıklarında değiştirilmelidir [9,10]. Fakat, burada da tasarlanan iklimlendirme ve havalandırma sisteminin bakım ve onarımının yapılması esnasında, ameliyathanedeki çalışma düzenine etki etmemesi ve bakım sırasında içerisindeki zararlıları ameliyathane ortamına bırakmaması dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli parametrelerdendir.

Bu çalışmada, Türkiye'de mevcut durumda bulunan bir devlet hastanesinin ameliyathanesinin iklimlendirilmesi sonucunda sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çalışma kapsamında ameliyathanenin incelenmesinde iki farklı model (Model 1 ve Model 2) tasarlanmış ve tasarlanan bu modeller ANSYS Fluent programı ile simüle edilerek sayısal olarak analiz edilmiştir. Model 1 tavandan üfleme, kenarlardan emme menfezleri ile hava emen bir sistem olarak tasarlanırken Model 2 aseptizör cihazı ile iklimlendirme yapacak şekilde tasarlanmıştır. Sıcaklık dağılımının x ve z eksenler boyunca değişen mesafelerdeki dağılımını görmek, ameliyathanede bulunan ekipmanların sıcaklık dağılımına etkisini belirlemek ve ölü kış bölgelerini bulabilmek için; tasarlanan her bir modelde x düzlemi boyunca beş ve z düzlemi boyunca üç farklı kesitte inceleme yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Ameliyathanelerin İklimlendirilmesi

Ameliyathaneler, hasta sağlığı açısından mikroorganizmaların bulunmadığı yerler olmalıdır. Bu nedenle ameliyathanelere özel iklimlendirme sistemleri tasarlanmaktadır. Genel olarak ameliyathanelerin iklimlendirilmesinde ortamın sıcaklığı ve nemi, personel aktiviteleri ve kıyafetleri, havanın akış yönü, hava basıncı, kullanılan aletlerin temizliği, ameliyathanenin günlük bakımları vb. gibi parametrelere dikkat edilmektedir. Ameliyathanelerin klima sistemlerinde; birinci adımda ön filtre (elyaf filtreler), ikinci adımda duyarlı filtre (torba filtreler) ve üçüncü adımda mutlak filtre (HEPA filtreler) kullanılmalıdır. Kokuların yok edilmesi ve korozyonu etkisini en aza indirmek için kullanılan filtreler ise dördüncü adım filtreleri olarak kullanılabilir [11].

Ameliyathanelerin iklimlendirilmesinde

1. Paket tip hijyen klima
2. Aseptizörler
3. Merkezi sistemler

kullanılmaktadır [12]. Aseptizörler ve paket tip hijyen klimalar %30-%100 arasında ki taze havayı alıp filtrelerden geçirip sonra %70 e kadar ortamda ki havayla karıştırmaktadırlar. Sonrasında karıştırılan hava tekrar filtrelerden geçirilmektedir. İhtiyaca göre sıcaklığını değiştirme, içerisindeki nem miktarını ayarlama gibi işlemler yapılarak istenilen hava elde edilmektedir [12]. Aseptizörler ve paket tip hijyen klimalar en az %30 temiz havayı kullanarak en fazla %70 oranında ki iç ortam havasıyla karıştırarak havayı temizlemekte ve tekrar kullanıma hazırlamaktadır [12]. Taze hava ayarlanabilir olduğu için %30-%100 arasında ayarlanabilmektedir. Bu sistem aseptizör

ve paket tip hijyen klimaların enerji maliyetini merkezi sistemlere göre %60 oranında düşürmektedir. Dahası aseptizör ve paket tip hijyen klimaların kurulumları basittir ve kurulması için fazla bir işlem gerektirmezler [12].

Klimalarda kullanılan HEPA filtrelerinin ömrü en az 1 en fazla 3 yıldır. Aseptizör ve paket tip hijyen klimaların havalandırma kanalları az ve küçük olduğundan bakım işlemleri daha kolay olur. Bakımları düzenli yapıldığı takdirde ise 15-20 yıl boyunca kullanılabilirler. Kapladığı hacim, merkezi sistemlere çok küçüktür ve taşınabilirlerdir [12].

Aseptizör ve paket tip hijyen klimalarında ultraviyole sistemlerde kullanılmaktadır. Ultraviyole sistemler, hava filtreden geçtikten sonra filtrede yakalanamayan 0,03 mikrondan küçük mikroorganizmaların DNA sisteminin bozarak etkisiz hale getirmektedir [12].

Aseptizörler; genel olarak duvardan direkt üfleme ve laminer hava akış ünitesi olarak ikiye ayrılmaktadırlar [12]. Duvardan direkt üfleme aseptizörlerde türbülanslı akış kullanılmaktadır. Türbülanslı hava akımı, havanın daha çok yayılmasını sağlar. Bu durum hava içerisinde mikroorganizmaların hızlı bir şekilde etrafa yayılmasını neden olur [9]. Etrafa yayıldıkları için çoğalmaları daha hızlı bir şekilde olur ve bu istenilen bir durum değildir. Hem bu nedenden dolayı hem de tavan yüksekliğinden dolayı diğer aseptizörlerin kullanılmadığı yerler de kullanılırlar.

Laminer hava akış ünitesinde ortama verilen havada laminer akış kullanılmaktadır. Laminer akış kullanımı daha hijyenik bir ortam sağlamaktadır. Dahası laminer akışla mikroorganizmaların yayılması minimum seviyelere düşürülür ve bu sayede bu organizmaların çoğalmaları engellenir [9]. Laminer hava akış üniteleri ultraviyole sistemleri de içermektedir. Laminer akış, havanın akışının homojen olmasını sağlamanın yanı sıra ameliyat masası ve çevresindeki mikroorganizmalarında ortalama 0,25 m/s'lik akış hızıyla dışarı atılmasını sağlar [13].

Merkezi sistemler; aseptizör ve paket tip hijyen klimalardan daha büyüktür. Ayrıca hava aktarımının sağlandığı kanallar daha uzun ve fazladır. Merkezi sistemler havayı ortamdaki alırlar ve alınan hava direkt filtrelere gönderildiği için hava içerisindeki partiküller zamanla filtreye zarar verir buda filtre kullanım süresini azaltır. Filtre ömürleri kısa olacağı için 1 yıl içerisinde değiştirilmesi gerekir. Merkezi sistemler, havayı içerisindeki partikülleri arındırmadan aldığı için hava aktarımını sağlayan kanallarda bulunan mikroorganizmaların da hızla artmasına neden olur [12]. Kanallar zamanla aşındı için basınç, verim ve debi kayıplarına yüksektir ve bu durumda maliyetin artmasına neden olur. Enerji maliyetleri diğer sistemlere göre daha fazladır. Merkezi sistemlerin kapladıkları hacim fazla olması nedeniyle genellikle ameliyathanelerin dışarısında kalır ve taşınması mümkün değildir. Ameliyathane dışarısında kalması temiz havanın ameliyathaneye gelme süresini uzatır ve iç yapısının değişmesine neden olur. Bu yüzden istenilen verim elde edilemez [12].

## 2.2. Modellenen Sistemin Tasarım Parametreleri

Deney sisteminde kullanılan ameliyathane, Türkiye'de bulunan bir devlet hastanesi içerisinde bulunan ameliyathanenin fiziki ölçüleriyle aynıdır. Ameliyathane 600 cm eninde 600 cm boyunda 290 cm yüksekliğindedir. Model 1 ve Model 2 olarak iki farklı iklimlendirme sistemi kullanılmıştır. Deneyde kullanılan her iki iklimlendirme sistemi de yaz ve kış şartlarındaki çalışma durumunun belirlenebilmesi için ocak ve temmuz ayları için modellenmiştir.

