

TEMİZ MEKÂNLAR DÜZENLENMESİ TEKNİĞİ

Nuri ARUN

ÖZET

1960'lı yıllardan buyana uzay araştırmaları programında ve öteyandan nükleer teknolojinin gelişmesinde ve bu bağlamda önemi son derece artmış bulunan bileşenlerde tam bir güvenilirliğin sağlanması zorunlu görülmüştür. İnsan ve teknolojik proseslerden hasıl olan partikül yoğunluklarının özellikle modern elektronik, optik, ince mekanik, CD, videoband, fotofilm ve ilaç üretim endüstrisinde havanın olağanüstü temiz olması gerekmektedir. Eczacılıkta steril preparatların hazırlanmasında ve cerrahide mikroorganizmaların yok edilmesi büyük önem taşır. Bu amaçlarla temiz mekânların düzenlenmesi tekniği geliştirilmiştir.

1. Giriş

1.1. Temiz Mekanların Düzenlenmesi Tekniği

İnsan ve teknolojik proseslerden hasıl olan partikül yoğunluklarının, özellikle modern elektronik, optik, saatçilik, ince mekanik ve ilaç üretim endüstrisinde havanın olağan üstü temiz olması zorunlu görülmektedir. Burada 0.1.....1µm iriliğindeki toz partikülleri büyük zararlar verebilir. Keza örneğin steril preparatların hazırlanmasında ve cerrahide mikroorganizmaların yok edilmesi büyük önem taşır. Bu amaçlarla temiz mekânların düzenlenmesi tekniği geliştirilmiştir.

1.2. Toz Oluşumu

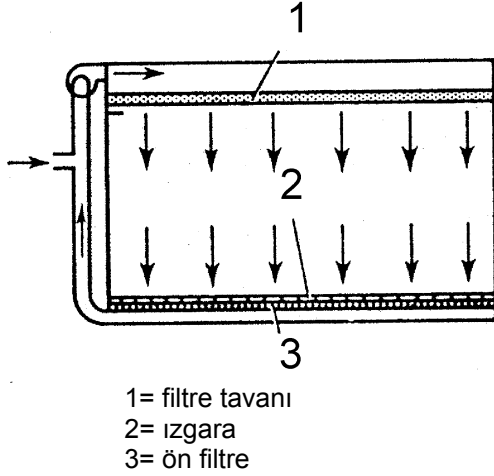
1. Dışarıdan alınan her m³ havanın, çapları >0.5 µm olan partikül içerdiği bilinmektedir.
2. Çalışma durumuna göre insanlardan yayılan >0.3 µm iriliğindeki partiküllerin sayısı (Bkz.Tablo:1) 1 10 mily./dak; mikroskopik tozların sayısı ≈ 4000...15000/ h*) dolayındadır.
3. İşlem süreçlerinde yayılan partiküller , sayıca yaklaşık yukarıdaki değer sınırları içinde bulunur.

Tablo 1. Temiz mekân giysili bir insandan bir dakikada yayılan partikül sayısı**) (Austin-Timmermann bildirisine göre)

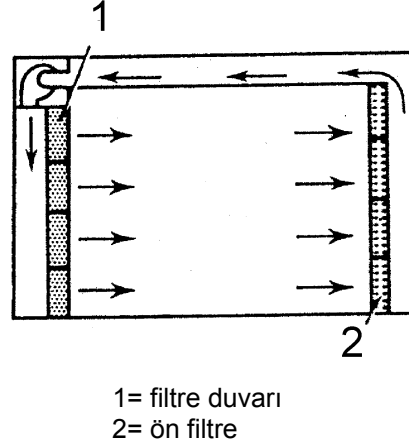
| 1 Dakikada yayılan partikül sayısı | Devinim türü |
|------------------------------------|--|
| 100000 | Hareketsiz ayakta veya oturma hali |
| 500000 | Hafif baş, el ve kol hareketli oturma hali |
| 1000000 | Orta derecede vücut, kol, ayak hareketli oturma hali |
| 2000000 | Vücut tam hareketli iken ayağa kalkış hali |
| 5000000 | ~ 3.5 km/h yavaş yürüyüş hali |
| 7500000 | ~ 6 km/h hızlı yürüyüş hali |
| 15-30000000 | Serbest antrenman ve oyunlar |

Yüksek sayıda hava değişimi sayesinde bol türbülanslı bir havalandırma ile mekândaki partikül konsantrasyonu düşürülebilir. Ancak uygulanan havalandırmada hava içinde oluşan türbülans nedeni ile toz partikülleri mekânın her tarafına dağılır ve temiz ürünlerle temas etmesi önlenemez olur.

