



HAVA FİLTASYONU AMACIYLA KULLANILAN TEKSTİLLERİN VERİMLİLİKLERİ VE TOZ TUTMA KAPASİTELERİ

EFFICIENCIES AND DUST HOLDING CAPACITIES OF TEXTILES USED FOR AIR FILTER APPLICATIONS

Gonca ALAN^{1*}, Mevlüt TERCAN²

^{1,2}Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, 64200, Uşak.
gonca.arin@usak.edu.tr, mevlut.tercan@usak.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 21.10.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 24.05.2013
*Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2013.53825

Özet

Son yıllarda artan nüfusa ve gelişen teknolojiye bağlı olarak hava kirliliği canlıların sağlığını tehdit eden ciddi bir sorun haline gelmiştir. İç ve dış ortamlarda maruz kalınan havanın kalitesi insan sağlığı üzerinde oldukça büyük öneme sahiptir. Farklı tiplerdeki kirleticilerden arınmış temiz hava solunması adına hava filtrasyonu uygulamaları hayatımızda geniş yer bulmaktadır. Bu nedenle filtrasyon verimliliğinin ölçülmesi, verimlilik ölçümü ile ilgili standartlar, işlem kalitesinin saptanması ve filtre malzemesinin konstrüksiyonunun optimum hale getirilmesi açısından araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu yazıda genel olarak verimlilik ölçüm yöntemleri ve hava filtrasyonu ile ilgili standartlar detaylandırılmış ve başlıca hava filtrasyonu uygulama alanları sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Hava filtrasyonu, Filtrasyon verimliliği, Toz tutma kapasitesi, Tekstil filtreler.

Abstract

In recent years due to the increasing population and developing technology, air pollution has become a serious problem for living organisms which threatens their health. Quality and purity of indoor and outdoor air have great importance on the health of human beings. To breathe clean air, purified from different types of contaminants, air filtering applications are essential in our daily lives. Hence, measurement of filtration efficiency, concerned standards of efficiency measurement methods have attracted great attention of researchers considering the determination of the quality of filtering processes and providing optimum construction parameters for filtering material. In this paper, efficiency measurement methods and standards of air filtering processes are mentioned in details and major air filter application areas are presented.

Keywords: Air filtration, Filtration efficiency, Dust holding capacity, Textile filters.

1 Giriş

Canlıların yaşam sürecinde teneffüs edilen havanın kalitesi hayati öneme sahiptir. Günümüzde artan nüfus ve gelişen teknolojinin bir sonucu olarak iç ve dış mekanlardaki hava ortamında insan, hayvan, bitki veya eşyalara zarar verebilecek miktarlarda toz, tütsü (füme), gaz, sis (mist), koku, duman veya buharlar gibi kirleticiler bulunmaktadır. Kirli havanın geniş anlamda tanımlı "Havanın doğal yapısında bulunan temel bileşenlerin miktarlarının değişmesi veya yapısına yabancı maddelerin girmesi sonucu insan sağlığını ve huzurunu bozan hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek derecede kirlenmiş olan havadır" şeklinde yapılabilir [1], [2]. Bütün kirleticilerden arınmış bir hava solunması ve doğanın dengesinin korunmasına katkıda bulunmak noktasında gerek endüstriyel alanda gerekse evsel kullanımlarda hava filtrasyon işlemi ve filtre yapıları büyük önem taşımaktadır. Hava filtrasyonu uygulamaları başlıca toz toplama sistemleri, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, egzoz emisyon sistemleri ve temiz odalarda önemli yer bulmaktadır [3], [4]. Buna paralel olarak dünya genelinde filtrasyon uygulamalarına yapılan yatırımın %16'sının gaz filtrasyonuna yapıldığı görülmektedir. Bu alanın, insanlar için nefes alınabilir ve makineler için verimli çalışılabilir ortamlar yaratmaya yönelik olduğu düşünüldüğünde filtrasyon sektörünün ne kadar önemli bir parçası olduğu anlaşılmaktadır [5]. Bu anlamda filtrasyon süreci, bu sürecin iyileştirilmesi ve verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalara araştırmacılar tarafından büyük önem verilmiştir. Bunlardan Peker (1993), çalışmasında içinde

bulunulan atmosferik ortamdan tozları bertaraf eden sistemlerle ilgili genel bilgiler vermiş ve filtreleme esasına göre çalışan toz toplayıcıların önemine vurgu yapmıştır [6].

Yeo ve arkadaşları (2005) çalışmalarında, poliester hammaddede kullanarak iğneleme yoluyla dokusuz yüzey yapıda torba filtre kumaşları elde etmişlerdir. Kumaşın elde edilmesinde geçtiği aşamaların filtrasyon etkinliğine etkisini inceleyen araştırmacılar, iğnelemenin artmasıyla dayanıklılık ve hava geçirgenliğinin arttığını bununla birlikte diferansiyel basıncın ve ortalama gözenek boyutunun düştüğünü belirtmişlerdir [7].

Yeo ve arkadaşları 2007 yılındaki bir başka çalışmasında farklı hammaddelerden iğneleme yoluyla elde edilmiş dokusuz yüzey yapılar kullanmışlardır. Ayrıca elektro-eğirme yoluyla elde edilmiş nano boyutlu poliamid ağ içeren bir torba filtre tasarlamışlardır. Araştırmacılar bütün numuneleri, "temizlenebilen filtre malzemeleri için dayanıklılık değerlendirmesi" (RS K 001) esasına göre değerlendirmiştir. Filtrasyon testi sonucunda nano boyutlu tabaka içeren yapının daha kararlı ve düzgün bir filtrasyon davranışı gösterdiğini gözlemlemişlerdir [8].