### Model 1'in tasarım parametreleri:

Model 1 için; tavandan üfleme yapan 6 adet 57x59 cm üfleme menfezi ve yan duvarlardan emme yapan 2 adet 14x29 cm emme menfezi kullanılmıştır. Çalışma boyunca hava hızı 0,4 m/s olarak alınmıştır.

Ocak ayı için;

Ortam havasının sıcaklığı:15 °C Üfleme havasının sıcaklığı:21 °C

Temmuz ayı için;

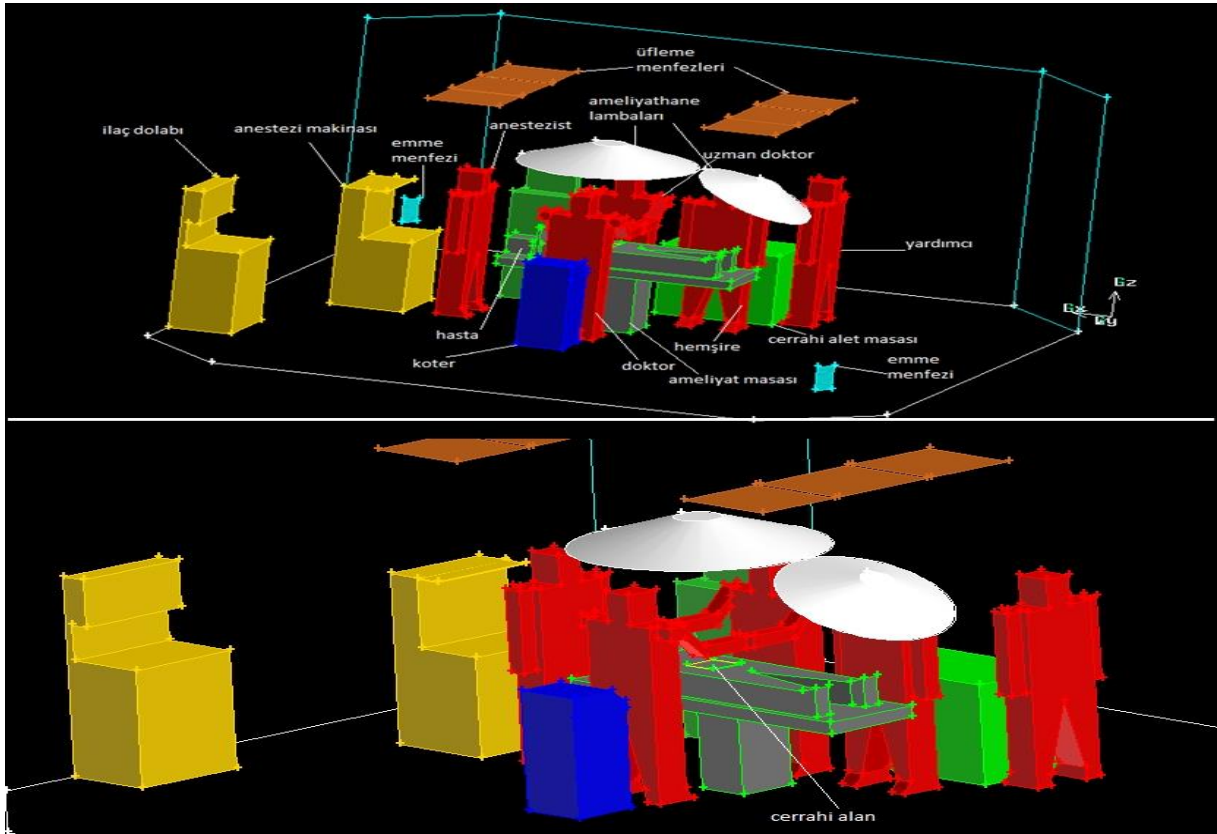
Ortam havasının sıcaklığı:25 °C Üfleme havasının sıcaklığı:20 °C

olarak alınmıştır.

Tablo 1. Model 1'de Ameliyathane İçerisinde Bulunan Cihaz ve İnsanların Ölçüleri ve Isı Yayım Değerleri

	Ölçüler	Isı Yayımı
<i>Ameliyat Masası</i>	190x60x70 cm	Yok
<i>Cerrahi ışıklar</i>	70 cm çap,25 cm yükseklikte yarı küre	50 °C
	50 cm çap,20 cm yükseklikte yarı küre	40 °C
<i>Cerrahi kadro</i>	20x66x175 cm	37 °C
<i>Cerrahi alan</i>	20x25 cm	37 °C

Hasta	20x60x175 cm	20 °C
Anestezi makinesi	60x65x145 cm	70 °C
Koter cihazı	38x38x103 cm	45 °C
Monitör ve standı	Monitör; 10x40x35 cm Stant; 45x50x130 cm	40 °C
Cerrahi alet masası	60x95x85 cm	Yok
İlaç dolabı	50x70x170 cm	Yok
Üfleme menfezi	57x59 cm	Yok
Emme menfezi	14x29 cm	Yok



Şekil 1. Model 1 için yapılan çalışmada ameliyathanenin ve içerisindeki ekipmanların şematik gösterimi

Model 2'in tasarım parametreleri:

Model 2'nin iklimlendirmesi için kullanılan aseptizör cihazında 2 adet 54x54 cm üfleme çıkışı, 2 adet 35x60 cm emme girişi bulunmaktadır. Kullanılan aseptizör sisteminde sıcaklık 16-25 °C aralığında ayarlanabilirken bağıl nem değeri de %30-%70 aralığında tutulabilmektedir. Hava üfleme hızı 1 m/s olarak kabul edilmiştir.

Ocak ayı için;

