

**TEMİZ ODALARDA HAVA DEĞİŞİM SAYISI VE
FİLTRE SINIFININ ODA KLASINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Adem ÖZCAN
(503031126)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. F. Taner ÖZKAYNAK
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ
Prof.Dr. Salim ÖZÇELEBİ (İ.Ü.)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Gıda, ilaç, mekanik, elektronik, uzay programları gibi daha bir çok alanda teknolojinin gelişmesiyle birlikte kirlilik kontrolü sorunları ortaya çıkmış, buna karşı başlatılan çalışmalar sonucunda, sistemin hayati bir parçası olarak temiz oda kavramı ortaya çıkmıştır. Ancak bu talebi karşılayacak yeterli kaynak bulunmamakla birlikte, bu talebi karşılayacak eğitilmiş personelin yetiştirilmesine önem verilmemektedir.

Ülkemizde temiz oda, üzerinde fazla durulmayan bir konu olmasına rağmen, günümüzde gerekli ilgiyi az da olsa görmeye başlamıştır. Özellikle hastanelerimizde, daha önce dikkat edilmeyen bu konu artık ele alınmıştır. Yeni oluşturulan hastane projeleri temiz oda standartlarına göre dizayn edilmekte ve hijyenik klima santrallerinin kullanımı giderek artmaktadır. Gelişen teknoloji, diğer sektörlerde de aynı önemin giderek artmasını sağlamaktadır.

Bu tez çalışması, temiz odalarda filtre veriminin ve hava değişim sayısının, mahalin temizlik sınıfını ne derece etkileyebildiği hakkında fikir sahibi olunmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, temiz oda için kullanılabilen klima sistemleri çeşitleri ve oda konsantrasyonları üzerine etkileri hakkında birtakım çalışmaların bu tez kapsamında yapılması, temiz odalar konusuna daha geniş bir çerçeveden bakılmasına yardımcı olmuştur. Temiz odalar üzerine daha fazla araştırma yapılmasının gerekli ve faydalı olacağı inancındayım. Beni bu konuda çalışmaya sevk eden, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. F. Taner ÖZKAYNAK'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım ile ilgili olarak maddi-manevi destekleri ile yanımda olan, Sayın S. Cevat TANRIÖVER şahsında tüm Tanrıöver Mühendislik çalışanlarına, fikir alış-verişinde bulunduğum tüm arkadaşlarıma, eğitim hayatım boyunca bana gösterdikleri her türlü destekten dolayı, sevgili babam ve annem başta olmak üzere tüm aileme ve tezimin hazırlanması boyunca bana yardımcı olan sevgili eşime teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2006

Adem ÖZCAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1 Havalandırma Filtrelerinin Yüklenmesiyle Koku Yayılımının Algılanmasındaki Artış	5
2.2 Temiz Ameliyathanelerin Kontrol Altında Tutulması	7
2.3 Hellenic Hastanesi Ameliyathanelerindeki İç Hava Koşulları ve HVAC Sistemleri	10
2.4 Temiz Odalarda Enerji Verimi Uygunluğunun Tanımlanması için Benchmark kullanımı: Lab 21 Yaklaşımı	11
3. TEMİZ ODALAR VE KLASLARI	13
3.1 Temiz Oda Tanımı ve Uygulama Alanları	13
3.2 Temiz Oda İçin Kullanılan Standartlar ve Klasifikasyon	14
3.2.1 İlaç Sektöründeki Temiz Odalar İçin Sınıflandırma	17
3.2.2 Hastanelerdeki Temiz Odalar İçin Sınıflandırma	18
4. TEMİZ ODALARDA HAVA AKIŞ DİZAYNI	19
4.1 Temiz Odalarda Hava Dağılımı	19
4.2 Temiz Odalarda Hava Hazırlama	20
4.3 Resirküle Hava Değişim Miktarı ve Temiz Oda Hava Hızının Oda Klasına Etkisi	21
5. TEMİZ ODALARDA FİLTRELER	24
5.1 Temiz Odalarda Filtre Seçimi	24
5.2 Temiz Oda Klima Sisteminde Filtre Konfigürasyonu	26

5.3	Filtre Sınıfları ve Verimleri	27
5.3.1	Kaba filtreler (G1-G4)	27
5.3.2	Hassas Filtreler (F5- F9)	28
5.3.3	HEPA Filtreler (H10-H14)	29
5.3.4	ULPA Filtreler (U15-U18)	29
5.4	HEPA Filtreler için Ön filtreler	30
5.5	Filtre Kullanım Alanları	31
5.6	Hastanelerde Hava Temizlik Kalitesi ve Filtreler	33
5.6.1	Hastanelerde Hava Temizlik Kalitesi	33
5.6.2	Hastanelerde Filtre Seçimi ve Filtre Yerleşimi	33
6.	TEMİZ ODALARDA KLİMA ÜNİTELERİ VE ÇEŞİTLERİ	36
6.1	Hijyenik Klima Santralleri	36
6.2	Hijyenik Klima Santrali Özellikleri	37
6.3	Klima Santrallerinde Hava Filtreleri	39
6.4	Klima Üniteleri Çeşitleri	40
6.4.1	Merkezi Klima Üniteleri	41
6.4.2	Hibrit Klima Sistemi- Dağıtımlı Klima Üniteleri	42
6.4.3	Fan Filtre Üniteli Klima Sistemi- Tavan Dağıtımlı Klima Üniteleri	43
7.	ODA KLASINI VEREN TANECİK KONSANTRASYONUNUN HESABI VE MALİYET ANALİZİ	44
7.1	Sistem Tasarımı ve Amaçlar	44
7.2	Oda Klasını Veren Tanecik Konsantrasyonun Hesabı	46
7.3	Merkezi Klima Sisteminde Oda Tanecik Konsantrasyonunun Hesabı	51
7.3.1	V=5200m ³ /h için Terminal Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	52
7.3.2	V=5200m ³ /h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	54
7.3.3	V=2400m ³ /h için Terminal Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	55
7.3.4	V=2400m ³ /h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	56
7.4	Hibrit Klima Sisteminde Oda Tanecik Konsantrasyonunun Hesabı	57
7.4.1	V=5200m ³ /h için Terminal Filtrenin Farklı G değerlerinde Oda Klasına Etkisi	59
7.4.2	V=5200 m ³ /h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	60

7.4.3	V=2400m ³ /h için Terminal Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	61
7.4.4	V=2400m ³ /h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	62
7.5	Fan-Filtre Üniteli Klima Sisteminde Oda Tanecik Konsantrasyonunun Hesabı	63
7.5.1	V=5200m ³ /h için Terminal Filtrenin Farklı G değerlerinde Oda Klasına Etkisi	64
7.5.2	V=5200 m ³ /h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	65
7.5.3	V=2400m ³ /h için Terminal Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	66
7.5.4	V=2400m ³ /h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi	67
7.6	Çift HEPA Kullanılması Durumunda Oda Tanecik Konsantrasyonu	68
7.7	Dekontaminasyon (Kirlilikten Arınma) Zamanı ve Debi İlişkisi	69
7.8	Filtre Konfigürasyonlarının Enerji Sarfiyatları ve Maliyet Analizleri	72
7.8.1	Enerji Sarfiyatları Açısından Maliyet Analizi	73
7.9	Filtre Fiyatlarına Göre Maliyet Analizi	75
7.9.1	Filtre Değişim Periyotları	75
7.9.2	Filtre Fiyatları	75
8.	SONUÇLAR VE YORUMLAR	78
	KAYNAKLAR	82
	ÖZGEÇMİŞ	84

KISALTMALAR

AC	: Alternative Current
ACH	: Air Change per Hour
AHU	: Air Handling Unit
ASHRAE	: American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers
CAV	: Constant Air Volume Damper
ÇHPM	: Çevrim Havasından Gelen Partikül Üretim Miktarı
DC	: Direct Current
DHPM	: Dış Havadan Gelen Partikül Üretim Miktarı
DIN	: Deutsches Institut für Normung
EN	: European Norms
EU	: European Union
FDA	: Food and Drug Administration
FFU	: Fan- Filter Unit
GMP	: Good Manufacture Practice
HEPA	: High Efficiency Particle Air
HVAC	: Heating Ventilating and Air Conditioning
IAQ	: Indoor Air Quality
ISO	: International Standardization Organization
İHK	: İç hava kalitesi
MAHU	: Makeup Air Handling Unit
MPSS	: Most Penetrating Particle Size
ORs	: Operation Rooms
OTPM	: Oda İçinde Oluşan Toplam Partikül Üretim Miktarı
PD	: Percentage Dissatisfied
THS	: Taze Hava Santrali
ULPA	: Ultra Low Penetration Air

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 Klima ünitesinin (AHU) işletme ve dizayn parametreleri. [5]	6
Tablo 2.2 Farklı yüklenme periyotlarında filtrelerin toz biriktirme miktarları [5]	6
Tablo 3.1 U.S. 209E'ye göre temiz oda klasları [2]	16
Tablo 3.2 Çeşitli standartların karşılaştırılması [2]	16
Tablo 3.3 Temiz oda klasının tanımı (U.S Fed 209 E ve ISO 209) [2]	16
Tablo 3.4 EU GMP Gide (1997): Steril ürünler imali için klas tanımı [2]	17
Tablo 4.1 Tipik hava akış dizayn çizelgesi [12]	21
Tablo 5.1 Klima sisteminde kullanılan filtreler [4]	24
Tablo 5.2 Kaba filtreler ait verim değerleri [15]	28
Tablo 5.3 Hassas filtreler ait verim değerleri [15]	28
Tablo 5.4 HEPA filtreler ait verim değerleri [15]	29
Tablo 5.5 ULPA filtreler ait verim değerleri [15]	29
Tablo 5.6 Filtre uygulama alanları [14]	32
Tablo 7.1 Kullanılacak filtrelerin verim değerleri	48
Tablo 7.2 V= 5200 m ³ /h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Merkezi)	53
Tablo 7.3 V= 5200 m ³ /h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Merkezi)	55
Tablo 7.4 V= 2400 m ³ /h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Merkezi)	56
Tablo 7.5 V= 2400 m ³ /h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Merkezi)	57
Tablo 7.6 V= 5200 m ³ /h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Hibrit)	59
Tablo 7.7 V= 5200 m ³ /h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Hibrit)	60
Tablo 7.8 V= 2400 m ³ /h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Hibrit)	61
Tablo 7.9 V= 2400 m ³ /h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Hibrit)	62
Tablo 7.10 V= 5200 m ³ /h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (FFU)	64
Tablo 7.11 V= 5200 m ³ /h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (FFU)	65
Tablo 7.12 V= 2400 m ³ /h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (FFU)	66
Tablo 7.13 V= 2400 m ³ /h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (FFU)	67
Tablo 7.14 V= 5200 m ³ /h İçin Çift HEPA'lı Merkezi Klima Sistemi	69
Tablo 7.15 V= 5200 m ³ /h İçin Çift HEPA'lı Hibrit Klima Sistemi	69

Tablo 7.16 Filtrelere Ait Basınç Düşümü Değerleri	72
Tablo 7.17 $V=5200 \text{ m}^3/\text{h}$ için enerji sarfiyatına bağlı maliyet analizi	74
Tablo 7.18 $V=2400 \text{ m}^3/\text{h}$ için enerji sarfiyatına bağlı maliyet analizi	74
Tablo 7.19 Kullanım yerlerine göre birim filtre fiyatları	76
Tablo 7.20 Farklı filtre konfigürasyonlarının fiyatları	76

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Temiz oda klima sisteminin yeni bir tipi [6]	8
Şekil 3.1 U.S. 209D'ye göre tanecik çapı sınıflandırılması [4]	15
Şekil 5.1 Lazerli tanecik sayıcı ile ölçülen verim değerleri [4]	30
Şekil 7.1 Matematik modelin merkezi klima sistemine uyarlanması.....	46
Şekil 7.2 Tanecik çapına bağlı olarak dış havadaki tanecik adedi [4].....	49
Şekil 7.3 Şahıs başına saniyede üretilen tanecik miktarı [4]	50
Şekil 7.4 Merkezi klima sisteminde hava akış diyagramı	51
Şekil 7.5 $V = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Merkezi)	54
Şekil 7.6 $V = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Merkezi)	55
Şekil 7.7 $V = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Merkezi)	56
Şekil 7.8 $V = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Merkezi)	57
Şekil 7.9 Hibrit klima sisteminde hava akış diyagramı	58
Şekil 7.10 $V = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Hibrit)	60
Şekil 7.11 $V = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Hibrit)	61
Şekil 7.12 $V = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Hibrit)	62
Şekil 7.13 $V = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Hibrit)	63
Şekil 7.14 FFU klima sisteminde hava akış diyagramı	63
Şekil 7.15 $V = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (FFU)	65
Şekil 7.16 $V = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (FFU)	66
Şekil 7.17 $V = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (FFU)	67
Şekil 7.18 $V = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (FFU)	68
Şekil 7.19 Dekontaminasyon Zamanını Veren Eğriler.....	71

SEMBOL LİSTESİ

A	: Ameliyat taban alanı
A_M	: Filtrelerde ortalama toz yakalama verimi
C_t	: Taze hava partikül konsantrasyonu
F_c	: Birim Filtre Fiyatı
F_d	: Filtre değiştirme sayısı
F_n	: Filtre Adedi
G	: Temiz oda içinde üretilen partikül miktarı
K	: Temiz oda klasını veren tanecik konsantrasyonu
M_ç	: Filtreden çıkan toz kütlesi
M_E	: Enerji Sarfiyatına bağlı yıllık maliyet miktarı
M_g	: Filtreye giren toplam toz kütlesi
η	: Filtre verimi
N	: Enerji Sarfiyatı
P	: Sanayi bölgelerine ait birim enerji maliyet değeri
T	: Süre
T_d	: Seyrelme miktarı
T_{dc}	: Dekontaminasyon zamanı
T_r	: Hava değişim sayısı
v	: Hava hızı
V	: Temiz oda hava debisi
X	: Çevrim havası debisinin toplam debiye oranı
Δp	: Ortalama basınç düşüm değeri

İNDİSLER

ana	: Merkezi klima ünitesi çıkışındaki ana filtre
ö₁	: Taze hava santrali girişindeki birinci ön filtre
ö₂	: Merkezi klima ünitesi girişindeki ikinci ön filtre
ö₃	: Dönüş havası ön filtresi
t	: Terminal filtre

TEMİZ ODALARDA HAVA DEĞİŞİM SAYISI VE FİLTRE SINIFININ ODA KLASINA ETKİSİ

ÖZET

Temiz oda kavramının ortaya çıkmasına, daha sağlıklı ortamlarda çalışma gerekliliği neden olmuştur. Genel anlamda temiz odalar, içerisinde bulunan ürün ve/veya insanları, uluslararası kabul edilen temizlik standartlarına göre ölü veya canlı parçacıklardan koruyacak şekilde sıcaklık, nem, basınç, gürültü seviyesi, hava hareketi ve temizlilik seviyesini belli ölçüler içinde tutan hijyenik ortamlardır.

Temiz odanın dizaynında en önemli aşamalarından biri temiz oda klasının seçimidir. Her temiz odanın kullanım amacına göre bir sınıflandırılması vardır. Farklı çalışma alanlarındaki temiz odaların sınıflandırılması da farklı olmalıdır. Ortam havasındaki tanecik çapı ve konsantrasyonu, temiz oda sınıflandırmasında ana kriterlerdir.

Temiz oda klasının belirlenmesinden sonraki adım oda içindeki partikül kontrolünü sağlayacak hava değişim sayısı ile ilgilenmek olacaktır. Temiz odaların farklı klasları için farklı hız ve hava değişim sayıları içeren tablolar mevcuttur. Ancak bu tablolarda kullanılan değerler zamanla tecrübe edilmiş ve bu değerlerin yapılan dizayna uymayan sonuçlar verdiği veya tesisatta bir sorun oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu zamana kadar yapılmış tüm çalışmalarda hep bir tutarsızlık söz konusu olmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalarda da hızın temiz oda kullanım şekline göre düşürülebileceğinden bahsedilmektedir. Jaisinghani, R.'nin [2001] oluşturduğu bir modelle yaptığı bir çalışma sonucunda 0,3 m/s'nin üzerindeki hızlarda oda konsantrasyonunda bir azalma olmadığı gözlemlenmiştir.

Temiz odalardaki klima sistemlerinin en önemli vazifesi odada sağlanması arzu edilen klase göre, havanın taneciklerden arınmış olarak içeriye gönderilmesini sağlamaktır. Bu ise havanın çeşitli kademelerde filtrelerden geçirilmesi ile sağlanabilir. Filtreler iklimlendirme sistemi içine belli bir sıralama içinde yerleştirilmelidir. Genel olarak filtre düzeni kaba, hassas ve HEPA filtre şeklinde

sıralanır. Bu sıralama her birinin bir sonraki filtreye daha az partikül taşınmasını sağlayacak bir düzendir.

İç hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkisinin anlaşılmasıyla konfor uygulamalarında da hijyenik klima ünitelerinin kullanımı artmıştır. Herhangi bir klima santralının sağlayamayacağı hijyenik koşulların, hijyenik klima santralleriyle daha uygun şekilde başarılabileceği görülmüştür. Hijyenik klima santrallerinde kullanılan filtreler, herhangi bir klima santralinde kullanılanlardan kaliteli olmalıdır.

Filtrasyon verimi ve hava akış dağılımı açısından farklı karakterlere sahip, birbirinden farklı klima sistemlerinden dolayı, klima sistemi temiz oda performansını ve maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Klima sisteminin mevcut üç ana tipi vardır. Bunlar; merkezi klima sistemi, hibrit klima sistemi ve fan-filtre üniteli klima sistemidir.

Bu çalışmada oluşturulan bir matematiksel model yardımıyla, teorik bir çalışma yürütülerek, yukarıda bahsedilen üç farklı klima sisteminde oda tanecik konsantrasyonu hesaplanmış ve buna bağlı olarak temiz oda klasına etkisi üzerine yorum yapılmıştır.

Burada yapılacak hesaplamalarda amacımız, farklı terminal filtre sınıflarının ve klima ünitesi çıkışındaki ana filtrelerin farklı kombinasyonları denenerek oda klası üzerindeki etkisinin incelenmesinin yanında, birkaç farklı oda içi partikül miktarı (G) değeri için ve iki farklı debi değeri ele alınarak, bunların oda klası yani oda tanecik konsantrasyonu üzerindeki etkisinin incelenmesidir.

Çalışmanın birinci basamağında, merkezi klima sistemi için iki farklı debi değerinde oda tanecik konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sırasında, terminal ve ana filtreler üzerinde yapılan kombinasyonlarla pek çok filtre konfigürasyonları oluşturulmuş ve bunların da oda klasına nasıl etkiledikleri incelenmiştir. Aynı işlemler hibrit klima sistemi ve fan-filtre üniteli klima sistemleri için yapılarak, üç farklı sistemin sonuçları arasında bir kıyaslama yapılmıştır.

İkinci adımda, iki farklı debi miktarının, odadaki kontaminasyon miktarı üzerindeki etkisi hesaplanarak incelenmiş ve sonuçlar grafiklerle sunulmuştur.

Son olarak, oluşturulan filtre konfigürasyonlarının sebep olacakları enerji sarfiyat miktarları hesaplanmış ve bu sarfiyat miktarlarına göre bir maliyet tablosu

oluşturulmuştur. Filtre konfigürasyonları için yapılan başka bir maliyet analizi çalışmasında, filtrelerin çalışma ömürlerine bağlı olarak, birim filtre fiyatlarına göre başka bir maliyet tablosu oluşturulmuş ve ortaya çıkan sonuçlar üzerine yorumları yapılmıştır.

Çalışma sonucunda, terminal filtrelerin oda klası üzerinde etkin rol oynadığı, ana filtrenin, terminal filtrenin ömrünün uzamasında önemli bir etken olduğu, debi değerinin arttırılmasıyla odanın kirlilikten arındırılma zamanının azaltıldığı ve üç farklı klima sistemi arasında çift HEPA filtre kullanımına izin verilenlerde oda klasının oldukça küçük çıktığı bulunmuştur.

THE EFFECT OF AIR CHANGE RATE AND FILTER CLASS TO CLASSIFICATION OF SPACE IN CLEAN ROOMS

SUMMARY

The working essentiality in healthier spaces causes to appear clean room concept. In generally, clean rooms are hygienic spaces in which conserve products and/or staff from death or living particles by adjusting temperature, humidity, pressure, sound level, air pattern and cleanliness level according to international cleanliness standards.

The choosing of clean room class is one of the most important levels to clean room design. A classification level is present according to aim of clean room usage. Clean rooms' classification should be different for different working areas. Main criterions for clean room classification are particle diameter (size) and concentration of air in space.

The determination of air change rate is one of the steps after the determination clean room class. There are different air velocity and air change rate for different clean room classes in tables. However, experience has proved that the values in these tables are not most efficient and, in many cases, result in over design or in problem installations. For years, a lot of experiments have been made about clean room's air velocity and there has been a lot of inconsistency about this subject. In recent years, the experiments have shown decreasing of velocity in the space according to usage condition of clean room. When velocity value is beyond 0,3 m/s, there is no concentration reduction in clean room which has been observed in an experiment of Jaisinghani R. [2001].

The most important mission of air handling systems in clean rooms is to supply air into space by the fewest particle concentration. This can be managed by filtering of air in some graded filtration configuration. Filters must be installed by obvious order in air handling system. In generally, arrangements of filters in the system are goarse,

fine and HEPA filter. This arrangement provides to conserve of filters from particles in the air by aid of one back filter.

When indoor air quality's effect on human healthy is understood, hygienic air handling units' usage has increased in comforts applications. Hygienic air handling unit can manage everything which an ordinary air handling unit can't manage. Also the hygienic air handling unit's filter quality must be higher than ordinary air handling unit.

Air handling systems are one of the most important factor for clean room performance because of different types of air handling systems have different characteristics in terms of practical filtration efficiency and airflow distribution. Three main types of air handling systems are centralized air handling system, hybrid air handling system and fan-filter unit system.

By using of a mathematical model which is performed in the thesis, particle concentration has been calculated for three different air handling system in a clean room model and by aim of results, how clean room classification changing is interpreted.

The aims in these calculations, examination of different terminal filter classes' and main filters' which is installed air handling unit exit, effect on clean room class and by considering some different contaminant generation rate (G) values and two different airflow rate values, the effect on clean room class is examined.

In the first level of this study, particle concentration in the clean room has been calculated at two different airflow rate values for centralized air handling system. When these calculations are done, a lot of filter configuration is performed trying combination on terminal and main filters, then these factors' effects on clean room classification is examined. Same calculations are also done for hybrid air handling system, fan-filter unit system and a comparison is done between three air handling systems.

In the second level of study, two different airflow rate value's effects on clean room's contamination amount have been examined and results are introduced with a figure.

As a last level, energy consumption amounts of filter configurations which have been performed in previous level has been calculated and a cost analysis has been

performed then shown in a table by using energy consumption values. In another cost analysis study for filter configuration, filters' unit price and life periods are used to form cost analysis table.

As a conclusion of the study, those results are found; terminal filter's has important mission to determine clean room classification, main filter is great factor to get longer terminal filter's life, higher air flow rate value decreases the decontamination time of clean room and clean room class is decreased fairly by using one of the three air handling system which lets using double HEPA filter.

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesiyle daha sağlıklı ortamlarda çalışma gerekliliği ortaya çıkmış ve bu da temiz oda kavramını doğurmuştur. Üretimde, paketlemede ve araştırmalarda temiz oda kullanımı, teknolojinin ilerlemesiyle gelişimini sürdürürken daha temiz çalışma ortamlarına olan ihtiyaç artmaktadır. ASHRAE'nin temiz oda için yaptığı tanım şu şekildedir.[1]

“Temiz oda, özel olarak yapılmış, parçacık, sıcaklık, nem, hava basıncı, akış profili, titreşim, gürültü, canlı organizmalar ve aydınlatma yönünden kontrol edilen kapalı çevredir.”

Temiz odaların farklı uygulamaları, farklı tanecik kontrolü gerektirirler. Örneğin, hastane ve ilaç fabrikası gibi yerlerde ortamda bulunan taneciklerin bazıları canlıdır ve bunların bir kısmı zararlı canlı mikroorganizmalar içermesinden dolayı tanecik kontrolü gerekmektedir. Bununla birlikte hassas optik malzeme, bilgisayar çip üretimi yapılan yerlerde canlı ve cansız her türlü kirlilik yaratıcı partikülün kontrol edilmesi lazım, çünkü bunlar elektronik devrelerde tahribat yaratacak niteliktedir. [2]

Temiz oda içinde, odanın hava kalitesini düşürebileceği düşünülen birtakım unsurlara sınırlama getirilerek hijyenik çalışma ortamları oluşturulabilmektedir. Oda içindeki hava kalitesini bozacağı düşünülen en önemli faktörler, hava içinde bulunan canlı ve cansız partiküllerdir. Bunlara getirilen sınırlamalar, partikül sayısının azaltılmasını sağlayarak, daha düşük temiz oda klaslarını oluşturarak, daha kaliteli temiz odaların meydana gelmesini sağlayacaktır.

Temiz odada, mahal içindeki partikül konsantrasyonunu azaltmak için pek çok çalışma yapılabilir. Ancak bunu başarmada en etkin yöntemler, temiz odadaki iklimlendirme sisteminde kullanılan filtre konfigürasyonun iyi seçilmesi ve oda içindeki hava değişim sayısının oldukça yüksek seçilmesine çalışmasıdır.

Temiz ve steril üretim alanları için kurulan iklimlendirme sistemlerinde filtreler sistemin en önemli ekipmanlarını oluşturmaktadır ve normal havalandırma sistemlerinde kullanılan filtrelerden daha kaliteli filtrelerin seçilmesi gereklidir.[3]

Temiz odalarda kullanılan klima sistemlerinde istenen özelliklerin başında havanın odada sağlanması arzu edilen sınıfa göre taneciklerden arınmış olarak içeriye sevk edilmesidir. Bu ise havanın çeşitli kademelerde filtrelerden geçirilmesi ile sağlanabilir.

Filtreler, verim değerlerine bağlı olarak dört grupta incelenir. Kaba, hassas, HEPA ve ULPA olarak oluşturulan filtre grupları, uygun konfigürasyonlarla oluşturularak temiz odaya nakledilen partikülleri odanın dışına taşırlar. Konfigürasyonun sıralaması, kaba filtreden, daha hassas filtre grubuna doğru yapılır. Böylece, kendisine göre daha hassas olan filtreden önce konan filtre, sonraki filtrelere büyük tanecik çapına sahip partiküllerin geçişini engelleyerek erken tıkanmasını önlemek suretiyle, ömürlerini uzatırlar.

Hava değişim sayısının temiz oda üzerindeki etkisi, filtreler kadar önemlidir. Hava değişim sayısının değiştirilmesi demek, bir yandan da odaya gönderilen hava debisi ve hızının da değiştirilmesi anlamına geldiğinden, oda içinde hava değişim sayısı ne kadar artarsa, oda içindeki partikül ve mikroorganizmaların dışarı taşınması o kadar hızlı olacaktır.

