BÖLÜM 1

AMELİYATHANELERDE İÇ HAVA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI (AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ)

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇOŞGUN[1]
Doç. Dr. Ahmet ÇAĞLAR[2]

[1] Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Kampüs, Orcid: 0000-0002-0243-5476
[2] Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümü Enerji Anabilimdalı Kampüs, Orcid: 0000-0003-2788-2659

1. GİRİŞ

Sağlık hizmetlerinin en zorlu çalışma alanlarından olan hastane ameliyathanelerindeki ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri belirli bir iç ortam kalitesini gerektirdiğinden dolayı kurulumu, işletilmesi, bakımı ve tasarımı mühendisliğin önemli bir parçası haline gelmiştir. Bahsedilen bu sistemlerin temel işlevleri; hava dağıtımı (hava hızı, akış modeli, hareket yönü), nemlendirme, filtreleme (toz partikülleri, bakterileri, virüs ve mantarlar gibi biyolojik kirleticileri uzaklaştırma) olup bu işlevler, cerrahi makro ve mikro ortamının korunması ile birlikte kontaminasyonu engellemek için ideal koşulların sağlanmasına yardımcı olmaktadır. İç hava kalitesinin sürdürülmesi, hastane kaynaklı enfeksiyonların önlenmesinde farmakolojik olmayan önemli stratejiler olarak bilinmektedir **(Curtis vd. 2008) (Dascalaki vd. 2008).**

İklimlendirme sistemlerindeki havalandırmanın dağıtımı genellikle laminer, türbülanslı veya her ikisinin karışımı olan hibrit akış ile sağlanmaktadır. Yapılan birçok çalışmada laminer hava akışının kullanılmasına bağlı olarak enfeksiyon riskinin önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir (Aune 2014) (Bischoff vd. 2017). Ulusal ve uluslararası standartlar da hastane kurulumlarında iklimlendirme ekipmanlarının laminer akış ile kurulumunu tavsiye etmektedir. Ameliyathane ortamında temiz hava genellikle tavan veya dikey duvar difüzörleri (0.2–0.3 m/s hız) aracılığıyla verilip zemin seviyesindeki difüzörler ile dışarı atılmaktadır. Bu sistem ameliyathane ortamında kontaminasyona sebep olabilecek kirleticileri engellemek için kullanılmaktadır. Dikey difüzörler tavandan zemine nispeten düşük hızlarda büyük miktarda hava sağlayıp havadaki patojenleri cerrahi ortamdan uzaklaştırmaktadır. Uygulanan akış hızının tavan difüzörlerindeki laminer akışlı havalandırma sistemlerinin performansını önemli ölçüde etkilediğide blinmektedir. (Sadrizadeh vd. 2021) Yapılan bir çalışma 0.3-0.35 m/s akış hızının oldukça düşük mikrobiyolojik konsantrasyonlar sağladığını gösterirken, 0.3 m/s'nin üzerindeki daha yüksek akış hızının ameliyathane personelinin termal konforunu etkileyebileceğini öngörmüştür (Whyte and Derks 2016). 2006 yılında 16 ulusal ve uluslararası standardın gözden geçirilmesi sonucu uygun besleme hava hızının 0.20–0.30 m/s olduğu belirlenmiştir. Ameliyathane iç ortamındaki hava debisi ise, saat başına hava değişim değerine göre ölçülmektedir. Bu değer kapalı bir alana eklenen veya çıkarılan hava hacminin, toplam alanın hacmine bölünmesiyle elde edilmektedir. Uygun miktarda hava değişim oranı, iç hava kalitesini koruyabilmekte aynı zamanda hava yoluyla bulaşan enfeksiyon riskinin üstesinden gelebilmektedir **(Tan vd. 2022).**

Ameliyathanelerin iç hava sıcaklığı ise, uluslararası düzenlemeler ve standartlara göre genellikle 20–24 °C aralığında belirlenmiştir. Hastaların konforu ve/veya tıbbi durumlarına göre daha düşük veya daha yüksek sıcaklıklar kullanılabilmektedir. Örneğin, kalp ameliyatı gibi özel prosedürler için, iç hava sıcaklığı 17 °C'ye kadar düşebilmektedir. Öte yandan, çocukların düşük sıcaklıklara daha hassas olmalarından dolayı pediatrik ameliyatlar genellikle daha yüksek iç hava sıcaklığı gerektirmektedir. İç hava sıcaklığının yüksek olması bakteriler için daha uygun büyüme koşullarına neden olurken, hastadan hastaya enfeksiyon riskini de beraberinde getirmektedir **(Balaras vd. 2007).**

Ameliyathane iç hava kalitesinde önemli rol oynayan bir diğer önemli parametre havanın nemidir. Hijyen ve ısıl konfor koşulları ile yakından ilişkili olduğundan dolayı kabul edilebilir seviyelerde tutulmalıdır. Nem kontrolü çoğunlukla, uygun ekipman ve kontroller vasıtasıyla havanın su içeriğini düşürmek (nem alma) veya artırmak (nemlendirme) için kullanılmaktadır. Yüksek nem seviyeleri, havadaki bakterilerin su moleküllerine tutunarak taşınmasını, büyümesini ve transferini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle nem kontrolü havalandırma sistemleri için oldukça önemlidir. Buna karşın düşük nem seviyeleri de (kuru hava) ameliyat sırasında istenmeyen bir durum olan kanın pıhtılaşmasını kolaylaştırmaya neden olmaktadır (Balaras vd. 2007). Ayrıca ameliyathanede elektrikli ekipmanın düşük nem seviyelerinde kullanımı, tıbbi ekipman ve yüzeylerde statik elektrikle ilgili sorunlara neden olabilmektedir. Bundan dolayı yangın tehlikesinin oluşması da kaçınılmaz hale gelmektedir. Uluslararası düzenlemelere ve standartlara göre tavsiye edilen iç mekan bağıl nem seviyeleri %30-60 olarak belirlenmiştir. Yönetmeliklerin çoğu, yanıcı anestetik gazların kullanımının mümkün olduğu ameliyathanelerde sıklıkla uçucu sıvıların kullanıldığını bu yüzden statik elektrik birikimini önlemek için yaklaşık %60'lık bir nem tutması gerektiğini ortaya koymaktadır **(DIN 1946).**

Genellikle kış aylarında karşılaşılan düşük nem seviyelerini artırmak için nemlendiriciler gerekli olabilir. Nemlendiricilerin bakteri üremesi için elverişli bir ortam sağlayabildiği bilinmektedir. Bu sebeple havalandırma sisteminin ameliyathaneye bakteri aktarma potansiyeli olup olmadığından emin olunmalı ve nemlendirmeye ayrıca dikkat edilmelidir**.** Uygun bakım ve temizlik uygulamaları bu tür riskleri en aza indirmeyi sağlamaktadır. Nemlendirme için suyu yeniden sirküle eden bağımsız, konsol tipi nemlendiriciler kullanılmamalıdır çünkü bu sistemlerdeki su mikroorganizmalarla hızla kirlenir ve bazı salgın hastalıklara sebebiyet vermektedir **(Sadrizadeh vd. 2021).**

