

**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEMİZ ODA İKLİMLENDİRME SİSTEMİ TASARIMINA ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

Mak. Müh. Erim DİŞLİ

TEMMUZ 2011

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Erim DIŞLI tarafından hazırlanan “TEMİZ ODA İKLİMLENDİRME SİSTEMİ TASARIMINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ” adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylım.

Prof. Dr. Ali ERİŐEN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylım.

Yrd. Doç. Dr. Kemal BİLEN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Veli ÇELİK : _____
Üye : Prof. Dr. İbrahim UZUN : _____
Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Kemal BİLEN : _____

...../...../.....

Bu tez ile, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıőtır.

Prof. Dr. İhsan ULUER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

TEMİZ ODA İKLİMLENDİRME SİSTEMİ TASARIMINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

DIŞLI, Erim

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kemal BİLEN

Temmuz 2011, xi, 94 sayfa

Bir temiz oda olan ameliyathanelerde enfeksiyon kapma riski tüm ameliyathane ekibi ve hastalar açısından önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Enfeksiyona neden olan mikroorganizmalar, ameliyat esnasında havada uçan partiküller aracılığıyla hastaya bulaşır. Bu alanda tüm dünyada yapılan araştırmalar, genellikle ameliyathane ortamında bulunan bu tanecikleri kontrol altında tutmaya yöneliktir. Konu ile ilgili olarak yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda geliştirilen birçok standart mevcuttur.

Yapılan bu çalışmada; genel olarak temiz odalar incelenmiş ve çalışmada özel olarak, bir temiz oda olan ameliyathaneler üzerine yoğunlaşmıştır. Buna göre; ameliyathane sınıfları, ameliyathanelerin tasarım kriterleri ve konu ile ilgili birçok standart incelenmiştir. Bu nedenle yapılan çalışmanın, bu alanda bir kılavuz olması hedeflenmiştir.

Ayrıca çalışma kapsamında yapılan teorik bir analizle, resirküle (geri dönüş havası) kullanımının enerji tasarrufuna ve partikül sayısı açısından iç hava temizliğine olumlu katkısı olduğu görülmüştür. Yine bu çalışmada; ameliyathane havalandırma sistemlerinde ultraviyole ışın teknolojisi kullanımı konusuna dikkat çekilmiştir.

Çalışma kapsamında bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu program yardımı ile herhangi bir temiz odanın standartlara uygunluğu teorik olarak denetlenebilmektedir. Program ayrıca, farklı filtre konfigürasyonları ve farklı çalışma şartları için minimum hava debisini tespit etmeye yardımcı olabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Temiz oda tasarımı, Ameliyathane hava değişim sayısı, HEPA filtreler, Laminer akım, Resirküle hava kullanımı.

ABSTRACT

THEORETICAL ANALYSIS OF PARAMETER EFFECTS ON THE DESIGN OF CLEAN ROOM AIR CONDITIONING SYSTEM

DİŞLİ, Erim

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Kemal BİLEN

July 2011, xi, 94 pages

The risk of contracting infection is an important problem regarding the whole operating room staff and the patients in operating rooms as a clean room. Microorganisms which cause infections reach the patient through particulate matters present in the air during the operation. Researches throughout the world aim to keep the sub-grains (particles) in the operating rooms under control. There exist various standards proposed after studies about this field.

This study presents a general review of clean rooms, and focuses on operating rooms as clean rooms. The study also analyzes the types, design criteria and the related standards of operating rooms. Therefore, with this study it is also aimed to prepare a guide for the researchers who perform studies in this field.

A theoretical analysis performed in this study has shown that use of recirculated air has a positive effect on energy saving and inside air purity. The use of ultraviolet beam technology in operating rooms' ventilation system is emphasized in the study.

A computer program has been prepared for the study purposes. The program theoretically enables to control whether the clean room meets the standards. It also helps determine minimum air mass flow rate for several filter configurations and different operation conditions.

Key words: Clean room design, Operating room air refreshing number, HEPA filters, Laminar flow, Recirculated air usage.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında baŐlangıcından sonuna kadar benden desteğini, sabrını, bilgisini ve değerli vaktini esirgemeyen, karŐılaŐtıęım problemlerin çözümünde deneyimlerinden ve tavsiyelerinden yararlandığım, yönlendirmeleriyle çalıŐmalarına büyük katkı sağlayan saygıdeğer hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Kemal BİLEN Bey'e, ayrıca manevi desteklerini daima hissettiğim ve her zaman olduğu gibi tez hazırlama sürecinde de sabır göstererek yanımda olan eŐim Hacer Hanım'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Temiz Oda Kavramı ve Temiz Odaların Tarihsel Gelişimi.....	2
1.2. Literatür Özetleri.....	6
2. GENEL OLARAK TEMİZ ODA VE AMELİYATHANE	
STANDARTLARI	14
2.1. Hastaneler İçin Temiz Odaların Önemi	15
2.2. Temiz Oda Standartlarına Genel Bir Bakış	16
2.3. DIN 1946/4 Standardı	19
2.4. U.S. 209 D Standardı	20
2.5. U.S. 209 E Standardı.....	20
2.6. ISO 14644-1 Standardı	21
2.7. DIN 1946-4'e Göre Ameliyathane Sınıflandırması.....	22
2.7.1. Sınıf Ia Kapsamına Giren Alanlar	22
2.7.2. Sınıf Ib Kapsamına Giren Alanlar	23
2.7.3. Sınıf II Kapsamına Giren Alanlar.....	23
2.8. U.S. 209 E'ye Göre Ameliyathane Sınıflandırması.....	23
2.9. ISO 14644-1'e Göre Ameliyathane Sınıflandırması.....	23
3. HİJYEN KAVRAMI VE HASTANE ENFEKSİYONLARI	24
3.1. Hijyen Kavramı.....	24
3.2. Havada Bulunan Kirletici Maddeler ve Tanecikler	24
3.3. Hijyenik Ortamdaki Kirlilik Kaynakları.....	25
3.3.1. Hijyenik Ortamlarda Kirliliği Azaltma Yöntemleri	26

3.3.1.1. Personel Tarafından Alınması Gereken Önlemler....	27
3.3.1.2. İklimlendirme Sistemi ile Alınması Gereken Önlemler..	27
3.4. Hastane Enfeksiyonları	28
3.4.1. Hava Kaynaklı Hastalıkların Yayılımı	28
3.4.2. Hava Yolu ile Bulaşan Hastane Enfeksiyonları	28
3.4.2.1. Aspergilloz ve Diğer Fungal Hastalıklar	29
3.4.2.2. Tüberküloz ve Diğer Bakteriyolojik Hastalıklar.....	29
3.4.2.3. Hava Yoluyla Yayılan Viral Hastalıklar	30
3.4.3. İklimlendirme Sistemine Bağlı Gelişebilecek Enfeksiyonlar..	30
3.5. Enfeksiyon Kontrolünde HVAC Sistemlerinin Rolü ve Önemi	31
3.5.1. Partikül-Enfeksiyon İlişkisi	31
3.6. Patojenlerin Sınıflandırılması	32
4. AMELİYATHANELER VE HVAC SİSTEMLERİ	33
4.1. Mimari Özellikler.....	33
4.2. Tasarım Parametreleri.....	35
4.2.1. Basınç	37
4.2.2. Sıcaklık	37
4.2.3. Nem	38
4.2.4. Hava Dağılımı, Hava Akış Şekilleri ve Hava Hızı.....	39
4.2.5. Standartlara Göre Hava Debisi ve Hava Değişim Sayıları....	42
4.2.5.1. Değişken Hava Debisi (VAV) Sistemler.....	45
4.2.5.2. Sabit Hava Debisine Sahip (CAV) Sistemler	46
4.2.5.3. Çok Bölgeli Sistemler	47
4.3. Hijyenik Klima Santralinin Genel Özellikleri	47
4.4. Filtreler.....	48
4.4.1. Yüksek Verimlilikteki Filtreler	49
4.4.2. HEPA Filtreler.....	50
4.4.3. ULPA Filtreler	51
4.5. Filtrasyon Kavramı	51
4.6. Filtrasyonun Derinlik Geçiş Mekanizması	52
4.7. Filtrasyonun Partikül Yakalama Mekanizmaları	52
4.7.1. Elek Etkisi	52
4.7.2. Atalet Etkisi	53

4.7.3. Yakalama Etkisi.....	54
4.7.4. Difüzyon Etkisi.....	55
4.8. Laminer Akış Teknolojisi	56
4.8.1. Geri Dönüşümlü (Resirküle) Laminer Akış.....	57
4.9. Ameliyathanelerin Kontrol Altında Tutulması ve Yeni Çin Standardı.....	58
4.10. İşletme ve Bakım	59
4.11. Temiz Oda İklimlendirme Sistemi Test Parametreleri.....	59
4.11.1. Havalandırma Santrali Testleri	60
4.11.2. Temiz Odalarda Yapılan Testler	60
5. HAVA DEBİSİ VE HAVA DEĞİŞİM SAYISININ BELİRLENMESİ VE RESİRKÜLE HAVA KULLANIMININ TEORİK ANALİZİ.....	61
5.1. Laminer Akımlı Temiz Odalarda Temizlik Sınıfı ve Hava Değişim Sayısının Hesaplanması.....	62
5.2. Karışık (Türbülanslı) Akımlı Temiz Odalarda Oda Temizlik Sınıfı ve Hava Değişim Sayısının Hesaplanması	64
5.3. Ameliyathanelerde Resirküle Hava Kullanımının Oda Sınıfı ve Enerji Sarfıyatı Üzerindeki Etkisinin Teorik Analizi.....	64
5.3.1. Resirküle Hava Kullanımı	65
5.3.2. Resirküle Hava Kullanılan Laminer Akımlı Bir Ameliyathanede Partikül Konsantrasyonu.....	66
5.3.3. Resirküle Hava Kullanılan Laminer Akımlı Temiz Odalar İçin Enerji Analizi.....	68
5.4. Resirküle Hava Kullanılabilirliği ve Ultraviyole Işımlar.....	70
5.4.1. Resirküle Hava Kullanımının Avantajları	70
5.4.2. Ultraviyole Işımlar ve Temiz Odalarda Kullanımı.....	70
5.5. Ameliyathanede Bulunan Kişi Sayısının Oda Hava Değişim Sayısı ve Toplam Debi Üzerindeki Etkisinin Analizi.....	72
5.6. Ameliyathanelerde Filtre Sınıfının Oda Sınıfı ve Toplam Hava Debisi Üzerindeki Etkisi.....	77
5.6.1. Türbülanslı Akımlı Bir Ameliyathanede Hassas Filtre Sınıfının Hava Debisi Üzerindeki Etki.....	78
5.6.2. Türbülanslı Akımlı Bir Ameliyathanede Hassas Filtre	

Sınıfının Partikül Konsantrasyonu Üzerindeki Etkisi... ..	80
5.6.3. Laminer Akımlı Bir Ameliyathanede Hassas Filtre	
Sınıfının Partikül Konsantrasyonu Üzerindeki Etkisi.....	82
6. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME	86
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
2.1. Hastane Enfeksiyonunun ABD Ekonomisi Üzerindeki Yıllık Etkisi.....	16
2.2. U.S.209E'ye Göre Oda Klâsları.....	17
2.3. Çeşitli Standartların Karşılaştırılması.....	18
2.4. ISO-14644-1'e Göre Temiz Oda Sınıfları.....	21
3.1. İnsanların Hareketine Göre Yayılan Partikül Miktarları.....	26
3.2. İnsanın Bazı Durumlara Göre Yayıdığı Partikül Sayıları.....	26
4.1. Standart ve Kılavuzlarda Verilen Tasarım Değerlerinin Karşılaştırma Tablosu.	36
4.2. Temiz Odalarda Statik Basınç Farkları.....	37
4.3. Filtre Sınıfları ve Verimlilikleri.....	49
5.1. Filtrelerin 0.3 µm Çapında Tanecikleri Tutma Verimlilikleri.....	66
5.2. Resirküle Hava oranının Tanecik Sayısına Etkisi.....	67
5.3. Resirküle Hava Oranının Isı Gereksinimine Etkisi.....	68
5.4. Resirküle Hava Kullanımının, Tanecik Sayısındaki ve Isıl Enerji İhtiyacındaki Oransal Azalmaya Etkisi.....	69
5.5. Ameliyathanedeki Kişi Sayısının Oda Klâsı Üzerindeki Etkisi.....	72
5.6. Ameliyathanede Bulunan Kişi Sayısının Toplam Debiye Etkisi.....	73
5.7. H14 Sınıf HEPA Filtreli Temiz Odada Hassas Filtre Sınıfının Hava Debisine Etkisi.....	78
5.8. H13 HEPA Filtreli Ameliyathanede Hassas Filtre Sınıfının Hava Debisine Etkisi.....	79
5.9. H14 HEPA Filtreli Ameliyathanede Hassas Filtre Sınıfının Tanecik Sayısına Etkisi.....	80
5.10. H13 HEPA Filtreli ISO 6 Sınıf Bir Ameliyathanede Hassas Filtrenin Tanecik Sayısına Etkisi.....	81
5.11. H13 HEPA Filtreli ISO 5 Sınıf Bir Ameliyathanede Hassas Filtrenin Tanecik Sayısına Etkisi.....	82
5.12. Üç Kademe ve H14 HEPA Filtreli Odada Hassas Filtre Sınıfının Tanecik Sayısı Üzerindeki Etkisi.....	83
5.13. Dört Kademe ve H13 HEPA Filtreli Odada Hassas Filtre Sınıfının Tanecik Sayısı Üzerindeki Etkisi.....	84
5.14. Dört Kademe ve H14 HEPA Filtreli Odada Hassas Filtre Sınıfının Tanecik Sayısı Üzerindeki Etkisi.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

	Sayfa
2.1. ISO 14644'e Göre Tanımlanan Temiz Oda Sınıfları İçin Partikül Boyutu ve Sayısı Değişimi.....	22
3.1. Havada Bulunan Patojen Boyutları.....	25
4.1. Havadaki Nem Oranının Mikroorganizmaların Üremeleri Üzerindeki Etkisi..	39
4.2. Laminer Akış ve Koruma Alan Çizgileri.....	40
4.3. Hava Akış Sistemi ve Havanın Oluşturduğu Akım.....	40
4.4. Karışık Hava Akış Düzeni.....	41
4.5. Tek Yönlü Düzgün Akışlı Oda.....	41
4.6. Karışık Yönlü Düzgün Akışlı Oda.....	42
4.7. Örnek Bir VAV Kutusu.....	46
4.8. Örnek Bir CAV Kutusu.....	46
4.9. HEPA Filtre Kutusu.....	50
4.10. HEPA Filtre.....	50
4.11. Filtrasyonun Elek Etkisi.....	53
4.12. Filtrasyonun Atalet Etkisi.....	54
4.13. Filtrasyonun Yakalama Etkisi.....	54
4.14. Filtrasyonun Difüzyon Etkisi.....	55
4.15. Laminer Akış Ünitesi.....	56
4.16. Resirküle Laminer Akış.....	57
5.1. Resirküle Hava Oranı-Tanecik Sayısı Değişimi.....	67
5.2. Resirküle Hava Oranı-Isı İhtiyacı Değişimi.....	69
5.3. Ameliyathanedeki Kişi Sayısının Kirlilik Üzerindeki Etkisi.....	73
5.4. Odadaki Kişi Sayısının Debi İlişkisi.....	74
5.5. Ameliyathanede Bulunan Kişi Sayısının Partikül Miktarına Etkisi.....	74
5.6.a. Temiz Oda Hesaplamaları İçin Bu Çalışma Kapsamında Yazılan Program..	75
5.6.b. Temiz oda hesaplamaları için bu çalışma kapsamında yazılan program akış diyagram.....	76
5.7. Klima Santrali ve Filtre Kademelerinin Şematik Gösterimi.....	77

5.8. H14 Sınıf HEPA Filtreli Temiz Odada Hassas Filtre Sınıfının Hava Debisine Etkisi.....	78
5.9. H13 HEPA Filtreli Ameliyathanede Hassas Filtre Sınıfının Hava Debisine Etkisi.....	79
5.10. H14 HEPA Filtreli Ameliyathanede Hassas Filtre Sınıfının Tanecik Sayısına Etkisi.....	80
5.11. H13 HEPA Filtreli ISO 6 Sınıfında Bir Ameliyathanede Hassas Filtrenin Tanecik Sayısına Etkisi.....	81
5.12. H13 HEPA Filtreli ISO 5 Sınıfı Bir Ameliyathanede Hassas Filtrenin Tanecik Sayısına Etkisi.....	82
5.13. Üç Kademe ve H14 HEPA Filtreli Odada Hassas Filtre Sınıfının Tanecik Sayısı Üzerindeki Etkisi.....	83
5.14. Dört Kademe ve H13 HEPA Filtreli Odada Hassas Filtre Sınıfının Tanecik Sayısı Üzerindeki Etkisi.....	84
5.15. Dört Kademe ve H14 HEPA Filtreli Odada Hassas Filtre Sınıfının Tanecik Sayısı Üzerindeki Etkisi.....	85

SİMGELER DİZİNİ

μm	: mikrometre (10^{-6} metre)
μ	: mikron
η	: verim
μ_s	: kontaminasyon faktörü
C_t	: havada bulunan toplam partikül miktarı
H	: yükseklik
L	: uzunluk
W	: en
ACH	: hava değişim sayısı
tan/m^3	: Tanecik/metreküp
tan/s	: Tanecik/saniye

KISALTMALAR DİZİNİ

ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Derneği)
CAV	: Constant Air Volume Box (Sabit Debi Ayar Kutusu)
DIN	: Deutsche International Norm (Uluslararası Alman Normu)
GMP	: Good Manufacturing Practice (İyi İmalat Uygulamaları)
HEPA	: High Efficiency Particulate Arresting (Yüksek Etkinlikte Partikül Yakalayıcı Filtre)
HVAC	: Heating Ventilation and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve Hava Şartlandırma)
MMO	: Makine Mühendisleri Odası
TTMD	: Türk Tesisat Mühendisliği Derneği
USD	: Amerikan Doları
ULPA	: Ultra Low Penetration Air (Ultra Düşük Geçirgen Hava Filtresi)
UV	: Ultraviolet (Ultraviyole: Morötesi)
UVGI	: Ultraviolet Germicidal Irradiation (Ultraviyole Antiseptik Işınlama)
VAV	: Variable Air Volume Box (Değişken Debi Ayar Kutusu)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

1. GİRİŞ

Tarihteki teknolojik gelişmeler incelendiğinde, bu gelişmelerin insan yaşamında gerek konfor gerekse sağlıklı yaşam için ne kadar büyük bir rol oynadığı görülür. Konforu sağlayabilen sistemler dendiğinde ilk olarak iklimlendirme ve havalandırma sistemleri akla gelmektedir. Bu sistemler sayesinde gerekli olan ısı, nem, basınç ve temiz hava gibi parametreler rahatlıkla kontrol altına alınabilmektedir. Teknolojideki hızlı gelişim süreci elektronik, nanoteknoloji, tıp ve ilaç üretim alanlarında kendini belirgin olarak göstermiştir. Bu alanlarda yaşanan gelişmelerde iklimlendirme ve havalandırma sistemleri önemi bir role sahiptir. İklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin ısıtma, soğutma, havalandırma, nem kontrolünün yanında hava akış hızı, hava akış şekli ve partikül tutma özellikleri sayesinde temiz oda kavramı meydana gelmiştir. Temiz oda koşullarını yerine getiren ve genellikle hastanelerde kullanılan klima santralleri “Hijyenik Klima Santralleri” olarak adlandırılır. Özellikle ameliyathane gibi enfeksiyon kapma riskinin yüksek olduğu mekanlarda hijyenik klima santrallerine yoğun ihtiyaç duyulmaktadır. Temiz oda teknolojisi ve hijyenik klima santrallerinin ameliyathane ve yoğun bakım ünitelerinde tekniğine uygun kullanılmaması sağlık açısından olumsuz sonuçların doğmasına neden olmaktadır.

Temiz odalar sadece hastane, ilaç ve gıda üretim tesisleri gibi insan sağlığını doğrudan veya dolaylı olarak ilgilendiren konularda değil, aynı zamanda yaşantımızın ayrılmaz parçaları olan birçok alan için gereklidir. Örneğin bilgisayarlardaki mikroçipler, yarı iletkenler, dijital fotoğraf makineleri, cep telefonları, televizyon ve bilgisayar ekranları, gözlük çerçevesi imalatı, otomobil kaportalarının boyanması, kırılmaz emniyet camlarının üretimi, mercek kaplaması ve hassas sensörlerin geliştirilmesi gibi alanlarda bu odalar kullanılır. Ayrıca gen teknolojisinde, tehlikeli bakteri ve virüs araştırmalarının yapıldığı ortamlarda kısaca hassas işlem gerektiren laboratuarlarda da bu odalardan yararlanılır.

Bu çalışmada temiz oda uygulamaları ve temiz oda standartları genel olarak incelenmiştir. Temiz oda tasarımının mekanik tesisat konusuna ağırlık verilerek özellikle ameliyathane odalarının iklimlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Zaman

zaman ameliyathane, yoğun bakım, doğum servisleri ve bebek odalarında ortaya çıkan ve çoğu kez ölümlü sonuçlanan enfeksiyonlar sağlık kurumlarının mücadele etmesi gereken önemli sorunları arasında yer almaktadır. Bu nedenle hastanelerde hijyenik ortamın sağlanması ve bunun sürdürülebilir olması çok önemlidir. Burada konu geniş kapsamlı ele alınarak ameliyathanelerde hijyenin sağlanması için gereken parametreler üzerinde de durulmuştur. Bu çalışmanın ayrıca iyi bir ameliyathane sistem tasarımı, bakımı ve işletilmesi için bir kılavuz olması hedeflenmektedir.

Yapılan bu çalışmada hazırlanan bir bilgisayar programı sayesinde temiz odaların çeşitli standartlara uygunluğu kontrol edilebilmektedir. Program ile resirküle hava (geri dönüş havası) kullanımı, temiz odada bulunan insan kaynaklı kirlilik miktarı ve çeşitli filtre konfigürasyonlarına göre minimum debi ve hava değişim sayısı hesaplanabilmektedir. Hazırlanan bu program ile, temiz oda tasarımı yapan mekanik tesisat tasarımcıları ve proje kontrol ve onay makamlarına zaman tasarrufu ve hesap kolaylığı sağlanması hedeflenmiştir.

1.1. Temiz Oda Kavramı ve Temiz Odaların Tarihsel Gelişimi

Tarihte ilk temiz odalar hastanelerde uygulanmaya başlanmıştır. Pasteur, Kock, Lister ve diğer öncü mikrobiyologlar bakterilerin enfeksiyona sebep olduğunu keşfettiler. Böylece hastanelerin ve özellikle ameliyathanelerin bakterilerden izole edilmesi gerektiği benimsendi. Böylece ilk temiz odaların bilimsel dizaynına bir adım daha yaklaşmış oldu. Lister Glasgow'daki Kraliyet Hastanesi'nde ameliyat malzemeleri, yara ve cerrahların ellerine antiseptik çözelti sürülerek enfeksiyonu önemli oranda azalttı. Bunun yanında, hava kaynaklı enfeksiyona karşı ortam havasına karbolik püskürttü. Temizlik konusundaki çalışması antiseptiklere dayanıyordu ve modern temiz odaların oluşumu; sargı bezlerinin, ameliyat aletlerinin sterilizasyonu ile ameliyat eldivenleri, maskeleri ve elbiselerin kullanımı gibi antiseptik tekniklerin benimsenmesiyle sağlandı [1].

Geçmişteki ve günümüzdeki temiz odalar arasında benzerlikler olsa da pozitif ventilasyon, ikisi arasındaki temel farktır. Bakteriyel enfeksiyonu azaltmak için aralarında Frolance Nightingale'in de bulunduğu kişiler tarafından doğal bile olsa

ventilasyonun kullanımı benimsendi. Cebri ventilasyon ilk defa 1855 yılında Brunel'in planladığı bir hastanede uygulanmasına rağmen yaklaşık 60 yıl öncesine kadar seyrek olarak kullanıldı. Hastanedeki ventilasyonun kirlilik kontrolü amacıyla uygulanması ancak II. Dünya savaşının sonuna doğru başladı. Savaş sırasında sığınaklar, denizaltılar ve askeri kışlalar gibi kalabalık ortamlardaki enfeksiyon problemi araştırıldı. Enfeksiyon göz önüne alınarak odaların havalandırılması, bakteri örneklerinin alınmasındaki yenilikler ve tanecik aerodinamiği hakkındaki çalışmalar savaş boyunca sürdü. Savaş sonrası çalışmaların büyük bir çoğunluğu ameliyathane ve sargı odalarında gerçekleştirildi. Hava dağıtıcı ve toplayıcıların tipi ve konumuna göre hava akış şekilleri, ortam ve üflenen hava arasındaki sıcaklık farkının etkisi, taze hava miktarının hava kirliliğinin azaltılması üzerindeki etkisi, hava filtrelerinin kalitesi ve mahaller arasındaki hava hareketinin kontrolü gibi klasik, türbülanslı akışla havalandırılan odaların performansını belirleyen prensiplerin çoğu 60'lı yılların başlarında biliniyordu. Bunun yanı sıra, insanların da bakteri kaynağı olduğu ve korunmak için sık dokunmuş kumaşlara ihtiyaç duyulduğu ortaya çıktı. Hastane koşullarındaki mevcut kirliliğin etkin bir şekilde uzaklaştırılmasında direkt hava akışının önemli bir rolü olduğu Sir John Simon tarafından ileri sürülmüştür. Sir John Simon 1864'te yayınladığı bir yazısında hava akışının içerden dışarıya doğru olması gerektiğini ve bunun ancak yapay hava akışını belirli bir şekilde regüle eden bir sistemle yapılabileceğini belirtmiştir. Fakat yüzyılın sonunda bu prensiplere uygun şekilde Belfast'ta inşa edilen Kraliyet Viktoria Hastanesi'nde uygulanan hava hareketi istenen sonuçların elde edilmesinde yetersiz kaldı. 1946'da Bourdillon ve Colebrook tarafından yayınlanmış bir çalışmada dışarıya göre odayı basınçlandıran, 20 hava değişimi filtre edilmiş havanın kullanıldığı bir sargı odası tanımlandı. Yukarıdan aşağıya doğru yavaş bir hava akışı ile kirli havayı önüne katıp sürükleyen hava katmanlarının oluşturduğu piston etkisini de incelediler. Ayrıca, saatte 60 veya daha fazla hava değişimini laboratuvar ortamında uygulayarak bakteri bulutunun aniden kaybolduğunu tespit ettiler. Ancak, hastanelerde bu kadar büyük hava miktarlarıyla çalışmanın getirdiği masraflar yüzünden daha ileriye gidemediler. Türbülansın en aza indirgenerek havanın aşağı yönlü hareketinin sağlanması hususunda daha ileri düzeyde çalışmalar 1960 yılında Blowers ve Crew tarafından yapıldı. Ameliyathane havalandırmasının birçok yönleri üzerinde çalıştılar ve bulguları Tıbbi Araştırma Konseyinin 1962 yılı raporunda

benimsendi. O.M. Lidwell'in önerisi doğrultusunda tavanın iki yanına yerleştirilmiş difüzörler vasıtasıyla havanın tek yönlü üflendiği bir odayı incelediler. Bu sistem daha önce incelediklerinden daha verimli olmasına rağmen düşük hava miktarı nedeniyle beklenen sonucu vermedi [1].

