

FİLTRELER VE AYIRICILAR

ZEYNEP ŞAFAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı

Aralık 2005

FILTERS AND SEPERATORS

ZEYNEP ŞAFAK

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of MECHANICAL ENGINEERING

December 2005

FİLTRELER VE AYIRICILAR

ZEYNEP ŞAFAK

Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı

ENERJİ-TERMODİNAMİK Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. YAŞAR PANCAR

Aralık 2005

Zeynep ŞAFAK' ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Filtreler ve ayırıcılar" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof.Dr.Yaşar PANCAR

Üye : Prof.Dr. Kemal TANER

Üye : Yrd.Doç.Dr. İrfan ÜREYEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel işlemlerde oluşan kirli gaz ve tozların atmosfere gönderilmeden önce ayrıştırılıp temizlenmesi amacıyla kullanılan ayrıştırma cihazları incelenmiştir. Siklonlar başta olmak üzere genel çalışma prensipleri ve tasarımı için gerekli parametrelerin hesaplanması anlatılmıştır.

Geçmişten günümüze siklonlar üzerinde yapılan araştırmalar incelenmiş ve araştırmacıların elde ettiği sonuçlara göre tasarladıkları siklonlar gösterilmiştir.

SUMMARY

In this thesis, separation and cleaning devices which are used for the contaminated gases and dusts just before the contacting with the atmosphere. Parameters for operation and design have been investigated. Specially the cyclones have been examined in details.

Beside these, all kinds of designs have been handled in order to see closely. The works done by the many investigators.

TEŞEKKÜR

Siklon tasarımı üzerine yapmış olduğum bu alışmada yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Yaşar PANCAR' a ve Yrd.Do.Dr İrfan ÜREYEN'e teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteğini her zaman hissettiğim aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
SEMBOLLER DİZİNİ	xiii
SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)	xiv
SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)	xv
SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)	xvi
SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)	xvii
SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)	xviii
1. GİRİŞ	1
2. FİLTRELER	1
2.1 Filtrenin Tanımı	2
2.1.1 Filtre oranları	2
2.1.2 Filtre verimliliği	4
2.1.3 Filtre geçirgenliği	5
2.1.4 Filtre testleri	8
2.2 Filtre Türleri	9
2.2.1 Emici filtreler	10
2.2.2 Tutan(Adsorbe eden) filtreler	10
2.2.3 Diyafram filtreler	11
2.2.4 Manyetik filtreler	12
2.2.5 Boru hattı filtreleri.....	13
2.2.6 Kanal filtreler	14
2.2.7 Manyetik /Mekanik filtreler	15
2.2.8 Fişek filtreler	16
2.2.9 Sinterlenmiş metal filtreler	16
2.2.10 Mum filtreler	18
2.2.11 Torba filtreler	19
2.2.12 Silindir gövdeli filtreler	19
2.2.13 Dönel diskli vakum filtreler	22
2.2.14 Kayış filtreler.....	23

2.2.15 Plakalı filtreler	23
2.3 Filtre Seçim Klavuzu	26
3. AYIRICILAR (SEPERATÖRLER)	28
3.1 Ayırıcılarda Basınç Kaybı.....	31
4. DİNAMİK AYIRICILAR (SİKLONLAR)	32
4.1 Siklonların Tarihçesi ve Tanımı	32
4.2 Siklonların Çalışma Prensibi	34
4.3 Deneylerde Kullanılan Siklon Tesisatı.....	39
4.4 Siklondaki Basınç Düşüşü	44
4.5 Siklonda Akış Modeli.....	50
4.6 Siklonda Akış Dinamiği Analizi.....	52
4.7 Askıda Kalan Taneciklerin Hareketi	55
4.8 Enerji Kayıpları	55
4.9 Toz Halinde Dağılmış Katıların Ayrıştırılması.....	57
4.10 Siklon Karakteristiklerinde Ortak Noktalar	57
4.11 Siklon Konstrüksiyonunu Etkileyen Faktörler	60
4.12 Siklon ayırıcıların performansı	62
4.13 Standart Siklonlar.....	64
5. HİDROSİKLONLAR (GAZ TEMİZLEYİCİLER).....	66
5.1 Hidrosiklonların Çalışma Prensibi.....	68
5.2 Hidrosiklon performansı	69
5.3 Hidrosiklonlarla ilgili Deney Sonuçları	71
5.4 Hidrosiklon Tesisatının Tasarımı.....	77
5.5 Orifis Gaz Temizleyici için Formülasyon	79
5.5.1 Eulerian/Lagrangian yöntemiyle bir orifis gaz temizleyicinin similasyonu	80
5.5.2 Matematiksel model.....	80
5.5.3 Konsantrasyon özelliği	80
5.5.4 Sıvı damlacık hızı	81
5.5.5 Damlacık konsantrasyonu.....	82
5.5.6 Gaz girdap (Eddy) yayılma gücü.....	82
5.5.7 Hedef verimlilik.....	83
5.5.8 Toplama verimliliği.....	85
5.6 Orifis-tip Gaz Temizleyici için Deney Sonuçları.....	85
6. GAZ-SIVI SİLİNDİRİK SİKLON SEPERATÖRDE İKİ FAZLI DÖNER AKIŞ	89
7. SONUÇ	98
KAYNAKLAR DİZİNİ	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Basınç düşüşünün akış oranına etkisi.....	5
Şekil 2.2 Bir filtrenin sıcaklık eğrileri.....	6
Şekil 2.3 Filtrede zamanla artan kirlilik.....	7
Şekil 2.4 Zamanla basınç düşüş eğrisi.....	7
Şekil 2.5 Boru hattı filtreler	13
Şekil 2.6 Manyetik filtre dizaynı.....	14
Şekil 2.7 Kanallar için manyetik filtre	15
Şekil 2.8 Mum filtreler.....	18
Şekil 2.9 Silindir gövdeli filtre	20
Şekil 2.10 Silindir gövdeli filtre düzeneği	21
Şekil 2.11 Dönel diskli vakum filtre	22
Şekil 2.12 Plakalı filtreler	24
Şekil 3.1 Bir santrifüj örneği.....	28
Şekil 3.2 Temel tabla şekilleri	30
Şekil 4.1 Siklon tasarımı ve adlandırılması	33
Şekli 4.2 Bir siklon seperatör içindeki akış diyagramının şekli.....	33
Şekil 4.3 Tipik siklon ayırıcı.....	35
Şekil 4.4 Bir siklon ayırıcı içindeki ana akışın genel gösterimi	36
Şekil 4.5 X.H Quing tarafından kullanılan tipik bir siklon ayırıcı	37
Şekil 4.6 Hava ve iletim malzemesinin siklondan akışı	38
Şekil 4.7 Siklon sistemi	39
Şekil 4.8 Siklonun boyutları (mm).....	40
Şekil 4.9 Nozul girişi	41
Şekil 4.10 Toz toplayıcı.....	41
Şekil 4.11 Toz besleyiciler	42
Şekil 4.12 Alt akış Sistemi	43
Şekil 3.13 Ana akış filtreleri.....	43
Şekil 4.14 Küçük bir hidrosiklonda düşey hız dağılımı.....	50
Şekil 4.15 Küçük bir siklondaki teğetsel hızlar	51