Bir ameliyathanenin iç havası başlıca aneztezi için kullanılan tıbbi gazlar, sterilize edici maddeler gibi farklı kimyasallar, solunum yoluyla ortaya çıkan

partiküller veya aerosoller gibi diğer partiküllerden etkilenmektedir. Aerosoller, doğal veya yapay kaynaklar tarafından havada asılı kalan sıvı veya katı parçacıklardır. Ağırlıklarına bağlı olarak bu parçacıklar havada saatlerce asılı kalabilir ve hava yolu ile uzun mesafeler kat edebilmektedir. Aerosoller bakteri, mantar, spor ve virüs gibi mikroorganizmaları taşımaktadır. Aerosol kaynaklarının azaltılmasının imkansız olduğu veya seyreltme havalandırmasının yetersiz olduğu durumlarda yardımcı bir önlem olarak filtreler kullanılmaktadır (Alvarenga vd. 2022). Filtreler dışarıdan gelen temiz havayı arıtmak için kullanılmaktadır. Temel üç işlevi ise havadaki çeşitli büyüklükteki partikülleri uzaklaştırmak, akışa karşı direnç oluşturmak ve tozu bünyesinde hapsetmektir. Filtreler, Minimum Verimlilik Raporlama Değerine (MERV) göre derecelendirilmektedir. Bu derecelendirme 1 ile 20 arasında değişmektedir. MERV 10, 1–3 μm boyutunu filtreleyebilirken, MERV> 13, 0,3 ila 1 μm arasındaki parçacıkları filtreleyebilme özelliğine sahiptir. Tıbbi tesisler genellikle MERV 14 ila 16 gerektirir. MERV ≥ 17 olan filtrelere ise yüksek verimli partikül hava (HEPA) filtreleri olarak adlandırılmaktadır. MERV 17 dereceli HEPA filtreler, 0,3 μm boyutundaki partiküllere karşı %99,97 verimliliğe sahiptir. Temiz odalarda kullanıma uygun filtre türü ise MERV 20'dir (%99,999 filtrasyon verimliliği) (Saran vd. 2020). Hava, HEPA'dan %99,97 verimle geçirilerek 0,3 μm çapındaki partikülleri uzaklaştırıp odanın her bir bölgesine iletilir. Bu aşamadaki basınç düşüşü 50 mm WG'yi geçmemelidir. HEPA filtrenin ömrünü uzatmak için hat içi tek kullanımlık ön filtreler kullanılır. Bu aşamalı filtrasyon konsepti olarak isimlendirilmekte olup HEPA filtrelerinin ömrünü uzatır. Sağlık tesislerinde enfeksiyon kontrolüne yönelik yönergeler, HEPA filtreli filtrasyon sisteminin çoğu hasta bakım alanı için yeterli olduğunu göstermektedir. Bu filtreler, en azından çapı 0,3 μm'den büyük olan partikülleri uzaklaştırmak için etkilidir **(Sehulster vd. 2003).**

Ameliyathane içerisindeki hava kısmen de olsa ameliyathane ortamına geri döndürülüyorsa, filtrelerin rolü önem arzetmektedir. Ameliyathane havasındaki mevcut partikülleri gidermek için HEPA filtreli havalandırma sistemlerini desteklemek üzere ultraviyole antiseptik ışınlama (UVGI) olarak bilinen kısa dalga boylu bir ultraviyole (UV–C) ışığı (100–280 nm)'da kullanılmaktadır **(Sadrizadeh vd. 2021).**

Ameliyathane havalandırmasının performansı, ameliyathane ortamındaki ısı yüklerinin ve engellerin (ameliyat lambaları, tıbbi ekipman, personel, vb.) varlığı dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir (Traversari vd. 2019). Ameliyathanelerdeki hava akımının tasarımı hava kalitesini güvence altına almak, hasta ve cerrahi ekip üyelerine sağlıklı bir ortam sağlamak için çok

önemlidir. Havalandırma performansını etkileyen durumlar kapı açıklıklıkları ve buna bağlı olarak ortamdaki partikül miktarının artışı, koridorlar, kapı açma sıklığı ve bununla ilişkili olarak değişen hava akışı debisi, ameliyathane kontaminasyonu olarak sıralanabilir **(Sadrizadeh vd. 2021).**

2.BÖLÜM ÇALIŞMASINDA LİTERATÜR ÖZETLERİ

Cao vd. (2021)'nin yaptığı çalışmada, laminer ve karışık akışlı sistemler kullanılarak ameliyathanedeki iç hava kalitesi performansı karşılaştırılmıştır. Deneyler Norveç'te bir hastanede gerçekleştirilmiştir. 6 faklı durum için gerçek ve simülasyon değerleri elde edilmiştir. Çeşitli zaman aralıklarında termal kamera ile ölçümler alınmıştır. Ameliyat lambalarının önceden açık veya kapalı olması durumlarında yüzey sıcaklığının değişimi gözlemlenmiştir. Ameliyat sırasında, yüksek sıcaklık ve düşük bağıl nem cerrahi işlem yüzey sıcaklığını arttırmaktadır. Bağıl nem arttıkça ölçülen yüzey sıcaklığında ve doğrudan kesiğin üzerindeki sıcaklıkta bir düşüş eş zamanlı olarak gözlemlenebilir. Bağıl nem seviyeleri, ölçülen en düşük hava ve yüzey sıcaklığında en yüksek değerlere ulaşır. Sıcak hava daha fazla nem tutma yeteneğine sahiptir. Bu, aynı mutlak nem seviyesi için daha sıcak havada daha düşük bağıl neme ulaşıldığı anlamına gelir. Bağıl nem ve sıcaklık arasındaki korelasyon, daha yüksek sıcaklıklar için düşük nem seviyelerinin ortaya çıktığını göstermektedir. Sonuçlar, çalışma mikro ortamında belirli bir bağıl nem elde etmek için sıcaklığın kritik olduğunu ve burada cerrahi lambalardan etkilendiğini göstermektedir.

Tan vd. (2021), çalışmada, dört ameliyathanede partikül madde ile mikrobiyal sayımlar arasındaki ilişkiyi kurmak için sistem geliştirilmiştir. Çalışma Malezya'da yapılmıştır. Çalışmalar ISO, IEST ve NEBB standartlarına göre yürütülmüştür. Çalışma parametreleri, hava değişim oranı, oda fark basıncı, bağıl nem ve hava sıcaklığıdır. Çalışma parametreleri uygun standartlara ulaştığında partikül ölçümleri ve mikropların örneklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Üç farklı partikül boyutu ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda, partikül madde ölçen cihazlarından daha küçük partikülleri ölçebilen cihazda (0.5 mikrometre) mikropların korelasyonu her dört ameliyathane için yaklaşık değerler almıştır. 5 ve 10 mikrometre ölçümü alan cihazlarda, mikrop korelasyonu sırasıyla %7 ve %15 değerlerinde artış göstermiştir. Yapılan ölçümler, ortalama 18.5, 18.6, 19.2 ve 21.6 °C; %57.7, %56.8, %54.2 ve %53.2 bağıl nem için gerçekleştirilmiştir.

Kamar vd. (2015), hastanın enfeksiyon kapma olasılığı, oda içindeki partikülleri taşıyan bakteri konsantrasyonu ile ilişkilidir. Çalışmada, ISO 7 kriterlerine uyan bir hastanenin ameliyathanesinde partikül maddelerin

konsantrasyonu ölçülmüştür. Akış türü olarak laminer akış tercih edilmiştir. Çalışmada ayrıca CFD analizde yapılmıştır. Ölçümler yerden 1.2 m, 1.8 m ve 2.4 m olmak üzere üç farklı yükseklikten yapılmıştır. Partikül maddelerin konsantrasyon ölçümleri için PM0.5, PM1 ve PM5 kullanılmıştır. Bu makale, Malezya'daki özel bir hastanenin ISO Sınıf 7 ameliyathanesindeki partikül madde konsantrasyonunu (PM), bağıl nemi (RH) ve sıcaklık dağılımını ölçmek için saha ölçümlerinin sonuçlarını sunmaktadır. Amaç, farklı yükseklik seviyelerinde ve kritik bölge (ameliyat masası) çevresindeki partikül konsantrasyonundaki değişimi incelemiştir. Bağıl nem (RH) değerlerinin %55 ila %61 arasında olduğu, sıcaklıkların ise 18.3°C ila 19.5°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak, sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ISO standardında belirlenen üst sınırdan yüksektir. Havanın bağıl nemindeki ve sıcaklığındaki dalgalanmaların aralığı küçüktür ve bu nedenle parçacıkların taşınması üzerinde ihmal edilebilir etkilere sahip olduğu düşünülebilir.