Mekân içinde zayıf türbulanslı bir akım (doğru bir anlatım olmamakla birlikte LF^{*)} sistemi adı verilen laminer akım) sistemi uygulamak suretile geniş anlamda bir iyileştirme yapılabilmektedir. Bundan başka havaya üstün bir temizlik kalitesi sağlayan HEPA^{**)} filtreleri uygulanmaktadır. Bu sayede hava birbirine paralel yörüngeler üzerinden düzenli bir hızla hareket ederek mekâna yerleşmiş bulunan tozları ve bu arada korunacak olan ürünlerin üzerindeki tozları da yakalayıp götürür. Hava hızı 0.35...0.5 m/s dolayındadır. Partikül konsantrasyonu yönünden mekânın temizlik kalitesi derecesine göre hava değişim sayısının 5...600/h olacağı ve bu bağlamda çok yüksek enerji harcamalarının meydana geleceği bildirilmektedir. 1990 lı Orta Avrupa istatistik verilerine göre temiz mekânın metrekare başına düşen enerji harcaması yılda 625...1250\$ ve olağanüstü durumlarda 3125\$ mertebelerine ulaştığı gözlenmiştir. Temiz mekân içinde hava akım birimleri Şekil-1a ve 1b'de görülmektedir :



Şekil 1.a. dikey akım



Şekil 1.b. yatay akım;

1.2. Dikey Hava Sevki

Dikey hava sevki, yukarıdan aşağı gerçekleşir. Havanın çıkışı, filtre tavanından aşağı yönde gelişirken emiş işlemi de alttaki ön filtre üzerinden gerçekleşir. Toz bu esnada tutulduktan sonra aşağıya çıkış yapar. Minimum hava hızı $v = 0.35$ m/s düzeyindedir.

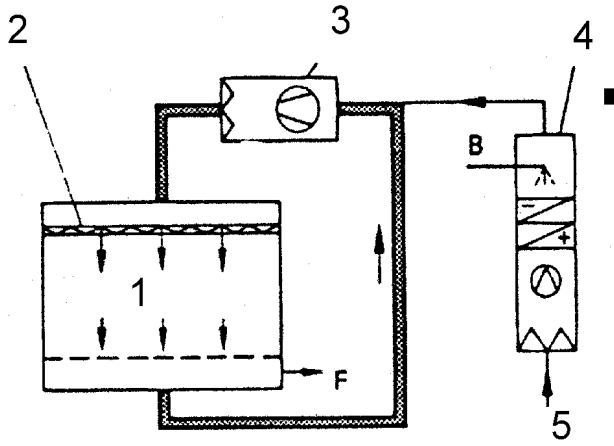
1.4. Yatay Hava Sevki

Duvarlardan biri, tümü ile bünyesinde birden fazla ünitelerin yerleştirilmiş olduğu filtre duvarını oluşturur. Bu sistem gayet ucuz ve bakımı kolaydır. Minimum hava hızı $v = 0.45$ m/s.

Havanın sevki, şematik olarak şekil-2'de görülmektedir. Böyle bir tesisat esas itibarile dolaşım havası ile çalışır. Mekân havasının yenilenmesine yönelik olarak proses atık havasının ve oluşan sıcaklığın atılması amacı ile yaklaşık %2...10 (soğukken %5...6) gibi az bir oranda dış hava eklenmesi yapılır. Bu ekleme, normal bir klima tesisatındaki gibi işlemde geçirilir. Dolaşım aygıtından yüksek bir hızla çıkan havaya rağmen mekân havasının durumu oldukça konfor çerçevesi içinde kalmaktadır. Bunun asıl nedeni sıcaklığın kararlı bir düzeyde ve hava akımının da düşük bir türbulansla devam etmesidir. (burada insanların giysisi ve baş örtüsü de rol oynamaktadır) Temiz iş tezgahlarında (Bkz. Şekil-3) hava, banko altında bulunan bir ön filtre üzerinden bir vantilatör yardımı ile emilerek güçlü bir ince filtreden geçirildikten sonra iş bankosu üzerine üfürülür.

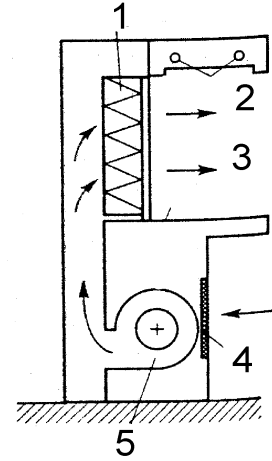
*) VDI 2083, föy :1.

**) Sonyenideğerler: ICCSS Symposium, Milano/1986



- 1= temiz mekân
2= HEPA filtresi
3= giren hava
4= klima tesisi
5= dış hava

Şekil 2. Bir temiz mekân havasının işlemden geçirilmesi ve sevki:



- 1= güçlü ince filtre
2= aydınlatma
3= iş bankosu
4= önfilte
5= vantilatör

Şekil 3. Temiz iş tez gâhi

Büyükçe ve içinde çalışılabilen temiz kabinlerde durum aynıdır. Her iki sistem mevcut bir atelyenin herhangi bir yerinde kolaylıkla kurulabilir.

Havadaki partikül konsantrasyonu yönünden temiz mekânlar Tablo-2'de görüleceği üzere sınıflandırılır.

