

# HİJYENİK ORTAMLARIN HAVA FİLTREASYONU

Lale ULUTEPE

## ÖZET

Bu bildiri, hastane havalandırma sistemlerinde kullanılan ve havanın içindeki partikül ve mikro organizma halindeki kirleticileri arındıran hava filtrelerini konu etmektedir. Partiküllerin ve mikro organizmaların boyutları hakkında bilgi verilmiştir. Çeşitli partiküllerin filtrelenmesinde değişik filtrasyon prensiplerinin kullanıldığı anlatıldıktan sonra filtre seçiminde dikkat edilmesi gereken özelliklerden bahsedilmiştir. Filtrelerin en önemli özelliği olan verimliliklerinden ve bu verimliliği belirleyen standartlar anlatılmıştır. Genel havalandırma filtrelerinin verimliliğini saptamak için yapılan testleri konu alan Avrupa EN 779 Standardının 2002 tarihinde kabul edilen son versiyonunun getirdiği son yeniliklere dikkat çekilmiştir. Hijyenik ortamlarda seçilmesi gereken HEPA filtreler ve bu filtrelerin seçilme kriterleri ve Avrupa EN 1822 Standardı üzerine bilgi verildikten sonra son olarak işletme sırasında filtrelerin işlevlerini yerine getirebilmesi için dikkat edilecek noktalar üzerinde durulmuştur.

## 1. GİRİŞ

Hastanelerde birçok hastalık yapıcı mikroorganizma bulunduğu için hastane çalışanlarının ve hastaların çok iyi korunması gerekmektedir. Hastalıklar insandan insana doğrudan temas veya hava yolu taşınırlar. Hava yolu ile taşınma havada asılı bulunan 1.0-5.0 mikron boyutlarındaki çok hafif partiküller ve aerosollerin solunması ile ortaya çıkar. Enfeksiyona neden olacak bakteriler, küfler ve virüsler de kurum, deri hücreleri, aerosol damlacıkları ve ameliyat giysilerinden gelen partiküller gibi organik ve inorganik toz partiküllere yapışarak havanın içinde taşınırlar. Bu boyuttaki partiküller solunum yoluyla kolaylıkla ciğerlere ulaşarak orada birikim yaparlar, savunmasız bir vücut bulduklarındaysa bağıışıklık sistemini yenip hastalığa yol açabilirler.

Havanın içinde her boyutta partikül asılı bulunmaktadır. Bu partiküller, boyutları açısından büyük değişiklik gösterirler. En küçük partikül 1 mikronun çok altında bulunurken, en büyük partikül 200 mikronun çok üstünde olabilir. Cümle sonuna konulmuş bir noktanın 500 mikron olduğunu düşünürsek, bir noktada 2 milyon üzerinde çapı çapı 0.3 mikron olan kurum parçacığının bulunacağını görürüz. En iyi ışık koşullarında 10 mikrona kadar partikülleri çıplak gözle görmek mümkün olabilir. Mikronun ne olduğunu göz önüne getirmeye çalışırsak, insan saçının çapı 59 mikrondur. Kan partikülleri 14 mikronken tüberküloz basilleri 2-6 mikron uzunluğunda, 0.5 mikron genişliğindedir. İplik tiftiği, boyut olarak oldukça büyüktür. Kül ise bir çok boyutta karşımıza çıkabilir. 1/10 mikrondan 50 mikrona kadar değişen boyutlardadır. En iyi ışık koşullarında çıplak gözle görülebilecek en küçük partikülün 10 mikron boyutunda olduğundan yola çıkarsak, havada bulunan on milyon adet parçadan yalnızca 1 adedinin çıplak gözle görülebildiği sonucuna ulaşırız. Ağırlık olarak bakıldığında, partiküllerin yüzde yirmisi toplam ağırlığın %90 ya da daha fazlasını oluşturmaktadır. Diğer yandan partiküllerin %99'undan fazlasının çapı 0.5 mikrondan küçüktür. Virüsleri ve germeleri taşıyan partiküllerin de bu küçük parçalar olduğu göz önüne alınmalıdır.

## 2. HAVA FİLTREASYON TEKNİKLERİ

Atmosferik havadaki partiküllerin boyutlarının büyük değişiklik göstermesi dolayısıyla bir çok filtrasyon metoduna ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük parçalar için, küçük parçalar için, katı maddeler için, sıvı partiküller ve gaz halindeki kirleticiler için filtrasyon metodları vb [1].

Katı haldeki kirleticilerin filtreleme metodları, aşağıdaki beş prensibin birinden ya da birkaçının bileşkesinden oluşmaktadır.

- eleme prensibi
- ataletle bağlı ayırma
- viskoz çarpma
- yolunu kesme-yakalama metodu
- difüzyon prensibi
- elektrostatik çöktürme

### 2.1. Eleme Prensibi

Kelimenin kendisinden de açıkça anlaşılacağı gibi, bu metoda göre gözenek açıklıkları küçük olan ayırıcıdan büyük partiküller geçemez. Sanılanın tersine, bu metod hava filtrasyonunda kullanılmamaktadır.

### 2.2. Ataletle bağlı ayırma

Partiküller hava akımından yer çekimi kuvvetiyle ayrılır. Bu metod yer çekim kuvvetinin etki edebileceği (çok) büyük partiküller için geçerlidir. Siklonlarda ve Toz Panjuru gibi ataletle toz ayıran cihazlarda kullanılır.

### 2.3. Viskoz Çarpma

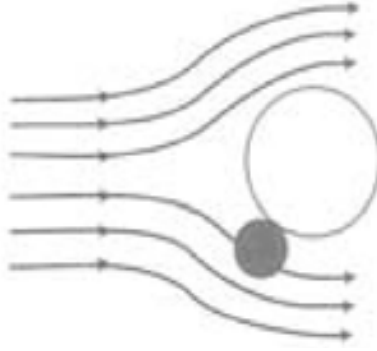
Hava ile taşınan kirletici partikül, filtre liflerine yaklaştığında, hava lifin etrafından dolanıp yoluna devam ettiği halde partikül bu hareketi yapamadığı için life çarparak life yapışır ve hava akımından ayrılır. Lifin büyük partiküle uyguladığı moleküler güç partikülü kendisine çekmek için yeterli olamadığı için life viskoz bir yapıştırıcı uygulanır ve partikülün tekrar hava akımına karışmasına engel olunur.

Bu prensip daha çok, büyük ve ağır parçalar için geçerlidir ve ön ve kaba filtrelerde kullanılır. En yüksek toz tutma verimi şu koşullar gerçekleştiğinde sağlanır:

- Hava akımının saptırılabilmesi için çok sayıda ve kalın lifin bulunması
- Toz partikülünün hava ile taşınarak lifin etrafından dolaşabilme olasılığının azaltılabilmesi için 1.5-3 m/s'ye kadar yüksek hız.

### 2.4. Yolunu Kesme - Yakalama Prensibi

Bu prensip mümkün olduğu kadar çok partikülün yapağı görünümümlü filtre medyasında moleküler çekim gücü ile yakalanıp tutulmasını temel almaktadır. Etkin bir filtrasyon ve partiküllerin hava akımıyla temiz tarafa taşınmaması için medyanın içinde 0.1 m/s gibi düşük hız gerekmektedir. Medya içinde çarpışma olasılığı partikül boyutuyla doğru orantılı olarak artar ancak partikülün hava akımıyla tekrar taşınma noktası aşılmamalıdır. Bu prensip orta hassasiyette verime sahip olan filtreler için geçerlidir.

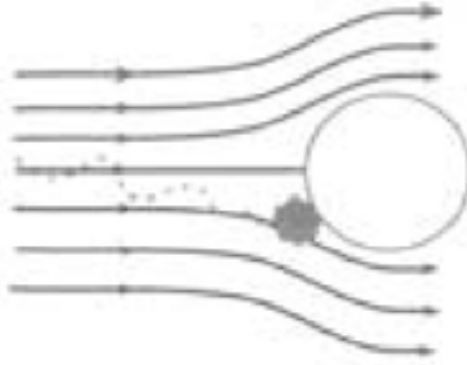


**Şekil 1.** Yakalama prensibinin şematik gösterimi.

### 2.5. Yayılma (Difüzyon) Prensibi

Bu prensip gaz molekülü gibi davranan çok hafif ve çok küçük partiküller için geçerlidir.