Xue vd. (2020), daha etkili bir ameliyathane iç hava kalitesi için farklı akışlarda atık hava emilimi havalandırmasının etkisi, ameliyathane tamamen taklit edilerek yani doktor ve hemşireler dahil olmak üzere simüle edilmiştir. Çalışmada türbülanslı akışa türünde hava kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, Cerrahi alan enfeksiyonlarını önlemek ve kontrol etmek için karışım havalandırmalı ameliyathaneler için yeni bir tasarım kılavuzuna oluşturmada katkıda bulunabilir. Ek olarak sonuçlar, ameliyathanelerdeki cerrahi mikro ortamın tasarımını incelemek ve zaman tasarrufu sağlamak için CFD modellerinin doğrulanmasında önemli yere sahiptir. Çalışmada, daha önceden yapılan benzer CFD çalışmaları uygulamalı olarak yapılmıştır.

Lans vd. (2022), farklı akış türlerinde 4 farklı ameliyathane havalandırma sistemi için 3 farklı ortamda partikül ölçümleri alınıp kıyaslanmıştır. Her farklı ortam için en iyi olan havalandırma sistemi değişiklik göstermiştir.

Sadrizadeh vd. (2015), portatif ultra temiz üstel hava akımı ünitesinin ameliyathanedeki partikül dağılıma, birikmesine ve konsantrasyona etkisi incelenmiştir. Sistemde akış türü olarak karışım bölgesi hava akışı vardır. Simülasyon sonuçları önceden literatürde elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan portatif düzeneğin havadaki bakteri sayısı ve yüzey kirliliği miktarına bakıldığında enfeksiyona eğilimli ameliyatlar için kabul edilebilir düzeye indirdiği saptanmıştır.

Zhang vd. (2020), dört farklı hava değişim oranının kirletici difüzyonu ölçülerek, partiküllerin havadaki simülasyonu yapılmış. Ameliyathane doktor ve hemşireler dahil edilerek tamamen simüle edilmiştir. Deney sonuçları, hava

değişim oranının havadaki mikrop taşıyan partiküllerin konsantrasyonunu etkileyen önemli bir faktör olduğunu doğrulamıştır.

Ufat vd. (2017), ameliyathanede farklı hava hızı ve ortam sıcaklığı için ameliyat masasına doğru olan bölgelerde partikül ölçümü yapılmış ve CFD analizleri ile karşılaştırılmıştır. Akış türü olarak laminer akış tercih edilmiştir. Havanın giriş sıcaklığının oda sıcaklığından düşük tutulmasının önemi bu çalışmada çok iyi gösterilmiştir. Giriş sıcaklığının oda sıcaklığından birkaç derece düşük olmadığı koşullarda istenilen hava perdesi oluşmaz ve partiküller sürüpürülemez. Ölçümler ameliyathanenin boş olduğu koşullarda (sadece ölçüm yapan kişi) yapılmıştır. Bu durumda bile ISO 7 sınıfını sağlamamıştır. Ameliyat sırasında 5-6 kişinin bulunduğu göz önüne alındığında partiküllerin hareket edeceği ve artabileceği göz önüne alınması gerektiği bildirilmiştir. .

Szabadi vd. (2022), mobil (taşınabilir) hava filtrelerin kullanımının partikül dağılımına etkisi incelenmiştir. Deneyler türbülanslı akış koşullarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Deneyler, HEPA filtre ile donatılmış mobil iç mekan hava filtrelerinin mikrom altı boyut sınıfındaki partikülleri zaman içinde verimli ve eşit bir şekilde temizlediği gözlemlenmiştir.

Rezapoor vd. (2018), laminer hava akışının kapının açık ve kapalıyken ameliyathanedeki parçacık yoğunluğu üzerindeki etkisi incelenmiş. Yapılan çalışmanın parametreleri: insan sayısı, içeride kalınan süre, kapı açık kalma süresidir. Ameliyathanedeki personel sayısı ve dakikada açılan kapı sayısı partikül yoğunluğu ile ilişkilidir. Laminer akışlı sistemin kullanılması kişilerin yaydığı partikül yoğunluğunu ve kapının açılmasıyla oluşan partikül yoğunluğunu düşürmektedir. Kişi sayısının artması ve kapının açılma sıklığı arttıkça partikül oluşumunun temel sebeplerinden olduğu görülmüştür.

Cao vd. (2018), hastaya yakın cerrahi mikro ortamının hava akış hızına etkisi incelenmiştir. Laminer hava akışı sisteminden aşağı doğru hava akışının, ameliyat lambasının konumu gibi farklı cerrahi düzenlemelerle her durumda değiştiğini göstermiştir. Sonuçlar, bir hastadan gelen termal tüylerin ve aşağı doğru laminer hava akışının etkileşiminin, çalışan mikro ortama hakim olabileceğini göstermektedir.

Whyte vd. (2021), iki farklı ameliyathane için iç hava kalitesini artırmaya yönelik fotokatalitik oksidasyon hava arıtma cihazları kullanılmıştır. Deneysel veriler matematiksel modelleme ile desteklenmiştir. Çalışmada farklı bağıl nem şartlarının izofluran ve akrilonitrin bozunmasına etkisi incelenmiştir. Bağıl nem, izofluran ve akrilonitrilin bozunması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

İncelenen deneysel koşullar altında, hem izofluran hem de akrilonitrilin bozunması sırasındaki fotokatalitik oksidasyon performansı, düşük bağıl nemde daha iyidir.

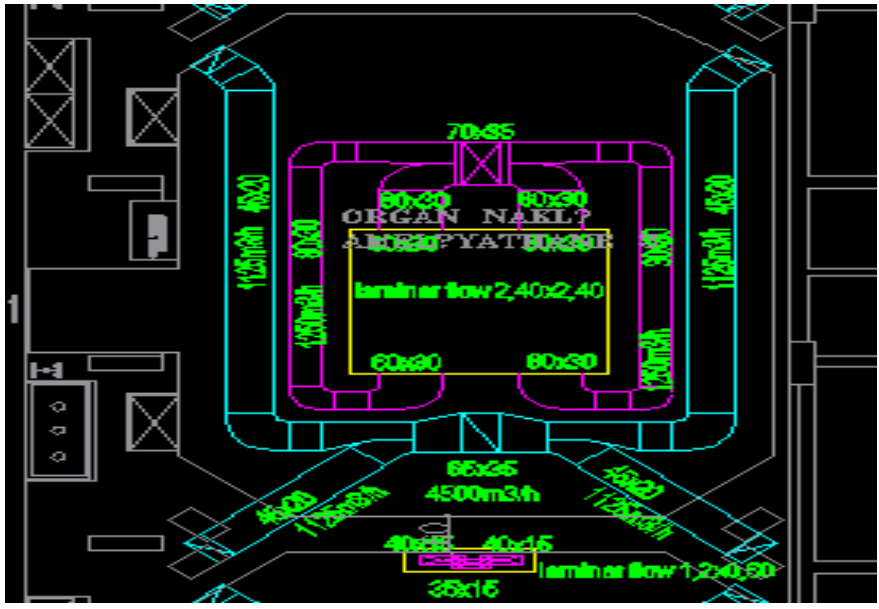
Wong vd. (2017), Malezya'da ki bir ameliyathanenin gerçek çalışma koşulları altında 24 saat boyunca 5 dakikalık aralıklarla bağıl nem ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Cerrahi işlemler sırasında zaman ortalamalı sıcaklık ve bağıl nem sırasıyla 20.5 °C ve %73.9 olarak kaydedilmiştir. Hava sıcaklığı, ASHRAE Standardı 170 gerekliliklerini karşılamış, ancak nem seviyesi önerilen aralığın biraz dışında kalmıştır. Kapıların açılıp kapanması ve yoğun insan trafiğinin ameliyathane içindeki hava sıcaklığı ve nem dağılımı dengesini bozduğu görülmüştür. Temizleme ve dezenfekte işlemleri nem seviyesini %14 gibi önemli bir ölçüde arttırırken, kapının sık açılıp kapanması hava sıcaklığını 2.5°C arttırmıştır. Bu iki durum cerrahi alanda bakterilerin büyümesini ve aktivitelerini arttırarak enfeksiyon riskini arttırabilir.