Temizlik sınıf seviyesini basit bir şekilde belirli bir temiz oda hava hızıyla ilişkilendirmek, birçok faktörden dolayı zor bir iştir. Örneğin, akış yönü, filtre performansı, cihaz ve ortam konfigürasyonu direkt veya endirekt yolla verilen temiz oda hava hızında, temizlik seviyesi üzerinde etki yaparlar. Maalesef optimal temiz oda resirkülasyon hava değişim miktarını belirlemek için bilimsel yönden bir boşluk vardır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ise 0,3 m/s'nin üzerindeki hızlarda oda konsantrasyonunda bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, filtre verimlerinin ve hava değişim sayısının yani oda içindeki debi miktarının, temiz oda sınıfı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun için, debi ve filtre verimini içeren bir matematik model oluşturulmuş ve bu modelden elde edilen sonuçlarla yorumlar yapılmıştır. Filtre verimlerinin incelenmesi, farklı filtre konfigürasyonlarının oluşturulmasıyla sağlanmıştır. Bu konfigürasyonlarda, temiz oda tavanındaki terminal filtrelerin verimleriyle ve klima ünitesinin çıkışındaki ana filtrenin verimleriyle oynanarak oluşturulan kombinasyonlar yardımıyla, filtrenin etkisi incelenmiştir. Debinin etkisini incelemek için de, iki farklı debi değeri ele alınmıştır. Bu debi değerleri ve filtre konfigürasyonları, üç adet klima sisteminde

denenerek, klima sistemlerinin de temiz oda klasifikasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu klima sistemleri, merkezi, hibrit ve fan-filtre üniteli sistemlerdir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Temiz oda teknolojisinde belli aşamaların kaydedilmesiyle birlikte bu alanda daha hijyenik alanları oluşturabilme gayretleri söz konusu olmuştur. Bu da direk temiz oda sınıfı üzerinde çalışmaların ortaya çıkması demektir. Temiz odadaki her bir sınıfın standartlara dayanan belli bir partikül bulundurabilme kapasitesi söz konusudur. Bu odalardaki partikül konsantrasyonunu etkileyecek birçok kirlilik etkeni, iklimlendirme sisteminden, temiz oda inşasında kullanılmış olan yapı malzemelerinden veya oda içindeki partikül oluşturuca özelliklere sahip cihazlardan ve insanlardan olabilir.

Bunları minimize etmek için birçok önlem söz konusudur. Bunu sağlamamızda kullanılabilecek en önemli faktörlerden biri filtre seçimi, diğeri ise hava değişim sayısı yani diğeri bir deyişle hava akış hızıdır.

Temiz ve steril üretim alanları için kurulan iklimlendirme sistemlerinde filtreler sistemin en önemli ekipmanlarını oluşturmaktadır ve normal havalandırma sistemlerinde kullanılan filtrelerden daha kaliteli filtrelerin seçilmesi gereklidir.[3]

Temizlik sınıf seviyesini basit bir şekilde belirli bir temiz oda hava hızıyla ilişkilendirmek, birçok faktörden dolayı zor bir iştir. Örneğin, akış yönü, filtre performansı, cihaz ve ortam konfigürasyonu direkt veya indirekt yolla verilen temiz oda hava hızında, temizlik seviyesi üzerinde etki yaparlar.[4]

Bu konular üzerinde literatürde yapılmış kısıtlı araştırmalardan birkaçının özeti aşağıda sunulmaktadır. Bu araştırmalara ek olarak ameliyathane üzerine bir çalışmamız olduğundan, bir hastane için yapılmış çalışmanın bir özeti de çalışmaya dahil edilmiştir.

2.1 Havalandırma Filtrelerinin Yüklenmesiyle Koku Yayılımının Algılanmasındaki Artış

Havalandırma sistemleri kokuya sebep olmalarından dolayı iç hava kirlenmesine katkıda bulunabilirler. Bir çok çalışmada fark edildi ki mekanik havalandırma yapılan yapılardaki işçi konforunun azalımı veya iş – ilişkili sağlık sorunlarının rapor edilmişliğinin doğal havalandırma yapılan yerlerden daha çok olduğu fark edilmiştir. Bu bağlamda daha önceki çalışmalar da gösterdi ki havalandırma sistemi bir ortam için büyük koku kaynağıdır. Bu konu üzerine yapılan çalışmalar sürdürüldüğünde iklimlendirme ünitesinin (AHU) en kokulu bileşeninin filtresi olduğu tespit edilmiştir.

Buradaki çalışmanın ilk amacı normal kullanım boyunca havalandırma filtresindeki koku üretiminin gelişiminin incelenmesidir. İkinci amaç, sıkça değiştirilen ön filtrenin üfleme havasının koku yükünü azaltıp azaltmadığıdır. Üçüncü amaç, yüksek iç hava kalitesi istendiğinde basınç düşümü, filtre değiştirilip değiştirilmeyeceğini anlamada yeterli kriter olup olmadığını tespit etmektir. [5]

F6 sınıflı cam elyaf (glass fiber) torba filtrelerden olan koku emisyon miktarının gelişimi 4 adet iklimlendirme ünitesinde (AHU) çalışıldı ve aynı türden G3 sınıflı polyester ön filtreler de 2 adet ünite de, cam elyaf filtrelerle birlikte çalışıldı. Bu 6 iklimlendirme ünitesi Helsinki’de şehrin merkezinde çalıştırıldı. Filtre ünitesi iklimlendirme ünitesinin ilk bileşeni olarak yerleştirildi.

Koku emisyonundaki artış yarım sene boyunca periyodik olarak yüklü vantilatör filtrelerinden kontrol edilir. Standart 60 cm x 60 cm filtre kasetleri yerine, her vantilatör sistemindeki filtre çerçeveleri 4 tane 30 cm x 30 cm filtre kasetinden oluşturuldu. [5]

AHU'nun işletme ve dizayn parametreleri Tablo 2.1'de gösterilir.

Tablo 2.1 Klima ünitesinin (AHU) işletme ve dizayn parametreleri. [5]

AHU	Filtre Tipi*	Yüzey Hızı (m/s)	Çalışma Süresi (h/hafta)
1	CE	3.36	80
2	CE	2.24	53
3	CE	3.68	53
4	CE	6.68	63
5	ÖN+CE	2.72	50
6	ÖN+CE	0.64	113

*CE: Cam Elyaf ÖN: Önfilter

Her yükleme periyodundan sonra (6, 13, 19, 26. haftalar) 60 x 60 cm'lik filtreler kasetindeki 30 x 30 cm'lik 4 filtreden biri değiştirildi ve bu örnek (30 x 30 cm'lik filtre) dikkatlice laboratuara taşınarak orada sabit sıcaklık ve nemde (20°C, RH %50) öncelikle tartıldılar. Daha sonra koku emisyonu ve basınç düşümü her bir filterde belirlendi.

Sonuç olarak ön filterli sistemler için toz biriktirme miktarı, ön filterli hassas filterlerden daha azdır. (Tablo 2.2) Ön filterlerin toz biriktirme miktarı Tablo 2.2'nin 2. sırasında verilir. 3. satır her iki filtre üzerinde toplam biriken kütle miktarını gösterir. [5]

Tablo 2.2 Farklı yüklenme periyotlarında filterlerin toz biriktirme miktarları [5]

Filtre Tipi		Toz Biriktirme Miktarı (g/hafta)				
		Periyot	0-6	6-13	13-19	19-26
Hassas Filtre	(AHU 1-4)		1.96	1.29	2.36	1.29
Ön Filtre	(AHU 5-6)		0.84	0.47	0.68	0.45
Ön+Hassas	(AHU 5-6)		1.30	0.72	0.83	0.55

Diğer taraftan 19 haftalık bir periyodun sonunda, ön filterli kullanılan hassas filterli sistemde insanların 1/3'ünün ortam havasından rahatsızlık duymaya başladıkları tespit edilmiştir. Ön filterden dolayı rahatsız olma yüzdesi (PD: Percentage Dissatisfied) %31.5 ancak iki filterin birlikte kullanıldığı sistemlerde, maksimum rahatsız etme yüzdesi (PD) yalnızca %14 olarak belirlenmiştir. O yüzden, sıkça değiştirilebilen ve kullanıldıktan sonra atılabilen ön filterlerin kullanımı üfleme havasının kalitesini arttırmak için hem etkin hem ucuz bir yoldur. Kaba ön filterlerdeki koku emisyonu ön filterli hassas filterlerdekiyle aynıdır ve ön filter

kullanımı iki filtrenin birlikte kullanıldığı filtre ünitesindeki koku emisyonunu azaltır. Bu yüzden yüksek iç hava kalitesi (IAQ) istendiğinde, vantilatör filtre ünitesinden olan koku emisyonunu minimize etmek için, sıkça değiştirilebilir kaba ön filtre kullanımı tavsiye edilir. [5]

Filtreden geçen toplam hava hacmi, ölçülen debiden ve haftalık çalışma zamanından hesaplanır. Beklendiği gibi filtre üzerindeki basınç düşümü filtrenin yüklenmesiyle arttı, ancak 4 ve 5 bölgesindeki AHU’larda 13 hafta sonunda en yüksek basınç düşümüne ulaşıldı. 19 hafta sonunda 1. bölgedeki filtre ve 5 bölgede ön filtre de en yüksek basınç düşümü başarıldı. Ancak diğer taraftan 5 no’lu üniteden dolayı oluşan koku emisyonunun en az seviyede olduğunu gözlemlemiştik. Buradan varılan sonuç basınç düşümü, filtrenin koku emisyonuyla çok az uyum sağlar, bu da gösterir ki hijyenin söz konusu olduğu yerlerde filtre değiştirme kriteri için basınç düşümü uygun kriter değildir.

Ayrıca, çalışmada varılan başka bir sonuç, filtrelerdeki basınç düşümü, insanların kokudan rahatsız olmaya başlamasına rağmen, filtre değişimi için tavsiye edilen kritere ulaşmamasıydı. Bu yüzden hijyenik bir durum söz konusuysa üfleme havasının filtresinin değişiminde basınç düşümü tek başına yeterli kriter değildir. [5]

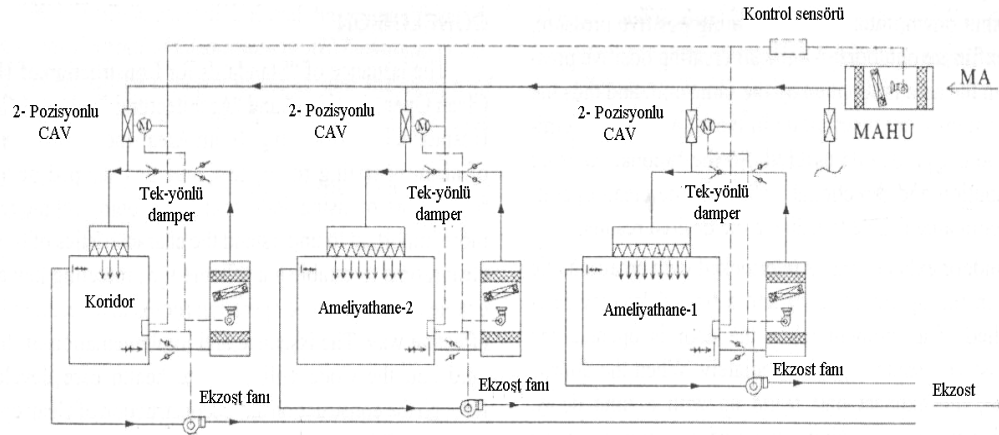
2.2 Temiz Ameliyathanelerin Kontrol Altında Tutulması

Yeni Çin Standartları olan “Construction Standard for Clean Operating Room in Hospital” ve “Architectural Code for Clean Operating Room in Hospital” yayınlanmıştır. 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.

Daha önceden ifade edildiği gibi, standartlardaki havalandırma düzenlemesine uygun şekilde tüm ameliyathane alanının kontrol altında olabilmesi durumu aldatıcı bir problemdir. Alışlagelmiş 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. [6]

Bu sorunlar göz önüne alınarak Çin’de yeni bir sistem tipi geliştirildi (Şekil 2.1). Bu sistem, temiz bir klima ünitesinin açık yada kapalı olmasına bakmaksızın, tüm ameliyathane departmanını kontrol altında tutar. [6]



Şekil 2.1 Temiz oda klima sisteminin yeni bir tipi [6]

Temiz ameliyathane alanları için olan yeni tip sistemde, ayrı ayrı klima üniteleri (AHU) ve bağımsız bir taze hava üfleyen ünite (MAHU: Makeup Air Handling Unit) mevcuttur. AHU her bir alanda, sıcaklık, nem ve ayrılmış alanlar içindeki temiz hava derecesini kontrol eder. Her bir ameliyathanenin kendine ait egzost hava ünitesi vardır. İki pozisyonlu sabit hava hacimli (CAV: Constant Air Volume Damper) cihazlar her bir kanal koluna konulmuştur. Birinci pozisyonunda, normal çalışma koşullarındakinden daha büyük taze hava debisi üflenir ve ikinci pozisyonunda sadece pozitif basıncı korumak için daha düşük taze hava debisi üflenir.

“İkincil kontaminasyonu” engellemek için makul bir metodu, özellikle partiküllerden ve nemden ileri gelen bio-kontaminasyon kaynaklarını ortadan kaldırmaktır. Standard’ın taleplerine 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. MAHU gizli soğutma yükünün hepsini (veya çoğunu) ortadan kaldırmak için dizayn edilebilir. Burada anlatılan sistemde, her bir AHU’dan sonra “İkincil kontaminasyonu” elimine etmek mümkündür. [6]

Şekil 2.1’den sistemi özetlemek gerekirse şu maddeler sıralanabilir. [6]

- Bu sistem yarı merkezi hava sistemi olarak adlandırılır ve bir bağımsız taze hava kliması ve her bir temiz ameliyathane için ayrı ayrı AHU içerir. Taze hava sisteminin her bir koluna iki pozisyonlu CAV cihazları yerleştirilmiştir. Bir yönlü damperlerle taze havanın dönüşü engellenmiştir.
- İki pozisyonlu kontrole sahip CAV cihazının kullanımıyla, bağımsız taze hava ünitesi, temiz ameliyathanelere her birinde pozitif basıncı korumak için ve de normal taze hava sağlamak için gerekli hava hacmini sağlar. Bu durumda, her ameliyathanedeki ayrı ayrı bulunan AHU’lar resirkülasyon ünitelerine dönüşürler. İç hava kontaminasyonları ve kokuları, kendi egzost üniteleriyle dışarı atılır.
- Ameliyathanenin normal kullanımında CAV çok büyük taze havanın odaya girmesine izin veren 1. pozisyonuna ayarlanır. Ameliyathane kullanılmadığında, taze hava ünitesinin hava akış güzergahı üzerinde bulunan 2. pozisyonu almış CAV cihazı, oldukça küçük hacimde taze havanın (ya da pozitif basınç havasının) odaya girmesine izin verecek şekilde daha az bir seviyeye ayarlanır. Egzost ünitelerin kapatılmasıyla pozitif basınç üreten taze hava oda dışına kaçar. Alan içinde pozitif basınç yaratan ünite tektir ve böylece tüm temiz ameliyathanedeki basınç farkı dağılımı temin edilebilir. Böylece temiz ameliyathane içindeki rasyonel basınç dağılımı ve direk hava akışıyla arzulanan sonuca ulaşılabilir.
- Taze havadaki partiküllerin çoğu MAHU tarafından ortadan kaldırıldığından, terminal HEPA filtre çok fazla partikül yükü almayacaktır. Filtre toz tutma kabiliyeti ve resirkülasyon debisi yavaş yavaş değişebilir. Bunun anlamı, bu iki faktör sayesinde pozitif basınç kontrolü çok fazla etkilenmeyecektir.

Sonuç olarak, ameliyathaneler için bu yeni sistem tavsiye edilir. Standartların talebini karşılayabilen bu yeni sistem, kolay ayarlanabilme ve çalışma özelliklerinden dolayı daha etkili ve ekonomik şekilde kullanılabilir. Bu sistem pratikte denenmiş ve başarılı olduğu gözükmiştir. Ayrıca her bir mahale ait iklimlendirme üniteleri sayesinde resirküle hava kullanımından dolayı enerji tasarrufu ve terminal filtrenin daha da az kirlenmesi sağlanmış olur.

2.3 Hellenic Hastanesi Ameliyathanelerindeki İç Hava Koşulları ve HVAC Sistemleri

Bu makale, hastane ameliyathanelerindeki (ORs) HVAC sistemleriyle ilgili kabul edilebilir iç hava koşulları için genel dizayn bildirilerinin kısa bir tanımını sunar. Çalışma Hellenic İşçi ve Sosyal Sorunlar Bakanlığı için hazırlanmıştır.

Daha önce yapılmış deneyler ve çalışmalar, bir yara içinde çevre havadan gelen bakteriyel kontaminasyonun %80 – 90 miktarında olduğunu göstermiştir. Böyle bir tehlike göz önüne alındığında doğru havalandırmanın aşağıda belirtilenlerden dolayı zorunlu olduğu söylenebilir: [7]

- 1) İnsanları sürekli veya kısa süreli rahatsız edebilecek, ameliyat boyunca ortaya çıkan anestetik koku ve gazların ortadan kaldırılması,
- 2) Hastalar ve yerleşim alanları için hazırlanmış sağlık bildirilerine bağlı olarak belirlenen iç havadaki aseptik seviyesini doyma noktasına getirmek amacıyla, bakteri,virüs ve toz konsantrasyonu kabul edilebilir seviyeye indirilmesi,
- 3) Çalışanların, ameliyat boyunca işlerini kolaylaştırması açısından konforlu ve optimum iş koşulları sağlanır.

Havada taşınan kirleticiler genellikle, su moleküllerine ve toz partiküllerine yapışırlar. Çalışmalar şunu gösterdi ki, hastanedeki mevcut tüm bakterilerin %99.9'u, %90 – 95 verimlilikteki filtrelerle ortadan kaldırılırlar (ASHRAE 1999a). Bunun nedeni, bakterilerin 1µm'den büyük partiküller olan koloni ünitelerini oluşturmalarıdır. Havada taşınan bulaşıcı virüslerin boyutlarının 1µm'den küçük olmasından dolayı virüslerin kontrol edilmesi oldukça zordur.

Bir ameliyathanede kullanılmak üzere dizayn edilmiş klima ünitesinin (AHU) içinde kullanılan filtrelerin sayısı ve tipi, yalnızca aynı tip temiz oda uygulamasındaki istekleri karşılayacak şekilde olmalıdır. Filtreler ameliyathane mahalindeki istenen yüksek hava kalitesini korumalıdır. [7]

Bu çalışmada geçmiş tecrübelerin senteziyle de filtreleme ve havalandırmayla ilgili şu sonuçlara varılmıştır. Buna göre, düzenlemesi ve korunması gereken iç hava kalitesi koşullarına bağlı olarak, havalandırma sistemi zorunlu olan yüksek performanslı filtrelerle donatılmalıdır. Bu filtrelerin de optimum performanslarını

koruması için uygun şekilde korunmaya ihtiyacı vardır. Havalandırmayla ilgili olarak da Hellenic hastanelerinde yapılan çalışmalar sonucunda ameliyathaneleri pozitif basınçta tutabilmek açısından en azından 20 hava değişim sayısına (ACH) ihtiyaç duyulduğuna ve ASHRAE Standart 62'ye göre uygun iç hava kalitesi için dış hava talebinin en azından 51 m³/h.insan olması gerektiği yorumuna varılmıştır. Bunların yanında özel talepler ve basınç ilişkileri, farklı havalandırma miktarları ve filtre verimleri oluşmasına neden olur. Ortamda iç havayı kirletici prosedürler mevcutsa daha yüksek hava değişim sayılarına ihtiyaç duyulur. Havalandırma sistemi, cerrahi işlem boyunca ve hatta bunun yanında ameliyathanenin kullanılmadığı zamanlarda da az havalandırma miktarı kullanılarak sürekli çalıştırılmalıdır. Düzenlemeye bağlı olarak, kullanım saatleri dışında hava akışı tam yüklü çalışmadakinden %30 az olmalıdır. [7]

2.4 Temiz Odalarda Enerji Verimi Uygunluğunun Tanımlanması için Benchmark kullanımı: Lab 21 Yaklaşımı

21. yüzyıl laboratuvarları (Labs 21), enerji veriminin geliştirilerek yüksek teknoloji yapılarında kullanılması için, enerji benchmark protokollerini geliştirdiler. Önceki temiz oda enerji benchmark'ları, HVAC sistemlerinin çalışma verimlerini geniş bir yelpazede tanımladılar. Bu makale önceki benchmark çalışmalarını güncelleştirir ve enerji verimini geliştirecek benchmark verilerinin kullanımı için fikirler sunar. Benchmark sonucu şunu önerir; daha az enerji sarfiyatını sağlayan daha düşük hava akışı arzulanan temizlilik seviyesini başarabilir.

Bu çalışmada hava değişim sayısının ameliyathanedeki enerji ve temizlilik seviyesine nasıl etkidiği üzerinde durulmuştur ve bir ameliyathanede ihtiyaçtan fazla hava değişim sayısı uygulanırsa, önemli derecede enerji israf edilmiş olacağını belirtir. Buna bağlı olarak fan gücünün parametrelerinden olan hava akışındaki küçük bir değişim fan enerjisindeki sarfiyatı oldukça etkiler çünkü fan gücü hava akışının küpüyle orantılıdır. [8]

Ameliyathanede ölçülen hava akışı, dizayn ve çalışma filozofisine bağlı olarak oldukça değişiklikler gösterir. Hava değişim sayısının dikkatli yorumlanmasıyla, temiz oda operatörleri, odadaki kontaminasyon kontrolü için gerekli optimal hava akışını sağlayarak enerjiyi koruyabilirler.

Ölçülen hava değişim sayısı temiz odadan temiz odaya büyük farklılık gösterir. Sematech ve MIT tarafından yapılan diğer çalışmalarda hava değişim sayısının, ürün verimi üzerinde etkisi olmaksızın minimize edilebileceğine karar vermişlerdir. Temiz oda profesyonelleri ölçülen hava değişim sayılarına karşılık gelen sistem performanslarını kıyaslayabilirler ve belki hava değişim sayılarının azaltılabileceğinin gösterimini yapabilirler. [8]

Fan hızını azaltılması sadece enerjiyi korumakla kalmaz, aynı zamanda daha düşük ses seviyesi, fan ekipmanının daha uzun ömürlü olmasını ve odada daha az türbülans oluşturarak temizliliğin gelişmesini sağlar. Yeni temiz odalarda çok dikkatli seçilen hava değişim sayıları, fan sisteminin küçülmesine ve daha az inşaat maliyetine neden olur.

3. TEMİZ ODALAR VE KLASLARI

3.1 Temiz Oda Tanımı ve Uygulama Alanları

Teknolojinin ilerlemesiyle daha sağlıklı ortamlarda çalışma gerekliliği ortaya çıkmış ve bu da temiz oda kavramını doğurmuştur. Genel anlamda temiz odalar, ürün, alet, teçhizat, ve insanları; uluslararası kabul edilen temizlik standartlarına göre toz, partikül, atık anestezi gaz ve kötü kokular gibi ölü parçacıklardan veya mikrop, mikroorganizma gibi canlı parçacıklardan koruyacak şekilde sıcaklık, nem, basınç, gürültü seviyesi ve hava hareketini belli ölçüler içinde tutan hijyenik ortamlardır. [9]

Üretim yapılan bir ünitenin, temiz oda koşullarına dönüştürülmesinde rol oynayan harici ve zorlayıcı etkenler şöyle sıralanabilir:[10]

- Çok büyük hassasiyet gerektiren elektronik sektöründe, yarı iletkenlerin kaplanma ve işlenmesi gibi işlerde normal üretim koşullarında fire miktarının artması ve maliyetlerin artık rekabet edilemeyecek seviyeye gelmesi.
- Kullanıcıların artık kendi kalite güvence sınırları içindeki ürünleri talep etmesi. Örneğin yüksek klaslı ameliyathane ve temiz odalar gibi.
- Yeni talimatname, yönerge ve standartların temiz odalara belli kıstaslar getirmeleri ve temiz odanın kontrol edilen çevre koşullarında üretim yapmaları talep etmeleri. Örneğin, ilaç, kozmetik endüstrisinin uyması gereken GMP talepleri gibi.
- Bugüne kadar denenmemiş yeni üretim yöntemlerinin gereksinilmesi.

Üretimde, paketlemede ve araştırmalarda temiz oda kullanımı, teknolojinin ilerlemesiyle gelişimini sürdürürken daha temiz çalışma ortamlarına olan ihtiyaç da artar. ASHRAE temiz odaya ihtiyaç duyan büyük endüstrileri ve neden ihtiyaç duyduklarını şu şekilde sıralamıştır: [1]

“Farmakoloji Biyoteknoloji: Farmakolojik, biyolojik ve tıbbi ürünlerin üretimi sırasında bazı canlı partiküller istenmeyen bakterilere ve kirlenmelere neden olabilirler. Bu yüzden bu partiküllerin kontrolü için temiz mahallere ihtiyaç duyulur.”

“Mikro Elektronik Yarı İletken: Bu alandaki gelişmeler temiz odaya verilmesi gereken önemi de arttırmaktadır. A.B.D.’de temiz oda kullanımının önemli bir yüzdesi mikro elektronik endüstrisine aittir. Buradaki temiz odaların çoğu ISO 14644-1 Sınıf 5. ya da daha ileri temizlik düzeyine sahip odalardır.”

“Uzay Araçları: Uyduların, füzelerin ve uzay elektronik elemanlarının üretiminde temiz odalara olan ihtiyacı ortaya çıkaran ilk sektördür. Bu tip işletmelerde ISO 14644-1 Sınıf 8. ya da daha ileri temizlik düzeyinde geniş hacimli temiz odalar mevcuttur.”

“Değişik Uygulamalar: Temiz odaların diğer kullanım alanları, aseptik besin işleme ve paketlenme, suni kol ve bacak üretimi, otomotiv sanayinde boyama kabinleri, kristal, lazer optik endüstrileri ile ileri malzeme araştırma laboratuvarları gibi yerlerde de kullanılır. Hastane çalışma odaları temiz oda olarak sınıflandırılabilir de bunların temel işlevi mevcut parçacıkların kontrolünden çok belirli kirleticilerden korunma mantığına dayanır.”