Mikrondan küçük boyuttaki partiküller, hava akımının içinde gaz molekülleriyle çarpışarak rasgele bir yörünge içinde ilerler (Brownian hareket). Büyük partiküllerde ise net moleküler kuvvetler toplamı böyle bir hareketi oluşturmaya yetmez. Bu tip rasgele hareket eden parçaları, yollarının üzerine sık dokulu engeller çıkararak yakalamak mümkündür. Etkin bir filtrasyonun sağlanabilmesi için çok sayıda partikülün medya lifleriyle çarpışabilmesi gerekmektedir. Bunun için, medya içinde 0.02 m/s gibi çok düşük bir hız kullanılmalıdır. Van der Waal kuvveti adı verilen moleküler çekim gücü, partikülü medya lifleri üzerinde tutmaktadır. Bu durumda partikülün boyutu küçüldükçe ve hafifledikçe prensip daha da verimli hale gelecektir. Atmosferik partiküllerin büyük bir bölümü mikrondan küçük olduğu için bu prensip hava filtreleme tekniğinden çok büyük bir öneme sahiptir ve çoğunlukla orta ve yüksek verimli genişletilmiş yüzeyli filtrelerde kullanılır.



**Şekil 2.** Yayılma prensibinin şematik gösterimi.

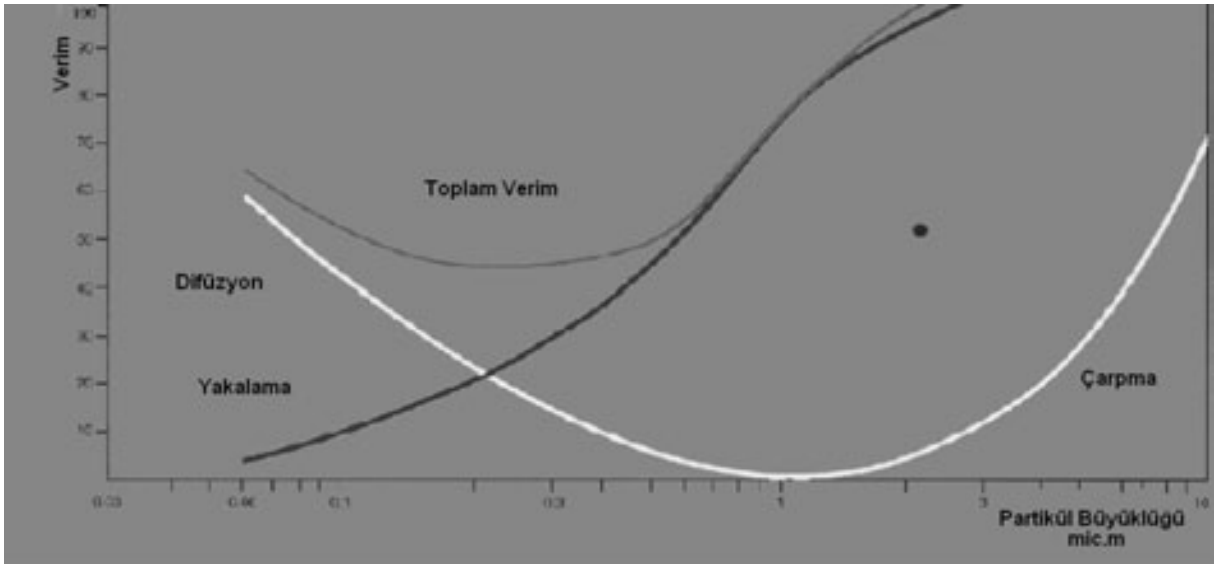
### 2.6. Elektrostatik Çöktürme

Bu prensip pozitif yükle yüklenmiş partiküllerin negatif yüklü plakalar tarafından çekilmesi esasına göre çalışır. Toz partikülleri vizkoz yapıştırıcı ile kaplanmış plakalar üzerinde tutulur.

Partiküller plakaların üzerinde toplanarak bir küme oluşturur ve plakaların üzerindeki kümelenme belli bir büyüklüğe ulaştıktan sonra hava akımıyla arkadaki bir ikinci filtreye sürüklenir ya da kirlenmiş plakalar suyla yıkanır temizlenir. Bu prensip her büyüklükteki partikül için kullanılabilmeyle beraber filtrenin verimi havanın hızı ve elektriksel çekimin büyüklüğüne bağlıdır. Yüksek yatırım maliyeti ve bakım gerektirdiğinden iklimlendirme sistemlerinde çok tercih edilmemektedir. Bu prensip büyük endüstriyel toz toplayıcılarda (elektrostatik çöktürücüler) ve mikron altı partiküller ve sigara dumanı, kaynak dumanı ve yağ dumanı gibi aerosolleri tutmak için kullanılan küçük portatif toplayıcılarda kullanılmaktadır.

## 2.7. Filtrasyon Prensiplerinin Birleştirilerek Kullanılması

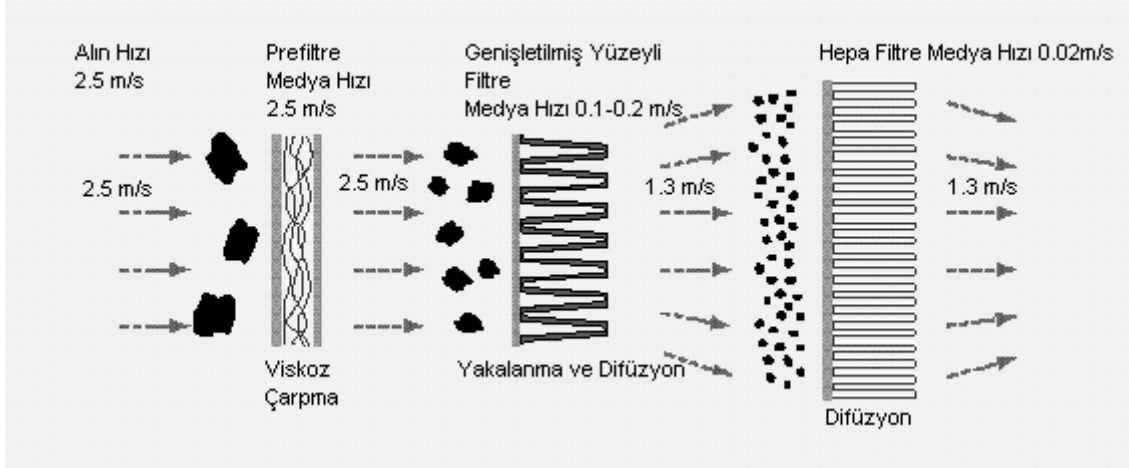
Havayı etkin olarak temizleyebilmek için, viskoz çarpma ve durdurma/difüzyon prensiplerinin bileşkesi sağlanmalıdır. Şekil 3, her üç prensibin tek tek ve bileşik olarak verimliliklerini göstermektedir. Şekilden de görülebileceği gibi çarpma ile çalışan filtre büyük partiküller üzerinde etkili olmaktadır durdurma/difüzyon prensibi küçük ve mikron altı partikülleri havadan ayırmaktadır.



Şekil 3. Viskoz çarpma, yakalama ve difüzyon prensiplerinin tek tek ve bileşik olarak verimlilikleri.

Farklı hava hızı gerektiren bu metodlar nasıl birleştirilebilir? Şekil 4, havanın içindeki değişik boyutlardaki partiküllerin filtrelenmesinde etkin olabilecek sistemi göstermektedir.

Viskoz çarpma prensibi ile çalışan filtre 3 mikrondan 100 mikrona kadar olan partikülleri süzmekte, bunu yakalama/difüzyon prensibi ile çalışan genişletilmiş yüzeyli filtre izlemektedir. Bu filtrenin süzdüğü partikül boyutu 0.3 mikronudur. En son kademedede ise yalnızca difüzyon prensibi ile çalışan ve 0.3 mikron ve daha altındaki boyuttaki partikülleri tutan HEPA filtre bulunmaktadır.



**Şekil 4.** Havanın içindeki değişik boyutlardaki partiküllerin filtrenmesinde etkin olabilecek sistem.

Kanal içindeki hız her noktada aynı olmakla birlikte değişik filtre ortamlarından geçerken havanın hızı düşürülebilmektedir. Bu filtrelerin yüzey alanları artırılarak sağlanır. HEPA filtreler için ise kanalda yapılan genişletme ile yüzey hızı azaltılır.

Viskoz çarpma esasına göre çalışan ön filtrenin gerektirdiği hız 2.5 m/s dir.. Bundan sonra, genişletilmiş yüzeyle torba filtre gelmektedir. Burada kullanılan medya hızı, yakalama/difüzyon prensibinin rahatlıkla kullanılabilmesi için 0.11 m/s' dir.

Son kademe HEPA filtre gelmektedir ve buradaki medya yüzey hızı 0.02 m/s olup filtrenin sık dokusu mikron altı partikülleri tutmaktadır.

Hatırlanması gereken çok önemli bir nokta da, bu üç prensibi aynı filtrede birleştirmeye çalışmanın verimliliği azaltacağı olmalıdır. En iyi sonuç ayrı ayrı filtrelerden oluşan bir sistem oluşturmakla alınabilir.

