# Endüstriyel Filtreler

## Seçim, Tasarım ve Uygulama Esasları

Dr. İbrahim ÇAKMANUS
Makina Yüksek Mühendisi



Ağustos 2014



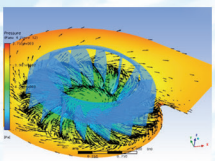
# Çakmanus Mühendislik

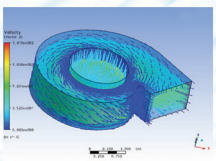
• Yeni filtre fan sistemleri tasarım ve imalatını gerçekleştirmektedir.
• Fan ve filtre sistemlerimizin ne kadar enerji tükettiğini ve bu tüketimin nasıl minimize edileceğini bilimsel yöntemlerle belirliyor.

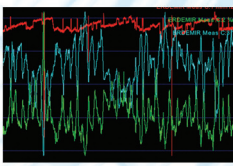
Dr. İbrahim ÇAKMANUS ve partnerleri sektördeki deneyimlerini ölçüm, analiz ve raporlama yaparak gerçekleştirmektedir.











## HİZMETLERİMİZ

Yüksek Verimli Fan ve Filtre Sistem İmalatı
Sistem Tasarımı
Enerji Verimliliği Çözüm Desteği
Retrofit ve Enerji Performans Artırma Çalışmaları.
Test Ayar ve Dengeleme Hizmetleri
Servis Hizmetleri

Çakmanus
www.cakmanus.com.tr

**ÇAKMANUS MÜHENDİSLİK ENERJİ SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.**
İvedik Organize Sanayi Bölgesi Hasemek Koop
667. Sok No. 69 Yenimahalle - Ankara / TÜRKİYE

Tel. +90.312. 394 83 22
Fax. +90.312. 394 83 23
ibrahim@cakmanus.com.tr

# ENDÜSTRİYEL FİLTRELER:

## SEÇİM, TASARIM VE UYGULAMA ESASLARI

**Dr. İbrahim ÇAKMANUS**
Makina Yüksek Mühendisi

Ağustos 2014

# ENDÜSTRİYEL FİLTRELER:

## SEÇİM, TASARIM VE UYGULAMA ESASLARI

ISBN: 978-605-61283-3-2

© Her hakkı mahfuzdur. Yayımcının müsaadesi olmaksızın kısmen veya tamamen hiçbir şekilde ve teknikle çoğaltılamaz yayınlanamaz.

**Baskı ve Cilt:** Altan Basım Ltd.

B2B medya

**Teknik Sektör Yayıncılığı A.Ş.**
Barbaros Mah. Uğur Sk. No: 2/2 34662 Üsküdar / İstanbul
Tel: 0216 651 7878 / Faks: 0216 651 7898
www.b2bmedya.com • info@b2bmedya.com

*Kapak fotoğrafı için MGT San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye teşekkür ederiz.*

# ÖNSÖZ

Enerji, günümüz ekonomisinin en önemli girdilerinden birisidir. Ülkemizin enerji ihtiyacı petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil tabanlı yakıtlarla karşılanmakta olup %75 oranında dışa bağımlıdır. Enerjinin yaklaşık olarak %35'inin sanayide, %35'inin binalarda ve %30'unun ise ulaşımda kullanıldığı tahmin edilmektedir. Ayrıca fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan CO2 emisyonları ve diğer kirleticiler küresel ısınmaya neden olmaktadır. Kyoto Protokolu ve sonrasında BM İklim Konferansı çalışmaları kapsamında bu etkilerin azaltılması için çalışmalar devam etmektedir. Bu hususlar enerjinin verimli kullanılmasının önemini göstermektedir. Enerji verimliliğinin önemini ortaya koyan bir başka gelişme de 1990'lı yıllarda ortaya çıkan çevre bilincidir. Bu bilinç, geleneksel enerji üretim ve tüketiminin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel seviyede olumsuz etkilere sebep olduğunun anlaşılmasına ve bu etkileri azaltmak üzere enerjinin verimli kullanımı ile ilgili çalışmaların desteklenmesine yol açmıştır. Enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki baskısının ve çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılmasında en ekonomik çözümlerden birisi olan enerji verimliliği, üretilen mal veya hizmetin miktarını ve kalitesini düşürmeden daha az enerji tüketilmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Enerji, üretim maliyetlerini ve rekabeti de etkilediğinden verimlilik artırıcı çalışmalar önemli olmaktadır.

Çimento, demirçelik, ahşap, petrol, madencilik, seramik, cam gibi çok sayıda sanayi dalında kullanılan filrelerde kullanılan fanların motor güçleri 4000 kW'lara kadar çıkabilmektedir. Ayrıca toz emisyonları yönünden çevre yönetmeliklerinin gerekliliklerini sağlayabilen torbalı filtrelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerde torba temizliği için basınçlı hava kullanılmaktadır. Basınçlı hava ise örneğin elektrik enerjisine göre 8 kat daha pahalı bir enerji türüdür. Bu nedenle olabildiğince verimli kullanılması gerekmektedir. Fan enerjisi ve basınçlı hava enerjisi tüketiminin azaltılması, uygun torba seçimi, çapların uygun biçimde belirlenmesi, az basınç kaybına sebep olan ventürilerin ve nozulların kullanımı vb. ile sağlanabilir. Bu sistemlerde kapasitenin doğru belirlenmesi, sistem parçalarının optimum boyutlarda seçilerek basınç kayıplarının doğru hesaplanması enerji giderlerini doğrudan etkilemektedir.

Yanma ve kimyasal prosesler sonucu ortaya çıkan kirletici emisyonların çevreye daha az zarar verecek şekilde arıtılmasının yolu toz emisyonların

yasal sınırlara indirilerek atmosfere verilmesi ve gazların kimyasal olarak arıtılmasıdır. Filtre kullanımının diğer bir sebebi ise ürünün geri kazanılmasıdır. Örneğin çimento sektöründe çimento tozlarının ve demirçelik sekötründe sinter tozlarının geri kazanılarak kullanılması söz konusu olmaktadır.

Bu çalışmada endüstriyel toz tutma sistemleri incelenmiştir. Bu sistemler aşağıdaki bölümlerden veya sistemlerden oluşmaktadır:

a) Emiş ağızları (davlumbazlar, menfezler vb.),
b) Hava kanalları,
c) Kaba filtreler (durulma odaları, siklonlar vb.),
d) Filtre sistemleri (yaş filtreler, elektrostatik filtreler, torbalı filtreler),
e) Fan,
f) Baca,
g) Otomasyon sistemi, toz uzaklaştırma, basınçlı hava sistemi, ön soğutma sistemi vb. ekipmanlar

Diğer yandan mühendislerimizin literatürü kendi dilinde takip edebilmeleri önemlidir. Bu çalışma, bu alandaki Türkçe kaynak ihtiyacını bir ölçüde karşılamayı amaçlamaktadır. Çalışma ekte verilen kaynaklardan yararlanılarak hazırlanmıştır.

Birinci bölümde emisyonlar, çevre ve yasal düzenlemeler üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde sistemlerde kullanılabilecek akışkanlar mekaniği prensipleri özetlenmiştir. Üçüncü bölümde basınç kayıplarına ilişkin bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde filtre çeşitleri ve filtre seçimi, beşinci bölümde endüstriyel toz tutma sistemleri özetlenmiştir. Altıncı bölümde davlumbazlar, yedinci bölümde siklonlar ve durulma odaları, sekizinci bölümde torbalı filtreler, dokuzuncu bölümde endüstriyel elektrostatik filtreler (ESP), onuncu bölümde sulu filtreler, onbirinci bölümde hava kanalları ve bacalar, onikinci kompresörler ve basınçlı hava, onüçüncü filtre sistemleri tasarımı ve enerji verimliliği konuları incelenmiştir. Son bölümde ise bazı ilgili ekler verilmiştir.

**İbrahim ÇAKMANUS**
Ağustos 2014

# İçindekiler

ÇEVRE VE YASAL DÜZENLEMELER ..... 7
AKIŞKANLAR MEKANİĞİ ..... 15
BASINÇ KAYIPLARI ..... 33
FİLTRE ÇEŞİTLERİ VE FİLTRE SEÇİMİ ..... 47
ENDÜSTRİYEL TOZ TUTMA SİSTEMLERİ ..... 79
DAVLUMBAZLAR ..... 87
SİKLONLAR VE DURULMA ODALARI ..... 129
TORBALI FİLTRELER ..... 149
ELEKTROSTATİK FİLTRELER ..... 207
SULU FİLTRELER ..... 217
KANALLAR, BACALAR ..... 237
KOMPRESÖRLER VE BASINÇLI HAVA SİSTEMİ ..... 267
FİLTRE TASARIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ..... 285

**EKLER**

1. BİRİM DÖNÜŞÜMLERİ ..... 309
2. BAZI METALLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ..... 315
3. HAVANIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ..... 316

KAYNAKLAR ..... 317

# BÖLÜM 1

# ÇEVRE VE YASAL DÜZENLEMELER

## 1.1. Çevre Kirliliği ve Emisyon Kontrolu

Atmosferik toz; duman, buğu, buhar, tanecikli parçacıklar, biyoaeresoller ile doğal ve yapay fiberlerin karmaşık bir karışımıdır. Bu karışım, bir gaz ortam içerisinde asılı halde olduğunda aeresol adını alır. Bir başka ifade ile, is, duman, silika, kil, bozunmuş hayvansal ve bitkisel maddeler, keten ve bitkisel fiberler biçiminde organik maddeler ve metalik elemanlar da atmosferik toz olarak nitelenir. Böyle bir örnek, aynı zamanda, küf sporları, bakteriler ve bitkisel polenler gibi hastalık yapan veya alerjik olabilen canlı organizmalar da bulundurabilir. Belirli bir yerde toplanan hava örneklerinde genellikle o yörede bulunan maddeler ile uzakta bulunan ve hava akımları veya difüzyon yolu ile taşınmış maddelere rastlanır. Bu maddeler ve havadaki derişimleri; yöresel coğrafyaya (kentsel veya kırsal), mevsime, hava koşullarına, rüzgarın yön ve şiddetine ve toz kaynaklarına yakınlığa göre değişir.

Aeresol büyüklükleri, yeni biçimlenmiş yanma ürünleri ve radon türevlerinde olduğu gibi 0.01μm ve daha küçük boyutlardan, pişirme ve sigara dumanı gibi 0.1μm'ye, toz, mikroorganizma ve alerji yapan maddelerdeki gibi 0.1~10 μm' ye, havadaki toprak, polen ve alerji yapıcı maddeler gibi 100 μm'ye kadar değişik boyutlarda olabilir. 2 μm'ye kadar olan partiküller akışkan olarak kabul edilebilir. Atmosferik aerosollerin derişimleri, mikrometre altı büyüklüklerde pik düzeylerde olup, parçacık büyüklüğü 1μm'nin üzerine doğru arttıkça bu derişim düşer. Belirli bir büyüklükte derişim, zaman içerisinde özellikle insan etkinlikleri, ekipman, mobilya ve ev hayvanlarına yakınlığa bağlı olarak değişir. Parça büyüklüğü ve derişimdeki geniş değişme aralığı, bütün kirleticiler için bir tek temizleme aracı yapmayı olanaksız kılmaktadır.

Aşağıda çelik fabrikaları ve dökümhanelerden çıkan emisyonlar buna örnek olarak verilmiştir.

*Tablo 1a. Dökümden çıkan gazların kimyasal özellikleri.*

| Sıra no | Element | Gridöküm % | Ductil döküm % | Döküm demir % | Çelik % |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Karbon, C | 2,0-4,0 | 1,8-3,6 | 3,0-4,0 | <2,0 |
| **2** | Silikon, Si | 1,0-3,0 | 0,5-1,9 | 1,4-2,0 | 0,2-0,8 |
| **3** | Mangan, Mn | 0,4-1,0 | 0,25-0,8 | 0,5-0,8 | 0,5-1,0 |
| **4** | Sülfür, S | 0,05-0,25 | 0,06-0,2 | <0,12 | <0,06 |
| **5** | Fosfor, F | 0,05-1,0 | 0,06-1,0 | <0,15 | <0,05 |

*Tablo 1b. EPA'ya göre dökümhanelerde ortaya çıkan diğer emisyonlar.*

| Sıra no | Proses | Emisyonlar |
|---|---|---|
| **1** | Kupol ocakları | CO2, CO, SO2, NOx, Partiküller (Pb, Zn, Cd), VOCs |
| **2** | Elektrikli indüksiyon ile ergitme | CO, SOx, NOx, Partiküller (Pb, Zn, Cd), VOCs |
| **3** | Mold ve core ergitme | CO, SO2, H2S, NOx, Partiküller (Pb, Zn, Cd) |
| **4** | Dövme, soğutma &silkeleme | Partiküller (Pb, Zn, Cd), CO, VOCs, HAPS (fenol, formaldehit vb.) |
| **5** | Finishing | Partiküller (Pb, Zn, Cd) VOCs, HAPS |

Hava filtrelerinin işlevselliğini etkileyen aerosol karakteristikleri, parçacık büyüklüğü ve biçimi, kütle, derişim ve elektriksel özelliklerdir.Bunların içinde en önemlisi parçacık büyüklüğüdür. Fiberlerin biçim, büyüklük, çap olarak ve vücutta bulunabilecekleri bölgeyi etkilemeleri yönünden, parçacıklardan farklı olduğuna dikkat edilmelidir.

Büyüklüğü 2.5µm'den küçük olan parçacıklar genellikle **ince yapıda** ve 2.5µm'den büyük olan parçacıklar **kaba yapıda** olarak sınıflandırılır. İnce ve kaba yapıdaki parçacıklar, tipik olarak farklı mekanizmalarla oluşur, ayrı biçim değiştirmelere ve farklı kimyasal bileşimlere sahip olup, farklı kontrol stratejilerini gerektirirler. İnce yapılı parçacıklar genelde yanmadan kaynaklanır veya doğrudan yanma ürünleri olarak yayınırlar. Birçok mikroorganizma da (bakteri ve yosun gibi) bu büyüklük sınıfına girer ya da bu büyüklükte birleşimler üretir. Bu parçacıkların kendi ağırlıkları ile çökmesi uzak bir olasılık olup, olasılıkla yatay ve düşey yüzeyler üzerinde birikebilir. Kaba yapılı parçacıklar tipik olarak, kaldırma ve sürtünme gibi mekanik işlemlerden kaynaklanır. Kaba yapılı parçacıklar kendi ağırlıklarıyla çökeldiklerinden havadan daha kolay çıkartılabilirler. Bu nedenle havadaki kalış süreleri daha kısadır.

Sağlık yönünden, 5µm'den küçük olan parçacıkların önemli bir yüzdesi akciğerlerdeki hava keseciklerine ulaşabildiklerinden bunlar **solunabilir** parçacıklar olarak kabul edilir. Solunum işlevini etkileyen parçacıkların sınır değerleri ise 2.0~2.5µm büyüklük düşünülür.

**Biyoaerosol'**ler, biyolojik kaynaklı farklı türden parçacıklardır. Alerji, astım ve hastalıklara neden olmaları nedeniyle, iç mahal havasında özellikle dikkate alınması gereken elemanlardır. Havadaki virüs ve bakteri türü aerosoller, genelde ortalama çapı 3µm olan damlacık çekirdeği ile iletilirler. Yosun türü sporlar genellikle 2~5µm çapındadırlar. Doğru bir havalandırma ve filtre işleminin birleşimi, iç mahal biyoaerosol'lerin kontrolünde kullanılabilir. Morey (1994), insanlarda gelişen bakterilerin kontrol edilmesi için iç mahalde kişi başına minimum 15~35$m^3$/h; ACGIH (1989) ise kişi başına minimum 15$m^3$/h ile seyreltim önermektedir. Aynı kuruluş, ASHRAE atmosferik toz spot verimi %50~70 olan filtrelerin 1~2 µm mikrobik maddelerin çoğunu tutabileceği bildirmektedir. Wheeler (1994) ASHRE atmosferik toz spot verimi %60 olan filtrelerin 2µm büyüklüğündeki

parçacıkların %85'ini, %80~85 verimli filtrelerin ise 2.5µm çaplı parçacıkların %96'sını tutabildiğini ifade etmektedir.

## 1.2. Hava Temizleme Uygulamaları

Değişik uygulama alanları, değişik derecelerde hava temizleme verimine gerek gösterir. Endüstriyel havalandırma ile yapının temizliği, mekanik ekipmanın korunması ve çalışanların sağlığı için hava akımından sadece büyük toz parçacıklarının alınması yeterli olabilir. Diğer uygulamalarda, yüzeyin renk değiştirmesinin önlenmesi gerekli olabilir. Bina içlerinin kirlenmesi ve renk değiştirmesindeki önemli husus atmosferik tozun küçük bileşenleridir. Küçük parçacıkların, özellikle sağlık nedenleriyle kontrol edilmesi için elektrostatik filtreler ya da orta verimli veya yüksek verimli filtreler gerekir. Temiz odalarda veya radyo aktif ya da diğer tehlikeli parçacıkların bulunması durumunda, yüksek veya çok yüksek verimli filtreler seçilmesi gerekir. Burada tasarım ve seçimi etkileyen temel faktörler;

- Gerek duyulan temizlik düzeyi,
- Belirli parçacık büyüklük aralığı veya filtre işlemine gerek gösteren aerosol büyüklüğü,
- Aerosol derişimi,
- Filtre içerisinden olan hava akımına gösterilen direnç,
- Basılı yayınlardaki performansı elde edebilmek için tasarım yüzey hızı.

## 1.3. Gaz Temizleme ile İlgili Yasal Düzenlemeler

Havanın yanma, solvent buharları ve zehirli maddeler tarafından etkilenmediği yerlerde, enerji maliyetlerini düşürmek ya da binadaki statik basıncı dengelemek amacıyla havanın çalışma alanlarında sirküle edilmesi istenir. Yüksek verimli, kumaş ya da kartuşlu filtreler, toplayıcılar yada özel amaçlı ıslak temizleyiciler sirküle edilen havadaki parçacık miktarını kabul edilebilir düzeylere düşürmek için kullanılır.

Hava kirlilik derişimleri, izin verilebilir üst sınırın altında bile olsa insanların şikayetlerine neden olabilmektedir. Buna göre, kodlara ve düzenlemelere ek olarak, tesisin yeri, ele alınan kirletici ve bölgenin hava koşulları da değerlendirilmelidir. Birçok durumda, yayınım standartları, proses ürünlerinin ekonomik geri kazanım işlemi için (eğer böyle bir geri kazanım isteniyorsa) gerekenden daha yüksek düzeyde bir temizlemeye gerek gösterir. Gaz temizliği özellikle zehirli maddelerin bulunması ve temizlenen gazın çalışma alanlarında yeniden sirküle edilmesi gibi durumlarda çok daha önemli olmaktadır.

## 1.4. Kirletici Karakteristikleri

**Atalet Etkileri.** Gazlar, dumanlar ve buharlar önemli atalet etkileri sergilemezler. Yine, ince toz parçacıkları, 20μm yada daha düşük çaplı (solunum yoluyla alınan parçacıkları da içerir) çok önemli atalet etkilerine sahip değildir. Bu maddeler sadece içerisinde bulundukları havanın hareketine bağlı olarak hareket ederler. Bu gibi durumlarda, davlumbazın kirleticiyle yüklü hava akımları ile odadaki karşıt çekmelerin, araç trafiğinin neden olduğu diğer harici hava akımlarını kontrol edebilen bir akış örneği ile yeterli bir yakalama hızı üretmesi gereklidir.

**Özgül Ağırlık**. Egzoz davlumbazlarının yerleşim yeri çoğunlukla yanlış bir yaklaşımla "kirleticinin havadan ağır" veya "havadan hafif" olduğu varsayımına dayanılarak belirlenir. Sağlığa zararlı uygulamaların çoğunda, bu kriter küçük bir öneme sahiptir. Tehlikeli toz parçacıkları, dumanlar, buharlar ve gazlar hava akımlarını izleyen ve havayla birlikte hareket eden maddelerdir ve yoğunlukları nedeniyle aşağı ya da yukarı doğru önemli bir harekete sahip değillerdir. Normal bir hava akımı bu kirleticilerin uygun bir karışımını sağlayacaktır. Bu gözlemlerin istisnaları çok sıcak veya çok soğuk işlemlerde veya kirleticinin çok yüksek düzeylerde üretildiği ve kontrolün kirletici seyrelmeden önce sağlandığı durumlardır.

**Girdap Etkileri.** Hava, bir cismin çevresinden akarken "sınır tabakası ayrılması" adı verilen bir olay ortaya çıkar. Bir geminin suda ilerlediği sırada oluşan girdaplara benzer biçimde, cismin alt akım bölgesinde türbülanslı bir girdap oluşur. Girdap bölgesi kuvvetli bir karışım ve sirkülasyon alanıdır. Eğer söz konusu cisim, kirlilik kaynağında veya ona çok yakın çalışan bir insan ise, kirletici maddelerin solunum bölgesinde sirkülasyonu son derecede

olasıdır. Kirletici kontrolünde düşünülmesi gereken diğer önemli bir husus da, kirlilik kaynaklarını bu sirkülasyon bölgesinden uzakta tutarak, insan vücudunun çevresindeki girdap alanını en düşük düzeye indirmektir.

## 1.5. Gaz Akımları ve Kirleticilerin Ölçülmesi

**Baca örneklemesi**, gaz temizleme cihazlarının kurulum ve işletme standartlarına ilişkin gerekleri yerine getirmesi, düzenlemelere uygunluğun sağlanması ve yeni ekipmanın kontrol-kabulü için gereklidir. Aynı zamanda, bu işlem, gaz temizleme ekipmanına ait özelliklerin saptanması ve cihazın doğru biçimde çalıştığının belgelenmesi için de kullanılabilir. Bu testler, proses akımı boyunca belirli yerlerde, gazların bileşimlerini ve miktarını belirler. Testler sonucunda yapılan analizler ile aşağıdaki veriler oluşturulur;

- Kirletici fiziksel karakteristikleri- katı toz, sıvı sis, ya da "duman", mumsu katılar, veya yapışkan sıvı-katı karışımları.
- Parçacık büyüklüklerinin dağılımı-optik, fiziksel, aerodinamik vb.
- Ortalama ve maksimum değerleriyle parçacık maddenin gaz ortam içerisindeki derişimi, kanal ve bacadaki derişim profili.
- Ortalama ve maksimum değerleriyle gazların hacimsel akış miktarı, bu akışın baca veya kanaldaki bir profili. Hacimsel akış genellikle değişik standart sıcaklık, basınç, nem ve proses durumlarındaki gerçek koşullar olarak ifade edilir.
- Geri kazanım değeri de dahil olmak üzere gazların ve parçacık maddelerin kimyasal bileşimi.
- Kirleticilerin parçacık ve toplu haldeki yoğunluğu,
- Korozif, aşındırıcı, sis yapıcı, yada yapışkanlık/ tutunabilirlik özellikleri de dahil olmak üzere parçacık maddenin işlemleme özellikleri.
- Yanabilirlik ve tutuşabilirlik sınırları.
- Baca ve laboratuar koşullarında parçacık madde atıklarının elektriksel direnç özellikleri. Bu veriler, elektrostatik toplayıcıların ve elektriksel olarak geliştirilmiş teknolojilerin değerlendirilmesi için yararlıdır.

Günümüzde baca gazı emisyonlarının istenilen sınırlarda olup olmadığını devamlı ölçen ve raporlayan cihazlar bulunmaktadır. Bu cihazlar yardımı ile filtrenin işletilmesi optimize edilebilir. Örneğin torbalı filtrelerde basınçlı havanın püskürtülme süreleri, devreye girip çıkma zamanları, fan tarafı enerji harcamasının minimize edilmesi gibi hususlar bir algoritma dahilinde optimize edilebilir.

# BÖLÜM 2

# AKIŞKANLAR MEKANİĞİ

## 2.1.Giriş

Hava kalitesinin kontrolü, filtreleme işlemleri esnasında hava akışı söz konusudur. Buralardaki akışlar, akışkanlar mekaniğinin genel kanunlarına uygun biçimdedir. Bu bölümde filtre ve fan sistemlerinde rastlanabilen akışkanlar mekaniğinin bazı temel prensipleri üzerinde durulmuştur.

## 2.2. Kütlenin Korunumu

Kararlı akış alanınında seçilen bir kontrol hacmine giren kütle ve çıkan kütle birbirine eşittir. Bunun için $m_1=m_2$ yazılabilir. Burada $m_1$ ve $m_2$ sırasıyla kontrol hacmine giren ve çıkan akışkan kütlelerdir. Bu eşitlik $\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$ şeklinde de yazılabilir. Burada ρ yoğunluk ($kg/m^3$), v hız (m/s), A akış kesit alanıdır ($m^2$). Eğer akış sıkıştırılamaz ve giriş ile çıkış arasında sıcaklık değişimi ihmal edilebilecek düzeyde ise $\rho_1=\rho_2$ yazılarak $v_1 A_1 = v_2 A_2$ elde edilir. Bu eşitlik süreklilik denklemi olarak adlandırılır. Buna göre akış yolu boyunca bir kaçak olmadığı varsayılırsa akış sırasında debi sabittir.Bu değer;

Debi (V)= Hız (v) × Kesit (A)

şeklinde yazılır.

## 2.3. İdeal Gaz Hal Denklemi

İdeal gaz kanunu,

$$PV = mRT \tag{2.1}$$

şeklinde ifade edilir. Burada P gaz basıncı (Pa), V gaz hacmi ($m^3$), m kütle (kg), R gaz sabiti (kJ/kgK), T termodinamik sıcaklıktır (K). Bu denklem yeniden düzenlenirse,

$$\frac{m}{V} = \rho = \frac{P}{RT}$$

(yoğunluk) elde edilir. Burada P yerel hava basıncı olup $P=P_{atm} + P_{bağıl}$ şeklindedir. $P_{atm}$ bulunulan yerin rakımına göre atmosfer basıncı (Pa), $P_{bağıl}$ kanalda ölçümün yapıldığı noktadaki atmosfer basıncına göre negatif veya pozitif olan statik basınçtır (Pa). Rakım (deniz seviyesinden yükseklik) arttıkça atmosfer basıncı ve buna bağlı olarak yoğunluk düşer. Yine bu eşitlikten sıcaklık arttıkça yoğunluğun azaldığı görülür. İşletme koşullarındaki havanın (fandan geçen havanın) özelliklerinin (toz, nem, atık gaz vb. miktarı) ve yoğunluğunun doğru hesaplanması veya mümkünse ölçülmesi gerekir. Yine ideal gaz denkleminde sabit basınçta hal değişimi için

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$ yazılabilir.

*Tablo 2.1. Havanın genel özellikleri.*

| **Gaz** | **M (kg/kmol)** | **P ($kg/m^3$)** | **R (kJ/kgK)** | **$V_i(m^3)$** | **$m_i$(kg)** | **$\zeta_i$ ($m_i$/m)** | **$\zeta_i x R_i$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 44 | 1,96 | 189 | 0,89 | 1,74 | 0,24 | 45,36 |
| CO | 28 | 1,25 | 297 | $38x10^{-6}$ | $47x10^{-6}$ | $6,3x10^{-6}$ | $1,87x10^{-3}$ |
| $NO_2$ | 46 | 2,10 | 181 | $82x10^{-6}$ | $172x10^{-6}$ | $2,3x10^{-6}$ | $0,42x10^{-3}$ |
| $SO_2$ | 64 | 2,85 | 130 | $173x10^{-6}$ | $493x10^{-6}$ | $66x10^{-6}$ | $8,6x10^{-3}$ |
| $O_2$ | 32 | 1,43 | 260 | 3,96 | 5,7 | 0,77 | 200,2 |
| TOPLAM | | | | | m=7,44 | | Rort=245,6 |

Tablo 2.1'de havanın genel özellikleri verilmiştir.

Özetlemek gerekirse hava aşağıdaki bileşik ve elementler karışımından oluşur.

$CO_2$ : 3,98 (%)
CO : 3101 - 11465 $mg/m^3$
$NO_2$ : 91 - 254 $mg/m^3$
$SO_2$ : 72 -913 $mg/m^3$
$O_2$ : 15.49 - 19.91 (%)

*Formüller*

M: gazın molekül ağırlığı (elementlerin mol ağırlıklarının toplamı)

R=Rü/M=8314/M (örnek $NO_2$ için R=8314/46=181 j/(kgK) (Rü: üniversal gaz sabiti)

P: yoğunluk ($kg/m^3$): $\rho=P_0\ (P_a)/(RxT_0)=101325/Rx273$ (örnek $O_2$ için $\rho=101323/(260x273)=1,43$)

$m_i= v_i \times \rho_i$

$m_t= \Sigma m_i$

$\zeta_i= m_i / m_t$ (her bir gazın kısmi ağırlığının toplam ağırlığa oranı)

$R= \Sigma\ \zeta i\ xR_i$

Not 1: Tabloda; standart hacim 22,4 lt alınmıştır. Buna göre $CO_2$ ve $O_2$ için $V_i$ değerleri, bu hacmin verilen %'si olarak (verilen %x22,4) alınmıştır. $mg/m_3$ olarak verilenlerde ise $V_i=m_i$(verilen $mg/m_3$-ortalama)/$\rho_i$ şeklinde hesaplanmıştır.

Not 2: Görüldüğü üzere $m^3$'de mg mertebelerinde bulunan gazların gaz sabitine olan etkileri çok azdır.

Not 3: aralıklı olarak verilen $mg/m_3$ değerlerinin ortalaması alınmıştır.

## 2.4. Normal Metreküp , $V_n$

Bu eşitlik, herhangi bir sıcaklıkta bilinen bir denklemin başka bir sıcaklıktaki değerini hesaplamaya yaramaktadır. Örneğin herhangi bir sıcaklıktaki debinin $Nm^3$ değeri eşitlik ile bulunabilir. Normal metreküp, $V_n$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_n=V_1x(T_0/T_1)x((Po\pm Pt)/P_0) \quad (2.2)$$

Burada 1 indisi çalışma şartlarındaki değerleri, 0 indisi ise standart şartlardaki (örneğin $T_0$= 0 °C, $P_0$=1,013 bar) değerlerdir. Bazı literatürlerde standart şartlar olarak 15° C ve 20 °C esas alındığı da görülmektedir.

## 2.5. Basınç

### 2.5.1. Atmosfer Basıncı

Dünyayı çevreleyen atmosfer havası %78 oranında nitrojen, %21 oranında oksijen ve %1 oranında da diğer gazlardan oluşmaktadır. Atmosfer basıncı, rakım ve sıcaklık ile değişmekte olup bu nedenle standart tanım gerekir. 15ºC sıcaklıkta, φ=%50 bağıl nemde, 760 mmSS (101325 Pa) basınçtaki hava ASHRAE, ASHVE, AMCA tarafından standart hava kabul edilmekte olup yoğunluğu 1.205 $kg/m^3$'tür. Deniz seviyesine göre yükseklik (rakım) arttıkça atmosfer basıncı ve dolayısıyla hava yoğunluğu düşer. Atmosfer basıncına ve yoğunluğa ilişkin değerler Tablo 2.2'de verilmiştir.

*Tablo 2.2. Rakıma bağlı olarak atmosfer sıcaklığı, basıncı ve yoğunluğu.*

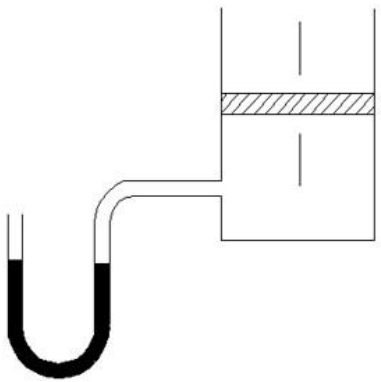
| **Rakım (m)** | **Atmosfer sıcaklığı (°C)** | **Atmosfer basıncı (Pa)** | **Hava yoğunluğu ($kg/m^3$)** |
|---|---|---|---|
| 0 | 15.0 | 101325 | 1.205 |
| 300 | 13.0 | 97740 | 1.169 |
| 600 | 11.0 | 94218 | 1.135 |
| 900 | 9.1 | 90797 | 1.101 |
| 1200 | 7.1 | 87512 | 1.069 |
| 1500 | 5.6 | 84295 | 1.037 |
| 1800 | 3.1 | 81213 | 1.006 |
| 2100 | 1.1 | 78820 | 0.975 |
| 2400 | 0.8 | 75252 | 0.946 |
| 2700 | -2.8 | 72407 | 0.918 |
| 3000 | -4.7 | 69698 | 0.889 |
| 3300 | -6.7 | 67023 | 0.861 |
| 3600 | -8.8 | 64449 | 0.834 |
| 3900 | -10.8 | 61943 | 0.807 |
| 4200 | -12.7 | 59504 | 0.782 |
| 4500 | -14.7 | 57167 | 0.757 |
| 6000 | -24.6 | 46567 | 0.640 |
| 7500 | -34.5 | 37592 | 0.539 |

### 2.5.2. Statik Basınç, Hız Basıncı ve Toplam (çarpma) Basınç

Birim kütledeki bir akışkan bir boruda akarken zamana bağlı olarak iki farklı basınç oluşturur. Birincisi "*statik basınç*" olup, akışkanı sıkıştırarak boruda akışı sağlayan başınçtır. İkincisi ise "*hız basıncı*" olup, durgun haldeki akışkanı işletme hızına çıkarmaya yarar. Tersine, v hızındaki akışkanı durdurmaya yetebilecek basınç olarak da tanımlanabilir. Hız basıncı akışı, hız vektörü doğrultusunda etki eder. Buna karşın statik basınç her yönde etki eder; akışkanı sıkıştırır ve boruya gerilme uygular. Üçüncü bir basınç "*impact – çarpma*" veya "*toplam*" basınç olarak adlandırılan toplam basınçtır. Bu basınç zamana bağlı olarak akış içinde bir noktaya etki eden bir basınçtır. Bu basınç statik ve hız basınçları toplamından oluşur ve akış yönünde ölçülür.

**Statik basınç**

Şekil 2.1'de bir piston ve manometre sistemi görülmektedir. Burada silindirin pistonun altındaki bölümünde hava, manometrede ise sıvı bulunmaktadır. Başlangıçta pistonun ağırlığının etkisi ile oluşan basınç ile U manometrenin açık tarafına etki eden atmosfer basıncı başlangıçta dengededir.

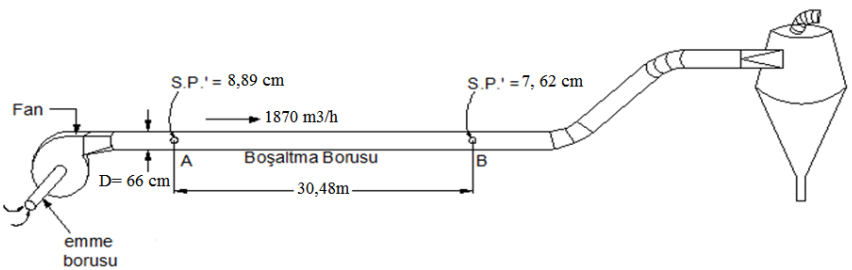


*Şekil 2.1. Silindir, piston ve manometre.*

Eğer piston yukarı doğru çekilirse silindir içindeki basınç azalacağından manometredeki sıvı seviyesi sol kolda düşer, sağ kolda yükselir. Bunun aksine, pistonun üzerine ilave ağırlık konulursa sağ kolda sıvı seviyesi düşer,

sol kolda yükselir. Bu durum silindir içerisindeki pozitif veya negatif statik basıncı açıklar. Benzer şekilde kanal, dirsek, redüksiyon, T, filtre, damper, susturucu, siklon, serpantin, emiş ağzı, atış ağzı vb. dirençler ihtiva eden bir sistemde çalışan bir fan pozitif veya negatif statik basınç oluşturarak (fan sistemin çıkış tarafında bulunuyor ise negatif basınç, giriş tarafında ise pozitif statik basınç söz konusudur) sistemin basınç kayıplarını karşılar. Görüldüğü üzere statik basınç sıfır, pozitif yada negatif olabilmektedir.

Şekil 2.2'de fan üfleme tarafında bulunan bir basınçlı hava ile iletim sistemi görülmektedir.Burada fanın statik basıncının sürtünme ve yerel kayıplara bağlı olarak değişimi görülmektedir.




*Şekil 2.2 Sürtünme kayıpları nedeniyle oluşan statik basınç düşümü için şematik resim.*

**Hız basıncı (dinamik basınç)**

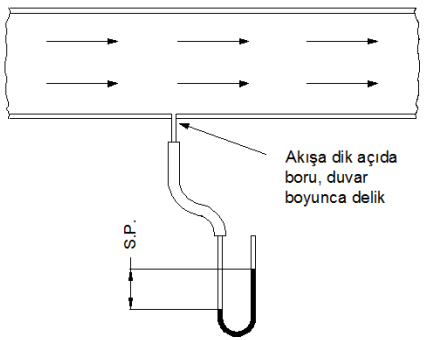
Akış hızından kaynaklanan basınç olup akış yönünde ve daima pozitiftir. Değeri $P_d = \frac{1}{2}\rho v^2$ şeklindedir.

## 2.6. Basınç, Hız Ve Hacimsel Debi İçin Birimler

Ticari olarak egzoz sistemlerinde mmSS veya Pa cinsinden basınç birimi (British→inSS) kullanılır. Statik basınç U tipi manometrelerle ölçülebilir. Dinamik basınç pitot tüpü ile ölçülebilir. Eğer basınç çok yüksek ise sulu U manometre veya civalı manometre ile ölçülebilir (1inHg=13,6 inSS). Hız m/s (veya fpm), hacim için $m^3/h$ (veya cfm) birimi kullanılır.

### 2.6.1. Statik Basınç Ölçümü

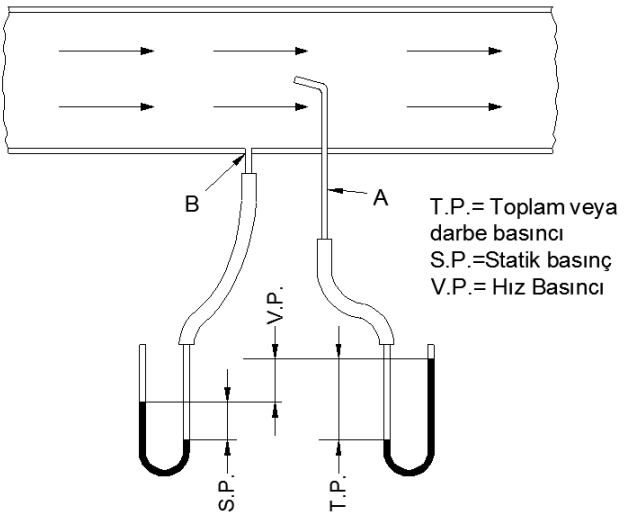
Akışa karşı oluşan dirençleri (sürtünme vb. kaynaklı) yenmeye yarayan basınç statik basınçtır. Bu nedenle statik basınç sürtünme veya direnç basıncı olarak da adlandırılır. Bu basınç iki nokta arasındaki basınç kaybını hesaplamaya yarar. Örneğin şekil 2.3'de gösterilen 1000 cfm'lik (1700 $m^3/h$) bir havayı 100 ft (30 m) (A'dan B'ye) hareket ettirmek için gerekli basınç (3,5 – 3,0=) 0,5 inSS' dır. Statik basınç akış doğrultusunu da dikkate alınarak boru veya kanal cidarında uygun bir açı ile ölçülebilir (akış hızı etkilerinden kaçınmak için). Bu amaçla boru cidarına bir manometre bağlayacak kadar küçük bir delik açılması yeterlidir.




*Şekil 2.3 Statik basınç ölçümü için şematik resim.*

### 2.6.2. Hız Basıncı (Dinamik Basınç) Ölçümü

Yukarıda belirtildiği üzere hız basıncı $P_d = \frac{1}{2}\rho v^2$ şeklinde ifade edilir. Hız basıncını ölçmek daha zordur. Çünkü onu statik basınçtan ayırmak zordur. Bunu ayıklamanın yolu akış içinde toplam basıncın ve cidardan statik basıncın aynı anda ölçülebilmesidir. Şekil 2.4'de toplam basınç manometresi (A) ve statik basınç manometresi (B) ile yapılan bir ölçüm görülmektedir. A'daki değerden B'deki değer çıkartılırsa, hız basıncı hesaplanmış olur. Klasik Pitot tüpleri bu iki manometreyi birleştirerek hız basıncını gösterir.




*Şekil 2.4 Statik basınç ve çarpma /toplam) basınç ölçümü için şematik resim.*

### 2.6.3. Hız Basıncı İle Hız Arasındaki İlişki

Pa veya mmSS olarak ölçülen hız basıncı, bir hava partikülünün yükseltilebileceği hızın basıncı olup,

$$V = k\sqrt{\frac{2Pd}{\rho}}$$

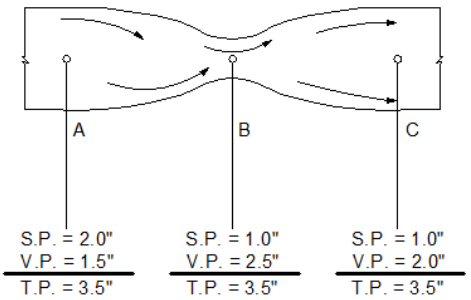
yazılabilir. Burada ν =akış hızı (m/s) , g=yerçekimi ivmesi (m/s$^2$), h= hız basınç yüksekliği, Pd=ρgh (Pa).

### 2.7. Enerjinin Korunumu

Enerjinin korunumu kanunu (Termodinamiğin 1. Kanunu) ideal bir akışta basınç enerjisi, kinetik enerji ve potansiyel enerji toplamının sabit olduğunu ifade eder. İki nokta için,

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \qquad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlik Bernoulli eşitliği olarak da adlandırılır. Burada; P statik basınç (Pa), v akış hızı (m/s), Z, referans çizgisinden olan yüksekliktir (m). Şekil 2.5'te bir orifiste statik, dinamik ve toplam basınçların durumu verilmektedir. Görüldüğü üzere toplam basınç A,B,C noktalarında sabit olup 3.5 inSS'dir. Buna karşın Bernoulli eşitliği geregince statik ve dinamik basıçlar değişmektedir.




*Şekil 2.5. Tüm noktalarda toplam basıncın değişmediğini gösteren şematik resim.*

2.3 eşitliğinde görüldüğü üzere bir noktada basınç yüksek ve hız düşük iken diğer noktada basınç düşük ve hız yüksek olabilir. Ancak her iki durumda da toplam enerji sabittir. Örneğin bir depodan çıkan akışta depodaki kütle başına enerji (basınç ve yer çekimi etkisiyle oluşan potansiyel enerji) her yerde aynı olması nedeniyle, akış iplikçikleri boyunca toplam enerji aynıdır.

Eşitlik 2.3 (Bernoulli Denklemi) kayıpların ihmal edildiği durumlarda sıkıştırılamaz akışlar için geçerlidir. Kayıpların (sürtünme kaybı, yerel kayıp, vb.) önemli olduğu durumlarda eşitliğin sağ tarafına bir kayıp terimi (Δh) eklenmesi gerekir. Öte yandan 1 ve 2 noktaları arasındaki potansiyel enerji değişimi ihmal edilirse $Z_1=Z_2$ eşitlik,

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}+\Delta h$$

haline gelir. Bu eşitlikte $P_1$ ve $P_2$ statik basınçlardır. Buradan bir kanal veya borudaki toplam basınç değişimi (düşümü), yukarıdaki eşitlik düzenlenerek,

$$\Delta P_t = (P_1 - P_2) + \frac{1}{2}\rho\left(v_1^2 - v_2^2\right) \tag{2.4}$$

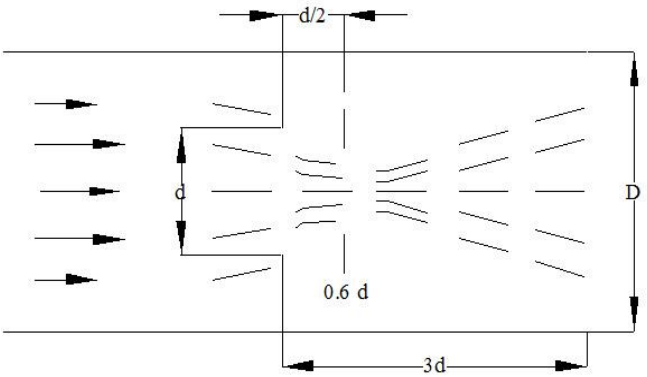
elde edilir. Bu eşitliğin sürtünme kayıplarını ihtiva edecek şekilde düzenlenmiş hali Darcy-Weisbach eşitliğidir.

## 2.8. Bazı Akışlar Şekilleri

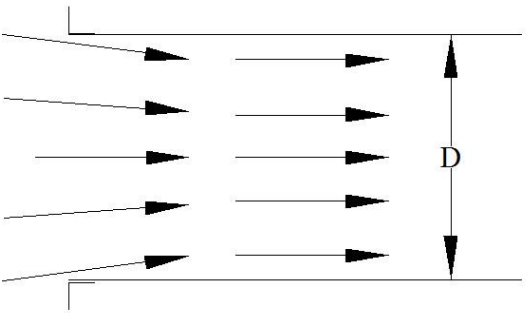
Bu bölümde filtre ve fan sistemlerinin verimli biçimde işletilmesini anlamaya yardımcı olabilecek bazı akış durumları verilmiştir.

### 2.8.1. Keskin Bir Orifiste Akış, Vena Contracta

Şekil 2.6a'da görüldüğü üzere D çapında bir kanalda akan akışkan, d çapında geçiş alanına sahip olan bir orifis plakası ile karşılaştığında kesit küçüldüğü için akış hızı artar. Geliş tarafında akışkan orifise belli bir açı ile girer. Bunun sonucu olarak, orifisi geçtikten sonra akış alanı daralmaya devam eder. Daha sonra genişlemeye ve kesiti doldurmaya başlar. Bu duruma Vena Conracta etkisi adı verilir. Benzer bir duruma keskin köşeli dairesel bir kanala girişte de rastlanır (Şekil 2.6b). Orifisi geçen jetin çapının minimum değeri 0.6d kadar olup bu değere yaklaşık d/2 mesafede ulaşır. Bu noktadan sonra tekrar genişlemeye başlar ve yaklaşık 3d mesafede akış düzelir. Eğer girişte ventüri (emiş hunisi) yoksa akış bozularak kanada gireceğinden basınç kayıpları artar.




*Şekil 2.6a. Keskin bir orifiste akış.*



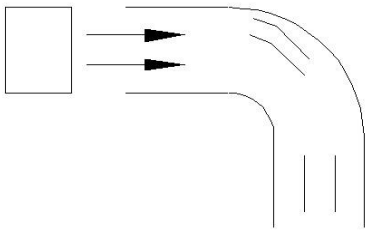

*Şekil 2.6b. Keskin köşeli dairesel bir kanala girişte akış.*

Bu şekiller özellikle emiş ağızlarındaki kayıpların ne denli önemli olabileceğini göstermektedir.

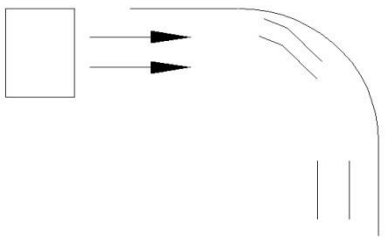
### 2.8.2. Yüzey Boyunca Hava Akışı

Şekil 2.7'de belirli bir kesite sahip bir dirsekte akan hava, santrifüj kuvvetlerin etkisi ile dirseğin dış tarafında yoğunlaşır. Burada dirseğin iç tarafındaki bölümü kaldırıldığı düşülürse hava atmosfer basıncının etkisi ile dış çepere daha fazla yaklaşacaktır (Coanda etkisi). Eğer dirseğin dış bölümü kaldırılır ve sadece iç yüzey kalırsa beklenmeyen biçimde hava hala dış cidardan ayrılmaz (doğrusal yönde hareket etmez). Bunun nedeni iç cidar yüzeyinde negatif basınç oluşmasıdır. Bu negatif basınç havayı dış cidar

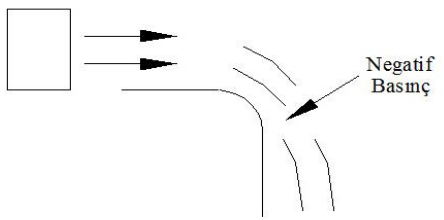
etrafında tutmaya yardım eder. Buradan şu sonuç çıkarılabilir; dairesel bir iç cidar havanın dış yüzeyde akmasına yardımcı olmaktadır.



*Şekil 2.7a. Dikdörtgen bir dirsekte akış.*



*Şekil 2.7b. İç yüzeyi alınmış bir dirsekte akış.*




*Şekil 2.7c. Dış yüzeyi alınmış bir dirsekte akış.*

Egzoz sistemlerinin genel karakteristiği boru içindeki akışkanın homojen olmamasıdır. Genellikle hava, katı partiküller, buharlar veya gazların bir karışımıdır. Bir egzoz sisteminde fanın emişi ile birlikte toz ve gaz partikülleri hava ile birlikte davlumbazın ağzına doğru girmeye zorlanır. Buradaki sistemin verimli olabilmesi için akışkan davlumbaza ve kanala uygun açılarla ve hızlarla yönlendirilmesi gerekir.

## 2.9. Sıkıştırılabilirlik

Hava sıkıştırılabilir bir akışkandır. Ancak egzoz sistemleri gibi yerlerde ve ~3000 Pa'a kadar basınçlarda sıkıştırılamaz kabul edilir. Egzoz sistemlerinde basınç genellikle atmosfer basıncına göre ±1000 - 10000 Pa civarındadır. Burada oluşabilecek hatalar ise ±%1-5 civarında olup, bu değerler ihmal edilebilir. Buna karşın işletme sıcaklığı, nem oranı, boru çapı, boru pürüzlülüğü gibi etmenlerdeki belirsizlikler daha fazla hataya sebep olabilmektedir.

## 2.10. Askıdaki Katı Parçacıklar

Egzoz sistemlerinde gazların içinde askıda hareket eden tozların akış kanunlarını etkilemediği kabul edilir. Ancak toz miktarının fazla olması yoğunluğu ve dolayısıyla sürtünme kayıplarını artırabilir.

## 2.11. Akış Rejimi

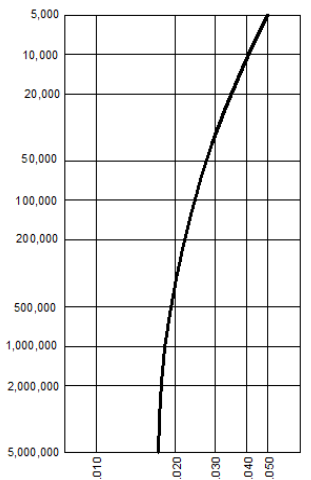
Egzoz sistemlerindeki akışlar genellikle türbülanslı olup Reynolds sayısının 100.000 - 1.000.000 değerleri arasındadır. En düşük değer ise Re=30.000 civarındadır ve bu değer örneğin 2" (50 mm) boruda 2000 fpm (1 fpm=0.005 m/s) hız ile akan bir akışa karşılık gelmektedir.

Tablo 2.3'de kanal çapına bağlı olarak türbülanslı akışa geçiş hızı verilmiştir.

*Tablo 2.3. Hava kanallarında kritik hız.*

| **Re=30.000 için kritik hızlar** | |
|---|---|
| D (mm) | Kritik hız (m/s) |
| 80 | 0,6 |
| 150 | 0,3 |
| 305 | 0,15 |
| 610 | 0,075 |
| 915 | 0,05 |

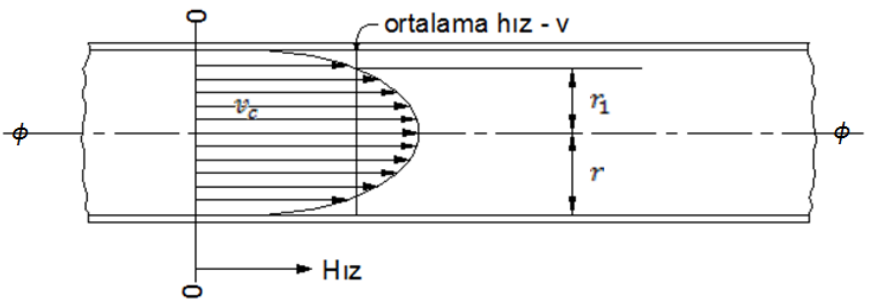
Re<3000 için (laminer akış) sürtünme katsayısı $f = \frac{64}{Re}$ ile belirlenir. Burada boyutsal basınç düşümü $\Delta P = 32\mu v \frac{l}{gD^2}$ (Poiseulle eşitliği) şeklindedir. Türbülanslı akış için Reynolds sayısına bağlı olarak sürtünme katsayısı şekil 2.8'de verilmiştir. İlk yaklaşım olarak temiz hava için $f = 0.02$ ve tozlu hava için $f = 0.03$ (Reynolds sayısı ile kontrol edilerek) alınabilir ($Re = \frac{v \cdot D}{\mathcal{V}}$, $\mathcal{V} = \frac{\mu}{\rho}$)




*Şekil 2.8. Reynolds sayısına bağlı olarak sürtünme katsayısı.*

### 2.12.2. Boruda Hız Dağılımı

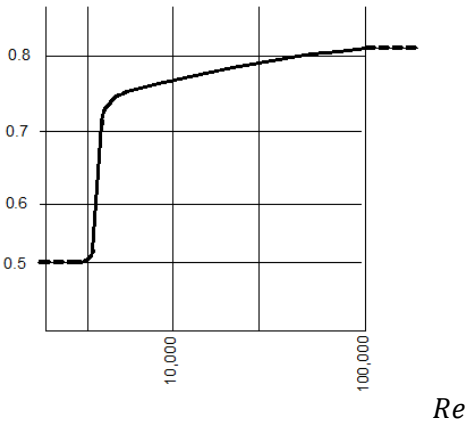
Bir boruda türbülanslı akışta rastlanabilecek hız profili şekil 2.9'da görülmektedir.




*Şekil 2.9 Düz bir boruda gelişmiş akışta hız dağılımı.*

Bazen tek bir noktadan, Pitot tüpü ile boru ekseninden hız ölçümü yardımı ile debi hesabı yoluna gidilebilmektedir. Şekil 2.10'da akış hızı/merkezdeki hızı ($v_c$) oranının Reynolds sayısına oranı görülmektedir.

$\frac{\bar{v}}{v_c}$




*Şekil 2.10 Merkezdeki Reynolds sayısına bağlı olarak boru kesiti içindeki hız oranı.*

Laminer akışta $\frac{\bar{v}}{v_c} = 0.5$ olduğu, geçiş bölgesinde (Re = 2000 – 4000 arası) $\frac{\bar{v}}{v_c}$ oranının hızlı biçimde arttığı görülmektedir. Türbülanslı akışta ise (Re>30.000) $\frac{\bar{v}}{v_c} = 0.8$ civarında olmaktadır. Bu bilgilerden, boru ekseninden itibaren cidara doğru $\frac{7}{10} \sim \frac{8}{10}$ civarında (şekil 2.9'da $r_1$ mesafesi) yerleştirilen bir Pitot tüpü ile ortalama hızın belirlenebileceği söylenebilir. Yada boru ekseninde ölçülen maksimum hızın 2/3'ünün ortalama akış hızını vereceği söylenebilir. 7/10 gibi noktaların bulunması zor olduğu için merkezde ölçüm yapılıp 2/3'ü alınması daha doğru sonuç verecektir.

## 2.13. Karışım Akışları

Egzoz sistemlerindeki akışkan; havada asılı tozlar ve daha büyük katı parçacıklar (örneğin grain, talaş tozları ve ağır kimyasallar, buhar vb.) ile CO, $CO_2$, $SO_2$ gibi gazlardan oluşmaktadır. Toz toplama sistemlerinde çoğu kez tozların sürtünme ve güç tüketimine etkisi fazla değildir. Çünkü tozların hava içindeki oranı küçüktür (buna karşın büyük partiküllerin etkisi önemli olabilir). Gaz sabiti (R değeri) bilinemeyen gaz karışımlarında; gazlar ideal gaz olacağı kabul edilerek hesap yapılabilir. Buradaki ortalama yoğunluk hesabında her bir gazın yoğunluğu tablolardan alınarak karışım oranında gaz karşımın yoğunluğuna yansıtılır. Öte yandan karışım içinde kayda değer toz ve nem de varsa yoğunluğa bunların da eklenmesi gerekecektir.

*Örnek*

%50 CO, %32 $N_2$ ve %18 $CO_2$'den oluşan bir baca gazının yoğunluğu nedir?

*Çözüm*

Tablolardan (örneğin Recknagel) 0°C ve 1,013 bar'da CO'nun yoğunluğu 1,250 kg/m$^3$, $N_2$'nin yoğunluğu 1,250 kg/m$^3$, $CO_2$'nin yoğunluğu 1,977 kg/m$^3$ olarak okunur.

Buna göre karışımın yoğunluğu $\rho_k$=0,5x1,25+0,32x1,25+0,18x1,977) 1,137 kg/$m^3$ olarak bulunur. İşletme şartlarındaki yoğunluk ise, $\rho_1=\rho_0 x(T_0/T_1)x(P_0/P_1)$ eşitliği ile hesaplanabilir.

# BÖLÜM 3

# BASINÇ KAYIPLARI

## 3.1. Giriş

Endüstriyel toz toplama ve havalandırma tasarımı, üç ana problemin çözümü ile gerçekleşebilir.

1. Hava debisinin ve akış yollarının belirlenmesi,

2. Kanal sisteminin tasarımı ve basınç kayıplarının hesaplanması,

3. Fan ve diğer ekipmanların seçimi.

Burada havanın bir boru (veya kanalda) akabilmesi için fanın sürtünme kayıplarını ve cihazlardaki basınç düşümlerini karşılaması gerekir.

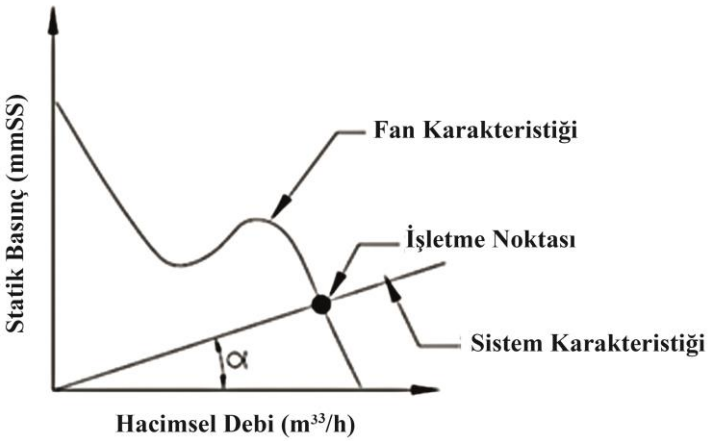
## 3.2. Egzoz Sistemlerinde Akış

Bir egzoz sistemi; davlumbazlar, kanallar, dirseksekler, genişleme veya daralma parçaları, T, damperler, serpantinler, koruma ızgaraları, filtreler, susturucular, nozullar, alış ve atış ağızları vb. çok çesitli bileşenlerden oluşabilmektedir. Sistemde bu elemanların bir kısmı olabilir veya olmayabilir. Bütün bu elemanlar akışa karşı direnç oluştururlar. Bu şekilde akış sistem karakteristik eğrisi denilen bir eğriye sahip olur. Bu eğri fanın karakterist eğrisinin üzerine çizilerek iki eğrinin kesiştiği nokta fanın çalışma noktası olur. Bu nokta fanın en verimli olduğu bölgede bulunmalıdır.

## 3.3. Filtrede Akış ve Kayıplar

10. Bölümde torbalı filtrelerde akışı karakterize eden büyüklüğün A/C oranı (air to cloth ratio veya filtrasyon hızı) olduğu görülecektir. Örneğin söz konusu bölümden genel bir yaklaşım olarak jet pulse filtreler için A/C 1.0-2.5 $m^3/dk/m^2$ alınabilir (filtrasyon hızı v=0.02-0.06 m/s). Bu değerlere karşılık gelen Reynolds sayısı ise 320 civarındadır. Buna göre filtre içindeki

akış laminerdir. Bu çerçevede Re<3000 için SP=Kxv (debi) eşitliği geçerlidir. Yani basınç kaybı debi ile orantılıdır. Buna ait bir sistem eğrisi Şekil 3.1.'de görülmektedir.




*Şekil 3.1. Torbalı filtrede laminer akış.*

Basınçlı hava basıncı kirli ve eski torbalarda 6,5 bar, yeni torbalarda 2,5 -4,5 bar civarında olabilmektedir. Bir torbalı filtre torbasındaki basınç kaybı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$\Delta P = K_2^{'} C_i v^2 t$$

ΔP: Filtre basınç düşümü, (mmSS)

$K_2$': Filtre malzemesi direnç katsayısı, (-)

$C_i$: Filtre girişinde toz konsantrasyonu, (g/m$^3$)

v: A/C oranı (cm/s)

t: Temizleme periyodunda işletme süresi, (s)

Jet pulse filtrelerde basınç kaybı

$$\Delta P = 2C_i \times p^{-2} \times R^{-0.5}$$

şeklinde de hesaplanabilmektedir. Burada

$C_i$: Girişte toz konsantrasyonu, (g/m$^3$)

p: Basınçlı hava sistemi basıncı (Pa)

R: basınçlı hava pulse sayısı (torba başına dakikada pulse sayısı)

Ortalama 30 dakikada bir torba temizliği yapılırsa pulse sayısı R=1/30 olacaktır.

### 3.4. Toz toplama Sistemlerinin Hesabı

#### 3.4.1. Debinin Belirlenmesi

Bir sistemin debi ihtiyacı; taze hava sağlanması, bir yerdeki havanın egzoz edilmesi, bir prosesteki ısının uzaklaştırılması, dökümden çıkan gazların uzaklaştırılması, belirli bir miktardaki enerjinin hava ile taşınması gibi ihtiyaçların karşılanmasına yönelik hesaplanabilir. Bir başka ifade ile debi, prosesin ihtiyacına göre belirlenir.

#### 3.4.2. Basınç Kayıplarının Hesabı

Bir sistemdeki basınç kayıbı; düz boru veya kanallardaki kayıplar, fittinglerdeki (dirsekler, ayrılma veya birleşme parçaları, T elemanları, daralan veya genişleyen redüksiyonlar) ve cihazlardaki (davlumbazlar, klapeler, damperler, filtreler, serpantinler, elektrikli ısıtıcılar, menfezler, susturucular) kayıplardan oluşur. Hava hızı arttıkça kanal kesitleri ve cihaz boyutları küçülerek ilk yatırım maliyeti azalır, ancak buna karşın işletme (enerji) maliyetleri artar. Bu bağlamda işletme ve ilk yatırım maliyetlerini optimize eden ve prosesin gereksinimlerini karşılayan bir gaz hızı belirlenmelidir.

#### Minimum gaz hızı

Gaz, is, duman ve partiküllerinin ortama yayılmadan egzoz sistemine alınabilmesi, sistemde çökelmelerin ve tıkanmaların önlemenmesi için minimum bir akış hızı gerekir. Bu hızın büyük seçilmesi enerji kayıplarına ve kanalların hızla aşınmasına sebep olacaktır. Ayrıca minimum tavsiye edilen hız, teorik değerlerden aşağıdaki sebeplerle daha büyüktür.

1. Tıkanma veya damperlerden bazılarının kapatılması halinde en azından sistemin belli bölümlerinde hız düşecektir.
2. Kanallardaki kaçaklar nedeniyle aşağı bölümlerde hızı düşürecektir.
3. Fanda korozyon veya erozyon, akış hızını düşürebilecektir.

Buna göre; buhar, gaz, is ve dumandan oluşan gazlarda 1000-2000 fpm (5 – 10 m/s), ince tozlu gazlarda 3000-4000 fpm (15-20 m/s), kuru ve pudra tozlarında 3500-4000 fpm (17.5-20 m/s), ortalama endüstriyel tozlarda 3500-4000 fpm (17.5-20 m/s), ağır tozlarda 4000-4500 fpm (20-22.5 m/s), çok ağır tozlar ve nem durumunda 4500 fpm (>22.5 m/s) kanal akış hızı alınması uygun olacaktır. Bacalarda ise bu hız 10-12 m/s alınabilir.

Daha geniş olarak endüstriyel uygulamalarda Tablo 3.1.'de verilen değerler kullanılabilir.

*Tablo 3.1. Egzoz sistemlerinde kanallarda hava hızları.*

| **Malzemenin cinsi** | **Hava hızı (m/s)** |
|---|---|
| Tahıl tozu | 16-19 |
| Vernik tozu | 15-18 |
| Ahşap ve kereste talaşı | 20-25 |
| Kuru kimyasal madde tozu | 17-20 |
| Plastik malzeme tozları | 18-23 |
| Dökümhane dumanı | 15-18 |
| Taşlama ve bileme tozları | 20-25 |
| Yağ çözücü solvent dumanı | 12-17 |
| Metal parçacıkları ve tozları | 25-38 |
| Kauçuk tozları | 17-20 |
| Her türlü zehirli toz | 15-25 |
| Kalay oksidi | 18-21 |
| Mermer tozu | 20-25 |
| Deri perdahlama | 18-23 |
| Endüstriyel davlumbazdan emiş | <5 |
| Endüstriyel torbalı filtrelerde ana boru hattından emiş | 15-20 |
| Boya dumanları | 8-10 |
| Tekstil ve iplikçik tozları (kuru) | 10 |
| Asbest ve kireçtaşı tozları | 13 |
| Metal dumanları | 15 |
| Pülverize kömür ve taş kesim tozları | 20-25 |
| Kurşun dumanı | 28 |

Hava debisi biliniyor ise yukarıdaki değerlere, literatüre ve kişisel deneyimlere dayalı olarak tespit edilen hızlarla boru veya kanal çapları belirlenebilir. Bundan sonra sitemin balans diyagramı oluşturulur ve basınç kayıpları aşağıda verildiği şekilde hesaplanabilir.

Egzoz ve filtre sistemlerindeki basınç kayıpları,

$$\Delta P_t = [(1/2)x\rho x v^2 x[f(L/D_e)+\Sigma\varsigma] \quad (3.1)$$

ifadesi ile hesaplanır. Parantez içindeki birinci terim düz kanallardaki (veya borulardaki) basınç kayıplarını, ikinci terim ise fittingslerdeki ve cihazlardaki yerel basınç kayıplarını ifade etmektedir. Burada v hava hızı (m/s), L kanal (veya boru) uzunluğu (m), $D_e$ eşdeğer kanal çapıdır (m). Eşdeğer kanal çapı, yuvarlak kanallarda (veya borular) **De=D** alınır, dikdörtgen kanallar da ise,

$$D_e = 1.3\frac{(axb)^{0,25}}{(a+b)^{0,625}} \quad (3.2)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

Eşitlik (3.1)'de f sürtünme katsayısı olup, Reynolds sayısına bağlı olarak hesaplanır. Reynolds sayısı ise

$Re=vxD_e/\nu$

şeklinde hesaplanır. Burada ν havanın kinematik vizkozitesi olup sıcaklığa bağlı olarak termodinamik veya ısı transferi kitaplarından alınabilir. Sürtünme katsayısı, Reynolds sayısına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikleden hesaplanır.

- $Re<2300$ için akış laminer olup $f=64/Re$ (ancak daha önce filtrelere $Re<30000$ değerine kadar laminer kabul edilebildiği de belirtilmişti)
- $Re<10^5$ için $f=0.3164/(Re)^{0.25}$,
- $10^5<Re<3x10^6$ için $f=0.032+0.221/(Re)^{0.237}$

Bu eşitlikler düzgün yüzeyli (pürüzsüz kabul edilebilecek yüzeyler) için geçerlidir. Toz yapışması, kaba imalat gibi durumlarda boru veya kanalların pürüzlülüğünün dikkate alınması gerekir. Bu durum en genel hal olup, türbülanslı akış için (Re>2300) aşağıdaki Coolebrook eşitliği kullanırlar.

$[1/(f)^{0.5}=-2x\log(\varepsilon/(3.7De)+2.51/(Rex(f)^{0.5})]$

Bu eşitlik Newton-Rapson, Golden Section gibi iteratif yöntemlerle çözülebilir. Burada ε boru pürüzlüğü olup Tablo 3.2.'den veya imalatçı kataloglarından alınabilir.

*Tablo 3.2. Bazı malzemelere ait pürüzlülük değerleri.*

| **Boru veya kanalın cinsi** | **ε, pürüzlük (m)** |
|---|---|
| Cam, pirinç, plastik borular | 0.00002 |
| Yeni çelik borular | 0.00005 |
| Dökme demir borular | 0.0005 |
| Asfalt kaplı dökme demir borular | 0.00013 |
| Galvanizli borular | 0.00016 |
| Beton borular | 0.0004-0.006 |
| Perçinli borular | 0.001-01 |

Basınç kaybı eşitliğindeki ς dirsek, T, redüksiyon vb. kayıp katsayısı olup ilk yaklaşık olarak Tablo 3.3.'den alınabilir.

*Tablo 3.3a. Dirseklerde basınç kayıp katsayısı.*

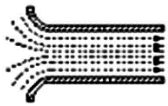
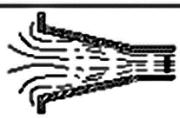
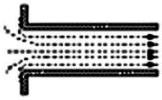
| r/d | ς (dairesel) | ς (dikdörtgen) |
|---|---|---|
| 0 | 0.8 | 1.0 |
| 0.25 | 0.4 | 0.4 |
| 0.5 | 0.25 | 0.2 |
| 1.0 | 0.16 | 0.13 |

*Tablo 3.3b. Bazı fittinglere ait basınç kayıp katsayıları.*

| Cihazın adı | ς |
|---|---|
| Giriş ağzı | 0.8 |
| Ventüri giriş ağzı | 0.2 |
| Atış ağzı | 1.0 |
| Daralan redüksiyon | 0.1 |
| Ani daralma | 0.5 |
| Atış bacası | 1.5 |
| Atış grili | 3.0 |
| Serpantin | 4.0 |
| Dirsek | 4.0 |
| T birleşme | 0.4 |

Buradan alınan ς değerleri eşitlik 3.1'de yerine konularak yerel basınç kayıpları hesaplanabilir.

*Tablo 3.3c. Çeşitli giriş ağızlarında basınç kayıp katsayıları.*

| Sembol | Orifis Tipi | Tanımı | Giriş Sabitli Ce | Başlangıçtaki hızdan %'lik kayıp ht |
|---|---|---|---|---|
| a |  | Yuvarlak pürüzsüz | 0.98 | 4 |
| b |  | Flanşlı koni 13° açısı dahil | 0.94 | 13 |
| | | Flanşlı koni 30° açısı dahil | 0.90 | 24 |
| c |  | Flanşlı boru | 0.82 | 49 |
| d |  | Flanşlısız koni 13° açısı dahil | 0.82 | 49 |
| | | Flanşlısız koni 30° açısı dahil | 0.79 | 60 |
| e |  | Flanşlısız boru | 0.72 | 93 |
| f |  | Kısa flanşlı boru 1 ½ çap uzunluğundan daha az | 0.60 | 178 |
| g |  | İnce plaka orifis | 0.60 | 178 |
| h |  | Kısa girintili boru 1 ½ çap uzunluğundan daha az | 0.53 | 256 |

Ayrıca,

● Kanal giriş ağızlarında ς=0.9, flanşlı girişlerde ς =0.5 alınabilir.

● Filtre, ısıtıcı, soğutucu, damper vb. ekipmanlardaki basınç kayıpları üretici kataloglardan alınabilir.

● Bazı endüstriyel ve bina tesislerinde filtre, serpantin, damper, susturucu gibi cihazların basınç kayıpları doğrudan verilebilmektedir. Bu şekilde verilen cihaz basınç kayıpları kanal sürtünme kayıplarına eklenerek sistemin toplam statik basınç kaybı hesaplanabilir. Bazı cihaz ve sistemlere ilişkin basınç kayıpları Tablo 3.4.'de verilmiştir.

*Tablo 3.4. Bazı cihazlarda basınç kayıpları.*

| **Sistemin adı** | **Basınç kaybı (Pa)** |
|---|---|
| *Kuru ataletle çalışan toz toplayıcılar* | |
| Durulma odası | 25-125 |
| Perdeleme kabini | 125-625 |
| Köpürtme odası | <250 |
| Pancurlar | 75-500 |
| Siklonlar | 125-750 |
| Çoklu siklonlar | 125-750 |
| Çarpıtmalı siklonlar | 250-500 |
| *Elektrostatik filtreler* | |
| Yüksek gerilimli | 50-250 |
| Düşük gerilimli | 50-125 |
| *Torbalı filtreler* | |
| Kumaş filtreler | 500-1500 |
| Kartuş filtreler | 500-2000 |
| *Yaş filtreler* | |
| Yer çekimsel sprey ayırıcı | 20-250 |
| Santrifüj ayırıcılar | 500-2000 |
| Çarpıtmalı ayırıcılar | 500-2000 |
| Paket yataklı ayırıcılar | 125-2500 |
| Orifisler | 500-1500 |
| Ventüriler | 2500-15000 |
| *Diğer sistemler* | |
| Damperler | 50-200 |
| Susturucular | 100-250 |
| Hava alış ağızları | 30-100 |
| Hava atış ağızları | 30-100 |
| Menfezler | 20-30 |

Basınç kaybı eşitliğinde görüldüğü üzere sürtünme kayıpları yoğunluğa bağlı değişmektedir. Yoğunluk azaldıkça basınç kayıpları azalır. Bu nedenle yoğunluğun hesaplanması, basınç kaybı hesabında önemlidir. Gazlardan oluşan karışımın yoğunluğunun hesaplanması daha önce verilmişti.

Diğer yandan; ilk yaklaşım olarak endüstriyel uygulamalarda 3-5 Pa/m basınç kaybı dikkate alınabilir. Daha kesin hesap eşitlik 3.1'den kullanmalıdır. Bernoulli eşitliğine göre sistemin herhangi bir noktasındaki toplam basınç hız (kinetik) basıncı ve statik basıncın toplamından oluşur.

*Örnek*

$D_e$=D=300 mm, L=100 m olan dökme demir boruda (ε=0.0005) V=1700 $m^3$/h debide, T=20ºC'de hava (ν=15x$10^{-6}$ $m^2$/s) akmaktadır. Bu sistemdeki basınç kaybı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

*Çözüm*

Hava hızı v= (1700/3600)/[(3.14/4)x$0.3^2$]=7 m/s

Reynolds sayısı Re= 7x0.3/15x$10^{-6}$=1.4x$10^5$ (akış türbülanslıdır).

Sürtünme katsayısı, 1/$(f)^{0.5}$=-2xlog(ε/(3.7xDe)+2.51/(Rex$(f)^{0.5}$)

$\Rightarrow$1/$(f)^{0.5}$=-2xlog(0.0005/(3.7x0.3)+2.51/(1.4x$10^5$x$(f)^{0.5}$) ve **f=0.02** bulunur. Böylece basınç kaybı,

$\Delta P_b$=fx(ρ/2)x$v^2$x(L/D+Σς)=0.02x(1.2/2)x$7^2$x(100/0.3+0)=196 Pa (=1.96 Pa/m) elde edilir.

$Not_1$: Hesap tarzı bu olmakla birlikte uygulamada emniyetli yaklaşım olarak, yukarıda belirtlidiği üzere **3-5** Pa/m basınç kaybı alınabilir.

$Not_2$: Fittingler için 3.1 eşitliğinin ikinci tarafında tablolardan alınacak kayıp katsayıları kullanılmalıdır. Bazı literatürde ise K katsayıları kullanılarak fittinglerdeki basınç kayıpları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$\Delta P_f$=Kx(ρ/2)x$v^2$ (Pa)

Buna göre toplam basınç kaybı

$\Delta P_t$= $\Delta P_b$+ $\Delta P_f$

olmaktadır.

## 3.5. Tozlu Hava İçin Egzoz Sistemi

Tozların taşınabilmesi için hava hızının belirli limitler içinde tutulması gerekir. Tozlar ince ve kaba olarak iki gruba ayrılabilir. İnce tozlar pudra gibi ağırlıksız kabul edilebilir partikül büyüklüğü <20µ ise bu kategoride sayılır. Daha büyük tozlar ağırlıklı olarak kabul edilir ve havanın yoğunluğunu etkiler. Bu bağlamda toz partiküllerine etkiyen yer çekimi kuvvetinin yenilebilmesi için kanal içindeki hızlar Tablo 3.5.'de verilen değerler civarında olması gerekir.

*Tablo 3.5. Toz taşıma hızları.*

| **Toz cinsi** | **Taşıma hızı (m/s)** |
|---|---|
| **Metal** | 20-25 |
| **Kurşun tozu** | 20-25 |
| **Kum taneleri** | 17-20 |
| **Kömür tozu** | 20 |
| **Kahve taneleri** | 15-17 |
| **Yün** | 15-20 |
| **Buğday** | 12.5-20 |
| **Pamuk** | 12.5-15 |
| **Lastik tozları** | 10-12.5 |
| **alaş tozu** | 10-15 |
| **İncel metal tozu** | 10 |

## 3.6. Filtre Sistemlerinde Basınç Kayıpları

Gaz temizleme sistemlerinde basınç düşümü değişkendir. Bunun nedeni, örneğin torba temiz iken basınç düşümünün az, kirli iken fazla olmasıdır. Ancak bu değişkenliğe rağmen fan, karakteristik eğrinin verimli bölgesinde çalışmalıdır. Burada tercih edilen uygulama biçimi fanın, filtrenin çıkış

(temiz gaz) tarafına yerleştirilmesidir. Bu uygulamanın getireceği avantajlar aşağıdaki gibidir.

● Temiz gaz tarafındaki bir fan tozların aşındırıcı etkisine maruz değildir.

● Fan rotorunda toz toplanması kritik bir faktör olmadığından, geriye eğimli veya airfoil kanatlı fanlar seçilebilir.

● Sızıntılar yoluyla sistemdeki tehlikeli maddelerin dışarı kaçması azaltılabilir.

● Kanaldan veya davlumbazlardan kaçan toz akışının sisteme doğru olması ve çevreyi toza maruz bırakma olasılığı bulunmaması nedeniyle, davlumbazlar tesisin iç tarafına hatta proses yakınlarına yerleştirilebilir.

● Ünitenin çalışır haldeyken bakımına olanak verir ve fanda korozyon ihtimalini azaltır.

Torbalı filtrelerin 125-150 mmSS basınç kayıplarında çalışması enerji verimliliği ve sistem optimizasyonu açısından uygun değerlerdir.

Torbalı filtrelerde torba temiz iken basınç kaybı düşük, kirli iken fazla olması nedeniyle fanın frekans invertörlü olması enerji verimliliğini artıracaktır.

*Örnek*

V=80.000 $m^3$/h

ΔP= 44 mmSS

n=1050 d/d

T=80º C

Kanal ebatları 1000 mmx2000 mm (eşdeğer çap De=1,53 m, kanal kesiti A=1,84 $m^2$), dirsek sayısı 2, kanal uzunluğu 70 m, sürtünme katsayısı f=0.03, yoğunluk (80ºC için ) $\rho_1$=1,0 kg/$m^3$, basınç kayıpları 44 mmSS olan (fan basıncı ve sistem kayıpları teorik olarak birbirine eşit olduğu kabul edilmektedir).

Bu fan örneğin 10 °C sıcaklıkta çalıştırılırsa durum ne olur?

*Çözüm*

a) Basınç kayıpları

Kanaldaki hız $v_1$=(80.000/3600)/1,84=12 m/s. Basınç kaybı,

$\Delta P_1$=[(1/2)x $\rho_1$x$v_1^2$x[f(L/$D_e$)+Σς]=(1/2)x1,0x12^2((0.03x70/1,53)+2x1)=230 Pa.

Yerel kayıplar; emiş ağzı 50 Pa, atış ağzı 40 Pa, Pdyn=70 Pa, toplam yerel kayıp 210 Pa. Buna göre toplam basınç kaybı (fan basıncı) 229+210=440 Pa.

10 C'de $V_2$=$v_1$x($T_1$/$T_2$)=80.000x283/353=64.100$m^3$/h, $\rho_2$=1,25 kg/$m^3$. Buna göre basınç kaybı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Kanaldaki hız $v_2$=(64.100/3600)/1,84=9,7 m/s. Basınç kaybı,

$\Delta P_2$= [(1/2)x $\rho_2$x$v_2^2$x[f(L/$D_e$)+Σς]=(1/2)x1,25x9,7^2((0.03x70/1,53)+2x1)=198 Pa.

Yerel kayıplar 210 Pa olarak aynı kabul edilebilir. Böylece toplam basınç kaybı 400 Pa olarak hesaplanır. Bu örnekte debinin azalması etkin olduğu için basınç kayıpları azalmaktadır. Ancak bu genel bir kural olmayıp, hesap yapılması gerekir.

b) Fanın davranışı. Bunun için fan kanunlarından yararlanılır.

Fan kanunları;

*Debi için*

$$V_1 = V_2\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3\left(\frac{n_1}{n_2}\right)x1$$

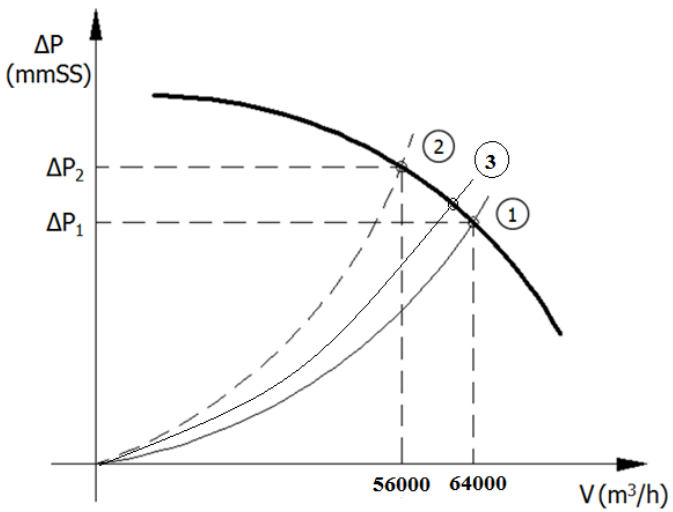
*Basınç için*

$$P_1 = P_2\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)$$

*Güç için*

$$N_1 = N_2\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)$$

Burada fanın çap ve devir sayısı değişmemektedir. Ayrıca burada 80ºC ve 10ºC için debi ve yoğunluk (dolayısıyla basınç) olarak (a) bendinde verilen değerler kullanılacaktır. Buna göre 80ºC'deki debi $V_1$=80.000 $m^3$/h, basınç ΔP=44 mmSS'dir. 10ºC'deki debi $V_1$=64.000 $m^3$/h, basınç kaybı ΔP=40 mmSS olmaktadır. Ancak yukarıdaki fan kanunu gereğince yeni durumdaki fanın basıncı yoğunluk ile doğru orantılı olup, değer $\Delta P_2$=44x(1,25/1,0)= 55 mmSS olmaktadır. Bu durum şekil 3.2'de görülmektedir. Fan ilk duruma göre daha fazla basınç verebilirken, basınç kaybının ise daha az olduğu görülmektedir.




*Şekil 3.2. 10°C sıcaklık için sistem durumu.*

Burada $\Delta P_2$ fanın 10°C'deki basıncıdır. $\Delta P_1$ ise 10°C'deki sistem basıncıdır. Görüldüğü üzere fanın karekteristiği ile sistem karekteristik eğrileri çakışmamaktadır. Burada fanın çalışma noktası 1 ve 2 noktaları arasında (3) olacaktır.

# BÖLÜM 4

# FİLTRE ÇEŞİTLERİ VE FİLTRE SEÇİM ESASLARI

## 4.1. Giriş

Bu bölümde filtre türleri ve toz tutma mekanizmaları genel olarak değerlendirilmiştir. Bu sistemlere ilişkin daha detaylı bilgiler ise ilgili bölümlerde verilmiştir.

Birinci bölümde belirtildiği üzere hava temizleme araçları (filtreler) kirletici maddeleri havadan veya gaz akımından almaktadır. Filtreler değişik hava temizleme gereksinimlerini karşılamak üzere, geniş aralıkta tasarım türlerine sahiptir. Gerekli temizleme derecesi, çıkartılacak olan kirleticinin miktarı ve nitelikleri, hava ya da gaz akımının koşulları herhangi bir uygulama için hava temizleme cihazının seçimi üzerinde etkili olacaktır. Ayrıca, cihaz seçimlerinde yangın güvenliği ve patlama kontrolü de düşünülmelidir.

Kirleticiler için hava temizleme cihazları iki temel gruba ayrılabilir; hava filtreleri ve toz tutma filtre sistemleri. Hava filtreleri, atmosferik havada bulunan düşük konsantrasyondaki tozu almak için tasarlanmaktadır. Bunlar tipik olarak toz konsantrasyonunun 1.0 partikül/1000 $m^3$ değerini nadiren aştığı ve genelde 0.1 partikül/1000$m^3$ değerinden oldukça düşük olduğu atmosferik hava için olan havalandırma, iklimlendirme ve ısıtma sistemlerinde kullanılır. Kentsel alandaki tipik atmosferik toz konsantrasyonu metre küp havada 87 mikrogram ya da 100 $m^3$ havada 0.038 grain'dir. (Not: 1 pound 7000 grain içerir.)

## 4.2. Toz Tutma Mekanizmaları

Parçacık toplanmasında, fiberden (ince iplikçikler) yapılmış filtreler aşağıdaki mekanizmalara göre çalışır.

***Süzme:*** En kaba filtreleme işlemi olup tozların tutulacak parçacıktan daha küçük bir açıklıktan geçerken parçacıkların süzülmesidir. Bu durum, filtre

yüzeyinde iplik ve geniş parçacıkların toplanması ile görülebilir. Bu mekanizma, fiber matrisli filtrelerin kullandığı sistemlerde mikron altı parçacıkların tutulması için uygun değildir.

***Atalet etkisi:*** Toz partikülleri yeteri kadar geniş ve yoğun olduğunda bunlar fiberin çevresinden geçen hava akımlarını izleyemez, fibere çarpar ve orada kalır. Yüksek hava hızlarına sahip, düz panel filtrelerde (atalet etkisinin daha fazla olduğu yerlerde), parçacık sürükleme ve yüzdürme kuvvetleri yeteri kadar büyükse fibere yapışamaz. Bu durumda partiküllerin tutulması için fibere viskoz bir kaplama uygulanır. Metal telli çarpma filtrelerinin performansı için de bu yapışkan kaplama önemli olabilmektedir.

***Durdurucu etki:*** Fiberi yeteri kadar yakın izleyen parçacıklar fibere temas ettiklerinde temel olarak Van- der Waals kuvvetleri (geçici dipoller arasında zayıf moleküler çekme bağları) nedeniyle fiber yüzeyinde kalırlar. Bu proses, filtre ortamından geçerken hava hızının parçaları yerinden kopartmayan yeterli bir düşüklükte olmasına bağlı olup, torba tipi ve derin kıvrımlı akordeon filtreler gibi geniş yüzeyli, kartuş tipi filtrelerdeki temel tutma mekanizmasını oluşturur.

***Difüzyon:*** Çok küçük parçacıkların hava akımı içerisindeki hareketleri gelişi güzel niteliktedir. Bunun nedeni havada bulunan gaz moleküllerinin bu parçacıklara bir çeşit bombardıman uygulamasıdır (Brownian hareketi). Bu hareket parçacıklara gelişi güzel bir hareket kazandırırken parçacıkları filtre ortamına yakınlaştırır ve durdurucu etki ile yakalanmasını sağlar. Yakalanan parçacık sayısı arttıkça, fiber bölgesinde bir derişim gradyeni oluşturarak filtrenin durdurma ve difüzyonla yakalama performansını iyileştirir. Difüzyon etkisi parça büyüklüğü ve akış hızı düştükçe artar.