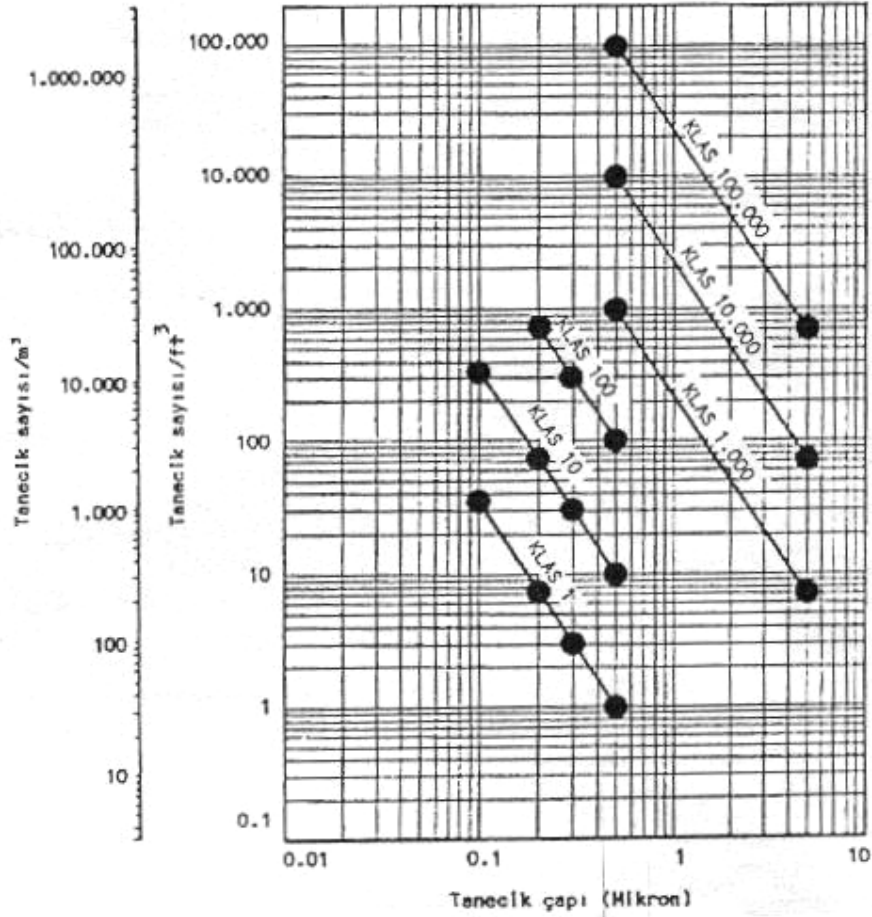
Temiz odaların farklı uygulamaları farklı tanecik kontrolü gerektirirler. Örneğin, hastane ve ilaç fabrikası gibi yerlerde ortamda bulunan taneciklerin bazıları canlıdır ve bunların bir kısmı zararlı canlı mikroorganizmalar içermesinden dolayı tanecik kontrolü gerekmektedir. Bununla birlikte hassas optik malzeme, bilgisayar çip üretimi yapılan yerlerde canlı ve cansız her türlü kirlilik yaratıcı partikülün kontrol edilmesi lazım, çünkü bunlar elektronik devrelerde tahribat yaratacak niteliktedirler. [2]

3.2 Temiz Oda İçin Kullanılan Standartlar ve Klasifikasyon

Temiz odanın dizaynında en önemli aşamalarından biri temiz oda klasının seçimidir. Her temiz odanın kullanım amacına göre bir sınıflandırılması vardır. Farklı çalışma alanlarındaki temiz odaların sınıflandırılması da farklı olmalıdır. Ortam havasındaki tanecik çapı ve konsantrasyonu, temiz oda sınıflandırmasında ana kriterlerdir.

Sistemin maliyetindeki artış, ortamda bulunmasına izin verilen tanecik konsantrasyonunun azalmasıyla ve tanecik çapının azalmasıyla orantılıdır. [2]

Birçok ülkenin temiz odalarla ilgili standartları mevcuttur. Ancak bunların dayandığı temel A.B.D.'de çıkarılan "U.S. Federal Standart 209"dur. Bu standart daha sonra geliştirilmiş ve 1988 yılında 209 D ve 1992 yılında SI biriminde olan 209 E yayınlanmıştır. Şekil 3.1'de 209 D'ye göre hazırlanmış tanecik çapı dağılımının grafik üzerindeki dağılımı verilmiştir. [4]



Şekil 3.1 U.S. 209D'ye göre tanecik çapı sınıflandırılması [4]

Tablo 3.1 U.S. 209E'ye göre temiz oda klasları [2]

Klas		Anılan çapa eşit veya büyük maksimum tanecik adedi/m ³ veya ft ³									
		0,1µm		0,2µm		0,3µm		0,5µm		5µm	
SI	İngiliz	(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	0.283	-	-
M 1,5	1	1.240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	-	-
M 2		3.500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M 2,5	10	12.400	350	2.650	75.0	1.060	30.0	353	10.0	-	-
M 3		35.000	991	7.570	214	3.090	87.5	1.000	28.3	-	-
M 3,5	100	-	-	26.500	750	10.600	300	3.530	100	-	-
M 4		-	-	75.700	2.140	30.900	875	10.000	283	-	-
M 4,5	1.000	-	-	-	-	-	-	35.300	1.000	247	7.000
M 5		-	-	-	-	-	-	100.000	2.830	618	17.5
M 5,5	10.000	-	-	-	-	-	-	353.000	10.000	2.470	70.0
M 6		-	-	-	-	-	-	1.000.000	28.300	6.180	175
M 6,5	100.000	-	-	-	-	-	-	3.530.000	100.000	24.700	700
M 7		-	-	-	-	-	-	10.000.000	283.000	61.800	1.750

Tablo 3.1'de U.S. 209 E'ye göre temiz oda sınıflandırılması verilmiştir. Tablo 3.2'de ise diğer ülkelerin standartlarıyla karşılaştırılması verilmiştir. [2]

Tablo 3.2 Çeşitli standartların karşılaştırılması [2]

USA 209 E 1992	ISO 14644-1 1997	Japan B 9920 1989	France *44101 1981	Germany VDI 2083 1990	UK BS 5295 1989	Australia AS 1386 1989
	ISO Class 1	1				
1	ISO Class 2	2		0		
10	ISO Class 3	3		1	C	0.035
100	ISO Class 4	4		2	D	0.35
1.000	ISO Class 5	5	4.000	3	E,F	3.5
10.000	ISO Class 6	6	-	4	G,H	35
100.000	ISO Class 7	7	4.000.000	5	J	350
	ISO Class 8	8	4.000.000	6	K	3.500
	ISO Class 9			7	L	

Temiz oda klasının belirlemek için yapılan ölçümlerde yanlış anlaşılımları ve karışıklıkları ortadan kaldırmak amaçlanarak Federal standart 209 E'de odanın kullanım durumu da tanımlanmıştır.mevcut 3 farklı kullanım durumu Tablo 3.3'te verilmiştir.[2]

Tablo 3.3 Temiz oda klasının tanımı (U.S Fed 209 E ve ISO 209) [2]

Bitmiş hali ile (As Build)	Her şey tamam ancak içerde ekipman ve personel yok.
Durgun halde (At Rest)	Her şey tamam, ekipman yerinde ancak personel yok.
Çalışır halde (Operational)	Her şey tamam ve üretim yapılıyor.

Tablo 3.3’de görülen üç durumun önemi, tanecik konsantrasyon hesabı sonucu oda klasının belirlenmesinde ortaya çıkmaktadır. Örneğin, çalışır halde Klas-100.000 ölçülen bir temiz oda durgun veya bitmiş halde Klas-10.000 olabilmektedir.

3.2.1 İlaç Sektöründeki Temiz Odalar İçin Sınıflandırma

İlaç üretimi yapılan tesislerde yukarda belirtilen standartlara ek olarak “İyi Üretim Teknikleri (GMP)” denilen kurallara uyulması istenir. Tablo 3.4’te gösterilen oda klasları EU GGMP kurallarına göre verilmiştir.

Klas A: Sterilitenin en yüksek derecede olmasını gerektiren bölgeler; örneğin açık olarak dolum yapılan aseptik bölgeler. Bu alanlara havanın 0,45 m/s +/- %20 laminar olarak basılması gereklidir.

Klas B: Klas A bölgesini çevreleyen steril alanlar.

Klas C ve D: Daha az kritik olan temiz alanlar, örneğin ekipman yıkama, solüsyon hazırlama alanları gibi. [3]

Görüldüğü gibi sınıflandırma dört temel alanda yapılmaktadır. Ancak bazı ilaç üreticilerinin kendi belirlediği sınıflar da vardır. Partikül ve mikroorganizma sayısı temizlik kalitesini belirleyen esas faktörlerdir.

Tablo 3.4 EU GMP Gide (1997): Steril ürünler imali için klas tanımı [2]

Klas	Müsaade Edilebilir Maksimum Tanecik Miktarı adet/m ³			
	Durgun (b)		Çalışır	
	0.5µm	5µm	0.5µm	5µm
A	3.500	0	3.5000	0
B (a)	3.500	0	350.000	2.000
C (a)	350.000	2.000	3.500.000	20.000
D (a)	3.500.000	20.000	Tanımlanmamış (c)	Tanımlanmamış (c)
(a) B, C, D klaslarına erişmek için gerekli hava değişim sayısı odanın büyüklüğü, teçhizat personel sayısına bağlıdır. A, B, C klaslar için hava sisteminde uygun HEPA filtreler bulunmalıdır.				
(b) Durgun demek, temizlikten 15-20 dakika geçtikten sonraki insansız durumdur.				
(c) Tanecik ve mikrobiyolojik gözlem için uyan ve tedbir limitleri saptanmalı ve düzeltici tedbirler işletme talimatlarında bulunmalıdır.				

3.2.2 Hastanelerdeki Temiz Odalar İçin Sınıflandırma

Genel temiz oda standartlarının dışında hastanelere özgü standartlar da mevcuttur. Bu konudaki en yaygın standartlar DIN 1946/4 ve DIN 4799'dur.

Hastanelerdeki odalar için, Alman standardı DIN 1946 iki grup oluşturmuştur. Bu iki grup ve uygulamada hangi odaları temsil ettikleri aşağıda verilmiştir; [4]

- Çok Steril Odalar (I): I. Grup çok steril odalar genellikle US 209 E'ye göre Klas-M 3.5 (100) ve daha küçük klaslara denktir. Bu grup içinde ameliyathaneler, yoğun bakım odaları, ağır yanıkların tedavi edildiği odalar, lösemili hastaların tedavi odaları ile ameliyathanelere bitişik steril malzemelerin depolandığı yerler ve bunlarla ameliyathane arasındaki koridorlar sayılabilir.
- Normal Steril Odalar (II): II. Grup odalar yaklaşık olarak US 209 E'ye göre Klas-M 5.5 (10.000) odalara karşılık gelmektedir. Doğumhaneler, pansuman odaları, endoskopi uygulama odaları, fizyoterapi, radyoterapi odaları, bazı hasta odaları ve koğuşlarını içermektedir. [4]

4. TEMİZ ODALARDA HAVA AKIŞ DİZAYNI

4.1 Temiz Odalarda Hava Dağılımı

Temiz oda klasının belirlenmesinden sonraki adım oda içindeki partikül kontrolünü sağlayacak hava akım türü ile ilgilenilmelidir. Temiz odalarda hava dağılımını etkileyen en önemli faktör hava veriş ve dönüş menfezlerinin cinsleri ile bunların yerleridir. İstenilen temizlik sınıfı, binanın inşa durumu, içerideki cihazların yerleşim durumu, ile bunun klima santrallerinin yerleşimine uygunluğu ve en önemlisi bu işe ayrılacak mali kaynak miktarı hava dağıtım sisteminin seçimini etkiler. [4]

Temiz odanın kullanım amacına bağlı olarak çeşitli hava akış şekilleri vardır. Farklı kullanım amaçları olan üç alternatif oluşturulmuştur. Bu alternatifler aşağıda verilmiştir.[10]

- Temiz odada çalışmanın yapıldığı yerde oluşan partiküller, hemen emilebilirler. Bu metodun kullanım amacı çapraz kirlenmelere izin verilmeyen temiz odalarda yüksek partikül yoğunluğunu engellemektir.
- Türbülanslı akışın kullanıldığı Klas 10.000'e kadar olan odalarda akış, az partikül içeren hava yardımıyla partikül yoğunluğunun azaltılmasından oluşur. Yani başka bir deyişle burada bir "havayı seyreltme" işlemi söz konusudur. Temiz odalarda partikül yoğunluğunun azaltılması için gerekli hava miktarının hesaplanması genelde, azami ve sabit bir partikül emisyon oranından yola çıkılarak düşünülen (MPSS:Most Penetrating Particle Size) kıstaslarla yapılır. Ancak deneyimler, normal işletme koşullarında klasifikasyon sınır değerlerine uyabilmek için çok daha düşük miktarlarda havanın yeterli olabileceğini göstermişlerdir.
- Hava akışının diğer bir yolu partiküllerin tanımlanmış olan bir yatay veya düşey bir akış yolunda doğrudan temiz odadan dışarı atılmasını öngörmektedir. Bu metotla içerdeki zararlı partiküller dışarıya süpürülür. Bu tür hava akışına laminar akış denmektedir. Bu akışın kullanıldığı temiz odalar

klasifikasyonu 100 ve üzerinde olan temiz odalardır. Bu tür hava akışı ile ilgili en önemli kriter akışın hızıdır. Bu hız üretilen ürünün yanındaki ısı kaynaklarına bağlı olarak 0,5 m/s ile 0,25 m/s arasında değişir. Bu da hava gereksinimini mümkün olduğunca minimuma indirip enerjiden tasarruf etmemizi sağlayacak yan koşulların hassas bir şekilde ele alınıp analizini gerektirir.

Hava giriş çeşitlerinin yanı sıra egzoz edilecek havanın atılmasıyla ilgili çeşitli alternatifler bulunmaktadır. Bunlardan biri, atık havanın yüksek klaslı temiz odadan düşük klaslı temiz odaya doğru eksfiltrasyonunu yani taşınmasını sağlamaktır. Diğer bir yol ise dışardan alınan belli yüzdedeki temiz hava ile yüksek klaslı temiz odanın atık havasının belli bir yüzdesiyle karıştırılarak, geri kalan kısmının da dışarı atılmasını sağlayarak yatırım ve işletme giderlerinde tasarruf olanakları sunmaktır. [10]

Temiz odalarda üfleme havası için sıralanan üç farklı metodun temizlik klasına etkisini bazı faktörlere bağlı olarak değiştirebildiğini görürüz. Bu faktörlerden bazıları, binanın inşa durumu, içerideki cihazların yerleşim durumu, ile bunun klima santrallerinin yerleşimine uygunluğu ve en önemlisi bu işe ayrılacak mali kaynak miktarıdır.

4.2 Temiz Odalarda Hava Hazırlama

Temiz odaların çalıştırılmasında çevrim havası kullanılmalıdır. Bu sayede enerji giderlerinin en düşük seviye indirilmesi sağlanmış olunur. Bunun yanında temiz odada kimsenin bulunmadığı ve partiküllerin daha az ortaya çıktığı hafta sonlarında sistemin çalışması yalnızca artı basıncın tutulmaya sağlanmasına yönelik olmalıdır.

Taze hava açısından bakıldığında, çevrim havasında geçerli olan kuralların taze hava için de geçerli olduğu söylenebilir. Taze hava içerde çalışan kişiler için gerekli olan bir unsurdur. Taze hava odadan egzoz edilen atık gazların ve içerde bulunan ısı ve nem kaynaklarıyla oluşturulan havanın yerini alır. İçerde bulunan kirli havayı oluşturan kaynaklar devreden çıkarılınca da taze hava artı basıncı sağlamak için kullanılır ve bu sayede de enerji bakımından tasarruf edilmiş olur. Yapılan işe bağlı olarak personel için sağlanacak taze hava miktarı, kişisel taze hava gereksinimine uygun olarak tayin edilmelidir.

Makineler, vantilatör motorları, aydınlatmalardan gelen ısı yükü, karışım havası yardımıyla ortadan kaldırılmalıdır. Temiz odalardaki taze hava oranı çok düşük olmasından dolayı taze hava ayrı olarak hazırlanır ve uygun bir şekilde çevrim havasıyla karıştırılarak oda içerisine sevk edilir. Böyle bir sistem sayesinde nem ayarının her defasında yapılmasına gerek kalmaz ve bu sayede nem alma ve nemlendirme cihazları için ekstra masrafa girmeye gerek kalmaz. [10]

4.3 Resirküle Hava Değişim Miktarı ve Temiz Oda Hava Hızının Oda Klasına Etkisi

Temiz oda hava hızıyla temiz odanın temizlik klas seviyesini basit bir şekilde ilişkilendirmek, birçok faktörden dolayı zor bir iştir. Bu zorluğa yol açan faktörler, akış yönü, filtre performansı, cihaz ve ortam konfigürasyonu, direkt veya indirekt yolla verilen temiz oda hava hızında ve temizlik seviyesi üzerinde etki yaparlar. Maalesef optimum temiz oda resirkülasyon hava değişim miktarını belirlemek için bilimsel yönden bir boşluk vardır.[11]

Birçok temiz oda şirketi kolaylık sağlayan, temiz odaların farklı klasları için farklı hız ve hava değişim sayıları içeren Tablo 4.1'i kullanır. Bu çizelge, temel belli düşüncelere dayandırılmış ve geçmişte yapılan dizaynlardan öte bir şey içermez.[12]

Tablo 4.1 Tipik hava akış dizayn çizelgesi [12]

Temiz oda Klası	Hava Akış Tipi	Ort. Hava Akış Hızı, m/s	Hava Değ. Sayısı /h
1	Tekyönlü	0,3048 - 0,508	360-540
10	Tekyönlü	0,254 - 0,457	300-540
100	Tekyönlü	0,203 - 0,406	240-480
1.000	Karışık	0,127 - 0,203	150-240
10.000	Karışık	0,0508 - 0,0762	60-90
100.000	Karışık	0,0254 - 0,0508	5-48

Yukarıdaki tabloda kullanılan değerler zamanla tecrübe edilmiş ve bu değerlerin yapılan dizayna uymayan sonuçlar verdiği veya tesisatta bir sorun oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Yine geçmişte kullanılmış diğer bir dizayn metodu, hava akışını belirlemek için 0,46 m/s $\pm$ 20% değeri kullanılmış olmasıdır. Bu değer 1960'lar ve 70'lerde yapılan temiz oda dizaynlarına dayanır.[13]

Farklı çatılar altında, temiz odalardaki hava değişim sayısı ve hava hızı üzerine yapılmış çalışmalar olmuştur. Çevresel Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, tek yönlü hava akış dağılımı olan, ISO-Klas 4 (class-10) temiz oda için hava değişim miktarını 300-540/hr arasında tavsiye eder. Bu hava değişim miktarı tam tavan kaplamalı ve 3 m'lik tavan yüksekliğindeki temiz odada 0,254 – 0,457 m/s'lik hızlara tekabül eder. Benzer şekilde, IEST yaptığı çalışmada, ISO Klas5 (class – 100) temiz odalarda hava değişim sayısını 240 – 480/hr olarak tavsiye eder. Bu değişim sayısına karşılık gelen hız 0,203 – 0,406 m/s'dir ve bunda akış her şekilde olabilir (tek yönlü, karışık) Bu değerler 1970'lerden önceki temiz oda dizaynlarına dayandırılarak sunulur. Son yıllarda ASHRAE'nin çalışmasında tam tavan kaplamalı temiz oda için 0,457 m/s'lik hız ISO Klas 5(class 100) veya daha temiz odalar için genelleştirilmiştir. Yine ASHRAE'nin son bir çalışmasında, ISO Klas 1'den 5'e kadar olan temiz odalarda 0,356 – 0,508 m/s'lik hızları tavsiye edilirken, klas 5'ten 8'e kadar olan mahallerde düşük hava değişimleriyle (275/hr'e kadar) çalışılır. Görüldüğü üzere, bildiriler arasında ve kabul edilen aralıklarda çelişkiler oluşmaktadır. Bununla birlikte, yukarıda verilen bildirilerin hiçbirinde, bilimsel temellere dayanma söz konusu değildir. Uygulamada, kabul edilebilir kontaminasyon seviyesi, tavsiye edilen hava değişim sayısı miktarından ya daha yüksek ya da önemli derecede düşük seviyelerde başanılır. [11]

Son yıllarda, şirketlerin daha düşük hızlarla yaptığı deneylerde, oda içindeki faaliyet ve cihazlara bağlı olarak, hava akış hızının 0,35'ten 0,51 m/s'e $\pm 20\%$ kadar olan hız aralığında başanlı olabileceğini savunuldu. Daha büyük personel faaliyeti veya partikül üretim proses cihazı olan mahallerde daha yüksek değerler kullanılabileceği ve daha az partikül üretme potansiyeli olan odalarda daha düşük değerlerin kullanılabileceği üzerinde duruldu

Sıklıkla, bilgili müşteriler, hız aralığının düşük tarafını kullanırlar. Düşük hıza güveni olmayan tecrübesiz müşteri ve tasarımcılar, aralığın yüksek değerini seçeceklerdir. Verilen temiz oda sınıfı için tek bir ortalama hız veya hava değişim sayısı, değeri yoktur. Buna tek istisna, ilaç dolum alanları için FDA'nın belirlediği $0,46 \pm 0,10$ m/s'lik hızdır. Tasarımcılar seçimlerini müşterinin işlerinde partikül üretim potansiyeline ve tecrübelerine dayanarak belirler. Son yıllardaki eğilim daha düşük hava akış değerlerine doğru kaymaktadır.[13]

Bu zamana kadar yapılmış tüm çalışmalarda hep bir tutarsızlık söz konusu olmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalarda hızın temiz oda kullanım şekline göre düşürülebileceğinden bahsediliyor ama alt limit olarak 0,35 m/s'lik hız öngörülüyor. Halbuki Jaisinghani, R.'nin oluşturduğu bir modelle yaptığı bir çalışma sonucunda 0,3 m/s'nin üzerindeki hızlarda oda tanecik konsantrasyonunda bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma yanında, Sematech ve MIT'in yaptığı çalışmalarda da iyi dağıtılmış tavan üflemede maksimum hızın yaklaşık 0,33 m/s'yi aşmaması gerektiği savunulmaktadır. Yaptıkları çalışmaların sonucunda, 0,46 m/s'lik hızın çok yüksek ve gerçekten “türbülans tekrar girişine (turbulent re-entrainment)” neden olabileceğine karar vermişlerdir. [12]

5. TEMİZ ODALARDA FİLTRELER

Temiz odaların kullanıldığı birçok alanda kurulan iklimlendirme sistemlerinde, sisteme ait en önemli ekipman kuşkusuz filtrelerdir. Bu tip odalar yüksek temizlik gerektirdiğinden, kullanılacak filtre de normal havalandırma sistemlerinde kullanılan filtrelerden daha kaliteli olmalıdır. Temiz odalardaki klima sistemlerinin en önemli vazifesi odada sağlanması arzu edilen klase göre, havanın taneciklerden arınmış olarak içeriye gönderilmesini sağlamaktır. Bu ise havanın çeşitli kademelerde filtrelerden geçirilmesi ile sağlanabilir. Aktif karbonlu filtreler ile farklı bir prensibe göre çalışan elektrostatik filtreler dışında klima sisteminde kullanılan filtreleri Tablo-5.1'deki gibi gruplandırmak mümkündür.[4]

Tablo 5.1 Klima sisteminde kullanılan filtreler [4]

Filtre Çeşitleri	Filtre Grubu
Ön filtreler (kaba filtreler)	G1-G4
Hassas filtreler	F5-F9
Mutlak veya HEPA filtreler	H10-H14
ULPA filtreler	U15-U17

5.1 Temiz odalarda Filtre Seçimi:

Filtre seçimi esnasında, aşağıda belirtilen maddelerin göz önünde bulundurulması gerekir;

- Filtrelerin başlangıç basınç kayıplarının en düşük seviyede olması enerji tasarrufu açısından yararlı olacaktır ve böylece işletme masraflarının düşük olmasını sağlayacaktır,
- Torba filtrelerin yanaklarının birbirine değmeyecek şekilde imal edilmesi tüm yüzeyinin kullanılabilmesini sağlayacak bu da filtrenin ömrünü önemli derecede arttıracaktır,
- Torba filtrelerin imalinde kullanılacak malzemenin kolay yırtılmayacak şekilde seçilmesi ve sistem devreye ilk girdiğinde ve işletme sırasında, filtre malzemesinin en az silkelenecek şekilde imal edilmiş olması gerekir. Bu

sayede filtre üzerindeki birikmiş partiküllerin tekrar hava içine karışması önlenmiş olur,

- Sistemin emniyetini sağlamak açısından, hava kaçaklarının minimuma indirilmesi şarttır. Bu yüzden filtrelerin birleşim yerlerinin kaynaklı olması faydalı olacaktır,
- İnsan sağlığına zarar verebilecek özellikte ve kolay yırtılabilir bir malzeme olan cam elyafının torba filtrelerin imalinde kullanılmamasında fayda vardır,
- Servis ömrü 3-5 sene olan HEPA filtrelerin, bu uzun zaman içinde çerçeveleri üzerinde mikroorganizma, küf ve mantar üreme olasılığı göz önüne alınarak, çerçeve malzemelerinin bunlara olanak vermeyecek malzemelerden seçilmesi gereklidir. Tecrübeler göstermiştir ki, suni tahta ve MDF çerçeveli HEPA filtrelerin üzerinde zamanla küf oluşumu söz konusudur. Bu tip yerlerde paslanmaz malzemelerin tercih edilmesi ya da zararlı malzemelere karşı boyanmış metal çerçeveler tercih edilmelidir,
- Kullanılacak HEPA filtrelerin, üretildiği yerden gerekli testlerinin yapıldığına dair belge alınmalıdır. Bu belge, kullanacak sistemin validasyon işlemleri için gerekli olabilir,
- Pahalı ve hassasiyeti olan HEPA filtrelerin dikkatli şekilde korunması gerekir. Bu yüzden önünde 2-4 mm kalınlığında koruma ızgarası olmasında fayda vardır. [3]

5.2 Temiz Oda Klima Sisteminde Filtre Konfigürasyonu

Filtreler iklimlendirme sistemi içine belli bir sıralama içinde yerleştirilmelidir. Genel olarak filtre düzeni kaba, hassas ve HEPA şeklinde sıralanır. Bu sıralama her birinin bir sonraki filtreye daha az partikül taşınmasını sağlayacak bir düzendir. Daha detaylı bir şekilde bu sıralama incelenirse, filtrelerin yerleştirilmesi olanaklar elverdiğince aşağıda tarif edildiği gibi yapılmalıdır; [3]

Basma tarafı:

- **1. basamak ön filtre:** Taze hava emme kanallarının kirlenmesini önlemek için hemen dış hava menfezinin arkasına yerleştirilmelidir. Taze hava santrali kullanılıyorsa, santralin giriş tarafına konmalıdır.
- **2. basamak ön filtre:** İklimlendirme cihazının (AHU) girişine yerleştirilmelidir,
- **3. basamak filtre:** 2. basamak filtrenin hemen arkasına yerleştirilir ancak bunun yerleşimi üretime bağlı olarak opsiyoneldir.
- **3. basamak aktif karbon veya aktif karbonlu kombine filtre:** Bu da üreticinin tercihinin bağlı opsiyonel bir durumdur. Üretim alanı, kirli gazların çıktığı sanayi bölgelerinde, şehir içinde, yüksek trafiğin bulunduğu otoban kenarlarında vs. yerlerde ise emilen taze havanın atmosferdeki gazlardan arınmasını ve üretimin bu gazlardan etkilenmesini önlemek amacı ile aktif karbon filtre veya aktif karbonlu kombine filtre yerleştirmek mümkündür,
- **4. basamak filtre:** İklimlendirme cihazının çıkışında susturucudan sonra yerleştirilen bu filtre genellikle hassas filtre olarak tercih edilir. Bu filtre son basamaktaki filtrenin ömrünü önemli derecede arttıran etkin bir filtredir,
- **Son basamak filtre (HEPA):** Kanal sisteminin sonuna, menfez ağzına yerleştirilmelidir. Genellikle oda tavanında bulunan bu filtreler, üretim şekline bağlı olarak %100 tavan kaplamalı ya da daha az olabilirler. [3]

İstenilen klas hassaslaştıkça sistemde kullanılacak filtre verimi de artar. Örneğin Klas-100.000 bir temiz oda için santral içine sırasıyla konacak G3-F7-F9 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 gerekir.[4]

Emme tarafı: [3]

- **1. basamak filtre:** Eğer üretim sırasında toz serbest kalıyorsa emme kanallarının kirlenmesini önlemek için emiş menfezlerine kaba filtre konabilir. Bu filtreler genellikle G sınıfı yani kaba filtrelerdir. Bu menfezlerin temizliliği önemlidir, çünkü dönüş havasının bir kısmı çevrim havası olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden mikrop üretip üretmediği belli periyotlarla kontrol edilmelidir,
- **2. basamak filtre:** İnsan sağlığı için zararlı maddelerin üretildiği ilaç ve aşı fabrikası gibi yerlerde, bu maddelerin dışarı çıkışını önlemek için atık hava cihazı üzerine veya kanal sistemine HEPA filtre yerleştirilmelidir,
- **3. basamak filtre:** İnsan ve çevreye çok zararlı olacak maddelerin dışarıya çıkmasını önlemek için 2. bir HEPA filtre konması gerekebilir, bekçi filtre olarak adlandırılan bu filtreler atık hava cihazı içindeki HEPA filtrede bir sorun olduğunda veya değiştirilmesi söz konusu olduğunda önemli bir görev üstlenmiş olur. [3]

5.3 Filtre Sınıfları ve Verimleri

Hava filtreleri, filtreleme verimlerine göre 4 ana sınıfa ayrılırlar.

