

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK VERİMLİ HAVA FİLTRELERİNİN TESTLERİ**

**BARIŞ DÖKMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
MAKİNE TEORİS VE KONTROL PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. AHMET SAĞIRLI**

**İSTANBUL, 2011**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK VERİMLİ HAVA FİLTRELERİNİN TESTLERİ**

Bariş DÖKMEN tarafından hazırlanan tez çalışması 19.10.11 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ  
İstanbul Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Yetersiz filtrasyon ile sistemlerde istenilen kadar koruma sağlanamazken, gereksiz filtrasyon ile enerji ve işletme maliyetleri artar. Doğru seçimi yapabilmek için sırasıyla kirleticiler ve bunların yaydığı partiküller, filtreler üzerinde basınç ve hız etkileri, filtrasyon mekanizmaları ve hava filtreleri (özellikleri, kullanım alanları) konularına hakim olmak gereklidir. Son kademe olmasından dolayı ilave hassasiyete sahip HEPA filtreler ile ilgili verimlilik değerleri ayrıca incelenmelidir. Bu tezin mevcut HEPA filtre imalatçıları, mekanik tesisat üzerine çalışanlar ve filtreler üzerine araştırma yapan öğrenciler için bir kaynak oluşturması amaçlanmıştır. HEPA filtre test standı ile, HEPA filtre sızdırmazlık testlerinin sıkıntı yaşanan bölgelere doğrudan gidilerek yapılması ve yerinde okunabilecek sonuçlarla etkinliklerin onanması sağlanabilir. Tezin yazılması aşamasında başta tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI olmak üzere, desteklerini esirgemeyen eşim ve aileme ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Ağustos, 2011

Barış DÖKMEN

## İÇİNDEKİLER

|                                             |      |
|---------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ .....                                 | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....                            | v    |
| SİMGE LİSTESİ.....                          | ix   |
| KISALTMA LİSTESİ.....                       | x    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                          | xi   |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                       | xiii |
| ÖZET .....                                  | xiv  |
| ABSTRACT .....                              | xvi  |
| BÖLÜM 1 .....                               | 1    |
| GİRİŞ .....                                 | 1    |
| 1.1    Literatür Özeti .....                | 1    |
| 1.2    Tezin Amacı .....                    | 2    |
| 1.3    Hipotez .....                        | 2    |
| BÖLÜM 2 .....                               | 4    |
| HAVADAKİ KİRLETİCİLER VE PARTİKÜLLER .....  | 4    |
| 2.1    Havadaki Kirleticiler .....          | 5    |
| 2.1.1    Farklı partikül boyutları .....    | 6    |
| 2.1.2    Partiküllerin etkileri.....        | 7    |
| BÖLÜM 3 .....                               | 9    |
| BASINÇ-HIZ ARASI GEÇİŞLER (FORMÜLLER) ..... | 9    |
| 3.1    Bernoulli denklemi .....             | 9    |
| 3.2    Darcy Kanunu ve Basıç Düşümü .....   | 10   |
| BÖLÜM 4 .....                               | 11   |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| FİLTASYON .....                                                    | 11 |
| 4.1 Filtrelerin Fonksiyonları.....                                 | 11 |
| 4.2 Filtrasyon Mekanizmaları .....                                 | 12 |
| 4.2.1 Eleme Prensibi (Straining-Sieving) .....                     | 13 |
| 4.2.2 Ataletle bağı tutma.....                                     | 13 |
| 4.2.3 Viskoz Çarpma .....                                          | 14 |
| 4.2.4 Yolunu kesme – Yakalama Prensibi.....                        | 14 |
| 4.2.5 Yayılma (Difüzyon prensibi) .....                            | 15 |
| 4.2.6 Yer çekimi etkisi (Çökelme) .....                            | 15 |
| 4.2.7 Elektrostatik çöktürme.....                                  | 16 |
| 4.2.8 Filtrasyon prensiplerinin birleştirilerek kullanılması ..... | 17 |
| BÖLÜM 5 .....                                                      | 19 |
| HAVA FİLTRELERİ .....                                              | 19 |
| 5.1 Hava Filtrelerinde Aranılan Özellikler .....                   | 19 |
| 5.1.1 Hava Akımına Karşı Direnç .....                              | 19 |
| 5.1.2 Toz Tutma Kapasitesi.....                                    | 20 |
| 5.1.3 Verimlilik.....                                              | 21 |
| 5.1.4 Filtre Ömrü (Minimum Ömür Verimi) .....                      | 22 |
| 5.2 Filtre Performansını Etkileyen Faktörler .....                 | 22 |
| 5.3 Filtre Verimlilik Testleri .....                               | 23 |
| 5.3.1 EN 779:2002 Test Metodu .....                                | 25 |
| 5.3.1.1 Test Yapılan Düzenegın Kalitesinin Kontrolü.....           | 27 |
| 5.3.1.2 Test Aerosolü.....                                         | 27 |
| 5.3.1.3 EN 779'a Uygun Şekilde Yapılan Raporlama .....             | 28 |
| 5.3.2 Dizel Dumanı Testi.....                                      | 29 |
| 5.3.3 ASHRAE 52.2.....                                             | 30 |
| 5.3.4 Filtrelerin Sınıflandırılması .....                          | 31 |
| 5.3.5 EN 779 standartına göre sınıflandırma .....                  | 32 |
| 5.3.6 ASHRAE Standardına göre sınıflandırma.....                   | 33 |
| 5.3.7 Farklı standartların karşılaştırılması .....                 | 36 |
| 5.3.8 Filtre Kullanım Alanları .....                               | 38 |
| BÖLÜM 6 .....                                                      | 40 |
| HEPA FİLTRELER.....                                                | 40 |
| 6.1 HEPA Filtre Tarihçe.....                                       | 40 |
| 6.2 HEPA Filtreyi Oluşturan Öğeler .....                           | 42 |
| 6.2.1 Filtre Medyası.....                                          | 43 |
| 6.2.2 Dolgu Macunu .....                                           | 46 |
| 6.2.3 Çerçeve.....                                                 | 46 |
| 6.2.4 Contalar .....                                               | 46 |
| 6.3 HEPA Filtre İmalatı.....                                       | 47 |
| 6.4 Partikül Ölçerler .....                                        | 52 |
| 6.4.1 Light blocking- Işık engelleyici .....                       | 53 |
| 6.4.2 Light Scattering- Işık dağıtmalı .....                       | 53 |

|                                                  |                                                           |    |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----|
| 6.4.2.1                                          | Çalışma teorisi, avantaj ve dezavantajları: .....         | 54 |
| 6.4.3                                            | CNC Partikül ölçer.....                                   | 56 |
| 6.4.4                                            | Partikül Ölçer Karşılaştırması: .....                     | 56 |
| 6.5                                              | Fotometre .....                                           | 57 |
| 6.5.1                                            | Çalışma Prensibi ve Parçaları: .....                      | 58 |
| 6.5.1.2                                          | Örnekleme Sistemi : .....                                 | 59 |
| 6.5.1.3                                          | Işık Dağıtıcı Hücre .....                                 | 59 |
| 6.5.1.4                                          | Amplifikatör .....                                        | 59 |
| BÖLÜM 7                                          | .....                                                     | 60 |
| HEPA FİLTRE VERİMLİLİK TESTLERİ VE SINIFLANDIRMA | .....                                                     | 60 |
| 7.1                                              | HEPA Filtre verimlilik testleri ve sınıflandırma.....     | 60 |
| 7.1.1                                            | BS 3928 : 1969.....                                       | 62 |
| 7.1.2                                            | EN 1822 Test Prosedürü.....                               | 62 |
| 7.1.3                                            | Dry Testing (Kuru Test).....                              | 65 |
| 7.1.4                                            | ASHRAE ve MERV .....                                      | 66 |
| 7.2                                              | HEPA Filtre Verimlilik Testleri Karşılaştırılması .....   | 67 |
| 7.2.1                                            | Amerika .....                                             | 67 |
| 7.2.2                                            | Avrupa .....                                              | 68 |
| 7.2.3                                            | Standart Karşılaştırması .....                            | 70 |
| 7.2.3.1                                          | Test Prosedürü Karşılaştırma .....                        | 71 |
| 7.2.3.2                                          | Test Farklılıkları.....                                   | 72 |
| 7.2.3.3                                          | EN 1822 ile IEST-RP-CC001.4 arasındaki farklılıklar ..... | 73 |
| 7.2.3.4                                          | Test Aerosolü Seçimi .....                                | 74 |
| 7.3                                              | HEPA Filtre Sınıflandırması.....                          | 74 |
| 7.4                                              | Mevcut problemler ve gelişim eğilimi.....                 | 75 |
| BÖLÜM 8                                          | .....                                                     | 77 |
| HEPA FİLTRE TEST STANDI                          | .....                                                     | 77 |
| 8.1                                              | Test Standı Elemanları.....                               | 77 |
| 8.1.1                                            | Deney ön filtresi .....                                   | 77 |
| 8.1.2                                            | Hız düzenleyicili fan.....                                | 78 |
| 8.1.3                                            | Aerosol jeneratör (TEC Service AG-E1) .....               | 79 |
| 8.1.4                                            | Kontrol ve ölçü aletleri .....                            | 79 |
| 8.1.5                                            | Aerosol fotometre (TEC Service PH-5) .....                | 80 |
| 8.1.6                                            | Deney filtresi .....                                      | 80 |
| 8.1.7                                            | Prob için hareket sistemi.....                            | 80 |
| 8.1.8                                            | Baskı plakası .....                                       | 81 |
| 8.1.9                                            | Davlumbaz.....                                            | 82 |
| 8.1.10                                           | Upstream örnekleme probu.....                             | 82 |
| 8.2                                              | Test Standı Çalışma Prensibi .....                        | 83 |
| 8.3                                              | Deney Sonuçları ve Yorumlar .....                         | 84 |
| 8.3.1                                            | Debi-penetrasyon miktarı .....                            | 84 |
| 8.3.2                                            | Filtre yüzey hava hızı- penetrasyon miktarı .....         | 85 |
| 8.3.3                                            | Fark basınç- penetrasyon miktarı.....                     | 86 |

|           |                     |    |
|-----------|---------------------|----|
| 8.4       | Tez Sonuçları ..... | 87 |
| KAYNAKLAR | .....               | 88 |
| 9         | ÖZGEÇMİŞ .....      | 90 |

## SİMGE LİSTESİ

---

|        |                                       |
|--------|---------------------------------------|
| $\rho$ | Havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ) |
| $\mu$  | Viskozite ( $\text{g/cm-s}$ )         |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|        |                                                                             |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|
| HEPA   | High-Efficiency Particulate Air                                             |
| ULPA   | Ultra Low Penetration Air                                                   |
| ASHRAE | American Society of Heating, Refrigeration, and Air -Conditioning Engineers |
| CEN    | European Committee for Standardization                                      |
| EN     | European Norm                                                               |
| DEHS   | Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat                                                      |
| IPA    | Isopropanol Alcohol                                                         |
| ANSI   | American National Standards Institute                                       |
| NAFA   | National Air Filtration Association                                         |
| MERV   | Minimum Efficiency Reporting Value                                          |
| PSE    | Average Particle Size Efficiency                                            |
| DHC    | Dust Holding Capacity                                                       |
| IEST   | Institute of Environmental Sciences and Technology                          |
| DOP    | Dispersed Oil Particulate                                                   |
| MDF    | Medium-density Fiberboard                                                   |
| OPC    | Optical Particle Counter                                                    |
| CNC    | Condensation nuclei counter                                                 |
| VDMA   | Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau                                 |
| DIN    | Deutsches Institut für Normung                                              |
| FDA    | Food and Drug Administration                                                |
| MPPS   | Most Penetrating Particle Size                                              |
| PAO    | Poly-Alpha-Olefin                                                           |
| DMA    | Differential Mobility Analyzer                                              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                   | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1 Havada bulunan kirleticiler ve boyutları.....                                                                                                           | 5     |
| Şekil 2.2 Farklı partikül boyutları.....                                                                                                                          | 7     |
| Şekil 3.1 Hava hızı-Basınç düşümü grafiği .....                                                                                                                   | 10    |
| Şekil 4.1 Filtrasyon mekanizmaları.....                                                                                                                           | 12    |
| Şekil 4.2 Eleme Prensibi .....                                                                                                                                    | 13    |
| Şekil 4.3 Atalete bağlı tutma .....                                                                                                                               | 13    |
| Şekil 4.4 Yolunu kesme prensibi.....                                                                                                                              | 14    |
| Şekil 4.5 Difüzyon prensibi .....                                                                                                                                 | 15    |
| Şekil 4.6 Yer çekimi etkisi .....                                                                                                                                 | 16    |
| Şekil 4.7 Elektrostatik çöktürme .....                                                                                                                            | 17    |
| Şekil 4.8 Filtrasyon mekanizmalarının bir arada kullanılması .....                                                                                                | 17    |
| Şekil 4.9 Partikülün filtrasyon mekanizmalarından geçişi.....                                                                                                     | 18    |
| Şekil 4.10 Filtrasyon partikül boyut grafiği.....                                                                                                                 | 18    |
| Şekil 5.1 Laboratuvarda ve gerçek işletme koşullarında test edilen ve elektrostatik yük ile yüklü filtrelerin toz yüküne göre basınç düşümü değişimi.....         | 21    |
| Şekil 5.2 EN 779:1993'te, kullanılan test düzeneğinin temel yapısı.....                                                                                           | 26    |
| Şekil 5.3 EN 779:2002'ye uygun olarak yapılan, filtrelenecek havaya toz beslenmesinin ardından partikül boyutlarına göre oluşan verimlilik eğrileri grafiği ..... | 28    |
| Şekil 5.4 EN 779:2002 standardına göre test sınıflandırılması.....                                                                                                | 30    |
| Şekil 5.5 Farklı standartlara göre filtre verimliliklerinin karşılaştırılma .....                                                                                 | 38    |
| Şekil 6.1 HEPA filtre fiber yapısı .....                                                                                                                          | 41    |
| Şekil 6.2 Filtre seperatörü .....                                                                                                                                 | 45    |
| Şekil 6.3 Minipile filtre .....                                                                                                                                   | 45    |
| Şekil 6.4 Pile makinesi .....                                                                                                                                     | 47    |
| Şekil 6.5 Hotmeltlerin kağıda sürülmesi.....                                                                                                                      | 48    |
| Şekil 6.6 HEPA filtre keki .....                                                                                                                                  | 48    |
| Şekil 6.7 İçi poliüretan doldurulmuş çerçeve .....                                                                                                                | 49    |
| Şekil 6.8 HEPA filtre ve ızgara.....                                                                                                                              | 49    |
| Şekil 6.9 Çerçevenin ızgaralı HEPA filtre kekine montajı.....                                                                                                     | 50    |
| Şekil 6.10 Contanın filtreye yapıştırılması.....                                                                                                                  | 50    |
| Şekil 6.11 HEPA Filtre test standı .....                                                                                                                          | 51    |
| Şekil 6.12 Partikül ölçer çeşitleri .....                                                                                                                         | 52    |
| Şekil 6.13 Işık engelleyici partikül ölçer.....                                                                                                                   | 53    |
| Şekil 6.14 Partikül ve ışık etkileşimi.....                                                                                                                       | 54    |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 6.15 Işık dağılımlı partikül ölçer .....                                                                                             | 55 |
| Şekil 6.16 CNC partikül ölçer .....                                                                                                        | 56 |
| Şekil 6.17 Fotometre cihazı parçaları .....                                                                                                | 58 |
| Şekil 7.1 EN 1822 testi için kullanılan otomatik tarayıcı test cihazı .....                                                                | 63 |
| Şekil 7.2 Belirli bir filtre kağıdı için belirli bir hızda en düşük verimlilik değerini veren<br>partikül boyutuna göre test grafiği ..... | 65 |
| Şekil 7.3 HEPA Filtre verimlilik testleri gelişimi .....                                                                                   | 70 |
| Şekil 8.1 HEPA Filtre Test Standı .....                                                                                                    | 77 |
| Şekil 8.2 Fan eğrisi .....                                                                                                                 | 78 |
| Şekil 8.3 Aerosol Jeneratör .....                                                                                                          | 79 |
| Şekil 8.4 Aerosol Fotometre .....                                                                                                          | 80 |
| Şekil 8.5 Örneklem probu .....                                                                                                             | 83 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

|                                                              | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2. 1 Aktiviteye göre yayılan toplam partikül sayısı  | 6     |
| Çizelge 2. 2 Atmosferde partikül dağılımı                    | 8     |
| Çizelge 5. 1 EN 779'ye göre filtre sınıflandırılması         | 32    |
| Çizelge 5. 2 ASHRAE 52.2 Test partikül boyutları             | 34    |
| Çizelge 6. 1 Separatör boyutları                             | 43    |
| Çizelge 7. 1 HEPA filtre test standartları karşılaştırılması | 70    |
| Çizelge 8. 1 Debi-penetrasyon eğrisi                         | 85    |
| Çizelge 8. 2 Filtre yüzey hava hızı-penetrasyon eğrisi       | 85    |

## YÜKSEK VERİMLİ HAVA FİLTRELERİNİN TESTLERİ

Barış DÖKMEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI

Havalandırma sistemleri mekanik tesisat konusunun en hassas noktalarından biridir. Yeterli havalandırma, ısıtma, soğutma, nemlendirme proseslerinin eksikliği, insanlar, makineler ve ortam şartları üzerinde yarattığı olumsuz etkilerle birçok soruna neden olurlar. Gerekli değerler, birçok parametreyi içeren hesaplarla elde edilerek optimum şartlar sağlanabilir. Kullanılacak ekipman ve cihazların seçimi de bu parametrelerin en önemlilerindendir.

Filtrasyon, belli bir akışkanın, istenilmeyen maddelerden arındırılması olarak tanımlanabilir. Havalandırma filtrelerinin görevi de, içinde bulunduğu verimlilik sınıfına göre, farklı büyüklükte partikülleri tutarak, sistemi zararlı ya da zararlı olabilecek etkilerden korumaktır. Filtrelerin verimlilik sınıfı arttıkça, yaptığı görev, koruması gereken ortam şartları hassaslaşır.

Yüksek verimli HEPA ve ULPA filtreler, filtrasyon sürecinde son kademedede yer alırlar. Bu filtrelerin amacı, ön filtrelerin tutamadığı küçüklükte partikülleri, fiberleri arasındaki mesafenin düşük olması sayesinde engellemektir. Diğer filtrelere göre daha hassas bir üretim sürecine sahip olan yüksek verimli filtreler partikül kontrollü ortam yaratmak için en gerekli bileşenlerdir.

Böyle yüksek öneme sahip filtrelerin işlevlerini gerçekleştirildiğinden emin olunmalıdır. Bunun için önce bu filtrelerin verimlilik sınıfları iyice anlaşılmalıdır. Filtreler için hangi alanda, hangi şartlarda nasıl seçim yapılacağının belirlenmesi gerekmektedir. Seçime karar verildikten sonra, seçilen her HEPA filtre birer birer testten geçilerek istenilen minimum penetrasyon değerlerini sağladığı kontrol edilmelidir.

Yüksek verimli filtre test standı ile her filtrenin standartlarda belirtilen değerleri sağlayıp sağlayamadığı kontrol edilebilir. Filtrelerde en çok sızıntıya müsait bölgeler tespit edilerek, iyileştirmelerin yapılması sağlanabilir. Mevcut filtre tamir yöntemlerinin etkinliği test edilebilir ve filtrelerin farklı basınç ve hız değerlerine göre çalışma performansları değerlendirilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Filtrasyon, HEPA filtre, filtre verimlilik, partikül, PAO yağı, filtre test penetrasyon miktarı, fotometre, partikül ölçer

**TESTING OF HIGH EFFICIENCY AIR FILTERS**

Bariş DÖKMEN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assistant Prof. Dr. Ahmet SAĞIRLI

HVAC systems are one of the essentials parts in mechanical installations. The negative effects arising from lack of sufficient ventilation, heating, cooling and humidifying processes, create problems for human, machines and surrounding conditions. Optimum conditions are only obtained with required values calculated using lots of parameters. The selection of equipments that will be used is one of the most important parameter.

Filtration can be described as purifying of a certain fluid from the undesirable substances. The role of the air filters is to protect the system from harmful effects according to their efficiency classes by holding particles of different sizes. As the efficiency classes of filters rise, the role and the surrounding conditions that needs to be protected gets more delicate.

High efficient HEPA and ULPA filters, take part on the last stage of air filtration. The aim of these filters is to seize the smallest particles penetrating from the pre-filters with the help of the low distance between their fibres. These filters have a more complex manufacturing process and they are the most essential component to create a particle controlled environment.

We have to be sure of these filters fulfilling their purpose because of their high importance level. To achieve this, first the efficiency class has to be understood, and selection methods under different areas and different conditions has to be established.

After the decision, every selected HEPA filter must be tested to control if they satisfy the minimum penetration values.

With high efficient filter test stand each filter can be checked with the values stated in the standards. The most probable penetration areas can be spotted and possible remedations can be made. The efficiency of current filter repair methods can be tested and filters working performances under different pressure and air velocities can be evaluated.

**Key words:** Filtration, HEPA filter, filter efficiency, particle, PAO oil, filter test, penetration value, photometer, particle counter

#### 1.1 Literatür Özeti

Bu tezde HEPA filtreleri sızdırmazlık yönünden test eden bir stand dizayn edilmiştir. Bu çalışmaya paralel olarak daha önce Avrupa'da ve Amerika'da çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

1956'da Amerika'da MIL-STD-282 <DOP kullanarak Filtreler, Koruyucu Giysiler, Gaz maskesi komponentleri ve ilgili ürünler: Performans ve test metodları> yayınlandı. 1959'da Underwriters Lab. Firması ANSI/UL 586:1959 <Hava Filtreleri>'ini yayınladı. 1975 ve 1976'da ANSI komitesi sırasıyla ASME N509'u ve ASME/ANSI N510'u yayınladı ve aynı yayınları 1980 ve 1981'de revize etti. 1986'da ASME AG-1-1986<Nükleer Hava ve Gaz İşleme Kılavuzu> yayınlandı. Sayısız revizyondan sonra kılavuz son hali olan ASME AG-1-2003'e dönüştü. 1992 ve 1993 yıllarında Institute of Environment Sciences and Technology (IEST) bir seri HEPA/ULPA filtre test standardı yayınladı. Bunların içerisinde IEST-RP-CC007.1:1992< ULPA Filtre Testleri>, IEST-RP-CC001.3:1993<HEPA ve ULPA Filtreler> ve IEST-RP-CC-006.2:1993< Temiz Oda Testleri> yer alıyordu.

2005 yılında IEST IEST-RP-CC001.4 <HEPA ve ULPA Filtreler> ve IEST-RP-CC034.2<HEPA ve ULPA Filtre Sızdırmazlık Testleri> yayınladı.

Avrupa'da ilk olarak kullanan BS3928-1969 metodu ile testler gerçekleştirilmeye başlandı. Daha sonra, 1984'te EUROVENT, EUROVENT 4/4 <Fotometre kullanarak filtreler için sodyum klorür aerosol testi>ni yayınladı. 10 yıllık uğraşının sonucunda 1998 ve 2000 yılları arasında, CEN EN 1822'yi yayınladı. Tez çalışmaları yukarıdaki literatür doğrultusunda hazırlanmıştır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Filtrasyon yolu ile havadan bulunan partiküller istenilen seviyelere çekilmeye çalışılır. Özellikle hassas üretim yapan (gıda, mikroelektronik, optik vs.) ve hijyen alanında çalışan kuruluşlar için partikül kontrolü, üretimin en hassas bölümlerinden biridir. Partikül kontrolü bu alanlarda, yüksek verimli filtreler olan HEPA filtreler ile yapılır. HEPA filtrelerin partikül tutma(yakalama) özelliğinde bulunacak kusurlar üretimde, sağlığımızda çok ciddi sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle HEPA filtrelerin imalat aşamasında denetlenmeleri ve istenilen değerlerde filtrasyonlarının belgelendirilmesi gerekmektedir. HEPA filtre test standı ile hem imalat, hem de uygulama aşamasında filtreler denetlenerek, bu değerler tespit edilmektedir. Mevcut kusurlar ve nedenleri ortaya çıkarılmakta ve ayrıca HEPA filtrelerin karakteristikleri basınç ve hız değerlerine göre irdelenerek optimum çalışma koşulları bulunmaktadır. Test standı ile asıl amaçlanan, HEPA filtrelerin yüzeyi boyunca denetlenerek, yüzdesel olarak ne kadar penetrasyona izin verdiğinin denetlenmesidir. Standın tasarımına, özellikle yüksek miktarda HEPA filtreye sahip ilaç, savunma ve gıda sanayi, hastaneler ve kontrollü endüstriyel binalarda gözlemlenen problemler sonucu karar verilmiştir. Bu mekanlarda, HEPA filtre değişim zamanlarında alımı yapılan filtrelerin imalat, stoklama ya da nakliye sırasında oluşmuş, filtre ve conta verimlerini düşürebilecek kusurların montajdan önce bulunması ile, sonradan oluşabilecek iş gücü, enerji ve üretim maliyetlerinin önüne geçilmektedir.

## **1.3 Hipotez**

Tanım olarak, HEPA filtre 0.1 ve 5 mikron aralığında partikülleri tutma kabiliyetine sahip, ısıtılarak üretilmiş DOP veya spesifik edilmemiş alternatif aerosollerin 0.3 mikron boyutundaki partiküllerini %99.97 veriminde tutan filtredir. Filtre testleri HEPA filtre çıkışında farklı hız ve debiler için gerçekleştirilmektedir. Amerika’da ve Avrupa’da farklı standartlar ile HEPA filtrelerde müsaade edilen sızıntı miktarları tanımlanmıştır. Avrupa’da bu testler EN1822 standardı altına, MPPS denilen ve en çok penetre eden partikül boyutu denilen partikül boyutları için gerçekleştirilir ve sonuçlar partikül ölçer cihazları ile kontrol edilir. Amerika’da ise ASHRAE 52.2 standardında belirlenmiş 12 partikül boyutu ile filtreler zorlanır. Partikül ölçerler fotometreler kullanılarak filtre önü

ve arkası ölçümler kıyaslanarak penetrasyon miktarı belirlenir. Dizayn edilen HEPA filtre test standında MPPS'ye yakın değerde zorlayıcı aerosol kullanılarak, HEPA filtrenin tanımlanan konsantrasyonun ne kadarını tutabildiği aerosol fotometre yardımı ile ölçülmektedir. Çıkan sonuçlar diğer testlerde ölçülen verimlilik ile kıyaslanmaktadır. Filtre sertifikalarında belirtilen verimlilik değeri ile uygulama alanındaki verimlilik değerleri karşılaştırılmaktadır.