Ortam havasının sıcaklığı:15 °C Üfleme havasının sıcaklığı:21 °C

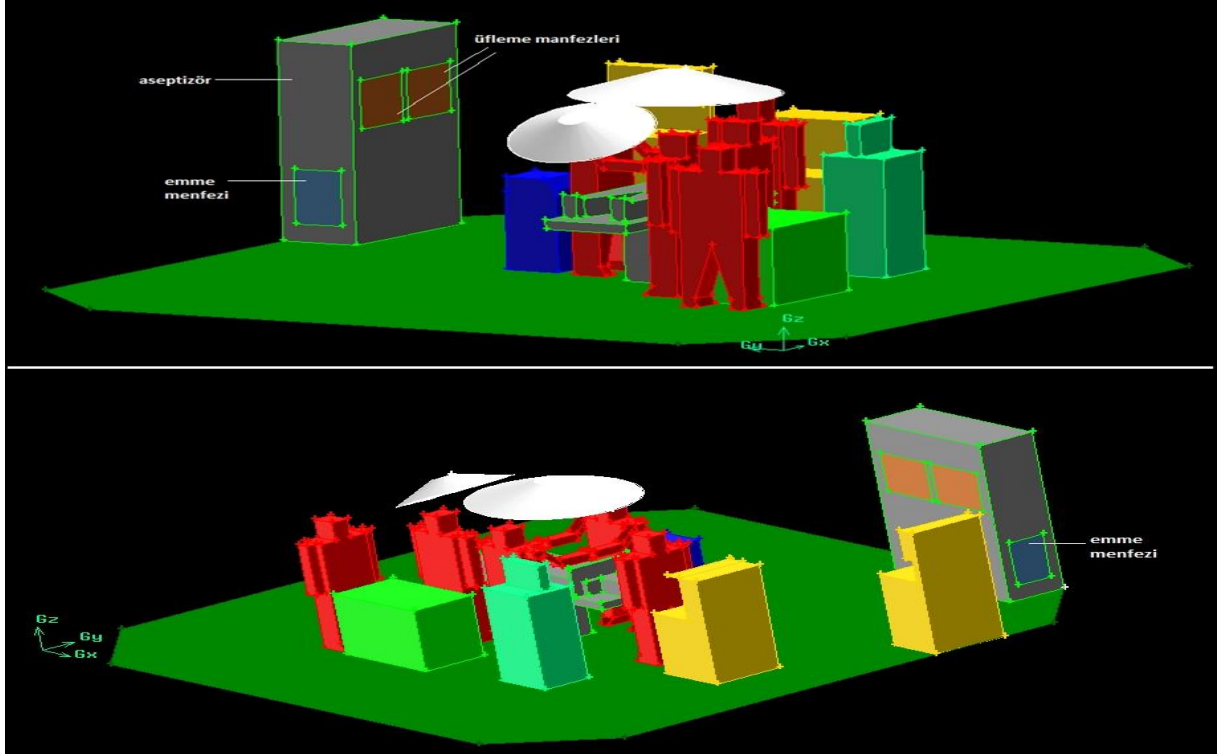
Temmuz ayı için;

Ortam havasının sıcaklığı:25 °C Üfleme havasının sıcaklığı:17 °C

olarak alınmıştır.

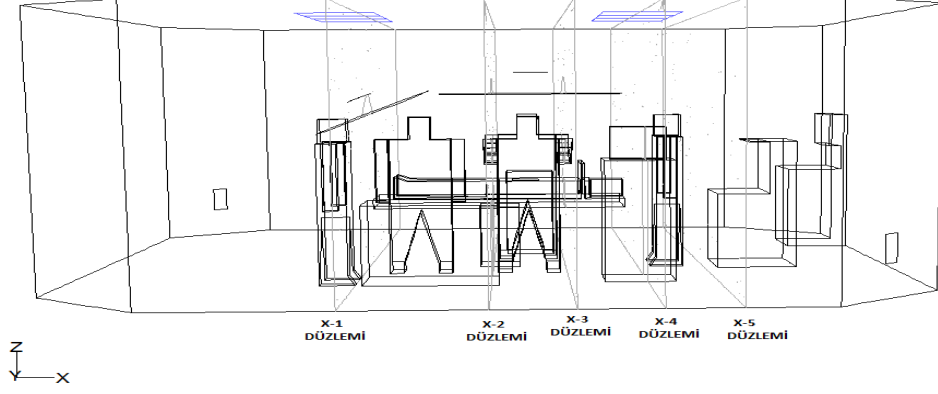
Tablo 2. Model 2'de Ameliyathane İçerisinde Bulunan Cihaz ve İnsanların Ölçüleri ve Isı Yayım Değerleri

	Ölçüler	Isı Yayımı
Ameliyat Masası	190x60x70 cm	Yok
Cerrahi ışıklar	70 cm çap, 25 cm yükseklikte yarı küre 50 cm çap, 20 cm yükseklikte yarı küre	50 °C 40 °C
Cerrahi kadro	20x66x175 cm	37 °C
Cerrahi alan	20x25 cm	37 °C
Hasta	20x60x175 cm	20 °C
Anestezi makinesi	60x65x145 cm	70 °C
Koter cihazı	38x38x103 cm	45 °C
Monitör ve standı	Monitör; 10x40x35 cm Stant; 45x50x130 cm	40 °C
Cerrahi alet masası	60x95x85 cm	Yok
İlaç dolabı	50x70x170 cm	Yok
Aseptizör cihazı	55x135x220 cm	Yok

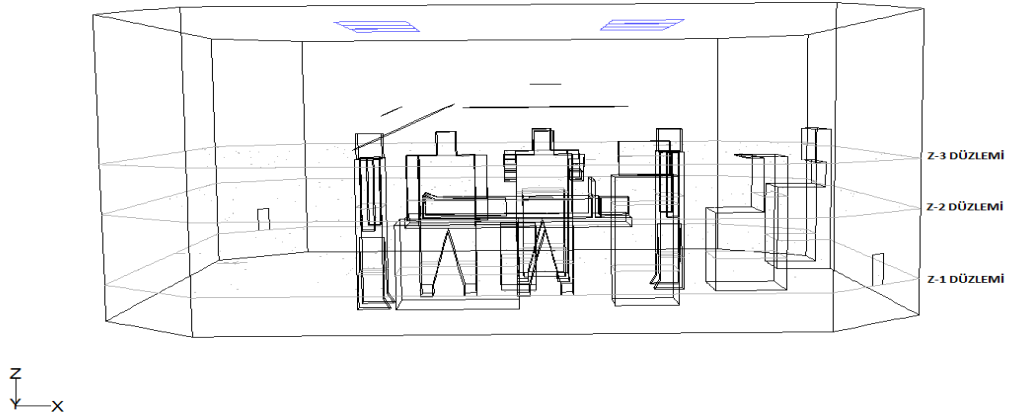


Şekil 2. Model 2 için yapılan çalışmada ameliyathanenin ve içerisinde bulunanların şematik gösterimi

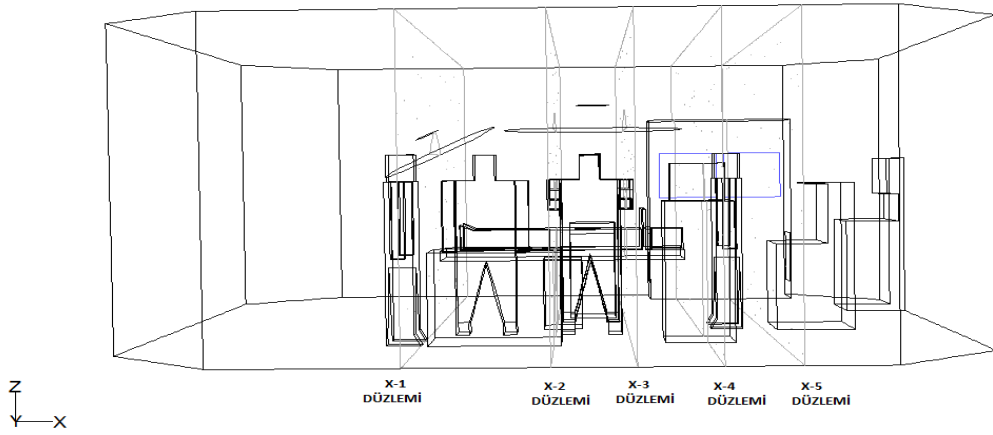
Model 1 ve Model 2’de üfleme menfezi çıkışlarındaki ve cerrahi kadronun etrafındaki hava akışının en iyi şekilde incelenmesi için; x düzleminde 5 ayrı kesit alınmıştır. Ayrıca, cerrahi kadronun rahat çalışmasının incelenmesi için personelin baş seviyesindeki kesiti, cerrahi alandaki hava akışının incelenmesi için cerrahi alan üstündeki kesit ve zemindeki havanın akışını incelemek için zemin seviyesi kesitlerini incelemek için 3 farklı z kesiti incelenmiştir.