5.3.1 Kaba filtreler (G1-G4)

G1 sınıfından G4 sınıfına kadar olan ve genelde ‘kaba’ filtre olarak tanımlanan filtreler, DIN EN 779’in belirlediği partikül yakalama (arrestance) verim testine tabi tutulur. Burada yapılan testler filtre verimini veren testler değildirler. Burada ölçülen değerler, ortalama sentetik toz tutma verimleridir ve filtreler bu verimlere göre sıralanırlar. Bu sınıftaki filtreler için, filtre veriminden bahsedilmesi mümkün değildir sadece filtre yakalama veriminden bahsedilecektir. [14]

Filtre verimlerini belirlemede, ortalama toz yakalama verimi (A_M) aşağıdaki formülle hesaplanır ve buna göre oluşan değerler Tablo 5.2’deki gibi oluşur. [15]

$$A_M (\%) = \frac{M_g - M_{\zeta}}{M_g} \times 100 \quad (5.1)$$

M_g : Filtreye giren toplam toz kütlesi

M_{ζ} : Filtreden çıkan toz kütlesi

Tablo 5.2 Kaba filtrelele ait verim değlerleri [15]

Filtre Sınıfı	Filtre Verimi (A_M)
G1	<%65
G2	%65-%80
G3	%80-%90
G4	>%90

5.3.2 Hassas Filtreler (F5- F9)

F5 sınıfından F9 sınıfına kadar olan filtreler, yine DIN EN 779'in belirlediği toz lekeli (dust-spot efficiency) verim testine tabi tutulur. Bu filtreler için oluşturulmuş verim sınıfları, ortalama 0,4µm büyüklüğündeki partikülleri tutulabilme verimliliğine göre oluşturulmuştur. Burada belirtilmesi gereken önemli hususlardan biri, piyasada filtre verimi olarak adlandırılan verim değlerleri, ilişkili DIN standartlarına göre belirlenmiş ortalama toz lekeli verimleridir, örneğin, F9 filtrenin %95 olarak belirtilen verimi, aslında F9 filtrenin ortalama toz lekeli verim değleridir, oysaki bu filtreye ait ortalama verim DIN normlarınınca ortalama %77 mertebelerindedir.[14]

Tablo 5.3 Hassas filtrelele ait verim değlerleri [15]

Filtre Sınıfı	Filtre Verimi
F5	%40-%60
F6	%60-%80
F7	%80-%90
F8	%90-%95
F9	>%95

5.3.3 HEPA Filtreler (H10-H14)

HEPA olarak adlandırılan H sınıfı filtreler, DIN EN 1822'nin belirlediği oransal/nüfuz etme verimi (fractional efficiency or penetration) testine tabi tutularak, en fazla nüfuz eden parçacık büyüklüğü (most penetrating particle size, MPPS) değerlerine göre sıralandırırlar. Bu sınıftaki filtreler için de filtre veriminden bahsedilmez. Ölçülen değerler, filtrenin partikül yakalama verimidir. [14]

Tablo 5.4 HEPA filtrelere ait verim değerleri [15]

Filtre Sınıfı	Filtre Verimi
H10	>%85
H11	>%95
H12	>%99,5
H13	>%99,95
H14	>%99,995

5.3.4 ULPA Filtreler (U15-U18)

Bu sınıftaki filtrelerde de verim yine MPPS metoduyla belirlenir. Verim değerleri, 0,12 μm 'luk partiküller için oluşturulmuştur. [15]

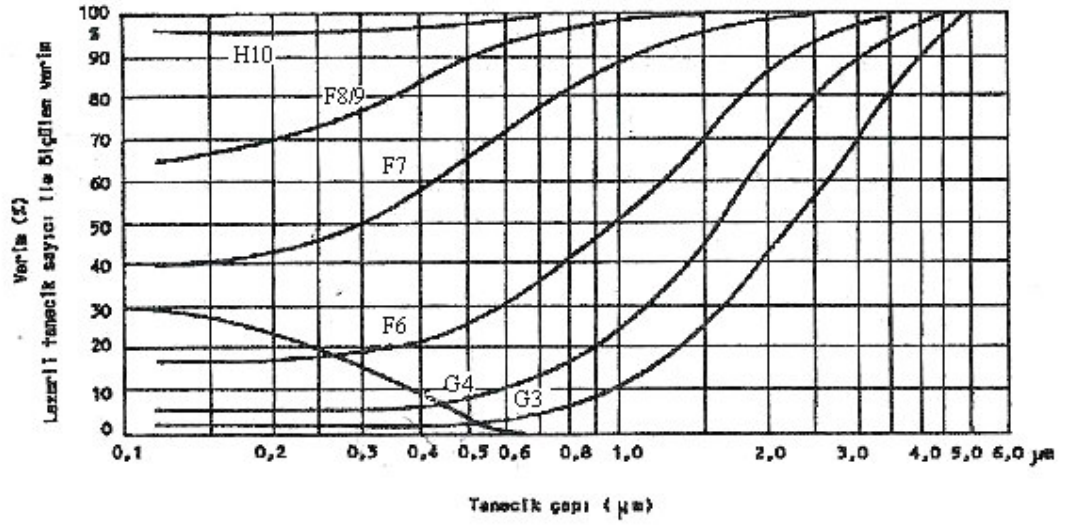
Tablo 5.5 ULPA filtrelere ait verim değerleri [15]

Filtre Sınıfı	Filtre Verimi
U15	>%99,9995
U16	>%99,99995
U17	>%99,999995
U18	>%99,9999995

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, G ve F sınıfı için ortalama verim değerleri DIN EN 779'a göre hesaplanıp belirtilirken, H10 ve üst sınıftaki filtreler için DIN 1882'ye göre hesaplanıp verilir. Farklı standartların kullanımı tablolar arasında da bazı çelişkileri beraberinde getirmiştir. Örneğin dikkat edilirse, H10 filtrenin ortalama partikül verimi DIN EN 1882'e göre %85 civarında iken, F9 filtrenin ortalama toz leke verimi >%95 mertebelerindedir, buradaki karşılaştırma F9 filtrenin daha büyük filtrasyon özelliğine sahip olduğunu göstermez. [14]

Bu çelişkiden, dolayı G ve F tipi filtreler için lazerli tanecik sayıcı ile ölçülen verim değerleri kullanılacaktır. (Şekil 5.1) Bu metodun deneyinde, direk atmosfer kullanıldığı gibi, suni tanecik beslemesi de yapılabilir. Filtre öncesi ve sonrası konan

sondalar yardımıyla emilen hava bilgisayar kontrollü bir sayıcıya gelmektedir. Buradan alınan veriler yardımıyla Şekil 5.1'deki eğriler oluşturulmuştur. [4]



Şekil 5.1 Lazerli tanecik sayıcı ile ölçülen verim değerleri [4]

5.4 HEPA Filtreler için Ön filtreler

HEPA filtrenin çalışma ömrünün arttırmak için, büyük partikülleri ve fiberleri seçip yakalayabilecek daha az verimli filtreler kullanılabilir. HEPA filtrelerin değiştirilme periyotlarının her birinde birkaç ön filtre değişimi HEPA filtrenin ömrünü 4 kat arttırır. HEPA filtrelerin şunlardan korunması tavsiye edilir:[16]

1. 2 µm çaptan büyük partiküller
2. Keten tiftiği (lint)
3. Konsantrasyonu (yoğunluk) 2.3 mg/m³'den büyük partiküller

Şu görüldü ki ön filtreli sistemin maliyeti ön filtre kullanılmayan sistemin 1/3'ü kadardır. Uygun bir ön filtre ve HEPA filtre kombinasyonuna değer biçilmesi, farklı filtre tiplerinin toz yükü ve filtre edilebilir belirli tanecik-zerrecikleri için, verim karakteristiklerine bağlıdır. HEPA filtrenin tıkanma yatkınlığı, toz ve ön filtre filtrasyon karakteristiğinden etkilenir.

Ön filtre olarak kullanılan filtre tipleri konvensiyonel HVAC sistemlerinde basılan üfleme havasını temizlemede çok kullanılır. Radyoaktif partiküller üreten birçok operasyon için basılan üfleme havasında ön filtre kullanılması, kontamine olmuş son filtreye ulaşan toz miktarını azaltır. Bu, ekzost tarafında kullanılan filtrelerin servis ömrünün de artmasını sağlar. [16]

5.5 Filtre Kullanım Alanları

Klima santralı içindeki filtre sistemleri ve sınıfları kullanım alanlarına göre farklılık gösterirler. Filtre sınıfları ve kullanılması gereken sistemler Tablo 5.6'daki özetten yararlanarak belirlenebilir. Düşük işletme masrafı amaçlanıyorsa ön filtre kullanımına önem verilmelidir. Ön filtreli kombinasyonlar, ön filtreden sonra gelen filtrelerin ömrünün daha uzun olmasını sağlayacaktır. Bu işletme masraflarını düşmesine yardımcı olacak bir etkidir. Daha pahalı olan hassas ve HEPA filtreleri değiştirmektense birkaç kere ucuz olan, kaba filtre sınıfından olan ön filtrelerin değişimi maliyet açısından büyük bir getiri sağlayacaktır. [14]

Tablo 5.6 Filtre uygulama alanları [14]

Uygulama Alanları	Ön Filtre		Ana Filtre		Son Filtre	Not
Depolar, mağazalar, üretim alanları, mekanik odalar, elektrik kontrol odaları ve ısıtma/soğutma bataryalarını korumak için	-	-	%50 - 85 partikül yakalama verimi	Panel ve/veya torba tip filtre	-	Büyük ölçekli partiküllerin cihaz içine tutunması engellenmeli ve bataryalar toza karşı korunmalıdır.
			%25 - 30 toz leke verimi			
Özel üretim alanları, boyahaneler, genel amaçlı ofisler, genel laboratuvarlar, havalimanları, otogarlar	-	-	%75 - 90 partikül yakalama verimi	Torba tip ve/veya aktif karbon ve/veya elektrostatik filtre	-	Bu tür filtrasyon ile ortalama ev temizliği değerlerine ulaşılmaktadır. %35 toz leke verimine sahip filtre ile havadaki polenlerin %85'i, %60 toz leke verimine sahip filtre ile tamamı temizlenir. Ayrıca, is ve duman üzerinde de bir miktar etkilidir.
			%35 - 60 toz leke verimi			
Hastaneler, ilaç endüstrisi Ar - Ge bölümleri ve aseptik olmayan üretim alanları, yarı - temiz odalar	-	-	%98 partikül yakalama verimi	Torba tip ve/veya aktif karbon ve/veya elektrostatik filtre	>%95 partikül yakalama verimli atılabilir torba filtre	Bu tür filtrasyon ile en iyi ev temizliği değerlerine ulaşılmaktadır. Cihaz içerisinde toz birikmesi olmaz. Havadaki is ve benzeri kirliliğe karşı efektif bir direnç gösterilir, ayrıca, bakterilere karşı da yüksek verimli filtrasyon yapılır.
			%80 - 85 toz leke verimi			
İlaç teknolojisi aseptik üretim alanları, film ve elektronik üretimi yapılan alanlar, radyoaktif alanlar	%75 - 85 partikül yakalama verimi	Torba tip ve/veya aktif karbon filtre	%98 partikül yakalama verimi	Torba tip ve/veya aktif karbon ve/veya elektrostatik filtre	>%99,97 partikül yakalama verimli atılabilir torba filtre	Mahal bakterilere, radyoaktif tozlara, toksik tozlara, dumana ve zehirli gazlara karşı korunmuş olur.

5.6 Hastanelerde Hava Temizlik Kalitesi ve Filtreler

5.6.1 Hastanelerde Hava Temizlik Kalitesi

Hastanelerin her bölümü için belirlenmiş temizlik sınıfları mevcuttur ve her birinin ihtiyaç duyduğu hava kalitesi farklı sınıfların oluşmasına neden olmuştur. Hastanelerde farklı kullanımlarına göre hangi temizlik kalitesinde hava gerektiği uluslararası standartlarla belirtilmiştir.

- **1. Sınıf:** Bu sınıfa ait odalar, transpantasyon, kemik cerrahi, kalp cerrahisi, lösemi, 1. derecede yanık tedavi, serum şişeleme, kan nakli, özel laboratuvarlardır. Bu tip odalar çok düşük mikrop seviyesi talep edilir. Maksimum izin verilen konsantrasyon 50 tanecik/m³'tür.
- **2. Sınıf:** Bu sınıf dahilinde, kaza cerrahi, ameliyathaneler, bitişik oda ve koridorlar, kadın doğum bölümleri, dahiliye yoğun bakım üniteleri, yanık ve yara bölümleri vardır. Düşük mikrop seviyeli 50- 200 tanecik/m³, hava gerektiren mahallerdir.
- **3. Sınıf:** Bu sınıfın mahalleri, kırık, çıkık hastaları için hazırlanmış bölüm, yoğun bakım, yeni doğmuş bebek birimi, yatak odaları, acil servis, laboratuvarlar, koridorlar, mutfak, çamaşırhanelerdir. Bunlar, normal mikrop seviyeli 200- 500 tanecik/ m³ hava gerektiren mahallerdir.
- **4. Sınıf:** Enfeksiyon üniteleri, tedavi üniteleri kirli hava ortamlarıdır.
- **5. Sınıf:** Lavabolar, temizlik odaları ve diğer mahallerdir.[17]

5.6.2 Hastanelerde Filtre Seçimi ve Filtre Yerleşimi

Hava temizliğinin önemli olduğu yerlerden biri olan hastanelerde, filtre seçiminin önemi insan sağlığının söz konusu olduğu bu tip yerlerde takdir edilir ki çok önemli bir unsurdur. İç hava kalitesini (İHK) bozabilecek nitelikteki kirleticilerin önemli oranda azaltılması için yüksek verimli hava filtrelerine ihtiyaç olduğu kesindir. Bu yüksek verimli filtrelerin düzenli bakımı ve uygun teknik değerlerde seçilmesi, havalandırma sisteminin dizayn değerlerinde çalışmasını sağlayacak ve iç hava kalitesini etkileyecek diğer değişkenlerin de kontrol altında tutulmasını sağlayacaktır.

Diğer değişkenlerden kasıt, iklimlendirme ünitesindeki ekipmanlar, oda içinde partikül üretici cihazlar vb. olaylardır.

İç hava kalitesini bozan iklimlendirme ünitesindeki faktörler, hava filtreleri, serpantinler, yoğunlaşma tavaları ve nemlendiricilerdir. Bunlar, mikrobik üreme için ideal kaynaklar olagelmıştır. Bu açıdan bakıldığında, hava filtrelerinin bakımı çok önemli hale gelmiştir. Filtrelerin düzenli bakımı yapılmazsa, yıpranmış hava filtreleri üzerinde üreyen mikroorganizmalar ve onların yan ürünleri ile birlikte havaya karışacak ve dolayısıyla yaşama ve kullanma mahallerine taşınacaktır.

Filtreler uzun süre değiştirilmeden kullanıldığında kötü ve yetersiz bir hava filtrasyonu ortaya çıkacaktır. Bu kalitesi düşük hava, ısıtma-soğutma serpantinlerinin yüzeylerinde toz birikmesine neden olur. Bu toz birikimi, serpantinlerin kanatçıkları arasındaki boşluğu tıkayacak ve ısı veriminin düşmesine neden olarak enerji maliyetlerinde bir artışın ortaya çıkmasına neden olmakla birlikte hava akımını düşürecek bir direnç artışını ortaya çıkaracaktır.

Filtre seçimi yapılırken en fazla dikkat edilmesi gereken unsur, verilen hava debisi için filtre yüzeyinin mümkün olduğu kadar büyük seçilmesidir. Bu şekilde basınç kayıplarının azaltılması sağlanmakla birlikte, filtre ömrü artacak ve işletme masrafları düşürülmüş olacaktır. Filtre seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir kaide ise HEPA ve ULPA filtrelerin muhakkak bir hassas filtre (F7) ile korunmasıdır. Böyle bir kullanım şekli HEPA ve ULPA filtrelerin ömrünü kullanım şekline bağlı olarak 5-7 seneye kadar çıkmasını sağlayacaktır.. Bunun yanında, ön filtre olarak kullanılacak hassas filtrenin ömrünü tesisin bulunduğu ortam tayin etmektedir. Bu süre hakkında filtre imalatçıları farklı değerler vermektedir. Filtre ömrü için biçilen miktar, ağır endüstrinin bulunduğu bir ortamda 2880 saat(4 ay) olabilirken, endüstri tesislerin bulunmadığı yerleşim yerlerinde 7200 saate (10 ay) kadar çıkabilmektedir.[18]

Klima sisteminde, uygun filtre seçimi sistemin içinde dolaşan mikropların ortadan kaldırılmasında önemli rol oynar. Klima sisteminde hava iki farklı dolaşım gösterir. Bunlardan biri egzoz edilen hava kadar mahale taşınan taze hava, diğeri dolaşan bir kısım havanın da resirküle (çevrim) havası olarak tekrar mahale girmesidir. Bu iki hava akışının uygun şekilde filtrasyonun yapılması ve tekrar mahale gönderilmesi, dikkatli filtre kombinasyonunun seçilmesiyle başarılır.

Yukarda açıklanan hava temizlik kalitelerine uygun olarak hangi filtre kombinasyonun kullanılması gerektiği standartlarla belirlenmiştir: [17]

1. Sınıf mahaller: Bu tip mahaller, temizlilik konusunda en çok hassasiyet gerektiren mahallerdir. Bu mahaller üç kademeli bir hava filtreleme kullanılarak filtre edilirler.

- a) G (G1 ve G3) tipi kaba toz filtresi.
- b) F6 veya F7 ince filtre.
- c) HEPA filtre. Ortalama 0.3µm çaplı zerrecik tozları %99.97 ve üstü veriminde tutar. (DIN 24184'e göre.)

2. Sınıf mahaller: Düşük mikrop seviyesi gerektiren bu mahallerde de 3 kademeli filtreleme gerekmektedir.

- a) G2 veya G3 kaba toz filtresi
- b) F6 veya F7 ince filtre
- c) %85, %98 veya %99.97 verime sahip HEPA filtreler

3. Sınıf mahaller: Normal mikrop seviyesine sahip bu mahallerde, iki kademeli hava filtreleme gerektirmektedir.

- a) G2 veya G3 kaba toz filtresi
- b) F6 veya F7 ince toz filtresi

4. Sınıf mahaller: Bu mahallerde de iki kademeli filtreleme gerektirmektedir.

- a) G2 veya G3 kaba toz filtresi
- b) F6 veya F7 ince filtre

Bu filtre sınıflarının iklimlendirme sistemi içindeki dizilişi ise iki ön filtrenin soğutucu grubundan önce, ikinci kademe filtrenin klima ünitesindeki son hücreye ve son filtre kademesinin de mahalın tavanındaki hava giriş noktasına yerleştirilecek şekilde olması gerekmektedir. Bu şekilde sistemde, taze hava ve resirküle hava miktarı ayarlanabilir olabilecek ve istenilen düzeyde ısı ekonomisinin sağlanması sağlanacaktır. [17]

6. TEMİZ ODALARDA KLİMA ÜNİTELERİ VE ÇEŞİTLERİ

6.1 Hijyenik Klima Santralleri

Kuşkusuz hijyen hayatımızın en önemli parçalarından biridir. Bunun önemsenmesi teknik anlamda, hijyenin gerekli olduğu yerde mekanik tesisata belli kısıtlamalar getirmiştir. Herhangi bir klima santralinin sağlayamayacağı hijyenik koşulların, hijyenik klima santralleriyle daha uygun şekilde başarılabileceği görülmüştür. Hijyenik klima santrallerine, ameliyathane ve yoğun bakım üniteleri yanında ilaç üretim tesisleri, gıda sanayi üretim ve depolama tesisleri ile elektronik prosesler, vb alanlarda da sıkça gereksinim duyulmasından dolayı, günümüzde bu klima santralinin tasarımı, üretimi ve işletmesi özel bir ihtisas alanı haline gelmiştir. Hijyenik klima santrallerinin uygulama alanı oldukça genişlemiştir. Bunun nedeni iç hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkisinin anlaşılmasıyla konfor uygulamalarında da hijyenik klima ünitelerinin kullanımının artmasıdır. Böylelikle, konfor amaçlı cihazlarda da, hijyenik şartları sağlayan santrallerin kullanılmasına özen gösterilmeye başlanmıştır.

Klima santralleri içinde kullanılan ana elemanların sayısı oldukça fazladır. Bu elemanların her birinin, santralden geçen havanın kalitesi ve hijyenliği üzerinde etkisi olacağı kesindir. Bu yüzden ki hijyenik klima tasarımı yapılırken, bütün elemanların santralin hijyenikliği üzerine etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Nemlendirici, fan, filtre, damper, soğutucu serpantin, ısıtıcı serpantin, elektrikli ısıtıcı, buharlı ısıtıcı, kaset vb. ve ayrıca bu elemanlara ilintili sac veya plastik vb. parçaların santral hijyenikliği üzerinde etkisi tek tek incelenmelidir. Her bir eleman için hijyenik şartların sağlanması gerekliliği düşünüldüğünde, hijyenik santral kavramının ne kadar karışık olduğu ortaya çıkmaktadır. [9]

Hijyenik klima santrali kavramı çok geniş bir yelpazede ele alınmalıdır. Klima santrallerinde, yalnızca galvaniz sac yerine paslanmaz sacın kullanılması santrali hijyenik santral yapmaz. Hijyenik santrallerde, kullanılan malzemeler çok önemli olsa da, kavramın küçük bir boyutudur. Hijyenik santral tasarımında, santral kaset

yüzeyi, hava kaçağı, yüzeylerdeki yoğuşma, temizlenme, aydınlatma, servis ve bakım gibi bir sürü etmeni göz önüne bulundurmak gerekir. Bunlar, hijyenik santrallerin tasarımında en çok önem taşıyan elemanlar için istenilen özelliklerdir. Hijyenik santral uygulamaları basit bir konu olmadığından ve yüzeysel bir çalışma ile çözümlenebilecek bir konu olmadığından projeci ve müteahhitlerin bu konuda bilgilendirilmeleri şarttır.

Hijyenik klima santrallerinin teknik ve yapısal özelliklerinin dört ana kuralda toplanması mümkündür:

- Santrale mikroorganizma ve partikül transferinin önlenmesi,
- Santralde mikroorganizma ve partikül birikmemesi,
- Santralde mikroorganizma ve partikül oluşmaması,
- Santralin rahatlıkla temizlenebilmesi ve dezenfekte edilebilmesi. [9]

6.2 Hijyenik Klima Santrali Özellikleri

Temiz odalar için gösterilen özen sadece temiz odada kullanılan yapı malzemeleri için değil, aynı zamanda klima sistemindeki malzemeler için de olmalıdır. Nasıl ki temiz odada kullanılan yapı malzemelerinden, duvar kaplamalarının, asma tavan ve yer döşemesinin, tozutmayan, derzi olmayan, aşınmayan, korozyona dayanıklı malzemelerden seçilmesine çalışılıyorsa, klima sistemindeki, kanalların da muhakkak sızdırmazlık testi yapıldıktan sonra montesinin yapılmasına ve klima santralinin de özel imalat olmasına, yani hijyenik santral grubundan olmasına özen gösterilmelidir. Temiz odalarda kullanılacak bu hijyenik klima santrallerinin de bazı özelliklere sahip olması istenir. Bunlar; [2]

1. Hijyenik santralin kasasında kullanılacak olan profillerin çift cidar konstrüksiyon ve kapalı profillerden yapılmış olması gerekir,
2. Kasanın iç yüzeyinde kullanılacak malzemeler, galvaniz ve paslanmaz çelik tercih edilmelidir. Yan yüzeyler ve tavanı galvaniz, tabanı paslanmaz sacdan yapılmalıdır. Santral içinde oksitlenmeye ve korozyona izin verecek malzemeler kullanılmamalı.

3. Santral içinde mikroorganizma, partikül v.b. zararlı unsurların birikebilme olasılığına karşılık keskin köşe, cıvata, somun başı, aralık v.s. bulundurulmamalı,
4. Fan, filtre, nemlendirici, soğutma serpantinleri için aydınlatma ve kapı bulundurularak, bunların temizlik ve kontrolünü sağlamalı,
5. Fanın malzeme ve konstrüksiyonuna ayrıca önem verilerek, tamamen galvaniz saçtan mamul veya epoksi boyalı tercihen seyrek kanatlı veya serbest fan şeklinde, dışarı çıkarılabilir tip olmalı,
6. Serpantinlerin toz partikülleriyle çabucak tıkanmaması ve havayı kirletici unsurların oluşmaması için seyrek hatveli imal edilerek, bakır boru-alüminyum kanatlı olmalı,
7. Damla tutucular kolay temizlenebilir olmasına ve çıkarılabilir olmasına özen gösterilmelidir,
8. Drenaj tavanları içinde su birikerek beklerse birçok mikroorganizma için uygun bir yaşam koşulu sağlanmış olur. Bu yüzden, drenaj tavanları sökülebilir tip paslanmaz sacdan mamul, eğimli ve içinde su kalmayacak şekilde yapılmalı,
9. Damperler sızdırmaz, alüminyumdan mamul, contaalı olmalı,
10. Santral içinde hava kaçaklarına izin verilmemeli, EN 1886'ya göre sızdırmazlık test sertifikasına haiz ve B-Klas olmalı,
11. Filtrelere ait çerçevelerin çevresinden havanın sızmasına izin verilmemelidir., EN 1886'ya göre sızdırmazlık test sertifikasına haiz olmalıdır. [2]

6.3 Klima Santrallerinde Hava Filtreleri

Klima santrallerinde kullanılan filtreler, temiz odanın en önemli unsurlarından biridir. Hijyenik klima santrallerinde kullanılan filtreler, herhangi bir klima santralinde kullanılanlardan kaliteli olmalıdır. Bir ameliyathanede, 1 μm 'un altındaki virüslerin insan sağlığında büyük tehlikeler oluşturabileceği düşünüldüğünde, kullanılacak filtrelerde kalitenin ne kadar önemli olduğu apaçık ortaya çıkacaktır. Tabii burada en kaliteli filtre seçilirken en ekonomik alternatifi kullanmaya çalışmak gerekir. Klima santrallerinde filtre seçiminde ekonominin anahtarı, filtre yüzeyleridir. Filtre yüzeyleri olabildiği kadar büyük seçilmelidir. Filtre yüzeyi büyük seçildiğinde, filtre üzerinden geçen havanın hızı, kesit ile orantılı olarak düşecektir. Filtredeki basınç düşümü, hızın karesiyle orantılı olarak azalacaktır. Filtre ömrü ve servis süresi, üstel olarak artacaktır. Filtrasyon etkinliği artacaktır.