1960'ların başlarında Prof.Charnley yapay kalça eklemine yerleştirilmesi konusunda radikal bir teknik geliştirdi. Bu yöntem oldukça etkiliydi, fakat ilk bakışta mikrop kapma oranı % 9'du. O sıralarda enfeksiyon tedavisinde kullanılan yöntemlerin verimli olmaması ve bu sebepten yapay eklem çıkarılma zorunluluğu hesaba katıldığında bu durum hastalar için bir felaketti. Charnley enfeksiyonun muhtemelen havadaki bakterilerden kaynaklandığını düşündü. Howorth Air Conditioning Limited'in desteğiyle ameliyathanedeki hava şartlarını iyileştirmeye başladı. Türbülans kaçınmak ve 60 ft/min (0.3 m/s) hıza sahip aşağı doğru akış elde etmek için (20 ft)x(20 ft) {(6 m)x(6 m)} taban alanına sahip bir ameliyathanede 24 000 ft³/min (11 m³/s)'lik hava debisine ihtiyaç olduğunu buldu. Ekonomik bulmadığı bu yöntem yerine 1961 yılında kendisinin tasarladığı (7 ft)x(7 ft) {(2 m)x(2 m)} ebatlara sahip “yeşil ev” olarak bilinen steril hacmini oluşturdu. Şekil 1.1.'de bu sisteme ait hava akışı görülmektedir. Ancak, yine de tam olarak benimsemediği bu sistem yerine Haziran 1966'da tecrübelerinden de faydalanarak oldukça fazla hava miktarı, daha iyi bir hava akışı sayesinde bakteri sayısının düşürülebildiği yeni bir sistem geliştirildi. Aynı zamanda, cerrahlardan yayılan bakterileri hapseden “tüm vücut egzost elbisesi” ni icat etti. Havalandırmadaki bu gelişmelerin ışığında enfeksiyon oranı % 9'dan % 1.3'e düştü, fakat ameliyat tekniklerindeki diğer gelişmeler nedeniyle havalandırmanın etkinliğine dair iddiaları şüpheyle karşılandı. Yine de bu sistem 1980'lerde İngiltere'deki Tıbbi Araştırmalar Konseyi tarafından önerildi. Sistemin 19 hastanede uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Charley'in görüşlerini destekler nitelikteydi. Sonuç olarak; tek yönlü akışın olduğu ve emici elbiselerin kullanıldığı odalardaki eklem fonksiyonu oranının, klasik şekilde havalandırılmış odalardakinin 1/4'üne düştüğü bulundu. Aynı gelişmeler endüstride de kaydedildi. İlk endüstriyel amaçlı temiz oda II. Dünya Savaşı sırasında ABD ve İngiltere'de silahlar, tanklar ve uçaklarda kullanılan aletlerin kalitesi ve güvenilirliğini arttırmak için tesis edildi. Üretim ortamı şartlarının iyileştirilmemesi halinde silahların hedef belirleme tertibatları gibi bazı askeri ürünlerin kusurlu üretimi söz konusu olacaktı. Endüstriyel amaçlı temiz odaların inşasında kullanılan sistem ise ameliyathane

tasarımında kullanılan sistem temel alınarak belirtilmişti. Ancak kısa bir süre sonra bakteriden arındırılmış temiz odanın aynı zamanda parçacıktan da arındırılmış olduğunun söylenemeyeceği ortaya çıktı. Bunun üzerine yapılan çalışmalar sonucunda malzeme ve yüzeylerin parçacık üretiminde parçacık üretiminde rolünün olmadığı, insan ve makine kaynaklı parçacıkların ise ancak büyük miktarlarda hava ile taşınabileceği değerlendirildi [1].

Nükleer reaksiyonun barışçıl veya askeri amaçlı kullanımı ile biyolojik ve kimyasal savaş araştırmaları havanın tehlikeli mikrobiyolojik ve radyoaktif kirleticilerden arındırılması için gerekli olan yüksek verimli parçacık filtrelerinin (HEPA) üretilmesinde itici güç oldu. HEPA filtrelerin varlığı temiz odalarda kullanılan havanın temizlik kalitesinin yükselmesini sağladı. 1955-1960 yılları arasında yüksek miktardaki iyi filtre edilmiş havanın tavandaki difüzörlerle üflendiği temiz odalar inşa edildi. Bu tür sistemlere iyi bir örnek olarak Edinburg'da 1960 yılında hizmete giren ve halen Sınıf 100 şartlarını sağlayabilen temiz oda gösterilebilir [1].

1961'de New Mexico, Amerika'daki Sandia Laboratuvarları'nda ortaya atılan ve "tek yönlü" ya da "laminer akış" kavramı temiz odaların tarihinde bir dönüm noktası oldu. Bu sistem içlerinde Willis Whitfield'in de bulunduğu bir ekip tarafından gerçekleştirilmiştir. 6 ft genişlik 10 ft uzunluk ve 7 ft yüksekliğe $\{(1.8 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2.1 \text{ m})\}$ sahip küçük bir odada uygulanan bu sistemde, havanın tavandan üflenip odada rastgele hareketine izin verilmesi yerine havanın HEPA filtreden geçirilerek oda içinde tek yönlü bir akışla filtrelerden odanın tabanındaki menfezlere ulaşması sağlandı. Ayrıca odadaki tezgahta çalışan kişinin yarattığı kirliliğin tezgah üzerinden hava ile süpürülme yapıldığından, tezgah üzerinde bir etkisinin olmadığı görüldü. Temiz oda havalandırmasındaki bu yeni sistem kısa sürede yüksek kaliteli temiz odalar olarak benimsendi. 1957 yılında Sovyetler Birliği'nin yörüngeye bir uydu oturtması ile uzay yarışı başlamış oldu. Böylece roketlerin yükünü hafifletmek için malzemelerin mümkün olduğunca küçültülmesi önem kazandı. Ancak malzemelerin küçültülmesi işlemi parçacık kirliliğine karşı hassasiyeti de beraberinde getirdi ve temiz odaların küçültülmesi işlemi parçacık kirliliğine karşı hassasiyeti de beraberinde getirdi ve temiz odaların gerekliliği ile tek yönlü hava akışlı sistemlerin bu konudaki üstünlüğü kabul gördü. Tek yönlü hava akışlı havalandırma yöntemi kısa sürede ilaç endüstrisinde ilaç hazırlanmasında, hastanelerde ise

ameliyathanelerde ve hastaların dış ortamdan izole edilmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlandı [1].

İlk Federal Standart 209 Sandia Ekibi ile birlikte Amerikan ordusu, endüstri çevreleri ve hükümetin desteği ile oluşturulan ve başkanlığını J.Gordon King'in üstlendiği bir komite tarafından 1963 yılında yayınlandı. Bu standart temiz oda tasarımı konusunda büyük bir etki yarattı ve tüm dünyada temiz odalar üzerine belirlenen standartların da temelini teşkil etti. Zaman içerisinde temiz oda uygulamalarının sayısı ve çeşidi arttı. Temiz odalar hava kaynaklı kirliliğin azaltılmasında olduğu kadar tehlikeli ve zehirli kirliliğin oda içerisinde hapsedildiği karantina odaları olarak da kullanıldılar [2].

1.2. Literatür Özetleri

Hürtürk [1] tarafından yapılan teorik bir çalışmada temiz odalar konusunda kapsamlı bilgiler verilmekte ve temiz oda tasarımı bir ameliyathaneye uygulanarak tüm hesaplar yapılarak sunulmaktadır.

Temiz odalarda filtre sınıfının oda klasi üzerindeki etkisi teorik olarak inceleyen Özcan [2] 2400 m³/h ve 5200 m³/h olmak üzere iki debide çeşitli filtre konfigürasyonlarında hesaplamalar yapılmakta ve filtrelerin standartları sağlamada ve maliyetleri düşürmede çok önemli olduğu sonucuna varılmaktadır.

Editörlüğünün Bilge [3] tarafından yapıldığı bu teorik bir çalışmada, hijyen ve hastanelerde ameliyathane enfeksiyonlarının nedenleri açıklanmıştır. Klima sistemlerine bağlı enfeksiyon nedenleri ve bunların kontrolü için teknik bilgiler açıklanmıştır. Temiz oda sınıflandırmaları yapılmış ve sistem tasarımları için gerekli kriterler sıralanmıştır. Özel olarak hastane iklimlendirme sistemlerinin test metotları standartlara dayanılarak hazırlanmıştır. Hastane iklimlendirme sistemlerinin inşasından sonra koruyucu ve periyodik bakımın önemine dikkat çekilmiş ve sistemin bakımları için yapılması gerekenler belirtilmiştir. Son olarak hastane enfeksiyonlarını önlemek için genel (pratik) bilgi ve tavsiyelerde bulunulmuştur.

Makine Mühendisleri Odası [4] tarafından hazırlanan bu teorik çalışma, genel olarak temiz oda projelendirmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar, teslim alma ve periyodik kontrol esasları üzerinde durulmuştur.

Hastane temiz odaları, hijyen, hastane iklimlendirme sistemleri hakkında tanımlar ve genel bilgiler verilen ve Makine Mühendisleri Odası [5] tarafından hazırlanan bu çalışmada, hastaneler için temiz oda sınıfları, hava akım çeşitleri, ameliyathanelerde yapılan test ve ölçümler ve ölçüm periyotları, klima, havalandırma tesisatının bakım ve kontrolü anlatılmıştır. Ayrıca hastane iklimlendirme sistemlerinin bileşenleri konusunda da bilgiler verilmektedir.

Makine Mühendisleri Odası [6] tarafından hazırlanan ve sağlık tesisleri mekanik tesisatı tasarımı açısından iyi bir kaynak olarak gösterilebilecek olan bu çalışmada, hastane ve klinikler için HVAC sistemlerinin tasarım, kurulum ve işletmeye alma konuları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Konular genel olarak çevresel konfor, enfeksiyon kontrolü, enerji tasarrufu, can güvenliği, işletme ve bakımdır. Buradaki en önemli farklılık ise hava akım ve partiküllerin sayısal ve analitik çözümleri yapılmış ve sayısal modelleme analizlerine yer verilmiştir.

Doğan [7] tarafından hazırlanan bu çalışmada havanın termodinamik özelliklerinin yanında iklimlendirme konusu çözümlenmeleriyle birlikte geniş olarak ele alınmıştır. Ayrıca cihaz ve sistemler hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

Hepkan'ın [8] editörlüğünde hazırlanan ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneği organizasyonunda 2005 yılında yapılan bir çalıştayın sonuç bildirgesi olan bu çalışmada toplam hastane temiz odaları, tasarımı, standartları, sistemin bakımı ve işletme gibi konular konunun uzmanları tarafından ele alınmış konu çok yönlü olarak sunulmuştur.

ASHRAE [9] tarafından hazırlanan bu çalışma TTMD tarafından Türkçeye çevrilerek, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme konuları her mekân için geniş olarak ele alınmıştır. Temiz odalar konusunda da genel bilgiler sunulmaktadır.

HVAC sistemleri tasarımında ve imalatında yüz yılı aşkındır hizmet vermekte olan Carrier [10] firmasının yöneticilerinin çalışmalarıyla ortaya çıkan bu eser, hava koşullandırma ve sistem tasarımı alanında hazırlanmıştır. Temiz oda konusuna girmemekle birlikte hava koşullandırma konusunda hemen hemen her detay için örnek hesaplamalar ve detaylı çizimler yapılarak konunun kolay anlaşılmasına olanak sağlanmıştır.

Makine Mühendisleri Odasının [11] iyi bir kaynak yayını olarak öngörülen bu çalışmada klima tesisatı tasarımı, tüm detay hesaplamalarıyla birlikte sunulmaktadır.

Özer [12] tarafından yapılan deneysel çalışmada ameliyathane klima santrali için bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Değişik dış hava şartlarının soğutma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Hava tarafı soğutma kapasiteleri ile akışkan tarafı soğutma kapasiteleri karşılaştırılmış ve teorik hesaplamalara çok yakın değerler bulunmuştur.

Laminer akış üniteli deney düzeneği kurularak hava akışının laminer olduğunun izlendiği ve Dedehayır [13] tarafından yapılan çalışmada standartlara uygun tasarlanan ameliyathane modellerinde yapılan partikül ölçümleri, HEPA filtre sızdırmazlık ve laminer akış ünitelerinin standartları karşıladığı görülmüştür.

Ameliyathane hijyenik klima tesisatı ve yapı elemanlarının işlendiği bu teorik çalışmada; Özgür [14] ameliyathane iklimlendirme tasarımında konfor ve hijyen kurallarına dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Eren [15] tarafından yapılan bu teorik çalışmada ameliyathane klima tesisatı tasarım şartları hakkında değerli bilgiler verilmekte ve ameliyathane tasarımının standartlara göre yapılmasına dikkat edilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir.

Uğurlu [16] tarafından yapılan teorik bir çalışmada ameliyathane iklimlendirme sistemi konusuna değinildikten sonra ameliyathane kliması ekserji analizi yapılmıştır. Kış ve yaz sezonları için ayrı ayrı ekserji kayıpları hesaplanmıştır. En yüksek ekserji kaybının klima santrali bileşenlerine ait olduğu, bunu egzoz santrali ve bu santrale ait bileşenlerin takip ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Temiz odalarda mahaller arası basınç ve bu basıncın kontrolü ile ilgili olarak Özşeker [17] tarafından yapılan teorik bir çalışmada, bir simülasyon yapılarak dış etkilere göre basınç profilleri incelenmiştir. Daha çok kapı hareketlerine göre yapılan çalışmada basınç kontrolü ile oda içerisinde tanecik kontrolü üzerinde önemli etkisi olduğu ve basınç kontrol sisteminin tasarımı yapılırken sistemin devreye girme süresinin sistemin kararlılığı açısından kısa bir gecikmeyle olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çaycı [18] tarafından yapılan teorik bir çalışmada, ameliyathane klimalarında ısıtma ve soğutmada ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılması ile ilgili hesaplamalar yapılmakta ve sonuç olarak bu sistemlerin kullanımının verimli olduğu gösterilmektedir.

Eberliköse [19] tarafından yapılan teorik bir, çalışmada hastane hijyenik alanlarının ve özellikle de ameliyathane ve yan hacimlerin olması gereken mimari şartların ve yapı bileşenlerinin özellikleri üzerinde durulmuştur.

Isısan [20] kuruluşu tarafından hazırlanan bu kaynak eserde; hastaneler ve iklimlendirme sistemlerinin kullanıldığı hemen hemen tüm alanlarda, tasarım konusu detaylı olarak anlatılmıştır.

Öztürk ve Ecemiş'in [21] yaptığı teorik bir çalışmada hava yolu ile bulaşan hastalıklar ve özellikle hastanelerde hava yoluyla bulaşan hastalıklar hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca hastane havalandırma sistemlerinin hastane enfeksiyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anıl ve diğ. [22] tarafından yapılan teorik bir çalışmada ise hastanelerdeki hijyenik alanlar tanıtılmış ve bu alanlarda enfeksiyona neden olan kirlilik ve bu kirliliğin ortadan kaldırılma yolları anlatılmıştır. Ayrıca hijyeni sağlayan havalandırma sistemlerinin tasarım parametreleri ve çeşitli standartlara göre karşılaştırmaları verilmiştir.

Hastanelerde hijyenik alan tasarımının iklimlendirme sistemleri açısından teorik olarak inceleyen Kenter [23], iklimlendirme sisteminin sahip olması gereken özelliklerinin yanında sistemin periyodik bakımlarına da dikkat çekmiştir.

Sadece ameliyathane değil tüm temiz odaların tasarım kriterlerine genel olarak değinen Yazıcıoğlu ve Aykut [24], çalışmalarında özel olarak dikkat çeken konu temiz odalarda personel tarafından periyodik olarak yapılması gereken işlemler olmuştur.

Kenter [25] tarafından teorik olarak yapılan bu çalışmada temiz odalarda iklimlendirme sistemlerinin önemine değinilmiştir. Temiz odalarda iklimlendirme sistem tasarımlarının farklılığının nereden kaynaklandığı, iklimlendirme sisteminin özellikler ve hava akış şekilleri anlatılmıştır.

Ulutepe [26] yaptığı teorik çalışmada filtreleme konusunda özel bilgiler verilmiş ve filtre verimlerinin test metotları açıklanmıştır. HEPA filtrelerin yapı bileşenleri ve özellikleri de anlatılmaktadır.

Gülpınar [27] tarafından çevrilen bu çalışmada deneysel olarak ameliyathanede laminer akımı partikül sayısını azalttığı ve dolayısı ile enfeksiyon bakımından laminer akımın önemi gösterilmektedir.

Süngü [30] yaptığı teorik bir çalışmada partiküllerin özellikleri ve insan kaynaklı partiküller hakkında bilgiler vermektedir. Ayrıca çalışmada ameliyathanelerin hijyenik olması için gerekli işletme teknikleri anlatılmakta ve temiz odalar ile ilgili standart ve normlar listelenmektedir.

Peker [31] yaptığı teorik çalışmada ameliyathaneler için standart ve denetim konusunda ulusal çalışmaların yapılması gerektiği savunulmakta ve ameliyathanelerde yapılan test ve ölçüm yöntemleri anlatılmaktadır.

Hastanelerde iklimlendirme sistemlerinin önemine değinen Öztumur [32] yaptığı teorik çalışmada hastane iklimlendirme sistemi ekipmanları ve uluslar arası standartlara ve resirküle laminer akış sistemi hakkında bilgiler verilmiştir.

Güven [33] teorik bir çalışma sonucu yapmış olduğu bildiri hastane kliması için gerekli şartlar ve hastane iklimlendirme sistemi tasarımcıları için bir kaynak oluşturmuştur.

Sağlık kurumlarında özellikle ameliyathanelerde sıcaklık, basınç, nem ve hava hızı gibi birçok parametre üzerinde duran Söngü [34] yaptığı çalışmada ameliyathanede hijyenin sağlanması için bu parametrelerin standartlarda verilen değerlerde olması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Öztürk [35] yaptığı teorik bir çalışmada ultraviyole teknolojisi konusunda bilgiler vermektedir. Ultraviyole radyasyon ve ultraviyole lambaların dezenfeksiyon açısından kullanım alanları anlatılmış ve dezenfeksiyona büyük katkı sağlandığı sonucuna varılmıştır.

D'orazio ve diğ. [37] tarafından yapılan deneysel bir çalışmada ultraviyole ışınları aracılığıyla hastane havalandırma sisteminde HEPA filtre yüzeyine doğrudan ışınlama yapılarak ultraviyole etkinliği değerlendirilmiştir. Araştırmada; ışın uygulamasının filtrenin mikrobik yükünün azalttığı sonucuna varılmıştır.

Kırbaş [38] yaptığı teorik bir çalışmada ameliyathanelerde kontrol altında tutulması gereken parametrelerden biri olan basınç ve hava akışı konusuna değinmiştir. Yaptığı hesaplamalar sonucunda bir ameliyathane ile komşu bölümler arasında basınç farkı oluşturmak için bu farkı meydana getirecek hava debisi ile basınç değerinin tespit etmenin yeterli olmadığı sonucunu göstermiştir. Burada kapı boşluklarının ve diğer hava kaçaklarının buna neden olduğu ve bu nedenlerin dikkate alınarak yapılan hesaplamaların daha gerçekçi olduğu vurgulanmıştır.

Hastanelerde kirlilik kaynakları sadece dış hava veya insanlar değildir. Bazen inşaat ve tesisat sistemleri enfeksiyon kaynağı olabilmektedir. Dikkatleri bu konu üzerine

çekmek isteyen Ergon [39], özellikle inşaat onarımlarında dikkat edilmesi gereken hususları sıralamıştır. Bu hususları sıralamadan önce inşaat tiplerine ve risk gruplarına göre sınıflandırılması konusunda detaylı çalışma yapmıştır. Tüm bakım onarımlarla ilgili alınması gereken önlemleri anlatarak, bu anlatılanların yapılması halinde inşaat ve tesisat kaynaklı enfeksiyonun oluşumunun önemli miktarda azaltılacağı sonucunu vurgulamaktadır.

Bulgurcu [40] yaptığı teorik çalışmasında genel olarak iklimlendirme sistemlerinde bilgi teknolojilerinin kullanılarak hazırlanan yazılımlar hakkında bilgiler vermektedir. Burada psikrometrik hesap, ısı yükü hesaplama, cihaz seçimi, kanal çapı, boru çapı, basınç kaybı hesaplamaları ve iç hava kalitesi yazılımlarından örnekler verilmektedir.

Yine Bulgurcu [41] yaptığı bu çalışmasında iklimlendirme ve soğutma sistemleri eğitiminde bilgi teknolojilerinin kullanımı üzerinde durmaktadır. Bu çalışmasında iklimlendirme sistemlerine ait birçok yazılımın mevcut olduğu bu yazılımların daha yoğun kullanılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Havada bulunan kirletici maddeler konusunda bilgiler veren Köksal [42] bu kirleticilerin kaynakları, özellikleri ve kapalı mahallerdeki iç hava kirleticileri hakkında detaylı bilgiler sunmaktadır.

Heperkan ve diğ. [43] yaptığı teorik bir çalışmada temiz oda iklimlendirme sistem standartları karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Ana konu olarak da validasyon öne çıkmaktadır.

Kenter [44] tarafından yapılan teorik bir çalışmada temiz odaların önemi ve görevleri, temiz oda iklimlendirme sistemleri ve dikkat edilmesi gereken öğeler anlatılmaktadır. Yatırım aşamasında yapılacak olan bütünsel çözümler işletme giderlerinin düşük tutulmasını ve sistemin sürekli ve güvenli bir şekilde çalışmalarını sağlayarak, fazladan yapılacak yatırım giderlerinin kısa sürede geri dönüşümünde beraberinde getireceği sonucuna ulaşmıştır.

Temiz oda klima tesisatı tasarımında uyulması gerekli süreçler anlatılmış ayrıca hava akış şekilleri ve etkinleştirme konusu Bilge [45] tarafından teorik olarak incelenmiştir. Özellikle ameliyathanelerin validasyon çalışmalarının etkin olarak yapılması ve yaygınlaştırılmasının gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Özkaynak [46] tarafından yapılan teorik bir çalışmada, temiz odalarda kullanılan HEPA filtreler ve bu filtrelerin test standartları üzerinde durulmaktadır. Filtre sınıfları ve filtrelerle ilgili standartlar hakkında da bilgiler verilmektedir.

2. GENEL OLARAK TEMİZ ODA VE AMELİYATHANE STANDARTLARI

ASHRAE'nin [2] temiz odalar için yaptığı tanım şu şekildedir. "Temiz oda, özel olarak yapılmış, parçacık, sıcaklık, nem, hava basıncı, akış profili, titreşim, gürültü, canlı organizmalar ve aydınlatma yönünden kontrol edilen kapalı çevrelerdir."

ABD Hava Kuvvetlerince 1961 yılında yayınlanan "Temiz İş İstasyonları ve Temiz Odaların Tasarımı ve Kullanımı İçin Standart Fonksiyonel Prensipler" temiz odalar için ilk yazılı standart olmuştur. Bu prensipler 1963 yılında yeniden gözden geçirilip Federal Standart 209 olarak yayınlanmıştır [12].

Hastanelerde çeşitli amaçlar için kullanılmak üzere tasarlanmış hijyenik ortamlar mevcuttur. Bunlar şu alt başlıklar altında incelenebilir [22].

1. Ameliyathaneler
2. Doğumhaneler
3. Yoğun bakım üniteleri
4. Karantina odaları
5. Koruyucu ortam odaları
6. Otopsi odaları
7. Laboratuvarlar

DIN 1946/4 Standardına göre hastanelerdeki odalar yüksek hijyen gerektiren 1. sınıf odalar ve normal hijyen gerektiren 2. sınıf odalar olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Bu çalışmada birinci sınıf odalar üzerinde durulmaktadır.

1.Sınıf Odalar: Ameliyathaneler, ameliyathaneye açılan tüm ortamlar (koridor, depo, vb.), ameliyat öncesi hazırlama ve sonrası ortamlar, sterilizasyon, steril malzeme deposu, yoğun bakım gerektiren hasta odaları, yeni doğan bebek odaları, cerrahi bölüm ve enfeksiyon tehlikesi olan hasta odaları şeklinde sıralanmaktadır.

Ayrıca 1.sınıf odalardan olan ameliyathaneler de 1a ve 1b olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

1a Sınıf Ameliyathaneler: Oldukça yüksek hijyen gerektiren odalardır. Bu odalarda; hava akışı laminer akış ünitesi ile yapılmaktadır. Ameliyathanenin koruma bölgesi tıbbi müdahalelere bağlı olarak belirlenir. Laminer akış ünitesi (tek yönlü hava akımı) tam kapasite çalışır. (%100 taze hava debili olmalı) Uluslararası uygulamalarda (3 m)x(3 m)'den büyük koruma alanları uygun bulunmuştur.3.2x3.2 boyutlarındaki bir hava dağıtıcısı bu talebi gerçekleştirmektedir [5].

1a sınıfı ameliyathanelerde yapılan ameliyatlara; ortopedik ve kaza sonrası, kalp ve damar cerrahisi, nöroşürojik, ürolojik, jinekolojik ameliyatlara, transplantasyonlar, kemik iliği nakilleri ve geniş alanlı tümör ameliyatları olarak sıralanabilir.

2.1. Hastaneler İçin Temiz Odaların Önemi

Hastane havasının hijyenik olması hasta ve hastane ekibi sağlığı üzerinde büyük önem taşımaktadır. Hastane ortamlarında özellikle de ameliyathanelerde temiz hava kullanılmasının nedeni aseptik bir ortam oluşturulup bu ortamın korunmasıdır. Bu aseptik ortam sayesinde hastadan hastaya ve hastadan personele patojen geçiş riskini azalttığı gibi hastalarda ameliyat sonrası görülen enfeksiyon riskini de azaltmaktadır. Ameliyat sonrası enfeksiyonu, özellikle diz ve kalça eklemlerinin protez ameliyatları açısından büyük önem teşkil etmektedir. Bu tip ameliyatlarda çok derin kesiler açıldığından ve büyük protezler vücut içine yerleştirildiğinden ameliyat odasının havasının temizliği önemlidir. Gerek asılı kalmış parçacıkların ameliyat bölgesi ile direk teması, gerekse bu parçacıkların kullanılan ekipman ya da protezlerin üzerine yerleşmesi vasıtasıyla ameliyat bölgesine dolaylı olarak taşınması sonucu gelişebilecek ameliyat sonrası enfeksiyon, ameliyatın tamamen başarısız olmasına, hastanın ağrı duymasına, ameliyatın ağırlığı sebebiyle hemen ikinci bir ameliyat yapılamayan durumlarda ise, hastanın bu sorunu 6-12 ay çekmesine ve bu süre sonunda aynı ameliyatın tekrar yapılmasına yol açmaktadır. Diğer zorlu ameliyat türlerinde ise (organ ve kemik iliği nakilleri, beyin ve omurilik ameliyatları, vb.) ameliyat odası havasının temizliği aynı önemi taşımakta, oluşabilecek ameliyat sonrası enfeksiyon hastanın hayatını kaybetmesi ile bile sonuçlanabilmektedir [22].

Hastane enfeksiyonları hastaya bir haftada 1 200 USD ekstra maliyet getirmektedir. ABD’de maliyeti 6 milyar USD arttırdığı bilindiğine göre hem öldürücü olması hem de maliyetli olmasından dolayı önemsenmesi gereken bir konudur [1]. Bu maliyetin 1.6 Milyar Dolarlık kısmı ameliyat bölgesi enfeksiyonları için harcanmaktadır. Çizelge 2.1.’de hastane enfeksiyonu etkilerinin ABD ekonomisi üzerindeki yıllık etkisi görülmektedir [22].

Çizelge 2.1. Hastane enfeksiyonunun ABD ekonomisi üzerindeki yıllık etkisi

	Ekstra Gün		Ekstra Harcamalar		Doğrudan Enf. Kaynaklı Ölüm	Enfeksiyonun Yol Açtığı Ölüm
	Enf. Başına Ortalama	ABD Tahmini Toplam	Enf. Başına Ortalama	ABD Tahmini Toplam (1992) (\$)		
Ameliyat Bölgesi Enf.	7.3	3 726 000	3 152	1 609 000 000	3 251	9 726
Zatürre	5.9	1 339 000	5 683	1 290 000 000	7 087	22 983
Bakteremi	7.4	762 000	3 517	362 000 000	4 496	8 844
İdrar Yolları Enf.	1.0	903 000	680	615 000 000	947	6 503
Diğer	4.8	1 946 000	11 617	656 000 000	3 246	10 036
Toplam	4.0	8 676 000	2 100	4 532 000 000	19 027	58 092

Hastaneler için temiz odaların önemi üç madde halinde sıralanabilir [21]. Bunlar:

- Hastane enfeksiyonunu önlemek
- Bulaşıcı hastalıkların yayılmasını önlemek
- Antibiyotik kullanımını azaltarak sağlığı korumak ve ekonomik kaybı önlemek.

2.2. Temiz Oda Standartlarına Genel Bir Bakış

Temiz odalarla ilgili çeşitli ülkeler tarafından çıkarılan standartlar bulunmaktadır. Ancak hepsinin temeli 1963’te ABD de çıkarılan “U.S. Federal Standart 209” dur.

Daha sonra bu standart geliştirilerek 1988 yılında 209 D ve 1992 yılında SI birim sisteminde 209 E çıkarılmıştır. Çizelge 2.2.’de U.S. 209 E’ye göre temiz oda sınıflandırması (Klas) görülmektedir. Diğer bazı ülkelerin standartlarının

karşılaştırılması ise Çizelge 2.3.'de gösterilmiştir. Temiz oda klaslarının belirlenebilmesi için yapılacak ölçümlerde odanın kullanım durumunun da çok önemli olduğu anlaşılmış ve yanlış anlamalara ve karışıklıklara neden olmamak için federal standart 209 E'de üç ayrı hal tanımlanmıştır. Sırasıyla bunlar her şeyin tamamlanmış (klima sistemi, duvar, asma tavan yer döşemesi vs.) ancak içeride ekipman ve personelin olmadığı durumda yapılan ölçümler vs. (as build), buna ilaveten ekipmanın da yerine konması ile yapılan ölçümler (at rest) ve nihayet personel dahil üretim yapıldığı halde yapılan ölçümlerdir (operational). Bu tanımların gereksiniminden de anlaşılacağı gibi, çalışır halde klas-100000 ölçülen bir oda, durgun veya bitmiş halde klas 10000 olabilmektedir [20].