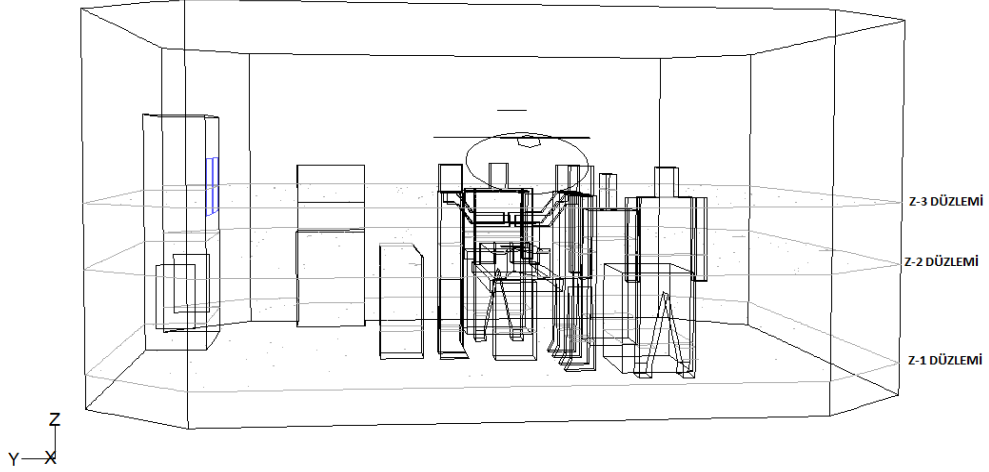
Şekil 3. Model 1 için x düzleminde alınan kesit görüntüleri



Şekil 4. Model 1 için z düzleminde alınan kesit görüntüleri



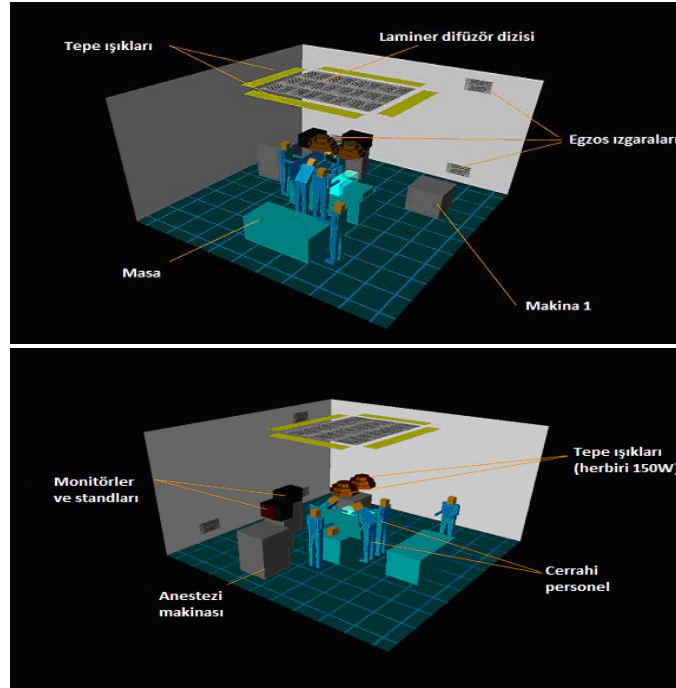
Şekil 5. Model 2 için x düzleminde alınan kesit görüntüleri



Şekil 6. Model 2 için z düzleminde alınan kesit görünüşleri

### 2.3. Matematiksel Model ve Kabuller

Akışkan dinamiğinin çözümü ve modellenmesi için ANSYS Fluent 6.3 programı kullanılmıştır. Fakat program içeriğinde ameliyathane şeklini oluşturmak için çizim programı bulunmamaktadır. Bu nedenle ameliyathanenin tasarımı için Fluent 6.3 programıyla uyumlu olan Gambit çizim programı kullanılmıştır. Gambit programı ile tasarlanan ameliyathane sonrasında Fluent 6.3 programına aktarılmış ve sistemin modellenmesi yapılmıştır. Ameliyathanedeki ekipmanlar ve cerrahi kadronun yerleşim planının belirlenmesinde Memarzadeh ve Manning'in çalışmalarında kullandıkları yerleşim planı baz alınmıştır [14].



Şekil 7. Memarzadeh ve Manning'in çalışmalarında kullandıkları yerleşim planı [14]

Çalışmada kullanılan hava, ideal gaz ve sıkıştırılmaz olarak kabul edilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda kararsız akım için süreklilik denklemi, enerji denklemleri, hareket denklemleri ve türbülanslı akım oluşması durumunda k-ε türbülanslı denklemleri belirlenmiştir. Sürekli rejim şartlarında üç boyutlu sıkıştırılmaz laminer akım için süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada,

$u$ : x yönünde ki hareket hızı

$v$ : y yönünde ki hareket hızı

w: z yönünde ki hareket hızı

belirtmektedir. Süreklilik şartlarında momentum denklemleri;

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial w}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

olarak yazılabilmektedir. x doğrultusunda;

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

y doğrultusunda;

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + g\beta(T - T_1) \quad (4)$$

z doğrultusunda;

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Bu eşitliklerde;

$\beta$ : Isıl genleşme katsayısını

$T$ : Ortam sıcaklığını

$T_1$ : İşlem sırasındaki sıcaklığı

ifade etmektedir. Enerji denklemi ise;

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

eşitliği şeklinde yazılır. Isıl difüzyonu ifade eden  $\alpha$ ,

$$\alpha = \frac{k}{c_p} \quad (7)$$

formülüyle hesaplanır. Burada;

$\alpha$ : Isıl difüzyon katsayısını ( $m^2/s$ )

$k$ : Isı iletim katsayısını ( $W/mK$ )

$c_p$ : Sabit basınç altında özgül ısıyı ( $J/kgK$ )

ifade etmektedir. Bu denklemler Fluent 6.3 programında belirlenmiş sınır şartları altında çözülerek tasarlanmış olan sistemlerin kabuller altında modellenmesi yapılmıştır.

Bu denklemleri çözmek için Boussinesq yaklaşımı basit iterasyon yöntemi ve kapalı şema çözümleme yöntemi uygulanmıştır. Basit iterasyon yöntemi kararlı ve kararsız akımlar için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada akım lineer olmayan kararsız bir akım olduğundan iteratif sonlu farklar çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni ise kapalı hacimlerde ısı transferi ve akışkan hareketi problemlerinin çözümü için süreklilik, enerji ve momentum denklemlerinin aynı anda çözülmesi gereklisidir. Fakat, bu üç denklem de lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerdir ve analitik olarak çözülememektedirler.