Bir filtre sisteminde basınç düşümüne neden olan unsurlar enerji tüketiminde büyük oranda etkili olurlar. Bu unsurlardan biri de filtrelerdir. Filtrelerin enerji tüketimine neden olduğu bu direk etkisi yanında dolaylı yoldan da enerji tüketiminde rol oynar. Eğer etkin bir filtrasyon yoksa hava kanallarındaki tozlanma nedeniyle sıcaklık sensörlerinin duyarlılığının azalması, ısı geçiş yüzeylerindeki ısı geçiş etkinliğinin azalması ve fan veriminin azalması nedenleriyle de enerji tüketiminin artmasına neden olur. Filtrenin neden olabileceği bu handikaplardan dolayı, filtre kirleniminin bina otomasyonundan izlenmesi ve kirlilik alarminin verilmesi sağlanmalıdır. [14]

Filtreler çekim etkisi, atalet etkisi, sıkışma etkisi gibi etkilerle çalışır. Her filtre türünün kendine özgü bir yapısı ve kapasitesi vardır. Filtreler tarafından tutulan partiküller ise çok farklı boyutlardadır. En genel halde, tutulan partikülleri iki sınıfta inceleyebiliriz. Boyut olarak 1 mikron altı ve 1 mikron üstü olarak ikiye ayrılabilir. İnsan gözü, en küçük 10 mikron partikülü görebilir. Önemli olan 1 mikron altı partiküllerin yakalanmasıdır. Akciğer için en zararlı ve tehlikeli partiküller de 1 mikron altı olanlardır. Partiküllerin sayıca %98,99 oranı 1 mikron altındadır. Virüsler ve bakteriler çok küçüktür. Ancak özel filtrelerle tutulabilirler. Klima santrallerinde, filtre seçiminde ve uygulamasında aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir:

- Hijyene önem verildiği için havalandırma ve klima sistemlerindeki filtrelerde, 1 mikron boyutu altındaki tozların yakalanması önemlidir. Bunun için, hassas filtre grubundan olan, F sınıfı filtreler kullanılmalıdır.

- Özellikle, havalandırma santrallerinde kullanılan filtrelerin F7 ve daha iyi sınıfta olması tavsiye edilir.
- Ana filtre bir ön filtre ile korunmalıdır.
- Havalandırma sistemi filtreleri, EN 779:2002 standardına uygun olmalıdır.
- Filtrelerin içine dış hava ile sürüklenen böcekler, filtre içinde çürümeye başlar, bakteri oluşumu artar. İç hava kalitesi etkileneceğinden, şartlara göre filtrelerin yılda 3-6 defa temizlenmesi gerekir. Temizlenen filtre, hiçbir zaman yeni filtre performansını veremez, yıkadıkça da performansı düşer. Sonuç olarak yıkanan filtreler de yılda bir kez mutlaka değiştirilmelidir. Filtre elyafları temizleme sırasında özelliğini kaybeder ve istenilen filtrasyonu gerçekleştiremez. Ancak G sınıfı kaba elyaflı veya metal filtreler teorik olarak temizlenebilir. Bu filtrelerin bile temizlenme yerine değiştirilmesi tavsiye edilir. Filtrelerin temizliği hijyen açısından da büyük önem taşır.
- Filtreleri korumak için taze havanın daha az tozlu olmasına dikkat edilmelidir. Bunun için taze hava mümkün olduğu kadar yukarı katlardan alınmalıdır. Yüksekçe çıktıkça hava içindeki toz ve partikül oranı azalır. Örneğin çöl şartlarında 1m yüksekten alınan hava ile 15m yüksekten alınan hava arasında 500 kat fark vardır.
- Kalitesiz bir filtre kullanıldığında 0,3°C sıcaklık farkı oluşabilir. Böylece enerji maliyeti filtre başına 3 kat artacaktır.
- Eski filtre kullanıldığında kaçan toz, fan kanatlarında toplanır ve fan verimini de düşürür. Serpantinlerde biriken tozlar kapasiteyi etkiler ve servis gereksinimini artırır.
- Filtrenin eski tip olması, toz yükü, basınç düşümü ve diğer etkenler, filtre değişimini gerektirir. Filtre ömrü ve bakım zamanları, filtre kataloglarından okunabilir. Buna göre mutlaka filtre bakımı yapılmalı ve değişim periyodu planlanmalıdır. [14]

6.4 Klima Üniteleri Çeşitleri

Filtrasyon verimi ve hava akış dağılımı açısından farklı karakterlere sahip, birbirinden farklı iklimlendirme sistemlerinden dolayı, iklimlendirme sistemi temiz

oda performansını ve maliyetini etkileyen faktörlerden biridir. İdeal bir iklimlendirme sisteminde aşağıdaki özellikler olmalıdır. [12]

- a) Oda içindeki debi ve filtre hızından bağımsız olmalıdır. Bu özelliği, uygun bir maliyette, hava dağılımının kontrol edilmesine izin verir.
- b) Çift HEPA filtrasyon kullanılacak şekilde, daha yüksek filtrasyon verimine izin vermeli. Çift HEPA filtrasyonunun daha düşük debilerde kullanılmasıyla, yüksek verimli filtrasyon sistemlerini elde edilebileceği deneyler sonucunda görülmüştür.. ULPA yada ULPA filtrelerden daha iyileri HEPA filtreden oldukça yüksek verimli olmasına rağmen, çift HEPA filtrenin ana avantajlarından biri ikinci ya da terminal dediğimiz HEPA filtrenin hiçbir servis gerektirmemesidir. Böylece temiz odanın kirlenmesi ve filtre servisi sırasında zaman kaybının azaltılması sağlanmaktadır.
- c) Enerji verimli ve dayanıklı elektrik motorlarının kullanımının sağlanması. Sistem oldukça yüksek güvenilirlikte olabilir.
- d) Oda içine düşük ses radyasyonu olmalı.
- e) Hava soğutma/Isıtma/Nemlendirme/Nem alma gibi iklimlendirme ünitesinin elemanlarının maliyet etkisine karşı hazırlıklı olmak.

Klima sistemlerinin üç ana tipi vardır;

- a) Merkezi hava şartlandırma sistemi
- b) Yeni bir hibrit sistem. Basitçe “dağıtımli iklimlendirme sistemi” şeklinde ifade edilir. Bu sistem temiz oda tavanında hiçbir hava taşıyıcı kullanmaz.
- c) Tavan dağıtımli sistem. Yardımcı fanlı ya da fansız “Fan Filtre Üniteleri” (FFU) şeklindedir. [12]

6.4.1 Merkezi Klima Üniteleri

Geleneksel merkezi klima üniteleri, birkaç kademeli ön filtrasyonlu alışılagelmiş çatı üstü hava şartlandırıcı içerirler. Hava “örümcek bacağı” borulaması kullanılarak terminal HEPA’lar aracılığıyla odaya yollanır. Daha eski temiz oda dizaynlarında, tavandaki terminal HEPA’lar içine dağıtılması için basınçlandırılmış asma tavan (plenum) kullanılırdı. Ama, bu pratik şimdilerde özellikle klas 1000 ve üstü için,

filtre edilmemiş havanın oda içine kaçığı ihtimalinin yüksekliğinden dolayı uygun görülmemektedir.

Bu sistem yukarıda talepleri, hava akış dağılımı, filtrasyon verimi (çift HEPA filtrasyonu içeren), güvenilir motor ve düşük ses radyasyonu açısından karşılar. Ana dezavantajı, sık sık standart olmayan serpantinler ve hızlar talep edildiğinden, bu sistem talebe özel ünitelerden oluşur. Kişiyeye özel (customized) üniteler her yerde ton başına \$1200 ile \$2000 iken, standart hava şartlandırma sistemlerine (nem alıcılar hariç) ton başına yaklaşık \$350 ile \$400 olarak fiyat biçilir. Ek olarak özel yapılmış çatı tipi üniteler, standart ünitelerden önemli derecede ağır olabilir. Bu yüzden bazı durumlarda çatı yapısı güçlendirilmelidir bu da ayrı bir maliyet getirir. [12]

6.4.2 Hibrit Klima Sistemi- Dağıtım Klima Üniteleri

Temelde, hava dağılımı kanal tipi fanlarla birlikte kullanılan filtrelerle sağlanır. Her birinin FFU'nun debisinin 4 katı eğilimi var. Konvansiyonel klima üniteleriyle şartlandırılmış hava, filtreli kanal tipi fanlardaki çevrim havasıyla karıştırılarak tekrar odaya gönderilir. Burada filtreli kanal tipi fanlar, karışım hücresi gibi de hareket etmiş olur.

Bu sistemin ana avantajları şöyledir;

- A. Sistem, odadaki debi ve filtre hızından bağımsızdır. Toplam debi etkilenmeksizin, 100% ya da daha az tavan kaplamalı hava akış dağılımı basitçe sağlanabilir.
- B. Çift HEPA filtrasyonu, uygun ve maliyet etkili şekilde klas 1–100 odalar için uygulanabilir.
- C. Klas 1000 ve daha yüksek temiz odalar için terminal filtreye ihtiyaç yok.
- D. Özel yapım merkezi üniteler ve FFU sistemleri yerine, pahalı olmayan, standart klima (AC) üniteleri kullanılabilir.
- E. Pozitif basınçlı bölgeler oluşmadığından, kaçak olmayan plenumlar söz konusudur. Bu ilk yatırım maliyetini korumaya neden olur.
- F. Temiz oda içinde daha az ses oluşur.
- G. Yüksek kaliteli, enerji verimli 3 fazlı motorlar kullanılabilir.

H. Filtre değişimi odadan uzakta yapılır. Böylece terminal filtreler için servise gerek kalmaz. Bu da daha az zaman kaybı ve oda kirlenmesinin önlenmesi demektir. [12]

6.4.3 Fan Filtre niteli Klima Sistemi- Tavan Dağıtımlı Klima niteleri

Tipik FFU’lar negatif basınçlı asma tavanlarda (plenum) kullanılırlar. Hava şartlandırıcılar basitçe havayı “negatif” plenumun içine besler. FFU’lar borulama akış direncinin gerektirdiği basıncı sağlayamadığından ya özel yapım bir hava şartlandırma sistemi ya da yardımcı fanlar, FFU’larla birlikte talep edilir. Bunun ana avantajı basitliğidir. Bununla birlikte, bu sistemin dezavantajları şöyledir;

1. Plenumda çoğu kez FFU’ların tavanı örten kısmına bağlı olarak pozitif basınçlı bölgeler oluşur. Bu da odaya kaçağa yol açar.
2. Her bir FFU, tavan boşluğunda, 2’ x 4’lık alanda hava akışını engeller. Fan filtre nitesi, oda içindeki debi ve hızdan bağımsız değildir. Bu sistem, uygun hava akış dağılımı için verimli dizayna elverişli değildir. FFU’larla enerji sarfiyatı avantajını %100 kullanmak ya da maliyet etkili tarz da düşük üfleme hızıyla, yüksek tavan kaplamalı hava akış dağılımını kullanmak mümkün değildir.
3. Sistem ift HEPA filtrasyonuna elverişli değildir.
4. Enerji verimli DC fan motorlarıyla FFU motorları daha verimli olmasına rağmen enerji sarfiyatı değerleri yanıltabilir. AC’den DC’ye dönüşümde harcanacak enerji dikkate alınmalıdır.
5. FFU’lar tek başına sessiz olabilmelerine rağmen, birçok fanın kullanımı (bazı durumlarda yüzlerce) oda içine iletilecek önemli ses düzeyine sebep olabilir.
6. FFU’ların birçoğu kullanıldığında her bir motordan temiz odada güvenilir şekilde çalıştığını kontrol etmek için bir monitörleme sistemi gerekir. [12]

7. ODA KLASINI VEREN TANECİK KONSANTRASYONUNUN HESABI VE MALİYET ANALİZİ

Matematiksel bir model yardımıyla, teorik bir çalışma yapılarak, yukarda bahsedilen üç farklı klima sisteminde oda tanecik konsantrasyonu hesaplanmış ve buna bağlı olarak temiz oda klasına etkisi üzerine yorum yapılmıştır. Temiz oda ve filtre konfigürasyonları ile ilgili kıstaslar aşağıda belirtildiği gibidir.

7.1 Sistem Tasarımı ve Amaçlar

Ele alınacak sistemin tasarımında aşağıdaki hususlar ön görülmüş ve bunlara göre hesaplamalar yapılmıştır.

- Hesaplamalar, laminar hava akışlı Klas 100 bir oda (ameliyathane) için yapılacak,
- 8 adet 600x1200 boyutunda HEPA filtreden oluşan %100 tavan kaplamalı filtre yüzey alanı kullanılmıştır.
- Filtre yüzey hızı 0,25 m/s alınarak, odadaki debi belirlenmiştir. Bu debi yaklaşık 5200 m³/h'tür.
- İkinci bir debi alınarak, iki debi arasındaki fark incelenmiştir. İkinci debi değeri 2400 m³/h'tir. Bu, eski DIN normunda tavsiye edilen bir değerdir.
- Üç farklı klima sisteminin taze hava santralinde ön filtre olarak, kaba filtre olan G4 tipi filtre alınacak.
- Merkezi klima sisteminde, klima ünitesinde (AHU) ikinci ön filtre olarak F7 tipi hassas filtre kullanılacak.
- Merkezi klima sisteminde, klima ünitesi (AHU) içinde ana filtre olarak F8, F9 ve H10 filtreler denenecek.
- Hibrit klima sisteminde, ön filtreler ve ana filtreler taze hava santrali (THS) içine yerleştirilecektir.

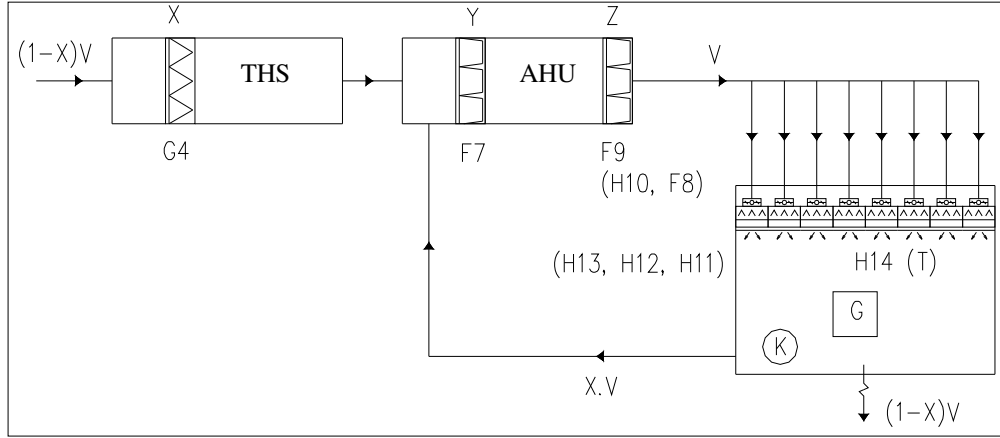
- Fan-filtre üniteli klima sisteminde de ön filtre ve ana filtreler taze hava santrali içine yerleştirilecektir.
- Her üç klima sisteminde de son (terminal) filtre olarak H14, H13, H12 ve H11 denenecektir.
- Standart filtre konfigürasyonu, G4, F7, F9 ve H14 şeklinde olacaktır.
- Farklı filtre konfigürasyonlarını oluştururken G4 ve F7 filtrelerle oynanmayacak, ana filtre ve terminal filtreler üzerinde kombinasyonlar denenecek.
- Odadan belli oranda (taze hava oranı kadar) kaçak söz konusu olacaktır. (2 tane çift kanatlı kapı var)
- Filtre verimleri tablodan, $0,3\mu\text{m}$ 'luk partiküller için okunacaktır.
- Dış havayla taşınan partiküllerin konsantrasyonu (C_t), $0,3\mu\text{m}$ 'luk partiküller için tablodan okunmuştur.
- Her bir filtre konfigürasyonunda, oda içi partikül üretim miktarının (G) 5 farklı değeri için, $V=2400\text{m}^3/\text{h}$ ve $V=5200\text{ m}^3/\text{h}$ debilerinde hesap yapıp, oda klasını belirleyen tanecik konsantrasyonu (K) hesaplanacaktır.

Bu bilgilerin ışığı altında yapacağımız hesaplarda nelere ulaşılmaya amaçlandığı aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Terminal filtreleri değiştirerek, tanecik konsantrasyonuna yani oda klasına nasıl etkideğinin görülmesi.
- Standart filtre konfigürasyonunda (G4+F7+F9+H14) ana filtre olan F9 filtreyi değiştirerek (H10,F9,F8) oluşturulacak kombinasyonlarla ana filtrenin konsantrasyon üzerindeki etkisinin incelenmesi.
- Birkaç farklı G değeri için oda klasının nasıl değiştiğinin bulunması.
- Bu işlemlerin her birini 2 farklı debide yaparak debinin etkisinin gözlemlenmesi.
- Farklı filtre konfigürasyonlarının, enerji sarfiyatları ve değiştirilme miktarları açısından maliyet üzerindeki etkisinin sunulması.

7.2 Oda Klasını Veren Tanecik Konsantrasyonun Hesabı

Laminer akışlı bu ameliyathane için oda klasını verecek tanecik konsantrasyonu (K) aşağıdaki denge denklemi ile bulunabilir. Bu denge denklemi partikül üretim miktarlarının dengesidir. Ayrıca formüller merkezi klima sistemi için uyarlanarak hazırlanmıştır.



Şekil 7.1 Matematik modelin merkezi klima sistemine uyarlanması



Dış Havadan Gelen Partikül Miktarı;

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

$$DHPM = (1 - X).V.C_t.(1 - \eta_x).(1 - \eta_y).(1 - \eta_z).(1 - \eta_T) \quad (7.1)$$

X: Çevrim havası debisinin toplam debiye oranı

V: Temiz oda hava debisi [m^3/h]

C_i : Dış havadaki partikül konsantrasyonu [tan./m^3]

η : Filtre verimi

Çevrim Havasından Gelen Partikül Üretim Miktarı;

Bu bileşen resirküle olan havayı ($X.V$) ifade eder. Bu hava devamlı klima ünitesi içinde dolaşır ve sadece klima ünitesi içindeki filtrelerden ve oda tavanındaki filtreden geçer. Sonuç olarak bu dolaşan havadaki kirlilik üretim miktarı oda içindeki kirlilik üretim miktarına, klima içinden geçen hava oranında, eşittir ($X.G$). Çünkü geri kalan kısmı egzoz edilir ($(1-X).G$). Yine her geçtiği filtrenin partikül geçirme oranıyla çarpılarak aşağıda gösterilen kirlilik üretim miktarı ifadesi oluşturulur.

$$\dot{CHPM} = (X.G).(1-\eta_Y).(1-\eta_Z).(1-\eta_T) \quad (7.2)$$

G : Temiz oda içinde üretilen partikül miktarı [tan./h]

Yukarıdaki ifadelerin toplamı bize odada oluşacak toplam partikül miktarını verecektir ve bu da toplam debi için;

$$\dot{OTPM} = K.V$$

K : Temiz oda klasını veren tanecik konsantrasyonu [tan./m^3]

şeklinde ifade edilir. Burada K bize oda içindeki toplam partikül konsantrasyonu verecektir.

Bu durumda genel ifade;

$$(1-X).V.C_i(1-\eta_X).(1-\eta_Y).(1-\eta_Z).(1-\eta_T) + X.G.(1-\eta_Y).(1-\eta_Z).(1-\eta_T) = K.V \quad (7.3)$$

Buradan K çekilerek değeri bulunduktan sonra, belirlenen oda klasına ait partikül konsantrasyonunun standartlarda belirlenen değerlerini aşıp aşmadığı gözlemlenecek ve bu sayede en uygun filtre konfigürasyonuna ulaşılabacaktır.

$$K = \left[(1-X)(1-\eta_X)C_i + X \frac{G}{V} \right] (1-\eta_Y).(1-\eta_Z).(1-\eta_T) \quad (7.4)$$

Yukarıdaki temiz oda klasını verecek olan denklem, ana hatlarıyla her üç klima sistemi için de fazla değişikliğe uğratılmadan uygulanabilir. Filtre dizilişleri açısından farklılık gösterdiklerinden, verim ifadeleri farklı çarpanlarla gelecektir.

Denkleme ait parametreler aşağıdaki, gibi özetlenebilir:

Debi oranını ifade eden X'in değeri 0,8 (%80) alınır. Yani sistem, %20 dış havayla çalıştırılır.

Temiz oda içindeki hava debisi için iki farklı değer alındığından daha önce de bahsedilmişti. Bu debilerden biri hızın 0,25 m/s olması esasına göre hesaplanır. 8 adet HEPA (600x1200 mm) filtre ile tavanın tümü kaplanmıştır. Bu iki parametre yardımıyla hava debisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_1 = A \cdot v = (0.6 \times 1.2) \cdot 8 \cdot (0.25 \cdot 3600) = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_1 = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$$

İkinci debi değeri, eski DIN normunun ameliyathaneler için önerdiği debi değeridir.

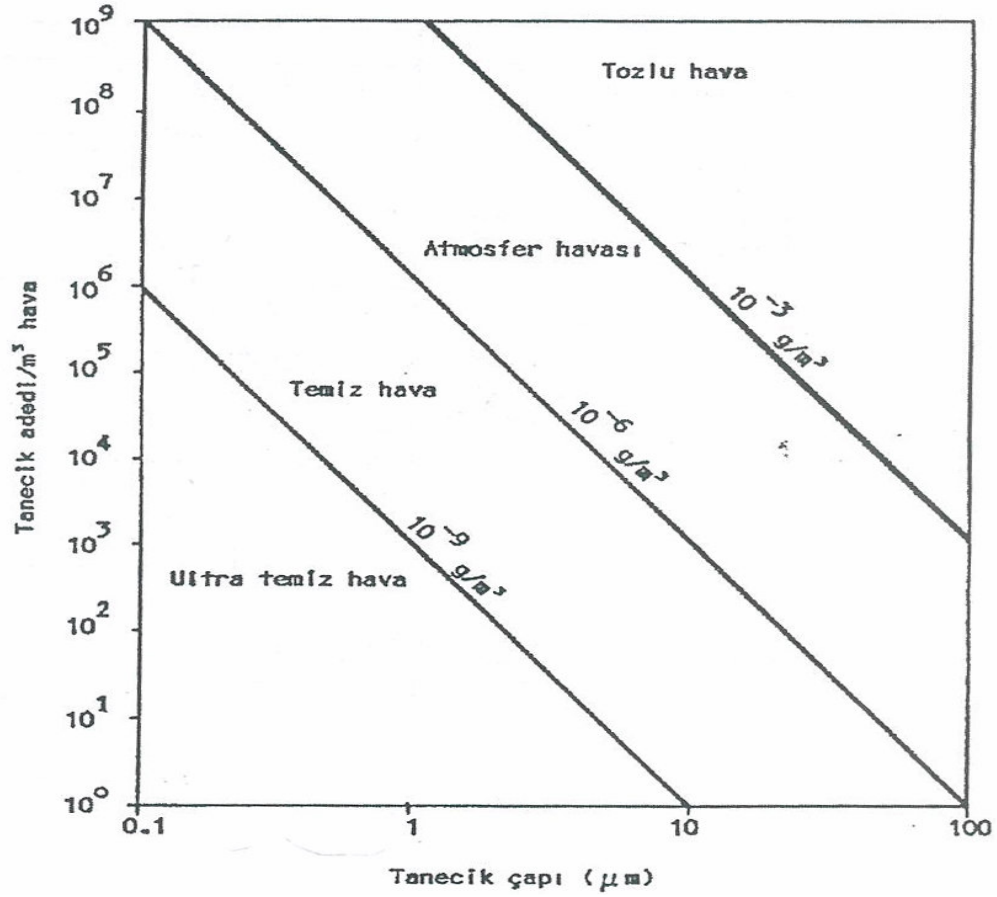
$$V_2 = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$$

Filtreler için verim değerleri, daha önce yapılmış çalışmalarda şekil ve tablolardan elde edilmiştir. Çalışma 0,3µm'luk partiküllerin oda içindeki konsantrasyonunu bulmaya yönelik olduğundan verim değerleri de buna göre bakılacaktır.

Tablo 7.1 Kullanılacak filtrelerin verim değerleri

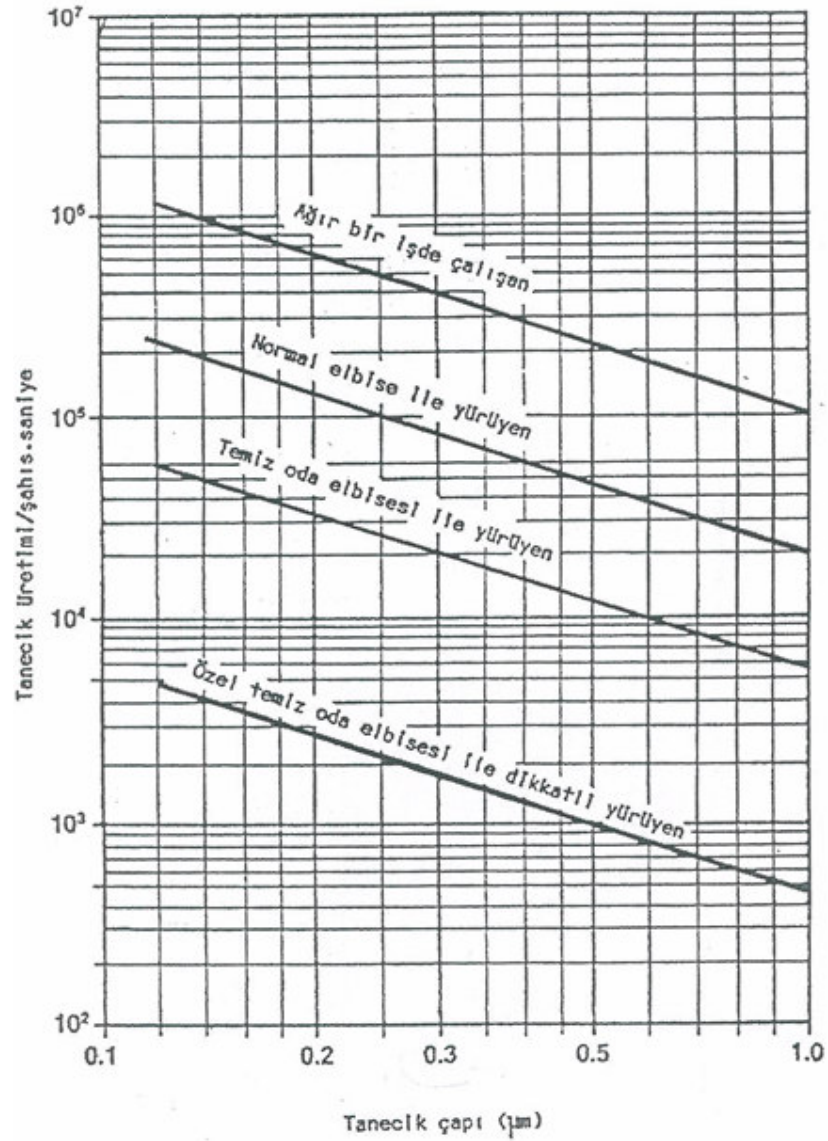
Filtre Sınıfı	Filtre Verimi
G4	%6
F7	%50
F8	%70
F9	%77
H10	%85
H11	%95
H12	%99,5
H13	%99,95
H14	%99,995

K'yı veren formül içindeki diğer bir parametre de C_t yani dış havadaki partikül konsantrasyonudur. Buna ait değer aşağıdaki şekil yardımıyla $0,3\mu\text{m}$ 'luk partiküller için yaklaşık bulunabilir. Buna göre C_t yaklaşık 9×10^7 tan./ m^3 'tür. [4]



Şekil 7.2 Tanecik çapına bağlı olarak dış havadaki tanecik adedi [4]

Diğer taraftan, temiz odanın tasarımı esnasında veya mevcut bir odadaki temizlik klasının ne olduğunun saptanmasında içerde çalışan personelin yaydığı tanecik sayısının çapa göre değişimi gerekmektedir. Bu tür hesaplarda kullanılmak üzere lazerli tanecik sayıcısı ile yapılan ölçme sonuçları Şekil 7.3'te verilmiştir. [4]



Şekil 7.3 Şahıs başına saniyede üretilen tanecik miktarı [4]

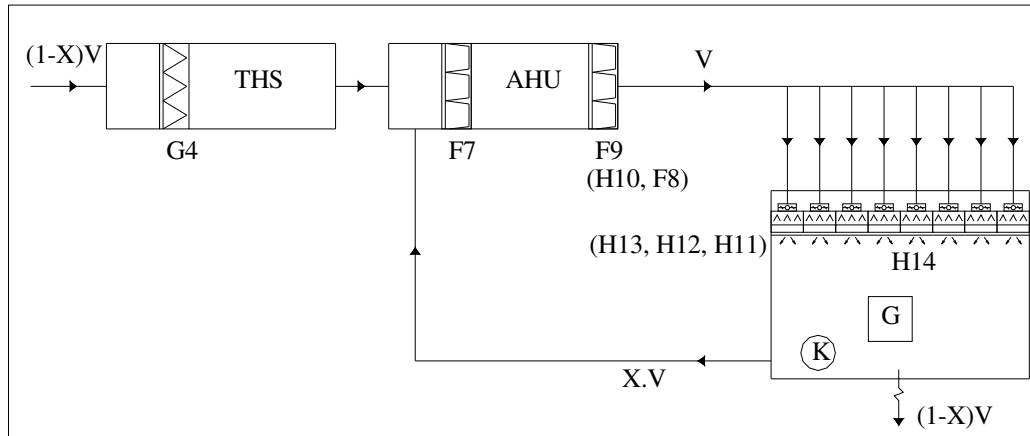
Oda içindeki partikül üretim miktarını veren (G) bu değer, oda içinde 4 kişinin bulunduğu düşünülerek yaklaşık $6 \cdot 10^4$ tan./saniye olarak bulunmuştur. Ancak buradaki çalışmada, oda içindeki tanecik üretim miktarının, oda sınıfı üzerindeki etkisi gözlemleyebilmek açısından, G için 5 farklı değer alınarak, oluşan farklı K değerleri, iki farklı debi altında incelenecektir.