Raynor ve ark. (2007) çalışmalarında, elektrostatik yük taşıyan liflerden yapılmış sentetik filtrelerin ve elektrostatik yük taşımayan fiberglas filtrelerin ısıtma, havalandırma, klima sistemlerinde kullanıldıklarını belirtmişler ve bir hastane klimasında 13 hafta süreyle tekrarlı olarak fiberglas filtrelerin basınç düşüşü ve etkinliğini sentetik filtrelerin performanslarıyla kıyaslamışlardır. Araştırmacılara göre eşit hava akımlarında yapılan basınç düşümü ölçümleri

göstermiştir ki sentetik liflerden yapılmış filtreler fiberglastan yapılmış olanların yarısından daha az bir basınç düşümü ile çalışmışlardır. Ayrıca araştırmacılar, hava akışına daha az direnç gösterdiklerinden dolayı elektrostatik yüklenmiş sentetik filtrelerin verimlilik yönünden geleneksel fiberglasta filtreler ile yer değiştirebilir olduğunu belirtmişlerdir [9]. Ermakov ve ark. (2007) çalışmalarında filtre elemanları üzerinde toz biriktiği için verimliliğin, hava temizleme indekslerinin ve elemanların dayanıklılığının kötüleştiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar filtrelerde toz gideriminin ve toz ayırmanın, toz içerikli gazın filtre malzemesinden geçtiği sırada olduğunu vurgulamış ve bu nedenle verimliliğin, hava direnci, temizleme etkinliği, ve dayanıklılık doğru malzeme seçimi ile yakından ilişkili olduğuna değinmişlerdir. Araştırmacılara göre filtrasyon sürecini iyileştirmek ve filtre malzemesinin ömrünü uzatmak için filtre elemanlarının periyodik olarak yenilenmesi gerekmektedir. Bu amaçla filtre yüzeyinde biriken tozun uzaklaştırılması için birtakım mekanik işlemlerin uygulanabileceğini, bakım yapmanın ve temizlemenin filtre verimliliğine olumlu katkı yaptığını açıklamışlardır [10].

Tanabe ve ark. (2011), çalışmalarında kumaş filtrelerindeki filtre keklerinin deneysel adhesif kuvvetlerini belirleyebilmek için, akrilik, poliester ve polipropilen esaslı filtrelerde fosfat tozu parçacıklarının yerleşimini incelemişler ve parçacıkları yakalama açısından polipropilen esaslı filtre yüzeylerde adhesif kuvvetlerin daha etkin olduğunu bulmuşlardır [11]. Sonuç olarak, parçacıkları yakalama açısından polipropilen esaslı filtre yüzeylerde adhesif kuvvetlerin daha etkin olduğunu bulmuşlardır [11].

Das ve arkadaşları (2011) çalışmalarında büzüşebilen ve büzüşemeyen akrilik harmanlarından, iğneleme yoluyla elde edilmiş hacimli dokusuz yüzey kumaşların filtrasyon davranışlarını incelemişler ve kumaşlardaki iğneleme yoğunluğunun filtrasyon verimliliği üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Büzüşebilen akrilik liflerinin oranının verimlilik üzerinde az bir etkiye sahip olduğunu belirten araştırmacılar, verimlilik konusunda genel eğilimin iğneleme yoğunluğuna bağlı olduğunu vurgulamışlardır [12].

Verma (2012), çalışmasında iç ortam havasının temizlenmesinde kullanılan yöntemler ve bu yöntemler arasında yer alan filtrasyon süreci ile HEPA filtrelerin kullanımı ve MERV ölçümleri ile ilgili bilgiler vermiştir [13].

2 Filtrasyon Verimliliği ve Verimlilik Ölçümünde Kullanılan Standartlar

2.1 Filtrasyon Verimliliği

Filtrasyon sürecinde bir filtrenin verimliliği, filtre malzemesinden uzaklaştırılan kirletici miktarının yüzde değeri olarak tanımlanmaktadır [14]. Burada kirletici miktarı, kütle, parçacık sayısı ya da hacim cinsinden belirlenebilir. Filtrasyon verimliliği Eşitlik 1'deki gibi ifade edilir:

$$e = 100 \left[\frac{M_u - M_d}{M_u} \right] \quad (1)$$

Burada e, % olarak filtrasyon verimliliğidir. M_u , kirleticinin üst akış alanındaki miktarı, M_d ise kirleticinin alt akış alanındaki miktarıdır [14].

Verimliliğin değerlendirilmesine farklı bir bakış açısı sağlayan penetrasyon ise, filtre malzemesine penetre olan (nüfuz eden) kirleticinin yüzde olarak değeridir. Penetrasyon Eşitlik 2'de görüldüğü gibi ifade edilir [14]:

$$p = 100 \left[\frac{M_d}{M_u} \right] \quad (2)$$

Hutten (2007), bazı durumlarda penetrasyonun, filtrasyon sürecinde daha çok ilgilenilen bir bakış açısı olabileceğini belirtmiş, verimliliğin % 98 den % 99 a çıkarılması gereken bir durumu örnek olarak varsaymıştır. Böyle bir durumda verimlilikte yalnızca % 1'lik bir artış sağlanması gerekeceğinden söz etmiş dolayısıyla filtre malzemesinde çok küçük bir modifikasyona gidilmesi gerektiği düşüncesinin doğacağını belirtmiştir. Ancak yazarın önemle vurguladığı gibi, diğer bir bakışla, yapılacak iyileştirmenin penetrasyonu %2 den %1 e düşürmesi, yani penetrasyonda % 50 oranında bir düşüş sağlanması gerekmektedir. Bu da filtre malzemesinde yapılacak önemli bir tasarım değişikliğini ifade ettiğinden bu yaklaşım daha gerçekçi bir bakış açısı olarak kabul görmektedir [14].