Şekil 4.16 Bir siklondaki eksenel ve radyal akış çizgileri	58
Şekil 4.17 Multisiklon sistemi	60
Şekil 4.18 Spiral akımlı siklon boyutları.....	64
Şekil 4.19a Western Precipitation Firmasınınca üretilen multisiklon grubu.....	65
Şekil 3.19b Yüksek verimli dar çaplı bir siklon	65
Şekil 5.1 Gaz temizleyici sistemi	66
Şekil 5.2 Ventüri tip gaz temizleyicinin şematik gösterimi	68
Şekil 5.3 Deneysel siklonun yapısı	72
Şekil 5.4 Bir siklondaki Cy_{50} 'nin basınç farkına etkisi.....	72
Şekil 5.5 Cy_{50} nin ve $(D/L) \times Cy_{50}$ nin siklon uzunluğu üzerine etkisi.....	73
Şekil 5.6 Bir siklonda üst akış ve çeşitli giriş çapları için Cy_{50} değerleri.....	74
Şekil 5.7 $L/D=5$ olan siklon için Cy_{50} sabitinin çevre çizgileri	75
Şekil 5.8 Kellsall tarafından $D=3\text{mm}$ olan ve içinde plastik parçalar bulunan suyla yapılan; Dahlstrom tarafından $D=9\text{ mm}$ olan ve içinde silis bulunan suyla yapılan siklon deneyleri.....	75
Şekil 5.9 Reynolds sayısının bir sıvı siklonun optimum şekli için basınç kaybına etkisi	78
Şekil 5.10 Sıvı siklonların tasarımı için radyal yöndeki uzaklık	79
Şekil 5.11 Deney verileriyle oluşturulan mevcut korolasyon ve Calvert için ayırıştırma sayısı Ψ ve hedeflenen verimliliğin kıyaslanması.....	85
Şekil 5.12 Taheri ve arkadaşlarının deneyde kullandığı orifis gaz temizleyicinin şematik gösterimi	86
Şekil 5.13 3,8 cm ' lik orifis için ana akış çizgileri	86
Şekil 5.14 Gaz temizleyici uzunluğu boyunca gaz ve damlacığın hızı.....	87
Şekil 5.15 Başlangıç konumundaki 30 damlacık için orifisteki yörüngeler	88
Şekil 5.1 Gaz-sıvı Silindirik Siklon Ayırıcı	89

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1 Bir filtrede verimliliğin, β oranıyla ilişkisi	4
Tablo 2.2 Manyetik Filtre Tipleri ve Uygulamaları	15
Tablo 2.3 Sinterlenmiş metal malzemeler için değerler	17
Tablo 2.4 Filtrelenen karışım malzemelerinin özellikleri	23
Tablo 2.5 Kullanılan malzemelerin özellikleri	25
Tablo 2.6 Hava filtre tipleri ve performanslarıyla ilgili filtre seçim kılavuzu	26
Tablo 2.7 Kirleticilerin Tanecik Boyutunu Gösteren Kılavuz.....	27

SEMBOLLER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
β_x	X μ m' den büyük tanecikler için beta oranı
N_u	Üst akışta birim hacimdeki X μ m' den büyük tanecik sayısı
N_d	Alt akışta birim hacimdeki X μ m' den büyük tanecik
ν	Sıvı viskozitesi
t	Filtre kalınlığı
A	Filtre alanı
w_1	Eklenen kirletici ağırlığı
w_2	Diyaframdaki süzüntü ağırlığı
τ	Sıvının yüzey gerilimi
θ	Sıvının, filtre ortamında yaptığı açı
K_1	Filtre malzemesine ve yapısına bağlı bir ampirik faktör
$(\Delta_1 - \Delta_2)$	Sıvı ve katının yoğunluk farkları
K	Şekil düzeltme faktörü
f	Dinamik kuvvet (örneğin $f = R w^2$)
u_s	Taneciğin havaya göre bağlı radyal çıkış hızı
G	Basınç kaybı faktörü
Q	Üretilen iş kapasitesi
A	Giriş boğaz alanı
R	Siklonun yarıçapı
L	Toplam uzunluk
v	Gazın çıkış hızı (m/s)

SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ξ	Basınç kaybı katsayısı
V_0	Orifisin girişindeki gazın hızı
$\Delta\tau$	Kontrol hacmindeki damlacıkların bekleme zamanı
V_{cv}	Kontrol hacmi
ψ_c	Atalet toplama parametresi
E_x	Filtrede verimlilik
α	Geçirgenlik katsayısı
Q	Akış oranı
V_s	Santrifüjün ayırma hızı
D_e	Dış boru çapı
r_i	Dalgıç boru yarıçapı
r_a	Siklon yarıçapı
u_i	Dalgıç boru yarıçapında çevresel hız
u_a	Siklon yarıçapında çevresel hız
V_{in}	Giriş kanalındaki lineer akış hızı (m/sec)
λ	Sürtünme katsayısı
u	Eksenel hız bileşeni
v	Radyal hız bileşeni
K	Karman sabiti (=0.42)
E	Amprik sabit(=9.81)
u_p	Duvara yakın p noktasındaki akışkanın hızı
k_p	Duvara yakın p noktasındaki türbülansın kinetik enerjisi

SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
μ	Ampirik sabit (=0.09)
Δn_p	p noktasından duvara olan uzaklık
T_w	Kesme gerilimi
r_1	Giriş yarıçapı
f	Silindir cidarında bir sürtünme katsayısı
v_1	Giriş çapındaki teğetsel akış hızı
η	Sıvının viskozitesi
E	Toplama verimliliği
Z	Biriken tanecik kütlesi
f	Çarpışma sıklığı
\dot{Q}_d	Su akış oranı
\dot{Q}_c	Hava akış oranı
a	Siklonun giriş yüksekliği
b	Siklonun giriş genişliği
D_e	Üst akış (çıkış) çapı
S	Vorteks düzenleyicinin iç uzunluğu (derinlik)
H	Siklonun toplam yüksekliği
h	Siklonda silindirik bölümün yüksekliği
B	Alt akış (çıkış) çapı
N	Damlacığın toplam akış oranı
α_g	Gaz fazın boşluk kesri

SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Γ_g	Difüzyon hızı
M_m	Karışımın momentumu
τ_m	Karışımın gerilme gücü
ν_{eff}	Karışımın kinematik viskozitesi
u_τ	Sürtünme hızı
y^+	Duvara olan boyutsuz uzaklık
u'	Dış tabaka için türbülans hızı
ℓ'	Dış tabaka için türbülans uzunluğu
D	Sürüklenme katsayısı
v_∞	Belirli sıvı ortamında tek bir baloncuğun terminal hızı
C_μ	Ampirik sabit
ε	Türbülans yayılma oranı
c	Gaz kütle konsantrasyonu
J_k	k fazı için yüzey akımı
C, C_1, C_μ	Ampirik sabitler
E	Duvarın pürüzlülük katsayısı
J_k^t	k fazı için türbülans akısı
J_m	Karışımın toplam akısı
K	Türbülansın kinetik enerjisi
M_k	Ara yüzey momentum kaynak transferi
M_σ	Yüzey boyunca doğru akımı
n_k	k fazı için dışa doğru normal vektör birimi

SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
S	Modeli oluşturan eşitliklerinin ana terimi
U	Duvara yakın bölgedeki teğetsel hız
u_{τ}	Sürtünme hızı
v_{gl}	Fazlar arasındaki kayma hız vektörü
v_{gm}	Gaz fazı için difüzyon hız vektörü
v_i	Ara yüzey için hız vektörü
v_k	k fazı için hız vektörü
v_{lm}	Sıvı fazı için difüzyon hız vektörü
v_m	Karışım için hız vektörü
v_s	Baloncuk kümesinin terminal hızı
v_{∞}	Terminal baloncuk yükseliş hızı
V	Hacim
y	Duvara olan uzaklık
α_K	k fazı için lokal faz oranı
ε	Türbülans enerjisinin dağılma oranı
ε_m	Eddy viskozitesi
Γ	Difüzyon katsayısı
Γ_k	k fazı için ara yüzey kütle kaynağı
Φ_m	Karışımın ana terimi
Φ_k	k fazı için ana terim
K	Karmen sabiti
φ	Skaler değişken

SEMBOLLER DİZİNİ(DEVAM)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ℓ	Ana serbest yol(çarpışmalar arasındaki ortalama uzaklık)
ν	Kinematik viskozite
ν_{eff}	Effektif kinematik viskozitesi
ν_t	Eddy viskozitesi
τ_k	k fazı için viskoz gerilme gücü
Ψ	Büyüklik miktarı
Ψ_k	k fazı için spesifik büyüklik miktarı
Ψ_m	Karışım için spesifik büyüklik miktarı
τ_k^t	k fazı için türbülans gerilimi
τ_m	Karışımın gerilimi
τ_w	Duvarın kesme gerilimi
τ^D	Difüzyon gerilme gücü

1. GİRİŞ

Sanayide toz tutma ve kirleticileri ayırma işlemleri için kullanılan cihazlardan filtreler ve ayırıcıları incelediğimizde kullanıldığı ortama göre çok çeşitlilik gösterdiğini görürüz. Bu çalışmada kullanılan filtrelerin performansı değerlendirmek için kullanılan filtre oranları ve filtre testleri incelenmiş, filtre geçirgenliği ve veriminde rol oynayan değişkenlerin özellikleri grafiklerle anlatılmıştır.

Sanayideki diğer ayırıcılar ise santrifüj, siklonlar, yağ ayırıcılar ve hidrostatik çöktürücüler olmak üzere sınıflandırılır. Santrifüj, her türlü ortama uygun esnek yapısı, hacim ve ayırma ihtiyaçlarını karşılaması sebebiyle en çok tercih edilendir. Ayırıcılar özel görevler için de tasarlanabilirler.

Siklonların sanayide toz tutma cihazı olarak kullanılmasının başlıca nedenleri ve tasarımları için gerekli parametreler belirlenmiştir.

2. FİLTRELER

Tüm bu ayırma sisteminde, filtre ve ayırıcıların nasıl sınıflandırılması gerektiği problemi ortaya çıkmıştır. Fakat filtrasyon ve/veya ayırıcıların dört sınıfa ayrılmasının dışında tamamlanmış bir çözüm yoktur.

1)Katı-gaz ayırımı,

2)Katı-sıvı ayırımı,

3)Sıvı-sıvı ayırımı,

4)Katı-katı ayırımı

şeklindedir.

Katı-sıvı ayırımında mekanik filtrasyon yapıldığında hacim gereksinimi ortaya çıkabilir. Özellikle proses endüstrisinde ayırma işleminde, otomatik yada yarı otomatik olan pratik metodlar uygulanabilir. Sıvı-sıvı ve katı-katı ayırımında ekonomik olarak ve başarıyla kullanılan filtre ve ayırıcı türleri daha sınırlıdır. Dolayısıyla bu sınıflandırmadaki filtrasyon ve ayırıcı daha özel alanlardır. Sıvı-sıvı ayırımı için temel metod, ısıtarak damıtma yöntemidir. Benzer olarak fiziksel özellikleri farklı katı-katı ayırımı için en basit yöntem, eleme yöntemidir. Bunların dışında sıvı-sıvı karışımlarını ayırmak için seperatörler, çökeltme cihazları gibi özel prosesler mevcuttur. Filtre ve ayırıcı tiplerinin hangisinin daha uygun olduğu yapılan işlemlere göre değişir. Bunun yanında performanslarını kıyaslamak için de birçok alternatif yol vardır.

2.1 Filtrenin Tanımı

Filtre, bir maddeyi diğerinden ayırma işlemini yapan bir cihaz olduğundan filtreleme temel olarak ayırma metodudur. Filtreleme işlemi, filtrelerin kullanımının ötesinde ayırıcı cihazlarını da içermektedir.

Hava filtrasyonunda, hava filtreleri ve ayrıca endüstriyel gaz prosesleri gibi işlemlerde katı-gaz ayırımı geniş bir alanda kullanılır. Bu ayırma işlemleri için öncelikle filtreler, daha sonraki aşamada ayırıcılar, elektro-filtreler, gaz temizleyiciler ve gerekliyse ilave filtreler kullanılır.

2.1.1 Filtre oranları

Filtrelerin, özel boyuttaki tanecikleri bir sıvıdan uzaklaştırmasına göre performansları değerlendirilir. Fakat bu yolla verimliliklerini belirlemede çok çeşitli metodlar uygulanır. Ayırt edici örnekler özel işlem ya da test şartları için geçerlidir.