***Elektrostatik etkiler:*** Parçacık ya da filtre ortamının elektrostatik yükü, hava akımının elektriksel niteliklerinden etkilenerek toz toplamada değişmeler üretebilir. Bazı parçacıklar doğal elektriksel yük taşıyabilir. Pasif elektrostatik (bir güç kaynağı olmayan) filtre fiberleri üretimleri sırasında ya

da (bazı malzemelerde) ortamdan akan hava tarafından yüklenir. Parçacık ve filtre ortamındaki elektriksel yükler ters işaretli olduklarında güçlü bir çekim etkisi ortaya çıkar. Filtre ortamı yeni ve filtre yükleri hızla azaltılarak temiz tutulduğunda verim en yüksek düzeyde olur. Toplama mekanizmalarının etkisi hesaba katılarak ve filtre ortamının fiziksel sabitleri kullanılarak filtre ortamının teorik verim hesaplanabilir.

## 4.3. Filtre Sisteminin Seçimi

Toz toplama ekipmanı, birçok farklı tasarım ve olanakları içeren, verim, ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, yer, uyarlama ve yapım malzemesi bakımlarından geniş aralıkta ekipman bulunmaktadır. Daha önceki toz sorunu hakkında deneyimlerin bulunmadığı yerlerde filtre sistemi seçiminde ekipman üreticisine danışmak önerilen bir süreçtir.

***4.3.1 Kirletici konsantrasyonu***: Egzoz sistemlerindeki kirleticiler konsantrasyon ve parçacık büyüklüğünde ekstrem bir aralığı kapsar. Havanın metreküpü başına konsantrasyon 0.1 μm'nin altından, 20 μm'dan büyük değerlere kadar geniş bir yelpaze gösterir. Düşük basınçlı taşıma sistemlerinde toz büyüklüğü genellikle 5μm-100μm arasında değişir. Ortalama büyüklükten sapmalar (ortalamanın üstünde ve altındaki değer) malzemenin türüne göre değişkenlik gösterir.

***4.3.2 Gerekli Verim***. Gerekli toplama derecesi problemin trürüne ve temizlenen havanın sirküle edilmesine veya dışarı atılmasına bağlıdır. Değerlendirme, yüksek voltajlı elektrostatik toplayıcılar gibi düşük enerji tüketimine gerek gösteren yüksek verimli yüksek maliyetli ekipmana, kumaş veya yaş filtreler gibi yüksek verimli ve orta maliyetli ekipmana, kuru santrifüj grup gibi düşük maliyetli sistemlere gerek olup olmadığını dikkate alacaktır. İlk iki gruptan birisi seçildiğinde primer toplayıcılarda (filtre) birleştirilmesi dikkate alınmalıdır. Temizlenmiş hava dış mahalle egzoz ediliyorsa, gerekli temizlik derecesi tesisin yerine iki farklı türdeki toplayıcının atmosfere attığı malzeme miktarına, kirleticinin doğasına (hurda değerine, sağlık tehlikesi potansiyeline, malzemeyi yıpratma potansiyeline) ve yönetim mekanizmalarının düzenlemelerine bağlı olabilir. Uzak mahallerde, örneğin çiftliklere verdiği zarar veya yakındaki kentlerdeki çevre kirliliği sorunlarına katkısı toz toplama ekipmanının önemini ve

kendisine duyulan gereksinimi etkileyebilir. Bu bağlamda yerleşim alanlarından uzaklara yerleştirilmiş olan birçok endüstri, genellikle bir tesisin çevresinde gelişen konutsal binaların yaygınlaşacağını önceden tahmin edemedi. Bu tür bir öngörüsüzlük, önceden yerleştirilmesinden daha pahalıya mal olan hava temizleme araçlarının yerleştirilmesini gerektirdi. Bu nedenle günümüzde uzak alanda yerleştirilen bir tesis ile kentsel bölgede yerleşik bir tesisin çalışması hakkındaki düzenlemeler çoğunlukla aynıdır. Kamuya zarar verme, kamu sağlığı ve toplum hava kalitesinin yükseltilmesi ve korunması gibi konular üzerinde mevcut vurgulamalarla, kentin ağır sanayi bölgesinde veya konutsal alana yakın kirletici emisyonları hakkında eleştiri almaya devam edecektir.

Emisyonun kütlesel miktarı da ekipman seçimini etkileyecektir. Belirli bir konsantrasyonda, egzoz hacimsel debisi arttıkça, daha iyi ekipmana duyulan gereksinim artar. Örneğin pülverize halde fosil yakıtlı küçük kazanlı buhar üretim tesisilerinin biraz daha düşük verimli toz toplayıcıları gerektirmesine karşılık, geniş, merkezi sistem ve toz kömür yakan buhar kazanlarına sahip geniş kapasiteli tesislerin elektrostatik çöktürücüler veya kumaş filtreler gerektirirler.

Ekipman seçiminde güvenli bir öneri; filtreyi en az olası kirleticinin kaçacağı biçimde seçmek ve bunun tüm ağırlıklı kirlilik düzenlemelerini sağlaması yanında, makul bir ilk maliyet ile bakım maliyetine sahip olmasıdır. Bazı uygulamalarda, makul kurulum ve bakım maliyetleri hava kirliliği kontrol ve sağlığa veya mala zarar vermeyi önleme standartlarına feda edilir.

Diğer yandan bir hüzmenin görülebilirliği çıkan malzeme yüzey alanının ışığı yansıtmasının bir fonksiyonu olacaktır. Filtrelerde $m^3/h$ (debi) başına yüzey alanı, parça büyüklüğünün karesiyle ters orantılı olarak değişir. Bunun anlamı ağırlık temelinde tozun %80 veya daha fazla kaba parçacıkların çıkartılması demektir.

***4.3.3 Gaz Akım Karakteristikleri:*** Taşıyıcı gaz akımının karakteristikleri ekipman seçimi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Gaz akımının sıcaklığı torbalı filtrelerde malzeme seçimi için sınırlayıcı olabilir. Elektrostatik filtrelerde yoğuşma suyu hava veya toz geçiş kanallarının tıkanmasına neden olabilir. Kuru filtrelerde, korozif kimyasallar kumaş veya metali kemirebilir. Yaş filtrelerde, yoğuşma suları su ile karıştığı zaman son derecede yıpratıcı olabilir.

***4.3.4 Kirleticinin Karakteristikleri:*** Kirletici karakteristikleri ekipman seçimini etkileyecektir. Yayınan kimyasal maddeler filtre elemanlarını kemirebilir ve yaş filtreleri erozyona uğratabilir. Parlatma bileşiklerine emdirilmiş metalik parlatma tozları gibi yapışkan malzemeler filtre elemanlarına yapışarak filtre geçitlerini tıkayabilir. İpliksi malzemeler de bazı tür filtre yüzeylerine veya elemanlarına yapışacaktır. Ortadan ağıra değişen konsantrasyonlardaki aşındırıcı maddeler, kuru metal yüzeylerde hızlı ve köklü aşınmalara sebep olabilmektedir. Parçacık büyüklüğü, biçimi ve yoğunluğu bazı tasarım biçimlerini devre dışı bırakacaktır. Örneğin "arıların kanatları gibi" parçacıkların paraşütümsü biçimleri ile bunların düşme hızları; aynı özgül ağırlıkta ve çok daha küçük küresel parçacıklarınkinden çok daha düşük olacak ve bu parçacıklar torbalı filtrelerde yüzer hale geçecektir. Bu durum ise bu partiküllerin toplanmasını güçleştirecektir. Birçok ince parçacık halindeki malzemenin yanabilir olması da güvenli çalışma için dikkatli filtre tasarımına gerek gösterecektir.

***4.3.5 Enerji ile İlgili Düşünceler:*** Enerji maliyeti ve bulunabilirliği, istenen performansı gerçekleştirebilen her türden filtrede toplam enerji gereksinimlerinin dikkate alınmasını gerekli kılar. Örneğin elektrostatik filtrelerde ilk yatırım maliyetindeki yükseklik olumsuzluğuna rağmen,

doğası gereği sahip olduğu küçük basınç düşümleri nedeniyle gerçekleşen enerji avantajı ile iyi bir seçim olabilir.

***4.3.6 Tozların Atılması***: Toplanan malzemenin alınması ve atılması yöntemi, malzeme, tesisteki proses ve filtre sistemi tasarımına bağlıdır. Kuru filtrelerde tutulan tozlar sürekli olarak boşaltılabilir ya da boşaltma kapılarından, sızıntı vanalarından ve konteyner ya da konveyörlere dönel kilitler aracılığı ile alınabilir. Toz içermeyen malzemelerin atılmasına ya da malzeme alınmasına uygun yerlere yerleştirilen toz kaplarına gerekli dikkat gösterilmediğinde kuru malzemeler ikincil bir toz sorunu yaratabilir. Yaş filtrelerde parti halinde veya suyu alınan malzemenin sürekli boşaltımı biçiminde uyarlanır. Yaş tortunun bir malzeme işlemleme sorunu haline gelmesine karşılık, ikincil toz sorunları ortadan kaldırılır. Atık su doğru biçimde temizlenmediğinde bununla taşınan katılar bir kanalizasyon veya akış problemi yaratabilirler. Malzeme nitelikleri atık sorunlarını da etkileyebilir. Kuru malzemelerin toz bunkerlerinde paketler haline gelmesi veya kenetlenmesi veya yaş filtrelerde ise yüzme ve çamur haline gelme karakteristikleri rastlanabilecek sorunlara örneklerdir.

Parçacıklı kirleticilerle ilgili toz tutma filtrelerin dört ana tipi vardır . Bunlar, Elektrostatik Toplayıcılar, Torbalı Filtreler, Yaş Filtreler ve Kuru filtrelerdir. Tablo 4.1.'de filtre seçimi ile ilgili özet bilgiler verilmiştir.

*Tablo 4.1.Toz tutucu seçim kılavuzu.*

| | **Endüstride Kullanılan Filtre Tipleri** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **İşletme** | **Konsantrasyon Not 1** | **Parçacık Büyüklüğü Not 2** | **Siklon** | **Yaş Filtre** | **Torbalı Filtre** | **Düşük vol. Elektro-statik** | **Yüksek voltaj Elektro-statik** | **Bakınız** |
| SERAMİKLER | | | | | | | | |
| a.Ham ürün işlemlemek | hafif | ince | O | O | O | N | N | 1 |
| b.Dikiş taşlamak | hafif | ince-orta | S | S | O | N | N | 2 |
| c.Refrakter boyutlandırma | ağır | kaba | N | S | O | N | N | 3 |
| d.Jöle ve vitray emaye sprey yapmak | orta | orta | N | O | O | N | N | |
| KİMYASALLAR | | | | | | | | 50 |
| a.Malzeme işlemleme | hafif-orta | ince-orta | O | O | O | N | N | 4 |
| b.Kırma, öğütme | orta | ince-orta | O | O | O | N | N | 5 |
| c.Pnömatik taşıma | çok-ağır | ince-kaba | O | S | O | N | N | 6 |
| d.Kızartıcılar, sobalar, soğutucular | ağır | orta-kaba | O | O | O | O | N | 7 |
| KÖMÜR MADENİ VE GÜÇ TESİSİ | | | | | | | | 50 |
| a.Malzeme işlemleme | orta | orta | O | O | O | N | N | 8 |
| b.Bunker havalandırma | orta | ince | S | S | O | N | N | 9 |
| c.Toz atma,hava temizleme | ağır | orta-kaba | S | O | O | N | N | 10 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d.Kurutma | orta | ince | N | O | S | N | N | 11 |
| UÇAR KÜL | | | | | | | | |
| a.Kömür yakma-zincir ızgara | hafif | ince | S | S | O | N | O | 12 |
| b. Kömür yakma-stoker yakmalı | orta | ince-kaba | S | S | O | N | O | |
| c.Kömür yakla-pülverize yakıt | ağır | ince | S | S | O | N | O | 13 |
| d.Odun yakma | değişir | kaba | S | O | O | N | S | 14 |
| DÖKÜMHANE | | | | | | | | |
| a.Silkelemek | hafif-orta | ince | N | O | O | N | N | 15 |
| b.Kum işlemlemek | orta | ince-orta | N | O | O | N | N | 16 |
| c.Dönel öğütücü (Tumbling mill) | ağır | orta-kaba | N | O | O | N | N | 17 |
| d.Aşındırmayla temizleme | orta | ince-orta | N | O | O | N | N | 18 |
| TAHIL ASANSÖRÜ, UN VE BESLEME DEĞİRMENİ (FEED MILL) | | | | | | | | 50 |
| a.Tahıl işlemleme | hafif | orta | O | S | O | N | N | 19 |
| b.tahıl kurutucular | hafif | kaba | S | S | O | N | N | 20 |
| c.Un tozu | orta | orta | O | S | O | N | N | 21 |
| d.Besleme değirmeni | orta | orta | O | S | O | N | N | 22 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| METAL ERGİTME | | | | | | | | 50 |
| a.Çelik yüksek fırın | orta | değişir | N | O | S | N | S | 23 |
| b.Çelik açık ocağı | orta | ince-kaba | N | O | S | N | S | 24 |
| c.Çelik elektrik fırını | hafif | ince | N | S | O | N | S | 25 |
| d.Demir kupol ocağı | orta | değişir | N | O | O | N | | 26 |
| e.Demir-dışı yansımalı | değişir | ince | N | S | O | S | N | 27 |
| f.Demir dışı pota | hafif | ince | N | S | O | N | N | 28 |
| METAL MADENCİLİĞİ VE KAYA ÜRÜNLERİ | | | | | | | | |
| a. Metal işlemleme | orta | ince-orta | N | O | O | N | N | 29 |
| b.Kurutucular,sobalar | orta | orta-kaba | N | O | O | N | O | 30 |
| c.Beton kaya kurutucu | orta | ince-orta | N | S | S | N | S | 31 |
| d. Beton sobası | ağır | ince-orta | N | N | O | N | S | 32 |
| e. Beton taşlama | orta | ince | N | N | O | N | N | 33 |
| f.Çimento cüruf kurutucu | orta | kaba | N | N | O | N | N | 34 |

| İşletme | Endüstride Kullanılan Filtre Tipleri | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Konsantrasyon Not 1** | **Parçacık Büyüklüğü Not 2** | **Siklon** | **Yaş Filtre** | **Kumaş Kolektör** | **Düşük voltaj Elektro-statik** | **Yüksek voltaj Elektro-statik** | **Bakınız** |
| **METAL İŞLEME** | | | | | | | | **50** |
| **a.Üretim taşlama, kazıma fırçalama, aşındırmayla kesme** | **hafif** | **kaba** | **O** | **S** | **O** | **N** | **N** | **35** |
| **b.Taşınabilir ve salınımlı taşlama** | **hafif** | **orta** | **O** | **S** | **O** | **N** | **N** | |
| **c.Raspalama** | **hafif** | **değişir** | **S** | **S** | **O** | **N** | **N** | **36** |
| **d.tezgah odası** | **hafif** | **ince** | **S** | **O** | **S** | **N** | **N** | **37** |
| **e.Dökme demir işleme** | **orta** | **değişir** | **O** | **O** | **O** | **S** | **N** | **38** |
| ECZACILIK VE BESİN ÜRÜNLERİ | | | | | | | | 50 |
| a. Mikserler, taşlayıcılar, tartma, harmanlama, paketleme, | hafif | orta | O | O | O | N | N | 39 |
| b. Kaplama tavaları | değişir | orta | N | O | O | N | N | 40 |
| PLASTİKLER | | | | | | | | 50 |
| a.ham metal işlemleme | Kimyasallara bakınız | | O | S | O | N | N | 41 |
| b.Plastik bitirme işlemleri | hafif-orta | değişir | S | S | O | N | N | 42 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LASTİK ÜRÜNLERİ | | | | | | | | 50 |
| a.Mikser'ler | orta | ince | S | O | O | N | N | 43 |
| b.merdaneler | fafif | ince | S | O | S | S | N | 44 |
| c.Talk pudralama ve tozdan arıtma | orta | orta | S | S | O | N | N | 45 |
| d.Taşlama | orta | kaba | O | O | O | N | N | 46 |
| AHŞAP İŞLEME | | | | | | | | 50 |
| a.Ahşap işleme | orta | değişir | O | S | O | N | N | 47 |
| b.Kumlama | orta | ince | O | S | O | N | N | 48 |
| c.Atık taşıma, yonga | ağır | değişir | O | S | O | N | N | 49 |

NOT 1: Hafif: 2 gr/ft$^3$; Orta: 2~5 gr/ft$^3$; Ağır: 5 gr/ft$^3$ den büyük

NOT 2: İnce: % 50 si 5 μm'den küçük, Orta: % 50 si 5~15 μm arasında; Kaba:% 50'si 15μm ve üstü

NOT 3: O= Sık sık(Often); S=Nadir (Seldom); N=Hiçbir zaman (Never).

*Tablo 4.1 ile ilgili açıklamalar*

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Kap doldurma, taşıma, ağırlık ölçme,karıştırma, presleme, biçimlemeden çıkan tozlar. Refrakter ürünler, kuru tava ve süzme işlemleri daha ciddi. | 12 | Kazan blöfünden insanlara zararlı etkiler kolektöre gerek olduğunu gösterir. |
| 2 | Vitray emaye işlerinde duvar ve döşeme karo kaplama, çanak-çömlek işleri | 13 | Konutsal alanlardaki geniş kurulumlar kuru santrifüje ek olarak elektrostatik filtre gerektirir. |
| 3 | Taşlama taşı veya abrasiv kesme işlemi.Abrasiv toz | 14 | Çökelen tahta tozundan kaynaklanan sağlığa zararlı etkiler filtre ihtiyacı gösterir. |
| 4 | Taşıma, kaldırma, karıştırma,süzme, tartma , paketleme işlemleri. Bu sınıf çok sayıda farklı malzemeleri kapsadığından öneriler değişir. | 15 | Genellikle sıcak gazlar ve buhar içerir. |
| 5 | Siklon ya da yüksek verimli santrifüjler kumaş ve yaş tipten sonra primer filtre olarak çalışır | 16 | Sıcak kumdan buhar, yapışkan kil bağlayıcıyı içerir. |
| 6 | Yüksek toplam toplama verimi için torbalı tutucudan sonra ürün toplayıcı olarak kullanılan siklonlar | 17 | Çevrimin başlangıcında konsantrasyon çok ağır. |
| 7 | Toz konsantrasyonu kuru santrifüje gereksinimi belirler; tesis yeri, ürün değeri ni,hai kolektör gereksinimini belirler. Yüksek sıcaklıklar olağan, korozif gazlar olağandışıdır. | 18 | Yüksek hava hızı nedeniyle, havasız kumlamadan kaynaklanan en ağır yükler. Abrasiv yıpratma, döküm kumu ve iri kuma göre en büyük etkiye sahiptir. Çıkan parçalar kum döküm parçalarda daha büyük, deövmedeki çapak almada daha küçük ve kaynak çapaklarını almada en küçüktür. |
| 8 | Taşıma, süzme, kırma, boşaltma. | 19 | Araç boşaltma, konveyörle taşıma, tartma ve depolama gibi işlemler |
| 9 | Toz üretim noktalarından uzakta. Genellikle ayrı filtreler | 20 | Toplama ekipmanı pahalı fakat insanlara verdiği zararlar sıklıkla şikayet konusudur. |
| 10 | Çok uzak yerlerin dışında, ağır yükler hepsi için nihai bir yüksek verimli filtre gerektirir. | 21 | Konveyör, temizleme tamburları, elekler, saflaştırıcılar, kovalar ve paketleme işlemlerini içerir. |
| 11 | Güç bir sorun fakat filtreler hava kirliliği vurgusuyla daha sık kullanılacaktır. | 22 | işlemler konveyörleri, kapları, öğütücüler (hammer mills) mikserler, besleyiciler ve çanta doldurucular (baggers) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 23 | Birincil kuru sifon (trap) ve yaş-filtrasyon olağandır. Maksimum temizlik istenen yerlerde elektrostatik eklenebilir. | | |
| 24 | Geçmişte filtreler nadiren yerleştirilirdi. Hava kirliliği vurgusu filtre kullanımını artırmıştır. | | |
| 25 | Hava kirliliği standartları olasılıkla kumaş tutucuların kullanımını gerektirecektir. | 38 | İnce talaşı, havada yüzen ince parçacıkları ve grafit karbonu içeren toz. |
| 26 | Genelde filtreler sağlanmaz, fakat hava kirliliği hakkındaki vurgulamalar önemli bir ilgi yaratmıştır. | 39 | Malzeme geniş ölçüde değişir. Filtre seçimi, hurda değerine, zehirliliğe, sıhhileştirme ölülerine bağlıdır. |
| 27 | Çinko eklemeler sırasında çinko oksit yüklemeleri ağır. Baca sıcaklıkları yüksek. | 40 | Kaplama tavalarına kontrollü sıcaklık ve nemdeki besleme havası sirkülasyonu istenir. |
| 28 | Bazı tesis yerlerinde çinko-oksit sorunlu olabilir. | 41 | Plastik üretimi kimya endüstrisine yakındır ve içerdiği işlemlerle ayrılır. |
| 29 | Kırma, süzme, taşıma içerilir. Yaş cevherler çoğu zaman egzoz havasında su buharı gösterir. | 42 | İşlemler ve kolektör seçimi ahşap işlemeye benzerdir. Bakınız Madde 13 |
| 30 | Kuru santrifüjle birincilfiltre olarak kullanılır, ardından nihai temizleyici gelir. | 43 | Besleme işlemi, sırasında konsantrasyon ağırdır. Karbon karası ve diğer ince katkılar, toplamayı ve tozdan-arınmış atık elde etmeyi güçleştirir. |
| 31 | Toplama ekipmanı öncelikle insana zararı önlemek için yerleştirilir. | 44 | Dağılmanın ya da egzoz bacasının istendiği yerlerde çoğu zaman filtre kullanılmaz. |
| 32 | Filtreler genellikle malzemeyi kurtarmaya izin verir ve tesis alanında çökelmiş tozdan kaynaklanan zararı azaltır. | 45 | Toplanan malzemenin hurda değeri çoğu zaman yüksek verimli kolektörü gerektirir. |
| 33 | Toplanan malzemenin hurda değeri yüksektir. Aynı ekipman kireçleme işleminden (calcining) önce ham taşlamada da kullanılır. | 46 | Bazı işlemlerde yangın tehlikesi düşünülmelidir. |
| 34 | Kaba abrasiv parçacıklar primer filtre türlerinde kolaylıkla alınır. | 47 | Şişirme malzemesi. Toplanan malzemenin depolaması, kıymıkların köprü yapması ve ince-talaşlar sorun olabilir. |
| 35 | Siklonlarda çatıda renk değişmesi ve motorlarda tortu ortaya çıkarken, bunlar yüksek verimli kuru santrifüjde daha seyrek görüölür. Ağır iş filtreleri bazen nihai | 48 | Kuru santrifüjler, üretimdeki kumlamadan klaynaklanan ince parçacıkların ağır konsantrasyonlarında çok etkili değildir. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | temizleyiciler olarak kullanılır. | | |
| 36 | İpliksi parçacıklar ve yapışkan perdahlama bileşikleri kuru kolektörlerde tıkanmaya ve yangın tehlikesine neden olabilir. | 49 | Konsantrasyon ve parça büyüklüğüne bağlı olarak yaş ve kumaş filtrelerin her zaman primer kolektörlerden sonraki nihai filtre olarak kullanılmaktadır. |
| 37 | Özellikle soyutlanmış (isolated) takım tezgahlarında birim kolektörler sıklıkla kullanılır. | 50 | Örneğin Zirkonyum, magnezyum, alüminyum, ahşap işleme, plastikler vb işlemlerinde yangın tehlikesi için NFPA yayınlarına bakınız. |

Diğer yandan filtrelerin basınç kaybı, debi gereksinimleri karekteristikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

*Tablo 4.2 Filtre özelliklerinin karşılaştırılması*

| Tür | Ortalama Parçacık Büyüklüğünden Büyük Olan Parçacıklarda Yüksek Verim Aralığı | Basınç Kayıpları, İnç SS | Su, Galon/1000 cfm | cfm Değişimler Duyarlılık | | | Nemli hava etkisi | Maksimum Sıcaklık, F standart Konstrüksiyon NOT:4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Yer | Basınç | Verim | | |
| Elektrostatik | 0.25 | 1/2 (Not1) | - | Geniş | Önemsiz | Evet | Verimi arttırır | 500 |
| Kumaş | 0.25 | 3-6(Not1) | - | | | | | |
| Aralıklı-Sarsıntı Mek. | 0.25 | 3-6(Not1) | - | Geniş | cfm | Önemsiz | Yeniden koşullandırmayı güçleştirebilir | Bak.tablo 4-1 |
| Sürekli-Sarsıntı Mek. | 0.25 | 3-6(Not1) | - | Geniş | cfm | Önemsiz | | |
| Sürekli – Ters Hava | 0.25 | 3-6(Not1) | - | Geniş | cfm | Önemsiz | | |
| Sürekli-Ters Darbe | 0.25 | 3-6 | - | Geniş | cfm | Önemsiz | | |
| Cam, Ters Akış | 0.25 | 3-8 | - | Geniş | cfm | Önemsiz | | 500 |
| Yaş: | | | | | | | | |
| Packed Tower | 1-5 | 1.5-.3.5 | 5-10 | Geniş | cfm | Evet | | |
| Yaş Santrifüj | 1-5 | 2.5-6 | 3-5 | Orta | cfm2 | Evet | | Sınırsız |
| Yaş Dinamik | 1-2 | Not 2 | ½-1 | Küçük | Not 2 | Hayır | | |
| Orifis Türleri | 1-5 | 2½-6 | 10-40 | Küçük | Cfm gibi yada daha az | Tasarımla değişir | | |
| Yüksek Verimli | | | | | | | | |
| Sis Kulesi | 0.5-5 | 2-4 | 5-10 | Orta | cfm2 | Hafifçe | Hiç | Not 3 |
| Venturi | 0.5-2 | 10-100 | 5-15 | Orta | cfm2 | evet | | Sınırsız |
| Kuru santrifüj | | | | | | | | |
| Düşük basınç siklon | 20-40 | 0.75-1.5 | - | Geniş | cfm2 | evet | Yoğuşma ve tıkanmaya neden olabilir | 750 |
| Yüksek Verim Santrifüj | 20-30 | 3-6 | - | Orta | cfm2 | evet | | 750 |
| Kuru Dinamik | 10-20 | Not 2 | - | Küçük | Not2 | Hayır | | |

NOT 1: Basınç kaybı kumaş ve toz –pastası içindir. Çıkış bağlantılarıyla ilgili basınç düşümleri system tasarımcısı tarafından eklenmelidir.
NOT2: Birleşik boşaltıcı (exhauster)ve kolektör veriminin bir fonksiyonu
NOT3: İnce damlacıkların hızlı buharlaşmasından kaçınmak için yüksek sıcaklıklı ön soğutması gerekmektedir.
NOT4: Zirkonyum, Magnezyum Aliminyum. Ahşap vb yangın tehlikesi için NFPA gerekliliklerine bakınız.

### 4.4. Buğu Gaz ve Buhar Kirleticilerin Kontrolu

Önceki bölümler katı halde bulunan parçacık, toz ve duman halindeki kirleticilerin toplanmasına odaklanmıştı. Sızdırmaz kule (Packed Tower) filtreler buhar, gaz ve sis yapılar havadan ayrılmasında kullanılabilmektedir. Buğu aerosolün niteliği aerodinamik bakımdan toz ya da dumana çok yakın olduğundan, bunlar katılara uygulanan ilkeler kullanılarak gaz akımından çıkartılabilir. Burada da daha önce açıklanan araç ya da ekipmanların çoğuna benzer ekipmanlar kullanılır. Birçok tür buğunun ayrıştırılmasında standart yaş filtreler kullanılabilmektedir. Özel tasarlanmış elektrostatik çökelticiler sülfürik asit ve yağ buğularının çıkartılmasında sıklıkla kullanılır. Önceki bahsedilen türlerde olmasa da torbalı ve santrifüj filtreler yüksek hızlı talaş kaldırma işlerinden kaynaklanan yağ sislerinin alınmasında yaygın olarak kullanılırlar.

### 4.5. Gaz Halindeki Kirleticilerin Kontrolu

Özel olarak gaz ya da buhar kirleticileri tutmak için tasarlanmış olan ekipmanlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Absorbe ediciler

2. Adsorbe ediciler

3. Isıl oksitleyiciler

4. Direkt yakıcılar

5. Katalitik oksitleyiciler.

Bu sistemlere ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

***Absorbe ediciler:*** Absorbe ediciler çözünür veya kimyasal reaktif gazları bir hava akımından uygun bir sıvıyla temas haline getirerek çıkartır. Tüm tasarımlar gaz kirletici ile absorbe edici arasında sıkı bir teması kullanırsa da uyarlama ve performans bakımından farklı markalar farklı sonuçlar verir. Gazın çözünebilirliği ve buhar basıncı absorbsiyona veya kimyasal tepkimeye uygunsa çıkartım işlemi absorpsiyonla olabilir. Çoğu zaman katkıları ve bazı kimyasalları gerektirmesi yanında en yaygın olarak kullanılan absorbe-edici su'dur. *Packed Towers* tipik absorbe edicilerdir.

***Adsorbe Ediciler.*** Bunlar kirleticileri bir katı maddede toplayarak çıkartırlar. Gaz molekülleri katının molekül yüzeylerine yapıştığından bunlarda herhangi bir kimyasal tepkime yoktur. Etkinleştirilmiş (activated) karbon ve moleküler sieve tipik adsorbe edicilerdir.

***Isıl Oksitleyiciler:*** Kirleticinin yanıcı olması durumunda ısıl oksitleyiciler ya da son-yakıcılar kullanılabilir. Kirli hava açık alevli bir yakıcıya ya da ısıtıldıktan sonra karbon dioksit ve su üretecekleri bir direnç odasına gönderilir. Yanabilir kirleticilerin çoğu 500~800ºC'de okside olurlar. Tam bir oksitlenme için yanma odasında yeterli bir kalma süresi ile türbülans sağlaması gerekir.

***Doğrudan Yakıcılar:*** Doğrudan yakıcılar ısıl oksitleyicilerden farklı olup, kirli gazları ve yardımcı havayı doğrudan yakıt olarak brülöre gönderir. Tutuşturma için genellikle doğal gaz veya fuel-oil olan yardımcı yakıt gerekirken, yanmanın devamı için yakıcı gaz gerekli olabilir veya olmayabilir.

***Katalitik Oksitleyiciler:*** Kirleticilerin yanabilir olduğu yerlerde katalitik oksitleyiciler kullanılabilir. Kirli gaz akımı ön-ısıtıldıktan sonrayanabilir maddeleri su ve karbon dioksite geliştiren katalist yataktan geçirilir.

Genelde, 350~450ºC arasında oksitleme sağlamak üzere platin ailesinden metaller katalist olarak kullanılır.

### 4.6. Filtre Tiplerine İlişkin Bilgiler

Endüstride sıklıkla kullanılan filtreler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

#### 4.6.1. Fiber (İplikçi) Ortamlı Filtreler

Bu filtrelerde torba yüzeylerinde toz toplanması, basınç düşümünün bir maksimum değere kadar artmasına sebep olur. Buna karşın, yüksek toz yüklerinde, toz fibere zayıf bir yapışma göstereceğinden verim düşük olabilmektedir. Bu durumdaki filtreler, basınç düşümünün sınırına ulaşan filtrelerde olduğu gibi ya değiştirilmeli ya da yeniden koşullandırılmalıdır. Bu türler düşük verimden çok yüksek verime kadar değişik aralıkta bulunabilen viskoz, çarptırmalı ve kuru hava filtrelerini içerir.

#### 4.6.2. Yenilenebilir Ortamlı Filtreler

Bu filtre türleri, temelde sabit bir direnci ve buna göre sabit bir ortalama verimi korumak üzere gerektiğinde yeni bir ortam (media) filtreye yerleştirilebilir.

#### 4.6.3. Elektronik Filtreler

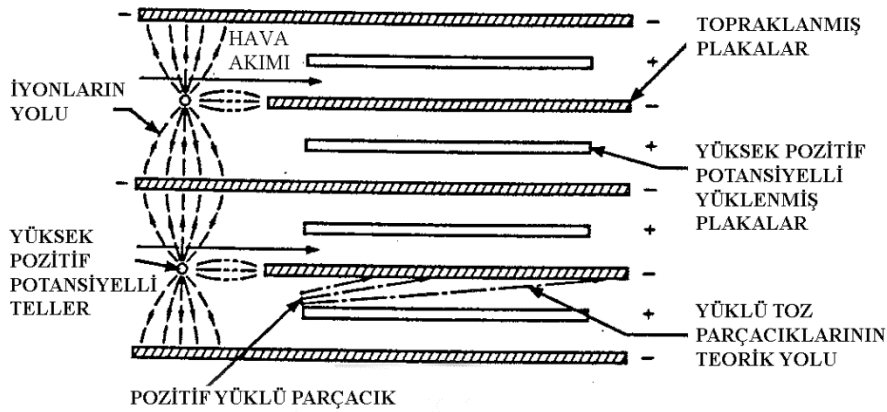
Düzenli temizleme yoluyla nispeten sabit bir basınç düşümüne ve verime sahiptirler. Elektronik hava temizleyiciler, toz, duman ve polen gibi kirlilik unsurlarını toplamakta elektrostatik çökeltmeyi kullanan yüksek verimli filtrelerdir. Elektronik hava temizleyici terimi, HVAC hava filtrasyonu için bir çökeltme elemanını ifade etmektedir. Filtre bir iyonlaştırma ve bir toplama plakasını içerir. İyonlaştırma bölümünde, 6~25 kV doğru akım gerilimindeki ince çaplı teller topraklama plakalarından eşit uzaklığa

asılırlar. Tellerdeki yüksek voltaj parçacıkların elektriksel yüklenmesi için bir iyonlaştırma alanı yaratır. Alanda yaratılan pozitif iyonlar hava akımına karşı akarken, parçacıklara çarpıp yapışarak yüklerini bu parçacıklara aktarır. Yüklenen parçacıklar daha sonra toplanma plakaları kısmına geçerler. Toplanma plakaları bölümü, bir atlayarak 4~10 kV doğru akım gerilimi uygulanmış birbirinden eşit aralıklarda bir dizi plaka içerir. Yük taşımayan plakalar topraklama gerilimine sahiptirler.

Parçacıklar bu bölüme geçerken, plakaların taşıdıkları elektrik yük alanı tarafından çekilerek hava akımından ayrılır ve plakalar üzerinde toplanırlar. Parçacıkların tutulması, hem elektriksel hem de moleküller arası çekme kuvvetlerinin bileşkesi olup, bu kuvvet plakalar üzerine özel yağlar veya yapışkanlar uygulanarak artırılabilir. Şekil 4.1'de tipik bir elektrostatik hava temizleyici görülmektedir. Pozitif doğru akım yerine negatif bir potansiyel de aynı ilkelerle çalışır, fakat daha fazla ozon üretir. Uygulanan 4~25 kV gerilim nedeniyle özel güvenlik önlemleri almak gerekir. Tipik bir uyarlama, hücrenin kapıları temizlik amacıyla veya güç biriminin servisi nedeniyle çıkartıldığında hava temizleyiciyi devre dışı bırakan sistemdir. Elektronik hava temizleyiciler 120~240 V (AC) tek fazlı elektriksel şebekeden çalışır. Hava temizleyiciye uygulanan gerilim genellikle solid state güç besleme birimleri tarafından sağlanır. Elektriksel enerji tüketimi, hava temizleyicinin $m^3/s$ kapasitesi başına 40~85 W arasındadır. Bu tür bir filtre, ASHRAE Standart 52.1'e göre test edildiğinde (0.8~1.8 m/s) hızlarda, havadaki kirlilik unsurlarını başlangıç verimi olarak %98 verimle havadan çeker ve toplar. Bu sistemlerde aşağıdaki hallerde verim düşer.

- Toplama plakaları parçacıklarla yüklendikçe,
- Yüksek hızlarda,
- Eşbiçimli (homojen) olmayan hız dağılımlarında,

Tasarım (gerçekte bütün filtrelerde) filtreye gelen veya filtreden çıkan kanal ve yüzey alanında havanın eşit dağılacağı biçimde yapılmalıdır. Elektronik filtrenin yüksek gerilimli bölgesinde aşırı ark veya kısa devre yapılmasına neden olan geniş parçacıkların tutulması için, panel türde ön filtreler yerleştirilebilir. Elektronik hava temizleyici tasarım parametreleri olan hava hızı, iyonlaştırıcı alan şiddeti, hücrenin plakalar arası uzaklık, plakalardaki voltajın, uygulamanın gereksinimleriyle (örneğin parça büyüklüğü, kirletici türü, hava hacmi, gerekli verim) örtüşmesi gerekmektedir. Diğer kapalı paket üniteler, bağımsız bir hava temizleyici gerektiren özel uygulamalarda kirleticinin kaynakta kontrolü için hava tahrik birimleriyle tamamlanırlar.




*Şekil 4.1. İyonlaştırıcı elektronik hava temizleyicinin düşey kesiti.*

Elektrostatik hava temizleyiciler için seçmeli olanaklar söz konusudur. Bu çerçevede birbirine yapışan parçacıkları ve elektronik filtreden geri üflenen parçacıkları yakalamak üzere tamburlu filtreler gibi bir son filtre kullanılabilir. Bunlar genellikle ağır kirlilik yüklemesi bulunan veya temizleme çevriminin uzatılmasının istendiği yerlerde kullanılır. Hücredeki toplama panelleri, temizleme sırasında parçacıkların yumuşatılması ve

ortamdan atılmasını kolaylaştırıcı özel bir yapışkan madde, yağ veya deterjan ile kaplanabilir. Özel tasarımlı sistemlerde, yüksek verimli kuru aşkın yüzeyli filtreler son filtreler olarak kullanılabilir. Bu sistemlerde kullanılan elektronik filtreler kuru elemanlı filtrenin hizmet ömrünü artırırken, duman gibi küçük parçacıkları toplar.

### 4.6.4. Birleşik Filtreler

Bu filtreler değişik filtre türlerini birleştirir. Örneğin bir elektrostatik filtre, fiber ortamlı bir filtrenin plakalarından geri üflenen parçacıkların yakalanması için bu filtre ile birlikte kullanılabilir. Burada filtreleme sistemlerini etkili hale getirmek üzere hava hazırlama birimlerine elektrotlar yerleştirilmiştir. Daha iyi ve pahalı son filtrelerin ömrünü artırmak için, yüksek verimli filtrelerin üst akım bölgesine düşük verimli tablalar, kullan at türü paneller ve otomatik olarak yenilenebilen tanburlu filtreler ya da orta, yüksek verimli akordeon filtreler ön filtreleme amacıyla yerleştirilebilir. Bir elektrostatik alan yoluyla fiber ortam üzerindeki parçacık toplanmasını artıran elektrik yüklü ortam filtreleri de bulunmaktadır. Bu filtrelerde, yüksüz fiber ortamlı filtrelerdekine oranla basınç düşümü artar.

### 4.6.5. Panel Filtreler

Kalın, yüksek gözeneklilikteki fiberlerden yapılır. Filtre elemanı (media), genellikle kokusuz, yer değiştirmeyen, yağ gibi viskoz bir madde ile kaplanarak, fiberlere çarpan parçaların bu ortama yapışması ve kalması sağlanır. Filtre elemanı arasından gerçeklenen, tasarım akış hızları genellikle, 1~4 m/s arasında değişir. Bu filtreler düşük basınç kaybı, düşük maliyet iplikçikler ve geniş parçacıklarda (5 μm ve daha geniş) iyi fakat küçük parçacıklarda kötü bir tutma verimi ile nitelendirilir. Bunlar genellikle 13~100 mm kalınlıkta yapılırlar. 610x610 gibi standart ve özel

boyutlarda ünite panelleri bulunmaktadır. Bu tür filtreler çoğu zaman bina klima santrallarında yüksek verimli filtrelerde ön filtre olarak kullanılırlar.

Filtre elemanının malzemeleri arasında metal iplikçikleri (fiberleri), genişletilmiş metal ve folyolar, bükümlü (katlanmış) elek türü malzemeler, rastgele bükümlü tel elekler, kaba (15~60 μm) cam fiberleri, kaplanmış hayvan saçı, bitkisel ya da sentetik fiberler ve sentetik açık hücreli fiberler sayılabilir. Viskoz çarptırma filtreleri genellikle 1.5~3 m/s arasındaki hava hızlarında çalışırlar. Burada artan akış direncinin dışında, sınırlayıcı faktör filtrede toplanmış olan toz öbeklerinin ve filtre kaplamasının geri üflenmesi tehlikesidir.

Filtrenin yükleme miktarı ele alınan havadaki toz derişimi ile filtrenin türü ve çalışma çevrimine bağlıdır. Filtre grubunda gerçeklenen basınç düşümünü ölçmek üzere, manometreler, statik basınç farkı ölçen araçlar ve basınç transducer'leri yerleştirilir. İzin verilebilir nihai basınç düşümü, bir kurulumdan diğerine değişirse de, viskoz çarptırmalı filtreler basınç düşümünün 125 Pa'a ulaşması durumunda bakıma alınırlar. Filtrenin akışa karşı direncini yenmek için gerekli enerji düzeyini içeren yaşam çevrim maliyeti (LCC) filtre sisteminin toplam maliyetini belirlemek için hesaplanmalıdır. Filtrenin toz yüklemesine göre değil, yapışkan maddenin tozla kaplanmasına bağlı olarak azalan filtre verimi, çalışma ömründe sınırlayıcı bir faktör olabilir.

Filtre biriminin bakım görme biçimi filtrenin yapısına ve kullanımına bağlıdır. Atılabilir viskoz çarptırıcı filtre panelleri ucuz malzemelerden yapılarak, bir kullanım döneminden sonra filtre elemanları atılır. Bu tasarımın hücre tarafı, genellikle karton ve metal güçlendiricilerin bir bileşimidir. Kalıcı elemanlı filtreler genellikle yinelenen kullanım ve bakıma dayanımlı malzemeden üretilirler. Kalıcı elemanlı filtreler için değişik

temizleme yöntemleri önerilir. Bunlardan en çok kullanılanı, filtreyi buhar veya su ile (çoğu zaman deterjan katarak) yıkamak ve daha sonra daldırma ya da püskürtme yoluyla viskoz yapıştırıcısı ile yeniden kaplamaktır. Ünit viskoz filtreler bazen yerinde yıkama ve tekrar kaplama yapılarak servis görür.

Viskoz çarptırma filtresinde kullanılan yapışkan madde dikkatli bir mühendisliğe gerek gösterir. Filtre verimi ve toz tutma kapasitesi kullanılan yapıştırıcının türüne ve miktarına bağlı olup, bu bilgi test verilerinin ve filtre nitelemelerinin temel kısmını oluşturur.

Verim ve toz tutma kapasitesi dışında, istenen yapışkan madde özellikleri;

- Aşırı buharlaşmadan korunmak için küçük miktarda uçucu kimyasal içermesi,
- Hizmet sıcaklık aralığında çok az değişen bir viskozite,
- Bakteri ve küf sporlarının gelişmesini önleme yeteneği,
- Yüksek bir kılcallık ya da kolay ıslanma ve toz parçacıklarını tutma yeteneği,
- Yüksek parlama ve alevlenme noktası,
- Kokulardan ya da tahriş edicilerden arınmış olma.

### 4.6.6. Kuru Geniş Yüzeyli Filtreler

Değişik kalınlık, fiber büyüklüğü ve yoğunluklarda fiber pano ve örtüleri kullanırlar. Bağlanmış cam fiberi, selüloz fiberleri, sıkıştırılmış yün, polimerler, sentetikler ve diğer malzemeler ticari olarak kullanılmıştır. Bu filtrelerdeki filtre elemanı (media) cepler, V-biçimli ya da radyal pileler biçiminde bir tel çerçeve ile desteklenir. Diğer bazı tasarımlarda, filtrenin

doğasından gelen rijitlik ya da hava geçişi sırasında filtrenin şişmesi nedeniyle (örneğin torba filtreler) filtre kendini destekleyen türden yapılır.

Pileli (akordeon) türü filtreler, filtre alanı yüzey oranını yükseltirken makul bir basınç düşümü sağlayıp düşük ortam hızları sağlarlar. Verim, panel filtrelerinkinden yüksek olup, değişik filtre elemanlarının bulunması, bunları herhangi bir verimdeki filtre haline getirmeye olanak sağlar. Modern kuru elemanlı filtrelerin toz tutma kapasitesi ve filtrenin uyarlama çeşitliliği genellikle panel filtrelerinkinden yüksektir. Geniş yüzeyli filtrelerin üst akım bölgesinde kaba bir ön filtre kullanılması (endüstriyel tesislerde hem malın tutulması ve hemde kaba tozpların tutulması için siklonlar) ana filtrelerin ömrünü uzatması nedeniyle ekonomik yönden dengelenir. Ekonomik düşünceler, ön filtre malzemesi maliyeti, değiştirme işçiliği ve fan gücündeki artma gibi hususları içerir. Ön filtrelerin ana filtreyi tıkayabilecek toz yükünü önemli ölçüde azaltabildikleri de düşünülmelidir. Bir ön filtre genellikle %70 (MERV 3) düzeyinde tutuculuğa sahip olup çoğunlukla %92 (MERV 6)'a kadar artabilir. Yüksek verimli filtreleri korumakta kullanılan kaba ön filtreler inşaat sırasında da ağır kaba toz yükünün tutulması yönünden uygulamaya değerdir. Ön filtreler sık sık değiştirildiklerinden, son filtredeki basınç düşümü, ön filtrenin her değiştirilmesinde ölçme aracından okunabilir. Bu uyarlama için filtre gövdelerinde, ön ve son filtre grupları arasında basınç ölçme uçları bırakılmaktadır.

Filtre elemanındaki hava hızının kanaldaki hava hızına eşit olduğu düz panel filtreleri, sadece en düşük verimli kuru tip filtre elmanı ile tasarlanırlar (açık hücreli köpükler ve tekstil kalitesinde dokunmamış medya). Bu grubun nominal hava miktarındaki ilk dirençleri genellikle 10~60 Pa arasında olup genellikle 120~175 Pa son dirence göre çalışırlar. Filtre elemanına yaklaşma

hızları 4 m/s civarında ise de filtre elemanından geçiş hızları 0.03~0.5 m/s arasında değişir. Hava akış yönündeki derinlik 50~90 mm arasında değişir.

Orta verimdeki filtreler;

- 0.7~10 μm çaplı ince cam elyaf ya da sentetik fiberlerden (iplikçiklerden), 13 mm kalınlığa kadar,
- Islak kağıt ağırlıklı ya da örgüsüz ince cam yünü tabakalarından, sıkıştırılmış selüloz ya da pamuktan,
- Nispeten geniş çaplı (30μm'den fazla) dokuma türü olmayan fiberlerden kalın (50 mm'ye kadar) elemanlardan yapılır.

### 4.6.7. Çok yüksek Verimli (HEPA) ve Ultra Düşük Nüfuziyetli (ULPA) Filtreler

Mikrometre altı cam fiber kağıdının derin hacimli kıvrılması ile elde edilen aşkın yüzeyli bir uygulamadır. Bu filtreler 1.3 m/s'ye yakın hızlarda ve direncin 120 Pa'den başlayarak hizmet ömrü içerisinde 500 Pa ve üstüne çıkmasına kadar çalışır. Bu filtreler, temiz odalar, ilaç endüstrisi, nükleer zehirli parçacık uygulamalarında standart elemanlardır.

### 4.6.8. Membranlı Filtreler

Belirli karakteristiklerin, kırılganlık, yüksek direnç ve yüksek maliyet gibi unsurları dengelediği, özel küçük ölçekli uygulamalar ile hava örneklemesinde kullanılırlar. Bunlar bir çok değişik gözenek çapı ve dirençlerde üretilirken, plaka ya da pileli (akordeon) elemanlı olarak yapılırlar.

### 4.6.9. Yenilenebilir Elemanlı Filtreler

Bu filtreler; a) hareketli perdeli viskoz çarptırma filtresi, b) hareketli perdeli kuru elemanlı tamburlu filtre şeklinde iki türde üretilir. Yeni medya filtrenin yüz kısmına elle veya otomatik olarak beslenirken, kirli, kullanılmış eleman alttaki bir tambur üzerine sarılır. Tambur boşaldığında, elmanın kuyruk kısmı avara tambur üzerine sarılır ve tüm tambur atılır. Bundan sonra yeni bir tambur takılır ve çevrim yinelenir.

Hareketli perde biçimindeki filtreler bir motor tahriki ile ilerleyen filtre elemanına sahip olabilirken, motor tahriki bir basınç anahtarı, zamanlayıcı veya filtre elemanı ışık geçirme kontrolü ile çalıştırılır. Bir basınç anahtarı kontrolü, filtre elemanındaki basınç düşümünü ölçerek seçilen alt ve üst sınır ayar noktalarında filtreyi durdurur veya çalıştırır. Bu uyarlama, yalnızca statik basınç sensörleri doğru yerleştirildiğinde ve dış hava damperlerinin konum değiştirmesinden etkilenmediğinde tasarruf sağlar.

Zamanlayıcılar ve filtre elemanı ışık geçirme kontrolleri bu sorunların ortadan kaldırılmasında yardımcı olurken, bunların çalışma çevrimleri genellikle kabul edilebilir bir filtre elemanı tüketimiyle uygun sonuçlar verecek biçimde ayarlanabilir.

Bu değiştirilebilir tambur türü tasarımda, genellikle tamburun boşalmaya yakın bir durumda olduğunu belirten bir sinyal bulunur. Aynı zamanda tahrik motoru, filtrede eleman (media) olmadığında çalışmayacak biçimde uyarlanır. Normal servis gereksinimi, üstten temiz filtre elemanının beslenmesi ve alttaki kirlenen elemanı taşıyan tamburun alınmasını içerir. Bu tasarıma göre yapılmış otomatik filtreler sadece düşey kurulumla sınırlı olmayıp, taze hava ve iklimlendirme birimleri için yatay kurulumlu filtreler de bulunmaktadır. Bu filtrelerde kullanılan yapışkan maddeler viskoz

çarptırma filtreleri ile aynı nitelikte olup, elemanın sıkıştırılmasından kaynaklanan gerilime ve uzun bir depolama süresine dayanmalıdır.

Otomatik viskoz çarptırma filtrelerinin ikinci türü, arada bir yapıştırıcı maddenin bulunduğu tank içerisinden geçen gezer bir perdeye yerleştirilmiş, metal süzgeç panelleri içerir.

Tankta, paneller üzerlerindeki toz yükünü bırakırken aynı zamanda yeni bir yapıştırıcı madde kaplaması elde eder. Böylece paneller, bir yüzde yükselen diğer yüzde aşağı inen sürekli bir perde oluşturur. Medya perdesi, yeni yapışkan madde ile sürekli temizlenir ve tazelenirken, filtre mekanizmasının da ömrünü uzatır. Filtre elamanında bulunan ve tankta toplanan kirlilik unsurlarının düzenli aralıklarla temizlenmesi gerekir.

Bu tür filtrelerin kullanımı Avrupa ve Asya ülkelerinde yaygındır. Otomatik olarak yenilenen viskoz çarptırma filtreleri doğru bir işletim sağlandığı sürece basınç düşümü nispeten sabit kalır. Direnç olarak 100~125 Pa ve maksimum yüzey hızı olarak 2.5 m/s bu sınıfın tipik değerleridir. Nispeten yüksek bir gözeneklilik düzeyindeki, hareketli perdeli, kuru elemanlı tamburlu filtreler, genel havalandırma hizmetleri için örgüsüz kuru eleman kullanırlar. Bunların ortalama yüzey hızları yaklaşık 1 m/s olup, viskoz elemanlı çarptırma filtrelerinden daha düşüktür.

Tekstil değirmenlerinde, çamaşırhanelerde ve kuru temizleme tesislerinde iplikçiklerin yakalanmasında, basım tesislerinde mürekkep sisi ve ipliklerin tutulmasında kullanılmak üzere özel tasarımlı otomatik filtreler de bulunmaktadır. Kullanılan filtre elmanı son derecede ince olup, sadece iplikçiklerin yakalanması için kullanılır ve ikincil olarak filtreleme işlevini yerine getirir. Besleme tamburu kullanılması durumunda kirlenen filtre elemanı atılır. Kuru ipliklerin tutulması için özel olarak tasarlanmış bir diğer

filtre, hareketli bir metal ekranlı perde içerirken, bu eleman üst akım bölgesinden çıktığında bir vakum temizleyici ile otomatik olarak temizlenir. Bu cihazlarda toplanan iplikçiklerin tekrar kullanımı bazen olanaklıdır.

### 4.6.10. Negatif İyonlaştırıcılar

Parçacıkları elektrikle yükleme ilkelerini kullanır fakat parçacık toplama bölümünde kullanılmaz. Birimin toplayıcı bölümüne giren parçacıklar bir yük kazanır ve daha sonra gidiş yolu üzerindeki en yakın topraklanmış plakaya doğru hareket eder. Bir iyonlaştırıcıdan geçerken yüklenen ve tutulmayan parçacıklar, sahip oldukları elektrik yükünü mahalle taşırlar. Eğer bu geniş ölçekte ortaya çıkarsa mahalde, bu yüklü parçacıkları duvarlara ve iç yüzeylere doğru harekete zorlayan bir elektrik yükü oluşur. Buna göre çevresinde yüksek bir kirlilik derişimi içeren yerlerde düşük verimli (ya da doğru çalışmayan) bir elektronik hava temizleyici kullanıldığında, duvarlar bir filtre kullanılmaması durumundakinden daha hızlı kirlenir.

## 4.7. Seçim Kriterleri

Belirli bir uygulamada filtre ve hava temizleyicilerin doğru değerlendirilebilmesi için aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekir:

1. İç ve dış mahalde bulunan kirleticilerin türleri,
2. Kirletici büyüklüğü ve derişimleri,
3. Mahalde gerekli görülen hava temizlik düzeyi,
4. Temizliği sağlamak üzere gerek duyulan filtre verimi,
5. Ekipmanın yerleşimi ve ekipmana ulaşım için yer gereksinimi,
6. Aşağıdakileri içeren yaşam çevrim maliyeti,
   - Çalışma sırasında hava akımına olan direnç (statik basınç farkı),
   - Kirli filtrelerin atılma veya temizleme maliyetleri,
   - Seçilen sistemin satın alma maliyeti,

- Filtre stokunun depolanma ve filtrenin değiştirme maliyeti,

7. En önemlisi çevresel ve yasal gereklilikler.

Tasarruflar (harcamalardaki azalma, değerli mülk ve ekipmanın korunması, üretim işlemleri için tozdan arınmış bir çevre, iyileştirilen çalışma koşulları ve sağlık yararları) kurulum ve işletim maliyetlerine göre değerlendirilmelidir. Sistemin kapasitesi ve fiziksel büyüklüğü, düşük işletme maliyeti gereksinimlerini öne çıkartabilir. Hava temizleme sürekli bir işlem olduğundan işletme maliyeti, tahmin edilen ömür ve verim, satın alma ve kurulum maliyeti kadar önemli hususlardır. Panel filtrelerin verimi, aşkın yüzeyli (zigzag) filtreler kadar yüksek değildir. Hareketli perde filtrelere göre, aynı verimlerdeki panel filtrelerin direncin kabul edilebilir sınırlarda tutulabilmesi için, daha fazla dikkat gerektirir. Buna karşılık, tek kademeli, önden ya da yandan ulaşılan, düşükten ortaya kadar verimli filtreler (%25~50 toz leke ve MERV 6~10), 50 mm pile derinliğinden 300 mm pile derinliğine kadar akordeon filtreler ile torba veya derin kıvrımlı kartuşlu filtreler, daha az hacim gerektiren ve maliyetleri daha düşük elemanlardır. Eğer %60~65 toz lekesi (MERV 11) ya da daha yüksek değerler gerekliyse, aşkın yüzeyli filtreler veya elektronik filtreler düşünülmelidir. Aşkın yüzeyli filtrelerde, çok ince cam fiberinden veya diğer malzemelerden şilte türü eleman kullanımı, bunları yüksek verimde bulabilme olanağı getirmiştir.

Sağduyu ve hava temizleyicilerin nasıl çalıştığı hakkındaki küçük bir bilgi kullananın doyurucu sonuçlara ulaşmasına yardımcı olabilir. Hava temizleyicinin performansı ilk kurulumun yapıldığı zamandan hizmet ömrünün sonuna kadar değişme gösterir. Genelde, medya türü bir filtrenin uzun süre işletimde kalması yüksek verim anlamına gelir. Kirleticilerin filtrede toplanması gözeneklerin tıkanmasına neden olurken, filtre daha küçük parçacıkları tutabilme yeteneği kazanır. Elektronik hava temizleyiciler ve elektrik yüklü medya türü filtreler yeni olduklarında (ya da elektronik hava temizleyiciler durumunda doğru bir servisten sonra) yüksek verimle çalışmaya başlar, fakat

filtrede kirleticiler toplandıkça verim düşer. Özellikle düşük verimliler olmak üzere bazı hava temizleyiciler, servise alındıktan sonra tozları bırakmaya başlar. Standartlaştırılmış sentetik tozla yapılan testlerde bu durumun nedeni bulunabilirse de, bu test filtrenin atmosferik tozdaki verimini nadiren ilk durumuna getirir. Normal kullanımda fiber elemanlı hava filtrelerin iç mahal için bir mikrop kaynağı olması daha az olasıdır ve anti mikrop işlemler filtrenin havadaki biyolojik parçacıklara karşı verimini artırmaz. Tablo 4.3.'de genel olarak filtrelerin CEN ve Eurovent sınıflandırmaları verilmiştir.

*Tablo 4.3.-Filtrelerin CEN / Eurovent Sınıflandırılması*

| **Tip** | **Eurovent sınıfı** | **CEN EN 779** | **Eff. (%)** | **Ölçüm şekli** | **Standart** |
|---|---|---|---|---|---|
| Kaba toz filtreleri | EU1 | G1 | < 65 | Sentetik toz yakalama | ASHRAE 32 - 76 |
| | EU2 | G2 | 65 - 80 | | |
| | EU3 | G3 | 80 - 90 | | Eurovent 4/5 |
| | EU4 | G4 | > 90 | | |
| İnce toz filtreleri | EU5 | F5 | 40 - 60 | Atmosferik toz toplama verimi | BS 6540 DIN 24 185 |
| | EU6 | F6 | 60 - 80 | | |
| | EU7 | F7 | 80 - 90 | | |
| | EU8 | F8 | 90 - 95 | | |
| | EU9 | F9 | > 95 | | EN 779 |
| Yüksek verimli HEPA filtreleri | EU10 | H10 | 85 | sodyum klond veya sıvı buerosol | BS 3928 Eurovent 4/5 DIN 24 185 |
| | EU11 | H11 | 95 | | |
| | EU12 | H12 | 99.5 | | |
| | EU13 | H13 | 99.95 | | |
| | EU14 | H14 | 99.995 | | |
| Ultra düşük geçirgenlikli (ULPA) | EU15 | U15 | 99.9995 | sıvı aerosal | DN 24184 |
| | EU16 | U16 | 99.99995 | | |
| | EU17 | U17 | 99.999995 | | |

## 4.8. Patlama Havalığı

Bir çok toz yanıcı ve belirli konsantrasyonlarda patlayıcıdır. patlayıcı toz ve havanın karışma olasılığı bulunan yerlerde, toz toplama ekipmanı varlıkların yıpranmasını ve insan yaralanmasını azaltıcı biçimde tasarlanmalıdır. Alternatif yaklaşımlar şunlardır: Filtre gövdesini patlamadan kaynaklanan önemli düzeydeki basınç artışına dayanacak biçimde tasarlamak veya bunu patlama kapakları ile donatmak ve bir patlamadan kaynaklanan basınç artışlarını karşılamak için relief damperler kullanılabilir. Amaçları ve sınırlamaları her zaman çok iyi anlaşılmasa da, patlama kapakları toz toplama ekipmanlarının normal seçime-bağlı (optional) elemanlarıdır. NFPA 68-178 *Patlayıcı Havalık Rehberi* bu konuda en fazla başvurulan kaynak olup filtrelerin tasarım, seçim ve satın alması ile ilgili kişilerin ayrıntılı biçimde incelemesi gereken bir doküman olup, özellikle potansiyel patlama tehlikesi içeren tozlara uygulanır. Burada işaret edildiği üzere, patlama havalıklarının amacı bir patlama sırasında ortaya çıkan basıncı tankın (kabın) güvenlik sınırlarının altındaki bir değerle sınırlandırmaktır. Havalıklar istenen herhangi bir basınçta açacak biçimde tasarlanırsa da, atmosfere açma (havalık) sırasında gelişen maksimum basınç havalığın açıldığı basınçtan çok daha yüksektir. NFPA 68-1978 havalandırma sırasında ortaya çıkacak maksimum basınca ilişkin tahminler yapabilmek için monograflar içerir. Örneğin, bir tank hacmi için 3 $ft^2/100\ ft^3$ oranına eşit patlama havalıkları kullanılabilir. 10.34 kPa'lık bir azaltım ile bir patlama havalığı içeren tanktaki maksimum basınç 34.5~69 kPa olacaktır. Havalıklarla donanımlı olsalar da, standart toz kolektörlerinin çoğu düşürülmüş maksimum basınca güvenle dayanmak üzere güçlendirmeyi gerektirirler. Patlama ihtimali olan sistemler kıvılcım sensörü, kıvılcım tutucu gibi ekipmanlarla da donatılabilir. Kıvılcım sensöründen alınacak sinyal ile filtre giriş damperi kapatılıp, fan durdurularak filtrenin zarar görmesi önlenebilir.

# BÖLÜM 5

# ENDÜSTRİYEL FİLTRE SİSTEMLERİ

## 5.1. Giriş

Bir önceki bölümde filtrelerle ilgili genel bilgiler verilmişti. Bu bölümde ise endüstriyel filtrelerle ilgili bilgi verilmiştir. Endüstriyel filtre sistemleri parçacık halindeki maddeler (toz, duman, fiberler) de dahil olmak üzere buharlar ile sağlıksız ve istenmeyen atmosfer yaratan gazları toplayıp ortamdan uzaklaştırır. Egzoz sistemleri ayrıca kullanılabilir malzemeyi geri kazanırken, fabrika ortamının temiz olmasını sağlar ve ayrıca ortamdaki aşırı ısı ve nemi de uzaklaştırır.

## 5.2. Endüstriyel Filtre Sisteminin İşlevleri

Bir çok endüstriyel proseste, gaz akımından ayrılması gereken gaz yada buhar halinde kirleticiler ortaya çıkar. Bu kirleticilerin ortamdan alınması genelde bir sıvı tarafından absorpsiyon yada bir katı tarafından adsorpsiyon yoluyla gerçekleştirilir. Sıcak endüstriyel proseslerden yayındıktan sonra yoğuşarak mikron altı parçacıklar oluşturan düşük buhar basınçlı ve kokulu maddeler iyi tasarlanmış yoğuşturma filtreleri ile kontrol edilebilmektedir.

Bir gaz akımındaki parçacık maddelerin alınmasında kullanılan ekipman bazı gaz kirleticileri tutulabilir. Ayrıca diğer yandan öncelikle gaz kirleticilerin alınması için tasarlanan bu ekipmanın bir dereceye kadar rahatsızlık veren parçacık maddeleri de tutulmalıdır. Bütün durumlarda, gaz temizleme ekipmanı proses akımını değiştirdiğinden, bu değişimlerin işletmenin çalışması üzerindeki etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Endüstriyel gaz temizleme aşağıdaki işlevlerden birini yada daha fazlasını yerine getirir;

- Endüstriyel prosesin hava kirliliği ile ilgili yasa ve düzenlemelere uygunluğunu sağlar,
- Bireyler, ekipman, ürünler ve yakındaki varlıklar üzerinde, kirleticilerden kaynaklanan yıpranmayı ve olumsuzlukları azaltır,
- Temiz gazları prosese hazırlar,
- Kullanılabilir malzemeyi, ısı ya da enerjiyi tekrar kullanıma kavuşturur,
- Yangın, patlama ve diğer tehlikeleri azaltır.

### 5.3. Sistem Seçimine Etki Eden Unsurlar

Endüstriyel gaz temizleme sistemini seçerken, tesisin sağlıklı çalışması ve gaz temizleme ekipmanı tarafından yakalanan kirleticilerin atılması düşünülmelidir. Gaz temizleme ekipmanının maliyeti üretim maliyetlerini etkilediğinden, ekipmanın ürün toplam maliyeti üzerindeki etkilerini azaltmak için daha başlangıçta alternatif prosesler dikkate alınmalıdır. Buna karşılık, gaz temizleme ekipmanının gerekli olması durumunda bile, proses ve sistem kontrolü, toplama sistemi üzerindeki yükü en aza indirmelidir.

Bir endüstriyel proses, kullanılan süreçteki bir maddenin yerine başka bir malzeme ikamesiyle (örneğin daha temiz yakıt kullanarak veya mevcut yakıta bir ön-işlem uygulayarak), kirliden temize dönüştürülebilir. Pnömatik konveyörleri bir kapalı hacim içerisine alarak veya yoğuşturulamayan gazları yeniden işlemleyerek proses daha temiz hale dönüştürülebilir. Bazen, katkı maddeleri uygulamak hava kirliliği potansiyelini azaltabilir yada kirleticinin derişimini artırarak daha küçük bir akımda daha yoğun bir kirletici miktarını işlemlemeyi sağlar. Kirletici içeren gaz akımları, soğutma ya da kirleticileri toplanabilir kılmak üzere yoğuşturmaya gerek olmaksızın, fazla havayla seyreltilmemelidir. Çünkü kontrol ekipmanının satın alma ve işletme maliyetlerinde temizlenecek gaz hacmi birincil önemdedir. Buna göre, kirleticilerin nispeten küçük hava akımları içerisinde derişik biçimde tutulduğu kaynağında yakalamayı amaçlayan kaynak havalandırması, mahal hacminde kirleticilerin daha çok havayla karışmasına ve seyreltilmesine izin verildiği genel havalandırmaya tercih edilir. Buna karşılık, hava temizleme ekipmanı proses akımının ekipmana gireceği gerçek koşullar dikkate alınarak tasarlanmalıdır.

Filtreler genellikle; (1) devlet ve/veya yerel kanuni gereklilikleri karşılamak üzere, (2) kirleticilerin çalışma alanına yeniden girmesini önlemek üzere, (3) kullanılabilir maddeleri yeniden işlemlemek üzere, (4) temizlenen havanın iş ve proses mahallinde resirkülasyonu için, (5) yakındaki malları fiziksel yıpranmadan korumak üzere, (6) komşuları kirleticilere maruz bırakmamak üzere, seçilir.

Bir hava temizleme elemanını seçerken dikkate alınması gereken faktörler, kirleticinin türü (eleman sayısı, parçacıklı ya da gaz ve konsantrasyonu), gerekli kirletici arıtma verimi, ortamdan uzaklaştırma yöntemi ile hava ya da gaz karakteristikleridir.

Ölçme araçlarının çalıştırılmasına özgü basınçlı hava, elektrik ya da su gibi yardımcı sistemler gerekebileceğinden bunlar da ekipman seçimi sırasında düşünülmelidir. Temizleyicilerin basınç kaybı, sistemin toplam basınç hesaplarına dahil edilmelidir. Bazı temizleyicilerde, özellikle fiber örgülü olanlarda işlem süresi arttıkça basınç kaybı da artar. Sistem tasarımı, temizleyicinin maksimum basınç düşümünü dikkate almalıdır, ya da iş çevriminin çoğunda davlumbaz hava miktarlarının azalmasını göze almalıdır.

Egzoz sistemlerinin doğru çalışması için periyodik kontrol ve bakım da çok önemlidir. Sistemler kurulduktan sonra çoğu zaman değiştirilir ya da yıpranmaya uğrayarak düşük hava hızları, yanlış hava debileri ile çalışır. Düşük hava hızları, kirleticilerin kanallarda çökmesi ve kanalı tıkayarak bundan etkilenen kanallarda düşük hava debilerine neden olur. Örneğin sisteme yeni davlumbazların eklenmesi ilk davlumbazın orijinal hava debisini değiştirebilir. Bu durumda değişen hava hacmi nedeniyle iş-görenin kirli havaya maruz kalma süresi ve sağlık riskleri artar. Bakım programı; (1) kanalların parçacık toplaması, erozyon ve fiziksel yıpranmalar yönünden kontrolünü, (2) egzoz davlumbazlarının doğru bir debiyle çalışıp çalışmadığının ve fiziksel durumunun kontrolünü, (3) fan tahrik elemanlarının kontrolünü, (4) hava temizleme ekipmanının üretici talimatlarına uygun bakım ve temizliğinin kontrolünü vb. içermelidir.

## 5.4. Toplayıcı Filtre Performansı

Parçacık toplayıcıları gaz akımlarından tutarak ayırabildikleri parçacık madde miktarı ile ve seçilen parçacık büyüklüklerindeki yayınımları azaltma yetenekleri yönünden değerlendirilebilir. Bir gaz akımında parçacık maddelerin ayrılma düzeyi bir toplayıcının verimi olarak bilinirken, toplama işleminden kurtulan parçacık yüzdesi nüfuziyet olarak adlandırılır. Seçilen bir parça büyüklüğü aralığında, parçacık maddenin azalmasına parçacık toplayıcının oransal/yüzde verimi denir. Bir toplayıcının verimi η toplayıcıya giren ve çıkan madde miktarının yüzdesi olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\eta=100(w_i-w_0)/w_i=100w_c/w_i \quad (5.1)$$

Burada;

η=toplayıcının verimi,%

$w_i$= toplayıcıya giren gaz akımındaki kirletici akış miktarı, kg/Nm$^3$/h

$w_o$=toplayıcıdan çıkan gaz akımındaki kirletici akış miktarı, kg/Nm$^3$/h

$w_c$=toplayıcı tarafından tutulan kirletici akış miktarı, kg/Nm$^3$/h

Bir toplayıcının verimi, giren ve çıkan parçacık maddenin derişimi ile de ifade edilebilir. Ancak sızıntılar, Yoğuşma, sıcaklık ve basınçtaki değişmeler nedeniyle hava akımında farklılıklar olabileceğinden, bu ifade yeterli değildir. Bu bağlamda bir parçacık toplayıcısının **nüfuziyeti P**, ölçülürse verim aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$P= 100w_o/w_i \quad (5.2)$$

$$\eta=100-P \quad (5.3)$$

Bir parçacık toplayıcısının oransal verimi, seçilmiş parça büyüklüklerinde, kolektöre giren ve çıkan parçacık kütlesel miktarları ölçülerek belirlenir. Endüstriyel uygulamalarda oransal verimin ölçülmesi ile ilgili yöntemler henüz yeni ortaya çıkmaya başlamış olup, bunun nedeni önemli ölçüde, filtrelerin ince parçacıkları tutma performansının çevre havası kalite

düzenlemeleri ile karşılaştırma gereğidir. Tablo 5.1'de parçacık büyüklüğüne göre toplayıcı (filtre) tipleri verilmektedir.

*Tablo 5.1. Toz büyüklüğü ve filtre tipleri*

| Ayırıcı Tip | Minimum tane boyutu, Mikron |
|---|---|
| **Yerçekimi** | 200 |
| **Atalet (oda tipi)** | 50 - 150 |
| **Santrifüj** | |
| **Büyük çaplı siklon** | 40 - 60 |
| **Küçük çaplı siklon** | 20 - 30 |
| **Minyatür siklon** | 10 - 15 |
| **Scrubber** | 0.5 - 2.0 |
| **Elektrostatik filtre** | 0.01 - 1.0 |

## 5.5. Endüstriyel Toplayıcı Tipleri

Tablo 5.2'de filtrelerin performansları tipik ekipmanlar için karşılaştırılmaktadır. Tablo 5.3 'de ise endüstriyel uygulamalarda kullanılan toplayıcı (kolektör) türleri özetlenmiştir. Tablolar incelendiğinde, torbalı filtrelerin endüstriyel uygulamalarda giderek yaygınlık kazandığı görülür. Çünkü tablolarda görüldüğü üzere emisyon tutma kapasitesi %99,9 civarındadır. Ayrıca ıslak filtrelere ve elektrostatik filtrelere göre daha az bakım gerektirmektedir. Diğer yandan ıslak filtreler ayrıca fazla miktarda su tüketirler. Suyun arıtılması da ayrı bir problemdir, emisyon tutma verimleri ise %95'i geçmez.

Filtreleme sistemlerinde yeni teknolojik gelişmeler de söz konusudur. Örneğin çelik fabrikalarında emisyonların azaltılması için oksidasyon yöntemi kullanılabilmektedir. Burada hidrojen peroksit ve ozon kullanılarak gazların içindeki organik bileşikler okside edilir. İleri oksidasyon teknikleri ile dökümhanelerde enerjinin ve emisyonların azaltılması mümkün olabilmektedir. Benzer şekilde torbalı filtrelerde torba boylarının optimizasyonu, otomasyon sistemlerindeki gelişmeler sistemlerinin daha verimli çalışabilmelerini sağlamaktadır.

*Tablo 5.2. Gaz temizleme ekipmanlarının performans değerleri*

| Parçacık toparlayıcısının türü | Parçacık Çapı (a) | Mak. Yüklemee g/m3 | Toplama Verimi Kütlesel% | Basınç Kaybı | | Enerji şirketleri m3/s başına (gaz) | Karşılaştırmalı enerji gereksinimi | Yüzey Hızı(b) m/s | Kapasite m3/s | Gerekli Yer (bağıl) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Gaz(pa) | Sıvı(kPa) | | | | | |
| Kuru-atalete çalışan toplayıcılar | | | | | | | | | | |
| Durulma odası | >40 | >10 | 50 | 25~125 | - | - | 1 | 1.5~3 | yok | Geniş |
| Perdeleme kabini | >20 | >10 | 50 | 125~625 | - | - | 1.5 | 5.0~10 | yok | Orta |
| Köpürtme odası | >20 | >2 | 70 | <250 | - | - | 3 | 10~20 | 25 | Küçük |
| Panjur | >10 | >2 | 80 | 75~500 | - | - | 1.5~6 | 10~20 | 15 | Orta |
| Siklon | >15 | >2 | 85 | 125~750 | - | - | 1.5~9 | 10~20 | 25 | Orta |
| Çoklu siklon | >5 | >2 | 95 | 500~2500 | - | - | 6~20 | 10~20 | 95 | Küçük |
| Çarptırma | >10 | >2 | 90 | 250~500 | - | - | 3~6 | 10~20 | yok | Küçük |
| Dinamik | >10 | >2 | 90 | Basınç sağlar | | 0.75~1.5kW | 10~20 | - | 25 | Orta |
| Elektrostatik Filtreler (ESP) | | | | | | | | | | |
| Yüksek gerilimli | >0.01 | >0.2 | 99 | 50~125 | | 0.1~0.6 kW | 0.8~2.0 | 0.3~2.0 | 5~940 | Geniş |
| Düşük gerilimli | >0.001 | 1 | 90~99 | 50~251 | | 0.03~0.06 kW | 0.5~1.0 | 1.0~3.5 | 0.5~50 | Orta |
| Torbalı filtreler | | | | | | | | | | |
| Torba türü | >0.08 | >,1 | 99 | 500~1500 | - | - | 6.0~20 | 0.005~0.1 | 95 | Geniş |
| Kartuş türü | >0.05 | >0,2 | 99 | 500~2000 | - | - | - | 0.0025~0.025 | 20~25 | |
| Yaş tolayıcılar | | | | | | | | | | |
| Yerçekimsel-sprey | >10 | >2 | 70 | 25~250 | 140~690 | 70~270L/s | 5.0 | 0.5~1 | 50 | Orta |
| Santrifüj | >5 | >2 | 90 | 500~2000 | 140~690 | 0.14~1.4L/s | 12~26 | 10~20 | 50 | Orta |
| Çarptırmalı | >5 | >2 | 95 | 500~2000 | 140~690 | 0.14~0. 7L/s | 9.0~31 | 15~30 | 50 | Orta |
| Paket yataklı | >5 | >0.2 | 90 | 125~2500 | 35~210 | 0.7~70L/s | 4.0~34 | 0.5~1.5 | 25 | Orta |
| Dinamik | >2 | >2 | 95 | Basınç sağlar | 35~210 | 2. 25~15kW 0.14~0. 7L/s | 300~200 | 15~20 | 25 | Küçük |
| Dalma orifis | >2 | >0.2 | 90 | 500~1500 | yok | Pompalama yok | 9.0~21 | 15 | 25 | Orta |
| jet | >2 | >0.2 | 90 | Basınç sağlar | 345~610 | 7~14L/s | 15~30 | 10~100 | 50 | Küçük |
| Venture | >0.1 | >0.3 | 95~99 | 2500~15000 | 70~210 | 0. 4~1.4L/s | 15~300 | 60~210 | 50 | Küçük |

Kaynak: IGCI (1964) bilgiler ASHRAE Teknik Komite 5.4 tarafından güncellenmiştir.
(a) Cihazın etkili olduğu en küçük parçacık büyüklüğü
(b) Ekipmanın toplama bölgesinden geçen gazların ortalama hızı.

*Tablo 5.3. Endüstride Kullanılan Filtreler*

| İşletim | Derişim | Parça Büyüklüğü | Siklon | Yüksek Verimli Santrifüj | Dönel Santrifüj Buhar | Islak Kollektörler | | Kendini Temizleyen Kumaş Filtre | Atılabilir Elemanlı Filtre | Elektrostatik Toplayıcılar | | Notlar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Orta Basınç | Yüksek enerji | | | Yüksek Gerilim | Düşük Gerilim | |
| **Seramikler** | | | | | | | | | | | | |
| a. Ham madde işlemleme | Hafif | İnce | Nadiren | Seyrek | V/Y | Sıklıkla | V/Y | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | 1 |
| b. Düzeltme-cilalama | Hafif | İnce-Orta | Nadiren | Bazen | V/Y | Sıklıkla | V/Y | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | 2 |
| c. Refrakter boyutlandırma | Ağır | Kaba | Seyrek | Bazen | V/Y | Sıklıkla | Nadiren | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | 3 |
| d. Cam ve vitray emaye spreyi | Orta | Orta | V/Y | V/Y | V/Y | Genellikle | V/Y | Bazen | V/Y | V/Y | V/Y | - |
| e. Cam ergitme | Hafif | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | Bazen | V/Y | Bazen | V/Y | Genellikle | V/Y | - |
| f. Hammadde ergitme | Hafif | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | Sık | Sık | V/Y | Sık | V/Y | - |
| g. Fiberglas biçimlendirme ve düzeltme | Hafif | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | Bazen | V/Y | V/Y | Nadiren | Genellikle | V/Y | - |
| **Kimyasal maddeler** | | | | | | | | | | | | |
| a. Malzeme işlemleme | Hafif-Orta | İnce-Orta | Bazen | Sıklıkla | V/Y | Sıklıkla | Sıklıkla | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | 4 |
| b. Kırma, öğütme | Orta-Ağır | İnce-Orta | Sık | Sıklıkla | V/Y | Sıklıkla | Bazen | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | 5 |
| c. Pnömatik taşıma | Çok Ağır | İnce-Orta | Genellikle | Bazen | V/Y | Nadiren | Nadiren | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 6 |
| d. Kavurucular, fırınlar, soğutma | Ağır | Orta-Kaba | Bazen | Genellikle | V/Y | Genellikle | Sıklıkla | Nadiren | V/Y | Sık | V/Y | 7 |
| e. Yağ yakıt yakma | Hafif-Orta | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | Sıklıkla | Nadiren | V/Y | Sıklıkla | V/Y | 8 |
| **Kömür çıkarma işleme** | | | | | | | | | | | | |
| a. Malzeme işlemi | Orta | Orta | Nadiren | Bazen | V/Y | Bazen | V/Y | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 9 |
| b. Bunker havalandırması | Orta | İnce | Bazen | Sıklıkla | V/Y | Bazen | V/Y | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 10 |
| c. Toz alıcı havalandırma | Ağır | Orta-Kaba | Bazen | Sıklıkla | V/Y | Bazen | V/Y | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 11 |
| d. Kurutma | Orta | İnce | Nadiren | Bazen | V/Y | Sıklıkla | Bazen | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | 12 |
| **Yanma Uçucu Külü** | | | | | | | | | | | | |
| a. Kömür yakma | | | | | | | | | | | | |
| Zincir Külban | Hafif | İnce | V/Y | Nadiren | V/Y | V/Y | V/Y | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | 13 |
| Dağıtıcı stoker | Orta | İnce-Kaba | Nadiren | Nadiren | V/Y | V/Y | V/Y | Sıklıkla | V/Y | Nadiren | V/Y | 14 |
| Pulverize kömür | Ağır | İnce | V/Y | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | Sıklıkla | V/Y | Genellikle | V/Y | 14 |
| Akışkan yataklı | Orta | İnce | Genellikle | - | V/Y | - | - | Sıklıkla | V/Y | Sıklıkla | V/Y | - |
| Kömür cürufu | Hafif | - | | | V/Y | - | - | Sık | V/Y | Sık | V/Y | - |
| b. Atık Ahşap | Değişir | Kaba | Genellikle | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | Bazen | V/Y | Sık | V/Y | 15 |
| c. Belediyesel atıklar | Hafif | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | Bazen | V/Y | Genellikle | V/Y | Sıklıkla | V/Y | - |
| d. Yayakıt | Hafif | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | Genellikle | V/Y | Sık | V/Y | - |
| e. Biyo-kütle | Orta | İnce-Kaba | V/Y | V/Y | V/Y | Bazen | V/Y | Genellikle | V/Y | Sıklıkla | V/Y | - |
| **Döküm hane** | | | | | | | | | | | | |
| a. Sallama | Hafif-Orta | İnce | Nadiren | Nadiren | V/Y | Nadiren | Seyrek | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 16 |
| b. Kum işlemleme | Orta | İnce-Orta | Nadiren | Nadiren | V/Y | Genellikle | V/Y | Nadiren | V/Y | V/Y | V/Y | 17 |
| c. Elek değirmen | Orta | Orta-Kaba | V/Y | V/Y | V/Y | Sıklıkla | V/Y | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 18 |
| d. Abrasiv temizleme | Orta-Ağır | İnce-Orta | V/Y | Bazen | V/Y | Sıklıkla | V/Y | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 19 |
| **Tahıl asansörleri, un ve besin değirmenleri** | | | | | | | | | | | | |
| a. Tahıl işlemleme | Hafif | Orta | Genellikle | Bazen | V/Y | Nadiren | V/Y | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | 20 |
| b. Tahıl kurutma | Hafif | Kaba | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | Not 20'ye bak | V/Y | V/Y | V/Y | 21 |
| c. Un tozu | Orta | Orta | Nadiren | Sık | V/Y | Bazen | V/Y | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 22 |
| d. Besleme değirmeni | Orta | Orta | Sık | Sık | V/Y | Bazen | V/Y | Sıklıkla | V/Y | V/Y | V/Y | 23 |
| **Metal Ergitme** | | | | | | | | | | | | |
| a. Çelik fırını | Ağır | Değişken | Sıklıkla | Nadiren | V/Y | Sıklıkla | Sıklıkla | V/Y | V/Y | Sıklıkla | V/Y | 24 |
| b. Çelik açık-kalp temel oksijen fırını | Orta | İnce-Kaba | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | Sık | Nadiren | V/Y | Sıklıkla | V/Y | 25 |
| c. Çelik elektrikli fırınları | Hafif | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | V/Y | Bazen | Genellikle | V/Y | Nadiren | V/Y | 26 |
| d. Demir kupolü | Orta | Kaba | V/Y | V/Y | V/Y | Sıklıkla | Sık | Sıklıkla | V/Y | Bazen | V/Y | 27 |
| e. Demir-dışı fırın | Değişir | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | Nadiren | Bazen | Genellikle | V/Y | V/Y | V/Y | 28 |
| f. Demir-dışı malzeme depolama | Hafif | İnce | V/Y | V/Y | V/Y | Nadiren | Nadiren | Bazen | V/Y | V/Y | V/Y | 29 |

V/Y=Veri Yok

*Tablo 5.3. Endüstride Kullanılan Filtreler (devam)*

| İşletim | Derişim | Parça Büyüklüğü | Siklon | Yüksek Verimli Santrifüj | Dönel Santrifüj Buhar | Islak Kollektörler | | Kendini Temizleyen Kumaş Filtre | Atılabilir Elemanlı Filtre | Elektrostatik Toplayıcılar | | Notlar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Orta Basınç | Yüksek enerji | | | Yüksek Gerilim | Düşük Gerilim | |
| **Metal Madencilik ve Kaya Ürünleri** | | | | | | | | | | | | |
| a. Malzeme işlemleme | Orta | İnce-orta | Nadiren | Bazen | U/D | Genelde | ÇF/D | Oldukça | U/D | ÇF/D | U/D | 30 |
| b. Kurutucular, fırınlar | Orta | İnce-kaba | Sıklıkla | Bazen | U/D | Sıklıkla | Bazen | ÇF/D | U/D | Bazen | U/D | 31 |
| c. Çimento kaya kurutucusu | Orta | İnce-orta | U/D | Frequent | U/D | Bazen | Nadiren | ÇF/D | U/D | Bazen | U/D | 30 |
| d. Çimento kurutucu | Ağır | İnce-orta | U/D | Frequent | U/D | Nadiren | ÇF/D | Genelde | U/D | Genelde | U/D | 32 |
| e. Çimento öğütme | Orta | İnce | U/D | Nadiren | U/D | ÇF/D | ÇF/D | Genelde | U/D | Nadiren | U/D | 33 |
| f. Çimento çırpma soğutucusu | Orta | Kaba | U/D | Bazen | U/D | ÇF/D | ÇF/D | Bazen | U/D | ÇF/D | U/D | 34 |
| **Metal İşleme** | | | | | | | | | | | | |
| a. Taşlama, kazıma fırçalama, abrasive kesme | Hafif | Kaba | Bazen | Sıklıkla | U/D | Oldukça | ÇF/D | Oldukça | U/D | ÇF/D | U/D | 35 |
| b. Planyalama | Hafif | Orta | Nadiren | Nadiren | U/D | Sıklıkla | ÇF/D | Oldukça | U/D | ÇF/D | U/D | - |
| c. Parlatma, perdahlama | Hafif | Değişir | Sıklıkla | Sıklıkla | U/D | Sıklıkla | ÇF/D | Nadiren | U/D | ÇF/D | U/D | 36 |
| d. Tezgah atelyesi | Hafif | İnce | Sıklıkla | Sıklıkla | U/D | Sıklıkla | ÇF/D | Sıklıkla | U/D | ÇF/D | U/D | 37 |
| e. Demir döküm tesviyesi | Orta | Değişir | Nadiren | U/D | U/D | Oldukça | ÇF/D | Oldukça | U/D | ÇF/D | U/D | 38 |
| f. Çelik, alüminyum, pirinç tesviyesi | Hafif-orta | 1 µm duman-katılar | U/D | U/D | Sıklıkla | Bazen | ÇF/D | Bazen | Sıklıkla | ÇF/D | Sıklıkla | 39 |
| g. Kaynak | Hafif-orta | 1 µm duman-katılar | U/D | U/D | U/D | Bazen | ÇF/D | Sıklıkla | Sıklıkla | Nadiren | Bazen | 40 |
| h. Plasma ve laserle kesme | Orta | Orta | U/D | U/D | U/D | Bazen | ÇF/D | Sıklıkla | Nadiren | U/D | ÇF/D | 41 |
| i. Laser kaynağı | Orta | Orta | U/D | U/D | U/D | Bazen | ÇF/D | Sıklıkla | Nadiren | U/D | ÇF/D | 41 |
| j. Abrasiv tesviye işlemleri | Orta-ağır | 1 µm | U/D | U/D | Bazen | Bazen | ÇF/D | Nadiren | Sıklıkla | U/D | Nadiren | 39 |
| k. Freze, torna, kesme işlemleri | Hafif-orta | 1 µm | U/D | U/D | Sıklıkla | Bazen | ÇF/D | U/D | Sıklıkla | U/D | Sıklıkla | - |
| l. Tavlama, ısıl işlem, indiksiyon ısıtma,su verme | Orta-ağır | 1 µm | U/D | U/D | U/D | Nadiren | ÇF/D | U/D | Nadiren | U/D | Sıklıkla | - |
| **Eczacılık ve Besin ürünleri** | | | | | | | | | | | | |
| a. Karıştırıcı,taşlama, harmanlama, paketleme | Hafif | Orta | Nadiren | Sıklıkla | U/D | Sıklıkla | ÇF/D | Sıklıkla | Bazen | ÇF/D | ÇF/D | 42 |
| b. Kaplama kazanları | Değişir | İnce-orta | Nadiren | Nadiren | U/D | Sıklıkla | ÇF/D | Sıklıkla | Nadiren | ÇF/D | ÇF/D | 43 |
| **Plastikler** | | | | | | | | | | | | |
| a. Ham madde işlemleme | (Kimyasallar başlığındaki notlara bakınız) | | | | | | | | | | | 44 |
| b. Plastik bitirme işlemleri | Hafif-orta | Değişir | Sıklıkla | Sıklıkla | U/D | Sıklıkla | ÇF/D | Sıklıkla | Nadiren | ÇF/D | ÇF/D | 45 |
| c. Dökme, çekme, kimyasal işlemleme | Hafif-orta | 1 µm duman | U/D | U/D | U/D | Nadiren | ÇF/D | U/D | Bazen | ÇF/D | Oldukça | 46 |
| **Kağıt hamuru ve kağıt** | | | | | | | | | | | | |
| a. Geri-kazanım kazanları | | | | | | | | | | | | |
| Direkt temas | Ağır | Orta | ÇF/D | ÇF/D | U/D | ÇF/D | ÇF/D | Bazen | U/D | Genelde | U/D | - |
| Düşük kokulu | Ağır | Orta | ÇF/D | ÇF/D | U/D | ÇF/D | ÇF/D | Bazen | U/D | Genelde | U/D | - |
| b. Kireç fırınları | Ağır | Kaba | ÇF/D | ÇF/D | U/D | ÇF/D | ÇF/D | Sıklıkla | U/D | Sıklıkla | U/D | - |
| c. Ahşap-talaşı kurutma | Değişken | İnce-kaba | ÇF/D | ÇF/D | U/D | ÇF/D | ÇF/D | Bazen | U/D | Sıklıkla | U/D | |
| **Lastik ürünleri** | | | | | | | | | | | | |
| a. Karıştırıcılar | Orta | İnce | U/D | U/D | U/D | Sık | ÇF/D | Genelde | Nadiren | ÇF/D | ÇF/D | 47 |
| b. Gruplandırma | Hafif | İnce | U/D | U/D | U/D | Genel | ÇF/D | Sıklıkla | U/D | ÇF/D | Nadiren | 48 |
| c. Pudralama ve pudra temizleme | Orta | Orta | U/D | U/D | U/D | Sık | ÇF/D | Genelde | Nadiren | ÇF/D | ÇF/D | 49 |
| d. Taşlama, öğütme | Orta | Kaba | Sıklıkla | Sıklıkla | U/D | Sık | ÇF/D | Sıklıkla | Nadiren | ÇF/D | ÇF/D | 50 |
| e. Kalıplama, çekme, kimyasal işlem | Hafif-orta | 1 µm duman | U/D | U/D | U/D | Nadir | ÇF/D | U/D | Bazen | ÇF/D | Oldukça | 46 |
| **Sunta ve Kontraplak üretimi** | | | | | | | | | | | | |
| a. Parçacık kurutucuları | Orta | İnce-kaba | Bazen | Nadiren | U/D | Sık | Bazen | Nadiren | U/D | Bazen | Nadiren | 51 |
| **Ahşap-işleri** | | | | | | | | | | | | |
| a. Ahşap makineleri | Orta | Değişir | Bazen | U/D | U/D | Nadiren | ÇF/D | Sıklıkla | U/D | ÇF/D | U/D | 52 |
| b. Kumlama | Orta | İnce | Sıklıkla | U/D | U/D | Bazen | ÇF/D | Sıklıkla | Nadiren | ÇF/D | U/D | 53 |
| c. Atık taşıma, iletme | Ağır | Değişir | Bazen | Nadiren | U/D | Bazen | ÇF/D | Bazen | U/D | ÇF/D | U/D | 54 |

Kaynak Kane ve Allen (1982) ASHRAE Teknik Komite 5.4 tarafından güncellenmiştir.