Filtrasyon verimliliğinin ifade edilmesinde bir takım terimler kullanılmaktadır. Oransal verimlilik kavramı da bu ifade şekillerinden biridir ve genellikle partikül boyutu ya da partikül boyut grupları temelinde filtrasyon verimliliğinde kullanılan bir terimdir. Oransal verimliliğin bir türü olan ve sıklıkla kullanılan Beta (β) oranı, ise üst akış alanı partiküllerinin sayısının alt akış alanı partiküllerinin sayısına oranıdır. Beta (β) oranı Eşitlik 3'te olduğu gibi ifade edilmektedir [15].

$$\beta = \frac{N_d U}{N_u D} \quad (3)$$

Burada N_u , d ya da daha büyük çaptaki partiküllerin üst akış alanındaki sayısını, N_d ise alt akış alanındaki sayısını belirtmektedir. Beta oranı ile filtrasyon verimliliği arasındaki ilişki Eşitlik 4'teki gibi ifade edilebilir [5].

$$\beta = \frac{1}{1 - (e/100)} \quad (4)$$

Eşitlik 4'ten de görüldüğü üzere filtrasyon verimliliği arttıkça beta (β) oranı da artar. Bu durum Tablo 1'de belirtilmiştir [15].

Tablo 1: β oranı ve filtrasyon verimliliği arasındaki ilişki [5].

β Oranı	% Verimlilik
1	0
2	50
10	90
20	95
50	98
100	99
1000	99.9
10000	99.99

2.2 Filtrasyon Verimliliğinin Ölçülmesinde Kullanılan Standartlar

Filtrasyon sürecinde kullanılan filtre malzemesinin konstrüksiyonunun, ortam şartlarının ve istenen filtrasyon düzeyinin optimum şekilde düzenlenebilmesi için verimlilik ölçümü oldukça önemlidir [5]. Filtrasyon verimliliğinin ölçülmesinde, farklı ülkelerin ve bölgelerin geliştirdiği değişik standartlar mevcuttur.

2.2.1 Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Enstitüsü (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) Hava Filtresi Test Standartları

ASHRAE ilk hava filtresi test standardını 1968'de geliştirmiştir [16]. Bu standart, filtre malzemesini gerçek kullanım sürecinde etkileyen koşullar göz önünde bulundurularak sürekli güncellenmiş ve ASHRAE 52.1 1992 hava filtrasyonu değerlendirilmesi için uygun standart olarak kabul edilmiştir. Bu standart, hava filtreleri için aşağıdaki performans parametrelerini içerir:

- Atmosferik parçacıkları tutmak için filtre verimliliği,
- Bir hava akımından sentetik tozları uzaklaştırmak için filtre kabiliyeti,
- Filtrenin toz tutma kapasitesi [16].

ASHRAE 52.1 1992 standardına göre yapılan test, filtre malzemesinin sentetik tozları uzaklaştırmadaki kabiliyeti hakkında bilgi vermekte ancak belirli bir boyut için herhangi bir açıklama bulundurmamakta idi. Standartın 1999'da ASHRAE 52.2 olarak geliştirilmiş halinde filtrenin hem önüne hem arkasına optik partikül sensörleri yerleştirilmesi sağlanarak bu sorun ortadan kaldırılmıştır [16].

ASHRAE 52.2'de filtrenin minimum verimliliğini gösteren değerini (MERV: Minimum Efficiency Reporting Value) belirlemek için partikül boyut aralığı verilmiştir. Bu aralıklar Tablo 2'de görülmektedir [14].

Tablo 2: ASHRAE 52.2 minimum verimlilik değerleri [14].

Partikül boyut aralığı (mikron)	ASHRAE verimi
0,3-1,0	E1
1,0-3,0	E2
3,0-10,0	E3

ASHRAE 52.2 numaralı standartta, en küçük parçacık boyutu verimliliğine bağlı olan MERV için gereksinimleri de tanımlanmıştır. Buna göre filtre malzemesi 1-16 değerleri aralığında MERV değerine sahip olabilir. Tablo 3'te MERV kategorilerinin minimum verimliliğe bağlılıkları verilmektedir.

Tablo 4: CEN ölçümleri filtre sınıflandırması [14].

Avrupa Filtre Sınıfı	EN 779 Filtre Sınıfı	Tutulan Ortalama Sentetik Toz Ağırlığı (%)	Ortalama Atmosferik Toz Tutma Verimliliği (%)	Son Basınç (Pa)	Filtre Sınıfı/ Tasarımı
EU1	G1	Am < 65	-	250	ön filtre
EU2	G2	65 ≤ Am < 80	-	250	ön filtre
EU3	G3	80 ≤ Am < 90	-	250	ön filtre
EU4	G4	90 ≤ Am	-	250	ön filtre
EU5	F5	-	40 ≤ Em < 60	450	ince hava filtresi
EU6	F6	-	60 ≤ Em < 80	450	ince hava filtresi
EU7	F7	-	80 ≤ Em < 90	450	çok ince hava filtresi
EU8	F8	-	90 ≤ Em < 95	450	çok ince hava filtresi
EU9	F9	-	95 ≤ Em	450	çok ince hava filtresi

Tablo 4'te görülen sınıflandırmada, ön filtreler sınıfında yer alan G1-G4 aralığındaki filtreler tutma (yakalama) testi ile test edilirler. F5'ten F9'a kadar olan ince ve çok ince hava filtreleri ise 0,4 μ m akışkan aerosol parçacıklarla test edilirler ve verimlilik filtrelenen parçacık sayısının yüzdesine dayanır. Bu açıdan, filtrelenen parçacıkların ağırlık yüzdesi temeline dayanan tutmadan farklıdır [4], [14].

G1 sınıfından G4 sınıfına kadar olan ve genelde 'ön veya kaba' filtre olarak tanımlanan filtreler, EN 779'un belirlediği parçacık tutma (yakalama) verim testine tabi tutulur. Filtreye

Tablo 3: MERV, minimum verimlilik değerleri ve aralıkları [14].

MERV aralığı	ASHRAE 52.2 verim değerleri
1-4	E3
5-8	E3
9-12	E2, E3
13-16	E1, E2, E3

2.2.2 MERV Ölçümü

MERV değerleri, bir filtre malzemesini standarda göre oransal verimlilik testine tabi tutarak belirlenir. En düşük MERV değerlerinin (MERV1-MERV4) belirlenmesinde ASHRAE 52.1-1992 tutma (yakalama) test prosedürü uygulanır. Tutma (yakalama), eşitlik 1'deki gibi bir kütle ya da ağırlık verimliliğidir. İlgili prosedürde bir filtrenin ortalama ASHRAE tutmasının filtrenin ömrü boyunca belirlenmiş aralıklarda yapılan ölçümlere dayalı olarak belirleneceği belirtilmiştir [14].