## BÖLÜM 2

---

### HAVADAKİ KİRLETİCİLER VE PARTİKÜLLER

Havalandırma anlam olarak sıcaklık, nem, temizlik ve dağıtım kontrollerini içerir.

Hava yaklaşık olarak %21 oksijen, %78 azot, %1 karbondioksit ve azot ve diğer gazların bileşiminden oluşur. Soluduğumuz havada aynı zamanda doğal, beşeri ve endüstriyel proseslerden meydana gelen partiküller ve gazlar da yer alır. Sağlığımızı ve konforumuzu etkileyen, bulunduğumuz ortamlara zarar veren, ürettiğimiz malzemeleri etkileyen partikül ve gazlarla doğrudan ilişki içerisinde bulunuruz.

Her insan günde yaklaşık 22.000 kez nefes alıp verir. Her nefesle 40.000 ila 70.000 adet partikül vücuda girer. Bu toz parçacıklarının virüsler için birer taşıyıcı olduğunu düşünürsek yalnızca havanın solunmasının bile vücuda virüs girmesinde ne kadar önemli rol oynadığını görürüz. Toz virüslere taşıyıcılık yaparak sağlığımızı etkilediği gibi, istemediğimiz yerlere girip birikerek temizlik gerektirmekte, mekanik aletlerin üzerinde birikerek aşınmalara neden olmaktadır. Mikroelektronik sektörü gibi hassas üretim gerektiren alanlarda en düşük toz miktarları bile yüksek zararlar yaratmaktadır.

Günümüze kadar havayı temizlemek için bir çok girişimde bulunulduysa da soluduğumuz hava temiz olarak adlandırılmaz. Kirletici olarak sayfalar dolusu kirletici kaynağı yazılabilir. Eskiden kapalı bir ortamda en genel kirletici olarak dış ortam havası gösteriliyordu. 1970'lerdeki petrol krizi ile birlikte enerji tasarrufu önlemi olarak havalandırma sistemlerinde daha az dış ortam havası kullanılmaya başlandı. Bu yöntemle beraber alanlarda kirletici birikmesi meydana gelerek iç hava kalitesi problemleri yaşanmaya başladı. Bu kirleticiler bina malzemeleri ve cilaları, mobilya ve

armatür, insanlar, prosesler ve bina içerisinde bulunan malzemeler olarak sayılabilir. Yemek kokusu gibi çoğu partikül ve moleküler kirleticiler rahatsız edici, hatta hasta edici olarak kabul edilebilir. Kaynağından bağımsız olarak hava yoluyla bir kirletici bir aerosol ya da gaz olabilir.

## 2.1 Havadaki Kirleticiler

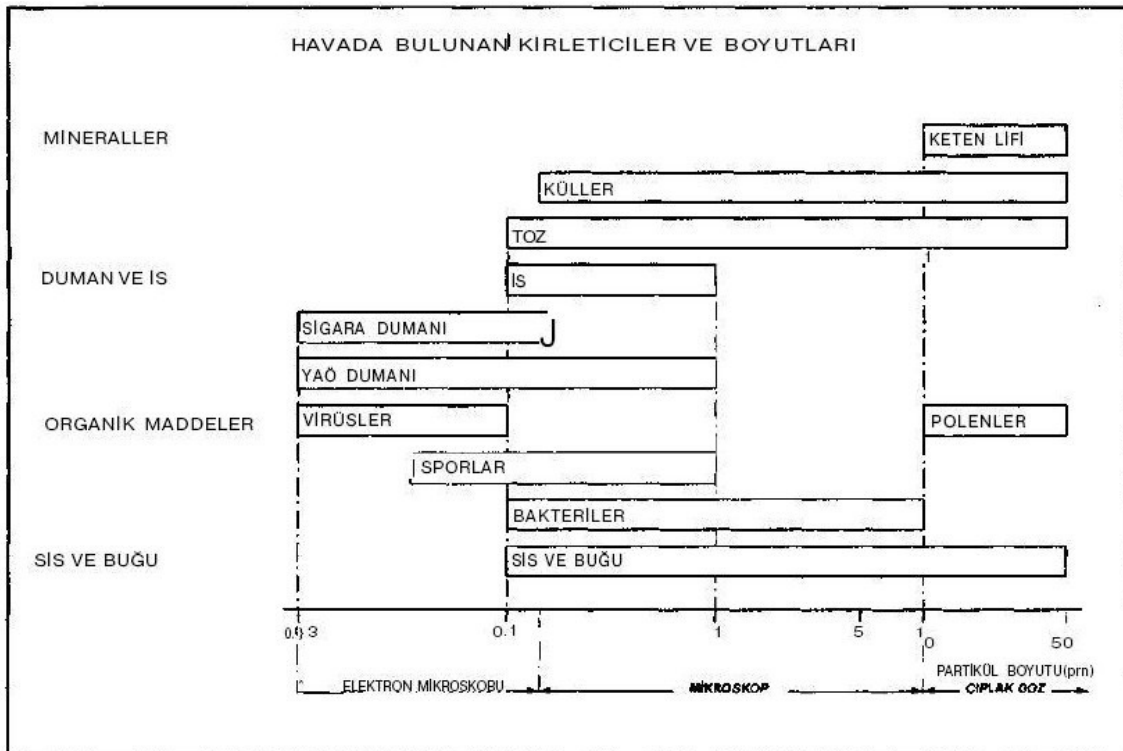
Havadaki kirleticileri üç gruba ayırabiliriz:

İlk grupta toz, duman bulunur. Bu kategori, silisli mineralleri, kumu, doğal ve sentetik lifleri ve karbonu içermektedir. Serbest karbon, is, kurum, kül ve dumanda bulunur. Karbon doğadaki en kirletici elemandır. Bir yüksük karbon siyahı 4000 m<sup>2</sup> beyaz kağıdı kirletmeye yetebilir.

Birleşik karbona ise, çürümüş hayvan ve bitki artıkları, tohum, polen ve birçok diğer biçimlerde rastlamak mümkündür.

İkinci grup kirleticiler, bulut ve sis şeklinde görülen sıvı partiküllerdir.

Sonuncu grup ise gaz veya katı olmayan taneciklerin oluşturduğu kirleticilerdir.



Şekil 3.1 Havadaki kirleticiler ve boyutları

Bir şehir merkezinden alınmış hava örneği bir metreküpte 700 milyonun üzerinde partikül içerir. Bu partiküllerin %95'inden fazlasını 1 mikrondan daha küçük gözle görülemeyen düşük verimliliğe sahip filtrelerden rahatlıkla geçebilen, sistem bileşenlerini, hava kanallarını, alanları ve insanların solunum yollarını kirleten partiküller oluşturur.

Yukarıda belirtilen alanları koruyacak efektif bir filtrasyon sisteminin, bu boyuttaki partikülleri tutabilmesi gereklidir. Sistemin bunu başarabilmesi kullanacağı hava filtresinin kalitesine bağlıdır.

Her insan aktivitesi ile partiküller üretilir ve üretilen partiküller havaya karışır. Havada bulunan partiküllerin miktarı insan sağlığı açısından çok önemlidir. Oturan ya da ayakta dikilen bir insan bir fit küpte yaklaşık olarak 100,000 partikül üretir. İnsanın pozisyonunu değiştirmesiyle fit küpte 2,5 milyon partikül üretmiş olur. Orta derecede aktivite (yürümek vs.) ile fit küpte yaklaşık olarak 30 milyon partikül oluşur. Endüstriyel prosesler sırasında ortaya milyarlarca partikül çıkar.

Çizelge 2. 1 Aktiviteye göre yayılan toplam partikül sayısı

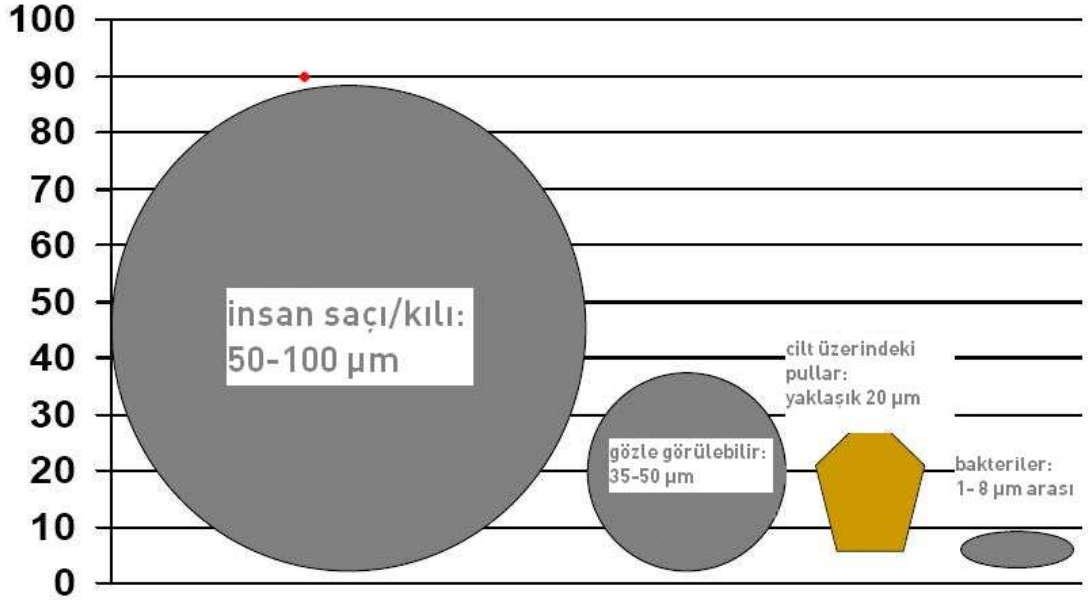
| AKTİVİTE              | YAYILAN TOPLAM PARTİKÜL SAYISI (ADET) |
|-----------------------|---------------------------------------|
| OTURMAK               | 100.000                               |
| KOL ÇEVİREREK OTURMAK | 500.000                               |
| OTURMAK-AYAĞA KALKMAK | 2.500.000                             |
| KOŞMAK                | 10.000.000                            |

#### 2.1.1 Farklı partikül boyutları

Üretici kaynağa göre partiküller boyut bakımından farklılık gösterirler. Büyük ve küçük partikül boyutlarını karşılaştırmak için insan saç teli iyi bir referans olabilir. Farklı partikül boyutları aşağıdaki gibidir:

- İnsan saç (50-150 mikron)
- Ev içi toz ve tiftik (0.01-100 mikron)
- Polen (10-110 mikron)

- K f (1-50 mikron)
- Sigara dumanı (0.01-1 mikron)
- Virüs ve bakteri (0.001-10 mikron)



Şekil 3.2 Farklı partikül boyutları

### 2.1.2 Partiküllerin etkileri

10 mikrondan daha küçük partiküller insanlarda solunum sistemi problemlerine neden olabilirler. Sağlıklı bir insan vücudu solunum sistemi yardımı ile 3-5 mikron k   kl ğ ndeki partikülleri filtreleyebilir. Bu boyuttan daha küçük partiküllere maruz kalmak insanlar için sağlık riskleri yaratabilir.

Hastalıklar insandan insana, doğrudan temas ya da hava yoluyla taşınırlar. Hava yolu ile taşınma havada asılı bulunan 1-5 mikron boyutlarındaki çok hafif partiküller ve aerosollerin solunması ile ortaya çıkar. Enfeksiyona neden olacak bakteriler, küfler ve virüsler de kurum, deri hücresi, aerosol damlacıkları gibi organik ve inorganik toz partiküllere yapışarak havanın içinde taşınırlar. Bu boyuttaki partiküller solunum yoluyla kolaylıkla ciğerlere ulaşıarak orada birikim yaparlar, savunmasız bir vücut bulduklarındaysa bağışıklık sistemini yenip hastalığa yol açabilirler.

Çizelge 2. 2 Atmosferde partikül dağılımı

| PARTİKÜL BOYUTU<br>(MİKRON) | PARTİKÜL SAYISI<br>OLARAK YÜZDE | AĞIRLIK OLARAK<br>YÜZDE |
|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 0-1                         | 98.5 %                          | 3 %                     |
| 1-3                         | 1.07 %                          | 6 %                     |
| 3-5                         | 0.25 %                          | 11 %                    |
| 5-10                        | 0.175 %                         | 52 %                    |
| 10-30                       | 0.005 %                         | 28 %                    |

### BASINÇ-HIZ ARASI GEÇİŞLER (FORMÜLLER)

İki nokta arasında hava akışı noktalar arasındaki basınç farkından kaynaklanır. Bu basınç farkı hava üzerine bir kuvvet uygulanmasına ve havanın yüksek basınçlı noktadan alçak basınçlı noktaya hareket etmesine neden olur. Hareket eden hava miktarı  $Q$ , havanın hızı  $V$ , havanın geçtiği alan da  $A$  olarak gösterilirse:

$$Q = V \cdot A \quad (3.1)$$

#### 3.1 Bernoulli denklemi

Hangi çeşit olursa olsun filtre medyası geçirgen bir bariyer olarak düşünülebilir. Filtre bir hava akımı önüne koyulduğu zaman, havanın serbest akışını engelleyen ve basınç kaybı olarak ortaya çıkan bir direnç gösterir.

Bu direncin miktarı medyayı oluşturan liflerin tip, dağılım ve dizilim yoğunluğu gibi özelliklere göre değişiklik gösterir. (Bkz. Bölüm 5) Sonuç olarak belli bir hava akışı ile karşılaşan belli bir yüzey alanına sahip filtre göz önüne alındığında, farklı medya malzemeleri çok geniş aralığa sahip direnç ve basınç kaybı değerleri verirler.

Basınç kaybı Bernoulli denklemine göre:

$$P_2 - P_1 = K \cdot 2 \cdot \rho \cdot V^2 \quad (3.2)$$

$P_2 - P_1$  = Filtre üzerindeki toplam basınçta oluşan değişim miktarı (Pa)

$K$  = Filtrenin kayıp faktörü (boyutsuz)

$\rho$  = Hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = Filtre yüzeyindeki hız (m/s)

2.  $\rho \cdot V^2$  ifadesi genellikle  $q$  ile gösterilir ve dinamik basınç olarak adlandırılır.  $K$  boyutsuz olduğundan dolayı, filtre basınç kaybı yoğunluğa ve filtre yüzeyindeki hıza bağlıdır. Filtre medyası sıkıştırılabilir olduğundan geçirgenlik değerleri değişkenlik gösterir.

### 3.2 Darcy Kanunu ve Basınç Düşümü

$$\Delta P = KU\mu L \quad (3.3)$$

$\Delta P$  = Basınç düşümü

$K$  = Darcy Kanunu sabiti

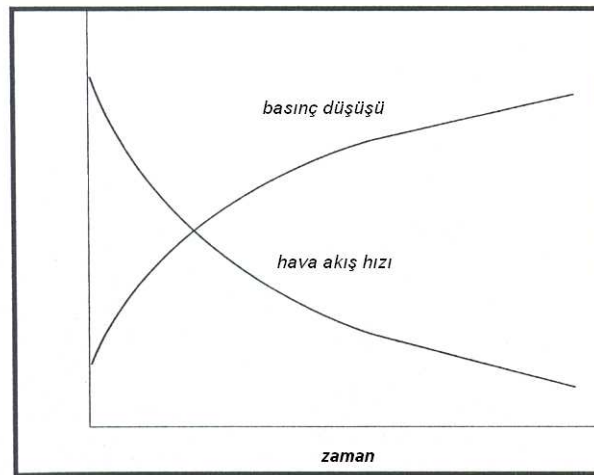
$U$  = Filtre yüzeyindeki akışkan hızı (cm/s)

$\mu$  = Viskozite (g/cm-s)

$L$  = Filtre kalınlığı (cm)

Darcy kanuna göre basınç düşümü akışla orantılıdır. Basınç düşümü hava akışına karşı gösterilen dirence eşittir.

Bir filtrenin hava akışına karşı gösterdiği direnç, direncin artmasıyla bu direnci yenebilmek için harcanması gereken enerjinin de artacağı için önemlidir. Diğer bütün özellikleri aynı olan filtrelerden düşük dirençlisi tercih edilir.



Şekil 3.3 Hava hızı-Basınç düşümü grafiği

### FİLTRASYON

Filtrasyon, belli bir akışkanın, istenilmeyen maddelerden arındırılması olarak tanımlanabilir. Farklı filtrasyon sınıflandırmaları, farklı filtrasyon mekanizmaları kullanarak çalışır. Bu mekanizmaların kullanılması ile değişik boyut ve özellikte partiküllerin tutulması sağlanır.

#### 4.1 Filtrelerin Fonksiyonları

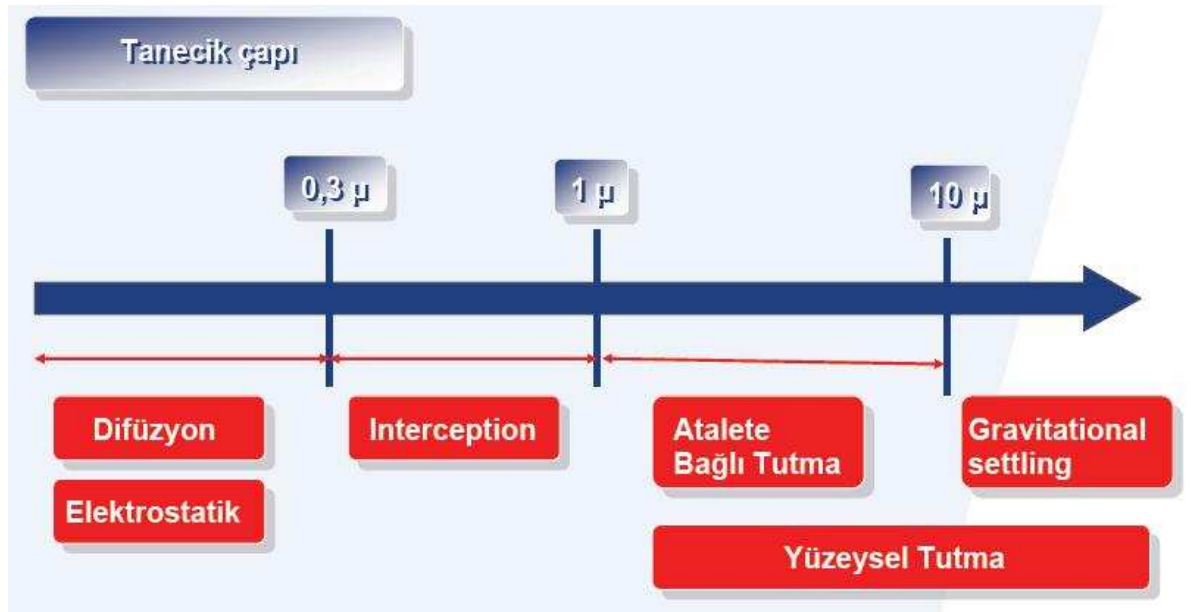
- Sistem bileşenlerini korumak: Batarya, susturucu gibi elemanların pislik ile tıkanmasını engelleyerek verimlerini ve kullanım ömürlerini uzatarak uzun vadede tasarruf edilmesini sağlar.
- Hava kanallarını korumak: Toz, kirletici birikmesini engelleyerek, daha sık kanal temizlenmesine neden olacak mikrobiyolojik oluşum riskini azaltarak, içinde insan bulunan alanların kontaminasyon riskini azaltır ve temizlik sırasında oluşacak sistem kapanmalarını engeller.
- Personel sağlığını korumak: Düşük iç hava kalitesinin insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerinin kanıtlandığı günümüzde, personelin sağlığını korumak için atılacak adımlar bir lüks değil, gereklilik olmuştur.
- İş prosesini korumak: İlaç endüstrisi, mikroelektronik, araştırma laboratuvarları gibi birçok üretim prosesi, ürünü korumak veya atığın kirlilik yaratmasını engellemek için yüksek temiz hava değerlerine ihtiyaç duyar.

#### 4.2 Filtrasyon Mekanizmaları

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.

Katı haldeki kirleticilerin filtreleme metodları, aşağıdaki yedi prensibin birinden ya da birkaçının bileşkesinden oluşmaktadır:

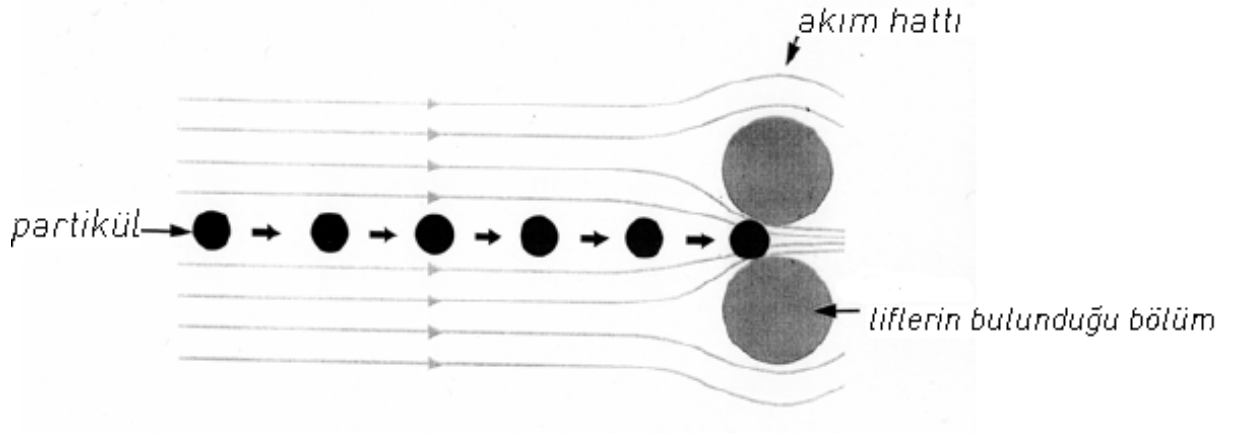
- eleme prensibi (straining-sieving)
- atalete bağlı ayırma (inertial impaction)
- viskoz çarpma
- yolunu kesme-yakalama metodu
- difüzyon prensibi
- yer çekimi etkisi
- elektrostatik çöktürme



Şekil 3.4 Filtrasyon mekanizmaları

#### 4.2.1 Eleme Prensibi (Straining-Sieving)

Kelimenin kendisinden de açıkça anlaşılacağı gibi, bu metoda göre gözenek açıklıkları küçük olan ayırıcıdan büyük partiküller geçemez. Genellikle ön filtreler tarafından gerçekleştirilir.

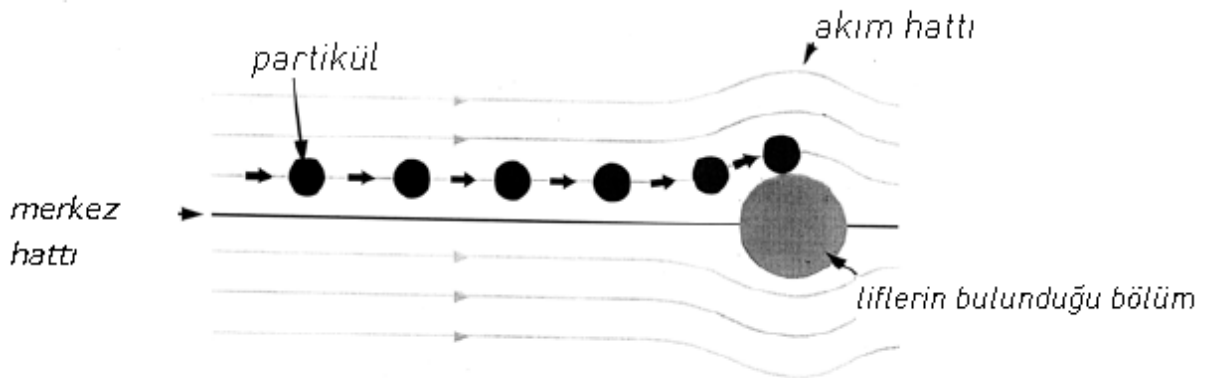


Şekil 3.5 Eleme Prensibi

#### 4.2.2 Atalete bağlı tutma

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.