Mutlak oran: Mutlak oran ya da filtrenin kesme noktası, filtre üzerinden geçen en büyük taneciğin çapını ifade eder. Bu da normalde mikrometre olarak belirtilir ve filtre ortamındaki gözenek boyutunu gösterir. Tam ve uygun gözenek boyutu ile filtre ortamı teorik olarak tam bir mutlak orana sahiptir. Bu oran, filtre elemanına göre değişir ve pratikte genellikle kullanılmaz. Filtre oranlarını geliştirmek için sıvı içerisindeki kirliliği belirlemek amacıyla küresel cam bilyalar kullanılarak testler yapılır. Pratikte bu kirleticiler gerçek formlarında küresel yapıda olmaz. Nominal çap, lineer boyutlarda en büyük olarak alınır. Taneciğin gerçek şekli nominal çapa göre iki farklı lineer boyutta çok küçük olabilir.

Nominal oran: Bu oran, filtre üreticilerine göre tanımlanan değişken bir değerdir. Tanımlı bir kirleticinin ağırlığı tarafından tutma oranı olarak ifade edilir.

Ortalama filtre oranı: Bir filtre elemanının gözenek boyutu anlamına gelen ölçmeye ortalama filtre oranı denir. Nominal orana göre daha anlamlıdır ve bu yüzden değişen gözenek boyutları ile filtre elemanları mutlak orandan daha gerçektir. Filtrelerin etkili olmaya başladığı tanecik boyutunu belirler

Beta Oranı (β): Beta oranı filtre üreticileri ve kullanıcıları tarafından benimsenen geçerliliği kabul edilen karşılaştırma olarak yeni bir oran sistemidir. Belirli boyuttan büyük ve filtre üzerinde kalan tanecik sayısının, belirli boyuttan büyük ve filtreden geçen tanecik sayısına oranıyla kurulan çoklu geçiş testiyle tanımlanır.

$$\beta_x = \frac{N_u}{N_d} \quad (2.1)$$

$$E_x = \frac{\beta_x - 1}{\beta_x} \times 100 \quad (2.2)$$

Tablo 2.1 Bir filtrede verimliliğin, β oranıyla ilişkisi (Warring, 1981)

<u>β oranı:</u>	<u>Verimlilik:</u>
1	0
2	%50
10	%90
20	%95
50	%98
100	%99
1000	%99,9
10000	%99,99

Örneğin, bir filtre β_5 oranına sahipse bunun anlamı, tanecik boyutu $5\mu\text{m}$ ' den büyük tüm taneciklerin % 99' unu geçirme yeteneğindedir.

2.1.2 Filtre verimliliği

Nominal oranın şekil etkinliğiyle verimlilik belirtilir. Filtrelerin etkinliğinin temel tanımı olan verimlilik direk olarak β oranından türetilebilir.

Burada $1 - (\text{mevcut tanecik sayısı} / \text{tesadüfî tanecik sayısı}) \times (\%100)$ olarak ifade edilir.

Bu uygulamalar, tanecik boyut oranı mutlak kesmeden düşük olduğunda göz önüne alınır ve biriken tanecikler sıfır olarak düşünüldüğünde verimlilik %100 olur.

Eğer tanecik boyutu mutlak kesmeden küçük ise verimliliğin %100den küçük olması gerekir. Pratikte β oranı $\beta_x > 75$ olduğunda verimlilik % 98.6 olarak tanımlanır ve tanecik boyutu $X \mu\text{m}$ ' dir.

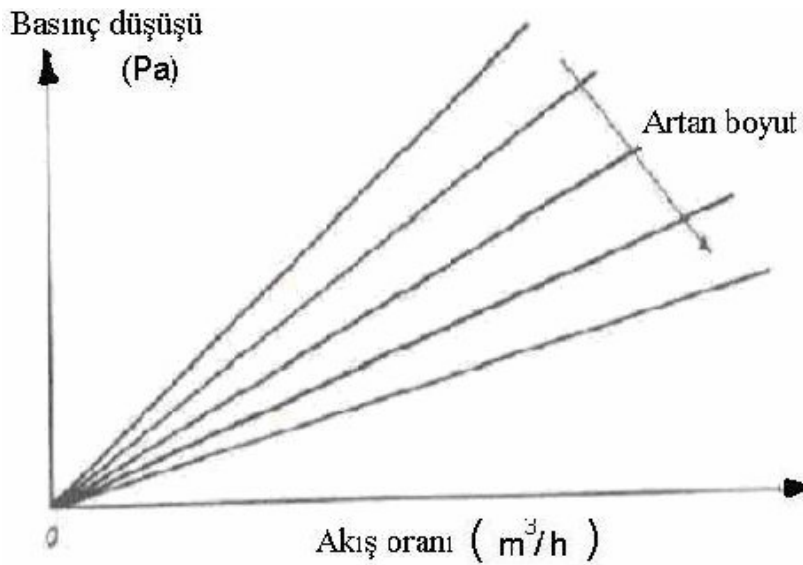
2.1.3 Filtre geçirgenliği

Geçirgenlik bir filtre tarafından akışa karşı gösterilen direnç olarak ifade edilir. Bu yüzden yüksek geçirgenlik düşük direnci ve düşük geçirgenlik yüksek direnci gösterir. Bu, normal olarak verilen akış oranı Q da geçirgenlik katsayısı olan α ve basınç düşüğü ΔP ile bağlantılı olarak gösterilir.

$$\alpha = \frac{Qv}{Ad\Delta P} \quad (2.3)$$

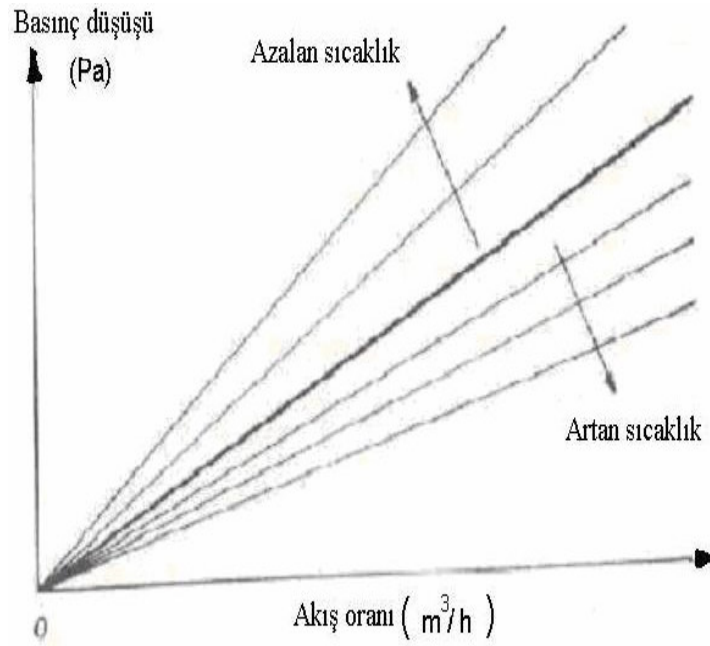
Pratikte bu formül kullanılmaz. Geçirgenliğin direk olarak akış oranına karşı basınç düşüğüyle tanımlanması daha uygundur. Bu eğriler her bir filtre için özeldir ve maddelere bağlı olarak türetilirler. (Şekil 2.1)