Pereira vd. (2020), havalandırma ve filtrasyon koşullarının partikül konsantrasyonları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Partikül, canlı partikül ve CO_2 konsantrasyonu, hava filtresi değişiminden önce, hava filtresi değişiminden sonra ve yeni klima sistemi olan bir ameliyathanede olmak üzere üç farklı durumda ölçülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları, doymuş filtrelerle çalışan sistemlerin, toplam partikül ve canlı partikül konsantrasyonlarının ortalamasında bir artışla sonuçlanan, hava akışının azalmasına yol açabilen basınç düşüşünden zarar görebileceğini göstermiştir. Ancak filtrelerin değiştirilmesi CO_2 konsantrasyonunu etkilemez. İyi bir iç hava kalitesinin sağlanması, hastaların ve sağlık çalışanlarının hastane kaynaklı enfeksiyonlardan ve meslek hastalıklarından korunması için bu alanda daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu nedenle, bu çalışmada sunulan pratik veriler, ameliyathanelerde havadan bulaşan kontaminasyonu kontrol etmede düzeltici eylem için bir temel oluşturabilir ve bu alandaki havalandırma ve filtrasyon sistemlerinin önemine ilişkin genel bilgiye katkıda bulunabilir. Son olarak, filtrelerdeki basınç düşüşünün, fanın çalışmasında ekstra elektrik enerjisi gücünü doğrudan etkileyen ve klima sisteminin performansını olumsuz etkileyebilecek bir faktör olduğunu vurgulamak da önemlidir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda, fan motoru elektrik enerjisi tüketimi tasarruflarının filtre değiştirme maliyetlerini karşılayıp karşılamayacağının değerlendirilmesi önemli olacaktır.

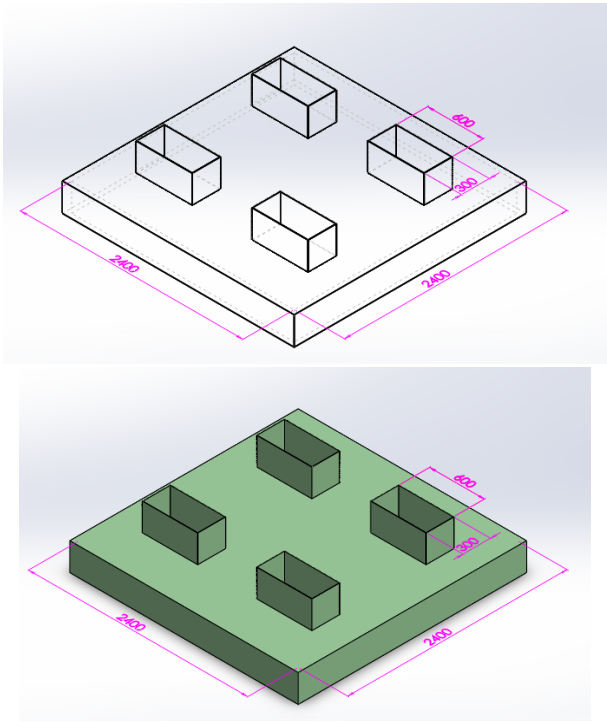
3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Antalya ilinde bir kamu hastanesi olan Akdeniz Üniversitesinde kadın doğum ameliyathanesinde, laminer difüzör ve emiş menfezlerinin ölçüleri, sayıları öncelikle belirlenmiştir(Şekil 1). Ameliyathane oda içerisindeki lambaların, elektronik cihazların, diğer masa, sandalye, yatak, serumluk dolap gibi eşyaların sayıları ve yerleri belirlenmiş, Autocad ve Solidworks programları kullanılarak iki ve üç boyutlu modellemeleri yapılmıştır.

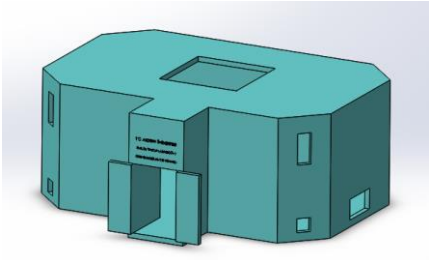
Ameliyathane odası üzerinden havalandırma montaj teknik resimleri çizimi yapılmıştır(Şekil1). Çalışmada akış ve parçacık takip analizi için ANSYS CFD paket programı kullanılmış, CFD analizi zamandan bağımsız (Steady State) ve sabit sıcaklıkta analiz çözümlemesi yapılmıştır.



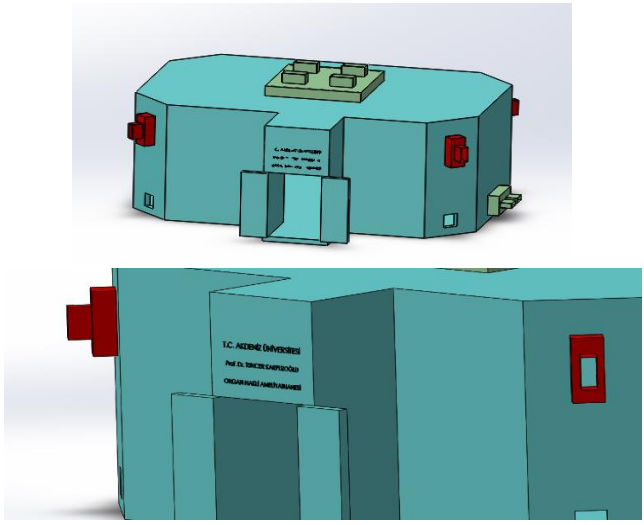
Şekil 1. *Ameliyathane 2 boyutlu çizimi*



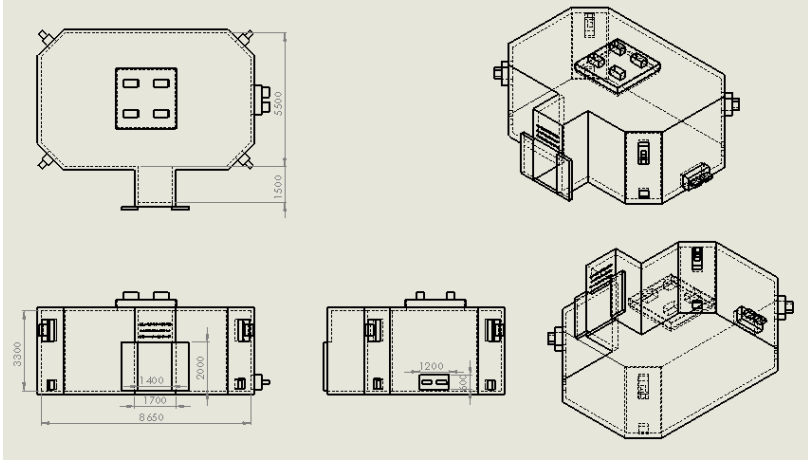
Şekil 2. *Solidworks 2017 katı modelleme programı ile ameliyathanenin Laminel difüzör görünümü*