#### **Filtrasyon mekanizmaları iç moment etkisi**



Şekil 3.6 Atalete bağlı tutma

#### 4.2.3 Viskoz Çarpma

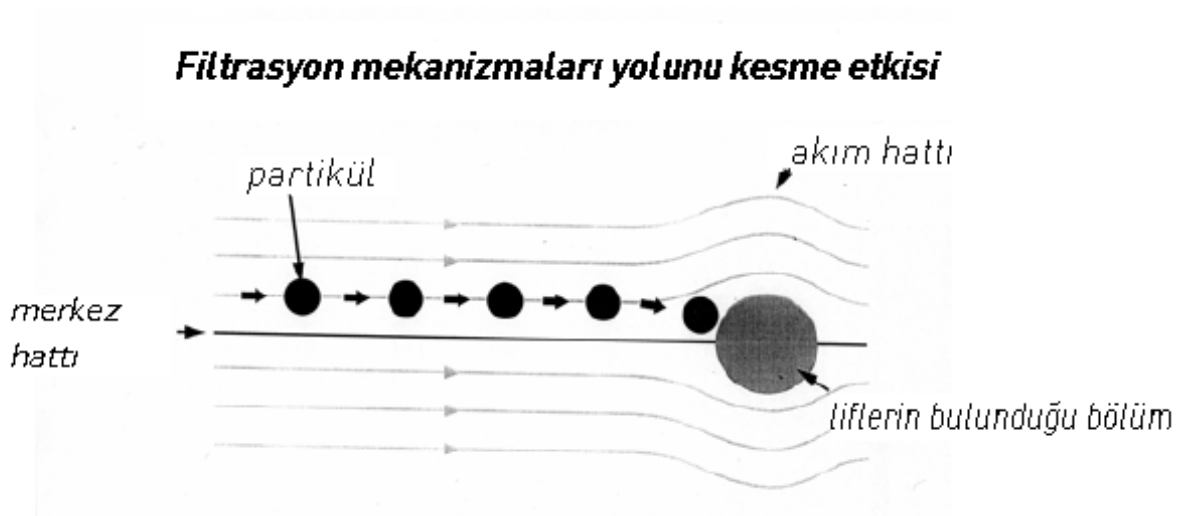
Hava ile taşınan kirletici partikül, filtre liflerine yaklaştığında, hava lifin etrafından dolanıp yoluna devam ettiği halde partikül bu hareketi yapamadığı için life çarparak life yapışır ve hava akımından ayrılır. Lifin büyük partiküle uyguladığı moleküler güç partikülü kendisine çekmek için yeterli 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

#### 4.2.4 Yolunu kesme – Yakalama Prensibi

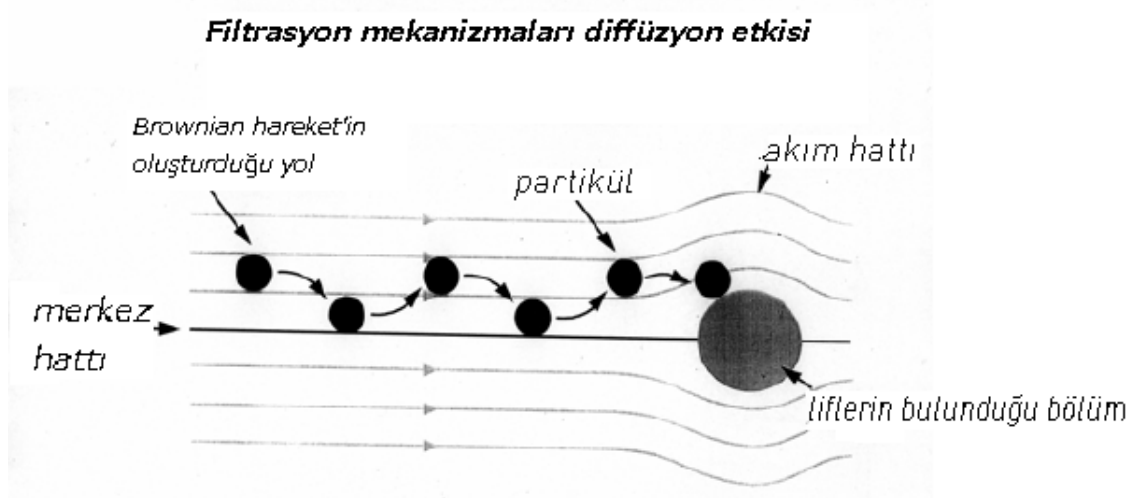
Bu prensip mümkün olduğu kadar çok partikülün yapağı görünümlü filtre medyasında moleküler çekim gücü ile yakalanıp tutulmasını temel almaktadır. Etkin bir filtrasyon ve partiküllerin hava akımıyla temiz tarafa taşınmaması için medyanın içinde 0.1 m/s gibi düşük hız gerekmektedir. Medya içinde çarpışma 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 3.7 Yolunu kesme prensibi

#### 4.2.5 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 rastgele hareket eden parçaları, yollarının üzerine sık dokulu engeller çıkarak 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 Waals 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 tekniğinde çok büyük bir öneme sahiptir ve çoğunlukla orta ve yüksek verimli genişletilmiş yüzeyli filtrelerde kullanılır.

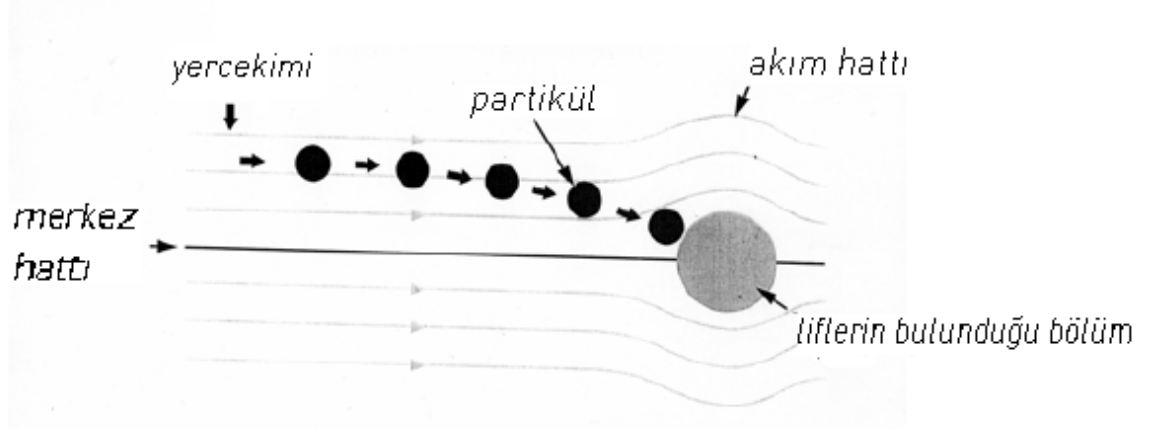


Şekil 3.8 Difüzyon prensibi

#### 4.2.6 Yer çekimi etkisi (Çökelme)

Partiküller yer çekimi etkisi ile doğal olarak liflerin üzerine düşerler ve burada tutulurlar.

### **Filtrasyon mekanizmaları yerçekimsel etkisi**



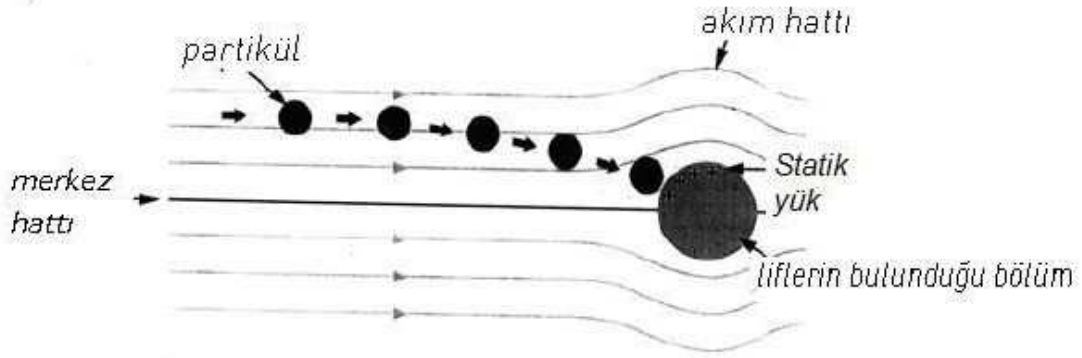
Şekil 3.9 Yer çekimi etkisi

#### **4.2.7 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.

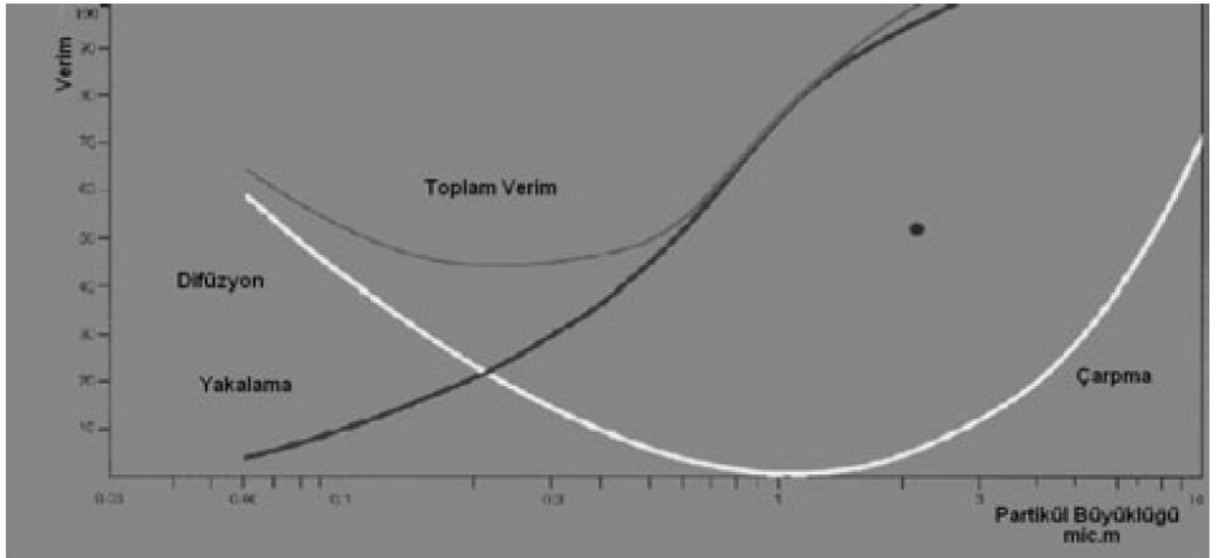
#### Filtrasyon mekanizmaları statik elektrik etkisi



Şekil 3.10 Elektrostatik çöktürme

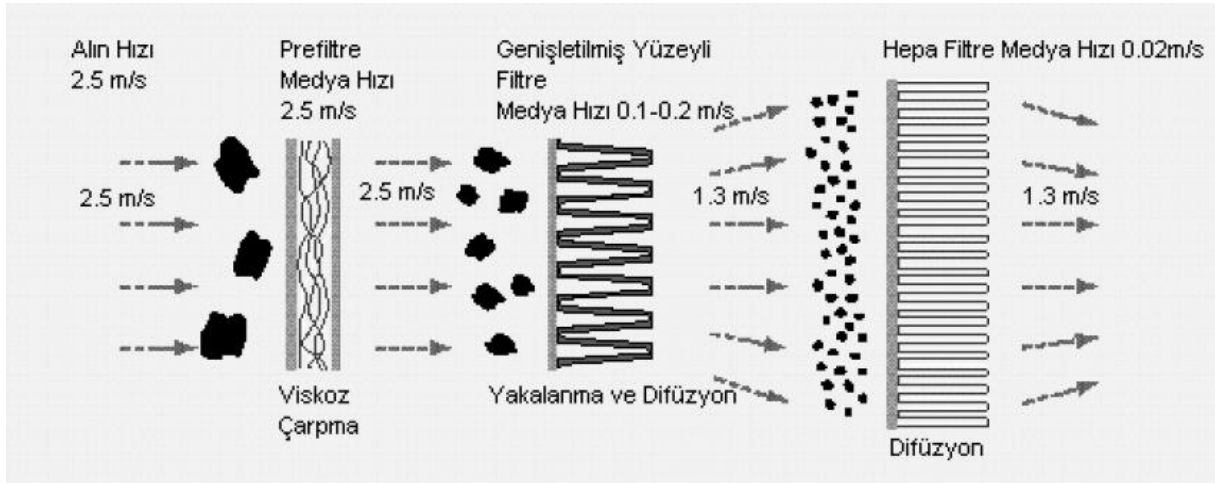
#### 4.2.8 Filtrasyon prensiplerinin birleştirilerek kullanılması

Havayı etkin olarak temizleyebilmek için, filtrasyon prensiplerinin bileşkesi sağlanmalıdır. Şekil 4.8, farklı prensiplerin tek tek ve bileşik olarak verimliliklerini göstermektedir. Şekilden de görülebileceği gibi çarpma ile çalışan filtre büyük partiküller üzerinde etkili olmaktadırken durdurma/difüzyon prensibi küçük ve mikron altı partikülleri havadan ayırmaktadır.



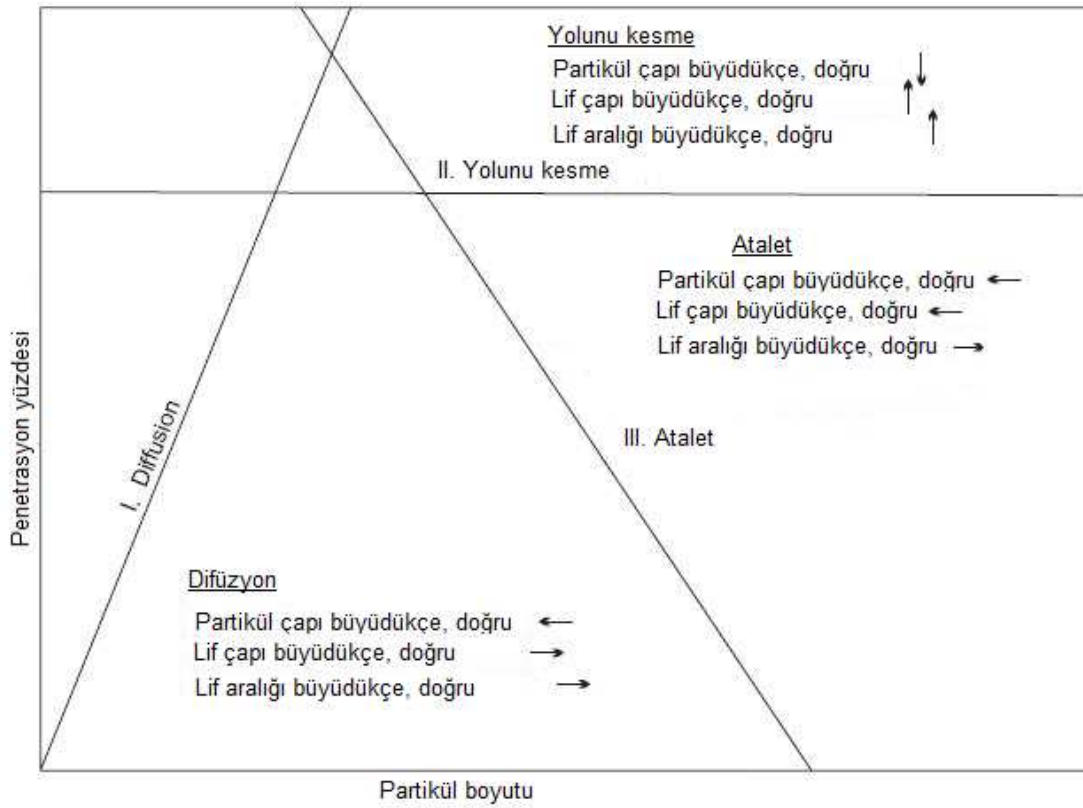
Şekil 3.11 Filtrasyon mekanizmalarının bir arada kullanılması

Şekil 4.9’da bir partikülün filtrasyon mekanizmalarından sırası ile geçişi gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Partikülün filtrasyon mekanizmalarından geçişi

Şekil 4.10'da ise filtrasyon mekanizmaları, partikül boyutu ve penetrasyon yüzdeleri arasındaki ilişki açıklanmıştır.



Şekil 3.13 Filtrasyon partikül boyut grafiği

## BÖLÜM 5

---

### HAVA FİLTRELERİ

#### 5.1 Hava Filtrelerinde Aranılan Özellikler

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

- Filtre hava akımına karşı yaratılan direnç
- Filtre değiştirilmeden önce bu filtrenin tutmuş olduğu toz miktarı (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.

##### 5.1.1 Hava Akımına Karşı Direnç

Filtreler iklimlendirme- klima sistemlerinde hava akımına karşı bir engel oluşturur. Bu engel fan ile üflenlen 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 pozitif ya da negatif olabilir. Kanal içindeki statik basınç atmosferik basınçtan yüksek olursa pozitif basınç, düşüğe negatif basınç olarak adlandırılır. İklimlendirme cihazlarına takılan manometreler de statik basıncı ölçmekte kullanılır ve Pascal ( $N/m^2$ ) veya inch/mm su sütunu olarak ifade edilir.

Hava hızı basıncı; hava hızının yarattığı basınçtır ve her zaman pozitifdir.

Toplam basınç; Statik basınç ile hava hızının yarattığı basıncın toplamıdır. Havalandırma sistemleri belirli 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. Direnc arttıkça, onu yenmek için gereken enerji de artacaktır.

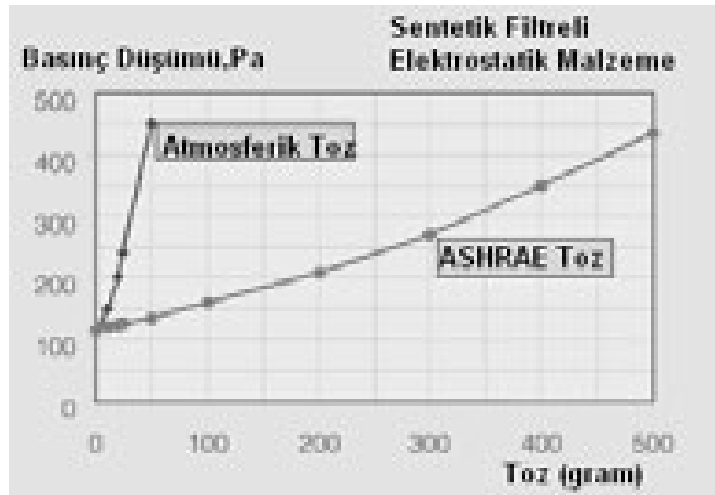
Enerji tasarrufu için, filtreler sınıflandırmada kullanılan son basınç düşümünün çok altında bir değerde kullanılmalıdır. Hijyen bakımından da filtreler belirli aralıklarla değiştirilmeli ve bu sınıflandırmada kullanılan basınç final basınç düşümünden düşük olmalıdır.

### **5.1.2 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.

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 5.1 'deki 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 filtrenin atmosferik kirleticiler söz konusu olduğunda tuttuğu miktar 50 g'dır. Bu da, filtrenin sahip olduğu toz tutma kapasitesinin laboratuvar sonuçlarına göre 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 laboratuvar da ölçülenin üstünde çıktığı anlamına gelmektedir.



Şekil 3.1 Laboratuvar da ve gerçek işletme koşullarında test edilen ve elektrostatik yük ile yüklü filtrelerin toz yüküne göre basınç düşümü değişimi

### 5.1.3 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. Bu oran alınırken hacim, ağırlık, sayı vs. gibi değerler de alınabilir. Filtre verimliliği belirli bir partikül boyutu için de, çeşitli boyutlardaki partiküllerin tamamı için de belirlenebilir. Filtre verimliliği filtrasyon süresince değişebilir. Filtre verimliliğini belirleyebilmek için birçok test metodu bulunmaktadır.

#### **5.1.4 Filtre Ömrü (Minimum Ömür Verimi)**

Filtre ömrü filtrenin değiştirilmesi gereken zaman olarak tanımlanır. Genellikle filtredeki basınç düşüm değerleri göz önüne alınarak belirlenir.

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.

#### **5.2 Filtre Performansını Etkileyen Faktörler**

Bir filtrenin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri medya olarak bilinen ve filtrelemeyi yapan malzemenin özelliğidir. Önceki bölümde açıklandığı gibi filtrelemeyi sağlayan farklı mekanizmalar partikül ve filtre medyasını oluşturan lifler arasındaki ilişkiye göre çalışırlar.

Filtre mekanizmalarının bölümünde anlatıldığı gibi gözenek açıklığı büyüdükçe, filtreden geçen partikül miktarı artar. Bu durumda verimliliği arttırmak için çoklu katmanlar kullanılarak bir partikülün lif ile temas ihtimali arttırılabilir. Alternatif olarak daha küçük çaplı lifler kullanılabilir. Eleme (sieving) metodu günümüzün filtrasyon teknolojisinin temellerini oluşturmaktadır. Dokuma yöntemi ile üretilen filtrelerde

liflerin çakıştığı noktalarda her zaman bir açıklık oluşmakta ve filtrelerin verimliliği belli bir sınır içerisinde kalmaktadır.

En küçük partikülleri filtreleyebilmek için, mikron boyutuna sahip lifler içeren filtreler üretmeyi sağlayacak teknikler geliştirilerek, malzeme içerisinde partikülün doğrudan geçebileceği hiç bir yol bulunmamasının temin edilmesi amaçlanmaktadır.

Buna bağlı olarak filtreler istenilen verimliliğe bağlı olarak çok farklı özellikler ve maliyetlere sahip malzemelerden üretilir.

Performansa etki eden medya özelliklerini özetlemek gerekirse :

- Lif apı veya çapları
- Lif uzunluğu ya da lif uzunluk kombinasyonları
- Lif yönelimi
- Dizilim yoğunluğu
- Gözenek apı
- Gözenek apı dağılımı
- Medya kalınlığı
- Yüzey ağırlığı
- Medya retim metodu (Dikiş, reğine emdirme, termal yapıştırma vs.)

### **5.3 Filtre Verimlilik Testleri**

Son yıllarda evre ve çevreye verilen zararlar konusunda yoğunlaşan ilgi, i ve dış ortam temizliği konusuna verilen önemin 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.

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 yansıtmalarının 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 elde edilmektedir.

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.

Filtre testleri genellikle proses özellikleri ile uyumluluğu göstermek ya da farklı filtreler arasında kıyaslamayı sağlayacak verileri sağlamak için gerçekleştirilir.

Genel filtrasyonda, normal prosedür, filtreleri geliştirme test sonuçlarına göre üretmek ve üretilen filtrelerin belli bir oranına test uygulamaktır.

Parti olarak üretilen filtrelerde tip testi çok nadir uygulanır. Üretilen filtrelerde performans değişkeni olarak üretim ve test toleranslarının içerisinde kalınmasına dikkat edilirken, bu son kullanıcı tarafından fark edilebilecek bir özellik değildir. Kontrol eksikliğinden kaynaklanan tolerans dışı değişkenler son kullanıcının prosesleri için sıkıntılar yaratabilir.

Kullanıcı tarafından bakıldığında, testlerin gerekliliği, aynı koşullar altında farklı ürünler arasında kıyaslama yapılmasına olanak sağlamasıdır. Fakat kritik olan işletme koşullarıdır ve burada dikkat edilmesi gereken belli başlı noktalar vardır:

- Filtrenin mevcut kirleticiyi hangi verimlilikle tutacağı ve bu oranın gereksinimleri karşılamaya yeterli olup olmadığı
- Filtrenin ömrünün, bakım aralıklarını ekonomik olarak ayarlamaya yetip yetmeyeceği
- Filtrenin uygulama enerji maliyeti ve montajdan değiştirme zamanına kadar basınç kaybı aralığının yeterli olup olmaması

Tüm filtre test metotları, değerlendirme yapılabilmesi için, benzer ürünler arasında doğrudan karşılaştırmayı sağlamaya çalışırlar.

Üreticiden bir filtre alan mühendisin, kendisine sunulan verilerin standartlaştırılmış, ideal laboratuvar koşulları altında elde edildiğini bilmesi gereklidir. Veriler sadece eşdeğer verilerle karşılaştırma amacı ile ve uygulama performansı tahmini için bir yol gösterici olarak kullanılabilir. Gerçeğe uygun değerlendirme işletim performansına göre yapılmalıdır.

### **5.3.1 EN 779:2002 Test Metodu**

Bu standartta tanımı yapılan yöntemler, EN 779:1993 ve Eurovent 4/9:1997 Standartlarından yola çıkılarak geliştirilmiştir. EN 779:1993'te, kullanılan test düzeneğinin temel yapısı değiştirilmemiştir ancak 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

A schematic diagram of a gas turbine engine, showing the flow of air and the components of the engine. The diagram is labeled with numbers 1 through 9. The flow path is indicated by arrows: air enters through the inlet (3), passes through the compressor (4), then the combustion chamber (1), and finally exits through the exhaust (9). The components are labeled as follows: 1. Compressor, 2. Fuel system, 3. Inlet, 4. Compressor, 5. Turbine, 6. Fuel system, 7. Turbine, 8. Exhaust, 9. Exhaust. The diagram shows the flow of air from the inlet (3) through the compressor (4), then through the combustion chamber (1), and finally through the exhaust (9). The components are labeled with numbers 1 through 9.

Bu test metodu aşağıdaki maddeleri gerçekleştirmeyi amaçlar:

- Filtreleri sınıflandırabilmek için iki farklı toz kullanılmaktadır: 0.2-3  $\mu\text{m}$  aralığındaki ince tozların verimliliğinin ölçülmesi için DEHS ve toz toplayıcılık ve toz tutuculuk değerlerini elde etmek için yapay kaba toz (ASHRAE tozu). 0.4  $\mu\text{m}$  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 edilmiş EN 779 Standardı, verimliliğin elektrostatik etkiye bağlı olduğu durumlarda filtrenin minimum ömür verimliliğini belirlemek üzere sayısal bilgi verecek bir metodu içermektedir.

#### **5.3.1.1 Test Yapılan Düzeneğin Kalitesinin Kontrolü**

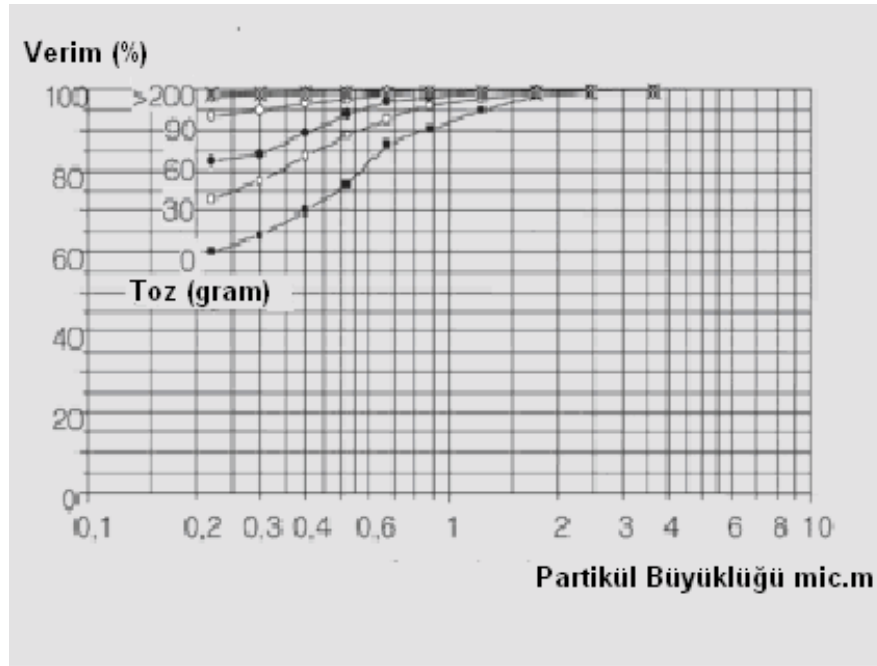
Daha önceki test tekniklerine göre revize edilmiş EN 779'un getirdiği bir yenilik de test cihazlarının ve donanımının kalitesinin kontrolünü sağlayacak bir sistemi içermesidir. Bu sistem, değişik test düzenekleri ve fonksiyonlarının ölçümlerinin doğruluğunun saptanması için gerekli koşulları ve bunun hangi sıklıkta yapılması gerektiğini ayrıntılarıyla belirtir. Partikül boyut ve konsantrasyonuna göre partikül sayıcının 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.