- 1) Filtre boyutu
- 2) Akış sıcaklığı
- 3) Zaman ya da kirlilik derecesi



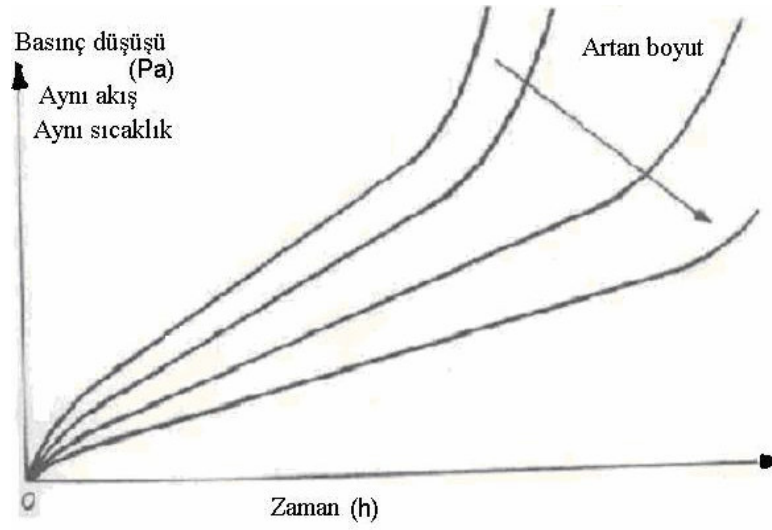
Şekil 2.1 Basınç düşüğünün akış oranına etkisi (Warring, 1981)

Sıcaklık, akışkanın viskozitesini değiştirerek (basınç düşüşü / akış oranı) karakteristiklerini etkiler. Bu yüzden basınç düşüşü direk olarak viskoziteyle orantılıdır. Aynı akış oranı için akış sıcaklığı azaldığında basınç düşüşü artar ve sıcaklık arttığında basınç düşüşü azalır.



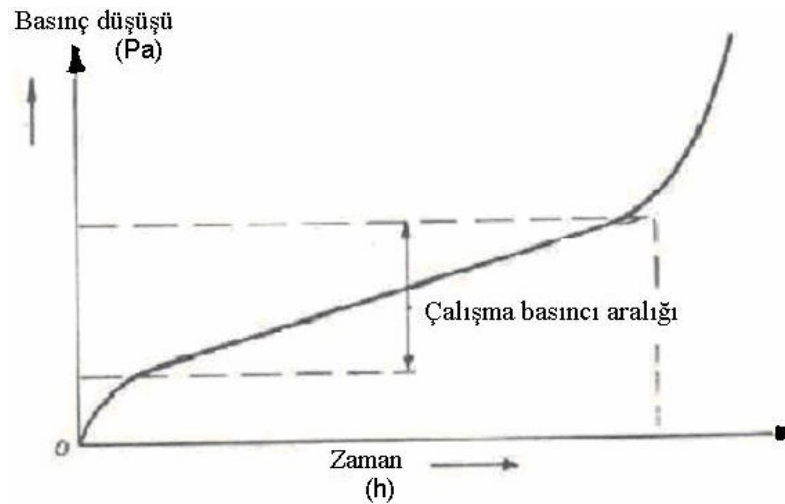
Şekil 2.2 Bir filtrenin sıcaklık eğrileri (Warring, 1981)

Belirli sıcaklık aralığında tek bir filtrenin sıcaklık eğrilerinin karakteristikleri sıvılarda gazlara göre daha belirgindir.(Şekil 2.2)



Şekil 2.3 Filtrede zamanla artan kirlilik (Warring, 1981)

Filtre elemanı üzerinde zaman geçtikçe toplam kirlilik artar. (Şekil 2.3) Genellikle Basınç düşüşü –Zaman eğrileri başlangıçta keskin bir artıştan sonra lineer artış ile gösterilir. (Şekil 2.4) Sonra da daha hızlı bir artışla devam eder.



Şekil 2.4 Zamanla basınç düşüş eğrisi (Warring, 1981)

2.1.4 Filtre testleri

Cam bilya testi, bir filtrenin mutlak aralığını ya da etkinliğini belirlemede kullanılan klasik metodudur. Akışkan içinde cam bilyaların çapları kirletici gibi kabul edilerek miktarları belirlenir ve akışkan, filtre elemanlarından süzülür. Bu işlemden sonra bilyalar şu yollarla tespit edilir:

- 1)Filtrelemede geçen en büyük bilya belirlenir. Bu bulgu filtre için mutlak kesme oranıdır.
- 2)Cam bilyalar önceden sayılır. Filtrelemeyle ayrılır ve sayılır. (Şekil 2.1) Bilya boyutu %X ya da bu boyuttan küçük olanların geçeceği kabul edilir. (100-%X) (nominal oranda verimlilik). X değeri %2 ile %10 arasında bir değer olabilir.

Filtreleme derecesi testi: Eklenen kirleticilerin ağırlıklarının ölçümü ve filtrelemedeki tüm kirletici ağırlığı hariç bu test için kullanılan düzeneğe, ana tanecik geçiş testine benzer. Filtreleme derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100(\%) \quad (2.4)$$

Çoklu geçiş testi: Bu test bir filtrenin Beta oranını tespit etmek için kullanılır. (Şekil 2.3) Akışkanın her bir mililitresindeki toplam tanecik boyutu belirlenir. Bu tanecik boyutları 5, 10, 20, 30 ve 40 µm dur. Genellikle Beta oranı (β) her biri için hesaplanır.

Üst akışta her mililitredeki X µm 'den büyük tanecik sayısının, alt akıştaki her mililitrede Xµm 'den büyük tanecik sayısına oranına B_X denir.