Tablo 2. Temiz mekânlar için kabul edilen temizlik kalitesi sıralaması (Federal Standard Nr.209D,6.88 USA-VDI 2083 Bl.1)

| Temizlik kategorisi Fed.Stand. 209 | 1 feet küp içinde maks.partikül sayısı | | | | | Temizlik kategorisi VDI |
|--|--|-------|-------|--------|-------|----------------------------|
| | 0.1µm | 0.2µm | 0.3µm | 0.5µm | 5.0µm | |
| 1 | 35 | 7.5 | 3 | 1 | - | 1 |
| 10 | 350 | 75 | 30 | 10 | - | 2 |
| 100 | - | 750 | 300 | 100 | - | 3 |
| 1000 | - | - | - | 1000 | 7 | 4 |
| 10000 | - | - | - | 10000 | 70 | 5 |
| 100000 | - | - | - | 100000 | 700 | 6 |

Çoğunlukla 6 temizlik kalite kategorisini (1,10,100,1000,10000,100000) içeren Amerikan normu kullanılmaktadır. Her feetküp havanın içinde bulunabilecek 0.5µm iriliğindeki maksimum partikül sayısı Tablo-2'de verilmiştir. Buna göre çevirme hesabı için :

$$100 \text{ partikül}/1 \text{ feetküp} = 3500 \text{ Partikül}/\text{m}^3 \text{ geçerlidir.}$$

1.5. Gerekli Hava Değişimi

İnsan, son derece yüksek oranda partikül yayıcısıdır. Yayılma olayı, o insanın devinim durumu ile bağıntılıdır. Temiz mekânlarda temizlik kalite derecesine ilk önce hava değişim sayısı etkindir. Kapalı mekânlarda yayılan partikül yoğunluğu, orada faal olan insan sayısına ve devinim durumuna bağıntılıdır (Bkz. Tablo-2). Öteyandan üretim sürecinde ortaya çıkan partiküller buna eklenir.

Bir temiz mekân havasında serbest dolaşan partikül sayısı (Bkz.Tablo-1) bilinirse gerekli hava değişimi belli koşullar altında öngörülen temizlik kategorisine göre hesaplanabilir.

1.5.1 Örnek

100 m³ Hacmindeki bir mekânın, orada çalışan orta devinimli 4 kişinin yaydığı partiküllerden arındırılması için bir hava temizleme ünitesi kurulacaktır.Aşağıdaki verilerin yardımı ile bu mekânda egemen olabilecek partikül konsantrasyonunun hesaplanması ve bu bağlamda erişilebilecek temizlik kategorisinin US 209D,6.88 ilkesine göre Tablo-2 yardımı ile karşılaştırılması istenmektedir.

Veriler:

- 1.Mevcut temiz mekânın hacmi:M=100m³
- 2.Partikül iriliği : > 0.5 µm
- 3.Hava temizleme ünitesinin debisi : L=1000 m³/h

Temizlenen mekân havasının partikül konsantrasyonu aşağıdaki denklem ile hesaplanarak tahkik edilir :

$$K = \frac{n \times P \times 60 \times 28.4}{Z \times M \times L}$$

Burada:

- K = Mekân havasının içerdiği partikül konsantrasyonu (P/cft)^{*}
P = Bir dakikada yayılan partikül sayısı(Bkz.Tablo-1)
n = Mekân içinde bulunan orta devinimli insan sayısı
Z = Mekân havasının 1 saat içerisinde kaydettiği değişim sayısı =L/M
L = Hava temizleme ünitesinin debisi (m³/h)
M = Temiz mekânın hacmi(m³)

$$P=1000000$$

$$n=4$$

$$L=1000\text{m}^3/\text{h}$$

$$M=100\text{m}^3$$

$$Z = \frac{1000}{100} = 10$$

$$K = \frac{4 \times 1000000 \times 60 \times 28.4}{10 \times 100 \times 1000} = 6816\text{P/cft}$$

Bulunan bu değer US 209 D,6.88 standardındaki temizlik kategorisine göre 10000'den daha iyidir.Bir temiz mekânda US temizlik kategorisine göre hava değişim sayısı= Lw, hız= v (m/s), ve enstale güç değerleri N=kW/m² aşağıda verilmiştir.Aynı değerleri yaklaşık olarak şekil-4 te görülen diyagramdan da almak mümkündür.

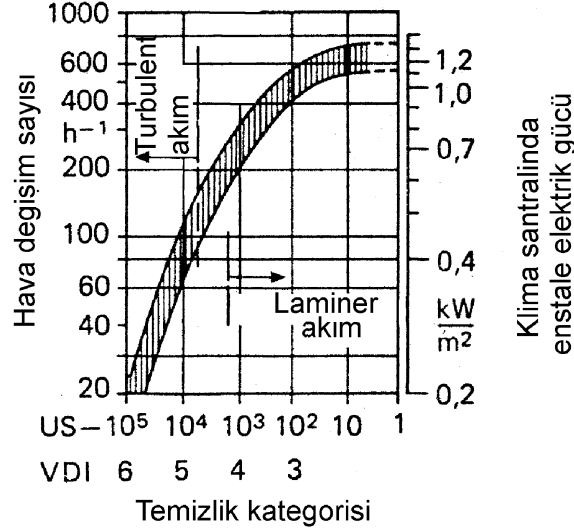
| | | | | |
|-----------|--------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|
| US-Klasse | 10 | Lw=500...600 h ⁻¹ | v =02...0.5 m/s | N=1,2 kW/m ² |
| US-Klasse | 100 | Lw=400...600 h ⁻¹ | v =02...0.5 m/s | N=1,0 kW/m ² |
| US-Klasse | 1000 | Lw=200...300 h ⁻¹ | v =01...0.2 m/s | N=0,7 kW/m ² |
| US-Klasse | 10000 | Lw=60.....120 h ⁻¹ | turbulent | N=0,4 kW/m ² |
| US-Klasse | 100000 | Lw=15.....25 h ⁻¹ | turbulent | N=0,2 kW/m ² |