# BÖLÜM 6

# DAVLUMBAZLAR

## 6.1. Giriş

Toz emisyonlarının ve kirli gazların filtre sistemine girdiği bölüm genellikle davlumbazlardır. Davlumbazlar endüstriyel toz toplama sistemlerinin en önemli bileşenlerindendir. Çünkü mahalden yeterli emişin yapılabilmesinin temel unsurlarından birisidir. Yanlış seçilen bir davlumbazdan kaynaklanan hatayı sistemin diğer bileşenleri dengeleyemez. Bu bölümde davlumbazlardan kaynaklanabilen sorunlar emişin yetersizliği, yüksek ilk yatırım, enerji maliyetleri ve muhtemelen yetersiz emisyon kontrolü şeklindedir.

## 6.2. Davlumbaz Tasarımının İlkeleri

Kirleticilerin kontrolü ve yakalanması davlumbazı vasıtasıyla egzoz kanalına doğru hava akımı ile gerçekleştirilir. Davlumbaz açıklığına doğru olan hava akımının, mahalde kirletici kontrolü için yeteri kadar yüksek olması ve/veya davlumbaz alanının yeterince büyük olması gerekmektedir. Öte yandan harici (çevre) hava akımı davlumbazın emdiği hava akımını bozabilir. Bu bozulmayı önlemek için daha yüksek hava akımları gerekebilir. Bu ise ilk yatırım ve enerji maliyetlerinin artması anlamına gelir. Bu nedenle prosese ve kirlilik yaratan partiküllerin cinsine uygun davlumbaz seçimi çok önemlidir. Harici hava kaynaklarının azaltılması, gereğinden fazla hava akımının getireceği maliyete gerek duyulmaksızın etkin bir kontrolün başarılmasında önemli bir faktördür. Hava hareketine ilişkin önemli kaynaklar aşağıdaki gibidir;

- Isıl hava akımları, özellikle sıcak proseslerden veya ısı üreten işlemlerden,
- Taşlama diski, bantlı konveyörler gibi makine hareketlerinden,
- Malzeme hareketleri, yığma veya tank doldurma,
- Operatörün hareketleri,

● Noktasal ısıtma veya soğutma ekipmanından kaynaklanan hızlı hava akımları,
şeklinde değerlendirilebilir. Meskun mahallerde hava akımları (genellikle 50 fpm (0.25 m/s) alınırsa da fabrikalarda çok daha yüksek olabilmektedir),

Davlumbazın şekli, büyüklüğü, yeri ve hava debisi en önemli tasarım düşünceleridir. Çoğu endüstriyel havalandırma tasarımlarında, yerel egzoz yoluyla çekilen hava dış ortama ya da yeniden iş ortamına verilmeden önce filtre edilir. Bu sistemler filtre verimleriyle değerlendirilir. Buna karşılık etrafa yayınım söz konusu olursa ayırma (filtre) derecesi hemen hemen etkisiz olduğu söylenebilir.

Davlumbazların verimliliklerine ilişkin parametreler aşağıda verilmiştir.

**Yakalama verimi:** Bir egzoz sisteminin kirlilik yakalama verimi, davlumbaz tasarımına, kirlilik kaynağına göre davlumbazın konumuna (davlumbaz kirlilik kaynağına ne kadar yakın ise verim o denli yüksek olur) ve egzoz hava akımı debisine bağlıdır. Davlumbazın seçimi ve konumlandırılması, hem lokal hem de genel havalandırmanın kurulum ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde etkiler. **Ayrıca kötü tasarlanmış ve yetersiz bakım uygulanmış egzoz sistemleri ekipmanların yıpranmasına, olumsuz sağlık etkilerine ve işgörenin üretkenliğinde azalmaya neden olur.** Ancak kirletici maddeleri ve ısıyı yakalamakta kullanılan hiç bir egzoz sistemi %100 verimli değildir. Ayrıca bazı durumlarda lokal egzoz sistemlerinin kurulumu olanaksız olabilmektedir. **Bu gibi durumlarda kirleticilerin ve ısının seyreltilmesi için genel havalandırmaya gerek olabilir.** Genel havalandırma sistemi ile sağlanan hava, genellikle ısıtılır ve gerektiğinde iklimlendirme de uygulanabilir. Besleme havası, lokal ve genel egzoz sistemleri ile mahalden çekilen havanın yerine taze hava vererek mahaldeki konfor iyileştirilebilir.

**Çekme (yakalama, kapma) hızı:** Davlumbazın tetiklediği havanın kirleticiyi yakalaması ve taşıması için gerekli minimum hıza yakalama hızı adı verilir. Bu hız, davlumbaz hava debisinin ve davlumbaz düzenleme biçiminin sonucu olarak ortaya çıkar ve çok önemlidir. İstisnai olarak, çok yüksek hava hızına sahip olanlar (örneğin: dökümhanelerdeki büyük, yandan çekişli, sarsıntılı davlumbazlar), düşük hava debileri gerektirebilir. Bu durumun nedenleri aşağıdakiler olabilir;

- Davlumbaza doğru hareket eden geniş bir hava kütlesinin varlığı,
- Kirleticinin davlumbazın etkisi altında kaldığı sürenin, küçük davlumbaz durumundakinden daha uzun olması,
- Geniş hava miktarlarının seyreltim işleminin maliyetini kaldırabilmesi,

Yakalama hızı bir kirlilik üretim noktasında davlumbaz üst akım bölgesindeki hava hızıdır. Kirletici, üretim noktasında hareketli hava akımına girer ve havayla birlikte davlumbaza taşınır. Tasarımcılar davlumbaza iletilecek hava miktarını hesaplamak için $V_c$ çekme hızını kullanır. Tablo 6.1'de endüstriyel işlemlerde kullanılması gereken çekme hızı aralıkları verilmiştir. Bu değerler başarılı deneyimlere dayanmaktadır. Davlumbazın çekme hızı ve davlumbazın kaynağa göre konumu bilindiğinde, davlumbazın çekeceği hava miktarı hesaplanabilir. Özel davlumbazlar için hız dağılımlarının bilinmesine gerek vardır.

*Tablo 6.1. Çekme (kontrol) hızları aralığı.*

| **Kirliliğin Yayılma Koşulu** | **Örnek** | **Yakalama Hızı, m/sn** |
|---|---|---|
| Durgun hava içerisine pratik olarak hızı olmaksızın saçılmış | Tanklardan buharlaşma,yağların buharlaşması vb. | 0.25-0.5 |
| Nispeten durgun olan hava içerisine düşük bir hızla saçılmış | Sprey boyama kabinleri; aralıklı tank doldurma; düşük hızlı konveyor iletimi; kaynak; kaplama;asitle yüzey dağlama | 0.5-1.0 |
| Hızlı hava hareketi olan zon'a etkin üretim | Dar kabinlerde sprey boya; fıçı doldurma, konveyör yükleme, kırıcılar. | 1.0-2.5 |
| Çok hızlı hava hareketi olan bir zon'a yüksek bir ilk hız ile dağılma | Taşlama, aşındırıcı yüzey temizleme | 2.5-10 |

| Yukarıdaki her bir kategoride; yakalama hızaı aralığı gösterilmiştir. Değerlerin doğru biçimde seçilmesi birkaç faktöre bağlıdır: | |
|---|---|
| Aralığın Düşük Değer Ucu | Aralığın Yüksek Değer Ucu |
| 1.Yakalama için, oda hava akımları minimal veya istenen düzeyde | 1.Odadaki hava akımlarını bozan etkenler |
| 2.Düşük zehirlilik düzeyindeki kirletici veya çok düşük değerde kirletici | 2.Yüksek zehirlilikte kirletici |
| 3.Aralıklı, düşük üretim | 3.Yüksek üretim, ağır kullanım |
| 4.Geniş davlumbaz hareketli geniş bir hava kütlesi | 4.Küçük davlumbaz-sadece lokal kontrol |

Egzoz yoluyla ortamdan çekilen havayı ikame etmek amacıyla mahale yeterli miktarda taze hava verilmelidir. Bu hava dış ortam sıcaklığı, toz, nem kabul edilebilir düzeyde ise doğal havalandırma ile, değil ise mekanik havalandırma ile sağlanabilir. Buna değişim havası adı verilir ve eğer değişim havası yeterli düzeyde olmazsa lokal atmosferik basınca göre mahal negatif basınç sergiler. Negatif basınç, açık kapılardan, pencere aralıklarından ve yakma ekipmanı havalıklarından dış mahal havasının içeri sızmasına[1] neden olur. Çok küçük (örneğin 12 Pa kadar) negatif basınç bile çekmeye ve yakma ekipmanı havalandırma kanalında sağlık açısından tehlikeli geri tepmelere neden olabilir. Ayrıca atölyenin çevresel kısımlarına yakın yerlerde çalışan iş görenler soğuk hava çekmelerinden şikayet ettiğinde, çoğu zaman ısıtıcılar yerleştirilir. Bu ısıtıcıların verdiği ısı, enfiltrasyon havasının hızı nedeniyle genellikle atölyenin içerilerine doğru çekilir ve iç kısımların aşırı ısınmasına sebep olur. Çoğu zaman bu aşırı ısınmanın karşılanması için mahalden biraz daha fazla miktarda egzoz edilen hava, daha fazla negatif basınç ve daha fazla enfiltrasyonu da beraberinde getirir. Negatif atölye basınçları, lokal egzoz verimini azaltabilen yüksek akış direnci yaratarak egzoz volumetrik hava miktarını azaltır.

### 6.3. Davlumbaz Debisinin (Hacimsel Debi) Belirlenmesi

Davlumbazın herhangi bir noktasındaki yakalama hızı geometrik yüzeyden geçen davlumbaz debisi ile belirlenir. Teorik olarak söz konusu nokta, merkezi emme noktası olan kürenin merkezinde bulunur. Bir kürenin yüzey alanı $A=4\pi X^2$ ile verilir. Hız için $v = \dot{V} / A$ eşitliği kullanarak (eşitlik 6.1) kürenin yüzeyinde bulunan X noktasındaki emme debisi aşağıdaki gibi belirlenir.

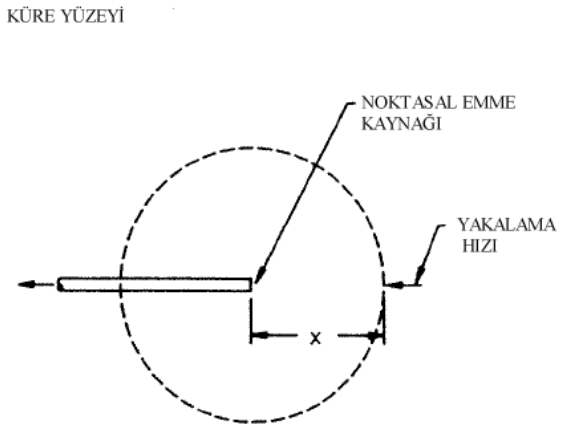
$$\dot{V} = v(4\pi X^2) \qquad (6.1)$$

Burada;

$\dot{V}$ = emme noktasındaki hava debisi, $m^3/sn$

v= X uzaklığında küre yüzeyindeki hız, m/sn

[1] infiltration




*Şekil 6.1. Noktasal emme kaynağı.*

$A=(4\pi X^2)$= Kürenin alanı, $m^2$

X= küre yarı-çapı, m

Benzer biçimde çevrelenmemiş bir çizgisel kaynak düşünülürse, yüzey bir silindir ve akış debisi (etkiler ihmal edilirse) aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\dot{V}=\nu(2\pi XL)=6{,}28x\nu xL \qquad (6.2)$$

Burada;

L=çizgisel kaynağın uzunluğu, m,

X= kaynağa olan uzaklık, m şeklindedir.

Eşitlik 6.1 ve 6.2 teorik bir temelde uzaklık, debi ve yakalama hızı arasındaki ilişkileri vermekte olup bunlar kabaca hesaplama amacıyla kullanılabilir. Gerçek uygulamada, emme kaynakları noktasal veya çizgisel değil, genellikle yüzeyin düzenli geometrik şekillerden ayrıldığı fiziksel boyutlara sahiptir. Hız sınırları deneysel yoldan belirlenmiştir. Yuvarlak ve genelde dikdörtgen davlumbazlarda debi yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{V}= \nu(10X^2+A) \qquad (6.3)$$

Burada;

$\dot{V}$=Hava debisi, $m^3$/sn

ν=Davlumbazdan X uzaklıkta merkez hattındaki hava hızı, m/s

X= Eksen boyunca dışarı doğru uzaklık, m

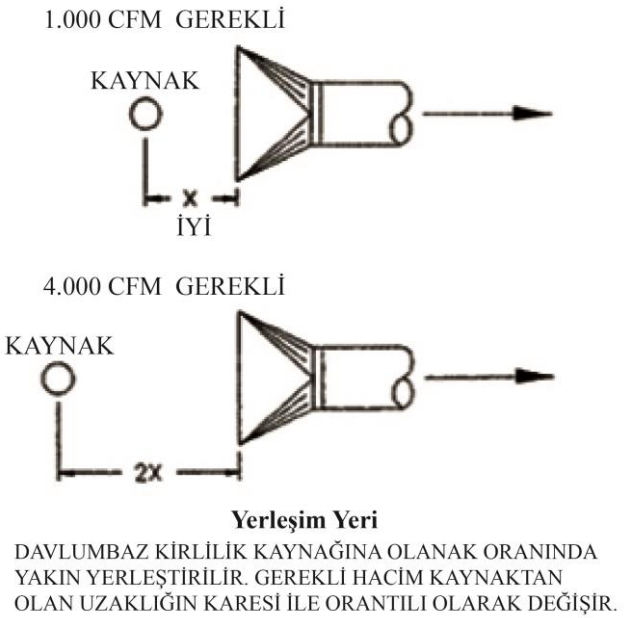
(not: bu eşitlik X'in 1.5D sınırları içerisinde olduğu uzaklıklar için doğrudur).

A=Davlumbaz alın yüzey alanı, $m^2$

D=Yuvarlak davlumbazların çapı (veya dikdörtgen davlumbazların yanal kenarı), m

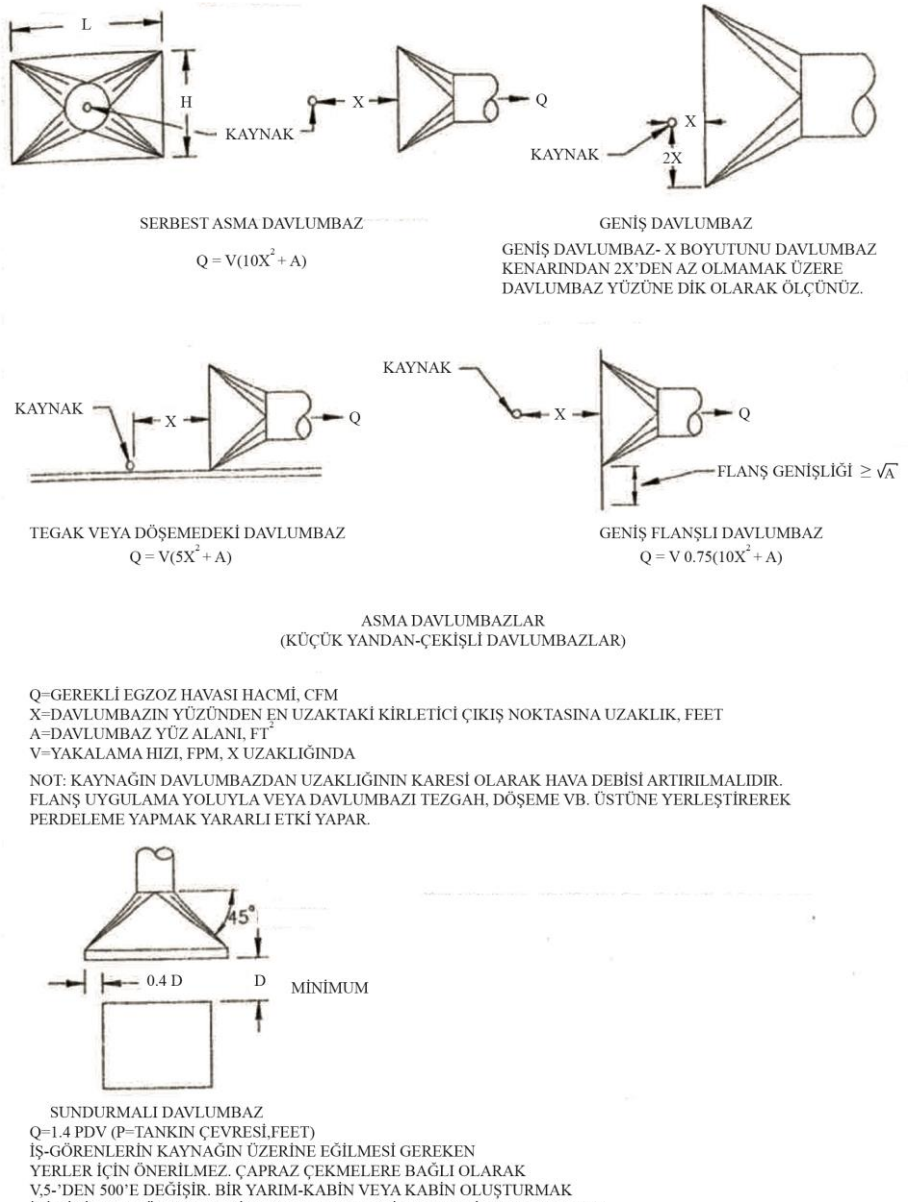
X uzaklığının 1.5D'den büyük olduğu yerlerde, akış debisi eşitlik 6.3'ün gösterdiğinden daha yavaş artar.

Şekil 6.2'de kaynaktan olan uzaklığın fonksiyonu olarak hava debileri gösterilmektedir.

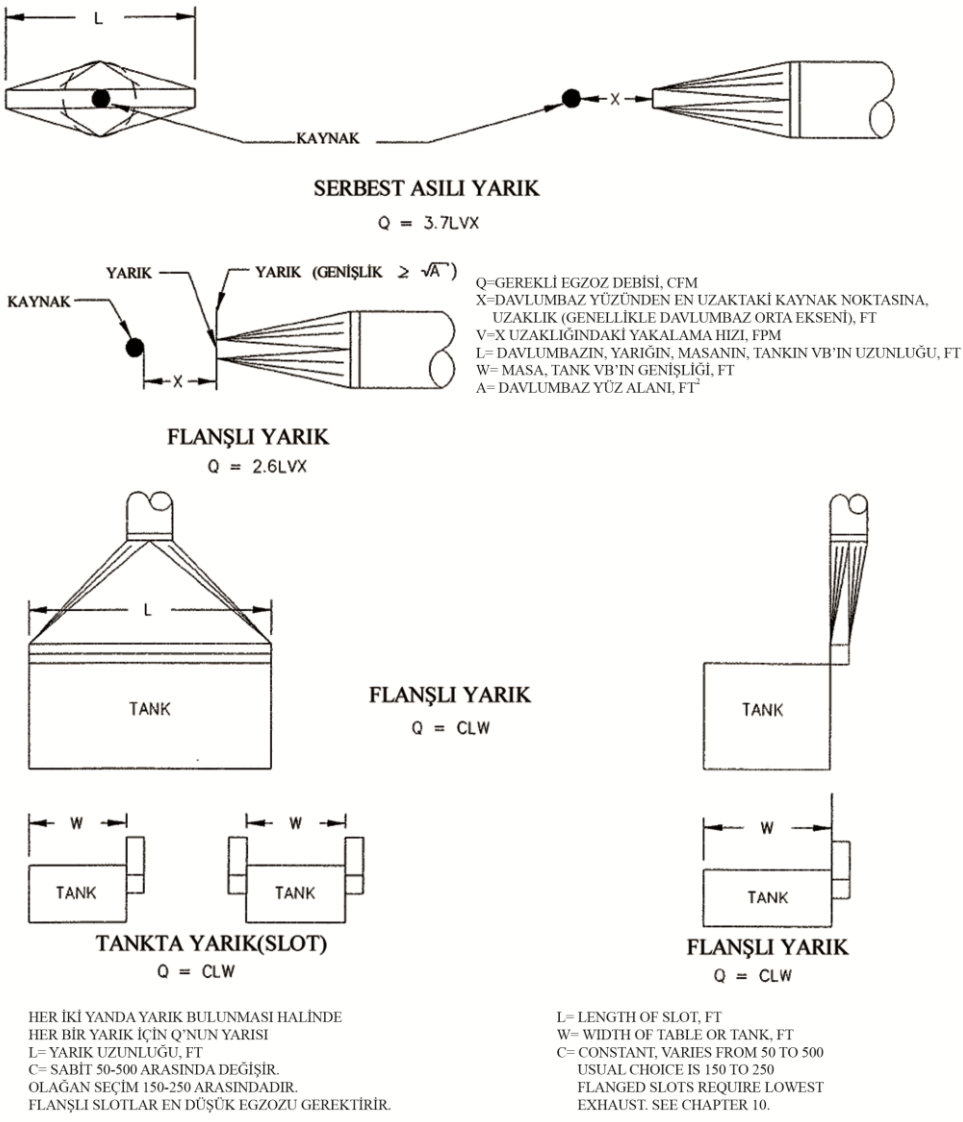



*Şekil 6.2. Davlumbazdan uzaklığa göre hava debisi.*

Şekil 6.3'de ise değişik davlumbaz tiplerine göre hava debileri özetlenmiştir.



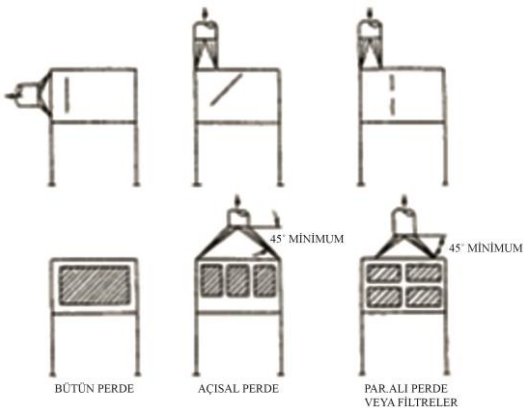

*Şekil 6.3a. Davlumbaz tiplerine göre hava debileri.*




*Şekil 6.3b. Davlumbaz tiplerine göre hava debileri.*

Eşitlik 6.3'den görüldüğü üzere yakalama hızı, davlumbazdan olan uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalmaktadır. Bu nedenle genel ve önemli bir kural olarak davlumbazlar kirlilik kaynağına olabildiğince yakın yerleştirilmelidir. Burada akış sınır çizgileri, davlumbazın önündeki eşit hız çizgileridir. Benzer biçimde akım çizgileri de akış sınır çizgilerine dik olan hatlardır. Bir başka ifade ile akım çizgisine çizilen teğet, o noktada hava akımının doğrultusunu gösterir.

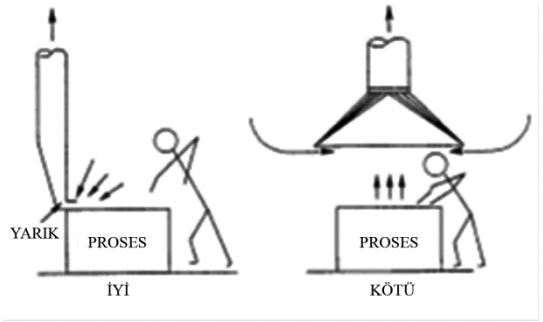
Havanın davlumbaza uniform olarak girmesi gerektiğinden bazen yönlendirme için perdeler kullanmak gerekebilir. Yukarıda belirtildiği üzere kirletici kaynağında etkili bir yakalama hızını koruyabilmek için gerekli hava miktarı, kirlilik kaynağı ile davlumbaz arasındaki uzaklığın karesi ile değişir. Davlumbaz yakınlarındaki hava akımı, besleme havası jet'lerinden ya da bu jetlerin neden olduğu hava türbülansından, aşağıdan yukarı doğru konvektif akımlardan, insanların hareketinden, kapı ve pencerelerdeki çekmelerden etkilenir. Prosesin durumu havanın hareketi için bir diğer etken olabilir. Örneğin pülverizatörler gibi dönen makineler, yüksek hızlı bantlı iletim sistemleri, yüksek sıcaklık prosesleri düşen tanecikli maddeler ve pnömatik ekipmanlardan açığa çıkan tozlu hava gibi etkenler, hava hareketlerinin temel nedenleridir. Bu faktörler, lokal egzoz sistemlerinin çekme verimini önemli ölçüde etkileyebildiklerinden tasarımda dikkate alınmalıdırlar.




*Şekil 6.4. İyi hava dağılımı sağlamak için perde kullanımı.*

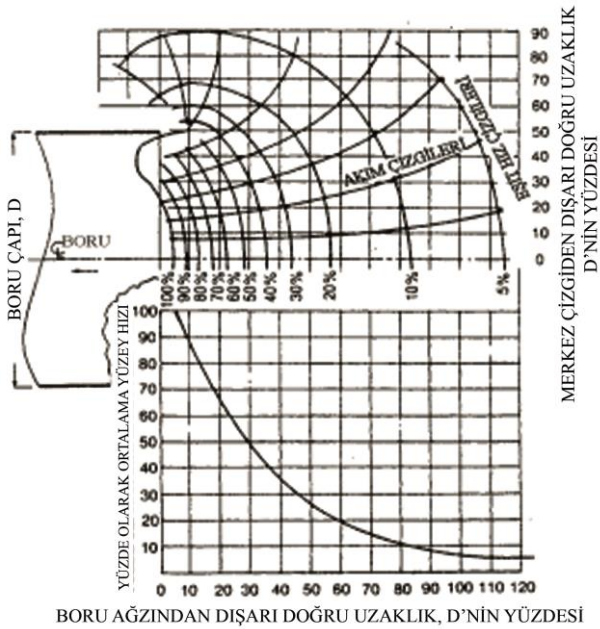
***Davlumbaz yerleşimi.*** Lokal egzozlara ilişkin çok sayıda araştırma ve uygulamadan elde edilen deneyimler davlumbaz tasarımında aşağıdaki ilkeleri ortaya koymuştur.

- Davlumbaz kirlilik kaynağına olanak oranında yakın yerleştirilmelidir.
- Davlumbaz açıklığı, kirliliği normal yolundan saptıracak biçimde olmalıdır.
- Davlumbaz, kirliliğin kaynagından çekilip atılacağı biçimde yerleştirilmelidir.
- Sundurmalı davlumbazlar iş görenin bir tank ya da iş parçasına eğilmesi gereken yerlerde kullanılmamalıdır.



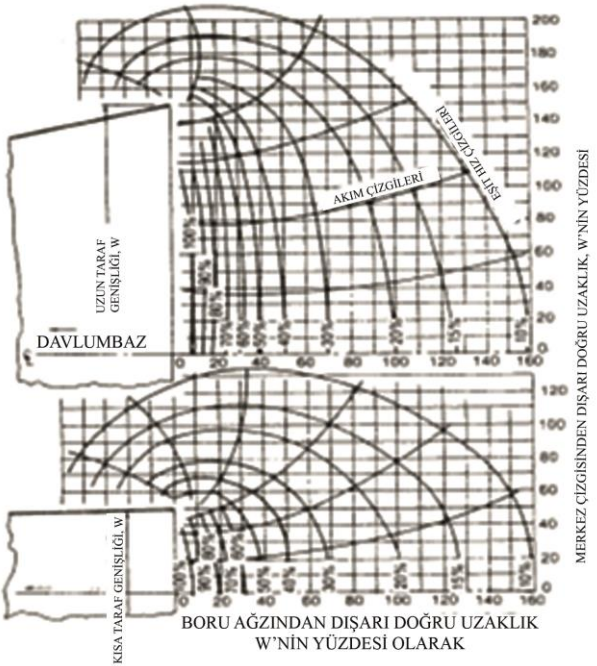

*Şekil 6.5. İş gören'in solunum bölgesinde, davlumbaz yerleşiminin havanın kirlenmesine etkisi.*

Davlumbazın açıklığı önündeki hava hızları egzoz akış miktarına, davlumbazın geometrisine davlumbaz açıklığını sarmalayan yüzeylere bağlıdır. Şekil 6.6'da yuvarlak bir kanaldaki eş hız çizgileri görülmektedir. Araştırmalar birbirine benzer davlumbazlarda hız çizgilerinin de (davlumbaz giriş hızının yüzdesi olarak ifade edilmiştir) benzerliğini göstermiştir.




*Şekil 6.6. Davlumbaz ve kanallarda basınç düşümü.*

Şekil 6.7'de kenar oranı (derinliğin uzunluğa oranı) 0.33 olan dikdörtgen bir davlumbazda hız çizgileri verilmektedir. Çizgi profilleri yuvarlak kanaldakine benzer fakat biraz daha uzundur. Eğer kenarların oranı 0.2'den küçük olursa (flanşlı açıklıklar için 0.15) davlumbazın önündeki akış örneği yaklaşık olarak küreselden silindire doğru değişir. Davlumbazdan uzaklaşıldıkça gaz hızı çok çabuk düşer.




*Şekil 6.7. Kenarların oranı 1:3 olan düz dikdörtgen açıklıkta hız çizgileri.*

## 6.4. Davlumbazlarda Basınç Kayıpları

Davlumbazlarda basınç kayıpları basınç kaybı katsayısı $C_0$ ya da statik basınç giriş kaybı kullanılarak açıklanabilir. Davlumbazın yapısı Vena Contracta etkisini gösterir. Basit davlumbazlar genellikle aşağıdaki gibi tanımlanan bir tek basınç düşüm katsayısına sahiptir.

$$C_L = \sqrt{\frac{P_v}{P_{s,h}}} \qquad (6.4)$$

Burada;

$C_L$: Davlumbaz tipi ve geometrisine bağlı olan basınç kaybı katsayısı, boyutsuz,

$P_v$ : $\rho V^2/2$: kanalın içindeki dinamik basınç (boğaz kısmından sonra sabit), Pa,

$\rho$ : yoğunluk, kg/m$^3$

$P_{s,\,h}$ :hız basıncının artması ve davlumbaz giriş kaybı nedeniyle davlumbaz kanalında oluşan statik basınç, Pa

Kayıp katsayısı $C_L$ , davlumbaz giriş basınç kayıp katsayısından farklıdır. $C_0$ giriş basınç kayıp katsayısı kanal toplam basıncı ile kanal hız basıncı arasındaki ilişkiyi kurar. Bernoulli eşitliğindeki davlumbaz toplam basıncı davlumbazın girişinde sıfıra yakındır ve bu nedenle, statik basınç negatif hız basıncına eşittir. Yani

$$P_s = -P_v \tag{6.5}$$

Davlumbazdaki statik basınç; statik basınç (hız basıncı) ile basınç kayıplarının toplamı olup, hız basıncının bir kesri olarak ifade edilir;

$$P_{s,\,h} = P_v + C_0 P_v \tag{6.6}$$

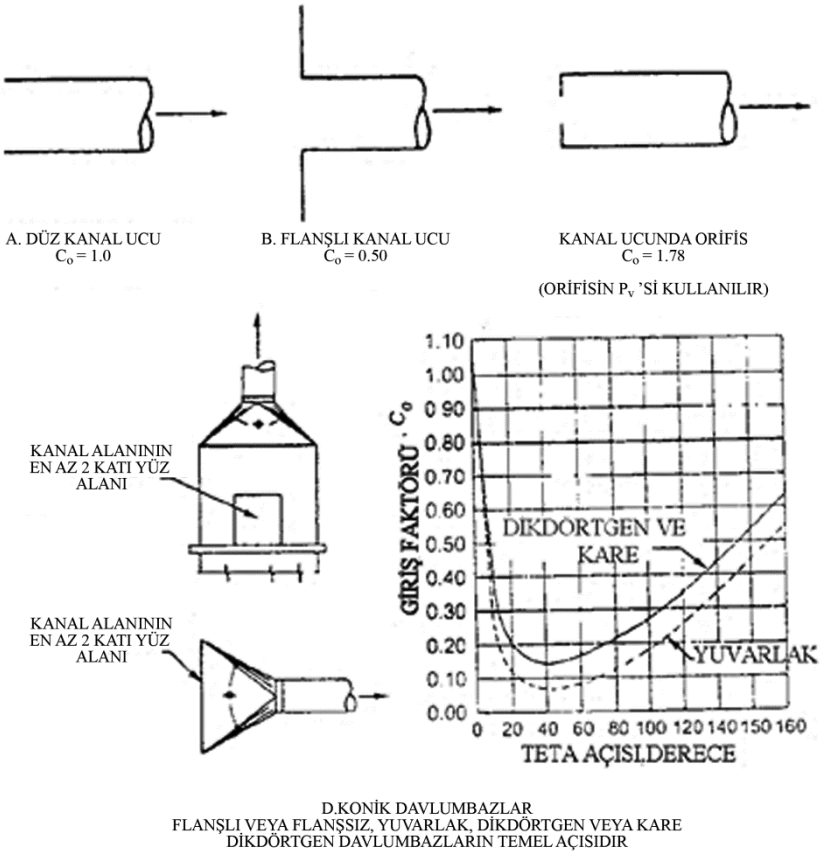
Eşitlik 6.6 yeniden düzenlenirse, davlumbaz kanal statik basıncı $P_{s,\,h}$ (davlumbaz çekmesi)

$$P_{s,\,h} = (1 + C_0) P_v \tag{6.7}$$

Ve toplam basınçtaki değişme,

$$\Delta P_t = P_{s,\,h} - P_v = C_0 P_v \tag{6.8}$$

şeklinde hesaplanabilir. Değişik davlumbaz şekilleri için $C_0$ kayıp katsayıları şekil 6.8'de verilmektedir. Konik davlumbazlarda giriş kaybını en aza indiren optimum davlumbaz giriş açısının 45º olduğu görülmektedir. Ancak gerekli geçiş uzunluğu nedeniyle bu bir çok durumda pratik değildir. Bu bağlamda 90º açılı ve buna uyan 0.25 kayıp faktörü (dikdörtgen açıklıklar için) bir çok konik davlumbaz için tipik değerdir.

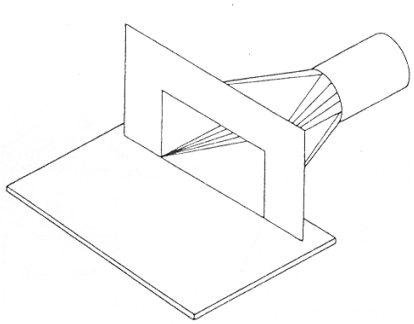



*Şekil 6.8. Tipik davlumbazlar için giriş kayıpları.*

*Örnek:*

Alın (yüz) boyutları 0.45x1.2 m olan yandan çekişli korumasız bir davlumbaz bir tezgahın üstünde bulunmaktadır. Hacimsel debi 700 I/s'dir. Kanal çapı 225 mm ve ortaya çıkan hız 17.6 m/s'dir. Davlumbaz, kanalla arasında en geniş geçiş açısı olan 90º ile tasarlanmaktadır. Bu davlumbazda emme basıncı (statik basınç) nedir?

Not: Havanın yoğunluğunu 22ºC'deki yoğunluk olarak alınız.



*Şekil 6.9. Tezgah üstü davlumbaz.*

*Çözüm.*
İki geçiş açısı birbirine eşit olamaz. Bu doğru olduğu sürece Şekil 6.8'den kayıp faktörünü belirlerken en geniş açı kullanılır. Geçiş parçası dikdörtgen açıklıktan başladığı için üzerinde "dikdörtgen" yazan eğri kullanılır. Bu ise görüldüğü gibi 0.25 gibi bir kayıp faktörüne karşılık gelmektedir. Bu durumda kanaldaki hız basıncı;

$$P_v = \frac{\rho V^2}{2} = \frac{(1.19)(17.6)^2}{2} = 184Pa$$

ve $$P_{s,h} = (1+0.25)(184) = 230Pa$$

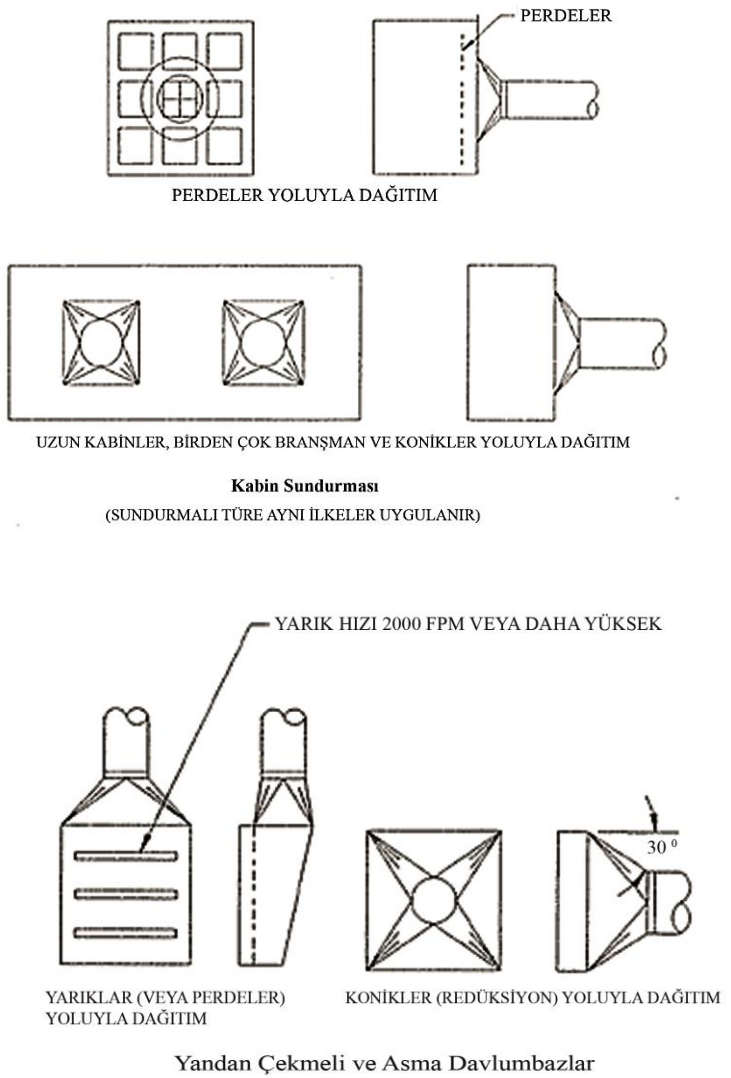
olmaktadır.

***Flanş ve perdelerin etkisi.*** Flanş, davlumbazın yüzünde ve ona paralel olan ve davlumbazın arkasından gelen istenmeyen hava akımlarına engel olarak düşünülebilen bir yüzeydir. Perde ise, davlumbazın önünden ve yanlarından gelebilecek istenmeyen hava akımlarına karşı bir bariyer oluşturan yüzeylerdir. Emme kaynağı bir düzlemde yerleşik olsaydı, akış alanı azalacak böylece aynı hızı sağlamak için gerekli hava debisi düşecekti. Davlumbaz açıklığının çevresinde bulunan bir flanş belirli bir yakalama hızını gerçeklemek üzere gerekli hava miktarını azaltır. Pratikte bir flanş gerekli hava miktarını % 25 azaltabilir (veya hızı artırabilir). Birçok uygulama için flanş genişliği davlumbaz alanının kare kökü olmalıdır $(A)^{1/2}$. Perdeler de benzeri bir etki sağlayabilir. Bu etkinin şiddeti, perdenin yerine ve büyüklüğüne bağlı olacaktır.

## 6.5. Havanın Dağıtımı

Havanın dağıtımı davlumbazların şekline ve cinsine göre değişir. Örneğin yarıklı davlumbazlar, açıklık genişliğinin açıklık uzunluğuna oranının (W/L) 0.2 ve daha küçük olduğu davlumbazlar olarak tanımlanır. Yarıklı davlumbazlar, çoğu zaman uniform bir egzoz akımı vermek ve örneğin açık tank gibi sonlu bir üretim uzunluğu bouyunca ya da yandan çekimli davlumbaz geniş davlumbazın yüzünde yeterli bir hız sağlamak için kullanılır. Yarık (slot)'ın işlevi sadece uniform bir hava dağılımı sağlamaktadır. Yarık hızı yakalama hızına katkı sağlamaz. Öte yandan yüksek bir yarık hızı yüksek basınç kayıpları yaratır.Ayrıca yakalama hızının yarık hızı ile değil fakat egzoz hacmi ve yarık uzunluğu ile ilişkili olduğuna dikkat edilmelidir. Yarıklı davlumbazlar çoğu zaman dar bir egzoz açıklığı ve bir plenum odası içerirler. Yarık boyunca uniform egzoz havası dağılımı elde etmek üzere, yarık genişliği ve plenum derinliği yarık hızının plenum hızından çok daha yüksek olacağı biçimde boyutlandırılır. Plenumda bölücü damperler kullanılabilir. Buna karşılık endüstriyel sistemlerin çoğunda damperler korozyon ve/veya erozyona maruzdur ve yabancı partiküller için bir toplanma yeri oluşturur. Ayarlanabilir yarıklar da söz konusu olabilir, fakat bunlar yanlış ayarlamaya elverişli elemanlardır. En pratik davlumbaz, sabit yarıklı (slot) ve kesinti içermeyen plenum türü davlumbazlardır. Yarık ve plenum tasarımı, yarıktaki basınç kaybının plenumdakine oranla daha yüksek olacağı biçimde yapılır. Böylece yarığın tüm kısımları temelde eşit emmeyi sağlar ve yarık hızı uniform olur. Bir slot-plenum bileşiminde bir uçtan diğerine basınç kaybın hesaplamakta kullanılabilecek doğrudan bir yöntem bulunmamaktadır. Davlumbazların çoğuna uygulanabilen yararlı bir yaklaşım, maksimum plenum hızını yarık hızının yarısı kadar alarak hesap yapmaktır.

Diğer yandan Şekil 6.10'da değişik davlumbaz uygulamaları görülmektedir.



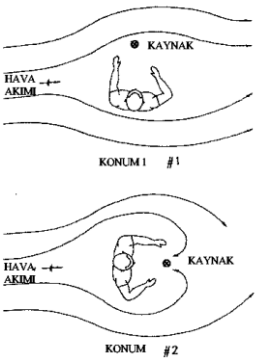

*Şekil 6.10. Değişik türde davlumbazlar.*

Yanlardan emişli dalvumbazların çoğunda 10 m/sn yarık (slot) hızı ve 5 m/sn plenum hızı, uniform akış hali ve orta düzeyde bir basınç kaybı için makul seçim olmaktadır. Merkezi bir yere konumlandırılmış bir egzoz branşman tasarımı, havanın her iki yönden yaklaşımı nedeniyle olası en küçük boyutlu pratik plenum ile sonuçlanır. Örneğin dökümhanelerdeki sarsıntılı davlumbazlarda olduğu gibi geniş, derin plenumların olanaklı

olduğu yerlerde, yarık hızı 5m/sn gibi düşük bir değere indirilebilirken plenum hızı da 2.5 m/sn civarında olacaktır.

***İş gören konumunun etkisi.*** Endüstriyel havalandırmanın temel amaçlarından birisi iş-görenin havadaki zehirli parçacıklara maruz kalmamasının emniyetli, güvenilir bir biçimde kontrol edilmesidir. Temel mühendislik araçlarından birisi olarak lokal egzoz havalandırması, kirlilik üretim noktasına yakın biçimde tasarlanmalıdır. Çoğu zaman işçilerin kendilerini hava akımına göre nasıl konumlandıracağına önem verilmez. Araştırmalar, iş-görenin hava akımına göre konumunun solunum zonundaki konsantrasyonun hesaplanmasında önemli bir parametre olduğunu göstermiştir.

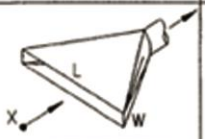
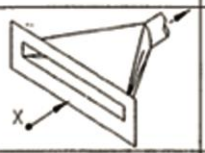
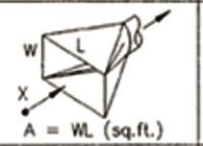
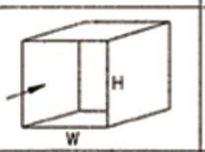
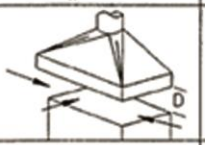
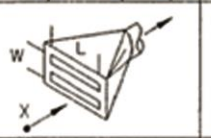
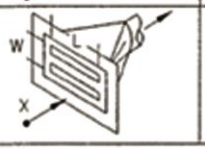
Örneğin, iş-görenin hava akımına yanal konumda durması ile maruz kalınan miktarda % 50 azalma olduğu belirlenmiştir (şekil 6.11, konum #1).




*Şekil 6.11. İş görenin konumunun etkisi*

## 6.6. Davlumbaz Çeşitleri

Davlumbazlar fiziksel uyarlama bakımından geniş bir aralıkta ele alınabilirse de, iki ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlar; kapalı ve dışarda (harici) davlumbazlar. Kullanılacak davlumbaz türü proses ekipmanının fiziksel özelliklerine, kirlilik üretme mekanizmasına ve operatör/ekipman ara-yüzüne bağlı olacaktır. Şekil 6.12'de davlumbaz tipleri, yaklaşık ölçü oranları ile hava debisi için ampirik eşitlikler verilmektedir. Görüldüğü üzere davlumbaz debisi, davlumbaz şekli ve ölçüleri ile doğrudan ilişkilidir.

| DAVLUMBAZ TÜRÜ | AÇIKLAMA | KENARLAR ORANI (W/L) | HAVA DEBİSİ |
|---|---|---|---|
|  | YARIK (SLOT) | 0.2 YA DA DAHA AZ | V= 3.7 LVX |
|  | FLANŞLI YARIK | 0.2 YA DA DAHA AZ | V= 2.6 LVX |
|  | DÜZ AÇIKLIK | 0.2 YA DA DAHA BÜYÜK VE YUVARLAK | V= V ($10X^2$+A) |
|  | FLANŞLI AÇIKLIK | 0.2 YA DA DAHA BÜYÜK VE YUVARLAK | V= 0.75V ($10X^2$+A) |
|  | KABİN | İŞE UYDURULUR | V = VA = VWH |
|  | SUNDURMA | İŞE UYDURULUR | V = 1.4 PVD<br>P = ÇEVRE<br>D = İŞ PARÇASININ ÜSTÜNDEKİ YÜKSEKLİK |
|  | DÜZ BİRDEN ÇOK YARIKLI AÇIKLIK 2 VEYA DAHA ÇOK YARIK | 0.2 YA DA DAHA BÜYÜK | V= V ($10X^2$+A) |
|  | FLANŞLI BİRDEN ÇOK YARIKLI AÇIKLIK 2 VEYA DAHA FAZLA YARIK | 0.2 YA DA DAHA BÜYÜK | V= 0.75V ($10X^2$+A) |

*Şekil 6.12. Davlumbaz çeşitleri ve hava debileri.*

***Kapalı davlumbazlar.*** Kapalı davlumbazlar prosesi ya da kirlilik üretim noktasını kısmen veya tamamen çevreleyen (kapatan) davlumbazlardır. Gövde üzerindeki açıklıklardan içeri doğru olabilecek bir hava akımı kirleticiyi kabin içerisinde tutacak ve iş çevresine dağılmasını önleyecektir. Proses uyarlama ve düzenlemesinin izin verdiği her yerde kapalı davlumbaz tercih edilmelidir. Tam-kapalı gövde uygun değilse, olası maksimum ölçüde yarı-kapalı davlumbaz kullanılmalıdır. Kısmen kapalı davlumbazlara örnek, bir laboratuar davlumbazı (çeker ocak) veya sprey boya kabini olabilir.

***Harici davlumbazlar.*** Harici davlumbazlar yayınım kaynağına yakın yerleştirilen ve bu kaynağı çevrelemeyen (kapatmayan) davlumbazlardır. Harici davlumbaza örnekler: Tankın bir kenarı boyunca yerleştirilen yarıklar veya bir kaynak tablasındaki dikdörtgen açıklıktır. Kirleticinin gaz, buhar veya çok ince parçacıklar olması ve yüksek bir hızla yayınmaması durumunda, davlumbazın uyarlanması kritik değildir. Buna karşın kirletici içerisinde büyük parçacıklar bulunuyorsa, davlumbaz yayınım yolu üzerine yerleştirilmelidir. Buna örnek olarak bir taşlama işlemi verilebilir. Diğer yandan prosesten sıcak kirli hava yayınıyorsa, hava ısıl kaldırma kuvveti etkisiyle yükselecektir. Yandan çekişli bir davlumbaz kullanımı (sıcak prosesten yatay olarak yerleştirilmiş), davlumbazın tetiklediği hava akımı, ısıl olarak tetiklenmiş olan hava akımını yenemeyeceğinden, uygun bir yakalama sağlamayabilir. Bu özellikle, bir ergitme fırını gibi çok yüksek sıcaklık prosesleri için geçerli olacaktır. Bu gibi durumlarda, prosesin üzerine bir sundurmalı davlumbaz yerleştirilebilir.

***İt–çek davlumbazlar.*** Harici davlumbazın değişik bir çeşidi it-çek sistemidir. Burada bir hava jeti kirlilik kaynağını yalayarak davlumbazın akış alanına doğru itilir. Kirliliğin kontrolü birincil olarak hava jeti ile gerçekleştirilir. Davlumbazın işlevi bu hava jetini almak ve egzoz kanalına atmaktır. İt-çek sisteminin avantajı, itici jet sadece egzoz davlumbazı tarafından çekilebilen havada çok daha uzak mesafelere kontrollü biçimde iletilebilmesidir. İt çek sistemi, bazı kaplama ve açık yüzeyli kap (tank) işlemlerinde başarılı biçimde kullanılırken, diğer birçok proses için de uygulama potansiyeline sahiptir. Buna karşılık sistemin itme (push) kısmı doğru tasarlanıp, işletilemediğinde operatörün aşırı hava akımlarına maruz kalması gibi olumsuz bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle doğru tasarıma, uygulamaya ve işletime dikkat edilmelidir.

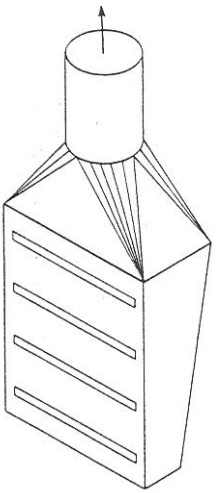
***Dikdörtgen ve yuvarlak davlumbazlar.*** Dikdörtgen ve yuvarlak davlumbazlarda hava dağılımı, yarıklı davlumbazlarda olduğu gibi basınç düşümü ile değil, davlumbaz içindeki hava akışı ile gerçekleştirilir. Plenum (davlumbazın önünden konikleştirilmiş kanal bağlantısına kadar olan uzunluğu) olanak oranında uzun olmalıdır. Davlumbazdan branşmana bağlantı 60º-90º koniklik açısı ile yapılmalıdır. Uzun davlumbazlarda ana kanala çoklu branşmanlarla bağlantısı gerekli olabilir. Uçtan branşman alma uyarlamalarında, bütün havanın bir tek yönde geçmesi gerektiğinden daha geniş plenum büyüklüklerine gerek duyulur.

***Birleşik davlumbazlar***. Çok geçişli davlumbazlardaki kayıplar ile tek geçişli kanallardaki kayıpların biraz farklı analizi gerekir. Geçiş açıklıkları havayı davlumbaz yüzeyinden dağıtır ve kapma hızını etkilemez. Geçiş açıklığındaki hız, istenen dağıtımı minimum enerji maliyetinde sağlayabilmek için yaklaşık 10 m/s civarında olmalıdır.

Hava geçiş açıklığından (slot) geçerken ve kanala girerken basınç kayıpları oluşur. Dolayısıyla hızları ve basınçları yarıkta ve kanala girişte farklı olabilir. Davlumbaz çekmesi her ikisini de yansıtmalı ve aşağıdaki formülle hesaplanmalıdır:

$$P_{s,h} = P_v + (C_0 P_v)_s + (C_0 P_v)_d \qquad (6.9)$$

Burada ilk $P_v$ genellikle iki slot ve kanal hız basıncından yüksektir. Burada s slot için d kanal girişi için kullanılan indislerdir. Şekil 6.13'de çok slotlu bir davlumbaz görülmektedir.



*Şekil 6.13. Çok geçişli (slot) açık davlumbaz.*

*Örnek*

Çok geçişli bir davlumbazda üç geçiş açıklığı (slot) bulunmakta olup bunlardan her biri 25x1000 mm boyutlarındadır. Plenumun üzerinde 250 mm'lik kanala 90º'lik giriş yapılmaktadır. Bu davlumbaz için gerekli akış miktarı 0.78 $m^3/s$' dir. Havanın 22ºC'deki yoğunluğunu kullanarak davlumbazın emme basıncını (statik basınç) hesaplayınız.

*Çözüm.*

Yarıktaki hız; $V_s$ (m/sn)

$$\nu = \frac{V}{A} = \frac{0.78}{(3)(0.025)(1)} = 10.4 m/s$$

olarak hesaplanır. Bu değer minimum yarık hızı olan 10 m/s'ye yakındır. Bu hız dinamik basınç formülünde yerine konularak slot basıncı için

$$Ps = \frac{\rho V^2}{2} = \frac{(1.19)(10.4)^2}{2} = 64.4 Pa$$

Elde edilir. Bu sistemde kanal kesiti 0.0492 $m^2$'dir. Bu kanaldaki hız ve hız basıncı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_d = \frac{0.78}{0.0491} = 15.9\, m/s \quad , \quad P_v = \frac{(1.19)(15.9)^2}{2} = 150.4\, Pa$$

Kanala 90º'lik bir geçiş için, kayıp faktörü 0.25'dir. Yarıklar için kayıp faktörü 1,78 alınabilir. Yarık hız basıncı yüksek olduğu için kanal hız basıncı diğer iki kaybın toplamına eklenir. (6.9) eşitliği kullanılarak toplam statik basınç,

$$P_{s,h} = 150.4 + (1.78)(65) + (0.25)(150.4) = 303.7\, Pa$$

olarak hesaplanır.

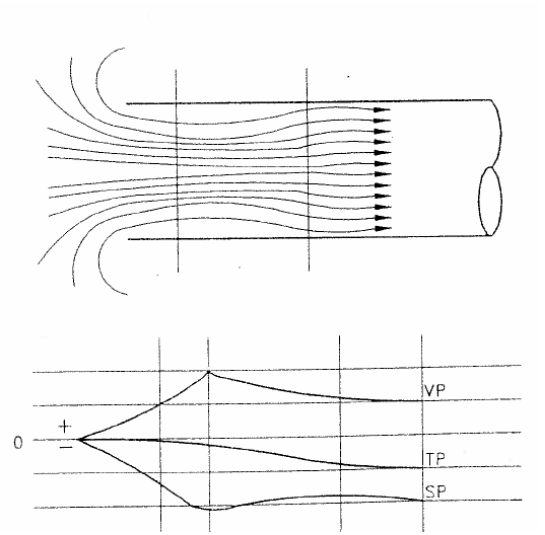
***Baş üstü (sundurmalı) davlumbazlar.*** Eğer proses tamamen koruma altına alınamıyorsa, prosesin üstüne kirleticilerin kendisine doğru yükseleceği bir sundurmalı davlumbaz yerleştirilmesi faydalı olacaktır. Sundurmalı davlumbazlar, kirleticilerin iş görenin solunum bölgesine gelmemesi için dikkatle yerleştirilmelidir. Prosesin üzerindeki davlumbaz yüksekliği, egzoz havası gereksinimini azaltmak için minimumda tutulmalıdır.

***Yandan çekişli davlumbazlar.*** Yandan çekişli davlumbazlar genelde, kirleticileri iş-görenin solunum bölgesinden uzaklaştırmak için kullanılır. Bir kaldırma etkisi yaratmak üzere, yandan çekişli davlumbazlar alçak seviyeye yerleştirilmiş bir sundurma-davlumbazdan daha fazla debiye ihtiyaç gösterir. Eğer düşük sundurmalı davlumbaz çalışma alanını kısıtlıyorsa, yandan çekişli bir davlumbaz da yararlı olabilir. Yandan çekişli davlumbazlara örnekler kaynak masalarındaki çok slotlu koruma davlumbazları, flanşlı davlumbazlar ve tankların üzerindeki slot davlumbazlardır. Burada ters akım ortaya çıkması ve kirleticinin solunum zonuna girmesi daha düşük bir olasılıktır.

## 6.7. Giriş Basınç Kaybı

Hava kanala girerken, dar bir boğaz oluşur (Vena Contracta) ve bir enerji kaybı ortaya çıkarak önce statik basınç hız basıncına dönüşür (bakınız Şekil 6.14), hava dar boğaz alanından geçerken akış, kanalı doldurmak üzere

genişler ve hız basıncı statik basınca dönüşür. Bu noktada, dar olan boğazdan havanın kontrolsüz bir biçimde kanal hızına ulaşması girişteki basınç kaybının önemli bir bölümünü oluşturur. Bu boğazda enerji kaybı ve davlumbaz statik basıncı yüksek olacaktır. Davlumbaz giriş kaybı ($h_e$) davlumbaz kayıp faktörü ($F_h$) cinsinden hesaplanabilir ve bu faktör kanal hız basıncı ile çarpıldığında inSS(inç su sütunu) olarakgiriş kaybı ($h_e$)'yi verecektir.




*Şekil 6.14. Dar doğazda (Vena-Contracta) akış.*

Genel olarak davlumbaz giriş basınç kayıpları için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$\Delta P = K \cdot (\frac{1}{2} \delta v^2)$$

Burada K davlumbaz giriş kayıp faktörü olup aşağıdaki tablodan alınabilir.

*Tablo 6.2. Davlumbazlarda giriş kayıp katsayıları*

| **Egzoz şekli** | | **K** | |
|---|---|---|---|
| Yatay boru | | 0.93 | |
| Flanşlı boru | | 0.49 | |
| Bellmouth gidiş | | 0.04 | |
| 15° açılı | → | 0.15 - 0.25 | (yuvarlak, dikdörtgen) |
| 30° açılı | → | 0.08 - 0.16 | (yuvarlak, dikdörtgen) |
| 60° açılı | → | 0.08 - 0.17 | |
| 90° açılı | → | 0.15 - 0.25 | |
| 120° açılı | → | 0.26 - 0.35 | |

***Basit Davlumbazlar***. Basit bir davlumbazda statik basıncı kanaldaki hız basıncı ile davlumbaz giriş kaybının toplamına eşittir. Hız basıncı, havayı durgunluktan kanal hızına çıkartmak için gerekli basıncı temsil eder. Davlumbaz giriş kaybı ise havanın kanaldan geçişi sırasında ortaya çıkan kaybı yenmek için gerekli enerjiyi anlatır. Bu durum 6.11 eşitliğindeki gibi

$$SP_h = h_{ed} + P_d \qquad (6.10)$$

Burada;

$SP_h$= Davlumbaz statik basıncı ,inSS

$h_{ed}$=geçişteki giriş kaybı = $F_h$ x $VP_d$

$P_d$=Kanal hız basıncı, inSS

*Örnek*

Alın hızı

$$(V) = \frac{V}{A_{face}} = 250\,fpm = 0{,}5m/s$$

Kanal hızı

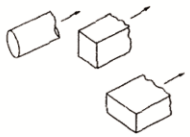
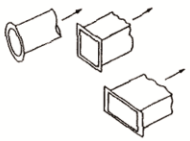
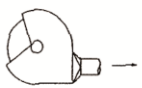
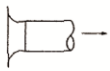
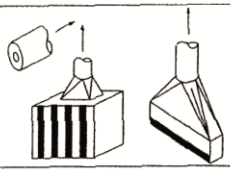
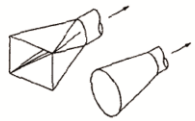
$$(V) = \frac{Q}{A_{face}} = 3{,}000\,fpm = 1{,}5m/s$$

$$P_d = (\frac{V_d}{4005}) = 0{,}56inSS = 142Pa$$

$$SP_h = h_{ed} + P_d = FhP_d + P_d$$

$$= (0{,}25 \times 0{,}56) + 0{,}56 \quad = 0{,}70inSS \; = 175Pa$$

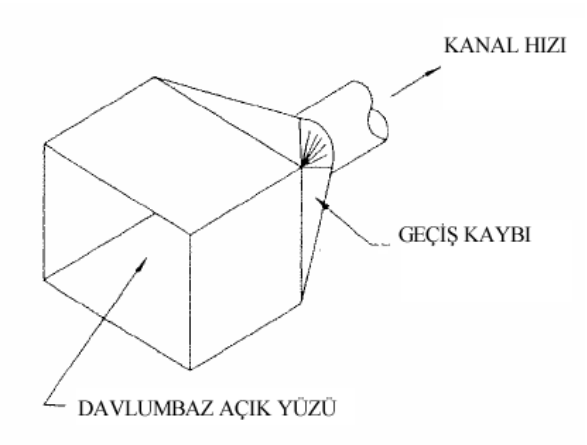
***Bileşik davlumbazlar.*** Bileşik davlumbazlar, iki ya da daha fazla noktada basınç kaybına sahip davlumbazlardır. Bunlar tek başlarına ele alınmalı ve sonunda toplam basınç kaybına ulaşmak için toplanmalıdır. İki giriş kaybına sahip olan davlumbazlara örnek, yarıklı tür davlumbazlar ile birden çok açıklıklı, yanal çekimli davlumbazlar olup, genelde kaplama işlerinde, boya daldırma işlerinde, yağdan temizleme tanklarında, ve dökümhanelerde kullanılan yandan çekişli sarsıntılı davlumbazlardır. Bu davlumbazlarla plenium kutuları da kullanılr ve bunların amacı yarık boyunca uniform bir hız sağlamaktır. Hava, bu durumda keskin kenarlı bir orifis olan yarığa girer ve bu noktadaki dar boğaz nedeniyle enerji kaybeder. Hava akımı "üfleme" etkisine benzer biçimde plenum boyunca hareket ettiğinden en büyük yarık hızının bulunduğu noktaya doğru devam eder (plenum uzunluğunun kısa oluşu nedeniyle, davlumbazda hızın düşmesi bu tür davlumbazların belirleyici niteliğidir). Buna karşın, çok geniş davlumbazlarda veya egzoz edilen kapalı odalarda akış hızı dikkate alınmalıdır. Nihayet geçiş elemanı boyunca hava bir enerji kaybına daha uğrayarak kanala doğru yaklaşır. Şekil 6.15'de davlumbazlarda basınç kayıp katsayıları gösterilmiştir.

| DAVLUMBAZ TÜRÜ | AÇIKLAMA | GİRİŞ KATSAYISI | DAVLUMBAZ GİRİŞ KAYBI |
|---|---|---|---|
|  | DÜZ AÇIKLIK | 0.72 | 0.93 |
|  | FLANŞLI AÇIKLIK | 0.82 | 0.49 |
|  | TİPİK TAŞLAMA DAVLUMBAZI | 0.78 | (DÜZ BRANŞMAN) 0.65 |
| | | 0.85 | (REDÜKSİYONLU BRANŞMAN) 0.40 |
|  | ÇAN-AĞZI BİÇİMİNDE GİRİŞ | 0.98 | 0.04 |
|  | ORİFİS | BAKINIZ ŞEKİL 5-12 | |
|  | REDÜKSİYONLU VEYA KONİK DAVLUMBAZ | BAKINIZ ŞEKİL 5-12 | |

*Şekil 6.15. Davlumbazlarda basınç kayıp katsayıları*

Şekil 6.15'de görüldüğü üzere hava davlumbaza girdikten sonra yarık hızına ulaşana kadar "yarığa giriş kaybı" ortaya çıkar. Hava plenum içerisinden geçer ve davlumbazın geçiş elemanına girer ve daha yüksek kanal hızına doğru ivmelenirken diğer bir enerji kaybı oluşur. Çift girişli davlumbazlar için, kanal hızı yarık hızından yüksek olduğunda, davlumbaz statik basıncı aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$SP_h = h_{es} + h_{ed} + P_d \tag{6.11}$$




*Şekil 6.16. Basit davlumbazda kayıp bölgeleri*

**Örnek**

Verilen: Yarık hızı =2000 fpm (10 m/s)

$$P_d = 0{,}25 inSS = 62{,}5 Pa$$

$$h_{es} = 1{,}78 P_d = 1{,}78 x 62{,}5 = 11 Pa$$

Kanal hızı =3500 fpm (17,5 m/s)

$$P_d = 0{,}76 inSS = 190 Pa$$

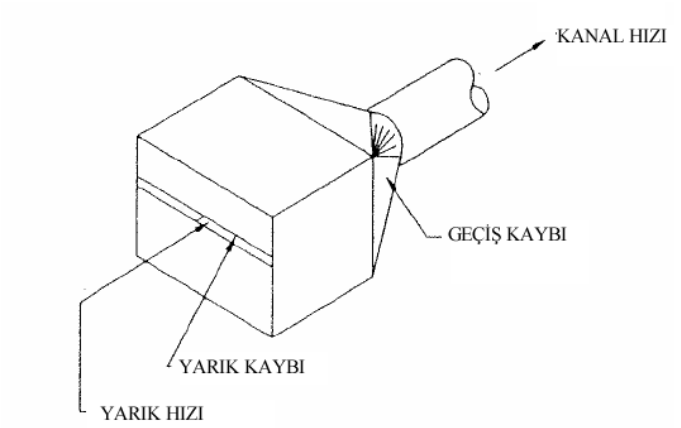
$$h_{es} = 0{,}25 P_d = 0{,}25 x 190 = 47{,}5 Pa$$

$$SP_h = h_{es} + h_{ed} + P_d$$

$$= 1{,}78 \cdot (0{,}25) + 0{,}25 \cdot (0{,}76) + 0{,}76$$

$$= 1{,}4 inSS = 350 Pa = 35 mmSS$$

Diğer yandan bileşik davlumbazlarda geçiş bölgelerindeki basınç kaybı şekli, şekil 6.17'de gösterilmiştir. Burada giriş kaybı yerine yarık kaybı söz konusudur.




*Şekil 6.17. Bileşik davlumbaz.*

## 6.8. Sıcak Prosesler

Çelik fabrikaları gibi büyük dökümhanelerde (örneğin 500.000 – 700.000 kg/yıl kapasitedeki tesislerde) egzoz gazı debisi 700.000 – 8000.000 $m^3$/h(1 kg döküm başına yaklaşık 1-1.5 $m^3$/h) bulabilmektedir. Sıcak proseslere davlumbaz uygulaması, soğuk proseslere olan uygulamadan farklı tasarım düşüncelerini gerektirir. Prosesin yanında ve üzerindeki havaya kondüksiyon ve konveksiyonla aktarılan önemli ısı miktarları yukarıya doğru 2 m/s'ye kadar hızlarda hava akımına neden olabilmektedir. Davlumbazın ve egzoz debilerinin tasarımı buradaki ısıl çekme etkisini dikkate almak zorundadır. Bu bağlamda davlumbazların tasarımı sıcak gazları etrafa yayılmadan emecek şekilde yapılmalıdır.Egzoz debisi döküm malzemelerinin veya egzoz edilecek partiküllerin durumuna bağlıdır. Tablo 6.3'de çelik döküm malzemelerinin bazı fiziksel özellikleri verilmektedir.

*Tablo 6.3 Dökme demir ve çeliğin fiziksel özellikleri.*

| Sıra no | Malzemenin adı | Yoğunluk,ρ ($kg/m^3$) | Özgül ısı, C (kJ/kgK) | Isı iletim katsayısı, k($W/m^2K$) | $10^6$ xα ($m^2/s$) |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Dökme demir (%4 C) | 7227 | 420 | 52 | 1,702 |
| **2** | Wrought Iron | 7849 | 460 | 59 | 1,626 |
| **3** | Çelik | 7800 | 473 | 43 | 1,172 |

Sıcak gazların egzoz edilmesinde maksimum izin verilen ısı çıkışı dikkate alınmalıdır. Örneğin polyester kullanan bir torbalı filtrelerde maksimum müsaade edilen sıcaklık 130°C civarındadır.

Prosesten çıkan ısının ve sıcaklıkların bir fonksiyonu olarak egzoz debisi eşitlik 6.13'teki gibi verilebilir.

$$V = \frac{Q}{\rho c_p (T_s - T_{amb})} \tag{6.12}$$

Burada,

V: Hava debisi ($m^3$/sn)

Q: Fırından ısı yayılımı (kj/sn)

ρ: $T_s$ sıcaklığında hava yoğunluğu (kg/$m^3$)

$c_p$: $T_s$ sıcaklığında hava özgül ısısı (kj/kg °C)

$T_s$: Döküm sonrası hava sıcaklığı (°C)

$T_{amb}$: Çevre havası sıcaklığı (°C)

Kreyn gibi engelleyici yerlerde egzoz gazlarını yönlendirmek için hava perdeleri veya jet fanlar kullanılabilir. Burada hava jeti 15 - 25° aşağıya doğru olması uygundur. Böylece sıcak egzoz gazları yatayda davlumbaza doğru yönlendirilebilir.

Duman ve isler katı, sıvı ve gaz yakıtların yanmasından, metallerin ergitilmesinden veya benzeri çok yüksek sıcaklıklıga sahip işlemler sonucu ortaya çıkar. Bu gazlar içindeki partiküllerin büyüklüğü 0.1 – 1.0 mikron arasında olup Brownian hareketlere sahiptir. Yerçekimi ile aşağı düşen partiküllerin çapları ise 1.0 – 15 mikron civarındadır. Yüksek sıcaklık sonucu oluşan duman ve is emisyonları gerçekte hava olarak modellenemez. Sıcak gazlar kaynaktan çıktıktan sonra ortam havası ile karışarak (6.14) sıcaklığını ve hızlarını çok çabuk kaybederler Buradaki temel problem davlumbaza girişin kontrol altına alınabilmesidir. Sıcak proseslerden radyasyon ve konveksiyon yolu ile çevreye ısı transferi meydana gelir. Böyle bir prosesde hava hızı (m/sn),

$$v_h = \sqrt{2gm\left(1 - \frac{T_c}{T_h}\right)} \tag{6.13}$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada kullanılan senboller aşağıdaki gibidir.

g: yer çekimi ivmesi ,9,8 m/s$^2$

m: sıcak cisim ile davlumbaz arası mesafe, m

$T_c$: soğuk ortam sıcaklığı ,°C

$T_h$: sıcak cisim sıcaklığı , °C

Diğer yandan sıcak proses ile ilgili semboller aşağıda verilmiştir.

Af: Davlumbaz alın yüzey alanı, m$^2$

$A_p$: sıcak gaz kesiti, m$^2$

$A_s$: sıcak cisim yüzey alanı ,m$^2$

B: sıcak cismin eni, m

D: sıcak hava kolonunun çapı (Z yüksekliğinde), m

G: buhar oluşumu , kg/m$^2$dk

H: duyulur ısı yayınımı, kcal/dk

h: doğal konveksiyonda kaldırma yüksekliği,(m hava kolonu),

$h_c$: doğal taşınılma ısı transfer katsayısı, kcal/m$^2$°C

m': sıcak hava kolonu yüksekliği, m

V: egzoz debisi , m$^3$/h

$q_z$: çevre havası ile karışan sıcak havanın davlumbaz ağzındaki debisi ,m$^3$/h

$S_h$: çevre havasına nazaran sıcak havanın özgül ağırlığı, kg/m$^3$

Δt: sıcak cisim ile çevre havası arasındaki sıcaklık farkı, °C

v: davlumnbaz alın hızı (fpm, qz'yi oluşturmak üzere), m/sn

$V_h$: sıcak hava kolonu hızı , m/sn

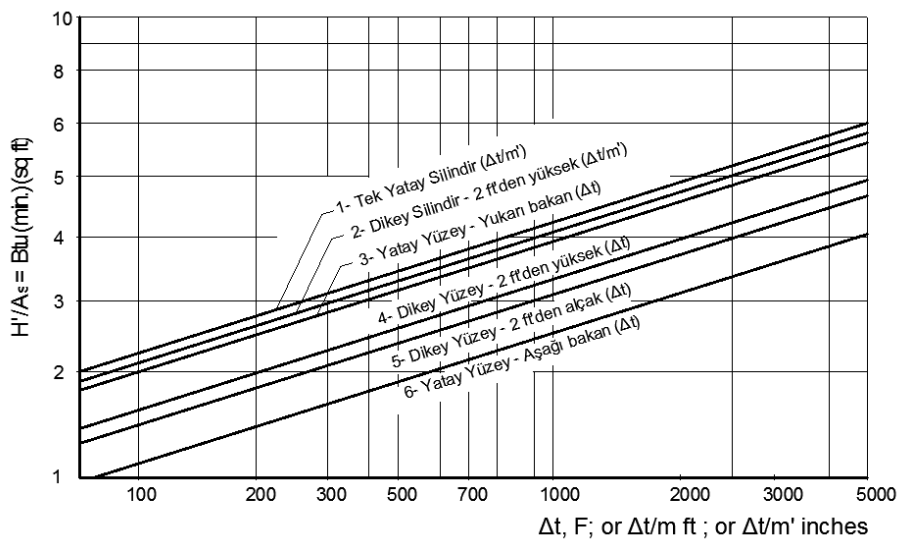
$V_z$: sıcak gazların ortalama hızı , , m/sn

Y: sıcak ısı kaynağından davlumbaz ağzına olan dikey mesafe ,m

Z: noktasal ısı kaynağından davlumbaz ağzına olan dikey mesafe , m

Sıcak proseslerde davlumbazın hava debisi proses tarafından üretilen ısı miktarına (H), proses sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farka (Δt), sıcak kaynağın yüzey alanına ($A_s$), sıcak cismin şekline bağlıdır. Bu parametreler arasındaki ilişki şekil 6.18'de gösterilmiştir. Örneğin çelik dokuma için Δt = 2000F (1100°C )alınabilir. $A_s$ için bir tahmin yürütülmesi gerekir.

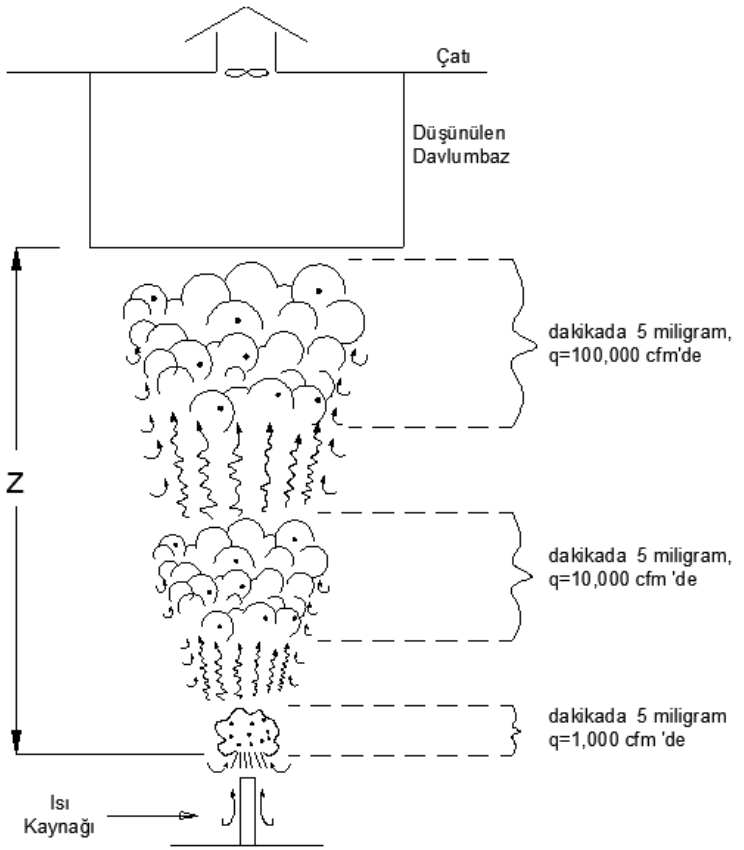
Örneğin 2000F (1100°C ) sıcaklık farkı için şekil 6.18'den $\frac{H}{A_s}$ oranı maksimum 4,5 olarak okunur. Eger döküm kolonunun çapı 0,7 m (2,1 ft), yükseklik 1m (3 ft) ise $A_s$=0,7 $m^2$ ( 6 $ft^2$) ve $H = 6 \times 4{,}5 = 27\, Btu/\min = 1620\, Btu/h = 400\, kcal/h$ olur. Bu değer daha sonra debi hesabı için kullanılacaktır.




*Şekil 6.18. Duyulur ısı, davlumbaz alanı ve sıcaklık farkı arasındaki ilişki.*

***Dairesel yüksek sundurmalı (Canopy) davlumbazlar***. Isınan hava yükselirken, turbülanslı biçimde çevresel hava ile karışır. Bu, hava gaz kolon çapının ve hacimsel akış debisinin giderek artmasına sebep olur.

Şekil 6.19'da sıcak gaz çıkışı olan bir sıcak prosesde davlumbaz uygulaması ve terminoloji görülmektedir.




*Şekil 6.19. Yüsek canopy davlumbazlar.*

Şekil 6.19'da görülen gaz konumunun kaynaktan X mesafedeki kolon çapı yaklaşık olarak,

$$D_c = 0.5X_c^{0,88} \tag{6.15}$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada,

$D_c$= Kolon çapı, m

$X_c$=Y+Z=varsayılan kirletici kaynağından davlumbaz yüzüne olan uzaklık,m

Y=proses yüzeyinden davlumbaz yüzüne olan uzaklık, m

Z= proses yüzeyinden varsayılan noktasal kaynağa uzaklık, m.

Z değeri eşitlik 6.16'dan hesaplanabilir.

$$Z = (2D_s)^{1.138} \tag{6.14}$$

Burada;

$D_s$= Sıcak kaynağın çapı,m'dir.

Öte yandan yükselen sıcak hava kolonunun hızı $V_f$ (m/sn) ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_f = 8\,(A_s)^{0.33}\,\frac{\Delta t^{0.42}}{X_c^{0.25}} \tag{6.15}$$

Burada;

$V_f$: Davlumbaz yüzeyinde sıcak hava kolonu hızı, m/sn

$A_s$: Sıcak kaynağın yüzey alanı, $m^2$

Δt: Sıcak kaynak ile çevre havası arasındaki sıcaklık farkı, °C

Tam bir yakalama sağlaması için davlumbazın yüz çapı yükselen hava kolonu çapından daha büyük olması gerekir.Gerekli davlumbaz çapı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D_f = D_c + 0.8y \tag{6.16}$$

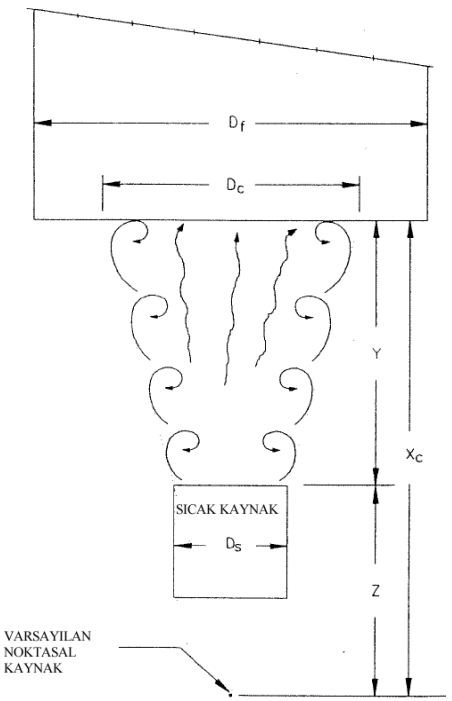
Burada;

$D_f$: Davlumbaz yüz çapı, m

Bu parametrelere bağlı olarak hava debisi 6.19 eşitliğinden hesaplanır.

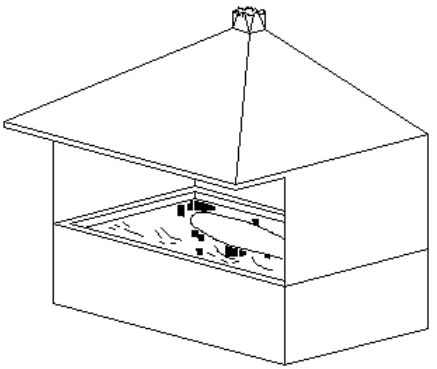
$$Q_t = V_f A_c + V_r (A_f - A_c) \quad (6.17)$$

Şekil 6.20'de sundurmalı davlumbazlarla sıcak gazların yakalanması durumu verilmiştir.



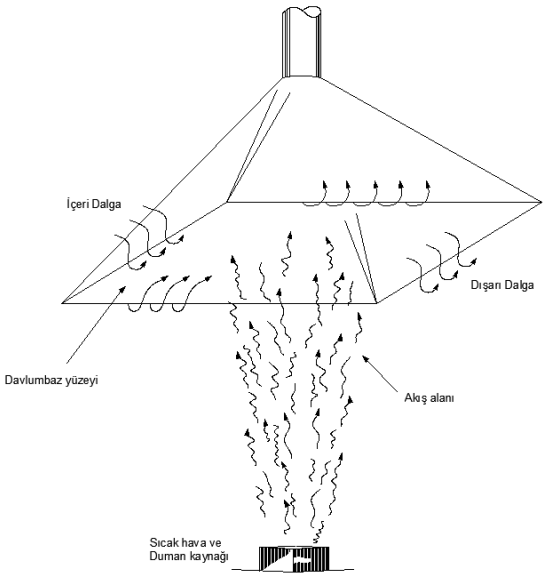

*Şekil 6.20. Sıcak kaynaklar için yüksek sundurmalı davlumbaz tasarımında kullanılan boyutlar.*

Sıcak proseslerde kirli gazlar yukarıdan, yandan ve/veya aşağıdan emilebilir. Emiş yönü sayısı ve şekli kirleticilerin yapısı, kirlilik oluşma şekli, çalışanların pozisyonu dikkate alınarak 2m üst davlumbazlarda davlumbazın aşağı indirilebilecegi mesafe yerden itibaren kabaca insan boyu kadardır (~2 m). Diğer yandan açık davlumbazlar etrafa kirletici gaz kaçışını tamamen engelleyemez. Bu nedenle proses olanak verirse davlumbazın mümkün olan kenarlarının kapatılması yararlı olur. Şekil 6.21'de böyle bir davlumbaz görülmektedir.



*Şekil 6.21. Kenarları kapatılmış bir davlumbaz.*

***Dikdörtgen yüksek sundurmalı (Canopy) davlumbazlar.*** Sıcak kaynaklardan çıkan ve dairesel olmayan hava kolonları, dikdörtgen biçimli sundurmalı bir davlumbaz ile de kontrol edilebilir. Davlumbazın hava debisi dairesel davlumbazlarla benzer şekilde hesaplanırken, sıcak hava kolonunun boyutları (ve davlumbaz boyutları) kaynağın hem genişliği hem de uzunluğu dikkate alınarak belirlenir. Yukarıdaki eşitlikler sıcak hava kolonunun ve davlumbazın genişliğini ve uzunluğunu hesaplamada kullanılır. Bunun dışındaki değerler dairesel davlumbazdaki gibi hesaplanır. Şekil 6.22'de sıcak gazları yakalamak için uygun bir dikdörtgen davlumbaz tasarımı görülmektedir.




*Şekil 6.22 Büyük kesitli bir davlumbazda bir kaynaktan ısı alınması (burada Q=qz alınabilir).*

Isı kaynağının üstündeki kenarları açık bir davlumbazda gerçek hava debisi, Q eşitlik 6.20 yardımı ile hesaplanabilir.

$$Q = q_z + V.A_f \tag{6.18}$$

Burada $q_z$: sıcak hava indükleme debisi $m^3/h$ ,V davlumbazda alın hızı (m/sn), $A_f$: davlumbaz alın kesiti ($m^2$).