### 3. HAVA FİLTRELERİNDE ARANAN ÖZELLİKLER

Çeşitli filtrasyon tekniklerini gördükten sonra bir hava filtresinde aranan özellikleri şöyle sıralayabiliriz.

- Filtre hava akımına karşı yaratılan direnç
- Filtre değiştirilmeden önce bu tozun tutmuş olduğu miktar (Toz Tutma Kapasitesi)
- Filtrenin verimi (burada kirletici genellikle tozdur ve belirli bir boyut dikkate alınır)

Filtreler, bu özelliklere göre en iyi performansı göstermek üzere tasarlanır ve üretilirler.

#### 3.1. Hava Akımına Karşı Direnç

Filtreler iklimlendirme- klima sistemlerinde hava akımına karşı bir engel oluşturur. Bu engel fan ile üflenen havanın hacmini düşürecek bir direnç yaratır. Bu da filtrenin yarattığı basınç düşümü olarak ölçülür. Burada üç tip basınçtan bahsetmek gerekir:

**Statik Basınç;** Kanal içinde her yöne uygulanan basınçtır. Bu basınç düşümü positif ya da negatif olabilir. Kanal içindeki statik basınç atmosferik basınçtan yüksek olursa pozitif basınç, düşükse negatif basınç olarak adlandırılır. İklimlendirme cihazlarına takılan manometreler de statik basıncı ölçmekte kullanılır ve Pascal (N/m<sup>2</sup>) veya inch/mm su sütunu olarak ifade edilir.

**Hava hızı basıncı;** Hava hızının yarattığı basınçtır ve her zaman pozitiftir.

**Toplam basınç;** Statik basınç ile hava hızı yarattığı basıncın toplamıdır. Havalandırma sistemleri spesifik bir toplam basınca göre tasarlandığı için fan da bu basınca uygun olacak şekilde seçilir.

Burada toplam basıncın iki basıncın toplamı olduğuna ve filtrenin yarattığı statik basınç (direnc) yükseldiğinde hızın düşeceğine dikkat edilmelidir. Direncin basınç düşümü olarak adlandırılma nedeni, filtre giriş tarafındaki basıncın çıkış tarafındaki basınca göre daha yüksek oluşudur.

Genel olarak viskoz çarpma prensibi ile çalışan ön filtrelerin direnci, yakalama/difüzyon prensibi ile çalışan orta verimlilikteki filtrelerle göre çok düşüktür. Filtrelerin kullanıldıkça dirençleri arttığı için, yalnızca başlangıç basınç düşümleri değil, son basınç düşümleri de belirtilmelidir. Direnç arttıkça, onu yenmek için gereken enerji de artacaktır.

### 3.2. Toz Tutma Kapasitesi

Toz tutma kapasitesi filtrenin temiz halinden değiştirileceği kirli haline kadar servis ömrü boyunca tuttuğu atmosferik tozun miktarıdır. Toz miktarının sabit olduğu atmosferik hava koşullarında, yüksek toz tutma kapasitesine sahip olan filtrelerin servis ömrü uzayacaktır.

### 3.3. Verimlilik

Filtre tarafından yakalanan partikül sayısının, filtre üzerinden geçirilen kirli havada bulunan toplam partiküllerin sayısına oranı filtrenin verimi olarak adlandırılmaktadır. Filtre üzerinde yakalanan partikül sayısı, filtreden temiz tarafa geçebilen partikül sayısına bağlı olarak hesaplanabilir. Filtre verimliliği belirli bir partikül boyutu için de belirlenebilir, çeşitli boyutlardaki partiküllerin tamamı için de belirlenebilir. Filtre verimliliğini belirleyebilmek için birçok test metodu bulunmaktadır.

## 4. FİLTRE VERİMLİLİK TESTLERİ

Son yıllarda çevre ve çevreye verilen zararlar konusunda yoğunlaşan ilgi, iç ve dış ortam temizliği konusuna verilen önem artması ve enerji tasarrufu konusunun önem kazanmaya başlaması filtrelerin daha yüksek performans değerlerine sahip olması ve bunları belirleyebilecek yeni test metodlarının geliştirilmesi ve kabul edilmesi sonucunu getirmiştir[2].

İklimlendirme klima sistemlerindeki hava filtreleri, geçtiğimiz çeyrek yüzyılda Avrupa'da, bazı ulusal standartlara ya da Eurovent 4/5'e uygun olarak test edilmekteydi. 1993 yılından itibaren Avrupa ortak standardı benimsedi ve EN 779 başlıklı standart kullanılmaya başlandı. Ancak kullanılan bütün standartlar için, 1968 yılında yayınlanan Amerikan ASHRAE 52/68 Standardı temel alınmıştı. Buna karşın, bu metotta kullanılan laboratuvar testlerinin, bugünün iyi iç hava ve ortam kalitesinin ihtiyaçlarını karşılayacak filtrelerin performansını değerlendirmede artık yeterli olmadığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarla, İHK (İç hava kalitesi) problemlerini çözebilmek ve filtrelerin işlevleri hakkında doğru bilgiye sahip olmak için, filtrelerin işletmelerin gerçek koşullarında gösterdikleri performansı yansımasının büyük önem taşıdığı saptanmıştır. Buna bağlı olarak, Avrupa Standart Komitesi CEN, Ağustos 2002 tarihinde EN 779 Standardı için bir değişiklik yapılmasını önermiştir. Bu komitenin üyeleri, yeni standardı Ağustos 2002 tarihinde "EN 779:2002 Genel havalandırma için partikül hava filtreleri- Filtrasyon performansının değerlendirilmesi" başlığıyla onaylamıştır. Standardın değişikliğe uğratılmış yeni biçimine göre, testler saptanmış bazı partiküller için oransal filtre verimliliğini belirlemek üzere yapılmaya başlanmıştır.

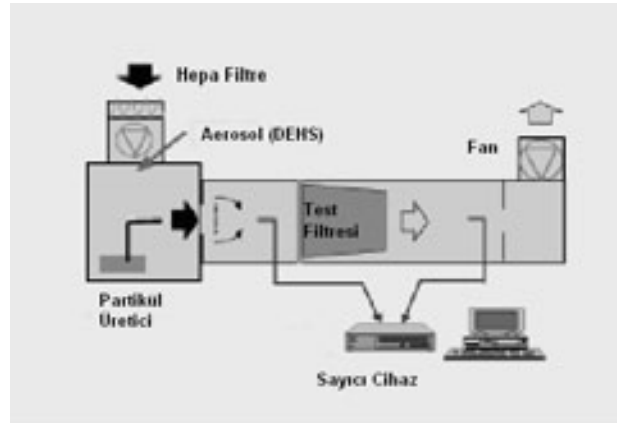
Bu metotla;

- İHK ve proseslerin gerektirdiği filtre performans özellikleri belirlenerek,
- Laboratuvar test sonuçlarıyla gerçek işletme koşulları arasında uyum sağlanarak,
- Daha hızlı, yapılması kolay ve anlaşılabilir bir test metodunu geliştirilerek,
- Filtre performans testleri yapılan havalandırma cihazları üreticileriyle aynı enstrüman ve teknikler kullanılarak filtrenin performans özellikleri hakkında önemli bilgiler verilmektedir.

İçeriği 1968 yılında yayınlanan ASHRAE 52/68 Standardında belirlenen sentetik test tozu, filtrenin gerçek işletme koşullarındaki toz tutma kapasitesini, filtre servis ömrünü ya da verimlik değerlerini test etmekte yetersiz kaldığı halde hala kullanılmaktadır.

#### 4.1. EN 779:2002 Test Metodu

Bu standartta tanımlanan yöntemler, EN 779:1993 ve Eurovent 4/9:1997 Standartlarından yola çıkılarak geliştirilmiştir. EN 779:1993'te, kullanılan test düzeneğinin temel yapısı değiştirilmemiştir ancak Şekil 5'te görünen ve toz lekeleme veriminin testi için kullanılan atmosferik toz kullanılarak çalışılan düzeneğe kaldırılmıştır. Bu testte filtreden, atmosferik toz yerine DEHS (diethylhexylsebacate) adı verilen veya eşdeğeri bir aerosol geçirilmektedir. Filtre giriş ve çıkış havasından örnekler alınarak optik partikül sayıcı ile analizler yapılmakta ve çeşitli partikül boyutlarına göre verimlilik bu şekilde elde edilmektedir.



**Şekil 5.** EN 779:1993'te, kullanılan test düzeneğinin temel yapısı (atmosferik toz kullanılarak çalışılan düzeneğe kaldırılmıştır).