^{*})cft =feetküp; 1 feet =0.304m

Güç gereksinimi yaklaşık : soğutma için=1/3;hava iletimi için=2/3

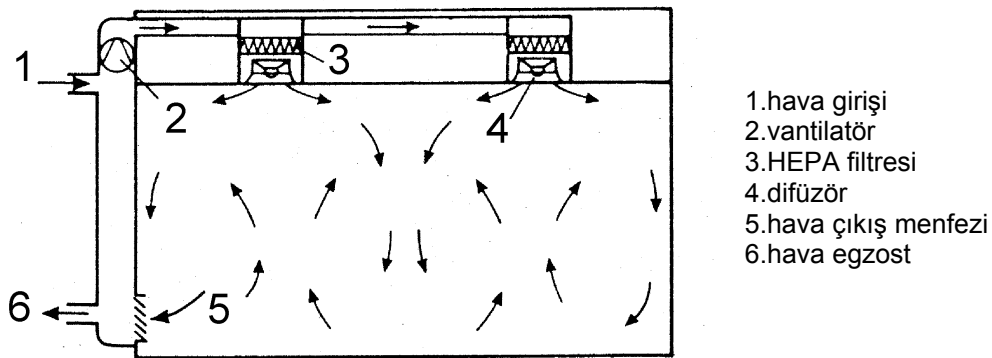
Az önemli temizlik sıralamasının kabulü halinde (Amerikan US kalite kategorisi 10000'den itibaren) debi ve bu bağlamda enerjiden tasarruf amacı ile filtre yüzey ve menfezlerinin türbulanslı akım sağlayan bir dama tablası tertibinde tavana monte edilmesi önerilir.

Laminer akım ile türbulanslı akım sınırı partikül yayılmasına tabi olmak üzere yaklaşık US-kategorisi 1000=VDI kategorisi 4 dolayındadır(Bkz.Şekil-4).



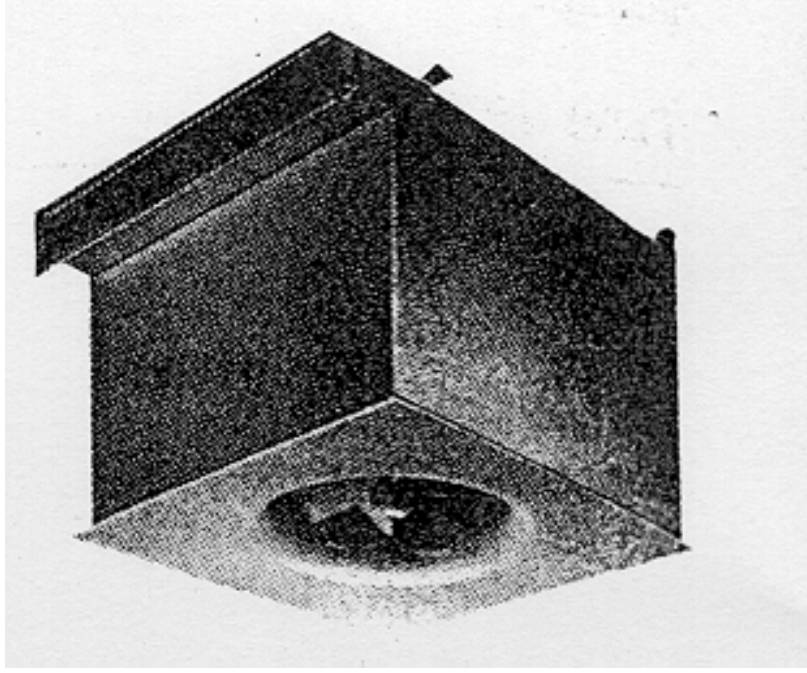
Şekil 4. Çeşitli temizlik kategorisinde temiz mekânlarda hava değişim sayısı, hava iletimi ve soğutma için enstale güç diyagramı

Temiz mekânlarda tavanın sadece bir bölümüne hava menfezleri yerleştirilir.Burada direkt hava akımına konumlu tercihen HEPA¹⁾ filtreli difüzörler uygulanır (Bkz.Şekil-5 ve 6).