Burada ısı kaynağından örneğin 1500 $m^3/h$ gaz çıkıyorsa bu değer çevre havası ile karışarak davlumbaz girişinde 150.000 $m^3/h$'e ulaşabilir.Bu durum, davlumbazın ısı kaynağına olabildiğince yakın olmasının önemini göstermektedir.

Burada ortalama gaz hızı $V_z$ ,

$$V_z = \frac{37}{Z^{0.29}} \sqrt[3]{H} \tag{6.19}$$

şeklinde hesaplanabilir. Öte yandan sıcak gaz kolonu çapı, D (m) eşitlik 6.15'ten hesaplanabilir, $q_z$ değeri ise

$$q_z = 7.4Z^{3/2}\sqrt[3]{H} \tag{6.20}$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Şekil 6.18'den $H = h.A_S$ alınabilir. Davlumbaz ile ısı kaynağı arasındaki mesafe Z ise $Z = Y + 2B$ şeklinde hesaplanabilir. (6.23)

Burada Y: sıcak kaynak ile davlumbaz arasındaki mesafe, (m), B: kaynak eni, (m)'dir.

**Düşük Sundurmalı Davlumbazlar**. Davlumbaz ile sıcak kaynak arasındaki uzaklık yaklaşık olarak kaynağın çapından veya 1 m değerinden daha büyük değil ise, bu davlumbaz düşük sundurmalı davlumbaz olarak kabul edilebilir. Bu koşullar altında, sıcak hava kolonunun çapı veya düşey kesiti yaklaşık olarak kaynakla aynı olacaktır.Burada davlumbazın çapı veya davlumbazın yanal boyutları kaynaktan sadece 30 cm kadar geniş olmaya gerek gösterir. Dairesel düşük sundurmalı davlumbazın toplam akış debisi;

$$\dot{V}_t = 4.7\ (D_f)^{2,33}\ (\Delta t)^{0.42} \tag{6.21}$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

$V_t$=Toplam davlumbaz debisi, $m^3/h$

$D_f$=Davlumbazın çapı, m

$\Delta t$=Sıcak kaynakla çevre havası arasındaki sıcaklık farkı, °C

Dikdörtgen kesitli düşük sundurmalı davlumbazın toplam debisi ise;

$$\dot{V}_t / L = 6.2\ b^{1.33}\Delta t^{0.42} \tag{6.22}$$

eşitliği ile bulunur.

$Q_t$= Toplam davlumbaz debisi, $m^3/h$

L= Davlumbazın uzunluğu, m

b= Davlumbazın genişliği, m

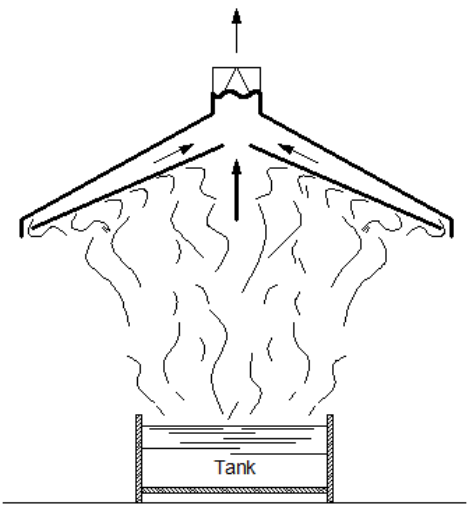
Δt=Sıcak kaynakla çevre havası arasındaki sıcaklık farkıdır, °C

Düşük Canopy davlumbazlar için yayılan ısı,

$$H = \frac{0.38}{60} A_s (\Delta t)^{5/4} \quad \text{ve} \quad \frac{q}{A_s} = 5.4\sqrt{m(\Delta t)^{5/4}} \tag{6.23}$$

şeklinde hesaplanabilir.

**Çift davlumbazlar:** Şekil 6.23'da gösterilen çift davlumbazlar aynı yakalama hızlarında daha verimlidir. Verimi iyileştirilmiş davlumbaz insan sağlığına olan gazların zararlı etkilerini azaltır. Fakat bunlar daha maliyetlidir.




*Şekil 6.23. Çift davlumbaz.*

*Örnek*

2 m çapında bir fırından atmosfere sıcak gaz yayılmaktadır. Burada kaynağa 5m'den daha fazla yaklaşılamayacağı kabul edilmektedir. Burada H=24000 kcal/h. Buna göre hava debisini ve davlumbaz çapını hesaplayınız.

*Çözüm*

Sıcak ısı kaynağını kapsayan kenarları açık bir davlumbazda hava debisi, V

$$Z = Y + 2B = 15+2x6=27 \text{ ft} = 9 \text{ m} \quad (6.24)$$

H=1000 Btu/dk=24000 kcal/h. (H değeri şekil 6.18 yardımı ile hesaplanabilir). Böylece

$$q_z = 7.4Z^{3/2}\sqrt[3]{H} = 10.400 \text{ cfm} = 1700 \text{m}^3/\text{h}$$

$$D = \frac{Z^{0.88}}{2} = 14 \text{ ft } (A_f = 200 \text{ ft}^2) = 20 \text{ m}^2$$

$$V_z = \frac{37}{Z^{0.29}}\sqrt[3]{H} = 140 \text{ fpm} = 0{,}7 \text{m/sn}$$

$$V = q_z + V.A_f = 10.400+140x200=38.000 = 65000 \text{ m}^3/\text{h} \text{ olarak hesaplanır.}$$

*Örnek*

Ergitilmiş kurşunun sıcaklığı 1000 F (550°C)'a erişmektedir. Çıkan gazlar düşük Canopy davlumbaz ile alınacaktır. Ergıtme potası 1,2 m uzunluğunda, 1 m genişliğindedir. Duman gazlarını uzaklaştırmak için tahmini debiyi hesaplayınız.

*Çözüm*

Düşük Canopy davlumbazlar için,

$$q = q_z = 5.4.A_f.m^{1/3}(\Delta t)^{5/12}$$

yazılabilir. Δt=900F, m=3 ft alınırsa $q_z$=130 cfm/ft$^2$ ve toplam debi $_{qz}$=130x(3x4)=1550 cfm =2600 m$^3$/h elde edilir.Toplam egzoz debisi bunun üzerinde, örneğin 2000 cfm veya 3500 m$^3$/h alınabilir.

*Örnek*

Sıcak döküm prosesinde bir kenarı 8 ft olan küp şeklindeki bir ürün imal edildiği ve bu cismin yüzey sıcaklığının 1000 - 2000 F olduğu kabul edilsin. Bu durumda 25 ft yükseklikteki hızı bulunuz.

*Çözüm*

Şekil 6.18'den $\frac{H}{A_s} = 4$ Btu/ft$^2$.dk alınabilir. Küpün alt yüzü hariç yüzey alanı $A_s$=(8x8x5=) 320 ft$^2$ (30 m$^2$) alınırsa,

H= $A_S$x4=4x320=1280 Btu/dk

$Z = Y + 2B$=25+2x8=41 ft olur.

Bu değerler yerine konulursa

$q_z = 7.4Z^{3/2}\sqrt[3]{H}$ =20.000 cfm =3500 m$^3$/h

Gaz hızı ise

$V = \frac{37}{Z^{0.29}}\sqrt[3]{H}$ =140 fpm=0,7 m/sn olarak hesaplanır. Davlumbaz çapı

$D = \frac{Z^{0.88}}{2}$ = 3,9 m olur.

Davlumbaz çapının bundan en az 1.5 katı seçilmesi uygun olur. Buna davlumbaz kesiti $A_f$=140 ft$^2$ alınabilir. Toplam davlumbaz debisi,

$V = q_z + V.A_f$ =20.000+140x140=40.000 cfm=68000 m$^3$/h

olarak hesaplanır.

# BÖLÜM 7

# SIKLONLAR VE DURULMA ODALARI

## 7.1. Giriş

Sikonlar ve benzeri toz tutma sistemleri 100 yılı aşkın süreden yapılmakta ve 50 yıldan buyana ise bilinen hesap yöntemleri uygulanmaktadır. Siklonlar endüstride en çok kullanılan toz tutma sistemlerindendir. İlk yatırım masrafları açısından en ucuz sistemlerden biridir.

## 7.2. Siklon Cinsleri

Siklonların çeşitleri ve çalışma şekilleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

***Ağırlık Seperatörleri***: Ağırlık seperatörleri gaz hızının aniden düşürülmesini sağlayan ve bu yolla toz parçacıklarının kendi ağırlıklarıyla gaz akımından ayrılmasına olanak veren bir oda veya mahal içerir. Çok geniş yer gerektirmeleri ve türbülanslı akış (eddy) bulunması bu yöntemi çok kaba parçacıklar dışında kullanılamaz hale getirir.

***Atalet Separatörleri***: Bu yöntemin temeli toz parçalarının, taşıyıcı gaza göre çok daha fazla sahip oldukları atalet nedeniyle keskin dönüşler yapamamasına dayanır. Burada tozlara 120ºC ve daha yüksek ani dönüş yaptırmak için değişik biçimlerde tasarlanan kanatlar kullanılır. İyi tasarlanmış olan atalet seperatörleri 10~20μm büyüklükteki parçaların %90 oranında sistemden çıkartılmasını sağlar.

***Dinamik Çökelticiler:*** Dinamik çökelticiler havaya hareket verici ve konkav bir diske bağlı biçimlendirilmiş kanatlar içeren toz toplama elemanının bir bileşimidir. Rotor dönüşü tozlu havayı çekmek için gerekli olan kuvvetleri yaratırken, havanın çıkış ağzına ulaşmak için salyangozun içerisinden 180º' lik bir dönüş yapmasına neden olur. Toz parçacıkları kanat uçlarına merkezcil kuvvetle itilir ve burada tutularak bunkere giden ikincil devreye taşınır.

***Siklon Kolektörü***: Siklon kolektörü daha verimli filtre sistemlerinin ön temizleyicisi olarak ve/veya konveyörle taşıma sistemlerinde bir hava akımından kaba parçacıkları çıkarmakta kullanılır. Temel avantajları düşük maliyet, az bakım gereksinimi ve nispeten küçük basınç düşümleridir (200~400 Pa arasındadır). Ancak bu sistemler ince parçacıkların tutulması için uygun değildir.

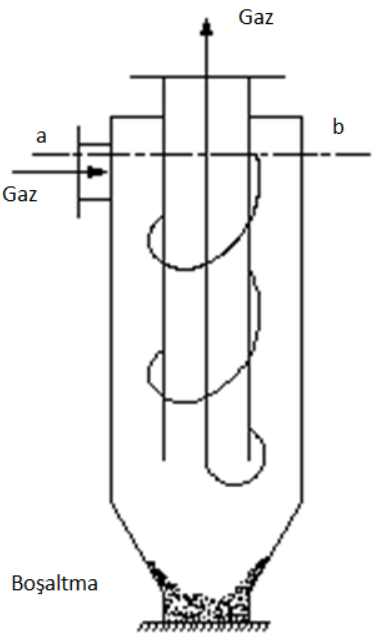
***Yüksek Verimli Santrifüj'ler:*** Yüksek verimli santrifüjler gaz akımındaki toz parçaları üzerine yüksek basınç uygularlar. Merkezcil kuvvet çevresel hızın ve açısal ivmenin bir fonksiyonu olduğundan aşağıdaki nedenlerle toz ayırma veriminin iyileşrtirilmesi sağlanır:

1. Giriş hızının artması,
2. Siklon gövdesi ile koniyi uzatma,
3. Birbirine paralel bir dizi küçük çaplı siklonun kullanılması,
4. Birimleri seri bağlama.

Yüksek verimli santrifüjler elektrostatik, torbalı (kumaş), ve yaş filtrelerdekii kadar küçük parçalar üzerinde etkili değildir. Ancak toplama verimi mekanik araçlarınkini önemli ölçüde genişletmiştir. Bu tip siklonların basınç kayıpları 750~2000 Pa aralığında olup enerji verimliliği açısından çok uygun değildirler.

### 7.3. Siklonlar

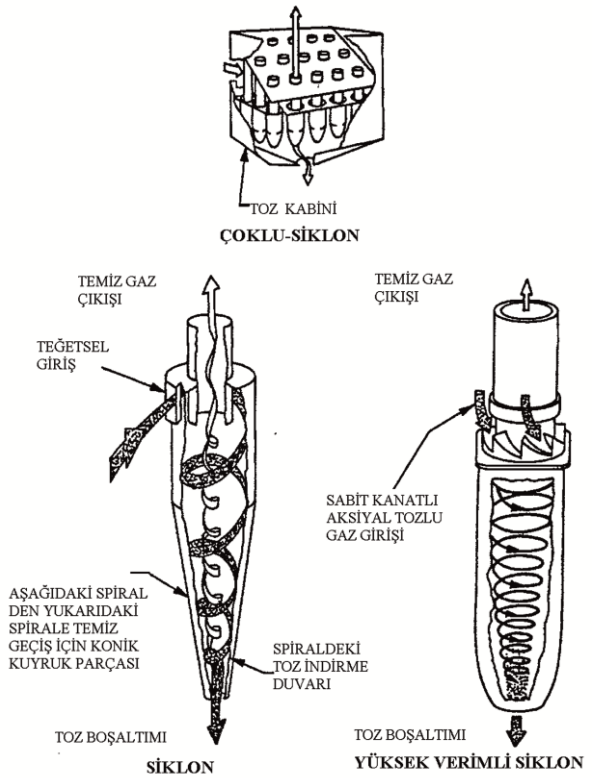
Siklonlar genellikle 5 ila 200μ (mikron) iriliğindeki partiküllerin tutulmasında uygulanır. Şekil 7.1'de bir siklonun prensip şeması görülmektedir.



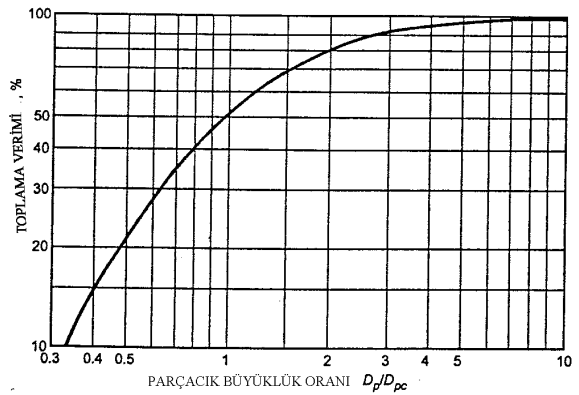

*Şekil 7.1. Siklon prensip şeması.*

Bir siklon toplayıcı (kolektör), gaz akımını vortekse çevirir ve bu esnada asılı parçacıklar siklon duvarlarına doğru atalet kuvveti ile savrularak ve yer çekimi etkisi ile siklonun dip kısmına düşer ve buradaki bir toplama mekanizması ile dışarı alınırlar. Perdeli toplayıcılarda olduğu gibi dönmekte olan gazın atalet etkisi, yüksek verim elde etmek üzere siklon toplayıcılarda da kullanılır. Siklon toplayıcılar, çoğu zaman daha yüksek verimli bir temizleme cihazının yükünü azaltmak üzere ön filtre olarak kullanılır. Düşük verimli bir siklon, giriş ve çıkış arasında 250~370 Pa gibi bir basınç düşümü ile çalışır ve yaklaşık 10 μm'den büyük parçacıkların %70'ini tutabilir. Yukarıda verildiği üzere yüksek verimli siklonlar, giriş ve çıkış arasında 750~2000 Pa basınç düşümleriyle çalışır.

Siklon toplayıcının verimi, parçacık yoğunluğuna, biçimine ve büyüklüğüne (ortalama aerodinamik büyüklük $D_p$ ) bağlıdır. Siklon tipleri Şekil 7.2'de, verimleri ise Şekil 7.3 'de verilmektedir.




*Şekil 7.2. Tipik siklon toplayıcılar.*




*Şekil 7.3. Siklon verimi.*

Siklonlarda kesme büyüklüğü olarak adlandırılan $D_{pc}$ parametresi, %50 verimle toplanan parçacıkların çapı olarak tanımlanmaktadır. Bu büyüklük aşağıdaki eşitlik 7.1'den hesaplanabilir;

$$D_{pc} = \sqrt{\frac{1.4\mu b}{N_e V_i (\rho_p - \rho_g)\pi}} \tag{7.1}$$

Burada,

$D_{pc}$ : Kesme büyüklüğü, m

$\mu$ : Gazın mutlak viskoitesi, Pa.s

b : Siklon giriş kalınlığı, m

$N_e$ : Siklon içerisindeki döngülerin etkinlik sayısı.

$N_e$ sayısı, yüksek verimli bir siklonda 5 olup, diğer siklonlarda 0. 5~10 arasında değişebilir.

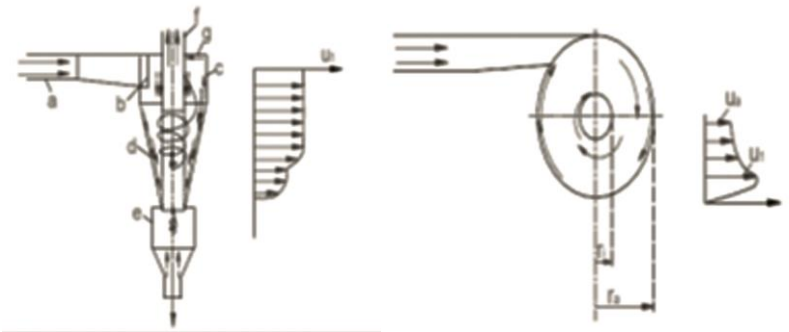
$\nu_i$ : Gazın giriş hızı, m/s

$\rho_p$ : Parçacık malzemesinin yoğunluğu, kg/m$^3$

$\rho_g$ : Gazın yoğunluğu, kg/m$^3$

25 m/s gaz hızlarının üzerinde, iç türbülans siklon veriminin düzelmesini sınırlar. Bir siklondaki basınç düşümü, girişteki hız basıncı ve dolayısıyla hacimsel debinin karesi ile orantılıdır.

Siklonlarda belirli bir teğetsel hızda merkezkaç kuvveti, yarıçap ile ters orantılı olarak değiştiğinden, küçük çaplı siklonlar büyük çaplı siklonlara göre yarattıkları merkezkaç kuvveti nedeni ile daha etkilidirler. Öte yandan yüksek sıcaklık, yüksek nem ve yapışkan nitelikte iletim malı söz konusu olduğunda ilk yatırım ve işletme masrafları yönünden siklon ayırıcılar çok daha ucuzdurlar ve endüstride öncelikle tercih edilmektedir.



*Şekil 7.4. Hava ile iletim malının siklondan akışı.*

a) İletim borusu

b) Havanın girişi

c) Silindirik siklon parçası

d) Siklon konik parçası

e) Çıkış kabı

f) Dalgıç boru

g) Siklon tepesi

$r_i$: Dalgıç boru yarıçapı

$r_a$: Siklon yarıçapı

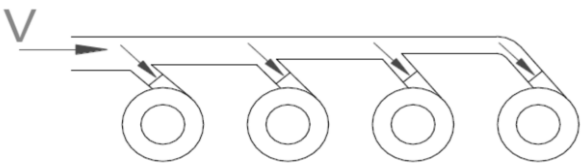
$u_i$: Dalgıç boru yarıçapında çevresel hız

$u_a$: Siklon yarıçapı çevresel hız

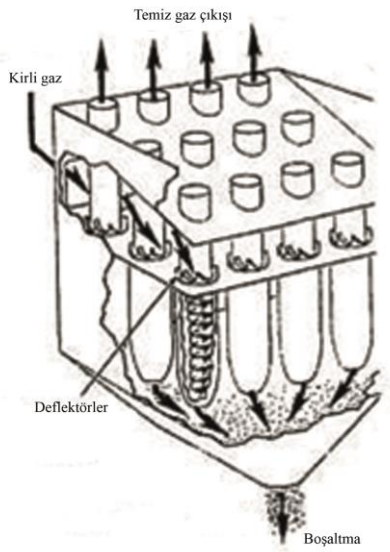
Hava ve malzeme karışımı oranı (μ)'nün artması ile siklondaki basınç kaybı artmayıp aksine azalmaktadır. Çünkü siklona akış yapan havanın çevresel hızı (u), havanın yığın malzeme üzerine olan sürtünmesi nedeni ile düşecektir. İşlemsel uygulamada, gazların temizlenmesinde, kullanılan siklonlarda genel çalışma koşulları yaklaşık şöyledir.

| | |
|---|---|
| Gaz debisi | : 50 $Nm^3/h$ ila 4500 $Nm^3/h$ |
| Gaz sıcaklığı | : 1000°C'ye kadar |
| Gaz basıncı | : Vakum (-0.5 atm) |
| Gaz giriş hızı | : 6 m/s ila 21 m/s |
| Basınç kaybı | : 250 Pa ila 2000 Pa |
| Partikül boyutu | : 5μ ila 200μ |
| Partikül yoğunluğu | :0,23 $gr/Nm^3$ ila 230 $gr/Nm^3$ |
| Verim | :%50 ila %90 |

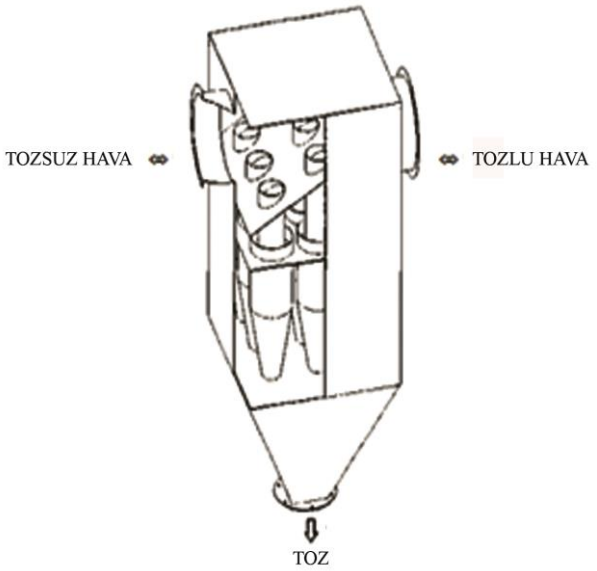
Siklonlar genel olarak belirli bir basınç kaybı dikkate alınarak tasarlanırlar. Atmosferik basınçta çalışan normal özellikte siklonlarda fanın karşılayabileceği basınç kayıpları, siklon giriş hızlarını 6 ila 20 m/s arasında sınırlar. Bu nedenle siklonları 15 m/s gaz hızlarında çalışacak şekilde tasarlamak uygun olmaktadır. Siklon verimini etkileyebilecek başlıca tasarım faktörü siklonun çapıdır. Bir başka ifade ile siklon çapı azaltıldığında partikül tutma verimi artar. Bu nedenle yüksek verimli siklonların çoğunda koni yükseklikleri, siklon çapının 1.6 ila 3 katı kadar öngörülür. Çap azaldıkça verimin artması prensibinden hareketle ufak çaplı çok sayıda siklon grubu yapılarak verim artırılır. Bu tarz uygulamaya multisiklon denilmektedir. Şekil 7.5a, b ve c'de multi siklon bağlantı, prensip ve detay şemaları görülmektedir.




*Şekil 7.5a. Multisiklon bağlantı şeması.*




*Şekil 7.5b. Multi siklon prensip şeması.*




*Şekil 7.5c. Multi siklon detayı.*

Siklondan geçen gaz miktarının artması ile verimin yükselmesi beklenirse de yumakcıklar oluşturan tozlar yüksek hızlarda tekrar dağılacağından gaz miktarı arttıkça verim azalabilir. Bu nedenle akış hızının ve boyutlandırmanın uygun biçimde olması gerekir.

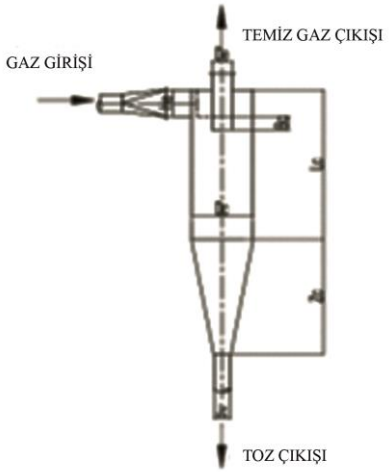
Siklonun gaz borusunun çapının azaltılması basınç kaybını arttırır. Siklon uzunluğunun gaz giriş borusu boyut oranı içinde optimum derler söz konusudur. Bu bağlamda belirli bir gaz girişindeki boğaz uzantı parçasında uzunluk genişlik oranının fazla tutulması verimi artırır. Bundan başka gazın siklon gövdesine girişindeki basınç kayıplarının fazla artmaması için boğaz uzantı parçasının gövdeye tedricen uyacak biçimde olması gerekir.

Bir siklon basınç altında olduğu kadar vakum altındada çalışabilir. Bu şekilde çalışan siklonlarda sızdırmazlığın çok iyi sağlanması zorunludur. Çünkü en ufak bir sızdırma durumunda öncelikle ince tozların tutulma verimleri düşer. Basınç altında çalışan siklondaki sızdırma kaçağı ise çevre sağlığını ve temizliğini bozacaktır.

Siklonlar genelde dikey olarak monte edilir. Bazı hallerde ise yatay konumda monte edilebilir. Ancak bu durmda toz çıkış hattının tıkanma eğilimi artacak

ve böylece siklonun verimi düşebilecektir. Siklondan çıkan gaz borusunun daraltılması gerekirse daralma başlangıcı siklon çıkışından itibaren yapılmalıdır. Bu esnada bir dirsek varsa daralma dirsekten sonra yapılmalıdır.

Şekil 7.6'da boyutları, çap orantısı ile tepit edilen spiral akımlı bir siklonun konstrüksiyonu görülmektedir. Bununla birlikte, endüstrinin istek ve koşullarına göre tasarımcı bu yapının dışına çıkabilmektedir. Malzeme olarak genelde St 37 veya akışkanın cinsine bağlı olarak (korozyon, aşınma vb.) paslanmaz çelik (Argon gazaltı kaynağı uygulanarak) gibi malzemeler kullanılmaktadır. Endüstrideki bazı uygulamalarda ise gerektiğinde iç siklonun çeperleri seramikle kaplanabilmektedir. Bazen de giriş kanatçıkları yardımı (şekil 7.7) ile gaza spiral haraketi verilmektedir. Gövde 15 ila 25 cm çapında, dökme demir veya aşınmaya dayanıklı alaşımlı çeliklerden yapılabilmektedir. Bu tip siklonlar özellikle buhar kazanlarında uçucu külün tutulmasında kullanılmaktadır. ABD'de endüstri tipi siklon üreten bazı firmalarının ürettikleri standart düşük basınç ve spiral akımlı siklonlar Şekil 7.6, Tablo 7.1'da, orta boyutlu ve spiral tepelikli siklonlar Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Tablo 7.2'de gösterilmiştir. Bu tablolardaki değerler orjinalliği bozmamak için ABD ölçü birimlerine göre düzenlenmiş olup metrik sisteme çevirmek için bu değerlerin verilen karşılık değerlerle çarpılması yeterli olacaktır.




Bc :DC/4

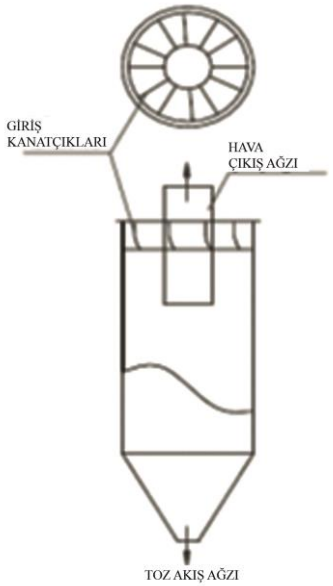
De DC/2

He :Dc/2

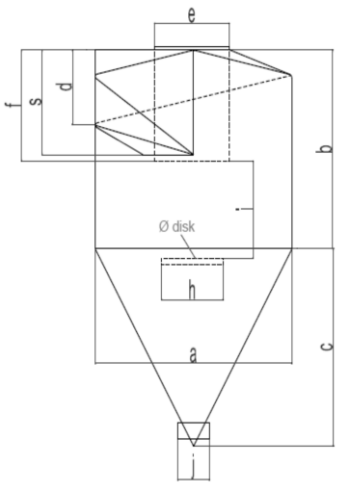
LC :2xDc

JC :Tasarımcı tespit eder (genelde DC/4)

*Şekil 7.6. Spiral akımlı siklon boyutları.*




*Şekil 7.7. Yüksek verimli, dar çaplı bir siklon.*

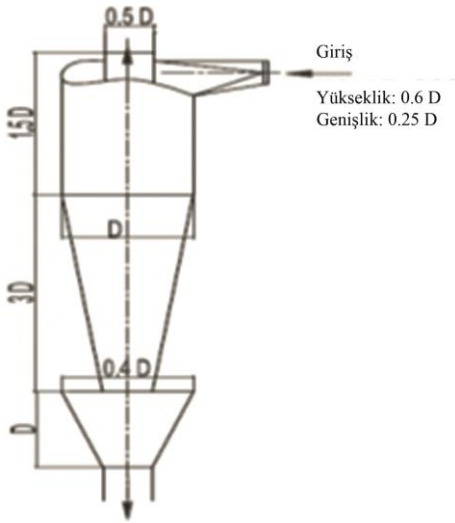



*Şekil 7.8. Düşük basınçlı ve spiral akımlı siklon boyutları.*

*Tablo 7.1. Spiral akımlı siklon ölçüleri.*

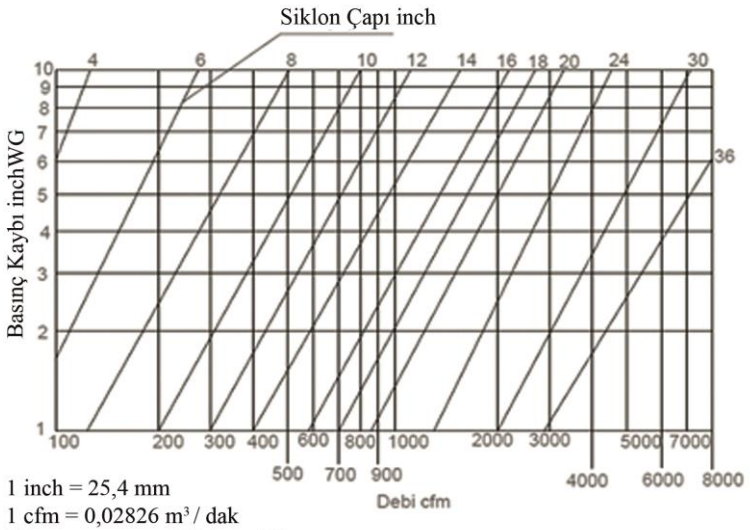
| **Kapasite (cfm)** | **Ölçüler (inch)** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **a** | **b** | **c** | **d** | **e** | **f** | **g** | **h** | **i** | **J** |
| **500** | 37 | 15 | 33 | 5 | 10 | 12 | 8 | 7 | 8 | 3 |
| **1000** | 44 | 21 | 40 | 7 | 14 | 16 | 11 | 10 | 11 | 5 |
| **2000** | 54 | 30 | 49 | 10 | 20 | 19 | 15 | 14 | 15 | 6 |
| **3000** | 63 | 36 | 57 | 12 | 25 | 22 | 18 | 18 | 19 | 7 |
| **5000** | 75 | 48 | 68 | 16 | 32 | 28 | 24 | 22 | 24 | 10 |
| **7500** | 87 | 60 | 78 | 20 | 39 | 34 | 30 | 27 | 30 | 10 |
| **10000** | 97 | 68 | 87 | 23 | 45 | 38 | 34 | 32 | 34 | 12 |
| **12500** | 105 | 75 | 95 | 25 | 50 | 42 | 38 | 35 | 38 | 12 |
| **15000** | 114 | 82 | 103 | 27 | 55 | 45 | 41 | 38 | 42 | 12 |
| **20000** | 127 | 94 | 114 | 32 | 63 | 51 | 47 | 44 | 48 | 13 |
| **25000** | 127 | 105 | 125 | 35 | 70 | 57 | 53 | 49 | 54 | 13 |
| **30000** | 151 | 116 | 136 | 39 | 77 | 62 | 58 | 54 | 59 | 14 |
| **35000** | 163 | 126 | 147 | 42 | 84 | 67 | 63 | 59 | 64 | 14 |
| **40000** | 173 | 135 | 156 | 45 | 90 | 72 | 68 | 63 | 69 | 15 |

*Not: 1 cfm=1,69 $m^3$/h, 1inch = 25,4 mm*

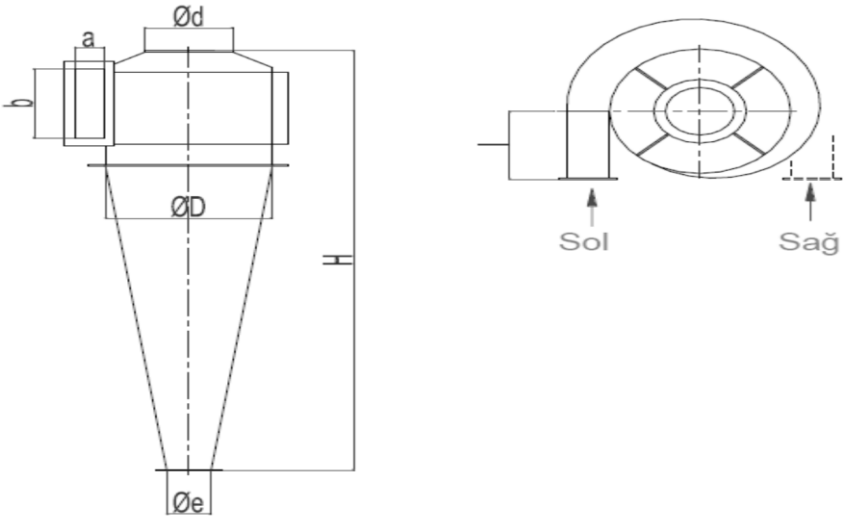



*Şekil 7.9. Orta boyutlu ve spiral tepelikli siklon.*

*Tablo 7.2 Orta boyutlu ve spiral tepelikli tip siklonlarda basınç kaybı.*



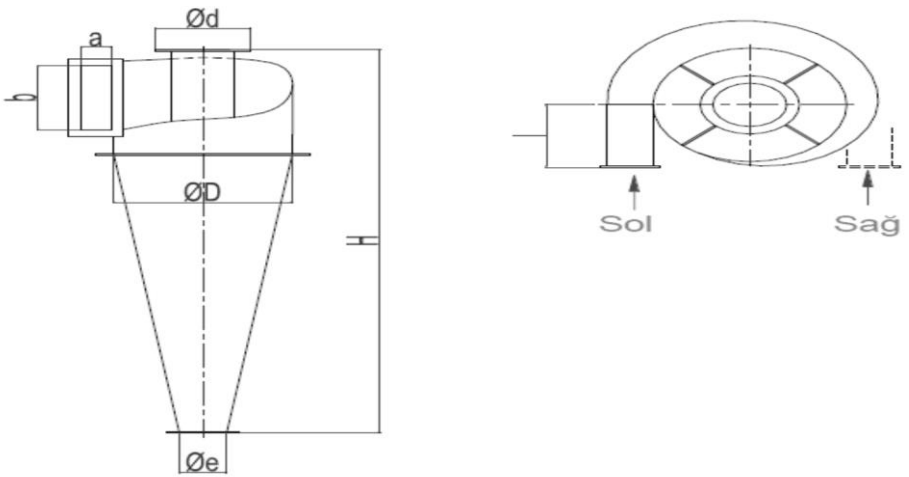

1 inch = 25,4 mm
1 cfm = 0,02826 $m^3$ / dak
Wg = su sütunu = 25,4 mmSS




*Şekil 7.10 Orta basınçlı siklon ebatları.*

*Tablo 7.3. Spiral akımlı orta basınçlı siklon ölçüleri.(yaklaşık)*

| **Debi ($m^3$/h)** | **ØD** | **Giriş ağzı çapı (mm)** | | **Ød** | **Øe** | **I** | **H** | **Basınç kaybı (mmSS)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **a** | **b** | | | | | |
| 576 | 350 | 65 | 170 | 150 | 50 | 201 | 945 | 118 |
| 1080 | 460 | 80 | 240 | 210 | 100 | 300 | 1370 | 124 |
| 1620 | 580 | 100 | 280 | 260 | 150 | 365 | 1620 | 123 |
| 2340 | 700 | 120 | 340 | 315 | 150 | 420 | 2050 | 120 |
| 3240 | 820 | 140 | 400 | 380 | 150 | 500 | 2450 | 112 |
| 4320 | 940 | 170 | 480 | 450 | 200 | 550 | 2700 | 100 |
| 6480 | 1150 | 200 | 570 | 530 | 250 | 650 | 3250 | 117 |
| 9360 | 1370 | 240 | 680 | 630 | 250 | 780 | 3970 | 120 |
| 11160 | 1550 | 275 | 700 | 710 | 300 | 880 | 4300 | 120 |
| 16560 | 1850 | 320 | 900 | 850 | 300 | 1050 | 5200 | 118 |
| 20160 | 2040 | 360 | 1000 | 960 | 400 | 1135 | 5800 | 111 |
| 27360 | 2360 | 410 | 1200 | 1120 | 400 | 1275 | 6800 | 110 |
| 36000 | 2750 | 480 | 1300 | 1250 | 450 | 1550 | 8100 | 120 |




*Şekil 7.11 Spiral akımlı ve yüksek basınçlı siklon.*

*Tablo 7.4. Spiral akımlı yüksek basınçlı siklon ölçüleri.(yaklaşık)*

| **Debi ($m^3$/h)** | **ØD** | **Giriş ağzı (mm)** | | **Ød** | **Øe** | **I** | **H** | **Basınç kaybı (mmSS)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **a** | **b** | | | | | |
| **1200** | 550 | 180 | 220 | 250 | 145 | 275 | 1680 | 60 |
| **1800** | 600 | 200 | 245 | 300 | 145 | 300 | 1850 | 76 |
| **2700** | 700 | 250 | 320 | 330 | 145 | 350 | 2185 | 94 |
| **4200** | 820 | 310 | 390 | 400 | 145 | 410 | 2560 | 100 |
| **6300** | 1000 | 380 | 480 | 500 | 145 | 500 | 3190 | 100 |
| **7300** | 1100 | 400 | 500 | 550 | 145 | 550 | 3440 | 93 |
| **9000** | 1200 | 440 | 540 | 600 | 145 | 600 | 3790 | 96 |
| **10000** | 1300 | 460 | 600 | 650 | 145 | 650 | 4040 | 88 |
| **11500** | 1400 | 500 | 640 | 700 | 145 | 700 | 4380 | 87 |
| **14000** | 1500 | 560 | 700 | 750 | 145 | 750 | 4740 | 90 |
| **17500** | 1640 | 620 | 780 | 800 | 145 | 820 | 5120 | 100 |
| **20000** | 1750 | 650 | 850 | 850 | 145 | 875 | 5470 | 96 |

## 7.4. Pnömatik İletimde Malzeme Ayrıştırılması

### Siklon ile Ayrıştırma

Siklonlar pnömatik iletimde malzeme ayrıştırması için de kullanılabilmektedir. Yani yüksek sıcaklık ve yüksek nem, yapışkan karakterli iletim malının söz konusu olduğu durumlarda toz ayırıcı olarak, yapımı çok basit olan siklonlar daima uygulann sistemlerdir.

Pnömatik iletimde çoğu kez iletim malının sürtmesi ile boru çeperinde ince aşıntı olgusu ortaya çıkar. Bundan başka karışım oranı (μ) yüksektir. Bu durumda artan hava sürtmesi akım girdabını azaltacaktır. Sonuçta karışım oranı artınca hava miktarında dalgalanmalar meydana gelir. Böylece projede siklondan beklenen optimum değerler amacından sapabilir. Pnömatik tesislerin çoğunda siklonlu toz giderme işlevi çevre sağlığını koruma yönünden yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle bu tesislerin sonuna siklondan sonra torbalı filtre yerleştirilir.

Bazı ayrıcalıklar dışında bugün için iletim havası ve iletim malzemesini direkt atmosfere atılması olanaksızdır. Maksimum toz konsantrasyonu 150 $mg/m^3$ hava için tehlikesiz sayılmaktadır. Buna göre hava ve toz karışım oranı μ aşağıdaki gibi hesaplanır.

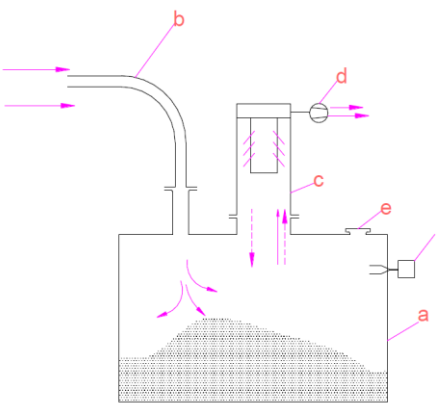
$$\mu = Q_s/Q_H = 1.5E\text{-}4/1.205 = 0.000124 \quad (7.3)$$

$Q_S$ : Toz kütlesel debisi, kg/s

$Q_H$ : Hava kütlesel debisi, kg/s

İletim malı, örneğin geniş siloda ayrıştırma kesitli siloda depo edilmek üzere iletiliyor veya iletim bir üretim prosesinde bir kademeyi oluşturuyor ise bu iki ilkeyi birbirinden ayırmak gerekir. Birinci durumda Şekil 7.12'de görüldüğü gibi; (a) silonun işlevi ayırma ve toz gidermektir. (b) iletim borusu aşağı doğru pozisyondaki kıvrımlı dirsek ile silonun tepesinden içeri girer. Silodaki üstte toplanan toz içerikli hava bir bunker filtresinde tozunu bırakır. Bir emme vantilatörü (d) siloda basınç oluşumunu engeller. Filtre sağırlaşınca manometrik basıncın artmasıyla silonun tavanındaki bir klape (e) açılır. Böylece silo istenmeyen basınçtan korunmuş olur. Bundan başka silo gövdesi üzerindeki bir (f) doluluk düzeyi haber vericisi siloyu aşırı

doluma karşı korur. Bu düzende emme vantilatörü, iletim durmuş olsa bile silonun kaldıramayacağı herhangi bir negatif basınç üretmez.




a) Silo

b) İletim borusu

c) Bunker filtresi

d) Emme vantilatörü

e) Üstbasınç klapesi

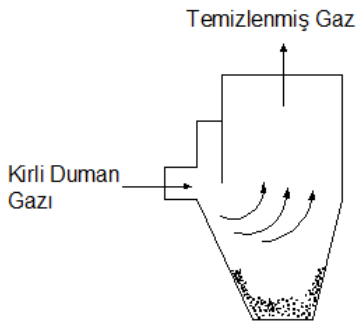
f) Doluluk seviye habercisi

*Şekil 7.12. Siloda malın ayrışması.*

Kesintisiz çalışan üretim proseslerinde malın ayrışması öncelikle Şekil 7.11'de görüldüğü gibi gerçekleştirilir. İletim borusu (a) burada teğetsel biçimde (b) ayırıcıya girer. Helezonlar oluşturarak akan iletim malı bir (c) hücreli çark vericisine ulaşır. Bu esnada hava bir filtreden geçerek temizlenir. İletim basıncının yaklaşık filtre direnci ile eşdeğer bir düzeye ulaştığında iletim havasının aşağıdan kaçıp gitmemesini sağlamak için bir hücreli çarklı vericiye gerek vardır. Şekil 7.12'de görüldüğü gibi malın ayrışması ancak aşağı çöküşmekte olan tozların hızı, yukarı yükselen hava hızından daha büyük olduğu zaman gerçekleşir. Başka bir durumda örneğin aşağı çöken is türü hafif tozlar tekrar filtreye taşınarak zamanla filtreyi tıkanık hale getirir. Ayrışma işlevi her iletim malının filtre ortamına giderek onu tıkanma ve yıpratma durumuna getirmesi söz konusu değildir ve ancak ince tozlar filtre ortamına ulaşırken tüm kaba tozlar odada ayrışır. Burada asıl tehlike ince tozların filtreyi tıkamasıdır. Bu nedenle filtre ortamına mümkün olduğunca az miktarda toz tutunmalıdır. Ayrışma olgusu ne çok kuvvetli ne de çok zayıf olmalıdır. Bu düşünce, bazı filtre üreten firmalarını malın filtreye girişini teğetsel değil radyal tarzda gerçekleştirmeye yöneltmiştir.

## 7.5. Durulma Odaları

Eğer parçacıklar 40 μm'den daha büyükse, durulma odalarında hız düştüğü için parçacıklar asılı halden aşağı düşeceklerdir. Bu nedenle gaz akımları içinden aşındırıcı ya da kaba parçacıkların ayrılması için plenumlar, düşürme kabinleri ya da yer çekimsel durulma odaları kullanılır. Bu tür filtre içinde atık gaz hızı genişleme nedeniyle partikül taşıma hızının altına düşürülerek yön değiştirme yoluyla ve yer çekimi etkisiyle büyük partiküllerin dibe çökmesi sağlanır. Bu cihazlar bilhassa ön filtre olarak yanmamış uçucu partiküllerin tutularak tekrar ocağa enjekte edilmesinde de kullanılabilmektedir. Ancak durulma odaları tek başlarına filtre olarak kullanılamazlar. Bu nedenle toplam sistem maliyetini düşürmek üzere durulma odaları ile birlikte genellikle torbalı filtreler veya elektrostatik filtreler kullanılır. Bir başka ifade ile durulma odaları, büyük parçacıkların gaz akımından ayrıldığı bir ön toplayıcı olarak işlev görmektedir. Şekil 7.13'de durulma odası prensip şeması görülmektedir.




*Şekil 7.13. Durulma odası çalışma prensibi.*

Durulma odaları bazen gaz akımını dağıtmak ve büyük parçacıkların çarpma yüzeyi olarak çalışması amacıyla perdeler içerir. Diğer bazı tasarımlarda ise perdeler, gaz akışının yönünü değiştirmek ve böylece kaba parçacıkların atalet kuvvetleri yoluyla akımdan atılması için kullanılır. Eş biçimli bir gaz akışında durulma odasının oransal verimi aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\eta = 100\, u_t L/HV \qquad (7.2)$$

Burada;

$\eta$ : Durulma hızı $u_t$'deki kolektör verimi,%

$u_t$ : Seçilen parçacıkların durulma hızı, m/s

$L$ : Odanın uzunluğu, m

$H$ : Odanın yüksekliği, m

$V$ : Oda içerisindeki gazların yüzey hızı, m/s

Oda içerisinden gazların yüzey hızı odaya giren ve çıkan gazların hacimsel debi ölçümleri ile odanın düşey kesitinden hesaplanır. Parçacıkların savrulmaması için bu ortalama hızın yeteri kadar düşük olması gerekli olup, birçok malzeme için 0. 3 m/s gibi bir yüzey hızı uygundur. Durulma odaları ile ilgili tipik veriler Tablo 7.5'de bulunmaktadır.

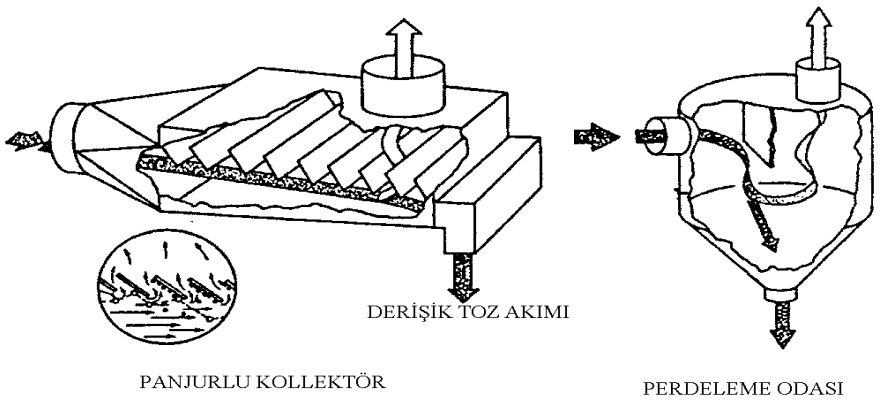
*Tablo 7.5 Parçacıkların nihai durulma hızları,m/s*

| **Parçacık yoğunluğu Kg/m$^3$** | **Parçacık yada topak büyüklüğü, µm** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **5** | **10** | **20** | **50** | **100** | **200** | **500** | **1000** |
| **50** | 1.8E-6 | 7.0E-6 | 4.0E-5 | 1.6E-4 | 7.0E-4 | 4.0E-3 | 1.6E-2 | 0.055 | 0.23 | 0.51 |
| **100** | 3.7E-6 | 1.4E-5 | 8.0E-5 | 3.2E-4 | 1.4E-3 | 8.0E-3 | 3.0E-2 | 0.11 | 0.39 | 0.83 |
| **200** | 7.4E-6 | 2.8E-5 | 1.6E-5 | 6.4E-4 | 2.8E-3 | 1.6E-2 | 5.9E-2 | 0.19 | 0.65 | 1.30 |
| **500** | 1.8E-5 | 7.0E-5 | 4.0E-4 | 1.6E-3 | 7.0E-3 | 3.9E-2 | 0.14 | 0.42 | 1.21 | 2.50 |
| **1000** | 3.7E-5 | 1.4E-4 | 8.0E-4 | 3.2E-3 | 1.2E-2 | 7.6E-2 | 0.25 | 0.70 | 1.95 | 3.90 |
| **2000** | 7.4E-5 | 2.8E-4 | 1.6E-3 | 6.4E-3 | 2.5E-2 | 0.14 | 0.45 | 1.14 | 3.10 | 6.25 |
| **5000** | 1.8E-4 | 7.0E-4 | 4.0E-4 | 1.5E-2 | 6.4E-2 | 0.35 | 0.97 | 2.23 | 5.75 | 11.0 |
| **10 000** | 3.7E-4 | 1.4E-3 | 8.0E-3 | 3.1E-2 | 0.12 | 0.60 | 1.66 | 3.52 | 8.90 | 17.3 |

*NOT:* E-6= $10^{-6}$ vb.

## 7.6. Panjurlar ve Perdeli Toplayıcılar

Panjurlar durulma odalarına benzer mekanizma ile çalışan sistemlerdir. Bunlar çapı 15 μm'den büyük parçacıkların tutulmasında kullanılmaktadır. Bu sistemler, gaz akışının yönünde ani bir değişme oluşturur. Sahip oldukları atalet nedeniyle, parçacıklar yüksek hızlı gazlardan ayrılarak bir huni biçimli kap ya da cepte toplanır veya yan-akımlar tarafından çekilir. Bu yan akım, bir siklon veya yüksek verimli bir toplayıcı kullanılarak temizlenir veya atmosfere atılır. Genelde, panjuru veya perdeli atalet toplayıcıdaki basınç düşümü durulma odalarındakinden büyüktür. Fakat bu kayıp yüksek toplayıcı verimi ya da daha kompakt bir ekipman ile dengelenebilir. Atalet toplayıcılar bazen de buharların tutulmasında kullanılır. Bazı uygulamalarda toplayıcının iç yüzeyi, kuru toz parçalarının ve çözünebilir artıkların savrulmaması için ıslatılabilir. Tipik panjur ve perdeli toplayıcılar Şekil 7.14'de gösterilmektedir.




*Şekil 7.14. Tipik panjurlu ve perdeli toplayıcılar.*

# BÖLÜM 8

# TORBALI FİLTRELER

## 8.1. Giriş

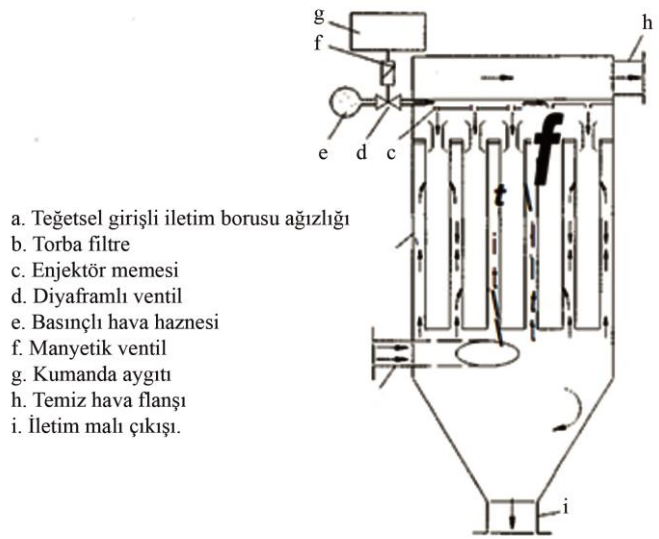
Torbalı filtreler endüstride kullanımı her geçen gün artan oranlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle burada bu sistemler üzerinde geniş biçimde durulacaktır. Torbalı filtreler, kirli gazı akımı içerisinde asılı halde bulunan tozları tutmak üzere torbalar kullanan kuru tip toz toplayıcı sistemlerdir. Torbalı filtrelerin toz tutma verimlilikleri ve yasal gereksinimleri yerine getirebilme kapasiteleri elektrostatik ve sulu filtrelere göre daha iyidir. Ancak sıcaklık, gazın cinsi gibi kısıtlara tabidirler. Torbalı tip toplayıcıların üç çeşidi bulunmaktadır;

a) mekanik sallama ile çalışan filtreler,

b) ters hava akımı ile çalışan filtreler,

c) basınçlı hava jeti ile çalışan filtreler.

Ticari olarak bulunan torbalı filtrelerin çoğu bu üç türden biriyle üretilse de, birbirine rakip ürünler arasında belirli bir uygulamaya göre yapılan özel tasarımlarda önemli değişiklikler söz konusudur. Şekil 8.1'de torbalı filtre sistemlerinin elemanları görülmektedir.



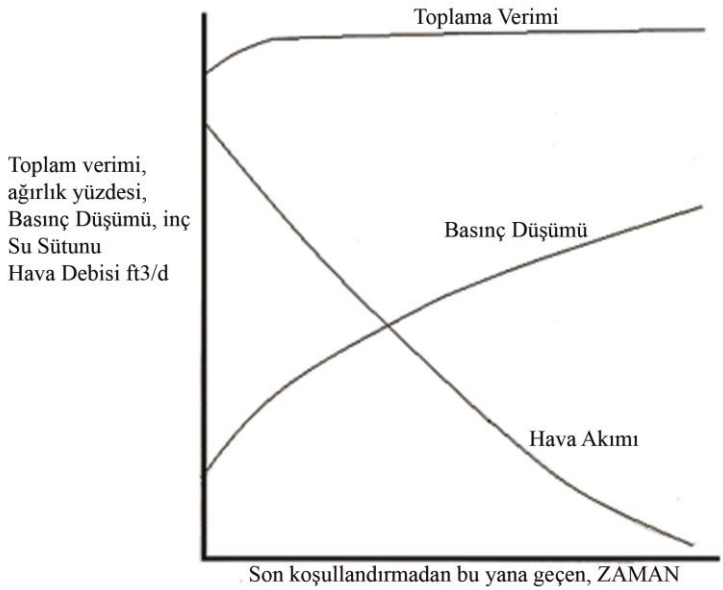

*Şekil 8.1. Torbalı filtre sistemlerine ait ana elemanlar.*

Görüldüğü üzere bu filtreler; çelik yapı içinde uygun sayıda ve tozun niteliğine uygun biçimde seçilmiş torbalar, gövde yapısı temizleme ünitesi (mekanik, ters hava akımlı veya basınçlı havalı-jet pulse) hava kilidi, konveyör ünitesi, otomatik kontrol sisteminden oluşurlar. Torbalar uzun ve silindirik yapıdadır. Bu filtrelerde programlı torba değiştirmelerin dışında, düzenli bir bakım işlemi uygulanması koşuluyla sadece birkaç parça değiştirme yeterli olabilmektedir. Sistemin tümü, sistem çalışırken ulaşılabilecek biçimde tasarlanmaktadır. Yapısına bakılmaksızın torba malzemesi, gazın içerisinden geçerken toz parçacıklarının tutulacağı ve ters yönde hava veya uygun başka gazlar geçirilerek temizlenen gözenekli bir yapı oluşturur. Torbanın havayı geçirme yeteneği "geçirgenlik" olarak ifade edilir ve 15 Pa basınçta kumaşın birim alanından dakikada geçen hava miktarı olarak tanımlanır. Tipik geçirgenlik değerleri 25-40 cfm/ft$^{2}$dir. Dokuma-olmayan (keçe) torbalar üzerindeki boşluk alanları ya da gözenekler küçük olduğundan eşdeğer ağırlıktaki bir dokuma malzemeden daha etkilidir. Çelik gövde termal genleşmeler, rüzgar, deprem gibi dış etkenlere dayanıklı olmalıdır. Belirli tür bir torba, küçük fiber çapı, fiberi daha sıkı paketleyerek birim fiber alanında büyük ağırlık kullanılarak daha etkili bir hale getirmek olanaklıdır. Herhangi bir kumaşın bu yollarla daha

verimli hale getirilmesi olanaklı ise de temizlenebilirlik ve geçirgenlik azalır**.** Temizlenemeyen ve yüksek verimlere sahip bir torba akışa daha yüksek direnç gösterir. Bu tip bir yaklaşım ekonomik bir mühendislik çözümü değildir. Nihai kumaş seçimi genellikle verim ve geçirgenlik arasındaki optimal noktaya göre yapılır. İyi temizlenebilir niteliğe sahip veya daha fazla geçirgenlikte, buna karşın daha düşük verimde bir torba seçmek göründüğü kadar kötü bir seçim olmayacaktır. Bir torba, herhangi bir zaman süresi içinde hizmette kaldığında, toplanan toz parçacıkları filtrelemeye yardımcı olur ve verimi iyileştirir. Burada torbanın iki koşullandırılma (temizleme) periyodu arasında geçen zaman ve toplanan toz miktarına bağlı olarak, filtrasyonun daha önce toplanan toz ile yapıldığını en azından teorik olarak söylemek olanaklıdır. Temizlikten hemen sonra bile arta kalan veya oluşan toz-pastası (dust cake) ek bir filtrasyon yüzeyi oluşturur ve yeni torba durumuna göre daha yüksek verim sağlar. Yeni ve temiz bir torbanın verimi laboratuarda kolayca belirlenebilir. Bu bilgiler yayımlansa da, bunlar çalışma koşullarını temzil eden bilgiler olmadıklarından doğru bir filtre seçiminde çok küçük öneme sahiptirler. Torbalı filtreler %100 verimli (toz tutma kapasitesi) değillerse de, iyi tasarlanmış, doğru boyutlandırılmış ve doğru çalıştırılan torbaların % 99'a kadar verimli hatta ağırlık temelinde % 99.9+ verimde çalışmaları beklenebilir. Yeniden koşullandırmadan (temizlik) hemen sonra ortaya çıkan verimsizlik (verim düşüklüğü) ya da geçirgenlik en fazla düzeydedir. Torbaların verimsizliği, torbanın geçirgenliğinden daha çok genellikle yıpranmış filtre içinden gerçekleşen bypass, hatalı montaj (salımı) veya metaller arasındaki hava kaçakları nedeniyle olmaktadır. Çok yüksek toplama veriminin gerekli olduğu yerlerde sisteme mekanik kaçaklar bakımından filtreye fluoresan boyama tozu vererek ve sonra mor-ötesi ışıkla kontrol ederek, kaçak testi yapılmalıdır.

Yukarıda açıklandığı üzere tozlar tutma işlemi sırasında toz filtre elemanının yüzeyinde toplanarak bir kekleşme meyadana gelir. Bunun sonucunda filtre verimliliği artar. Buna karşın basınç kayıpları ve dolayısıyla enerji giderleri de artar. Burada bir optimizasyon yapabilmek için filtrenin temiz ve kirli gaz bölümündeki basınç farkını kontrol ederek ve bu basınç farkını izleyerek, diferansiyel basınç azaltılabilir ve izin verilebilir sınırlar arasında tutulabilir. Torba yüzeyinde toz-pastası (dust cake) toplandıkça kumaş ve toz giderek daha verimli bir filtre haline geldiği yukarıda ifade edilmiştir. Burada sistem çalıştıkça zamanla, hava akımına gösterilen direnç artar. Şekil 8.2, verim,

akışa gösterilen direnç ve debinin (filtrede toz toplanırken) zamanla değişimi görülmektedir.




*Şekil 8.2. Torba parametrelerinin zamanla değişimi.*

Torbalı filtreler, nispeten ağır toz yükleri için uygundurlar. Torbanın bir ($m^2$) yüzeyinde toplanan toz miktarı saatte 2,27 kg'ı aşabileceği kabul edilebilir. Teorik olarak tüm uygulamalarda, bir-iki saatte toplanan toz-pastası miktarının hava akımında istenmeyen bir azalmaya neden olacak akış direncini temsil etmektedir. Bu nedenle 10-45 dakika aralığında torbaların temizlenmesi uygun olmaktadır.

İyi tasarlanmış bir torbalı filtre sisteminde, torba veya filtre-şiltesi (filter-mat) hava debisindeki düşüş kritik hale gelmeden önce temizlenir. Aksi taktirde fanda enerji kayıpları meydana gelir. Temizleme mekanik karıştırma veya hava hareketi ile yapılarak tozun fazlası alınarak bir kalıntı toz-pastası bırakılır. Kalıntı toz-pastası yeni bir torbanın verimi veya hava akımına direnci ile aynı karakteristikleri taşımaz.

Bazı durumlarda torba yerine kartuşlu filtrelerde kullanılmaktadır. Kartuş uyarlaması kağıt biçiminde silindirik veya düz panel uyarlamasından oluşur. Bu filtreler aşındırıcı temizleme ya da toz kaplama işlemleri gibi kuru ve

yuvarlak tozların hafif konsantrasyonlarında son dercede yüksek verim ortaya koyar. Ticari olarak mevcut bir çok torbalı filtrenin tasarımında aşağıdaki hususlar dikkate alınır.

a) Torbanın türü (dokunmuş veya dokuma-değil),
b) Torbanın uyarlanma biçimi (çanta veya boru, kartuş),
c) Aralıklı veya sürekli hizmet,
d) Yeniden koşullandırma türü (salınım, pulse-jet, ters hava),
e) Gövde konstrüksiyonu (tek bölmeli, çok bölmeli) vb.

Bu özelliklerden en az ikisi birbirine bağlıdır. Örneğin, dokuma olmayan torbalar yeniden-koşullandırılması zor elemanlardır ve bu nedenle yüksek basınçlı temizlemeye gerek duyarlar. Tablo 8.1 çok kullanılan torba malzemelerine ait özellikleri vermektedir. Bu tablo daha sonraki açıklamalar için önbilgi oluşturacaktır. Torbalı filtreler aşırı basınç düşümüne neden olmayacak şekilde yeterli filtre alanında boyutlandırılır. Gerekli filtre yüzey alanı aşağıdakileri de içeren çeşitli faktörlere bağlıdır.

a) Tozun yayılma karakteristikleri,
b) Toz-pastasının gözenekliliği,
c) Taşıyıcı gaz akımındaki toz konsantrasyonu,
d) Torba türü ve yüzey bitirme (eğer varsa),
e) Yeniden koşullandırma (temizleme) türü,
f) Yeniden koşullandırma aralığı,
g) Kolektör içerisinde hava akış örneği,
h) Gaz akımının sıcaklığı ve nemi, vb.

Çok sayıda değişken nedeniyle torba seçimi deneyimlere de dayanmak durumundadır. Boyutlandırma genellikle ekipman üreticisi tarafından yapılırsa da kullanıcı ya da aynı kurulumu veya benzer işleri yapmaktan elde edilen deneyime sahip kişiler tarafından da yapılabilir. Deneyimin bulunmadığı yerlerde doğru filtre tasarımına ulaşmadaki en iyi yol bir pilot kurulum gerçekleştirilmesidir. Torba filtrelerin sınıflandırması aralıklı iş (offline) ya da sürekli iş (online) olarak yapılır. Aralıklı iş filtre sistemleri filtre işletimde iken yeniden koşullandırılamazlar (silkelenmezler). Burada tasarım gereği, torba toplanan toz-pastasını serbest bırakmak (düşürmek) için koşullandırılırken, gaz akımının kesilmesi gerekmektedir. Sürekli iş

filtrelerin ise yeniden koşullandırma sırasından sistemin durdurulması gerekmemektedir. Bu husus daha sonra açıklanacağı üzere, büyük filtrelerde kompartıman uygulanması ile sağlanır. Burada bir kompartıman kapatılıp temizleme yapılırken geri kalan kompartımanlar arıtma işlemine devam ederler. Tablo 8.1'de torbalı filtrelerin bazı teknik özellikleri özetlenmiştir.

*Tablo 8.1. Torbalı filtre özellikleri.*

| | **KESİNTİLİ ÇALIŞMA Hafif-Orta Yükleme** | **KESİNTİLİ ÇALIŞMA Ağır Yükleme** | | **SÜREKLİ ÇALIŞMA Herhangi Yükleme** | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kumaş Yeniden-Koşullandırma Gereksinimi** | Aralıklı | Sürekli | | | |
| **Yeniden-Koşullandırma Türü** | Sarsıntı Elemanı | Sarsıntı | Ters hava (düşük basınçlı) | Ters Pulse-(yüksek basınç) Pulse-Jet veya Fan Pulse | |
| **Kolektör Uyarlaması** | Tek Bölmeli | Her birinde giriş ve çıkış damperleri olan çok bölümlü | | Tek bölümlü | |
| **Kumaş Uyarlaması** | Boru veya zarf | Boru veya zarf | Boru | Boru veya zarf | Pileli kartuş |
| **Kumaş Türü** | Dokuma | Dokuma | | Dokuma-değil (keçe) | Dokuma-değil(Pağıt şilte) |
| **Hava akımı** | Yüksek değişkenlikte | Hafifçe değişken | | Teoride sabit | Teoride sabit |
| **Normal Değerleme (filtrasyon hızı, fpm veya A/C oranı)** | 0,005-0,03 m/s (0,3 – 1,8) | 0,005-0,015 m/s (0,3 – 1) | 0,005-0,010 m/s (0,3 – 0,6) | 0,025-0,061 m/s (1,5 – 3,6) | <0,005-0,127 m/s (0,3 – 0,7) |

Not: Bu tablo bir fikir vermek amacıyla verilmiş olup detaylı bilgi daha sonra verilmiştir.

## 8.2. Torbalı Filtre Kullanım Alanları

Torbalı filtreler aşağıda örnekleri verilen çok değişik endüstriyel alanda kullanılmaktadır.

- Un işlemleme,
- Alçı tesisleri,
- Çelik yapımı dahil, birincil metaller,
- Metal işlemleri: taşlama, dikiş, kumlama ve parlatma,
- Çimento sektonu,
- Kağıt endüstrisi,
- Seramik endüstrisi,
- Karıştırma ve harmanlama işlemleri,
- Madencilik,
- Döküm,
- Cam tesisleri,
- Akü tesisleri vb.

Az yer kaplamaları, fonsiyonel olmaları ve daha kolay temizlik gibi nedenlerle günümüzde en çok jet pulse torbalı filtreler tercih edilmektedir. Ancak bu sistemlerde elektrik enerjisine göre 8-10 kat daha pahalı olan basınçlı hava kullanılıyor olması enerji tüketimi yönünden sistemlerin iyi analiz edilmesini gerektirmektedir. Bu bölümde torbalı filtrelerin tasarımı, seçimi, işletilmesi, enerji verimliliğine etki eden hususlar incelenmiştir.

## 8.3. Seçim ve Tasarıma İlişkin Düşünceler

### 8.3.1. Seçim

- Uzun torba ömrü,
- Torbaların bulunabilirliği,
- Düşük enerji tüketimi (düşük basınçlı hava),
- Gaz akımı için ne kadar filtre yüzeyi gerektiği,
- Belirli bir uygulamaya uygun filtre elemanının hangisi olduğu,
- Düşük bakım maliyetine sahip olması,
- Doğru hava /torba yüzeyi oranı, (A/C oranı),
- Torba ve tel kafes tipi,
- Hava dağıtım sistemi,
- Kontrol stratejileri, vb.

Torbalı filtrelerin elektrostatik toplayıcılara ve ıslak filtrelere göre aşağıdaki gibi **avantajları** vardır.

- Düşük kurulum maliyeti ve yüksek verim sağlarlar.
- Tozların gaz içerisinde bulunduğu haliyle yakalanması ürün geri kazanımı durumunda önemli olan bir faktördür.
- Nadiren prosesin bozulması ve emisyon standartlarına uygunsuzlukla sonuçlanır.
- Toplama işleminden kaçan parçacık miktarı filtrenin hizmet ömrü boyunca düşük düzeyde kalırken, filtreye giren toz yükündeki büyük değişmelere karşı duyarlı değildir.

Buna karşın bu filtrelerin aşağıdaki sınırlamaları bulunmaktadır.

- Havadaki sıvı parçacıklar, nem ve yapışkan maddeler ile yoğuşma, filtre elemanını sağır hale getirerek gaz akışını azaltır ya da tamamen kesebilir. Bunun anlamı torbaların tıkanmasıdır. Bu nedenle tasarımda bu gibi durumlara karşı uygun torba seçimi, yoğuşmanın önlenmesi gibi önlemler alınması gerekir.
- Gaz akımı içerisinde asit veya alkali maddeler bulunması halinde filtre elemanının ömrü kısalabilir.
- Torba filtrelerin kullanımı genellikle 250°C ile sınırlıdır. Daha sıcak gaz durumunda ön soğutma gibi önlemler alınmalıdır.
- Filtreye bir kıvılcım ya da alev ulaştığında, torba yanma/patlamaya neden olabilir. Buna karşı önlem düşünülmelidir.
- Büyük miktarda gazın temizlenmesi gerektiğinde, filtre elemanı (torba) sayısı artacaktır. Bu durumda arızalı bir elemanın bulunması, onarılması, bakımı ve değiştirilmesi gibi hususlar (yedek kompartıman öngörülmesi) düşünülmelidir. Günümüzdeki modern izleme ve kontrol ekipmanları torba filtredeki arızaları bulabilmektedir. Bu gibi mahzurlar tasarımda gerekli önlemler alınarak giderilebilmektedir.

### 8.3.2. Tasarım İlkeleri

#### 8.3.2.1. Gaz Debisi, Toz Yükü ve İzin Verilen Emisyon Değeri

İyi bir filtre tasarımının ön şartı filtreden geçecek gaz debisinin doğru belirlenmesidir. Bu konuda geniş bilgi 6. Bölümde verilmiştir. Ortalama ve maksimum debi, sıcaklık, nem, yüzdesi kimyasal özellikler (dew point, koroziflik, yanıcılık) nihai tasarımdan önce belirlenmelidir. Ayrıca filtreye giren gazdaki toz yükü, izin verilen emisyon değerleri de bilinmelidir. Toz ve gaz akış özellikleri belirlendikten sonra torba seçimi ve filtre tasarımı yapılabilir. ( Bu parametreler diğer filtre türleri için de geçerlidir).

#### 8.3.2.2. Basınç Kayıpları

Bir torbalı filtredeki basınç kayıpları için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

1) Sıcaklık, nem, toz yükü, rakım, debi,
2) Emiş noktaları ve davlumbazlar,
3) Hava Kanalları,
   - Hava hızları (davlumbazlarda yakalama, kanallarda, siklonda, filtrede),
   - Basınç kayıpları (tüm sistemde),
4) Torba tipleri, seçimi, filtrasyon hızları,
5) İlk yatırım ve enerji maliyetleri,
6) Olanaklı ise CFD analizi yapılması,
7) Ölçüm ve değerlendirme (çaplar, hızlar, basınç kayıpları),
8) Otomatik kontrol veya otomasyon sistemleri,
9) Basınçlı hava tüketimi (kompresör, soğutucu, boru tesisatı, selonoid vanalar, dağıtım boruları, nozullar, venturiler),
10) Genel değerlendirme, raporlama.

Torbalı filtrelerin boyutlandırılması ya da değerlemesi (rating) hava debisine karşı torba alanı ile ifade edilir. Bunun sonucu oluşan oran " hava-debisi – torba yüzey alanı oranı" (air-cloth ratio) olarak adlandırılır ve birimi $m^2$ torba alanı başına $m^3$/dakika (British birimi ise cfm/$ft^2$)' dir. Bu oran filtre ortamından geçen gaz akımının ortalama hızını temsil eder. Torba filtreler değerlendirilirken (rating) filtrasyon-hızı A/C oranı ile eşanlamlı olarak

kullanılır. Örneğin, hava-torba yüzey alanı oranı 7:1 (7 cfm/ft$^2$) ise filtrasyon hızı olarak 7 fpm'e eşittir. Özellikle büyük kapasiteli kazanlar (utility boilers) gibi kurulumlarda filtre performansını tanımlamakta, bazen filtre-sürüklemesi terimi de kullanılır. Bu, filtre ft$^2$ filtre alanı başına cfm için basınç_düşümünü ifade eder. Bu değer bir elektrik devresindeki direncin eşdeğeridir, örneğin filtre basınç kaybının filtre hızına oranı olabilir. Torbalı filtre tasarımı, imalatı ve işletmesinde; gerekli filtreleme düzeyi, filtre sınıflandırılması, maliyetler (kurulum, işletme), stabil toz toplama verimi, toz toplama kapasitesi, düşük basınç kaybı, havanın filtre içinde homojen dağılımı, yüksek torba ömürü için gerekirse ön filtre veya siklon kullanımı, sistemin yapısal olarak kendi ağırlığına, rüzgar ve kar yüklerine dayanıklı olması, filtre bakım ve temizliği için fark basınç sensörleri konulması, torbalar arasında yeterli mesafe bırakılması, işletme bakım ve değerlendirme için filtrelere ulaşılabilirlik sağlanması, torbaların tavsiye edilenden daha uzun süreler kullanılmaması, işletmede tavsiye edilen basınç düşümlerinin aşılmaması, torbaların kolay bulunabilirliği, işletme ömrü, düşük işletme maliyeti, yerleşim kısıtları, temizleme yöntemleri, torba malzemeleri, fiber, A/C oranı ( $\frac{m^3/h}{m^2}$) ve konstrüksiyon detayları (giriş ve çıkış bağlantıları, kanallar, fan, baca emiş noktaları, damperler, bunker, hava kilidi, konveyör, basınçlı hava tesisatı vb.) gibi parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir. Basınç veya vakum altındaki gazlar veya hava, filtre gövdesinin altından sisteme gönderilir. Gaz akımı filtre torbasına doğru olduğundan, hava (gaz) içerisindeki kirlilik unsurları torbanın dış yüzeyinde toplanır.

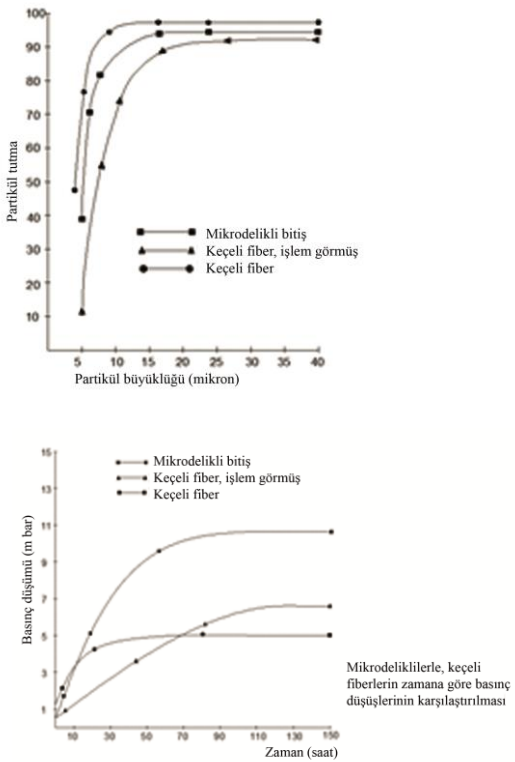
### 8.3.3. Toz Ayrıştırma İlkeleri

Torbalı filtrelerde toz ayrışımı, üç farklı ayrışım olgusu ile gerçekleşir;

a) İri taneler doku örgüsü nedeni ile (örneğin 75 ila 150 mikron) %100 oranında tutulur (tane çapları büyüdükçe eylemsizlik nedeni ile dokular arasından geçişte, önce buralarda tutulur).

b) İnce taneler delikler arasından hava akımını izleyerek doku içinden ayrışmazlar. Bu toz taneleri statik elektrikle yüklü doku fazları tarafından çekilerek tutulur.

Bu ayrışım olguları, gerek iri ve gerek ince toz tanelerinin yaklaşık %99 oranında tutulmasını sağlar. Burada gerek tesis yapımcılarının ve gerekse işletmecilerin filtreden sonraki toz içeriğinin yönergelerde belirtilen değerlerin üstüne çıkmamasına dikkat etmeleri gerekir. Dikkatli biçimde etüt edilerek kurulmuş tesislerde, yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre elyaflı bir filtreden geçen havadaki kalıcı toz miktarının 5-50 mg/m$^3$ arasında olduğu bilinmektedir. Öte yandan Türkiye Çevre Yönetmeliği'nde sınır değer 20 mg/m$^3$'tür. Kirli gaz torba filtreden geçerken parçacıklar fibere ve/veya diğer parçacıklara tutunarak gaz ortamdan ayrılır. Ancak oluşan toz pastası gaz akışına karşı aşırı direnç oluşturmasını önlemek üzere belirli aralıklarda temizlenir. Zaman içinde ince parçacıklar torba filtreye derinlemesine nüfuz eder ve eğer temizlenmezse torbayı iş göremez hale getirebilir. Parçacık toplanmasında kullanılan birincil mekanizmalar, direkt yakalama, atalet kuvvetleriyle yakalama, elektrostatik çekim ve difüzyondur.




*Şekil 8.3. Partikül büyüklüğü ve partikül tutulması ilişkileri.*

Şekil 8.3'de görüldüğü üzere, toz çapı büyüdükçe tutma verimi sabit biçimde devam etmektedir. Buna karşın 10 μ'dan küçük tozlarda başlangıçta düşük olan tutma verimi zamanla artacaktır.

Toz tutma mekanizmaları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

***Direkt yakalama.*** Toz taşıyan akımın parçacık çapının yarısı çapındaki gözeneklere sahip bir filtreden geçmesi halinde bu mekanizma ortaya çıkar. Parçacık büyüklüğüne, kütlesine yada ataletine bakılmaksızın, akımın yeteri kadar yakından geçmesi halinde parçacıklar tutulacaktır.

***Atalet kuvvetleriyle yakalama.*** Parçacığın, akım çizgisini izlemesi halinde filtreyi geçebileceği, fakat ataletinin gaz akışının ortaya koyduğu direnci yenerek fibere çarpmak için yeteri kadar bir yol gidebileceği durumlarda ortaya çıkar.

***Elektrostatik çekim.*** Parçacık, filtre ya da her ikisi birden, parçacığın filtre üzerine çekileceği yeterli bir elektrik yüküne sahip olması durumunda ortaya çıkar.

***Difüzyon.*** Bu mekanizma parçacıkları fiber yakınlarından geçmeye zorlayarak yakalanmasını sağlar. Parçacık bir kez filtre üzerine oturduğunda fiberin çapını etkin biçimde arttırır.

***Tozlu havanın fiziksel ve kimyasal özellikleri.*** Bu parametreler torba cinsinin belirlenmesinde çok önemlidir. Tozun büyüklüğü, şekli, yoğunluğu, maksimum ve ortalama konsantrasyonu, fiziksel ve kimyasal özellikler (aşındırıcılık, patlayıcılık, elektrostatik şarj, yığılma ve topaklanmaya ilişkin eğilimler…). Örneğin aşındırıcı tozlar pamuklu veya cam elyaf torbaları kısa sürede aşındırır. Eğer tozun elektrostatik şarj özelliği varsa bu durum ayrıca göz önünde tutulmalıdır.

### 8.3.4. Hava Debisi, Torba Yüzey Alanı Oranı [Air to cloth ratio (A/C)]

Daha önce belirtildiği üzere filtre tasarımının temel parametrelerinden birisi A/C oranıdır. Bu oran filtreden geçen hava debisinin filtre yüzey alanına oranı olup ($m^3/h/m^2$), ($m^3/dk/m^2$), (m/s), (m/dk), ($cfm/ft^2$), (fpm) gibi birimlerile ifade edilebilmektedir. Bu değer filtrasyon hızı olarak da

adlandırılır. A/C; torba tipi, toz yükü ve tipi temizleme yöntemi, kompartman sayısı vb.'nin fonksiyonudur.

Tipik A/C oranları: a) ters havalı temizleme sistemlerinde ortalama 0.3 – 3.5 $(m^3/dk)/m^2$, mekanik silkelemeli sistemlerde 0.6 – 1.2 $(m^3/dk)/m^2$, jet pulse temizleme sistemlerinde 1.5 – 3.5 $(m^3/dk)/m^2$ şeklindedir. Daha detaylı değerler Tablo 8.2.'deki gibi tablolardan, üretici tavsiyelerinden alınarak seçim yapılması uygun olur. Tablo 8.2'deki değerler ilk yaklaşım için uygun olup rehber niteliğindedir. A/C oranı toz yükü fazla ve partiküller küçük ise küçük olmalıdır. Eğer kompartmanlı filtre kullanılırsa A/C oranı bir veya iki kompartımanın devre dışı olabileceği dikkate alınarak belirlenmelidir.

*Tablo 8.2. Çeşitli endüstriler için tipik A/C oranları ($(m^3/dk)/m^2$)*

| **Endüstri** | **Ters hava akımlı** | **Jet - pulse** | **Mekanik temizleme** |
|---|---|---|---|
| Bazik oksijen fırınları | 0,45 – 0,60 | 1,8 – 2,4 | 0,75 – 0,90 |
| Tuğla fabrikaları | 0,45 – 0,60 | 2,7 – 3,0 | 0,75 – 1,0 |
| Dökülebilir katalitik refraktörler | 0,45 – 0,60 | 2,7 – 3,0 | 0,75 – 0,90 |
| Kil refraktörler | 0,45 – 0,60 | 2,7 – 3,0 | 0,75 – 1,0 |
| Kömürlü kazanlar | 0,30 – 0,45 | 0,90 – 1,50 | — |
| Canical incinerators | — | — | — |
| Cotton ginnig (pamuk) | — | — | — |
| Deterjan imalatı | 0,35 – 0,45 | 1,5 – 1,8 | 0,6 – 0,75 |
| Elektrik ark fırınları | 0,45 – 0,60 | 1,8 – 2,4 | 0,75 – 1,0 |
| Feed mils | — | 3,0 – 4,5 | 1,0 – 1,5 |
| Demir alaşımları tesisleri ( Ferrolalloy plants) | 0,6 | 2,7 | 0,6 |
| Cam imalatı | 0,45 | — | — |
| Gri demir tesisleri (Grey iron foundries) | 0,45 - 2 | 2,1 -2,4 | 0,7 – 0,9 |
| Demir ve çelik (sinterleme) | 0,45 – 0,6 | 2,1 – 2,4 | 0,7 – 0,9 |
| Kraft recovery furnaces | — | — | — |
| Kireç ocakları | 0,45 – 0,6 | 2,6 – 2,7 | 0,75 – 0,90 |
| Evsel ve tıbbi atık yakma tesisleri | 0,3 – 0,6 | 0,75 – 1,2 | — |
| Petrol rafineleri | — | — | — |
| Fosfat gübre tesisleri | 0,5 – 0,6 | 2,4 – 2,7 | 0,9 - 1,1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fosfat ocakları, kırma - eleme | — | 1,5 – 3,0 | 0,9 – 1,1 |
| PVC üretimi | — | 2,1 | — |
| Portlant çimentosu üretimi | 0,35 – 0,45 | 2,1 – 3,0 | 0,6 – 0,9 |
| Kağıt hamuru ve kağıt (akışkan yataklı) | — | — | — |
| Sekonder alüminyum ergitme tesisleri | — | 1,8 – 2,4 | 0,6 |
| Sekonder bakır ergitme tesisleri | — | 1,8 – 2,4 | — |
| Lağım çamuru yakma tesisleri | — | — | — |
| Yüzey kaplama, sprey boyama | — | — | — |

Not: $1\frac{m^3/_{dk}}{m^2} = 0{,}017\ m/s$

Tablo 8.2'de görüldüğü üzere torbalı filtre sistemleri uygun A/C değerlerinde (filtrasyon hızlarında) tasarlanıp işletilmelidir. Örneğin ters hava akışı ile temizlenen bir fırına filtre sistemi kurulacağı kabul edilsin(dokuma fiberglas torbalı). Bu sistemin örnegin 3.6 ($\frac{m^3/_{dk}}{m^2} = 0.06\ m/s$) bir A/C oranında çalıştırılacağı belirtilmiş ise bu değerin sorgulanması gerekir. Çünkü ters havalı sistemler daha düşük A/C oranlarında tasarlanmalıdır (torbalar yüksek filtrasyon hızlarında gerilmelere dayanamaz ve çabucak hasar görürler). Yüksek A/C oranları yüksek basınç kayıplarına, düşük filtreleme verimine, torbalarla körleşmeye ve torbaların kısa sürede eskimesine sebep olur. Bu gibi mahzurları gidermek için daha fazla sayıda torba kullanılarak A/C oranlarının kabul edilebilir değerlere düşürülmesi gerekir. Burada ikinci bir alternatif olarak, aynı A/C oranında jet pulse filtre kullanılmasıdır. Bu bağlamda Nomex torbalar asitlere çok dayanıklıdır ancak egzoz gazlarında $SO_2$ bulunması halinde bunlar kullanılmamalıdır. Bu nedenle gaz analizleri çok önemli olup, hem mevcut filtre sistemleri için hem de yeni kurulacak tesisler için yapılmalıdır.

Diğer yandan tozun cinsine bağlı olarak filtrasyon hızları için Tablo 8.3'den de yararlanılabilir.

*Tablo 8.3.- Toz cinslerine göre A/C oranları.*

| Tozun Cinsi | A/C oranı ($m^3/dk/m^2$) | |
|---|---|---|
| | **Minimum** | **Maksimum** |
| DEMİR OKSİT | 0,9 | 1,0 |
| ÇAPAK ALMA | 1,3 | 1,8 |
| SODA | 0,9 | 1,8 |
| KLİNKER | 1,0 | 1,3 |
| ÇİMENTO (SİLO ÜSTÜ) | 1,7 | 2,0 |
| DETERJAN | 1,0 | 1,3 |
| KİREÇ TAŞI | 1,3 | 2,0 |
| ALÇI | 1,2 | 1,6 |
| ALÇI (SİLO ÜSTÜ) | 1,7 | 1,8 |
| FELDİSPAT | 1,2 | 1,6 |
| KUMLAMA | 0,8 | 1,2 |
| BAKIR OKSİT | 0,8 | 1,2 |
| TEBEŞİR | 1,7 | 1,8 |
| TAŞLAMA | 1,2 | 1,3 |
| ŞEKER | 1,6 | 1,8 |
| ÇİKOLATA TOZU | 2,2 | 2,3 |
| SÜT TOZU | 1,0 | 1,2 |
| KAKAO | 2,2 | 2,3 |
| KAHVE | 2,2 | 2,3 |
| KAZAN CURUFU | 1,2 | 1,5 |
| LİNYİT KÖMÜRÜ | 1,6 | 2,1 |
| TAŞ KÖMÜRÜ | 2,5 | 2,7 |
| SABUN | 1,5 | 1,7 |
| KURŞUN OKSİT | 0, 7 | 1,0 |
| ÇİNKO OKSİT | 0,7 | 1,2 |
| ALÜMİNYUM OKSİT | 0,9 | 1,2 |
| KUVARZ KUMU | 1,2 | 1,5 |
| MAÇA KUMU | 1,3 | 2,1 |
| DÖKÜM | 1,3 | 1,6 |
| KEMİK TOZU | 1,3 | 1,5 |
| BORAKS | 0,8 | 1,2 |
| GRAFİT | 1,2 | 1,4 |
| CAM YÜNÜ | 2,8 | 3,0 |
| YÜN | 2,8 | 3,0 |
| KAOLİN | 1,5 | 1,8 |
| İNCE KUM | 1,2 | 1,3 |
| İRİ KUM | 1,5 | 1,8 |

| | | |
|---|---|---|
| KOK | 1,0 | 1,2 |
| UN | 1,8 | 2,0 |
| AHŞAP TALAŞI | 2,2 | 2,4 |
| SAMOT | 1,3 | 1,6 |
| ATEŞ TUĞLASI | 1,0 | 1,3 |
| BALIK UNU | 1,5 | 1,7 |

*Örnek*

8 kompartmanlı ve aşağıdaki özelliklerdeki bir jet-pulse filtre sisteminin torba sayısını ve ölçümlerini hesaplayınız. Proses gaz debisi = 168 500 $m^3/h$ ≈2800 $m^3/dk$ alınabilir.