Çizelge 2.2. U.S.209 E'ye göre oda klasları

KLAS		Referans çapa eşit ve maksimum tanecik adedi/m ³ veya tanecik adedi/ft ³									
		0.1 µm		0.2 µm		0.3 µm		0.4 µm		0.5 µm	
SI	İNGİLİZ	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)
M 1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10	0.238	-	-
M 1.5	1	1240	35	265	7.5	106	3	35.3	1	-	-
M 2		3500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M 2.5	10	12400	350	2650	75	1060	30	353	10	-	-
M 3		35000	991	7570	214	3090	87.5	1000	28.3	-	-
M 3.5	100	-	-	26500	750	10600	300	3530	100	-	-
M 4		-	-	75700	2140	30900	875	10000	283	-	-
M 4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35300	1000	247	7
M 5		-	-	-	-	-	-	100000	2830	618	17,5
M 5.5	10000	-	-	-	-	-	-	353000	10000	2470	70
M 6		-	-	-	-	-	-	1000000	28300	6180	175
M 6.5	100000	-	-	-	-	-	-	3530000	100000	24700	700
M 7		-	-	-	-	-	-	10000000	283000	61800	1750

Çizelge 2.3. Çeşitli standartların karşılaştırılması

Tanecik/m ³ >0.5 µm	U.S. 209E 1992	U.S. 209D 1988	Fransa AFNOR 1981	Alman VDI 2083 1990	İngiltere BS 5295 1989	Jaonya JACA 1989	CEN	EEC GGMP 1989
1							0	
3.5				0		2		
10	M 1						1	
35.3	M 1.5	1		1		3		
100	M 2						2	
353	M 2.5	10		2		4		
1000	M 3						3	
3530	M 3.5	100	4000	3	E veya F	5		A+B
10000	M 4						4	
35300	M 4.5	1000		4	G veya H	6		
100000	M 5						5	
353000	M 5.5	10000	400000	5	J	7		C
1000000	M 6						6	
3530000	M 6.5	100000	4000000	6	K			D
10000000	M 7					8	7	

Hastaneler için temiz oda kuralları geçerlidir. Çeşitli ülkelerde sadece hastaneler için temiz oda standartları geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olanı DIN 1946/4'dır. Buralarda çeşitli maksatlarla kullanılan hastane odalarındaki minimum hava debileri, taze hava miktarları, sıcaklıklar gibi parametreler ile klima ekipmanlarında olması gereken özellikler açık bir dille anlatılmaktadır.

Birçok ülkede kullanılmakta olan standart ve kılavuzlar şunlardır [22].

1. Temiz odalar için düzenlenmiş Amerikan Standardı FED 209E ve Avrupa standardı ISO 14644.
2. Hastane havalandırması için düzenlenmiş Alman Standardı DIN 1946/4.
3. Hastane klima ve havalandırma sistemleri için düzenlenmiş İsviçre Standardı SWKI 99-3.
4. Hastane klima ve havalandırma sistemleri için DIN 1946/4; SWKI 99-3 standardından yola çıkarak hazırlanmış ve İsveç'te kılavuz, VDI 2167: Son değişiklikler ile filtrelemede iyileştirilme yapılmıştır. Resirküle hava kullanımı

şiddetle önerilmekte ve laminer tavan boyutu en az 9 m² olması yönünde arttırılmıştır.

5. Fransız hava standardı NF S90:351.
6. Hastane mahalleri iç hava kalitesine ilişkin Brezilya standardı NBR 7256.
7. İspanyol havalandırma standardı. UNE 100713: 2003.
8. Hollanda'da kullanılan hastane tasarımı ile ilgili kılavuz CBZ.
9. Hastane tasarımına mimari, mekanik ve elektrik açılarından yaklaşımlarda bulunan AIA Guidelines for Design and Constructions of Healt Care Facilities-Sağlık Binaları Tasarım ve İnşa Kılavuzu.
10. ASHRAE tarafından yıllık olarak yayınlanan el kitaplarından ilgili bölümlerdeki yönergeler ve ASHRAE HVAC Design for Hospital and Clinics-Hastane ve Klinikler İçin İklimlendirme ve Havalandırma Sistemleri Tasarımı El Kitabı.
11. CDC (Centers for Disease Control and Prevention) Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri yönergeleri.
12. HICPAC (Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee) Hastane Enfeksiyon Kontrol Uygulamaları Danışmanlık Komitesi Kılavuzları

2.3. DIN 1946/4 Standardı

Genel temiz oda standartlarının dışında hastanelere özgü standartlar da mevcuttur. Bu konudaki en yaygın standartlar DIN 1946/4'tür. Bu standart insanlar üzerinde tıbbi muayene, müdahale ve tedavi amacıyla kullanılan sağlık merkezleri, odaları ve ilgili alanları kapsamaktadır. 2008 yılında bazı değişiklikler yapılarak yeniden güncellenerek bu alman standardı direk sağlık alanlarına yönelik bir içeriğe sahiptir. Ülkemizde de standartlar arasında en çok kullanılan standart DIN 1946-4'tür.

Bu standartta;

- Odaların sınıflandırılması, havalandırma ve iklimlendirme gereksinimleri,
- Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin elemanları,
- HVAC sistemlerinde kabul ve nitelendirme testleri açıklanmıştır.

2.4. U.S. 209 D Standardı

1988 yılında geliştirilen bu standart 209 D ve 1992 yılında ise SI birim sisteminde revize edilerek 209 E olarak yayınlanmıştır. Bu standart 2001 yılında yürürlükten kaldırıldı. İlk yayınlanan Federal Standart 209 D’de temiz oda sınıfları; Sınıf 10, 100, 1 000, 10 000 ve 100 000 olarak adlandırılmıştır. Bu adlandırmada kullanılan sayılar, 1 feetküp (0.028 m³) hava içerisinde 0.5 mikron ve daha büyük boyuttaki zerreciklerin adet olarak geçmemesi gereken sayıyı ifade eder [12].

2.5. U.S. 209 E Standardı

209 D standardının sonraki versiyonunda metrik sistem kullanılmış ve Federal Standard 209 E yayınlanmıştır. Burada feet küpte verilen partikül sayısı metreküpe çevrilmiş ve bu sayının 10 üzeri logaritması alınmıştır. Örneğin Sınıf 100’deki partikül sayısı metreküp için oranlanırsa yaklaşık olarak 3 530 olur. Bu sayısında 10 üzeri logaritması alınırsa 3.5 çıkar. Böylece temiz oda sınıfları M 2.5; M 3.5; M 4.5; M 5.5; M 6.5 şeklinde adlandırılmaya başlanmıştır. Ancak maksimum tanecik adetleri değişmemiştir. Çizelge 2.2.’de U.S. 209 E’ye göre temiz oda sınıfları ve bu sınıflarda bulunması gereken maksimum tanecik adetleri verilmiştir [12].

Gerek tablolarda, gerekse şekillerde bulunmayan sınıflar için ve M 2.2; M 4.3 ve M 6.4 gibi sınıfların tanımlanması da mümkündür. Tanımlama 0.5 mikron çapındaki taneciklerin sayısına göre olacaktır. Bunun için Eşitlik 2.1 kullanılabilir [12].

$$\frac{\text{Tanecik Adedi}}{m^3} = 10^M (0.5/d)^{2.2} \quad (2.1)$$

Burada;

M: SI birim sistemindeki sınıf notasyonu,

d: Mikron cinsinden tanecik çapıdır, [μm].

Temiz oda sınıfının belirlenmesinde bir veya birden fazla tanecik çapında ölçüm yapılabilmektedir. Bu nedenle ölçümlerin hangi tanecik çapında yapıldığı

belirtilmelidir. Bir örnekle açıklayacak olursak; Sınıf M 2.5 (0.3µm ve 0.5 µm) olarak tanımlanan bir mekanın havasında 0.3 mikron ve daha büyük çaplarda metreküpte 1 060 tanecikten, 0.5 mikron ve daha büyük çaplarda ise 353 tanecikten fazlası bulunmamaktadır [12].

2.6. ISO 14644-1 Standardı

1999 yıl mayıs ayından beri yürürlükte olan, ISO-14644-1 standardında ise temiz odalar 9 sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 2.4.'de bu standarda göre her sınıf için 1 m³ hacim içerisinde bulunması gereken maksimum tanecik sayıları ve büyüklükleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. ISO-14644-1'e göre temiz oda sınıfları.

ISO 14644-1 Hava partikülleri temizlik sınıfı				
SINIF	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm
ISO 1	10	2		
ISO 2	100	24	10	
ISO 3	1 000	237	102	35
ISO 4	10 000	2 370	1 020	352
ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520
ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 000
ISO 7				350 000
ISO 8				3 500 000
ISO 9				35 000 000

Çizelge 2.4.'deki konsantrasyon düzeyleri aşağıda verilen denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır [28].

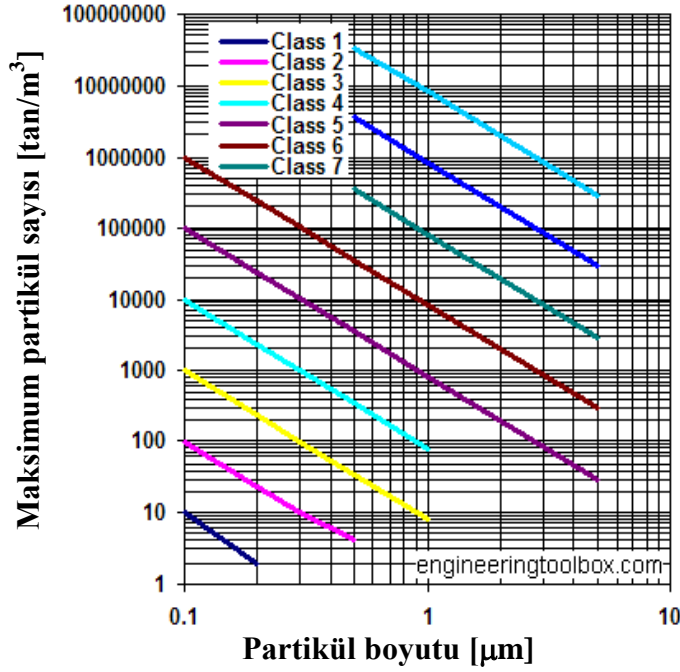
$$C_n = 10^N (0.1/D)^{2.08} \quad (2.2)$$

C_n: Değerlendirilen partikül boyutuna eşit veya daha büyük hava ile taşınan partiküllerin müsaade edilen en yüksek konsantrasyonudur (partikül/m³-hava).

N: 9'u aşmayan ISO sınıflandırma sayısıdır. Orta değerdeki ISO sınıflandırma sayıları müsaade edilen artış olan 0.1 aralıkları ile belirlenebilir.

D: değerlendirmeye alınan partikül boyutudur. [µm]

0.1: Sabit sayıdır.



Şekil 2.1. ISO 14644 standardına göre tanımlanan temiz oda sınıfları için partikül boyutu ve sayısı değişimi.

2.7. DIN 1964-4'e Göre Ameliyathane Sınıflandırması

Hastanelerdeki odalar için, Alman standardı DIN 1946 sınıf I ve sınıf II olmak üzere iki grup oluşturmuştur. Sınıf I odalar da Ia ve Ib olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır.

2.7.1. Sınıf Ia Kapsamına Giren Alanlar

En hassas ameliyathanelerin bulunduğu sınıftır. Düşük türbülanslı düşey akımlı hava yönelim sistemli ameliyathanelerde ameliyat alanları, steril ekipmanların bulunduğu alet masası ve steril kıyafetler giyen operasyon ekibini kapsamaktadır. Bu ameliyathanelerde istenilen standartta bir temiz odaya erişmek için yaklaşık 9 m² koruma alanı gerektiği vurgulanmıştır. Bu sınıftaki bir ameliyathanede travma ve

ortopedi ameliyatları, sinir cerrahisi, göğüs cerrahisi, organ nakli, kalp ve damar cerrahisi, jinekoloji, uzun süren ameliyatlara gibi operasyonlar yapılabilir.

2.7.2. Sınıf Ib Kapsamına Giren Alanlar

Sınıf Ia alanlar dışında kalan tüm ameliyathane odalarıdır. Türbülanslı veya dikey akışlı sistemler kullanılır ve tanımlı bir steril alan boyutu yoktur.

2.7.3. Sınıf II Kapsamına Giren Alanlar

Bu alana sınıf Ia ve Ib alanlar dışında kalan tüm tıbbi odalar, koridorlar ve depolar girmektedir. Ayrıca izolasyon bakım odaları, bulaşıcı hastalık taşıyan hastalar için enfeksiyon karantina odaları, doğumhaneler, pansuman odaları, endoskopi uygulama odaları, fizyoterapi, radyoterapi odaları, bazı hasta odaları ve koşulların bu sınıfta değerlendirilmektedir.

2.8. U.S. 209 E'ye Göre Ameliyathane Sınıflandırması

DIN 1946-4'deki Sınıf I US 209 E'ye göre Klas-M 3.5 (100) ve daha küçük klaslara denktir. M 4.5, ISO 6 ve M 5.5 yaklaşık olarak ISO 7 sınıfı odalara yakın kabul edilebilir.

2.9. ISO 14644-1'e Göre Ameliyathane Sınıflandırması

Temiz odaların sınıflandırılmasında ana kriter olarak, ortam havasında bulunan parçacık çapı ve konsantrasyonudur. Bir temiz odanın hangi temizlik sınıfına girdiği, gerekli ölçümler ve hesaplamalar yapıldıktan sonra belirlenir. Bu veriler ışığında DIN 1946-4'e göre Sınıf Ia olan bir ameliyathane ISO 14644-1'e göre ISO 5 Sınıfına tekabül etmektedir. Sınıf Ib ISO 6 ve Sınıf II için ISO 7 baz alınabilir.

3. HİJYEN KAVRAMI VE HASTANE ENFEKSİYONLARI

3.1. Hijyen Kavramı

Sağlığa zarar verecek ortamlardan korunmak için yapılan uygulamalar ve temizlik önlemlerinin tümü hijyen olarak adlandırılır [3].

3.2. Havada Bulunan Kirletici Maddeler ve Tanecikler

Genelde havadaki parçacıklar mikro-organizma taşıyıcı birer araçtırlar. Dolayısıyla havadaki parçacık sayısı ile ameliyat bölgesi enfeksiyon riski doğru orantılıdır. Bu riski azaltmak için havanın taneciklerden arındırılması gerekir. Şekil 3.1.'de [22] görülebildiği gibi mantarlar, sporlar ve bakterilerin büyük çoğunluğu 0.3 μm 'den büyük virüsler ise 0.3 μm 'den daha küçüktürler. Havalandırma sistemlerinde kullanılan HEPA filtreler 0.3 μm ve daha büyük partikülleri filtre sınıfına göre değişmekle birlikte büyük oranda szebilmektedirler. Böylece kirlenme önlenebilmektedir.

Ortamda sağlanan hijyenin korunması için ise, ortamdaki kirleticilerden ortama yayılan parçacıklarında temizlenmesi gerekmektedir. Bu parçacıkların havadaki konsantrasyonlarının düşürülebilmesi için, ortama uygun oranlarda hava sağlanması gerekmektedir. Yeterli hava değişim sayıları sağlandığı zaman hem ortam, var olan parçacıklardan arındırılmış olacak, hem de ortama yeterli taze hava sağlanmış olacaktır.

Çizelge 3.1. İnsanların hareketine göre yayılan partikül miktarları

İnsanın yaptığı hareketin cinsi	Yayılan tanecik sayısı 0.3 µm [adet/dakika]
Ayakta veya oturarak hareketsiz durma	100 000
Ayak, baş, el ve kolu hafifçe oynatma	500 000
Oturarak vücudu, kolu ve ayakları oynatma	1 000 000
Ayakta ve vücudu tam hareketli	2 000 000
Saatte 3.5 km hızla yürümek	5 000 000
Saatte 6 km hızla yürümek	7 500 000
Saatte 9 km hızla yürümek	10 000 000
Koşmak	15-30 000 000

Bunun yanında hapşırma, öksürme ve yüksek sesle konuşma bile birer kirlilik kaynağı olarak karşımıza çıkar. Çizelge 3.2., hızlı konuşan bir insandan yayılan tanecik adetleri hakkında fikir vermektedir [5].

Çizelge 3.2. İnsanın bazı durumlara göre yaydığı partikül sayıları

	İçerdiği tanecik sayısı	Mikrop Taşıyan Tanecik Sayısı
Bir kez hapşırma	1 000 000	39 000
Bir kez öksürme	5 000	700
Hızlı konuşma (100 kelime/dakika)	250	40

Kirlilik kaynaklarından en önemlilerden biri de klima ve havalandırma sisteminin mikro-organizmalar tarafından istila edilmesidir. Bu yüzden sisteme tasarım ve işletme sırasında dikkat edilmelidir [22].

3.3.1. Hijyenik Ortamda Kirliliği Azaltma Yöntemleri

Hastane hijyenik ortamlarda oluşan kirliliği azaltmak için alınması gereken önlemler, personel tarafından ve havalandırma sistemleri açısından alınanlar olarak iki başlık altında incelenebilir [22].

3.3.1.1. Personel Tarafından Alınması Gerekli Önlemler

Hastanedeki hijyenik ortamlarda görevli personel de ortam içinde çalışırken ortama parçacık yaymaktadır. Parçacık yayımını en aza indirmek için hijyenik ortamda görevli personel mutlaka maske, başlık, galoş, eldiven, önlük gibi parçacık geçirmeyen özel dokuma ile üretilmiş koruyucu kıyafetleri kullanmalıdır. Hijyenik ortama giriş çıkış az olmalı ve personel hareketleri en az seviyede tutulmalıdır.

3.3.1.2. İklimlendirme Sistemi İle Alınması Gereken Önlemler

Hijyenik ortamlar içinde, özellikle ameliyat odalarında birçok standart ve kılavuz kitaplarında belirtildiği gibi düzgün hava akış üniteleri kullanılmalıdır. Bu şekilde havanın akışı rahatça egzoz menfezlerine yönlendirilebildiği gibi oluşan parçacıklar da ortam içine yayılmadan ortamdaki uzaklaştırılabilir. Ayrıca ortama verilen havanın temizlenmesi için 0.3 µm üzerindeki parçacık büyüklükleri için % 99.97 verimlilikte HEPA filtreler kullanılması gerekmektedir. HEPA filtre sonrasında havadaki mikro-organizmalar büyük ölçüde engellenmiş olacaktır. Ayrıca ortamda sağlanan hijyenin korunması için, mahal içindeki kirleticilerden ortama yayılan parçacıkların da temizlenmesi gerekmektedir. Bu parçacıkların havadaki konsantrasyonlarının düşürülebilmesi için, ortama uygun oranlarda hava sağlanması gerekmektedir. Yeterli hava değişim sayıları sağlandığı zaman hem ortam, oluşan parçacıklardan arındırılmış olacak, hem de ortama yeterli taze hava sağlanmış olacaktır. Hijyenik ortam istenen basınç ilişkisini koruyacak debilerde hava egzoz edilmelidir. Ayrıca egzoz menfezlerinin yerlerinin seçiminde özen gösterilmelidir. Egzoz yapılırken ortam içerisindeki hava akışının ve ortam havasındaki parçacıkların egzoz menfezlerine yönlendirilmesi sağlanmalıdır. Tüm bu bahsedilen önlemler bir bütün içinde uygulandığı zaman hijyenik ortam içerisinde gerekli taze hava oranı sağlanmış ve ortam içerisindeki havanın temiz kalması garanti altına alınmış olmaktadır [22].

3.4. Hastane Enfeksiyonları

Hastaneye yattıktan 48-72 saat sonra gelişen veya taburcu olduktan 10 gün sonrasına kadar geçen süresinde ortaya çıkan enfeksiyonlar “Hastane enfeksiyonu” olarak adlandırılır. WHO verilerine göre hastanede tedavi gören hastaların % 10’unda hastane enfeksiyonu ortaya çıkmaktadır [3].

Hastaneden bulaşan ve diğer kurumsal enfeksiyonların toplam sayısı, yılda 4 milyonu aşmaktadır, bu sayı tüm kanserlerin, kazaların ve akut miyokardiyal enfarktüslerin toplamından çok daha fazladır [6].

3.4.1. Hava Kaynaklı Hastalıkların Yayılımı

Hastane enfeksiyonlarının gelişmesinde, konak, mikroorganizma ve çevresel faktörlerin karmaşık etkileşimleri önem taşımaktadır. Çevresel faktör olarak hastane ortamında canlı ve cansız rezervuar ve kaynaklar bulunabilmektedir. Hastanelerde hava yolu ile bulaşan enfeksiyonlar, çevresel rezervuarlardan herhangi bir yolla (insanlar, hava akımı, su, inşaat malzemeleri, cihazlar vs.) hastaneye giren mikroorganizmaların, içeride uygun ekolojik ortamda üremesi ve sonra havaya karışarak bir enfeksiyon kaynağı oluşturulmasıyla gelişmektedir. Solunum yolu enfeksiyonları, ya damlacıklar veya damlacık çekirdekleri içindeki patojenlere maruz kalınarak oluşabilir [17].

3.4.2. Hava Yolu İle Bulaşan Hastane Enfeksiyonları

Hava yolu ile bulaşma, çok uzun süreler havada asılı kalabilen küçük kütleli ve boyutlu (1.0 ve 5.0 mikron) partikül veya aerosollerin solunumu sonucunda ortaya çıkar. Enfeksiyona neden olan bakteri, virüs, mantarlar genelde tek bir mikroptan daha büyük formlarda, atomize edilen sıvı damlacıklardan geriye kalan “ damlacık çekirdeği”, deri hücresi, kurum gibi organik veya inorganik toz ve parçacıklara

tutunma yoluyla havaya bulaşır. Bu boyutlardaki parçacıklar, kolaylıkla ciğerlerin derinliklerine kadar solunumla nüfuz ederler. Bu partiküller, uygun hassas bir konakta veya yüksek konsantrasyonlarda vücudun bağışıklık sisteminin yenerek hastalığa neden olurlar.

HVAC sistemleri, sağlık hizmetleri tesislerinin toplam enfeksiyon kontrol çabaları içerisinde özellikle havada dolaşan enfeksiyonunun kontrolünde çok etkilidir [5].

3.4.2.1. Aspergilloz ve Diğer Fungal Hastalıklar

Aspergilloz, *Aspergillus* cinsine ait küfler tarafından oluşturulur. *Aspergillus* cinsi, hastanelerde, tozlu ve nemli ortamlarda ilişkili patojenlerin prototipini oluşturmaktadır. Bu türün çoğu, 12-53 °C arasında üreyebilen (optimal üreme ısısı, diğer saprofit mantarların üreyemediği 40 °C), termotoleran/termofilik bir mantar olan *Aspergillus fumigatus* tarafından meydana getirilir. Hastanelerde enfeksiyon yapabilen diğer fırsatçı mantarlar, Mucorales takımı üyeleri (Örneğin *Rhizopus* spp.) ve diğer bazı moniliyöz küflerdir. (Örneğin, *Fusarium* spp. and *penicillium* spp.) Hastane çevresinden kaynaklanan ve hastane havalandırma sistemindeki sorunlar nedeniyle, *Cryptococcus neoformans*, *Histoplasma capsulatum* ya da *Coccidioides immitis* nedenli hastane enfeksiyonları oluşabilir. *C. Neoformans* 4-8 µm çapında bir mayadır. *Pneumocystis carinii*'nin de hava yoluyla kişiden kişiye geçtiği ortaya konulmuştur [17].

3.4.2.2. Tüberküloz ve Diğer Bakteriyolojik Hastalıklar

Hava yoluyla geçiş ile en sık ilişkilendirilen *Mycobacterium tuberculosis*' dir. Kişilerin öksürme, hapşırma ve konuşması ile saçılan damlacık çekirdekleri aracılığıyla yayılır. Ayrıca hastaneler ile ilgili patojenlerden olan, *Staphylococcus aureus*, A gurubu beta hemolitik streptokoklar gibi gram pozitif koklar da kuruluğa dayanıklıdır ve uzun süre çevresel yüzeylerde yaşayabilirler. Bu organizmalar, şiddetli kolonizasyonu olan kişilerden saçılarak havaya yayılabilir. Havada yayılan S.

Aureus, burundaki bakteri konsantrasyonu ile doğrudan ilişkili bulunmuştur. S. Aureus ve A grubu streptokoklar ameliyathaneler, yanık üniteleri ve yeni doğan ünitelerinden dışarı havayoluyla geçişlerinden çok, direkt temas veya damlacık yoluyla geçişleri birinci derecede önemlidir. Gram pozitif bakterilerden olan Bacillus cereus kadın hastalıkları ve doğum, çocuk, yoğun bakım, bronkoskopi ünitelerinde bazı salgınların sorumlusu tutulmaktadır.

3.4.2.3. Hava Yoluyla Yayılan Viral Hastalıklar

Virüslerin hastane ortamından hava yoluyla yayılmaları çok yaygın değildir. Bazı kanıtlar enterik ve influenza virüslerinin hava yolu ile bulaştığı yönündedir. Hava yolu ile bulaşma, hantavirüslerin ve bazı kanamalı ateş yapan virüslerin (Ebola, Marburg, Lassa gibi) doğal yayılımında rol oynayabilir.

3.4.3. İklimlendirme Sistemine Bağlı Gelişebilecek Enfeksiyonlar

İklimlendirme sisteminde soğutma sisteminin evaporatörünü çevreleyen bölge havada bulunan nemin yoğunlaşmasına ve toz partiküllerinin tutularak bakteri, küf ve mantar gibi mikroorganizmaların gelişmesine neden olur. Bunların bazıları sağlığa zararlı olabilmektedir. Legionella Pneumophila'nın soğutma sistemleri gibi nemli ve soğuk ortamlarda gelişebildiği saptanmış zaman zaman ölümcül lejyoner hastalığına neden olduğu bilinmektedir. Zamanla yoğunlaşma tavaşı içerisindeki suda gelişen mikroorganizmaların, evaporatör, klima santrali veya fancoil fanı vasıtası ile iç mekan havasına ulaşarak enfeksiyona neden olur. Legionella Pneumophilla dışında benzeri ortamda üreyebilen patojenler ise; Pseudomonas aeruginosa, Acinetobacter türleri (Acinetobacter baumannii), Stenotrophomonas maltophilia, burkholderia cepacia kompleks (B. Cepacia), Aspergillus türleri (nozokomiyal invaziv aspergillozis), Pneumocystis carinii, Mikozytler (Absidia corymbifera)'dır [3].

3.5. Enfeksiyon Kontrolünde HVAC Sistemlerinin Rolü ve Önemi

Hastane havasının hijyenik olması hasta ve hastane ekibi sağlığı üzerinde büyük önem taşımaktadır. Hastanedeki hijyenik ortamlar içinde en büyük riski ameliyathaneler taşımaktadır [22].

Herhangi bir ameliyathanede havadan enfeksiyon kapma riskini 100 olarak kabul edersek DIN 1946/4'e göre yapılmış bir ameliyathanede bu risk % 0.033'e kadar düşmektedir [14].

HVAC sistemi, seyreltme havalandırması, bulaştırıcının egzoz edilmesi, yönlü hava akış kontrolü ve filtrelenmesinde olduğu gibi çevresel sıcaklık ve bağıl nemin kontrolünü de kapsayan “mühendislik kontrolü” sayesinde bulaşıcı enfeksiyonlar kontrol altına alınmaktadır. Birçok uygulamada, bu işlevlerin tamamı veya birçoğu, eş zamanlı olarak uygulanır. Seyreltme havalandırması, bulaştırıcının egzoz edilmesiyle beraber, bulaşıcı taşıyan havanın egzoz edilmesi yoluyla mahaldeki havada dolaşan bulaşıcıların yoğunluğunun azaltılması ve bulaşıcıdan arınmış ilave havanın ortama sirkülasyon sağlanması işlemidir [6].