Şekil 5. 1000 US kategorisinde türbulens akımlı bir temiz mekân şeması.Burada Şekil-6 da görülen düfüzör uygulanmıştır

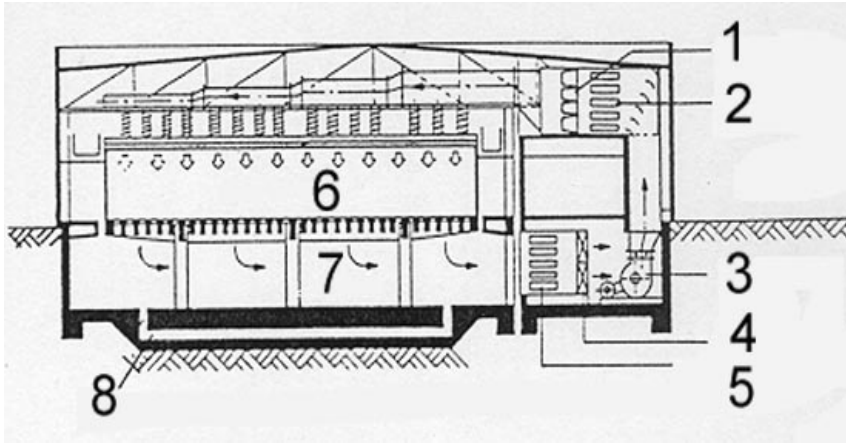
¹⁾ High Efficiency Particulate Air



Şekil 6. HEPA filtreli difüzör

2. Temiz Mekânların Tasarımı

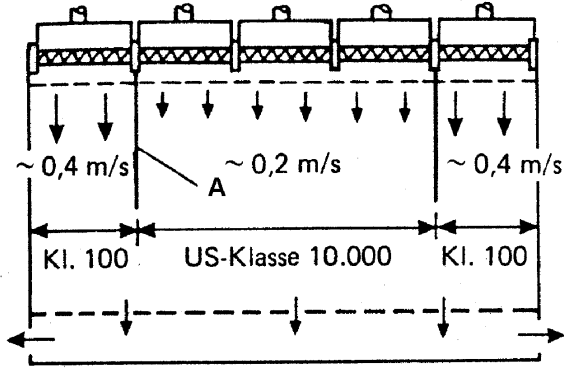
Büyük önem taşıyan üretimde şimdiki geniş hacimli temiz mekânlar tercih edilmiştir. Mekânın tümünde hava hızı eşit düzeyde kalır. Hava iletimi (Bkz. Şekil-7) merkezi klima yönteminde olduğu gibi gerçekleştirilir. Bu yöntemle donatılan bir tesisatta yatırım ve işletme giderlerinin çok yüksek olacağı bildirilmiştir..



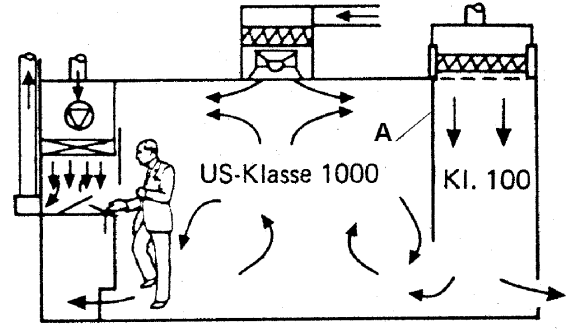
1. önfiltr
2. susturucu
3. vantilatör
4. hava soğutucu
5. susturucu
6. temiz mekân
7. egzost
8. üretim alanı titreşim izolasyonu

Şekil 7. Bina ile entegre olmuş geniş hacimli bir temiz mekân

Mekânlarda farklı temizlik kategorileri ve farklı hava hızları dikkate alınmak suretile maliyet giderleri azaltılabilir (Bkz. Şekil-8). Mekânın sınır bölgelerindeki akımların birbirine karşı etkilerine dikkat etmek gereklidir. Bu akımlarda kararlılık sağlamak için A gibi bir ara bölme veya duvar uygulaması yapılır. Şekil-9 da görüldüğü gibi gerekli görülen temizlik kategorisine türbülanslı akım ile laminer akımı veya bir temiz iş tezgâhını kombine etmek mümkündür.

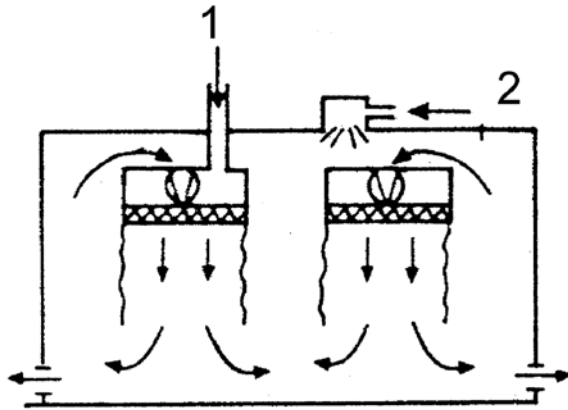


Şekil 8.



Şekil 9.

Başka bir ekonomik yöntem de temizlenen havayı bir kaç kez kullanmaktır. Çok üstün temiz bölümde oluşan atık hava Şekil-10'da görüleceği üzere daha alt kategoriden temizlik içeren bölüme sevk edilir. Ancak bu durumda ısı ekonomisinin gözardı edilmemesi gerekir. Taze hava, doğrudan temiz mekân modülüne veya önce temizliği alt kategoride olan mekâna sevk edilebilir.