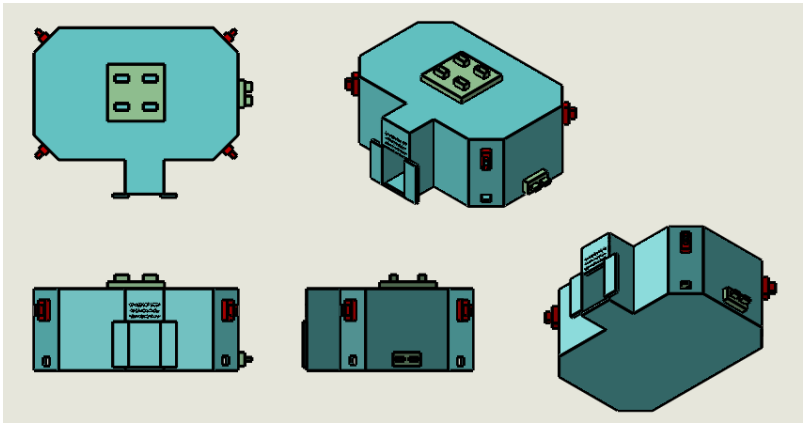
Şekil 3. Solidworks 2017 katı modelleme programmı ile Ameliyathane 3 boyutlu çizim görünümü



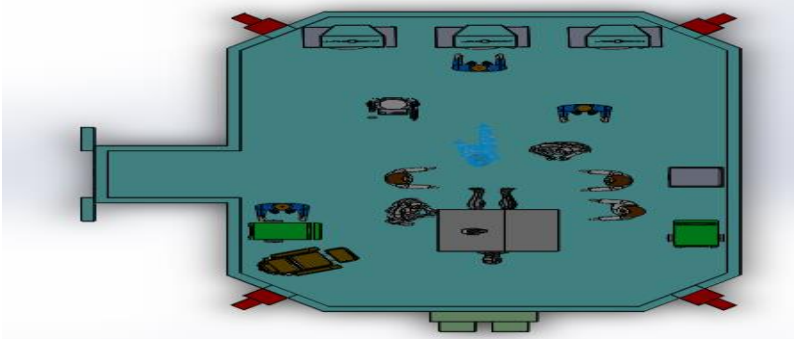
Şekil 4. *Solidworks 2017 katı modelleme programmı ameliyathane 3 boyutlu menfez çizimi*



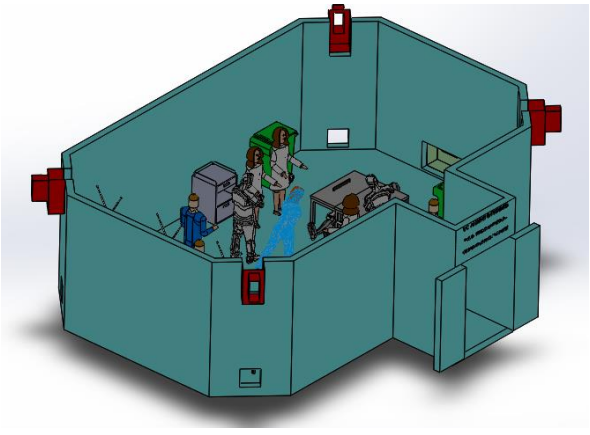
Şekil 5: *Autocad programı ile Ameliyathanenin teknik resim görünümü*



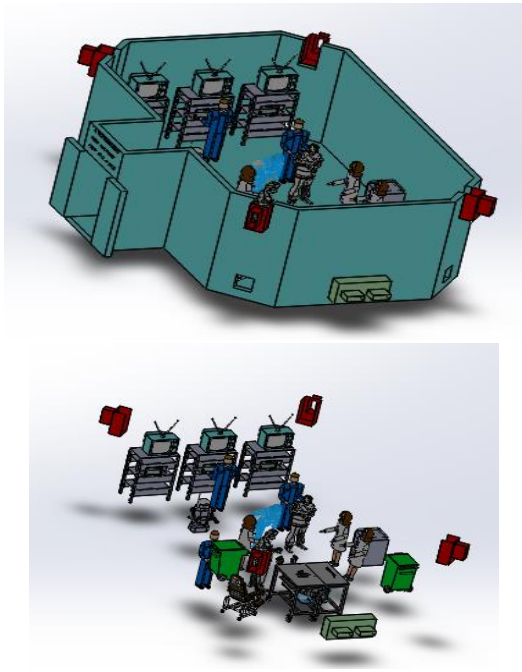
Şekil 6. *Ameliyathane teknik resim montaj ölçüleri*



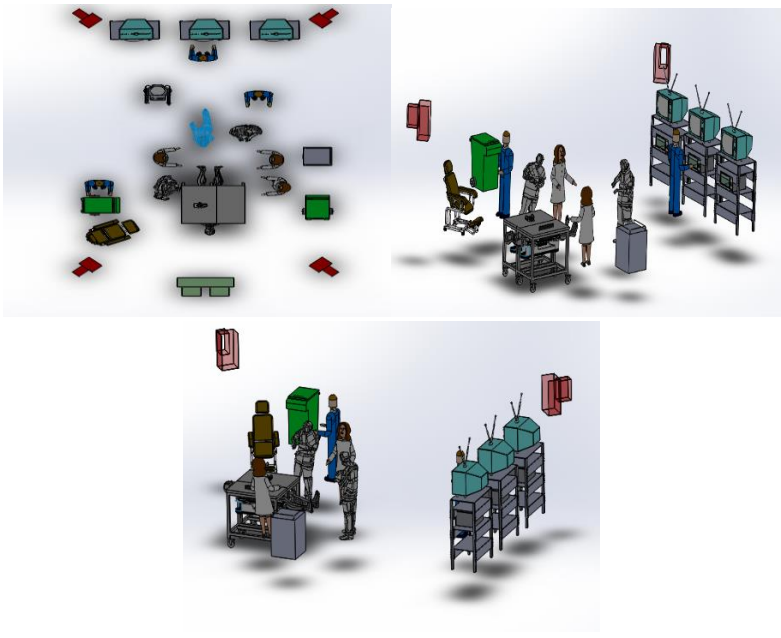
Şekil 7. *Ameliyathane iç yerleşim kullanılan biyomedikal çihazlarının konumları*



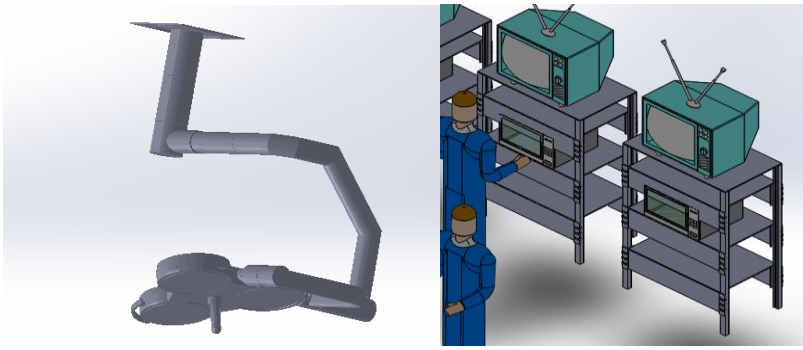
Şekil 8. *Ameliyathane iç yerleşim görünümü*