3.5.1 Partikül-Enfeksiyon İlişkisi

Sağlık hizmetlerinde enfeksiyon kontrolünde havalandırmanın rolünü belirleyebilmek için öncelikle herhangi bir yaradan ya da solunum yoluyla enfeksiyonun nasıl bulaştığının iyice anlaşılması gerekir. Bulaşıcı partiküller her zaman enfeksiyona neden olmaz. Bulaşıcı partiküller yeteri kadar birikirse, bulaşıcı doz haline gelir ki, bu da konağın bağışıklık savunmasını yenebilir. Bu süreç, enfeksiyon ilişkilerinin biyolojik etkisiyle tanımlanır [6].

$$\text{Enfeksiyon} = (\text{Doz}) \times (\text{Yer}) \times (\text{Şiddet}) \times (\text{Zaman}) \times (\text{Zaman}) / (\text{Konak Savunma Seviyesi}) \quad (3.1)$$

Bu denklem havada dolaşan enfeksiyon partiküllerinin şüpheli konakta enfeksiyonun başladığı yerde kolonileşmesi için yeterince uzun bir süre bulaşıcı dozuna eşit ve ya

daha büyük bir konsantrasyonda olması gerektiğini ifade eder. Havalandırma, enfeksiyon parametrelerinin biyolojik etkileri arasında, havada dolaşan bulaşıcı partiküllerin konsantrasyonunun kontrolü ve maruz kalma süresini etkiler [6].

3.6. Patojenlerin Sınıflandırılması

Patojenler herhangi bir hastalığa neden olan mikroorganizmalardır. Fakat terim, toksik veya alerjen mantarlar dâhil solunum tahrişinin herhangi mikrobiyal taşıyıcılar için kullanılır. Solunum patojenleri üç ana grupta toplanmaktadır: Virüsler, bakteriler ve mantarlar. Mantar ve bazı bakteri özellikle aktinomisetler, spor oluştururlar. Sporlar, virus ve bakterileri yok edecek faktörlere karşı karakteristik olarak daha büyük ve daha dirençli olduğu için tasarımı sporları kesin ve ayrı bir kategori olarak dikkate almayı uygun bulabilir. Havada dolaşan patojenlerin sınıflandırılmasında en önemli tek fiziksel karakteristik, filtreleme etkinliğini direkt etkilediği için boyuttur. Şekil 3.1. spor, bakteri ve virüsler arasındaki boyut farkını görmek için havada dolaşan solunum patojenlerini grafiksel karşılaştırmasını sunmaktadır. Sol eksen ortalama veya tipik çap ve genişliği göstermektedir. Halkaların alanları mikropların gerçek boyutlarını göstermemekte ancak birbirlerine göre oransal çaplarını göstermektedir. Çapların mesafesi neredeyse dört kat büyüme göstermektedir. Bazı mikroplar oval veya dal şeklindedir ve sadece bunlar için en küçük boyut gösterilmektedir [6].

4. AMELİYATHANELER VE HVAC SİSTEMLERİ

ASHRAE, merkezi HVAC sistemlerini üç temel kategoride sınıflandırmıştır. Bunlar; tüm-hava sistemleri, su sistemleri ve hava-su sistemleridir [6].

Tüm hava sistemleri, soğuk havanın iklimlendirilen alana verilmesi yoluyla bütün hissedilir ve gizli soğutma kapasitesini karşılamaktadır. Bölgeden ilave, ısı uzaklaştırma gerekli değildir. Isıtma merkezi hava şartlandırıcıda veya bölgede (zonda) yapılabilir.

Hava ve su sistemleri, mahallere kurulmuş terminal ünitelerine hava ve su vererek, alanı iklimlendirmektedir. Hava su, merkezi makine dairelerindeki ekipmanlar tarafından soğutulur veya ısıtılır. Bu sistemler, genelde hava-endüksiyon ve su-endüksiyon ünitelerini ve fan-coil ünitelerini kapsamaktadır.

Tüm su sistemleri, mahalleri merkezi bir soğutma sisteminden elde edilen soğuk suyu iklimlendirilecek mahale veya yanındaki bir yere yerleştirilen ısı değiştirici veya terminal ünitelerde dolaştırmak suretiyle iklimlendirilir. Isıtma suyu ise aynı boru ağı yoluyla ya da bağımsız boru sistemiyle taşınır. Özel HVAC sistemleri, ısı depolama sistemini, kurutucu sistemi ve ısı geri kazanım sistemlerini kapsar. Isı geri kazanım sistemleri genellikle, HVAC sistemleriyle başarıyla bütünleşir. Serpantinden serpantine ısı geri kazanım sistemleri, sağlık hizmetleri tesis tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır [6].

4.1. Mimari Özellikler

Ameliyathane odaları klima sistemlerinin en önemli görevi, oda içerisindeki partikül sayısını en aza indirmek, ameliyat edilen hastanın enfeksiyon kapmasını engellemek, hastanın ve ameliyat ekibinin termik konforunu sağlamaktır. Hastane mimarisinde uzmanlaşmış mimar, hijyen konusunda ihtisaslaşmış bir doktor, hastane yöneticisi ve

mekanik tesisat proje müellifinin ortaklaşa yapacakları görüşmelerden sonra karara varılacak prensipler doğrultusunda mimari proje hazırlanmalıdır.

İyi bir hastane iklimlendirme sistemi, uygun olmayan bir mimari projeye optimal olarak kesinlikle tatbik edilemez. Asma tavan yükseklikleri, shaft büyüklükleri ve yerleri, cihaz yerleşim mahalleri, hava kilitlerinin yerleri mutlaka uzman klima tesisat tasarımcısının tavsiyesi ve onayı ile tespit edilmelidir.

Ameliyathanenin yeri seçilirken, ısı kayıp ve kazançlarını minimumda tutabilmek için bunlar binanın çekirdek bölümünde ve ara katlarda yer alacak şekilde planlanmalıdır ve ameliyathanelerin bulunduğu steril bölgede kesinlikle asansör öngörülmemelidir. Ameliyathane taban alanı genellikle yapılacak ameliyatların özelliklerine göre 25-45 m² arasında olabilir. Ciddi ameliyatlarda yapılacak ameliyathanelerde hastayı enfeksiyonlardan korumak için etrafında bir hava perdesi yaratılır. Bunu sağlayan ise ameliyat masasının hemen üstüne konan laminer akış ünitesidir. Asma tavan içerisinde yer alacak laminer hava akımlı hava dağıtım plenumlarının yerleştirilebilmesi ve hava kanal bağlantılarının kolayca yapılabilmesi için, hava kapasitelerine bağlı olarak, 50-80 cm arasında bir asma tavan arası yüksekliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla ameliyat odalarında, tesisat projesini yapacak mühendislerle danışarak, tavan yüksekliklerini 3.2-3.5 metre olarak tasarlamak gerekir. Normal apartman katı yüksekliklerini kabul ederek yapılacak bir mimari proje, klima sisteminin arzu edilen verimlilikte çalışmasını engeller. Laminer akımlı ameliyathane tavan plenumuna normal olarak iki kanal bağlantısı yapılır. Ancak zorunluluk halinde asma tavan yüksekliğini azaltabilmek için dört kanal bağlantısı da yapılabilir. Her ameliyathanenin müstakil bir klima santrali tarafından beslenmesi istenen ideal şartların sağlanması yönünden tercih edilir. Ancak ekonomik gerçeklerle benzer karakterde iki ameliyathane için bir santral kurulması yoluna gidilebilir. Mimari planlamada hastanın ameliyathane odasına girmeden önce bir hasta hazırlama odasına alınacağı, ameliyattan sonra da hasta uyanma odasına geçirileceği rasyonel bir akış yöntemi içinde düşünülmelidir. Genel olarak ameliyathane odalarında kullanılacak yapı malzemelerin toz ve mikrop tutmayacak, toz çıkarmayacak yüzeylere sahip olmaları ve dezenfeksiyon ameliyesi sırasında kimyasal tahribata uğramamaları gerekir. Yer döşemesi olarak antistatik, antibakteriyel aşınmaya karşı yüksek mukavemete sahip kondüktif PVC (Poli Vinil

Klorür) veya epoksi kaplama esaslı malzeme tercih edilmelidir. Gerekmesi halinde ayrıca topraklama da istenebilir.

Duvarlar ve tavan modüler tip olarak alüminyum veya çelik konstrüksiyon taşıyıcı sisteme monte edilerek panellerden yapılır. Duvar malzemesi olarak toz çıkarması ve derz yerlerinde bakteri üretmesinden dolayı seramik tercih edilmemelidir. Duvar panellerin yüzeyleri antibakteriyel, antistatik dezenfeksiyon sıvılarına mukavim boya kaplı galvaniz sac olabileceği gibi paslanmaz çelik de olabilir. Panellerin içi ses ve ısı kaybına karşı kaya yünü gibi yanmaz izolasyon malzemesi ile kaplıdır. Ayrıca paneller, kablo gibi tesisat malzemelerinin geçebileceği boşluklar içerebileceği gibi kanal ve tesisat boru geçişleri için şaft boşlukları temin edecek şekilde düzenlenebilirler. Tavan panelleri, filtre bakımı ve dezenfeksiyon işlemleri için açılabilir modüllerden oluşabilir. Panellerin üzerinde mikrop, bakteri gibi mikroorganizmaların yaşayamaması için mikrop öldürücü özelliğe sahip kaplamalar da geliştirilmiştir. Ameliyathane kapıları sürmeli, ayak ve diz darbesi ile açılabilen ancak manüel olarak da çalışabilecek yapıda olmalıdır. Kapıların üzerinde gözetleme camı konulabilir. Steril sahalara girişte veya hijyen uzmanının tavsiyesine göre başka yerlere giriş-çıkışta otomatik kumandalı, sürgülü iki kapılı hava kilit sistemi öngörülmelidir [20].

4.2. Tasarım Parametreleri

Konfor uygulamalarında klima ve havalandırma sistemleri tarafından kontrol edilmesi gereken üç parametre vardır. Bunlar sıcaklık, nem oranı ve hava değişim sayıları olarak sayılabilir. Oysa hijyenik ortamlar için tasarlanmış klima ve havalandırma sistemleri bu parametrelere ek olarak; havadaki parçacık ve mikroorganizma sayısını, hava hızını, hava dağılımını ve hijyenik mahal ile çevre mahaller arasındaki basınç ilişkisini de belirlenmiş değer aralıklarında kontrol etmelidir. Bu yedi parametrenin kontrol aralıklarına ilişkin olarak standartlar ve kılavuz kitaplar bulunmaktadır [22]. Bir çok ülkede kullanılan bu standart ve kılavuzlar bölüm 2.2.'de anlatılmıştır.

Hijyenik klima ve havalandırma sistemlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken parametreler konfor uygulamalarına oranla daha fazladır. Bu parametreler birçok standart ve kılavuzda tanımlanmıştır.

Sistemler, sağlanması gereken şartlarda göz önüne alınarak, standart ve kılavuzların içerdiği sınırlar dahilinde tasarlanmalıdır. Aşağıda verilen Çizelge 4.1.'in tamamlanması ve genişletilmesi için çalışmalar devam etmektedir. tablo standart ve kılavuzlarda verilen tasarım değerlerinin karşılaştırmasını vermektedir [22].

Çizelge 4.1. Standart ve kılavuzlarda verilen tasarım değerlerinin karşılaştırılması

Standart	Ameliyat ya da Ameliyat Odası Tipi	Sıcaklık	Nem	Filtreleme	Hava Hızı	Hava Dağılımı	Basınç	Basınç Farkı	Dış Hava Değişim Sayısı	Toplam Hava Değişim Sayısı
ASHRAE	A Sınıfı	18-26 °C	30-60%	-	0.25-0.45 m/s	Düztün/ Dikey	P	2.5-7.5Pa /35-47L/s	5*/15**/15 (lt/sn)/insan	25*/15**
	B Sınıfı			-						
	C Sınıfı			-						
AIA	A Sınıfı	20-23 °C	30-60%	-	-	Düztün/ Dikey	P	2.5 Pa	3	15
	B Sınıfı			-						
	C Sınıfı			-						
DIN	Sınıf 1	19-26 °C	30-60%	G4-F7-H13	-	Düztün/ Dikey /Karışık Havalı	P	20 m³/m	800-1200 m³/h	-
	Sınıf 2			G4-F7-H13						
CBZ	-	18-24 °C	-	F5-F7-F9-H13	-	Düztün/ Dikey	P	-	-	-
VDI	-	18-24 °C	30-50%	F7-F9-H10/H11-H13	0.20 m/s	-	P	-	-	-
NBR	Genel	19-24 °C	45-60%	G2-F2-A3	-	-	P	-	-	-
	Sezaryen	22-26 °C		-	-					
CDC	-	-	30-60%	-	-	-	P	-	3	15
HICPAC	-	-	30-60%	-	-	-	P	-	3	15
NFS90	-	-	40-60%	F6-F7-H13	-	Düztün/ Dikey	P	-	-	-
UNE100713	-	-	-	F6-F9-H13/H14	-	Düztün/ Dikey	P	-	-	-

4.2.1. Basınç

Hava akışını sürekli temiz ortamdan daha kirli ortama doğru tutmak için ameliyat odaları pozitif basınç altında tutulmalıdır. Bir ameliyat odasına sadece steril cihaz odalarından infiltrasyona izin verilebilir; çünkü steril cihaz odalarında da en az ameliyat odaları kadar temiz bir ortam oluşturulmalıdır. Ameliyat odaları bu mahall dışındaki bütün komşu mahallere hava akışını sağlayacak şekilde basınçlandırılmalıdır. Mahaller arası basınç farkında ASHRAE 2.5-7.5 Pa aralığındaki değerleri ya da bir mekandan diğerine 35-47 L/s hava akışı sağlanmasını önermektedir. DIN mahaller arası uygun hava akış yönünü korumak için mahalle, duvardaki açıklık (kapı ve pencere açılır uzunlukları) başına 20 m³ fazladan hava sağlanmasının önermektedir. AIA ise gerekli hava akışının sağlanabilmesi için mahaller arası minimum 2.5 Pa basınç farkı yaratılması gerektiğini söylemektedir. Temiz odalarla, bitişiklerinde bulunan diğer temiz odalar veya dış ortamda olması gereken basınç farklılıkları U.S. 209 D ve diğer ülke standartlarında belirtilmiştir. Buna göre pratikte uygulanan basınç farkları Çizelge 4.2.'de görülmektedir [20].

Çizelge 4.2. Temiz odalarda statik basınç farkları

Uygulama	Statik basınç farkı	Pratikte
Genel	Oda ile Çevresi arasında 12 Pa basınç farkı	10-25 Pa
Temiz oda ile kirlenmemiş bölüm arası	Minimum 12 Pa basınç farkı	10-25 Pa
Kirlenmemiş bölüm ile az kirlenmiş bölüm arası	12 Pa basınç farkı	10-25 Pa
Az kirlenmiş bölüm ile soyunma mahalleri arası	2.5 Pa basınç farkı	2-10 Pa

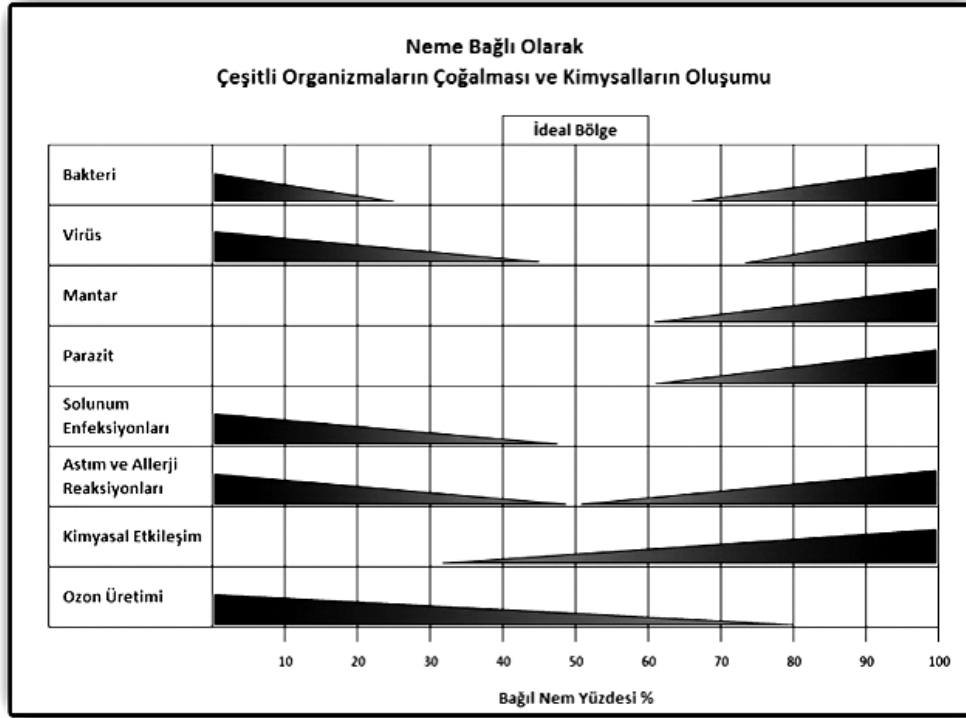
4.2.2. Sıcaklık

Ameliyat odalarında ameliyat ekibinin konforu önem teşkil eder. Personelin konforu kadar ameliyatın türü de sıcaklığın belirlenmesinde önem taşımaktadır. Genelde kalp ameliyatları 15-16 °C'de başlamakta ve ameliyat sırasında odanın sıcaklığı 26 °C'ye kadar yükseltilmektedir. Organ nakilleri için ise ameliyat odası sıcaklığı genelde 15-

16 °C olarak belirlenmektedir. Fakat pediatrik ameliyatlarda ameliyat odası sıcaklığı 30 °C civarında olması istenmektedir. Bunun sebebi çocukların yetişkinlere göre düşük sıcaklıklardan daha kolay etkilenmesidir. Burada dikkat edilmesi gereken husus; gerek çocuk gerek yetişkin hastalar için, hastanın hipotermiye girmesinin engellenmesidir. Yapılan çalışmalar 21 °C altındaki ameliyat odası sıcaklıklarında hastanın ısı kaybının yüksek olduğunu ve hipotermiye girme riskinin de yükseldiğini göstermiştir. Ameliyat odası sıcaklığını ASHRAE 18-26 °C, AIA yönergesi 20-23 °C, DIN 1946/4 19-26 °C ve CBZ kılavuzu ise 18-24 °C arası önermekte ve ortam sıcaklığının ameliyat ekibinin konforuna göre oda içerisinden ayarlanabilir olması gerektiğini vurgulamaktadır. NBR 7256 için ise önerilen sıcaklık 19-26 °C arasındır [22].

4.2.3. Nem

Ameliyat odasının bağıl nem oranı da personelin üzerinde büyük paya sahiptir. Ayrıca bağıl nem oranı ameliyat bölgesindeki yaranın kurummasında ve kanın pıhtılaşmasında büyük bir etkidir. Ameliyat odalarında yüksek bağıl nemin istendiği durumlar, göz ameliyatları ya da yanık ameliyatları gibi kurummasının istenmediği durumlardır. ASHRAE, AIA, DIN, CDC, HICPAC tasarım değerleri olarak % 40-60 arası bağıl nem oranlarını önermekte ve nem oranının ameliyat ekibi tarafından ayarlanabilir olması gerektiğini vurgulamaktadır. NF S90:351 için ise bağıl nem değerleri % 40-60 arasında tutulmalıdır. VDI 2167 tarafından önerilen nem oranı ise % 30-50 arasındadır. Brezilya standardı olan NBR 7256'ya göre bağıl nem oranı % 45-60 aralığında kalacak şekilde tasarlanmalıdır [22]. Sağlık kuruluşlarında organizmaların oluşumu, çoğalması ve kullanılan kimyasalların etkileşimini minimuma düşürmek için bu aralığın % 40 ila % 60 arası olması ASHRE tarafından işaret edilmektedir [34].



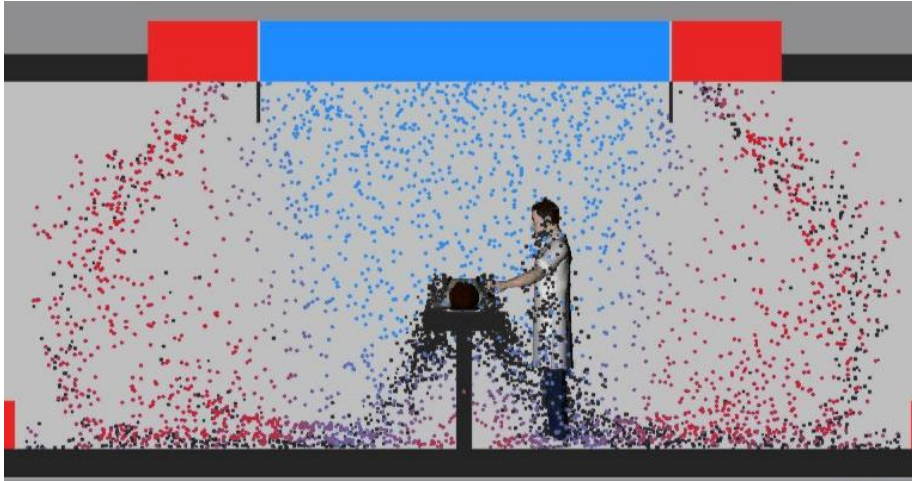
Şekil 4.1. Havadaki nem oranının mikroorganizmaların üremeleri üzerindeki etkisi [34]

4.2.4. Hava Dağılımı, Hava Akış Şekilleri ve Hava Hızı

Temiz odalarda hava dağılımı, laminer hava akışlı ve türbülanslı hava akışlı sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Laminer akışlı temiz odalarda (ameliyathaneler) hava akışı, bir çizgi şeklinde akmaktadır. Birbirine paralel olan bu akım çizgilerinin her noktasında, havanın hızı sabittir. Türbülanslı akışta ise hava akışı düzensiz ve hava akım çizgileri rastgeledir. Yapılan bir deneyde aynı kirlilik oranındaki laminer ve türbülanslı akış yönüne konan besi kabında, laminer akışta kaba yapışan mikroorganizmaların sıfır, türbülanslı akışta ise 200 adet olduğu görülmüştür. Buradan çıkan sonuca göre, ameliyathanelerde hiç olmazsa ameliyat masalarının üzerinde mutlaka laminer akış sağlanmalıdır [30].



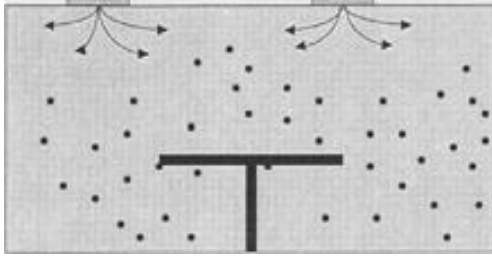
Şekil 4.2. Laminer akış ve koruma alan çizgileri [31]



Şekil 4.3. Hava akış sistemi ve havanın oluşturduğu akım [31]

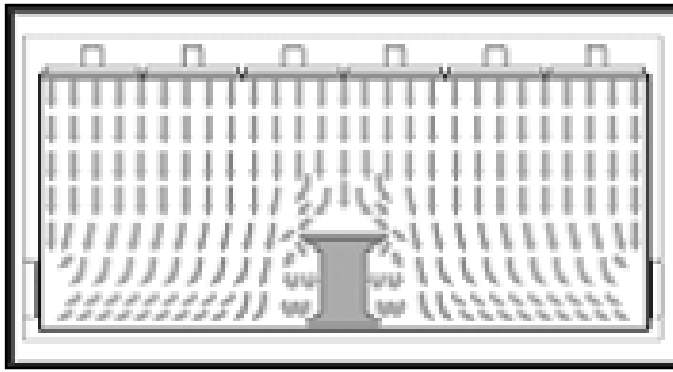
Hava hızı ameliyat bölgesinde kurumaya sebep olduğundan önemli bir faktördür. Hava dağılımının düzgün ya da karışık olacağı konusunda belirleyici faktördür. Karışık hava akışlı ameliyat odaları genellikle eski hastanelerde kullanılmakta olup daha çok genel cerrahi ameliyatları için kullanılmaktadır.

Fakat incelenen tüm standartlara ve kılavuzlara göre karışık hava akışlı ameliyat odası kullanılması hijyen açısından tavsiye edilmemektedir. Bunun en önemli sebebi karışık havalı sistemlerde mahal içindeki parçacıkların tüm hacme homojen olarak yayılmasıdır. Bu şekilde ameliyat odası içinde bir temiz bölge oluşturmak mümkün değildir [22].

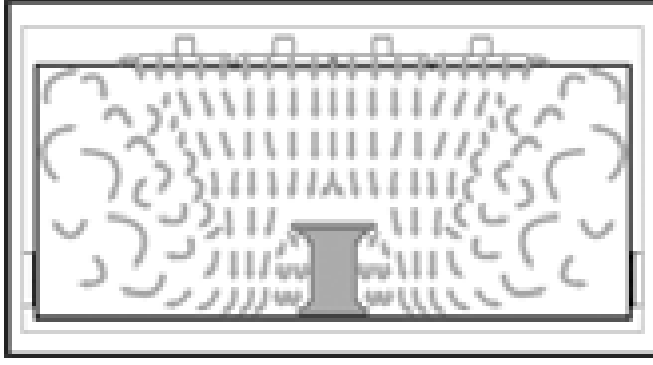


Şekil 4.4. Karışık hava akış düzeni

Düzenli akışlı ameliyat odalarında ise temiz bölge oluşturulması çok daha kolaydır. Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'de iki farklı şekilde tasarlanmış temiz bölgeler görülmektedir. Şekil 4.5.'de görülen ameliyat odasına düzenli hava akışı sağlandığı görülmektedir. Fakat düzenli akış üniteleri pahalılığından dolayı bu sistem sıklıkla kullanılan bir sistem değildir. Şekil 4.6.'deki sistemde ise sadece hasta ve ameliyat ekibi üzerinde bir temiz bölge oluşturulmuştur. Bu sistemde, sadece ameliyat masası üzerinde temiz bölge yaratılıp diğer alanlardan bu bölgeye hava geçişini kısıtlamak amaçlanmıştır. Bu sistem tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ameliyat masası üzerinde yaratılmak istenen temiz bölgeye çevreden kirli havanın girişinin engellenmesi amacıyla pratikte çeşitli firmalar tarafından hava perdeleri kullanılması önerilmektedir.



Şekil 4.5. Tek yönlü düzenli akışlı oda



Şekil 4.6. Karışık yönlü düzgün akışlı oda

İncelenen yönerge ve standartlarda kullanılması önerilen hava dağılım sistemleri dikey ve düzgün hava akışlı sistemlerdir. Bu sistemlerde havanın ameliyat masasından egzoz menfezlerine yönlendirilmesi gerekmektedir. Egzoz menfezleri yerleşimi için ise öneriler, en az iki adet menfezin düşük seviyeden emiş yapması yönündedir. Ameliyat odalarında kullanılan kimyasal ve anestezi gazlarının yoğunlukları sebebiyle en yüksek konsantrasyonlarının yer hizasında olduğu göz önünde bulundurulursa bu gazların ortamdaki uzaklaştırılabilmesi için düşük seviyeli menfez yerleşiminin şart olduğu görülmektedir. Hollanda'ya ait CBZ standardı, dikey ve düzgün hava akış profilini uygun göstermektedir. NF S90:352 ve UNE100713:2003 ise Şekil 4.5.'de görülen dikey ve düzgün hava akışı sistemini önermektedir. DIN tarafından önerilen sistem dikey ve düzgün hava akış üniteleridir. Hava hızı için VDI 0.20 m/s önerirken, ASHRAE kılavuzları ise 0.25-0.45 m/s hızı tavsiye etmektedir [22].

Jaisinghan, R'nin [2001] oluşturduğu bir modelde yaptığı bir çalışma sonucunda 0.3 m/s'nin üzerindeki hızlarda oda konsantrasyonunda bir azalma olmadığı gözlemlenmiştir [2].