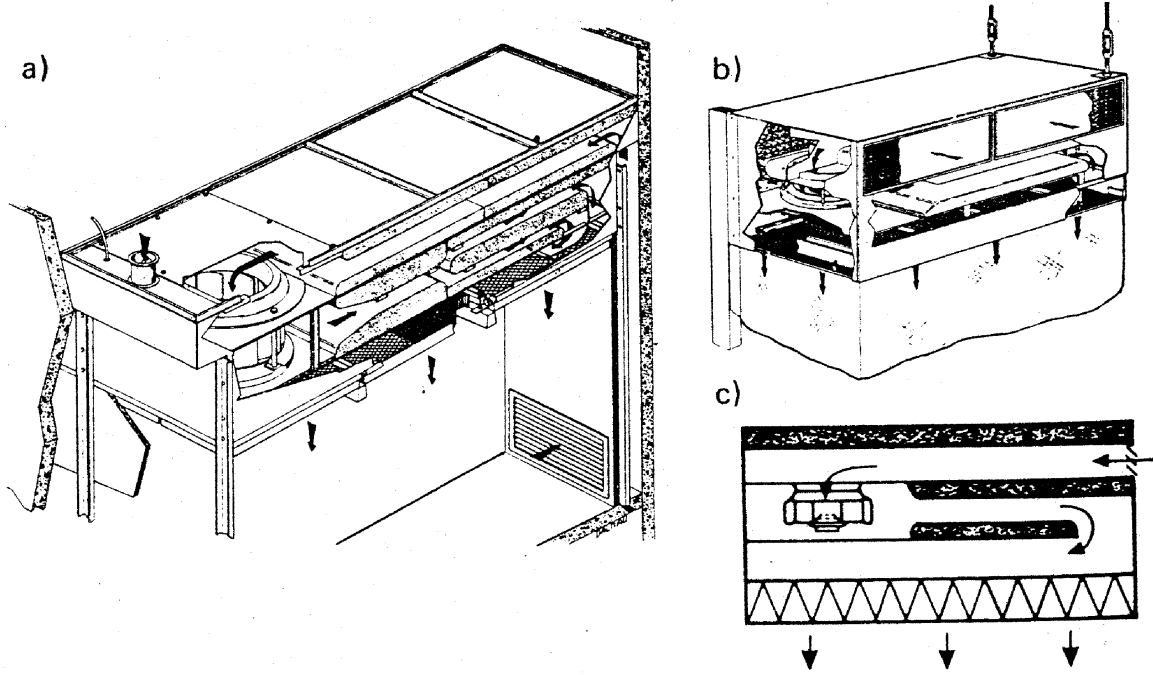
1. giriş havası (ötemizlikli)
2. giriş havası (temiz)

Şekil 10. Farklı temizlik kategorisinde, havası birçok kez kullanılan temiz mekânların prensip şeması

Maliyet yönünden dikkate alındığında geniş boyutlu temiz mekânların tercih edilmesinden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Otomasyon sayesinde üretimin özel bir mahfaza içine alınarak küçük fakat üstün kategoride temiz bir mekânda gerçekleştirilmesi eğilimi egemendir.

Şekil-10'da görülen sisteme göre mekân içine hava dolaşım vantilatörü yerleştirilmiştir. Klima santrallerinden gelen havanın soğutma kapasitesine göre boyutlandırılması gerekir. Üstün kalitede temiz mekânın gerçekleştirilmesini sağlayacak olan geniş hacimli dolaşım havasının debisi ancak toz partiküllerini süzecek olan filtre ve susturucunun akış dirençlerini karşılayacak kapasitede olmalıdır.

Bu bağlamda desantralize bir düzenleme, santralize bir sistem ile karşılaştırıldığında arkaya dönük kanatlı vantilatörler (statik randımanı yüksek) tercih edildiği takdirde elektrik enerji tüketiminin 1/3 daha ekonomik olacağı bildirilmektedir. Desantralize düzenlemelerde aynen temiz iş tezgâhlarında olduğu gibi tünel veya tavan tipi modüller (Bkz. Şekil-11) seri halinde çok ucuza maledilebilmektedir.



- a) Tünel sistemi
 b) Tavan sistemi
 c) Vantilatör/filtre/susturucu ünitelerinin kesit şeması

Şekil 11. Hava dolaşım vantilatörüne entegre modül tarzında, desantralize temiz mekânlar :

2.1. Temiz Mekânlar İçin Uygulanan Teknik Aksesuarlar

Temiz mekânlar için gerekli teknik aksesuarların başında savakları, hava duşlu kabinleri ve temiz mekân elbise dolaplarını saymak mümkündür. Bu gereçler, malzeme ve görevli personel henüz içeriye alınmazdan önce temiz ve mekâna kirlilik taşınmasını engelleyici nitelikte olmalıdır. Gerek montaj işlemi ve gerek bakımlar dikkat ve özenle gerçekleştirilmelidir.

2.2. Kaçak Olayının Önlenmesi

Hassas toz filtresi ile çerçeve arasındaki sızdırmazlık Neopren'den üretilen profil kesitli conta ile gerçekleştirilmektedir. Temas yüzeylerinde yay baskılı germe elemanları ile güvenceli bir sızdırmazlık sağlanabilmektedir.

2.3. Kaçak Muayenesi

Hassas toz filtrelerinin montajından sonra filtrelerin tavandaki temas yüzeyine sıkıca intibak edip etmediği muayene edilmelidir.