Ele alınan G değerleri aşağıdaki gibidir.

- $G = 10^2 \text{ tan./h}$
- $G = 10^3 \text{ tan./h}$
- $G = 10^4 \text{ tan./h}$
- $G = 10^5 \text{ tan./h}$
- $G = 10^6 \text{ tan./h}$

7.3 Merkezi Klima Sisteminde Oda Tanecik Konsantrasyonunun Hesabı

Burada, standart filtre konfigürasyonu ($G4+F7+F9+H14$) içinde terminal ve ana filtrenin farklı kombinasyonları oluşturularak bunların oda tanecik konsantrasyonu üzerindeki etkisi incelenecek ve buna bağlı olarak Klas 100 temiz odaya ait tanecik konsantrasyonu sınırı içinde kalıp kalmadıklarına bakılacaktır. Terminal filtre için H11, H12, H13, H14 olmak üzere dört farklı filtre tipi, ana filtre için de F8, F9, ve H10 olmak üzere üç farklı filtre tipi incelenecektir. Bu kıyaslamaları iki farklı debide yaparak debinin de bu varyasyonlara nasıl bir etkide bulunduğu ortaya çıkarılmış olacaktır.



Şekil 7.4 Merkezi klima sisteminde hava akış diyagramı

Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri taze hava santralinin içeri toplam oda debisinin %20'si kadar hava gönderdiği'dir. Odadaki kaçak miktarı da bu oranda alınmıştır. Sonuç olarak %80 bir resirküle (çevrim) havası söz konusu olması buradan ortaya çıkmaktadır.

Laminer akışlı bu ameliyathane için oda klasını verecek tanecik konsantrasyonu (K) aşağıdaki denge denklemi ile bulunabilir. Bu denge denklemi partikül üretim miktarlarının dengesidir.

Dış Havadan Gelen Partikül Üretim Miktarı	+	Çevrim Havasından Gelen Partikül Üretim Miktarı	=	Oda İçinde Oluşan Toplam Partikül Üretim Miktarı
---	---	---	---	--

$$[(1-X)V.C_t(1-\eta_{\delta 1})(1-\eta_{\delta 2})(1-\eta_{ana})(1-\eta_t)] + [X.G(1-\eta_{\delta 2})(1-\eta_{ana})(1-\eta_t)] = K.V \quad (7.5)$$

$$K = \left[(1-X).C_t(1-\eta_{\delta 1}) + \frac{X.G}{V} \right] (1-\eta_{\delta 2}).(1-\eta_{ana}).(1-\eta_t) \quad (7.6)$$

$\eta_{\delta 1}$: Taze hava santrali girişindeki birinci ön filtre verimi

$\eta_{\delta 2}$: Merkezi klima ünitesi girişindeki ikinci ön filtre verimi

η_{ana} : Merkezi klima ünitesi çıkışındaki ana filtre verimi

η_t : Temiz oda tavanındaki terminal filtre verimi

Bu denklem merkezi klima sistemi için oda klasını veren tanecik konsantrasyonunu bulmamızı sağlayacak denklemdir.

Bu denklem üzerinde bazı parametrelerle oynayarak oda klasında olacak değişimleri inceleyelim.

7.3.1 $V=5200\text{m}^3/\text{h}$ için Terminal Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Dört farklı HEPA filtre kullanılarak terminal filtrenin oda klası üzerindeki etkisi incelenecektir. Burada kullanılacak HEPA filtrelerin tipi H14, H13, H12 ve H11'dir. Bu filtrelerin verimleri daha öncede belirtildiği üzere aşağıda tekrar özetlenmiştir.

Bunun dışında diğer değişken mahalde partikül üretim miktarını temsil eden G'dir. G için daha önce belirtildiği üzere 5 farklı değer alınacaktır.

Denkleme ait diğer girdiler tek değer alır. Bunlar;

$$X = \%80$$

$$C_t = 9 \times 10^7 \text{ tan./m}^3$$

$$\eta_{\delta 1} \Rightarrow \%6 \text{ (G4 filtre verimi)}$$

$$\eta_{\delta 2} \Rightarrow \%50 \text{ (F7 filtre verimi)}$$

$$\eta_{ana} \Rightarrow \%77 \text{ (F9 filtre verimi)}$$

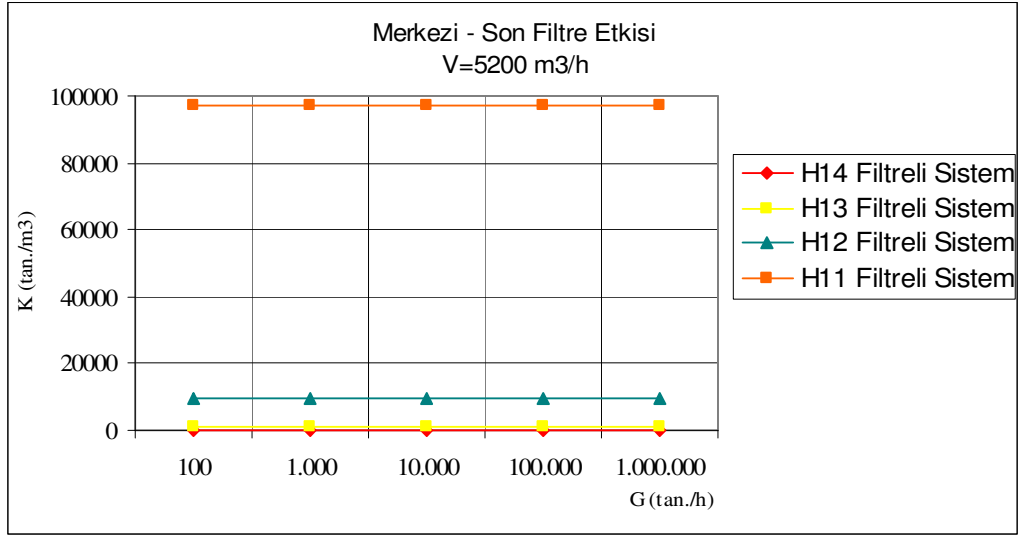
Debi 5200m³/h olarak kullanılacaktır. Bu durumda denklem şu hali alır:

$$K = \left[(0.2)(9.10^7)(1 - 0.06) + \frac{0.8}{5200} G \right] (1 - 0.5)(1 - 0.77)(1 - \eta_t) \quad (7.7)$$

Değerler dört farklı terminal filtre veriminde, her bir G için yerine konursa aşağıdaki tablolar elde edilir. Ayrıca her dört filtre için sonuç Şekil 7.5'deki gibidir.

Tablo 7.2 V= 5200 m³/h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Merkezi)

H14 Filtreli Sistem		H13 Filtreli Sistem		H12 Filtreli Sistem		H11 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	97,2900	100	972,9000	100	9729,0000	100	97290,0001
1.000	97,2900	1.000	972,9000	1.000	9729,0001	1.000	97290,0009
10.000	97,2900	10.000	972,9001	10.000	9729,0009	10.000	97290,0088
100.000	97,2901	100.000	972,9009	100.000	9729,0088	100.000	97290,0885
1.000.000	97,2909	1.000.000	972,9088	1.000.000	9729,0885	1.000.000	97290,8846



Şekil 7.5 V= 5200 m³/h'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Merkezi)

7.3.2 V=5200m³/h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Bu kez, sistemin standart konfigürasyonu üzerinde, klima ünitesinin çıkış ağzına konan hassas filtrelerde farklı kombinasyonlar oluşturulup oda klası üzerindeki etkisi incelenecektir. Burada üç farklı ana filtre tipi ele alınacaktır.

Burada yine 5 farklı G değerine bağlı olarak bu filtre verimlerinin oda klasına etkisi incelenecektir.

Diğer sabit değerler:

$$X = \%80$$

$$C_t = 9 \times 10^7 \text{ tan./m}^3$$

$$\eta_{\delta 1} \Rightarrow \%6 \text{ (G4 filtre verimi)}$$

$$\eta_{\delta 2} \Rightarrow \%50 \text{ (F7 filtre verimi)}$$

$$\eta_t \Rightarrow \%99.995 \text{ (H14 tipli terminal filtre)}$$

$$V = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$$

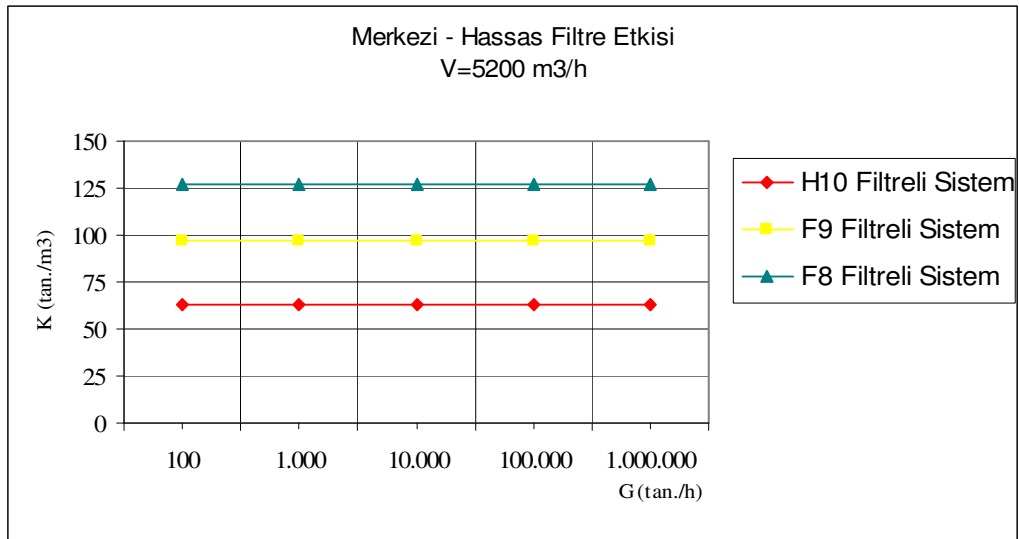
Bu durumda denklem şu hali alır:

$$K = \left[(0.2)(9 \cdot 10^7)(1 - 0.06) + \frac{0.8}{5200} \cdot G \right] (1 - 0.5)(1 - \eta_{ana})(1 - 0.99995) \quad (7.8)$$

Burada değerler sırasıyla yerine konarak aşağıdaki tablolar oluşturulur.

Tablo 7.3 V= 5200 m³/h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Merkezi)

H10 Filtreli Sistem		F9 Filtreli Sistem		F8 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	63,4500	100	97,2900	100	126,9000
1.000	63,4500	1.000	97,2900	1.000	126,9000
10.000	63,4500	10.000	97,2900	10.000	126,9000
100.000	63,4501	100.000	97,2901	100.000	126,9001
1.000.000	63,4506	1.000.000	97,2909	1.000.000	126,9012



Şekil 7.6 V= 5200 m³/h'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Merkezi)

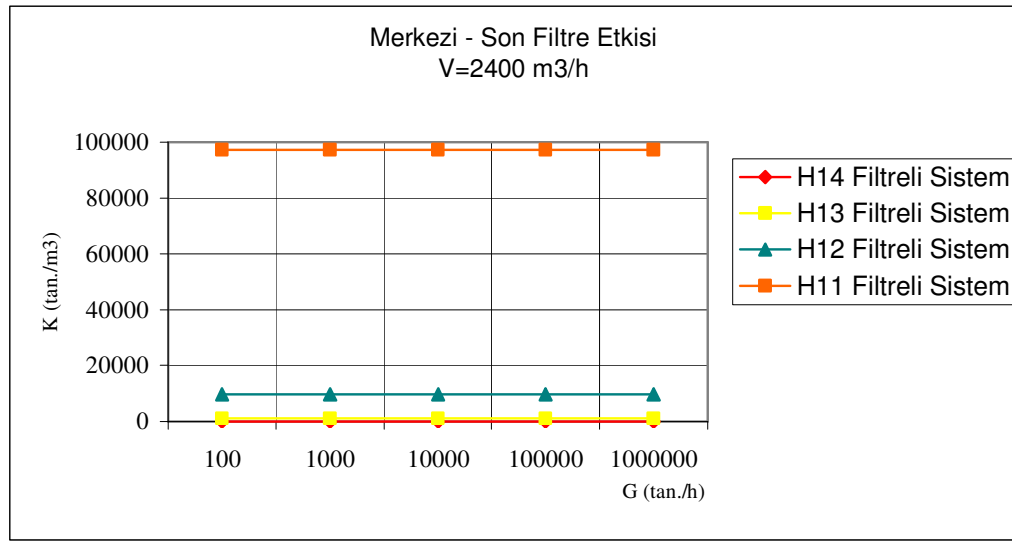
7.3.3 V=2400m³/h için Terminal Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Debi 5200 m³/h iken yapılan işlemlerin aynısı yapılır. Burada tek fark debinin 2400 m³/h alınması olacaktır. Bu durumda oda klasını veren tanecik konsantrasyonun formülü ve grafikleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$K = \left[(0.2)(9.10^7)(1-0.06) + \frac{0.8}{2400} \cdot G \right] (1-0.5)(1-0.77)(1-\eta_t) \quad (7.9)$$

Tablo 7.4 V= 2400 m³/h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Merkezi)

H14 Filtreli Sistem		H13 Filtreli Sistem		H12 Filtreli Sistem		H11 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	97,2900	100	972,9000	100	9729,0000	100	97290,0002
1.000	97,2900	1.000	972,9000	1.000	9729,0002	1.000	97290,0019
10.000	97,2900	10.000	972,9002	10.000	9729,0019	10.000	97290,0192
100.000	97,2902	100.000	972,9019	100.000	9729,0192	100.000	97290,1917
1.000.000	97,2919	1.000.000	972,9192	1.000.000	9729,1917	1.000.000	97291,9167



Şekil 7.7 V= 2400 m³/h'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Merkezi)

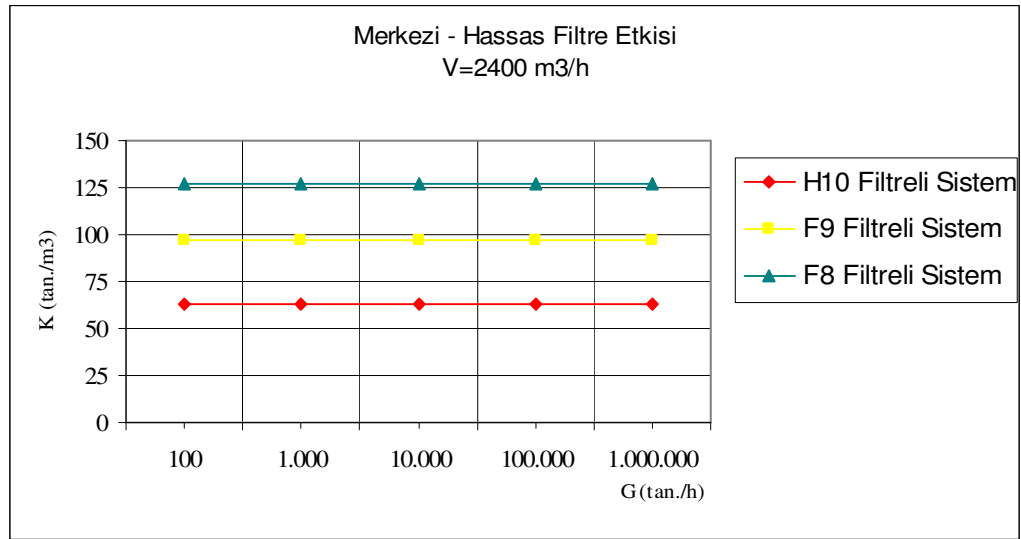
7.3.4 V=2400m³/h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Burada debi 2400m³/h alınmasıyla denklem şu şekilde oluşacaktır:

$$K = \left[(0.2)(9.10^7)(1 - 0.06) + \frac{0.8}{2400} \cdot G \right] (1 - 0.5)(1 - \eta_{ana})(1 - 0.99995) \quad (7.10)$$

Tablo 7.5 V= 2400 m³/h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Merkezi)

H10 Filtreli Sistem		F9 Filtreli Sistem		F8 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K(tan./m ³)	G (tan./h)	K(tan./m ³)	G (tan./h)	K(tan./m ³)
100	63,4500	100	97,2900	100	126,9000
1.000	63,4500	1.000	97,2900	1.000	126,9000
10.000	63,4500	10.000	97,2900	10.000	126,9000
100.000	63,4501	100.000	97,2902	100.000	126,9002
1.000.000	63,4512	1.000.000	97,2919	1.000.000	126,9025



Şekil 7.8 V= 2400 m³/h'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Merkezi)

7.4 Hibrit Klima Sisteminde Oda Tanecik Konsantrasyonunun Hesabı

Burada yine standart filtre konfigürasyonu kullanılmıştır. (G4+F7+F9+H14). Buradaki önemli özelliklerinden biri çift HEPA kullanımına izin vermesidir. Bunu da kanal tipi ünitelerin içine yerleştirmek suretiyle başarmak mümkündür. (Şekil 7.9)

7.4.1 V=5200m³/h için Terminal Filtrenin Farklı G değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Burada da daha önce merkezi klima sisteminde yaptığımız çalışma gibi standart konfigürasyon üzerinde terminal (son) filtrelerle oynayarak, meydana gelecek değişimleri inceleyeceğiz.

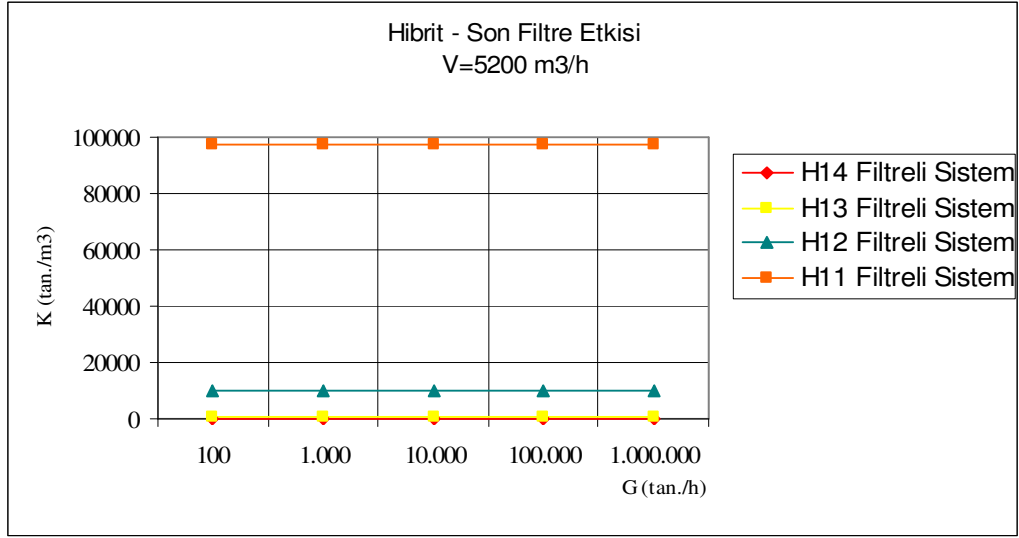
4 farklı terminal (son) filtre denenecektir. Bunlar H14, H13, H12 ve H11'dir. Yine 5 farklı G değeri kullanacağız. Bu değişkenlerin yanında daha önce de açıklanmış olan sabitler de yerine konulduğunda aşağıdaki denklem oluşacaktır.

$$K = \left[(1 - 0.8)(9.10^7)(1 - 0.5)(1 - 0.77) + \frac{0.8}{5200} \cdot G \right] (1 - 0.06)(1 - \eta_r) \quad (7.13)$$

Dört farklı terminal filtrenin bu denklem yardımıyla tanecik konsantrasyonu üzerindeki etkisi aşağıdaki tablolarda görülebilir.

Tablo 7.6 V= 5200 m³/h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Hibrit)

H14 Filtreli Sistem		H13 Filtreli Sistem		H12 Filtreli Sistem		H11 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	97,2900	100	972,9000	100	9729,0001	100	97290,0007
1.000	97,2900	1.000	972,9001	1.000	9729,0007	1.000	97290,0072
10.000	97,2901	10.000	972,9007	10.000	9729,0072	10.000	97290,0723
100.000	97,2907	100.000	972,9072	100.000	9729,0723	100.000	97290,7231
1.000.000	97,2972	1.000.000	972,9723	1.000.000	9729,7231	1.000.000	97297,2308



Şekil 7.10 V= 5200 m³/h'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Hibrit)

7.4.2 V=5200 m³/h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

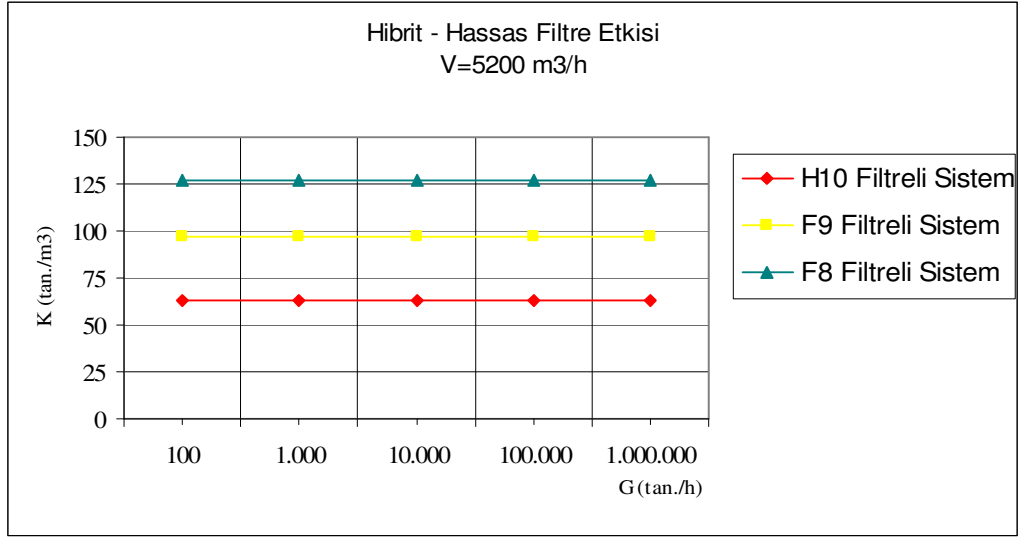
Taze hava santralinde vantilatörle basma kanalı arasına yerleştirilen filtrelerde değişiklikler yaparak oda klasını belirleyecek tanecik konsantrasyonu üzerine etkisi, farklı G değerleri boyunca gözlemlenebilir. Bunun için kullanılacak basma tarafındaki filtre sınıfları ve verimleri daha önce, merkezi klimada kullandığı gibidir, yani H10, F9 ve F8 sınıflarıdır. Buna göre denklem genel şekliyle aşağıdaki gibidir;

$$K = \left[(1 - 0.8)(9.10^7)(1 - 0.5)(1 - \eta_{ana}) + \frac{0.8}{5200} \cdot G \right] (1 - 0.06)(1 - 0.99995) \quad (7.14)$$

Buna göre elde edilen değerler;

Tablo7.7 V= 5200 m³/h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Hibrit)

H10 Filtreli Sistem		F9 Filtreli Sistem		F8 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K(tan./m3)	G (tan./h)	K(tan./m3)	G (tan./h)	K(tan./m3)
100	63,4500	100	97,2900	100	126,9000
1.000	63,4500	1.000	97,2900	1.000	126,9000
10.000	63,4501	10.000	97,2901	10.000	126,9001
100.000	63,4507	100.000	97,2907	100.000	126,9007
1.000.000	63,4572	1.000.000	97,2972	1.000.000	126,9072



Şekil 7.11 V= 5200 m³/h'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Hibrit)

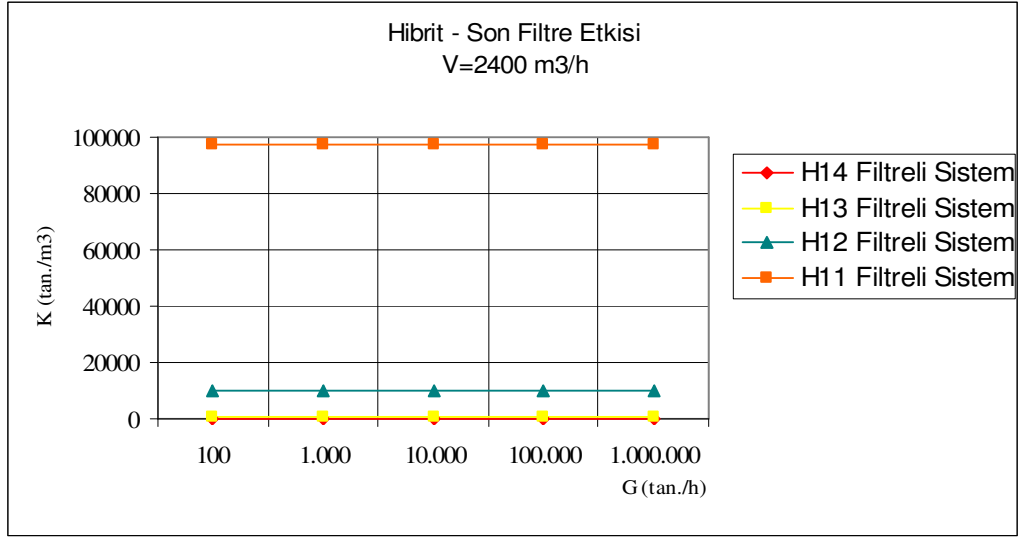
7.4.3 V=2400m³/h için Terminal Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Debi 5400 m³/h'ten 2400 m³/h'e çekildiğinde bir değişiklik gözüküp gözükmeyeceğini aşağıdaki tablolar göstermektedir. Bu durumda denklem şu şekilde değişir.