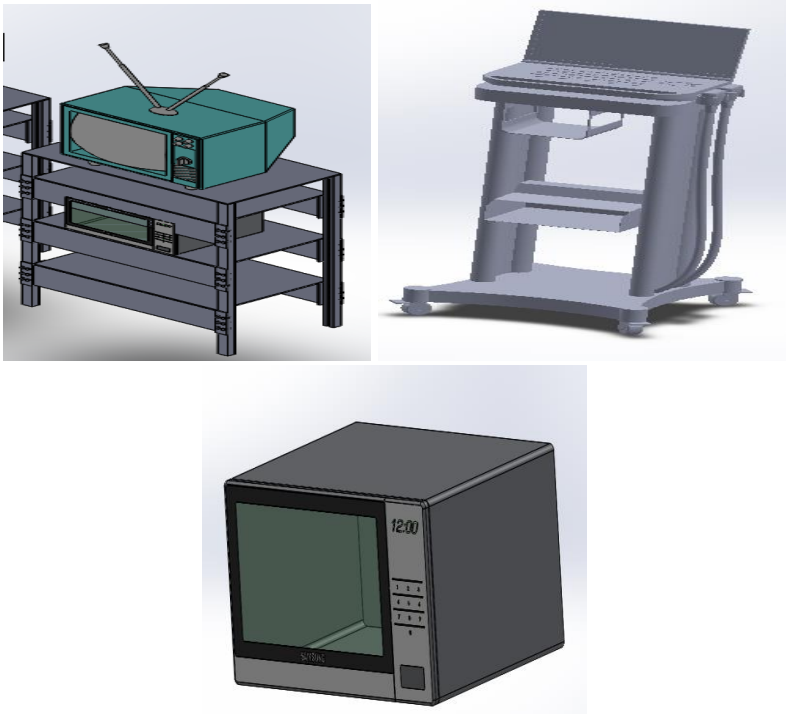
Şekil 9,10. *Ameliyathane iç yerleşimi*



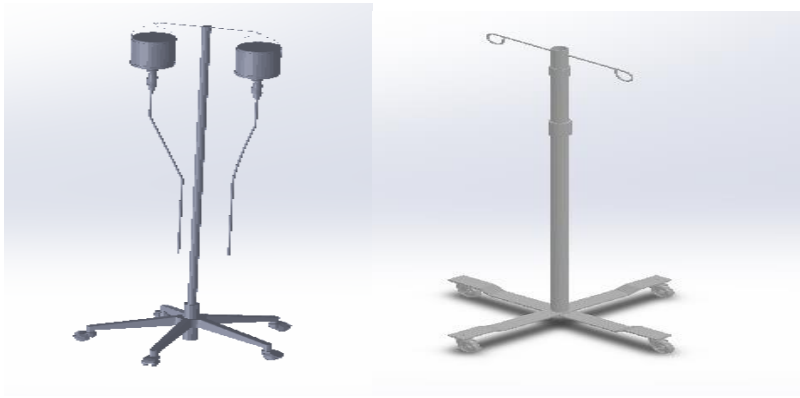
Şekil 11,12,13: *Ameliyathane iç yerleşimi*



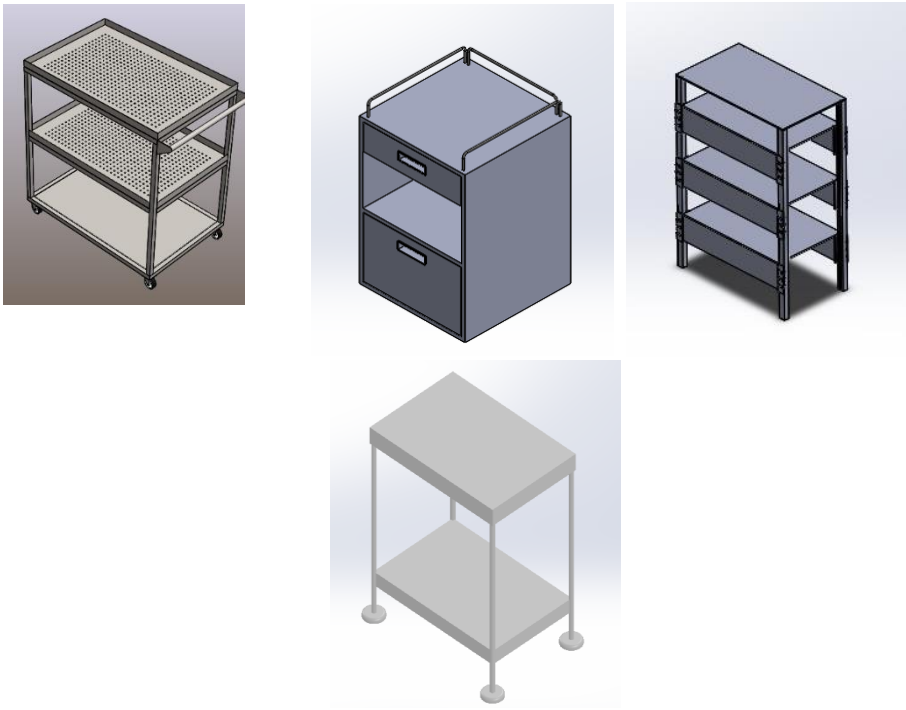
Şekil 14,15: *Ameliyathane pedant (tepe lambası) ve elektronik çihazlar*



Şekil 16,17,18: *Ameliyathane elektronik cihazları*



Şekil 19,20: *Ameliyathane serumlukları*



Şekil 21,22,23,24: *Ameliyathane çekmeceli dolab, raf, ve sehbaları görünümü*

Bu çalışma da CFD sınır koşulları olarak ameliyathane odasının orta üst kısmındaki hava giriş penceresinden 0.24 m/s hız, 25°C sıcaklıktaki hava ve $7.05x10^{-4}$ g/s debili, molar kütlesi 63.55 kg/kmol ve yoğunlukları 8933 kg/m^3 olan partikül girişi tanımlanmıştır.

İki farklı koşuldaki ortam analizi için oda köşelerindeki hava çıkış menfezlerinin olduğu bölgelerdeki yüzeylerde sırasıyla önce 12 Pa ve

sonrasında ise 20 Pa basınç tanımlanmış, bu iki farklı çözüm sonuçları aşağıda (Şekil 25,26,27,28) da gösterilmiştir. Burada,

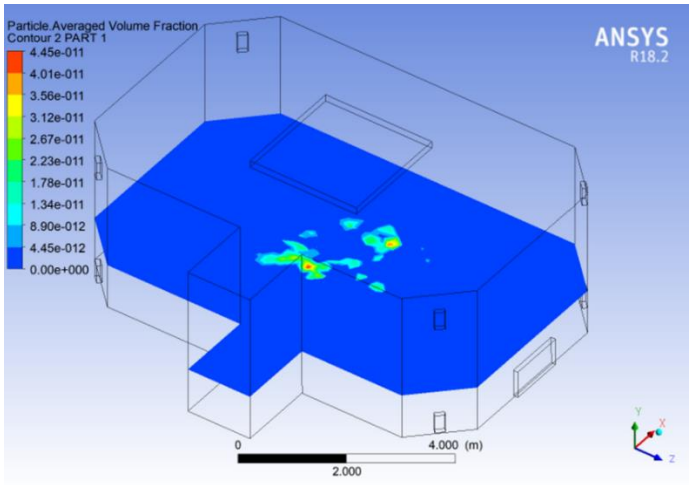
1.Yatay düzlemde ortalama parçacık hacim oranları,

2.Yatay düzlemde basınç dağılımı,

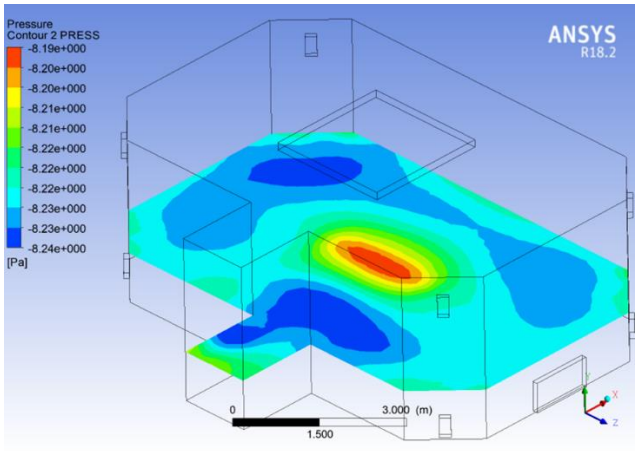
3.Dikey düzlemde ortalama parçacık hacim oranları,

4.Dikey düzlemde hava akış hızları verilmiştir.