A/C (brüt) oranı = 1,2 ($\frac{m^3/_{dk}}{m^2}$ ) = ($\frac{m}{dk}$) = ($\frac{A}{C}$) brüt

Torba ölçümleri D=Ø150 mm, L= 3600 mm

*Çözüm:*

1) Brüt A/C oranının torba yüzey alanının hesaplanması

$$v_f = \frac{V}{A_c} \rightarrow A_c = \frac{V}{v_f}$$

Burada,

$A_c$ : torba alanı ($m^2$)

V: proses egzoz gazı debisi ($m^3/dk$) ,

$v_f$: filtrasyon hızı (m/dk ) veya A/C oranıdır.

$$A_c = \frac{2800\ (^{m^3}/_{dk})}{1{,}2\ (^{m}/_{dk})} = 2334\ m^2$$

2) Gerekli torba sayısı:

$$A_b = \pi DL = \pi \times 0{,}15 \times 3{,}6 \cong 1{,}7\ m^2$$

$$N = \frac{\mathrm{A_c}}{\mathrm{A_b}} = \frac{2324\ (\mathrm{m^2})}{1{,}7\ (\mathrm{m^2})} = 1372\ \text{adet}$$

Her kompartımandaki torba sayısı 1372 / 8 = 172 torba

3) Net A/C oranının hesaplanması

$$\left(\frac{A}{C}\right)_{net} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A_c}\left[\frac{\text{Komp. sayısı} - 1}{\text{Komp. sayısı}}\right]} = \frac{2800\ \left(\mathrm{m^3/dk}\right)}{2324\ (\mathrm{m^2}) \times \frac{7}{8}} \cong 1{,}37\ \left(\mathrm{m^3/dk}\right)/\mathrm{m^2}$$

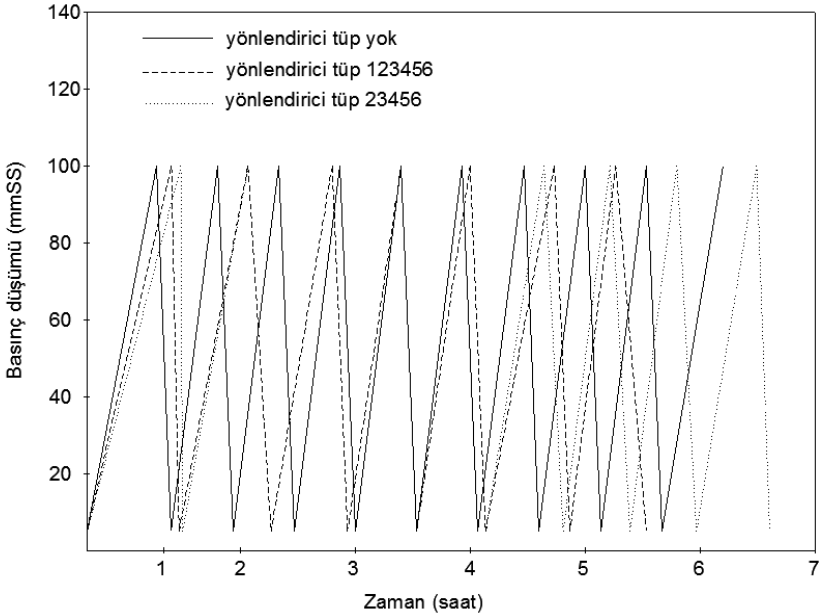
4) Net net A/C oranının hesabı:

$$\left(\frac{A}{C}\right)_{net,net} = \frac{(\mathrm{A/C})_{\mathrm{brüt}}}{\left[\frac{\text{Komp. sayısı} - 2}{\text{Komp. sayısı}}\right]} = \frac{1{,}2\ ((\mathrm{m^3/dk})/\mathrm{m^2})}{\frac{8-2}{8}}$$
$$= 1{,}6\ ((\mathrm{m^3/dk})/\mathrm{m^2})$$

Görüldüğü üzere kompartımanlardan birisi çalışmadığında A/C oranı artmaktadır. Bu nedenle emniyetli bir çalışma için yedek kompartıman öngörülmesi uygun olacaktır.

### 8.4. Torbalı Filtrelerde Basınç Düşümü ve Temizlik

Yukarıda belirtildiği üzere temiz ve yeni bir filtre sistemi devreye alındıktan belli bir süre sonra tozlar filtre yüzeylerine yapışarak bir toz tabakası (kekleşme) meydana gelir. Bu kekeleşme fiberler arasındaki deliklerin önemli bir bölümünü tıkayarak filtre verimini iyileştirir. Ancak bu durum basınç kayıplarını ve dolayısıyla fanda enerji tüketimini artırır. Bu durumda daha sık temizlik gereksinimi ortaya çıkar (torba yıpranması, basınçlı hava tüketimi gibi). Bu nedenle toz emisyonları ile enerji tüketimi (işletme masrafları) arasında bir denge kurulmalıdır.




*Şekil 8.4 Torba filtrelerde basınç düşümünün zamanla değişimi.*

Yeni bir sistem için gaz ortam oranı ile basınç düşümü arasındaki ilişkiyi belirlemek oldukça güçtür. Buna karşılık, bir toz pastasına sahip filtre elemanına giren gaz akımı laminer ve eş biçimli ise, basınç düşümü yaklaşım hızı ile orantılı olup aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta P = KV_i W = KQW/A \qquad (8.1)$$

Burada;

$\Delta p$ = Basınç düşümü, Pa
$K$ = Özgül direnç katsayısı (birim hava hızı ve birim alan başına toz kütlesi), başına basınç düşümü, Pa
$V_i$ = Yaklaşım hızı, ya da A/C oranı, m/s
$W$ = Toz pastasının alan yoğunluğu, yrd/m$^2$
$Q$ = Gazların hacimsel akış miktarı (debi), m$^3$/s
$A$ = Gazları yakalayan torba yüzey alanı, m$^2$

Eşitlik (8.1), ilk kurulum sırasında filtre yüzey alanının bir miktar geniş tutulmasının bazı avantajlar getirdiğini göstermektedir (yedek kompartıman gereksinimi). Geniş bir torba yüzey alanı hem gaz/ortam oranını azaltır hemde toz pastasının kalınlığını düşürerek filtredeki basınç düşümünü ve dolayısıyla enerji maliyetlerini azaltarak, bakım gereksinimini hafifletir. Tekrarlamak gerekirse düşük gaz/ortam (A/C) oranı, işletme maliyetini azaltır, filtre elemanının hizmet ömrünü uzatır, bakım gereksinimi ve enerji harcamalarını düşürür. Ayrıca, düşük gaz/ortam oranı (A/C), sistemin biraz genişlemesine olanak verir ve daha da önemlisi, olağan dışı yüksek nemlilikler gibi olumsuzluklar karşısında sistemi ek bir yükleme kapasitesine kavuşturur.

Özel direnç katsayısı K, genellikle ince tozlar durumunda daha yüksektir. Öte yandan kaba tozların alınmasında kullanılan birincil filtre uygulaması filtrede gerçekleşen basınç düşümünde nadiren ciddi değişmelere neden olur. Ancak, kaba toz miktarının artması, daha gözenekli bir toz pastası oluşumuna yol açarken, bu pastanın daha kolay çıkartılmasını sağlar. A/C oranında tozun niteliği, filtre ortamı ve filtrenin temizlenme yöntemi etkili olabilmektedir. F. Löffler, büyük toz giderme tesislerindeki filtrelerde filtrasyon hızlarının *VF=0.5-2.0 m/dk ($m^3/dk/m^2$) a*rasında değiştiğini belirtmektedir. Pnömatik iletim tesislerinde basınçlı hava ile temizlenen filtrelerde ise *VF=1.0-4.0 m/dk ($m^3/dk/m^2$)* verilmektedir. H.Meyer'in yaptığı deneylere göre ise torbalarda basınç kaybındaki sınır değerler ΔP=600 ila 1500 Pa arasındadır. Torba üreticisi firmalarından bazıları bu sınırları daha geniş tutmaktadırlar (ΔP=300 ila 1900 Pa arasında). Daha önce açıklandığı üzere torba filtrelerin verimliliklere ESP filtrelere ve siklonlara göre daha yüksektir. Buna karşın işletme, bakım ve onarım maliyetleri daha yüksek olabilmektedir. Bunun nedeni fan ve basınçlı hava için harcanan enerji ile filtrelerin eskime problemleridir.

## 8.5. Torbalarda basınç kayıpları (ΔP)

Torbalı filtrelerde temiz torba durumuna ilaveten basınç artışı ΔP= 100 mmSS – 130 mmSS arasında uygundur. Basınç farkı bu değerlere geldiğinde bu kompartıman kapatılarak basınçlı hava ile torbaların temizlenmesi gerekir. Ayrıca basınçlı hava basıncının 6-7 baz'dan 4 bar veya daha aşağı değerlere indirilmesi önemli ölçüde enerji ekonomisi sağlayabilir. Torbaların temizleme zaman aralığı ΔP'ye bağlıdır. Bu değer toz yükü ve tipi, torba tipi

ve kalınlığı gibi parametrelere bağlı olup 30 – 45 dk civarında alınabilir. Bir başka ifade ile torbalar temiz tutulursa kirli gaz yolu basınç kayıpları ve dolayısıyla enerji tüketimi düşük olacaktır. Ancak burada filtreleme verimliliği ile enerji verimliliği arasında da denge kurulmalıdır. Torbalı filtrelerin bazı dezavantajları 250°C'den yüksek sıcaklıklarda (sıcaklık arttıkça torba fiyatları artar, ömürleri kısalır) ve çiğlenme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda, nemli ortamlarda kullanılmasının uygun olmamasıdır. Bu gibi durumlarda ön soğutma, kaplama yapılması, izalasyon, bunher ısıtması gibi ek önlemler alınmalıdır.

Küme halindeki yoğunluğu düşük uçucu ya da hafif kirleticilerin (kaynak dumanları, plazma ve lazerle kesme dumanları, ahşap malzemenin bitirme zımparası, ince plastik tozları vb) toplanmasında, filtre girişinden torbaların yüzeyine doğru yaklaşarak hareket eden hüzmenin hızına ve doğrultusunada dikkat edilmelidir. Tozlu havanın filtre gövdesi içindeki hızına kabin hızı adı verilir ve filtre ortamına (eleman) yaklaşan havanın gerçek hızı olarak tanımlanır. Kabin hızını bulmak için, filtre elemanlarının toplam yüzey alanı (hareket eden gaz akımına dik yöndeki torbalar veya kartuşların alanı) toplayıcının tozlu hava içeren gövdesinin düşey kesit alanından çıkartılır ve tozlu gazın geçtiği gerçek alan hesaplanır. Bundan sonra temizlenmesi gereken toplam gaz akımı filtre alanına bölünerek kabin hızı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$v_c = \frac{V}{A_h - NA_f} \tag{8.2}$$

Burada;

$v_c$ = Kabin hızı, m/s

$V$ = Temizlenen gaz akımı, $m^3/s$

$A_h$ = Toplayıcı hacminin kesit alanı, $m^2$

$N$ = Filtredeki torba sayısı, adet

$A_f$ = Her torbanın gaz akımına olan dikey kesit alanı, $m^2$

## 8.6. Torba Malzemeleri

### 8.6.1. Genel Özellikler

Yukarıda kısaca bahsedilen torba elemanı, doğal ve sentetik örgü veya keçeler, cam fiberleri vb. değişik malzemelerden yapılabilmektedir. Bu malzemelerden yapılan filtrelerin toz tutma verimleri oldukça yüksektir. Elektrostatik filtrelerde olduğu üzere 1µm büyüklüğündeki tozları tutma verimi %99'dan daha fazladır. Torbalarla ilgili detaylı bilgiler Tablo 8.4'de verilmiştir.

*Tablo 8.4. Bazı fiber malzemelerinin özellikleri*

| Fiber Tipi | Özgül Ağırlık | Ergime Noktası (°C) | Nem geri kazanımı (%) | Kırılma dayanımı | Kimyasal özellik için notlar |
|---|---|---|---|---|---|
| Asetat | 1.32 | 260 | 6.3 - 6.5 | 1.2 - 1.6 | Yüksek asit oranlarına dayanıklı değildir. |
| Akrilik | 1.14 - 1.19 | Belli değil | 1.0 - 2.5 | 2.2 - 5.4 | Asitlere dayanıklı (Nitrik asit hariç) |
| Seluloz | 1.5 | Ergimez | 10.7 - 16.1 | — | Asit ve bazlara dayanıksız |
| Nomex | 1.37 - 1.38 | Ergimez (450 °C'ye kabul) | 3.5 - 5.1 | 2.3 - 6.0 | Asit ve bazlara dayanıklı |
| Naylon 6 | 3.5 - 5.0 | 260 | 3.5 - 5.0 | 3.5 - 6.0 | Sıcak, konsantre asit ve bazlara dayanıksız |
| Polyester | 1.38 | 250 - 290 | 0.4 - 0.9 | 4.0 - 8.6 | Asitlere dayanıklı, kuvvetli bazlara dayanıksız |
| Polyetilen | 0.92 - 0.96 | 100 - 120 | < 1.0 | 3.0 - 4.2 | Asit ve bazlara mükemel dayanım |
| Polypropilen | 0.91 | 160 - 170 | < 1.0 | 3.0 - 4.2 | Asit ve bazlara mükemel dayanım |
| Rovan | 1.54 | Ergime | 10.7 - 16.0 | 1.9 - 3.4 | Kuvvetli asit ve bazlara dayanıksız |

Filtre ortamı olarak önceleri yün, pamuk, seluloz pamuğu gibi doğal elyaftan örülmüş malzemeler kullanılmaktaydı. Yaklaşık kırk yıldan bu yana ise filtre ortamı olarak kalınlığı 3 mm'ye varan iğneli keçeler kullanılmaktadır. Bunlar özellikle polyester, poliakrilnitril, poliamid ve polipropilen gibi sentetik elyaftan üretilmektedir. Bu şekilde sıcak ortamlı bir işletmede (örneğin 140°C'da poliyester) kullanılma imkanı oluşmaktadır. Son gelişmelerle yünden sert keçe filtre elemanlarında uygulanmakta olup bunlar diğer torbalardaki gibi ayrıca bir takviye kafesi ile donatılmasına gerek kalmamaktadır. Torbalar sahadaki yer durumuna göre değişik uzunlukta seçilebilmektedir. Tablo 8.5'de torba uzunlukları ve çapları verilmektedir. Bu değerlerden daha fazla, 12 m'lere kadar torbalar da giderek daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bu durum kompakt yapı ve daha az yer kaplama gibi avantajlara sahiptir.

*Tablo 8.5- Torba ölçüleri*

| **Torba uzunluğu (mm)** | **Torba çapı (mm)** |
|---|---|
| 1500 | Ø160 |
| 2000 | Ø160 |
| 2500 | Ø160 |
| 3000 | Ø160 |
| 3600 | Ø160 |
| 4000 | Ø160 |
| 6000 | Ø160 |
| 7000 | Ø160 |

Filtrelerin çoğu zaman dış hava beslemesi, ön soğutma ya da by pass damperleri ile yüksek sıcaklıklardan korunması gerekir. Diğer yandan torbalı filtre torbaları aşağıdaki gibi de sınıflandırılabilir.

a) Doğal fiberler: Ağaç kıymıkları, bitki kökenli fiberler, pamuk hayvansal fiberler (yün),

b) Sentetik polimer fiberler: polyester, rayon (rejenerasyon selüloz), naylon (polyamid), polyaramid (örneğin Kevlar), polyphenylene sulfide, Nomex, polypropylene, polyethylene, polyacrylic, polyimide.
c) İnorganik ve mineral fiberler: cam, seramik, karbon, bazalt.
d) Binder fiberleri: bi-komponent polymerler (yüksek veya düşük ergitme), PVC, polivinil asetat, polyamide copolymer, polivinil alkol.
e) Bi-komponent fiberler.
f) Nanofiberler.
g) Elektrospun, karbon (granit), mikrocam.
Dokuma fiber malzemelerinin seçimi ve performansı prosese uygunluk ve ekonomiklik gibi kriterler göz önüne alınarak yapılmalıdır. Malzeme kalınlık, mukavemet, flexibilite ve yırtılma dirençli gibi yönlerden prosese uygun olmalıdır. Ayrıca malzeme süreklilik, kimyasal dayanım ve çevresel kararlılık gibi özelliklere sahip olmalıdır.

### 8.6.2. Torba Verimi

Filtre toplam maliyetlerinde filtre verimliliği çok önemlidir. Verimlilik prosesin ve yönetmeliklerin gerektirdiği kadar olmalıdır. Yani ekonomik nedenlerle hiçbir torbalı filtrenin verimliliği %100 olamaz. Verimlilik aşağıdaki eşitlik ile tanımlanabilir.

$$(\eta = \frac{başlangıçtaki\ toz\ yükü - çıkıştaki\ toz\ yükü}{başlangıçtaki\ toz\ yükü} \times 100)$$

Ticari olarak bulunabilen torba filtreler doğru biçimde tasarlanıp uygulandıklarında 1μm ve daha büyük parçacıkları gaz ortamından %99.99 verimle ayrılabilirler. Diğer yandan parça büyüklüğü, bir filtrenin ulaşacağı verim üzerinde etkili tek faktör değildir. Ayrıca torba filtre üreticilerinin çoğu, daha önce denedikleri uygulamalardaki verimleri garanti edebilmektedir. Düşük verim genellikle iyi bakım uygulanmamasına (yırtık filtre dikişleri, gevşemiş bağlantılar vb.), kolektör maliyetini düşürmek için (hafif/yüksek nüfuziyet konusunda) doğru filtrenin seçilmemesi gibi nedenlere bağlanabilir. Maliyet, fiber çapı, dikiş (dokuma) türü, kumaş yoğunluğu, gerilme dayanımı, boyutsal kararlılık, kimyasal direnç, nüfuziyet ve aşınma direnci gibi faktörlere de bağlıdır. Genellikle, karşılaştırmalar güç olup, hizmet koşullarına uygun filtre seçiminde üreticiye bağlı kalınmalıdır. Öte yandan yüksek sıcaklıklar kısa sürelerde kabul edilebilir olmasına

karşılık, maksimum sıcaklığın üzerindeki uzun süre çalışma, filtre elemanının ömrünü kısaltır. Bazı üreticiler, değişik filtreler için yandan yüklemeli filtre bölümleri üretmektedir. Bazı uygulamalarda servis alanını gereksiz kılmak ve böylece hem yer hem de maliyet kazanımı sağlamak üzere kanalın dışından değiştirilir. Kuşkusuz, servisteki bir filtrenin verimi by-pass kapılarından veya kötü tasarıma sahip gövde arasından sızıntı olduğunda önemli miktarda düşer. Filtre verimliliği arttıkça gövdenin rijitliği ve sızdırmazlığına daha büyük bir özen gösterilmelidir. Ayrıca yüksek verimli filtreler dikkatle ele alınmalı ve yerleştirilmelidir.

*Tablo 8.6a. Torba malzemelerinin fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanım durumları.*

| ÖZELLİK | | Torbanın adı | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Polypro-pylene | Polyacryl -nitril | Polyes-ter | Polieti-len sülfit | m-aramid NO-MEX | Cam Yünü | Poly-mide P84 | Politet-ra flor oetilen |
| | | PP | PAN | PE | PPS | m-AR | GL | PI | PTFE |
| Sıcaklık Dayanımı °C | Sürekli | 90 | 130 | 135 | 190 | 200 | 260 | 260 | 260 |
| | Kısa | 100 | 140 | 150 | 200 | 240 | 300 | 260 | 280 |
| Direnç | | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Mineral asitler | | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Organik asitler | | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Alkaliler | | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| Oksidanlar | | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Organik çözücüler | | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Nem / hidroliz | | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Aşınma | | — | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| Oksijen > 15% | | — | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Bağıl maliyet | | — | 30 | 15 | 70 | 55 | 40 | 85 | 100 |
| $m^2$ maliyet | | — | — | — | — | — | — | — | — |

1.Mükemmel, 2. İyi, 3. Sınırlı

*Tablo 8.6b.- Kumaş filtre ortamlarının sıcaklık sınırları ve nitelikleri.*

| | **Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı,°C** | **Asit direnci** | **Alkali direnci** | **Fleks aşınması** | **Pamuk torbaya göre maliyet katsayısı** |
|---|---|---|---|---|---|
| Pamuk | 82 | Zayıf | Çok iyi | Çok İyi | 1.00 |
| Yün | 93 | İyi | Zayıf | İyi~Orta | 2.75 |
| Naylon[a,b] | 93 | Zayıf | Mük. | Mük. | 2.50 |
| Nomeks[a,b] | 200 | Orta | Çok iyi | Çok İyi | 8.00 |
| Akrilik | 127 | İyi | Orta | Çok iyi | 3.00 |
| Polipropilen | 82 | Mükem[c] | Mük. | Çok İyi | 1.75 |
| Polietilen | 62 | Mük. | Mük. | İyi | 2.00 |
| Teflon[b] | 218 | Mük. | Mük. | Orta | 30.00 |
| Cam Fiberi | 260 | Orta~İyi | Orta~ İyi | Zayıf | 5.00 |
| Poliester[a] | 135 | İyi | İyi | Çok İyi | 2.50 |
| Selüloz | 82 | Zayıf | İyi | İyi | - |

[a] Bu fiberler, sıcak yaş atmosferlere maruz kaldıklarında hidrolize uğrarlar
[b]Duond Trademark.
[c]Mükem.=Mükemmel

Tablo 8.6'da torba cinsleri ve çeşitleri ortamlara dayanım durumları ve bağıl fiyatları verilmektedir.

Bu tablolarda adı geçen malzemelerin özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

***Polipropilen (PP):*** Polipropilen, polimer propen ana maddesinden üretilir. Polipropilen elyafı kimyasallara ve hidrolizlere karşı önemli bir direnç gösterme özelliğine sahiptir. Sadece güçlü oksitlenmeler elyafı etkiler. Kullanıldığı alanlar: kimya, gıda, galvaniz ve ilaç endüstrisi, platik imalatı, ahşap imalatı vb.

***Poliakrinitril (PAN):*** PAN elyafının ana maddesi propen, amonyak ve oksijendir. Bu elyafın kopolimer elyafına göre avantajları daha yüksek sıcaklığa ve gelişmiş kimyasallara karşı direnç göstermesi ve dayanıklı olmasıdır. Fazla miktarda nem nedeniyle polyesterin kullanılamadığı durumlarda kullanılır.

***Polyester (PE):*** Uygun maliyetine bağlı olarak Polyester elyafı filtrelemede sık kullanılmaktadır. Ancak daha sonra açıklanacağı gibi ilk yatırım maliyetinin az olması her zaman avantajlı değildir. Kimyasal oluşumu

başlıca glikol ve tereftalat'tır. Kullanıldığı alanlar: çimento, madencilik, gıda, platik imalatı, ahşap imalatı, metal imalatı, seramik endüstrisi vb.

***Polifenilensülfür (PPS):*** Başlıca maddesi p–dichlorobenzene ve sodyum sulfatdır. Hidrolize, alkalilere ve asitlere karşı direncinin iyi olması nedeniyle bazı durumlarda PTFE elyafına alternatif oluşturur. Yüksek ısıda kolayca oksitlenir. Kullanıldığı alanlar: kimya endüstrisi, enerji santralları, atık yakma tesisleri, metal imalatı vb. şeklindedir.

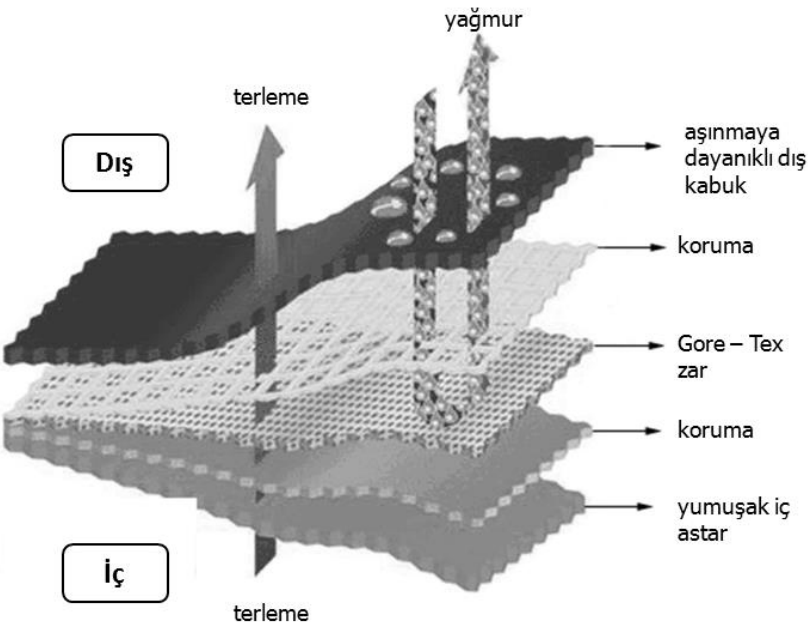
***Meta – Aramid (m – AR):*** 1.3 parafenil daimin (PPD) ve izoftalik **asit** olan elementlerden oluşur. Sektörde Nomex adıyla anılan elyafın ana tedarikçisi DuPont firmasıdır. Genel olarak m-AR kullanımında zararlı duman çıkışında kademeli olarak azalma görülür. Örneğin: Yüksek sıcaklıklarda (140°C > 200°C sıcaklık ve aşırı nem koşullarında %10 oranındadır). Genel olarak m-Aramid asitlere ve hidrolizlere karşı korumada sıkça kullanılan bir elyaftır. Kesit görüntüsü kemik şeklinde olan elyaf toz ayrıştırmada oldukça etkindir. Kullanım alanları: kimya endüstrisi, enerji santralları, atık yakma tesisleri, madencilik, gıda, platik imalatı, ahşap imalatı, metal imalatı, seramik endüstrisi vb.

***Polimid (PI):*** Inspect firması bu elyafı üretmekte ve P84 adıyla pazarlamaktadır. Elyafın kimyasal direnci yüksektir, fakat yüksek nem koşullarında tehlikeli olabilir. Ayrıca yüksek sıcaklıktaki oksijen ve azotdioksitlerle oksitlenme olabilir. Multilobal elyaf kesitiyle elyaf yüzey etkili bir toz tutma sağlar. Kullanım alanları: kimya endüstrisi, çimento endüstrisi, enerji santralları, atık yakma tesisleri vb.

***Politetrafluoretilen (PTFE):*** Kimyasal adı Politetrafloretilen sentetik bir fluoropolimerdir. PTFE oluşumu üretim bakımından özel bir işlem olup oldukça maliyetlidir. Bu elyaf kimyasal uygulamalarda sınırsız kullanıma sahiptir. Yapışkan tozların temizleme sırasında kolay bırakılmalarını sağlayarak keçe yüzeyinde topaklaşmalarını önleyen PTFE yüzey kaplamasıdır. Her çeşit sentetik elyafa uygulanabilir ve keçenin hava geçirgenlik, gözenek yapısı ve esneme özelliklerini değiştirmez. PTFE'nin kayganlık, kimyasal mukavemet ve ısıysa dayanıklılığı sayesinde kaplama özellikle Aramid, P84 ve PPS gibi yüksek ısılar için geliştirilmiş liflerden üretilen torbaların zor kimyasal koşullarda ömürlerini uzatır. Fluoropolimerin liflere ile elde edilir. Bu işlem çeşitli sentetik elyaf tipinden

üretilmiş keçelere uygulanarak hidrofob (su iticilik ) ve oleofob (yağ iticilik) özellikleri kazandırır. Kullanım alanları: kimya endüstrisi, enerji santralları, atık yakma tesisleri, madencilik, gıda, platik imalatı, ahşap imalatı, metal imalatı, seramik endüstrisi vb.

***Gore Tex*.** Dayanıklı ve düşük basınç kayıplarına sahip torbalarda piyasada bulunmaktadır. Bunlardan birisi Gore Tex torbalardır. Bu torba PTFE'nin polimerleştirilmesi ve bir takım başka kimyasal işlemlerden geçirilmesi geliştirilmiştir. Aşınma, nem gibi koşullara dayanım için değişik katmanlardan yapılmıştır. Kimya endüstrisi, enerji santralları, atık yakma tesisleri, madencilik, metal imalatı, seramik endüstrisi gibi sektörlerde sınırsız biçimde kullanılabilmektedir. Sıfıra yakın emisyon çıktısı sağlayabilmektedir.




*Şekil 8.5. Kompozit Gore-Tex torbanın kesiti.*

### 8.6.3. Torbalara İlişkin Ömür Boyu Maliyet Değerlendirmesi

Yukarıda geniş biçimde açıklandıgı üzere torbalı filtreler günümüzde birçok sektörde kullanılmakta olup, enerji performansı, çevresel etkiler ve işletme maliyeti yönünden kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda düşük basınçlı (geçen hava debisi başına) torbaların kullanımı önemli olmaktadır. Torbalı filtrelerin hizmet verdiği çoğu sektör (çimento, demir çelik vb.) yanma prosesleri sonucu ortaya çıkan gazları filtrelemektedir. Filtreler işletme şartlarının gerektirdiği değişken debi değişimleri, gaz içindeki nem ve toz derişimlerine verimli biçimde cevap verebilmelidir. Buna karşın Gore – Tex veya Tetratex türü torbalı filtreler (expanded polytetrafluoroethylene PTFE) daha az basınç düşümü ile çalışırlar. Bir başka ifade ile stabil düşük basınç profili sergilerler, aynı zamanda emisyon sınırlamalarında kolayca karşılarlar. Normal (standart) torbalarla örneğin Gore – Tex türü torbalar arasındaki farkı aşağıda açıklanmıştır: Standart torbalar işletmeye alındığında torba etrafında toz birikimi olmadığından tutma verimleri düşüktür. Zaman içinde tozlaşma artıp kekleşme oluşumu ile verim artmakta ancak buna karşın basınç düşümü de artmaktadır. Toz – torba sürtünmeleri torbanın mukavemetini azaltmakta, torbada delinme ve kopmalara neden olmaktadır. Bunun sonucu; debide düşüş, emisyonlarda artış, torbada mukavemet kayıpları (torba değişimi) ömür azalması gibi olumsuzluklardır.

Gore – Tex türü torbalarda toz – torba aşınma etkileri minimize edilmiş, torba ömrü uzatılmıştır. Yapılan bir araştırmaya göre sisteme monte edilen normal ve Gore – Tex torbaların 2 aylık ölçümlerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir

*Tablo 8.7a. Temizlemeden sonraki pik debi*

| Tarih | Test süresi | Gore - Tex torba debisi (acfm) (1) | Standart torba debisi (cfm) (2) | Fark (%) ((1-2)/1) |
|---|---|---|---|---|
| 01/01/1996 | 1 ay | 18.002 | 13.808 | 30.3 |
| 10/02/1996 | 2 ay | 19.177 | 14.913 | 28.6 |
| 09/05/1996 | 5 ay | 13.026 | 11.985 | 83.6 |
| 30/05/1996 | 6 ay | 21.197 | 16.854 | 25.5 |
| ortalama | — | 17.851 | 14.390 | 24.0 |

Not: Bu işletme bir çimento fabrikası farin tesisidir.

Tabloda görüldüğü üzere Gore – Tex torbalar çok daha iyi performans sergilemektedir. Diğer yandan torbanın akışa karşı gösterdiği direnç sürükleme (drag) katsayısı ile temsil edilir.

Sürükleme katsayısı $\left(\frac{mmSS}{m^3/dk \,/\, m^2}\right) = \frac{\Delta P}{A/C}$ veya (British $\left(\frac{inSS}{ft/dk}\right) = \frac{\Delta P}{A/C}$)

Burada ΔP: filtredeki gerçek basınç düşümü (mmSS veya inSS), A/C: Air to Cloth ratio ( $\frac{m^3}{dk}\Big/ m^2$ , $\frac{cfm}{dk}\Big/ ft^2$ ). Tablo 8.7b'de temizleme periyodu başına hava debileri ile filtre sürükleme katsayıları (filtre direnci) gösterilmiştir (standart ve Gore Tex torbalar aynı filtre sisteminde fakat farklı kompartımanlarda bulunduğu kabul edilmektedir).

*Tablo 8.7b Sürükleme Katsayıları.*

| Tarih | Test süresi | Torba tipi | Ortalama debi (acfm) | A/C (ft/dk) | ΔP (inSS) | Ortalama filtre sürüklenme katsayısı (inSS/(ft/dk)) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 31/05/1996 | 6 ay | Gore - Tex | 12.733 | 1.68 | 3.12 | 1.86 |
| 31/05/1996 | 6 ay | Standart fiberglas | 11.231 | 1.48 | 2.95 | 2.00 |
| 31/07/1996 | 8 ay | Gore - Tex | 11.946 | 1.57 | 3.56 | 2.26 |
| 31/07/1996 | 8 ay | Standart fiberglas | 10.746 | 1.41 | 3.41 | 2.41 |

Tablo 8.7b'deki sonuçlar dikkate alınarak şunlar söylenebilir. Gore – Tex torbalar aynı hava debisinde düşük basınç farkı nedeniyle daha az enerji tüketerek daha fazla debi geçirebilmektedir. Öte yandan filtre ömrü işletme maliyetlerine etki eden önemli bir işletme parametresidir. Bu anlamda Gore – Tex torbalar standart torbalara göre daha iyi performans sergilemektedir. Bu torbaların işletme ömürleri (performanslarında fazla bir düşüş olmadan), işletme şartlarına bağlı olarak 5 yıla kadar çıkabilmektedir. Bu süreçte emisyon değerlerinde fazla kötüleşmede olmamaktadır. Burada, bu torbalar da dezavantaj gibi gözüken en önemli hususun ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Örneğin normal bir polyester torbanın fiyatı (Ø 150 m, L=6000 mm) ~ 15 USD iken, Gore – Tex torbanın fiyatı (aynı ölçülerde) 40 USD civarındadır. Bu konu ile ilgili olarak yine söz konusu araştırma kapsamında yapılan bir ekonomik analiz Tablo 8.7c'de verilmektedir.

*Tablo 8.7c. Ekonomik Analiz.*

| Torba fiyatı - 1 set | Standart fiberglass 18 ay ($) | EPTFE membran 50 ay ($) |
|---|---|---|
| Torba fiyatı - 1 set | 58.156 | 273.742 |
| Montaj fiyatı / set | 11.200 | 11.200 |
| Değiştirme fiyatı / set | 69.356 | 284.942 |
| 10 yıllık toplam maliyet | 462.605 | 569.884 |
| NPV (%8 faizle) | 373.359 | 478.869 |

Tablo 8.7c'de Gore – Tex torbalar daha pahalı gözükmektedir. Ancak sürüklenme katsayıları daha düşük olduğundan enerji maliyetlerinden önemli ölçüde tasarruf sağlanmakta, emisyon değerleri daha kolay garanti edilebilmektedir. Gore – Tex veya Tetratex türü torbalarda temizleme periyotları 45-60 dakikadan 90 dakikaya veya daha fazla sürelere çıkmakta ve temizleme sıklığı azalmaktadır. Bu durum torba ömrünü artırmakta, basınçlı hava tüketimini azaltmakta, bakım ve işçilik maliyetlerini düşürmektedir. Süreklilik gerektiren tesislerde bu faktörlerin çok önemli olduğu bilinmektedir.

### 8.6.4. Torba Malzemelerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

#### 8.6.4.1. Fiziksel Özellikler

Fiberler de çap, uzunluk, aspekt oranı (uzunluk – çap oranı), yoğunluk, lineer yoğunluk, kesit şekli, uzunluk özellikleri (kıvırcıklaşma, büklüm - büklümleşme vb.), iç yapı (hücresel veya katı), uzama, mukavemet özellikleri (çekme veya kesme mukavemeti, uzaman ve genişleme özelliği, Young's modülü, rijitlik, eğilme modülü) gibi özellikler ömürleri boyunca yaklaşık olarak korunabilmelidir.

#### 8.6.4.2. Kimyasal Özellikler

Geçiş sıcaklığı, ergime noktası, katkılar – atıklar – homojensizlikler, kimyasal bileşim, kimyasal dayanım, korozyon dayanımı, elektrostatik şarj, su ve nem dayanımı, nem absorbe etme özelliği, boyutsal kararlılık, polimer yapısı, sıcaklık ve ısı dayanımı, yüzey özellikleri, yüzey büyüklüğü, yüzey gerilmesi ve enerji, uçucu bileşenler burada önemli faktörlerdir.

## 8.7. Filtre Yerleşimi, Gövde Tasarımı, Kaburgalar, Taşıma Ayakları

Filtrelerde olanak bulunduğunda filtre yüzeyi akışa dik gelecek biçimde yerleştirilmelidir. Bu bağlamda türbülanstan, ayrıca Eddy akımlarından ve ölü hacimlerden kaçınılması gerekmektedir. Gerektiğinde perdeler, difüzörler ya da hava karıştırıcılar kullanılarak hava bütün torbaların yüzeyinde homojen biçimde dağıtılmalıdır. Filtre içinde normalden yüksek

hızdaki hava filtre yüzeyine vurduğunda filtreleri yıpratabilmektedir. Bu nedenle yüksek A/C oranlarının seçilmesi problem yaratabilir.

Kurulan filtrelerin beklendiği şekilde çalışmaması; çoğu zaman kurulum yanlışlıklarından yanlış bakım uygulamaktan ya da bunların birlikte olmasından kaynaklanır. Hava filtrelerinde verimli ve uygun sonuçların alınması için önemli sayılabilecek kurulum gereklilikleri aşağıdaki gibidir:

- Filtre, beklenen toz yükü ve hava miktarı yönünden yeterli kapasitede olmalıdır. Burada aşırı yükleme sınırı olarak %10~15 kadarına izin verilebilir. Havanın gelecekte artması beklendiğinde daha başlangıçta geniş kapasiteli bir filtre grubu yerleştirilmelidir.

- Filtre, gerekli hava temizlik derecesi, giren havadaki toz miktarı, hizmet türü, izin verilebilir basınç düşümü, çalışma sıcaklığı ve bakım olanakları gibi işletme koşullarına uygun olmalıdır.

- Filtreye giren ve çıkan kanal bağlantıları, bütün filtre alanında eş biçimli bir hava dağılımı sağlamak üzere, orantılı biçim değiştirmelidir.

- Özellikle durma kalkma çevrimleri sırasında filtre içindeki tozların savrulup tekrar ortama girmesini önlemek amacıyla filtreler fandan yeterli uzaklığa yerleştirilmelidir.

- Filtrenin önünde ve/veya arkasında yeterli boşluk bırakılarak kontrol ve servis için ulaşım kolaylığı yaratılmalıdır.

- Temiz hava tarafındaki bütün kapılar, temiz olmayan havanın sızmasına karşı conta ile kapatılmalıdır. Saç metal kanallardaki bütün bağlantı ve dikişler hava sızdırmaz olmalıdır.

- Filtre grubunun ön ve arkasındaki boşluklara aydınlatma lambaları konulmalıdır.

- Filtreler, dış hava koşullarına karşı uygun panjur, davlumbazlar yalıtım vb. ile korunmalıdır. Aşırı yağmur alan veya hava girişine su damlayan yerlerde boşaltılabilir damla tutucular kullanılmalı, ayrıca davlumbaz veya panjurun önüne bacaya kuşların girmesini önlemek için tel kafesler konulmalıdır.

- Filtre izin verilen maksimum basınç düşümüne ulaşması halinde sürekli ve dikkat çeken bir ikaz düzeni ile donatılmalıdır.

Tablo 8.6a.'da torba malzemelerinin genel fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanım durumu görülmektedir.

## 8.8. Torbalarda Yüzey İyileştirme

Torba ömrünü uzatmak ve yüksek verimi almak; doğru elyaf tipini seçmek ve filtre yüzey işlemi uygulamakla mümkündür. Yüzey iyileştirmenin avantajları;

- Etkili temizleme,
- Torbadan daha uzun süre verim sağlama,
- Yüksek randımanlı filtreleme sağlanması.

Bu çerçevede sanayi sektörünün çalışma koşulları göz önüne alınarak çeşitli kimyasal işlemler geliştirilmiştir. Söz konusu uygulamalarla iğneli keçeler mükemmel toz tutma, hava geçirgenlik, parlak ve pürüzsüz yüzey gibi ilave yeteneklere ulaşır. Yüzey iyileştirme;

- Isıya dayanıklılık,
- Termik yüzey uygulamalar,
- Koruyucu banyo,
- Kaplamalar,
- Elektriklenmeyi önleyici uygulamalar,
- Kıvılcıma dayalı yüzeyi,

şeklinde yapılabilmektedir. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

***Isıya dayanıklılık:*** Temel olarak bütün iğneli keçe ürünler ısıya dayanıklıdır. Maliyetinin çekme oranı, sıcaklık, tozun kalış süresi, soğutma evreleri gibi kaliteyi olumsuz etkileyen faktörlere göre en aza indirgenebilir. Soğutma süresince planlı iş yönetimi sayesinde filtre torbalar en zor koşullarda dahi yapısını muhafaza edebilir.

***Termik yüzey kaplama:*** İğneli keçenin yüzeyi keklenmenin yapısını, temizlenebilirliğini, basınç düşmesini ve emisyonu etkileyen bir faktördür. Burada aşağıdaki uygulamalar yapılmaktadır.

- *Tütsüleme*

Üç çeşit uygulama yapılmaktadır.

- Pürüzsüz- yapışkan ve nemli tozlar için,
- Orta – genel kaplamalar için,
- Pürüzlü – küçük topaklanma ya da ince tozlar için.

- *Kalenderleme (yassılaştırma)*

Kalenderleme işlemiyle daha sıkıştırılmış bir doku elde edilir. Böylece daha hafif toz ayrıştırma ve daha az toz artığı sağlanabilmektedir.

***Koruyucu Banyolar:***

*Suya karşı koruma-yağa karşı koruma.* Bu uygulama ile nemin iğneli keçeye girişi önemli ölçüde engellenir. Bu, yoğun toz tortularının girişini engelleme ve toz pastasının daha kolay bırakma özelliklerini kazandırır ki bu da kekleşmeyi en aza indirger.

*Asit ve hidrolize karşı koruma.* Temelinde TEFLON olan özel bir banyodur. Bu uygulama elyaf yüzeyini sarar ve böylece önleyici PTFE kaplama temin edilir. Uygulama ile yağ ve suya dayanıklı bir yapı elde edilir ve elyaf asit ve hidrolizlere karşı etkin bir koruma sağlar. Aktif filtre kaplama ile tozlar filtreden ayrışır.

**Elektriklenmeyi önleyici uygulamalar (antistatik ürünler):**

*Elektrik iletkenliği.* Elektrik iletkenliği statik elektrik ortamın patlamaya elverişli olduğu durumlarda tutuşturucu işlevi görebilir. Antistatik ürünlerle elektriklenmeye karşı yüksek koruma sağlanabilir. Bu nedenle elektrostatik ve potansiyel olarak patlamanın muhtemel olduğu alanlarda antistatik yapı kullanımı uygundur. DIN 54 345 part 1 elektrik iletkenliği normuna göre dokumada paslanmaz çelik elyafı kullanılarak ya da DIN 45 345 part 1 ve part 5'e istinaden keçe içine iletken ilave edilerek statik enerjinin bertaraf edilmesi sağlanır.

*Kıvılcıma dayanıklı yüzey.* Özel bir elyaf sayesinde kor zerreciklerinin torba ile teması engellenir ve koruma sağlanır. Uygulanan işlemler kıvılcım

cinsine göre çeşitlilik gösterir. Tipik iyileştirme ve kaplamalar aşağıdaki gibi özellikleri sağlamalıdır.

- Isıya dayanıklılık,
- Suya ve yağa karşı koruma,
- Alevlenmeyi geciktiricilik,
- Antistatik – DIN54 345-1 karşı kimyasal koruma,
- Paslanmaz çelik elyaf içeren komple antistatik – DIN54 345-1'e göre karşı koruma,
- TEFLON yüzey kaplama, kimyasallara, asit ve hidrolizlere, su ve yağa karşı koruma,
- TEFLON yüzey kaplama, kimyasallara, asit ve hidrolizlere, su ve yağa karşı koruma.
- Kıvılcıma dayanıklı yüzey

*Permeability (Hava Geçirgenliği):* Fitrelerde torbaların hava geçirgenliği (air permeability) çok önemlidir. Bu parametre blower veya fanın tipini ve kapasitesini belirler (permeability havanın filtreden geçirilmesi için yenilmesi gereken direnci temsil eder). Uygun olmayan geçirgenliğe sahip bir torbada toz partikülleri filtreyi tıkayarak enerji tüketimini (fan ve basınçlı hava tarafında) artırır ve filtre verimini düşürebilir. Burada hedef permeability'nin artırılmasıdır. İyi bir fiber (küçük çaplı) yüksek yoğunluklu, küçük delikli ve yüksek filtreleme verimliliğine sahip olmalıdır. Bunun zıddına, kalın fiberler (büyük çaplı fiberler) yüksek permeability sağlarlar, fakat filtreleme verimi düşer. Optimum bir tasarım için fiber çapı cinsinden $m^2$ torba yüzeyi başına fiber ve delik sayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$N_f = \frac{4M_s}{\pi g_f {D_f}^2 L_f} \quad , \quad N_p = \frac{16{M_s}^2 L_f}{\pi^3 g_f {D_f}^4}$$

Burada ;

$N_f$ : $m^2$ filtre malzemesi başına fiber sayısı $N_p$: $m^2$ başına delik sayısı
$D_f$ : fiber çapı (m) $M_s$:filtre malzemesi gramaj ( $g/m^3$)
$L_f$ : fiber uzunluğu (m) $g_f$: fiber yoğunluğu ($g/cm^3$)

Neme Dayanıklılık. Gazlar nemli olduğu yada filtre elemanının higroskopik veya yapışkan maddeleri toplaması gerektiğinde, sentetik ortam kullanılması önerilir. Bunlar ayrca, yüksek sıcaklıktaki gazlar için de önerilirler. Sentetik filtre elemanı hakkındaki bir sınırlayıcı faktör, temizleme çevrimi sırasında gösterdiği yüksek nüfuziyettir.

## 8.9. Filtrelerin Temizlenmesi

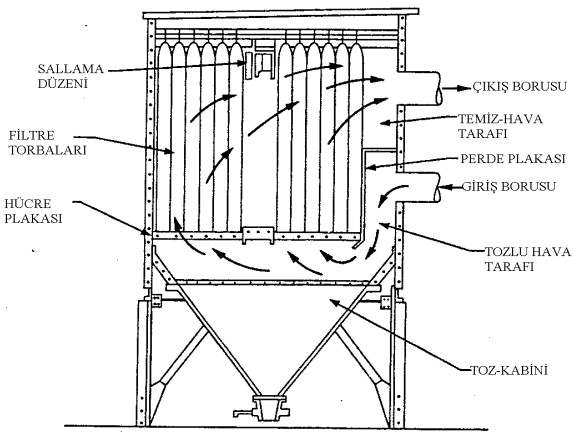
***Torba temizliği.*** Bu işlem torba yırtılmalarını, deformasyonları ve enerji tüketimini azaltmak için çok önemlidir. Genel olarak torbalı filtrelerin temizliği; mekanik temizleme, düşük basınçlı ters hava ile veya basınçlı hava (jet-pulse) yöntemleriyle yapılır. Örneğin ağır koşullara dayanıklı dokuma cam fiberleri (1670 20 oz) jet pulse temizlemeye daha uygundur (ki bu sistem torbalarda en fazla gerilme yaratır).

Büyük jet-pulse filtrelerde herhangi bir zamanda torbanın %10'undan fazlası temizlenmesi uygun olur. Herhangi bir zamanda az sayıda torba temizlendiğinden ve tetiklenen ikincil akım bu sırada normal akımı durdurduğundan, yeniden koşullandırma filtre hizmetteyken gerçekleştirilir. Temizleme aralıkları ayarlanabilir ve sarsıntı mekanizması ile ters-kolektörlerdekinden çok daha sıktır. Altı dakikada bir tekil bir boru yeniden-koşullandırılabilir. Yeniden-koşullandırma (tozdan temizleme) çevriminin kısa olması nedeniyle, ters-jet filtrelerde yüksek filtrasyon hızları olanaklıdır. Buna karşılık, bütün ters-jet filtrelerde torbalar kirli hava bölmesindedir ve yeniden-koşullandırma sırasında bir torba yüzeyinden serbest kalan toz komşu torbalarda tekrar birikerek yüzey üzerinde (hatta kendi yüzeyi üzerinde) toplanabilir. Bu tekrar-birikme olayı, sadece birkaç dakikalık temizleme aralıklarında beklenmesi gereken filtrasyon hızlarını daha düşük değer ile sınırlandırır. Laboratuar testleri belirli bir filtrede tekrar-birikme miktarlarının filtrasyon hızı arttıkça arttığını göstermiştir. Diğer bazı testler de tekrar-birikme miktarlarının filtre tasarımı ve özellikle kirli hava bölmesindeki hava hızıyla değiştiğini göstermiştir. EPA tarafından desteklenen bir araştırmada ise kirli hava akımının aşağı doğru akışında yüksek performans değerleri elde edildiği belirlenmiştir. Bunun nedeni aşağı doğru akışta tekrar-birikimin az olmasının nedeni, bunkere doğru hareket eden parçacıklara yer çekiminin yardımcı olmasıdır. Bu bağlamda 0,0254-0,061 m/s arasındaki filtrasyon hızları jet-pulse filtreler için normaldir. Diğer yandan kısa temizlik periyotları yüksek filtrasyon hızları seçimine olanak

sağlayabilir. Jet-pulse filtrelerde basınçlı hava kısa "pulse" lar şeklinde üsteki nozullardan venturi içine üflenir. Burada nozul ve venturi şekli temizleme verimi, enerji tüketimi (fan, kompresör) gibi açılardan çok önemlidir. Venturi içine üflenen basınçlı hava çevre havasını da endükleyerek torba içine doğru hareket eden basınç dalgaları oluşturur.

### 8.9.1. Mekanik Sallama ile Temizleme

Vardiya değişimleri ve dinlenme aralarında vb. filtre çalışmıyor iken temizleme için bir tek bölme gerektiğinde, salınımlı tür torbalı filtreler en ekonomik seçimdir. Ancak süreklilik arz eden büyük tesisler için bu yöntem uygun değildir.

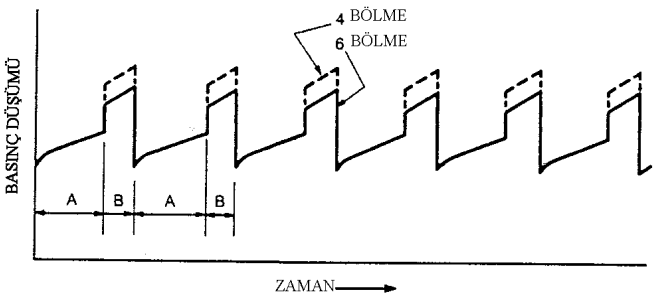



*Şekil 8.6.Torbalı mekanik sallayıcılı torbalı filtre.*

Salınımlı tür torbalı filtredeki ortam, silindirik borular biçiminde yada dikdörtgen kılıflar biçiminde düzenlenmiş olsun, toz-pastasının çözülmesi için mekanik olarak karıştırılır.

Filtre, temizleme amacıyla devre dışı bırakılamıyorsa o zaman, filtre her biri sırayla devre dışı bırakılarak temizlenen bir dizi bağımsız bölüme (kompartımana) ayrılır. Boşaltım damperleri, toz pastasının uygun biçimde sökülmesini sağlamak üzere küçük bir gaz hacmini tersine çevirerek gaz akımını torba üzerinde tutar. Sık temizleme çevrimleriyle birlikte bölümler halindeki filtre kullanımı, düzenli aralıklarla temizlenen bölümün devre dışı kalmasıyla ortaya çıkan hacimsel debi artışından daha faza hacimsel hava

artışına izin vermez. Torba filtrenin tekrar koşullandırılmasındaki en iyi durum, en küçük toz parçacıklarının dahi alttaki toz kabinine düşeceği durumdur. Şekil 8.7.'de, mekanik salınım düzeni ile sürekli olarak temizlenen dört bölmeli torba filtrelerin tipik basınç diyagramını göstermektedir.




*A= Bütün filtre bölmeleri çalışıyor*
*B=Temizleme amacıyla bir bölme devre dışı (yedek kompartman yok)*

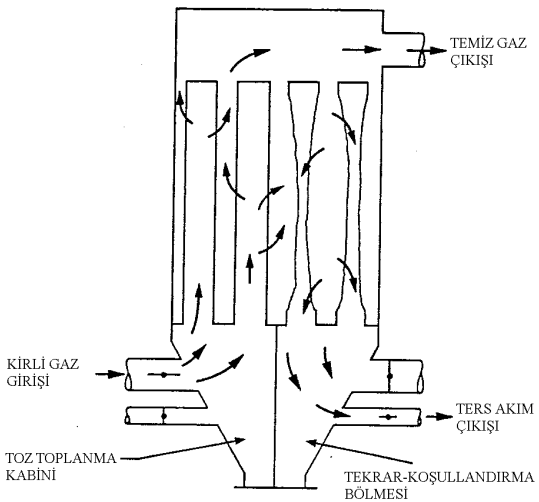
*Şekil 8.7. Mekanik salınımlı toplayıcılarda zamana bağlı basınç düşümü.*

Sürekli temizlenen birimler, salınım çevrimi için, bölüm (kompartıman) damperlerine sahiptir. Bu diyagram, bağımsız filtre bölümlerinin devredışı kalarak temizlendiği tipik çok bölmeli torba filtrelere aittir. Gaz/ortam oranı (A/C), bir salınımlı filtre için genelde 0.6 – 1.2 m/dk arasıda ise de, ağırlıklı olarak 2 μm'dan küçük parçacıkların filtre edilmesi durumunda daha da düşebilir. Metalurjik dumanların tutulması, filtrelerin 1μm'dan küçük parçacıkları tutmakta kullanılmasına bir örnektir.

### 8.9.2. Ters Akım Temizlemeli Filtreler

Temizlenecek gaz debisi çok fazla olduğunda ters akımla temizleme sistemi de seçilebilir. Bu tür temizleme, doğası gereği, bölmeler (kompartıman) halindeki tasarımı gerektirir. Çünkü torbalarda biriken tozu almak için gerek duyulan havanın torba filtrenin devrede olan bölmelerine dolaştırılması gerekir. Her bölmede bir ana kesme damperi ile bir adet gaz-ters-çevirme damperi bulunur. Temizlenen bölmede gazı tersine çevirmek için ek bir kanal ve ikincil bir üfleyiciye gerek vardır. Filtre bölümü temizlik amacı ile sistemden soyutlandığında, ters akış devresi hacimsel debiyi ve çalışan

bölümdeki filtrelerin toz yükünü artırır. Kumaş filtre ortamı, kısmen devre dışı kalan torbalara giden gaz akışının tersine çevrilmesiyle yeniden koşullandırılır. Temizleme işlemi Şekil 8.8.'de gösterilmektedir.




*Şekil 8.8. Torba filtrenin emişe çalışan ters akımla temizlenmesi.*

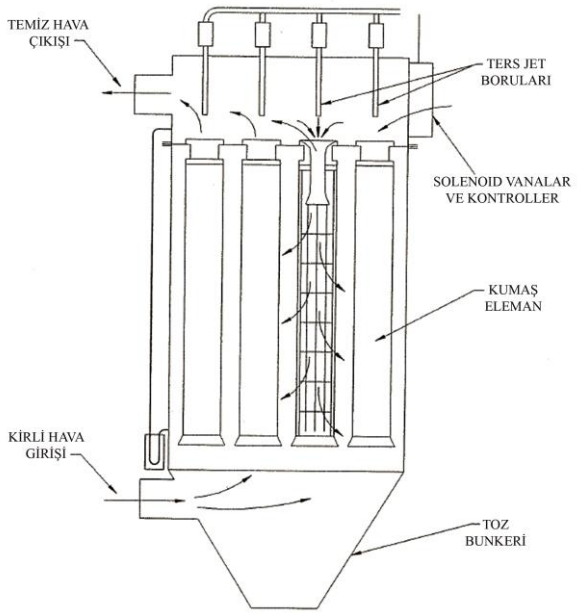
Temizlemeden sonra torba yüzeylerinden koparılan tozların alttaki toz kabinine düşmesine zaman vermek için, gazın tekrar akışa alınması biraz geciktirilir. Ters akımlı sistem, filtre sistemlerinde, özellikle fazla miktarda hava hacimleri temizlenirken bakım gereklerini azaltan bir avantaj olarak hareketli eleman sayısını azaltır. Buna karşılık, temizleme yada yeniden koşullandırma diğer yöntemler kadar güçlü olmayıp, temizlenmiş torbadaki kalıntı toz miktarı daha yüksek olacaktır.

Ters akım torbaları genellikle 200~300 mm çaplı ve 6~10 m uzunlukta olup, genellikle A/C=0.6 -1.2 m/dk gibi düşük hızlarda çalışırlar. Sonuç olarak, ters akımlı toz toplayıcılar aynı kapasitedeki, basınçlı hava (jet pulse) kullanan sistemlerden önemli miktarda büyük yüzey alanına sahiptir.

### 8.9.3. Hava Darbesi (Jet Pulse) ile Temizleme

Yukarıda açıklandığı üzere son yıllarda en yaygın biçimde uygulanan yöntemdir. Burada filtre elemanından geçen hava miktarı artırılarak filtre sistemi boyutlarını küçültme çabaları, filtrenin önemli bir bölümünü devre

dışı bırakmaksızın sık ya da sürekli temizlik sağlayan temizlik çevrimleri üzerinde odaklanmıştır. Şekil 8.9'da jet pulse sisteminde temizleme prensibi görülmektedir.




*Şekil 8.9. Jet Pulse ile temizleme.*

Basınçlı hava ile temizlenen sistemlerde 160 mm'den büyük çaplı torbalar nadiren kullanılırken, torba uzunlukları 12 m'ye kadar çıkabilmektedir. Torba uzunluğu daha çok yerleşim sorunları ve temizleme teknolojisi ile ilgilidir. Belirli zamanlamaya sahip basınçlı hava, torbaları hava üfleyerek esnetirken, tozun filtre elemanı yüzeyinden atılmasını sağlar. Filtre temizliği (yada tozun alınması) için sürekli çalışma, genelde kullanılan yöntemdir. Torba üzerinde toz toplandıkça, akışa gösterilen direnç artar ve yeniden-koşullandırma işlemi başlayıncaya kadar hava debisi azalır. Basınç kayıpları nedeniyle hava debisindeki değişme bazen bir dezavantaj olup, yeniden koşullandırma amacıyla çalışmanın durdurulması ile birleşince, aralıklı çalışan filtrelerin sağlıklı kullanımına engel oluşturabilir. Temizleme eğer yeniden koşullandırma hava akımı altında yapılırsa daha az etkili olur ve dokunmuş torba elemanı esneterek önemli bir toz miktarının temiz havaya karışması durumu ortaya çıkar. Aralıklı çalışan torba filtrelerde filtrasyon

hızı nadiren 6 fpm (0.305 m/s) 'den yüksek olup, normal seçimde 2-4 fpm (0,6 – 1,2) arasındadır. Düşük toz konsantrasyonları ve yeniden koşullandırma yeteneği, yüksek filtrasyon hızlarının kullanımına olanak sağlar. Değerler (ratings), başlangıçla sistemin durdurulması arasında, torba içerisinden geçerken basınç düşümü 2~5 inSS (50~130 mmSS) olacak biçimde seçilir. Filtre torbalarının kontrol, kurulum ve değiştirilmesi sırasında hava darbe manifoldlarının (dağıtım boruları) çıkartılmasına gerek duyulmamalıdır. Solenoid vanalar elektronik timer devresinden gelen çok kısa süreli örneğin 0.1-0.2 sn'lik ayarlanabilir sinyallerle enerji alır ve yüksek basınç strok vanaları yardımı ile üfleme borularına gönderilir. Basınçlı hava, üfleme boruları üzerinde bulunan deliklerden çok yüksek hızda venturilere sprey halinde dağıtılır. Yüksek hızlı, sprey haline gelmiş hava venturiden geçerken kendi hacminden birkaç kat daha büyük hacimde ikincil hava akımı yaratır ve torbaya dolar. Bu iki hava akımının birleşik etkisi altında, torbanın temiz hava bölümünde çok kısa süreli ve ani basınç dalgası ortaya çıkar. Böylece filtredeki fiber elemanlar arasında hava akımı ters yönde hareket ederek torba dışındaki kek parçalarını parçalayarak torbanın temizlenmesini sağlar.

Hava darbesiyle temizleme (jet pulse), aşağıdaki nedenlerle ağırlıkla kullanılan bir yöntemdir.

- Bakımı ters akımlı sistemden daha kolaydır,
- Büyük bir yararlı temizleme enerjisi filtrelerin daha yüksek hızda çalışmasına olanak verdiğinden filtreler daha küçük ve daha düşük maliyettedir.

Jet pulse sistemlerde ters akımlı hava darbesi, torbaların dış kısmındaki toz tabakasını söker ve yerinden çıkartılan maddeler alttaki toz kabinine (bunker) düşer. Filtre sisteminin temizlenmesi aşağıda verilen ve periodik olarak tekrarlanan işlevlere ayrılır.

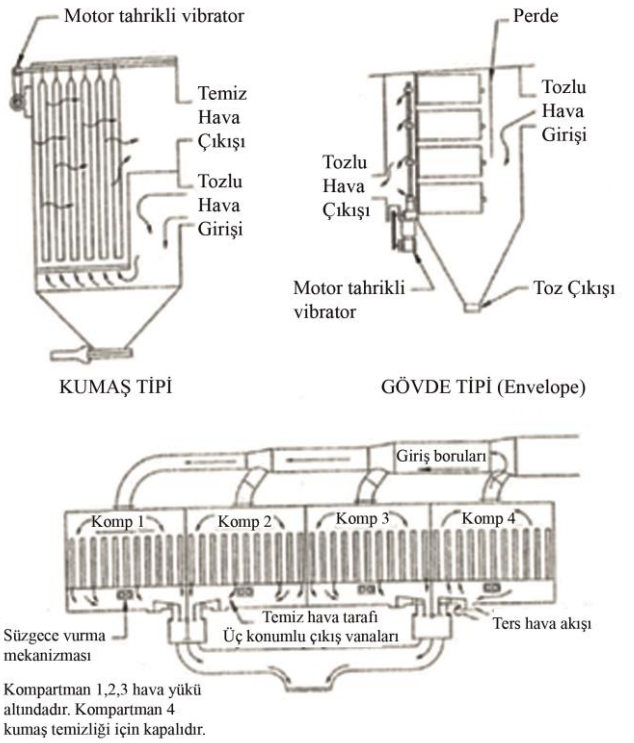
a) İletim havasından tozun ayrışması,
b) Hava akımının kesilmesi,
c) Filtre pastasının mekaniksel ayrışması,
d) Filtre ortamının ters akımla temizlenmesi.

Jet pulse basınçlı hava ile temizlenen torbalı filtre aşağıdaki elemanlardan oluşur.

a) Teğetsel girişli iletim borusu ağızlıkları,
b) Torba filtreler,
c) Enjektör memeleri,
d) Diyaframlı ventilleri,
e) Basınçlı hava hazneleri,
f) Manyetik ventilleri,
g) Kumanda aygıtları,
h) Temiz hava flanşları,
i) İletim malı çıkışı,
j) Gövde yapısı.

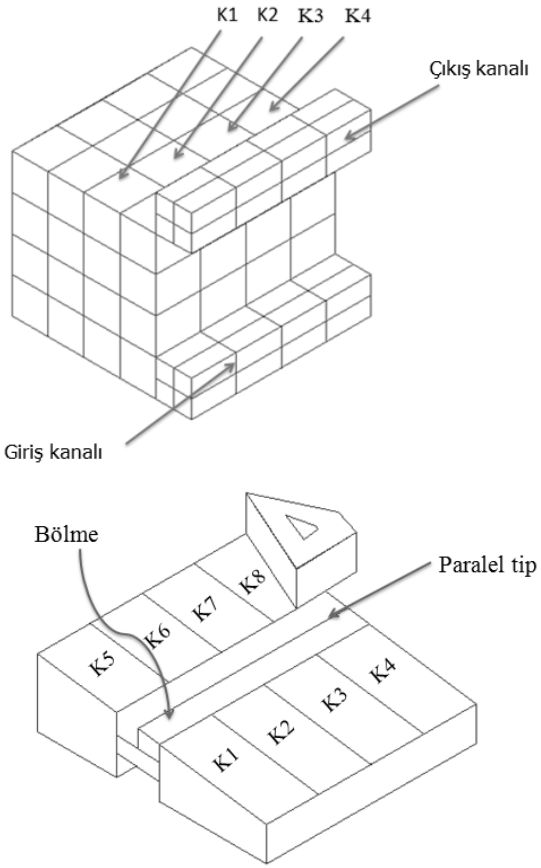
## 8.10. Kompartmanlar

Çok bölümlü (kompartman), sürekli-iş, otomatik torbalı filtreler ile hava akımının durdurulması ve toz pastasının oluşumu ile hava debisindeki değişmelerin üstesinden gelinmiştir. Bölümlerin (kompartman) Şekil 8.10'da gösterildiği gibi, otomatik damperlerin yeniden koşullandırma için bir bölmeyi devreden çıkartırken diğerlerinin toplam hava ile çalışmayı sürdürmesi, egzoz sisteminin sürekli çalışmasına olanak sağlar (online). Bölme (kompartıman) sayısı arttıkça daha sabit basınç kaybı ve debi elde edilir.




*Şekil 8.10a. Torbalı filtrelerde kompartman hava akım şeması.*

Arıza, bakım ve onarım gibi nedenlerle yedek 1 adet kompartıman öngörülmelidir. Temizleme esnasında, çıkış damperi kirli gazı kompartımandan bloke etmek üzere kapatılır. Yedekleme opsiyonu dikkate alınarak büyük filtreler kompartımanlara ayrılması işletme esnekliği sağlar, temizlenen kompartıman damperleri kapatılabildiği için temizleme verimini artırılabilir. Şekil 8.10b'de kompartman düzenekleri şematik olarak verilmiştir. 180 torbaya kadar 1 kompartman olabilir. 4'ten fazla kompartmana sahip filtreler ise offline yapılır ve (n+1) kompartman kullanılması daha uygundur.

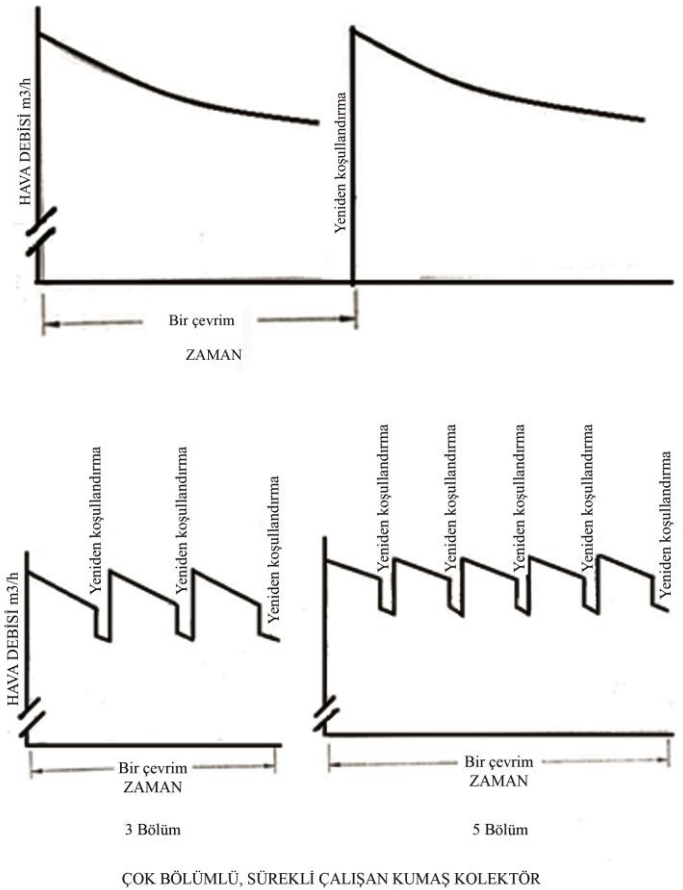



K: Kompartman

*Şekil 8.10b. Filtrelerde Kompartmanlar.*

Basınçlı temizleme havası, kompartman içinde her torbaya homojen biçimde dağıtılmalıdır. Bu husus emiş ve üfleme kanallarının uygun biçimde yerleştirilmesi ile sağlanabilir. Emiş tarafında yönlendirici kanatlar ve bunherler kullanılabilir. Gaz giriş ve çıkış kanal bağlantıları, redüksiyonlar, kompartmanlara dağıtım ve toplama kanallarının tasarımı, emiş noktalarının durumu (yakalamı hızı ve minumum hız), giriş ve çıkış filtre içinde kompartmanlara doğru debi azaldığı için hızı sabit tutmak amacıyla kesitin

küçültülmesi ile homojen hava dağıtımı elde edilebilir. Şekil 8.10c'de çok-bölmeli bir filtrede zamana karşı basınçlı hava akımını gösterilmektedir.




NOT: Akış değişimi abartılmış olup, daha küçük çıkacak olan değişim yüzdesini göstermez

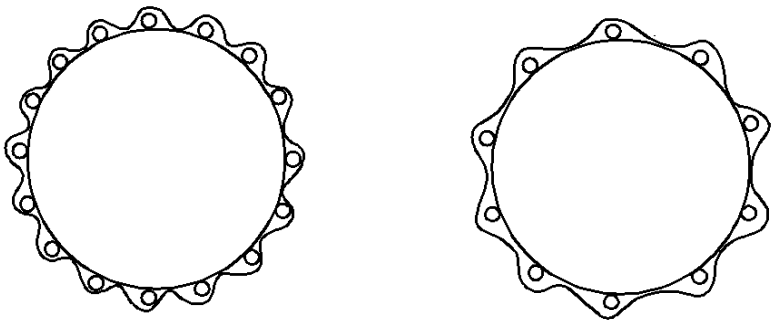
*Şekil 8.10c. Çok kompartmanlı bir filtrede hava akışı (debi değişimleri).*

Her tekil bölüm offline filitrelerde olduğu üzere bir debi-zaman karakteristiğine sahip olup, bölmeler nedeniyle debideki değişmeler azalmıştır. Bu bağlamda örneğin üç bölmeliye karşı, beş bölmeli tasarımda hava debisinin daha sabit olduğuna dikkat edilmelidir. Sadece birkaç dakikalık bir yeniden-koşullandırma için tekil bir bölüm hizmet dışı kaldığı ve bu sırada diğer bölümler toplam gaz hacmini filtreleyebildiği için

torbaların verimli biçimde temizlenmesi olanaklıdır. Bir başka ifade ile çok bölmeli filtreler daha yüksek toz konsantrasyonlarına izin verir. Bölmeler zaman aralıklarının ayarlanmasına olanak veren bir sırada yeniden koşullandırılır. Borular düşük basınçlı sekonder hava fanı ile boşaltılırken fan havayı kompartmandan primer hava çeker.

## 8.11. Tel Kafesler

Normal çalışma koşulları altında (hava akımı dışarıdan içeriye doğru) torba şekli bozulma eğilimi gösterdiğinden bir destek kafes gerekir. Yüksek basınçlı havanın kısa süreli darbesi, temiz hava bölümünden normal hava akımına ters yönlü ikincil bir hava akımı tetikler. Tel kafesler torbaların montajına da yardımcı olur, kafes şekli (formu) torbaların temizleme verimini etkiler. Kafesler torbaların birbirlerine çapmalarını minimize edecek yapıda olmalıdır. Şekil 8.11'de sık kullanılan kafes şekilleri görülmektedir.



16 köşeli yıldız 10 köşeli ring

*Şekil 8.11. Kafes Şekilleri*

Kullanılacak kafeslerin tipi torbanın yapısına bağlıdır. Tasarımlarda bazen küçük değişimler büyük fayda sağlayabilmektedir. Örneğin 16 köşeli kafes bu anlamda iyi bir seçenek olabilmektedir. Kafes yüzeyleri epoksi veya galvanizle kaplanabilir, uzun torbalarda kafesler parçalı yapılabilir.

## 8.12. Diğer Bazı Tasarım Parametreleri

Torbalı filtrelerde toplam basınç düşümünün 100 – 200 mmSS civarında olması hedeflenmelidir. Ancak gövde tasarımı minimum 1000 mmSS'ye

göre yapılmalıdır. Öte yandan kömür gibi yanıcı, patlayıcı ahşaptozu gibi tozlar için toz patlamalarına karşı patlama kapağı, emniyet damperleri ve pozitif basınca dayanıklılık öngörülmelidir. Kompartımanlarda hava kaçakları minimize edilmelidir. Böylece fan büyük seçilmek zorunda kalınmaz. Ayrıca torbalı filtreler modüler biçimde tasarlanmalıdır. Tasarım şekli nakliye, yerleşim, fiziksel yerleşim (örneğin çatı) ve kullanılan malzemeye bağlı olarak yapılır. Çoklu kompartımanlar sabit basınç düşümü için uygun yapılardır. Bu durum bir kompartman temizlik için kapatıldığında diğerlerinin tam debiyi karşılayabilme kapasitesinden kaynaklanır.

***Yüksek sıcaklık kontrolü:*** Bir torbalı filtre sistemindeki gaz sıcaklığının kontrol edilmesi çoğu zaman performans ve sistemin ömrü yönünden çok önemlidir. Bazı durumlarda gazlar, filtreye girmeden derişik hale getirilmek, gazları yoğuşturmak yada ısı geri kazanımı amacıyla soğutulur. Bu durumda fanın hacimsel debisi düşeceğinden fanda enerji verimliligi artar. Sıcaklık kontrolü evaporatif soğutma ile de yapılabilmektedir. Ancak bu durumda çiğ noktası sıcaklığı ile asit gaz yoşumu ve/veya yapışkan artık oluşumu tehlikesini artırabilir. Öte yandan kanala çevre havasının enjeksiyonu ile seyreltim sağlanması nispeten pahalı bir yöntemdir. Çünkü gazın hacimsel debisi artırarak gaz temizleme gereklerini karşılamak üzere, filtrenin büyütülmesi gerekmektedir. Sıcaklıkların, düşük maliyetli malzemenin güvenlik sınırlarını aştığı yerlerde su ile soğutulan kulelerde kullanılabilmektedir.

Seyreltim soğutması ve sıcaklığın duyarlı biçimde kontrol edilmesi için çevresel havanın enjeksiyonunda (zorunda ise), genelde panjurlu tür damperler kullanılır. Kontroller damperlerin tam modülasyonu için yada sadece damperlerin açılıp kapanması için olabilir. Yüksek sıcaklıkların sınırlanması kritik olan yerlerde, acil durum bypass damper sistemi ve/veya bypass/kanalı/bacası kullanılır.

***Torbalar arası mesafe:*** Torbalar arası mesafe iyi bir işletme ve kolay bakım için önemli bir parametredir. Bu mesafe kompartımanlarda arıtılacak gazların hızlarını etkiler. Eğer yer darlığı, ilk yatırım maliyetlerini azaltma gibi nedenlerle torbalar arası mesafe daraltılırsa, torbalar arasında az bir alan kalacağından buradaki hava hızlar artar; değiştirme ve kontrol zorlaşır. Bu durumda temizleme periyodun da toz partiküllerinin bunkere dökülmesi zorlaşır. Bu tip problemleri minimize etmek için torbalar arasında yeterli

mesafe bırakmak gerekir ve bu, torbaların aşınması açısından da önemlidir. Torba-torba sürtünmesi torbaların alt bölümlerinde (bu bölümlerin serbest hareketi nedeniyle) daha fazladır. Tel kafes özellikle bu sürtünmeyi tek başına önleyememektedir. Burada torbaların gözle incelenmesi ve değiştirilmesi önemlidir.

***Kurulum ve işletme maliyetleri:*** Bu maliyetler ilk yatırım ve işletme (enerji, bakım, değiştirme) maliyetlerinden oluşmaktadır. Teknik gereksinimlerin yanında ömür boyu maliyetler de optimize edilmelidir. Örneğin her yıl torbaların değişimi yüzdesi (ilk duruma göre) %25-50 arasında olabilmektedir. Maliyetler 2,5 m uygunluğunda ve Ø125 mm çapındaki torba için yaklaşık 100$, Gore-tex torbalarda 3,5 m uzunluk ve Ø150 mm çapı için 140$ civarındadır.

***Emisyon regülasyonu:*** Bu husus filtre tasarımının temelidir. Torbalı filtrelerin (partikül ~ 1μm) verimliliği genellikle %99'un üzerindedir. Emisyon regülasyonları (müsaade edilen limitler), endüstriyel tesislerin limitlerinin 6 dakika için %10'dan daha az olmasını öngörmektedir (torba sisteminin optimum performansta ve sürekli işlev görebilmesi için).

***Perfomans testi:*** Filtre sistemleri monte edildikten sonra sistemin performansı (toz tutma kapasitesi) bacagazı testi ile kontrol edilmelidir. Eğer filtre yeni bir tesiste ise benzer bir başka tesise ait işletme verileri karşılaştırma amacıyla kullanılabilir. Bu bağlamda filtre yeterli biçimde tasarlanmalıdır (yeterli yüzey alanı, yedek kompartıman vb. düşünülmelidir). Bazen ağır ve kaba toz yükü şartlarında ön filtre olarak siklon kullanılabilir (büyük yüzey alanlı filtre yerine daha ekonomik olabilir).

***İşletme ve bakım:*** Ekipmanın programlı işletim ve bakım planlaması bir zorunluluktur. Böyle bir program, işleticileri yayınım düzenlemelerine uygun hareket ettiklerinin kanıtı olması yönünden de gereklidir. İyi bir bakım işlemi ile kayıt düzeni, ekipmanın ömrünü artırma bakımından yararlı olacak, düzenlemeleri oluşturan yasal ve toplumsal gruplarla olumlu ilişkiler geliştirecek bir program desteği sağlayacak, sorun giderme çabalarına yardımcı olacak, bakım ya da servis işlemlerini uygun hale getirecektir. Tipik bir program aşağıdaki gereklilikleri içermelidir.

- Ekipman kayıtlarının, garantilerin, talimat el kitaplarının girileceği merkezi bir yer,
- Yağlama ve temizlik takvimleri,
- Koruyucu bakım işlemlerinin planlaması ve çizelgeleri (gözle kontrol ve onarım da dahil),
- Yedek parça ve sarf malzemeleri için bir depo,
- Bakım personelinin listelenmesi (bayi ilişkileri ve danışmanlar dahil),
- Ekipman işletim ve bakımıyla ilgili etkinliklerin maliyetleri ve bütçeler,
- Özel takım ve malzemeler için depolama.

Değiştirilene kadar torba tamir edilebilir veya ağzı kapatılarak iptal edilebilir (sayısı çok olmamak kaydı ile). Torba dizilimi, yürüme yolu vasıtasıyla teknisyenlerin tüm torbalara ulaşımını kolaylaştıracak nitelikte olmalıdır. Torbalara ulaşabilirlik "torba menzili" olarak adlandırılır ve en yakın yürüme yoluna yakın maksimum sıra sayısı olarak tanımlanır. Bunun için belirli bir sayı yoktur, ancak tipik olarak 3 – 4 alınabilir.

***Korozyon:*** Yüksek sıcaklıklı gaz temizleme sistemleri çoğu zaman korozyon yapıcı maddeleri içerdiğinden, sistem elemanlarında kimyasal 'kemirme' oluşabilir. Bu, özellikle temizleme sistemindeki sıcaklığın, nem ya da asitin çiğ noktası sıcaklığının altında olduğu durumlarda önemlidir. Koruyucu gövdenin yalıtımı iç metal yüzeyi sıcaklıklarının her zaman çiğ noktası sıcaklıklarından 10~20°C daha yüksek olacak şekilde tutulmalıdır. Asitli gazlarla tepkimeye girmesi için gaz akımına, alkali bileşiklerin püskürtüldüğü torbalı filtreler durumunda, filtrenin alt akım bölgesi olan temiz tarafını korozyondan korumak için de dikkatli davranılmalıdır.

***Yangın ve patlama tehlikesi:*** Endüstriyel gaz temizleme sistemleri, çoğu zaman yanıcı maddelerle konsantre durumda olup potansiyel yangın ve patlama tehlikesi taşır olumsuz ve kontrolü güç çevrelere maruz bırakabilir. Yangın ve patlama tehlikesi sadece endüstriyel gaz temizleme sistemleri ile sınırlı değildir. Ateşleme prosesinin kendisinde, kanalda yada egzoz sistemi elemanları gibi gaz-temizleme ekipmanı dışında da ortaya çıkabilir. Kontrolsüz yanma bir kez başladıktan sonra sistem içerisinde ilerleyebilir. Yangının ilerlediği anlaşıldıktan sonra gaz temizlik ekipmanında çalışanlar, yangın bir patlamaya dönüşebileceğinden ulaşım kapılarını açmamalıdır.

Parçacık kontrol sistemini güvenli tutmakta aşağıdaki ekipmanlar yardımcı olabilir:

- Bir patlama kapısı yada patlama güvenlik damperi, basıncın önceden belirlenen bir değere ulaşmasından sonra, ekipmanda ani basınç düşümüne olanak sağlar.

- Sıcaklıkla çalışan anahtarlar (switch) ya da kızılötesi sensörler giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı, gaz temizleme ekipmanında yangın olduğuna yada bir prosesin yanlışlığına işaret eden yerel sıcaklık artışını hissetmek üzere kullanılabilir. Bu sensörler, bypass damperlerini çalıştırmak, yangın alarm sistemlerini tetiklemek ve/veya fanları durdurmak üzere kullanılabilirler.

- Atık gaz ya da su sprey sistemleri toz toplayıcılardaki yangını kontrol etmekte kullanılabilir. Ancak bunlar patlama kontrolünde küçük bir öneme sahiptirler.

## 8.13. Ventüriler

Ters akımlı ve jet pulse filtrelerde ters akım için kullanılan önemli parçalardan birisi ventüridir. Ventüriler özellikle basınçlı hava temizlemeli torbalı filtre sistemlerinde basınçlı hava tüketimi ve basınç kayıpları (kompresörde ve fanda enerji kaybı) açısından önemlidir. Venturide hava jeti püskürtülünce hava hızı artarken Bernoulli eşitliği gereğince basınç düşer ve ikincil hava akımını (çevre havası) endükleyerek kendisiyle birlikte çeker. Şekil 8.12'de ventüri örnekleri görülmektedir.



*Şekil 8.12a. Basınç kaybı yönünden uygun ventüriler ve nozullar.*

Ventüriler çelik, paslanmaz çelik, alüminyum veya galvaniz çelikten yapılabilmektedir.

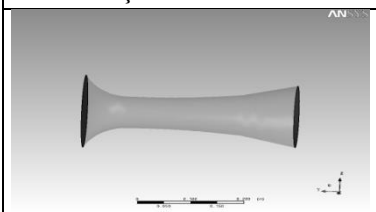
Ventüriler kirli gaz akışı ve temizlik için kullanılan basınçlı havaya minimum direnç gösterecek yapıda - düşük direnç (K) katsayısına sahip olmalıdır. Ventüri torba içine fazla girmemelidir. Örneğin 3600 mm uzunluktaki bir torba ve 40 cm torba içine giren bir ventüri durumunda % 7-10 civarında torba alanı kaybı oluşur. İyi bir ventüri gerek basınçlı hava tarafında ve gerekse filtrasyon tarafında akışa olabildiğince az direnç göstermelidir. Şekil 8.12b'de üç farklı ventüri örneği görülmektedir. Ayrıca iki farklı ventüri için CFD analizleri sonucu hesaplanan K atsayıları da verilmektedir.

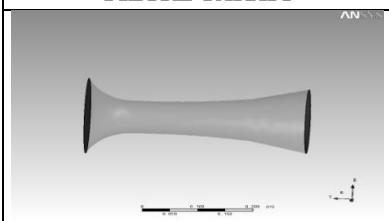


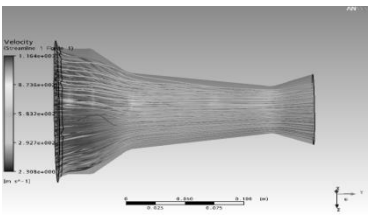
*Şekil 8.12b. Basınç kaybı yönünden uygun (ortada), kısmen uygun (sağda) uygun olmayan (solda) ventüriler.*

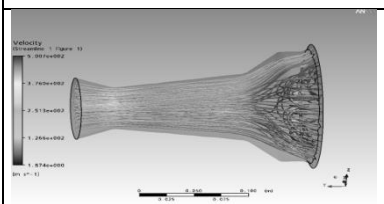
Yukarıdaki belirtildiği üzere, Venturi filtre verimi açısından önemlidir. Tablo 8.8.'de Şekil 8.12b'de görülen üç ventüri tipinin K katsayıları görülmektedir.

*Tablo-8.8. Ventüri tasarımında CFD analizi sonuçları*

| **TASARIM 1<br>BASINÇLI HAVA TARAFI** | **ΔP<br>(Basınç kaybı, bar )** | **v<br>(max. hız, m/s)** | **K** |
|---|---|---|---|
|  | 0,20 | 426,00 | 2,15 |
| | 0,40 | 603,00 | |
| | 0,60 | 740,00 | |
| | 0,80 | 854,00 | |
| | 1,00 | 954,80 | |

| **TASARIM 1<br>FILTRE TARAFI** | **ΔP<br>(Basınç kaybı, bar )** | **v<br>(max. hız, m/s)** | **K** |
|---|---|---|---|
|  | 0,20 | 325,50 | 3,70 |
| | 0,40 | 460,00 | |
| | 0,60 | 564,00 | |
| | 0,80 | 650,00 | |
| | 1,00 | 727,80 | |

| TASARIM 2<br>BASINÇLI HAVA TARAFI | ΔP<br>(Basınç kaybı, bar ) | v<br>(max. hız, m/s) | K |
|---|---|---|---|
|  | 0,20 | 241,00 | 6,75 |
| | 0,40 | 340,00 | |
| | 0,60 | 417,40 | |
| | 0,80 | 482,00 | |
| | 1,00 | 538,86 | |

| TASARIM 2<br>FILTRE TARAFI | ΔP<br>(Basınç kaybı, bar ) | v<br>(max. hız, m/s) | K |
|---|---|---|---|
|  | 0,20 | 228,00 | 7,52 |
| | 0,40 | 322,00 | |
| | 0,60 | 394,00 | |
| | 0,80 | 456,00 | |
| | 1,00 | 510,00 | |

Not: $K=\Delta P*2g/v^2$ eşitliğinden hesaplanmıştır. Bu eşitlikte ΔP Pascal'dır. K değerinin büyük olması aynı basınç kaybında daha fazla havanın geçtiğini ifade etmektedir.