$$K = \left[(1 - 0.8)(9.10^7)(1 - 0.5)(1 - 0.77) + \frac{0.8}{2400} \cdot G \right] (1 - 0.06)(1 - \eta_t) \quad (7.15)$$

Tablo 7.8 V= 2400 m³/h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Hibrit)

H14 Filtreli Sistem		H13 Filtreli Sistem		H12 Filtreli Sistem		H11 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	97,2900	100	972,9000	100	9729,0002	100	97290,0016
1.000	97,2900	1.000	972,9002	1.000	9729,0016	1.000	97290,0157
10.000	97,2902	10.000	972,9016	10.000	9729,0157	10.000	97290,1567
100.000	97,2916	100.000	972,9157	100.000	9729,1567	100.000	97291,5667
1.000.000	97,3057	1.000.000	973,0567	1.000.000	9730,5667	1.000.000	97305,6667



Şekil 7.12 V= 2400 m³/h'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Hibrit)

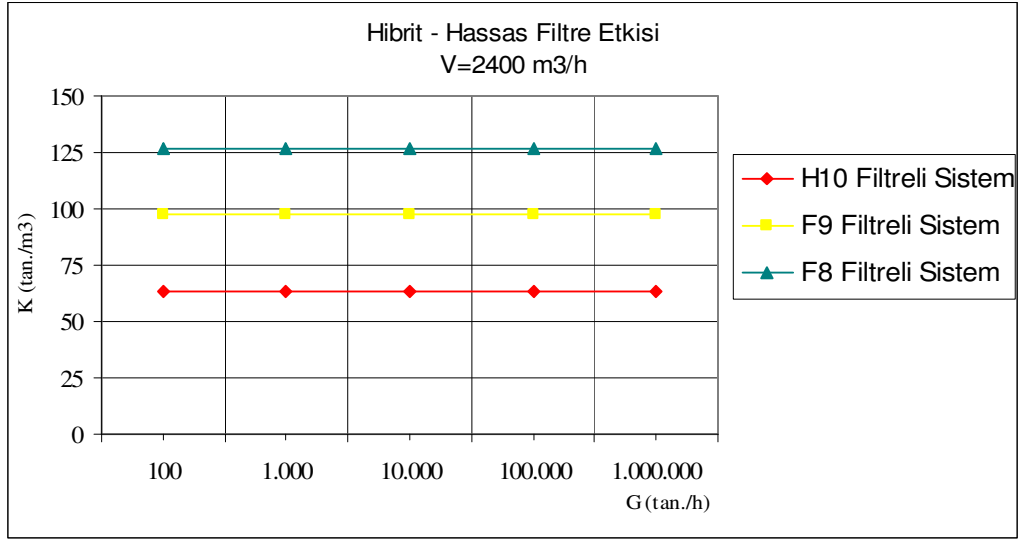
7.4.4 V=2400m³/h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Debi miktarı düşünüldüğünde, basma tarafındaki filtrelerin buna nasıl tepki vereceği aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Genel konsantrasyon denklemi;

$$K = \left[(1 - 0.8)(9.10^7)(1 - 0.5)(1 - \eta_{ana}) + \frac{X}{2400} \cdot G \right] (1 - 0.06)(1 - 0.99995) \quad (7.16)$$

Tablo 7.9 V= 2400 m³/h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (Hibrit)

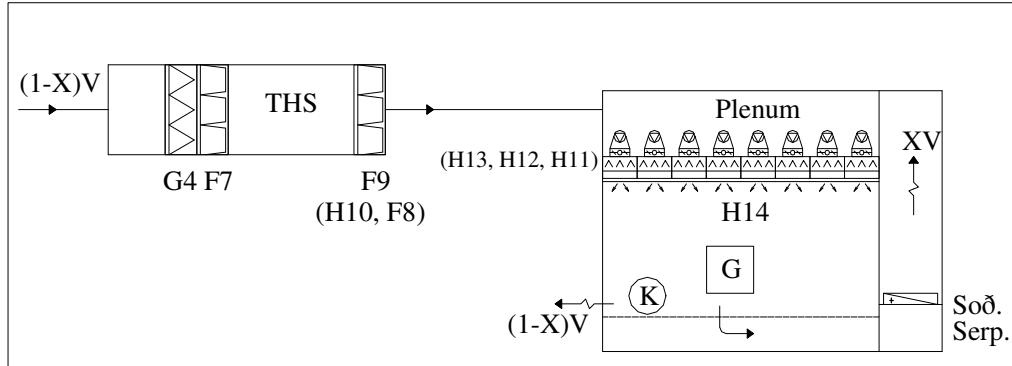
H10 Filtreli Sistem		F9 Filtreli Sistem		F8 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m³)	G (tan./h)	K (tan./m³)	G (tan./h)	K (tan./m³)
100	63,4500	100	97,2900	100	126,9000
1.000	63,4500	1.000	97,2900	1.000	126,9000
10.000	63,4502	10.000	97,2902	10.000	126,9002
100.000	63,4516	100.000	97,2916	100.000	126,9016
1.000.000	63,4657	1.000.000	97,3057	1.000.000	126,9157



Şekil 7.13 $V= 2400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (Hibrit)

7.5 Fan-Filtre Üniteli Klima Sisteminde Oda Tanecik Konsantrasyonunun Hesabı

Fan-Filtre üniteleri HEPA filtre başına 1 fan bulundurulurlar. Bunlar bir plenum içine yerleştirilmişlerdir. Bu 8 HEPA filtre tüm tavanı, diğer sistemlerde olduğu gibi kaplar. Bu sistemde yine $(1-X)V$ kadar kaçak söz konusu olacaktır.



Şekil 7.14 FFU klima sisteminde hava akış diyagramı

Partikül üretim miktarı denkleğini yazarsak,

Dış Havadan Gelen Partikül Üretim Miktarı	+	Çevrim Havasından Gelen Partikül Üretim Miktarı	=	Oda İçinde Oluşan Toplam Partikül Üretim Miktarı
---	---	---	---	--

$$[(1-X)V.C_t(1-\eta_{\delta 1})(1-\eta_{\delta 2})(1-\eta_{ana})(1-\eta_t)] + [X.G(1-\eta_t)] = K.V \quad (7.17)$$

$$K = \left[(1-X)C_t(1-\eta_{\delta 1})(1-\eta_{\delta 2})(1-\eta_{ana}) + \frac{X}{V}G \right] (1-\eta_t) \quad (7.18)$$

Bu genel denklem ışığında oda klasını belirleyen tanecik konsantrasyonun bazı parametreleri değiştirilince nasıl değiştiğini gözlemleyeceğiz.

7.5.1 V=5200m³/h için Terminal Filtrenin Farklı G değerlerinde Oda Klasına Etkisi

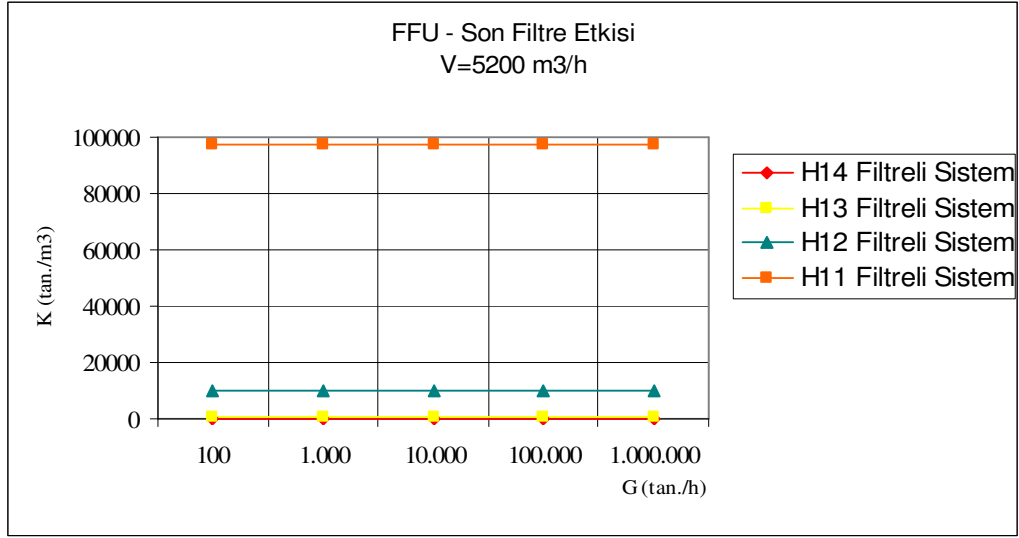
Dört farklı son filtre alınarak (H14, H13, H12, H11) terminal filtrelerin oda klasını nasıl etkileyebileceği hesaplanacaktır. Denklemdaki diğer değişken G'dir. Sabitler de yerine konursa aşağıdaki denklem oluşacaktır.

$$K = \left[(1-0.8)(9.10^7)(1-0.06)(1-0.5)(1-0.77) + \frac{X}{5200}.G \right] (1-\eta_t) \quad (7.19)$$

η_t için dört değer denklemden yerine konacak ve bu dört değer her birinin G'ye göre değişimi incelenecektir. Bunun sonucunda oluşan tablolar aşağıdaki gibidir.

Tablo 7.10 V= 5200 m³/h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (FFU)

H14 Filtreli Sistem		H13 Filtreli Sistem		H12 Filtreli Sistem		H11 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	97,2900	100	972,9000	100	9729,0001	100	97290,0008
1.000	97,2900	1.000	972,9001	1.000	9729,0008	1.000	97290,0077
10.000	97,2901	10.000	972,9008	10.000	9729,0077	10.000	97290,0769
100.000	97,2908	100.000	972,9077	100.000	9729,0769	100.000	97290,7692
1.000.000	97,2977	1.000.000	972,9769	1.000.000	9729,7692	1.000.000	97297,6923



Şekil 7.15 V= 5200 m³/h'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (FFU)

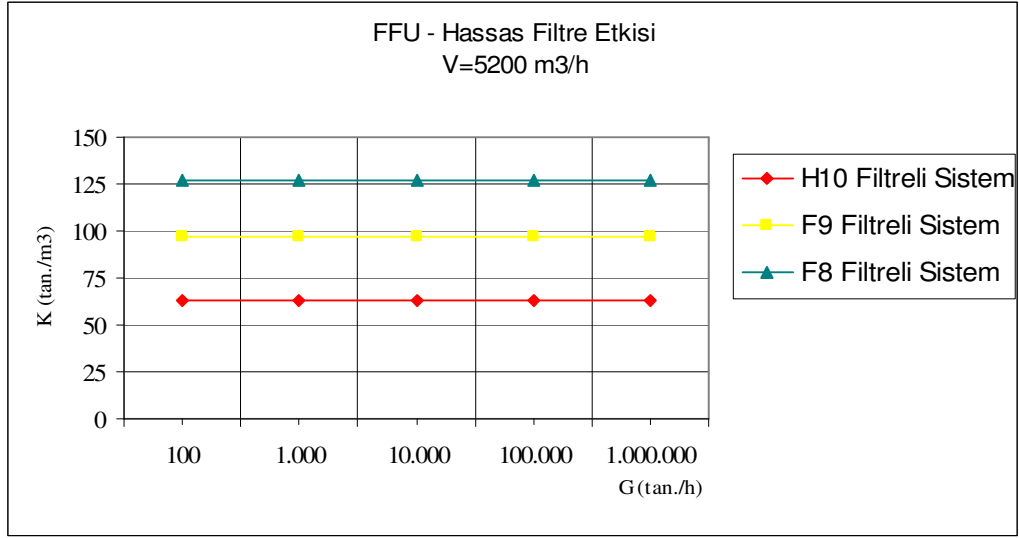
7.5.2 V=5200 m³/h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Fan-filtre üniteli klima sisteminde ana filtrelerle oynanması durumunda nasıl bir değişiklik gözlemleyeceğimizi aşağıdaki denklem yardımıyla oluşturan tablolarda görebiliriz.

$$K = \left[(1 - 0.8)(9.10^7)(1 - 0.06)(1 - 0.5)(1 - \eta_{ana}) + \frac{0.8}{5200} \cdot G \right] (1 - 0.99995) \quad (7.20)$$

Tablo 7.11 V= 5200 m³/h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (FFU)

H10 Filtreli Sistem		F9 Filtreli Sistem		F8 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	63,4500	100	97,2900	100	126,9000
1.000	63,4500	1.000	97,2900	1.000	126,9000
10.000	63,4501	10.000	97,2901	10.000	126,9001
100.000	63,4508	100.000	97,2908	100.000	126,9008
1.000.000	63,4577	1.000.000	97,2977	1.000.000	126,9077



Şekil 7.16 V= 5200 m³/h’te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G’ye göre değişimi (FFU)

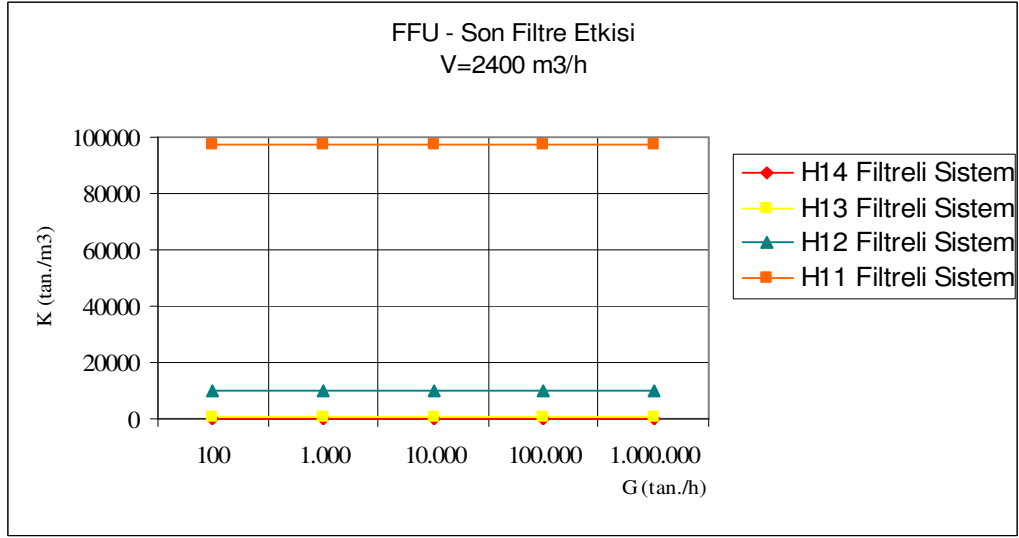
7.5.3 V=2400m³/h için Terminal Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

5400 m³/h olan debi için yaptığımız işlemleri 2400 m³/h için de yapılması sonucunda aşağıdaki değerlere ulaşılmıştır.

$$K = \left[(1 - 0.8)(9.10^7)(1 - 0.06)(1 - 0.5)(1 - 0.77) + \frac{0.8}{2400} \cdot G \right] (1 - \eta_t) \quad (7.21)$$

Tablo 7.12 V= 2400 m³/h için terminal filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (FFU)

H14 Filtreli Sistem		H13 Filtreli Sistem		H12 Filtreli Sistem		H11 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	97,2900	100	972,9000	100	9729,0002	100	97290,0017
1.000	97,2900	1.000	972,9002	1.000	9729,0017	1.000	97290,0167
10.000	97,2902	10.000	972,9017	10.000	9729,0167	10.000	97290,1667
100.000	97,2917	100.000	972,9167	100.000	9729,1667	100.000	97291,6667
1.000.000	97,3067	1.000.000	973,0667	1.000.000	9730,6667	1.000.000	97306,6667



Şekil 7.17 V= 2400 m³/h'te terminal filtre için tanecik konsantrasyonunun G'ye göre değişimi (FFU)

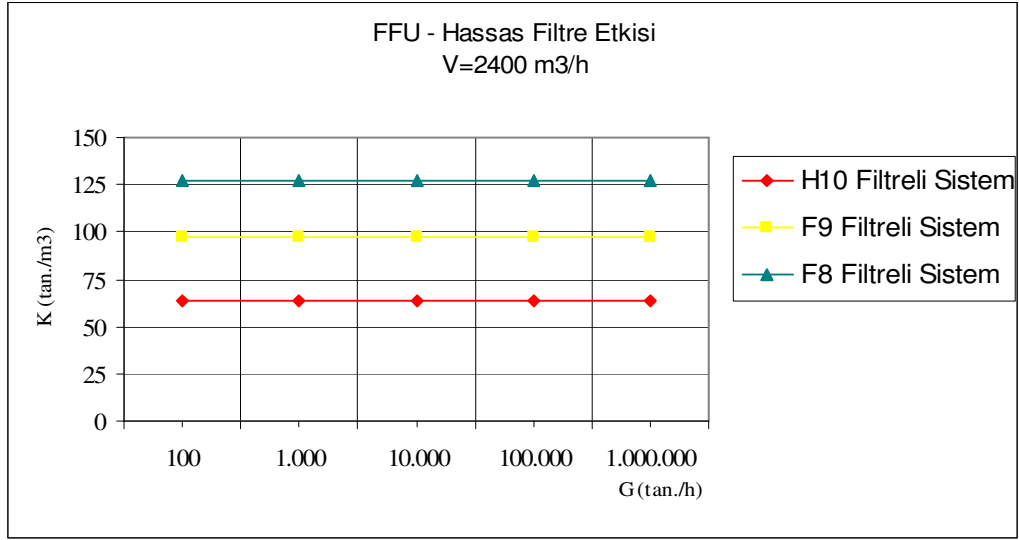
7.5.4 V=2400m³/h için Ana Filtrenin Farklı G Değerlerinde Oda Klasına Etkisi

Yeni debi değeriyle denge denklemi şu hali alır.

$$K = \left[(1 - 0.8)(9.10^7)(1 - 0.06)(1 - 0.5)(1 - \eta_{ana}) + \frac{0.8}{2400} \cdot G \right] (1 - 0.99995) \quad (7.22)$$

Tablo 7.13 V= 2400 m³/h için ana filtrenin farklı G değerlerinde oda tanecik konsantrasyonları (FFU)

H10 Filtreli Sistem		F9 Filtreli Sistem		F8 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	63,4500	100	97,2900	100	126,9000
1.000	63,4500	1.000	97,2900	1.000	126,9000
10.000	63,4502	10.000	97,2902	10.000	126,9002
100.000	63,4517	100.000	97,2917	100.000	126,9017
1.000.000	63,4667	1.000.000	97,3067	1.000.000	126,9167



Şekil 7.18 V= 2400 m³/h’te ana filtre için tanecik konsantrasyonunun G’ye göre değişimi (FFU)

7.6 Çift HEPA Kullanılması Durumunda Oda Tanecik Konsantrasyonu

Üç klima sisteminde de, aynı debilerde, oda klasını belirleyecek tanecik konsantrasyonunun fazla değişim göstermediği aşıkardır. Bu sistemlerin kullanıldığı temiz odalarda, daha düşük konsantrasyonlara düşmek mümkündür. Ancak buna sadece sistemlerden iki tanesi izin vermektedir. Bunlar, merkezi ve hibrit klima sistemleridir.

Merkezi klima sistemlerinde, klas 100 ve daha temiz odalarda 2. HEPA filtre kullanılmasına izin verilir ve bu 2. filtre klima ünitesinin çıkışına konur. Aynı şekilde, hibrit klima sisteminde de 2. HEPA filtre yüksek temizlilik gerektiren yerlerde kullanılabilir. Bu sistemde ise HEPA kanal tipi fan ünitesinin içine yerleştirilir.

Bu filtreler yerleştirildikten sonraki tanecik konsantrasyonunu veren tablolar aşağıda verilmiştir. Bu tablolarda üç farklı çalışma yapılmıştır. Bunlar sadece terminal filtreler değiştirilerek oluşturulmuş kombinasyonlardır. Konfigürasyona ait diğer filtre elemanları aynıdır. Yani G4,F7, F9, 2. HEPA filtre ve terminal filtre düzeninde çalışılmıştır. 2. HEPA filtre H11 sınıfındandır. Terminal filtreler de H14, H13, H12 olarak seçilmiştir.

Tablo 7.14 V= 5200 m³/h İçin Çift HEPA'lı Merkezi Klima Sistemi

H14 Filtreli Sistem		H13 Filtreli Sistem		H12 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	4,8645	100	48,6450	100	486,4500
1.000	4,8645	1.000	48,6450	1.000	486,4500
10.000	4,8645	10.000	48,6450	10.000	486,4500
100.000	4,8645	100.000	48,6450	100.000	486,4504
1.000.000	4,8645	1.000.000	48,6454	1.000.000	486,4544

Tablo 7.15 V= 5200 m³/h İçin Çift HEPA'lı Hibrit Klima Sistemi

H14 Filtreli Sistem		H13 Filtreli Sistem		H12 Filtreli Sistem	
G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)	G (tan./h)	K (tan./m ³)
100	4,8645	100	48,6450	100	486,4500
1.000	4,8645	1.000	48,6450	1.000	486,4500
10.000	4,8645	10.000	48,6450	10.000	486,4504
100.000	4,8645	100.000	48,6454	100.000	486,4536
1.000.000	4,8649	1.000.000	48,6486	1.000.000	486,4862

7.7 Dekontaminasyon (Kirlilikten Arınma) Zamanı ve Debi İlişkisi

Belli bir başlangıç konsantrasyonu alınan temiz odada, arzu edilen oda klasına varıncaya kadar geçen süre dekontaminasyon süresi olarak adlandırılır. Bu süreyi etkileyen faktörlerden biri odadaki hava debisidir. Dekontaminasyon zamanı için oluşturulan formülle oluşturulacak eğrilerle, debinin oda içindeki kontaminasyonu azaltmadaki etkinliği gözlemlenebilecektir.

Dekontaminasyon zamanını veren denklem şu şekildedir;

$$T_{dc} = \frac{60.t_d}{t_r} \quad (7.23)$$

60 [dak.]: birim dönüştürme sabiti

T_{dc}: Dekontaminasyon zamanı

t_d [-]: Seyrelme miktarı

t_r [1/h]: Hava değişim sayısı

Seyrelme miktarı, belirli bir konsantrasyon miktarından, oda için arzu edilen konsantrasyon miktarına ininceye kadar, ilk konsantrasyon miktarının bölünme sayısıdır. Burada bölme işleminde bölen 2 alınır ve her bölme işleminde sonuç tekrar 2'ye bölünerek istenen konsantrasyon miktarına kadar devam edilir.

Odadaki hava değişim sayısını belirlemek için oda hacmine ve odadaki debiye ihtiyaç vardır. Burada debi olarak üç farklı değer ele alınıp, aralarında mukayese yapılacaktır.

$$\text{Oda hacmi} = (0,6 \times 1,2) \times 8 \times 3 = 17,28 \text{ m}^3$$

$$\text{Debi : } V_1 = 5200 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_2 = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Hava değişim sayısı: } t_{r1} = 5200/17,28 = 300 \text{ 1/h}$$

$$t_{r2} = 2400/17,28 = 140 \text{ 1/h}$$

Ele alınan ameliyathanede ilk konsantrasyon değeri 7.10^6 tan./m^3 (Klas 100.000 oda modeli) olarak alınmıştır ve Klas 100 bir temiz oda olan bu mahalde sağlanması gereken minimum tanecik konsantrasyonu 10.600 tan./m^3 'tür. buradaki başlangıç konsantrasyonundan, arzu edilen konsantrasyona ulaşmak için ard arda 2'ye bölme işlemleri yapılacaktır;

$$7.10^6/2 = 3,5. 10^6$$

$$3,5. 10^6/2 = 1,75. 10^6$$

·
·
·

Bu işlemler sonucunda, 10 adet bölme işleminden sonra 10.600 tan./m^3 'ün altına düşülmüştür. Bu durumda, t_d değeri 10'dur.

Bu parametreler denklemde yerine konursa;

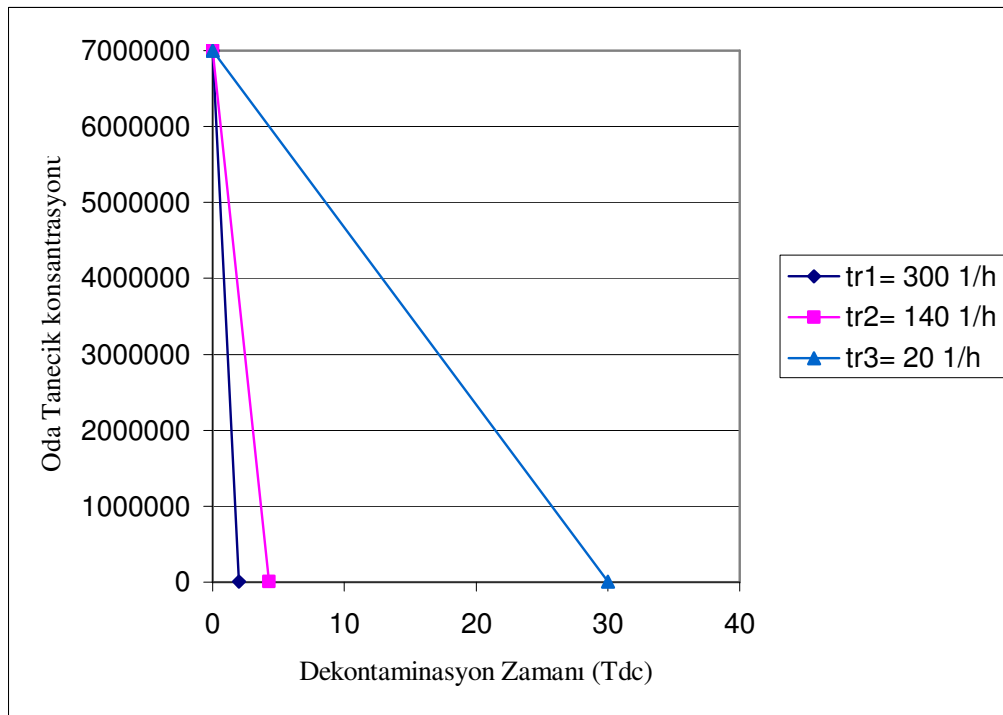
$$T_{dc1} = \frac{60.10}{300} = 2 \text{ dak} \quad (7.24)$$

$$T_{dc2} = \frac{60.10}{140} = 4,3 \text{ dak} \quad (7.25)$$

değerleri elde edilecektir. Ortaya çıkan dekontaminasyon zamanları, yüksek hava değişim sayılarından dolayı oldukça küçük çıkmıştır. Çok düşük hava değişim sayısında sürenin önemli derecede arttığını görülmesi için 20 1/h değeri için de hesap yapılırsa;

$$T_{dc3} = \frac{60.10}{20} = 30dak \quad (7.26)$$

Buna göre konsantrasyon-zaman eksenlerinde eğriler çizilirse aşağıdaki grafik oluşur.