#### **5.3.1.2 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.

### 5.3.1.3 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 verimlik hesaplanır. 0.4  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$  partiküller için ortalama verim % 40 ve üzerinde bulunursa hassas filtre ya da F-filtresi olarak sınıflandırılır ve bu durumda bütün test sonuçları raporlanır.



Şekil 3.3 EN 779:2002'ye uygun olarak yapılan, filtrelenecek havaya toz beslenmesinin ardından partikül boyutlarına göre oluşan verimlilik eğrileri grafiği

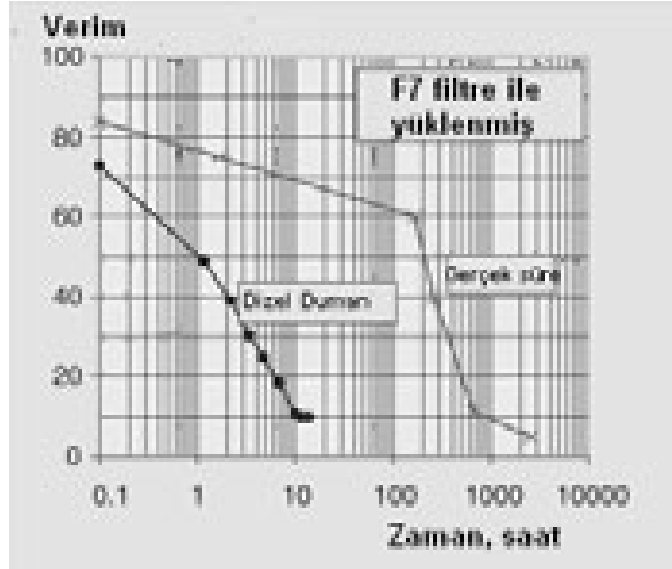
G-filtreler için, 150 ve 250 Pa son basınç düşümlerinde ve F-filtreler için 250, 350 ve 450 Pa son basınç düşümlerinde filtrenin toz yükü yani toz tutma kapasitesi ve ortalama toz tutuculuğu da raporlanır. Şekil 5.3'de EN 779:2002'ye uygun olarak yapılan, filtrelenecek havaya toz beslenmesinin ardından partikül boyutlarına göre oluşan verimlilik eğrileri grafiği gösterilmiştir.

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 yapılmadan “doğal” durumlarında 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 elektostatik etkiden ileri geldiğini ve gerçek işletme koşullarında ne kadar minimum ömür verimliliği beklenmesi gerektiği bilgisini sağlar.

### **5.3.2 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 prosedürü dizel dumanı kullanmaktır. Bu yöntemle tam boy filtre tamamen kolaylıkla testten geçirilebilir ve elektrosatik 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 simule eder (Şekil 5.4). 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 3.4 EN 779:2002 standardına göre test sınıflandırılması

Hijyenik havalandırmanın en önemli komponentlerinden biri olan HEPA filtreyi koruyan ön filtre ve orta hassasiyetteki filtrelerdir. Havanın içindeki kaba ve orta büyüklükteki partiküller yukarıda anlatılan filtrelerle filtrelendikten sonra hijyenik olması gereken mekanların filtrelenmesi için HEPA filtre kullanılması gerekmektedir.

### 5.3.3 ASHRAE 52.2

Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri (ASHRAE) hem üyeler, hem de iç ortamların tasarım ve bakımı ile ilgili profesyoneller için birçok standart geliştirmiştir. ASHRAE hava filtreleri ile ilgili 1968 yılından beri standartlar oluşturmaktadır.

ASHRAE 52.2 genel havalandırma cihazlarının partikül boyutuna göre tutma verimliliği testlerini açıklayan yeni Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü (ANSI) standardıdır. Standard Ulusal Hava Filtrasyon Birliği (NAFA), 600'e yakın filtre üreticisi, distribütörü ve mühendisler tarafından yaratılmıştır.

Test prosedürü laboratuvar ortamında geliştirilmiş, boyları 0.3-10  $\mu\text{m}$  arasında değişen potasyum klorid partiküllerini deney aerosolü olarak kullanır. Partikül boyutlandırma optik partikül ölçerler kullanılarak yapılır.

Standart, testlerde kullanılması gerekli ekipman için performans kriterlerini, test verilerinden elde edilmiş sonuçları hesaplama ve raporlama metotlarını ve performans sınıflandırması sistemini açıklar.

Gerekli ekipman maliyeti ve potasyum kloridle ilgili korozivite problemleri testin yaygınlaşmasını engelleyici faktörler olarak görünür.

Amerika’da 30 yıl boyunca hava filtreleri için testler ASHRAE 52.1 standartına göre yapılıyordu. ASHRAE 52.1 ile performans sonuçları toz noktasal verimliliği, ortalama tutma ve toz tutma kapasitesine göre belirleniyordu. Bu test ile verimlilik oranları yüzdesel olarak belirleniyordu. Sistem rahatlıkla anlaşıyordu fakat belli kirleticiler için filtre seçmek konusunda beklentileri karşılamıyordu. Bunu yapabilmek için tutulmaya çalışılan kirleticinin partikül boyutu ve filtrenin bu boyuttaki verimliliğinin bilinmesi gereklidir. ASHRAE 52.2 gerekli bilgiyi sağlayabilmek için geliştirilmiştir ve test edilen her filtre için MERV (Minimum Verimlilik Raporlama Değeri) tanımını ortaya çıkarmıştır.

MERV bir filtrenin performansını 0.3 ile 10 mikron aralığında partikül boyutuna göre değerlendirmek için hazırlanmış bir rehberdir. Değer filtrenin en düşük ve minimum verimliliği için belirlenir. Genellikle MERV değeri yükseldikçe filtre küçük partikülleri tutmada daha iyi performans gösterir. MERV 1 ile 4 arası filtreler büyük partikülleri tutmak için üretilmişlerdir. Bu filtreler genellikle ekipmanları korumak için hafif endüstri ve konut uygulamalarında kullanılır. MERV 5 ile 16 arası filtreler daha küçük partikülleri tutmak için bireyleri ve prosesleri hava yolu kirleticilerden sağlık ve üretim açısından korumak için kullanılırlar.

#### **5.3.4 Filtrelerin Sınıflandırılması**

Amerika ve Avrupa standartlarında filtreler farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Bu farklılık filtre seçimlerinde karışıklığa neden olabilir. Verimlilik oranlarına göre filtrelerin sınıflandırılmasının farklı standartlarda karşılıklarının bilinmesi ile hata oranı minimuma indirilebilir.

### 5.3.5 EN 779 standartına göre sınıflandırma

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 minimum %20 değerinde toz noktasal verimliliğine sahip olması bekleniyordu. Yeni sınıflandırmada ise ortalama verimin 0.4 mikron partikül boyutuna göre %40 ya da daha yüksek olması gerekmektedir. Burada toz noktasal verimliliğine göre sınıflandırma kullanılmamaktadır.

Sınıflandırma  $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $3400 \text{ m}^3/\text{h}$ ) 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.

Çizelge 5. 3 EN 779'ye göre filtre sınıflandırılması

| EN 779'YE GÖRE FİLTRE SINIFLANDIRMASI |                                           |                                                       |        |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|
| DIN 24185                             | ORTALAMA<br>SENTETİK TOZ<br>TUTMA YÜZDESİ | ORTALAMA<br>VERİMLİLİK<br>YÜZDESİ<br>(ATMOSFERİK TOZ) | EN 779 |
| EU1                                   | <65                                       |                                                       | G1     |
| EU2                                   | 65-80                                     |                                                       | G2     |
| EU3                                   | 80-90                                     |                                                       | G3     |

|      |                                                 |       |     |
|------|-------------------------------------------------|-------|-----|
| EU4  | <90                                             |       | G4  |
| EU5  | --                                              | 40-60 | F5  |
| EU6  | --                                              | 60-80 | F6  |
| EU7  | --                                              | 80-90 | F7  |
| EU8  | --                                              | 90-95 | F8  |
| EU9  | --                                              | <95   | F9  |
| EU10 | Testler EN 1822 standardına göre yapılmaktadır. |       | H10 |
| EU11 |                                                 |       | H11 |
| EU12 |                                                 |       | H12 |
| EU13 |                                                 |       | H13 |
| EU14 |                                                 |       | H14 |

Son basınç düşümü filtre performans değerlendirmeleri yapılırken G grup filtrelerde 250 Pa, F grup filtrelerde ise 450 Pa değerine kadar ölçülür.

Sentetik toz EN 779 Standardı ve ASHRAE 52.1 standardında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır :

- İnce Test Tozu %72 (0-80 µm arası farklı boyutta partiküllerden oluşan)
- Toz Karbon %23
- Çekilmiş pamuk elyafı %5

### 5.3.6 ASHRAE Standardına göre sınıflandırma

Bir hava filtresinin performansı, filtre upstream ve downstream tarafından yapılan partikül ölçümleri ile bulunur.

Temiz bir filtre sentetik ASHRAE tozu ile kirletilerek farklı partikül boyutları için altışar defa partikül ölçümü alınır. Bu döngü toplam altı defa tekrar edilir.

Bir aerosol jeneratör kullanılarak hava akışında zorlayıcı aerosol yaratılır. Test için Çizelge 5.2’de bulunan 12 farklı partikül boyutu üretilir.

Filtre performansı, 12 farklı partikül boyutu için altı test döngüsünde (toplam 72 ölçüm) belirlenir. Her ölçüm için filtrasyon verimliliği upstream-downstream partikül ölçümlerinin oranı olarak belirlenir. Altı test döngüsündeki en düşük değerler kompozit minimum verimlilik eğrisini oluşturmak için kullanılır. En düşük verimlilik değerleri kullanılarak averaj değerler üzerinden yapılabilecek yanlış yorumların önüne geçilir.

Averaj partikül boyut verimi 3 aralıkta incelenir:

- E1 (0.3-1 mikron)
- E2 (1-3 mikron)
- E3 (3-10 mikron)

Çizelge 5. 4 ASHRAE 52.2 Test partikül boyutları

| ARALIK | BOYUT     | GRUP |
|--------|-----------|------|
| 1      | 0.30-0.40 | E1   |
| 2      | 0.40-0.55 |      |
| 3      | 0.55-0.70 |      |
| 4      | 0.70-1.00 |      |
| 5      | 1.00-1.30 | E2   |
| 6      | 1.30-1.60 |      |
| 7      | 1.60-2.20 |      |
| 8      | 2.20-3.00 |      |
| 9      | 3.00-4.00 | E3   |
| 10     | 4.00-5.50 |      |
| 11     | 5.50-7.00 |      |

|    |            |  |
|----|------------|--|
| 12 | 7.00-10.00 |  |
|----|------------|--|

Bu grupların her biri için kompozit minimum verimlilik ortalaması alınarak partikül boyut verimliliği (PSE) hesaplanır ve üç grubun yüzdesel değerleri ile MERV hesaplanır.

MERV Minimum Verimlilik Rapor Değeri olarak tanımlanır. MERV testin uygulandığı hava hızı ile test sonuçlarını basitleştirmek için kullanılan tek bir numaradır. MERV 1 ile 16 aralıkları arasında değişir ve yukarıda bahsedilen üç partikül boyut grubunun partikül boyut verimliliğinden türetilir.

MERV değerleri filtrenin test edildiği hava hızı değerleri belirtilerek sınıflandırılmalıdır. ASHRAE 52.2’de aşağıdaki yedi hava hızı değerinden biri seçilerek testler gerçekleştirilmelidir:

- 118 FPM (0.60 m/s)
- 246 FPM (1.25 m/s)
- 295 FPM (1.50 m/s)
- 374 FPM (1.90 m/s)
- 492 FPM (2.50 m/s)
- 630 FPM (3.20 m/s)
- 748 FPM (3.80 m/s)

ASHRAE 52.2 standardında incelenen başka bir nokta da filtrenin minimum son direncidir. Filtrenin minimum son direnci başlangıç değerinin iki katı olmalı ya da farklı şekilde tanımlanmalıdır.

Yakalama ve toz tutma kapasitesi değerleri ASHRAE 52.2’ye göre test edilmiş her filtrede incelenmelidir. Ancak bu değerler MERV numarası 1 ile 4 arasında olan filtreler için zorunlu raporlamada gerekli değildir.

ASHRAE standardında, üretici ile tüketici arasında yapılan anlaşmaya göre, standardın J harfli ekinde tanımlanmış MERV-A raporlaması yapılabilir. ASHRAE araştırmaları süper ince partiküle maruz kalan filtrelerin verimliliğinde potansiyel bir düşüş olduğunu

ortaya çıkarmıştır. Bu yüzden teste bir şartlandırma adımı eklenmiştir. Şartlandırma adımı bir filtrenin MERV performansını etkileyebilecek elektrostatik etkileri nötralize etmek için bir aerosol kullanılır. Bu metod kullanıldığında zaman, ikinci bir filtre şartlandırma adımıyla geçirilerek partikül boyut verimliliği değerleri hesaplanır. Bu test sonuçları MERV-A adı altında raporlanır ve MERV test raporunun yanında gösterilir.

### 5.3.7 Farklı standartların karşılaştırılması

Çizelge 5.3'te ve Şekil 5.5'te üç ana standard olan ASHRAE 52.1, ASHRAE 52.2 ve EN 779 arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 5.3 Farklı standartların karşılaştırılması

|                  | ASHRAE 52.1                            | ASHRAE 52.2                                  | EN 779                                       |
|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| TEST AEROSOLÜ    | ASHRAE SENTETİK TOZU VE ATMOSFERİK TOZ | ÇOKLU DAĞILIMLI KCL AEROSOLÜ                 | ASHRAE SENTETİK TOZU VE 0.4 µm DEHS          |
| PARTİKÜL ARALIĞI | --                                     | 0.3-10 µm                                    | 0.2-3 µm                                     |
| ÖRNEKLEME CİHAZI | TOZ BELİRLEYİCİ KAPASİTE ÖLÇER         | OPC YA DA APC                                | OPC                                          |
| TEST KANALI      | DÜZ KANAL                              | HEPA FİLTRE MONTE EDİLMİŞ DÜZ/ U ŞEKLİ KANAL | GİRİŞİNE HEPA FİLTRE MONTE EDİLMİŞ DÜZ KANAL |
| GİRİŞ HAVASI     | DIŞ ORTAM HAVASI                       | İÇ ORTAM YA DA GERİ DÖNÜŞ HAVASI             | İÇ YA DA DIŞ ORTAM HAVASI                    |
| ÇIKIŞ HAVASI     | GİRİŞTEN İZOLE EDİLMİŞ ŞEKİLDE İÇ      | DIŞ ORTAMA EGZOZ YA DA                       | EGZOZ HATTINDA FİLTRE OLACAK                 |

|                     |                                                                            |                                                                  |                                                                              |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|                     | YA DA DIŞ ORTAMA<br>VEYA RESİRKÜLE                                         | RESİRKÜLE                                                        | ŞEKİLDE İÇ,DIŞ<br>ORTAMA YA DA<br>RESİRKÜLE                                  |
| SICAKLIK            | --                                                                         | 10-38 C                                                          | --                                                                           |
| BAĞIL NEM           | --                                                                         | %20-65                                                           | <%75                                                                         |
| BASINÇ              | POZİTİF YA DA<br>NEGATİF                                                   | POZİTİF                                                          | POZİTİF YA DA<br>NEGATİF                                                     |
| HAVA HIZI<br>ÖLÇÜMÜ | ASME UZUN<br>RADÜSLÜ NOZUL                                                 | ASME UZUN<br>RADÜSLÜ NOZUL                                       | ORİFİS PLAKA                                                                 |
| HAVA HIZI ARALIĞI   | 0.5-2.0 m <sup>3</sup> /s                                                  | 0.22-1.4 m <sup>3</sup> /s                                       | 0.24-1.5 m <sup>3</sup> /s                                                   |
| SONUÇ               | İLK BASINÇ<br>DÜŞÜMÜ,<br>ORTALAMA<br>VERİMLİLİK VE TOZ<br>TUTMA KAPASİTESİ | EN AZ 72 ÖLÇÜM<br>VE BELİRLİ HAVA<br>DEBİSİNDE MERV<br>DEĞERLERİ | İLK BASINÇ<br>DÜŞÜMÜ,<br>İLK/ORTALAMA<br>VERİMLİLİK, TOZ<br>TUTMA KAPASİTESİ |

| AMERİKA STANDARTLARI |                    |          |             |           |                 | AVRUPA STANDARTLARI | PARTİKÜL BOYUTLARI (MİKRON) |
|----------------------|--------------------|----------|-------------|-----------|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| ASHRAE 52.2          |                    |          | ASHRAE 52.1 |           | EN779 & EN1822  |                     |                             |
| MERV                 | PARTİKÜL BOYUTLARI |          |             | Test      |                 | VERİMLİLİK SINIFI   |                             |
|                      | 3-10 um            | 1-3 um   | 0.3-1 um    | TOZ TUTMA | ORT. VERİMLİLİK |                     |                             |
| 1                    | <20%               | -        | -           | <65%      | <20%            | G1,G2               | >10                         |
| 2                    | <20%               | -        | -           | 65 - 70%  | <20%            |                     |                             |
| 3                    | <20%               | -        | -           | 70 - 75%  | <20%            |                     |                             |
| 4                    | <20%               | -        | -           | >75%      | <20%            |                     |                             |
| 5                    | 20 - 35%           | -        | -           | 80 - 85%  | <20%            | G3                  | 3.0 - 10                    |
| 6                    | 35 - 50%           | -        | -           | >90%      | <20%            | G4,F5               |                             |
| 7                    | 50 - 70%           | -        | -           | >90%      | 20 -25%         |                     |                             |
| 8                    | >70%               | -        | -           | >95%      | 25 - 30%        |                     |                             |
| 9                    | >85%               | <50%     | -           | >95%      | 40 - 45%        | F5                  | 1.0 - 3.0                   |
| 10                   | >85%               | 50 - 65% | -           | >95%      | 50 - 55%        | F5,F6               |                             |
| 11                   | >85%               | 65 - 80% | -           | >98%      | 60 - 65%        | F6                  |                             |
| 12                   | >90%               | >80%     | -           | >98%      | 70 - 75%        | F6                  |                             |
| 13                   | >90%               | >90%     | <75%        | >98%      | 80 - 90%        | F6,F7               | 0.3 - 1.0                   |
| 14                   | >90%               | >90%     | 75 - 85%    | >98%      | 90 - 95%        | F7,F8               |                             |
| 15                   | >90%               | >90%     | 85 - 95%    | >98%      | -95%            | F8                  |                             |
| 16                   | >95%               | >95%     | >95%        | >98%      | >95%            | H11                 |                             |
| 17                   | -                  | -        | ≥99.97%     | -         | -               | U13-14              | <0.3                        |
| 18                   | -                  | -        | ≥99.99%     | -         | -               | U15                 |                             |
| 19                   | -                  | -        | ≥99.999%    | -         | -               |                     |                             |
| 20                   | -                  | -        | ≥99.9999%   | -         | -               |                     |                             |

Şekil 3.5 Farklı standartlara göre filtre verimliliklerinin karşılaştırılması

### 5.3.8 Filtre Kullanım Alanları

Mekanik hava filtreleri havalandırma tesisatı olan her alanda kullanılabilirler. Kullanım alanları ise filtrelerin verimliliklerine göre değişir. G4 sınıfına kadar olan filtreler ön filtre olarak kabul edilir. F5-F9 arası filtreler orta sınıf filtre, H10 ve üstü sınıf filtreler ise son kademede kullanılan mutlak filtrelerdir. Havalandırma tesisatı olan her alanda filtreler kullanılmakla beraber başlıca kullanım alanları şu şekilde sayılabilir:

- Meskun mahaller
- Oteller
- Hastaneler
- Temiz odalar
- Petrokimya

- İlaç Sanayi
- Optik ve elektronik tesisler vs.

## BÖLÜM 6

---

### HEPA FİLTRELER

#### 6.1 HEPA Filtre Tarihçe

İkinci Dünya Savaşı'nın ilk yıllarında, İngilizler ele geçirilmiş Alman gaz maskelerinden elde edilmiş filtre kağıtlarını Maryland'de bulunan Amerikan Ordu laboratuvarına gönderdiler. Alman filtre kağıdı iyi toz saklama oranına ve yüksek partikül tutma özelliklerine sahip olup asbestten imal edilmişti. Bu kağıt üzerine çalışmalar devam etti ve sonunda nükleer endüstride de kullanılmaya başlandı.

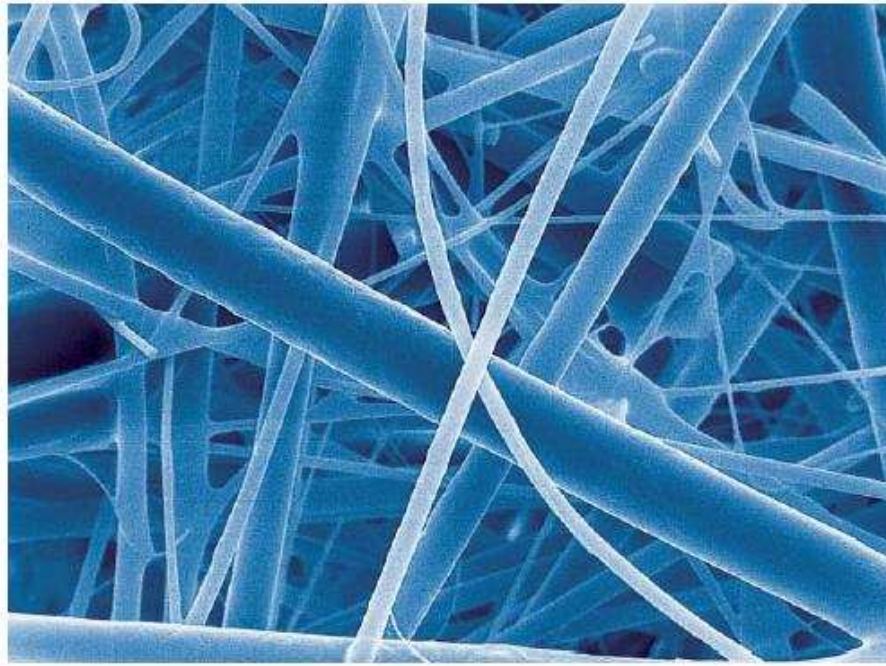
Orjinal HEPA filtre 1940lı yıllarda dizayn edilip, Manhattan Projesinde hava yoluyla yayılan radyoaktif kirleticilerin yayılmasını engellemek için kullanılmıştır. 1950 yıllarda ticari kullanıma açıldı ve HEPA filtre terimi yüksek verimli filtreleri ifade etmek için kullanılmaya başladı.

Mikron boyutunda partikülleri çok yüksek verimle tutabilen filtrelere HEPA (Yüksek verimli Partikül Hava Filtresi) ya da ULPA (Ultra düşük penetrasyonlu hava filtresi) denir. Amerikan Çevre Bilimleri Enstitüsü IEST-RP-CC 006.2 Recommended Practice for Testing Clean Rooms, Institute of Environmental Sciences. Mt. Pr, IL de şöyle tanımlanmaktadır:

“Değiştirilebilir, genişletilmiş yüzeyli, kuru tip sert çerçeve içinde bulunan, ısıtılarak üretilmiş DOP veya spesifiye edilmiş alternatif aeorsollerin 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.

Genellikle mikro-elektronik, ilaç sanayi, medikal mühendislik ve hastanelerde kullanılırlar. HEPA filtrelerde günümüzde gıda sanayi ve kozmetik üretim tesislerinde de kullanılmaya başlamıştır. Bütün bu uygulamalarda, amaç hassas bir ürünün partikül kirleticiler tarafından kontamine edilmesini engellemek ya da filtrelenmiş hava sayesinde insanları tehlikeli mikro-organizma ve mikroplardan korumaktır.



Şekil 3.6 HEPA filtre fiber yapısı

Eğer 1 mikrondan daha küçük partiküller tutulmak isteniyorsa bunun için mikro cam elyafı kağıt kullanmak gereklidir. Sadece bu cins kağıdn kullanımıyla istenilen filtre verimliliklerine ulaşılabilir.

Şekil 6.1'de bir elektron mikroskobu kullanılarak elde edilmiş HEPA/ULPA filtre cam elyafı kağıtların görüntüsü mevcuttur. Filtre performansında önemli bir faktör olan lif çapı 0.1 ile 0.3 mikron değerleri arasında değişir. Elektron mikroskobu tarafından çekilmiş olan resimde bulunan daha büyük çaplı lifler filtre medyasının mekanik dayanıklılığını arttırmak amacıyla kullanılmıştır ve tüm lifler içerisinde çok küçük bir

yüzdeye sahiptirler. Mikro cam elyafı kağıtlar düşük kalınlıkta yüksek istifleme yoğunluğuna sahip olup, belirli malzeme için yüksek basınç düşümleri oluştururlar.

Filtre medyası için göreceli olarak yüksek olan bu basınç düşümü, mümkün olduğunca çok filtre medyasının, yüksek miktarda havanın HEPA filtre içerisinde geçmesine izin verecek şekilde sınırlı bir alan içerisinde yer alması gerektiği anlamına gelir. Bu bağlamda aralık dizaynı, tutma verimi, basınç düşümü, toz tutma kapasitesi, kullanım ömrü, mekanik dayanıklılık, havanın türbülans miktarı gibi parametreler üzerinde önemli etkiye sahiptir.