2.2.3 ASHRAE Toz Lekesi Verimliliği Ölçümü

Toz lekesi verimliliği, ASHRAE 52.1-1992 test prosedürünün bir parçasıdır. Atmosferik tozun filtrasyon verimliliğini, bir test edilecek filtre malzemesinin üst akış alanı diğeri alt akış alanı olmak üzere iki hedef filtre yüzeyinin renk almasını kıyaslayarak ölçer. Atmosferik tozların bir kısmı, test filtresi tarafından filtreleneceğinden alt akış alanındaki hedef filtre malzemesinin renk alma hızı üst akış alanındaki hedef filtre malzemesinden daha farklı bir oranda olacaktır. Renk almadaki farkın kıyaslanmasıyla ASHRAE atmosferik toz lekesi verimliliği adı verilen bir verimlilik numarası belirlenir [14].

2.2.4 CEN (Comite De European Normalisation) (Avrupa Standartizasyon Komitesi) Ölçümleri

ASHRAE 52.2 numaralı standartın Avrupa eşi CEN (Avrupa Standartizasyon Komitesi) standart EN 779'dur. Bu standart filtreleri, verimliliklerine göre sınıf olarak ölçer, sınıf numarası yükseldikçe filtre verimliliği artar. Avrupa test standartları; filtreleri, tutmalarına (yakalamalarına) ve toz lekesi verimlerine göre (dust spot efficiency) sınıflandırır. Bu sınıflandırma Tablo 4'te görülmektedir.

giren toplam toz kütlesi ve filtreden çıkan toz kütlesi üzerinden hesap yapılarak filtre verimliliği eşitlik 5'teki gibi ifade edilir.

$$A_M (\%) = \frac{M_g - M_c}{M_g} \times 100 \quad (5)$$

Burada, M_g filtreye giren toplam toz kütlelerini, M_c ise filtreden çıkan toz kütlelerini ifade etmektedir [4].

F5 sınıfından F9 sınıfına kadar olan filtreler, yine EN 779'in belirlediği toz lekeli (dust-spot efficiency) verim testine tabi tutulur. Bu filtreler için oluşturulmuş verim sınıfları, ortalama 0,4µm büyüklüğündeki parçacıkları tutabilme verimliliğine göre oluşturulmuştur [4].

HEPA filtreler, çoğunlukla cam mikroliflerden oluşan ve yaş serimle elde edilen kumaşlardır. Köken olarak MIL STD 282 ile 0.3 µm DOP (dioktiltalat) duman parçacıklarına karşı % 99.97 verimliliğe sahip olan filtreler HEPA filtre olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama daha sonra güncel standartlarla genişletilmiştir. HEPA filtrelerin testini kapsayan standartlar arasında MIL STD-282, EN 1822, ASME AG-1 vardır [14]. HEPA olarak adlandırılan H sınıfı filtreler, EN 1822'nin belirlediği oransal/nüfuz etme verimi (fractional efficiency or penetration) testine tabi tutularak, en fazla nüfuz eden parçacık büyüklüğü (most penetrating particle size, MPPS) değerlerine göre sıralandırırlar. Filtre verimi parçacık yakalama açısından değerlendirilmiş olur. Şekil 1'de bir HEPA filtre örneği görülmektedir. Tablo 5'te HEPA filtre sınıflandırması ve verimlilik değerleri görülmektedir.



Şekil 1. HEPA filtre [17].

Tablo 5: CEN sınıflandırması: HEPA filtreler EN 1822 [14].

Filtre sınıfı	Verimlilik (%)
H10	85
H11	95
H12	99.5
H13	99.95
H14	99.995

ULPA filtreler genellikle 0.2 µm ya da daha küçük çaptaki cam mikrofiberlerden yaş serim yoluyla elde edilmektedirler. Tanım olarak 0.1-0.2 µm boyut aralığındaki parçacıkları % 99.999 ya da daha yüksek filtrasyon verimliliği ile filtreleyebilen yapılar ULPA filtreler olarak tanımlanmaktadır. ULPA filtrelerin de verimlilik ölçümleri HEPA filtrelerde olduğu gibi EN 1822'ye göre yapılır. Şekil 2'de ULPA filtreye bir örnek gösterilmiştir. Tablo 6'da ULPA filtre sınıflandırması ve verimlilik değerleri görülmektedir [14].

Tablo 6. CEN sınıflandırması: ULPA filtreler EN 1822 [14].

Filtre Sınıfı	Verimlilik (%)
U15	99.9995
U16	99.99995
U17	99.999995



Şekil 2 ULPA filtre [18].

3 Verimlilik Ölçümü Testlerinde Kullanılan Kavramlar

3.1 Basınç Düşüşü

Filtre malzemeleri, ilk kullanımdan itibaren hava akımına karşı bir direnç oluştururlar. Bu da filtrasyon ortamında üst akış alanı ile alt akış alanı arasında bir basınç farkına neden olur ve basınç düşüşü olarak ifade edilir. Filtrasyon test yöntemlerinin çoğu, verilen bir akış hızında bir basınç düşüşü gerektirir. Basınç düşüşü akışkanın filtreden geçirecek olan pompanın boyutuyla ilgilidir. Basınç düşüşü alt akış ve üst akış alanında bulunan diferansiyel basınç devrelerinin problemleriyle ölçülür. Bazı durumlarda bu basit bir U tüp manometresidir. Modern test düzenekleri elektronik izleyicilere ve dijital okuyuculara sahiptir. Genellikle test kirleticisi ile yüklenmeden önce filtreye bu test uygulanır. Bazı durumlarda filtreye özel bir kirleticisi yapıldıktan sonra da ölçüm alınabilir [14]-[19].