Buna bağlı olarak Verimlilik (E_x):

$$E_x = \frac{\beta_x - 1}{\beta_x} \times 100(\%) \quad \text{ya da} \quad E_x = 100 - \frac{100}{\beta_x} (\%) \quad (2.5)$$

Kabarcıklaşma noktası testi: Verilen akışkan ve sabit ıslanma ile gözenek boyutu esas alınarak kabarcıklaşma noktası testi yapılır. (Şekil 2.4) İki farklı ölçüm yapılır. İlk kabarcıklaşma noktası testi, en büyük deliğin boyutunu belirler. Açık Kabarcıklaşma noktası basıncı, filtre elemanın ana gözenek boyutunu belirler. Hava akış hızı başlangıç kabarcık noktasına etki etmez. Kabarcık noktası basıncıyla gözenek çapı arasındaki teorik ilişki ince boru için Poiseuille yasasıyla verilir.

$$P = \frac{4\tau \cos \theta}{d} \quad (2.6)$$

Pratik filtre elemanında gözenek olmadığını ve kılcal tüpe benzer şekilde olduğunu göz önüne alarak K şekil düzeltme faktörünü formüle eklersek;

$$P = \frac{4K\tau \cos \theta}{d} \quad (2.7)$$

Ayrıca τ ve θ sabit olduğu düşünülürse formülü basitleştirerek aşağıdaki ifadeyi elde ederiz:

$$P = \frac{K_1}{d} \quad (2.8)$$

2.2 Filtre Türleri

Filtreler mekanik ve manyetik olmak üzere temel olarak ikiye ayrılabilir. Mekanik filtreler ise diyafram, emici, tutan, torba, sinterlenmiş metal, kayış, dönel diskli ve plakalı filtreler olmak üzere ayrılır. Manyetik filtreler de boru hattı ve kanal filtreler olmak üzere ayrılır. Bu türlerden hangisinin uygun olduğu çalışma ortamına ve maliyetine bakılarak seçilir. Üretici firmalar tarafından oluşturulan kataloglardan istenilen performansta filtre seçimi yapılır.

2.2.1 Emici filtreler

Bir emici ortam, akışkanı emen ve kendi yapısı içinde tutan süngere benzeyen bir yapıdadır. Bu mantıkla bir filtre gibi davranarak absorbe eder ve akışkanı tutar. Örneğin geçirgen kâğıt, havadan su taneciklerini filtre eden emici malzemedir. Buna rağmen pratik filtre olarak kullanışsız olmasının nedeni sınırlı bir zamanda malzemeyi tutmasıdır. Kâğıda, mümkün olan maksimum emme gücüyle yaş dayanıklılık; sentetik kauçuk, fenol formaldehit ve diğer sentetik reçineler gibi maddelerle; mekanik dayanıklılığı ise emdirme yöntemiyle kazandırılır. Bu türdeki özel kâğıtlar, ana ortamın delikli yapısında tutulma esnasında yağlara, asitlere ve diğer kimyasal çözeltilere direnç gösterebilir. Emdirme, kâğıdın mekanik dayanıklılığını arttırabilir. Doğal lifler, doğal keçeler ve diğer emici ortamlar birbirine bağlı delikli hücreli malzemelerdir. Bununla beraber, emici elemanların sadece emici filtre olarak kullanımı çok sınırlıdır ve emme özellikleri daha az önemli olduğu şartlarda mekanik filtreler gibi çalışırlar.

2.2.2 Tutan(Adsorbe eden) filtreler

Adsorpsiyon, filtre ortamı ve tanecikler arasında oluşan moleküler çekim ya da elektrostatik kuvvetler tarafından taneciklerin tutulması veya çekilmesidir. Bu olay mekanik filtrelerde genellikle az da olsa bazı uzamalara neden olur.

Filtreler için kullanılan temel emici ortam kömür, karbonun benzer diğer yapıları, sabun kili ve diğer etkin killer tarafından etkin hale gelir. Bunların hepsi granül yapıdadır. Emici filtrenin daha sert yapısı, bir emici ortam ile kâğıdın kimyasal olarak etkileşimi yoluyla üretilir. Filtreleme için kullanılan malzemeler içinde en az tercih edilen malzeme kömürdür. Emici ortam yaygın olarak kokuların, duman, sis v.b taşınmasında ve ortamdan uzaklaştırılmasında kullanılır. Endüstriyel atık olan dumanın taşınmasında, havalandırma sisteminde yaygın olarak kullanılır. İçinde etkin kömür

bulunan filtre - örneğin karavan ya da botlarda içme suyu sağlamada suyu temizlemek gibi- küçük uygulamalar için kullanılır. Endüstriyel uygulamalarda emici filtreler, yağdan kokuyu uzaklaştırmak için de kullanılabilir. Emici yüzeyin amacı, çözünmüş ve çözünmemiş kirlilikleri uzaklaştırmaktır. Emici filtreler krank yağ süzgeci ve hidrolik sıvılar gibi uygulamalarda kullanışsızdır. Ayrıca sulu çözeltilerin filtrelemesi, sentetik sıvılar ve yumuşak kimyasal çözeltiler (örneğin asitler ve alkaliler) için de uygun değildir.

2.2.3 Diyafram filtreler

Modern diyafram filtreler, mikro gözenekli yapıda ince plastik malzemelerden üretilir. Gözenek boyutları 0.005 μ m ile 12 μ m arasındadır. Süngere benzeyen ince yapısı, zig zag sıralanmış elek tabakaları etkileyen birbirine bağlantılı deliklerden oluşan filtreleridir. Süzülen madde, her zaman yüzeyde tutulur ve yüksek akış oranları mümkündür. Tipik bir diyaframda hacmin %15-35'ini rijit malzeme, kalan kısmını gözenek boşluğu oluşturur. Gözenek boyutu katıların sıvılardan ayrışma derecesini belirler. Atalet kuvveti, absorpsiyon ve elektrostatik kuvvetler tarafından gazların tutulması artar. Taneciğin çapı diyaframdaki gözenek çapından 5 kat küçük olduğunda etkin ayırıştırma başarılabilir. Örneğin, havadaki bira mayası ve küfler gözenek boyutu 8 μ m olan diyafram filtreler tarafından ayırıştırılırken; havadaki virüsler gözenek boyutu 0.2 μ m olan diyafram filtreler tarafından ayırıştırılır. Diyafram filtreler için kullanılan malzemeler, naylon, PVC, PTFE, jelâtin, selüloz ve diğer flüorokarbonlardır. Tipik olarak bunlar yüksek dolgu maddesi özelliğiyle ince tabakalar haline, daha sonra da bu dolgu maddesi mikro gözenekli yapıda bir tabakaya dönüştürülür.

Kullanılan özel malzemeler ve uygulamaları:

Selüloz Nitrat: Esnekliği, kolay şekillenebilir ve değiştirilebilen hacmiyle yaygın olarak kullanılan diyafram malzemesidir.

Selüloz Asetat: Sulu çözeltiler, alkoller, glikol v.b.'e karşı dayanıklıdır. 180°C' de sıcak havayı temizler.

Rejenere Selüloz: Organik çözücülere dayanıklıdır. Sıvı olmayan malzemelerinin steril filtrasyonunda ve arıtmada yaygın olarak kullanılır.

Naylon Polyamid: Çok iyi kimyasal dayanıklılığa sahiptir ve özellikle keton, ester, fotodirençler v.b. ortamlarda kullanım için uygundur. Bu malzeme kaynak edilebilir özelliğe sahiptir.

PVC: Az suyu emmez ve filtre sıvı çözeltilerinde kullanılmadan önce ıslanmak için ethele ihtiyaç duyar. İyi bir kimyasal dirence sahiptir. Özellikle asit ve alkalileri filtreleme için uygundur.