## 8.14. Basınçlı Hava Tesisatı ve Kompresörler

Jet pulse filtrelerde temizlik için basınçlı hava kullanılır. Kompresör torba dış yüzeylerinde biriken tozları filtre bunkerine düşürmek için gerekli olan basınçlı havayı sağlar. Genelde kullanılan hava basıncı genelde 6-7 bar'dır. Kompresörden çıkan hava kuru olmalıdır. Nemli olması halinde toz ile nem torba dış yüzeyinde birleşerek çamurlaşır. Bu durum filtre torbasının hava (kirli gaz) geçirgenliğini azaltır, filtrede basınç kaybını artırır. Bunun sonucu olarak enerji tüketimi artar. Kompresörün kapasitesi bir sırada üflenen torba sayısı, torba çapı ve uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Kompresör kapasitesinden kasıt, dakikada basınçlı hava tüketimidir. Basınçlı hava tesisatı ile ilgili daha detaylı bilgi 12. Bölümde verilmiştir. Basınçlı hava tüketimi $V_k$ ($m^3$ /dak )= bir adet torbanın alanı (S) x bir sırada üflenen torba sayısı ($n_1$)x0.13 ( kompresör hava hızı) şeklinde hesaplanabilir. Ayrıca

literatürde 5 lt/dm$^2$/dk (torba alanı başına) ve 0,1-0,2 m$^3$ /dk/volt basınçlı hava tüketimi önerilmektedir. Öte yandan torbalı filtrelerde ilk yaklaşım olarak 1 lt/dk.m$^2$ basınçlı hava tüketimi alınabilir. Ancak nihai değerler torba imalatçısı firmaları önerileri ve geçmiş deneyimler de dikkate alınarak belirlenebilir.

Jet pulse filtrelerde diyafram vanalar, basınçlı hava manifoldu, dağıtım boruları, üfleme delikleri (nozullar), kompresör, her püskürte ucunda 1 adet ventüri bulunur. Basınçlı hava 2-6 bar basınçta olabilmektedir**.** Torba birim alanı (m$^2$) başına yaklaşık 1 lt/s basınçlı hava alınabilir. Basınçlı temizleme havasının yağ ve kondens suyundan arındırılmış olması gerekir.

Çoğu tasarımlarda, 80~100 psig basınçlı hava kullanılırken, bazıları bünyede düşük basınçlı fakat yüksek hava debisi veren bir blower kullanırlar. Bu biçimde hava basıncı kullananlar darbeli-jet kolektörler (pulse jet) ve blower kullananlar ise fan-darbeli (fan-pulse collectors) olarak adlandırılır.

Basınçlı hava torbayı basınçlandırıp sirkeleyerek toz-pastasının atılmasını sağlar. İkincil ya da tetiklenen çevre havası akımı (induced flow) bir damper gibi çalışarak koşullandırma sırasında havanın normal yöndeki akışını keser. Basınçlı havanın verilmesi, ikincil havanın tetiklenmesi, ikincil akımın sona ermesi vb. yaklaşık 1 saniye içerisinde gerçekleşir. Basınçlı hava darbelerini kontrol eden solenoid vanalar saniyenin onda biri veya daha az bir süre ile açık kalır. Etkili bir yeniden-koşullandırma sağlayabilmek için havanın temiz, kuru ve yeterli debide olması gerekir.

## 8.15. Otomatik Kontrol

Enerji ekonomisi ve torba ömrü açısından bir otomatik kontrol sistemi kurulması çok önemlidir. Bu sistem bir PLC ile ve buradaki bilgilerin bilgisayara aktarılması ile kontrol edilebilir. Basınçlı hava (veya mekanik silkeleme kontrolu), valf operasyonu, kompartman emisyonu, filtre kontrol sistemi, tesis kontrol sistemi, filtrede basınç düşümü, yardımcı ekipmanlar, izleme, uzaktan kumanda, data logger, daha başka ekipmanların kontrolu bu kapsamda düşünülebilir. Ayrıca sistem başka sistemlerle haberleşebilir. Bir kontrol sistemi;

- Manifoldaki hava basıncı,
- Basınçlı hava selonoid vanaları kontrolü,
- Kompartıman emisyonu,
- Filtre ΔP kontrolü,
- Damper vb. konumlandırılma ve operasyonu,
- Fanda enerji tüketimin azaltılması,
- Gözetleme, izleme,
- Uzaktan kontrol,
- Data toplama,

gibi işlevleri yerine getirebilmelidir.

## 8.16. Gaz Soğutma

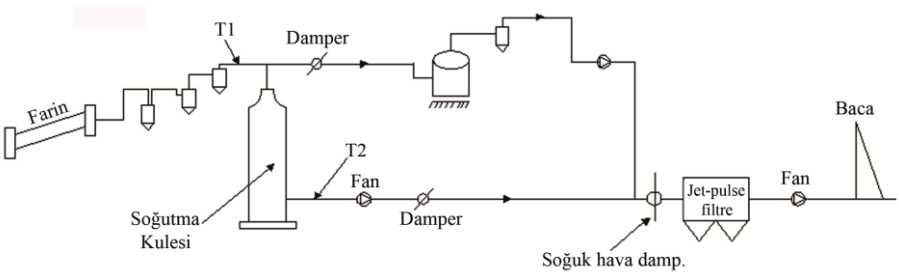
Atık gazlar prosesden yüksek sıcaklıkta çıkıyor ise bu durum yerine göre enerji kaybı olarak değerlendirilebilir. Veya örneğin torbalı filtre kullanımını engelleyen ve yalnızca eletrostatik filtre kullanımını gerektiren bir parametre olarak ortaya çıkabilir. Sıcaklık, torbaların kullanım sınırları içinde olsa dahi pahalı torba kullanımına ihtiyaç olabilir. Bu gibi olumsuzlukları azaltabilmek için atık gazların flitreye girmeden önce soğutulması yararlı olabilir. Böylece gazın hacimsel debisi düşeceğinden ön soğutucu sonrasındaki (filtre, fan, kanal baca) ekipmanın kapasiteleri küçültülebilir ve pahalı torbadan kaçınılabilir. Ön soğutma işlemi, gaz soğutma kulesi veya ısı değiştirici ile yapılabilir. Ancak buradaki temel risk yoğuşmadır ($T>T_{kond}$).

*Örnek.*

Şekil 8.13'de şematik resmi verilen bir çimento fabrikasında (farin değirmeni);

- 1000 ton/gün kapasite için soğutma kulesi Ø4 m, h= 18 m,
- 3000 ton/gün kapasite için soğutma kulesi Ø7 m, h= 20 m,
- 10000 ton/gün kapasite için soğutma kulesi Ø10 m, h= 32 m,

alınabilir.




*Şekil 8.13. Çimento fabrikası farin değirmeni filtre sistemi.*

## 8.17. Toz Uzaklaştırma ve Depolama

Torbalardan silkelenen tozun uzaklaştırılması ve depolanması filtrelerdeki ortak yapılardandır. Toz toplama tankları tozun sürekli boşaltıldığı tank çıkışına kadar bir kanal olma amacına yöneliktir. Toz toplama tankının gaz girişindeki torba filtreler, tozun sürekli boşaltıldığı ve depolanmadığı varsayımına göre tasarlanır. Burada birikebilecek tozlar yüksek miktarda tozun tekrar torbalara yönelmesibe ve yüklenmesine neden olabilir. Bir başka ifade ile filtre içinde toz seviyesi yükseldikçe basınçlı hava ile temizleme esnasında toz yükselmesi (tozma) meydana gelir. Bu şekilde tozun tekrar yüklenmesi işletme basıncını artırarak torbayı yıpratır. Yüksek toz düzeyi sistemi sadece potansiyel korozyon yapıcı koşullara ve yangın/patlama tehlikesine maruz bırakmaz aynı zamanda enerji kayıplarına da sebep olur. Bu durumun önlenmesi için toz seviyesi bir seviye şalteri ile kontrol edilmeli ve uygun biçimde boşalma sağlanmalıdır. Toz tanklarının, yanlış biçimde, depolama amaçlı kullanılmasının ve toz işlem ekipmanlarından kaynaklanan sorunların getirdiği olumsuzluklar aşağıdaki gibidir;

-Toz tanklarının tıkanması,
-Toz vanalarının katı maddelerle tıkanması.

Bunkerde biriken tozlar dönel vanalarla sürekli alınmalıdır. Buna seçenek olarak çift-flap'lı vanalar ya da vakumlu sistem vanaları kullanılabilir. Yaş elektrostatik filtreler ve temizleyiciler çoğu zaman çözünmeyen maddelerin asılı halde kalmasını sağlayan yıkama vanaları ve boşlatma elemanlarını kullanır.

***Toz konveyörleri.*** Büyük kapasiteli toz toplayıcıları, tozun merkezi olarak depolandığı bir yere iletilmesi veya bir prosese katılması için konveyör kullanır. Toz kolektörlerinde sürüklemeli, vidalı ve pnömatik kolektörler geniş biçimde kullanılır. Konveyörün çalışmasını gözleyen hareket anahtarları (switch) kullanılmalıdır.

***Helezonlar.*** Kirli gazın içindeki tozlar filtrede tutulduktan sonra basınçlı hava ile temizlenerek filtre bunkerine düşer. Filtre bunkerinde biriken tozları bir depoya veya tanka almak için motor redüktör tahrikli V-helezonlar kullanılır. V-helezon kapasitesi kirli gaz içindeki toz miktarına ve kirli gaz debisine bağlıdır. Filtreden çıkan toz miktarı, $m_t$=kirli gaz içindeki özgül toz miktarı (gr/$m^3$)xkirli gaz debisi ($m^3$/h) şeklinde verilebilir.

Örnek:

Kirli gaz içindeki toz miktarı: m=40 gr/$m^3$

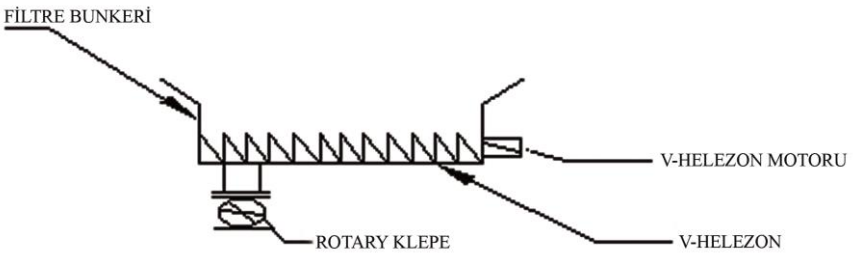
Gaz debisi: V=60 000 $m^3$/h

Olsun.

Bu debideki toplam toz miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır.

M=mxV=40x60000=2 400 000 g/h=2400 kg/h

Dolayısıyla toz deplama tankları ve toz uzaklaştırma sistemi buna göre yapılmalıdır.




***Rotary klape (hava kilidi).*** Rotary klapeler genelde filtrede toplanan tozun helezonlara alınması için kullanılır. Rotary klapelerin sızdırmaz olması ve ters hava emişi yapmaması gerekir. Ters emiş yaparsa (gövde ile kanat arasındaki toleransın fazla olması ) toz dökülemez ve bir müddet sonra filtre

gövdesi toz ile dolar. Rotary klapeler genelde bunker altında, V-helezon toz dökme ağzında bulunur. Kapasitesi V-helezon kapasitesi ile aynı olmalıdır.

***Tozun atılması.*** Toplanan tozlar, toplandığı haliyle (kuru olarak) çöp tanklarına ya da ıslatılıp pelte halinde çöp alanlarına atılabilir. Veya cıvık hale getirilerek bir durulma havuzuna pompalanabilir ya da temizleme ekipmanına gönderilebilir. Tehlikeli tozlarda ise ilgili standartlara uygun işlem yapılır. Bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları bu bölümün kapsamı dışında olup, her uygulama için ayrıca değerlendirilmesi gerekir.

# BÖLÜM 9

# ELEKTROSTATİK TOZ TOPLAYICI (ESP) FİLTRELER

## 9.1. Giriş

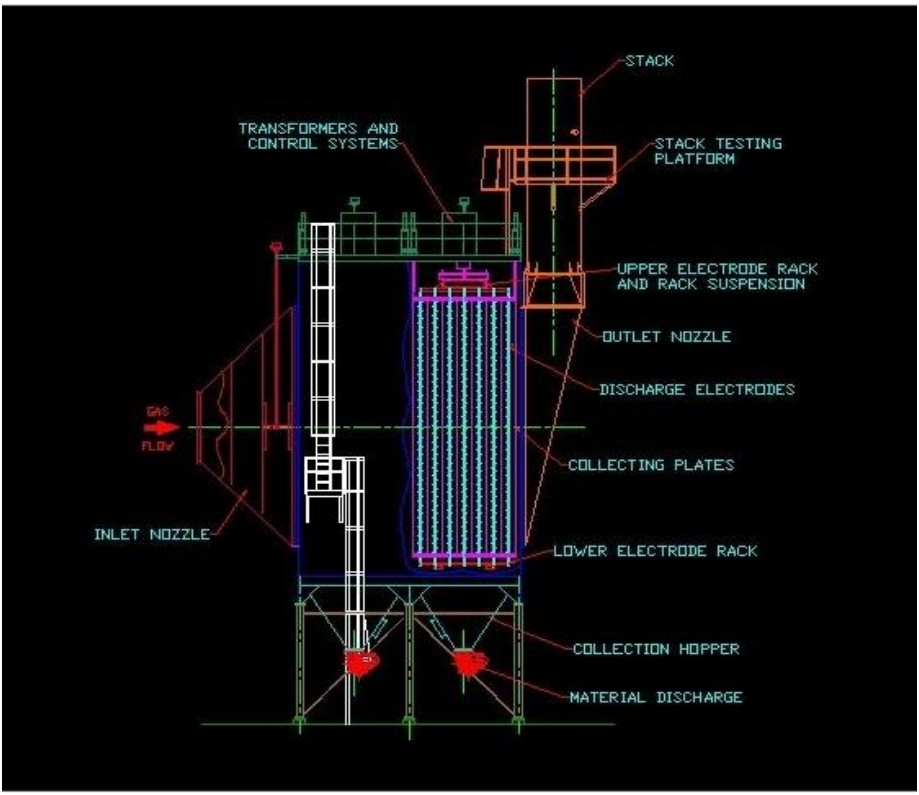
Elektrostatik endüstriyel filtreler atık gazlar içindeki partiküllerin statik elektrik iyonları ile yüklenerek yakalanması prensibi ile çalışırlar. Atık gazlar elektrik şarj edilmiş (yüklenmiş) teller arasından geçerken partiküller de aynı tür iyonlarla iyonize olurlar (yüklenirler). Bu partiküller karşı yükle yüklenmiş plakaların (toplama elektrotları) arasından geçerken bu plakalar tarafından tutulur. Bu plakalar belirli periyotlarla bir sarsma tertibatı ile sarsılarak bunkerlerde toplanır ve oradan da uzaklaştırılır. Özetle bu toplayıcılarda üç farklı işlev yerine getirilir.

a) İyonlaştırma: Kirletici parçacıkların elektrik yüklenmesi sürecidir.

b) Toplama: Parçacıkları, toplama elektrotlarına doğru harekete zorlayan bir çökeltme kuvvetine maruz bırakmak amacını güder.

c) Toplayıcı (kollector) temizleme: Kirleticilerin toplayıcıdan atılmasını sağlar.

Şekil 9.1'de tipik bir endüstriyel tip elektrostatik toz toplama tesisi görülmektedir.




*Şekil 9.1. Tipik bir endüstriyel elektrostatik toz toplama tesisi.*

Elektrostatik toplayıcıların iki türü vardır ve bunlar "Cottrell" veya tek-kademeli ve "Penny" ya da çift kademeli toplayıcıdır. Cottrell, tek-kademeli toplayıcılar iyonlaştırmayı ve toplamayı tek kademede birleştirirler. 40 000-50 000 Volt gibi yüksek iyonlaştırma gerilimlerde çalışması nedeniyle yüksek-gerilimli toplayıcı olarak da adlandırılır. Bunlar ağır iş kazanlarında, geniş kapasiteli kazanlar ve çimento fırınlarında kullanılır. Bakım sorunlarını azaltmak için bazı toplayıcı tasarımlarında teller yerine rijit elektrotlar ve ileri gerilim kontrolleri kullanır.

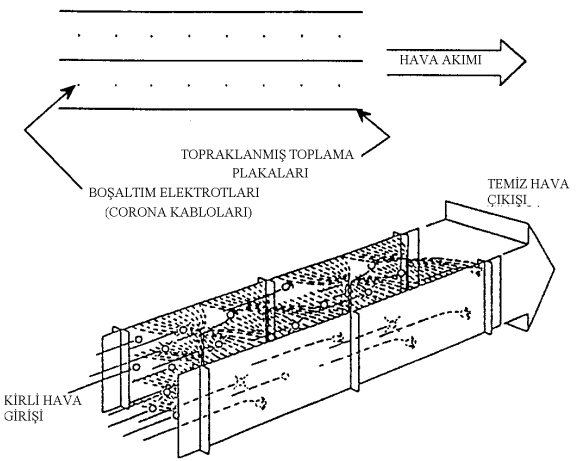
## 9.2. Elektrostatik Yükseltim

Elektrostatik yükseltim, filtre elemanı ile elektrot arasında bir elektriksel alan oluşturmayı, toz parçacıklarının ön elektriksel yüklenmesini veya ikisini birlikte içerir. Elektrostatik yükseltimin işlevi, filtre elemanındaki yapı

içerisindeki çok küçük boşlukların işlev görmesini ve böylece küçük parçacıkların yakalanmasını sağlamaktır. Elektrostatik yükseltimin temel avantajı toz tabakasının çok hızlı biçimde oluşmasına yardımcı olması ve filtre verimini belirli bir basınç düşümü için bir miktar yükseltmesidir.

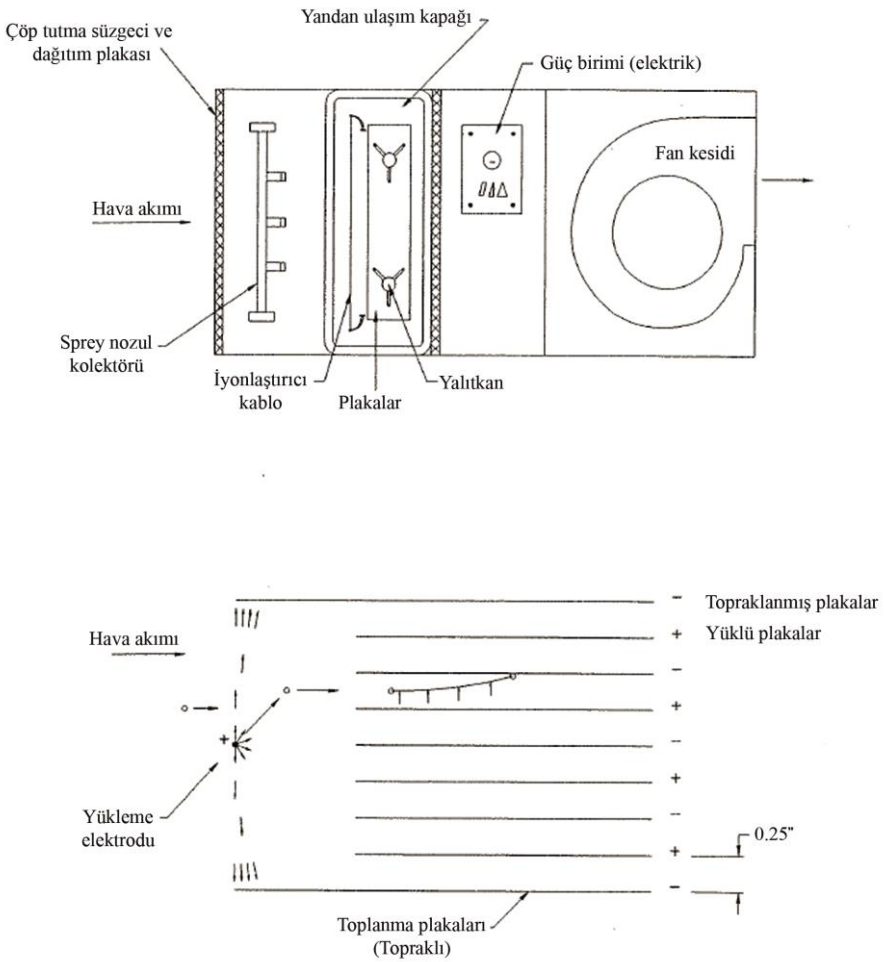
### 9.2.1. Tek Kademeli Elektrostatik Toz Toplayıcılar

İyonlaştırma ve toplama bölümlerinin birbiri ardına aynı yapı içerisinde bulunduğu filtreler tek kademeli toplayıcılar adı verilir (Şekil 9.2).



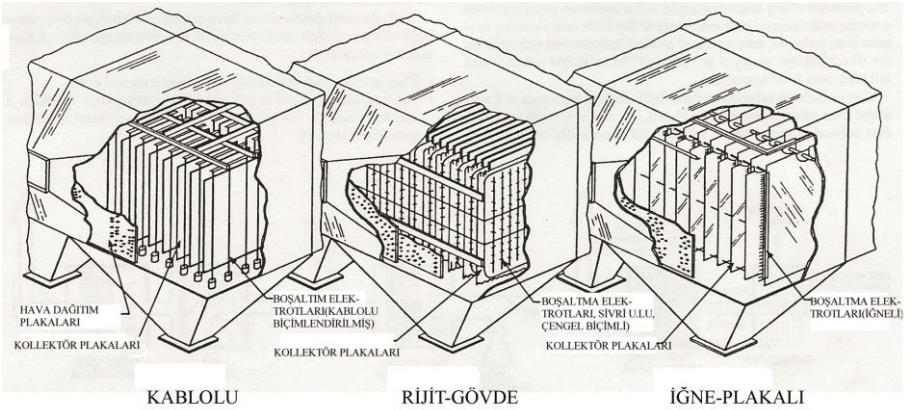

*Şekil 9.2. Tipik tek kademeli elektrostatik toplayıcı.*

Bu toplayıcılarda elektrotlar birbirinden uzak (80~150 mm) yerleştirilmiş olup, tipik olarak yüksek gerilimlerde (20~60 kV) fakat düşük alan gradyenlerinde (nadiren 0.43 kV/mm'den fazla) çalışır. Şekil 9.3'de bu tip elektrostatik filtrenin şematik yapısı verilmiştir.




*Şekil 9.3. Düşük gerilimli elektrostatik toz toplayıcı.*

Şekil 9.4'de değişik tek kademeli toplayıcı tasarımı görülmektedir. Burada yükleme elektrotları toplama plakalarının arasına yerleştirilmiştir. Yüksek gerilimli toplayıcılar büyük parçacıkları küçük parçacıklardan daha iyi toplar (1~2 μm'dan daha küçük parçacıkların toplanmasına daha az etkilidirler). Bunların toplama verimleri kısmen, toplanan kirleticinin bağıl elektriksel direncine bağlı olup, çoğu iletken yada yüksek dielektrikli kirleticilerin toplanmasında daha az etkilidir.




*Şekil 9.4. Tipik tek kademeli toplayıcılar*

Tek kademeli yüksek gerilimli toplayıcılar, kuru toz halindeki ağır yükleri kolayca karşılayabilir. Bunların çoğu, sürekli çalışmak üzere tasarlanmış olup (genellikle bağlı vibratör yada salınımlı temizleyicilerle birlikte), dökümhane elekleri, çimento, seramik, kimyasal tozlar, kül, hava üflemeli döküm fırını, toz ve dumanları, kağıt değirmeni geri kazanım kazanı yayınımları gibi havadaki parçacıklardan büyük miktarları tutabilirler. Bunlar 25 $m^3$/s'den daha küçük hava debilerinin temizlenmesinde nadiren kullanılırlar. Tek kademeli toplayıcılar 1000 $m^3$/s'ye kadar hava akımlarını işlemleyecek kapasitelerde yapılabilmektedirler. Elektrostatik alandan geçen havanın hızı 0.3~2 m/s arasında olup işlem süresi 2~10 s arasında değişmektedir. Sadece özel amaçlı endüstriyel elektrostatik toplayıcılar sıvı kirleticilerin toplanması için de uyarlanabilmektedirler.

Tek kademeli yüksek gerilimli elektrostatik toplayıcılar düşük gerilimli çift kademeli toplayıcı tasarımından birkaç bakımdan ayrılır;

a) Aşırı toz yüklenmesi ve son derece olumsuz koşullarda elektrotların temizlenebilmesi ve kabul edilebilir bir toz toplaması elde edebilmek amacıyla elektrotlar arası uzaklık daha fazladır.

b) Konstrüksiyon 450°C ve 7.5 kPa koşullarında çalışabilecek şekilde ağır hizmet türündendir.

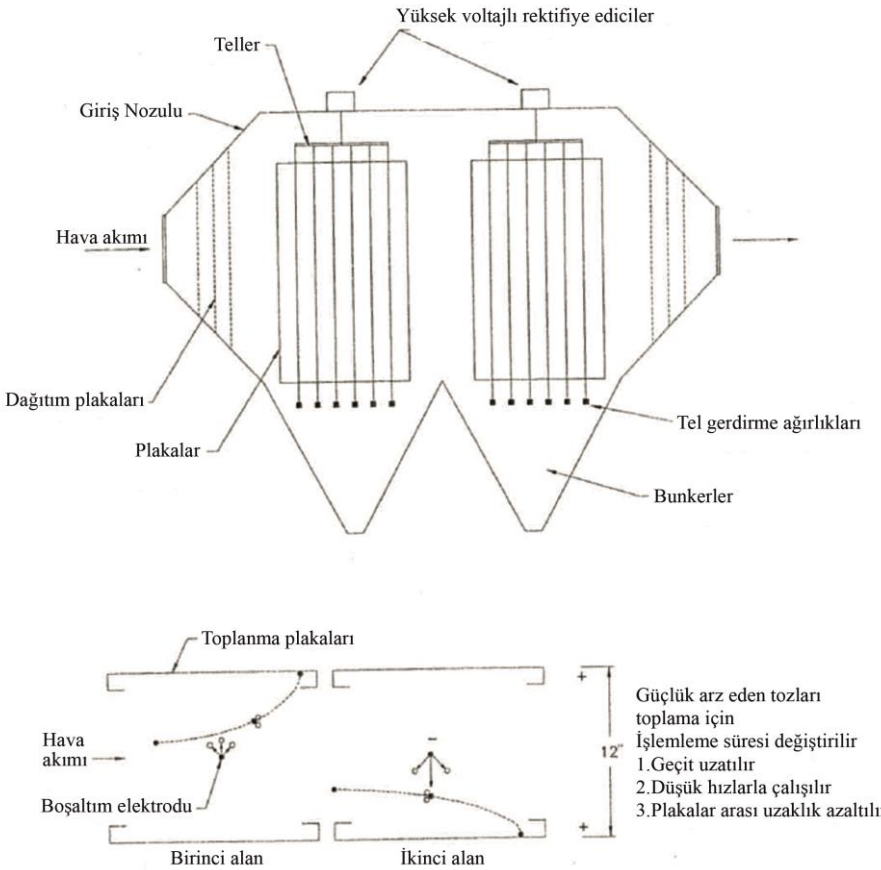
c) Genellikle ozon üretiminin sorun olmadığı egzoz uygulamalarında da kullanılır. Bunlar elektrotlar arasında en büyük alan gücünü veren negatif iyonlaştırma ile çalışabilirler.

d) Bu filtreler genellikle siparişe göre yapılan ve yerinde toplanan birimlerdir.

Tek kademeli toplayıcılar, doğruya yakın tanımlanmış koşullarda %99.9'un üzerinde verimde çalışacak biçimde tasarlanabilirler. Tozun, parça büyüklüğü dağılımı ve birikimin elektriksel direnci gibi özellikleri gaz bileşimi ve akış miktarını etkileyebildiği gibi performansı da önemli ölçüde etkileyebilir.

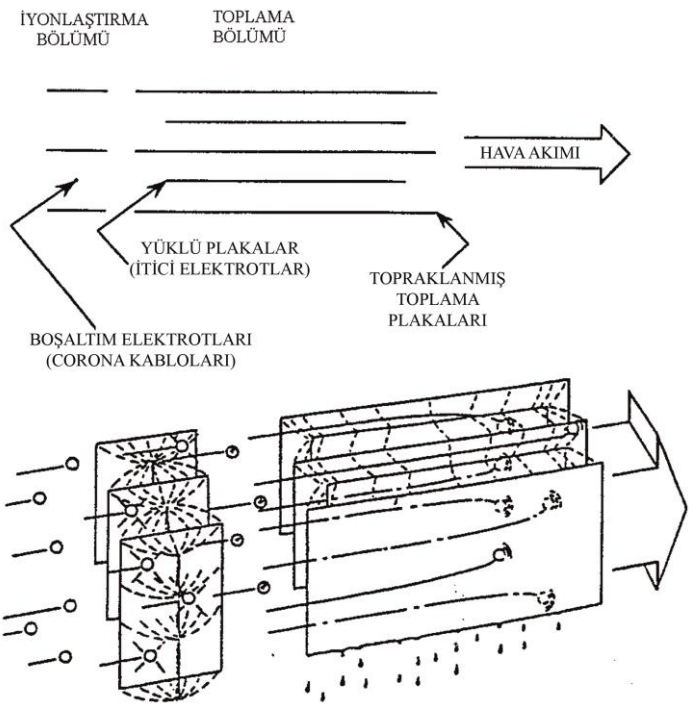
### 9.2.2. İki Kademeli Elektrostatik Toz Toplayıcılar

"Penny" ya da iki kademeli toplayıcı 11 000-14 000 Volt arasında DC gerilimlerini kullanır ve düşük gerilimli toplayıcı adını alır. Bu filtrelerin kullanımı $ft^3$ de 0.025 grains gibi bir değeri aşmayan düşük konsantrasyonlu uygulamalarla sınırlıdır. Başlangıçta temiz görünümlü olan faklat yuoğuşma başlayınca gözle görülür bir dumanlı emisyon haline geçen bir çok hidrokarbon uygulamasında kullanımı pratik toplama tekniğidir. Bazı uygulamalar plastik fırınlarını, dövme preslerini, kalıp-dökme makinelerini ve değişik kaynak işlemlerini içerir. Yoğışma işleminin burada başlaması için toplayıcı (precipitator) giriş sıcaklığının yeteri kadar düşük olmasına dikkat edilmelidir. Şekil 9.5'te bu tür bir toplayıcının şematik yapısı görülmektedir.




*Şekil 9.5. Yüksek gerilimli elektrostatik toz toplayıcı.*

Doğru sonuçlar elde etmek için iyonlaştırma için uygun koşullar sağlamak amacıyla gaz akımı değerlendirilmeli ve işlemlenmelidir. Yüksek gerilimli sistemler için bazen bir soğutma kulesi gerekli olabilir. Düşük gerlilimli birimler sulu-yıkayıcı (wet scrubber) evaporfatif soğutucular, ısı değiştiriciler veya en yüksek toplama performansını sağlamak üzere, gaz akımını koşullandırmada kullanılan diğer araçlar olabilir. Elektrostatik bir toplayıcıdaki basınç düşümü son derecede düşük (genellikle 250 Pa'dan daha az) olup, böylece enerji gereksinimi diğer tekniklere göre önemli ölçüde düşüktür. Bu toplayıcılarda, iyonlaştırma ve toplama işlevleri birbirinden bağımsız birimlerde yükleme ve toplama biçiminde gerçekleştirilir (Şekil 9.6).



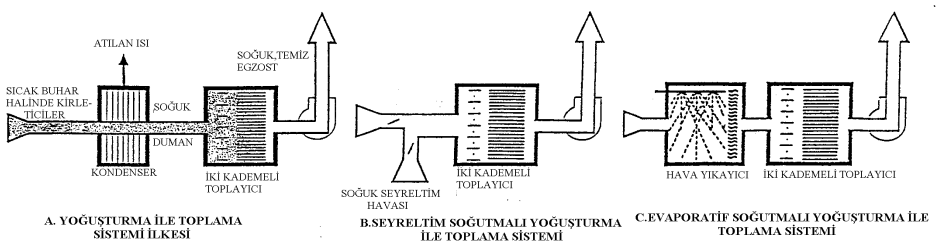

*Şekil 9.6. Tipik çift kademeli elektrostatik toplayıcı.*

Toplayıcılarda, toplama elektrotları birbirine yakın (18~38 mm) yerleştirildiğinden çift-kademeli toplayıcılar normalde yüksek alan gradyenlerinde (genellikle 0.39 kV/mm'den fazla) ve düşük gerilimlerde (genellikle 10 kV ila 14 kV arasında) çalışırlar. İyonlaştırma prosesindeki temel farklılık ve imalatındaki pratik uygulama farklılıkları nedeniyle yüksek gerilim (tek kademeli) ve düşük gerilimli (çift kademeli) toplayıcılar farklı proseslerde kullanılır. İki kademeli toplayıcılar iki türde üretilirler.

1. Ticari/konutsal havalandırma ve iklimlendirme tesislerinde hafif yük koşulları için kullanılan elektronik temizleyiciler olabilmektedir.

2. Endüstriyel ağır hizmet elektrostatik toplayıcılar genellikle proseslerden ve makine işlemlerinden çıkan sıcak, mikron altı sıvı parçacıkların ağır yük koşullarına karşı kullanılır. İki kademeli endüstriyel toplayıcılar çoğu zaman toplanan sıvının kendi ağırlığı ile boşalabileceği hazne ve boşaltma olanaklarını da içerirler.

İki kademeli toplayıcılar endüstride diğer ekipman ile tutulması oldukça güç olan parçacıkların toplanmasında sıklıkla kullanılır. Bu toplayıcılar sıklıkla 0.5 $m^3/s$'den düşük debiler için tasarlanırken, nadiren 25~30 $m^3/s$ 'den büyük debilerde de tasarlanırlar. Toplama alanlarından geçen gazın hızı genellikle 1~3.5 m/s arasında olup her geçişteki işlem süresi iyonlaştırma alanında 0.015~0.05s ve toplama alanında 0.06~0.25s arasındadır. Kendi ağırlığıyla sıvı "dumanı" yada "sisinin" boşalması toplayıcının temizleme mekanizmasına bağlı olduğundan içerisinde hiç katı parçacık bulunmayan veya çok az bulunan sıvı kirleticilerin toplanmasında iki kademeli, düşük gerilimli toplayıcıların kullanımı daha uygundur. Düşük gerilimli, çift kademeli toplayıcıların önemli uygulamalarından birisi yoğuşturucu toplama sisteminin gaz temizleme elemanıdır. Bu tür hava kirliliği kontrol sistemlerinin(benzeri yoğuşum filtreleme sistemlerinin) tasarımı şu ilkeye dayandırılır: Sıcak gazlar ve dumanların bir çok proses tarafından yayınmasına karşılık, toplanması ve filtre edilmesi kolay olmayıp (buhar fazında olduklarından) yoğuşma duman ve buharları soğuk olduklarında, filtrasyon ve çöktürme yoluyla daha kolay tutulabilirler (Şekil 9.7).




*Şekil 9.7 Sulu ve elektrostatik filtrelerin birlikte kullanım örnekleri.*

Bunun gibi havadaki yoğuşum dumanları mikron altı sıvı damlacıklarını içerir. Düşük gerilimli toplayıcılar duman hüzmesinin opaklığı bütün "mavi duman" yayınımlarının nedeni olan μm'den küçük parçacıkların toplanmasında son derecede etkili olabilmektedir. Yoğuşum toplayıcı sistemler, sıcak prosesler, kurutucular, fırınlar ve diğer egzoz araçlarından yayınan "mavi-duman" opak yayınımların ortadan kaldırılmasında iyi bir seçim olabilmektedir. Elektrostatik tip toz toplama sistemlerinin partikül tutma verimleri yüksektir. 1μm'den büyük parçacıkların tutulma verimi %99'dan fazladır. Bu filtreler nemli ve ıslak partikülleri tutabilir, 500˚C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda çalıştırılabilirler. Bu tip toplama sistemlerinin

dezavantajları: İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, yüksek gerilim nedeniyle işletme emniyeti ve kararlılığına dikkat edilme gereği ve fazlaca yer işgal etmeleridir.

# BÖLÜM 10

# SULU FİLTRELER (ISLAK-YAŞ TOPLAYICILAR)

## 10.1. Giriş

Bu filtreler ile atık gazların bünyesinde bulunan partiküllerin tutulmasının yanında, istenirse $SO_x$ ve $NO_x$'i tutmak için filtre suyunsa katkı maddesi ilave edilerek başarılı neticeler elde edilen filtre türleridir.

## 10.2. Çalışma Prensibi

Kirli gazlar (örneğin baca gazları) sulu filtre içinde pülverize edilen su damlacıkları ile karşılaştırılarak hafif partiküller (örneğin uçucular), su damlacıkları ile birleştirilip ağırlaştırılarak santrifüj veya yön değiştirme etkisi ile (yer çekimi) atık gaz akımından ayrılarak dibe çöktürülür. Islak toplayıcılarda parçacık maddelerin yakalanması ve ortamdan uzaklaştırılmasında kullanılan mekanizmalar atalet darbesi, Brown difüzyonu ve yoğuşmadır. Bu mekanizmalar aşağıda özetlenmiştir.

***Atalet darbesi:*** Bir parçacığın bir su damlasıyla çarpışmasında ortaya çıkar ve parçacığın yakalanmasıyla sonuçlanır. Ortaya çıkan toz/damla parçacığı nispeten geniş bir yapıda olup, kendi ağırlığı ya da seperatörlere çarptırma yoluyla, gaz akımından kolayca ayrılabilir.

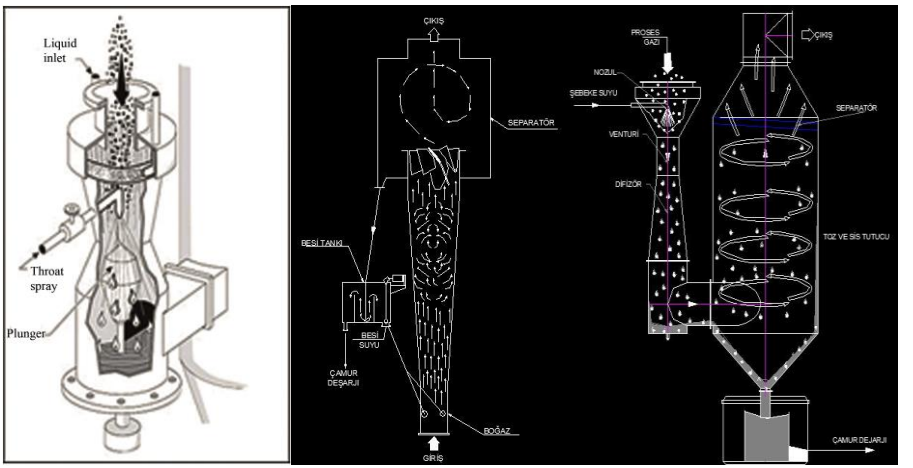
***Brown difüzyonu:*** Gaz akımı içerisindeki parçacıklar çok ince ve akımdan bağımsız hareket edebilme yeteneğinde olduğunda bu mekanizma ortaya çıkar. Islanan bu küçük parçacıklar birbiriyle temas edince daha büyük parçacıklara dönüşür ve sıvı damlası tarafından yakalanır.

***Yoğuşma:*** Islak filtrede su buharı içinde aslında partiküller bulunması halinde nemli gaz yoğuşturularak parçacıklar gaz akımından ayrılır**.** Gaz yada hava çiğ noktası sıcaklığının altına soğutulduğunda ortaya çıkar. Gaz akımındaki nem yoğuştuğunda, sislenme ortaya çıkar ve burada parçacık bir yoğuşma çekirdeği olarak işlev görür. Islak toplayıcılar, iki ayrı işlem ortaya

koyar. Birincisi kirli gaz ile damlanın temas ettiği temas bölgesinde ortaya çıkar, ikincisi sıvı damlasının parçacığı yakalayıp gaz akımından ayırdığı ayırma bölgesinde oluşur

Islak filtrelerin pek çok çeşidi olmakla birlikte belli başlı tipleri şunlardır.

a) Orifisli ıslak filtreler (Şekil 10.1a)
b) Aeromix tipi ıslak filtreler (Şekil 10.1b)
c) Ventüri tipi ıslak filtreler (Şekil 10.1c)




*Şekil 10.1a* *Şekil 10.1b* *Şekil 10.1c*

*Şekil 10.1. Islak filtreler.*

*a) Orifisli tip ıslak filtre, b) Aeromix ıslak filtre, c) Ventüri ıslak filtreler.*

Islak filtrelerde suya katkı maddeleri ilave edilerek duman gazı içindeki SOx'in %90-99'u, NOx'in %25'i tutulabilmektedir. Bu filtreler küçük veya büyük kapasitelerde kurulabilmektedir. İlk yatırım maliyetleri daha sonra incelenecek olan elektrostatik tip ve torbalı toz toplama sistemlerinden daha düşük, siklonlardan daha yüksektir. Bu filtrelerin dezavantajları gazları yıkamak için suya ihtiyaç duyulması ve bu suyun bir kısmı atık gazlar ile bacaya ve bir kısmının da drenaja gitmesidir. Ayrıca emisyon tutma kapasitesi yerine göre daha zayıftır.

Bu filtrelerde baca gazları ile suyun karışması sonucu asidik bir ortam oluşur. Bu nedenle bu su ile temas eden tüm yüzeylerin paslanmaz çelik veya CTP (cam elyaf takviyeli polyester) benzeri malzemelerden yapılması veya kaplanması gerekebilir. Ayrıca temiz duman gazları ile giden su buharının ve drenaja giden çamurun asidik özelliğinin giderilmesi için südkostik türü katkı maddeleri kullanılması gerekir. Bu çerçevede sirkülasyon suyunun toplama tankından filtreye basınçlandırılarak gönderilebilmesi için aside dayanıklı pompa sistemi kullanılmalıdır.

Islak toplayıcılar parçacık halindeki maddeyi yakalamak veya ayırmak için sıvıları kullanırlar. Bazı tür temizleyiciler, kirli gaz akışı içerisine temizleyici sıvı püskürtme yöntemini kullanırken diğer bazıları sıvı içerisinden havanın baloncuklar halinde geçmesini sağlayarak filtreleme yaparlar. Ayrıca her ikisini birden uygulayan temizleyiciler de bulunmaktadır. Islak toplayıcii ile tutulabilecek parçacık büyüklüğü, 0.3~50 μm veya daha büyük olabilmektedir. Islak toplayıcılar enerji yoğunluğu yönünden üç sınıfa ayrılabilir;

a) Düşük enerjili (2 kJ/$m^3$'e kadar ve 0.25~1.5 kPa) filtreler,
b) Orta enerjili (2~6 kJ/$m^3$,1.5~4.5 kPa) filtreler,
c) Yüksek enerjili (>6 kJ/$m^3$,>4.5 kPa) filtreler.

Islak toplayıcılar, ekonomik düşüncelerin parçacıkları yaş olarak ayırmaya olanak verdiği durumlarda, endüstriyel proseslerden çıkan gazların birçoğunun temizlenmesinde kullanılabilirler. Bu toplayıcıların avantajları;

- Yaklaşık sabit işletim basıncı,
- İkinci bir toz kaynağı olmaması,
- Az yedek parça gerektirmesi,
- Hem gaz hem de parçacıklı maddelerin yakalanabilmesi,
- Alevlenme ve patlama tehlikesini azaltması yanı sıra, yüksek sıcaklık ve nemlilikteki gaz akımlarının temizlenebilmesi,
- Temizleyici ekipman için nispeten küçük bir yer ihtiyacı olması,
- Yapışkan ve higroskopik maddeleri, kirlenmeksizin sürekli yakalama yeteneği.

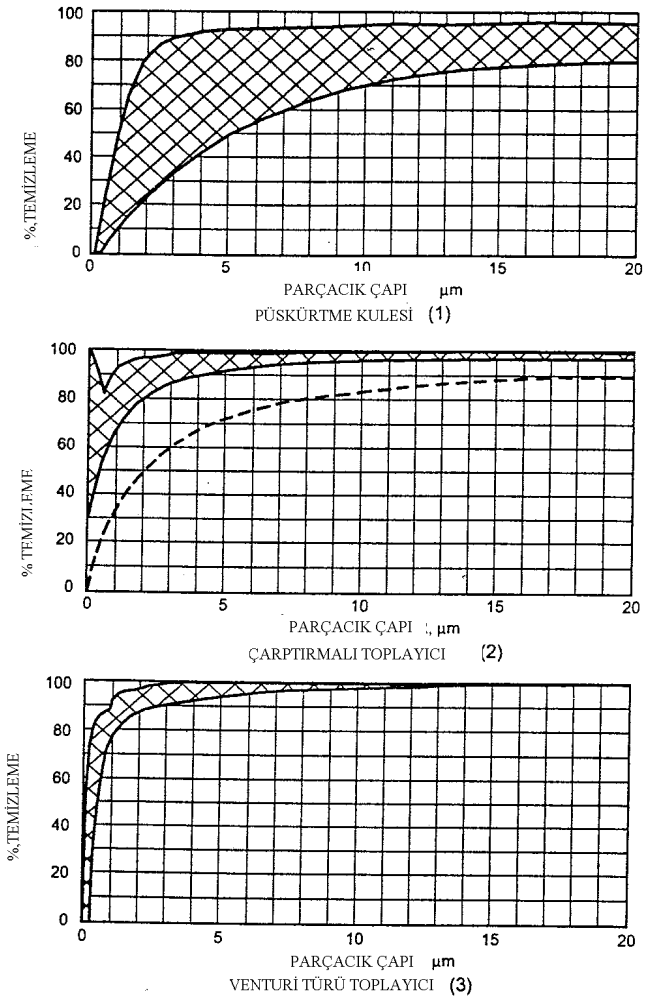
İyi tasarlanmış ıslak toplayıcılardan çoğu aşağıdaki ilkelerden bir yada daha fazlasını kullanırlar;

- Yüksek bir sıvı/gaz oranı,
- Çok sayıda küçük sıvı damlası oluşturarak veya gaz akımını bir toplayıcı sıvı banyosu içerisinden geçmeye zorlayarak çok sayıda küçük baloncuklara ayırma ve böylece parçacıkların ıslanarak yakalanma olasılığını artırma biçiminde, sıvı ve gaz damlaları arasında sıkı bir temas oluşturmak.
- Yaş ve kuru zonlar arasında ani bir geçiş sağlayarak, kuru gazın girdiği yerde parçacık birikmesini önlemek.

Dezavantajları ise aşağıdaki gibidir;

- Yüksek korozyon olasılığı (korozyon direnimli yapılar daha pahalıdır),
- Çıkan gaz akımının, özellikle kışın, gözle görünür ve bazen rahatsız edici duman (sis) çıkmasına neden olabilecek yüksek bir nemlilikte olması,
- Bir çok tasarımın, ince (özellikle mikron altı) parçacıkları etkili biçimde yakalamayı etkileyebilecek yüksek basınç düşümü ve yüksek güç gereksinimi ile çalışması,
- Kirli suyun atılması veya temizlenmesindeki güçlük veya yüksek maliyet,
- Bu toplayıcıların 1μm'dan küçük parçacıklarda oransal verimin hızlı biçimde düşmesi,
- Soğuk çevrelerdeki birçok uygulamada donmadan korunma önlemlerini gerektirmesi.

Şekil 10.2'de ıslak toplayıcıların verimleri görülmektedir.




*Şekil 10.2. Birkaç ıslak toplayıcının yüzde verimleri.*

## 10.3. Sulu Filtre Performansı

Islak filtreler ticari olarak değişik tasarım biçimlerinde bulunmakta olup, basınç düşümleri 350 Pa'dan 25000 Pa değerine kadar değişebilmektedir. Toplayıcı performansında da bu basınçlara karşı gelen bir değişme söz konusudur. İyi tasarlanmış bir ekipman için verimin, hava ile suyun temasında kullanılan enerjiye bağlı ve çalışma ilkesinden bağımsız olduğu kabul edilebilir. Enerjinin havaya veya suya verilmesine bakılmaksızın

verim, $m^3/h$ başına toplam enerjisi girdisinin fonksiyonudur. Bunun anlamı, değişik üreticiler tarafından üretilen iyi tasarlanmış toplayıcılarda eşit güçler kullanıldığına benzer verimler elde edileceğidir. Yaş toplayıcıların yüksek sıcaklıkta ve nemli ağırlıklı gazları işlemleme yetenekleri vardır. Islak filtreler tozun toplanması ve toplanan malzemenin atılması gibi ikincil sorunları da azaltır. Bazı tozlar alevlenme ya da patlama tehlikesi taşırsa da, kuru ve yaş tozun birlikte toplanması tehlikeyi ortadan kaldırır veya azaltır. Bununla birlikte, suyun bulunması filtre içinde korozyon olasılığını artırırken soğuk bir çevrede bulunan filtrelerde donma tehlikesi nedeniyle antifriz kullanma zorunluluğu doğar. Basınç kayıpları ve toplama verimleri farklı filtre tasarımlarında farklıdır. Islak filtreler ve özellikle yüksek enerjili türleri, hava kirliliği sorunlarına karşı giderek daha sık kullanılmaktadır. Suyun temizlenmeden veya işlem görmeden atılması halinde, suda toplanan malzemenin su kirlenmesine neden olacağı unutulmamalıdır. Islak toplayıcıların diğerlerinde bulunmayan bir özelliği de nemlendirme yeteneğidir. Buharlaşma yoluyla hava akımına su buharı ekleme demek olan nemlendirme duruma bağlı olarak avantajlı veya dezavantajlı olabilir. Başlangıçtaki hava akımı yüksek sıcaklıkta ve doymamış durumda ise evaporasyon prosesi, sıcaklığı ve filtreden çıkan hava, hacimsel hava debisini düşürür. Fanın, filtrenin temiz hava tarafında çalışmak üzere seçildiği varsayılırsa, bu ekipman daha küçük seçilebilir ve kolektör çevresinde soğutma olmaması durumuna göre daha az enerji tüketir. Nemli havanın iklimlendirme yapılan bir mahalle egzoz edilmesi halinde bu mahalde istenmeyen bir iklimlendirme yükü oluşturur. Ayrıca nemli hava bitmiş yüzeyler üzerinde korozyona da sebep olabilir. Böylece, tasarımlar tamamlanmadan önce nemlendirmenin etkileri dikkate alınmalıdır. Birçok üretici kendi ekipmanlarına ait nemlendirme verimlerini kataloglarında vermekte ve bu değerlendirmeye yardımcı olmaktadır.

## 10.4. Sulu (Islak) Filtre Çeşitleri

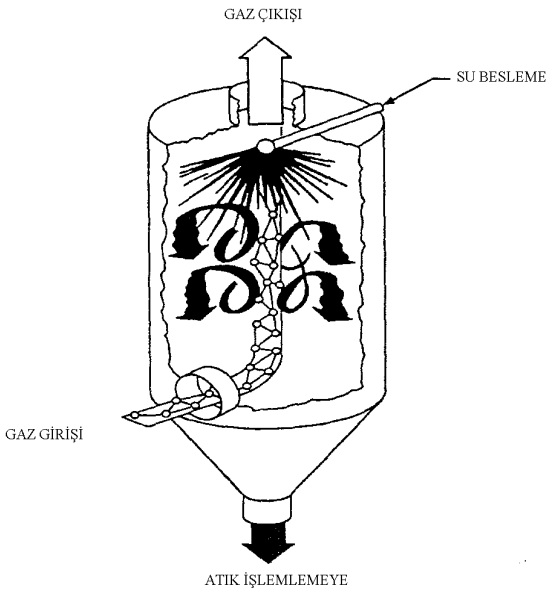
Yukarıda üç temel ıslak toplayıcı hakkında bilgi verilmişti. Burada ise çalışma prensiplerine göre ıslak filtreler özetlenmiştir.

***10.4.1. Oda veya sprey kulesi***: Oda veya sprey kulesi filtreler, içerisine suyun nozullardan püskürtüldüğü yuvarlak veya dikdörtgen kesitli bir oda içerirler. Tasarımın bir çok değişik türü bulunmakta ise de, temel mekanizma, toz parçacıklarının nozulların yarattığı su damlacıklarına

çarpmasıdır. Bu tozlu damlacıklar hava akımından merkezcil kuvvet yardımıyla veya bir damla tutucuya çarptırılarak gaz akımından ayrılırlar. Basınç düşümü nispeten küçüktür (125~370 Pa), fakat basınç 10~400 psig' arasında değişir. Yüksek basınçlı ekipmanlar kural olmaktan çok bir istisnadırlar. Yani, bu tür bir toplayıcılar düşük basınçlı besleme suyu kullanırlar ve ıslak filtrelere nazaran daha düşük verimde çalışırlar. Sis kuleleri gibi suyun yüksek basınçta sağlandığı yerlerde, toplama (toz) verimi ıslak filtreler için maksimum değer yapabilir. Sıradan ekipmanlarda, su gereksinimi makul ölçülerdedir yani, 1000 scfm gaz hacmi başına 5 gpm gibi bir değerdedir. Sis üreten yüksek basınçlı türler ise 1000 scfm[1] başına 10 gpm gibi yüksek bir değer gerektirebilir.

***10.4.2. Püskürtme kuleleri.*** Püskürtme kuleleri veya çarptırmalı temizleyicilerin birçok farklı uyarlamaları bulunmaktadır. Gaz akımı tek ya da bir dizi püskürtme sıvısına maruz bırakılır veya gaz akımı sulanarak ıslatılan bir dizi perdeye çarptırılmak üzere harekete zorlanır. Paket kuleler dışında, bu temizleyiciler düşük enerji sınıfındadır; ancak düşük parçacık yakalama verimine sahiptirler. Püskürtme kulesinin verimi, yüksek basınçlı püskürtme eklenerek artırılabilir. 200~700 kPa (okuma) basınç aralığında, verimi % 50~85 arasında olan bir kulenin verimi %95~99'a (2 μm'ye yakın büyüklükteki parçacıklar için) kadar artırılabilmektedir.

[1] Scfm=Standart cubic feet per minute Scfm = Standard cubic feet per min; Nm3/hr = normal M3/Hr; 1 scfm = 60 ft3/hr = 60ft3/Hr ; 35.31 ft3/Nm3 ; 1 scfm = Yaklaşık olarak 1.7 Nm3/hr – or; 1 Nm3/hr = SCFM/1.7
= Yaklaşık olarak 0.588 scfm [Çeviren]




*Şekil 10.3. Tipik püskürtme kulesi.*

### *10.4.3. Soğutma Kuleleri*

Sızdırmaz kuleler arasından sıvı veya gazın aynı yönde, ters yönde veya çapraz akımla aktığı temelde temas yataklarıdır. Kullanımları daha çok, buhar, gaz ve su çıkartılması gereken yerlerdedir. Bu toplayıcılar katı parçacıkları yakalayabilirse de, tozun salmastraları tıkaması ve önemli bakım maliyeti gerektirmesi nedeniyle bu amaç için kullanılmaz. Su miktarları, tipik kuleler için 1000 scfm başına 5~10 gpm civarındadır. Su, (V) biçimli seramik veya plastik kanallardan verilir. Tuğla katman kullanılarak yüksek sıcaklık yıpranması önlenmiş olup, doğrudan fırından (1600ºF'a kadar sıcaklıkta) gelen duman gazlarına uygulanabilir. Seramik altlık gibi, 4-ft uzunluktaki salmastra yatağı için hava akımı basıncı 1.5~3.5 inSS'a değişmektedir. Alın hızı (gazın yatağa giriş hızı) tipik olarak 200~300 fpm'dir.

Endüstriyel egzoz sistemlerindeki bazı gaz ve sıvı parçacıkların tutulmasında kullanılan farklı bir grubu oluşturur. Geleneksel olarak **"scrubber"** terimi gaz akımından istenmeyen parçacıkların çıkartılması için sıvı maddeleri kullanan ıslak filtreleri ifade eder. Son zamanlarda bu terim, egzoz

akımındaki asit yapıdaki gazları temizlemek için bir kuru maddenin püskürtülmesi yöntemi için de kullanılmaktadır. Islak filtreler aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

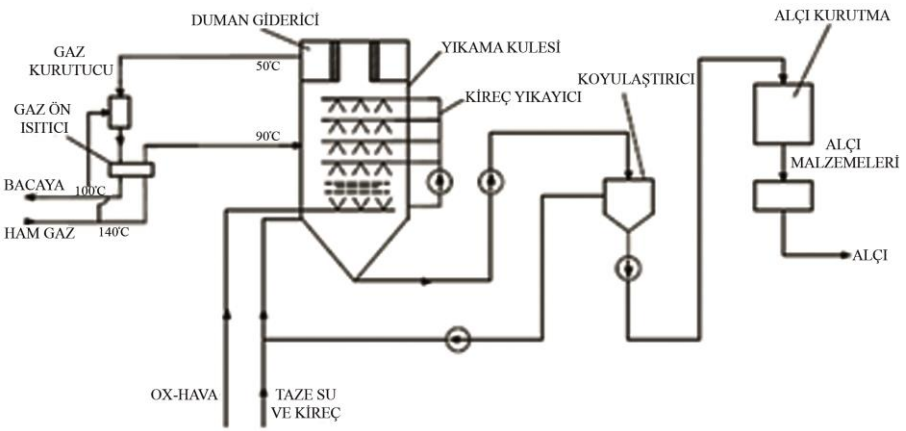
- Kuru yıkayıcılar
- Yarı kuru yıkayıcılar (sprey yıkayıcılar)
- Islak yıkayıcılar.

***Kuru yıkayıcılar***: Kuru ya da yarı kuru bir yıkayıcı, ıslak yıkayıcılar gibi nemli işlem görmüş olan duman gazı akımını doymuş hale getirmezler. Bazı durumlarda nem eklemesi hiç bulunmazken bazı tasarımlarda ise sadece gaz akımına eklenen nem buharlaştırılır. Böylece, kuru yıkayıcılarda baca gazı içerisinde bir buhar hüzmesi ve atık gaz işlemleme/temizlemesi gereksinimi oluşmaz. Kuru yıkayıcı sistemler, yanma kaynaklarından asidik yapıdaki gazların ($SO_2$ ve HCl) gaz akımından ayrıştırılmasında kullanılır. Çok sayıda kuru tip yıkama sistemi bulunmakta ise de, bunlardan ikisi geniş kullanıma sahiptir: Bunlardan birisi gaz akımından gaz emici maddelerle tepkime ürünlerini, solvent maddeleri ve gazın yapısında bulunan parçacıklı maddeleri alan bir parçacık kontrol elemanı içerir. Kuru yıkama sistemleri, solvent püskürtücüler (DSI) yada sprey yıkama sistemleri olarak sınıflandırılabilir (SDA). Sprey türü yıkayıcılar (SDA) aynı zamanda yarı kuru yıkayıcı olarak da adlandırılır.

Kuru solvent püskürtülmesi**,** asit yapıdaki gazlarla tepkimeye girmesi için gaz akımına alkali bir malzemenin (hidrat kireci veya soda külü) eklenmesini içerir. Solvent madde üç yere doğrudan püskürtülür: yanma prosesine, duman gazı kanalına (parçacık kontrol cihazının önüne) veya bir açık kontrol odasına (varsa). Asit yapıdaki gaz solvent malzeme tepkime sonucunda, parçacık kontrol cihazı tarafından tutulabilen tuzlar üretir. Bu sistemler sadece sınırlı düzeyde asidik gaz ($SO_2$ ve HCl) tutma verimi ortaya koyarlar. Yüksek tutma verimi durumunda ise duman gazındaki nem miktarı artırılarak (örneğin su püskürtmeyle soğutarak) elde edilebilir. Bu cihazlar genellikle tıbbi atıkları yakma tesislerinde kullanılmaktadır.

Sprey kurutucu absorberlerde, duman gazları içerisinde gazın atomize alkali sıvıyla temas halinde olacağı absorber kuleye (kurutucu) verilir. Asidik gazlar, bulamaç tarafından emilir ve parçacık tutucu tarafından tutulacak

şekilde tepkimeye girer. Duman gazının ısısı, absorber kulenin çıkışında doymamış haldeki su damlacıklarını buharlaştırmakta kullanılır. Sprey kurutucular yüksek (%80+) gaz temizleme verimlerine sahiptir. Bu cihazlar bazı endüstriyel tesislerde ve özellikle belediye atık yakma tesislerinde kullanılır.



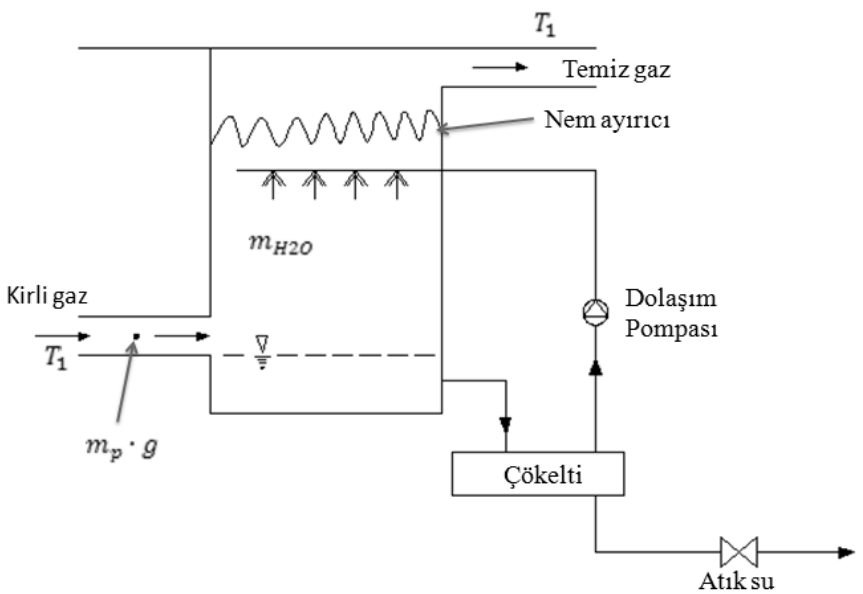

*Şekil 10.4. Duman gazlarının dekükürdizasyon yöntemi ile arıtılması.*

Paket halindeki temizleyiciler gaz ve parçacık kirleticileri gaz akımından almakta kullanılır. Temizleme işlemi, parçacıkların çarptırılması ve/veya çözünebilir bir gaz veya buharın, paketin sıvı tarafından ıslatılmış yüzeyine emdirilmesini (absorbsiyon) içerir. Sıvı filminin özelliklerinde bir değişiklik olmadığı sürece, yakalanacak parçacık miktarı ile ilgi herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır.

Gaz ya da buharların yakalanması, parçacıkların yakalanmasından daha karmaşıktır. Kirleticiler çözünmüş hale gelir ve temizleme sıvısındakinden daha yüksek bir buhar basıncına sahiptirler. Bu buhar basıncı, çözelti içerisindeki kirletici derişimi arttıkça ve/veya sıcaklık yükseldikçe yükselir. Kirletici durumundaki gazın buhar basıncı, temizleme sıvısının buhar basıncından yüksek olduğu sürece temizleme işlemi devam eder. Burada tutulan kirletici miktarı, kısmi basınçla buhar basıncı farkına olduğu kadar, kirletici difüzyonuna da bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan gaz temizleme işlemlerinde, gazların temizleyici yüzeylerden geçiş hızlarındaki küçük bir artış yakalama miktarında düşüşe sebep olur. Bu nedenle bu cihazlar uygun bir kirletici kontrolü için olası en yüksek yüzey hızlarında çalıştırılırlar. Sıvı

miktarının artırılması genellikle temizleme verimi üzerinde küçük bir etki yarattığından, sıvı miktarı uygun bir çalışma ve parçacık yakalama miktarı için gerekli en düşük miktar şeklinde belirlenmelidir. Toplayıcıdaki gazların yüzey hızları artarken temizleme sıvısının paket yüzeylerinden süpürülmesi ve paketten uzaklaştırma eğilimi söz konusudur. Eğer basınç düşümü ekipmanın çalışması için bir sınırlayıcı faktör değilse, sıvının gaz tarafından sürüklenmesine sebep olan kritik hızın hemen altındaki hızlarda maksimum temizleme kapasitesi elde edilir.

***Islak filtre (soğutma kulesi)***

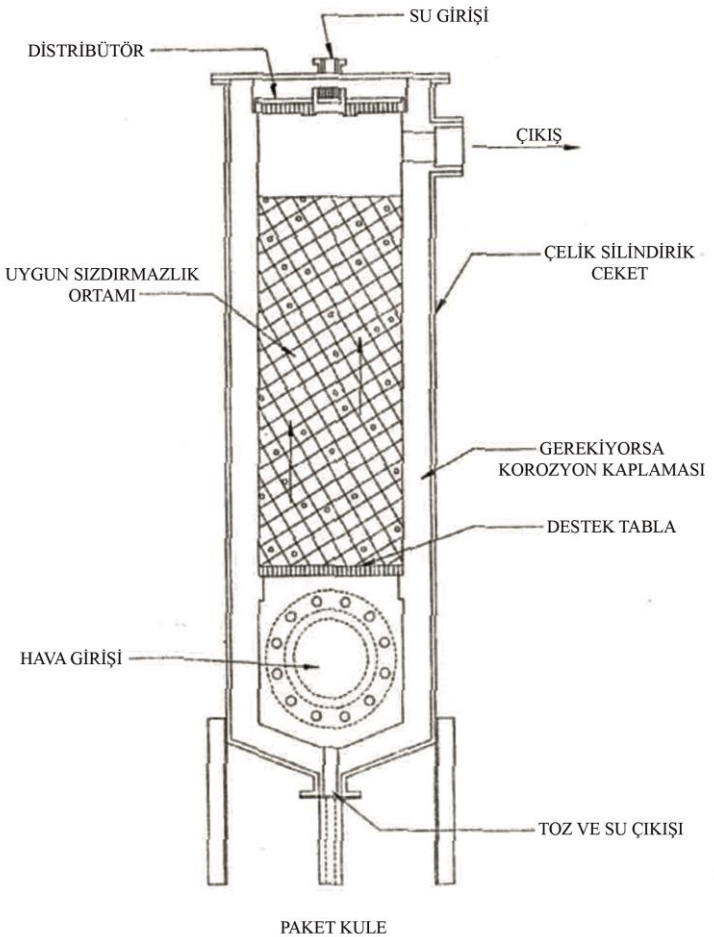



*Şekil 10.5a. Soğutma kulesi prensip şeması.*

$m_p = Partik$ül $k$ütlesi

Şekil 9.5a'da görüldüğü üzere $m_p$ kütlesinde, atalet kuvveti etkisinde sürüklenen partiküllere, sulu püskürtme sistemi ile $m_{H2O}$ kütlesinde bir ilave ağırlık eklenerek, ayrıştıracak kütle $m_t$ ($=m_p+m_{H2O}$)'ye yükseltiir. Çap büyümesinden kaynaklanan gaz hızındaki düşme ve yaş partikül kütlesindeki artış ile yer çekimi kuvveti atalet kuvvetlerine baskın hale gelir ve ıslak partikül filtre altındaki çamurlu suda birikir. Burada atık gaz soğutulur ise bu

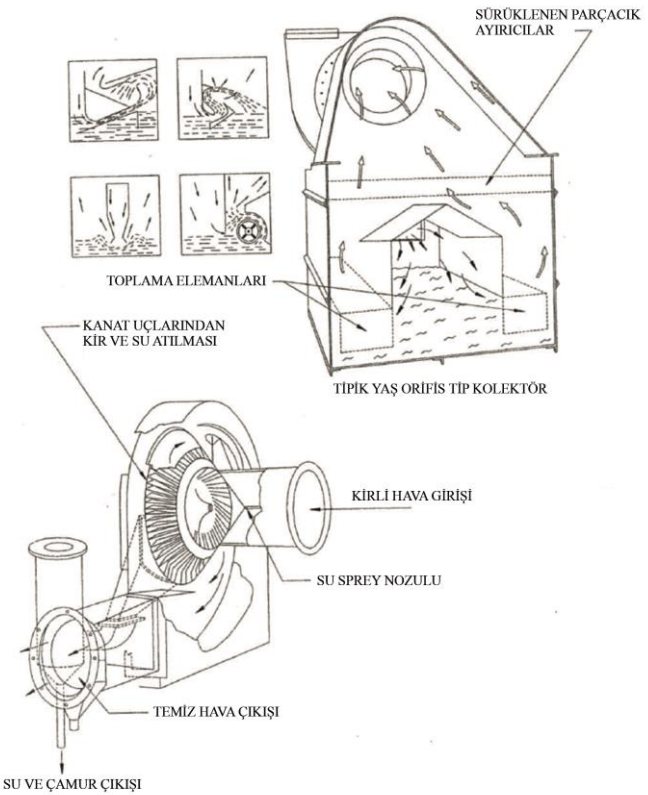
noktadan sonra kullanılabilecek filtre ve fan debisi ve dolayısıyla işletme maliyetleri azalacaktır. Ancak burada atıkların (çökeltinin) asidik olması nedeniyle bu çamur arıtılmadan kanalizasyon sistemine verilemez. Bu durum ise ilave ilk yatırım maliyetinin artmasına sebep olur. Sonuç olarak, karar verilirken tüm bu hususlar dikkate alınmalıdır. Sprey kurutma ile temizleme endüstriyel gaz akımlarında bulunan asidik gaz kirleticileri absorbe ve nötralize etmek amacıyla kullanılır. Sistem gazlarla tepkimeye girerek tuz oluşturan bir alkalinin püskürtülmesini içerir. Burada proses ısısı sıvıyı buharlaştırarak, gaz akımından alınabilecek kuru parçacıklar oluşturur.




*Şekil 10.5b. Soğutma kulesi (gaz kirleticiler için).*

Diğer yandan sprey kurutmada uygulanan endüstriyel uygulamalar aşağıda özetlenmiştir.

***Orifis Türü Yaş Filtreler:*** Bu gruptaki yaş filtre tasarımlarında filtre içinden akan hava daraltılmış bir geçitte su tabakasıyla temas eder. Suyun akışı, hava akımının hızı ile tetiklenebilmektedir veya pompa ve savaklarla sağlanabilir. Basınç kayıpları 250 Pa'dan endüstriyel uygulamaların çoğundaki 5000 Pa'a kadar değişebilmektedir. 5000 Pa gibi yüksek basınç düşümleri çok küçük parçacıkların toplanması amacıyla tasarlanan türlerde ortaya çıkmaktadır. Orifis türü toplayıcılar da, orta enerji sınıfına girer. Genellikle, gaz akımı temizleme sıvısının yüzeyine çarptırılarak, gaz akımının hızı ve gaz-sıvı etkileşiminin arttığı kısıtlı aralıklardan geçmeye zorlanır. Orifisli toplayıcılarda su kullanımı evaporasyon kaybı ve toplanan kirleticilerin atılması ile sınırlıdır.




*Şekil 10.6. Parçacıklar yaş santrifüj ve dinamik toplayıcılar.*

***Sulu santrifüj toplayıcılar***: Islak santrifüj toplayıcılar ticari olarak bulunan ıslak filtre tasarımlarının geniş bir kısmını oluşturur. Bu tür toz parçacığını hızlandırmak ve ıslak filtre yüzeyine çarptırmak için santrifüj kuvveti kullanır. Kullanılan su miktarı genellikle temizlenen gazın 1000 scfm'si başına 2~5 gpmcivarındadır. Su dağıtımı nozullarla ağırlıkla veya tetiklenmiş su-toplama (induced pick-up) biçiminde olabilmektedir. Basınç düşümü 500~1500 Pa aralığındadır. Bir grup olarak bu toplayıcılar, oda-tipi (chamber) filtrelerden daha etkilidirler. Bazılarında değişen sayıda çarptırma bölmesi bulunur. Bölmelerin sayısı azaldıkça verim düşer, maliyet, basınç-düşümü ve kapladığı hacim azalır. Bazı tasarımlar ise birden fazla toplama borusu içerebilirler. Belirli bir akış debisinde boru çapındaki bir düşüş santrifüj kuvvet artıracağından daha yüksek verim sağlar. Burada atomlaştırma enerjisi sadece besleme sıvısının basıncı tarafından sağlanır. Basınç nozullarının çoğu, teğet girişler ve yarıklarla nozuldaki sıvıya bir dönme hareketi veren girdaplı türdendir. Sıvının 300 mPa/s ve daha yüksek viskozitede olması halinde basınçlı nozullar svıları çok iyi atomize edebilirler. Bu tür, karşıt akışlı sprey kurutucuları ve birden çok atomlaştırıcı gerektiren kurulumlar için çok uygundur. Bir tek nozuldan 1.3 kg/s'ye kadar kapasite elde etmek olanaklıdır. Basınçlı nozulların bazı sakıncaları da söz konusudur. Örneğin basınç, kapasite ve orifis büyüklüğünün birbirinden bağımsız olması, belirli düzeyde esnek olmayan bir karakteristik getirir. Daha da ötesi, basıçlı nozullar, (özellikle küçük geçitlere sahip olanlar) aşındırıcı maddelerin ele alındığı durumlarda erozyon tehlikesine sahiptirler. Bu gibi durumlarda, çoğu zaman tungsten karbit ve benzeri sert kaplama malzemeleri kullanılır.

Bazı sistemlerde ise iki akışkanlı nozullar kullanılır. Burada sıvının parçalanması (atomize olması) için gerekli enerjinin önemli bir kısmı hava (yada buhar) basıncı ile sağlanır. Düşük basınçlı olarak verilen sıvı içsel yada dışsal olarak havayla karıştırılır. Bu atomlaştırıcıda gerekli olan enerji düzeyleri diskli ve nozullu ekipmana oranla daha yüksek ise de, iki-akışkanlı atomlaştırıcılar özellikle viskoz sıvılar durumunda çok ince bir atomlaştırma sağlayabilir.

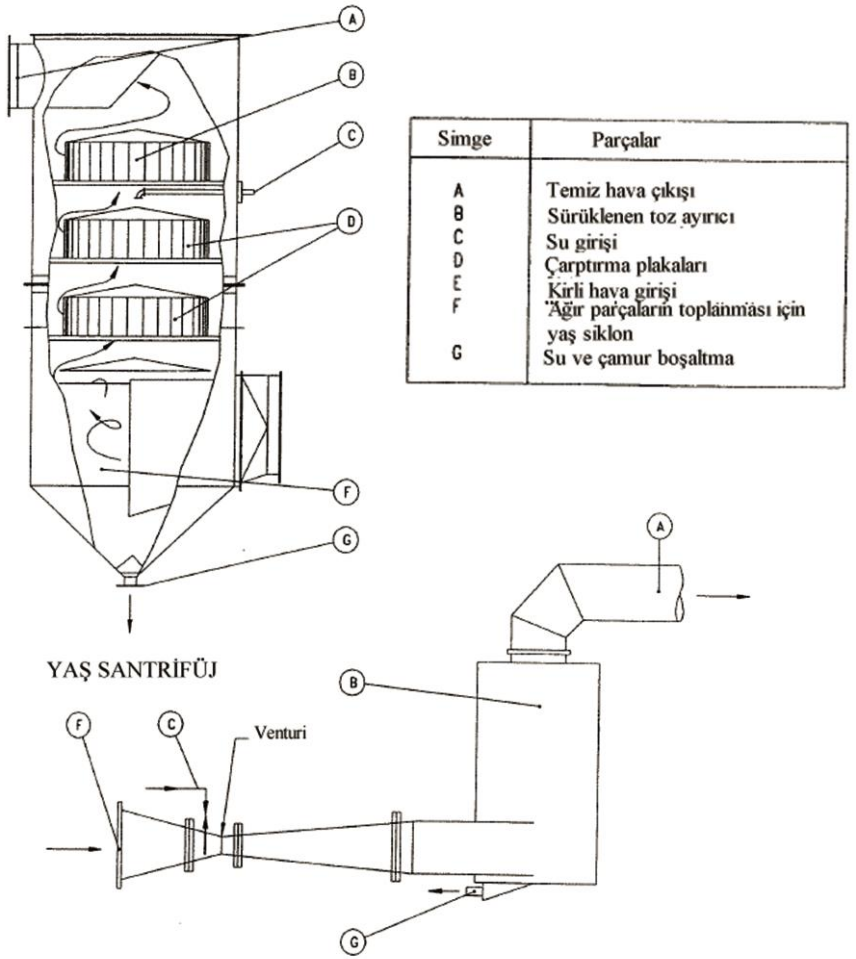
Besleme malzemesinin yoğunluk ve viskozitesi ve bunların yüksek sıcaklıklardaki değişme biçimi, dikkate alınmalıdır. Bazı alkali bileşikleri, asit gaz kontrolü için gerekli olan derişimlerde bir çözelti oluşturmazlar.

Nozulların ve pompaların, asılı halde parçacık içeren çözeltileri ele alacak ve ölçümleyecek biçimde seçilmesi çok olağan değildir. Sprey kurutma sistemleri, ölçümleme vanalarını, pompa ve kompresörleri ve gaz temizleme sistemi içerisindeki sıcaklık ve optimal kimyasal beslemeyi sağlayacak kontrol elemanları içerir.

***Sulu dinamik çökeltici:*** Islak dinamik çökelticiler fan ve toz toplayıcılarının bir bileşimidir. Kirli hava akımındaki toz parçacıkları dönen ve sprey, nozullarla ıslatılan fan kanatlarına çarpar. Burada toz parçacıkları su damlacıklarına çarparak suyla birlikte bir metal koni boyunca tutulurken temiz hava 180 derecelik bir dönüş yapar ve özel olarak biiçimlendirilmiş fan kanatlarının ön tarafından çıkar. Su konisinden gelen kirli su su ve çamur çıkış ağzına giderken, temiz hava bir su ayırma cihazı içeren çıkış ağzına gelir.

***Ventüri tipi toplayıcı:*** Ventüri filtresi orifis türünde kullanılardan oldukça yüksek boğaz hızlarının elde edilmesi için ventüri biçiminde bir daralma (boğaz) kullanır. Ventüri boğazındaki gaz hızları 61~122 m/s arasında değişir. Temizlenen gazın bin scfm'si başına 5-10 gpm miktarlarındaki su borularla, ya da jetlerle boğaza veya hemen önüne verilir. Yüksek enerjili bir ventüri türü temizleyicide gaz, hızın 60 m/s ya da daha fazlasına ulaştığı bir ventüri biçimli delikten geçer. Tasarıma bağlı olarak temizleyici sıvı boğazda veya boğazın önünde sisteme eklenir. Gazın yüksek hızda girişi sıvıyı küçük parçalara ayırarak bir sis oluşmasına yardım eder, gaz ve sıvının temas olasılığını artırır. Tipik uygulamalarda, bir ventüri türü temizleyicideki basınç düşümü, diğer türlerden daha yüksektir. Su sirkülasyonu daha yüksek olduğundan, ventüri türü temizleyiciler su-geri kazanımı kullanır. Ventürinin toplama mekanizması çarptırma şeklindedir. Tüm iyi tasarlanmış ıslak toplayıcılar için doğru olduğu üzere, toz toplama verimi basınç arttıkça artar. Seçilen hızlara göre tasarım yaparak boğaz kısmında özel basınç düşümleri elde edeilebilir. Bazı ventüri toplayıcılar ayarlanabilir boğazlı yapılarak belirli bir debi için değişen basınç düşümlerinde ya da sabit bir basınç düşümü için değişen debilerde çalışma elde edilebilir. Orta değerde bir toz toplama verimi için 1250 Pa basınç düşümünden, son derecede küçük parçacıkların toplanması için 2500 Pa kadar basınç düşümlerinde çalışan sistemler ticari olarak bulunmaktadır. Ventürinin kendisi gaz içindeki parçacıklar ile yakalama suyunun çoklu jet

akımları arasında sıkı bir temas sağlayan bir gaz koşullandırıcıdır. Gaz karışımları, duman, toz yığışması, ve kirli su yüklenmiş damlacıkların bir ayırma bölümünden geçirilmesi ile akıtılması gereklidir.




| Simge | Parçalar |
|---|---|
| A | Temiz hava çıkışı |
| B | Sürüklenen toz ayırıcı |
| C | Su girişi |
| D | Çarptırma plakaları |
| E | Kirli hava girişi |
| F | Ağır parçaların toplanması için yaş siklon |
| G | Su ve çamur boşaltma |

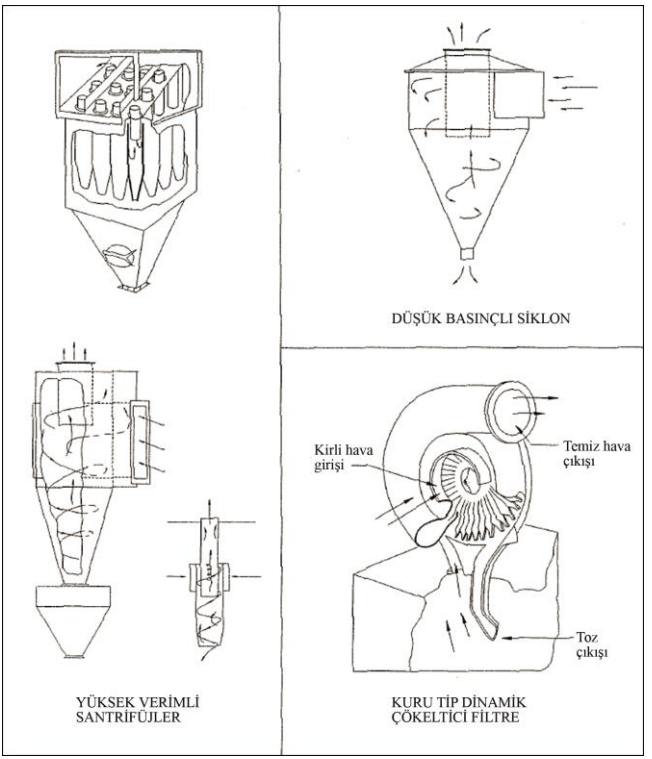
*Şekil 10.7. Parçaçık kirleticiler için yaş toplayıcı.*

***Kuru santrifüj toplayıcılar***: Kuru santrifüj toplayıcılar bir hava akımından yüklenmiş su damlacıklarını santrifüj, atalet ve ağırlık kuvvetlerinin bir bileşimi ile ayırır. Toplama verimi aşağıdakiler tarafından etkilenir. Burada aşağıdaki hususlar geçerlidir.

1. Parçacık büyüklüğü ve ağırlık arttıkça ve şekil küresele yaklaştıkça toplayıcı performansı artar.

2. Toplayıcı büyüklüğü ve tasarımı: İnce tozların, mekanik bir araçla toplanması ekipmanın mekanik kuvvetleri en iyi kullanacağı ve belirli bir uygulamaya en uygun olacağı biçimde tasarlanmayı gerektirir.

3. Hız: Bir siklon toplayıcı içerisinden basınç düşümü yaklaşık olarak girişteki hızın karesiyle orantılı olarak artar. Buna karşılık, kolektör tasarımının, toz niteliklerinin, gaz sıcaklık ve yoğunluğunun fonksiyonu olan optimum bir hız vardır.

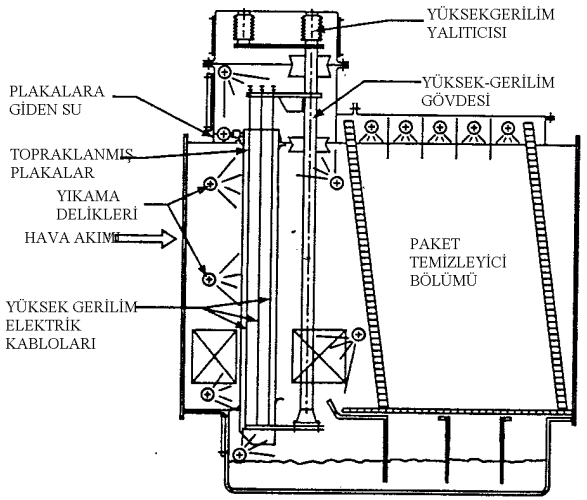



*Şekil 10.8. Kuru tip toplayıcılar (parçacık kirleticiler için).*

***Elektrostatik olarak güçlendirilmiş temizleyiciler:*** Bazı tür ıslak gaz temizleme cihazları, elektrostatik parçacık temizlemeyi ıslak-temizleyici ile bünyesinde birleştirir. Elektrostatik güçlendirme, parçacıklar ve damla arasındaki çekim kuvvetini artırarak ince parçacıkların kontrol edilmesini

iyileştirir. Ventüri temizleyicilere göre, elektrostatik olarak güçlendirilmiş temizleyiciler çok düşük basınç kayıplarında 1μm'dan küçük parçacıkları bile tutabilir. Elektrostatik güçlendirmenin üç genel türü bulunmaktadır.

a) Aynı kutupla yüklenmiş olan parçacıklar, dielektrik malzemeden oluşmuş rastgele düzenlenmiş paket elemanlar içeren bir temas-odasından geçer. Elektrostatik yoldan güçlendirilmiş bu tür tipik bir tasarım Şekil 10.9'da gösterilmektedir.




*Şekil 10.9. Elektrostatik olarak güçlendirilmiş temizleyici.*

b) Aynı kutuplu yüklü parçacıklar düşük, enerjili bir ventüri'den geçerek tutulurlar.

c) Aynı yüklü parçacıklar, içerisinde karşıt elektrik yüküne sahip sıvı damlacıkları tarafından çekildiği püskürtme odasına geçer.

İnce parçacıkları yükleme koşullarına ve bir tek parçacık yükleme ve toplama kademesiyle, toplam verim % 50~90'lara ulaşılabilmektedir. Daha yüksek verimler iki yada daha fazla kademe kullanılarak elde edilebilmektedir. Gaz kirleticileri temizleme verimi, temizleyici kütle transferi ve absorpsiyon tasarımına bağlıdır.

Elektrostatik yönden güçlendirilmiş temizleyici uygulamalarının çoğunda, kirli gaz akımı, sıvı püskürtülerek soğutulur. Bu nedenle, bol miktarda su buharı içerdiğinden kirletici maddelerin ıslanmasına sebep olur. Bu ıslaklık

toplayıcı içerisindeki birikintilerin elektriksel direnci ve yapışkanlığı üzerindeki ağırlıklı etkiyi oluşturur. Parçacıkların elektrikle yüklenmesi olayında elektriksel ekipman, elektrostatik toplayıcılara benzer biçimde çalışır. Temizleyici bölüm genellikle, bir sıvı çevrim pompası, çevrim boru tesisatı ve bir sıvı dağıtma sistemi ile donatılır. Sprey kurutma ile temizleme, endüstriyel gaz akımlarında bulunan asidik gaz kirleticileri absorbe ve nötralize etmekte kullanılır. Sistem gazlarla tepkimeye girerek tuz oluşturan bir alkalinin püskürtülmesini içerir. Proses ısısı sıvıyı buharlaştırarak, gaz akımından alınabilecek kuru parçacıklar oluşturur. Sprey kurutma uygulanan tipik endüstriyel uygulamalar aşağıdaki gibidir.

- Biyolojik ve tehlikeli yakıcılardan çıkan hidroklorik asi (HCl) yayınımını kontrol etmek,
- Yüksek kükürtlü yakıt yakan kömür yakıcılarından yayınan sülfürik asit ve sülfür trioksit yayınımlarını kontrol etmek,
- Cam ergitme fırınlarından çıkan sülfür oksitleri ($SO_x$), borik asit ve hidrojen fluorit gazlarını kontrol etmek.

Püskürtmeli kurutma dört işlemi barındırır;

a) Atomize etme,
b) Gaz ve damlacıkların karıştırılması,
c) Sıvı damlacıkların kurutulması,
d) Kuru ürünlerin çıkartılması ve toplanması.