3.2 Hava Geçirgenliği

Filtre geçirgenliği, belirlenmiş bir basınç düşüşünde filtrenin belirli bir alanından geçen hava akışı ölçümüdür. Akışı sabitleyen ve basınç düşüşünü ölçen yöntemler vardır. Bir de belirli bir basınç düşüşünde belirli bir hava hacminin geçme süresini yani hava direncini ölçen Gurley yöntemi vardır.

Bir filtre düzeneğinin hava geçirgenliğini ölçmenin en yaygın yolu, basınç düşüşünü sabitlemek ve hava akışını ölçmektir. Buna yönelik Frazier hava geçirgenliği ölçüm cihazı Şekil 3'te görülmektedir [14].

Bu cihaz, belirtilen tipteki ölçüm için yıllardır kullanılmaktadır. Tutturulmuş numunedan geçirilen hava kapalı bir odaya (göze) iletilir ve akışı ölçen bir ağızdan dışarı çıkar. Bu sırada filtre ortamının karşısındaki bir manometre basınç düşüşünü ölçer ve ağız karşısındaki bir manometre de hava akışının hesaplanması için buradaki basınç düşüşünü ölçer. Üreticiler ağızdaki basınç düşüşünü hava akışına çevirmek için gerekli veri tablolarını sağlamaktadır [14].

Ölçülen hava akışı Darcy kanununa göre Eşitlik 7'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$v_0 = \frac{k \Delta p}{\mu L} \quad (7)$$

Burada;
 v_0 , ölçülen hava akışı
 k , geçirgenlik sabiti,
 μ , havanın viskozitesi
 Δp , basınç düşüşü,
 L , malzeme kalınlığıdır.

Ölçüm sırasında basınç düşüşü ve havanın viskozitesi sabitlenir. Ölçülen hava akışı, daha sonra geçirgenlik sabiti ve malzeme kalınlığı ile ilişkilendirilir. Geçirgenlik sabiti malzemenin yapısıyla ilişkilidir. Geleneksel olarak hava geçirgenliği SI birim sisteminde olarak $m^3/s/m^2$ olarak ifade edilir [14].

3.3 Yoğunluk ve Hacimlilik

Bir filtre malzemesinin yoğunluğu ve hacimliliği özel olarak toz tutma kapasitesiyle ilgili bir özelliktir. Yoğunluk, ρ_w , g/cm^3 cinsinden filtrenin birim hacminin kütlesidir ve aşağıdaki gibi metrekare ağırlık ve kalınlıktan yola çıkılarak hesaplanır, Eşitlik 8'deki gibi ifade edilir.

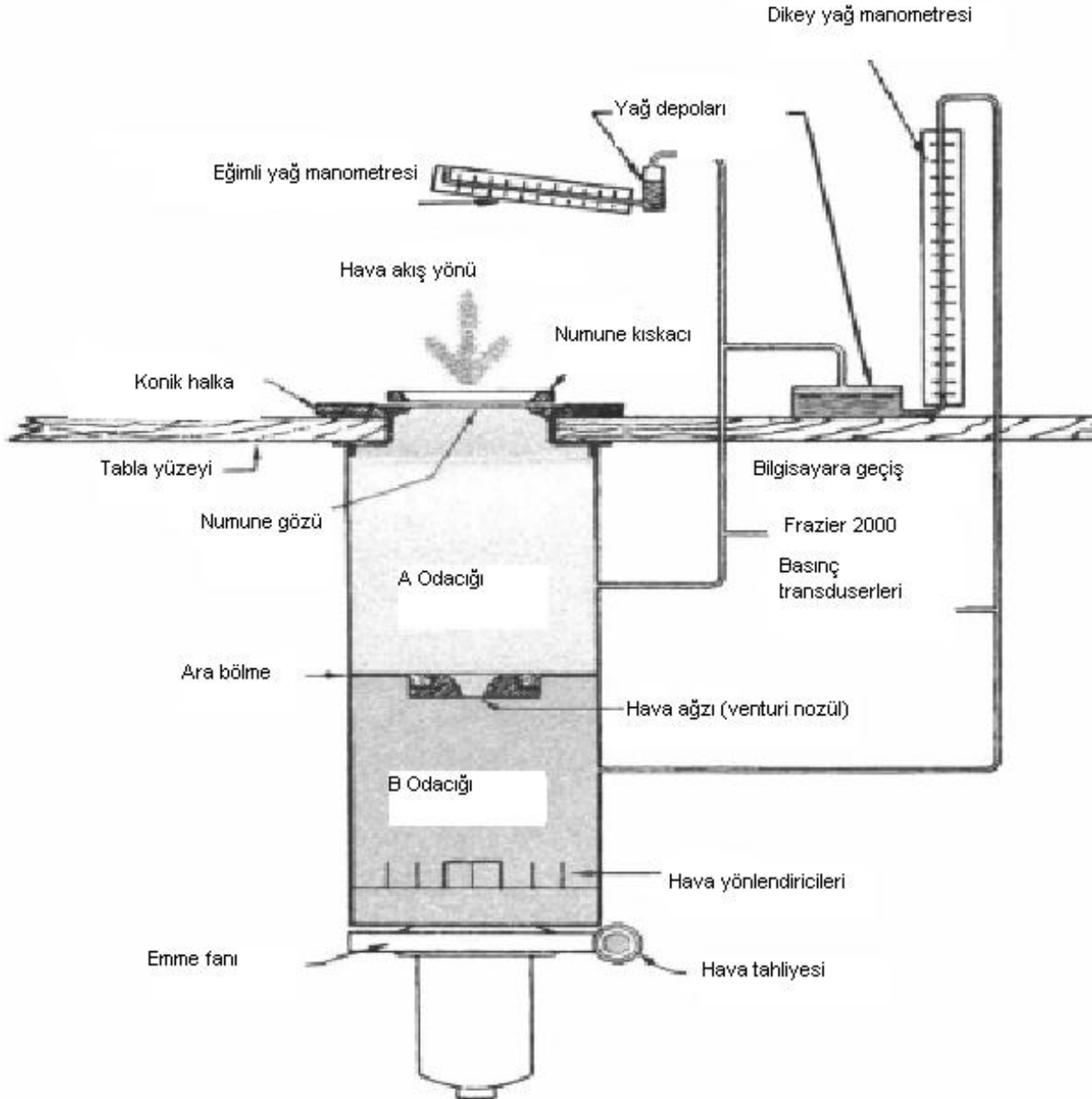
$$\rho_w = \frac{G}{t} \quad (8)$$

Burada, ρ_w , g/cm^3 cinsinden yoğunluk, G , filtrenin gramajı, t , filtrenin kalınlığıdır [14].