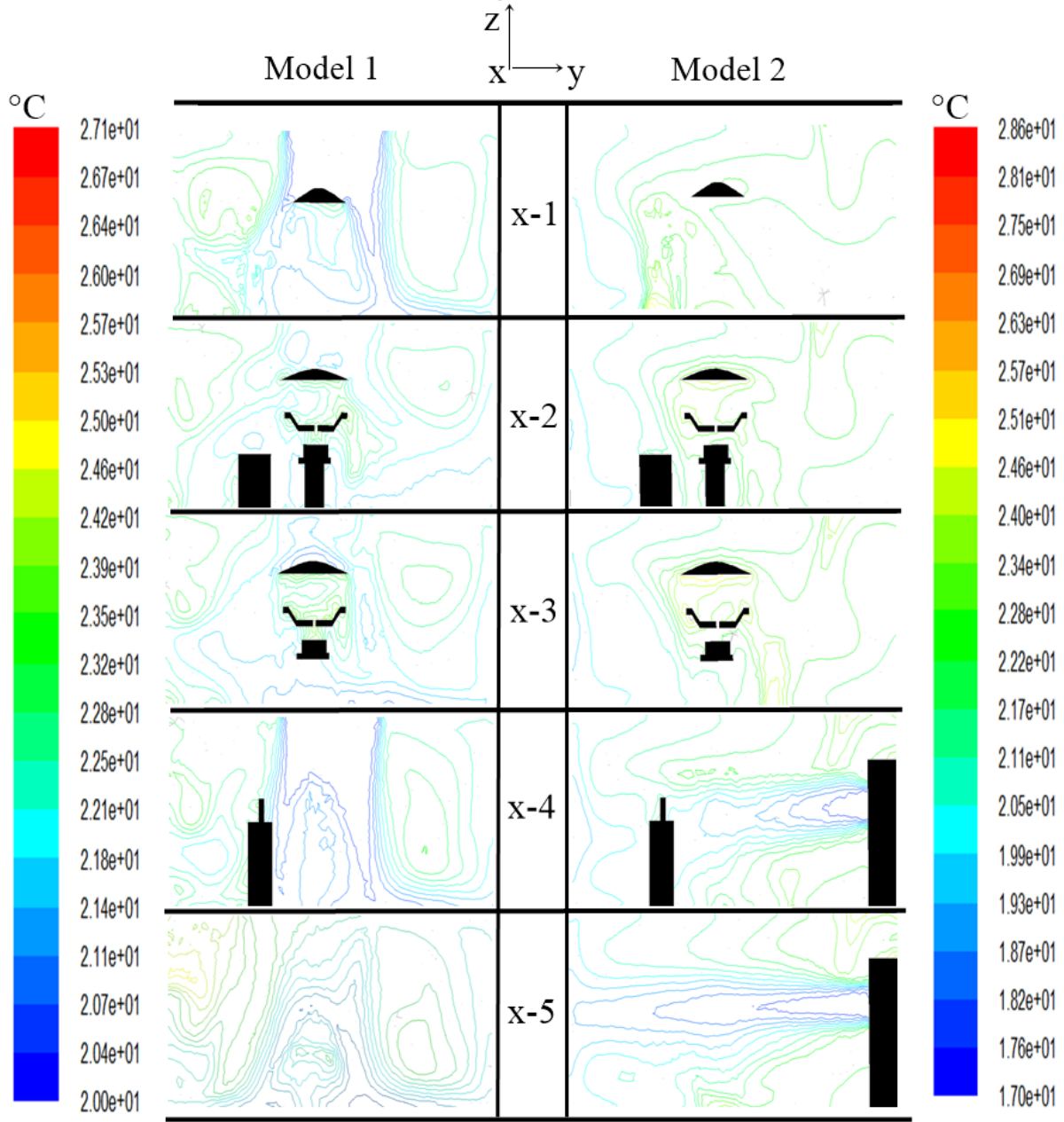
Denklemlerin çözülmesi için ilk önce cebirsel denklemlere dönüştürülmeleri gerekir. Cebirsel denklemlere dönüştürmek için Taylor serisi kullanılır. Dönüştürmelerde merkezi, ileri ve geri farklar kullanılmıştır. Taylor serisi ile elde edilen cebirsel denklemlerin çözümü için Successive Under Relaxation (SUR) metodu kullanılmıştır. Çözüm için akış alanı küçük parçalara bölünmüştür. Teorik olarak çözümün akış alanının her bir noktası için yapılması gerekmektedir. Fakat bu durum sonsuz sayıda nokta ve sonsuz sayıda denklem demektir. Bu nedenle akış alanı küçük bölgelere bölünerek bölgelerin kesiştiği noktalara elde edilen cebirsel denklemler uygulanmıştır. Çözümün hassasiyetini etkileyen durumlardan birisi cebirsel denklemlerin uygulandığı yerler olan düğüm noktalarıdır. Bu nedenle optimal düğüm sayısının belirlenmesi çok önemlidir.

Boussinesq yaklaşımında ise sıcaklık farkının düşük olduğu durumlarda momentum denklemleri yazılmış ve yoğunluğun sıcaklığa bağlı olduğu kabul edilerek y yönündeki kaldırma kuvvetinde ki yoğunluk değişimi değişken x ve z yönündeki yoğunluklar ise sabit alınmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında var olan bir ameliyathane için iklimlendirme sisteminin Fluent 6.3 programı kullanılarak modellenmesi yapılmıştır. Ameliyathane için belirlenen Model 1 ve Model 2 tasarımları için sabit ocak ve temmuz ayı ortalama sıcaklıkları ile Tablo 1 ve Tablo 2'de kabuller bir arada ele alınmış ve fluent programından 1 saatlik çalışma süresi boyunca elde edilen akış görüntüleri kaydedilmiştir. x ve z eksenlerinde belirlenen kesitlerden alınan akış modelleri detaylı olarak incelenmiştir. Model 1 ve Model 2'nin ocak ayında x düzlemlerindeki sıcaklık konturları Şekil 8'de verilmektedir.





Şekil 8. Model 1 ve Model 2 için ocak ayında x düzlemlerindeki sıcaklık konturları (°C)

Şekilde her bir satırdaki resimler x ekseninde boyunca 5 farklı kesitten alınan görüntülerdir. Sol taraftaki sütun ve sıcaklık dağılım skalası Model 1 için alınan sonuçları ifade ederken sağ taraftaki sütun ve sıcaklık dağılım skalası Model 2 için alınan sonuçları ifade etmektedir. Model 1 için elde edilen görüntüler incelendiğinde x-1 kesitinde üfleme menfezi çıkışında ameliyat lambası altında sıcaklığın yaklaşık olarak 20 °C olduğu, diğer bölgelerde ise 18 °C olduğu görülmektedir. Ameliyat lambasının altı ölü bölge olmasına rağmen sıcaklığın 20 °C olmasının temel nedeni ameliyat lambasının ve cerrahi kadronun ürettiği ısıdır.