Filtreleri sınıflandırabilmek için iki farklı toz kullanılmaktadır : 0.2-3 µm aralığındaki ince tozların verimliliğinin ölçülmesi için DEHS ve toz toplayıcılık ve toz tutuculuk değerlerini elde etmek için yapay kaba toz (ASHRAE tozu). 0.4 µm boyutundaki partiküllere göre verimliliği %98'den yüksek olan filtreler, EN 1822 standardına göre test edilirler ve bunlar HEPA ve ULPA filtreler olarak adlandırılır. Bazı filtreler yapay tozlarla yapılan laboratuvar testlerinde, elektrostatik etkilere bağlı olarak daha yüksek verimliliklere ve düşük basınç kayıplarına ulaşabilirler. Ancak, gerçek işletme koşullarında, dış havada bulunan partiküller filtrede oluşan elektrostatik etkiyi nötralize eder ve filtrenin performansını büyük ölçüde değiştirebilir. Hava filtresi kullanıcılarının bu riskten haberdar olması önemlidir. Revize EN 779 Standardı, verimliliğin elektrostatik etkiye bağlı olduğu durumlarda filtrenin minimum ömür verimliliğini belirlemek üzere sayısal bilgi verecek bir metodu içermektedir.

#### 4.2. Test Yapılan Düzeneğin Kalitesinin Kontrolü

Daha önceki test tekniklerine göre revize edilmiş EN 779'un getirdiği bir yenilik de test cihazlarının ve donanımının kalitesinin kontrolünü sağlayacak bir sistemi içermesidir. Bu sistem, değişik test düzenekleri ve fonksiyonlarının ölçümlerinin doğruluğunun saptanması için gerekli koşulları ve bunun hangi sıklıkta yapılması gerektiğini ayrıntılarıyla belirtir. Partikül boyut ve konsantrasyonuna göre partikül sayacının doğruluğu ve kesinliği test kanalındaki hava hızının ve kullanılan aerosolün düzgün bir dağılım gösterdiği düzenli olarak kontrol edilir. Cihazın toz yükleyici düzeneği ve manometreleri de belirli aralıklarla kontrol edilir. Test sisteminin çalışması hem filtresiz (% 0 verimlilik) olarak hem de çok yüksek verimli filtrelerle (% 100 verimlilik) test edilerek kontrol edilir.

#### 4.3. Test Aerosolü

Test aerosolü olarak işlem görmemiş ve seyreltilmemiş DEHS ya da buna eşdeğer performans gösterilebilecek başka aerosoller kullanılır. DEHS'ten elde edilen aerosol HEPA ve ULPA filtrelerin performans testlerinde kullanılmaktadır. Bu test yapılırken Eurovent 4/9 metodu kullanımında elde edilen deneyimlerden yararlanılmaktadır. Bu aerosol kullanıldığında istenilen yoğunlukta, partikül büyüklüğünde ve istenilen özelliklerde test aerosolü elde etmek daha kolay olmaktadır. Optik partikül sayıcı kullanılarak yapılan sayımlarda küre şeklindeki sıvı partiküller, küre şeklinde olmayan tuzlardan ve test tozlarından daha doğru sonuçlar vermektedir. Aerosollerin doğru test sonuçlarını vermesi için nötr elektrik yüküne sahip olması gerekmektedir. DEHS de nötr bir aerosol oluşturmaktadır.

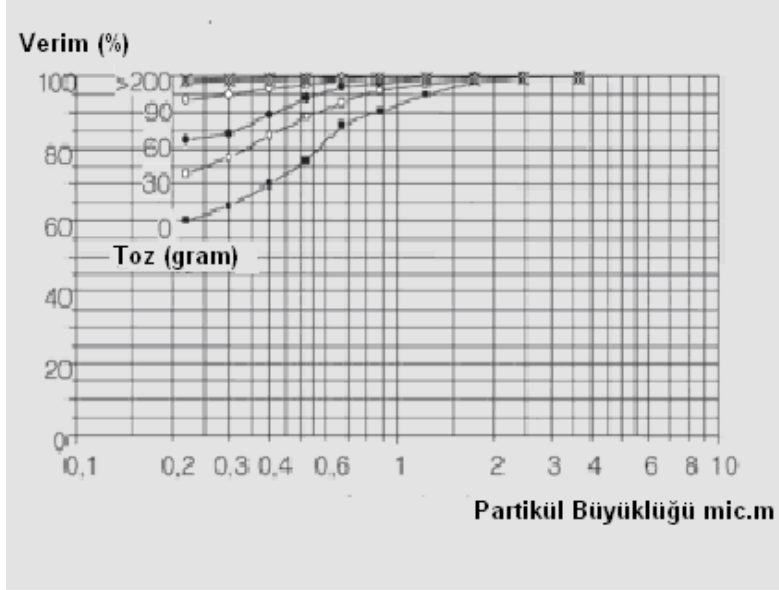
#### 4.4. Yapay ASHRAE Test Tozu

Filtrelerde kullanılan ASHRAE test tozu, % 72 oranında Arizona yol tozu adını verdiğimiz toz, % 5 pamuk lifi ve % 23 karbon siyahından oluşmaktadır. Arizona yol tozundaki partikül sayısının % 50 si 10 µm'dan büyük olmalıdır. Pratikte partiküller, toz besleme sırasında daha büyük boyutlu partikül toprakları haline gelirler. Atmosferde bulunan toz bu yüzden laboratuvar tozundan büyük ölçüde farklılık gösterir. 30 yılı aşkın süredir kullanılan testler ASHRAE tozu ile yapıldığı için, birçok filtre gerçek yaşamdaki uygulamaların gerektirdiği performans yerine laboratuvar gerekliliklerini karşılayacak şekilde geliştirilmiştir.

#### 4.5. EN 779'a Uygun Şekilde Yapılan Raporlama

EN 779'a göre yapılan raporlamada, hava hızı ve basınç düşümünün yanı sıra temiz filtrenin verimliliği ve filtreden geçirilen havaya yapay tozun beslemesi yapıldıktan sonra filtrenin gösterdiği verimliliğin özetlendiği bir raporun eklenmesi beklenir. Partikül boyutuna göre filtre temizken, daha sonra filtrelenen havaya 30 g toz yüklendikten sonra ve bu toz yükleme işi son basınç düşümü önce 250 Pa, daha sonra da 350 Pa ve 450 Pa oluncaya dek filtrenin veriminin belirlenmesi sürdürülür. Değişik basınç düşümlerinde ortalama verimlilik hesaplanır. 0.4 µm boyutundaki partiküller için verim % 40 'ın altında bulunursa kaba filtre veya G-filtre olarak sınıflandırılır ve bu durumda partikül verimlilik testinin sonuçlarının raporlanması gerekmez. 0.4 µm partiküller için ortalama verim % 40 ve üzerinde bulunursa hassas filtre ya da F-filtresi olarak sınıflandırılır ve bu durumda bütün test sonuçları raporlanır.





**Şekil 6.** EN 7779:2002'ye uygun olarak yapılan, filtrelenecek havaya toz beslenmesinin ardından partikül boyutlarına göre oluşan verimlilik eğrileri grafiği.

G-filtreler için, 150 ve 250 Pa son basınç düşümlerinde ve F-filtreler için 250, 350 ve 450 Pa son basınç düşümlerinde filtrenin toz yükü yani toz tutma kapasitesi ve ortalama toz tutuculuğu da raporlanır. Şekil 6'da EN 7779:2002'ye uygun olarak yapılan, filtrelenecek havaya toz beslenmesinin ardından partikül boyutlarına göre oluşan verimlilik eğrileri grafiği gösterilmiştir.

#### 4.6. Özet Test Sonuçları

Özet test sonuçları, temiz filtre için hıza göre basınç düşümünü, testin yapıldığı hava hızında filtelenen havaya yüklenen tozun yarattığı basınç düşümünün kaydedildiği eğriyi, 0,4 µm partiküle göre verimliliği ve yapay tozun tutulma verimini içerir. Bunlara ek olarak değişik son basınç düşümlerinde ortalama verimlilik ve toz tutuculuk da belirtilir.

Filtreler herhangi bir işlem görmeden ve her hangi bir hazırlık yapılamdan "doğal durumları"nda test edilir ve sınıflandırılır. Buna ek olarak, filtrelerin medyasının ya da filtreyi oluşturan malzemelerin elektrik yükü boşaltıldıktan yani nötralize olduktan sonraki verimliliği de not edilir. Sınıflandırma etkilenmese bile, elektrik yükü boşaltılmış medyanın verimliliği filtrenin verimliliğinin ne kadar bir miktarının elektrostatik etkiden ileri geldiğini ve gerçek işletme koşullarında ne kadar minimum ömür verimliliği beklenmesi gerektiği bilgisini sağlar.