Hacimlilik ise yoğunluğun tersidir ve Eşitlik 9'daki gibi ifade edilir [14]:

$$B_w = \frac{1}{\rho_w} = \frac{t}{G} \quad (9)$$

Burada, B_w , cm^3/g cinsinden hacimliliğdir.



Şekil 3: Frazier diferansiyel hava geçirgenliği ölçüm cihazı [14].

3.4 Katılık ve Porozite

Katılık, χ , (bazen paketleme yoğunluğu olarak ifade edilir) birim hacimdeki filtrede bulunan katı malzeme hacmidir. Dokusuz yüzey bir filtre yapısı düşünüldüğünde katı kısımlar, lifler, reçineler, katkı maddeleri vs. olarak sıralanabilir.

Porozite ise filtrenin 3 boyutlu hacim boşluk oranıdır ve Eşitlik 10'daki gibi ifade edilir.

$$\varepsilon = 1 - \chi \quad (10)$$

Burada, poroziteyi, χ ise katılığı ifade etmektedir.

Porozite ve hava geçirgenliği kavramları karıştırılmamalıdır. Katılık ve porozite malzemenin temel ağırlık ve kalınlığından ve içerdiği materyallerin yoğunluğundan Eşitlik 11 ve 12'deki gibi hesaplanabilir [14].

$$\chi = \frac{G}{t\rho_m} \quad (11)$$

Burada χ , katılığı, G, g/m² olarak filtrenin metrekare ağırlığını, t, mikrometre olarak filtrenin kalınlığını ve ρ m filtreyi oluşturan malzemelerin g/cm³ cinsinden ortalama yoğunluğunu temsil etmektedir [14].

$$\varepsilon = 1 - \chi = 1 - \left[\frac{G}{t\rho_m} \right] \quad (12)$$

3.5 Kıvrımlılık (Tortuosity)

Dokusuz yüzey yapısındaki tekstil malzemeleri gözenekli bir yapıda olmalarıyla birlikte oldukça iyi yapısal stabiliteye sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı da yalıtım, akustik ve hava filtrasyonu uygulamalarında kullanımları yaygın olarak tercih edilmektedir [20]. Bu alanlarda kullanılan malzemelerin performansını etkileyen en önemli özellik hava geçirgenliğidir. Havanın gözenekli bir malzemeden geçişi sırasında gözenek yapısı ve miktarı önemli rol oynamaktadır. Genel bir ifadeyle, bir akışkanın gözenekli bir yapıdan geçişi sırasında takip ettiği yolun sayısal olarak ifade edilmesi kıvrımlılık kavramının açıklanmasıyla mümkün olmaktadır.

Kıvrımlılık, Eşitlik 13'teki gibi tanımlanır [20].

$$\tau = \frac{L_e}{L} \quad (13)$$

Burada, τ , kıvrımlılığı, L_e , ortalama gerçek akış yörüngesi uzunluğunu, L ise gözenekli yapıdaki malzemenin makroskopik akış yönündeki kalınlığını ifade etmektedir [20].

4 Toz Tutma Kapasitesi ve Ölçümü

Toz tutma kapasitesi, bir filtrenin hava akımına karşı gösterdiği son dirence kadar topladığı toz miktarıdır. Bu kavram filtre malzemesinin ömrüyle ilişkilidir. Bir filtrenin toz tutma kapasitesi ne kadar yüksekse hizmet ömrü o kadar uzundur. Filtre ömrü ya da toz tutma kapasitesi iki yolla belirlenebilir.

İlk yöntemde, test önceden belirlenmiş bir basınç düşümüne kadar sürdürülür ve bu basınç düşümüne kadar geçen zaman rapor edilir. Basınç düşüşüne kadar geçen zaman sıklıkla bir

grafik ile gösterilir. Bu kriter kullanılırken akış hızı ve beslenen kirletici oranı dikkatle kontrol edilmelidir.

İkinci yöntemde, filtre tarafından yakalanan test tozu miktarı ölçülür ve filtre toz tutma kapasitesine göre sınıflandırılır. Toz tutma kapasitesi sıklıkla filtre alanına bölünür ve g/m² ile ifade edilir. Bu yöntem, filtre malzemesinin konstrüksiyonu ile ilgili daha bilgi verici bir testtir [14].

Toz tutma kapasitesi, Eşitlik 6'daki gibi hesaplanır.

$$\Delta m_t = \frac{t_1}{t_T} x \Delta m_{ut} \quad (14)$$

Burada, Δm_t , her bir zaman aralığı sonunda kütledeki artış,

t_1 , aralığın sonundaki toplam zaman,

t_T , deneyin sonundaki toplam zaman,

Δm_{ut} , deneyin sonunda deneye tabi tutulan ünitenin kütledeki toplam artıştır [19].

5 Hava Filtrasyonu Uygulamaları

5.1 Toz Toplama Sistemleri

Filtreler, toz toplama sistemleri alanında büyük bir kullanıma sahiptir. Torba ve kartuş filtreler bu amaçla kullanılan filtrelerin başında gelmektedir. Bu yapılarda kullanılan filtre kumaşları, dokuma ya da dokusuz yüzey yapıda olabilmektedir. Bu konudaki pazar ayrımının % 50-50 olduğu tahmin edilmektedir. Filtre toz yüklü havadan parçacıkları elerken bir filtre keki oluşturur ve filtrasyonun büyük kısmı bu kek tarafından gerçekleştirilir. Kumaş, çoğu zaman bir destek yapı olarak görev yapar [14].