4.2.5. Standartlara Göre Hava Debisi ve Hava Değişim Sayıları

Her bir temiz odaya gönderilecek hava debisinin saptanmasında, iki önemli kriterin aynı anda sağlanması gerekir. Bunlardan birincisi oda yükünün (makine, aydınlatma ve insanlardan gelen ısı yükleri ile oda duvar, tavan, döşeme ve pencerelerinden olan

ısı kazançları) karşılanması için gerekli şartlandırılmış minimum hava debisinin odaya sevkidir. İkincisi ise odada istenen hijyenik sınıfın sağlanabilmesi için gerekli minimum hava değişim sayısıdır. Hava değişim sayısı arttıkça, oda içinde ölü bölgelerin bulunma ihtimali azaldığı gibi, havanın saatte filtreden geçme sayısı da arttığından, daha kısa sürede daha temiz bir ortam elde etmek mümkün olabilmektedir. Güncel standartlarda hava değişim sayısı ile kesin rakamlar bulunmamakla birlikte, GMP kurallarının bir önceki versiyonunda belirtildiği gibi, durgun halde klas D yani Klas-10 000 odada saatte minimum 20 değişim isterken, tavanı tamamen HEPA filtreler ile kaplı 3 m yüksekliğinde Klas-10 bir odada hava değişimi saatte 540 kez olabilmektedir. Genel olarak hava değişimi birinci kriter de dikkate alınarak tasarımcının tecrübesi, kullanıcının isteği, işin ekonomikliği ve odada bulunan kişi sayısı, makine cinsine bağlı olarak tayin edilmektedir [20]. Genel olarak temiz odalarda hava dağılımı a) pahalı ama temiz olarak kabul edilen laminer ve b) ucuz bir çözüm olan türbülanslı akış olarak ikiye ayrılır. Laminer akışta akış çizgileri birbirlerine paraleldir ve hız yaklaşık olarak her yerde aynıdır. Paralel akış çizgileri önüne bir engel çıktığı zaman, ona çarparak engel etrafında dönüp tekrar paralel hale gelir. Türbülanslı akış adından da anlaşılacağı gibi düzensiz bir akıştır, akım çizgileri rastgele dağılmıştır. Yapılan bir deneyde, aynı kirlilik oranındaki laminer ve türbülanslı akış önüne konan mikroorganizma üretme kaplarında, laminer akışta kaba yapışan mikroorganizmalar ile sıfır kirlilik (kontaminasyon) ölçülürken, türbülanslı akışta % 64 ve % 200 ölçülmüştür. Buradan ameliyathanelerde hiç olmazsa ameliyat masalarının üzerinde muhakkak laminer akış olması gerektiği saptanmıştır [20].

Ameliyat odalarında gerekli iç hava kalitesini sağlamak için ortama taze hava sağlanması gerekmektedir. Tam dış havalı sistemlerde ortama verilen havanın tamamı taze hava olurken birçok standart ve kılavuz (NBR 7256, ASHRAE, CDC, HICPAC, AIA gibi) enerji tasarrufu için karışım havalı sistemleri de önermektedir. Bu tip uygulamalarda ortama sağlanan taze hava önem kazanmaktadır. Sağlanan taze hava ile ortamdaki parçacık ve kimyasal gazların konsantrasyonu da düşürülmektedir.

Anestezik ve kimyasal gazların ortamdaki uzaklaştırılabilmesi için DIN 1946/4 tarafından önerilen taze hava miktarı 800-1 200 m³/h iken CDC ve HICPAC

kılavuzlarının önerisi saatte üç taze hava değişimi ve onbeş toplam hava değişimi olarak belirtilmiştir. ASHRAE kılavuzu taze havalı sistemlerde 15 hava değişimi önerirken karışım havalı sistemler için 25 toplam ve 5 taze hava değişimi istenmektedir. Ayrıca ASHRAE'ye göre hava değişim oranı insan başına 15 L/s değerini sağlamalıdır. AIA kılavuzu ise 3 taze hava değişimi ve 15 toplam hava değişimini önermektedir [22].

Belirli bir temiz oda için üfleme havası hacmi Q (m^3/s) Eşitlik 4.1'deki gibidir [9].

$$ACH = \frac{3600Q}{LWH} \quad (4.1)$$

Burada;

L: Odanın uzunluğu, [m]

W: Odanın eni, [m]

H: Odanın yüksekliği, [m]

ACH: Saatte havadaki değişim miktarı. [kez/h]

Tecrübeler göstermiştir ki karışık akımlı bir ameliyathanede sterilite sağlayabilmek için minimum 2 400 m^3/h besleme hava debisi gereklidir. Bu debide havadaki mikroorganizma konsantrasyonu, referans mikroorganizma konsantrasyonu verir (KBE/M^3 veya $CFU-colony forming units/m^3$). Süpürmeli akımlı (laminer flow) sistemlerinde bu referans mikroorganizma sayısı, korunmuş kirlenme faktörü (μ_s :contamination factor) kadar düşük debi ile sağlanabilir [14].

$$\mu_s = k_s/k_r \text{ (korunmuş bölgedeki kirlenme faktörü)} \quad (4.2)$$

k_s : korunmuş bölgedeki ortalama mikroorganizma konsantrasyonu, [adet/ m^3]

k_r : üflenilen hava debisinde odadaki ortalama mikroorganizma konsantrasyonu, [adet/ m^3]

E_s : havadaki taşınabilen mikroorganizma konsantrasyonu, [adet/ m^3]

$$E_s = k_s/k_r^* = \mu_s \cdot k_s/k_r^* = \mu_s \cdot V_{zu}^*/V_{zu} \quad (4.3)$$

k_r^* : odada V_{zu}^* debisindeki referans mikroorganizma konsantrasyonu

V_{zu}^* : referans hava debisi, [2400 m^3/h]

V_{zu} : gerçek hava debisi, [m^3/h]

$$V_{zu \min} : 2400\mu_s/E_{szul} \quad (4.4)$$

E_{szul} : korunmuş bölgedeki ve odanın hijyenik kalitesinin bir ölçüsü sayılan havada ki mikroorganizma konsantrasyonunun limit değeri.[adet/m³]

$V_{zu \min}$: E_{szul} 'u sağlanabilen minimum hava debisi. [m³/h]

Ancak $V_{zu \min}$ ancak ampirik olarak tespit edilebilmektedir. Ve sistem eğer karışık akımlı ise μ_s 'nin 1'den az olduğu DIN standartlarında belirtilen testler yapılarak bulunmalıdır. Korunmuş bölgede havadaki mikrop konsantrasyonu için limit değerler aşağıda verilmiştir.

- a) A tipi ameliyathaneler için 2/3. Bu ameliyathanelerde özellikle yüksek seviyelerde sterilite gereklidir. Bu ameliyathaneler laminar akımlı olmalıdır.
- b) B tipi ameliyathaneler için 1. Bu ameliyathanelerde özellikle yüksek seviyelerde sterilite gereklidir. Bu ameliyathanelerde havalandırma sistemi karışık akımlı veya laminar olabilir.

E_{szul} : 2/3 olan minimum değer, pratikte, ancak etkili bir süpürme akımlı havalandırma sistemi yani laminar akımla sağlanabilmektedir ($\mu_s < 2/3$).

4.2.5.1. Değişken Hava Debili (VAV) Sistemleri

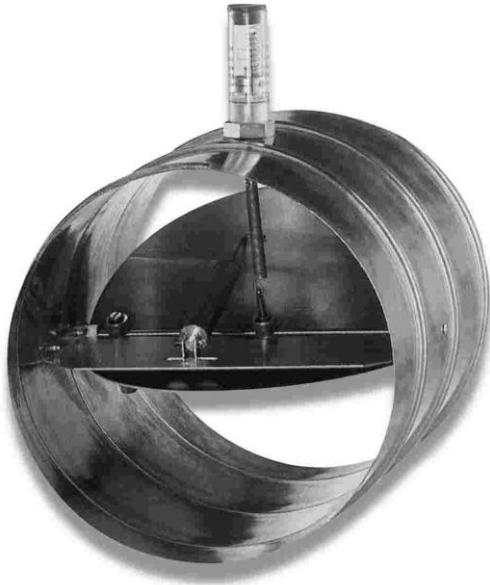
VAV sistemleri, yüklerin azami yükten daha az olduğunda iklimlendirilmiş havanın volümetrik debisini değiştirmek fan enerji tasarrufu sağlar. Sistemin kullanıldığı alanlardaki azami yükler eş zamanlı olarak meydana gelmediğinde bu sistemler, sabit debili sistemlerle karşılaştırıldığında azaltılmış fan ölçülerinin kullanılmasına bazen izin verilebilir.



Şekil 4.7. Örnek bir VAV kutusu

4.2.5.2. Sabit Hava Debisine Sahip (CAV) Sistemleri

CAV sistemleri, VAV sistemleriyle karşılaştırıldığında her zamanki gibi düşük soğutma talepleri süresince fan enerjisini düşüremediğinden daha yüksek işletme enerjisi maliyetine neden olur. CAV sistemleri, her zamanki gibi soğutulmuş beslenme havasını ayrı bölgelerin gereksinimlerini karşılayan karışım kutularına (çift kanal) veya terminal ilave ısıtma serpantinlerine (tek kanal) dağıtmak için tasarlanmıştır.



Şekil 4.8. Örnek bir CAV kutusu

4.2.5.3. Çok Bölgeci Sistemler

Bu sistemler sabit debi sisteminin bir parçası olup, klima santrali ünitesinden hizmet verilen her bölgeye tahsis edilmiş besleme kanallarını kapsar. Çok bölgeci sistem, bölge sıcaklık sensörlerinden aldığı sinyale bağlı olarak klima santrali içine yerleştirilen bölge damperlerinde sıcak ve soğuk hava akımını karıştırır.

4.3. Hijyenik Klima Santralinin Genel Özellikleri

Hijyenik klima ve havalandırma sistemlerinde konfor uygulamalarına ek olarak mikroorganizma ve partikül sayısı temiz oda sınıflarında gerekli limit değerleri ve toleransları sağlamalıdır. Bu tip uygulamalarda, kontrol edilmesi gereken parametrelerin sayısının fazla olması, sistemin tasarımı ve cihaz seçimini konfor klimasına göre daha kapsamlıdır.

Hijyenik klima santralinin ana elemanları aşağıda sıralanmıştır [5].

1. Emiş hücresi
2. Birinci filtre
3. İkinci filtre
4. Isıtıcı serpantin
5. Soğutucu serpantin
6. Buharlı nemlendirici
7. Fan hücresi
8. Susturucu
9. Üçüncü filtre
10. Çıkış hücresi

Santral imalatında kullanılan contalar dâhil bütün elemanlar sağlık açısından bir sakınca arz etmeyen, zaman içinde koku ve kimyasal gazlar çıkarmayan, mikroorganizmalar için besin kaynağı ve yaşam alanı oluşturmayan maddelerden yapılmış olmalıdır. Ayrıca bu malzemelerin yangına karşı da dayanıklı olmaları gerekmektedir. Nemli hava ile temas eden bütün yüzeylerin korozyona dayanıklı

olmasının yanında, şartlandırılacak hava ile temas eden bütün yüzeylerin kullanılabilir dezenfeksiyon maddelerine de dayanıklı olması gerekmektedir. Santral içinde sızdırmazlık için kapı, pencere, damper, filtre kasası gibi yerlerde kullanılan bütün contalar gözeneksiz, kapalı, nem almayan, koku yapmayan malzemelerden yapılmış olmalıdır.

4.4. Filtreler

Temiz odalarda kullanılan klima sistemlerinde istenen özelliklerin başında havanın odada sağlanması arzu edilen klasa göre taneciklerden arındırılmış olarak içeriye sevk edilmesidir. Bu ise havanın çeşitli kademelerde filtrelerden geçirilmesi ile sağlanabilir. İstenmeyen bazı gazların ve kokuların giderilmesinde kullanılan aktif karbon filtreler ile farklı prensibe göre çalışan elektrostatik filtreler dışında, klima sisteminde kullanılan filtreleri Çizelge 4.3.'deki gibi gruplandırmak mümkündür. İstenen klasa hassaslaştıkça sistemde kullanılan filtre verimi de artar. Örneğin Klas-100 000 bir temiz oda için santral içine sırasıyla EU3-EU7-EU9 filtre grubu yeterli olabilirken, Klas-10 000 bir temiz odada en son noktada, yani tavan difüzörünün altında yukarıda sözü geçen santral filtrelerine ek olarak HEPA filtreler kullanılır.

Filtrelerin Sınıflandırılması;

Grup G (Kaba toz filtreleri): G1, G2, G3, G4.

Grup F (İnce toz filtresi; Hassas filtreler): F5, F6, F7, F8, F9.

Grup H (HEPA; Yüksek verimli filtreler): H10, H11, H12, H13, H14.

Grup U (ULPA-Ultra Low Penetration Air; Ultra düşük geçirimli hava filtreleri): U15, U16, U17.

Çizelge 4.3. Filtre Sınıfları ve verimlilikleri [7]

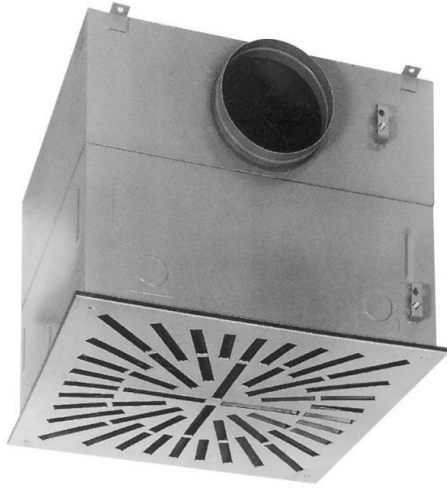
En 779 Sınıfı	Ort. Toz Tutuculuk	Ort. Verimlilik	Bölgesel Verimlilik
G1	$50 \leq A_m < 65$		
G2	$65 \leq A_m < 80$		
G3	$80 \leq A_m < 90$		
G4	$90 \leq A_m$		
F5	-	$40 \leq E < 60$	
F6	-	$60 \leq A < 80$	
F7	-	$80 \leq A < 90$	
F8	-	$90 \leq A < 95$	
F9		$95 \leq E$	
H10		≥ 85	
H11		≥ 95	
H12		≥ 99.5	
H13		≥ 99.95	99.75
H14		≥ 99.995	99.975
U15		≥ 99.9995	99.9977
U16		≥ 99.99995	99.99975
U17		≥ 99.999995	99.9999

4.4.1. Yüksek Verimlilikteki Filtreler

HEPA (High efficiency particulate arresting- Yüksek etkinlikte partikül yakalayıcı) ve ULPA (Ultra low penetration air- Ultra yüksek verimli) filtreler partikül tutmada çok önemli yer tutmaktadır.

4.4.2. HEPA Filtreler

HEPA filtreler yüksek verimlilikte partikül tutucu hava filtreleridir. 0.3 μm çapındaki partiküller için verimliliği, % 99.97'den % 99.995'e kadar değişmektedir. HEPA filtreler, temizlenirken normal debisinde maksimum 250 Pa karşı basınçta hava geçiren, kirlendiği zaman atılan filtrelerdir. HEPA filtreleri oluşturan öğeler şöyledir:



Şekil 4.9. HEPA filtre kutusu



Şekil 4.10. HEPA filtre

Medya; kompakt filtre elemanı biçimini vermek için yelpaze (pli) şeklinde katlanır ve genelde kâğıt olur. Plilerin dar aralık oluşturacak şekilde katlanması gerekir. Böylelikle ihtiyaca uygun miktarda medya ahşap veya metal çerçeve içine kolaylıkla yerleştirilebilir. Filtre kâğıdının hava akımına karşı direnci yüksektir, bu bakımdan medya hızı genellikle 0.03 m/s düzeyinde seçilmelidir.

Seperatörler; medyayı destekler ve hava akımının medyaya ulaşmasını ve medyanın içinden geçip temiz hava tarafına çıkmasını sağlayan kanalları oluşturur.

Filtre paketi; medya ile seperatör malzemesi birleştirildikten sonra kâğıdın pliler halinde katlanmasıyla oluşturulan formdur.

Filtre çerçevesi; filtre paketinin içine monte edildiği sert muhafazadır.

Dolgu macunu; yapıştırıcı veya sızdırmazlık sağlamak amacıyla yapılan materyaldir.

Conta; filtre çevresinden filtre edilmemiş havanın temiz tarafa geçmesini önlemek için tasarlanmıştır.

4.4.3. ULPA Filtreler

HEPA filtrelerden daha hassas filtreler olup Çizelge 4.3.'de verim değerleri gösterilmiştir.

4.5. Filtrasyon Kavramı

Genelde havadaki parçacıklar mikro-organizma taşıyıcı birer araçlardır. Dolayısıyla havadaki parçacık sayısı ile ameliyat bölgesi enfeksiyon riski doğru orantılıdır. Bu riski azaltmak için havanın filtrelenmesi gereklidir. Filtreleme işlemi için 0.3 µm'den büyük parçacıklar için en az % 99.97 verimliliğe sahip HEPA filtrelerin kullanılması incelenen tüm standart ve kılavuzlar tarafından önerilmektedir. Eğer hastane enfeksiyon komiteleri gerekli görürse daha yüksek verimlilikte (% 99.997, % 99.9997) HEPA filtreler kullanılabilir. Şekil 3.1'de görülebileceği gibi 0.3 µm'lik

parçacıkların elenmesi havayı parçacık ve mikro-organizma açısından büyük oranda temizlemektedir.

AIA, ASHRAE, CDC ve HICPAC % 99.97 verimlilikte HEPA filtreyi son filtre olarak tavsiye etmektedir. Ayrıca çok kademeli filtreleme sistemleri kullanılmaktadır. VDI 2176'ye göre HEPA filtreli terminal ünitelerden önceki filtre kademeleri F7, F9 ve H10 ya da H11 olarak belirlenmelidir. NF S90:351'de ise en yüksek risk seviyesine sahip ameliyat odaları için tavsiye edilen minimum filtreleme zinciri F6, F7 ve H13 şeklindedir. CBZ'de ise bu sıralama F5 , F7, F9 ve H13 olarak önerilmektedir. UNE 100713:2003 tarafından önerilen sıralama ise F6, F9 ve H13 yada H14 şeklindedir. DIN 1946/4 standardı filtre sıralamasının F5, F9 ve H13 olarak önermektedir [22].

4.6. Fitrasyonun Derinlik Geçişi Mekanizması

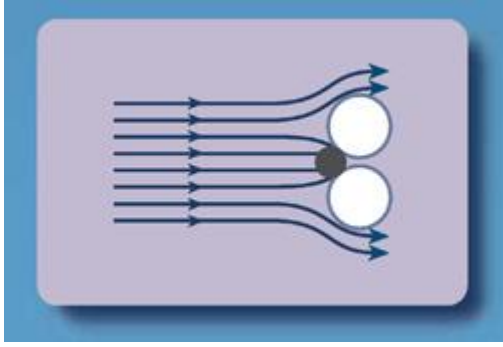
Bu mekanizma, gözenek çapları yapı üzerinde nispeten daha büyük olan ve kalınlık boyunca değişkenlik gösteren keçe ve dokusuz yüzey malzemeler için geçerlidir. Parçacıkların çapın daha küçük olduğu birikme noktasına gelene kadar gözeneklere nüfuz eder ve bu noktada gözeneklere hapsolmuş olur [32].

4.7. Filtrasyonun Partikül Yakalama Mekanizmaları

Filtrasyon mekanizmaları aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

4.7.1. Elek Etkisi

En basit mekanizma olarak tanımlanabilen elek tipi filtrasyon etkisinde 4.11.'de görüldüğü gibi çapı filtre elemanı olarak kullanılan iki elyaf iplikçiğinin arasındaki açıklıktan daha büyük olan taneciklerin tutulması olayıdır [15].



Şekil 4.11. Filtrasyonun elek etkisi.

4.7.2. Atalet Etkisi

Akım iplikçiklerinin önüne bir filtre elyafı çıktığı zaman onun etrafında paralelliklerini bozmadan dönerek yollarına devam ederler. Ancak akış içinde sürüklenen tanecikler ataletleri dolayısı ile filtre elyafı etrafında dönemeyerek, elyafa çarpıp onun yüzeyine yapışırlar. Bu etki hava hızının artması, tanecik çapının büyümesi ve elyaf çapının küçülmesi ile artar.

Bu filtrasyon mekanizmasını, yani atalet etkisini en iyi temsil eden Eşitlik 4.4'de tanımlanan Stokes sayısıdır.

$$St = \frac{\rho d_p V_o}{\mu D} \quad (4.4)$$

Burada;

ρ : Tanecik yoğunluğu [kg/m^3]

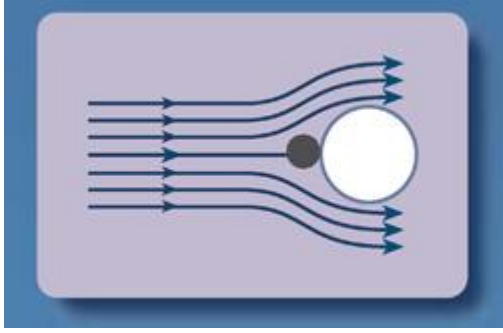
d_p : Tanecik çapı [μm]

V_o : Hava hızı [m/s]

μ : dinamik vizkozite (Pa.s)

D : elyaf çapı [μm]

Stokes arttıkça atalet etkisi artmaktadır.



Şekil 4.12. Filtrasyonun Atalet Etkisi

4.7.3. Yakalama Etkisi

Tanecik çapı çok küçük ise tanecik hava ile beraber elyaf iplikçiliği etrafında bir yörünge takip edebilir. Ancak bu yörünge taneciğin elyaf etrafındaki hareketinde, elyafa tanecik yarıçapından daha yakın bir yerden geçiyorsa, tanecik elyaf etrafından yakalanır ve elyafa yapışır. Tanecik çapı artıp, elyaf çapı ve elyaf iplikçikleri arasındaki mesafe azaldıkça bu etki artar. Bir filtre elyafı içinde, tutulmak istenen tanecik çapına yakın ne kadar küçük çaplı filtre elyafı varsa bu yakalama etkisinde o derece kuvvetli olur. Yakalama etkisi verimi Torgestan tarafından Eşitlik 4.5’de ifade edilmektedir.

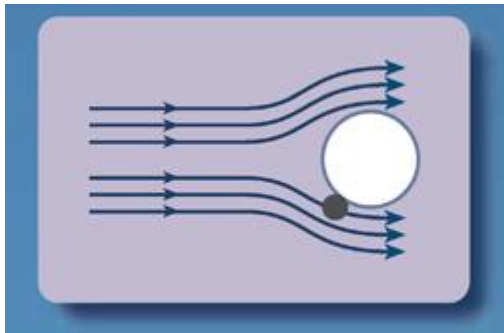
$$\eta_{\text{yak}} = 0.00759C_D Re_p (d_p/D)^{1.5} \quad (4.5)$$

C_D : Elyafın direnç katsayısı

Re_p : Tanecik çapına göre tasarlanmış Reynold sayısı

d_p : Tanecik çapı [μm]

D : elyaf çapı [μm]



Şekil 4.13. Filtrasyonun yakalama etkisi.

4.7.4. Difüzyon Etkisi

Tanecik çapının 1 µm'den daha küçük olması halinde, taneciklerle çarpışan gaz molekülleri onların düzensiz hareket etmelerine neden olabilmektedir. Gaz moleküllerinin Browian hareketi denen bu davranışları sonucu filtre elyafı ile çarpışan tanecikler onlara yapışabilmektedir. Bu etki hava hızı, tanecik çapı ve elyaf çapı küçüldükçe artmaktadır. Diffüzyün etkisi verimi, yine Torgeson tarafından verilen Eşitlik 4.6 ifadesi ile hesaplanabilir.

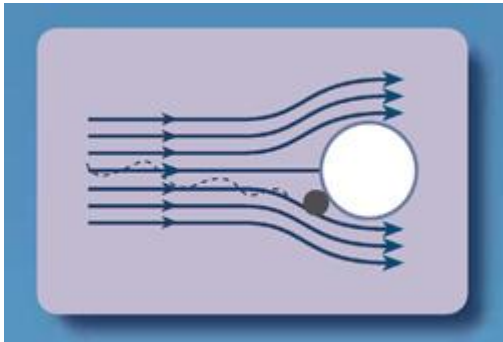
$$\eta_{yak} = 0.75 \frac{(CRe_p)^{0.04}}{2} (V_o D)^{-0.6} \frac{3\pi\mu d}{\sigma C} \quad (4.6)$$

Burada;

C: cunningham kayma düzeltme faktörü

σ : Stefan–Boltzman sabitidir

Bir filtrenin toplam veriminde bütün bu mekanizmaların etkisi görülür. Tanecik çapının artması atalet ve yakalama etkisini artırırken, difüzyon etkisini azaltacağından seçilen bir filtre elyafı için tutulması zor olan bir tanecik çapı bulunur. Şekil.4.14.'de cam yünü elyafından yapılmış hassas bir filtrede bütün bu mekanizmaların verim üzerindeki etkisi ile toplam verimin tanecik çapına göre değişimi görülmektedir. Buradan 0.02 – 0.03 µm çapındaki taneciklerin tutulması en zor tanecikler olduğu görülür. Şekildeki eğri sabit bir hava hızı için geçerlidir, hava hızı azaldıkça difüzyon etkisi arttırıp, atalet etkisi azalacağından eğri sola doğru kayacaktır [15].

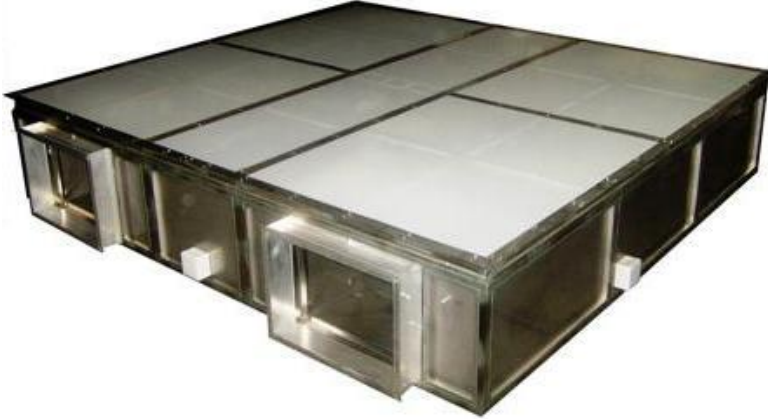


Şekil 4.14. Filtrasyonun difüzyon etkisi.

4.8. Laminer Akış Teknolojisi

Laminer akım, havanın düzgün bir hat üzerinde, sabit hızı muhafaza ederek sevkini ifade eder. Genellikle ameliyat masasının üzerinde kullanılır. Çünkü laminer akım elde etmek pahalı bir çözümdür. Bu nedenle kritik bölge üzeri tercih edilir. Türbülanslı akımda hava yönü değişebilir, bu sistemde partiküller oda içerisine homojen dağıldığından laminer akıma göre yüksek riske sahiptir [3].

Akım çizgilerinin birbirine paralel olduğu ve hava hızının her yerde aynı olduğu akıştır. Hava akımı homojen olup, enfeksiyon riski ciddi oranda düşüş gösterir. Paralel akım çizgileri önüne bir engel çıktığı zaman ona çarparak engel etrafında dönerek tekrar paralel hale gelirler. Laminer akımda partiküllerin bir noktadan başka bir noktaya geçişi, türbülanslı akıştan daha azdır. Başka bir deyişle laminer akışın kütle geçiş katsayısı türbülanslı akışa göre daha düşüktür. Hava hızı ortamdaki hava dağılımına göre belirlenir [5].



Şekil 4.15. Laminer akış ünitesi

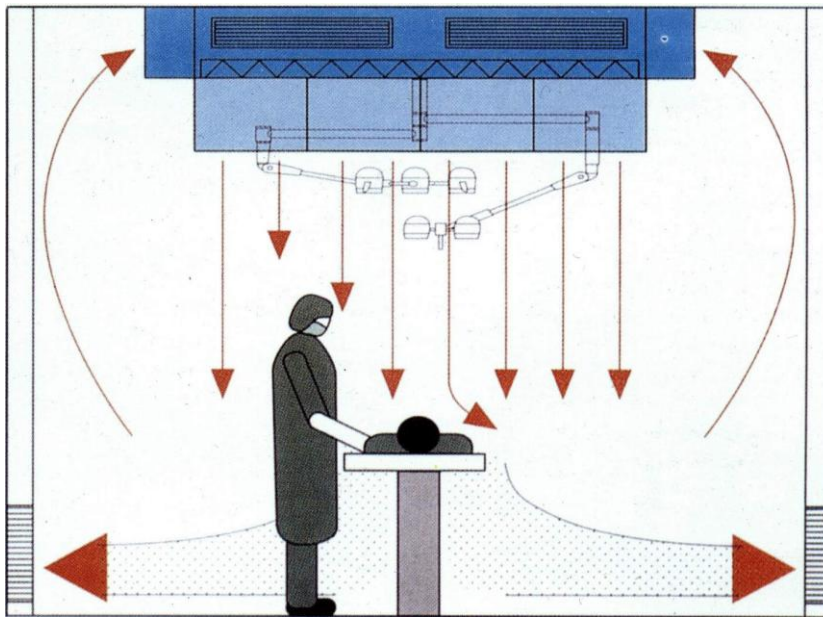
Laminer akış ünitesi, düşük türbülansla hava akışı sağlayabilen, dikdörtgen tipte, paslanmaz çelik veya fırınlanmış toz boyalıdır. Bu cihazlar ayrıca iki ayrı bağlantı kutusunda HEPA filtreler ve hava sızdırmaz shut-off damperlere, ince gözlü laminer polyesterden oluşan hava dağıtıcı ön yüzeylere sahiptirler. Laminer akış üniteleri, ameliyat masası aydınlatma konumuna göre iki parçalı veya tek parçalı olabilir. Eğer aydınlatma, laminer akış ünitesinin üzerine entegre edilirse laminer akış ünitesi iki parçadan oluşur. (bölüntülü tip). Eğer aydınlatma ünitenin dışında tercih edilir ise ünite tek parçalıdır (bölüntüsüz tip) [14].