#### 4.7. Elektrostatik Yükü Boşaltılmış Filtrenin Verimliliği

Nötralize olmuş (elektrostatik yükü boşaltılmış) filtre ya da filtre medyası "Ek : A Elektrostatik yük boşaltma prosedürü" ile uyumlu bir şekilde test edilir. İşlem görmemiş (yeni) medyanın verimliliği yükü boşaltılmış medyanınkiyle birlikte test raporunda gösterilir ancak bu filtrenin sınıflandırılmasını etkilemez. Bu bilgi hesaplanan verimliliğin ne kadarının elektrostatik etkiden geldiğini ve gerçek işletme koşullarında ne kadar bozulacağını göstermek üzere elde edilir. Burada % 88 başlangıç verimliliği olan F7 bir filtrenin veriminin elektrostatik yükü boşaltıldıktan sonra % 16'ya kadar inebildiğinin görüldüğü çarpıcı bir örnek olarak verilebilir. Bundan da anlaşılacağı üzere, verimlilik kullanılan medyanın elektrostatik özelliklerine bağlıdır.

#### 4.8. Filtrelerin Sınıflandırması

F-filtreleri ve G-filtreleri deyimleri önceki standarttaki gibi aynı kalmamakla beraber sınıflandırma için filtrelerin 0.4 µm partikül için gösterdiği ortalama verime bakılmaktadır. Bu sınıflandırma, standardın önceki versiyonunda kullanılan ortalama toz verimlilik değerleri ile yapılan sınıflandırmaya uyumlu olduğu için yeni standartta başka bir kodlamaya gerek olmamıştır. Örneğin, eski standarttaki F7 filtre, gene F7 olarak sınıflandırılmıştır. Ancak bundan önceki sınıflandırma sisteminde F-filtrenin min %20 değerinde toz lekeleme verimliliğine sahip olması bekleniyordu. Yeni sınıflandırmada ise ortalama verimin 0.4 mikron partikül boyutuna göre %40 ya da daha yüksek olması gerekmektedir. Burada toz lekeme verimliliğine göre sınıflandırma kullanılmamaktadır.

Sınıflandırma 0.944 m<sup>3</sup>/s (3400 m<sup>3</sup>/h) nominal hava debisinde G-filtreler için 250 Pa ve F-filtreler için 450 Pa son basınç düşümü kullanılarak yapılan testi temel almaktadır. Bundan önceki test metodlarında olduğu gibi yapay toz kullanıldığında problemler baş göstermektedir. Yapay tozla yapılan laboratuvar testi, filtrenin kullanım ömrünü doğru hesaplamada ya da gerçek uygulamalardaki performans özelliklerini doğru göstermede bir veri olarak kullanılamaz. Bununla birlikte, toz tutma kapasitesi ve ortalama verim de filtrenin kullanıldığı son basınç düşümüne göre değişkenlik gösterir.

#### 4.9. Son Basınç Düşümü

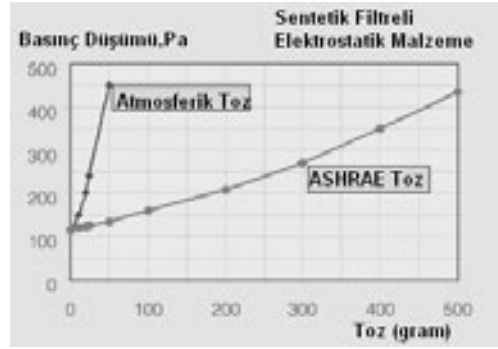
Enerji tasarrufu için, filtreler sınıflandırmada kullanılan son basınç düşümünün çok altında bir değerde kullanılmalıdır. Hijyenik bakımdan da filtreler belirli aralıklarla değiştirilmeli ve bu sınıflandırmada kullanılan final basınç düşümü olmamalıdır.

#### 4.10. Minimum Ömür Verimi (MÖV)

Değişik işletme ortamlarında filtrenin nasıl bir performans özelliği gösterdiğinin bilgisine sahip olmak çok önemlidir. Filtrede toz yükü arttıkça, basınç düşümü artmakta bununla beraber tutulan toz da filtrenin verimini arttırmaktadır. Halbuki elektrostatik yük ile yüklenmiş medyada durum tersinedir. İşletmede, havadaki bazı partiküller medyayı nötralize eder ve filtrenin havadan toz ayırma kapasitesi düşer. Verimliliğin % 90'dan %20'ye düştüğü durumlar vardır. Standartta ya da sınıflandırmada, yükü boşaltılmış medyanın minimum verimliliğinin belirlenmesi ile ilgili bir şart bulunmamaktadır. Buna karşın, söz konusu verimliliğin işlem görmemiş(yeni) filtreninkine göre %10 daha düşük olduğu durumlarda, filtrenin laboratuvar testinde belirlenen sınıflandırmadan bir derece daha düşük bir değere sahip olduğu söylenebilir. İsveç'te endüstrinin dikkati bu konuya yıllar önce çekilmiştir. İsveç Ulusal Test ve Araştırma Enstitüsü bunu takiben, bir yönetmelik çıkararak filtrelerde P-etiketlemesi olarak adlandırılan bir belgenin verilmesini koşulunu ortaya koymuştur. Bu belgelemede gerçek koşullarda verimliliğin belirlenebilmesi için minimum gereksinimler tesis edilmeye başlanmıştır. Getirilen sistem çok takdir görmüştür ve filtre seçerken son kullanıcı için çok yararlı olmuştur.

#### 4.11. Toz Tutma Kapasitesi

Filtrenin yapay tozu biriktirmesi, gerçek işletme koşullarında filtrenin toz tutma kapasitesi ya da hizmet ömrünü belirlemek için bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar testlerinde kullanılan kaba tozun filtre medyası üzerinde tutulması gerçek yaşamdakinden tamamen farklı bir biçimde olmaktadır. Şekil 7'teki grafik laboratuvar ve gerçek işletme koşullarında test edilen ve elektrostatik yük ile yüklü filtrelerin toz yüküne göre basınç düşümünün nasıl değiştiğini göstermektedir. Yapılan ölçümlere göre, filtre 450 Pa basınç düşümünde 500 g yapay laboratuvar tozu tutmaktadır, halbuki aynı filtre atmosferik kirlenimler söz konusu olduğunda tuttuğu miktar 50 g'dır. Bu da, filtrenin sahip olduğu toz tutma kapasitesinin laboratuvar sonuçlarına göre gerçek yaşamadakinin 10 kat üstünde olduğunu göstermektedir. Laboratuvar sonuçları ile gerçek yaşamdaki sonuçların birbirine uyum sağlaması kullanılan filtre malzemesine ve filtrenin yapısına bağlıdır. Cam elyafı filtreler bu durumda tam tersine bir özellik göstermektedir, bu da atmosferik toza göre toz tutma kapasitesinin laboratuvarda ölçülenin üstünde çıktığı anlamına gelmektedir.



**Şekil 7.** Laboratuvarda ve gerçek işletme koşullarında test edilen ve elektrostatik yük ile yüklü filtrelerin toz yüküne göre basınç düşümü değişimi.

#### 4.12. Ek A – Elektrostatik yükün boşaltılması

Filtre ya da filtre medyasının verimliliğinin elektrostatik yükü boşaltıldıktan sonra raporlanmasını şart koşan Ek A, yeni test metodu geliştirilirken hararetli tartışmalara neden olmuştur. Problemin varlığından haberdar değilmiş gibi görünmek son kullanıcıyı ya da müşteriyi yanlış yönlendirmek anlamına gelmektedir. Standart bunun için elektrostatik yük boşaltıldıktan sonra belirlenen verimliliğinin yayınlanmasını istemektedir. Söz konusu verimlilik sınıflandırmayı etkilemese de filtre kullanıcılarına MÖV hakkında bilgi verecektir.

Nordtest metodunu temel alan bu metod senelerdir kullanılmaktadır. Bu metodun gerekli gördüğü koşullar yeni bir filtre medyasının ve filtre gerçek ömrü hakkındaki anlayışın geliştirilmesine yardımcı olmuştur. Ek A'da kullanılan presedür, filtre verimliliğinin elektrostatik toz arındırma mekanizmasına bağlı olup olmadığını saptamak ve elektrostatik toz arındırmanın önemi hakkında sayısal bilgi sağlamak için kullanılmaktadır. Testin temel aldığı konu elektrostatik toz arındırma mekanizmasının ortadan kaldırılmasıdır. Isopropanol, dizel dumanı, deterjanlar ya da sudaki yüzey aktif maddeler sözkonusu mekanizmanın ortadan kaldırılma işlemi için kullanılabilir.