Kaçak muayenesini gerçekleştirebilmek için Aerosol Fotometre'si veya en son geliştirilen Lazer yöntemli modern muayene aygıtları kullanılmaktadır. Bu aygıtlar sayesinde $0.5\mu\text{m}$ - $0.01\mu\text{m}$ çapındaki partiküllerin sayısını dijital olarak saptamak mümkündür.

3. Hassas Filtreler

Yüksek nitelikli süzme kapasitesinde olan hassas filtre elemanları çapları $0.5\mu\text{m}$ 'nin altında toz ve uçur haldeki partiküllerin filtre edilmesi için son derece elverişlidir. Özellikle radyoaktif uçur partiküller ile bakterilerin, virüslerin, aerosol v.b.g. havada askıda kalan partiküllerin filtre edilmesini sağlar.

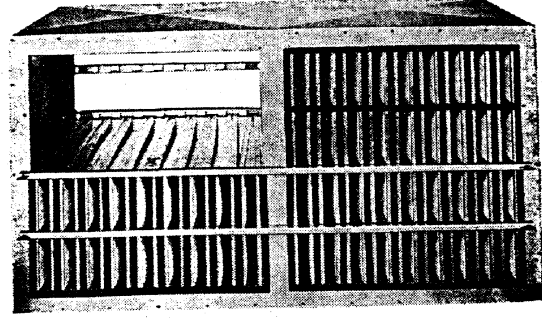
Hassas filtreler çoğunlukla çok kademeli filtre sistemlerinde sonuncu kademe olarak endüstri amaçlı yüksek hassasiyet içeren üretimde, laboratuvarlarda, ameliyathanelerde nükleer kuvvet santrallerinde izotop laboratuvarlarında, reaktör odalarında, uzay araç ve cihazlarının yapımında uygulanır.

İri ve ince tozların tutulması için bir ön filtre kesinlikle gereklidir.

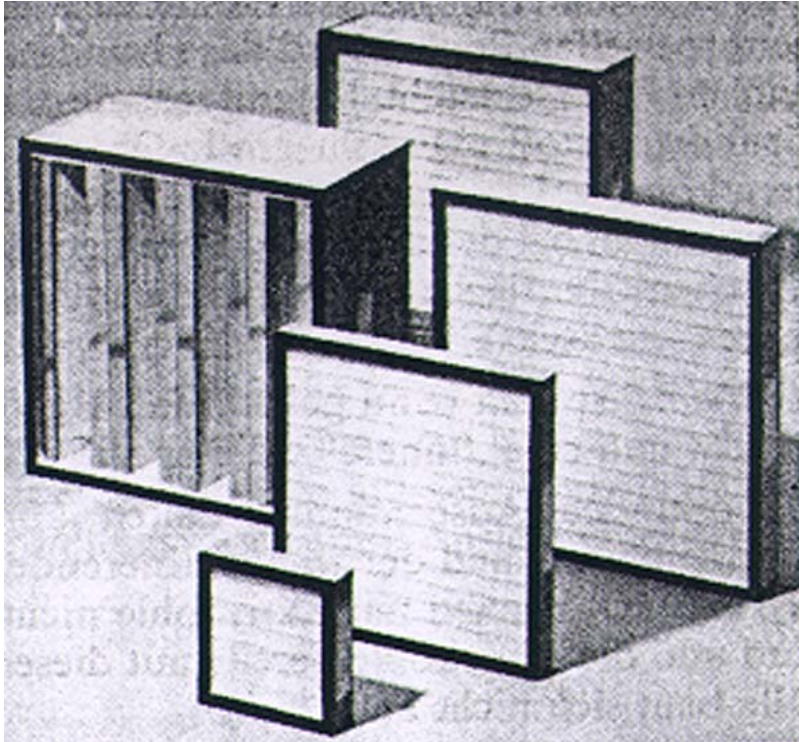
Mikrofazlı cam elyaf, selüloz ve kağıt gibi maddelerin karışımından oluşan filtre malzemesi, birer çerçeve içine zigzag biçimde yerleştirilmek suretile yapılmalıdır. Filtrenin yetkin toplam yüzeyi akım yüzeyinin yaklaşık 20.....50 katına eşit tutulmaktadır. 1.5 m/s Akım hızı filtre ortamında yaklaşık 2.5 Cm/s düzeyinde gerçekleşir. Bu tip filtre elemanları (Bkz. Şekil 12, 13 ve 14) rejenerasyona müsait değildir.



Şekil 12. Nükleer teknik tesislerinde Kanal içine monte edilebilen bir yüzer partikül filtresi (DELBAG)



Şekil 13. Kanal içine monte edilebilen bir yüzer partikül filtresi (Luwa)



Şekil 14. yüzer partikül filtresi (DELBAG)

Bu tip filtre ortamları,pratik olarak %100 gravimetrik bir ayrışmayı gerçekleştirebilmektedir.Ancak montajda tam bir sızdırmazlığın sağlanmış olması gerekir.Bundan başka hassas filtreler havalandırılan mekânlarda çoğu kez son kademede hava tahliye menfezleri ile kombine edilerek (örneğin ameliyathanelerde, pediatri kliniklerinin emzirme istasyonlarında v.b.g) uygulanmaktadır.