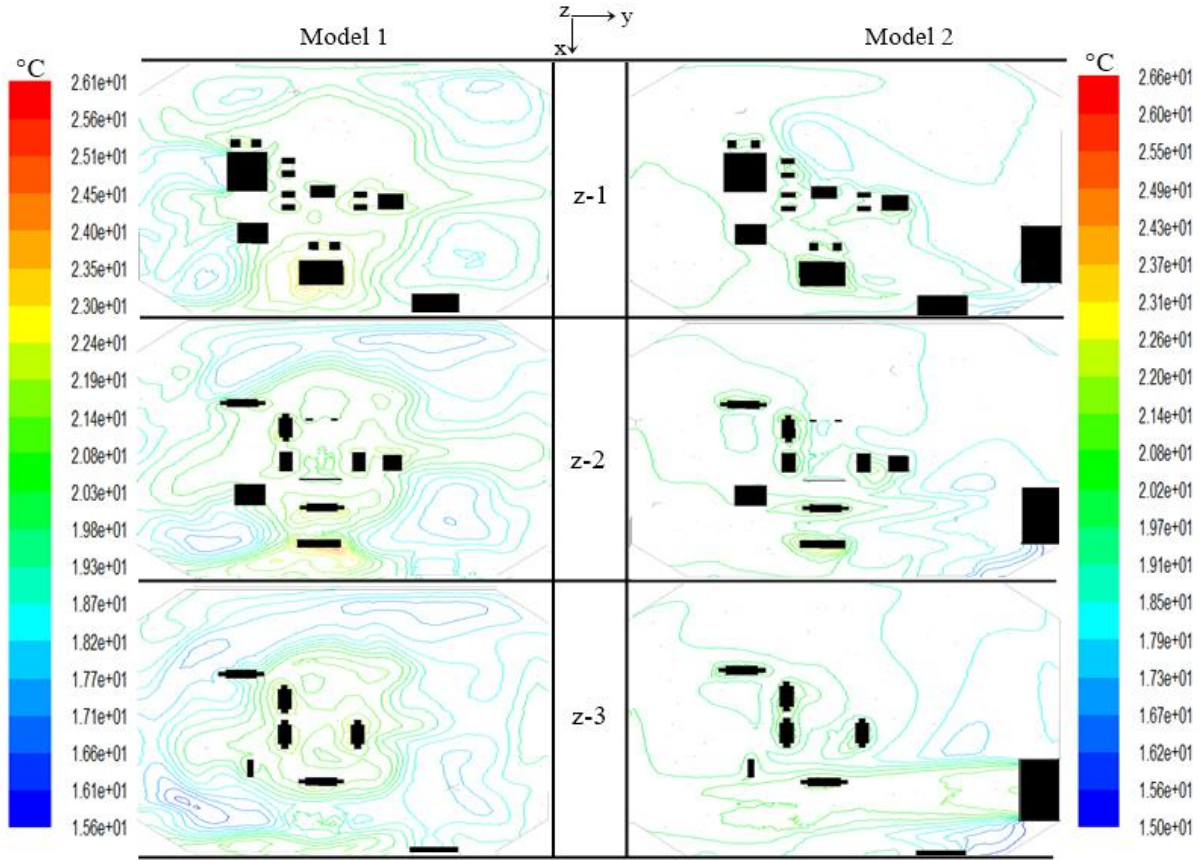
Ocak ayında Model 1 için x-2 kesitinde alınan görüntü incelendiğinde ameliyat lambası ve cerrahi kadronun bulunduğu bölgede sıcaklığın yaklaşık 21 °C olduğu görülmüştür. Diğer bölgelerde ise sıcaklık 18 °C civarındadır. Bu sonuçlar bir arada irdelendiğinde ameliyat masasının ve cerrahi alet masasının sıcaklık dağılımına etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir.

Ocak ayında Model 1 için x-3 kesitindeki hesaplamalarda cerrahi kadronun bulunduğu bölgede sıcaklık 21 °C civarında ve diğer bölgelerde 18 °C civarında hesaplanmıştır.

Ocak ayında Model 1 için x-4 kesitinde, cerrahi alet masası ile monitör standı arasındaki bölgeden sürüklenen havanın etkisiyle kesitin orta kısmının küçük bir alanında sıcaklığın 21 °C civarında olduğu ve ameliyathanenin diğer bölgeleri 18 °C olduğu görülmektedir.

Ocak ayında Model 1 için x-5 kesitinin orta kısmında anestezi makinesi önünde 23 °C'lik küçük bir bölgenin oluştuğu ve incelenen kesitin solunda ölü akış bölgesi oluşmasından dolayı 17 °C sıcaklıkta bir bölge oluştuğu görülmüştür. Ameliyathanenin diğer bölgelerinin sıcaklığı ise 18 °C'dir.

Ocak ayında Model 2’de incelenen x kesitlerinde cerrahi alanda ve cerrahi kadronun bulunduğu alanda sıcaklığın 21 °C civarında olduğu ve bu alanda yerden personelin baş hizasına kadar olan seviyede sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uyduğundan dolayı sıcaklık yönünden Model 2 de kritik bir durumun oluşmadığı görülmüştür.



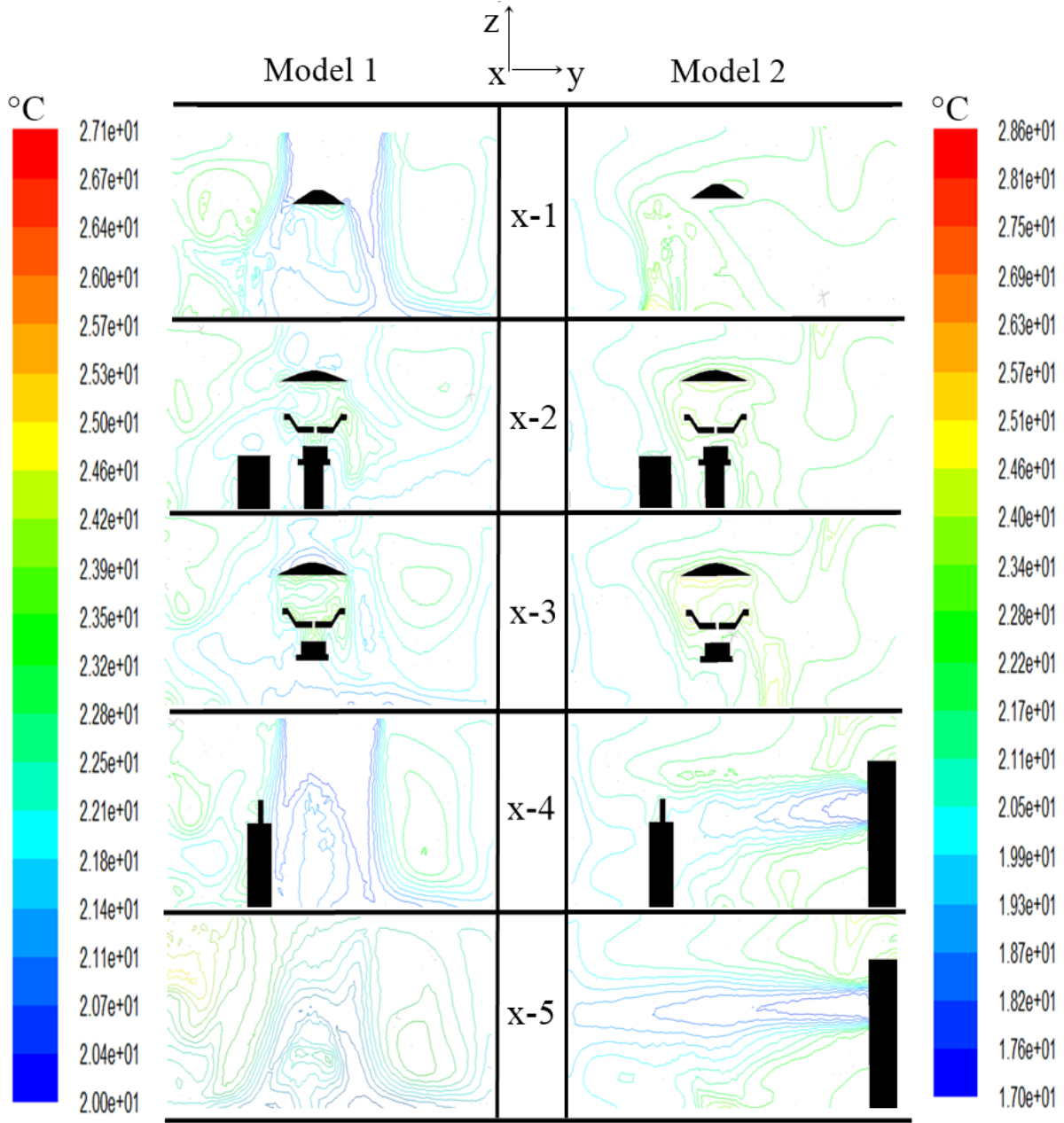
Şekil 9. Model 1 ve Model 2 için ocak ayında z düzlemlerindeki sıcaklık konturları (°C)

Ocak ayında Model 1 için z-1 kesitinin orta bölgesinde 21 °C civarında bir sıcaklığın hakim olduğu görülmektedir. Köşe bölgelerde ise sıcaklık 18 °C civarındadır. Ameliyathane içerisinde bulunan engellerden dolayı sıcaklık farklı bölgelerde değişiklik göstermektedir.