#### 4.13. Dizel Dumanı Testi

Isopropanol alcohol (IPA) işlemi standartta açıklanmıştır. Küçük boyutlu örnek filtreler için bu kolaylıkla yapılan bir testtir ancak tam boy filtreler için bu yöntem bazı pratik sorunlar çıkarmaktadır. IPA belirli filtre medyalarına etkili olmaktadır. En iyi yük boşaltma prodürü dizel dumanı kullanmaktır. Bu yöntemle tam boy filtre tamamen kolaylıkla testten geçilebilir ve elektrostatik yükü birkaç saatte boşaltılabilir. Genellikle gerçek işletme koşullarında bir filtre dizel dumanına maruz kalır ve laboratuvar testlerinde bir kaç saat maruz kalma gerçek yaşamdaki haftaları ve ayları simüle eder (Şekil 5). Bu test metoduyla, sonuçlar gerçek koşullardakinden 100 ya da 1000 kat hızlı bir şekilde elde edilir. Bununla birlikte, dizel dumanı filtre medyasına zarar vermez ve basınç düşümünü etkilemez.



**Şekil 8.** EN 779:2002 standardına göre test sınıflandırılması.

Yukarıdaki bilgilerden de anlaşılacağı üzere ameliyathane hijyenik havalandırmasının en önemli komponentlerinden biri olan HEPA filtreyi koruyan ön filtre ve orta hassasiyetteki filtreler bundan böyle EN 779:2002 standardına göre test edilip sınıflandırılacaktır. Şekil 8'de sınıflandırmanın bir özeti görülmektedir. Havanın içindeki kaba ve orta büyüklükteki partiküller yukarıda anlatılan filtrelerle F9 verimliliğine göre filtrelendikten sonra hijyenik olması gereken mekanların filtrelenmesi için HEPA filtre kullanılması gerekmektedir.

## 5. HEPA FİLTRELER

HEPA, "High Efficiency Particulate Air filter" ın (Yüksek Verimli Partikül Hava Filtresi) kısaltılmış yazılışdır. Amerikan Çevre Bilimleri Enstitüsü IES-RP-CC 006.2 Recommended Practice for Testing Clean Rooms, Institute of Environmental Sciences. Mt. Pr, IL de şöyle tanımlanmaktadır [3]:

*"Değiştirilebilir, genişletilmiş yüzeyli, kuru tip sert çerçeve içinde bulunan, ısıtılarak üretilmiş DOP veya spesifikite edilmiş alternatif aeorolsellerin 0.3 mikron boyutundaki partiküllerini %99.97 veriminde tutan filtre."*

Avrupa Standardı EN 1822'deki tanıma göre de; HEPA, sınıfları H10'dan H14'e kadar değişen yüksek verimli hava filtreleridir. (Bkz. Tablo 1)

**Tablo 1.** ULPA ve HEPA filtrelerin Filtrasyon Performansına göre Sınıflandırılması

Filtre Sınıfı	MPPS'ye göre Verimlilik %		MPPS'ye göre geçirgenlik	
	Tüm filtrede	Bölgesel	Tüm filtrede	Bölgesel
H10	≥85	-	15	-
H11	≥95	-	5	-
H12	≥99.5	-	0.5	-
H13	≥99.95	99.75	0.05	0.25
H14	≥99.995	99.975	0.005	0.025
U15	≥99.9995	99.9977	0.0005	0.0025
U16	≥99.99995	99.99975	0.00005	0.00025
U17	≥99.999995	99.9999	0.000005	0.0001

- Not: H10, H11 ve H12 için bölgesel geçirgenlik değeri gerekmemektedir.

### 5.1. HEPA Filtreyi Oluşturan Öğeler

HEPA filtreyi şu öğeler oluşturur:

- Medya; kompakt filtre elemanı biçimini vermek için pli şeklinde katlanır ve genelde kağıt olur. Plilerin dar aralık oluşturacak şekilde katlanması gereklidir. Böylelikle ihtiyaca uygun miktarda medya ahşap veya metal çerçeve içine kolaylıkla yerleştirilebilir. Filtre kağıdının hava akımına karşı direnci yüksektir, bu bakımdan medya hızı genellikle 0.03 m/s düzeyinde seçilmektedir.
- Separatörler, medyayı destekler ve hava akımının medyaya ulaşmasını ve medyanın içinden geçip temiz hava tarafına çıkmasını sağlayan kanalları oluşturur.
- Filtre paketi, medya ile separatör malzemesi birleştirildikten sonra kağıdın pliler halinde katlanmasıyla oluşturulan formdur.
- Filtre çerçevesi, filtre paketinin içine monte edildiği sert muhafazadır.
- Dolgu macunu, filtre paketi ile filtre çerçevesi arasında kullanılan yapıştırıcı veya sızdırmazlık sağlamak amacıyla tasarlanmış materyaldir.
- Conta, filtre çevresinden filtre edilmemiş havanın temiz tarafa geçmesini önlemek için tasarlanmıştır, filtre çerçevesinin ön yüzünde bulunur.

### 5.1.1. Filtre Medyası

Başlangıçta filtrelerde kullanılmaya başlanan ilk asbest-selüloz kağıt, DOP test metoduyla 0.3 mikron partikülleri % 99.95 oranında tutmaktaydı. Daha sonra genel olarak aynı özellikleri gösteren % 100 cam liflerinden oluşan daha kalın tipte bir filtre kağıdı bu kağıdın yerini aldı. Sonraki aşamada, DOP verimliliği daha iyileştirilip % 99.97 verebilen gene % 100 cam liflerinden olan fakat ince bir filtre kağıdı geliştirilerek kullanılmaya başlandı.

Cam-asbest olan kağıtlarda asbest, medyanın özellikle hidroflorik asit gibi asidik gazlara olan direncini arttırmak için kullanıldı. Bu kağıtla üretilmiş filtreler nükleer tesislerde yoğun olarak kullanıldı. Fakat asbestin insan sağlığı üzerinde zararlı etkisinin olduğunun anlaşılmasından sonra bu medyadan vazgeçildi. Daha yüksek filtre verimliliğine olan ihtiyaç ULPA (Ultra Low Penetration) adı verilen yeni medyanın geliştirilmesine yol açtı.

Filtre kağıdının formülasyonu üreticilerin kendi patenti altındadır ancak bütün kağıtlar cam esaslı liflerin bazı işlemlerden geçirilerek özel bağlayıcılarla birbirine yapıştırılması metoduyla üretilmektedir. Üreticiler tarafından nemli ortamlarda kullanılan filtrelerde küfün oluşmasını engelleyen maddeler de eklenebilir. Bunun yanı sıra, filtre kağıdına su geçirmeyi önleyecek silikon bazlı maddeler de uygulanabilir.

### 5.1.2. Separatör

Filtre medyasının arasına ilkin plilenmiş kraft kağıdı konuyordu. Kraft kağıdının yerini alüminyum folyo aldı. Paslanmaz çelik ve kaplanmış alüminyum separatörler de kullanıldı. Paslanmaz çelik folyo sivri olduğu ve medyaya zarar verebileceği için folyonun uçları yuvarlatılarak sivriliği giderildi. Alüminyum folyoların da uçları kıvrılarak olabilecek hasarlara karşı filtrelerin dayanıklılığı artırıldı.

Filtre malzemesine şeritler halinde kabartma yivler açarak separatörsüz filtre üretmek için de denemeler yapıldı. Medya katlandığında kabartma yivler karşı karşıya geliyor ve içinden havanın geçebileceği oluklar oluşuyordu. Ancak HEPA filtrelerin üretiminde plilenmiş separatörlerin kalkmasıyla filtre paketinin dayanıklılığı azaldı. Bunu karşılamak üzere paketin içine güçlendirici destekler konuldu. Bundan sonra, medyaya plilerinin arasında boşluk bırakacak şekilde kurdele, şerit vb çeşitli materyaller yapıştırılması denendi. Medya katlanmadan bu materyaller kağıda yapıştırılıp sonra katlama yapıldı. Medya katlandıktan sonra söz konusu şeritlerin karşı karşıya gelmesi ve havanın geçeceği olukların oluşması sağlandı. Medya kat yükseklikleri de böylece azaldı. Bu şekilde üretilen filtreler ile derin plili filtrelerin yarattıkları basınç farkları eşitlenmiş oldu.

Günümüzde separatör olarak "hotmelt" denilen, eritilerek medyanın üzerine şeritler halinde dökülen bir malzeme kullanılmaktadır. Bu malzeme sayesinde 35, 48, 96, 120 ve 180 mm kalınlıkta katlanan filtre paketleri kolaylıkla üretilmeye başlanmıştır.