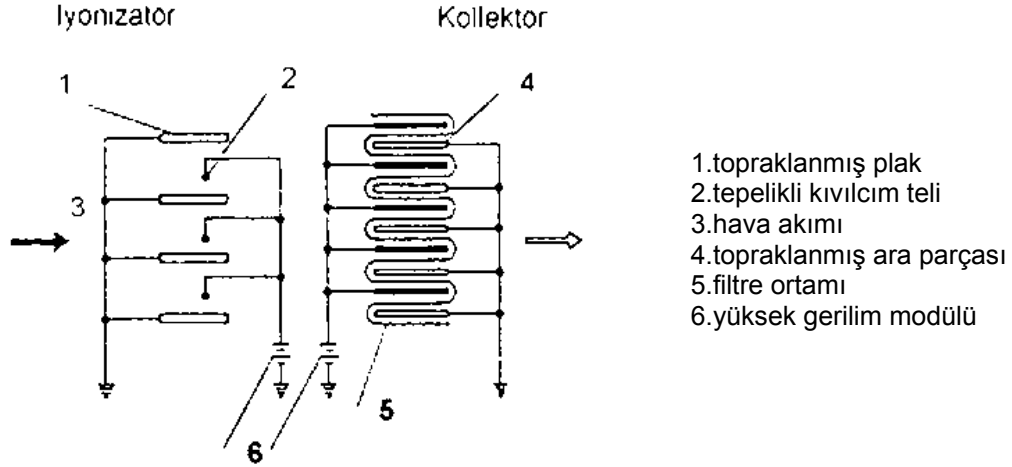
Hassas filtrelerde başlangıç basınç farkı yaklaşık 150...200 Pa ve sonraları belirgin olarak 1000 Pa düzeyine yükselir.Özellikle temiz mekân filtrelerinde oluşan basınç farkı geniş hacimli debi ve kesintisiz işletme nedeni ile vantilatörün enerji tüketimi yönünden bir referans değildir.S,T ve U¹⁾ kategorilerinde başlangıç basıncı 90...150 Pa düzeyinde geliştirilmiş olan modern filtre tasarımlarının son derece ilgi çekici olduğu bildirilmektedir¹⁾.

Temiz mekânlar için gerekliliği kabul edilen modern filtre tasarımına göre gerçekleştirilen üç filtre kategorisi şunlardır:

| Filtre kategorisi | Ayrıştırma derecesi ¹⁾ |
|------------------------|-----------------------------------|
| U(ULPA) ^{**)} | >%99,99995 |
| T(ULPA) | >%99,9995 |
| S(HEPA) ^{**)} | >%99,995 |

¹⁾ DIN 24184 ilkesine göre
^{**)} ULPA = Ultra High Efficiency Particulate Air
 HEPA = High Efficiency Particulate Air

Son yeni geliştirilmiş olan elektrostatik yüzen partikül filtrelerinde başlangıç basınç farkı daha düşük olup S...U filtre kategorisinde 55...90Pa'dır.Burada filtre ortamından birinin önüne konan bir iyonizatör devresi, partikülleri yüklenerek biriktirir.Buna ek olarak mekanik ayrışım etkisi ile polarize olan filtre elyafında elektrostatik bir ayrışım etkisi daha oluşur.(Bkz.Şekil-15)



Şekil 15. elektrostatik bir yüzen partikül filtresinin işlev şeması

¹⁾Lippold,F.Reinraumtechnik 2/88.S30/6

KAYNAKLAR

- [1] Technik für Reine Raume W.F. HESSE, 1993
- [2] Richtlinien für Reinraumtechnik VDI
- [3] Engineering von Reinraumanlagen U. Planungsprinzipien, H.H. SCHICHT, 1987
- [4] Schwebstofffiltern – DIN 24185
- [5] Prüfung von Luftfiltern für Allegemeine Raumlufftechnik, DIN 24185
- [6] Taschenbuch für Heizung U. Klimatechnik, RECKNAGEL, 1990/1991

ÖZGEÇMİŞ

1938 yılında TCDD hesabına makina mühendisliği öğrenimi için Almanya'ya gönderilmiş ve 1943 yılında Berlin'de Beuth-Ingenieurakademie'den mezun olmuştur.1943'te TCDD Cer Teşkillerinde göreve başlamıştır.1945-1947 Gölcük Deniz Fabrikaları Teknik Bürosunda yedek subay olarak yurt görevini yaptıktan sonra 1948-1958 İzmir 3.İşletme Motorlu Tren atelyesi müdürü, 1958-1960 Cer müfettişi, 1960-1967 Cer Makina ve İkmal Seksiyonu müdürü,1967-1972 Cer Dairesi Başkanlığı Motorlu Tren ve Dizelizasyon seksiyonu Teknik müdürü ve 1973 Teknik Müşavir olarak görevini sürdürmüştür.1973-1988 BİSAN Bisiklet Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti'de konstrüksiyon başmühendisi olarak çalışmıştır.Halen ED-VAN Vantilatör Sanayii ve Ticaret Ltd.Şti'de fahri teknik danışman olarak çalışmalara katılmaktadır.