Polistiren: Bu malzeme üzerinde oluşan yüksek elektrostatik kuvvetlerden dolayı havadan tozun ayrıştırılmasında etkilidir.

Diyafram filtrelerin kullanımı sırasında filtrelemenin yapılabilmesi için vakum ya da basınca ihtiyaç vardır. Bunlar genellikle basınç tankları, pompalar ve vakum için boru hattı ya da 10 bardan yüksek basınçla tamamlanmış bir sistemden oluşurlar. Filtrasyon işleminde ön filtreleme ya da bazı üst akış noktalarında diyafram filtre doğrudan kullanılarak her bir nokta temizlenir. Filtre malzemesi için yaygın olarak cam elyaf kullanılır. Özellikle ağır çalışma şartları için azalan gözenek boyutuyla seri olarak sıralanmış diyafram filtrelerle ayrıştırma yapar. Filtre tipi ve boyutuyla bağlantılı olarak akış oranları üzerine basıncın, sıcaklığın ve sıvı viskozitesinin de etkisi vardır. Patentli diyafram filtreler için bu oranlar belirlenmiştir. Limit değeri verilmeyen diyaframda işlem basıncı mümkün oldukça geniş bir aralıkta tutulur. Derinlik tip filtrelerde ise ortam basıncı etki etmez.

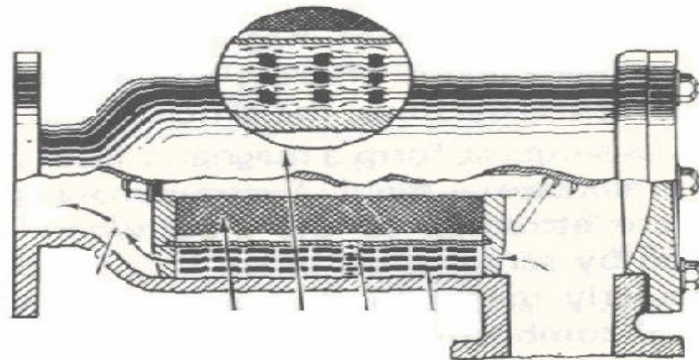
2.2.4 Manyetik filtreler

Manyetik filtreler, bir akış sisteminde bulunan demir metal parçalarını, nikel ve kobalt taneciklerine dönüştüren basit mıknatıslardan oluşur.

Yağlama sistemlerinde, hidrolik sistemlerde, seramik endüstrisinde seramik kilinden demir taneciklerini ayırmada ve özellikle yeni bir sistem çalıştırılırken aşınan demir metal parçalarını yakalamak ve tutmak amacıyla pnömatik konveyörlerde kullanılırlar. Yüksek enerjili sürekli mıknatıs malzemelerinin görünümü manyetik filtrenin sınırlarını etkiler. Demir metal parçaları, mıknatıs tarafından oluşturulan manyetik alan içinde hareket eder. Mıknatıs her yağ değişiminde kazımayla(kabuk soyma) temizlenebilir. Çalışma esnasında oluşan aşınmalardan dolayı içten yanmalı motorlar, vites kutusu, dişli pompa ve benzer makineler için mıknatıs kullanışlıdır. Diğer uygulamalar için manyetik elemanlar akış şartlarına uygun tasarlanmalıdır. Temel olarak bu şekilde montajı olmayan mıknatıslar suyun taşmasına neden olur. Maksimum etki için manyetik alan ile sıvının akış yönünün aynı olması gerekir. Tanecikler önceden manyetik elemanlar tarafından yönlendirilir ve ana akıştan uzaklaştırılırlar. Demir olmayan metal kafes ya da silindirik şekil; iki yumuşak çelik kutup ve silindirik mıknatıs serisinin en alta ve en üste bağlanmasıyla oluşur. Yumuşak çelik kafeste kutuplar arasından geçen dış alan yoluyla güçlü akışlar elde edilir.

2.2.5 Boru hattı filtreleri

Manyetik filtrelerin özellikle boru hattı yerleştirmeleri için özel formları geliştirilmiştir. (Şekil 2.5)

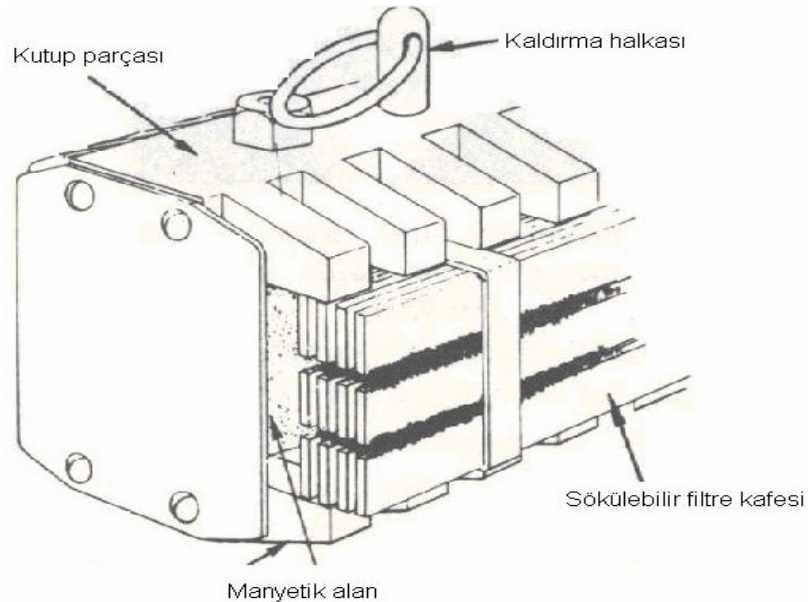


Şekil 2.5 Boru hattı filtreler (Warring, 1981)

Burada filtre elemanının merkezinde manyetik olmayan kaplama içinde sürekli bir mıknatıs yer alır. Bu kaplama pirinç şeritle yumuşak çelik ya da demir segmentleri bağlar. Böylece her bir segment arasında demir artıklarının tutulduğu küçük boşluk oluşur. Manyetik olmayan kaplamanın kullanılmasının nedeni, tanecikler ile kirlenmiş olmasını önlemek içindir. Böylece tozlar segmentler arasına toplanır.