### 5.1.3. Dolgu Macunu

Filtre paketi ile filtre çerçevesi arasından filtrelenmemiş havanın kaçmasını önlemek için birçok materyal kullanılabilir. Başlangıçta kaçakları önlemek için kağıt plilerin uçlarına kauçuk ya da neopren bazlı yapıştırıcılar sıkılıyordu. Filtre çerçevesi içine de bir kat kaplama maddesi püskürtülüyordu. Filtre çerçevesine filtre paketi monte edildiğinde bu iki yapıştırıcı madde birleşerek büyük kaçakları kapatıyordu. Ancak bu metotla % 100 başarı sağlanamayınca filtre paketi ile çerçeve arasında poliüretan köpük sıkılmaya başlandı.

#### 5.1.4. Çerçeve

HEPA filtrelerin orijinal çerçeveleri “exterior grade” kontrplaktı. II. Dünya savaşı süresince görülen bu kullanım şekli, ekonomik nedenler dolayısıyla aynı şekilde sürdürüldü. Yüksek ısı ve nem koşullarında ise kadmiyum kaplanmış saç kullanıldı. Daha sonra kontrplağın yerini, ondan daha da ekonomik olan “exterior grade” sunta aldı. Yangına dayanıklılık gerektiği ve metalin kullanılmasının sakıncalı olduğu durumlarda metalik tuz solüsyonları uygulanarak elde edilmiş yanmayı geciktirici “exterior grade” kontrplak kullanıldı.

Kadmiyum kaplama çelik artık kullanılmamaktadır. Onun yerine galvaniz veya galvanil saç, alüminyum ve paslanmaz çelik materyaller alternatif olarak kullanılmaktadır. Çerçeve materyali uygulamaya ve sıcaklığa bağlı olarak seçilmektedir.

Günümüzde çoğunlukla MDF (medium density fiber board) denilen malzeme çerçeve yapımında kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklar ve kullanıcı isteklerine bağlı olarak çeşitli metaller ve anodize çekme alüminyum da kullanılmaktadır.

#### 5.1.5. Sızdırmazlık

Filtrelerin kenarlarından hava kaçağı olmayacak şekilde monte edilmesi gereklidir. Önceleri HEPA filtreler tuğla gibi birbirinin üzerine konularak monte ediliyordu ve araları da kağıt bantla kapatılıyordu. Şimdi ise HEPA filtrelerin montajı için birçok değişik montaj yöntemi kullanılmaya başlandı.

Günümüzde filtrelerde genel olarak tek parça dökme poliüretan köpük ya da yapıştırılarak kullanılan dikdörtgen kesitli neopren conta kullanılmaktadır.

HEPA filtrelerin filtrelenen mahallerin tavanlarındaki montaj kabinlerinde kullanılan tipleri dışında, kendinden yuvalı olup yuvarlak boruyla kanala bağlanan tipleri ya da klima santrallarına monte edilen V şeklindeki kompakt tipleri de vardır. Alüminyum çekme çerçeveli olanlar iki tarafı kafes koruyuculu, kuru contalı veya sıvı contalıdır. Sıvı conta montaj kabininde olup kenarları bıçak ucu gibi uzantıların bulunduğu tipler de mevcuttur.

HEPA filtreler, EN 1822'ye göre H13 veya H14 olarak sınıflandırılmaktadır. Avrupa Standard Komitesi'nce (CEN) yayınlanan EN 1822 standardına göre HEPA filtrelerde sınıflandırma, testin genel prensipleri, etiketleme, test aerosolünün üretimi, ölçüm ekipmanları, partikül sayma istatistikleri, düz filtre kağıdının testi, filtre elemanlarındaki sızıntı, filtre elemanının veriminin belirlenmesi konuları 5 ayrı bölüm halinde incelenmiş ve bu bölümler sırasıyla 1998'de ve 2000'de kabul edilmiştir.

### 6. HEPA FİLTRE VERİMLİLİK TESTİ VE SINIFLANDIRMA

Önceleri HEPA filtrelerin verimliliği ulusal standartlara göre belirleniyordu. Her ulusal standartta kullanılan test aerosolünün tipinin, boyutunun ve yoğunluğunun farklı olmasından dolayı verimlilik ve sınıflandırmalarda farklılıklar bulunuyordu. En önemli ulusal standartlar ABD Askeri Standardı 282, İngiliz Standardı BS 3928, Alman Standardı DIN 24.184 ve Fransız Standardı NF X44-013'tür.

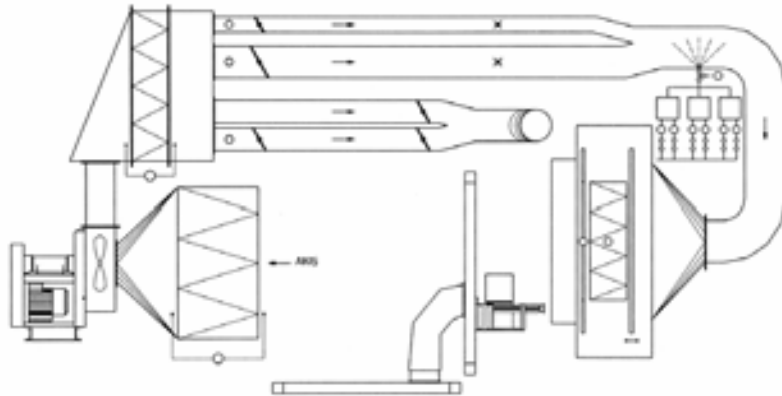
Bunların içinde yalnızca DIN 24.184'de hem HEPA filtre verimliliği hem de kaçaklar ve kaçak testi ile ilgili kriterler hakkında tanımlar bulunmaktadır. HEPA filtrelerdeki kaçakların belirlenmesi için imalatçılar, müteahhitler, validasyon firmaları ve son kullanıcılar halen BS 5295, ABD Fed. Standart 209E ya da IES-RP-CC-006-84-T gibi temiz oda standartlarını kullanmaktadır. Ancak söz konusu standartlar 60'lı-70'li yıllarda oluşturulduğu için bunların hiçbirisi günümüzdeki endüstriyel isteklere cevap verememektedir.

Mikro elektronik endüstrisindeki hızlı gelişme, FDA(Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi) ve EU-GMP'nin (AB İyi Üretim Uygulamaları) ilaç ve biyoteknoloji endüstrisine getirdiği zorunluluklar, HEPA filtrelerdeki verimliliğin yeni ve daha gelişmiş metotlarla belirlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Lazer fotometre ve CNC (yoğunlaştırılmış çekirdek sayıcısı) gibi sayma tekniklerinin geliştirilmesi daha titiz çalışma gerektiren isteklerin uygulamaları için imkan tanımıştır. Dünyanın "global bir köy" oluşu yalnızca ulusal standartların yeterli olabileceği kapalı ulusal pazarlar olgusunu ortadan kaldırmıştır. Nerede üretilirse üretilsin, satın alınan ürün aynı kalite standardının tutturması beklentisiyle talep edilmekte ve elde edilmektedir. Bunun doğal sonucu olarak "basit" gibi görünen HEPA ve ULPA filtrelerin bile bütün ulusların kabul edeceği bir standartta üretilmesi gerekmektedir.

1980'lerin sonunda VDMA-Alman Mühendisler Birliği, DIN-Alman Standart Enstitüsü'nden HEPA filtrelerin verimliliğini filtrede tutulabilecek en küçük partikül esasına göre belirleyebilecek bir standart geliştirmesini istedi. 1990'da, Almanya'da filtrasyon imalatçı firmalarından, partikül ölçü cihazı üretici firmalarından ve araştırma enstitülerinden kişilerin oluşturduğu bir çalışma grubu kuruldu. Bu grubun ortaya çıkardığı taslak halindeki DIN 24.183'e göre, geliştirilmiş son tekniklerin kullanılması zorunlu olsa da, ölçme donanımının yerleştirilmesi ve ölçüm teknikleri çok sıkı kurallara bağlanmamıştı. Bu çalışmalardan sonra, AB ve AB dışı ülkelerden 18 ulusal standart enstitüsünden ilgililerin katıldığı CEN-Avrupa Standart Komitesi, DIN 24.183'ün taslağını yeni Avrupa standardına temel olacak şekilde uyarlamayı kararlaştırdı. 1993'te, CEN teknik komitesi (TC 195), bu standardı geliştirmek üzere bir çalışma grubu (WG2) kurdu. İngiltere, Fransa, Almanya, Hollanda, İsveç ve İsviçre'den uzmanların katıldığı çalışma grubu EN 1822 olarak bilinen HEPA filtre test standardını geliştirdi. EN 1822 Standardı'nda, beş bölümde HEPA/ULPA filtrelerin sınıflandırılması, performans testlerinin yapılması, kaçakların ve toz toplama verimliliğinin belirlenmesi gibi en göze çarpan özelliklerini tanımlandı. EN 1822'nin getirdiği en önemli yenilik, modern partikül sayma teknolojisinin kullanılmasını sağlaması ve partikül toplama verimliliğini minimum verimliliğe göre belirlemesidir. Bütün ölçümler nominal hava debisinde yapılacak olup kullanılan test debisi belirtilecektir.