Ocak ayında Model 1’in z-2 kesitinde ise z-1 kesitine benzer bir durum vardır. Sıcaklık orta bölgede 21 °C civarında ve köşe bölgelerde 18 °C civarındadır. Burada sıcaklığın orta bölgeden kenar bölgelere doğru azaldığı görülmektedir.

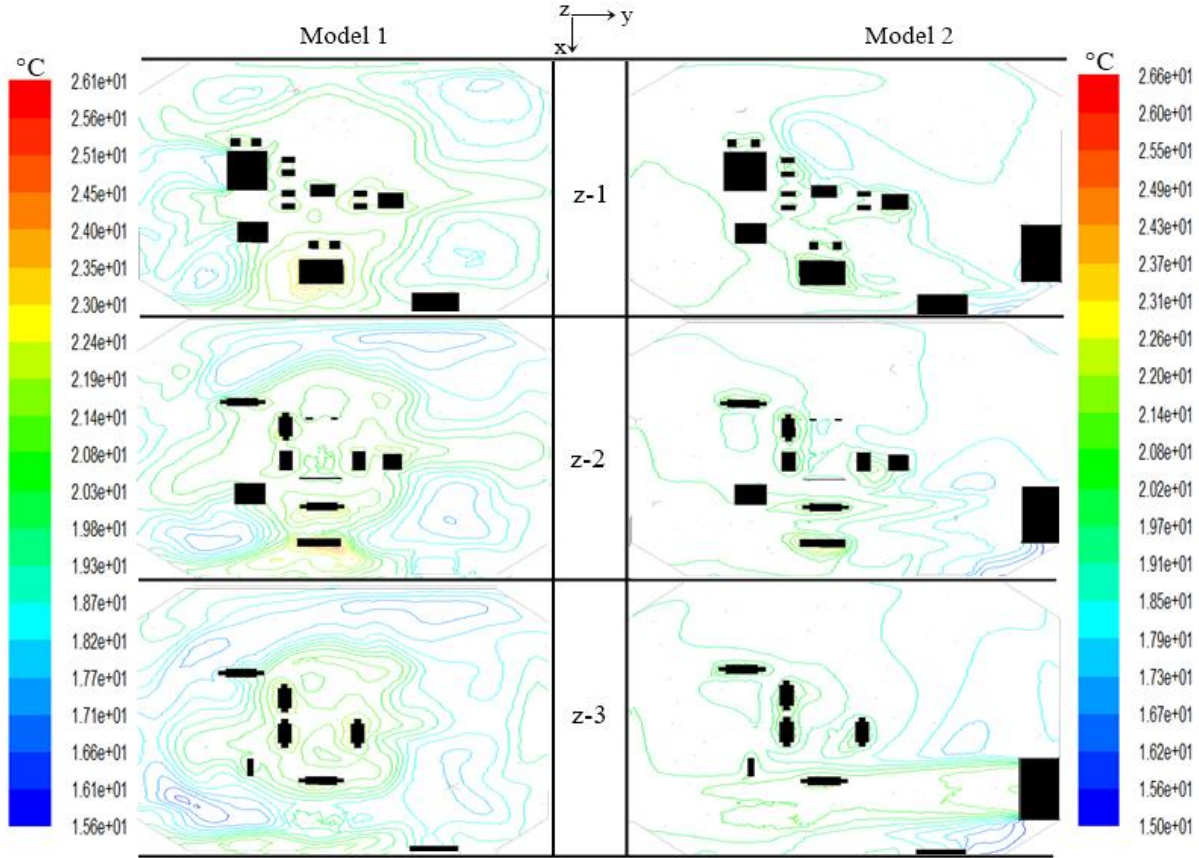
Ocak ayında Model 1’in z-3 kesitinde sıcaklık orta bölgede 21 °C civarında, orta bölgenin alt kısmında anestezi makinesinin oluşturduğu ısıdan dolayı 22 °C civarında ve hava akışının az olduğu kısımlarda 17 °C ile 18 °C arasında olduğu görülmektedir.

Ocak ayında Model 2’de incelenen z kesitlerinde cerrahi alanda ve cerrahi kadronun bulunduğu alanda sıcaklığın 21 °C civarında olduğu ve bu alanda yerden personelin baş hizasına kadar olan seviyede sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uyduğundan dolayı sıcaklık yönünden Model 2 de kritik bir durumun oluşmadığı görülmüştür. Şekil 9’da Model 2’de aseptizör sağ kısma doğru üfleme yaparken üfleme menfezleri sol kısma doğru üfleme yapmaktadır. Sıcaklık sağdan sola doğru katmanlı olarak artmaktadır.



Şekil 10. Model 1 ve Model 2 için temmuz ayında x düzlemlerindeki sıcaklık konturları (°C)

Temmuz ayında Model 1 için incelenen x kesitinde cerrahi alanda ve cerrahi kadronun bulunduğu bölgede sıcaklığın 23 °C civarında olduğu ve bu bölgede yerden personelin baş hizasına kadar olan seviyede sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uyduğu görülmüştür. Standartlarda belirlenen sınırlara uyduğundan dolayı sıcaklık yönünden Model 1'in x-kesitlerinde kritik bir durum oluşmamıştır. Ameliyathane lambalarından kaynaklanan ısının oluşturduğu alan Şekil 10'da Model 1 için alınan x-1, x-2 ve x-3 kesitlerinde net bir şekilde görülmektedir. Model 1'de üfleme menfezlerinden çıkan havanın ameliyathane lambalarına çarparak etrafa dağılmasından dolayı cerrahi alan üzerinde verimli bir iklimlendirme yapılamadığı görülmüştür.