## **6.2 HEPA Filtreyi Oluşturan Öğeler**

HEPA filtreyi şu öğeler oluşturur:

- Medya; kompakt filtre elemanı biçimini vermek için pile şeklinde katlanır ve genelde kağıt olur. Pilelerin 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 pakedi, medya ile separatör malzemesi birleştirildikten sonra kağıdın pileler halinde katlanmasıyla oluşturulan formdur.
- Filtre çerçevesi, filtre pakedinin 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.

### 6.2.1 Filtre Medyası

Filtrasyon teorisinde, filtre liflerinin tutulması istenilen aerosole yakın bir çapa sahip olması gerektiği belirtilir. Bu yüzden standard HEPA filtre medyası mikron altı partikülleri tutabilmek için 0.2 ile 0.5 mikron arası liflere sahip olmalıdır.

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 verimlilik sağlayabilen yine % 100 cam liflerinden oluşan fakat daha ince bir filtre kâğıdı 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. Filtre medyasının üretiminde polystren, polikarbonat ve polivinil kloride gibi plastik malzemeler de kullanılabilir. Yine de yanıcılık, maliyet, yüksek nem, radyasyon gibi ortam şartlarında performans kaybı gibi özellikler incelenmelidir. 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. Filtre kağıdı seçimi yapılırken hava akışına karşı direnç özelliklerine de dikkat edilir.

Çizelge 6. 5 Separatör boyutları

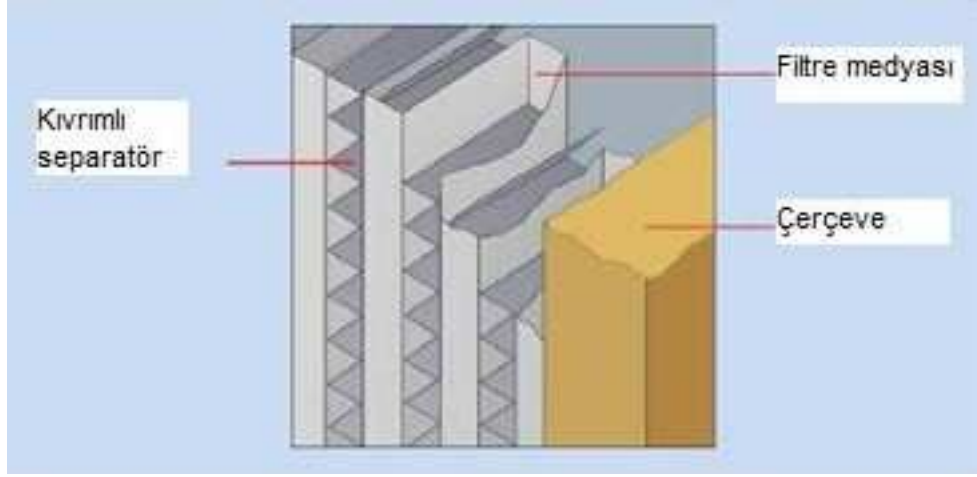
| CAM ELYAFI ENDÜSTRİYEL KODU | ORTALAMA LİF ÇAPI (µm) |
|-----------------------------|------------------------|
| 112                         | 2.60-3.80              |
| 110                         | 2.50-4.00              |

|      |           |
|------|-----------|
| 108B | 1.20-2.40 |
| 108A | 0.69-1.10 |
| 106  | 0.54-0.63 |
| 104  | 0.39-0.53 |
| 102  | 0.33-0.38 |
| 100  | 0.29-0.32 |

Filtre medyasının arasına ilk zamanlarda pilelenmiş 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 sivrililiği giderildi. Alüminyum folyoların da uçları kıvrılarak olabilecek hasarlara karşı filtrelerin dayanıklılığı arttırıldı.

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 pilelenmiş 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 pileli filtrelerin yarattıkları basınç farkları eşitlenmiş oldu.

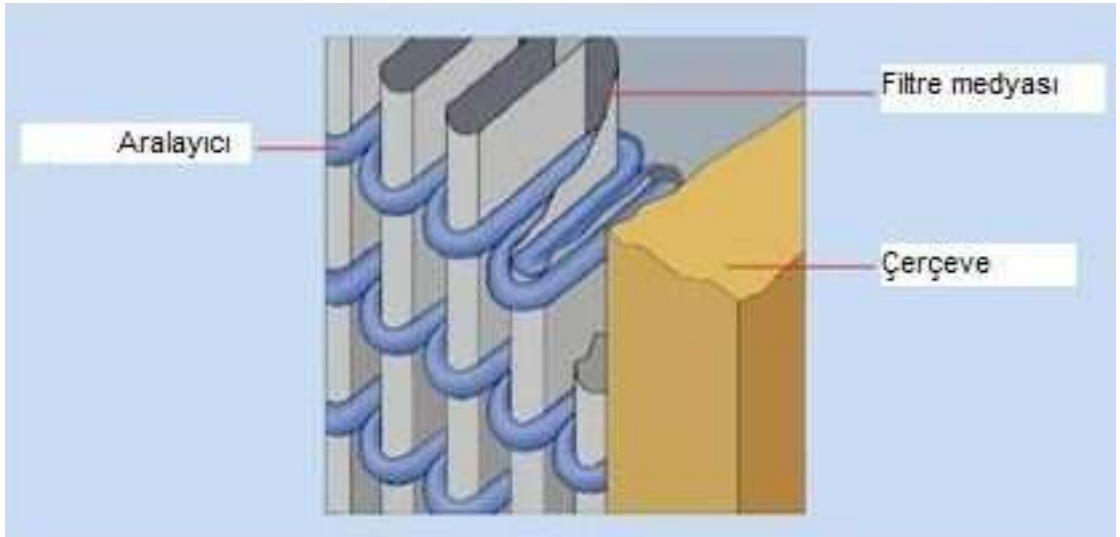
Günümüzde separatör olarak “hotmelt” denilen, eritilerek medyanın üzerine şeritler halinde dökülen bir malzeme kullanılmaktadır. Bu malzeme sayesinde 35, 48, 96, 120 ve 180 mm kalınlıkta katlanan filtre paketleri kolaylıkla üretilmeye başlanmıştır.



Şekil 3.7 Filtre seperatörü

Çoğu zaman filtre kağıdı katmanları arasına, kağıdın katmanlarının birbirine temas ederek filtreleme alanını düşürmesini engellemek için kıvrımlı alüminyum levhalar konulur. Pile derinliği seperatör filtrelerde yaklaşık 270-280 mm arasında olur. Ancak seperatör dizaynında, toplam filtreleme alanında, birbirine temas eden köşelerden hava geçemeyeceğinden seperatörlerin kıvrılmış köşelerinde yaklaşık %20 kayıp olur.

Bunun için minipile teknolojisi kullanılır. Minipile teknolojisinde pileler standart çerçeve içerisine daha fazla filtre kağıdı girecek şekilde ayarlanır. Minipile filtreler seperatörlü filtrelere göre iki kata kadar fazla filtre kağıdı içerir.



Şekil 3.8 Minipile filtre

### **6.2.2 Dolgu Macunu**

Filtre pakedi ile filtre çerçevesi arasından filtrelenmemiş havanın kaçmasını önlemek için birçok materyal kullanılabilir. Bu materyallerin sıcaklık, nem, yanma gibi koşullara karşı dayanıklı olması beklenir. Başlangıçta kaçakları önlemek için kağıt pilelerin 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 arasına poliüretan köpük sıkılmaya başlandı. Klor ve brom bileşenli kauçuk bazlı yapıştırıcılar da kullanılabilecek dolgu malzemelerinden sayılabilir.

### **6.2.3 Çerçeve**

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

Kadmiyum kaplama sac artık kullanılmamaktadır. Onun yerine galvaniz veya galvanil sac, 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, ya da yüksek sıcaklıklar ve kullanıcı isteklerine bağlı olarak da çeşitli metaller ve anodize çekme alüminyum çerçeve yapımında kullanılmaktadır. Çerçeveler belli yükler altında belli bir rijitliği sağlamak zorundadırlar.

### **6.2.4 Contalar**

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. Yapıştırıcı olarak, contayı filtreye yapıştırmakta da kullanılan kauçuk bazlı yapıştırıcılar kullanılmaktadır.

HEPA filtrelerin filtrelenen mahallerin tavanlarındaki montaj kabinlerinde kullanılan tipleri dışında, kendinden yuvalı olup fleksible kanallarla 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. Contalar yağ ve ozona dayanıklı olmalıdır. Filtreye monte edilecek conta yüzü üretimi sırasında oluşabilecek kalıntılardan arındırılmış olmalıdır.

### 6.3 HEPA Filtre İmalatı

HEPA filtre imalatı için istenilen boyutlar belirlendikten sonra uygun verimliliğe sahip filtre kağıdı seçilir ve pile makinesine rulo halinde monte edilir.

Rulolar halinde gelen kağıtlara pileleri verilmeden önce pileleri bir arada tutan hotmeltler sürülür. Daha sonra pile makinesiyle kağıda pileleri verilir.



Şekil 3.9 Pile makinesi



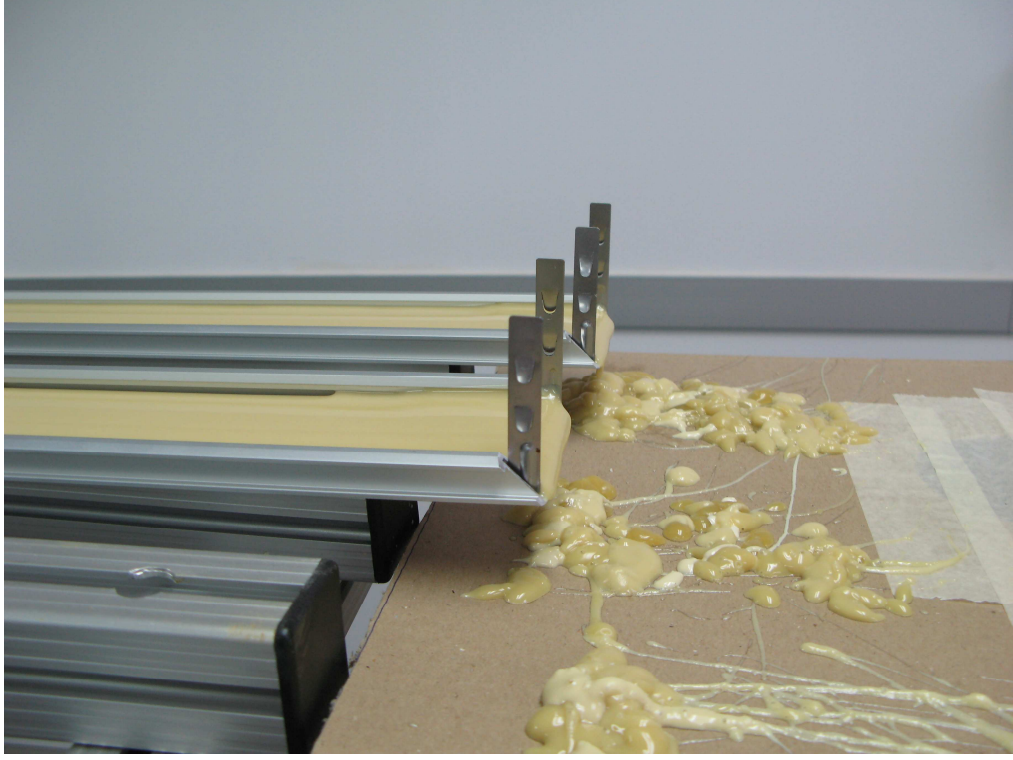
Şekil 3.10 Hotmeltlerin kağıda sürülmesi

İstenilen boyutlarda üretilen pileler HEPA filtre keki olarak adlandırılır.



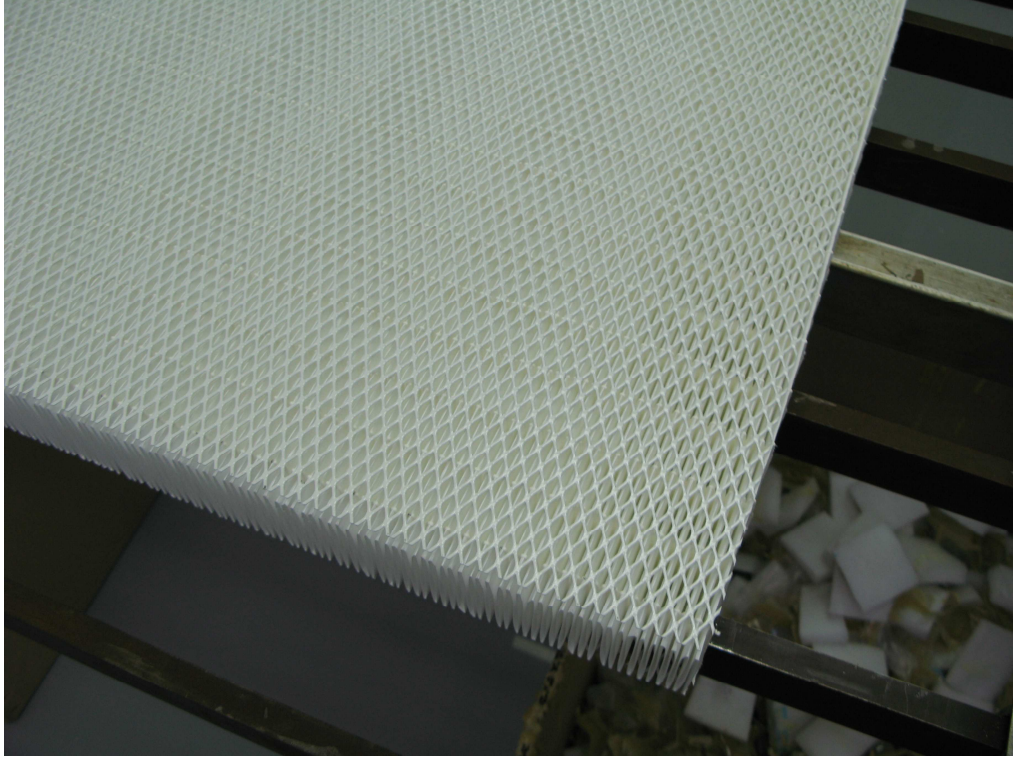
Şekil 3.11 HEPA filtre keki

L profiller hazırlanır. Hazırlanan çerçevelerin içine poliüretan doldurulur.



Şekil 3.12 İçi poliüretan doldurulmuş çerçeve

HEPA filtre kekinin üzerine ızgaralar (grid) konulur.



Şekil 3.13 HEPA filtre ve ızgara

Izgaralı HEPA filtre kekine çerçeveler basınçlı havayla çalışan (pnömatik) pistonlu bir cihaz yardımıyla sıkıştırarak yapıştırılır.



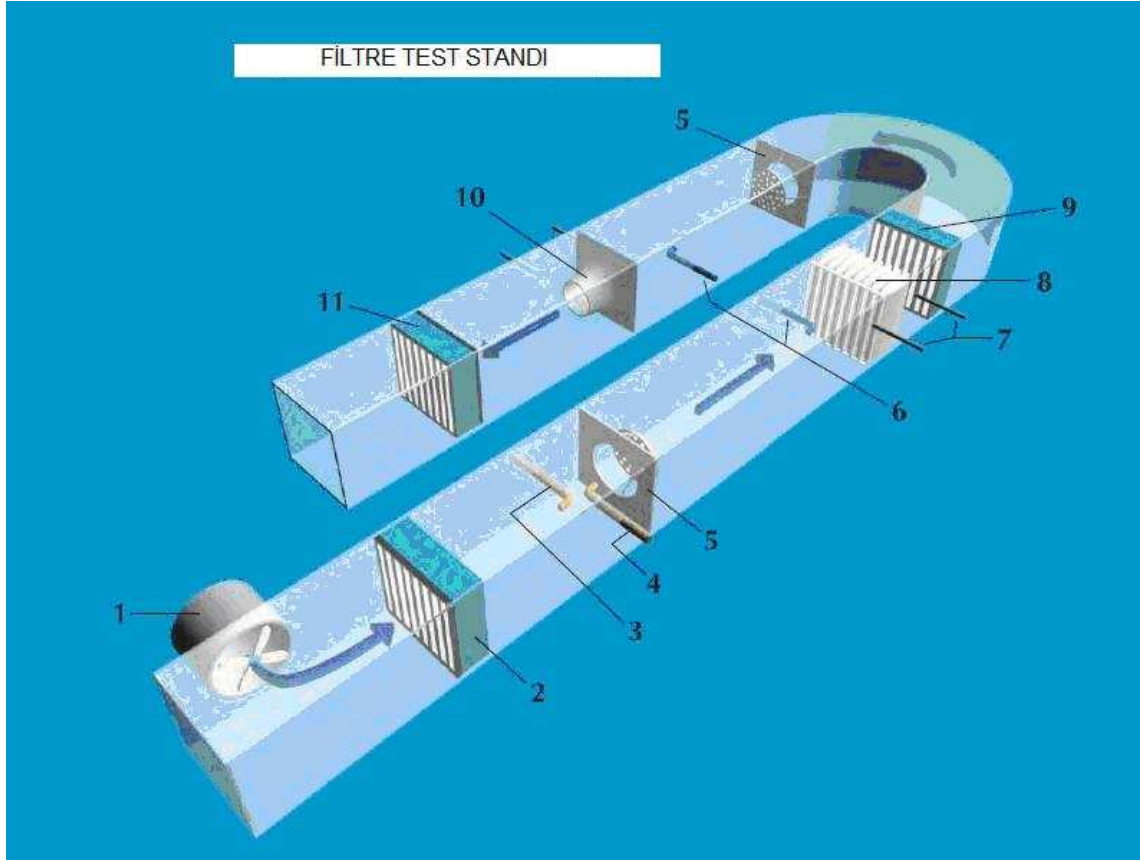
Şekil 3.14 Çerçevenin ızgaralı HEPA filtre kekine montajı

Sonraki adımda filtrenin neopren contaları çerçeveye tek parça halinde yapıştırılır.



Şekil 3.15 Contanın filtreye yapıştırılması

İmalatı biten filtre test için filtre test standına koyulur. Aerosol jeneratörünün ürettiği dumanla zorlanan filtrelerin sızdırmazlığı fotometre ya da partikül ölçer yardımıyla kontrol edilir. Şekil 6.11’de bir HEPA filtre test standı örneği görülmektedir.



Şekil 3.16 HEPA Filtre test standı

- 1- Üfleyici
- 2- Ön filtre
- 3- Aerosol enjektör
- 4- Toz verici dust feeder
- 5- Difüzyon plakası
- 6- Partikül örnekleme probu
- 7- Fark basınç probları
- 8- Test filtresi
- 9- Son filtre

10- Debi ölçer nozul

11- Son temizleyici HEPA

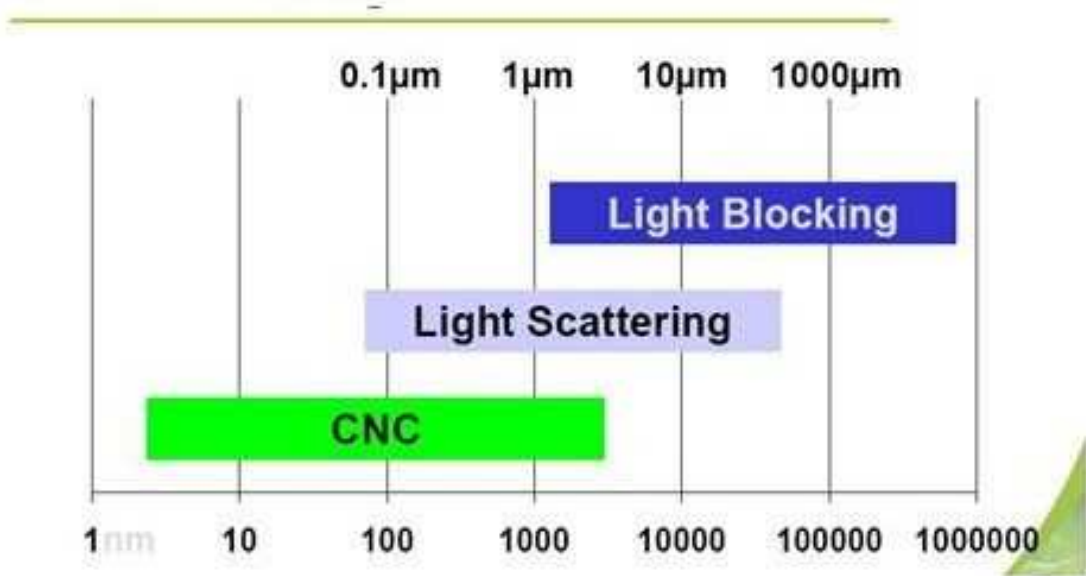
#### 6.4 Partikül Ölçerler

İlerleyen bölümlerde HEPA filtre verimlilik testlerinde sıklıkla ölçüm cihazı olarak partikül ölçerler karşımıza çıkacaktır. Farklı partiküller ölçerlerin farklı çalışma mantıkları vardır.

Partikül ölçerler 3 grupta toplanabilir:

- OPC Optik partikül ölçer Light Blocking (Işık engelleyici)
- OPC Light Scattering (Işık dağılımı) partikül ölçer (Discrete partikül ölçer olarak da adlandırılır.)
- CNC Condensation Nüklei (Çekirdek) ölçer

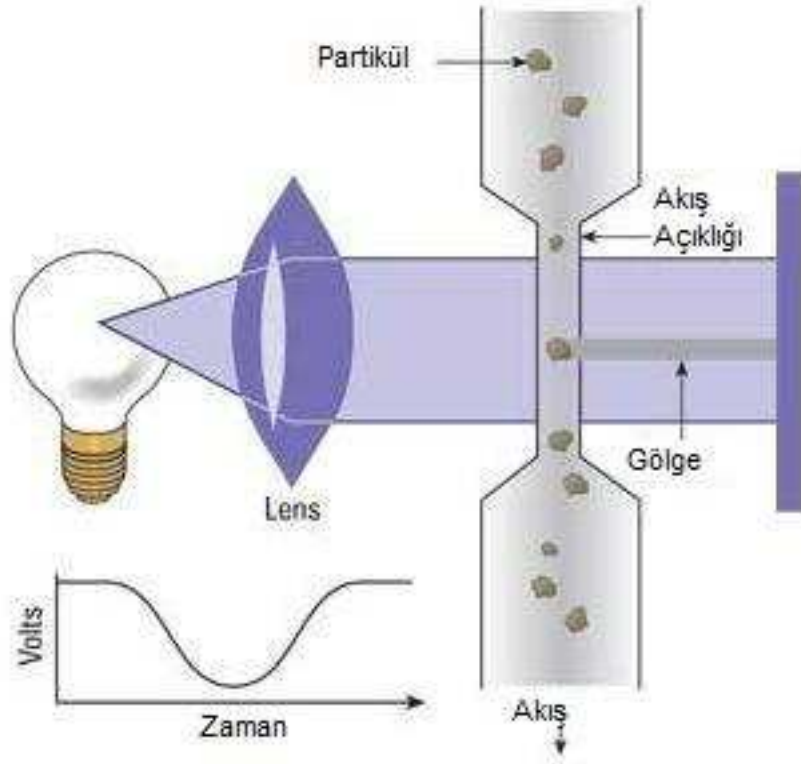
#### TESPİT ARALIĞI



Şekil 3.17 Partikül ölçer çeşitleri

#### 6.4.1 Light blocking- Işık engelleyici

Otomatik ışık engelleyici partikül sayımı ilk olarak 1960'lı yıllarda tanıtıldı. Işık engelleyici partikül ölçerin temel mantığı basittir. Bir ışık ışını, örneklenen akışkana doğru tutulur. Eğer bir partikül ışığı engellerse, partikülün boyutuna orantılı bir enerji düşüşüne sebep olur.



Şekil 3.18 Işık engelleyici partikül ölçer

#### 6.4.2 Light Scattering- Işık dağıtım

Işık elektromanyetik dalgaların bir bileşimi olarak adlandırılabilir.

Işık, bu dalgalar diğer objelerle etkileşime geçtiği zaman dağılır. Dağılmanın davranışı cisim özelliklerine, özellikle de cismin boyutuna bağlıdır.

Dağılma terimi ışığın bir yön değişikliğine uğraması anlamına gelmektedir. Bu değişiklik tüm yönlerde gerçekleşir.

Işık dağılımı :

- Yansıyan ışık (Işık bir parçacığa çarptığı zaman, açisal bir sapmaya uğrar)
- Kırılan ışık

- Yayılan ışık

Görüldüğü gibi ışık dağılımı terimi, ışığın ve ışığın partiküllerle etkileşimi ile ilgili farklı fiziksel özelliklerden oluşur.



Şekil 3.19 Partikül ve ışık etkileşimi

#### 6.4.2.1 Çalışma teorisi, avantaj ve dezavantajları:

Odaya giren bir güneş ışınına bakıldığında havada süzülen toz partikülleri görülebilir. Bu noktada 4 unsur önemlidir:

1. Güneş ışığının toz partiküllerini aydınlatması
2. Partiküllerin ışığı yansıtması
3. Havanın tozu taşıması
4. Gözlerinizin tozu görmesi

Partikül ölçerler de yukarıda sayılan maddeler çevresinde ölçüm gerçekleştirirler.