### 6.1. EN 1822 Test Prosedürünün Fiziki:

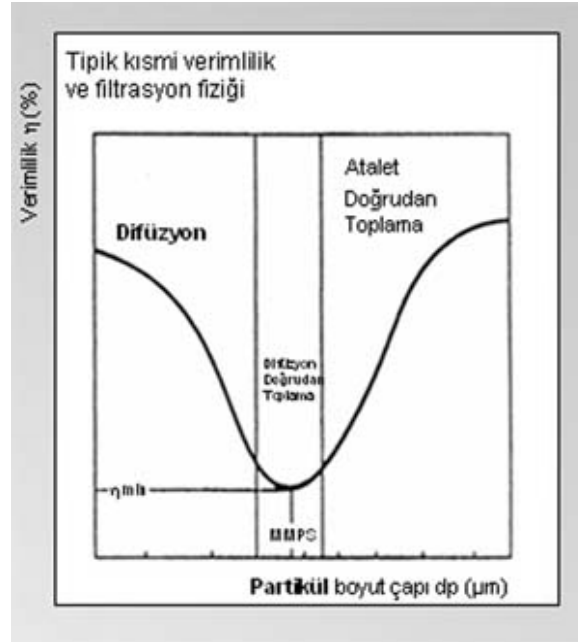
- Filtrelerin verimi, minimum verimi verecek tanecik boyuna göre belirlenecektir. Başka bir deyişle, belirli bir filtre kağıdı için belirli bir hızda en düşük verimlilik değerini veren partikül boyutuna göre test yapılmalıdır, bu boyut da "Most Penetrating Particle Size" ya da kısaca MPPS olarak adlandırılır. (Bkz. Şekil 10)
- Filtre verimi, öncelikle filtre çerçeveleri ve contasıyla birlikte tüm filtre konstrüksiyonu için, bunun ardından da tüm filtre yüzey alanı taranarak noktasal olmak üzere iki şekilde belirlenmelidir. Verimlilik değeri elde edilen geçirgenlik değeri kullanılarak hesaplanmalıdır. Test edilen filtre hareketli aerosol besleme nozülü ve ölçüm uçlarıyla kullanılarak taranmalıdır. Burada belirlenecek birden çok sayıdaki noktasal verimlilik değeri test raporuna eklenecek olan grafiğe işlenecektir.
- Verim için doğru sınıflandırmayı yapabilmek için noktasal ve filtrenin tamamının verimi tabloda gösterilmiş değerlere uygun olmalıdır.



Şekil 9. EN 1822 testi için kullanılan otomatik tarayıcı test cihazı.

Test prosedüründe önce, belirli hız için MPPS'ye göre filtre kağıdının testi yapılır. Aynı kağıtla üretilen filtre tarama testine tabi tutularak noktasal geçirgenlik ölçümü yapılır. Bu testte seçilecek hızın ve MPPS'nin filtre kağıdıyla yapılan testte kullanılanlarla aynı olması gerekmektedir. Noktasal değerlerin aritmetik ortalamasından filtrenin toplam geçirgenliği ve verimliliği hesaplanır. Şekil 9, EN 1822 testi için kullanılan otomatik tarayıcı test cihazını göstermektedir.

Yukarıda anlatılan yöntemle göre filtrenin H10 ile U17 arasında hangi sınıfa girdiği belirlenir (Tablo 1). Filtre imalatçısı, ortalama ve/veya noktasal geçirgenlik veya verimliliği hava hızı, MPPS değeri ve sınıflandırmayla birlikte belirtmelidir.



**Şekil 10.** Belirli bir filtre kağıdı için belirli bir hızda en düşük verimlilik değerini veren partikül boyutuna göre test grafiği

Yeni EN 1822 Standardı HEPA/ULPA filtreler için kullanılan BS 3928, DIN 24184 or AFNOR NF X44-013 gibi bütün ulusal standartların yerine geçmiştir.

Standart, kaçak testi için filtre taraması yapılmadığı takdirde yağ dumanı ile yapılan testin yapılmasına izin vermektedir.

## 6.2. Filtrenin monte edildiği yerde test edilmesi

Yukarıda anlatılan, filtre üreticilerinin fabrikada yaptığı testler, filtrenin monte edildiği yere uygulanamayabilir. Noktasal partikül tutma verimlerinin ortalaması olarak belirlenen filtrenin tamamındaki partikül tutma verimliliğini ölçmek için gerekli olan parametreler filtrenin monte edildiği mahalde tam doğru olarak ayarlanamayabilir.

Filtre üreticilerinin temin ettikleri her HEPA/ULPA filtre için ayrı bir test raporunu istemesi kullanıcılara önerilmektedir. Söz konusu raporların filtreyle ilgili bütün sayısal bilgileri içermesi gereklidir. Bu bilgiler; test sırasında kullanılan hava debisi, test debisinde filtrenin basınç düşümü, filtrenin MPPS'ye göre partikül tutma verimi ve buradan hesaplanan filtre sınıfı olarak sıralanmaktadır.

Filtre imalatçısının verdiği test raporlarıyla elde edilen noktasal ve filtre tamamında verimlilik değerlerinden sonra kullanıcı yerine monte edilen filtrenin nakliye, montaj sırasında hasar görmediğinden ve filtrede ya da contasında kaçak olmadığından emin olmalıdır.



Doğru montaj ve filtre montajının sıklığı kontrol edilmelidir. Bu testleri yapabilmek için gerekli detaylar ISO 14644-3 Standardı'nda bulunmaktadır. Bu standarda göre yapılan testlerle filtrenin verimliliği değil, paketleme, nakliye, taşıma ve montaj sırasında hasar görüp görmediği belirlenmektedir. Bu test ile tavan, duvar, kanal ya da herhangi bir cihaza monte edilmiş filtrelerin fotometre ya da partikül sayıcı kullanılarak çerçevesi ile medyasının arasından, yuvasının contasından, yuvanın oturduğu tavan ızgarasından kaçak olup olmadığı tespit edilmektedir. Bu standart kullanılacak cihazların da tanımını vermektedir.

ISO 5'e kadar temiz odalarda, H14'e kadar filtreler için sıvı aerosolün kullanımının probelme olmadığı mahallerde testler yapılabilmektedir.

## SONUÇ

Filtrelerin tipleri ve imalattan sonra geçmeleri gereken verimlilik testlerindeki standartlar gözden geçirilmiştir.

Ön ve kaba filtreler için laboratuarlarda yapılan testlerin gerçek işletme koşullarına uymadığı görüldüğü için yapılan testlerin metodları değiştirilmektedir. Geliştirilmiş en son standart olan EN 779:2002, laboratuvar koşullarında 0.4 mikron boyutundaki partiküllere göre verimliliğin saptanmasını sağlamaktadır. Ancak gerçek işletme koşullarındaki minimum ömür verimin ortaya çıkarılması için de filtre medya lifinin üzerindeki yükün boşaltılarak testin bir kez daha yapılarak raporlanmasını sınıflandırma şart koşmaktadır.

HEPA filtrelerin verimliliği, yeni kabul edilen EN 1822 Standardına göre, filtrenin geçirdiği en küçük parçanın yüzde olarak oranına göre saptanmaktadır. HEPA filtreler için imalatçıdan istenilen EN 1822'ye göre test edildiğine dair belge yeterli olmamaktadır, filtreler monte edildikleri yerde hali hazırda mevcut bulunan standartlara göre test edilmelidir. Test sırasında kullanılacak cihazların tanımları gene bu standartlarda yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] AAF Dökümantasyonu
- [2] Gustavsson J., "EN 779:2002 New European Test Method for Air Filters ", Filtration+Separation, Mart 2003.
- [3] NAFA Guide to Air Filtration, National Air Filtration Association, Third Ed., 2001

## ÖZGEÇMİŞ

### Lale ULUTEPE

1983 yılında Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 1986–1989 yılları arasında Alarko A.Ş.'nin mümessillik şirketi olan Almüt A.Ş.'de filtre satış ve pazarlaması konusunda çalıştı. 1990 yılında AAF International BV Hollanda firmasının Türkiye bürosu olan AAF Hava Filtreleri ve Ticaret A.Ş.'de çalışmaya başladı. Halen aynı firmada satış müdürü ve genel müdür yardımcısı olarak görevini sürdürmektedir. TTMD üyesi olarak İzmir İl Temsilciliğinin Hastane Hijyen Alt Komisyonunda çalışmıştır ve Ege Soğutma Sanayicileri ve İş Adamları Derneği'nde Genel Sekreterlik görevini yürütmektedir. Evlidir, İngilizce bilmektedir.