Şekil 11. Model 1 ve Model 2 için temmuz ayında z düzlemlerindeki sıcaklık konturları (°C)

Temmuz ayında Model 1 için alınan z kesitleri incelendiğinde üfleme menfezlerinin alt bölgelerinin yaklaşık olarak 20 °C civarında olduğu görülmektedir. Salonun diğer bölgelerinde 23 °C sıcaklık görülmekte olup sıcaklığın yukardan aşağıya doğru artış gösterdiği de açık bir şekilde görülmektedir. Buda ameliyat lambalarının cerrahi alan üzerinde bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Temmuz ayında Model 2’de incelenen x ve z kesitlerinde cerrahi alanda ve cerrahi kadronun bulunduğu alanda sıcaklığın yaklaşık olarak 22 °C olduğu ve bu alanda yerden personelin baş hizasına kadar olan seviyede sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uyduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uymasından dolayı sıcaklık yönünden Model 1 gibi Model 2’de de kritik bir durumun oluşmadığı görülmüştür. Model 2’de aseptizör, sağ kısma doğru üfleme yaparken üfleme menfezleri sol kısma doğru üfleme yapmaktadır. Sıcaklık sağdan sola doğru katmanlı olarak artmaktadır. Şekil 10’da Model 2 için x-4 ve x-5 kesitlerinde aseptizörün üfleme menfezleri çıkışlarında sıcaklığın sağdan sola doğru katmanlı olarak arttığı görülmüştür.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye’de mevcut durumda bulunan bir devlet hastanesinin ameliyathanesinin iklimlendirilmesi sonucunda sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çalışma kapsamında ameliyathanenin incelenmesinde iki farklı model (Model 1 ve Model 2) tasarlanmış ve tasarlanan bu modeller ANSYS Fluent programı ile simüle edilerek sayısal olarak analiz edilmiştir. Her bir model için x düzlemi boyunca beş ve z düzlemi boyunda üç farklı kesitte inceleme yapılmıştır. Model 1 için tavandan üfleme ve kenarlardan emme menfezleri ile hava emme şeklinde iklimlendirme yapılırken Model 2 için aseptizör cihazı ile üfleme ve emme yapılmıştır.

Analizler sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde, Model 1 olarak tasarlanan tavandan üfleme, kenarlardan emme menfezleri ile hava emilen modelde incelenen kesitlerden ameliyat lambalarının cerrahi alan üzerinde konumlandırılması sonucu ölü kış bölgelerinin oluştuğu görülmüştür. Yine benzer şekilde monitör, cerrahi alet masası, koter vb. cihazlar tavandan askılı olmadığı için hava sirkülasyonunun engellendiği ve ölü akış bölgelerinin oluştuğu görülmüş olup ameliyat salonu içindeki cihazların mümkünse tavandan askılı olmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Bu modelde incelenen kesitlerde salondaki sıcaklık değerlerinin personeli ve hastayı rahatsız edici değerler olmadığı görülmüştür.

Model 2 olarak tasarlanan aseptizör cihazı ile iklimlendirme yapılan modelde incelenen kesitlerde yüksek hava akış hızı nedeniyle ameliyathane personelinin konforsuzluk yaşadığı, cerrahi alan üzerinde laminer akışın sağlanamaması nedeniyle cerrahi alan enfeksiyonu gelişiminin mümkün olabileceği görülmüştür. Bu modelde de model 1’e benzer şekilde monitör, cerrahi alet masası, koter vb. cihazlar tavandan askılı olmadığı için hava sirkülasyonunun engellendiği ve ölü akış bölgelerinin oluştuğu görülmüştür. Ölü akış bölgelerinin oluşumuna aseptizör cihazının yerinin, üfleme menfezleri ve emme menfezlerinin konumunun neden olduğu düşünülmektedir. Aseptizör cihazı ameliyathane salonu içerisinde yer aldığı için filtrelerinin bakımı ve değiştirilmesi esnasında filtrelerdeki partiküllerin salona dökülmesi sonucu ameliyathanede enfeksiyon oluşma riski mevcuttur. Ayrıca aseptizör cihazı içerisinde

emme girişinde emilen havanın nemini almaya yönelik bir düzenek olmadığından, aseptizör içerisindeki havanın yoğunlaşması ve bunun neticesinde cihaz içinde nem oluşumu nedeniyle enfeksiyon üreme riski bulunduğu görülmüştür.

Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, standartlara ve literatürdeki çalışmaların sonuçlarına uygun olarak ameliyathanelerde en uygun havalandırma tekniğinin bu çalışmada Model 1 olarak tanımlanan tavandan üfleme menfezleri vasıtasıyla iklimlendirme olduğu görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde ve Dr. Öğr. Üyesi Yıldız KOÇ danışmanlığında yapılmış olan “İklimlendirilen Bir Ameliyathane Salonundaki Hava Akışının Sayısal Analizi” başlıklı tezden üretilmiştir. Yazarlar, çalışma boyunca katkılarından dolayı Üniversite ve Enstitü yönetimine teşekkürü bir borç bilmektedirler.

## Kaynakça

- [1] Azizoğlu, F., Onat, B., Sönmez, B., & Hapçioğlu, S. B. (2018) Temiz Oda Standartına Göre Ameliyathane ve Yoğun Bakımların Değerlendirilmesi. *SDÜ Sağlık Bilimleri Dergisi*, 9(4), 26-31.
- [2] Polat Y. (2011). Bir ameliyathane salonu iklimlendirilirken oluşan hava akımının sayısal analizi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi Ocak-2011.
- [3] Gezgin, E., & Gökaş, S. Ameliyathanede iklimlendirme. *Hemşirelik Bilimi Dergisi*, 1(1), 100-109.
- [4] Pittet, D., & Duce, G. (1994). Infectious risk factors related to operating rooms. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 15(7), 456-462.
- [5] Tosun MF, Karakuş C, Yağlı H, Baltacıoğlu H. (2015) Yoğun Bakım Ünitesinin Hijyenik İklimlendirme Hesabı ve Örnek Uygulama. *TTMD Dergisi*; 95: 30-36.
- [6] Oğuzalp, E.H. (2011). Ameliyathanelerin steril yapılmasında mimari detaylar ve bir şartname altyapı çalışması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(1), 10-22.
- [7] Chow, T. T., & Yang, X. Y. (2004). Ventilation performance in operating theatres against airborne infection: review of research activities and practical guidance. *Journal of Hospital Infection*, 56(2), 85-92.
- [8] Sağlık Bakanlığı (2018). Hastanelerde havalandırma ve kontrolü talimatı. (Erişim tarihi: 20.02.2019) <https://dosyahastane.saglik.gov.tr/Eklenti/80537,entl07-hastanelerde-havalandirma-ve-kontrolu-talimatipdf.pdf?0>
- [9] Erciyes Üniversitesi. Hastanelerde Havalandırma Sistemi İlkeleri Raporu. (Erişim tarihi: 20.02.2019) <http://hastaneler.erciyes.edu.tr/Content/files/pdf/pdf/Hastane%20havalandirmasi.pdf>
- [10] Peker T. (2007). Ameliyathanelerde standart, yönetmelik ve denetim boşluğu ve MMO yaklaşımı. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. Ekim-2007, İzmir.
- [11] Süngü A. (2007). Ameliyathane havalandırma sistemleri IVF ve genetik laboratuvar havalandırma sistemleri. *5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*. Nisan-2007, Antalya.
- [12] Taşdemir C. Hastane Ameliyathane ve Yoğun Bakımlarda Modüler Hijyen Klima Teknolojisi ve Enerji Maliyetleri. (Erişim tarihi: 20.02.2019) <https://docplayer.biz.tr/7959664-Hastane-ameliyathane-ve-yogunbakimlarda-moduler-hijyen-klima-teknolojisi-ve-enerji-maliyetleri.html>
- [13] AirTech (Erişim tarihi: 21.01.2019) <http://www.air-tek.com.tr/laminer-akim-uniteleri-ve-hepa-filtre-kutulari/sayfa/2/40>
- [14] Memarzadeh, F., & Manning, A. P. (2002). Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site/Discussion. *ASHRAE transactions*, 108, 3.