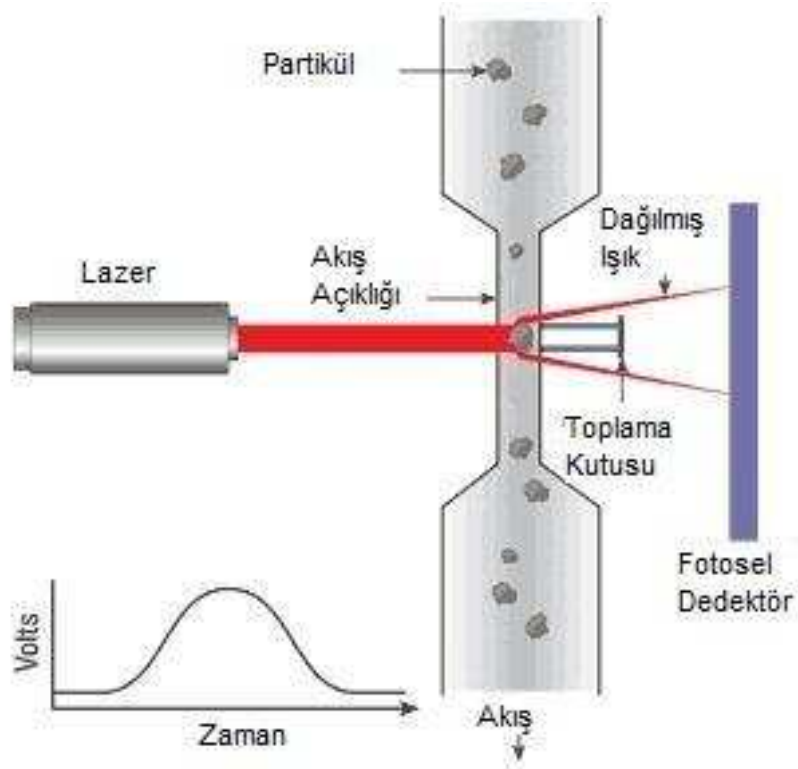
Çok parlak bir ışık kaynağı (lazer diot) partikülleri aydınlatmak için kullanılır. Partikül ölçer içerisinde bulunan aynalar dağılmış ışığı bir foto dedektöre odaklar. Foto dedektör her partikülden yansıyan ışığı bir elektrik enerji sinyaline dönüştürür. Sinyalin büyüklüğü, partikül boyutu ile orantılıdır ve sinyal sayısı da partikül sayısına eşittir.

Avantajları :

- 0.1 – 50 mikron arası yüksek hassasiyet
- Geniş örnekleme konsantrasyon aralığı
- Yüksek örnekleme debi oranları
- Yanlış ölçümleri iyi süzebilme

Dezavantajları :

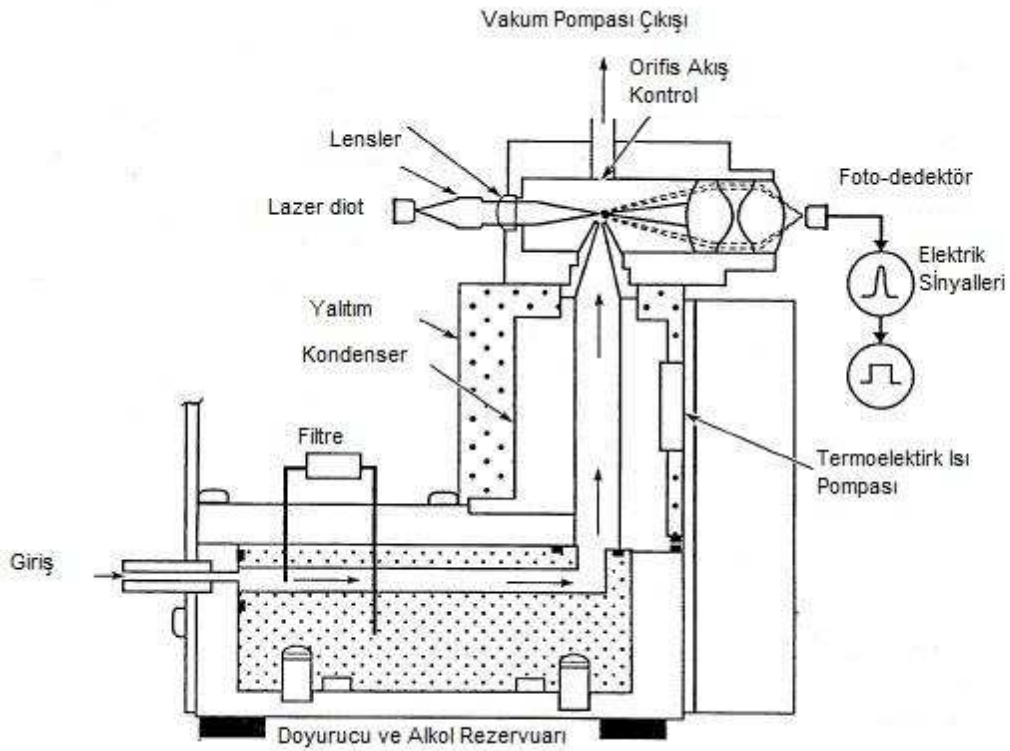
- Karışık yapının getirdiği yüksek maliyet
- Partikül yüzey karakteristiklerinden etkilenme olasılığı (parlak,renkli)



Şekil 3.20 Işık dağılımlı partikül ölçer

#### 6.4.3 CNC Partikül Ölçer

Bu partikül ölçerler çapı 0.01 ile 3 mikron arası olan partikülleri ölçebilir. Partiküller üzerlerinde bütanol yoğunlaştırılması ile optik olarak saptanabilecek büyüklüğe gelirler. Partikül içeren hava süngerimsi bir alkol rezervuarı içine çekilir ve bütanol buharı ile doymuş hale getirilir. Daha sonra örnek bir kondenser tübün içinde soğutulur ve buhar aşırı doymuş hale geçerek partiküller üzerinde yoğunlaşır. Partiküller büyüdüktan sonra diğer partikül ölçer çeşitlerinde olduğu gibi lazer diot bir optik detektörden geçirilirler ve burada her partikül sayılır.



Şekil 3.21 CNC partikül ölçer

#### 6.4.4 Partikül Ölçer Karşılaştırması:

Partikül ölçer (OPC) :

- Partikülleri tespit eder ve boyutlandırır.
- Boyutlarına göre partikül sayımı gerçekleştirir.
- 0.1 mikrona kadar ölçüm yapabilir.

- Herhangi bir aerosol kullanılabilir.

Kondensasyon nükleus (çekirdek) ölçer : (CNC)

- Sadece partikülleri tespit eder.
- Tüm partikülleri sayar.
- 0.01 mikrona kadar ölçüm yapabilir.
- Tekli dağılımlı aerosol kullanımı gerektirir.

## 6.5 Fotometre

EN 1822 filtre verimlilik testlerinde sadece partikül ölçer kullanılmasına izin verirken ASHRAE standartları aerosol fotometrenin de, testlerde kullanabileceğini belirtir. Fotometreler partikül ölçerlerde olduğu gibi ışık dağılımlı dedektörler kullanırlar. Fotometreler tam ve bağlı konsantrasyon ölçümlerinde faydalı olurlar.

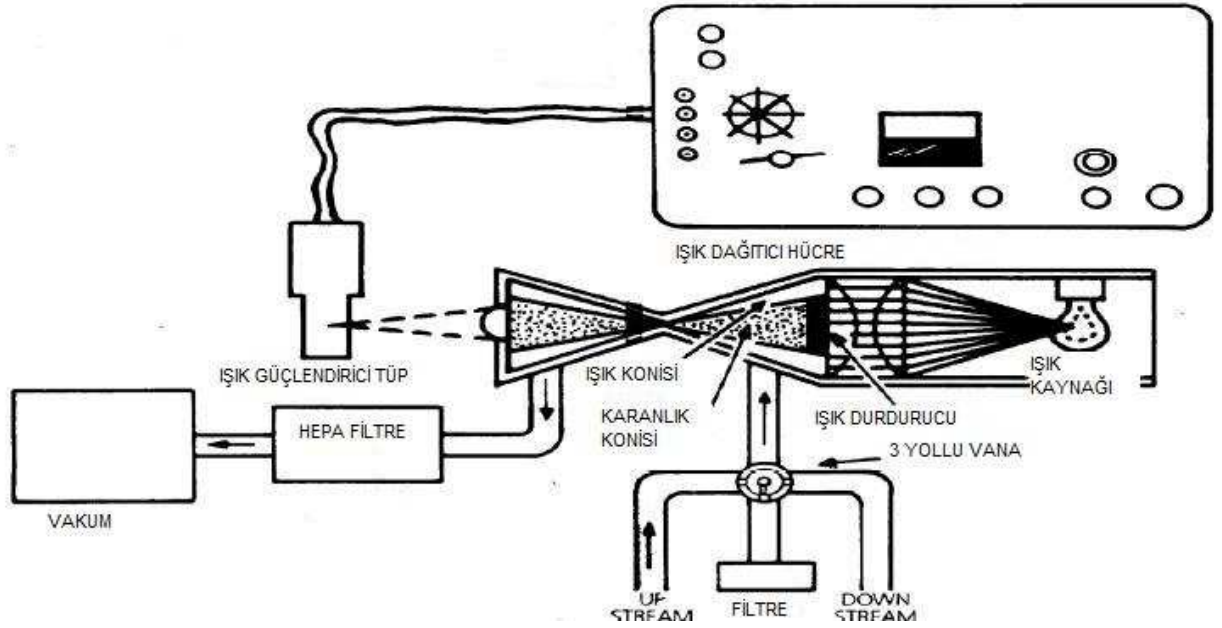
Aerosol fotometrenin en yaygın kullanımı olarak HEPA ve ULPA filtrelerde sızdırmazlık testinin yapılması gösterilebilir. Bir filtre sisteminin sağlamlığını denetlemek için belli bir büyüklükte partikül içeren test aerosolü filtrenin upstream portu denilen havanın filtreye girmeden önce geldiği yüzeye gönderilir. Test aerosolünün (challenge aerosol) görevi filtrenin upstream (giriş) tarafına yeterli kadar partikül göndererek downstream (çıkış) tarafından ölçümün yapılmasına imkan vermektir.

Test aerosolü upstream girişine yaklaşık 10 kanal çapı uzaklıktan verilerek yeterli hava-aerosol karışımının sağlanmasına olanak tanınmalıdır. Upstream tarafından filtrenin ortasına yakın bir noktadan fotometre ile bir ölçüm alınıp ölçülen değer %100 zorlama olarak kabul edilir. Bu değer filtreyi kirletecek(zorlayacak) aerosolün konsantrasyon değeridir. Bu ayarlamalar yapıldıktan sonra fotometre filtrenin downstream(çıkış) yüzeyinden sızıntı noktalarını belirlemek için hazırdır.

Tarama probu (scanning probe) ile filtre testi gerçekleştirilir. Filtre ve çevresinden tarama probu (scanning probe) yardımıyla bir inç uzaklıktan hareket ettirilerek (Hız=0,3 m/s) ölçüm gerçekleştirilir. Ölçüm sonuçları kaçak yüzdesi olarak fotometrenin üzerinden okunur.

Fotometre :

- Partikülleri değil, tüm aerosolü ölçer.
- Mikron ve daha büyük partiküller için idealdir.
- Cinsi bilinen bir aerosol ve göreceli olarak yüksek konsantrasyonlar gereklidir.



Şekil 3.22 Fotometre cihazı parçaları

#### 6.5.1 Çalışma Prensibi ve Parçaları:

Hava veya gaz, dağıtma hücresinin içine alındığında (scattering chamber) numunedeki partiküller dağıtma hücresinin içinde bulunan odak noktasından geçer. Partiküller ışığı karanlık koni (dark cone) içine dağıtır ve dedektör olarak kullanılan ışık güçlendirici tüp (photomultiplier tube) ya da foto-diyot bu ışığı bir elektrik sinyaline çevirir. Sinyal büyütülür ve dijital hale getirilir ve bir mikroprosesör tarafından ışığın yoğunluğu belirlenir. Bu sinyal daha sonra referans sinyal ile karşılaştırılır.

Fotometre hava veya gaz içerisindeki partikülü tespit etmek için uygundur. Kütle konsantrasyonu ekran üzerinden okunabilir.

#### **6.5.1.2 Örnekleme Sistemi :**

Bir vakum pompası fotometre için 1cfm (28.3 litre/dk.) örnekleme debisi sağlar. Bu yağsız, çift başlı, döner vanalı DC motorlu bir pompadır.

Ön paneldeki bir seçim valfi havayı örnekleme sistemi içerisinde dağıtma hücrelerine 3 mümkün şekilde iletir. Clear, upstream ve downstream seçenekleri ile cihazın istenilen pozisyonda okuma gerçekleştirmesi sağlanır.

#### **6.5.1.3 Işık Dağıtıcı Hücre**

Işık dağıtıcı hücre uçlarda bağlı bir çift boş koniden oluşan kompleks bir elektro-optik ünedir. Bir çift koşutlayıcı lens(mercek) önce ışık kaynağından gelen ışığı düzeltir, daha sonra örnekleme konisinin merkezine odaklar. Bir açıklıktan (aperture) geçen ışık ışık güçlendirici çevresinde bir karanlık koni oluşturur. (Işığın ışık güçlendiriciye doğrudan ulaşmasını engeller.) LED kaynağının ters tarafındaki bir aydınlatıcı mercek bu dark cone üzerine dağıtılmış ışığı ışık güçlendirici tüpünün üzerine odaklar.

#### **6.5.1.4 Amplifikatör**

Işık güçlendirici tüpünden gelen sinyal giriş sinyalini 2.500.000 katını arttırabilecek bir FET operasyonel amplifikatöre iletilir. Amplifikatör sinyali büyütür önce bir analogtan digitale konvertöre daha sonra mikroprosesöre yollar. Mikroprosesör istenilen okuma pozisyonunda gelen sinyali işler ve yüzdesel olarak giriş-çıkış karşılaştırması gerçekleştirir.

### HEPA FİLTRE VERİMLİLİK TESTLERİ VE SINIFLANDIRMA

#### 7.1 HEPA Filtre verimlilik testleri ve sınıflandırma

HEPA ve ULPA filtreler bir çok Avrupa ve Amerikan standardında tanımlanmıştır. Bu standartlar, genel havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılan filtrelerden yüksek verimliliğe sahip filtreler için geçerlidir. Başlangıçta standartta belirtilmiş test düzenekleri yeterince hassas olmadığından filtre verimliliği test ikna edici sonuçlar veremiyordu.

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 IEST-RP-CC-006-84 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. Bu teknik ile HEPA ve ULPA filtrelerin

verimliliği %99,999995 büyüklüğüne kadar ölçülebilir hale geldi ve bir kalite güvence metodu geliştirilmiş oldu.

#### **7.1.1 BS 3928 : 1969**

Hassas alanlarda kullanılan HEPA filtrelerin minimum gerekli standartları sağladıklarını garanti edebilmek için her bir HEPA filtrenin proses kontrolünden geçmesi gereklidir.

Her üretilen filtre teker teker test edilir ve tanımlanır.(Adlandırılır)

Test metodu fiyat olarak ucuz ve hızlıdır.En büyük dezavantajı testin bir sızdırmazlık testi olmaması ve CNC ve DOP test metotları gibi zahmetli olmadığından üreticinin lehine olarak görülür.

BS 3928 metodu filtre verimliliklerin boyutları 0,2-2 µm arasında değişen ortalama çapı 0,6 µm olan NaCl partikülleri ile zorlayarak hesaplar.

NaCl aerosolü %2'lik bir solüsyonu atomize ederek hazırlanır. Kanal dizaynı büyük damlacıkların oluşumunu engeller ve test filtresinde kuru bir aerosol kalmasını sağlar.

Sodium Alevi fotometrisi ile % 0-99.999 arası verimlilikler test edilebilir.

Test sonucu çok hızlı bir şekilde elde edilir ve filtrenin çok az yüklenmesi (14mg/m<sup>3</sup>) nedeni ile metot bir üretim testi olarak rahatlıkla kullanılır.

Uygulamada benzer basınç düşüm karakteristiklerine sahip, aynı verimlilikte filtre ve medya grubunu test ederken upstream konsantrasyonu sadece ilk filtrede ölçülür.

Bu metot özellikle İngiltere'de HEPA filtrelerin penetrasyon performansını tanımlamak için kullanılıyordu. Fakat artık hem %0.001 penetrasyon, hem de %99.999 verimlilik tanımları kullanılmaya başlanmıştır.

#### **7.1.2 EN 1822 Test Prosedürü**

- 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 6.15)

- 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.
- Filtre çerçevesi, filtre paketinin içine monte edildiği sert muhafazadır.



Şekil 3.23 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 6.13, EN 1822 testi için kullanılan otomatik tarayıcı test cihazını göstermektedir.

Yukarıda anlatılan yöntemle göre filtrenin H10 ile U17 arasında hangi sınıfa girdiği belirlenir. Filtre imalatçısı, ortalama ve/veya noktasal geçirgenlik veya verimliliği hava hızı, MPPS değeri ve sınıflandırmayla birlikte belirtmelidir. Bir HEPA filtrenin minimum verimliliği, hem tutma yüzde verimliliği hem de en yüksek penetrasyona sahip partikül için filtre mediumundan kağıdından geçen hava akımının hızına bağlıdır. Herhangi bir

filtre için, filtre yüzeyinden geçen havanın miktarının değişmesi min partikül tutma veriminin değişmesine neden olur.

MPPS den büyük ve küçük partiküllerin tutulma oranı daha yüksektir.

EN 1822 standartı 8 bölümden oluşur.

4. bölüm filtrenin MPPS'inde OPC ya da CNC partikül ölçer kullanarak tarama yapmaya dayanan bir test metodu tanımlar. Genellikle kullanılan cihaz parçacıkların boyutunu da ölçen lazer ışık kaynaklı bir partikül ölçerdir. (OPC) Belli durumlarda kondensasyon nükleus ölçerler (CNC) da kullanılabilir.

CNC ölçerlerde prensip şu şekildedir: Örneklenen parçacıklar, alkolün örnekleme akışı içindeki parçacıklar üzerinde yoğunlaştığı bir hücreden geçirilir. Bu şekilde ışık dağıtma tekniği kullanılarak tespit edilebilecek büyüklükte damlacıklar oluşturulur. Kondenserden ayrılan damlacıklar, partikül sayıcı bir optik detektörden geçerler. Bir damlacık tarafından dağıtılan ışık boyutu ile orantılı olarak bir elektrik sinyaline çevrilir.

4. bölüm yüksek verimli HEPA ve ULPA filtreler için kullanılır ve zorlayıcı olarak doğal ve yağ bazlı aerosoller kullanır. MPPS boyutunda üretilebilen her aerosol BS EN 1822 tarafından kabul görür. Bu test metodunda kullanılan standart aerosol atomize edilerek 0.1-0.5 µm aralığında ya da filtrenin MPPS'inde aerosol üreten sentetik bir yağdır.

Filtre verimliliği, filtre içerisinden geçen havadaki partiküllerin, interception, atalet, impingement, difüzyon ve straining gibi mekanizmaların bir arada kullanılması ile oluşan tutma oranına bağlıdır.

Partikül boyu küçüldükçe dinamik ayırma teknikleri daha az etkili hale gelir. 0.1 µm boyutuna gelindiğinde difüzyon mekanizması en etkili tutma tekniğine dönüşür. Verimlilik eğrisi, HEPA ve ULPA filtreler için hız ve medya kalitesine de bağlı olarak genellikle 0.1-0.25 µm boyutları arasında minimum değerlere karşılık gelir.

Test prensibi filtrenin downstream yüzünde tarama yapılarak devamlı bir upstream örnek için bölgesel verimlilikleri hesaplamaktır. Daha sonra bölgesel verimliliklerden toplam verimliliğe geçilir. Standart hem bölgesel hem de toplam verimlilik için kabul kriterlerinden bahseder.

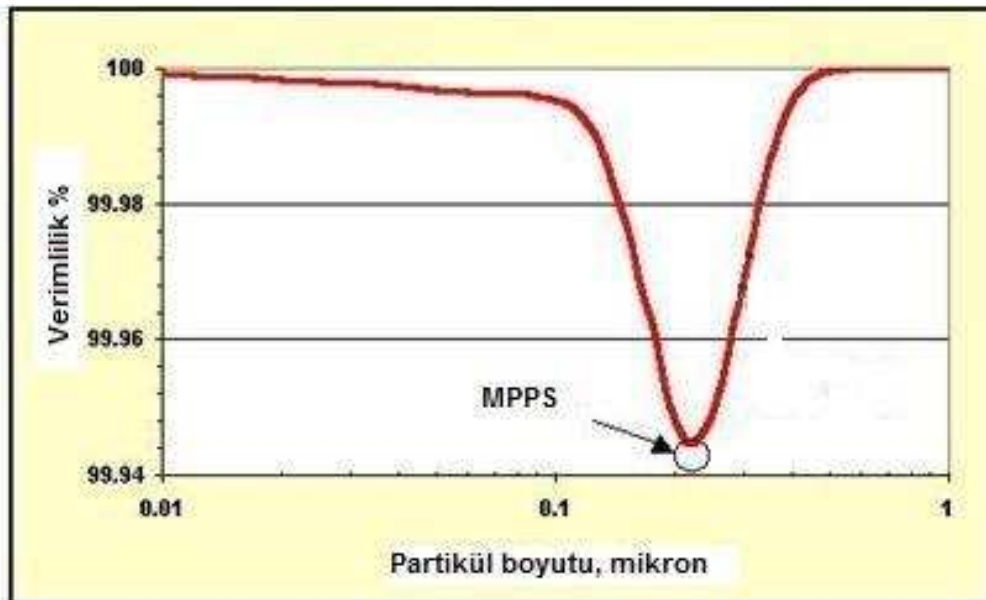
5.bölüm DIN 24184'e dayanan ve özellikle kanal içerisindeki HEPA filtreler için uygun yağ uygulama (thread ) metodunu tanıtır.

### 7.1.3 Dry Testing (Kuru Test)

Bazı endüstriler, temiz oda filtreleri için atmosferik hava ve polystren lateks kullanarak bölgesel sızıntıların hesaplanmasını gerektirir. Bu genellikle DOP ya da eşdeğer bir yağ bazlı aerosol ve solvent ile kirletmenin problem yarattığı yarıiletken uygulamalarda geçerlidir. Bu tür malzeme ile yapılan testler kuru test denilir.

Lateks ile ilgili uygulamalarda, eğer aerosol filreye ulaşmadan kurutulmazsa, lateks su bazlı olduğu ve nemin filtre medyasını etkileyebileceğinden dolayı ortaya çıkan problemler mevcuttur. Bir diğer problem ise DEHS ya da eşdeğer malzemeler ile karşılaştırıldığında görülen düşük partikül konsantrasyonudur. Düşük partikül konsantrasyonu uzun tarama sürelerini beraberinde getirir.

CN partikül sayıcı kullanımı da, bu cihazların partikül boyutlarını ayıramaması ve lateks için dağılım eğrisi gizli pik noktaları oluşturduğundan verimlilik hesabını ve sızıntı tespitini etkiler.



Şekil 3.24 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.

#### **7.1.4 ASHRAE ve MERV**

Bölüm 5.4.2’de anlatıldığı gibi ASHRAE standardı MERV denilen minimum verimlilik rapor değeri denilen bir tanımlamaya göre filtre verimlilik sınıflarını oluşturur. Filtre ASHRAE sınıfına göre test edilirken :

- Filtre 6 adet kademedan geçirilerek kirletilir.
- Standartta tanımlanmış 3 adet partikül boyut grubunda bulunan toplam 12 adet partikül boyutu ile zorlanır. Bu 12 boyut, yukarıda basedilen 6 kademe için de uygulanır ve bir filtre için toplam 72 adet ölçüm alınmış olunur.
- Testler standarda ifade edilen yedi hava hızından birinde gerçekleştirilir.
- Önce partikül boyut verimliliği, daha sonra MERV değeri hesaplanır.

MERV değeri 1-16 sayıları arasında değişir.

#### **7.1.5 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 stardarda göre yapılan testlerle filtrenin verimliliği değil, paketlenme, 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 problem olmadığı mahallerde testler yapılabilmektedir.

## **7.2 HEPA Filtre Verimlilik Testleri Karşılaştırılması**

HEPA filtreler farklı ülkelerde farklı tanımlanan standartlarla test edilir. Bu testlerin arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları anlaşılırsa farklı filtreler arasındaki verimlilik sınıfı açısından karşılaştırma yapmak mümkün olabilir.

### **7.2.1 Amerika**

1956'da Amerika'da MIL-STD-282 <DOP kullanarak Filtreler, Koruyucu Giysiler, Gaz maskesi komponentleri ve ilgili ürünler: Performans ve test metodları > yayınlandı. Bu yayında termal üretim denilen DOP yağının ısıtılıp buharlaştırılması daha sonra yoğunlaştırılması ile çapı 0.3 mikron büyüklüğünde DOP partikülleri metodu tarif edildi. Bu yöntem HEPA filtreleri Q-127, Q-76 ve Q-107 test standlarında test etmek üzere kullanıldı. Günümüze kadar bu yöntem 4 kez revize edildi ve sonuncusu 1995 yılında yayınlandı. 1959'da Underwriters Lab. Firması ANSI/UL 586:1959<Hava Filtreleri>'ini yayınladı. Bu yöntemde filtrenin sızdırma oranı sıcak hava, nemli hava ve soğuk hava şartları altında test edildi. 8 revizyondan sonra ANSI/UL 586:2004 olarak son haline geldi.

1975 ve 1976'da ANSI 45.8 komitesi sırasıyla ASME N509'u ve ASME/ANSI N510'u yayınladı ve aynı yayınları 1980 ve 1981'de revize etti. 1976'da bu komite "American Society of Mechanical Engineers Committee on Nuclear Air and Gas Treatment" olarak tanındı.

1986'da ASME AG-1-1986<Nükleer Hava ve Gaz İşleme Kılavuzu> yayınlandı. Sayısız revizyondan sonra son hali olan ASME AG-1-2003'e dönüştü.

1980'de Los Alamos Ulusal Laboratuvar'ı farklı HEPA fitler test metodunu inceledi ve MIL-STD-282 metodunun iyi ve kötü yanlarını ortaya koydu ve buna alternatif olarak DOP jeneratörü yerine aerosol üretmek için Laskin nozulları, Q-107 test standındaki aerosol ölçme aygıtı yerine de lazer aerosol spektrometre kullanan "Yüksek akışlı alternatif test sistemi"ni geliştirdi. Test sonuçları MIL-STD-282'ye denkti ve farklı partikül boyutları için verimlilik ölçülebiliyordu. Fakat uzun test süresi ve yüksek hata oranı nedeni ile bu yöntem fazla benimsenmedi.