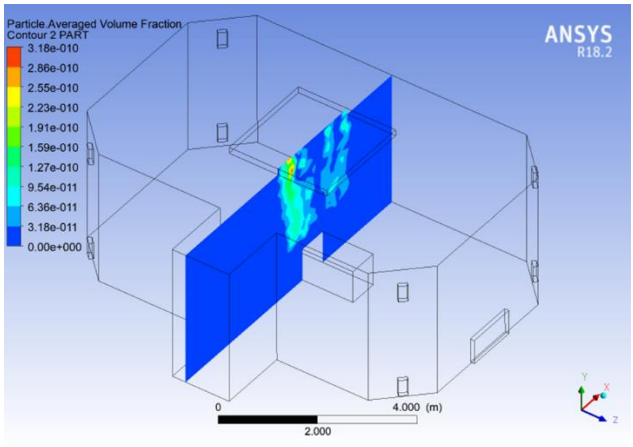
ΔP=12 Pa iken; ANSYS'de CFD ile yapılan analizlerin sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir(Şekil 25,26,27,28).



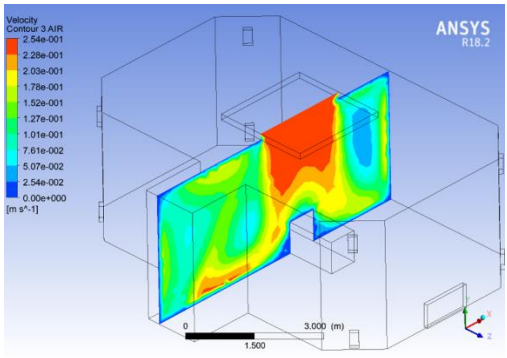
Şekil 25: *ΔP=12 Pa iken, yatay düzlemde ortalama parçacık hacim oranları görünümü*



Şekil 26: *ΔP=12 Pa iken,yatay düzlemde basınç dağılımı görünümü*

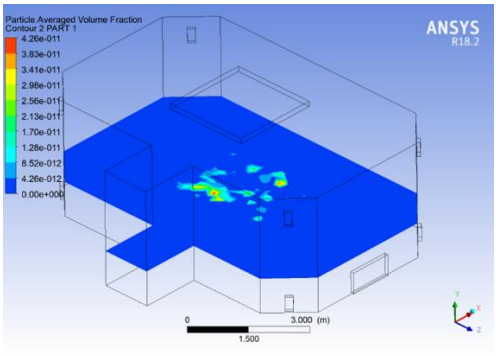


Şekil 27: *ΔP=12 Pa iken,.dikey düzlemde ortalama parçacık hacim oranlarının görünümü*

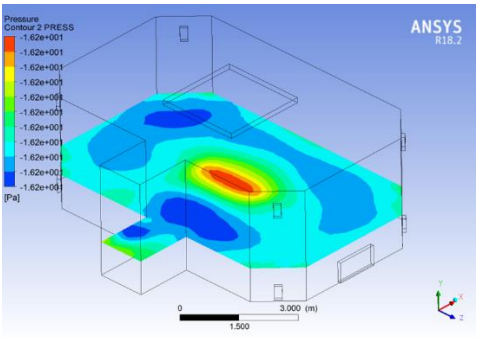


Şekil 28: *ΔP=12 Pa iken, dikey düzlemde hava akış hızları görünümü*

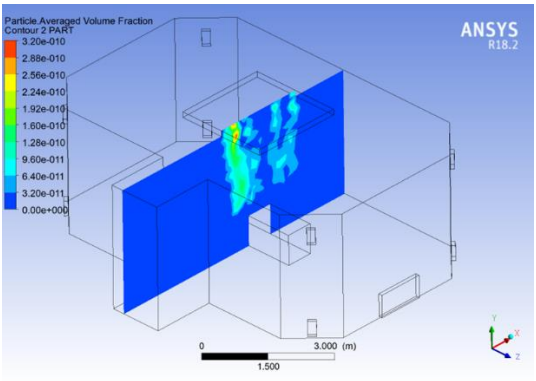
ΔP=20 Pa iken; ANSYS'de CFD ile yapılan analizlerin sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir(Şekil 29,30,31,32).



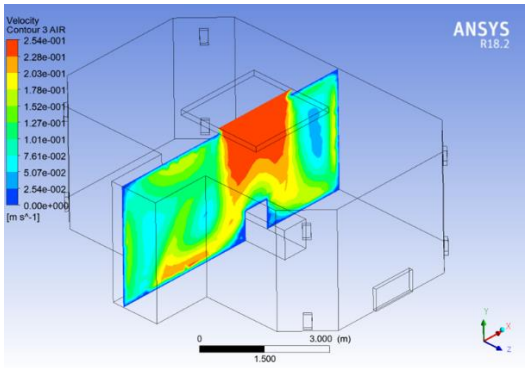
Şekil 29: *ΔP=20 Pa iken, yatay düzlemde ortalama parçacık hacim oranları görünümü*



Şekil 30: *ΔP=20 Pa iken,yatay düzlemde basınç dağılımı görünümü*



Şekil 31: *ΔP=20 Pa iken, dikey düzlemde ortalama parçacık hacim oranlarının görünümü*



Şekil 32: *ΔP=20 Pa iken, dikey düzlemde hava akış hızları görünümü*

SONUÇ ve TARTIŞMA

Kamar vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada laminer akışlı hava hızının olduğu ameliyathanede CFD analizinde, Ölçümler yerden 1.2 m, 1.8 m ve 2.4 m olmak üzere üç farklı yükseklikten yapılmıştır. Partikül maddelerin konsantrasyon ölçümleri için PM0.5, PM1 ve PM5 kullanılmış, Malezya'daki özel bir hastanenin ISO Sınıf 7 ameliyathanesindeki partikül madde konsantrasyonunu (PM), bağıl nemi (RH) ve sıcaklık dağılımını ölçmek için saha ölçümlerinin sonuçlarını sunulmuş, Amaç, farklı yükseklik seviyelerinde ve kritik bölge (ameliyat masası) çevresindeki partikül konsantrasyonundaki değişimi incelemesi yapılmıştır. Bağıl nem (RH) değerlerinin %55 ila %61 arasında olduğu, sıcaklıkların ise 18.3°C ila 19.5°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak, sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ISO standardında belirlenen üst sınırdan yüksek olduğu, Havanın bağıl nemindeki ve sıcaklığındaki dalgalanmaların aralığı küçük olduğu bu nedenle parçacıkların taşınması üzerinde ihmal edilebilir etkilere sahip olduğu düşünülmüştür. Bizim çalışmamızda faklı basınç değerlerinde Basınç farkının 12pa ve 20pa ameliyathane ortamında 1.5 m yüksekliklerinde hız değerlerinde ameliyat masası etrafında konumların benzer olduğu belirlenmiştir. 12 Pa ve 20 pa değerlerinde özellikle yatay da basınç değerlerinin dağılımında, özellikle 12 pa boyutlandırma alanının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Ufat vd. (2017), ameliyathanede farklı hava hızı ve ortam sıcaklığı için ameliyat masasına doğru olan bölgelerde partikül ölçümü yapılmış ve CFD analizleri ile karşılaştırılmıştır. Akış türü olarak laminer akış tercih edilmiştir. Havanın giriş sıcaklığının oda sıcaklığından düşük tutulmasının önemi bu çalışmada çok iyi gösterilmiştir. Ölçümler ameliyathanenin boş olduğu