4.8.1. Geri Dönüşümlü (Resirküle) Laminer Akış

Bu sistem genellikle en kritik ameliyathanelerin yapıldığı steril alanlarda (örneğin kalça eklem yeri) ameliyathane tavan üniteleri için gerekli olan yüksek hava debisini iklimlendirme cihazından, ameliyathaneye taşıyacak olan büyük hava kanallarının bina içerisinden geçirilmesi olanaksız olduğunda kullanılır. Bu nedenle ameliyathane tavan üniteleri içine yerleştirilmiş olan fanlarla geri dönüşümlü hava kullanılarak yüksek hava debisi, dolayısı ile geniş laminer akım alanı elde etme olanağı sağlanır.

Laminer akış ünitesi koruma alanı üzerimde temiz hava debisi en az 1 200 m³/h olmalıdır. Giriş sıcaklığı 21 °C ±3 °C aralığında olmalı.

Hava dağıtıcıları ortamdan daha düşük sıcaklıktaki havayı, ameliyat bölgesine vererek kirli havanın egzoz menfezlerine doğru yer değiştirmesini sağlar, ayrıca içerdikleri HEPA filtreler ile mikrop ve partikül tutarak ameliyat bölgesine verilmesini engeller. Laminer akış herhangi bir engelle veya sıcaklık farkı ile karşılaştığı zaman türbülansa girmektedir. Bununla birlikte düşük hızlı hava verilmesi, bir yandan ameliyat alanında soğuk hava verilmesi, bir yandan ameliyat alanında soğuk havanın hızla (ani) aşağı inmesini engellerken öte yandan akışı daha hassas yapar [14].



Şekil 4.16. Resirküle laminer akış

4.9. Ameliyathanelerin Kontrol Altında Tutulması ve Yeni Çin Standardı

Yeni Çin Standartları olan “Construction Standart for Clean Operation Room in Hospital” ve “Architectural Coda for Clean Operation Room in Hospital” yayımlanmıştır. Bu standartlar endüstriyel temiz odalar için olan teknik yaklaşımda büyük buluş yapar ve şunu vurgular; temiz ameliyathane departmanı, bir bio–temiz oda ve bir kontrol altındaki ortam gibi hizmet eder. Bu makalede yeni standartların gerektirdiği tavsiye edilen uygulamalar ve genel prensipler sunulmaktadır.

Mevcut standartlardaki havalandırma düzenlemesine uygun şekilde tüm ameliyathane alanının kontrol altında olabilmesi durumu aldatıcı bir problemdir. Alışıl gelmiş bir klima ünitesinin (merkezi) kullanıldığı ameliyathane alanlarında, bir çok basınçlı alan kontrol altında tutulduğundan, arzulanan hava dağılımı tüm alanda korunamayacaktır. Bu bir adet klima ünitesi kullanımına devam edildikçe, alan içindeki pozitif diferansiyel basınç dağılımı değişiklikler gösterecektir. Bu durumda da, ameliyathane iç havasında kirlenmeler ve çapraz enfeksiyonlar oluşacaktır. Bu sorunlar göz önüne alınarak Çin’de yeni sistem tipi geliştirildi. Bu sistem, temiz bir klima ünitesinin açık ya da kapalı olmasına bakmaksızın, tüm ameliyathane departmanını kontrol altında tutar. Temiz ameliyathane alanları için olan yeni tip sistemde, ayrı ayrı klima üniteleri ve bağımsız bir taze hava üfleyen ünite mevcuttur. Klima üniteleri her bir alanda, sıcaklık, nem ve ayrılmış alanlar içindeki temiz hava derecesini kontrol eder. Her bir ameliyathane için kendisine ait egzoz hava ünitesi vardır. İki pozisyonlu sabit hava hacimli (CAV: Constant Air Volüme Damper) cihazlar her bir kanal koluna konulmuştur. Birinci pozisyonda, normal çalışma koşullarındakinden daha büyük taze hava debisi üflenir ve ikinci pozisyonda sadece pozitif basıncı korumak için daha düşük taze hava debisi üflenir. Standard’ın talebine göre, bağımsız taze hava ünitesine üç kademeli filtre yerleştirilmelidir ve terminal (son) filtre F10 (H10) filtreden büyük olmalıdır. Bu talep, taze havayla üflenen partiküllerin çoğunun ortadan kaldırılması içindir. Taze hava santrali gizli soğutma yükünün hepsini (veya çoğunu) ortadan kaldırmak için dizayn edilebilir [2].

4.10. İşletme ve Bakım

Hastanelerin hijyenik ortamlarında havanın hijyenik olması ortama verilen temiz hava ile sağlandığından, klima ve havalandırma sisteminin temizliği dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardandır. Klima tesisatının arızasız çalışması hastaneler için kaçınılmaz bir gereksinimdir. Bu nedenle işletmeciler klima tesisatının sürekli bakımını yaparak devamlı çalışır olmasını sağlamalıdır. Klima tesisatı kapsamında yer alan tüm cihazların bakımı önemlidir. Filtrelerin periyodik bakımları yapılmalı ve aşırı kirlenmesi durumunda değiştirilmelidir. Filtrelerin kirliliği giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkının ölçümü ile anlaşılır. Bakım ortaya çıkan veya çıkacak arızalara zamanında müdahale edilecek kadar sık zaman aralıklarında yapılmalıdır. Zaman aralıkları yerel çalışma şartlarına bağlıdır. Bakıma ilave olarak işletmeciler her yıl hijyenik kontrol yaptırmalıdır. HEPA filtre değişiminden sonra partikül sayımı ve mikroorganizma konsantrasyonu ölçülmelidir [33].

4.11. Temiz Oda İklimlendirme Sistemi Test Parametreleri

Temiz odalarda istenen şartların sağlanması istenen parametreler; sıcaklık, nem, saatteki hava değişim sayısı ve taze hava oranı, partikül ve mikroorganizma sayısı, ortam hava basıncı, hava hareketi ve hızı (türbülanslı/laminer), ses ve vibrasyon değerleridir. Temiz odalardaki test ve ölçüm çalışmaları dört farklı aşamada gerçekleştirilebilir: Bunlar;

Tasarım Yeterliliği: DQ (Design Qualification)

Kurulum, montaj yeterliliği: IQ (Installation Qualification)

Çalışma (işletme) yeterliliği: OQ (Operation Qualification)

Performans yeterliliği: PQ (Performance Qualification). Ayrıca temiz oda hava tarafı test ve balans işlemleri; 1. check list veya snagging list (işletmeye almadan önce yapılan son kontroller), 2. start up (devreye alma), 3. kontrol, ölçüm, testler ve balans olmak üzere üç grupta toplanabilir [5].

4.11.1. Havalandırma Santrali Testleri:

Fan işletme testi (fan devri ölçümü), filtre işletme testi (filtre yüzey hızı, basınç kaybı), batarya işletme testi ve kanal sızdırmalık testi olarak yapılmaktadır.

4.11.2. Temiz Odalarda Yapılan Testler

HEPA filtre sızdırmazlık testi: Test esnasında aerosol üretilerek HEPA filtreye verilir. HEPA filtre yüzeyi, filtre kabini ve conta; aerosol fotometre ile taranarak standartta belirtilen kabul limitleri içerisinde olup olmadığı test edilir.

Odalar arası fark basınç ölçülmesi: Çapraz bulaşmayı önlemek için standartlara uygun tasarlanan ameliyathanenin odalar arası fark basınç değerlerinin standartta belirtilen limitlerin arasında olması için yapılan testtir.

Ayrıca sıcaklık, nem, HEPA filtre hava hızı, hava değişim sayısı ve debisi, hava akış şekli (duman testi), temizleme zamanı, kritik alan eğriler, hava akış yönleri ve partikül sayılarının standartlara uygunluğu testleri temiz oda içerisinde yapılan testlerdir.

5. HAVA DEBİSİ VE HAVA DEĞİŞİM SAYISININ BELİRLENMESİ VE RESİRKÜLE HAVA KULLANIMININ TEORİK ANALİZİ

Mevcut bir temiz odada oda sınıfının tayini, hava değişim sayısının tespiti ve hava debisi hesabı birçok parametreye bağlıdır. Bunlar: Oda hacmi, kullanılan filtre kademe sayısı ve filtre verimleri, havanın resirküle olması ve resirküle oranı, odadaki kişi sayısı, istenilen oda sınıfı, üfleme havasının laminar olup olmayacağı ve üfleme havası hızı gibi etkenlerdir.

Bölüm 4.2.'de dünyada kullanılan standartlara göre ameliyathane odası hava debisi ve hava değişim sayısı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Bu bölümde ise hava değişim sayısı ve hava debisi hesap yöntemleri anlatılacak ve çeşitli konfigürasyonlar ile optimum hava değişim sayısı bulmaya yönelik teorik hesaplamalar ve analizler yapılacaktır. Bu hesaplamalar için bir paket program hazırlanmıştır. Bu programın avantajları olarak:

- Hesaplamalar çok kısa sürede yapılabilmektedir.
- İstenilen temiz oda sınıfının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilebilmektedir.
- Gerekli olan minimum debi hesabı yapılarak optimizasyon yapılabilmektedir.
- Çok farklı filtre grupları için kısa sürede hesaplamalar yapılabilmekte ve en uygun filtrasyon kademeleri belirlenebilmektedir.
- Resirküle hava oranlarının istenilen debi üzerindeki etkisi görülebilmesi olarak sıralanabilir.

Oda sınıfını tüm etkenler göz önüne alınarak belirlenmesi tanecik konsantrasyonunu veren denge denklemi ile bulunabilir. Bu denklem laminar ve karışık akımlı temiz odalar için farklıdır. Laminar akımlı odalarda laminarlığı sağlamak için hava hızı 0.2 ile 0.45 aralığında olması gerektiğinden odaya verilen hava debisi belli bir aralıkta olmak zorundadır. Bu yüzden laminar akımlı temiz odalarda hava değişim sayısının hava hızına göre hesaplanacak alt ve üst sınırlarının dışına çıkılamaz.

5.1. Laminer Akımlı Temiz Odalarda Oda Temizlik Sınıfı ve Hava Değişim Sayısının Hesaplanması

Laminer akımlı bir temiz oda için oda klasını verecek tanecik konsantrasyonu olan K, aşağıdaki verilen matematiksel model yardımıyla oluşturulan denge denklemi ile bulunabilir. Buradan üretilen formül merkezi klimaya uyarlanmıştır [2].

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{Dış havadan} \\ \text{gelen partikül} \\ \text{miktarı} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{c} \text{Çevrim} \\ \text{havasından gelen} \\ \text{partikül miktarı} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{c} \text{Odada üretilen} \\ \text{toplam partikül} \\ \text{miktarı} \end{array}}$$

Dış Havadan Gelen Partikül Miktarı;

Burada hava akışı önce taze hava ünitesinden, sonra klima ünitesindeki filtrelerden ve en son terminal (oda tavanındaki) filtreden geçer. Taze hava miktarını ifade eden $(1-X)Q$ debisinin taze havadaki partikül konsantrasyonu (C_t) ile çarpılmasıyla temiz havadaki kirlilik üretim miktarına ($((1-X)QC_t)$) ulaşılır. Bu oluşturulan değer her geçtiği filtredeki, partikül geçirme oranıyla $(1-\eta_x)$ çarpılır ve Eşitlik 5.1 bulunur.

$$DHPM = (1 - X)QC_t(1 - \eta_k)(1 - \eta_ö)(1 - \eta_{ha})(1 - \eta_{he}) \quad (5.1)$$

Bu denklemden de görüldüğü gibi dış hava dört filtreden de geçmektedir.

X: Çevrim havası debisinin toplam debiye oranı

Q: Temiz oda toplam hava debisi [m³/h]

C_t : Dış havadaki partikül konsantrasyonu [tan/m³] (0.3µm çapındaki partiküller için yaklaşık 9.10⁷ tan/m³) [16]

η : Filtre verimleri (k indisi; kaba filtre, ö; ön, ha; hassas, he; HEPA filtre)

Çevrim Havasından Gelen Partikül Miktarı;

Bu kısım resirküle olan havayı (XQ) ifade eder. Bu hava sürekli olarak klima ünitesi içerisinde dolaşır ve sadece klima ünitesi içerisindeki ve tavandaki filtrelerden geçer. Sonuçta dolaşan hava içerisindeki kirlilik miktarı ile klimadan geçen hava oranının çarpımı (XG) ile kirlilik konsantrasyonu hesaplanmış olur. Geri kalan kısmı egzoz edilir ((1-X)G). Yine her geçtiği filtrenin partikül geçirme oranıyla çarpılarak aşağıda gösterilen kirlilik üretim miktarı ifadesi oluşturulur.

$$\text{ÇHPM} = (XG)(1 - \eta_{\delta})(1 - \eta_{ha})(1 - \eta_{he}) \quad (5.2)$$

G:oda içerisinde insan tarafından üretilen kirlilik miktarıdır. Bu miktar 0.3µm çapındaki partiküller için normal hızda hareketli ve temiz oda elbiseli bir insanda ortalama olarak 10000 tan/s-kşi [16].

Dışarıdan gelen hava ve çevrim havası partikül miktarlarının toplamı odada oluşacak toplam oluşacak toplam partikül miktarını verecek ve buda toplam debi için;

$$\text{OPTM} = KQ \quad (5.3)$$

K: temiz oda klasını veren tanecik konsantrasyonu [tan/m^3] (Odadaki toplam partikül konsantrasyonu)

Bu durumda genel ifade;

$$KQ = (1 - X)QC_t(1 - \eta_k)(1 - \eta_{\delta})(1 - \eta_{ha})(1 - \eta_{he}) + (XG)(1 - \eta_{\delta})(1 - \eta_{ha})(1 - \eta_{he}) \quad (5.4)$$

Şeklini alır ve ihtiyaç olan minimum debi;

$$Q = \frac{[X.G.(1-\eta_{\delta}).(1-\eta_{ha})(1-\eta_{he})]}{K-(1-X).C_t.(1-\eta_k).(1-\eta_{\delta}).(1-\eta_{ha})(1-\eta_{he})} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (5.5)$$

olarak bulunur.

Buradan istenilen standart için minimum K değini sağlayan hava debisi bulunduktan sonra hava değişim sayısı aşağıda belirtildiği gibi bulunmuş olacaktır. Ayrıca akış laminer olduğundan içerde üretilen taneciklerin oda konsantrasyonunu bozmadan dışarı atılacağı varsayılmıştır.

Temiz oda hava değişim sayısı:

$$n = \frac{Q}{V} \text{ [defa/h veya kez/h]} \quad 5.6.$$

V: Ameliyathane hacmi [m³]

Gerekli minimum hava debisi bulunduktan sonra hava değişim sayısını hesaplamak oldukça kolaylaşmaktadır.

5.2. Karışık (Türbülanslı) Akımlı Temiz Odalarda Oda Temizlik Sınıfı ve Hava Değişim Sayısının Hesaplanması

Oda laminar akışlı olmayıp da türbülanslı olması halinde içerde üretilen tanecikler hemen oda havasına karışarak her tarafa dağılacaktır. Bu durumda denge denklemi;

$$KQ = (1 - X)QC_t(1 - \eta_k)(1 - \eta_ö)(1 - \eta_{ha})(1 - \eta_{he}) + G \quad (5.7)$$

$$Q = \frac{G}{K - (1 - X)C_t(1 - \eta_k)(1 - \eta_ö)(1 - \eta_{ha})(1 - \eta_{he})} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (5.8)$$

5.3. Ameliyathanelerde Resirküle Hava Kullanımının Oda Sınıfı ve Enerji Sarfıyatı Üzerindeki Etkisinin Teorik Analizi

Bu bölümde resirküle hava kullanımının oda sınıfı üzerindeki etkisi ve enerji tasarrufu açısından önemi örneklendirilerek irdelenmiştir. Ankara için yapılan örnek hesaplamada; filtre konfigürasyonu olarak, G4+F7+H13 şeklinde bir konfigürasyon seçilmiştir. Seçilen filtre grubu ISO 5 Sınıfını karşılamakla birlikte; ameliyathanede bulunabilecek tanecik miktarı, resirküle hava oranı arttıkça azalmaktadır. Benzer şekilde, resirküle hava oranı arttıkça enerji sarfıyatı da azalmaktadır. Çalışmada ayrıca; ultraviyole ışın teknolojisinin temiz odalarda kullanımı konusu araştırılıp dikkatlerin bu konu üzerine çekilmesine çalışılmıştır.

5.3.1. Resirküle Hava Kullanımı

Optimal temiz oda resirkülasyon hava değişim miktarını belirlemek için bilimsel yönden bir boşluk bulunmaktadır [2].

ABD ve birçok ülke standartları temiz odalarda % 100 taze hava isterken Alman normu olan DIN 1946 normları bazı şartlarda bir miktar oda havasının tekrar kullanılmasına izin vermektedir [29]. Bu şartlar şunlardır:

1. Ameliyathanelerden emilen havanın belirli bir oranda taze hava karıştırıldıktan sonra tekrar aynı ameliyathaneye basılması: Bu model, bir hijyenik klima cihazı sadece bir ameliyathane için öngörölmüşse uygulanabilir. Bu sistem kendi içinde ikiye ayrılır: a) Hijyenik klima cihazı üzerinden dönüşümlü hava temini. b) Ameliyathane tavan ünitesi üzerinden dönüşümlü hava temini. Özellikle bu sistemde klima cihazı için gerekli olan dış hava debisi en az seviyeye indirilebilmektedir.

Her iki durum için de ameliyathanelere en az 1 200 m³/h taze hava gereklidir. Bu taze hava miktarı, uygulanacak norma göre değişiklik gösterebilir.

2. Dönüşümlü hava ile çalışan laminer akımlı sistem: Bu sistem, en kritik ameliyatların (örneğin kalça eklem yeri ameliyatı) yapıldığı steril alanlarda kullanılır. Bu durumlarda geniş üfleme alanı dolayısı ile çok yüksek hava debisi gerekli olduğundan havanın bazı durumlarda kanal sistemi ile steril alana götürülmesi oldukça zordur. Bu yüzden ameliyathane tavan üniteleri içine yerleştirilmiş olan vantilatörlerle resirküle hava kullanılarak yüksek debiler elde etme olanağı bulunmaktadır. Bu sistemde genellikle bütün üfleme alanı HEPA filtreler ile kaplıdır. Tabii ki gerekli olan taze havayı bu sisteme ulaştırmayı ve bu havayı tekrar dışarı atmayı unutmamak gerekir.

Yukarıda sayılan hava üfleme çeşitlerinin dışında da hava üfleme imkânları bulunmaktadır, ama pratikte genellikle yukarıda sayılan sistemler kullanılmaktadır.

Eğer ameliyathanelerin havasının birbirine karışması önlenmişse; bir taze hava santralinden, iki veya daha fazla dönüşümlü hava ünitesine hava basılabilir. Bu da cihaz maliyeti açısından etkili olabilmektedir.

Çizelge 5.1. Filtrelerin 0.3 µm çapında tanecikleri tutma verimlilikleri [2]

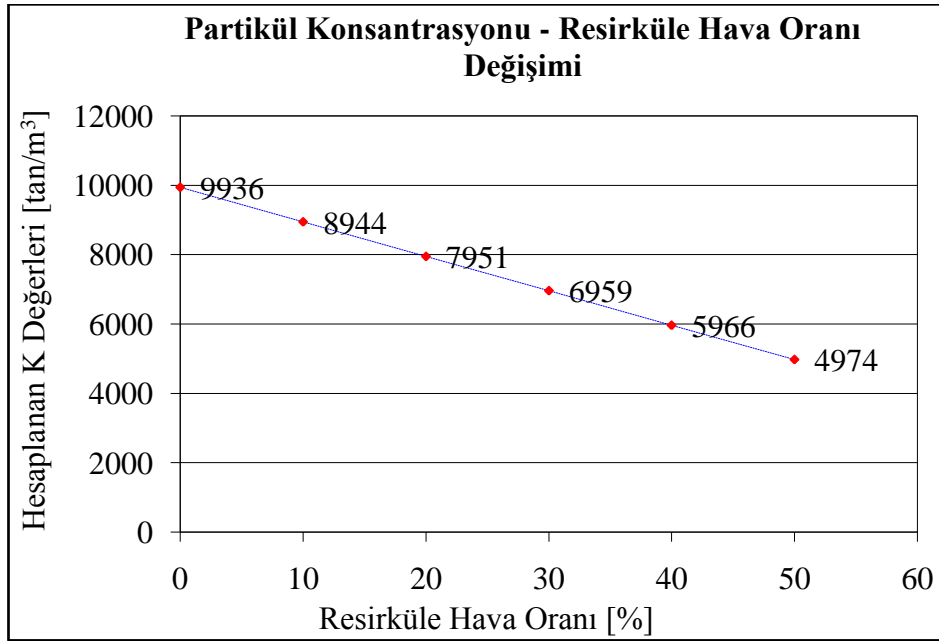
Filtre Sınıfı	Filtre Verimi
G3	% 2
G4	% 6
F6	% 15
F7	% 50
F8	% 70
F9	% 77
H10	% 85
H11	% 95
H12	% 99.5
H13	% 99.95
H14	% 99.995

5.3.2. Resirküle Hava Kullanılan Laminer Akımlı Bir Ameliyathanede Bulunan Partikül Konsantrasyonu Analizi

Denklem 5.4'e göre, ISO Sınıf 5'teki bir temiz odanın, farklı resirküle hava oranları için odada bulunabilecek 0.3 µm çapındaki tanecikler hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar çizelge ve grafikler halinde verilmiştir. Bu örnek hesaplamada filtre konfigürasyonu olarak, G4+F7+H13 seçilmiştir. ISO Sınıf 5 için, ortamda bulunabilecek 0.3 µm çapındaki maksimum tanecik sayısının 10 200 adet olması gerekmektedir.

Çizelge 5.2. Resirküle hava oranının tanecik sayısına etkisi.

Hava Debisi [m^3/h]	Resirküle Hava Oranı [%]	K Değeri [tan/m^3]
2400	0	9 936.0
2400	10	8 943.6
2400	20	7 951.2
2400	30	6 958.8
2400	40	5 966.4
2400	50	4 974.0



Şekil 5.1. Resirküle hava oranı-tanecik sayısı değişimi.

Şekil 5.1.'den de anlaşıldığı gibi; seçilen filtre grubu ISO 5 Sınıfını karşılamakla birlikte, ameliyathanede bulunabilecek tanecik miktarı resirküle hava miktarı arttıkça azalmaktadır.

5.3.3. Resirküle Hava Kullanılan Laminer Akımlı Temiz Odalar İçin Enerji Analizi

Resirküle hava kullanılan laminer akımlı temiz odalar için enerji analizi, Eşitlik 5.9 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$q_{\text{ısı}} = 0.029(1 - X)Q(t_{\text{ç}} - t_{\text{g}}) + 0.029XQ(t_{\text{ç}} - t_{\text{x}}) \quad (5.9)$$

Burada;

$q_{\text{ısı}}$: Isıtıcı serpantin kapasitesi [kcal/h],

$t_{\text{ç}}$: Serpantinden çıkış sıcaklığı (26 °C),

t_{g} : Dış sıcaklık (Ankara için; -12 °C),

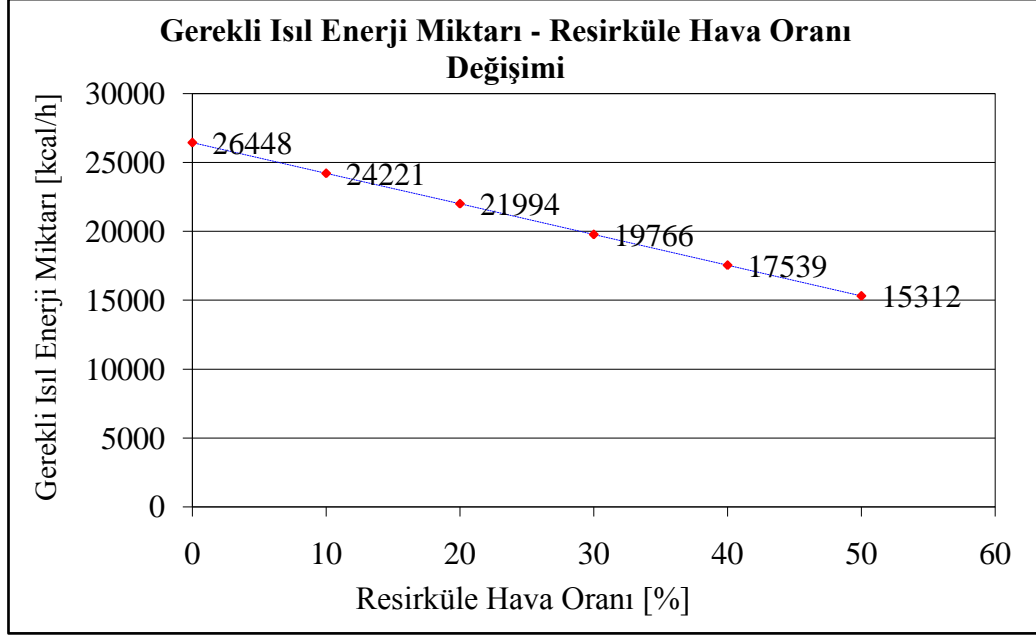
t_{x} : Resirküle hava sıcaklığı (22 °C),

X : Geri dönüş havasının temiz havaya oranı,

Q : Üflenen hava debisi [m^3/h] anlamındadır.

Çizelge 5.3. Resirküle hava oranının ısı gereksinimine etkisi.

Hava Debisi [m^3/h]	Resirküle Hava Oranı [%]	Isı İhtiyacı [kcal/h]
2400	0	26448
2400	10	24221
2400	20	21994
2400	30	19766
2400	40	17539
2400	50	15312



Şekil 5.2. Resirküle hava oranı-ısı ihtiyacı değişimi.

Şekil 5.2.'deki grafikten de görüldüğü gibi, resirküle hava oranı arttıkça harcanan ısı enerjisi azalmaktadır.

Yukarıdaki veriler ışığında resirküle hava kullanımının partikül sayısı ve ısı enerjisi ihtiyacı üzerindeki oransal etkisi Çizelge 5.4.'deki gibi özetlenebilir.

Çizelge 5.4. Resirküle hava kullanımının, tanecik sayısındaki ve ısı enerjisi ihtiyacındaki oransal azalmaya etkisi.

Resirküle Hava Oranı [%]	Partikül Azalma Oranı [%]	Isıtma Enerjisi Tasarrufu [%]
10	9.9	8.4
20	19.9	16.8
30	29.9	25.3
40	39.9	33.7
50	49.9	42.1

5.4. Resirküle Hava Kullanılabilirliği Ve Ultraviyole Işımlar

Bu konu birkaç yönden değerlendirilmelidir. Tüm havalandırma sistemlerinde kullanılan hava, filtrasyon sistemleri ile temizlenir. Hava içerisindeki kaba toz ve partiküller filtrelerle tutulur. Hava içerisinde asılı olarak dolaşan ve normal filtrasyon sistemleri ile tutulamayan, normal şartlarda mikroskop altında görülebilen mikroorganizmalar yanında, insan sağlığını da tehdit eden bakteriler ve virüsler de sürekli olarak ortam havasında bulunabilir. Bakteriler, virüsler, mayalar ve mantarlar hasta üzerinde ve ortamda çalışan personel üzerinde etkili olur. Ayrıca, çeşitli üretimlerin yapıldığı temiz odalarda ürün üzerinde etkili olarak maddi kayıplara da yol açar. Resirküle hava kullanımında önemli bir problem de, ameliyathanede birikmeye ve kolonileşerek enfeksiyon oluşturabilecek hale gelmeye başlayan özellikle virüslerin oluşturduğu sorundur.

5.4.1. Resirküle Hava Kullanımının Avantajları

Resirküle hava kullanımının avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Yaz mevsiminde ısıtma için, kış mevsiminde ise soğutma için gereken enerji miktarında tasarruf sağlanmış olur.
- Dış hava ihtiyacı daha düşük debi ile sağlanacağından vantilatör için daha az enerji harcanmış olur.
- Hedeflenen ameliyathane iç sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasındaki farkın yüksek olduğu dönemlerde sistemin kontrolü kolaylaşmış olur.