1992 ve 1993 yıllarında Institute of Environment Sciences and Technology (IEST) bir seri HEPA/ULPA filtre test standardı yayınladı. Bunların içerisinde IEST-RP-CC007.1:1992< ULPA Filtre Testleri>, IEST-RP-CC001.3:1993<HEPA ve ULPA Filtreler> ve IEST-RP-CC-006.2:1993< Temiz Oda Test leri> yer alıyordu.

2005 yılında IEST IEST-RP-CC001.4 <HEPA ve ULPA Filtreler> ve IEST-RP-CC034.2<HEPA ve ULPA Filtre Sızdırmazlık Testleri> yayınladı.

### **7.2.2 Avrupa**

1984'te EUROVENT, EUROVENT 4/4 <Fotometre kullanarak filtreler için sodyum klorür aerosol testi>ni yayınladı. Bu standart sodyum klorürü test aeorosolü olarak kullanarak HEPA filtrelerde verimliliği ve basınç düşümünü test ederek filtreleri sınıflandırıyordu. Metodün orijinali 0,6 mikron büyüklüğünde NaCl aerosolü kullanan BS3928-1969'du. Metod farklı konsantrasyonlardaki tuz buharının farklı renkte hidrojen gaz buharı çıkışı sağlayarak, upstream ya da downstreamden alınan örneklerle verimliliğin belirlenmesine dayanıyordu.

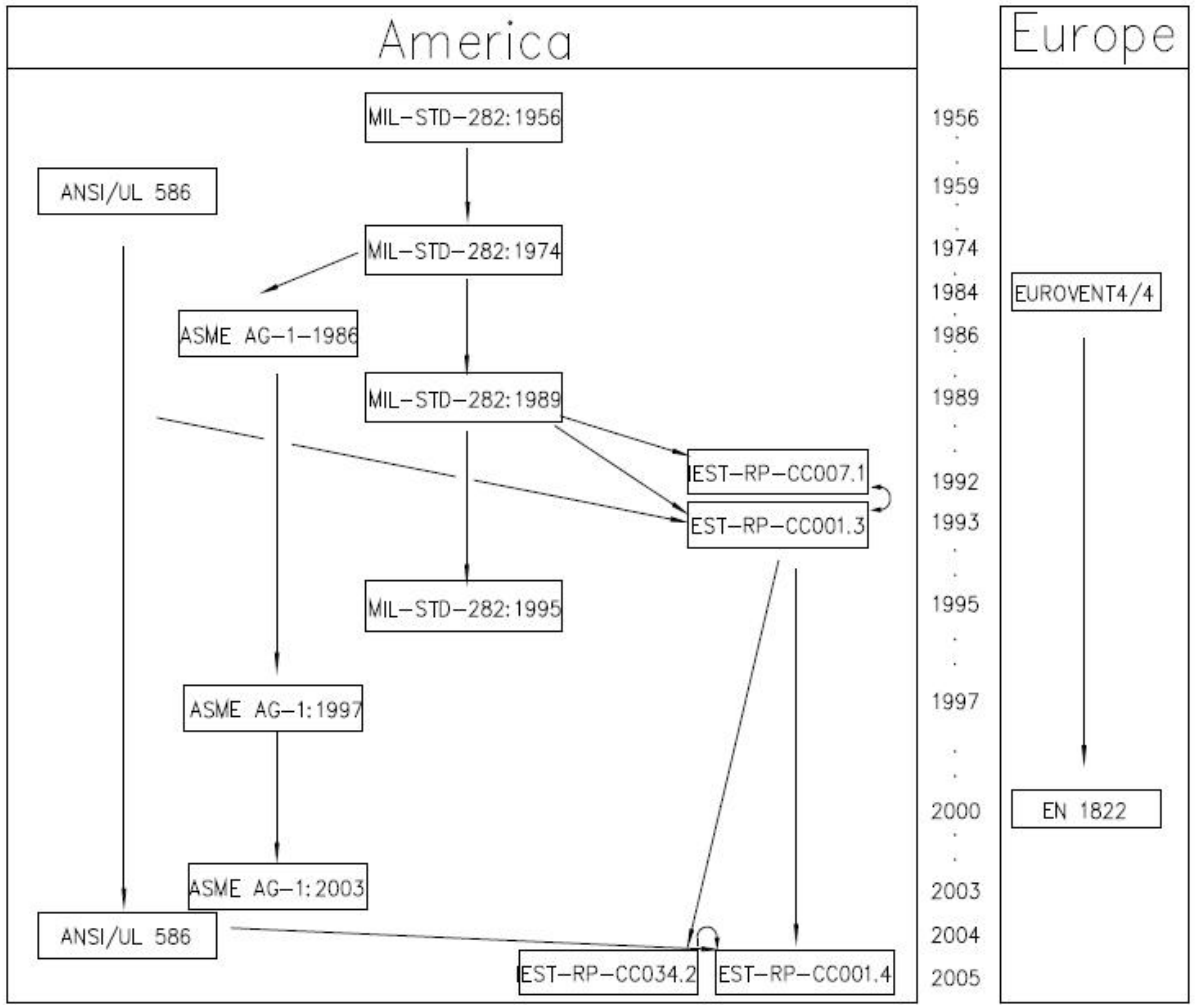
Fakat sodyum buharı metodu yüksek debilerde test için uygun olmadığından CEN'e bağlı 2 grup yeni bir standart hazırlamaya başladı. Başta geniş kullanım alanı yüzünden

BS3928 tercih ediliyordu ama aşağıdaki nedenlerden dolayı yeni test metodu tercih edildi:

- HEPA/ULPA filtreleri kapsayan daha tutarlı ve mantıklı bir sınıflandırma sistemi gerekli idi.
- Metod temiz oda sınıflarının 10 çarpanı ile değıştiğı temiz oda kullanıcılarını tatmin edebilirdi.
- Belirli bir sınıf filtre için sızıntı boyutları ile verimlilik arasında bir ilişkiye ihtiyaç vardı.
- Farklı test standları arasında korelasyona ihtiyaç vardı ve test sırasında daha az hataya rastlanmalıydı.

10 yıllık uğraşının sonucunda 1998 ve 2000 yılları arasında, CEN EN 1822'yi yayınladı. EN 1822'nin yayınlanması ile Avrupa'da filtre testi konusundaki karışıklık düzelmeye başladı.

Eski standarda kıyasla EN 1822'nin getirdiğı en büyük özellik belirli bir hızda en düşük verimlilik değıerini veren partikül boyutu olan "Most Penetrating Particle Size" kısaca MPPS boyutunda test yapılması idi.



Şekil 3.25 HEPA Filtre verimlilik testleri gelişimi

### 7.2.3 Standart Karşılaştırması

Çizelge 7. 6 HEPA filtre test standartları karşılaştırılması

|                | IEST-RP-CC001.3 | IEST-RP-CC007.1                                    | IEST-RP-CC001.4 | IEST-RP-CC0034.2                       | EN 1822                     |
|----------------|-----------------|----------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| TEST AEROSOLÜ  | TERMAL DOP      | MİNERAL YAĞ, MISIR YAĞI, OLEİK ASİT, DOP, DOS, PSL | TERMAL DOP      | MİNERAL YAĞ, OLEİK ASİT, DOP, DOS, PAO | DOS, DOP YA DA PARAFİN YAĞI |
| AEROSOL BOYUTU | 0.3 µm          | ÇOKLU DAĞILIMLI YA DA %90 0.1 –0.2 µm              | MPPS            | --                                     | MPPS                        |

| ÖRNEKLEME CİHAZI      | FOTOMETRE | OPC, EMP             | -- | -- | OPC YA DA CNC     |
|-----------------------|-----------|----------------------|----|----|-------------------|
| SICAKLIK VE BAĞIL NEM | --        | 10-37.8°C<br>30-70 % | -- | -- | 23(±5°C)<br><75 % |
| BASINÇ                | --        | POZİTİF              | -- | -- | --                |

- Hava hızı uniformluğu IEST-RP-CC001.3 ve IEST RPCC001.4'te  $\pm 20\%$  iken, IEST-RP-CC007.1'de  $\pm 10\%$ 'dur.
- Aerosol uniformluğu IEST-RP-CC007.1 ve IEST-RP-CC034.2'de  $\pm 20\%$  iken , EN1822'de  $\pm 10\%$ 'dur.

#### 7.2.3.1 Test Prosedürü Karşılaştırma

IEST-RP-CC001.3 A-E tipi filtreler için termal DOP metodunu, F tip filtreler için lazer testini kullanır. DOP metodu fotometre kullanırken, lazer metodunda partikül ölçerler kullanılır. IEST-RP-CC001.4 sızıntıyı aynı şekillerde tespit ederken iki standart da, filtrelerde mikron seviyesinden daha düşük partiküllerin %99.97 verimlilikle tutulma testi için uygundur. İki metod arasındaki genel fark :

- IEST-RP-CC001.3 sızdırmazlık tarama testini içerirken, bu IEST-RP-CC001.4'te yoktur ve IEST-RP-CC034.2 sadece sızdırmazlık testi için düzenlenmiştir.
- IEST-RP-CC001.3'de yer alan sızdırmazlık testi HEPA/ULPA filtrelerin laboratuvar ortamında test edilmesi için kullanılırken, IEST-RP-CC0034.2 HEPA/ULPA filtrelerin üretim, montaj ve montaj sonrası test edilmesini gerektirir. IEST-RP-CC001.3'de yer alan metodlar: Fotometre tarama metodu (penetrasyon oranı %0.001'den büyük filtreler için) ve partikül ölçer tarama metodu (penetrasyon oranı %0.001'den küçük filtreler için)

IEST-RP-CC034 iki farklı tarama yöntemi göstermekle kalmayıp ulaşması zor olan yerlerdeki filtreler için farklı bir sızdırmazlık testi metodu olan aerosol fotometre toplam sızdırmazlık metodunu da tarif eder. Bu yöntemde aerosol test kanalına verilir,

daha sonra upstream ve downstream partikül konsantrasyonları ölçülerek toplam sızıntı miktarı tespit edilir.

- IEST-RP-CC001.3 ile karşılaştırıldığında A-F tip filtre sınıflandırılması genel olarak aynıdır.

#### **7.2.3.2 Test Farklılıkları**

- C ve D tip filtreler için test aerosolü olarak PAO ya da DOP kullanılabilir. Yaygın olarak kullanılan DOP sağlık açısından risk içerdiğinden hem sağlık hem de ilaç idarecileri ve Amerika Cerrahlar Topluluğu (USSG) PAO'nun test aerosolü olarak DOP'un yerini almasını kabul etmişlerdir.
- IEST-RP-CC001.3'te 0.1-0.2 mikron partikül boyutunda %99.999 minimum verimliliğe sahip filtreler F tipi olarak kabul edilirken, IEST-RP-CC001.4'te 0.1-0.3 partikül boyutu aralığında aynı verimliliğe sahip filtreler F tipi filtreler olarak adlandırılmıştır.
- IEST-RP-CC001.4 F tipi filtrelerin testinde partikül ölçer yanında fotometre kullanılmasına da izin verir.
- IEST-RP-CC001.3 ile karşılaştırıldığında, süper ULPA (G tip)- ULPA (A tip) tanımlamaları eklenmiştir.
- Avrupa'da HEPA/ULPA filtreler MPPS dikkate alınarak EN 1822 standartına göre test edilir. Standartta bulunan test prosedürü 3 bölümden oluşur : Filtre medyası testi, filtre sızdırmazlık testi ve filtre toplam verim testi. İlk olarak belli bir hava debisinde filtre medyası verimi ve partikül boyutu arasındaki ilişki belirlenerek MPPS değeri bulunur. Daha sonra karşılık gelen hava hızına karşı monodisperse ya da multidisperse aerosoller filtrenin bölgesel sızıntılarını tespit etmek için kullanılır böylece monodisperse aerosollerin MPPS boyutuna sahip olması ya da multidisperse aerosollerin ortalama boyutunun MPPS ile aynı olması ön koşulu ile filtrede sızıntı olup olmadığı tespit edilir. Son olarak statik ölçme yöntemi ya da tarama yöntemi ile toplam verimlilik test edilir. Statik ölçme metodu sabit örnekleme problemleri kullanarak upstream ve downstream tarafındaki konsantrasyonları test ederken, tarama metodu downstream tarafında bir

tarayıcı prob ve upstream tarafında sabit bir örnekleme probu yardımı ile önce bölgesel MPPS verimliliğini daha sonra da toplam verimliliği hesaplar.

#### **7.2.3.3 EN 1822 ile IEST-RP-CC001.4 arasındaki farklılıklar**

- EN 1822’de %99.95 verimliliğe sahip filtreler MPPS verimliliği ve sızdırmazlık için test edilirken, IEST-RP-CC001.4’te çoğu filtre MPPS’ye çok yakın olan number mean diameter(NMD) adı verilen 0.3 mikron partikül boyutuna sahip termal DOP ile test edilirler.
- MPPS verimi %85 olan filtreler EN1822’de HEPA filtreler (toplam 7 tip) olarak adlandırılır. IEST-RP-CC001.4’te ise 0.3 mikron termal DOP verimliliği %99.97 olan filtreler HEPA filtre olarak adlandırılır. (toplamda 14 adet)
- IEST hem aerosol fotometre hem de partikül ölçerlere izin verirken (OPC ve CNC), EN1822 sadece partikül ölçerlerin ya da farklı mobil analiz cihazları (DMA) kullanılmasına izin verir.
- OPC’ler için test aralığı EN 1822’de 0.1-2 mikron olup 6 gruba bölünmüştür, CNC’ler için 0.05-0.8 mikron, DMA’lar için 0.01-0.8 mikron arasındadır. IEST-RP-CC001.4’te test aralığı hem OPC’ler hem CNC’ler için 0.1-0.3 mikron arasındadır.
- EN 1822’de verimlilik sızdırmazlık testinin tarama yöntemi ile test edilebilir, böylece verimlilik testi ile sızdırmazlık testi bir test ile gerçekleştirilmiş olabilir. IEST uygulamasında bu iki test birbirinden bağımsızdır.
- EN 1822’de %99.95 verimliliğe sahip filtreler tarama metodu ile test edilmeliyken, IEST’te filtreye tarama yapılıp yapılmayacağını performans belirler. A ve H tip filtreler sadece verimlilik testine ihtiyaç duyarken, B, E ve I filtreler çift debi oranı sızdırmazlık testi gerikirken, diğer sınıflara her iki testin de uygulanması gerekir.
- EN 1822’de yüzde genellikle filtrenin sızdırmazlığını göstermek için kullanılırken IEST, PPM (por/milyon) tanımını getirir.
- EN 1822’de MPPS verimliliği kullanılır, IEST’te ise A-E tip filtrelerde ortalama çapı (NMD) 0.3 mikron olan aerosoller kullanılır.

#### **7.2.3.4 Test Aerosolü Seçimi**

İlk test aerosolü olan DOP, MIL-STD-282 tarafından benimsendiği için çoğu standart yakın zamana kadar DOP aerosolünü kullanıyordu. Aslında HEPA filtrenin tanımı DOP verimliliğine bakılarak ortaya çıkmıştı.

Fakat DOP buharının gözler ve solunum sistemi için zararlı etkileri ortaya çıktı.

Yüksek oranda DOP buharı solunması insanlarda baş ağrısı, bulantı ile ortaya çıkan huzurluk yarattığı, daha ilerleyen safhalarda zehirleyici hatta kansorejen etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden insanlar yeni bir aerosol arayışına başladılar.

İEST-RP-CC001.4 DOP yerine PAO'yu kullanmaya başladı. PAO'nun daha ucuz fiyatla DOP'a oranla, toksisite ve güvenlik alanında daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıktı ve filtre alan testlerinde kullanılmaya başladı. Günümüzde kullanılan birçok ekipman da PAO ile çalışabilecek şekilde ayarlandı. DOP testi gibi testlerden sonra filtrenin üzerinde kalan yağı salması ve kirlilik iyaratması htimali vardır. Böyle bir durumu engellemek için Amerika'da bazı standartlarda PSL kullanılarak OPC'yi kalibre etmek önerilir, yalnız PSL fiyat olarak PAO ile karşılaştırıldığında pahalı kalır.

Uygun bir aerosolde bulunması gereken en önemli özellikler kırılma, buhar basıncı ve yoğunluğu olarak kabul edilir ve uygun bir aerosolde bu değerlerin, EN 1822-2'de tablo 1'de bulunan değerlerden çok farklılık göstermemesi beklenir.

#### **7.3 HEPA Filtre Sınıflandırması**

İEST-RP-CC001.4'te A-E tip filtreler MIL-STD282'De açıklanmış DOP metoduna göre, F,H-K tip filtreler İEST-RP-CC007.1'de açıklanan metoda göre, G tip filtreler ise İEST-RP-CC021'de açıklanan metoda göre sınıflandırılır.

EN 1822'de H10-U17 filtreler hepsi MPPS verimliliğine göre sınıflandırılmıştır. Farklı test metodları, test aerosolleri ve test koşulları aynı filtre için farklı performanslar ortaya çıkaracağından farklı standartlar arası karşılaştırma yapmak güçtür.

İEST-RP-CC001.4:2005'de aşağıdaki karşılaştırmalar yer alır :

Bu standartta farklı tip filtrelerin performansları birbirine yakındır. A, B, E, H ve I tip bir filtrenin toplam verimliliği %99.97 iken, C ve tip filtrelerde verimlilik %99.99, D ve F tip

filtrelerde %99.999'dur fakat test aerosolleri ve sızdırmazlık test ekipmanları farklılık gösterir.

EN 1822'de toplam sızdırmazlık oranı H10 ile H11 arasında 3 iken, diğer filtre sınıfları arasında 10'dur. U17 tip filtrede bölgesel sızdırmanın (local Penetration) toplam sızdırmaya (total penetration) oranı 20 iken diğer filtrelerde bu oran 5'tir.

IEST-RP-CC001.4'te bölgesel sızdırma oranları farklılık gösterir çünkü tarama sızdırmazlık testleri sırasında ortaya çıkan hata oranı yüksektir ve sızdırmazlık testi sırasında izin verilen sızdırma oranı verimlilik testinde izin verilen sızdırma oranına eşit ya da daha büyük olmalıdır.

#### **7.4 Mevcut problemler ve gelişim eğilimi**

- Difüzyon ve interception efektleri beraber kullanıldığında 0.3µm partikül boyutunun en zor tutulan boyut olduğuna inanılmasından dolayı, eski HEPA filtre test standlarında verimlilik 0.3µm partikül boyutuna göre test ediliyordu. Bu şekilde bu boyut DOP metodu için temel boyut haline geldi. Fakat son araştırmalar MPPS boyutunun 0.1 ile 0.25 µm arasında değiştiğini ve MPPS'nin farklı tip filtreler ve farklı hava hızları için değiştiğini gösterdi. EN 1822 ile IEST-RP-CC001.4 arasındaki fark; test koşulları değiştikçe MPPS verimliliğin ve filtre klasmanın EN 1822'de değişirken, IEST-RP-CC001.4'te sabit kalmasıdır. EN 1822 yüksek hassasiyet ve doğruluğa sahip olmasına rağmen test prosedürünün karışık olması ve test süresinin uzunluğu, daha basit ve güvenilir bir test metodunun aranması gereğini oluşturur.
- EN 1822'de hem sabit prob hem de hareketli prob toplam verimliliği test etmek için kullanılabilir ve H13-H17 arası verimliliğe sahip filtreler için bölgesel penetrasyonu test etmek için tarama probu gereklidir. Verimlilik testi ve sızdırmazlık testi için kullanılan test standı ve aletler benzer olduğundan daha doğru sonuçlar alabilmek için iki test düzeneğinin beraber kullanılması önerilir. IEST-RP-CC001.4'te C ve K sınıfı arasında kalan filtreler için de aynısı geçerlidir.
- EN 1822 ve IEST-RP-CC034.2 için gereksinimler farklıdır. EN 1822'de prob girişindeki hava hızı filtre yüzeyinden %25 daha az olmalıdır ve prob filtre yüzeyinde

10-50 mm. arası bir uzaklıkta bulunmalıdır. IEST'te yukarıda verilen değerler sırası ile  $\pm 10$  ve 25mm. 'dir. EN 1822'de tarama hızı maksimum 10 cm/s olarak kabul edilirken, IEST'te fotometre ile yapılan taramalarda 5 cm/s, partikül ölçer ile yapılan taramalarda ise 2.5 m/s hıza müsaade edilir. Farklı tarama hızları örnekleme doğruluğunu değiştirerek sızıntı ve test tutarlılığının değişmesine neden olur.

- EN 1822 bir adet upstream ve bir adet downstream tarafında olmak üzere iki adet partikül ölçerin arka arkaya kullanılmasına ya da upstream ve downstream tarafından sıralı ölçüm alan bir partikül ölçerin kullanılmasına izin verir. İki partikül ölçer kullanılması durumunda ikisinin de aynı tip kalibrasyonlu cihazlar olması gerekir. Tek cihaz kullanımında ise test kanalı içerisindeki aerosol konsantrasyonu, boyut dağılımı ve uniform dağılım sabit tutulmalıdır.
- Partikül ölçerlerin belli bir test aralığı olduğundan dolayı, upstream tarafındaki aerosol konsantrasyonu, aerosol yığılması ve partiküllerin üstüste binmesi ile oluşabilecek hataları engellemek için kontrol edilmelidir. Her iki standart da seyreltme sistemlerinin kullanımına izin verir. Fakat seyreltme işleminden sonra test konsantrasyonunu ölçmenin zorluğu göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek konsantrasyonlarda test yapıldığında ise özel test problemlerinin dizayn edilmesi, örnekleme tüpünün kısaltılması, örnekleme tüpünün elektrik performansı iyileştirilmeli ve ses kaynağından uzakta tutulmalıdır.
- HEPA/ULPA filtrelerin saha testleri için EUROVENT 1985 yılında DOP metodu kullanımı ile gerçekleştirilen, EUROVENT 4/8:1985 'Temiz Alanlardaki Yüksek Verimli Filtrelerin Saha Sızdırmazlık Testi' dokümanını yayınladı. İmalat, nakliye ve montaj aşamalarının her biri temiz oda sisteminin temizlik seviyesini etkileyeceğinden saha testlerine de gerek duyulmuştur. Saha testleri özellikle mikroelektronik ve biyogüvenlik gibi alanlarda çok önemli olduğundan IEST, IEST-RP-CC04 ile yukarıda aşamaların herbirini denetleyen bir standart oluşturmuştur.

Özet olarak Amerika'da DOP metodu ülkede en yaygın kullanılan yöntem olsa da partikül boyut metodu da kullanılmaya başlanmıştır. Avrupa'da ise Sodyum alevi metodu yerini MPPS metoduna bırakmıştır. Uygulamada verimlilik testi ve sızdırmazlık testi için hazırlanmış test standalarının birleştirilmesi önerilir.

### HEPA FİLTRE TEST STANDI



Şekil 3.26 HEPA Filtre Test Standı

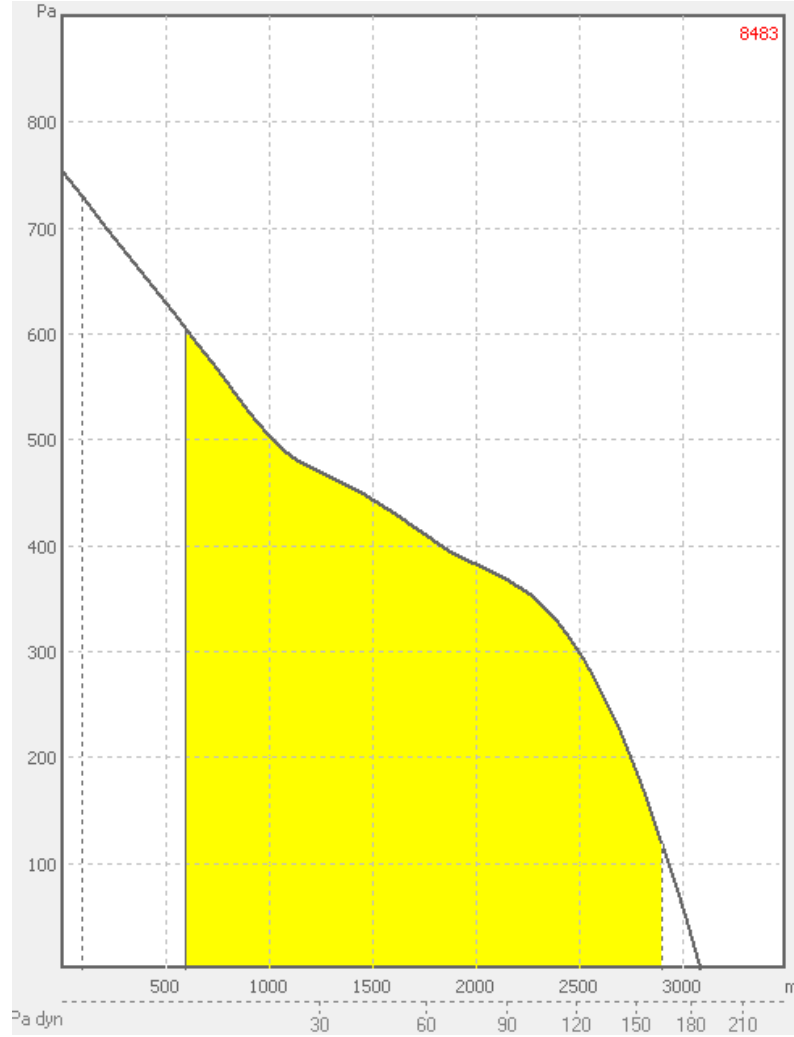
#### 8.1 Test Standı Elemanları

##### 8.1.1 Deney ön filtresi

Ön filtre olarak G4 verimliliğe sahip alüminyum çerçeveli filtre kullanılmıştır. Dış ortam havası ön filtreden geçirilerek partikül konsantrasyonun sınırlandırılması amaçlanmıştır.

### 8.1.2 Hız düzenleyicili fan

CB1TAC3CA hız kontrol kartına sahip P.Lemmens DD 9-9 TAC ½ kodlu 600-2700 m<sup>3</sup>/h arası debiye sahip fan kullanılmıştır. Fan eğrisi aşağıdaki gibidir :



Şekil 3.27 Fan eğrisi

Fan kontrolü CB1 TAC3 CA hız kontrol sürücüsü ile gerçekleştirilir. Sürücü yardımı ile istenilen debi sabitlenerek, fanın kendi hızını basınç düşümlerinden bağımsız şekilde ayarlaması sağlanır. Test sırasında filtreye farklı debilerde aerosol verilerek penetrasyon miktarları incelenir.