Şekil 7.19 Dekontaminasyon Zamanını Veren Eğriler

Grafikten de görülebildiği üzere, debinin yüksek olduğu durumda odadaki tanecik konsantrasyonu daha hızlı şekilde azaltılır. Temiz odanın kullanılma amacına bağlı olarak, içerdeki partiküllerin dışarı daha hızlı atılmasının gerekli olduğu durumlar söz konusu olduğunda, yüksek hava debisinin de önemi ortaya çıkacaktır.

7.8 Filtre Konfigürasyonlarının Enerji Sarfiyatları ve Maliyet Analizleri

Terminal filtre ile ilgili kombinasyonlarda oluşan konfigürasyonlar, G4+F7+F9+H14 üzerinde H14'ün H13, H12 ve H11 olarak değiştirilmesiyle oluşturulmuştur. Aynı şekilde ana filtre üzerinde yapılan kombinasyonlarda G4+ F7+ F9+ H14 üzerinde F9 filtre F8 ve H10 olarak değiştirilmiştir.

Bu işlemler üç klima sisteminde de denenmiştir. Bunlara ek olarak çift HEPA kullanımına izin verilen merkezi klima sistemi ve hibrit sistemde terminal filtreden önce H11 filtre konmuştur.

Bu sistem içinde kullanılan filtrelere ait basınç düşüm değerleri aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 7.16 Filtrelere Ait Basınç Düşümü Değerleri

	V= 5200 m ³ /h		V= 2400 m ³ /h	
	*B.B.D. (Pa)	*D.B.D.(Pa)	B.B.D.(Pa)	D.B.D.(Pa)
G4	50	200	25	200
F7	155	450	43	450
F8	175	450	70	450
F9	260	450	100	450
H10	260	450	100	450
H11	295	450	100	450
Terminal F.	B.B.D. (Pa)	D.B.D. (Pa)	B.B.D. (Pa)	D.B.D. (Pa)
H14	101	240	52	240
H13	79	240	34	240
H12	60	240	27	240
H11	45	240	20	240

* B.B.D. : Başlangıçtaki basınç düşümü değeri

* D.B.D. : Değiştirmeye gerek duyulan basınç düşüm değeri

Bu basınç düşüm değerlerine bağlı olarak, iki farklı debi için enerji sarfiyatı değerlerini saptamak için fana ait elektriksel güç formülünden yararlanılabilir. Ancak bu formülde kullanılan ortalama basınç düşüm değeri için sadece filtrenin basınç düşüm değerleri alınmıştır. Klima sistemine ait diğer elemanlar için basınç düşüm değerleri ihmal edilmiştir.

$$N = \frac{\Delta p \cdot V}{1000 \cdot \eta} \quad (7.27)$$

Δp : Ortalama Basınç Düşüm Değeri [Pa]

V : Debi [m^3/s]

η : Fan Verimi

N : Enerji Sarfiyatı [Kw]

Fan verimi (η) ortalama olarak %75 seçilmiştir. Debi (V) için ise iki farklı değer göz önüne alınmıştır. Bunlar, $5200 \text{ m}^3/\text{h}$ ve $2400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir.

Ortalama basınç düşümü değeri yukarıda verilen tablodaki başlangıç ve değiştirme basınç düşümü değerlerinin ortalaması olarak alınır.

7.8.1 Enerji Sarfiyatları Açısından Maliyet Analizi

Enerji sarfiyatlarına bağlı olarak yıllık maliyet hesabı (M_E) aşağıdaki denklemle yapılabilir;

$$M_E = N \cdot P \cdot T \quad (7.28)$$

N: Enerji Sarfiyatı (Tablo 7.17) [Kw]

P: Elektrik için birim maliyet değeri [YKR/Kwh]

T: Süre [h]

M_E : Enerji sarfiyatına bağlı yıllık maliyet miktarı [YKR]

Yukarıdaki denkleme ait girdilerden P ve T'nin sayısal değerleri aşağıdaki gibidir.

$P = 18,8266 \text{ YKR/Kwh}$

$T = 365 \text{ gün [8760 saat]}$

Bu değerlere göre oluşan sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7.17 V=5200 m³/h için enerji sarfiyatına bağlı maliyet analizi

Filtre Konfigürasyonu	Enerji sarfiyatı (Kw)	Yıllık Maliyet (YKR)	Yıllık Maliyet (YTL)
G4+F7+F9+H14	1,034	170.446	1.704
G4+F7+F9+H13	1,022	168.481	1.685
G4+F7+F9+H12	1,011	166.694	1.667
G4+F7+F9+H11	1,009	166.337	1.663
G4+F7+F8+H14	0,988	162.942	1.629
G4+F7+H10+H14	1,034	170.446	1.704
G4+F7+F9+H11+H14	1,438	237.088	2.371
G4+F7+F9+H11+H13	1,426	235.122	2.351
G4+F7+F9+H11+H12	1,415	233.336	2.333

Tablo 7.18 V=2400 m³/h için enerji sarfiyatına bağlı maliyet analizi

Filtre Konfigürasyonu	Enerji sarfiyatı (Kw)	Yıllık Maliyet (YKR)	Yıllık Maliyet (YTL)
G4+F7+F9+H14	0,390	64.319	643
G4+F7+F9+H13	0,386	63.577	636
G4+F7+F9+H12	0,384	63.330	633
G4+F7+F9+H11	0,382	63.000	630
G4+F7+F8+H14	0,383	63.082	631
G4+F7+H10+H14	0,390	64.319	643
G4+F7+F9+H11+H14	0,528	86.996	870
G4+F7+F9+H11+H13	0,523	86.254	863
G4+F7+F9+H11+H12	0,522	86.006	860

Enerji sarfiyatları açısından bakıldığında, aynı debi değerinde farklı filtre konfigürasyonları arasında fark olmadığı gözükmemektedir. Zaten enerji sarfiyatını veren formüle bakıldığında, debinin sabit tutulmasıyla tek değişken olarak filtrelerin ortalama basınç düşüm değerlerinin kaldığı görülmektedir. Ortalama basınç düşüm değerleri de sadece terminal filtrenin ya da ana filtrenin değiştirilmesiyle çok fazla değişime uğramadığından enerji sarfiyatında da büyük farklar oluşturmamaktadır.

Diğer taraftan, debinin azaltılması, hava değişim sayısının azaltılmasıyla orantılı olduğundan enerji sarfiyatını aşağı çekecek etkiye sahip olacaktır. Hava değişim sayısının azaltılması demek fanın da daha düşük debili seçilmesini sağlayacaktır. Bu durum, enerji tasarrufunu sağlamış olmakla birlikte fanın maliyetini de düşürecektir. Debinin yüksek seçilmesi temiz oda içinde istenen temizlik sınıfını daha hızlı sağlamasına rağmen, enerji maliyeti açısından sebep olduğu mali külfetin de dikkate alınması gerekir.

Çift HEPA'nın kullanıldığı sistemlere bakıldığında ise farklı debiler için aynı konfigürasyonların kendi aralarında büyük farklar oluşturduğu açıkça gözükmemektedir. Aynı debi değeri içinde, tek HEPA'lı sistemlerle karşılaştırıldıklarında ise önemli enerji sarfiyatı ve buna bağlı olarak maliyet artışına yol açmadıkları tablodan gözlemlenebilir. Buradan çıkarılması gereken sonuç, çift HEPA'lı sistemlerin kullanılmasının düşünülenin aksine çok büyük işletme maliyetlerine yol açmadığıdır.

7.9 Filtre Fiyatlarına Göre Maliyet Analizi

7.9.1 Filtre Değişim Periyotları

Filtre değişim periyotları kaba filtre (G) için 3 ay alınırken, klima ünitesinin girişine yerleştirilen ön filtreler (F tipi) için 6 ay olarak alınır. Diğer bir ön filtre klima ünitesinin çıkışına konur ve bu da ana filtre olarak adlandırılır. Bu filtrelerin ömrü 8 ay olarak alınmıştır. Ana filtrelerin tipi F ve H'dir. Bu üç adet ön filtreden sonra ya oda tavanına yerleştirilen bir HEPA filtre ile sistem tamamlanır ya da oda içindeki terminal HEPA filtreden önce de bir HEPA konarak çift HEPA'lı bir sistem oluşturulur. Tek HEPA'lı sistemde terminal filtrenin ömrü 24 ay iken çift HEPA'lı sistemde terminal HEPA'nın ömrü 48 aya çıkarken, diğer HEPA filtrenin ömrü yine 24 ay olarak alınır.

7.9.2 Filtre Fiyatları

SPX Vokes Air'e ait kataloglardan alınan filtre fiyatları aşağıdaki tabloda gruplarına göre sınıflandırılmıştır. Klima sistemine ait santrallerde kullanılan filtre grubuyla, temiz oda tavanında kullanılan filtre grubu farklı fiyatlandırılmıştır. Terminal filtre olarak kullanılacak HEPA filtrelerin boyutları 610x1220 mm iken, santrallerin içine yerleştirilen HEPA filtrelerin boyutları 610x610 mm olarak imal edilir. Santral içinde kullanılan diğer filtre grupları, kaba ve hassas filtrelerdir. Kaba filtreler panel filtre olarak seçilmiş ve buna göre fiyat alınmıştır. Hassas filtreler ise rijit filtre grubundadır.

Tablo 7.19 Kullanım yerlerine göre birim filtre fiyatları

Santral filtreleri	Fiyat (EU)
G4	15
F7	100
F8	100
F9	110
H10	121
H11	148
Terminal Filtreler	Fiyat (EU)
H14	250
H13	240
H12	235
H11	230

Filtre konfigürasyonlarının fiyatları ortaya çıkarılırken, dikkat edilmesi gereken bir nokta, terminal filtrelerin oda içindeki sayısının 8 adet olmasıdır. Sistem içindeki diğer filtrelerin konfigürasyon içindeki miktarları 1 adettir. Diğer önemli bir nokta çift HEPA kullanıldığı durumlarda, terminal filtrenin ömrü 24 aydan 48 aya çıkar.

$$M_F = F_c \cdot F_d \cdot F_n \quad (7.29)$$

M_F : Filtre fiyatlarına bağlı yıllık maliyet miktarı

F_c : Birim filtre fiyatı [EU]

F_d : Filtre değiştirme sayısı

F_n : Filtre adeti

Tablo 7.20 Farklı filtre konfigürasyonlarının fiyatları

Filtre Konfigürasyonu	Maliyet (EU)	*Maliyet (YTL)
G4+F7+F9+H14	2850	4560
G4+F7+F9+H13	2770	4432
G4+F7+F9+H12	2730	4368
G4+F7+F9+H11	2690	4304
G4+F7+F8+H14	2820	4512
G4+F7+H10+H14	2883	4613
G4+F7+F9+H11+H14	3294	5270
G4+F7+F9+H11+H13	3214	5142
G4+F7+F9+H11+H12	3174	5078

* 2 senelik periyot için oluşturulmuş maliyet değeridir.

İki yıllık periyot boyunca filtre fiyatları ortaya çıkarıldığında, terminal ve ana filtrelerin farklı kombinasyonları için ortaya çıkan maliyet değerleri arasında fark olmadığı gözükmemektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, 24 aylık bir periyotta terminal filtrelerin değiştirilmeye ihtiyaç duyulmadığıdır. Bu da demek oluyor ki farklı terminal filtrelerin denendiği kombinasyonlarda fiyat farkı HEPA filtrelerin birim fiyatlarından dolayı gelmektedir.

Diğer yandan ana filtrelerin değiştirilmesiyle oluşturulan kombinasyonda ortaya çıkan maliyet değeri, terminal filtreler için kombinasyona nazaran az da olsa fazla olduğu gözükmemektedir. Bu ufak fark aslında çok büyük sarfiyatları önleyen bir farktır. Çünkü HEPA filtreden önce ne kadar kaliteli ön filtreler konursa HEPA filtrenin ömrü o derece artacaktır. Bu sayede birçok kez HEPA filtreyi değiştirerek büyük masraflara yol açılmamış olunacaktır. HEPA filtrelerle diğer filtrelerin birim maliyetleri karşılaştırıldığında HEPA filtrenin diğerlerini ikiye katladığı açıkça gözükmemektedir. Bu yüzdendir ki daha sık HEPA değiştirmektense ön filtrelerin daha sık değiştirilmesi ve daha kaliteli ön ve ana filtrelerin tercih edilmesi tavsiye edilir.

Çift HEPA filtre kullanılması belli bir maliyet artışına neden olmuştur. Ancak burada gözardı edilmemesi gereken nokta çift HEPA'lı sistemlerde terminal filtrenin ömrünün önemli derecede artıyor olmasıdır.

8. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Burada yapılmış olan çalışmada, bir temiz oda üzerinde birtakım parametrelerin, temiz oda klasını nasıl ve ne kadar etkilediği hazırlanan matematiksel bir modelle incelenmiştir. Ele aldığımız ameliyathane, laminar hava akışının, tüm tavanı kaplayan HEPA filtrelerle başarıldığı, ve klas 100 temizlik sınıfında bir temiz oda olarak öngörüldü. Terminal filtreler kadar havayı taşıyan klima sistemi için de üç farklı model seçilerek bunların birbirlerine göre artı ve eksilerinin temiz oda üzerindeki etkisi sunuldu. Bu ameliyathanenin temizlik klasını etkileyen hava değişim sayısı ve filtre verimlerinin, ne kadar etkin olduklarını incelerken, temiz oda içindeki partikül üretim miktarının farklı değerleri boyunca bu çalışma yürütüldü. Daha sonra, hava değişim sayısının ve farklı filtre verimlerinin temiz oda üzerindeki maliyet etkisi sunuldu.

Oda klasını belirleyen, oda içindeki tanecik konsantrasyonun hesabı için oluşturulan matematik modelde, iki farklı debi için çalışma yapıldı. Her iki debi miktarında, farklı filtre kombinasyonları denendi ve bu kombinasyonlar farklı oda içi partikül üretim miktarları boyunca ele alındı. Böylece iki farklı debi yardımıyla, hava değişim sayısının temiz oda üzerindeki etkisi incelenmiş olurken, farklı filtre kombinasyonlarıyla da filtre veriminin oda klası üzerindeki etkisi incelendi.

Oda içi partikül üretim miktarının tüm filtre kombinasyonlarında ve farklı debilerde oda klasına nasıl etki ettiği incelendiğinde ortaya çıkan değerler, oda içi partikül üretim miktarının oda içindeki partikül konsantrasyonu üzerinde büyük değişimler oluşturmadığı gözlemlendi. Yani, aynı filtre konfigürasyonunda, farklı debilerde ve farklı klima sistemlerinde, oda içi partikül üretim miktarının değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu da demek oluyor ki, oda içi partikül üretim miktarı tek başına odadaki partikül konsantrasyonu üzerinde etkili olacak bir parametre değildir. Oda içinde çok büyük miktarda partikül üretimi varsa, bu partiküller iyi bir hava dağıtım sistemi ve hava değişim sayısı ile kısa sürede ortadan kaldırılabilecektir.

İncelenen bu modelde çeşitli filtre kombinasyonları oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlar, üç ana başlık altında gruplandırılmıştır. İlk olarak, terminal filtrenin oda klası üzerindeki etkisi görebilmek açısından dört farklı HEPA filtre, terminal filtre olarak denenmiştir. Bu deneme yapılırken, filtre konfigürasyonuna ait diğer elemanlar, yani ön filtre ve ana filtreler değiştirilmemiştir. Ön filtre olarak G4 tipi kaba filtre ve F7 tipi hassas filtre kullanılmıştır. Ana filtre olarak da F9 tipi hassas filtre kullanılmıştır. Denenen HEPA filtrelerin sınıfları ise H14, H13, H12 ve H11'dir. Oluşturulan bu dört filtre konfigürasyonuna bakıldığında, terminal filtrenin verimi azaldıkça, oda içindeki partikül konsantrasyonunun da önemli derecede artış gösterdiği gözlemlenmiştir. H14, H13 ve H12 sınıflı terminal filtrelerde, oda içi tanecik konsantrasyonu klas 100 bir temiz odada izin verilen tanecik konsantrasyon miktarının altında bulunurken, H11 sınıflı terminal filtrede klas 100 temiz oda için izin verilen sınırın çok üzerinde bir konsantrasyon ortaya çıkmıştır. Bunun anlamı, klas 100 sınıfında bir ameliyathane oluşturmak için ideal terminal filtre sınıfları H14, H13 ve H12 tipi HEPA filtrelerdir. Bu sonuç farklı hava akış hızları başka bir anlamda odadaki hava debileri ve farklı klima sistemleri için de geçerlidir. Yani, terminal filtre için oluşturulan kombinasyonlarda, debinin farklı olması ameliyathane içindeki tanecik konsantrasyonunu değiştirmemekle birlikte üç farklı klima sisteminde de aynı değerler ortaya çıkmıştır.

İkinci filtre kombinasyonu, ana filtreler değiştirilip, diğerleri aynı tip seçilerek yapılmıştır. buradaki filtre konfigürasyonunda yine iki ön filtre olarak G4 ve F7 tipi filtreler bulunurken, terminal filtre olarak H14 tipi HEPA filtre seçilmiştir. Ana filtre için de üç farklı filtre sınıfı olarak H10, F9 ve F8 tipi filtreler seçilmiştir. Farklı filtre verimlerine sahip ana filtrelerle oluşturulan konfigürasyonlarla elde edilen temiz oda tanecik konsantrasyonları oldukça düşük miktarlarda bulunmuştur. Bu elde edilen değerler, klas 100 temiz odanın tanecik konsantrasyonu için verdiği sınırlar içindedir. Bu da demek oluyor ki yüksek verimli bir HEPA filtre, terminal filtre olarak seçilirse, ana filtrenin oda klası üzerinde çok da büyük etkisi olmadığıdır. Ana filtrenin sistem içindeki faydası, terminal filtreye iyi bir ön filtre görevi yaparak, oradaki filtrenin ömrünü uzatmasıdır. Ana filtrenin kalitesi arttırıldıkça, terminal filtreden alınacak fayda da o derece artacaktır.

Filtre kombinasyonu için yapılan son çalışma çift HEPA'lı filtre konfigürasyonlarının oluşturulması olmuştur. Daha önce kombinasyonlar, terminal ve ana filtre üzerinde denenmiş ve üç klima sisteminde de birbirine çok yakın temiz oda tanecik konsantrasyon miktarları bulunmuştur. Bu durumda klima sisteminin, oda tanecik konsantrasyonunu azaltmada çok büyük etkisi olmadığı düşünülebilir, ancak klima sistemlerinin bazıları çift HEPA kullanımına müsait sistemler olduğundan, oda içindeki tanecik konsantrasyonu üzerinde önemli rol oynarlar. Çift HEPA kullanımına izin veren bu klima sistemleri, merkezi ve hibrit klima sistemleridir. Bu sistemlerde terminal filtreden önce HEPA filtre konarak, oda içindeki tanecik konsantrasyon miktarı oldukça düşürülmüştür. İki farklı debi için yapılan çalışmada hemen hemen aynı sonuçlar alınmıştır.

Klima sistemlerinde, içeriye üflenilen hava miktarı daha düşük olduğunda, yani hava hızının ve bir anlamda da hava değişim sayısının azaltılması durumunda, oda içindeki tanecik konsantrasyonundaki değişimde, tüm filtre konfigürasyonları için bakıldığında, bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Bunun anlamı, oluşturduğumuz filtre konfigürasyonlarında düşük hava hızları kullanılarak arzu edilen temiz oda klasının sağlanabildiğidir. Ancak daha önce bahsettiğimiz, dekontaminasyon zamanı açısından bakıldığında, debinin yani hava değişim sayısının düşürülmesi, dekontaminasyon zamanı yani oda içindeki partiküllerin dışarı atılma süresini arttıracığından, olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir. Çünkü, temiz oda içinde bulunan mikroorganizma ve partiküller, içerde ne kadar çok kalırsa içerdeki hastaya veya ürüne vereceği zarar o derece artacaktır. Bu bakımdan, yüksek hava hızı sayesinde, oda içindeki istenen temizlik klasına ulaşılması sağlanmış olunur.

Son olarak, oluşturulan filtre konfigürasyonları için bir maliyet analizi yapılarak, farklı terminal ve ana filtrelerle maliyetin nasıl değiştiği incelenmiş ve çift HEPA'lı sistemin mali bir yük getirip getirmediği bulunmuştur. Buna göre öncelikle enerji sarfiyatlarına göre hazırlanan maliyet hesabında aynı debi değerinde farklı filtre konfigürasyonları arasında fark olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan, hava değişim sayısının azaltılmasıyla enerji sarfiyatı önemli derecede azaldığından, maliyet de aşağı çekilmiş olur.Çift HEPA'lı sistemlerin kullanılmasının düşünülenin aksine çok büyük işletme maliyetlerine yol açmadığı saptanmıştır.

Filtre fiyatlarına ve değiştirilme sayılarına bağlı olarak oluşturulan maliyet hesabında ana filtrelerin değiştirilmesiyle oluşturulan kombinasyonda ortaya çıkan maliyet değeri, terminal filtreler için olan kombinasyona göre az da olsa fazla olduğu gözükmemektedir. Bu ufak fark aslında çok büyük sarfiyatları önleyen bir farktır. Çünkü HEPA filtreden önce ne kadar kaliteli ön filtreler konursa HEPA filtrenin ömrü o derece artacaktır. İki kere HEPA filtre değiştirmektense, üç kez ana filtre değişimi hem maliyet açısından hem de enerji tasarrufu açısından önemli bir sarfiyatı önler.

Sonuç olarak toplamak gerekirse, farklı filtre konfigürasyonları oluşturulmuş ve bunların oda klasını istenen değerde tutabildiği görülmüştür. Ancak bu konfigürasyon içinde terminal filtre olarak kullanılan HEPA filtrelerin oda klasında değişikliğe yol açmadığı sadece H11 filtrede istenen oda klasının sağlanamadığı görülmüştür. Ana filtreler açısından bakıldığında ise yine oluşturulan konfigürasyon içinde oda klasını istenen seviyede tuttuğu gözlemlenmiştir. Bu, ana filtrenin, temiz oda klası üzerinde hiçbir etkisi olmadığı anlamına gelmez. Çünkü iyi seçilmiş bir ana filtre kendisinden sonra gelen HEPA filtrenin ömrünü önemli derecede arttıracaktır. Hava değişim sayısı yani debinin oda klası üzerine etkisine bakıldığında ise seçilen iki farklı debi değerinin oda klası üzerindeki etkilerinin aynı olduğu gözükmesine rağmen, odayı kirlilikten arındırma zamanı açısından bakıldığında, büyük debi değerinin daha etkili olduğu gözükmiştir. Bu çalışmalar üç farklı klima sisteminde denendiğinde, bu sistemlerin oda klası üzerine etkilerinin birbirine çok yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak, bu sistemlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları söz konusudur. Bunlardan en önemlisi, merkezi ve hibrit klima sisteminin çift HEPA kullanımına müsait olmasından dolayı, oda içindeki tanecik konsantrasyonunu önemli derecede düşürebildiği hesaplamalar sonucunda ortaya çıkmıştır. En son olarak da yapılan maliyet analizinde, debi değeri yani hava değişim sayısının azaltılması maliyet değerini önemli derecede aşağı çektiği görülmüştür. Ayrıca çift HEPA kullanımının ise enerji sarfiyatı açısından büyük uçurumlar oluşturmadığı, maliyet farkının tek HEPA'lıya göre çok fazla olmadığı ortaya çıkmıştır. Filtre değişim periyotlarına ve birim maliyetlerine bağlı olarak yapılan maliyet hesabında da, ana filtrenin HEPA filtreden daha fazla değiştirilerek, HEPA filtrenin ömrünün artacağı ve önemli bir maliyet yükünden kurtulabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **ASHRAE**, 2003. ASHRAE handbook-Applications, *chapter 15*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- [2] **Özkaynak, F. T.**, 2001. Temiz odalarda klima sistemleri, *Tesisat Dergisi*, **71**, 68-72.
- [3] **Kenter, M. H.**, 2004. Steril ve temiz üretim alanlarının tasarımında, tesisat mühendisi açısından dikkat edilmesi gereken konular, *VI. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 3-5 Mayıs, s. 169-184.
- [4] **Özkaynak, F.T.**, 1994. Temiz oda tasarımı ve klima sistemleri. Tetisan A.Ş. Teknik Yayınları, İstanbul.
- [5] **Pasanen, P., Teijonsalo, J., Seppanen, O., Ruuskanen, J.**, 1994. Increased in perceived odor emissions with loading of ventilation filters, *Indoor Air*, **4**, 106-113.
- [6] **Shen, J.**, 2004. Controlled clean operating room area, *ASHRAE Transactions*, **110(2)**, 776-780.
- [7] **Balaras, C.A., Argiriou, A.A., Dascalaki, E., Gaglia, A.**, 2002. HVAC systems and indoor conditions in Hellenic hospital operating rooms, *ASHRAE Transactions*, **108(2)**, 23-38.
- [8] **Tschudi, W., Rumsey, P.**, 2004. Using benchmarking to identify energy efficiency opportunity in cleanrooms: The labs 21 approach, *ASHRAE Transactions*, **110(2)**, 770-775.
- [9] **Özcan, A., Akkaya, Y., Uslu, E., Uluk, B.**, 2003. Gıda, ilaç ve sağlık sektöründe Avrupa Birliği ve Amerikan normlarına göre klima sistemi tasarımı, *Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi , İstanbul.

- [10] **Kenter, M. ve Bartz, H.**, 1999. Temiz oda planlama kriterleri, *Tesisat Dergisi*, **45**, 111-116.
- [11] **Xu, T. and Tschudi, W.**, 2002. Energy performance of cleanroom environmental systems, *48th Annual Technical Meeting and Exposition of the Institute of Environmental Science and Technology (ESTECH)*, Anaheim, California, April 28- May 1, p. 1-10.
- [12] **Jaisinghani, R.**, 2001. Air handling considerations for cleanrooms, *InterPhex Conference*, Philadelphia, March 20-22, p. 1-22.
- [13] **Raymond, K. and Schneider, P. E.**, 2001. Designing cleanroom HVAC systems, *ASHRAE Journal*, **43**, 39-46.
- [14] **Isısan A.Ş.**, 2005. Enerji Ekonomisi, Isısan A.Ş. Teknik Yayınları, İstanbul.
- [15] **Eagle Filters**, [http://www.eaglefilters.lv/filter class.htm](http://www.eaglefilters.lv/filter%20class.htm)
- [16] **DOE Handbook**, 2003. Nuclear Air Cleaning handbook, *chapter 3*, U.S. Department of Energy, Washington.
- [17] **Yavuz, B.**, 1995. Laminer flow ameliyathane uygulamaları, *Tesisat Dergisi*, **16**, 38-43.
- [18] **Korkmaz, A.**, 2005. Hastane iklimlendirme sistemlerinde filtre seçimi ve filtrenin önemi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **87**, 59-62.

ÖZGEÇMİŞ

Adem ÖZCAN, 1981 yılında İstanbul'da doğdu. 1995 yılında İhsan Sungu İlköğretim okulunu, 1998 yılında Özel Eyüboğlu Fen Lisesini bitirdi. 1998 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi'nde 1 yıl İngilizce Hazırlık eğitimi gördükten sonra 2003 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2004 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladıktan sonra aynı yıl İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı Isı Akışkan Programı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

2003 yılında Arçelik A.Ş. Ar-Ge bölümünde iş hayatına atılan Adem Özcan, 2004 yılında girdiği, ısıtma, havalandırma, klima endüstriyel tesisat proje ve danışmanlık hizmetleri veren Tanrıöver Mühendislik'te proje mühendisi olarak iş hayatına devam etmektedir.