Bu işlemler bir kule veya özel olarak tasarlanmış bir kazanda gerçekleştirilir. Herhangi bir püskürtmeli kurutma tasarımı, iyi bir karıştırma ve etkili gaz-damlacık teması istenir. Kurutucunun yüksekliği önemli ölçüde, atomize edici tarafından üretilen en büyük damlaların kurutulması için gereken zaman ile belirlenir. Asit-gaz kontrolünde kullanılan kuleler tipik olarak 10 sn gibi gaz kalma sürelerine sahip olup, buna karşılık evaporatif kuleler 3sn'lik sürelere sahiptirler. Kendiliğinden kuruma ekipmanın temel amacı olmadığından, bunlarda daha uzun bir kalış süresine gerek olur. Asit-alkali tepkimelerinden çoğu, sıvı halde iken daha hızlıdır. Bu nedenle, parçacık toplayıcılarda yoğuşma riski almaksızın, gazların adyabatik doyma sıcaklığına (çiğ noktası sıcaklığı) olanaklı en yakın değere kadar soğutulması istenir. Bu düşük sıcaklıklarda, damlacıklar buharlaşmaya karşı daha uzun

direnebilirken böylece, alkali bileşikler en etkin halde iken asit kirleticilere temas etme olasılığı artar. Atomize edici'nin, gaz akımındaki asit kirleticilerle tepkimeye girmek üzere alkali bileşik içeren sıvıyı dağıtması gerekir. Sıvı, kurutucu içerisinde eş biçimli olarak dağılmalı ve kuru yüzeye çarpmadan önce buharlaşacak olan bir büyüklükteki damlalarla çok iyi karışmalıdır.

Asit gaz kontrolünde kullanılan tipik sprey kurutucularda damlacıklar 50~200 μm arasında değişen çaplara sahiptir. Büyük damlacıklar ekipman yüzeyine çarpacak kadar uzun yaşayabildiklerinden daha önemlidirler. Genelde, sprey haline getirilebilecek en büyük su miktarı ile ekipmanın kaldırabileceği en büyük damlacıklar arasında bir orta yol bulunması gerekir. Açısal dağıtım yada sprey'in açılı üflenmesi de önemlidir. Sprey kurutmada, üfleme açısı, daha küçük ve daha geniş açılar kullanılabilirse de genellikle 60~80°'dir. Üfleme açısı, özellikle yüksek basınçlarda nozuldan olan uzaklıkla orantılı olarak değişir. Sprey kurutucu tasarımında ve çalışmasındaki önemli hususlardan birisi kurutma odası içerisindeki akışın üretimi ve kontrolüdür. Akış örneklerinin önemi nedeniyle, sprey kurutucular genellikle oda içerisinde spreye göre gaz akışının yönüne göre sınıflandırılırlar. Burada üç temel tasarım şekli bulunmaktadır:

a) Sıvının gaz akışıyla sprey hale getirildiği birlikte akım,
b) Sıvının gaz akımına ters yönde verildiği karşıt akım,
c) Birlikte ve karşıt akımların beraber kullanıldığı karışık akım.

Bir kaç tür atomize edici bulunmaktadır. Yüksek hızla dönen diskler atomize işlemini santrifüj etkiyle gerçekleştirir. Diskler büyük ve nispeten pahalı ise de, besleme karakteristiklerinin farklı olmasından kaynaklanan parça büyüklüğündeki değişmeleri dengelemede nozullara oranla daha esnektirler. Yüksek basınçlı besleme sistemleri olanaklı olmadığında da diskler kullanılırlar. Bunlar ayrıca büyük miktardaki sprey suyunu kurutulmasında da uygulanırlar. Diskler, karşıt akımlı ve yatay akışlı kurutuculara uygun değildirler. Nozulların da çok geniş bir kullanımı bulunmaktadır. Bunlar:

- Santrifüj basınçlı nozullar,
- İki akışkanlı (pnömatik) nozullar.

Şeklinde iki alt gruba ayrılırlar.

# BÖLÜM 11

# KANALLAR, FAN VE BACA

## 11.1. Giriş

Tüm filtre sistemleri emişten itibaren davlumbazlar, durulma odaları, siklonlar, filtreler (elektrostatik filtre, torbalı filtre, ıslak filtre vb.) fan ve bacadan oluşur. Bu bölümde hava kanalları, bacalar ve fanlar incelenmiştir.

## 11.2. Hava Kanalları

### 11.2.1. Genel Tasarım Özellikleri

Prosesten çıkar, gaz temizleme ekipmanından geçerek çevresel havaya boşaltılan sistemlerde kullanılan kanallar ısıl genleşme ve çekilmelere olanak sağlayacak biçimde tasarlanmalıdır. Kayar yada sabit kanal desteklerine uygun biçimde genleşme bağlantıları uygulanmalıdır. Olası maksimum sıcaklığa dayanmasının ötesinde, kanalın maksimum pozitif yada negatif basınca, toplanan tozun kısmi yüküne ve önemli miktarda korozyona ve aşınmaya dayanımlı da olmalıdır. Kanal destekleri bu ek yük koşullarını karşılama kapasitesinde bulunmalıdır. Kanal bağlantılarının alttan girmesi, tozların toplanabileceği böylece yangın tehlikesine maruz bir alan yaratır. Bu nedenle kanala alttan girişlerden kaçınılmalıdır.

Gazların yoğuşabileceği ve korozif yada yapışkan kalıntılar bırakabileceği yerlerde, kanallar bu çevreye dayanımlı malzemelerle yalıtılmalıdır. Çiğ noktasının belirlenmesi amacıyla, egzoz gazlarının psikrometrik analizi yararlı olacaktır. Bu durumda, yüzey sıcaklıkları girişte ön-ısıtma uygulanarak veya yalıtılarak çiğ noktasının üzerinde tutulabilir. Yön değiştirme noktalarına temizleme kapakları, gözetleme camları cüruf toplama cepleri yerleştirilirken, ağır toz yükü bulunan yerlerde kanalla tam boyutlarda kör-nokta kapakları kullanılmalıdır. Temizleme sisteminin anahtar elemanlarının bakımı ve temizliği için, kayar kapılar, ekipman by-

pass kanalları temizleme kapakları da kanalların tasarımında düşünülmelidir. Kanalın yalıtılmasıyla korozyona uğrayabileceği yada, Yüksek sıcaklıkta çalışan kanallara özel bir dikkat harcanmalı, soğuk yalıtımsız yüzeylere ergimiş metal parçacıkların vurmasıyla çapaklanacak olan yerlerde, yüksek sıcaklıklı kanallara özel bir önem ve dikkat gösterilmelidir. Düşük maliyetli malzemelerin sıcaklık sınırları aşıldığında, su soğutmalı kanallar yada refrakter iç kaplamaları kullanılmalıdır.

Kanaldaki gaz akışı toplam sistemin bir parçası olarak düşünülmelidir. Proses koşullarının ölçümlenmesi için gaz akımının iyi bir dağılımda olması gerekli olup, enerji tasarruflarına ve sistem elemanlarının hizmet ömürlerinin uzamasına götürebilir. **Bir kanaldaki gazların minimum akış hızları, belirli bir güvenlik düzeyi ile, en ağır parçacıkların taşınmasına yetecek kadar yüksek olmalıdır.** Bazı durumlarda, yayınımların atmosfere atılması ve gaz temizleme ekipmanlarını prosesteki yanlışlıklardan korumak amacıyla, acil-durum by-pass devreleri de uygulanmalıdır.

### 11.2.2. Kanal Tasarımı ve Konstrüksiyonu

Egzoz sistemlerinin ikinci elemanı, kirli havanın davlumbazlardan alınarak taşındığı kanal(lar)'dır. Kanallar yukarlak veya dikdörtgen olabilir. Siyah sacdan veya galvanizli sacdan yapılabilmektedir. Egzoz sistemlerinde genellikle siyah sac kanallar kullanılır. Yuvarlak kanallar; (1) kirliliklerin çökmesini önleyecek, ünifrom bir hız sağladıkları, (2) egzoz sistemlerinde yüksek statik basınçlara dayanıklı oldukları için daha fazla tercih edilirler. Tasarımın sınırlamaları nedeniyle dikdörtgen, düz oval kanallarda kenar oranı olabildiğince 1'e yakın seçilmelidir. Maliyeti ve teslim süresini kısaltmak amacıyla standart kanal büyüklüklerinin kullanılması önerilir. Standart olmayan kanal büyüklüklerinin maliyeti ve teslim zamanları yüklenimci(ler)'den öğrenilebilir.

Daha önce belirtildiği üzere minimum iletim hızı, parçacıkların çökmesini engelleyen en düşük hız olarak tanımlanır. Tablo 11.1'de genel kabul görmüş bazı iletim hızlarını, kirleticinin doğal niteliğinin bir fonksiyonu olarak sergilemektedir. Verilen değerler tipik olarak teorik ve deneysel değerlerden yüksek tutulmuş olup bunun nedenleri; (1) akışa karşı direnci artırarak volumetrik have miktarını düşürecek olan kanal yıpranmaları, (2) kanalda hızın azalmasına neden olacak üst akım bölgesindeki kanal

sızıntıları, (3) fan debisinin düşmesine neden olacak kanat korozyonu ve/veya kayış gevşemeleri, (4) doğru egzoz edilmedikleri için kanalda çökerek kalmış bulunan parçacıkların süpürülüp atılması, olarak özetlenebilir. Tasarım hızları minimum iletim hızlarından yüksek olabilirse de, hiç bir zaman ciddi ölçüde düşük olmamalıdır. Parçacık konsantrasyonları düşük olduğunda, fan üzerindeki etkileri önemsenmeyecek düzeydedir. Öte yandan çok yüksek kanal hızlarında da enerjinin boşuna harcanması ve kanalın yıpranması (aşınması) söz konusudur. Önerilen minimum tasarım hızları, uygulamada ortaya çıkabilecek aşağıdaki durumları önlemek için, teorik ve deneysel olandan yüksektir.

**1** Bir ya da daha fazla branşmanın tıkanması veya kapanması toplam akış debisini azaltacak, sonuç olarak kanal sisteminin en azından bazı bölümlerinde akış hızlarını düşürecektir.

**2** Örneğin delinme ve aşınma yoluyla kanalların yıpranması direnci artıracak, sistemin yıpranan bölümünde akış debisini ve hızı azaltacaktır,

**3** Kanallardaki sızıntılar,

sızıntı yerinin alt-akım bölgesinde akış debisini ve hızını artıracak fakat üst akım bölgesi ile sistemin diğer kısımlarında debiyi azaltacaktır.

**4** Fan rotorundaki korozyon veya erozyon ya da fan kayışındaki kayma debilerin ve hızların azalmasına neden olacaktır.

**5** Egzoz sisteminin doğru çalışmaması nedeniyle çökelen veya durgunlaşan tozların toplanması veya yeniden kaldırılıp taşınması için hızların uygun sınırlarda olması gerekir.

*Tablo 11.1. Optimal hız değerleri.*

| Kirleticinin Doğası | Örnekler | Hızlar |
|---|---|---|
| Buharlar, gazlar, sigara dumanı | Bütün gazla, buharlar ve sigara dumanlar | İstenen herhangbir hız.(ekonomk, optimal hız genellikle 1000-2000 fpm'dir) |
| Dumanlar | Kaynak | 2000-2500 |
| Çok ince,hafif toz | Pamuk iplikleri, ahşap tozu, kaya tozu | 2500-3000 |
| Kuru tozlar ve unlar | İnce lastik tozu, bakalit döküm tozu, jüt ipliği, pamuk tozu,kırma parçaları(hafif) sabun tozu, deri traşlama tozları | 3000-4000 |
| Ortalama endüstri tozları | Taşlama tozları, litografi tozları (kuru) yün jüt tozu, (sarsıntı artığı), kahve taneleri, ayakkabı tozu, granit tozu, silika unu,genel malzeme işleme, tuğla kesme, dökümhane(genel), kşreö tozu, tekstil endüstrilerinde aqsbest tozunun tartılamsı ve paketlenmesi | 3500-4000 |
| Ağır tozlar | Testere tozu (ağır ve yaş) , metal tornalama, dökümhane fıçı yuvarlama ve elekler, kumla temizleme tozu, ahşap bloklar, yonga artıkları,pirinç tornalama,kurşun tozu | 4000-4500 |
| Ağır veya nemli | Küçük talaşlar içeren kurşun tozları, yaş çimento tozu, transit boru kesme makinelerinden çıkan iri asbest parçaları, perdahlama tozları, sönmemiş kireç | 4500 ve yukarısı |

*NOT: 1 fpm=0.00508*

Tasarımcının yapışkan malzemeler, toz bulunan ortamda yoğuşma koşulları, güçlü elektrostatik etkiler vb, sadece hızın tıkanmaya karşı etkili olmayacağı ve bir takım özel önlemlere gerek olabileceği unutulmamalıdır. Bazı tipik kanal hızları Tablo 11.2'de verilmektedir.

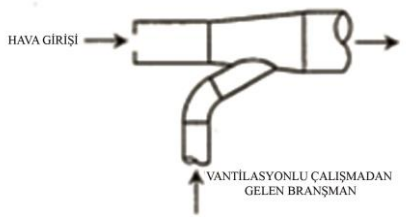
*Tablo 11.2. Kirletici iletim hızları.*

| **Kirleticinin doğası** | **Örnekler** | **Minimum İletim Hızı, m/s** |
|---|---|---|
| Buhar, gaz, parçacıklı duman | Bütün gazlar, buharlar ve parçacık içeren dumanlar | 5-10 |
| İnce parçacıklı dumanlar | Kaynak işlemleri | 10-13 |
| Çok ince ve hafif tozlar | Pamuk ipliği, ahşap unu, baskı tozları (litho) | 13-15 |
| Kuru toz ve unlar | İnce lastik tozu, döküm tozları, jut iplikleri, süpürme tozları (hafif), sabun tozları, deri tozları | 15-20 |
| Ortalama endüstri tozları | Taşlama tozları, parlatma tozları (kuru), yün jüt tozları (kırpıntı atıklar), çiğ kahve, ayakkabı temizleme tozları, granit tozları, silika unu, genel malzeme işlemleri, tuğla kesme, çamur tozları, dökümhane (genel) tekstil endüstrisindeki asbest tozları | 18-20 |
| Ağır tozlar | Bıçkı tozları (ağır ve yaş), metal tornalama, dökümhane kum fıçıları ve elekleri, kumlama tozları, ahşap bloklar, pirinç tornalama, dökme demir delme tozları, kurşun tozu | 20-23 |
| Ağır ve nemli tozlar | Küçük talaşlı kurşun tozları, nemli çimento tozu, boru kesme makinelerinden asbest tozu, kireç tozları | 23 ve üstü |

Parçacıklı malzeme ileten sistemlerde, merkezi yarı çapın boru çapına oranı $(r/D)>1.5$ olan dirsekler en uygun olanlarıdır. Eğer toz işleyen tesislerde $(r/D)<1.5$ olan dirsekler kullanılırsa, aşınma nedeniyle dirseklerin ömrü azalabilecektir. Özellikle geniş çaplı dirsekler, yedi ve daha fazla büklümlü yapılırlar.

Sistemler parçacıklı maddeyle ilgili ise gelecekteki değişimler için ek bir artım yapılmalıdır. İletim hızının gerekli düzeyde korunması için ana kanalda açık uçlu alt branşmanlar bırakılabilir. Gelecekte yapılması için düşünülen bağlantı yapılana kadar, havanın bu alt-branşmanlarda doğru basınç ve hava miktarında akmasına izin verilir. Dış havanın kullanılması değişim havası gereksinimlerini en aza indirir. Açıklığın büyüklüğü,

orifiste gerekli basınç düşümünü kanal hesaplarından belirlenir. Basınç kayıplarını ve toz işlemleme sistemindeki aşınmayı (abrasion) azaltmak için fitingler 30º'lik bir açıyla bağlanmalıdır.




*Şekil 11.1. Açık uçlu ek hava girişi.*

Bundan sonra orifis hız basıncı aşağıdaki eşitliklerden biriyle hesaplanabilir:

$$P_{v,o} = \frac{\Delta P_{t,0}}{C_0} \tag{11.1}$$

ya da;

$$P_{v,o} = \frac{\Delta P_{s,0}}{C_0 + 1} \tag{11.2}$$

Burada;

$P_{v,\,0}$=orifis hız basıncı

$\Delta T_0$=Orifiste ortaya çıkan toplam basınç, Pa

$\Delta P_{s,\,0}$Orifiste ortaya çıkan statik basınç.Pa

$C_0$= Hıza bağlı olarak orifis kesit alanında ortaya çıkan orifis kayıp katsayısı, boyutsuz.

Sistemdeki toplam basıncı hesaplamak için, eşitlik (11.1); statik basıncı hesaplamak için eşitlik (11.2) kullanılır. Hız basıncı bir kez

belirlendikten sonra, orifis hızı ve boyutları hesaplanabilir. Bazen, değişen akış koşullarında ek hava sağlamak için, orifis sistemi yerine karşı ağırlıklı ters çekimli damper ya da havanın girişine izin verip çıkışına izin vermeyen yay yüklemeli hava giriş vanası kullanılır. Bu, kanalın içerisinde malzemenin çökerek kanalı tıkamasına karşı yeterli ek hava girişini sağlayacaktır.

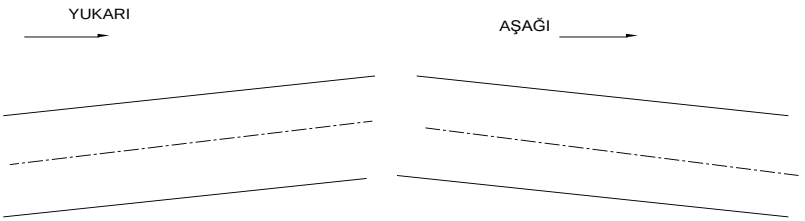
### 11.2.3. Kanal Tasarımı

**Kanal Bölümlerinin Birleştirilmesi.** Bir çok sistemde birden fazla davlumbaz bulunur. Eğer basınçlar paralel hava akımlarının birleştirileceği aynı basınçta tasarlanmamışsa sistem ortak bir noktada basınçları ayarlarken, birleşen iki hava akımı debisinin tasarlandığı biçimde aynı olması gerekmez. Sonuçta, davlumbazlar kirleticileri kontrol edemez hale gelir ve iş-görenlerin potansiyel kirletici konsantrasyonlarında kalması önlenemez. İki basıncın eşit olmasını sağlayan iki tasarım yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan en çok tercih edileni kendiliğinden dengelemedir.

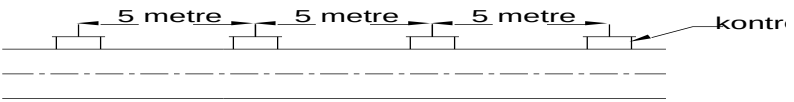
**Kanal Konstrüksiyonu**. Özellikle aşındırıcı maddeler iletimi söz konusu olduğunda, dirseklerin ve branşman birleştirme fiting'lerinin düz kanala göre daha kalın malzemeden yapılması önerilir. Parçacık yüklemesi ağır ve özellikle aşındırıcı parçacıklar durumunda genellikle r/D>2 olan ve sırt kısmında değiştirilebilir sırtlık plakası içeren dirsekler kullanılır. Korozif malzeme söz konusu olduğunda, özel kaplama ya da farklı kanal malzemeleri (fiberglas veya paslanmaz çelik) kullanılabilir. Tıkanma durumunda iç kısma ulaşmayı sağlamak üzere temizleme kapaklarının yerleştirilmesi uygun olacaktır. Bazı kirleticiler, güvenlik ve yangından korunma kodlarının gereklerini karşılamak üzere, yıkama sistemine ve/veya yangın arama ve söndürme sistemine gerek gösterir.

Kanal tasarımında ayrıca aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- Düz giden boru hatlarında toz birikmelerini önlemek için aşağı veya yukarı doğru %0.1 oranında yani 1000 metre uzunlukta 1 metre kot farkı olacak şekilde yapılmalıdır.



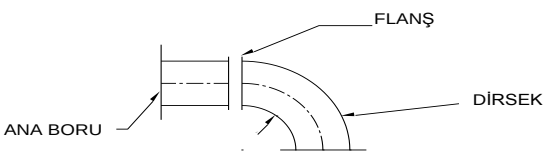

- Kanal hatlarında her 5 metrede bir kontrol kapakları konulmalıdır, kapaklar menteşeli ve açılabilir olmalıdır.




- Kanallar (veya borular) hatlarını imalat ve montaj kolaylığı bakımından en fazla uzunluğu 3 metre olarak flanşlı imal edilmelidir.




- Dirsekler yaklaşık olarak R=1,5xD olacak şekilde tasarlanmalıdır. Dirsekler ana kanala flanşlı birleştirilmelidir.




- Kanal (boru) et kalınlığı,

$$\frac{t}{D} = \sqrt{0.035714P\frac{\left(1-\nu^2\right)}{E}}\left(52+D\right) \qquad (11.3)$$

Burada;

t= Kanal kesiti, inch

D=Kanal eşdeğer çapı, inch

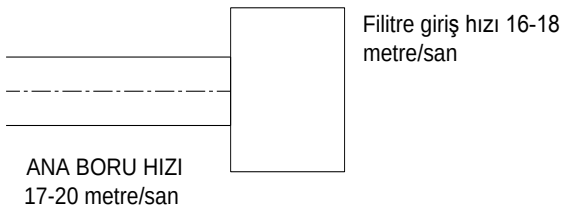
P= Kanal basıncı, psi

E= Elastizite modülü, psi

$\nu$ =Poisson oranı.

- (toz aşındırıcı ise); boru çapı 250 mm'ye kadar olanlar için 2 mm, boru çapı 250 mm'den fazla olanlar için 3mm, dirsekler için 4 mm alınabilir. Ayrıca tozun cinsine bağlı olarak yukarıdaki değerlere 1mm aşınma payı ilave edilmelidir. Ayrıca aşınma levhaları veya yönlendirici kanatlar da kullanılabilir.

- Ana borusu dairesel olan filtreye girişlerde ana kanal hızı 17-20 m/sn, filtreye giriş hızı 13-18 m/sn alınabilir. Ana borusu dikdörtgen kesitli olanlarda ise hız 16 m/sn altına düşürülmelidir.




- 1000 mm çapa kadar borularda basınç kaybı her metre boru uzunluğu için 3-5 Pa alınabilir. Düz borularda basınç kaybı,

$\Delta P = f \times (\rho/2) \times v^2 \times (1/D)$ (Pa/m)

ifadesi ile hesaplanır. Burada,

V:Ana borudaki kirli gaz hızı (m/sn)

D: Ana boru çapı (mm)

ρ: Tozlu hava yoğunluğu ($kg/m^3$)

f: sürtünme katsayısı (-); tozsuz hava için =0.02, tozlu hava için =0.03 alınabilir.

*Örnek*

Atık gaz hızı : v=20 m/sn,

Ana boru çapı : D=1000 mm,

$\Delta P=0.03 \text{ x}(1.2/2)\text{x}20^2\text{x}(1/1.0)=7.2$ (Pa/m)

Dirseklerdeki basınç kayıpları dirseğin tipi ve yarı çapına bağlı olarak tablolardan alınmalıdır. Ancak toz vb. birikmeleri nedeniyle emniyetli bir uygulama için 1 dirsekteki basınç kaybı 10 m düz borudaki basınç kaybına eşit olınabilir. Yani dirsekte (0,4 mmSS/m) x 10m=4 mmSS basınç kaybı alınabilir. T, redüksiyon gibi elemanlarda da benzer yaklaşım kullanılabilir.

- *Ana kanal çapı (kirli gaz kanalı)*

V: Gaz debisi ($m^3/h$).

v: Gaz hızı (m/sn).

D: Boru çapı (m).

$A=V/vx3600=(\pi xD^2)/4=V/(vx3600)$ ve boru çapı $D=[(4xV)/(vx3600x\breve{g})]^{1/2}$ (m) olur.

Örnek:

Gaz debisi 60000 $m^3/h$, gaz hızı 20 m/sn olan bir sistemde boru çapı,

$D=[(4xV)/(vx3600x\pi)]^{1/2}=[(4x60000)/(20 \text{ x}3600x\pi)]^{1/2}=1.03$ m=1030 mm olur.

## 11.3. Fanlar

Fanlarla ilgili bilgiler ekte verilen literatürden alınabilir. Burada önemli olan husus sisteme uygun bir fan seçilmesidir. Bunun için maksimum ve ortalama debinin ve oluşabilecek basınç dalgalanmaları ve mertebelerinin bilinmesi gerekir. Bir filtre sistemindeki basınç düşümü koşullara bağlıdır. Örneğin daha önceki bölümlerde görüldüğü üzere torbalı filtrelerde tozlar torbaların etrafına yapışarak kekleştiğinden filtre verimi iyileşmekte, ancak basınç kayıpları artmaktadır. Bu artış iyi analiz edilerek fanın ömrü boyunca olabildiğince verimli bir noktada çalışması sağlanmalıdır. Filtre sistemlerinde fan, genellikle temizleme ekipmanının temiz gaz tarafında yerleştirilmektedir. Fanı bu bölüme yerleştirmek aşağıdaki avantajları bulunmaktadır:

- Temiz gaz tarafındaki bir fan, temiz gazlarla çalıştığından toplanan tozun aşındırıcı etkisine maruz değildir.
- Fan rotorunda toz toplanması kritik bir faktör olmadığından, yüksek verimli geriye eğik veya aerodinamik kanatlı fanlar seçilebilir.
- Sızıntılar yoluyla tehlikeli maddelerin etrafa yayılması en aza indirilebilir.
- Kanaldan veya filtreden kaçan tozların sisteme doğru olması nedeniyle ve toza maruz bırakma olasılığı bulunmaması nedeniyle, filtre tesisin proses yakınlarına yerleştirilebilir.
- Bu durum ünitenin çalışır haldeyken bakımına olanak verir.
- Böyle bir uyarlama, fanda olabilecek korozyonu azaltır.

Fanın torbalı filtrelerde kullanımında bazı hususlar dikkate alınmalıdır. Torbalar yeni oldukları zaman direnç düşüktür, dolayısıyla yüksek debide çalışır ve motor aşırı akım çekebilir. Bu aşırı yükleme kalkışı ana kanalda bir kısma damperi kullanılarak önlenebilir.

## 11.4. Bacalar

### 11.4.1. Ortalama Baca Gazı Sıcaklığı ve Yoğunluğu

Baca gazı sıcaklığı, yakıta, cihaza, çekme kontrolüne ve uyarlama biçiminde bağlıdır. Hem baca içerisindeki yoğunluk ve hem de teorik çekme gaz sıcaklığına bağlıdır. Baca içerisinde akan gazlar girişten çıkana kadar sürekli

ısı kaybetse de, tasarım eşitliğinde veya diyagramlarda bir tek ortalama gaz sıcaklığı kullanılır. Buna göre bacagazı yoğunluk aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$\rho_m = \rho_0 \frac{T_s B}{T_m B_0} = 0.00348 \frac{B}{T_m} \qquad (11.4)$$

Burada

$\rho_m$ = Baca gazı yoğunluğu,kg/m$^3$

$\rho_0$ = $T_s$'deki hava yoğunluğu

ve $B_0$=1.225 kg/m$^3$

$T_s$ = Standart sıcaklık=288.15 K

$B$ = Yerel barometrik basınç, Pa

$T_m$ = ortalama sistem koşullarında ortalama baca sıcaklığı, K

$B_0$ = Standart basınç=101 325 Pa

Eşitlik (11.2) deki $\rho_0$yoğunluğu, tipik nemlilik için bir ortalama değerdir. Yoğunluk ve sıcaklıktaki *'m'* indisi, bu özelliklerin ortalama gaz sıcaklığında yada sistemin düşey orta noktasında (sıcaklık düşümü önemli düzeyde olmadığında giriş koşulları alınabilir) hesaplanması gerektiğini anlatır.

### 11.4.2. Teorik Çekme

Bir doğal çekimli bacanın teorik çekmesi, belirli yükseklikteki bir sıcak-gaz kolonunun (hafif) kütlesi ile aynı yükseklikteki atmosferik hava kolonunun kütlesi arasındaki farktır. Baca gazı yoğunluğu yada sıcaklığı, baca yüksekliği, ve barometrik basınç yüksekliği teorik çekmesini belirlerken, akış bir etken değildir. Teorik çekme eşitliğinde duman gazlarının yoğunluğu, aynı sıcaklık ve basınçtaki havanın yoğunluğu ile eşit varsayılır. Buna göre;

$$D_t = 0.03413\frac{T_s B}{T_m B_0} = 0.00348\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_m}\right) \quad (11.5)$$

$D_t$ = Teorik çekme, Pa

$H$ = Girişin yada yer düzeyinin üzerindeki baca yüksekliği, m

$T_0$ = Çevre sıcaklığı, K

Buna göre teorik çekme, sıcak ve soğuk kolonlar arasındaki yoğunluk farkı ve yükseklikle doğru orantılı olarak artar.

### 11.4.3. Akıştan Kaynaklanan Sistem Basınç Kaybı

Her hangi bir baca sisteminde, pascal cinsinden Δp basınç düşümü olarak ifade edilen akış kayıpları, teorik ve yararlı çekme arasındaki farkı tüketir.

$$\Delta p = D_t - D_a \quad (11.6)$$

$D_a$, yararlı basıncı, cihazın aşağıdaki çalışma gereksinimleri ile belirlenen statik basınçtır:

- Pozitif çekmeli (negatif baca basıncı) cihazlar: Eşitlik(4)'deki $D_a$ pozitif, böylece $\Delta p < D_t$
- Çekme davlumbazlı(nötral basınç) cihazlar: $D_a=0$, ve $\Delta p < D_t$
- Negaztif çekmeli(pozitif basınç, atmosfer üstü basınç cebri çekme) cihazlar: $D_a$ negatiftir, böylece $\Delta p = D_t - (-D_a) = D_t + D_a$ ve $\Delta p > D_t$

$D_a$'nın işaretine bakılmaksızın, Δp her zaman pozitiftir.

Her hangi bir kanal sisteminde hızdan ve dirençten kaynaklanan akış kayıpları Bernoulli eşitliğinden belirlenir:

$$\Delta p = k\rho_m V^2/2 \quad (11.7)$$

$k$ = Boru ve fitinglerin boyutsuz sistem-direnç katsayısı

$v$ = Ortalama koşullarda, sistem gaz hızı, m/s

Basınç kayıpları buna göre, direnç faktörü ve hızın karesiyle doğru orantılıdır.

### 11.4.5. Baca Gaz Hızı

Bacada ve havalıktaki hız, gaz yoğunluğu $\rho_m$ ile doğru, kütlesel akış oranı w ile ters orantılıdır. Buna göre ortalama sıcaklıktaki gaz hızı eşitliği aşağıdaki gibidir;

$$V = \frac{1000x4w}{\pi \rho_m d_i^2} \tag{11.8}$$

$V$ = gaz hızı, m/s
$d_i$ = İç çap, mm
$\rho_m$ = Gaz yoğunluğu kg/m$^3$

Hızı ısıl girdinin ve baca gazı bileşiminin bir fonksiyonu olarak hesaplamak için, Eşitlik (11.2) w değeri Eşitlik (11.6)'da yerine konulur;

$$V = \frac{4x10^6 IM}{\pi \rho_m d_i^2} \tag{11.9}$$

Böylece, bacadaki gazın hızı, ısıl girdi I ve kütlenin ısıl girdiye oranı M'ye bağlıdır.

### 11.4.6. Sistem Direnç Katsayısı

Direnç kayıplarının hesaplanmasındaki hız basıncı yöntemi, boru tesisatı ile birlikte her fiting ve dönüş için bir sayısal katsayı yada k faktörü belirler.

### 11.4.7. Isıl Girdi, Çap ve Sıcaklık İlişkileri

İçerisinde bütün terimlerin açıkça tanımlandığı,ölçüldüğü yada önceden belirlendiği bir eşitlik elde edebilmek için gaz hızı ve yoğunluk terimlerinin yok edilmesi gerekir. Eşitlik (11.2)'den $\rho_m$'i alarak ve Eşitlik (11.7)'den V 'yi kullanarak Eşitlik (11.5) de yerine koyarak aşağıdaki eşitlik elde edilir;

$$\Delta p = \frac{k}{2}\left(\frac{T_m B_0}{\rho T_s B}\right)\left(\frac{4x10^6 IM}{\pi \rho_m d_i^2}\right)^2 \qquad (11.11)$$

Bu eşitliği I'ya göre yeniden düzenleyerek ve $\pi$, $T_s$, $\rho_0$ ve $B_0$ için değerleri yerine koyarak;

$$I = 6.55x10^{-8}\,\frac{d_i^2}{M}\left(\frac{\Delta pB}{kT_m}\right)^{0.5} \qquad (11.12)$$

Elde edilir. Çap ve bacanın uyarlanma biçimi bilindiğinde ısıl girdiyi veren eşitliğin kullanılması tek-adımlı bir süreçtir. Daha çok, girdi, yararlı çekme ve yükseklik verilir ve $d_i$ çapının bulunması istenir. Sistem direnci, baca çapının bir fonksiyonu olduğundan, geçici bir çap belirleme için bir deneme direnç değeri kabul etmek gerekir. Bu yöntem, gerekli çap için nihai bir değer elde etmede ikinci bir çözüm olanağı verir.

### 11.4.8. Baca yada Sistemdeki Hacimsel Akış

Eşitlik (11.5)'i ortalama yoğunluk (ve sıcaklık) koşullarında hız için çözerek elde edilen Eşitlik (11.9)'un çözümü yoluyla bir baca sistemindeki hacimsel akış Q hesaplanabilir.

$$V = \sqrt{2\Delta p / k\rho_m} \tag{11.13}$$

Eşitlik (11.10)'da, Eşitlik (11.2) 'deki yoğunluk değeri $\rho_m$ kullanılarak ve sonra Eşitlik 10'daki V hızı yerine koyarak, bu eşitlik Eşitlik (11.9)'daki değişkenler cinsinden ifade edilebilir. Alan $d_i$ cinsinden ifade edilir. Alan ve hız çarpılıp, birimler düzenlenerek,

$$Q = 18.8x10^{-6}\, d_i^2 (\Delta p T_m / kB)^{0.5} \tag{11.14}$$

Burada $Q$=hacimsel akış miktarıdır (debi), $m^3/s$. Eşitlik (11.11)'den elde edilen hacimsel debi ortalama gaz sıcaklığında ve yerel barometrik basınçtadır. Fanlar genellikle bazı standart çevresel yada seçilmiş gaz sıcaklığındaki hacimsel debiyle belirlendiğinden, Eşitlik (11.11), cebri-çekimli yada emme-çekişli sistemlerin hesaplanmasında yararlıdır. Küçük seçilmiş, çok düşük debileri karşılayan yada bütün koşullar altında manifold'taki çekme ile çalışmak z orunda olan bacalar için emmeye çalışan bir fan gereklidir

Baca bir tesisin solunum sistemi olup aşağıdaki işlevleri görebilirler.

a) Yanma havası temini (hava emme)

Emme = $h_B$ x $\Delta\rho$ x g (N) → baca çekişi

Emme işlemi fan ile de yapılabilir.

Fan → iişletme enerjisi optimum olmalıdır.

Baca → ilk yatırımı optimum olmalıdır.

Kazan sistemlerinde gaz hızı aşağıdaki gibi alınabilir:

$$Q > 300\ kW \rightarrow Vg > 6\frac{m}{s}$$

$$Q < 300\ kW \rightarrow Vg < 6\frac{m}{s}$$

Baca boyutlandırılması büyük tesisler, küçük tesisler olarak ikiye ayrılır.

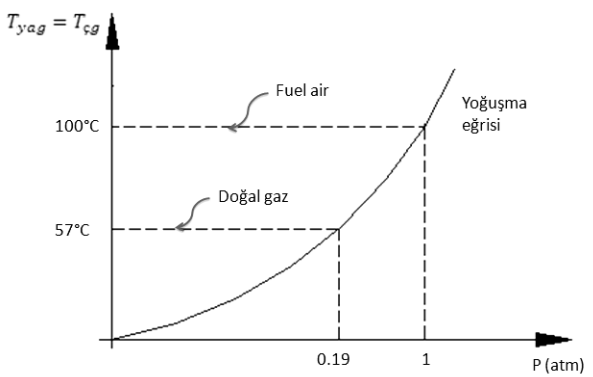
Büyük tesislerde $h_B > 19$ m → $19 < h_B < 220$ m

Baca yüksekliği $h_B = f(d_B, T_B, R, Q, S)$

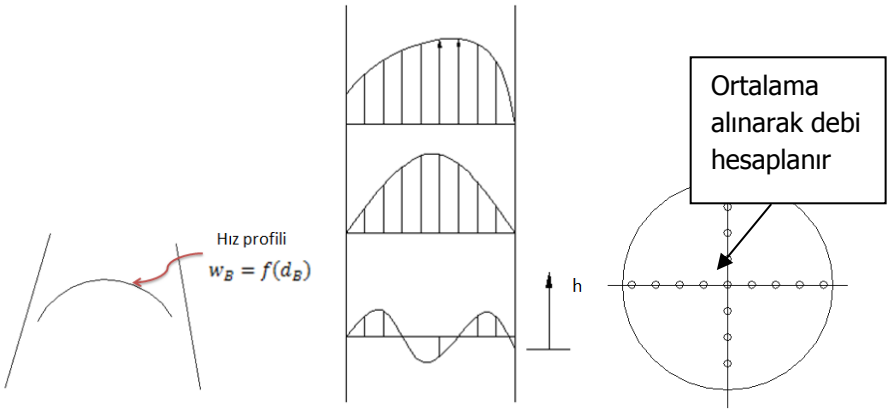
- emisyon faktörü (-)
- $Q = M_e(\frac{kg-kirlilik}{h})$ → bacadaki kirli emisyon
- $R = V_{g-kuru}(\frac{Nm^3-g}{h})$
- Baca gazı sıcaklığı (K)
- Baca iç çapı

αB → formüllerle belirlenir (=f (Vg , T, Vg, ΔP))

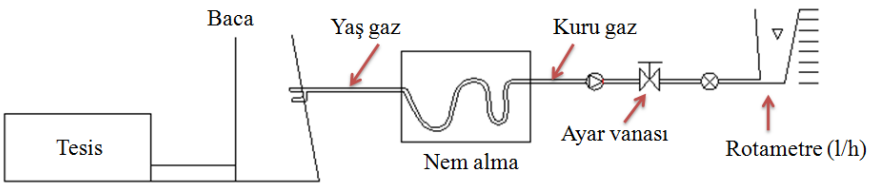
$T_B$ → $T_B < T_{çig}$ olursa S → $SO_2$ → $H_2O$ → ½ $O_2$ + $SO_3$ → $H_2SO_4$




*Şekil 11.2. Bazı yakıtlardaki nemin yoğuşma sıcaklıkları.*




*Şekil 11.3. Bacadan numune alma ve dinamik basınç ölçümü.*




*Şekil 11.4.Bacadan numune alma şematik resmi.*

$$V_{g-yan} = V_g[m/s] \cdot [A(m^2)] = m^3/h$$

$$V_{g-kuru} = V_{g-gas} \cdot (1 - \emptyset_{nem})$$

$$V_{g-kuru} = V_{g-kuru} \cdot \left[\frac{273 + 15\,°C}{273 + T_B}\right] \rightarrow [\frac{Nm^3 - g}{h}]$$

$$\frac{\Delta m_p}{\Delta V_g} = \frac{[\frac{kg - toz}{D.S.}]}{[\frac{Nm^3 - g}{D.S.}]}$$

D.S. : deney süresi (bellidir).

D.S.'de biriken partikül miktarı ile geçen toplam gaz miktarı ölçülür.

Ölçüm doğrusu

$V_{emme} < V_g$ ise az emilme

$V_{emme} = V_g$ ise doğru emilme

$V_{emme} > V_g$ ise fazla emilme

Dolayısıyla gaz hızı $V_g$ bilinmelidir. Çünkü $V_{emme} < V_g$ olduğunda sonuçlar tesisisin aleyhine, $V_{emme} > V_g$ olunca lehine olur.

Bu nedenle örnek alma yeri tam gelişmiş akış bölgesinde olmalıdır. Ayrıca bacadaki hız profili çıkarılmalıdır. Yani toz emisyonlarında numune alma yeri çok önemlidir.

Filtre sistemindeki bacalar, yoğuşma suyunun tekrar fana girmesine olanak verecek biçimde değil, bu suyu boşaltacak biçimde tasarlanmalıdır.

### 11.4.8. Baca Yüksekliği

Filtre içinden geçecek tozlu gaz içinde zehirli ve çevreyi kirletici gazlar yok ise 9-12 m baca yüksekliği yeterli olabilir. Zehirli gazlar varsa baca yüksekliğini 25-30 m yapılması tavsiye edilir. Baca çapı ana boru çapı hesabında olduğu gibi (fanlı sistemlerde);

Db=[(4xV)/vx3600xπ)](m) şeklindedir. Burada v: Gaz debisi ($m^3/h$), v: bacadaki hava hızıdır (m/s).

*Örnek*

40000 $m^3/h$ hava debi ve v=baca içindeki hızı 10 m/sn hız için baca çapı,

$D_b$=[( 4 x V) / (v x 3600 x π )] = [(4 x 40000 )/10 x 3600 x π)]=1400 mm olur. Bacalar da ana borularda olduğu gibi maksimum 3 metre boyunda parçalardan (montaj ve imalat kolaylığı için) flanşlı imal edilmelidir. Ayrıca gerekiyorsa yoğuşma ve soğuma olmaması için izolasyon yapılmalıdır.

## EK: Türkiye'de Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolu Yönetmeliği

Bu kısımda yukarıda verilen baca hesabına ilaveten konunun Yönetmelikte nasıl ele alındığını göstermek amacıyla Yönetmeliğin ilgili bölümü verilmiştir.

### EK-4: İzne Tabi Tesislerde Baca Yüksekliği ve Hızının Tespiti

İzne Tabi Tesislerde:

a) Baca Gazı Hızı:

1) Yakma tesislerinden kaynaklanan baca gazı hızları;

Atık gazlar serbest hava akımı tarafından, engellenmeden taşınabilecek biçimde dikey çıkışla atmosfere verilmelidir. Bu amaçla; baca kullanılmalı, anma ısıl gücü 500 kW'ın üzerindeki tesisler için, gazların bacadan çıkış hızları en az 4 m/s olmalıdır. Tesisin üretimi ve dizaynı gereği; baca çapının daraltılamadığı ve cebri çekişin uygulanamadığı hallerde baca gazı hızı en az 3 m/s olmalıdır. 300 kW ≤ anma ısıl gücü ≤500 kW olan tesislerde baca gazı hızı en az 2 m/s olmalıdır. Anma ısıl gücü 300 kW'ın altında olan tesislerde baca gazı hızı 2 m/s'nin altında olabilir.

2) Üretim Şeklinden Kaynaklanan Baca Gazları Hızı;

Prosesten kaynaklanan atık gazlar serbest hava akımı tarafından, engellenmeden taşınabilecek biçimde dikey çıkışla atmosfere verilmelidir. Bu amaçla baca kullanılmalı, gazların bacadan çıkış hızları, cebri çekişin uygulanabildiği tesislerde en az 4 m/s, tesisin üretim şekli ve üretim prosesi

gereği; baca çapının daraltılamadığı ve cebri çekişin uygulanamadığı ve bu durumun bilim kuruluşundan alınacak bir raporla onaylandığı hallerde baca gazı hızı en az 2 m/s olmalıdır.

3) Prosesten kaynaklanan atık gazlar serbest hava akımı tarafından, engellenmeden taşınabilecek biçimde dikey çıkışla atmosfere verilmelidir. Bu amaçla kullanılan bacaların atmosfere açıldığı noktaların atmosfer koşullarından etkilenmemesi (Yağmur, kar vb. dış etkenlerin işletme koşullarını etkilememesi) için bacalara şapka konulmasının teknik bir zorunluluk olması durumunda, bacaya monte edilecek şapkanın bacanın bitiminden bir (1) baca çapı kadar yükseklikte olması ve atık gazların serbest hava akımı tarafından, engellenmeden taşınması sağlanmalıdır.

b) Baca Yüksekliği;

1) Küçük Ölçekli Tesislerde Asgari Baca Yüksekliği;

Anma ısıl gücü 500 kW'ın altında olan tesislerde bacanın çatı üzerinden itibaren asgari yüksekliği aşağıdaki gibi belirlenir.

1.1. Eğik Çatı;

Baca yüksekliği, çatının en yüksek noktasından en az 0,5 m daha yüksek olmalıdır. Anma ısıl gücü 500 kW'ın altında olan tesislerde baca çatının tepe noktasına çok yakın değilse, çatı tabanından en az 1 m yüksekliğinde olmalıdır.

1.2. Düz Çatı;

Baca yüksekliği, çatının en yüksek noktasından itibaren en az 1,5 m olmalıdır. Ancak, tesisin anma ısıl gücü 50 kW'ın altındaysa bu yükseklik bir metre olabilir.

2) Orta Ölçekli Tesislerde Asgari Baca Yüksekliği;

Anma ısıl gücü 500 kW ile 1,2 MW arasında bulunan tesislerde bacanın çatı üzerinden itibaren asgari yüksekliği aşağıdaki gibi belirlenir.

2.1.Eğik Çatı;

Düz veya eğim açısı $20^0$'nin altında olan eğik çatılarda baca yüksekliği, çatı eğimini $20^0$ kabul ederek hesaplanan eğik çatının en yüksek noktasından itibaren en az 1,5 m'den daha fazla olarak tespit edilir.

2.2.Düz Çatı

Bacanın yüksekliği çatının en yüksek noktasından itibaren en az 2 m olmalıdır.

3) Büyük Ölçekli Tesislerde Asgari Baca Yüksekliği

Anma ısıl gücü 1,2 MW ve üzerinde olan tesislerde baca yüksekliği aşağıda verilen esaslara göre ve Abak kullanılarak belirlenir. Abaktan hacimsel debi değerinin (R), Q/S (kg/saat) değerini kesmediği ve abaktan baca yüksekliğinin belirlenemediği durumlarda, tesis etki alanında engebeli arazi veya mevcut ya da yapımı öngörülen bina ve yükseltiler bulunmuyorsa (J' değeri sıfır olarak belirlenmişse) fiili baca yüksekliğinin tabandan en az 10 m ve çatı üstünden yüksekliği ise en az 3 m olması yeterlidir. J' değeri sıfırdan farklı ise H' 10 alınır ve Abak kullanılarak baca yüksekliği belirlenir.

Çatı eğimi $20^0$'ün altında ise baca yüksekliği hesabı çatı yüksekliği $20^0$'lik eğim kabul edilerek yapılır.

Baca yüksekliğinin belirlenmesinde Abak kullanımı esastır. Baca yüksekliği hesabında Environmental Computing & Consulting Inc. Tarafından Alman Hava Yönetmeliği (TALUFT) ile VDI 3781 standardı doğrultusunda geliştirilen PK 3781 programı referans bilgi olarak kullanılabilir.

Benzer tür emisyon yayan ve yaklaşık aynı yükseklikteki bacalar arasındaki yatay mesafe, baca yüksekliğinin 1,4 katından az ise ve emisyonların birbiri üzerine binmemesi için farklı yüksekliklerde baca kullanılması zorunlu görülmüyorsa; yeni tesislerde tek baca kullanılır. Bu paragrafta yukarıda belirlenen baca yüksekliği kullanılması halinde bu Yönetmelik Ek-2 de belirtilen Toplam Kirlenme Değeri (TKD) ve Ek-2 de öngörülen hava kalitesi sınır değerini aşıyorsa ilk önce emisyon değerinin düşürülmesine çalışılır. Bu ekonomik veya teknolojik olarak mümkün değilse, baca yükseltilerek hava kalitesi sınır değerinin aşılması önlenir.

Aşağıdaki gibi belirlenen, engebelere göre düzeltilmiş baca yüksekliği 15 nci maddede yer alan ek düzenlemeler kapsamına girmiyorsa 250 m'yi aşmayacaktır. 15 nci maddede yer alan ek düzenlemeler kapsamına giriyor ise; baca yüksekliğinin 200 m'den yüksek çıkması durumunda, teknolojik seviyeye uygun emisyon azaltıcı tedbirlere başvurulur.

3.1. Abak kullanılarak baca yüksekliğinin belirlenmesi;

3.1.1. Baca yükseklikleri aşağıda verilen Abak kullanılarak belirlenecektir.

Burada verilen değerler:

H' [m] : Abak kullanılarak belirlenen baca yüksekliği,

d [m] : Baca iç çapı veya baca kesiti alanı eşdeğer çapı,

t [$^{o}$C] : Baca girişindeki atık gazın sıcaklığı,

R [Nm$^{3}$/h] : Nemsiz durumdaki atık baca gazının normal şartlardaki hacimsel debisi,

Q [kg /h] : Emisyon kaynağından çıkan hava kirletici maddelerin kütlesel debisi,

S: Baca yüksekliği belirlenmesinde kullanılan faktörü (Tablo 4.1, Tablo 4.2'deki S değerleri kullanılacaktır.)

t, R ve Q/S için, kullanılan yakıt ve hammadde türlerine ve işletme şartlarına göre hava kirliliği yönünden en elverişsiz değerler kullanılacaktır. Azot oksit emisyonu durumunda azot oksitin azot dioksite dönüşüm oranı % 60 alınacaktır. Yani azot monoksit kütlesel debisi 0,92 ile çarpılacak ve azotdioksitin kütlesel debisi Q olarak Abakta kullanılacaktır.

Özel durumlarda Tablo 4.1, Tablo 4.2'de verilen S değerleri Bakanlık tarafından azaltılabilir.

Ancak tabloda verilen değerlerin % 70'inden daha düşük değerler kullanılamaz.

3.1.2. Engebeli arazide ve yüksek binaların bulunduğu bölgelerde baca yüksekliğinin belirlenmesi;

Tesisin bir vadi içinde olması veya emisyonunun yayılımının engebeler ve yükseklikler nedeniyle engellenmesi baca yüksekliğinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda abaktan elde edilen baca yüksekliklerinde düzeltmeler yapılır.

Eğer tesisin bulunduğu alan, engebeli arazi veya mevcut ya da yapımı öngörülen bina ve yükseltilerce çevrelenmişse, Tablo 4.1, Tablo 4.2'ye göre belirlenen baca yüksekliği H', J miktarında artırılır.

J değeri aşağıdaki diyagramdan bulunur.

Burada:

H [m] :Düzeltilmiş baca yüksekliği (H=H+ J)

J' [m] :10 H' yarıçapındaki engebeli arazinin tesis temininden ortalama yüksekliği veya imar planına göre tespit edilmiş azami bina yüksekliklerinin 10 H' yarı çapındaki bölge içindeki tesis zeminine göre yükseklik ortalaması.

***Tablo 4.1 Yeni tesisler için S – Değerleri***

| EMİSYONLAR | S – DEĞERLERİ |
|---|---|
| Havada Asılı Toz | 0,08 |
| Hidrojen klorür (Cl olarak gösterilmiştir.) | 0,1 |
| Klor | 0,09 |
| Hidrojen florür ve gaz biçiminde inorganik flor bileşikleri (F olarak gösterilmiştir.) | 0,0018 |
| Karbon monoksit | 7,5 |
| Kükürt dioksit | 0,14 |
| Hidrojen Sülfür | 0,003 |
| Azot dioksit | 0,1 |

Tablo 1.1 deki maddeler:

| | | |
|---|---|---|
| Sınıf | I | 0,02 |
| Sınıf | II | 0,1 |
| Sınıf | III | 0,2 |
| Kurşun | : | 0,005 |
| Kadmiyum | : | 0,0005 |
| Civa | : | 0,005 |
| Talyum | : | 0,005 |

Tablo 1.2 deki maddeler:

| | | |
|---|---|---|
| Sınıf | I | 0,05 |
| Sınıf | II | 0,2 |
| Sınıf | III | 1,0 |

Tablo 1.3 deki maddeler:

| | | |
|---|---|---|
| Sınıf | I | 0,0001 |
| Sınıf | II | 0,001 |
| Sınıf | III | 0,01 |

Tablo 4.1'de yer alan değerler yeni tesisler için geçerlidir.

**Tablo 4.2 Mevcut tesisler için S – Değerleri**

| EMİSYONLAR | S – DEĞERLERİ |
|---|---|
| Havada Asılı Toz | 0,2 |
| Hidrojen klorür ( Cl olarak gösterilmiştir.) | 0,1 |
| Klor | 0,15 |
| Hidrojen florür ve gaz biçiminde inorganik flor bileşikleri (F olarak gösterilmiştir.) | 0,003 |
| Karbon monoksit | 15 |
| Kükürt dioksit | 0,2 |
| Hidrojen Sülfür | 0,005 |
| Azot dioksit | 0,15 |

Tablo 1.1 deki maddeler:

| | | |
|---|---|---|
| Sınıf | I | 0,02 |
| Sınıf | II | 0,1 |
| Sınıf | III | 0,2 |

| | | |
|---|---|---|
| Kurşun | : | 0,005 |
| Kadmiyum | : | 0,0005 |
| Civa | : | 0,005 |
| Talyum | : | 0,005 |

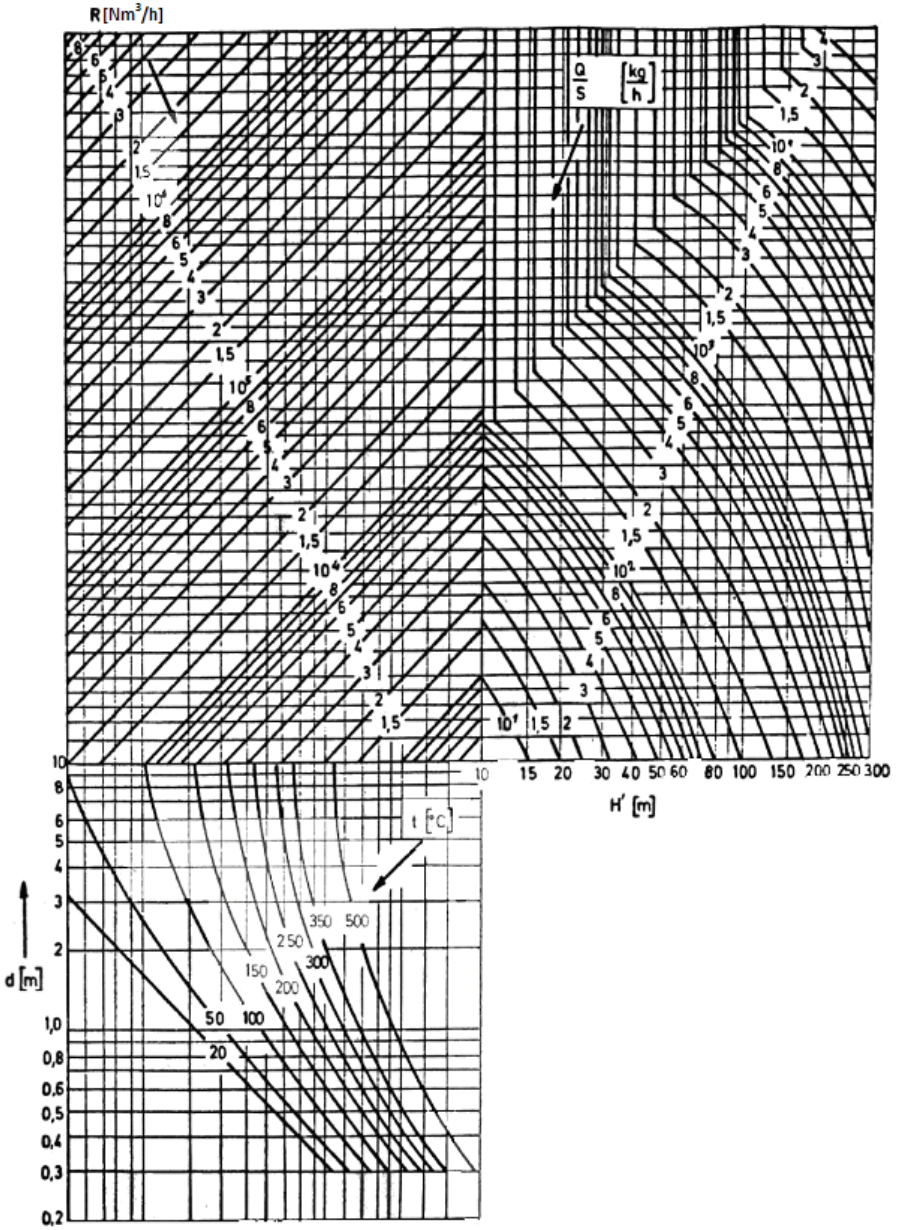
Tablo 1.2 deki maddeler:

| | | |
|---|---|---|
| Sınıf | I | 0,05 |
| Sınıf | II | 0,2 |
| Sınıf | III | 1,0 |

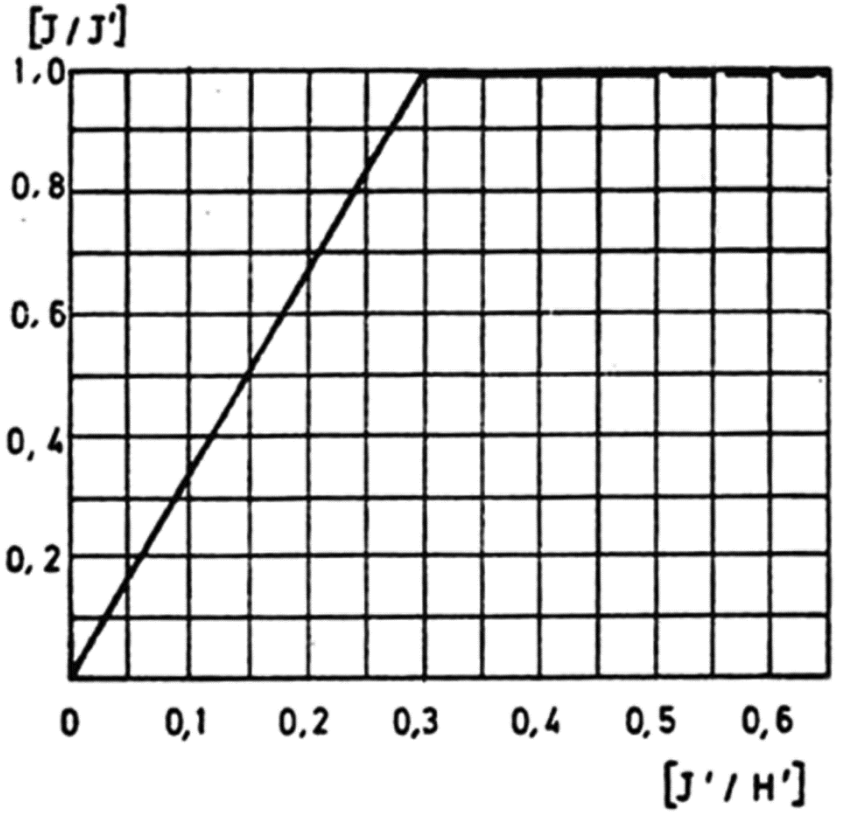
Tablo 1.3 deki maddeler:

| | | |
|---|---|---|
| Sınıf | I | 0,0001 |
| Sınıf | II | 0,001 |
| Sınıf | III | 0,01 |

Tablo 4.2 de yer alan değerler mevcut tesisler için geçerlidir.


R [Nm³/h]
Q/S [kg/h]
H' [m]
t [°C]
d [m]

J Değerlerinin Belirlenmesi İçin Diyagram




4) Isıl gücü olmayan tesislerde asgari baca yüksekliği çatının en yüksek noktasından itibaren dağılımı engellemeyecek şekilde en az 1.5 m olacaktır.

5) Üretim prosesi bacası olmayan, ortam tozsuzlaştırma/gazlaştırma ve malzeme geri kazanım amaçlı olarak iç ortam havasını toz tutma/gaz arıtma sisteminden filtre ederek atmosfere veren bacaların, dikey çıkışlı olmasına, bacanın ait olduğu bina yüksekliği ve atmosfere verilen emisyonların dağılım koşulları dikkate alınarak, yetkili mercii tarafından karar verilir. (stokholler, silolar, nakil hatları, pnömatik sevk sistemlerine ait bacalar) Bu bacalarda Ek-4.b.4 uygulanmaz. Bu bacalar hakkında emisyon ölçüm raporunda ve Valilik tespit raporunda ayrıntılı bilgi verilmesi gerekmektedir.

# BÖLÜM 12

# KOMPRESÖRLER VE BASINÇLI HAVA TESİSATI

## 12.1. Giriş

Son yıllarda endüstriyel tesislerde jet pulse temizleme sistemli torbalı filtre sistemleri yaygınlaşmış, emisyon değerlerini daha iyi sağlayabilmesi nedeniyle ESP'ler bile torbalı sistemlere dönüştürülmektedir. Torbalı filtre sistemlerinde ise jet pulse temizlemeli sistemler neredeyse tek seçenek haline gelmiştir. Bu sistemlerin en önemli bileşenlerinden birisi ise basınçlı havayı sağlayan kompresör ve ilgili tesisatıdır. Diğer yandan aşağıda görüldüğü üzere basınçlı hava pahalı bir enerji türü olduğundan verimli kullanılmalıdır. Bu bölümde basınçlı hava konusu geniş biçimde ele alınmıştır.

| Enerji Türü | Birim | Gider Çarpanı |
|---|---|---|
| Elektrik | 1 kWh | 1 |
| Pnömatik | 1 kWh | 7…10 |
| Hidrolik | 1 kWh | 3…5 |

## 12.2. Temel Fiziksel Kurallar

Basınçlı havanın özelliklerini ve davranışını inceleyebilmek için temel bazı fiziksel kuralların bilinmesi gerekir.

### 12.2.1. Gazlarla İlgili Fiziksel Kanunlar

İdeal gazlarla ilgili basınç, hacim ve sıcaklık ilişkileri burada önemlidir. Bu ilişkiler Gay-Lussac ve Boyle Mariotte kanunları ile hesaplanır.

### 12.2.2. Basınç ve Hacim

Sabit sıcaklık altında hacmin azalması durumunda basınç artar. Bu bağlantıda hareketin izotermik (T=sabit) olduğu kabul edilir.

$$PV = sabit \qquad (12.1)$$
$$P_1V_1 = P_2V_2$$

### 12.2.3. Hacim ve Sıcaklık

Sabit basınç altında ideal bir gazın hacmi mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır. Burada bağıntı izobarik (P=sabit) kabul edilir.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = Sabit$$

### 12.2.4. Basınç ve Sıcaklık

Sabit hacimde ideal gazın basıncı mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} = Sabit$$

Yukarıda ifade edilen kanunların birleştirilmesi ile ideal gaz denklemi elde edilir.

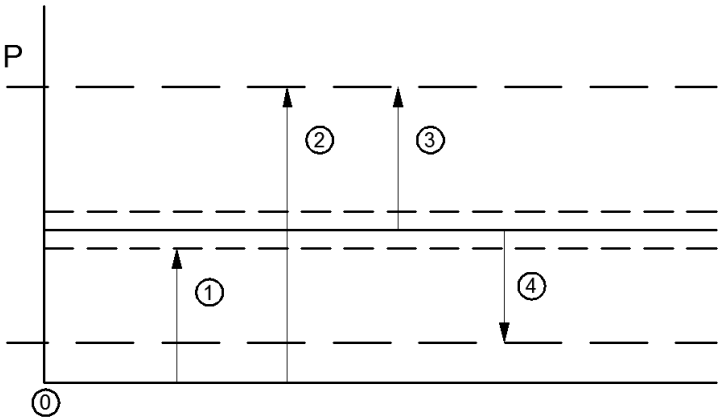
$$\frac{P_1V_1}{P_2V_2} = \frac{T_1}{T_2} = Sabit \qquad (12.2)$$

$$PV = mRT$$

Hava, çeşitli gazların karışımından oluşmakla birlikte normal sıcaklık ve basınç seviyelerinde ideal gazlara benzer davranış gösterir.

## 12.3. Basınç Ölçümü

Herhangi bir uygulamada hava basıncını tanımlar ve ölçerken sistem üzerinde atmosfer basıncının etkisi göz önünde tutulmalıdır. Şekil 12.1'de basınç tanımları ve referans noktaları verilmektedir.




*Şekil 12.1. Basınç tanımları ve referans noktaları.*

Hava basıncı, mutlak basınç veya atmosfer basıncı referans basınç noktası kabul edilerek tanımlanır. Hangi referans noktasının başlangıç olarak kabul edildiğine bağlı olarak ölçülen basınç değeri Mutlak Basınç ($P_{abs}$) veya etkin basınç ($P_e$) olarak ifade edilir. Basınç değerleri

0 → Mutlak sıfır = -273°C (veya 0 K)

1 → Atmosfer basıncı = $P_{atm}$

2 → Mutlak basınç ($P_{abs}$)

3 → Artı basınç ($+P_e$)

4 → Eksi basınç ($-P_e$) = Emiş basıncı

$P_{atm}$ = 1 bar olarak verilen koşullarda $P_{abs}$ = 2.5 bar ise $P_e$ = 1.5 bar,

$P_{abs}$ = 0.2 bar ise $P_e$ = -0.8 bar olur.

## 12.4. Su Buharının Etkisi

Havanın içinde su buharı da bulunur. Belirli bir sıcaklıkta birim hacimdeki hava içerisinde bulunan su miktarına mutlak nem adı verilir. Su buharı sıcaklığa bağlı olarak hava içinde belirli miktarda bulunur ve belirli bir doygunluk değerine ulaştıktan sonra yoğuşur. Havanın bünyesinde barındırabileceği maksimum su buharı miktarı maksimum nemlilik olarak

tanımlanır. Herhangi bir durumda havadaki su buharı miktarının aynı sıcaklıkta bulunabilecek maksimum su buharı miktarı oranına bağıl nem adı verilir. Bağıl nem % olarak tanımlanır ve havanın içindeki su buharının doygunluk oranını belirtir. Tablo X.1.'de sıcaklığa bağlı su buharının doygunluk miktarları verilmektedir.

| T(°C) | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ω ($g/m^3$) | 0.9 | 2.1 | 4.9 | 9.4 | 17.2 | 30 | 51 | 83 | 130 | 292 | 600 |

*Örnek*

30°C sıcaklıkta mutlak nemin 27 $g/m^3$ olduğu bir ortamda nem oranı nedir?

Çözüm:

$$\omega' = \frac{\omega}{\omega_{max}} \times 100 = \frac{27}{30} \times 100 = \%90$$

Not: Belirli bir durumda %100 bağıl nem oranı aşılırsa havadaki nem yoğuşacaktır. Bu durumun basınçlı hava sistemlerinde çok olumsuz etkileri olacaktır.

*Örnek*

Orta büyüklükteki bir tesisin hava ihtiyacı 10 $m^3/dk$ olarak verilmektedir. Yaz döneminde ortalama 20°C ortam sıcaklığında ve %70 bağıl nem şartlarında çalışan basınçlı hava hazırlama istasyonundaki kompresörün çıkış basıncı 7 bar ve çıkış havası sıcaklığı 30°C olarak verilmektedir. Yoğuşan su miktarını hesaplayınız.

Çözüm:

$\omega_{max}$ (20°C için, Tablo X.1'den) = 17.2 $g/m^3$

$\omega_{max}$ (30°C için, Tablo X.1'den) = 30 $g/m^3$

Giriş havası nem miktarı $W = 17.2\ \frac{g}{ms} \times 70 \times 10 \frac{m^3}{dk} = 120.4\ \frac{g}{dk}$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$1\ bar \times 10\ \frac{m^3}{dk} = 8\ bar\ \times V_2 \quad \rightarrow \quad V_2 = 1.125\ m^3/dk$$

Buna göre çıkış havası nem miktarı

$W = 30\ \frac{g}{ms} \times 1.125 \frac{m^3}{dk} = 33.75\ \frac{g}{dk}$ (çıkış havası %100 doymuş hava olmalıdır).

Yoğuşan su miktarı (120.4 – 33.75 =) 86.65 $\frac{g}{dk}$. Kompresörün ~%50 kullanım faktörü olduğu kabul edilirse yoğuşan su miktarı yaklaşık 2,5 kg/h olacaktır. Eğer yoğuşan su sistemden uzaklaştırılmazsa cihazların bozulması, arıza, ürün kalitesinin bozulması, korozyon söz konusu olacaktır.

## 12.5. Kompresörler

22 kW'a kadar alan motor güçleri için yalnızca hava soğutmalı tip, 250 kW üzerinde ise yalnız su soğutmalı kompresörler kullanılır. Sıkıştırma işleminde havanın basıncı ile birlikte sıcaklığı da artar. Soğutma yapılması halinde, 90 – 100 °C değerine kadar varabilen hava sıcaklıkları önemli kazalara neden olabilir. Bu nedenle sıkıştırma sonrasında havanın soğutulması gerekir. Soğutma gereğinin bir nedeni de kompresör sonrası kullanılabilecek yağ filtreleri veya kurutucu gibi donanımlar verimliliğinin basınç ve sıcaklığa bağlı olmasıdır.

Kompresör çeşitleri:

a) Pozitif deplasmanlı

- Pistonlu
- Diyaframlı
- Dönen elemanlı (tek rotorlu – paletli, sarmal; çift rotorlu – vidalı, dişli, merdaneli)

b) Dinamik (santrifüj)

- Aksiyal
- Radyal

**Dinamik Kompresörler:** Vidalı kompresörlerden daha verimlidir. Ancak verim ve gürültü düzeyi gibi konulardaki olumsuzluklara karşın ucuzluk ve kullanım kolaylığı nedeniyle pistonlu kompresörler sıkça kullanılır. Vidalı kompresörler; sessiz, dayanıklı, bakım gereği az, verimlidir ve endüstride en çok tercih edilen kompresörlerdir. Çoğunlukla kabin içinde ve paket olarak satılırlar.

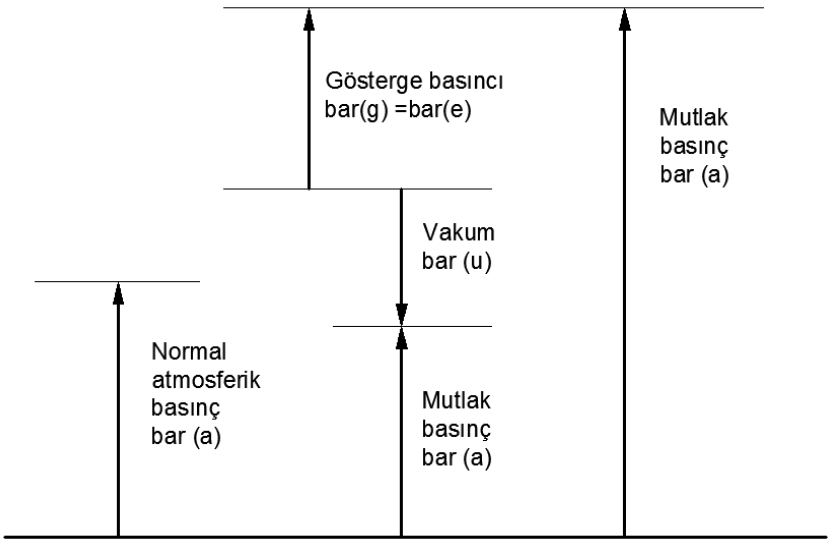
**Vidalı Kompresörler:** Sessiz çalışmaları, dayanırlılıkları, bakım gereksinimlerinin az olması ve yüksek verim nedeniyle en çok tercih edilen tiplerdir. Genellikle ses yalıtımlı ve paket tipte mevcutturlar. Bu kompresörlerde frekans invertörleri başarılı ve yaygın biçimde kullanılır.

*Soğutma gereksinimi:* Sıkıştırma sonucu hava sıcaklığı 90 – 100°C'ye çıkar. Bu sıcaklık düşürülmelidir (çalışma emniyeti, makineler vb. için). Ayrıca nem yoğuşarak havadan ayrılır.

*Enerji verimliliği:* Öncelikle işlemin çalışma profili çıkarılmalıdır. Burada gündüz tüketim, karmaşık tüketim, belli saatlerde sabit tüketimi söz konusu olabilir. Bu nedenle kompresör işleminin yük profili uygun ve verimli biçimde işletilmelidir. Değişken devirli kompresörlerde boşta/yüklü çalışma yerine değişken devirde çalışma söz konusudur. Tüketimde azalma nedeniyle basınçta artma olduğunda kompresör devir sayısı düşürülerek daha az hava gönderilir. Tüketimin artması ve buna bağlı olarak basıncın düşmesi durumunda kompresör devir sayısı artırılarak daha fazla hava gönderilir. Böylece ihtiyaca uygun üretim yapılmış olur. Tüketimde aşırı dalgalanmalar olması durumunda, bu yöntemle maksimum düzeyde enerji tasarrufu söz konusudur. Değişken devirli kompresörler, sistem basıncını sürekli olarak izler ve bu basıncı sabit tutmak amacıyla, motor devrini artırarak yada azaltarak gerekli miktarda basınçlı hava üretir. Bu kontrol yöntemiyle sistem basıncı 0.1 bar gibi dar bir bant aralığında tutulabilir. Böylece hem enerji tasarrufu hem de dengeli sistem basıncı sayesinde daha dengeli bir işlem kontrolü yapılabilir.

Standart kompresörlerde geleneksel olarak kullanılan motor kaldırma yönteminde ilk çalışama akımı, tam yükteki 8 katına kadar çıkabilmekte ve buna bağlı olarak elektrik sistemlerinde sorunlara yol açmakta yada normalin çok üzerinde kapasitede trafo yatırımı yapılmasına neden olmaktadır. Bu gibi sorunlar frekans invertörleri ile yumuşak kalkışla çözülebilmektedir.

## 12.6. Basınç ve Sıkıştırma Oranı




*Şekil 12.2. Basınç tanımları.*

Kompresör seçiminde debinin yanında basıncında doğru belirlenmesi gerekir. Burada gösterge basıncının esas alınması uygun olur. Bunun yanında sıkıştırma oranı (SO) da önemlidir.

$$SO = \frac{Mutlak\ çıkış\ basıncı}{Mutlak\ giriş\ basıncı} = \frac{7+1}{1} = 8$$

Bu kompresörün 1 bar atmosfer basıncındaki havayı alarak 7 bar'a çıkarılmasındaki sıkıştırma oranıdır.

## 12.7. Kompresörde Kapasite Standardı

Kompresörlerde debi kullanılan cihazların debilerinin toplanmalarıyla bulunur. Kapasite $Sm^3$, $Nm^3$ ve $Im^3$ terimleriyle verilir. Bunların her biri farklı gaz koşulunu belirler. Örneğin 7 bar (e) 'de 10 $m^3$ basınçlı havadan bahsedilirse buradaki 10 $m^3$, 7 bar (e) basınç altındaki basınç değildir. Burada daha çok SERBEST HAVA VERİMİ terimi kullanılır. Bu, kompresörden çıkan basınçlı havanın referans koşullarda serbest olarak kaplayacağı hacim değerini anlatır. Genellikle 1 bar basınç, 20°C sıcaklık ve

%0 nem olarak tanımlanan koşullar değişkenlik gösterebilir. $Nm^3$ olarak tanımlanan kapasite standardında referans koşulları 1.103 bar; 0°C sıcaklık %0 bağıl nemdir. Bu kapasite standardı, sıcaklık ve bağıl nemin sıfır olması nedeniyle kütlesel debi olarak da adlandırılır ve sık kullanılır. $Nm^3$ formülü;

$$V_n = [P_1 - (RH \times P_s)](V_1 \times T_n)(T_n \times T_1) \quad (12.3)$$

$V_n$ =normal hacim, $P_n$ =1,013 bar a, $T_n$=273°K, $P_s$: kısmi buhar basıncı (bar a), $V_1$: verilen hacim, $P_1$: verilen basınç (bar), $T_1$: verilen sıcaklık (K), RH: bağıl nem %. Daha az kullanılan bir başka ifade $Sm^3$ şeklinde belirtilen ve standart hacim olarak adlandırılan kapasite standardıdır. Bunun referans koşulu 1,0132 bar, 15.6°C ve %0 RH 'dır. Pozitif deplasmanlı kompresörlerde standart koşulları belirtmenin amacı havanın hangi şartlarda tanımlandığıdır. Belirtilen standardın dışındaki çalışma koşullarında ise havanın durumunu buna dönüştürülmelidir.

Dinamik kompresörlerde ise havaya hız kazandırıldığından ve bu hız çıkışta basınca dönüştüğünden koşullardaki değişimin birim hacimdeki havanın ağırlığını değiştireceği ve buna bağlı olarak farklı miktarda enerjiye ihtiyaç duyulacağı söylenebilir. Turbo kompresörlerde $Im^3$ ile belirtilen emiş hacmi kavramı kullanılır ve ilk kademe girişinde 0,975 bar, 35°C ve %65 nemi belirtir. Bununla, bu referans koşullarda kompresörün emdiği hava miktarı belirtilmiş olur. Değişken standartlardaki havanın diğer koşullardaki değeri Tablo 12.1'de verilmektedir.

*Tablo 12.1. Standart koşullarda havanın özellikleri*

| | Normal hacim | Serbest hacim verimi | Standart hacim | Emiş hacmi | Çıkış debisi |
|---|---|---|---|---|---|
| Sıcaklık, K | 273 | 293 | 288.6 | 308 | 308 |
| Basınç, bar a | 1.013 | 1.0 | 0.0132 | 0.975 | 0.975 |
| Nem oranı % | 0 | 0 | 0 | 60 | 60 |
| Kapasite | 100 $Nm^3$ | 108.7 $m^3$ | 105.7 $Sm^3$ | 123.9 $Im^3$ | 121.4 $Om^3$ |

## 12.8. Kompresörlerde Güç Tüketimi

Elektrik motorlarında etiket değerlerinde belirtilen güçler motorun mil gücüdür. Yani burada motorun verimliliği hesaba dahil değildir (aynı mil gücünü veren iki motor verim farkı nedeniyle şebekeden farklı akım çekebilir). Kompresörlerde ise güç, mil giriş gücü ile tanımlanır. Bu nedenle kompresör paketini oluşturan elektrik motoru, aktarma organları, kompresör gibi sistem bileşenlerinin verimliliği çok önemlidir ve toplam verimi etkiler. Kompresör seçerken veya benzeri hesapları yaparken standart şartlarda birim kapasite başına güç tüketimlerine bakılmalıdır. Tablo 4 'de birim kapasite başına (1lt) kompresörlerinin verimlilikleri görülmektedir.

*Tablo 12.2. Kompresör verimlilikleri.*

| Kompresör tipi | Kapasite ($m^3$/dk) | Özgül enerji tüketimi (j/ℓ) |
|---|---|---|
| Yağ püskürtmeli pistonlu | 0.12 - 1.5 | 510 (*) |
| | 1.5 - 15 | 425 (*) |
| | 15 - 60 | 361 (*) |
| Yağsız pistonlu | 0.12 - 1.5 | 552 |
| | 1.5 - 15 | 467 |
| | 15 - 60 | 404 |
| Yağ püskürtmeli vidalı / paketli | 0.12 - 1.5 | 510 |
| | 1.5 - 15 | 446 |
| | 15 - 60 | 404 |
| Yağsız vidalı / dişli | 1.5 - 15 | 425 |
| | 15 - 60 | 382 |
| | 60 - 120 | 382 |
| Yağsız santrifüz (turbo) | 1.5 - 15 | 446 |
| | 15 - 60 | 382 (*) |
| | 120 ve üzeri | 361 (*) |

## 12.9. Kompresör Seçimi

Burada öncelikli kompresörün kapasiteleri, çalışma basıncı ve istenilen hava kaliteleri belirlenmelidir. Ayrıca kullanım noktalarının sayısı, tesisatın yayıldığı alanın büyüklüğü, basınçlı hava kullanımındaki değişmeler, gelecekte olası kullanım artışı, ortam koşulları, soğutma imkanı vb.'de seçim üzerinde etkilidir. İkinci aşamada ilk yatırım ve işletme maliyetlerinden

oluşan ömür boyu maliyeti en az olan (kaliteli olmak kaydı ile) sistem seçilir.

## 12.10. Kapasite

Gerek duyulan kapasitenin belirlenmesi öncelikli önem taşır. Örneğin torbalı filtreler için literatürde 0,1-0,2 $m^3$/dk/volt veya 5 l/$dm^2$/dk gibi değerler bulunmaktadır. Kapasite belirlemek için genellikle yapılan, basınçlı hava tüketen tüm alet veya makinaların birim harcamaları ile işletmede var olan sayılarının çarpılması yoluyla toplam hava debisi gereğinin belirlenmesidir. Aşağıda bir örnekle çeşitli el aletlerinden değişik miktarlarda kullanan bir işletme için kapasite hesabı yer almaktadır.

*Tablo 12.3. Çeşitli el aletlerinin hava tüketimi.*

| Alet tipi | Adet | Tam Yükte Hava Tüketimi d/s) | Toplam Debi d/s) |
|---|---|---|---|
| Taşlama Matkap Somun sıkma | 10 8 5 | 16 24 9 | 160 192 45 |

Kompresör gücü:

$$N_k = \left(\frac{(n+1)xk}{(k-1)}\right)\left(\frac{P_e x V_e}{0{,}06}\right)\left\{\left(\frac{P_{ölç}}{P_e}\right)^{\frac{k-1}{(n+1)xk}} - 1\right\} \qquad (12.4)$$

Burada; n: tek kademeli sıkıştırma için 0, iki kademeli sıkıştırma için 1; k: izo entropik üssü, Pe: emiş basıncı (burada atmosfer basıncına eşit=0,1013 Mpa), ve: emiş debisi (m3/dak), $P_{ölç}$: ölçülen ortalama basınç=3,1 bar=0,31 MPa şeklindedir.

- Emme debisi: $V_e$ ($m^3$/dak)

$V_e=V_{ölç}x(P_{atm}/P_e)x[(273+T_{işl})/273]=(285/60)x(0,1013/0,1013)x[(273+31)/273]=5,3m^3$/dak. Burada $T_{işl}$: ölçülen ortalama basınçlı hava sıcaklığıdır, (ºC).

Buna göre bu kompresörün gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$Nk =[(0+1)x1,4/(1,4-1)]x[(0,1013x5,3)/0,1013]x[(0,31/0,1013)^{0,28}-1]=7$ kW

Bu yaklaşımla, yukarıda belirtilen miktarlardaki alet kullanımı için, toplam 397 l/s hava debisi ortaya çıkacaktır. Olası tüketim artışına hazırlıklı olmak ve kaçaklar için ekleme yapılması sözkonusu olmasa bile, yukarıdaki tüketim için yaklaşık 132 kW gücünde bir kompresör alınması gerekecektir. Yukarıdaki hesaplamada, aletlerin sürekli olarak kullanımda olacağı ve bu kullanım sırasında sürekli olarak yükte kalacağı gibi iki önemli varsayım yapılmaktadır. Oysa, basınçlı hava ile çalışan aletlerin çalışması incelendiğinde, bazılarının hemen hemen sürekli çalıştığı görülürken, bir bölümünün düzensiz aralıklarla çalıştığı ve kullanım sırasında göreceli olarak fazla hava tüketiminin olduğu anlaşılacaktır.

Bu nedenle, toplam basınçlı hava tüketimi her bir aletin maksimum tüketimlerinin toplamı olmamalı; ortalama tüketimlerinin bileşkesi olmalıdır. Ortalama tüketimin belirlenmesi için ise yük faktörü kullanılmalıdır. Pnömatik cihazlar genellikle belli aralıklarla kullanılır ve çoğunlukla tam yükte kullanılmazlar. Gerçek hava tüketimleri de bu nedenle kataloglarında verilen maksimum tüketimlerinden azdır. Gerçek hava tüketiminin maksimum, sürekli tam yükte çalışma anındaki tüketime bölünmesi ile bulunacak oran yük faktörü olarak adlandırılır.

Örnek olarak, tam yükte 25 l/s hava tüketimi olan bir aletin boşta çalışma sırasında 10 l/s hava tükettiğini varsayalım. Bu aletin %40 oranında yükte kullanılacağını düşünürsek, yük faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır: (25x0.4)+ (10x0.6} = 0.64 ( %64)

Belli bir çalışma süresi içinde aletin kullanılma oranını gösteren kullanım faktörü de toplam tüketim hesabında dikkate alınmalıdır. Örneğin 8 saatlik çalışma süresince bu aletin toplam 4 saat kullanıldığı varsayılırsa, kullanım faktörü 4/8 = 0.5 ( %50) olacaktır. Basınçlı hava tüketen herbir alet için yük ve kullanım faktörleri hesaplandıktan sonra, aşağıdaki formül ile toplam hava tüketiminin hesaplanmasına geçilmelidir.

Toplam Tüketim = Alet sayısı x tam yükte birim tüketim x kullanım faktörü x yük faktörü

Örnek uygulama için, aşağıda verilen yük ve kullanım faktörlerine göre toplam tüketimi yeniden hesaplarsak, debiyi yaklaşık 85 l/s olarak belirleriz. Bu da yaklaşık olarak 30 kW gücünde bir kompresör ile sağlanır.

*Tablo 12.4. Yük ve kullanım faktörleri.*

| Alet tipi | Adet | Tam Yükte Hava Tüketimi (l/s) | Kullanım faktörü (%) | Yük Faktörü | Toplam Debi d/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| Taşlama<br>Matkap<br>Somun sıkma | 10 8 5 | 16 24 9 | 40 30 20 | 60 65 100 | 38,4 37,4 9 |

Örneğimizde yer alan tüketim için ilk hesaplamada ortaya çıktığı gibi 132 kw gücünde bir kompresör kullanılması halinde, tüketimin çok üzerinde olan bu kompresör için gereksiz bir yatırım giderine katlanmak gerekecektir. Bundan daha da önemlisi, enerji giderindeki artış olacaktır.

132 kW gücündeki bir kompresörün 400 l/s debide olduğu ve boşta çalışma sırasında yaklaşık olarak 33 kWh enerji harcadığı varsayılırsa, yukarıdaki tüketim için enerji harcaması aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Söz konusu kompresör,

85/400 = %21 yükte;

1 -0,21 =%79 boşta çalışacaktır.

Bu oranlarla boş ve yükte çalışma sırasındaki enerji harcamasını çarparak toplam enerji harcaması hesaplanır: (132 x 0,21) + (33 x 0,79) = 54 kWh.

Aynı debi için, kapasite ve yük faktörlerini dikkate alarak, 30 kW gücünde ve 90 l/s kapasiteli bir kompresör seçersek ve bu kompresörün boşta çalışma sırasında yaklaşık 8 kWh enerji harcadığını varsayarsak toplam enerji harcamasını aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz:

Bu kompresör,

85/90 = %94 yükte;

1-0,94= %6 boşta çalışacaktır.

Buna göre, toplam enerji harcaması ise, ( 30x0,94) + (8x0,06) = 29 kWh olarak hesaplanır.

Yılda 6.000 saat çalışıldığı varsayılırsa, yanlış kapasite seçiminin getirdiği ek enerji harcaması, {54-29)x6000=150.000 kWh olacaktır. 1 kWh enerjinin yaklaşık 0,07 EURO olduğu varsayımı ile, ek maliyetin parasal ifadesi ise 150,000 x 0,07= 10.500 EURO olacaktır.

## 12.11. Çalışma Basıncı

Kompresör seçiminde dikkate alınması gereken önemli bir etmen de çalışma basıncıdır. Bilindiği üzere, herhangi bir kompresörün enerji harcamasını belirleyen iki etmenden biri debi diğeri de basınçtır. Bu nedenle, gerekenden daha yüksek çalışma basıncmdaki bir kompresörün satınalınması enerji giderinin yükselmesine neden olacaktır. Çalışma basıncmdaki 1 bar'lık artış, enerji harcamasını yaklaşık olarak %10 arttırır. Ayrıca, işletmelerde kaçınılması olanaksız olan hava kaçakları söz konusudur ve bu kaçaklar işletme basıncı yükseldikçe artar. Gereğinden yüksek basınç bu nedenle de verimsizliği arttırıcı bir unsurdur. Gerek duyulan çalışma basıncı ve bunu sağlayacak kompresörün seçimi için iki faktörün belirlenmesi gerekir: kullanım noktasında gerekli basınç ve hava devresindeki basınç kaybı.