5.4.2. Ultraviyole Işımlar ve Temiz Odalarda Kullanımı

Dalga boyu, insan gözünün görebildiği ışıklardan daha kısa ancak X ışıklarından daha uzun olan mor ötesi ışıklara ultraviyole ışıklar denir. Ultraviyole ışıklar günümüzde sağlık alanında da kullanılmaktadır. Mikrobiyal kontrolde UV lambalarının başlıca kullanım alanları; ameliyathaneler, laboratuvarlar ve biyolojik

güvenlik kabinlerinin havasının ve yüzeylerinin dezenfeksiyonu şeklindedir. Ayrıca; insanların bir arada kalabalık olarak bulunduğu çocuk yuvaları, kafeteryalar, jimnastik salonları, hastane odaları gibi kapalı yerlerde, havadaki patojen mikroorganizmaların sayısını azaltarak hava yolu ile bulaşan hastalıkların yayılımını engellemek için kullanılmaktadır. UV-C; 260 nanometrelik frekansta bir tür ultraviyole enerjidir. "C" dalga boyu, UV spektrumunda en çok mikrop öldürücü dalga boyudur [36].

UV-C ışınlarının mikrop öldürme kapasiteleri bilinmektedir ve bu durum; özellikle yaklaşık 254 nm'ye eşit dalga boyu olan ışınların nükleik asit yapısı tarafından emilmesi ile açıklanmaktadır. Birçok araştırmacı, bazı mikroorganizmaların etki mekanizmalarını araştırmış ve UV-C ışınlarına duyarlılıklarını tanımlamışlardır.

Niels Ryberg Firsen infeksiyöz deri hastalıklarının tedavisinde güneşin UV bakterisidal etkisini göstererek 1903 yılında tıp dalında Nobel ödülü almıştır. 1930 yılında Westinghouse UV lambalarını geliştirmiş ve germisidal etkilerinin kanıtlanması için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Sonuçta UV'nin virüsler, bakteriler, mantarlar ve Mycoplasma üzerine inaktive edici etkisi gösterilmiştir. Ultraviyole germisidal radyasyon [ultraviolet germicidal irradiation (UVGI)] denildiğinde genellikle 253.7 nm dalga boyunda UV (UVC) kastedilir [35].

Ayrıca, içinden geçen havayı UVGI ile dezenfekte eden ticari sistemler geliştirilmiştir. 2002 yılında Douglas VanOsdell ve arkadaşlarının yaptığı kapsamlı bir araştırmada, havalandırma sistemlerinde hava akımının biyolojik dekontaminasyonunda UVGI'nin etkisi araştırılmış ve özellikle bakteriler için etkinin çok yüksek olabildiği (% 90'dan yüksek) gösterilmiştir [35].

Havalandırma sistemlerinden kaynaklanan tüm mikrobiyolojik olumsuzlukları engellemek için UV ışınları ile UV hava sterilizasyonu yapılması gerekmektedir. UV ışınları ayrıca ortamdaki kötü kokulara neden olan bakterileri de nötralize ettiği için daha sıhhatli bir hava kullanımını sağlayacaktır. UV hava sterilizasyonu biyolojik bir arıttır.

5.5. Ameliyathanede Bulunan Kişi Sayısının Oda Hava Değişim Sayısı ve Toplam Debi Üzerindeki Etkisinin Analizi

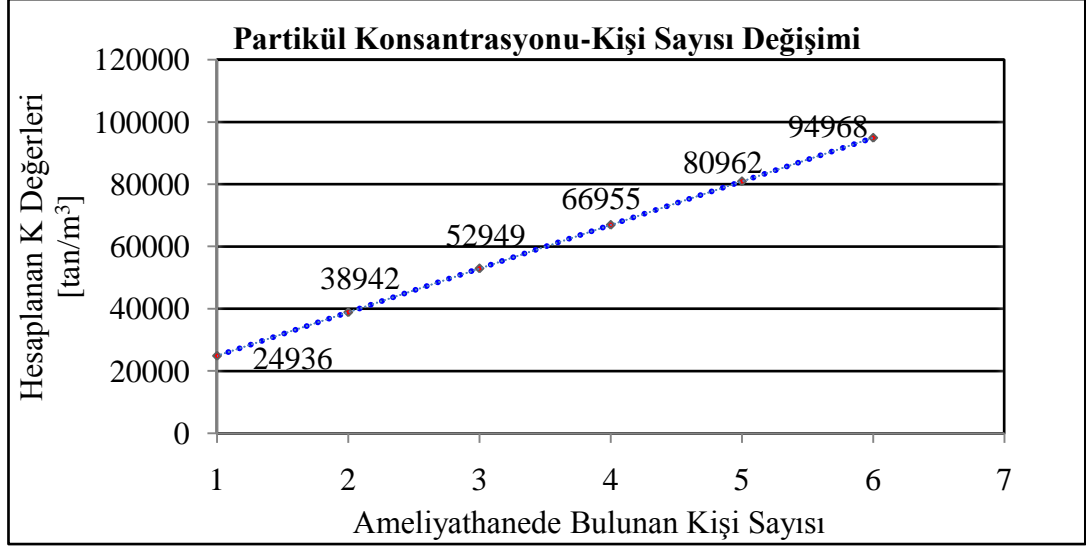
Ameliyathanelerde kirlilik kaynaklarından en önemlisi insanlardan yayılan partiküllerdir. Burada yapılan hesaplamalarda model özellikleri olarak;

- Kişi başı partikül yayılımı 0.3 µm için 36 000 000 adet/h olarak alınmıştır.
- C_t : dış havadan gelen 0.3 µm için $9 \cdot 10^7$ adet/m³ alınmıştır.
- Hava debisi sabit 2 400 m³/h olarak alınmıştır.
- % 100 taze hava kullanılmıştır.
- Ameliyathane boyutları (5 m)x(6 m)x(3 m) standartlarda en çok kullanılan hacim kullanılmıştır.
- Laminer akış yüzey alanı (1.8 m)x(2.4 m) olarak alınmıştır.

Çizelge 5.5.'de G4+F9+H13 filtre sınıfında ve ISO 6 oda sınıfı esas alınarak ameliyathanede bulunan kişi sayısının temizlik sınıfına etkisi teorik olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5. Ameliyathanedeki kişi sayısının oda sınıfı üzerindeki etkisi

Kişi Sayısı	İnsan Kaynaklı Toplam Partiküller [0.3 µm adet/h]	K değeri [adet]
1	36 000 000	24 936.0
2	72 000 000	38 942.4
3	108 000 000	52 948.8
4	144 000 000	66 955.2
5	180 000 000	80 961.6
6	216 000 000	94 968.0



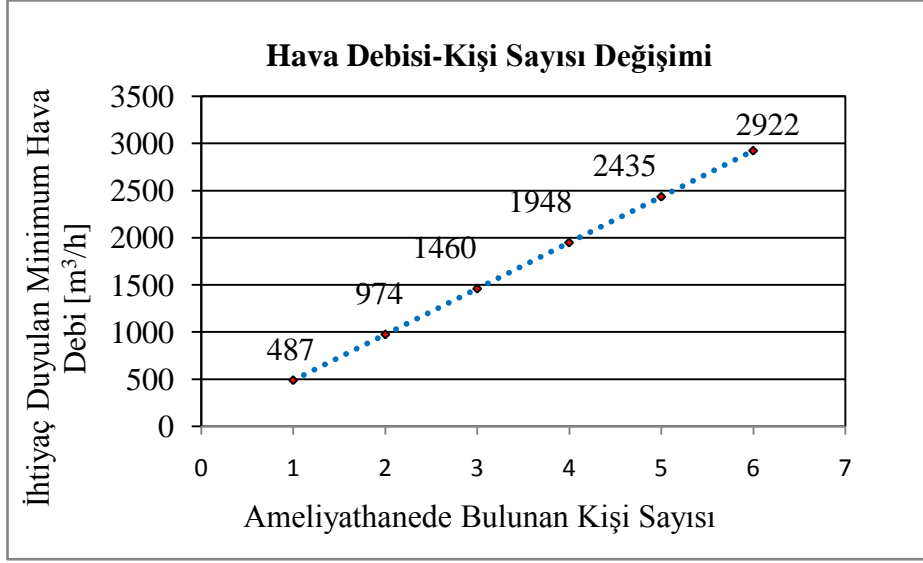
Şekil 5.3. Ameliyathanedeki kişi sayısının kirlilik üzerindeki etkisi

Çizelge 5.6.'da yapılan analizde ise G4+F9+H14 filtre konfigürasyonunda ve ISO 5 oda sınıfı için kişi sayısına göre gerekli minimum hava debisi program yardımıyla hesaplanarak Şekil 5.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Ameliyathane bulunan kişi sayısının toplam debiye etkisi

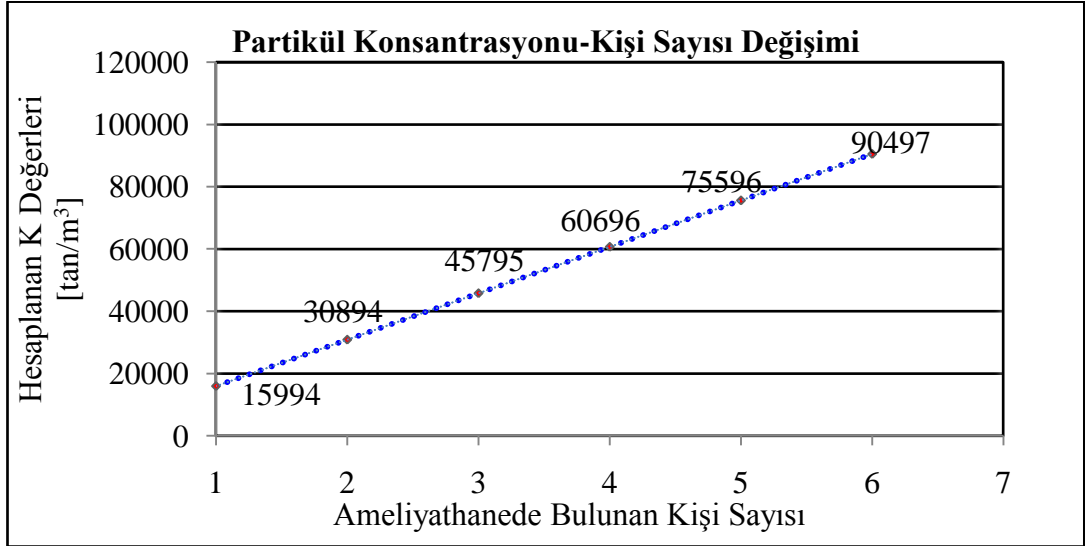
Kişi sayısı	Debi [m ³ /h]	Hava Değişim Sayısı	ISO 5 Sınıfı G4+F9+H14 Filtre grubu ve laminer akımlı bir oda için diğer etkenlerin sabit kabul edildiği ve teorik olarak hesaplanmıştır.
1	487	38	
2	974	75	
3	1460	113	
4	1948	150	
5	2435	188	
6	2922	226	

Burada Şekil 5.4.'de de görüldüğü gibi ameliyathane içerisinde artan insan sayısına bağlı olarak partikül miktarı artmaktadır. Buna paralel olarak hava debisi ve hava değişim sayıları da artmaktadır.



Şekil 5.4. Odadaki kişi sayısı debi arasındaki ilişki

Bu analizde ise Şekil 5.3.'de G4+F9+H13 filtre sınıfında ve ISO 6 oda klasın için yapılan hesaplamalar HEPA filtrenin H14 olması durumunda ameliyathanede bulunan kişi sayısının temizlik sınıfına etkisi teorik olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.5. Ameliyathanede bulunan kişi sayısının partikül miktarına etkisi

Burada HEPA filtrenin hassasiyetinin artmasıyla ameliyathanede bulunan partikül sayısının azaldığı açıkça görülmektedir.

Çalışma kapsamında hazırlanan ve kaba filtre, ön filtre, hassas ve HEPA filtre gruplarının farklı sınıflandırmalarına göre seçilmesi, ameliyathanede bulunan kişi sayısının farklı durumları, hava akışının laminierliği ve oda sınıfına göre istenilen temiz oda sınıfını teorik olarak hesaplayabilen bilgisayar programının Şekil 5.6.'da ara yüzü verilmektedir. Bu program ile yapılan hesaplamalarda, standartlarda en çok kullanılan filtreler, insan sayısı ve temiz oda boyutları referans olarak kullanılmıştır.

1- STANDART SEÇİMİ

ISO 14644

DIN 1946

FED 209E

2- HAVA AKIŞ ŞEKLİ

LAMİNER AKIŞ

KARIŞIK (TÜRBÜLANSLI) AKIŞ

3- TEMİZ ODA SINIFI

ISO (SINIF) 5

4- FİLTRE SEÇİMİ

G4

F7

F9

H14

5- ODA İÇİ İNSAN SAYISI

SEÇİNİZ

1

2

3

4

5

6

7

8

6- HAVA HIZI VE ÜLEME FİLTRE ALANI

HAVA HIZINI SEÇİNİZ [m/s] (Hava Hızı)

HEPA SAYISI HEPA ENİ (m) HEPA BOYU (m)

ADET SE 1.2 2.4

7- TAZE HAVA MİKTARI SEÇİMİ

%100 TAZE HAVALI SİSTEM

GERİ DÖNÜŞÜMLÜ SİSTEM

% 30

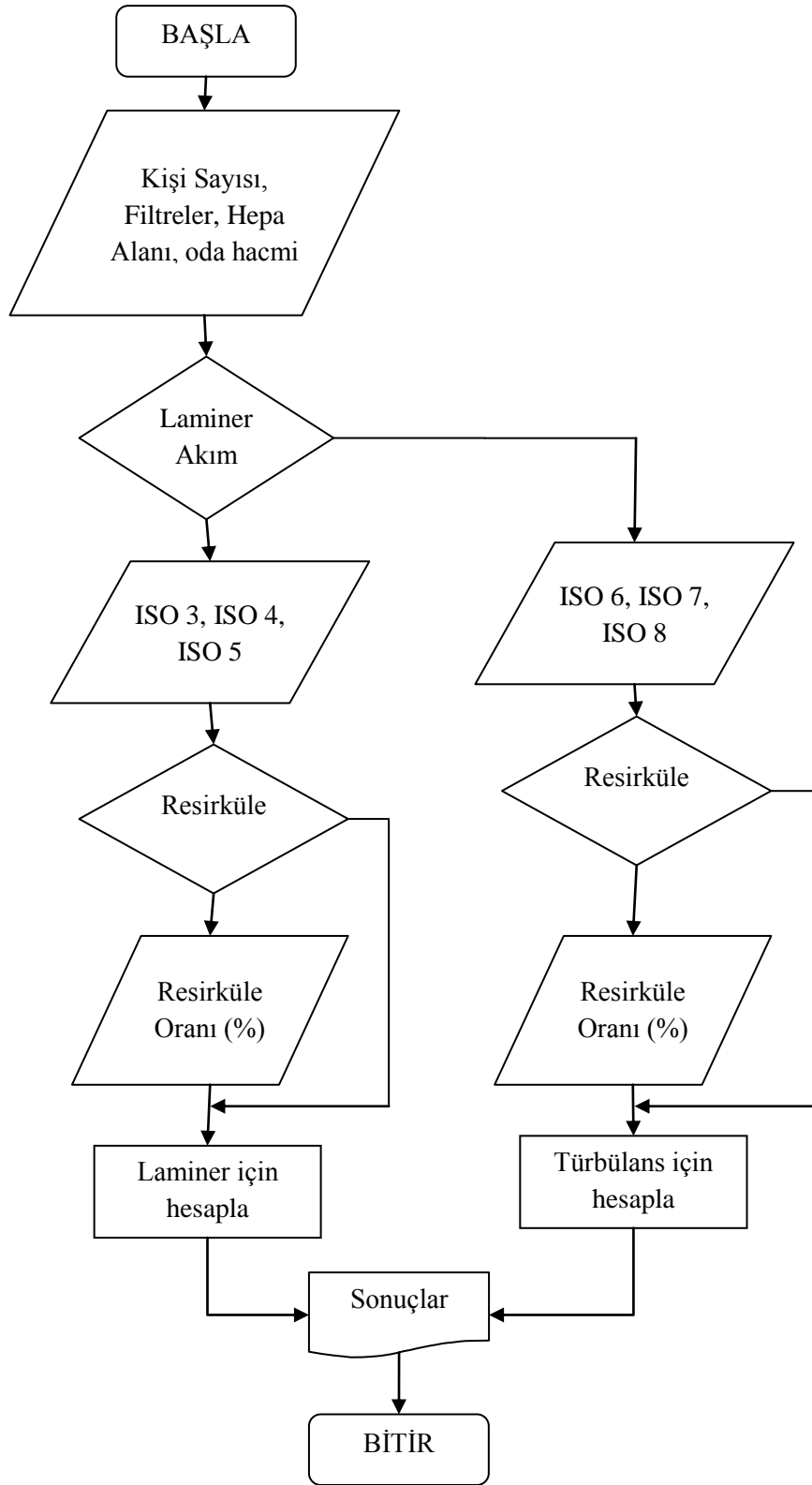
ODANIN ENİ [m] OLANIN BOYU [m] OLANIN YÜKSEKLİĞİ [m]

5 7 3

OPTİMUM DEBİ HESAPLA

ODA HACMİ

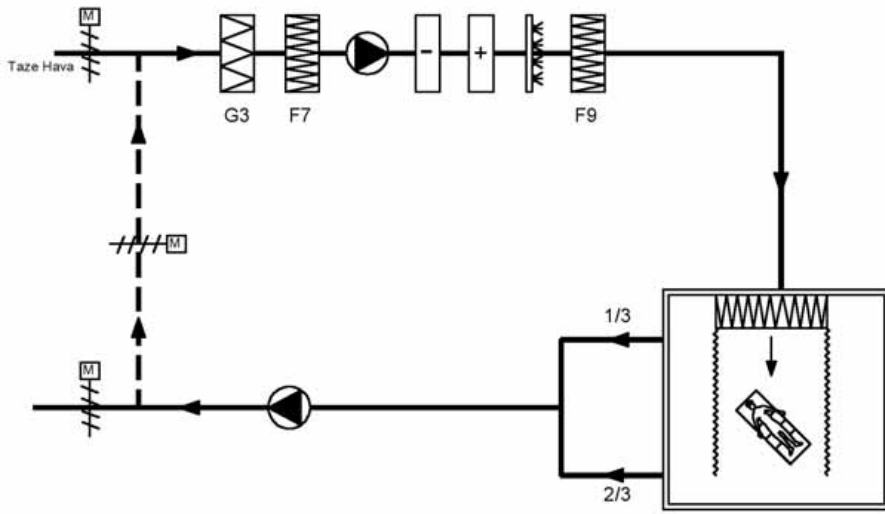
Şekil 5.6.a. Temiz oda hesaplamaları için bu çalışma kapsamında yazılan program.



Şekil 5.6.b. Temiz oda hesaplamaları için bu çalışma kapsamında yazılan program akış diyagramı

5.6. Ameliyathanelerde Filtre Sınıfının Oda Sınıfı ve Toplam Hava Debisi Üzerindeki Etkisi

Temiz odalarda gerekli hava debisini ve oda sınıfını belirleyen en önemli unsurlardan biri filtre sınıfları ve bu sınıfların sıralamasıdır. Burada yapılan analizlerde filtre sınıfları değiştirilerek odadaki tanecik konsantrasyonu ve debi hesaplamalarına örnekler verilmiştir. Şekil 5.7.'de filtrelerin ameliyathane klima sistemlerinde kullanım şeması verilmiştir.



Şekil 5.7. Klima santralının ve filtre kademelerinin şematik gösterimi [45]

Model olarak;

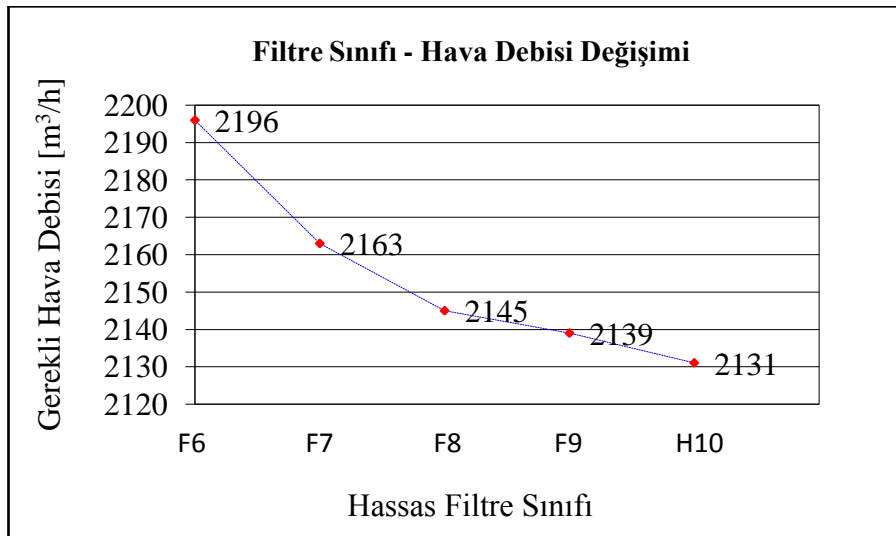
- Kişi başına partikül yayılımı $0.3 \mu\text{m}$ için 36000000 adet/h olarak alınmıştır.
- C_t : dış havadan gelen $0.3 \mu\text{m}$ için 9.10^7 adet/ m^3 alınmıştır.
- Hava debisi sabit olan örneklerde $2400 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak alınmıştır.
- Ameliyathane boyutları olarak $(5 \text{ m}) \times (6 \text{ m}) \times (3 \text{ m})$ şeklinde standartlarda en çok yer alan hacim kullanılmıştır.
- Laminer akış yüzey alanı $(1.8 \text{ m}) \times (2.4 \text{ m})$ olarak alınmıştır.

5.6.1. Türbülanslı Akımlı Bir Ameliyathanede Hassas Filtre Sınıfının Hava Debisi Üzerindeki Etkisinin Analizi

Burada yapılan analizde; türbülanslı akımlı ISO 6 Sınıfında bir ameliyathanenin hassas filtre sınıfının debiye etkisi incelenmiştir.

Çizelge 5.7. H14 Sınıf HEPA filtreli temiz odada hassas filtre sınıfının hava debisine etkisi

Filtre Sınıfı	Debi [m ³ /h]	ISO 6 Sınıfı G4+Hassas Filtre+H14 Filtre grubu ve türbülanslı akımlı bir ameliyathane için hassas filtre sınıfı değiştirilerek gerekli debi hesaplanmıştır.
F6	2196	
F7	2163	
F8	2145	
F9	2139	
H10	2131	



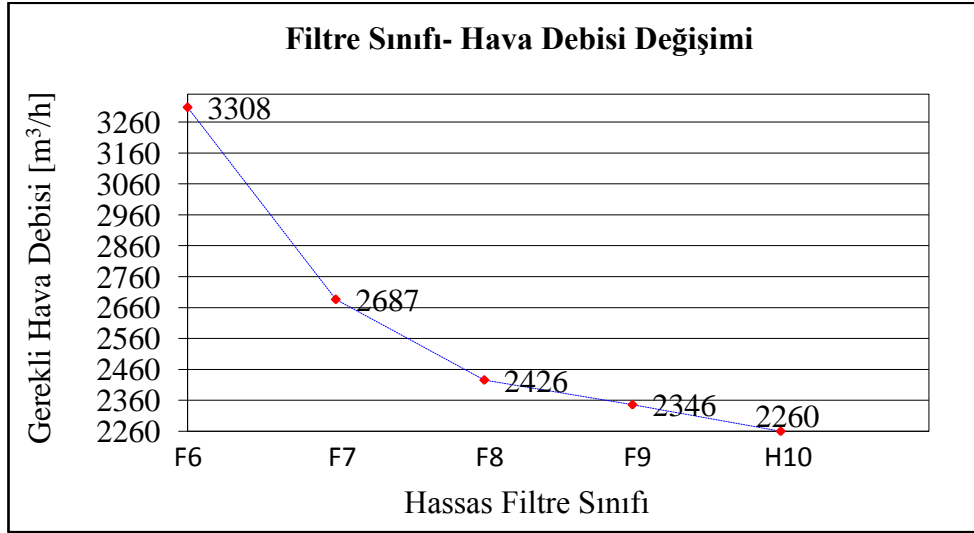
Şekil 5.8. H14 sınıfı HEPA filtreli temiz odada hassas filtre sınıfının hava debisine etkisi

Burada Şekil 5.7.'de de görüldüğü gibi ameliyathanenin ihtiyacı olan hava debisi ön filtrenin hassasiyeti arttıkça azalmaktadır. Ancak gereken debi miktarında çok büyük bir düşüş olmamaktadır. Bunun ilk nedeni HEPA filtrenin H14 sınıfında olmasıdır. Diğer nedeni ise odanın türbülanslı akımlı bir ameliyathane olmasıdır.

Çizelge 5.8.'de HEPA filtrenin H13 olduğu bir sistemde hassas filtre sınıfının hava debisine etkisi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8. H13 HEPA filtreli ameliyathanede hassas filtre sınıfının hava debisine etkisi

Filtre Sınıfı	Debi [m ³ /h]	ISO 6 Sınıfı G4+Hassas Filtre+H13 Filtre grubu ve türbülanslı akımlı bir ameliyathane için hassas filtre sınıfı değiştirilerek gerekli debi hesaplanmıştır.
F6	3308	
F7	2687	
F8	2426	
F9	2346	
H10	2260	



Şekil 5.9. H13 HEPA filtreli ameliyathanede hassas filtre sınıfının hava debisine etkisi

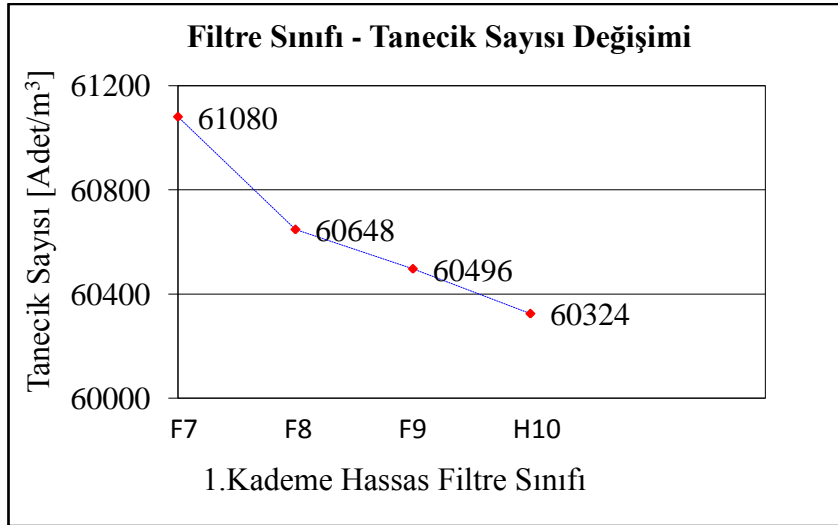
Burada HEPA filtrenin H13 olması durumunda, debi değerinin kayda değer bir düşüş gösterdiği görülmektedir.

5.6.2. Türbülanslı Akımlı Bir Ameliyathanede Hassas Filtre Sınıfının Partikül Konsantrasyonu Üzerindeki Etkisinin Analizi

Şekil 5.9.'da verilen analizde, türbülanslı akımlı bir ameliyathanede dört kademe filtre uygulanmış ve ikinci kademe hassas filtre değişiminin partikül sayısı üzerinde etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. H14 HEPA filtreli ameliyathanede hassas filtrenin tanecik sayısına etkisi

Debi [m ³ /h]	Filtre Sınıfı	Tanecik Sayısı [Adet/m ³]	ISO 6 Sınıfı G4+F7+Hassas Filtre+H14 filtre grubu ve türbülanslı akımlı bir ameliyathane için hassas filtre sınıfının partikül konsantrasyonuna etkisi hesaplanmıştır.
2400	F7	61080	
2400	F8	60648	
2400	F9	60496	
2400	H10	60324	



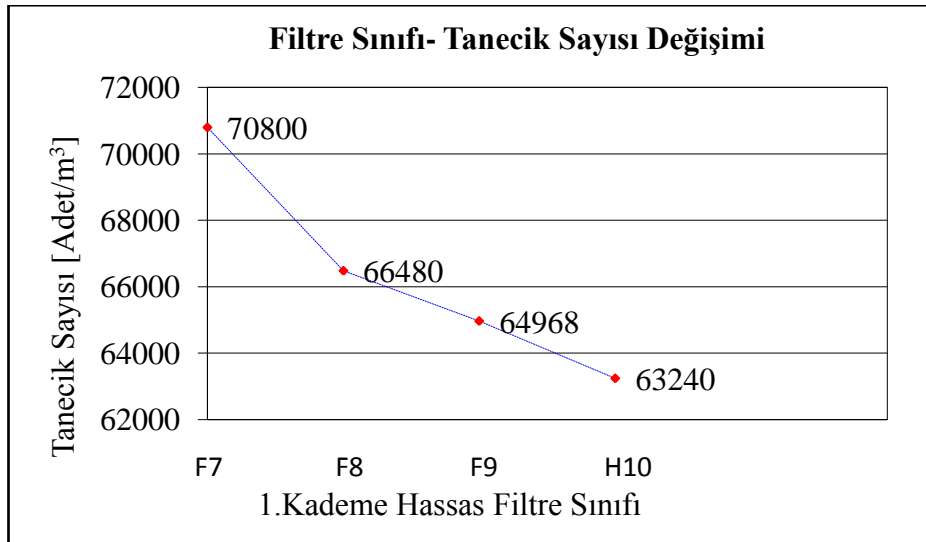
Şekil 5.10. H14 HEPA filtreli ameliyathanede hassas filtre sınıfının tanecik sayısına etkisi

Şekil 5.9.'dan da anlaşıldığı gibi filtre sınıfının ameliyathanedeki partikül sayısı üzerinde çok büyük etkisi olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni türbülanslı akımlı bir ameliyathane olmasıdır. Partiküller tüm ameliyathane hacmine yayılmaktadır.