### 8.1.3 Aerosol jeneratör (TEC Service AG-E1)



Şekil 3.28 Aerosol Jeneratör

Jeneratör 1.5 Laskin nozul ile çalışmakta ve her biri 20 psi basınçlı hava ile 10 µg/l aeorosol üretmektedir. İçinde bulunan kompresör ile basınçlı hava üretir ve düşük konsantrasyonlara ihtiyaç duyulduğunda ayarlanabilir. Aerosol olarak PAO kullanılır.

PAO yağı çoklu dağılımlı bir aerosoldür. Partikül boyutu, filtrelerde genellikle MPPS olan 0,3 µm civarında toplanmıştır.

### 8.1.4 Kontrol ve ölçü aletleri

Fark basınç manometresi : 0-500 Pa ölçüm aralığına sahip DWYER marka bir fark basınç manometresi kullanılmıştır.

Hız ölçer : TSI 8375

HEPA filtre çıkışındaki hava hızını ölçmek için TSI marka 16 noktadan ortalama olarak pitot tübü prensibi ile çalışan hız/debi matriksi kullanılmıştır.

Sıcaklık/nem ölçer : Dış ortam sıcaklık değerleri TFA marka bir cihaz ile kontrol edilmektedir. Testin gerçekleştirildiği sıcaklık ve nem değerleri de not edilmelidir.

### 8.1.5 Aerosol fotometre (TEC Service PH-5)



Şekil 3.29 Aerosol Fotometre

Farklı test aerosolleri için test imkanı sağlar. Min. % 0.001, max. %1000'e kadar okuma gerçekleştirebilir. Örnekleme akış debisi 1 CFM olarak tanımlanmıştır.

### 8.1.6 Deney filtresi

Deney filtresi olarak EN 1822 standardına göre 600 m<sup>3</sup>/h debide, 110 Pa başlangıç basınç düşümüne sahip, DEHS ile test edilmiş 610x610x78 mm. ebatında iki adet filtre kullanılmıştır. HEPA filtrelerden biri penetrasyon miktarını gözlemlemek amacı ile delik açılmıştır.

### 8.1.7 Prob için hareket sistemi

Prob hareket sistemini oluşturmak için 2 adet Ø20 mm. vidalı mil, buna monte edilmiş 2 adet flanşlı somun, 1 adet Ø15 mm. rulmanlı yatak, 2 adet ray ve bunlara bağlı 4 adet araba kullanılmıştır. Tarama probu 2 adet step motor ile tahrik edilmektedir.

Prob MACH2 CNC programı ile X ve Y eksenlerinde belirtilen hareketi gerçekleştirebilir. Tarama yolu 610x610x78 mm. filtre için tariflenerek tarama gerçekleştirilir.



Şekil 3.30 Hareket sistemi

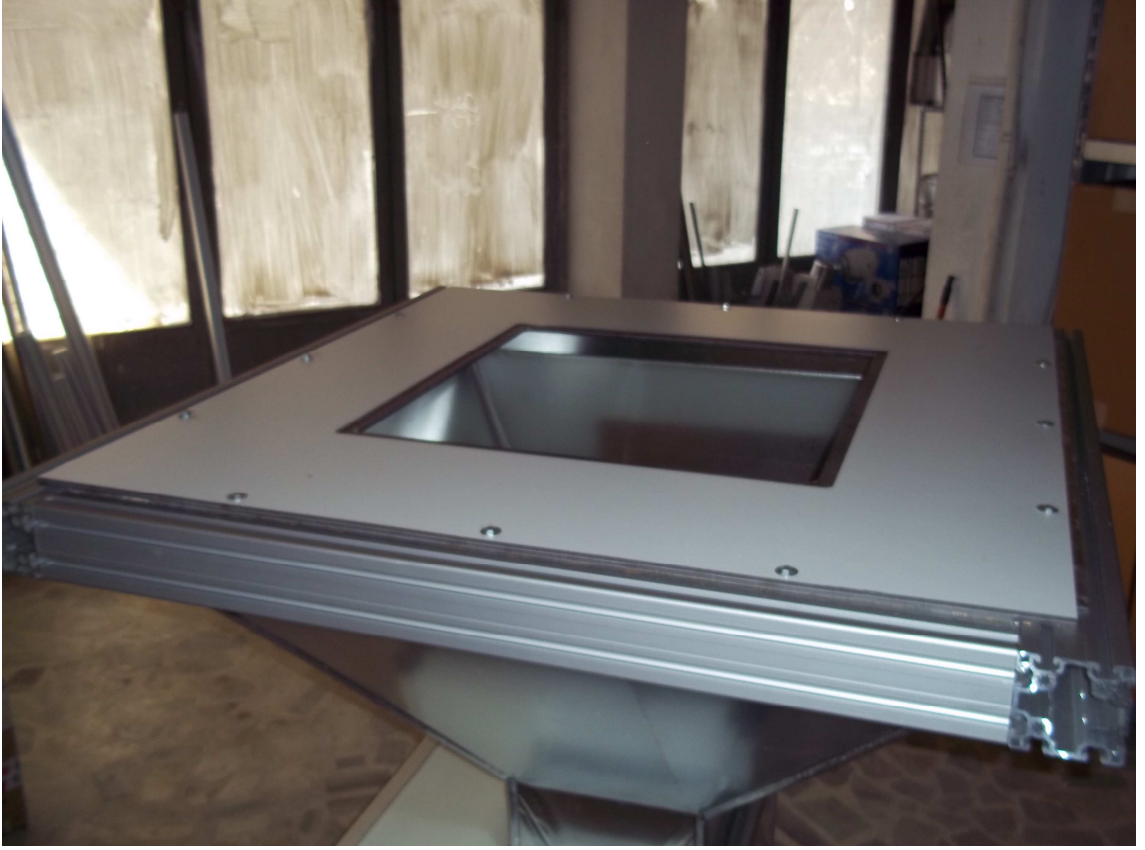
#### 8.1.8 Baskı plakası

HEPA filtrelerde en önemli kaçak noktalarından biri de conta yüzeyleri olduğu için, contanın düzleme sızdırma yaratmayacak şekilde yerleşmesi çok önemlidir. HEPA filtrenin sabitleneceği yüzey 10 mm. kompakt laminanttan oluşmaktadır. Bu yüzey üzerine HEPA filtrenin rahatça yerleştirilebilmesi için bir HEPA filtre yuvası yapılmıştır. Contaya baskı yapması için dizayn edilen aparat ise 45x45 mm. sigma profiller ve bu profillere sabitlenmiş 40x20 mm. alüminyum köşebentlerden oluşmaktadır.

Baskı için gerekli güç 2 adet, 20 cm. stroklu Ø32 mm. piston çapı olan MAG marka alüminyum profilli pnömatik silindir ile sağlanmaktadır. Silindirlere bağlı bir anahtar ile ileri-geri hareket sağlanır. Silindirler için gerekli basınç maksimum 6 bar çalışma basıncı olan bir kompresör tarafından karşılanır.

### 8.1.9 Davlumbaz

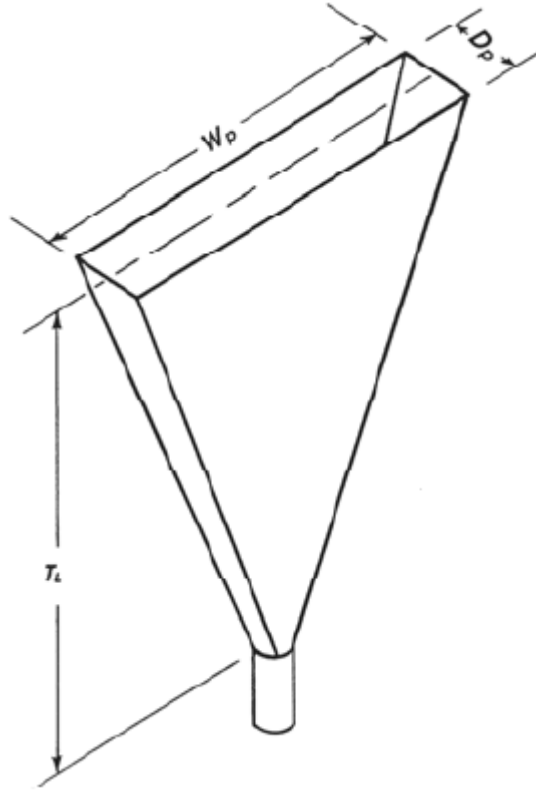
Hava akışının ve zorlayıcı aerosolün filtre yüzeyine düzgün dağılması için fan çıkışı 120x120 cm.'e genişleyecek şekilde imal edilmiştir.



Şekil 3.6 Davlumbaz

### 8.1.10 Upstream örnekleme probu

Örnekleme probu olarak, EN 1822, ASHRAE 52.2 ve IEST standartlarında tanımlanan özel geometriye sahip bir prob kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Örneklem probu

## 8.2 Test Standı Çalışma Prensipli

Filtre ve contası sızdırmazlık testinin yapılacağı düzleme açılmış yuvasına yerleştirildikten sonra, pnömatik silindirler çalıştırılarak HEPA filtre kenarında bulunan contaların düzleme yeterli ölçüde baskı oluşturması ve hava sızdırmazlığını sağlaması hedeflenir. Daha sonra fan çalıştırılır ve deney hızına ulaşması beklenir, istene hıza ulaştığı DC kontrollü motor kontrol ünitesinden gözlenir. Bu işlemden sonra aerosol jeneratör çalıştırılır ve zorlayıcı aerosol (PAO) cihaz üzerinde bulunan valf yardımı ile istenilen konsantrasyonda ön filtreden geçirilir ve sisteme verilmiş olur. Fotometrenin yukarı akış (upstream) ucu ile gönderilen konsantrasyonun miktarı fotometreye tanıtılır. Bu miktarın min.  $5\mu\text{g/l}$  olması gereklidir. Fotometrenin aşağı akış (downstream) tarafına bağlı ve filtre yüzeyinden 2.5 cm. yukarıda bulunan tarama probu MACH2 CNC programı yardımı ile kontrol edilir. Prob filtre yüzeyinde başlama noktasına pozisyonlanır. Bütün filtre yüzeyi sızıntılara karşı tarandıktan sonra fotometreden okunan penetrasyon değerleri not edilir. Standartlarda müsaade edilen

penetrasyon değeri yukarı akışta okunan değerin %0.01 miktarının altında kaldığında filtre sızdırmaz olarak kabul edilir.

Farklı standartlara göre tanımlanan filtre verimlilik değerleri, her bir HEPA filtre için imalat aşamasında test edilir ve bu testler her HEPA filtre için ayrı sertifikalara işlenir. HEPA filtre test standının amacı, kullanımda olan HEPA filtrelerin, özellikle zaman içerisinde çerçeve-filtre medyası bağlantısını sağlayan dolgu macunu elemanın özelliğini yitirmesinden kaynaklanan sızıntılara maruz kalıp kalmadığını belirlemektir. Daha öncede anlatıldığı gibi, kritik ortam koşulları istenilen yerlerde HEPA filtrelerin istenilen verimlilik değerlerini sağladığı hem montaj öncesi hem de montaj sonrası kontrol edilmelidir. Standın sökülebilir ve taşınabilir olması bu testlerin gerçekleştirilmesi sırasında kolaylık sağlayacaktır.

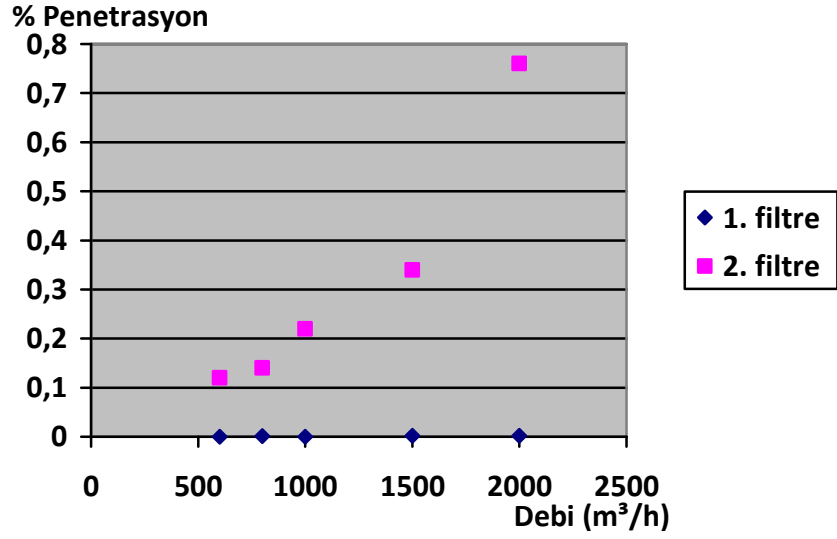
### **8.3 Deney Sonuçları ve Yorumlar**

Deneyde 2 adet filtre için sırası ile debi-penetrasyon miktarı, HEPA filtre yüzey hızı-penetrasyon miktarı, fark basınç-penetrasyon miktarı ilişkileri incelenmiştir. 1. filtre üreticiden alındığı hali ile muhafaza edilip, üzerinde hiçbir işlem yapılmamıştır. 2. filtrede ise 0.1 cm çapında bir tığ ile delik açılmıştır.

#### **8.3.1 Debi-penetrasyon miktarı**

2 adet deney filtresi 5 farklı debi değeri (600,800,1000,1500 ve 2000 m<sup>3</sup>/h) için test edilmiştir . Sızıntı miktarı olarak gözlenen maksimum değer not edilmiştir. Aşağıdaki grafik elde edilmiştir :

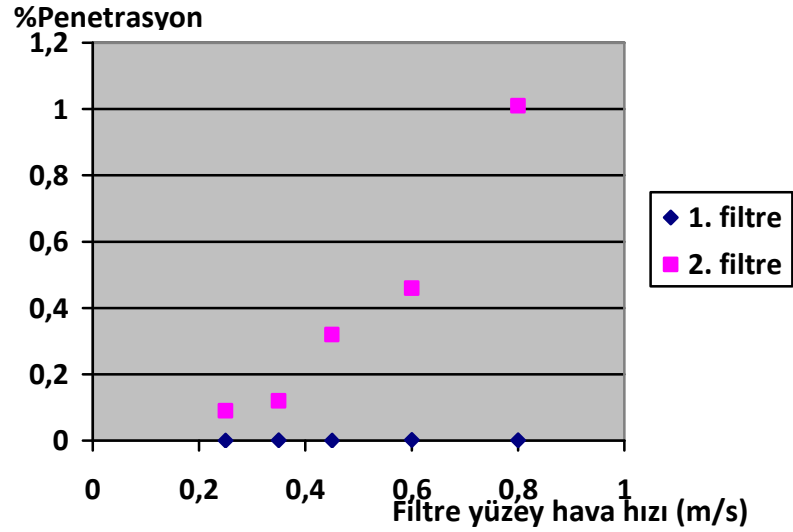
Çizelge 8. 7 Debi-penetrasyon eğrisi



### 8.3.2 Filtre yüzey hava hızı- penetrasyon miktarı

2 adet deney filtresi 5 filtre yüzey hava değeri (0,25,0,35,0,45,0,60 ve 0,80 m/s) için test edilmiştir . Sızıntı miktarı olarak gözlenen maksimum değer not edilmiştir. Aşağıdaki grafik elde edilmiştir :

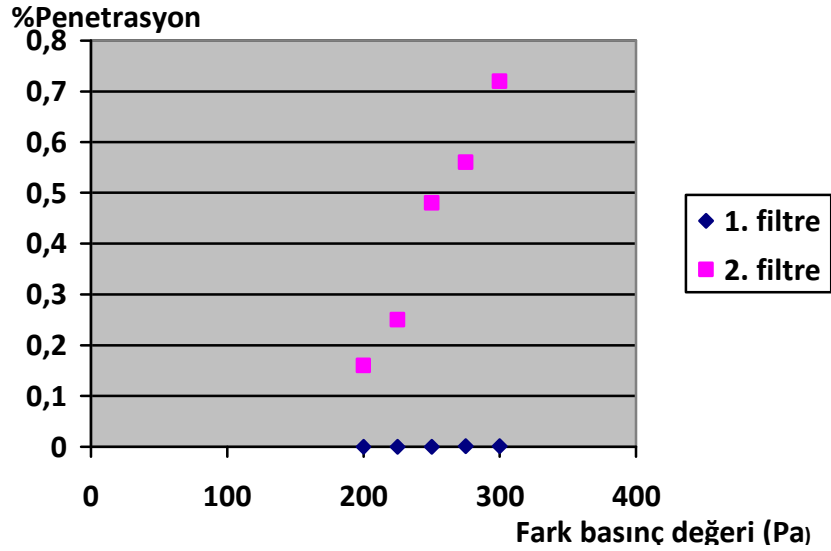
Çizelge 8. 8 Filtre yüzey hava hızı-penetrasyon eğrisi



### 8.3.3 Fark basınç- penetrasyon miktarı

2 adet deney filtresi 5 filtre yüzey hava değeri (200,225,250,275 ve 300 Pa) için test edilmiştir . Sızıntı miktarı olarak gözlenen maksimum değer not edilmiştir. Aşağıdaki grafik elde edilmiştir :

Çizelge 8. 3 Fark basınç-penetrasyon eğrisi



Sonuçlar üretici tarafından verilen HEPA filtre sertifikası ile karşılaştırıldığında benzerlik göstermektedir. 1. Deney filtresi sertifikasında, minimum verimliliği 613 m<sup>3</sup>/h debide %99,96579 olarak tanımlanmıştır. Deney sonuçlarında 600 m<sup>3</sup>/h debide filtre yüzeyinde sızıntı tespit edilmemiştir. 2000 m<sup>3</sup>/h debide ise ölçülen oran %0,002 olarak tespit edilmiştir. Bu filtrenin %99,998 verimlilikle zorlayıcı partikülleri tuttuğunu gösterir. Sertifikadaki okuma hassasiyeti kullanılan ölçüm cihazlarından kaynaklanmaktadır.

Deneyde daha önce de ifade edildiği gibi maksimum 6 bar çalışma basıncı sağlayan kompresör kullanılmıştır. Baskı plakası filtrenin 2 yanından kompresörün sağladığı basınç ile davlumbaza doğru bastırmaktadır. Test sırasında yapılan gözlem, filtre contaları-stand temas noktalarında, yeterli baskı olmadığı durumlarda, kenarlardan sızıntılar tespit edilmesidir. Bu sızıntılar fotometre tarafından algılanarak, sızıntı olmayan bir HEPA filtrenin kusurlu olarak algılanmasına neden olabilir. Tesis uygulamalarında da bu konuya dikkat edilmelidir.

#### 8.4 Tez Sonuçları

Tezin gerçekleştirilme amacı fabrika ortamında yapılan HEPA filtre verimlilik testlerinin uygulamada ne kadar geçerli olduğunun tespit edilmesidir. Testler sonucunda, mevcut standartların ve dolayısı ile fabrika testlerini en kötü durum senaryosuna göre gerçekleştirildiği tespit edildi. HEPA filtre medyası için genel olarak en kolay penetre edebilen partikül boyutu kabul edilen 0,3 mikron civarında bile yüzdesel olarak herhangi bir penetrasyon ölçülmediği görüldü. Farklı markada filtreler denendiğinde sonuçların değişiklik gösterdiği de tespit edildi. Daha düşük kalite ve teknoloji ile üretilen filtrelerde özellikle filtre medyası ve çerçeve birleşim noktalarında sızıntılar gözlemlendi. Test standında filtrenin yüzeye paralel yerleştirilmemesi durumunda özellikle filtre kenarlarında gerçekte mevcut olmayan sızıntılar tespit edildi. Bu tespit, test standında baskı plakasının ve HEPA filtre montajında da sıkıştırma aparatlarının önemini ortaya koymuştur. Filtre ne kadar kaliteli ve sızdırmaz olursa olsun, montajda yapılan dikkatsizlik ve eksik basınç yüzünden filtre contasının, filtre kutusuna yetersiz biçimde baskı uygulamasına neden olunur. Böylece conta kenarlarından filtrelenmemiş hava akışı gerçekleşir ve filtre görevini yerine getiremez. Sızıntı miktarının hava kanalından gelen debi, filtre yüzey hızı ve fark basınç değeri ile doğru orantılı olduğu tespit edildi. Test standı ile belli ebatlarda filtrelerin testleri seri bir biçimde gerçekleştirilmiştir.

Eğer tez uygulamasında sızıntıyı tespit etmek için aerosol fotometre yerine partikül ölçer kullanılsaydı, sızıntı değerleri yüzdesel olarak inceleyebilmenin yanı sıra, sızıntı miktarlarını farklı partikül boyutları için de inceleme fırsatı olacaktı. Yalnız böyle bir inceleme yapılırken sadece partikül ölçer kullanılırsa, mevcut bir sızıntı durumunda, aerosol jeneratörün ürettiği duman doğrudan partikül ölçere gidecek ve cihazın okuduğu değerlerde yüksek konsantrasyondan kaynaklanan hatalar görülecektir. Ayrıca bu duman cihaz içi filtrenin tıkanmasına da neden olabilir. Bu yüzden tezin yukarıda belirtilen şekilde geliştirilmesi düşünülürse seyreltici (diluter) denilen cihazlar kullanılarak, zorlayıcı partikül miktarı oransal olarak azaltılmalı ve hesaplar da yine bu oran doğrultusunda gerçekleştirilmelidir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Güler Ç. ve Çobanoğlu Z., (1994). “Dış Ortam Hava Kirlenmesi”, T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [2] Filtrair, General Products Brochure, [www.spectrumfiltration.com/products](http://www.spectrumfiltration.com/products), 10 Ocak 2011
- [3] Schroth T. ve Caesar T., (2001). “Testing HEPA/ULPA Filters at the Manufacturers Facility”, Publication Series Viledon, Freudenberg.
- [4] Life Sciences Users Group, Particle Counting, Theory, Guidelines and Monitoring, 25 Ocak 2010
- [5] Nafa Guide to Air Filtration (2007), Fourth Edition, National Air Filtratiton Association, Virginia.
- [6] Nano Fiber Membranes Group, (2008), “Hava Filtrasyonu”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] Whitt S. (2008). “Air Filtration and the Use of HEPA Filters in Biological Safety Cabinets, Nuaire, USA.
- [8] Scroth T. (1996). “New ULPA/HEPA Filters”, Publication Series Viledon, Freudenberg.
- [9] The Federation of Environmental Trade Associations Ltd., 2008 Issue, “The HEVAC Guide to Filtration”, Reading.
- [10] Hutten I., (2007). “Handbook of Non-Vowen Filter Media”, Elsevier Science & Technology Boks, USA.
- [11] DOE, (2003). Nuclear Air Cleaning Handbook, Washington.
- [12] Savannah River Site Engineering Standards Manual, (2004). “HEPA Filter Requirements”, South Carolina.
- [13] Farqhuarson G., (2008). “HEPA Filtration- Specification”, ISPE, Florida.
- [14] DOE-STD-3020-97, (1997). Specifications for HEPA Filters Used by DOE Contractors, Department of Energy, Washington.

- [15] International Atomic Energy Agency, (1985). "Comparison of High Efficiency Particulate Filter Testing Methods", Vienna.
- [16] Morawska L. ve Agronovski V., (2002). "Effect of Face Velocity and the Nature of Aerosol on the Collection of Submicrometer Particles by Electrostatic Precipitator", Blackwell Publishing, New Jersey.
- [17] Zhou B. ve Shen J., (2007). "Comparison Of HEPA/ULPA Filter Test Standards Between America and Europe", Tongji Üniversitesi, Çin.
- [18] Research Triangle Enstitute, (2007), "Environmental Technology Verification Test Method- General Ventilation Filters", North Carolina.
- [19] Smigielski K., (2006). "Design and Setup of a System Testing HEPA Filter Efficiency", Toledo Üniversitesi, İspanya.
- [20] Sothen R. ve Tatarchuk B., (2007). "Design Characteristics of Pleated Filters and Their Corresponding Effect on Pressure Resistance", Auburn Üniversitesi, Alabama.
- [21] DOP Solutions Ltd., (2007). "EN 1822 and DOP Photometry Scan Testing", Hertfordshire.
- [22] ATI Air Techniques, (2008). "Cleanroom Filters: Design, Testing and Standards", Maryland, USA.
- [23] Berriman, "Filter/ Air Cleaner Efficiency Tests" [www.berriman-usa.com](http://www.berriman-usa.com), 20 Ekim 2010.
- [24] Trox Technik."Air Filter Test to EN779", [www.trox.de/xpool/download/en/technical.../filters/.../p\\_1\\_1\\_en77p.pdf](http://www.trox.de/xpool/download/en/technical.../filters/.../p_1_1_en77p.pdf)
- [25] NAFA User's Guide for ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007 (2010), National Air Filtratiton Association, Virginia.
- [26] TS EN 1822 (2005), Hava Filtreleri – Yüksek Verimli (HEPA-ULPA), I.Baskı, Ankara.
- [27] IEST RP.CC-034 : HEPA and ULPA Filter Leak Tests, Illinois.

## 9 ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Barış DÖKMEN  
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.07.1982 – Denizli  
Yabancı Dili : İngilizce - Almanca  
E-posta : [bdokmen@yahoo.com](mailto:bdokmen@yahoo.com)

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan                | Okul/Üniversite            | Mezuniyet Yılı |
|--------|---------------------|----------------------------|----------------|
| Lisans | Makine Mühendisliği | Yıldız Teknik Üniversitesi | 2006           |
| Lise   | Fen-Matematik       | Kadıköy Anadolu Lisesi     | 2001           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl  | Firma/Kurum                              | Görevi               |
|------|------------------------------------------|----------------------|
| 2009 | Atson İnşaat Taahhüt Ltd. Şti.           | Validasyon Mühendisi |
| 2008 | Metkal Ölçü ve Test Sistemleri Ltd. Şti. | Kalibrasyon Uzmanı   |