Ekonomik olarak düşünüldüğünde filtre elemanları yenilenebilir ya da temizlenebilir. Bunlar için en yaygın kullanılan yol mekanik sarsma, düşük basınç ters hava ve yüksek basınç ters jet (pulse jet) tir. Torba veya zarf tipi filtrelerde dokuma kumaş yerine dokusuz yüzeylerin kullanılmasının avantajı bunların verimlilik değerlerinin daha iyi olmasıdır. Dokusuz yüzeylerin temizlenmesi daha zor olduğundan daha çok pulse jet tipi filtrelerde kullanılırlar [14].

5.2 Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri (Heat Ventilation and Air Conditioning (HVAC) Systems)

HVAC sistemleri ev ve işyerlerindeki hava kalitesini kontrol eder ve toz ya da mikrobik kirleticilerin sorun yaratabileceği hassas çalışma alanlarında temiz hava sağlarlar. Duyarlı elektronik bileşenlerin üretiminde ilaç sanayinde ve hastane ameliyat odalarında ve genel olarak toza karşı duyarlı çalışma alanlarında HEPA ve ULPA filtrelerin kullanıldığı temiz odaların dizayn edilmesinde kullanılır [4]. Şekil 4'te bir iç ortam klimasında yer alan pileli panel filtre görülmektedir.

Teknolojinin ilerlemesiyle daha sağlıklı ortamlarda çalışma gerekliliği ortaya çıkmış ve bu da temiz oda kavramını doğurmuştur.

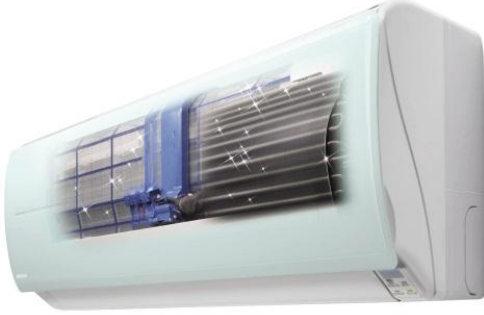
ASHRAE'nin temiz oda için yaptığı tanım şu şekildedir:

"Temiz oda, özel olarak yapılmış, parçacık, sıcaklık, nem, hava basıncı, akış profili, titreşim, gürültü, canlı organizmalar ve aydınlatma yönünden kontrol edilen kapalı çevredir [4]." Şekil 5'te bir temiz oda örneği görülmektedir.

Birçok ülkenin temiz odalarla ilgili standartları mevcuttur. Ancak bunların dayandığı temel A.B.D.'de çıkarılan "U.S. Federal Standart 209"dur. Bu standart, daha sonra geliştirilmiş ve 1988 yılında 209 D ve 1992 yılında SI biriminde olan 209 E yayınlanmıştır [4].

Kaba, hassas, HEPA ve ULPA olarak oluşturulan filtre grupları, uygun konfigürasyonlarla temiz odaya nakledilen partikülleri odanın dışına taşırlar.

Konfigürasyonun sıralaması, kaba filtreden, daha hassas filtre grubuna doğru yapılır. Böylece, kendisine göre daha hassas olan filtreden önce konan filtre, sonraki filtrelere büyük tanecik çapına sahip parçacıkların geçişini engelleyerek erken tıkanmasını önlemek suretiyle, ömürlerini uzatırlar.



Şekil 4: İç ortam klimasında pileli panel filtre [21].



Şekil 5: Temiz oda [22].

5.3 Hava Temizleme Sistemleri İçin Panel Filtre Tipleri

Kapalı alanlarda dikdörtgen ya da kare şekilli panel filtreler hava temizleme sistemlerinde en sık kullanılan yapılardır. Bunlar, yüksek verimlilik değeri istenen hava filtrasyonu uygulamalarında mini pileli panel filtreler şeklinde kullanılmaktadır. Şekil 6'da cam elyaf hammaddeden oluşan pileli bir panel filtre örneği görülmektedir.



Şekil 6. Pileli cam elyaf hammaddeli panel filtre [23].

Panel filtre olarak kullanılan yapıları şöyle sınıflandırmak mümkündür [14].

- ❖ Fiberglas filtreler: Bu tip filtreler genellikle 15-60 µm çapındaki cam liflerinden, yüksek poroziteye sahip olacak şekilde yapılmaktadırlar. Havalandırma sistemlerinde ve fan, motor, ısı eşanjörü gibi yapılarda sıklıkla kullanılan fiberglas filtrelerin maliyetleri düşüktür. Üreticiler tarafından, normal bir kullanım sürecinde fiberglas filtrelerin ayda bir kez değiştirilmesi tavsiye edilmektedir [14].
- ❖ Pileli filtreler: Çoğunlukla pamuk ve poliester lifleri olmak üzere sentetik ve/veya doğal liflerden oluşmuş nonwoven yapıdaki filtrelerdir. Fiberglas filtreler gibi pileli filtreler de oldukça geçirendir. Genellikle V şeklindeki pilelere uygun olarak telden bir çerçeve ile desteklenmiş halde bulunurlar. Pileleme sayesinde yüzey alanı artmakta ve böylece filtre ömrü uzamaktadır. Üreticiler tarafından pileli filtrelerin, normal bir kullanım sürecinde 2-3 ayda bir değiştirilmesi önerilmektedir [14].
- ❖ Yıkınabilen/tekrar kullanılabilen filtreler: Dokunmuş, poliester ya da polipropilen hammaddeli matlar arasına ağ şeklinde köpük yerleştirilmesiyle elde edilen bu tip filtreler de oldukça geçirgen yapıdadır. Bir başka versiyon olarak da dokunmuş poliester ya da polipropilen ağların arasına dokusuz yüzey yapıda poliester hammaddeli takviyenin sandviç formda yerleştirilmesiyle elde edilir. Üretim basamakları göz önüne alındığında fiberglas ve pileli filtrelere göre daha maliyetli olan bu tip filtreler iklimlendirme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [14].
- ❖ Elektret filtreler: Elektret filtreler, elektrostatik yüklü liflerden oluşan matlardır. Bu sayede klasik partikül yakalama mekanizmalarına ek olarak elektrosatetik yakalama da gerçekleşir. Tek kullanımlık olarak farklı boyutlarda üretilen elektret filtreler, yıkınabilen/tekrar kullanılabilen filtrelerden daha düşük ancak fiberglas ve pileli filtrelerden daha yüksek maliyetlidirler. Normal bir kullanım sürecinde 3 ayda bir değiştirilmelidirler [14].