Çizelge 5.10.'da verilen analizde, türbülanslı akımlı bir ameliyathanede dört kademe filtre uygulanmış ve ikinci kademe hassas filtre değişiminin partikül sayısı üzerinde etkisi gösterilmiştir. HEPA filtre olarak H13 sınıfı bir filtre kullanılmıştır.

Çizelge 5.10. H13 HEPA filtreli ISO 6 Sınıfında bir ameliyathanede hassas filtrenin tanecik sayısına etkisi

Debi [m ³ /h]	Filtre Sınıfı	Tanecik Sayısı [Adet/m ³]	ISO 6 Sınıfı G4+F7+Hassas Filtre+H13 Filtre grubu ve türbülanslı akımlı bir ameliyathane için hassas filtre sınıfının partikül konsantrasyonuna etkisi hesaplanmıştır.
2400	F7	70800	
2400	F8	66480	
2400	F9	64968	
2400	H10	63240	



Şekil 5.11. H13 HEPA filtreli ISO 6 Sınıf bir ameliyathanede hassas filtrenin tanecik sayısına etkisi

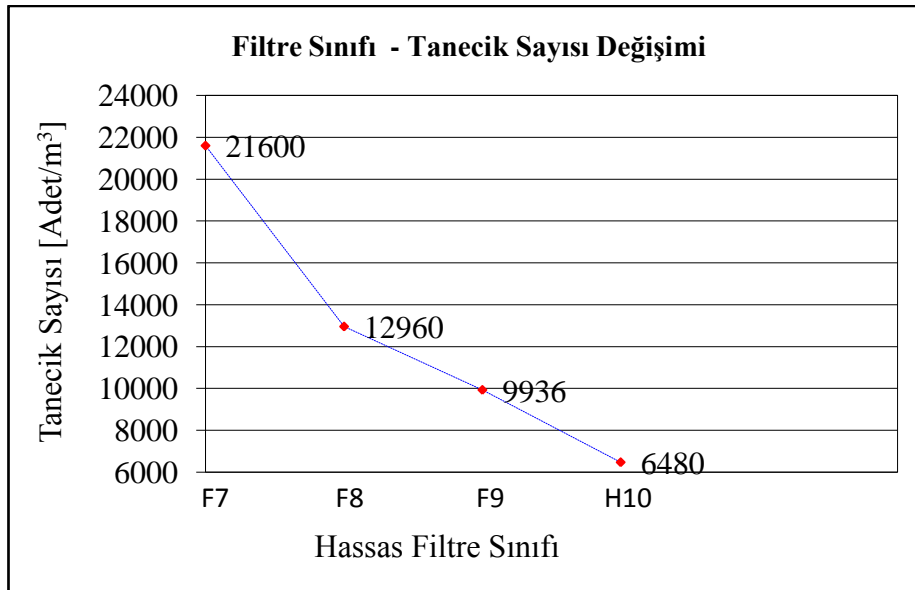
Şekil 5.10.'dan da anlaşıldığı gibi filtre sınıfının ameliyathanedeki partikül sayısı üzerinde çok büyük etkisi olmadığı görülmektedir. Bu durum dikkate alınarak maliyet analizi yapılmalı ve bu analize göre uygun filtre konfigürasyonu seçilmelidir.

5.6.3. Laminer Akımlı Bir Ameliyathanede Hassas Filtre Sınıfının Partikül Konsantrasyonu Üzerindeki Etkisinin Analizi

Üç kademeli laminer akımlı ve H13 sınıfı HEPA filtre kullanılan bir ameliyathanede hassas filtre değişiminin partikül miktarına etkisi Çizelge 5.11.'de verilmektedir.

Çizelge 5.11. H13 HEPA filtreli ISO 5 Sınıfı bir ameliyathanede hassas filtrenin tanecik sayısına etkisi

Debi [m ³ /h]	Filtre Sınıfı	Tanecik Sayısı [Adet/m ³]	ISO 5 Sınıfı G4+Hassas Filtre+H13 Filtre grubu ve laminer akımlı bir ameliyathane için hassas filtre sınıfının partikül konsantrasyonuna etkisi hesaplanmıştır.
2400	F7	21 600	
2400	F8	12 960	
2400	F9	9 936	
2400	H10	6 480	



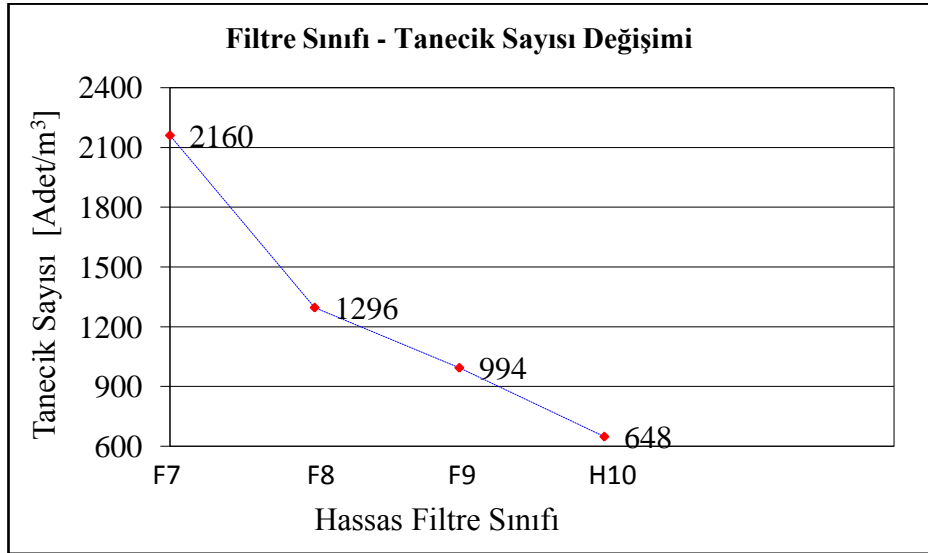
Şekil 5.12. H13 HEPA filtreli ISO 5 Sınıf bir ameliyathanede hassas filtre sınıfının tanecik sayısına etkisi

Şekil 5.11.'de yine partikül sayısı hassas filtre ilişkisi görülmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken durum hassas filtrenin en az F 9 sınıfı olmasıdır.

Üç kademeli laminer akımlı ve H14 sınıf HEPA filtre kullanılan bir ameliyathanede hassa filtre değişiminin partikül miktarına etkisi Çizelge 5.12.'de verilmektedir.

Çizelge 5.12. Üç kademe ve H14 HEPA filtreli odada hassas filtre sınıfının tanecik sayısı üzerindeki etkisi

Debi [m ³ /h]	Filtre Sınıfı	Tanecik Sayısı [Adet/m ³]	ISO 5 Sınıfı G4+Hassas Filtre+H14 Filtre grubu ve türbülanslı akımlı bir ameliyathane için hassas filtre sınıfının partikül konsantrasyonuna etkisi hesaplanmıştır.
2400	F7	2160	
2400	F8	1296	
2400	F9	994	
2400	H10	648	

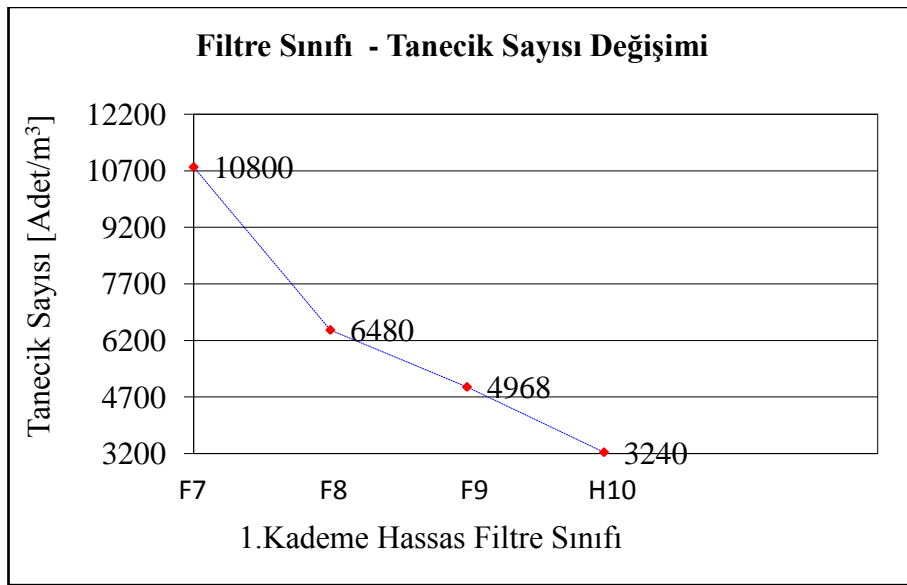


Şekil 5.13. Üç kademe ve H14 HEPA filtreli odada hassas filtre sınıfının tanecik sayısı üzerindeki etkisi

Şekil 5.12.'nin Şekil 5.11.'e göre bariz olarak gözüken farkın nedeni kullanılan HEPA filtrenin H14 sınıfı olmasıdır.

Çizelge 5.13. Dört kademe ve H13 HEPA filtreli odada hassas filtre sınıfının tanecik sayısı üzerindeki etkisi

Debi [m ³ /h]	Filtre Sınıfı	Tanecik Sayısı [Adet/m ³]	ISO 5 Sınıfı G4+F7+Hassas Filtre+H13 Filtre grubu ve türbülanslı akımlı bir ameliyathane için hassas filtre sınıfının partikül konsantrasyonuna etkisi hesaplanmıştır.
2400	F7	10800	
2400	F8	6480	
2400	F9	4968	
2400	H10	3240	

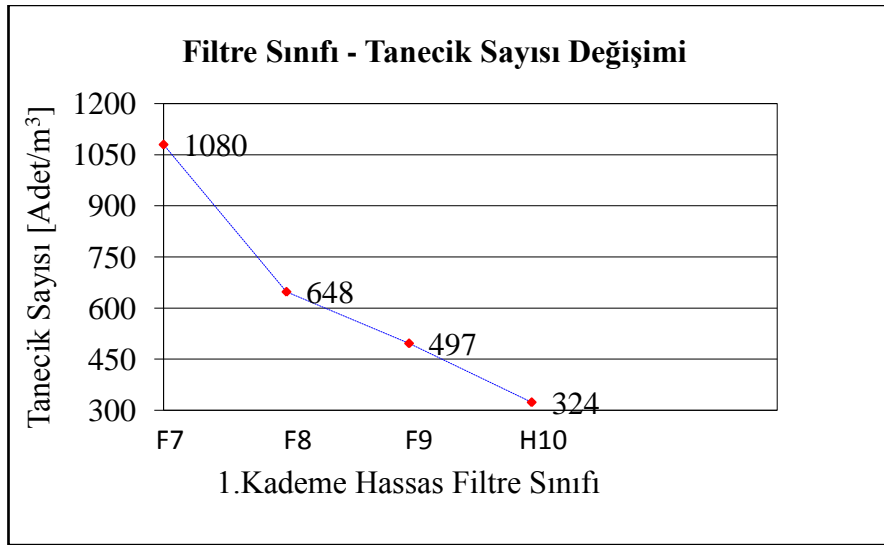


Şekil 5.14. Dört kademe ve H13 HEPA filtreli odada hassas filtre sınıfının tanecik sayısı üzerindeki etkisi

Şekil 5.13.'te verilen modele göre seçilecek hassas filtrenin en az F 8 sınıfı olması gerekir.

Çizelge 5.14. Dört kademe ve H14 HEPA filtreli odada hassas filtre sınıfının tanecik sayısı üzerindeki etkisi

Debi [m ³ /h]	Filtre Sınıfı	Tanecik Sayısı [Adet/m ³]	ISO 5 Sınıfı G4+F7+Hassas Filtre+H14 Filtre grubu ve türbülanslı akımlı bir ameliyathane için hassas filtre sınıfının partikül konsantrasyonuna etkisi hesaplanmıştır.
2400	F7	1080	
2400	F8	664	
2400	F9	497	
2400	H10	324	



Şekil 5.15. Dört kademe ve H14 HEPA filtreli odada hassas filtre sınıfının tanecik sayısı üzerindeki etkisi

HEPA filtrenin H 14 olduğu Şekil 5.14.'de partikül miktarları oldukça az olmakta ve tüm hassas filtreler seçilebilmektedir. Maliyet açısından F 7 sınıfı seçilebilir.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, öncelikle ameliyathane tasarımı üzerinde çalışan herkes için bir kaynak olmayı hedeflemiş ve çalışmalar bu yönde gerçekleştirilmiştir. Bu konu ile ilgili olarak araştırma, geliştirme, projelendirme, proje onayı ve uygulamaları sırasında tasarım standartlarının karşılanıp karşılanmadığının kontrolü için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program sayesinde çeşitli durumlar için hesaplamalar yapılarak debi, oda sınıfı, filtre uygunluğu gibi kontroller yapılabilmektedir.

Ameliyathaneler mühendislik açısından tasarlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu hijyendir. İkinci öncelikli konu ise, üzerinde her geçen gün biraz daha hassasiyetle durulması gereken enerji tasarrufu konusudur. Son zamanlarda bu tarz sistemler tasarlanırken; hijyen ve enerji tasarrufu hususlarının birlikte dikkate alınması neredeyse zorunluluk haline gelmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda; resirküle hava kullanımının, gerek hijyen açısından gerekse enerji tasarrufu açısından tavsiye edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Şekil 5.1.'den de anlaşıldığı gibi; seçilen filtre grubu ISO 5 Sınıfını karşılamakla birlikte, ameliyathanede bulunabilecek tanecik miktarı resirküle hava oranı arttıkça azalmaktadır. Yani teorik olarak resirküle hava kullanımının hijyen açısından uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, Şekil 5.2.'deki grafikten de anlaşıldığı gibi, resirküle hava oranı arttıkça harcanan ısı enerjisi azalmaktadır. Bu durum, odada istenilen hava sıcaklığına ulaşmak için gerekli sıcaklık farkının azalmasından ileri gelmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken detay olarak, resirküle hava miktarının ne kadar olacağı konusudur. Bu hesaplamalar yapılırken ortamda bulunan insanlar için konfor şartlarının yerine gelmesi ve ortamdaki anestezi gazlarının tahliyesi için gereken minimum taze hava debisinin sağlanmasına da dikkat edilmelidir.

Ultraviyole ışın teknolojisi araştırılıp dikkatlerin bu konu üzerine çekilmesi bu çalışmanın hedefleri arasındadır. Özellikle resirküle hava kullanılan bir ameliyathanede, resirküle havada bulunan mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek için ultraviyole ışınlardan faydalanılabilir. Bu konuda bazı çalışmaların deneysel olarak yapılması gerekmektedir. UV lamba gücünün ve uygulama süresinin artması

da etkinliği artıracadından; hedef mikroorganizmalara ve uygulama alanının büyüklüğüne bağlı olarak; kullanılacak UV lambaların türüne, büyüklüğüne, lamba sayısına ve uygulama süresine karar verilmelidir. Sonuç olarak; hava kanallarına, karışım odalarına ve bu bağlamda önem arz eden başka noktalara ne sıklıkta konulacağına deneysel olarak çalışılması gerektiği düşünölmektedir.

Yapılan bu çalışmanın başka bir sonucu da; ameliyathanede bulunan kişi sayısına bağlı olarak kirliliğin arttığı ve bu kirliliği standardın istediği seviyeye çekmek için gerekli minimum hava debisinin artırılması gerektiği görölmüşür. Şekil 5.3.'de göröldüğu gibi ameliyathanede bulunan kişi sayısı arttıkça oda içerisinde bulunan en az 0.3 µm çapında partiküllerin sayısının arttığı görölmüşür. Çalışmada 6 kişiye kadar hesaplama yapılmış ve 0.3 µm ve üzeri büyüklüğünde tanecik sayısı 94968 adet olarak bulunmuşür. Bu partikül sayısı hesap yapılan oda standardını karşılamaktadır. Hesap yapılan ISO 6 Sınıfındaki bu odada çizelge 2.4.'de de göröldüğu gibi, bulunabilecek ve 0.3 µm ve üzeri büyüklüğünde maksimum tanecik sayısı 102000 adet olabileceği görölmektedir. Hesaplamaya devam edilirse odada 7 veya daha fazla kişi bulunması durumunda tanecik sayısının 102000 olan sınır değeri aştığı göröülecektir. Bu ise büyük bir sorundur. Eğer ameliyathanedeki kişi sayısı mecburiyetten dolayı artıyorsa ya filtre grupları yeniden belirlenmeli ya da hava debisi artırılmalıdır. Resirküle hava kullanımı dahi bazen belirli sınırlar içerisinde sorunu çözebilmektedir. Bu yüzden daha tasarım aşamasında iken bu gibi durumlar için çeşitli senaryolar üretilerek program üzerinden yapılacak hesaplamalar ile standarda uygun tasarım yapılmış olunacaktır. Şekil 5.4.'de ise ameliyathanede bulunan kişi sayısına bağlı olarak artan kirliliği azaltmak ve istenilen seviyede olması için seçilen oda sınıfı ve filtrelere göre gerekli minimum hava debisi grafiği verilmiştir. Diğer özellikler sabitken kişi sayısına bağlı olarak artan kirliliği azaltmak için ihtiyaç olan hava debisinin arttığı görölmektedir. Burada da dikkat edilmesi gereken konu ameliyathanede bulunabilecek maksimum kişi sayısına göre filtre grubu ve gerekli debiyi karşılayacak havalandırma santrali seçilmesidir.

Ayrıca özellikle HEPA ve diğer filtrelerin debi üzerinde çok büyük etkisi olduğu program hesaplamaları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bulunan hava debisinin yüksek olması durumunda filtreler yeniden tasarlanıp daha düşük debi seçimi

yapılarak fan hızı düşürülebilir. Fan hızını azaltması sadece enerjiyi korumakla kalmaz, aynı zamanda daha düşük ses seviyesi, fan ekipmanının daha uzun ömürlü olmasını ve laminar akım gerekmeyen odalarda daha az türbülans oluşturarak temizliğin gelişmesini sağlar. Yani temiz odalarda çok dikkatli seçilen hava değişim sayıları, fan sisteminin küçülmesine ve maliyetin azalmasına neden olur. Odada bulunacak kişi sayısı ve buna benzer değişken kirlilik kaynaklarına bağlı olarak artacak temiz hava debisinin havalandırma santraline ait frekans invertörleri sayesinde istenildiği zaman gerekli debiyi verecek ayarlamalar yapılabilir.

Ameliyathanelerde kullanılacak hava debisi miktarı; filtre konfigürasyonu, ameliyathanede bulunan kişi sayısı, resirküle hava miktarı, odada laminar akışın olup olmayacağı gibi birçok parametreye bağlıdır. Ancak emniyetle seçilen filtre konfigürasyonundan sonra resirküle hava oranı ve kişi sayısı senaryolarına göre gerekli hava debisi program ile hesaplanabilir. Bir otomasyon programı vasıtasıyla minimum standart debi ve hava hızlarını sağlamak koşuluyla her ameliyat operasyonu için farklı debilerde çalışılabilir. Böylece hem enerji tasarrufu sağlanır hem de hijyen sağlanarak insan sağlığına olumlu katkı sağlanmış olur. Hijyenin gerektiği gibi sağlanması ile gereksiz ilaç kullanımı önlenerek ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Hürtürk, Ş., Temiz Oda Tasarımı ve Bir Ameliyathaneye Uygulanarak Projelendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- [2] Özcan, A., Temiz Odalarda Hava Değişim Sayısı ve Filtre Sınıfının Oda Klasına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.
- [3] Bilge, M., Hastanelerde Hijyen ve Klima Tesisatı. İklimlendirme Soğutma Klima İmalatçıları Derneği, İstanbul, 2008.
- [4] MMO, Hastane Hijyenik Alanlarının Klima ve Havalandırma Proje Hazırlama Esasları, Teslim Alma ve Periyodik Bakım. Makine Mühendisleri Odası Yayını, Yayın no: 495/2, İzmir, 2009.
- [5] MMO, Hastane İklimlendirme Tesisatı ve Denetim Esasları. Makine Mühendisleri Odası Yayını, Yayın no: 481, İstanbul, 2008.
- [6] MMO, Hastane ve Klinikler İçin HVAC Tasarım Klavuzu. Makine Mühendisleri Odası Yayını, Yayın no: 503, Ankara, 2009.
- [7] Doğan, H., Havalandırma ve İklimlendirme Esasları. Seçkin Kitabevi, Ankara , 2008.
- [8] Heperkan, H., Ameliyathane Klima Tasarımı, Uygulanması ve Testleri Çalıştayı. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayın no:15, İstanbul, 2006.
- [9] Demircioğlu, M., Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme Uygulamaları. ASHRAE El Kitabı 2003, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayın no:14, İzmir, 2004.
- [10] Carrier, A., Carrier Hava Koşullandırma ve Sistem Tasarımı Cilt 1. İstanbul, 2004.
- [11] MMO, Klima Tesisatı. Makina Mühendisleri Odası Yayını, Yayın no: 296, Ankara, 2002.

- [12] Özer, M., Bir Ameliyathane Klima Tasarımı Termodinamik Testleri ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- [13] Dedehayır, B., Temiz Oda Tasarımı ve Ameliyathanelerde Kullanılan Laminar Akış Üniteleri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2005.
- [14] Özgür, K., Hastanelerde Ameliyathanelerin Hijyenik Olarak Klimatize Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.
- [15] Eren, S., Ameliyathane Klimatizasyonu ve Gaz Tesisatı. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1998.
- [16] Uğurlu, D., Bir Hastane Klimasında Hijyen Oda Şartlandırılması ve Sistemin Termoekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2005.
- [17] Özşeker, G., Temiz Odalarda Mahaller Arası Basınç Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.
- [18] Çaycı, M., Z., Ameliyathanelerin İklimlendirilmesinde Isı ve Soğu Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 1997.
- [19] Eberliköse, Ö., Hastane Hijyenik Ortamlarının Mimari Tasarımı. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2007, İzmir, s. 467-473, 2007.
- [20] Küçükçalı, R., Temiz Odalar ve Hastaneler. Isısan Yayınları, Yayın No: 305, İstanbul, 2001.
- [21] Öztürk, N., Ecemiş, T., Hava Yolu İle Bulaşan Hastane Enfeksiyonları ve Hastane Havalandırma Sistemleri. Manisa, 2007, Sağlıkta Birikim Dergisi, Cilt:1, Sayı:4, s. 77-89, 2007.
- [22] Anıl, B.,O., Mobedi, M., Özerdem, Bilge, M., Hastane Hijyenik Ortamları İçin Klima ve Havalandırma Sistemleri Tasarım Parametreleri. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2007, İzmir, s. 497-509, 2007.

- [23] Kenter, M., Hastanelerde Steril Alan Planlama Kriterleri. I. Ulusal Dezenfeksiyon, Antisepsi ve Sterilizasyon Kongresi Kitabı, Bölüm 18, Samsun, Aralık 2001.
- [24] Yazıcıoğlu, O., Aykut, Ş., Temiz Odaların Tasarımı. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. İstanbul, Sayı:15 s. 37-54, 2009.
- [25] Kenter, M., Temiz Oda Tasarımı ve İklimlendirme Siteminin Temiz Odalarda Önemi. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2007, İzmir, s. 529-544, 2007.
- [26] Ulutepe, L., Hijyenik Ortamların Hava Filtrasyonu. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2007, İzmir, s. 477-493, 2007.
- [27] Gülpınar, A., Ameliyathanelerde Laminer Hava Akışı ile Düşük Mikrop Konsantrasyonunun Sağlanması.
- [28] ISO 14644-1 Standardı.
- [29] DIN 1946-4 Alman Standardı.
- [30] Sungü, A., Ameliyathane Havalandırma Sistemleri IVF ve Genetik Laboratuvar Havalandırma Sistemleri. 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, Nisan 2007, Antalya, s. 466-485, 2007.
- [31] Peker, T., Ameliyathanelerde Standart, Yönetmelik ve Denetim Boşluğu ve MMO Yaklaşımı. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2007, İzmir, s. 769-792, 2007.
- [32] Öztumur, C., Hastane Hijyenik İklimlendirme Sistemleri ile İnfeksiyon Kontrolü. Ulusal Yoğun Bakım İnfeksiyonları Sempozyumu, Mayıs 2007, Nevşehir, 2007.
- [33] Güven, K.O., Ameliyathanelerde Hijyenik Klima Tesisatı., VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2003, İzmir, 2003.

- [34] Sng, A., Sağlık Kurumlarında Havalandırma Sistemlerinin Kontrol Parametreleri., 7. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, Mart 2011, Antalya, s. 23-32, 2011.
- [35] ztrk, N., Ultraviyole Lambalarının Kullanımı., V. Ulusal Dezenfeksiyon Kongresi, Nisan 2007, Antalya, s. 490-496, 2007.
- [36] www.saglikli hava.com, (12 Nisan 2011 tarihinde erişilmiştir.)
- [37] D'orazio, A., M., Fabiani, F., Salata, D. D'alessandro, UV-C Işınları ve HEPA Filtreler Aracılığı ile Hastane Ortamında Biyo-Kontaminasyonun Kontrolü., TTMD Dergisi, Sayı:70, s. 48-53, 2010.
- [38] Kırbaş, C., Ameliyathanelerde Basınç ve Hava Akışı Uygulaması.,IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,Mayıs 2009, İzmir, s. 1261-1271, 2009.
- [39] Ergon, M., C., Hastanelerde İnşaat ve Tesisat Sistemi Kaynaklı Enfeksiyon Etkenleri., VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2007, İzmir, s. 453-464, 2007.
- [40] Bulgurcu, H., İklimlerlendirme Sistem Tasarımında Bilgi Teknolojilerinin Kullanımı., Ulusal İklimlerlendirme Sempozyumu ve Sergisi., şubat 2005, Antalya, 2005.
- [41] Bulgurcu, H., İklimlerlendirme ve Soğutma Eğitiminde Bilgi Teknolojilerinin Kullanımı., VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi., Ekim 2003, İzmir, 2003.
- [42] Köksal, Y., Kapalı Mahallerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi., V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.,Ekim 2001, İzmir, s. 625-629 2001.
- [43] Kurtulmuş, O., Olgun, B., Gltek, S., Heperkan, H., Temiz Oda Klima Sistemlerinde Devreye Alma alışmaları ve Performans Değerleri., IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi., Mayıs 2009, İzmir, s. 1275-1286, 2009.

[44] Kenter, M., Temiz Oda ve Hijyenik Klima Sistemi Tasarımı ve Ödevleri., TTMD, sayı: 49, s. 21-28, 2007.

[45] Hastane Temiz Odaları Klima Tesisatı Tasarım ve Etkinleştirme (Commisioning) Kriterleri, TTMD, sayı: 49, s. 29-35 2007.

[46] Özkaynak, T., Temiz Odalarda Kullanılan HEPA Filtreler ve Test Standartları, TTMD, sayı: 49, s. 36-38, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Erim Dişli, İlk ve ortaokulu Sakarya’da, liseyi Bilecik Osmaneli Sağlık Meslek Lisesinde 1999 yılında birincilikle tamamladı. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Sağlık Bakanlığına bağlı çeşitli kurum ve kuruluşlarda çalıştı. 2010 yılından itibaren Ankara İl Sağlık Müdürlüğünde Makina Mühendisi olarak çalışmakta olup, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.