**Kullanım noktasındaki basınç.** Basınçlı hava kullanan aletlerin üreticileri sözkonusu aletin tüketeceği hava miktarı ve gerekli basıncı belirtirler. Burada dikkat edilmesi gereken konu, havalı aletin belirtilen gücü ancak belli bir basınçta sağlayabileceğidir. Daha düşük basınç, aletin vereceği gücü azaltırken; daha yüksek basınç ise hava tüketimini ve aletin aşırı yüklenmesi ile doğacak sonunu arttıracaktır.

**Basınç kaybı.** Hava devrelerinde kullanılan boru kesiti ve devre üzerinde yer alan filtre, şartlandırıcı ve su ayırıcılar gibi donanımlar da basınç kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle, kompresör seçimi sırasında çalışma basıncı belirlenirken sözkonusu kayıplar kesinlikle gözönüne alınmalıdır. Kullanım noktasında gerek duyulan basınç ve hava devrelerinde oluşacak basınç kaybı doğru olarak belirlendikten sonra, kompresörün çalışma basıncını saptamak için, devrelerdeki basınç kaybını kullanım noktasında istenilen basınca eklemek gerekir.

## 12.12. Seçeneklerin Değerlendirilmesi

Kompresör seçiminde, sürecin ilk adımı olan gereksinimin belirlenmesine yönelik yukarıda belirtilen çalışmalardan sonra, bu gerekleri

yanıtlayabilecek seçeneklerin değerlendirilmesine geçilmelidir. Gereksinime yanıt verebileceği düşünülen çok sayıda kompresör bulunabilmesi durumunda, seçim kararını etkileyen en büyük faktör, genellikle yatırım tutarı, yani kompresör alınırken ödenilecek bedel olmaktadır.

Ülkemizde sermaye maliyetinin yüksek olduğu gözönüne alındığında haklı gibi görülebilecek bu yaklaşım, uzun süre için düşünüldüğünde doğru olmamaktadır. Kompresör ömrü 10 yıl olarak alındığında, üç gruptan oluşan işletme giderinin dağılımı yaklaşık olarak %5-10 bakım, %10-15 ilk yatırım ve %75-85 enerj gideri biçiminde olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, en yüksek gider olan enerji harcamalarının karşılaştırılması daha doğru bir karar verilmesini sağlayacaktır.

## 12.13. Hava Deposu

Hava depoları aşağıdaki üç gerekçeyle kullanılırlar:

1- Kompresörden kaynaklanan basınç salınımları yok edilmelidir.

2- Boru şebekesine giden hava içindeki yağ, pislik ve su zerrecikleri en kısa yoldan dışarı atılmalıdır.

3- Sistemdeki basınçlı hava tüketicilerinin ani artan yükler karşılanmalıdır.

Basınçlı hava deposu hacmi, aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$V = \frac{0.25\ Q x P_1\ x T_0}{f_{ma} x\ x\ \Delta p x\ T_1} \qquad (12.5)$$

Burada;

| | |
|---|---|
| V = Depo hacmi | ( l ) |
| Q = Kompresör debisi | (l/s) |
| P! = Kompresör hava giriş basıncı | (bar a) |
| T0 = Depo içindeki hava sıcaklığı | (K) |
| T, = Kompresör hava giriş sıcaklığı | (K) |
| | (bar) |
| Δp = Basınç farkı | (1 çevrim/30s) |
| fmax = Çevrim frekansı | |

*Kolay Hesap Yöntemi:*

Küçük kapasiteli bir kompesör kullanılmış ve sistemde salımlı hava istemleri oluyorsa depo hacmi kompresör debisinin en az 3 katı olmalıdır. (I/s) Dakikada 2 çevrim yapan bir kompresör için havanın depoya giriş sıcaklığı ile depo içi hava sıcaklığı farkının 10°C dolayında olduğu varsayılırsa, gerekli depo hacmi, VD aşağıdaki gibi hesaplanır.

$V_D = 9.375 \times Q$ (12.6)

Burada,

Q = Kompresör debisi (l/s)

$V_D$ = depo hacmi (l)

Hava deposu (Kompresör -» Kurutucu -» Hava Deposu) sırasıyla yerleştirilmelidir. Hava deposunun (Kompresör -» Hava Deposu->Kurutucu) sırasıyla yerleştirilmesi durumunda, depo hacmini ortalama %30 arttırmak gerekecektir.

Bir hava deposunda bulunması gerekenler şunlardır:

-Depo altında bir boşaltma ağzı

-Boşaltma ağzına bağlı bir pislik tutucu ve hava kondenstopu

-Depo üstünde bir emniyet vanası (max. Kompresör basıncının %5 fazlasına göre seçilmiş)

-Bir adet manometre

-Hava giriş ve çıkış ağızları

Yaygın şebekelerde veya kompresörle tüketici arasındaki uzaklığın fazla olduğu sistemlerde büyük hava gereksinimi olan makinelerin yanına yardımcı hava depoları konulması, sistemin dengesi bakımından oldukça yararlıdır. Bu depoların hacimleri tüketici debisi kadar olmalıdır.

## 12.11. Enerji Giderleri

Ülkemizde enerjinin kıt ve göreceli olarak pahalı bir kaynak olduğu gerçeğine karşın, kompresör seçiminde genellikle enerji giderine çok dikkat edilmez veya yalnız seçenekler arasında nominal güç karşılaştırması yapılır. Oysa, daha önce de belirtildiği gibi, toplam giderin önemli bir bölümünü enerji gideri oluşturur ve burada yapılacak tasarrufun getireceği avantaj ile önemli bir rekabet gücü elde etmek olasıdır. Kompresör tipi ve kullanım yoğunluğuna bağlı olarak değişmekle beraber, bir yıllık enerji gideri genellikle kompresör bedelinden daha fazladır. Bu özelliği ile enerji gideri, gözden kaçırılmaması gereken, önemli bir unsurdur.

Enerji gideri karşılaştırmasında yapılacak şey, birim hacim basınçlı hava elde etmek için harcanan enerji miktarlarına bakılmasıdır. Bu sırada, kullanılan kapasite birimlerinin aynı olmasına dikkat edilmeli ve güç harcamasına kompresör üzerinde yer alan tüm ekipmanların katılmış olması kontrol edilmelidir. Güç harcamaları değerlendirilirken, elektrik motorlarının nominal güçleri yerine, şebekeden çektikleri gücün baz alınması, gerçek güç harcamalarının doğru karşılaştırılmasını sağlar.

Enerji giderleri karşılaştırmasında önemli bir konu da verilen kompresör basıncının nerede ölçüldüğüdür. Kullanıcı açısından en yararlı olanı kompresör çıkışında ölçülen basınç olmasına karşın kompresör üreticileri basıncı farklı yerlerden ölçebilmektedirler. Sıkıştırma elemanı çıkışında veya yağ seperatörü çıkışında ölçülen basınç ile kompresör paketi çıkışında ölçülen basınç aynı şey değildir. Olabiliyorsa, paket çıkışındaki basıncın verilmesi istenilmelidir. Bunun olamadığı durumlarda, basınç ölçüm noktasından sonraki ekipmanlardaki basınç kaybı sorularak, kompresör çıkış basıncı hesaplanmalıdır. Bu sırada, kompresör paketlerinin içerik olarak farklı olup olmadığına dikkat edilmelidir. Paket içeriklerindeki farklılık, genellikle farkı oluşturan ekipmanın bedeli olarak düşünülse de asıl önemli olan, bu farklılığın yarattığı basınç kaybı ve bunun enerji giderine etkisidir. Başka bir deyişle, kompresör çıkışından önce su tutucu yer alan bir ürün ile bunun olmadığı bir ürünün tek farkı su tutucunun bedeli değildir. Bunun yaratacağı direnç nedeniyle oluşacak basınç kaybından kaçınarak enerji giderinin düşük gösterilmesi daha önemli bir unsurdur.

## 12.12. İlk Yatırım Giderleri

Gereksinimin doğru belirlenmesi ve seçeneklerin buna uygun olması durumunda, yapılacak tek şey bunlardan en az maliyetli olanına yönelmektir. Genellikle ilk aşamada yanlışlar yapılmakta ve seçeneklerin değerlendirilmesine yeterince süre ayrılmamakta, bütün dikkatler fiyat üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bunun sonucunda yapılan yanlış yatırımlar ise hem işletmede verimsizliğe neden olarak rekabet gücünü azaltmakta, hem de ülkemiz kaynaklarının yanlış kullanımına neden olarak, gelişmenin önünde bir engel oluşturmaktadır. Bu nedenle, diğer önemli unsurları gözardı ederek, yalnız fiyata yönelik değerlendirme yapılması durumunda, mikro ve makro düzeyde olumsuzluklara neden olma riskine girilmektedir.

Fiyat karşılaştırması yapılırken, gerek işlevler karşılaştırılmalı; gerekse bu işlevleri yerine getiren donanımların nitelik ve kalitelerine dikkat edilmelidir. Elektrik motoru, sıkıştırma elemanı, elektrik panosu ve soğutma ünitesi gibi kompresörü oluşturan ana parçaların detaylı olarak incelenmesi sonucunda farklılıkların nereden kaynaklandığı sorusuna yanıt bulunabilecektir. Bu gibi donanımlardaki farklılık, yalnız verimlilik üzerinde değil, kompresör ömrü veya yatırımın geri dönüş süresinde de önemli farklılıklar yaratacaktır.

## 12.16. Bakım Giderlerleri

Bakım gideri denilince akla ilk gelen, yedek parça ve işçilik harcamaları olmaktadır. Bu harcamaların önemi göz ardı edilemese de, bakım giderleri karşılaştırmasında, bakım dönemleri en az fiyat kadar önemlidir. Yalnız fiyat karşılaştırıldığında pahalı görülebilecek bakım gideri, bakım dönemi hesaba katıldığında daha ucuz kalabilecektir. Bunun tam tersi de olasıdır. Fiyat olarak ucuz olan bakım gideri, bakım dönemi hesaba katıldığında daha pahalı çıkabilir.

Doğru ve zamanında yapılan koruyucu bakım çalışmalarının kompresör ömrü üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Bu bakımlar sırasında, makina üreticisinden sağlanan orijinal parça kullanım ma dikkat edilmelidir. Arızanın ortaya çıkmasıyla bunun giderilmesine yönelik "onarım" yaklaşımı yerine, arızayı önlemeye yönelik "koruyucu bakım"

yaklaşımına gidilmeli ve üreticilerden bu konuda bilgi istenerek değerlendirilmelidir.

# BÖLÜM 13

# ENERJİ MALİYETLERİ

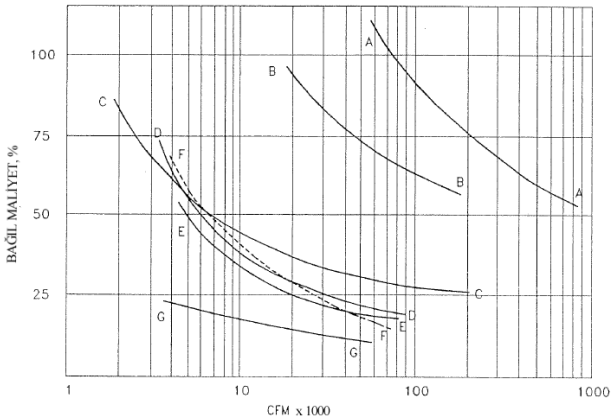
## 13.1. Giriş

Herhangi bir endüstriyel filtre sistemi; teknik, çevresel, kurallar (yönetmelikler) ve ekonomik etkenlerin dikkate alınmasıyla tasarlanıp, imal edilerek işletilebilir. Ancak burada çevresel, yönetmeliklerden ve enerji maliyetlerinden gelen kısıtların sağlanması gerekir. Öyle her tasarımda ilk yatırım maliyetleri, enerji maliyetleri, bakım ve yedek parça maliyetleri dikkate alınmalı ve ömür boyu maliyet minimize edilmeye çalışılmalıdır.

## 13.2. Kapasite Kontrolu ve Enerji Ekonomisi

### 13.2.1. Toz Toplama Ekipman Maliyetleri

Özellikle kurulmuş haldeki ekipman maliyetlerindeki değişme tahmini güç bir işlem olup, karşılaştırma yapmak da kolay değildir. Bu faktörler dikkatli değerlendirilmediğinde yanlış sonuçlara götürebilir. Torbalı filtrelerde ilk yatırım maliyetleri, filtre ünitesi, borulama, fan, otomatik kontrol gibi sistem komponentlerinin maliyetinden oluşur. Bu maliyetler filtre tipleri için değişik olup şekil 13.1'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere tüm tiplerde debi arttıkça bağıl maliyet azalmaktadır. İşletme maliyetleri fanda ve basınçlı havada tüketilen elektrik, bakır, yedek ve şarj maliyetlerinden oluşmaktadır.




*Şekil 13.1. Debiye bağlı olarak sistem maliyeti.*

A. Yüksek voltajlı çökeltici filtre
B. Sürekli yüksek sıcaklık torba filtre (2.0:1)
C. Sürekli Jet – pulse filtre (8:1)
D. Yaş Filtreler
E. Aralıklı çalışan torba filtre
F. Düşük voltajlı çökeltici
G. Siklon

Not 1: Maliyetler sadece kolektör bölümüne dayandırılmıştır. Kanalları, toz atma araçlarını, egzoz edicileri, kolektörün bütünleyici bir parçası olmayan diğer aksesuarları içermez.

Not 2: Yüksek voltajlı çökelticinin fiyatı uygulamaya ve verim gereksinimlerine göre önemli ölçüde değişmektedir. Burada gösterilen maliyetler, 200 – 300 fpm hızlarının normal olduğu uçucu kül uygulamaları içindir.

Aşağıda maliyetlere ilişkin bazı bilgiler verilmektedir.

***Kapasite-Fiyat:*** Cfm gaz başına tüm kolektörlerin fiyatları gaz debisine göre değişir. Debi küçüldükçe cfm başına daha yüksek maliyetler elde edilir. Temizlenen cfm başına maliyetin yükselmediği başa-baş noktası tasarıma bağlı olarak değişecektir.

***Fiyata dahil olan aksesuarlar:*** Ekipmanların dikkatli biçimde değerlendirilmesi önemlidir. Bazı filtre tasarımları fan, motor, tahrik ve starter içerir. Diğer bazı tasarımlarda ise bu elemanlar üretici tarafından bir başka üreticiden satın alınır. Benzer biçimde bazı tasarımlarda toz bunkerleri sistemin bir parçası iken, bazılarında böyle değildir. Elemanlar arasındaki bağlantılar dahil edilir veya ihmal edilebilir. Su sirkülasyon pompaları ve durulma tankları gerekebilir ve fiyata dahil edilmeyebilirler.

***Kurulum maliyeti:*** Filtre sisteminin kurulum maliyeti kolektör maliyetine eşit olabilir veya onu aşabilir. Gerçek maliyet gönderi yöntemine (tamamen toplanmış, alt topluluklar halinde, veya dağıtılmış), yere (çok fazla donanım gerektirebilir), pahalı çelik profiller ve ulaşım platformlarına gerek olup olmadığında bağlı olacaktır. Su ve drenaj bağlantıları, elektriksel işler, toplanan maddelerin atılması için pahalı işlemleme makineleri gibi gereksinimler nedeniyle ciddi biçimde etkilenebilir. Son grupta bulunan kalemler de değişkendir ve temzilenecek gazın debisi arttıkça cfm başına maliyet azalır.

***Özel Konstrüksiyonlar:*** Herhangi bir tabloda gösterilen ücretler zorunlu olarak temel veya standart bir konstrüksiyon varsayılmalıdır. Korozyona direnimli bir malzeme, özel yüksek sıcaklık torba - filtre elemanları, yalıtım ve/veya dışarıdaki kurulumlar için koruma maliyetini ifade etmek üzere standart maliyeti 1~4 kat artıran bir çarpan olaya dahil edilir.

***Enerji maliyetler ve optimizasyon:*** Filtre sistemlerinde fanda ve basınçlı hava üretiminde kullanılan enerji optimize edilmelidir. Diğer bir ifade ile $m^3$, egzoz havası başına tüketilen enerji minimize edilmelidir. Şekil 13.1.'de görüldüğü üzere işletmede torbalar kirlendikçe toplama verimi iyileşmekte ancak buna karşın direnç artmaktadır. Direnç artışına torbalı filtrelerde 150 mmSS'na kadar müsaade edilebilir. Bir fark basınç sensörü ve frekans invertörü yardımı ile fanın tükettiği elektrik enerjisi azaltılabilir. Bu esnada filtreden geçen gazın sıcaklığı ve nemi de ölçülerek optimum bir tasarım yapılmalıdır (örneğin sıcaklık düştüğünde hacimsel debi azalacağı için (A/C düşecektir) kontrol sisteminde bu husus da dikkate alınabilir.

Bacada hava hızı, baca gazı emisyonları yönetmeliklere uygun değerlerde tutulmak kaydı ile baca gazı analiz cihazı ve fark basınç prosestadı ile fan ve basınçlı hava debileri ve basınçlar kontrol altında tutulabilir. Bir PLC ile

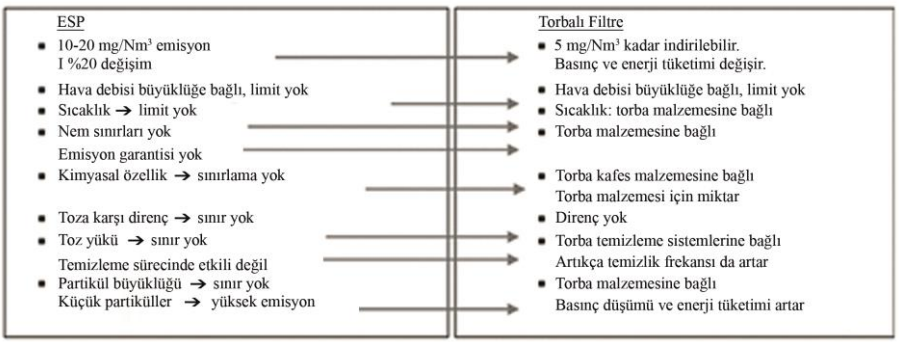
fanın ve kompresörün şebekeden çektiği güçler ölçülerek verim hesabı yapılarak (basınçlı hava için tüketilen enerji dahil) optimizasyona gidilebilir. Burada fark basınç, basınçlı hava pulse aralıkları ve süreleri vb. uygun değerlerde tutulabilir. Üfleme borularında min. hızı korumak kaydı ile basınç kayıplarının azaltılması, düşük dirençli nozul ve ventüri kullanılması, olanak ölçüsünde kısa torba kullanarak hava basıncı düşürülebilir.

Filtreler temiz olduğunda basınç kayıpları daha azdır. Ancak fan seçimi torbanın kirli olması durumuna göre yapılmalıdır. Ayrıca fan debisi emniyet vb. düşünülerek büyük seçilmiş olabilir veya sistem debisinin azaltılması gerekebilir. Bu gibi hususları düşünerek fan motoruna frekans invertörü ile kumanda edilerek devir sayısının değiştirilmesi önemli ölçüde enerji ekonomisi sağlayabilir.

### 13.2.2. Sistem Seçimi

Şekil 13.1 'de değişik filtre tipleri gösterilmiştir. Son yıllarda endüstride en çok tercih edilen filtre torba fitredir. Bunu takiben elektrostatik filtreler gelmektedir. Bu çerçevede mevcut ESR'ler sökülerek torba filtreye dönüştürülmektedir (emisyon garantisi nedeniyle). Tablo 13.1'de en çok kullanılan bu iki filtre türünün karşılaştırılması uygun olur.

*Tablo 13.1. Elektrostatik toz taplama sistemleri (ESP) ile torbalı filtrelerin (FF) Karşılaştırılması.*



Enerji tüketimi düşük





Sıcaklık gaz şartları, CO muhteviyatına dikkat edilmelidir.

Sıcaklık, basınç durumu acil soğutma ekipmanı (bypass, soğutma emisyonu), periyodik basınç → dikkat edilmeli

Not: günümüzde enerjinin maliyetleri ne kadar etkilediği düşünülürse ESP'lerin çok yüksek sıcaklıklarda çalışmaları bir avantaj değildir. Ayrıca yüksek sıcaklık yüksek emisyon anlamına gelmektedir.

Tasarım örneği → maliyet karşılaştırması

Çimento farin → 3500 ton/gün

Toz emisyonu → ESP = 50 mg/Nm$^3$ ,

FF = 20 mg/Nm$^3$

| | | |
|---|---|---|
| Hava debisi | 7900 | m$^3$/dk |
| Sıcaklık | 135/155 | °C |
| Max sıcaklık | 240 | °C |
| Girişte toz yükü | 80 | mg/Nm$^3$ |
| Dew Point | 49/53 | °C |

Maliyet → ESP = 100

Enerji Tüketimi

ESP = 100 → işletme enerji tüketiminde taransformer, rektifier, bunker, yalıtım, ısıtıcılar, ID fan,

Torbalı filtrede enerji tüketimi ID fan, basınçlı hava ~→121 (bağıl maliyet)

**Mevcut Sistemlerin Yenilenmesi Veya İyileştirilmesi**

Neden yenileme gereklidir?

- Mekanik ve elektrik sistemlerin eskimesi,
- Kapasitesi artışı ihtiyacı,

- Devletler veya devlet tarafından daha düşük emisyon salınım sınırlaması getirilmesi,
- Proses veya ham maddenin zaman içinde değişmesi,

Neden iyileştirme yapılmalıdır?
- Parasal tasarruf,
- Daha düşük emisyon,
- Daha düşük torba, basınçlı hava maliyetleri.

*Tümü ilemi yenilenmeli; mevcudun iyileştirilmesi mi?*

| Tipik iyileştirme ve sonuçlar | | |
|---|---|---|
| | | emisyon iyileştirme |
| Gaz dağıtım hattı iyileştirlmesi | → | %10 - 40 |
| Sneaker plates | → | % -30 |
| Kontrol sistemleri | → | % 20 - 40 |
| 2 alandan 3 alana devri | → | % -50 |
| Yeni iç parçalar<br>ESP'nin FF'y edönüşümü | → | Duruma bağlı<br>Emisyon < 30 mg/Nm$^3$) |

## 13.3. Kontrol Listesi (Check List) Hazırlanması

Emisyonlar aylık olarak ortalama seviyelerde mi, dalgalanma söz konusu mudur? Maksimum, minimum ve ortalama nedir?

- Toz emisyonlarının günlük, dağılımları nedir?
- Maksimum seviyelerde iken işletme sürecinin %'si alarak limitleri aşırı süreler var mıdır?
- Yönetmeliklerde istenilen değerler nedir?
- Hiçbir şekilde aşılmaması gereken değerler nedir?
- Enerji optimizasyonu için kontrol sistemleri var mıdır?
- Fotoğraflarla içeriden ve dışarıdan mevcut durumun ortaya konulması.

## 13.4. Egzost Sistemleri Tasarım Prosedürü

Endüstriyel havalandırma oldukça kompleks yapıdadır. CFD,3D ısı transferi, kompleks akışkan akısı, kararlı veya geçici koşullar, operatörlerin durumu, içerideki kirleticiler gibi konularda derinlemesine bilgiyi gerektirir.

En1 Tüm havalandırma sisteminde temel amaçlardan birisi iç mekan kalitesidir. Endüstriyel tesislerde binalara göre 10 – 100 kat daha fazla kirli ortamlar olabilmektedir. Bu bağlamda proses, insanlar, enerji, çevre, şirket içi imaj gibi hususlarda ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır.

Günümüzde enerji ve çevre iç içe geçen iki anahtar durumuna gelmiştir. Sadece yerel çevre değil, artık dünya çapında çevre dikkate alınmalıdır.

Davlumbaz, hava temizleme cihazları, borulama ve fanlardan oluşan sistemin düzgün çalışması gerekir. Bu husus sistemin imalat ve montajı kadar önemlidir. Eğer sistem düzgün tasarlanmamışsa debi, basınç vb. yeterli olsalda emisyon kontrolü tutturulamayabilir. Aşağıdaki prosedür boru çapları, malzeme kalınlığı ve fan çalışma noktası (debi ve basınç) hesabına ilişkin bilgiler vermektedir.

### 13.5.1. Ön Tasarım

Tasarımda sistemin bakımı, sağlık, emniyet, yangın ve çevre gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Tasarımcı tasarıma başlayabilmesi daha önce verilen bilgiler bağlamında minimum aşağıdaki ön bilgilere sahip olmalıdır.

1) Sistemin akım şeması, çalışma ortamı, gerekli ise bina vb. mümkün olan yerleşim alanı (filtre, fan vb. için) belirlenmiş olmalıdır. Egzoz havasının alındığı (davlumbazlar, emiş noktaları vb.) yerler bulunmalıdır.

2) Plan ve kat ile ilgili bilgileri fan, siklon, filtre vb. yeri bilgilerini de ihtiva eden boruluma sisteminin genel bir çizimi yapılmalıdır. Ayrıca cihazların numaralandırılması, gerekirse kesit alınması vb. gerekir. Fanın, sistemde en fazla basınç kaybının olduğu bölgeye konulması sistem balansını kolaylaştırır, enerji maliyetlerini azaltır. Flexible kanallarda basınç kayıplarını hesaplamak kolay değildir. Bu nedenle, bunların mümkün olduğunca kısa tutulması, (rijit kanallar kullanılması) gerekir.

3) İşletme hakkında yeterli bilgi edinilmelidir. Özellikle toksit atıklar, ergonomi, fiziksel ve kimyasal özellikler, debi gereksinimi, gerekli minimum kanal hızları, yakalama hızları vb. bilinmelidir.

4) Hava dağıtım sisteminin davlumbazlar üzerindeki etkileri tespit edilmelidir. Delikli plenum kutuları ve delikli hava kanalları hava dağıtım dengesini sağlamada önemli katkı sağlayabileceği dikkate alınmalıdır.

### 13.5.2. Uygulama Tasarımı

Tüm egzoz sistemleri; davlumbazlar, hava kanalları, filtreler (hava temizleme cihazları veya sistemleri) ve egzoz fanı ve bacadan oluşur. İki genel kanal sınıfı vardır: a) Açık (tapered) sistem ve b) Plenum sistem. Açık sistemde hava kanallarının kesitleri, her ilave hava debisinde büyür (hızlar yaklaşık eşittir). Eğer sistem partikül taşıyorsa (toz, nem, buhar) açık sistem set değerlerini korumada daha düşük minimum hıza ihtiyaç gösterir. Kanal plenum sistemi ise genel olarak açık sistemden kesit itibarıyla daha büyüktür ve daha düşük hızlara sahiptir. Bu hususlar dikkate alındığında aşağıda tasarım prosedürü takip edilebilir.

1) Toksit, fiziksel ve kimyasal olarak karakteri farklı malzemeler için davlumbaz tipi ve ölçüler belirlenir. Bunların debileri, minimum kanal hızları ve giriş kayıpları belirlenir. Minimum hız daha çok toz, buhar, su sisi ve patlama tehlikesi olduğu durumlarda önemlidir. Diğer sistemlerde (örneğin HVAC) ekonomi, spesifik fan gücü gibi hususlar daha fazla öne çıkar.

2) Tasarıma, çok sayıda kanal parçasından oluşan sistem bölümünden başlanır.

3) Kanal kesitleri, o bölümdeki hava debisini minimum hıza bölerek tespit edilir. Bulunan kesit yuvarlak bir ölçüye getirilir. Eğer bu ölçüde ticari olarak bulunan ölçülere uymuyorsa, bir alt standart ölçü esas alınır (minimum hızı yakalamak için).

4) Akım şeması kullanılarak her kanal parçası uzunluğu belirlenir ve bu parçalar ile fittingler (dirsek giriş ağızları, T, redüksiyon vb.) belirlenir. Kanal uzunluğu, merkezden geçen hat dikkate alınarak belirlenir.

5) Her kanal parçası ve fitting için basınç kayıpları hesaplanır (aşağıda açıklandığı üzere).

6) Her bağlantı parçasından sonra sadece bir adet statik basınç (SP) vardır. Bunu yakalamak için bazı yerlerde debi azaltılır veya artırılır. İki bağlantı noktası arasındaki SP'nin dengelenmesi iki yöntemle yapılabilir:

a) Her bağlantı noktasında (düğüm) SP sağlanana kadar davlumbaz debisi değiştirilir.

b) Direnci düşük olan yerlere sanal direnç ilave edilerek istenilen SP sağlanır (bu konu daha sonra açıklanmıştır).

7) Debiler, sıcaklık, nem durumu, toz yükü, fiziksel ve kimyasal özellikler dikkate alınarak filtre, siklon, fan gibi sistem ekipmanları seçilir.

8) Tasarım kanal ebatları yerleşim olanakları, kesişme problemleri (örneğin bir dirseği mevcut bir yere sığması vb.) ve tüm sistem direnci gibi hususlar tekrar kontrol edilir.

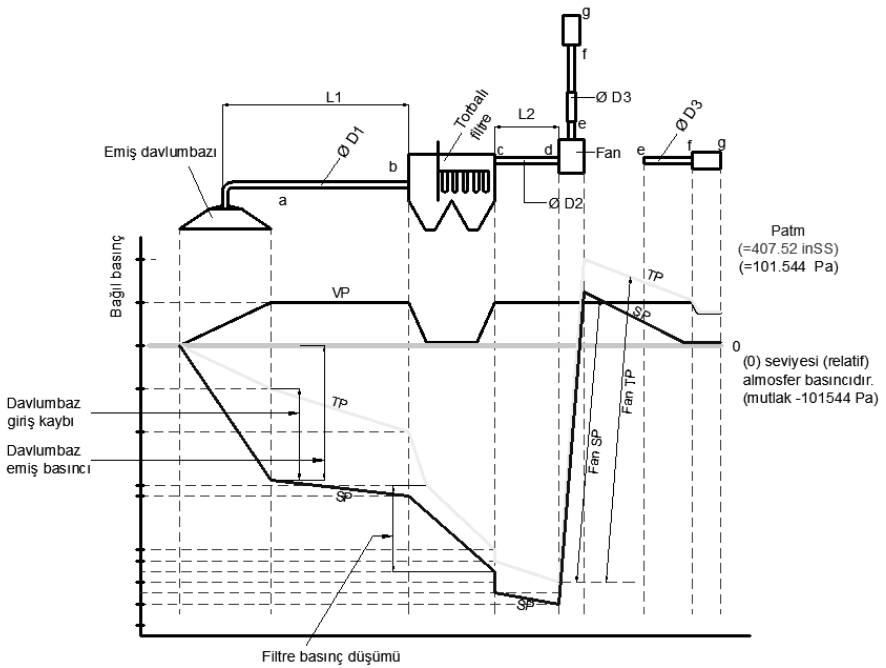
9) Malzeme cinsi, et kalınlıkları vb. sistem karakteristiklerine bağlı olarak belirlenir.

### 13.5.3. Basınç Kayıpları

Fan enerjisi tüketimi sistemdeki basınç kayıplarına bağlıdır. Davlumbazlardan bacaya kadar olan tüm sistem analiz edilmelidir.

**Hız basıncı yöntemi:** tüm sürtünme ve dinamik (fitting, yerel) kayıpların (kanallarda, filtrelerde, fittinglerde, davlumbazlarda vb.) hız basıncından etkilendiği (veya onun bir fonksiyonu olduğu) gerçeğine dayanmaktadır. Gerçektende kayıplar dinamik basınç ile bir kayıp katsayısının çarpımı sonucu hesaplanabilir. Davlumbazlar, düz kanallar, dirsekler, birleşme parçaları, redüksiyonlar (daralma ve genişleme) dikkate alınması gereken elemanlardır. Düz kanallarda ve fittinglerden kaynaklanan basınç kayıpları 3. Bölümde açıklandığı gibi hesaplanır. Veya titeratürde verilen grafiklerden yararlanılabilir. Bu grafikler galvaniz, alüminyum, ve paslanmaz çelik kanallar için foot başına basınç kayıp faktörünü vermektedir. Bu grafikler sürtünme katsayısını orijinal eşitlik olan Coolebrook White eşitliğinden elde

edilen değerden en fazla %4 sapma ile verilebilmektedir. Bu grafikler hazırlanması esas olan prensip, sürtünme kayıplarının hız ile değişiyor olmasıdır. Şekil 13.2'de toplam, statik ve hız basınçları ve basınç düşümü görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere VP (hız basıncı) daima pozitiftir. Buna karşın toplam (TP) ve statik (SP) basınçlar pozitif veya negatif olabilir (TP=SP+VP).




*Şekil 13.2. Filtre sistemlerinde basınç düşüm diyagramı.*

Her filtre sistemi için bu diyagram oluşturularak değişik noktalardaki kayıplar hesaplanır. Sonra bunların toplanması ve bir emniyet katsayısı ilavesiyle fan basıncı hesaplanır. Bu süreçte aynı zamanda boru kesitleri vb. de hesaplanmış olur.

## 13.6. Filtre Sistemlerinde Enerji Verimliliği

Filtre sistemlerinde enerji verimliliğinin sağlanması bu kitapta ve literatürde açıklanan uygun tasarım yöntemlerinin uygulanması, mevcut sistemlerde performans ölçümleri yapıldıktan sonra tasarım iyileştirmeleri ile sağlanabilir. Aşağıda bu hususlar özetlenmiştir.

Temiz çalışma ortamlarının çalışanların sağlığı ve üretkenliği üzerinde çok önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir. Ayrıca fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan $CO_2$ ve diğer emisyonların azaltılması çevrenin korunması açısından önemlidir. Bu bağlamda endüstriyel uygulamalarda emisyonların azaltılmasında filtre sistemlerinin büyük önemi vardır. Bu sistemler; çevre korunumum yanında, çalışma mahallerindeki kirli gazların uzaklaştırılarak sağlıklı çalışma ortamları oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.




*Şekil 13.3. Çalışma mahallerinde toz ve emisyon.*

Filtre kullanımının diğer bir sebebi de ürünün geri kazanılmasıdır. Örneğin demir çelik sektöründe sinter tozları, çimento sektöründe çimento tozları geri kazanılabilmektedir. Enerji tüketimi filtre sistemlerinin tasarım ve imalatında en önemli konulardan birisi durumuna gelmiştir. Örneğin çimento sektöründe yaklaşık 150 kWh/ton enerji tüketilmektedir. Burada fanların ve toz toplama sistemlerinin payı önemli düzeydedir. Bu nedenle filtre sistemleri yukarıdaki fonksiyonlarını yerine getirirken enerji tüketimi yönünden verimli biçimde çalışmalıdır. Kurulan bir sistemin testinin yapılması veya burada olduğu üzere mevcut sistemlerin incelenmesi de yukarıdaki yönlerden önemlidir.

### 13.6.1. Elektrofiltreler

Elektrofiltreler (ESP), torbalı filtreler ve sulu filtreler endüstriyel alanda kullanılan filtre türleridir. Emisyon değerinin sağlanması, malzeme geri kazanımı, düşük enerji tüketimi ve çalışma sıcaklıkları yönlerinden giderek performansları arttığı için torbalı filtrelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Aşağıda torbalı filtrelerde enerji verimliliği incelenmiştir. Filtre sistemi emiş genel olarak davlumbazları veya emiş ağızları, borular, filtre ünitesi (bazen ilaveten siklon), fan ve bacadan oluşmaktadır. Şekil 13.3'de filtre sistemlerinde borulama örneği görülmektedir.




*Şekil 13.4. Filtre sistemlerinde borulama örneği.*

### 13.6.2. Torbalı Filtreler

Filtre dışı gaz kanallarında minimum hızlar, filtre içi kanallarda ve kompartman içindeki hızlar, filtreleme hızları (A/C oranı – filtre içinden geçen gaz debisinin filtre torba yüzey alanına oranı), torbalar hakkında bilgiler (örneğin GoreTex torba ile standart torbanın mukayesesi), ventüriler, filtrelerde beklenebilecek basınç kayıpları, sıcak proseslerde gaz yayınımları vb. önemlidir. Torbalı filtrelerde enerji verimliliğini etkileyen çok fazla değişken vardır. Bunlardan bazıları; tozun cinsi, partikül büyüklüğü, toz toplama hatlarının yapısı, filtre gövdesi içinde hava hızı ve dağılımı, filtre içindeki torbaların cinsi (örneğin standart torbalar, PTFE membran torbalar), A/C oranı, kontrol sistemi (örneğin değişken enerjili zamanlama -timing- optimizasyon) torba içindeki hava basıncının etkileri ($\frac{L}{D}$, pulse hava basıncı, basınç dağılımı, ventüri verimi) şeklindedir. Kekleşmedeki basınç kaybı, torba kaçakları vb. de sürekli ölçülerek filtrelerin verimli bir biçimde çalışması sağlanmak üzere optimize edilmektedir. CFD simülasyonları ile bu parametreler, ısı transferi, basınç kaybı davranışı, hız profilleri, partikül tracking, akış davranışları, buharlaşma prosesi vb. analiz edilmelidir.

#### 13.6.2.1. Torba Yüzey Alanı ve A/C Oranı

Jet pulse torbalı filtrelerde A/C oranı 1,0-2,0 $(m^3/dakika)/m^2$ alınabilmektedir. Bu oran küçüldükçe torba yüzey alanı büyümekte, büyüdükçe torba alanı küçülmektedir. Enerji verimliliği ve emisyon açısından küçük A/C oranları daha uygundur ancak bu durumda ilk yatırım maliyetleri artmaktadır.



*Şekil 13.5. Filtre sisteminde filtre gövdesi ve filtre içi akış kanalları örneği.*

Torba içindeki basınç kaybı; temizlenebilirlik torba malzemesinin cinsi, torba uzunluğu ve çapı ile ventüri yapısı gibi değişkenlere bağlıdır. Bu değişkenler basınçlı hava sisteminin basıncını ve dolayısıyla enerji tüketimini etkilemektedir. Torbalarda diğer bir bileşen tel kafeslerdir. Kafesler torbalara kılavuzluk edecek nitelikte olmalıdır. Kötü bir kafes sistemi torba içindeki hava hareketlerinin ve basıncın etkisi ile torbaların birbirine çarparak delinmelerine yol açabilmektedir. Bu nedenle mukavim ve torba cinsine uygun kafes sistemi tercih edilmelidir.





*Şekil 13.6. Torba ve kafes genel yapısı.*

### 13.6.2.2. Kontrol Sistemi

Kontrol sistemleri enerji verimliliğinde önemli rol oynamakta olup bu sistemler aşağıdaki hususları da hedeflemektedir.

- Toz emisyonunun kontrol altında tutulması,
- Torba yüzeyindeki kökleşmenin optimizasyonu,
- Filtrenin toplam maliyetinin azalması.

Bu değişkenlerin analiz edilip, uygulamaya yansıtılması için mühendislik alt yapısı oluşturulması gerekmektedir.

### 13.6.2.3. Basınçlı Hava Sistemi Enerji Tüketimi

Torbaların temizlenmesinde basınçlı havanın uygun basınçta alınması (basıncın artması basınçlı hava sistemlerinde enerji tüketimi anlamına gelir.) elektronik kontrol gerektirir. Burada,basınçlı hava basıncı selenoid tepkime süresi ve temizleme frekansı önemli parametrelerdendir. Sistem koşullara uygun optimizasyonda otomatik çalışmalıdır. Örneğin daha düşük enerji tüketimi için k*ısa süreli yüksek basınçlı şoklama havası mı veya düşük*

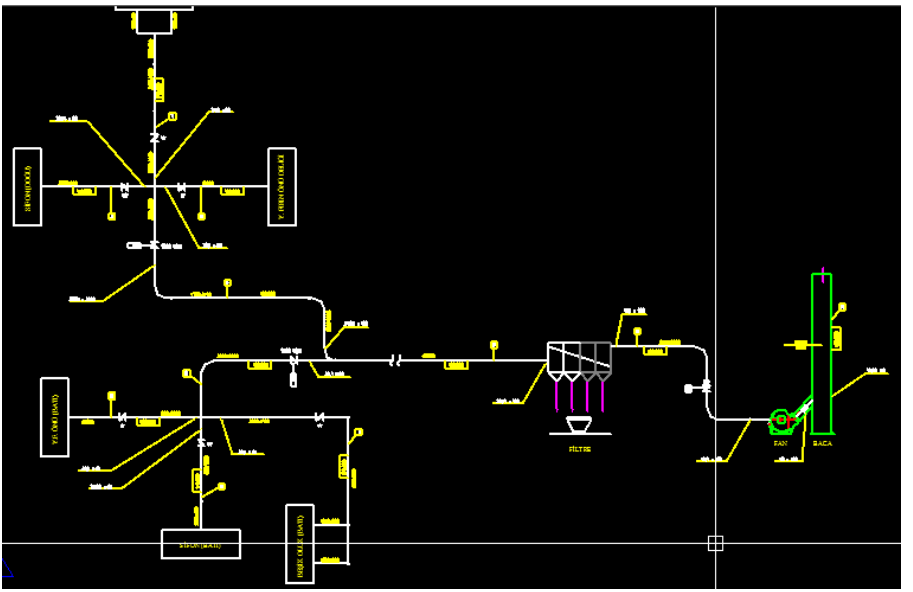
*basınçlı daha uzun süreli şoklama havası mı daha uygundur?* gibi sorulara cevap aranmalıdır. Çünkü basınçlı hava basıncının düşürülmesi enerji verimliliğinin artmasında önemli parametrelerdendir. Filtre (torba) basınç kaybı 50-80 mmSS arasında değişmesi uygundur. Basınçlı havanın basıncının ise 0,1-0,4 MPa arasında değişmesi enerji verimliliği açısından uygundur. Torba ömrünün artması enerji tüketiminin azalması ve partikül tutumunun artırılması buradaki hedeflerdir. Örneğin PTFE membran torbalar normal koşullarda 5 yıl civarında ömür sağlamaktadır. Böyle bir torba ile personel ve işletme maliyetleri de azalacaktır.

### 13.6.4. Sulu Filtre Sistemleri

Sulu filtre sistemleri de özel durumlarda uygulanmaktadır. Bu sistemlerde de emisyonun garanti edilmesi kadar enerji verimliliğine de dikkat edilmesi gerekmektedir.

### 13.6.5. Mevcut Filtre Sistemlerinin İyileştirilmesi

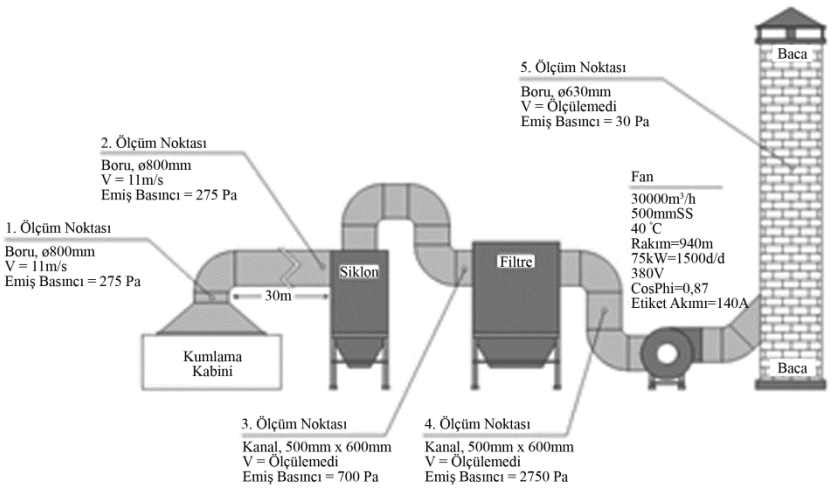
Mevcut sistemlerin iyileştirilmesi (retrofit) çalışmaları öncelikle mevcut sistemin ölçümü ile başlar. Bu çerçevede emiş noktaları dahil sıcaklık, basınç; filtre girişinden sıcaklık, basınç, nem; filtre çıkışından sıcaklık ve basınç; bacada basınç, sıcaklık ve debi, basınçlı hava hattından debi, sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılmalıdır. Böylece yeterli sayıda data toplanır ve Şekil 13.2'deki gibi bir basınç kaybı diyagramı oluşturulur. Ayrıca, çok noktadan emiş yapılan sistemlerde Şekil 13.7'deki gibi bir balans diyagramı oluşturulmalıdır. Oluşturulan balans diyagramından kritik devre belirlenip fan basıncı kontrol edilmelidir.



*Şekil 13.7. Çok noktadan emişli bir filtre sisteminde tipik balans diyagramı.*

*Örnek:*

Şekil 13.8'de bir döküm kumlama tesisinde bulunan bir filtre sisteminde yapılan ölçümler görülmektedir. Bu sistemin etiket değerleri 30 000 $m^3/h$ debi ve 500 mmSS basınç şeklindedir.




*Şekil 13.8. Mevcut bir sistemde ölçüm.*

Sahada yapılan ölçümlerden sonra hesaplar yapılmaktadır. Bu sistemin ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesine ilişkin hesaplar Şekil 13.9'da verilmiştir.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Eşdeğer çap : | 670 | mm | Standart hava yoğunluğu ( wet ) : | 1.293 | kg/Nm$^3$ |
| Toz tane çapı : | 0 | mm | | | |
| Kanal kesit alanı: | 0.352 | m² | Standart atmosfer bas | 1022.00 | mbar, hPa |
| | | | | 25ºC | |
| Ölçüm sayısı : | 12 | | Rakım | 1000.0 | m |

Nem oranı: #SAYI/0! %

| Ölçüm no: | 1. aks dinamik basınç | | Birinci aks ortalaması | 2. aks dinamik basın | | İkinci aks ortalaması | ölçüm noktasındaki sıcal | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | P (1) | P (2) | | P (1) | P (2) | | | |
| | mmSS | mmSS | | mmSS | mmSS | | | |
| 1 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 2 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 3 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 4 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 5 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 6 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 7 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 8 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 9 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 10 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 11 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |
| 12 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 35 | °C |

**Sonuçlar :**

| | | |
|---|---|---|
| Gerçek debi : | 22,318 | m3/ h (yaş) |
| Normal debi : | 21,833 | Nm3/ h (yaş) |
| Normal debi : | 0 | Nm3/ h (kuru) |
| Ortalama gaz hızı : | 17.59 | m/sn |

| | | | |
|---|---|---|---|
| yoğunluk = 90000/((287X(273+35)) | : | 1.02 | Kg/m3 |
| Emişte statik basınç | : | 275 | mmSS |
| Basmada statik basınç | : | 30 | mmSS |
| Çekilen akım | : | 138 | Amper |
| Voltaj | : | 380 | volt |

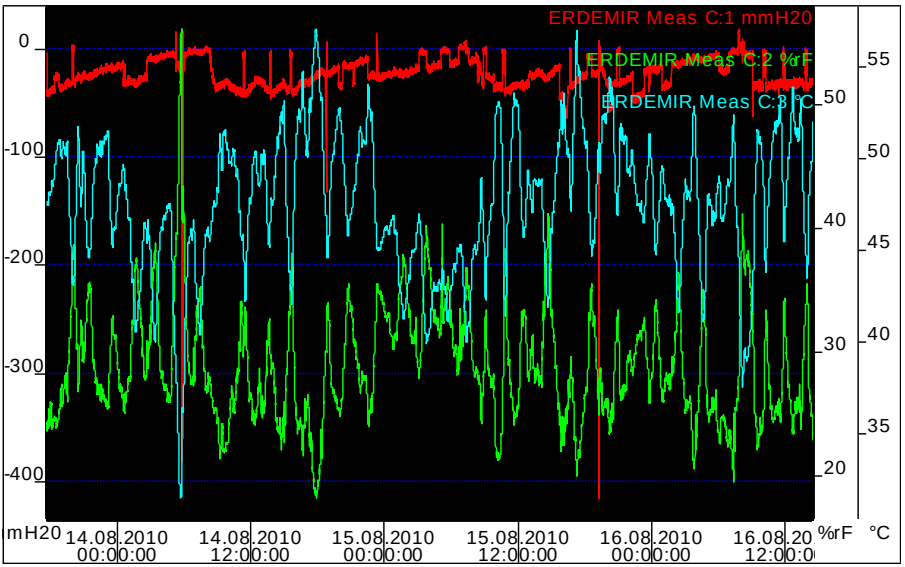
| | |
|---|---|
| *Elektriksel güç (şebekeden çekilen güç, kW)=(1.73XAXVXCosPHI/100* | 78.9 |
| *Hidrolik güç=Nh=VxDP/(3600x102)* | 18.5 |
| *Toplam verim=nt=(Nh/Nel)x100* | 23.5 |
| *Fan verimi=nf=nt/(0.93x0.94)* | 26.9 |

Şekil 13.9. Ölçümü yapılan sistemin performans hesapları.

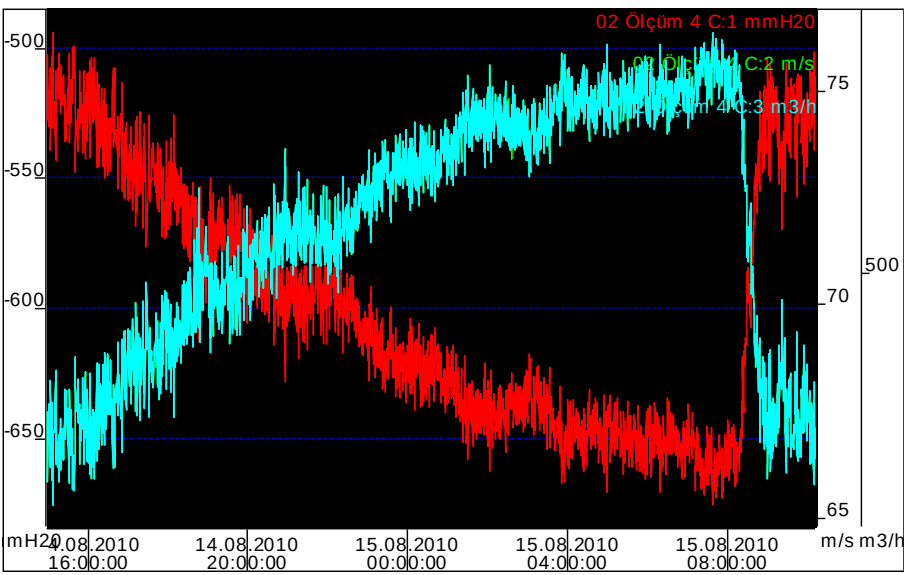
Görüldüğü üzere etiket değeri 30 000 m$^3$/h debi ve 500 mmSS basınç olan sistemin ölçüm değerleri 22 300 m$^3$/h debi ve 300 mmSS basınç şeklindedir. Buna karşın fanın elektrik motoru şebekeden 140 amper (78 kW) çekmektedir. Görüldüğü üzere fan yaklaşık %26 verim ile çalışmaktadır. Yani 78 kW elektrik gücünün ancak 23.5 kW'ı faydalı enerjiye

dönüşebilmektedir. Ekonomiklik hesaplarında sistemin yılda 7000 saat çalıştığı ve elektrik birim fiyatının 0,25 TL/kWh olduğu kabul edilebilir. Buna göre bu sistemdeki yıllık parasal kayıp; yaklaşık olarak (%75-%26)x78 kWx7000x0,25=) 66 800 TL olmaktadır. Buna basınçlı hava tarafındaki olası verimsizlik dahil değildir. Buradaki 1 yıllık kayıp sistemin yaklaşık olarak komple yenilenmesini sağlayacak değerde olup, sonraki yıllar kar anlamına gelmektedir. **Bu durum mevcut filtre ve fan sistemlerinin enerji verimli bakımından incelenmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.** Diğer yandan mal sahibii durumun farkında olmadığı için sistem bu şekilde çalışmıştır. Ülkemizde bu şekilde çok sayıda filtre sistemi bulunduğu değerlendirilmektedir.

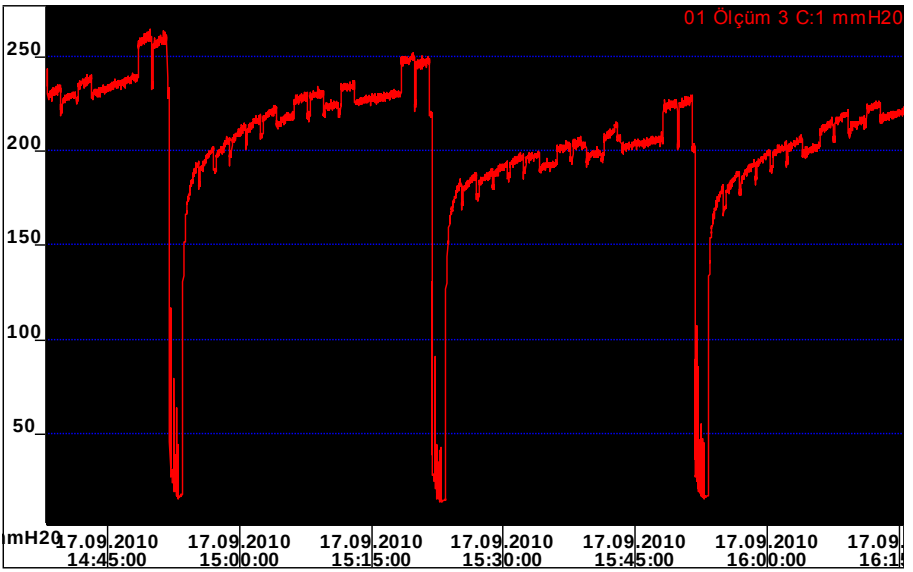
Tüm filtre sistemlerinde basınç, sıcaklık gibi parametreler zamana bağlı değişim gösterir. Bunun nedeni kompartmanlardaki şoklama, türbülanslar, emiş noktalarında sıcaklık, basınç değişimleri ve damper operasyonlarıdır. Mevcut sistemlerde sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için sistemin zamana bağlı bu karakteristiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Sistemden yeterli süre ile kayıt alındığı takdirde enerji tüketimi, filtre öncesi ve sonrası boru hatlarındaki, filtre içindeki basınç kayıpları ve hava debileri daha sağlıklı biçimde tespit edilebilmektedir. Bu kayıtların değerlendirilmesi ile fan verimliliklerinin hesabı, tasarruf potansiyellerinin hesabı yapılabilmektedir. Şekil 13.10'da tarafımızca analiz amacıyla bir filtre sisteminde yapılan ölçüm kayıtları görülmektedir.



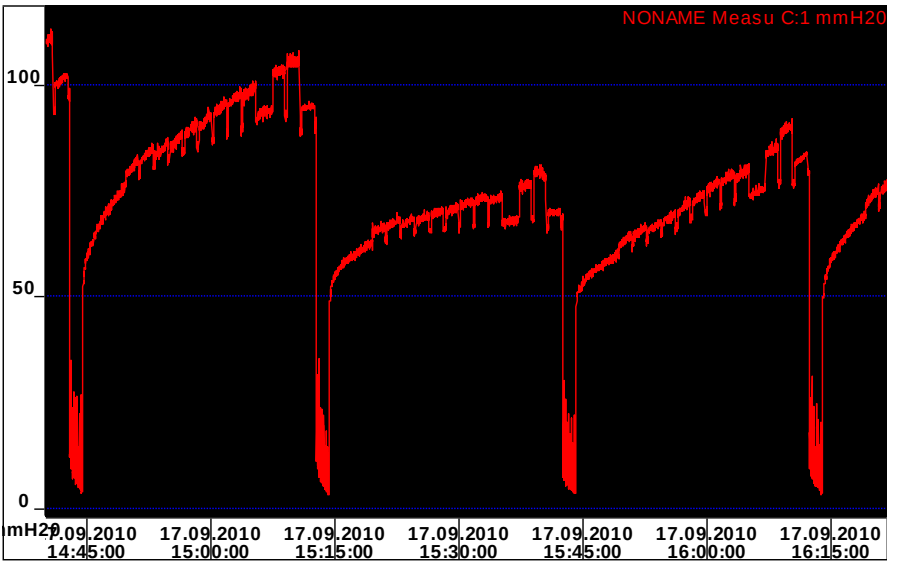

Şekil 13.10a. Birinci yüksek fırın **filtre girişinde** sıcaklık, basınç ve bağıl nemin zamanla değişimi.




Şekil 13.10b. **Filtre çıkışında** sıcaklık ve basıncın zamanla değişimi.

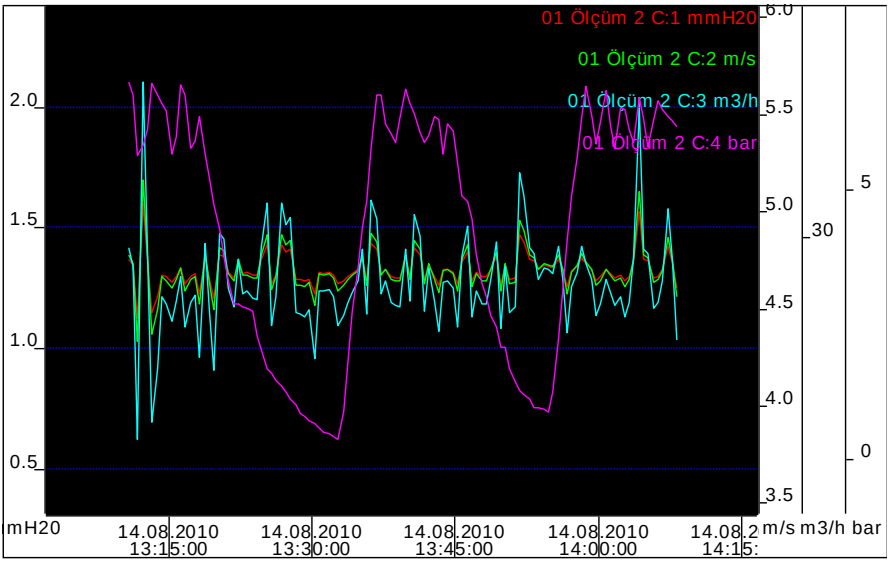



Şekil 13.10c. Torbaları eski olan bir kompartmanda torbalardaki fark basınç.

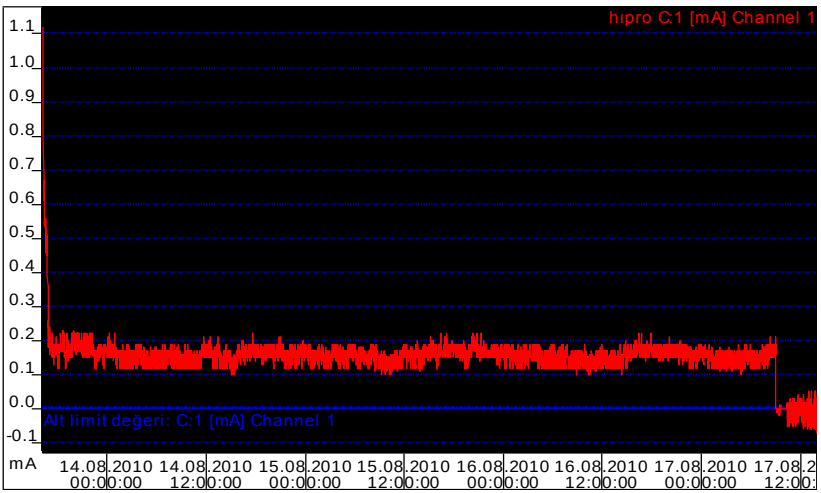



Şekil 10d. Torbaları yeni değişmiş bir kompartmanda torbalardaki fark basınç.

Yukarıdaki örnekte görüldüğü üzere, torbaları eski olan kompartmanda fark basınç 200-240 mmSS civarındadır (ki bu çok yüksektir). Torbaları yeni olan kompartmanda ise 50-100 mmSS civarındadır. Şekil 9a'da görüldüğü üzere ölçüm yapılan bu sistemde temizlik periyodu 30 dakika civarındadır.




Şekil 13.10e. **Basınçlı hava** hattında sıcaklık ve basıncın zamanla değişimi.




Şekil 13.10f. B**asınçlı hava** hattında debimetre pulse'larının zamanla değişimi.

Torbalardaki basınç kayıpları temizlik süresi azaltılarak, stoktaki standart torbaların değiştirme periyodu kısaltılarak veya torbalar yeni satın alındıkça teflon membranlı tiplerle değiştirilerek, basınçlı havanın basıncı azaltılarak basınç kayıpları azaltılabilir. Böylece fosil enerji tüketimi ve bundan kaynaklanan $CO_2$ emisyonları azaltılabilir. Ancak mevcut sistemlerde ölçüm ve analizler yapılmadan gerçekleştirilecek değişiklikler amacına ulaşamayabilir.

# EKLER

## EK.1 BİRİM DÖNÜŞÜMLERİ

| **İvme** | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Çarpan** |
| Foot/saniye$^2$ | Metre/saniye$^2$ | 3.048 E -1* |
| Serbest düşme, standart | Metre/saniye$^2$ | 9.806 E + 0* |
| Gal (galileo) | Metre/saniye$^2$ | 1.00 E -2* |
| Inch/saniye$^2$ | Metre/saniye$^2$ | 2.54 E -2* |

| **Alan** | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Değer** |
| Acre | Metre$^2$ | 4.046 E + 3* |
| Are | Metre$^2$ | 1.00 E + 2* |
| Barn | Metre$^2$ | 1.00 E -28* |
| Foot$^2$ | Metre$^2$ | 9.290 E -2* |
| Hektar | Metre$^2$ | 1.00 E -4* |
| Inch$^2$ | Metre$^2$ | 6.54 E -4* |
| Mile$^2$ (U.S. statude) | Metre$^2$ | 2.589 E +6* |
| Section | Metre$^2$ | 2.589 E +6* |
| Township | Metre$^2$ | 9.323 E +7* |
| Yard$^2$ | Metre$^2$ | 8.361 E -1* |

| **Yoğunluk** | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Değer** |
| gr/cm$^3$ | kg/m$^3$ | 1.00 E +3* |
| lbm/inch$^3$ | kg/m$^3$ | 2.767 E +4* |
| lbm/foot$^3$ | kg/m$^3$ | 1.61 E +1* |
| slug/foot$^3$ | kg/m$^3$ | 5.13 E +2* |

**Enerji**

| Birim | Birim | Değer |
|---|---|---|
| İngiliz Termal Birimi (thermokimyasal) | joule | 1.055 E +3* |
| Calorie (International buhar tablosu) | joule | 1.054 E +3* |
| Calorie (Thermokimyasal) | joule | 4.184 E +0* |
| Kalorie (kilogram, International buhar tablosu) | joule | 4.18 E +3* |
| Kalori (kilogram, thermokimyasal) | joule | 4.184 E +3* |
| Electron Volt | joule | 1.602 E -19* |
| Erg | joule | 1.00 E -7* |
| Foot lbf | joule | 1.355 E +0* |
| Foot poundal | joule | 4.214 E -2* |
| Joule (International, 1948) | joule | 1.000165 E +0* |
| Kilokalori (International buhar tablosu) | joule | 4.1868 E +3* |
| Kilokalori (Thermokimyasal) | joule | 4.184 E +3* |
| Kilowatt saat | joule | 3.6 E+6* |
| Watt saat | joule | 3.6 E+6* |

**Kuvvet**

| Birim | Birim | Değer |
|---|---|---|
| Dyne | Newton | 1.00 E -5* |
| Kilogram kuvvet (kgf) | Newton | 9.806 E +0* |
| Kilopond kuvvet | Newton | 9.806 E +0* |
| Kip | Newton | 4.448 E +3* |
| Ibf (gram kuvvet, avoirdupois (ağırlık) | Newton | 4.448 E +0* |
| Ounce force (avoirdupois) | Newton | 2.78 E -1* |
| Pound force, lbf (avoirdupois) | Newton | 4.448 E+0* |
| Poundal | Newton | 1.382 E -1* |

| **Uzunluk**<br>**Birim** | **Birim** | **Değer** |
|---|---|---|
| Angstrom | Metre | 1.00 E -10* |
| Astronomik birim (IAU) | Metre | 1.496 E +11* |
| Cubit | Metre | 4.572 E -1* |
| Fathom | Metre | 1.828 E +0* |
| Foot | Metre | 3.048 E -1* |
| furlong | Metre | 2.011 E +2* |
| Hand | Metre | 1.016 E -1* |
| Inch | Metre | 2.54 E -2* |
| League (international nautical) | Metre | 5.556 E +3* |
| Işık yılı | Metre | 9.46 E +15* |
| Metre | Dalga boyu Kr 86 | 1.650 E +6* |
| Mikron | Metre | 1.00 E-6* |
| Mil | Metre | 2.54 E -5* |
| Mil (U.S. Statute) | Metre | 1.609 E +3* |
| Nautical mile (U.S) | Metre | 1.852 E +3* |
| Rod | Metre | 5.0292 E+0* |
| Yard | Metre | 9.144 E-1* |

| **Kütle**<br>**Birim** | **Birim** | **Değer** |
|---|---|---|
| Carat (metric) | kilogram | 2.00 E -4* |
| Grain | kilogram | 6.479 E-5* |
| Gram | kilogram | 1.00 E-3* |
| Once mass | kilogram | 2.834 E -2* |
| Pound mass | kilogram | 4.535 E-1* |
| Slug | kilogram | 1.459 E +1* |
| Ton (long) | kilogram | 1.016 E+3* |
| Ton (metrik) | kilogram | 1.00 E+3* |
| Ton (kısa, 2000 pound) | kilogram | 9.071 E+2* |
| Tonne | kilogram | 1.00 E+3* |

| Güç | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Değer** |
| Btu (termokimyasal)/saniye | Watt | 1.054 E +3* |
| Kalori (termokimyasal)/saniye | Watt | 4.184 E+0* |
| Foot Ibf/second | Watt | 1.355 E+0* |
| Beygirgücü (550 foot Ibf/saniye) | Watt | 7.456 E+2* |
| Kilokalori (termokimyasal )/saniye | Watt | 4.184 E+3* |
| Watt (international, 1948) | Watt | 1.00 E +0* |

| Basınç | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Değer** |
| Atmosfer | newton/metre² | 1.01325 E+5* |
| Bar | newton/metre ² | 1.00 E+5* |
| Santimetre Hg (civa) (0°C) | newton/metre² | 1.00 E-1* |
| Santimetre Hg (civa) (4°C) | newton/metre² | 1.33 E+3* |
| Dyne/santimetre² | newton/metre² | 9.806 E+1* |
| foot SS (39.2°F) | newton/metre² | 1.00 E-1* |
| Inch Hg (39.2°F) | newton/metre² | 2.988 E+3* |
| Inch Hg (39.2°F) | newton/metre² | 3.386 E+3* |
| Inch SS (su stunu) (60°F) | newton/metre² | 3.376 E+3* |
| kgf/santimetre² | newton/metre² | 2.49 E+2* |
| kgf/metre² | newton/metre² | 9.806 E+4* |
| Ibf/foot² | newton/metre² | 4.788 E+1* |
| Ibf/inch² (psi) | newton/metre² | 6.894 E+3* |
| Milibar | newton/metre² | 1.00 E+2* |
| Milimetre Hg (0°C) | newton/metre² | 1.33 E+2* |
| Pascal | newton/metre² | 1.00 E+0* |
| Psi (Ibf/inch²) | newton/metre² | 6.894 E+3* |
| Torr (0°C) | newton/metre² | 1.33 E+2* |

| **Hız** | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Değer** |
| Foot/saniye | Metre/saniye | 3.048 E -1* |
| Inch/Saniye | Metre/saniye | 2.54 E-2* |
| Kilometre/saat | Metre/saniye | 2.77 E-1* |
| Knot (international) | Metre/saniye | 5.144 E-1* |
| Mil /saat (U.S. State) | Metre/saniye | 4.470 E-1* |

| **Sıcaklık** | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Değer** |
| Celsius | Kelvin | $t_K=(t_C+273.15)$ |
| Fahrenheit | Kelvin | $t_K=(5/9)(t_F+459.67)$ |
| Fahrenheit | Celsius | $t_K=(5/9)(t_F-32)$ |
| Rankine | Kelvin | $T_K=(5/9)t_R$ |

| **Zaman** | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Değer** |
| Gün (ortama güneş) | Saniye (ortama güneş) | 8.64 E +4* |
| Saat (ortalama güneş) | Saniye (ortama güneş) | 3.60 E+3* |
| Dakika (ortalama güneş) | Saniye (ortama güneş) | 6.00 E +1* |
| Yıl (takvim) | Saniye (ortama güneş) | 3.15 E+7* |

| **Viskozite** | | |
|---|---|---|
| **Birim** | **Birim** | **Değer** |
| Centistoke | Metre²/Saniye | 1.00 E-6* |
| Stoke | Metre²/Saniye | 1.00E-4* |
| Foot²/saniye | Metre²/ Saniye | 9.29 E-2* |
| Centipoise | Newton saniye/metre² | 1.00 E-3* |
| Ibm/foot saniye | Newton saniye/metre² | 1.488 E+0* |
| Ibf saniye/foot² | Newton saniye/metre² | 4.78 E+1* |
| Poise | Newton saniye/metre² | 1.00 E-1* |
| Poundal saniye/foot² | Newton saniye/metre² | 1.48 E+0* |
| Slug/foot saniye | Newton saniye/metre² | 4.78 E+1* |
| Rhe | Metre²/ Newton saniye | 1.00 E+1* |

| **Hacim**<br>**Birim** | **Birim** | **Değer** |
|---|---|---|
| Acre foot | Metre³ | 1.233 E+3* |
| Barrel (petrol, 42 gallons) | Metre³ | 1.589 E-1* |
| Board foot | Metre³ | 2.359 E-3* |
| Bushel (U.S) | Metre³ | 3.52 E-2* |
| Cord | Metre³ | 3.624 E+0* |
| Cup | Metre³ | 2.365 E-4* |
| Dram (U.S. fluid) | Metre³ | 3.69 E-6* |
| Fluid ounce (U.S.) | Metre³ | 2.957 E-5* |
| Foot³ | Metre³ | 2.831 E-2* |
| Gallon (U.K.akışkan) | Metre³ | 4.54 E-3* |
| Gallon (U.S. sıvı) | Metre³ | 3.78 E-3* |
| Inch³ | Metre³ | 1.63 E-5* |
| Litre | Metre³ | 1.00 E-3* |
| Ounce (U.S. fluid) | Metre³ | 2.95 E-5* |
| Peck (U.S.) | Metre³ | 8.809 E-3* |
| Pint(U.S. liquid) | Metre³ | 4.73 E-4* |
| Quart (U.S. liquid) | Metre³ | 9.46 E-4* |
| Stere | Metre³ | 1.00 E+0* |
| Tablespoon | Metre³ | 1.478 E-5* |
| Teaspoon | Metre³ | 4.928 E-6* |
| Yard³ | Metre³ | 7.645 E-1* |

# EK.2 BAZI METALLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

**BAZI METAL KATILARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

| Bileşim | Ergime Noktası (K) | 300 K'de Özellikler | | | | Değişik Sıcaklıklarda (K) Özellikleri | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | K( W/Mk) $c_p$(J/kg.K) | | | | | | |
| | | ρ (kg/m³) | Cp (Jkg.K) | K (W/m.K) | $\alpha 10^6$ (m²/sn) | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 |
| Alüminyum Saf | 933 | 2702 | 903 | 237 | 97.1 | 302 | 237 | 240 | 231 | 218 | | |
| | | | | | | 482 | 798 | 949 | 1033 | 1146 | | |
| Alaşım 2024-T6 | 775 | 2770 | 875 | 177 | 73 | 65 | 163 | 186 | | | | |
| (%4.5 Cu, %1.5 Mg., %0.6 Mn.) | | | | | | 473 | 787 | 925 | 1042 | | | |
| Alaşım 195, Dökme ( %4.5 Cu) | | 2790 | 883 | 168 | 68.2 | | | 174 | 185 | | | |
| Krom | 2118 | 7160 | 449 | 93.7 | 29.1 | 159 | 111 | 90.9 | 80.7 | 71.3 | 65.4 | 61.9 |
| | | | | | | 192 | 384 | 484 | 542 | 581 | 616 | 682 |
| Demir, Saf | 1810 | 7870 | 447 | 80.2 | 23.1 | 134 | 94 | 69.5 | 54.7 | 43.3 | 32.8 | 28.3 |
| | | | | | | 216 | 384 | 490 | 574 | 680 | 975 | 609 |
| Karbonlu Çelikler, Sade Karbon | | 7854 | 434 | 60.5 | 17.7 | | | 56.7 | 48 | 39.2 | 30 | |
| Mn≤%1.Si≤%0.1 | | | | | | | | 487 | 559 | 685 | 1169 | |
| AISI 1010 | | 7832 | 434 | 63.9 | 18.8 | | | 58.7 | 48.8 | 39.2 | 31.2 | |
| | | | | | | | | 487 | 559 | 685 | 1168 | |
| Düşük Kromlu Çelikler ½ Cr- ¼ Mo-Si | | 7822 | 444 | 37.7 | 10.9 | | | 38.2 | 36.7 | 33.3 | 26.9 | |
| %0.18C, %0.65Cr,%23Mo,%0.6 Si | | | | | | | | 492 | 575 | 688 | 969 | |
| 1Cr- ½ Mo | | 7858 | 442 | 423 | 12.2 | | | 42 | 39.1 | 34.5 | 27.4 | |
| (%0.16C, %1Cr,%0.54Mo,%0.39 Si) | | | | | | | | 492 | 575 | 688 | 969 | |
| 1Cr-V | | 7836 | 443 | 48.9 | 14.1 | | | 46.8 | 42.1 | 36.3 | 28.2 | |
| (%0.2C, %1.2Cr, %0.15 V) | | | | | | | | 492 | 575 | 688 | 969 | |
| Paslanmaz Çelikler , AISI-304 | | 8055 | 480 | 15.1 | 3.91 | | | 17.3 | 20 | 22.8 | 25.4 | |
| AISI 304 | 1670 | 7900 | 477 | 14.9 | 3.95 | 9.2 | 12.6 | 16.6 | 19.8 | 22.6 | 25.4 | |
| AISI 316 | | 8238 | 463 | 13.4 | 3.48 | | | 15.2 | 18.3 | 21.3 | 24.2 | |
| AISI 347 | | 7978 | 480 | 14.2 | 3.71 | | | 15.8 | 18.9 | 21.9 | 24.7 | |
| | | | | | | | | 513 | 559 | 585 | 606 | |
| Magnezyum | 923 | 1740 | 1024 | 156 | 87.6 | 169 | 159 | 153 | 149 | 146 | | |
| | | | | | | 649 | 934 | 1074 | 1170 | 1267 | | |
| Molibden | 2894 | 10240 | 251 | 138 | 53.7 | 179 | 143 | 134 | 126 | 118 | 112 | 105 |
| | | | | | | 141 | 224 | 261 | 275 | 285 | 295 | 308 |
| Nikel, Saf | 1728 | 8900 | 444 | 90.7 | 23 | 164 | 107 | 80.2 | 65.6 | 67.6 | 71.8 | 76.2 |
| | | | | | | 232 | 383 | 485 | 592 | 530 | 562 | 594 |
| Ni-Krom | 1672 | 8400 | 420 | 12 | 3.4 | | | 14 | 16 | 21 | | |
| %80 Ni,%20 Cr | | | | | | | | 480 | 525 | 545 | | |
| İncomel, X-750 | 1665 | 8510 | 439 | 11.7 | 3.1 | 8.7 | 10.3 | 13.5 | 17 | 20.5 | 24 | 27.6 |
| %73 Ni%15 Cr,%6.7 Fe) | | | | | | | 372 | 473 | 510 | 546 | 626 | |
| Titanyum | 1953 | 4500 | 522 | 21.9 | 9.32 | 30.5 | 24.5 | 20.4 | 19.4 | 19.7 | 20.7 | 22 |
| | | | | | | 300 | 465 | 551 | 591 | 633 | 675 | 620 |
| Çinko | 693 | 7140 | 389 | 116 | 41.8 | 117 | 118 | 111 | 103 | | | |

## EK.3 HAVANIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| ATMOSFER BASINCINDA HAVANIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T (K) | ρ (kg/m$^3$) | cp (kj/kg.K) | μ.10$^7$ (N.s/m$^2$) | ν.10$^6$ (m$^2$/s) | k.10$^3$ (W/m.k) | α.10$^6$ (m$^2$/s) | Pr |
| 100 | 3.5562 | 1.032 | 71.1 | 2 | 9.34 | 2.54 | 0.786 |
| 150 | 2.3364 | 1.012 | 103.4 | 4.426 | 13.8 | 5.84 | 0.758 |
| 200 | 1.7458 | 1.007 | 132.5 | 7.59 | 18.1 | 10.3 | 0.737 |
| 250 | 1.3947 | 1.006 | 159.6 | 11.44 | 22.3 | 15.9 | 0.72 |
| 300 | 1.1614 | 1.007 | 184.6 | 15.89 | 26.3 | 22.5 | 0.707 |
| 350 | 0.995 | 1.009 | 208.2 | 20.92 | 30 | 29.9 | 0.7 |
| 400 | 0.8711 | 1.014 | 230.1 | 26.41 | 33.8 | 38.3 | 0.69 |
| 450 | 0.774 | 1.021 | 250.7 | 32.39 | 37.3 | 47.2 | 0.686 |
| 500 | 0.6964 | 1.03 | 270.1 | 38.79 | 40.7 | 56.7 | 0.684 |
| 550 | 0.6329 | 1.04 | 288.4 | 45.57 | 43.9 | 66.7 | 0.683 |
| 600 | 0.5804 | 1.051 | 305.8 | 52.69 | 46.9 | 76.9 | 0.685 |
| 650 | 0.5356 | 1.063 | 322.5 | 60.21 | 49.7 | 87.3 | 0.69 |
| 700 | 0.4975 | 1.075 | 338.8 | 68.1 | 52.4 | 98 | 0.695 |
| 750 | 0.4643 | 1.087 | 354.6 | 76.37 | 54.9 | 109 | 0.702 |
| 800 | 0.4354 | 1.099 | 369.8 | 84.93 | 57.3 | 120 | 0.709 |
| 850 | 0.4097 | 1.11 | 384.3 | 93.8 | 59.6 | 131 | 0.716 |
| 900 | 0.3868 | 1.121 | 398.1 | 102.9 | 62 | 143 | 0.72 |
| 950 | 0.3666 | 1.131 | 411.3 | 112.2 | 64.3 | 155 | 0.723 |
| 1000 | 0.3482 | 1.141 | 424.4 | 121.9 | 66.7 | 168 | 0.726 |
| 1100 | 0.3166 | 1.159 | 449 | 141.8 | 71.5 | 195 | 0.728 |
| 1200 | 0.2902 | 1.175 | 473 | 162.9 | 76.3 | 224 | 0.728 |
| 1300 | 0.2679 | 1.189 | 496 | 185.1 | 82 | 238 | 0.719 |
| 1400 | 0.2488 | 1.207 | 530 | 213 | 91 | 303 | 0.703 |
| 1500 | 0.2322 | 1.23 | 557 | 240 | 100 | 350 | 0.685 |
| 1600 | 0.2177 | 1.248 | 584 | 268 | 106 | 390 | 0.688 |
| 1700 | 0.2049 | 1.267 | 611 | 298 | 113 | 435 | 0.685 |
| 1800 | 0.1935 | 1.286 | 637 | 329 | 120 | 482 | 0.683 |
| 1900 | 0.1833 | 1.307 | 663 | 362 | 128 | 534 | 0.677 |
| 2000 | 0.1741 | 1.337 | 689 | 396 | 137 | 589 | 0.672 |
| 2100 | 0.1658 | 1.372 | 715 | 431 | 147 | 646 | 0.667 |
| 2200 | 0.1582 | 1.417 | 740 | 468 | 160 | 714 | 0.655 |
| 2300 | 0.1513 | 1.478 | 766 | 506 | 175 | 783 | 0.647 |
| 2400 | 0.1448 | 1.558 | 792 | 547 | 196 | 869 | 0.63 |
| 2500 | 0.1389 | 1.665 | 818 | 589 | 222 | 960 | 0.613 |
| 3000 | 0.1135 | 2.726 | 955 | 841 | 486 | 1570 | 0.536 |

# KAYNAKLAR

[1] ASHRAE, 1995, “Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practices”, 22nd edition.
[2] Heamon, H. C. G.,1960, “Process Ventilation”, The Industrial Press, New York.
[3] U. S. Environmental Protection Agency.,2001, “Guide to Industrial Assesment for Pollution Prevention and Energy Efficiency”, Ohio.
[4] Kreith, F., Bohn, M. S., 1986, “Principles of Heat Transfer”, Harper& Row Pubilisher, New York.
[5] Coopre, G. Polizzi, C.J., Nov, D. R. J,2001, “Optimizing Kiln Opretions By Improving Baghouse Performance”, American Cement Magazine.
[6] Munson, B., Young, D. F., Okıishı, T.H.,1990, “Fundamentals of Fluid Mechanic”, John Wiley S., New York.
[7] Godish, T., 2004, “Air Quality”, Lewis Publisher., New York.
[8] Keith, F.,2002, “Air Pollution Control Tecnology Handbook”, New York.
[9] Jones, J., C., 2008, “Atmospheric Pollution”, Johnes & Ventus Publishing APS. (ISBN: 978-87-7681-416-89).
[10] Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B.,1994, “Fundamentals of Air Pollution”, Academic Press, New York.
[11] Alden, J. L.,1959, “Design of Industrial Exhaust Systems”, The Industrial Press, New York.
[12] “ASHRAE Temeller El Kitabı”, 2000, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Yayını (TTMD) No:2, Ankara.
[13] “ASHRAE Uygulama El Kitabı”, 2003, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Yayını No:16, İstanbul.
[14] “ASHRAE Sistemler ve Ekipmanlar El Kitabı”, 2006, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Yayını No:17, İstanbul.
[15] “Isıtma+Klima Tekniği Elk Kitabı- RECKNAGEL”, 2003, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Yayını No:11, İstanbul.
[16] Corbitt, R., A.,1960, “Standard Handbook of Environmental Control”, Mc. Graw-Hill Book Co., New York.
[17] Çakmanus, İ., 2009, “Endüstriyel Fanlar: Tasarım, İmalat ve Enerji Verimliliği”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Yayını No:23, İstanbul.
[18]. Park, J.S., Chai, H.C., Park, O.Y. , San. E. J, 2003, “Effects of a shroud Tube on Flowfield and Particle Behaviour inside a Bag-Filter Veriel.” Aerosol Science and Technology 37:685-693/2003).

[19]. Lin, Y, W, Wang, C, L, Wang F.Y. , Li, W.H., C.C,P,G, 2008 " Removal Characteristics of PCDD/Fs By The Dual Bag Filter System Of A Fly Ash Treathment Plant", Journal of Harardaus Material, 153(2008) 1015 – 1022.
[20]. Mc Kenna, J.D. , and J.H. Turner, 1989, "Fabric filter – Baghouse: Theory, Design and Selection", Roanohe, VA: ETS.
[21]. MMO, 2005,"Basınçlı Hava Tesisatı ve Kompresörler, MMO Yayın No: 243/2, İstanbul.
[22] D.Leith,M.W.First and H.Feldman:"Performance of a Pulse-Jet at High Velocity Filtration II,Filter Cake Redeposition". J.Air Pollut.Control Assoc. 28:696(Luly 1978)
[23] E.beake: "Optimizing Filtration Parameters". J.Air Pollut.Control assoc.24:1150 (1974)
[24] D.Leith, D.D.Gibson and M.W.First" performance of Top and Bottom Inlet Pulse-Jet Fabric Filters" J.Air Pollut.Control assoc.24:1150 (1974)
[25] American Society of Heating,Refrigerating, and Air Conditioning Engineers; Method of Testing Cleaning Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter ASHRAE Publication 52-76;ASHRAE 1791 Tulie Center, NE Atalanta, GA 30 329 (May 1976)
[26] National Council on Radiation Protection and Measurement: NCRP Report No:39.Basic Radiation Protection Criteria.NCRP Report No:39,NCRP Publications,7190 Woodmont Ave.,Suite 1016,bethesda,MD 20814 (January 15,1971
[27] National Fire Protection Association: Guide for Explosion Venting: NFPA 68-1978.NFPA 68-1978.NFPA Batterymach Park,Quincy,MA 02269 (1978)

## Yazar Hakkında

Dr. İbrahim ÇAKMANUS 1960 Giresun doğumludur. Makina Mühendisliği bölümlerinde olmak üzere KTÜ'de lisans, ODTÜ'de yüksek lisans, Gazi Üniversitesi'nde doktara yapmıştır.



1983-1991 yılları arasında Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü'nde (DLH) ve 1992-2008 yılları arasında T.C. Merkez Bankası A.Ş.'de makine mühendisi olarak çalışmıştır. DLH'da Petrol Boru Hatları konusunda, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası'nda mevcut binaların renovasyonları ve yapımı işlerinde görev almıştır.

Halen iş yaşamını binalarda ve sanayide enerji verimliliği (proje ve etüt) ve HVAC alanlarında serbest mühendis olarak sürdürmektedir. "Binalarda Sürdürülebilirlik: Ömür Boyu Maliyete İlişkin Yaklaşımlar" adlı kitabın yazarlarındandır. Ayrıca yayınlanmış teknik makaleleri bulunmaktadır.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), Makina Mühendisleri Odası, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Isı Bilimi ve Tekniği Derneği ve Uygulamaları, Termodinamik Derneği üyesidir.







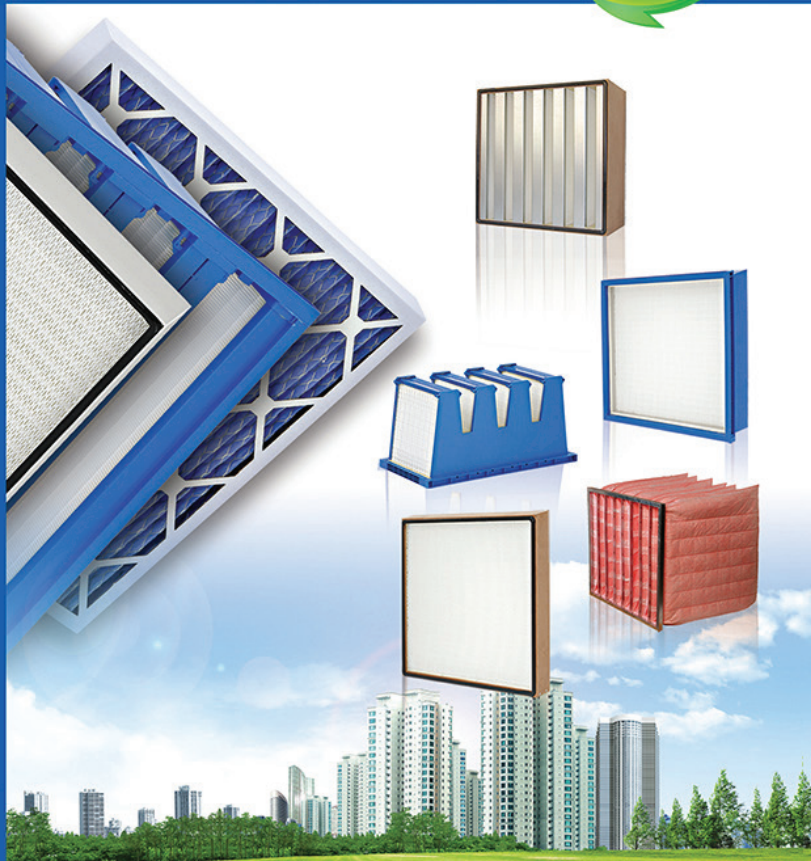


MGT®

AIR FILTERS

# Dünyanın Havasını Temizliyoruz...





## 25 Yıldır Çözüm Ortağıyız

EN 779 - EN-1822 Standartlarında

**FİLTRE ÜRÜN GRUPLARI**

- Rulo Filtreler
- Panel Filtreler
- Torba Filtreler
- Kompakt Filtreler
- Hepa Filtreler
- Aktif Karbonlu Filtreler
- Filtre Sistem ve Aksesuarlar
- Endüstriyel Kartuş Filtreler

www.mgt.com.tr • info@mgt.com.tr

MGT FİLTRE KLİMA TES. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
Akçaburgaz Mah. 46. Sok. No: 1 Kıraç - Esenyurt / İSTANBUL Tel: 444 4 648 - 0212 886 61 77 Fax: 0212 886 99 78