Derin pileli filtreler: Derin pileli filtrelerin yapısı pileli filtrelerin yapısına benzemekle beraber nispeten daha maliyetlidirler. Bu tip filtrelerde tek kullanımlık bir üretim gerçekleştirilebilmektedir. Yılda bir ya da iki kez değiştirilmeleri uygundur [14].

6 Sonuçlar

Günümüzde iç ve dış ortamlardaki hava kirliliği sorununun giderek artmasından dolayı hava filtrasyonu uygulamaları gerek endüstriyel gerekse evsel alanda oldukça önemli bir hale gelmiştir. Filtrasyon sürecinde verimliliğin ölçülmesi, işlem kalitesinin saptanması ve kullanılan filtre malzemesinin konstrüksiyon parametrelerinin optimum hale getirilmesi noktasında oldukça önemlidir. Bu bağlamda, sunulan çalışmadan konuyla ilgili temel kavramlar ve bunların arasındaki ilişkilere değinilmiş, literatürde yer alan araştırmalardan bazılarını yer verilmiştir.

7 Kaynaklar

- [1] Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı, Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü, "Hava Kirliliğine Genel Bakış", www.rshm.saglik.gov.tr/hki/pdf/hava.pdf, Erişim tarihi: 29.05.2012.
- [2] Varınca, K.B., "Hava Kirliliği ve Hava Kirliliğinde Özel Konular", www.yildiz.edu.tr/~kvarınca/Dosyalar/Yayinlar/dyayin003.pdf, Erişim tarihi: 28.05.2012.
- [3] Dede, K., "Hava Filtreleri", www.yarbis.yildiz.edu.tr, Erişim tarihi: 24.05.2012.
- [4] Özcan, A., "Temiz Odalarda Hava Değişim Sayısı ve Filtre sınıfının Oda Klasına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [5] Sutherland, K., "Filters and Filtration Handbook" Elsevier Science & Technology Books, Hungary, 2008.
- [6] Peker, İ., "Toz Tutma Sistemleri", Çevre Dergisi, Fırat Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 1993.
- [7] Yeo, S.Y., Kim, O.S., Lim, D.Y., Byun, S.W., Jeong, S.H., "Effects of Processing Condition on The Filtration Performances of Nonwovens for Bag Filter Media" Journal Of Materials Science, 40, p. 5393-5398, 2005.
- Yeo, S.Y., Lim, D.Y., Byun, S.W., Kim, O.S., Jeong, S.H.,
- [8] "Design of Filter Bag Media With High Collection Efficiency", Journal of Materials Science, 42, p. 8040-8046, 2007.
- [9] Raynor, P.C., Kim B. G., Ramachandran G., Strommen M.R., Horns J.H., Streife, A.J. "Collection of Biological and Non-biological Particles by New and Used Filters Made From Glass and Electrostatically Charged Synthetic Fibers" Indoor Air, 18, p. 51-62, 2008.
- [10] Ermakov, V.Y., Segeenkov, A.P., Konyukhova, S.V., "Pressure Loss and Regenerability of Nonwoven Filter Bag Materials For Cleaning Air", Fibre Chemistry, Vol 39 No 3, 2007.
- [11] Tanabe, E.H., Barros, P.M, Rodrigues, K.B., Aguiar, M.L, "Experimental Investigation of Deposition and Removal of Particles During Gas Filtration With Various Fabric Filters" Separation and Purification Technology, 80, p. 187-195, 2011.
- [12] Das, A., Alagirusamy, R., Nagendra, K.R., "Study on Needle-punched Nonwoven Fabrics Made From Shrinkable and Non-shrinkable Acrylic Blends. Part III: Filtration Characteristics", The Journal of The Textile Institute, 102, p. 93-102, 2011.
- [13] Verma, S.S, "Indoor Air Purification", Chemical Business, 2012.
- [14] Hutten, I., "Handbook of Non-Woven Filter Media" Elsevier Science & Technology Books, 2007.
- [15] Şafak, Z., "Filtreler ve Ayırıcılar", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2005.
- [16] Zhou, B., Shen, J., "Comparison of General Ventilation Air Filter Test Standarts Between America and Europe" [http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive % 5 CIAQVEC2007%5CZhou_5pdf](http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5CIAQVEC2007%5CZhou_5pdf), Erişim tarihi: 21.05.2012.
- [17] www.uzmanhavalandirma.com/urunler, Erişim tarihi: 24.05.2012.
- [18] http://www.cambridgefilterusa.com/product.php?product_category=ULPA, Erişim tarihi: 24.05.2012.
- [19] Doğan, G., "Kuru Hava Filtrasyonunda Kullanılan Dokusuz Yüzeylerin Performansları Üzerine Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2006.
- [20] Vallabh, R., Banks-Lee, P., Seyam, A.F., "New Approach for Determining Tortuosity in Fibrous Porous Media", Journal of Engineered Fibers and Fabrics", Vol 5 Issue 3, 2010.
- [21] www.vaillantsevise-tr.com, Erişim tarihi: 18.05.2012.
- [22] www.pdfdergi.com/5274/temiz-oda-kurulumunda-uzman-cozum, Erişim tarihi: 22.05.2012.
- [23] http://www.endustriyelfiltreler.com/panel_filtre.html, Erişim tarihi: 23.05.2012.