koşullarda (sadece ölçüm yapan kişi) yapılmıştır. Bu durumda bile ISO 7 sınıfını sağlamamıştır. Ameliyat sırasında 5-6 kişinin bulunduğu göz önüne alındığında partiküllerin hareket edeceği ve artabileceği göz önüne konulmuştur. Bu çalışmada hava kanalından gelen hava hızın ve basınca dayalı olarak havanın cerrahi masa üzerindeki akış durumuna etki eden ameliyathane içerindeki pendant , masa , raflı sehbaların, ve miyomedikal çihazların yerleşim ve konumlarının ameliyat masasaı üzerine gelen hava akışını buna bağlı toz partiküllerini etkilebileceği sonucunu bu çalışma ile ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma ile özellikle ameliyathanelerde toz partikül ölçümleri (PM0.1,PM0,3,PM0.5 ve PM0.5) yapılmak suretiyle hasta ile hastane ekibinin hem iş sağlığı ve güvenliği kapsamında hem de kendi sağlıkları için özellikle virüs ve bakteri yayılımlarının HVAC ölçüm aletleri ile deneysel olarak ölçümlerinin yapılarak CFD ve CBS birlikte analizlerini önermekteyiz.

KAYNAKLAR

[1].Aune, K. S. (2014). Design, Commissioning and Testing of Operating Theatre & Isolation Rooms in Norway. Norwegian Hospital Construction Agency.

[2].Bischoff, P., Kubilay, N. Z., Allegranzi, B., Egger, M., & Gastmeier, P. (2017). Effect of laminar airflow ventilation on surgical site infections: a systematic review and meta-analysis. The Lancet Infectious Diseases, 17(5), 553-561.

[3].Cao, G., Kvammen I., Hatten, T. A. S., Zhang, Y., Stenstad, L., Kiss, G., Jan Gunnar Skogås, J. G., Experimental measurements of surgical microenvironments in two operating rooms with laminar airflow and mixing ventilation systems, Energy and Built Environment, Volume 2, Issue 2, 2021, Pages 149-156.

[4].Cao, G., Storås, M. C., Aganovic, A., Stenstad, L. I., & Skogås, J. G. (2018). Do surgeons and surgical facilities disturb the clean air distribution close to a surgical patient in an orthopedic operating room with laminar airflow?. American Journal of Infection Control, 46(10), 1115-1122.

[5].Curtis LT. (2008) Prevention of hospital-acquired infections: review of non-pharmacological interventions. J Hosp Infect. 69:204–19.

[6].Dascalaki, E. G., Lagoudi, A., Balaras, C. A., & Gaglia, A. G. (2008). Air quality in hospital operating rooms. Building and environment, 43(11), 1945-1952.

[7].DIN 1946-4, Raumlufttechnik-Teil 4: Raumlufttechnische Anlagen in Krankenhäusern (Ventilation and air conditioning-Part 4: Ventilation in hospitals). Beuth Verlag, Berlin, Germany: Deutsches Institut für Normung e.V.; 2007–06.

[8].Kamar, H. M., Kamsah, N., Yinn, W. K., Md. Nor, M., Deris, M. S., (2015). Fıeld Measurement Of Aırborne Partıculate Matters Concentratıon In A Hospıtal's Operatıng Room, Jurnal Teknologi.

[9].Lans, J. L. A., Mathijssen, N. M. C., Bode, A., van den Dobbelsteen, J. J., van der Elst, M., & Luscuere, P. G. (2021). Operating room ventilation systems: Recovery Degree, Cleanliness Recovery Rate and Air Change Effectiveness in an ultra-clean area. Journal of Hospital Infection.

[10].Pereira, M. L., Vilain, R., Kawase, P. R., Tribess, A., & Morawska, L. (2020). Impact of filtration conditions on air quality in an operating room. International Journal of Environmental Research, 14(6), 685-692.

[11].Rezapoor, M., Alvand, A., Jacek, E., Paziuk, T., Maltenfort, M. G., & Parvizi, J. (2018). Operating room traffic increases aerosolized particles and compromises the air quality: a simulated study. The Journal of arthroplasty, 33(3), 851-855.

[12].Sadrizadeh, S., & Holmberg, S. (2015). Effect of a portable ultra-clean exponential airflow unit on the particle distribution in an operating room. Particuology, 18, 170-178.

[13].Sehulster, L., Chinn, R. Y., CDC, & HICPAC (2003). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). MMWR. Recommendations and reports : Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports, 52(RR-10), 1–42.

[14].Szabadi, J., Meyer, J., Lehmann, M., & Dittler, A. (2022). Simultaneous temporal, spatial and size-resolved measurements of aerosol particles in closed indoor environments applying mobile filters in various use-cases. Journal of Aerosol Science, 160, 105906.

[15].Tan, H., Wong, K. Y., Othman, M. H. D., Kek, H. Y., Wahab, R. A., Ern, G. K. P., ... & Lee, K. Q. (2022). Current and potential approaches on assessing airflow and particle dispersion in healthcare facilities: a systematic review. Environmental Science and Pollution Research, 1-24.

[16].Tan, W. K.Y., Nyakuma, B.B., (2022). Systematic study on the relationship between particulate matter and microbial counts in hospital operating rooms. Environ Sci Pollut Res 29, 6710–6721.

[17].Traversari, A. A. L., van Heumen, S. P. M., & Hoksbergen, A. W. J. (2019). Effect of using ceiling-mounted systems for imaging in hybrid operating rooms on the level of colony-forming units during surgery. Journal of Hospital Infection, 103(1), e61-e67.

[18].Ufat, H. A. N. D. E., Kaynakli, O., Yamankaradeniz, N., & Yamankaradeniz, R. (2018). Investigation of the number of particles in an operating room at different ambient temperatures and inlet velocities. International Journal of Ventilation, 17(3), 209-223.

[20].Whyte H. E., Raillard C., Subrenat A., Héquet V. (2019). Influence of environmental parameters on the photocatalytic oxidation efficiency of acrylonitrile and isoflurane; two operating room pollutants. Building and Environment Volume 154, 97-106.

[22].Whyte, W., & Derks, M. (2016). Airborne particle deposition in cleanrooms: Relationship between deposition rate and airborne concentration. Clean Air and Containment Review, 25, 4-10.

[23].Wong, K. Y., Kamar, H. M., Kamsah, N., Tan, H., Deris, M. S. (2017). Real-Tıme Measurements Of Relatıve Humıdıty And Temperature In Hospıtal Operatıng Room. International Journal of Mechanical And Production Engineering, ISSN: 2320-2092.

[24].Xue, K., Cao, G., Liu, M., Zhang, Y., Pedersen, C., Mathisen, H. M., ... & Skogås, J. G. (2020). Experimental study on the effect of exhaust airflows on the surgical environment in an operating room with mixing ventilation. Journal of Building Engineering, 32, 101837.

[25].Zhang, Y., Cao, G., Feng, G., Xue, K., Pedersen, C., Mathisen, H. M., ... & Skogås, J. G. (2020). The impact of air change rate on the air quality of surgical microenvironment in an operating room with mixing ventilation. Journal of Building Engineering, 32, 101770.

TEŞEKKÜR: Çalışmada katkı ve yardımlarını esirgemeyen Akdeniz Üniversitesi Hastanesi Başhekimliğine, Meslektaşlarımız, Mak.Yük Müh. Sami İlkay SAYER, Mak Yük Müh Ömer Korcan ATEŞ, Metalürji ve Malzeme Müh. Merve TUNÇ KOÇYİĞİT ve Mak.Yük .Müh. Ali Kürşad ARICIOĞLU'na canı gönülden teşekkür ederiz.