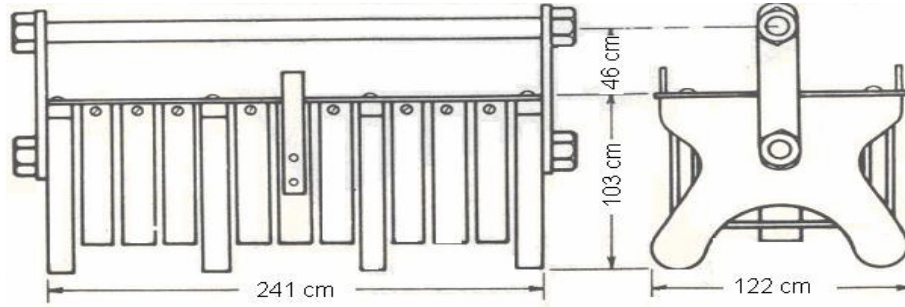
2.2.6 Kanal filtreler

Çöktürme tankında(drenaj tankı) kullanıma uygun sürekli manyetik filtrelerin dizaynda belirli miktarda mıknatıs, manyetik olmayan yatak içine yerleştirilir. (Şekil 2.6) ve özel kutup parçaları tarafından paralel bağlantı sağlanır. Filtre akış doğrultusunda yerleştirilir. (Şekil 2.7)



Şekil 2.6 Manyetik filtre dizaynı (Warring, 1981)

Manyetik elemanlar kanalın besleme boru hattına takılır. Diğer taraftan manyetik filtre elemanlarıyla demir ve demir olmayan tozların tek bir filtreden geçişi için tek bir noktada yataklanır.



Şekil 2.7 Kanallar için manyetik filtre (Warring, 1981)

2.2.7 Manyetik /Mekanik filtreler

Manyetik ve manyetik olmayan parçacıklara karşı koruma sağlamak için manyetik filtre elemanları, mekanik filtre elemanlarıyla birleştirilir.

Tablo 2.2 Manyetik Filtre Tipleri ve Uygulamaları (Warring, 1981)

Tip	Uygulamaları	Boyut aralığı	Özellikler
Yağ subabı	Motor krank biyel, dişli kutusu, rulmanlar	Geniş bir aralıkta	
Fişek	Makine yağlama sistemleri, küçük boru hatları	Geniş bir aralıkta 80 m ³ /saat 'e kadar	Tek ya da çift Düz filtrelerde
Boru hattı	Sıvı boru hattı	114m ³ /saate kadar	Çift ya da tek
Birleştirilmiş	Sıvı boru hattı	380m ³ /saat 'e kadar	Mekanik ya da manyetik filtreler
Köpük kepçeleri	Çökeltme tanklardaki sıvılardan demir parçalarını ayırmada	Çeşitli	
Tambur	Ara süzme	40m ³ /saat 'e kadar	Genellikle arıtıcılar olarak bilinir
Basınçlı arıtıcı	Son kat işlemler ve soğutucular	4000m ³ /saat 'e kadar	
Vakum arıtıcı	Son kat işlemler ve soğutucular	20m ³ /saat 'e kadar	Genellikle mekanik araçlarla kullanılır
Talaş konveyörü	Artıkları Kesme takımından uzaklaştırmada	Çeşitli	

2.2.8 Fişek filtreler

Çok çeşitli yapıda olan fişek filtreler çeşitli malzemelerden üretilebilir. Filtre malzemesi; iplik, keçe, kağıt, lifli reçine, tek dokunmuş kumaş, sinterlenmiş metal ve seramik yapıları içerir. Fişeklerin iplik ya da reçine liflerinden yapılmış bazı tipleri, merkezine doğru yoğunluğu artan bir yapıya sahiptirler. Bu derinlik tip filtreler, filtre bezinin toplam kalınlığı boyunca tanecikleri yakalarlar. Kağıt, keçe ve tek dokunmuş kumaş gibi ince malzemeler, yüzey filtreleri olarak tanımlanırlar. Çünkü bunların tümünün tanecik yakalama özelliği filtrenin yüzeyinde veya yüzeyine yakın bölgesinde gerçekleşir. Filtre uygulamalarında yüzey ya da derinlik tip fişek seçimi birçok faktöre bağlıdır.

Fişek Filtreler tarafından belirlenen filtreleme performansı:

1µm ile 500 µm arasında değişebilir fişek filtre elemanı tıkanıldığında kullanıma hazır yeni bir fişek ile yer değiştirilebilir. Dayanıklı yapıda olan bazı filtre elemanları temizlenebilir ve yeniden kullanılabilir türden seçilir.

Fişek filtreler dayanıklı, kolay işlenebilir, düşük maliyetli ve diğer filtrasyon tiplerine göre daha az işlem denemesi gerektirir. Kirlilik seviyesi bir ağırlık olarak %0.01 den az olan sistemlerde genellikle fişek filtreleme tercih edilir. Çok kirli sistemlerde, fişek filtreler son ürün süzme için diğer filtreleme türlerinden sonra kullanılır. Bununla beraber bazı yüksek kirlilik oluşturan uygulamalarda-özellikle harman işlemede-performans, güvenilirlik, sağlamlık ve fazla ağırlığa uygunluk gibi diğer faktörler sebebiyle sadece fişek filtreler kullanılır.

2.2.9 Sinterlenmiş metal filtreler

Selüloz malzemelerden daha dayanıklı olmaları, rijit ve daha kuvvetli matrise sahip olmalarından dolayı sinterlenmiş metal filtreler, plastıklere göre filtrenin gözenek boyutunun, şeklinin ve yapısının daha iyi olmasını sağlar. Gözenek boyutu 10^{-8} cm civarındadır. Gözeneklilik ve katı iç yüzey hacmi geniş bir aralıkta değiştirilebilir.

Daha düzgün gözenek boyutu sağladıkları için küresel tanecikler tercih edilir. Kabaca sınıflandırılmış sinterlenmiş metal filtreler tanecik çapı 1 mm olan taneciklerden üretilir. Bu nedenle gözenek boyutu, tanecik çapının %15 civarındadır. Bu da 150 µm kabul edilir ve 100 tek ağ dokuma filtreye eşdeğerdir. Bu filtrelerin genel olarak üretimi pahalıdır. Küçük tanecik çaplı olanlarda üretim maliyeti daha düşüktür. Çünkü tek dokuma ağ yapıda, gözenek boyutu azaldıkça maliyet artar ve aynı zamanda mukavemeti ve sertliği azaltılır. Bu nedenle sinterlenmiş metal filtreler, gözenek boyutu 100µm 'nin altında olduğunda daha çok tercih edilir. Çapı 5-10 µm olan küresel metal taneciklerin üretimi ve sınıflandırılması pahalı olduğu için 1 µm 'den daha küçük boyutta üretilirler. Derin tip filtreler; sinterlenmiş metal bölümü, akış yoğunluğu ve filtre üzerindeki akış hızının karesiyle orantılı ilk kayıplara maruz bırakır. Bu normalde sadece yüksek akış hızına sahip sıvılarda önemlidir. Geçirgenlik, basınç düşüşüyle orantılı viskoz geçirgenliğine ve sıvı yoğunluğuyla orantılı atalet viskoziteye dayanarak tanımlanır.

Tablo 2.3 Sinterlenmiş metal malzemeler için değerler (Warring, 1981)

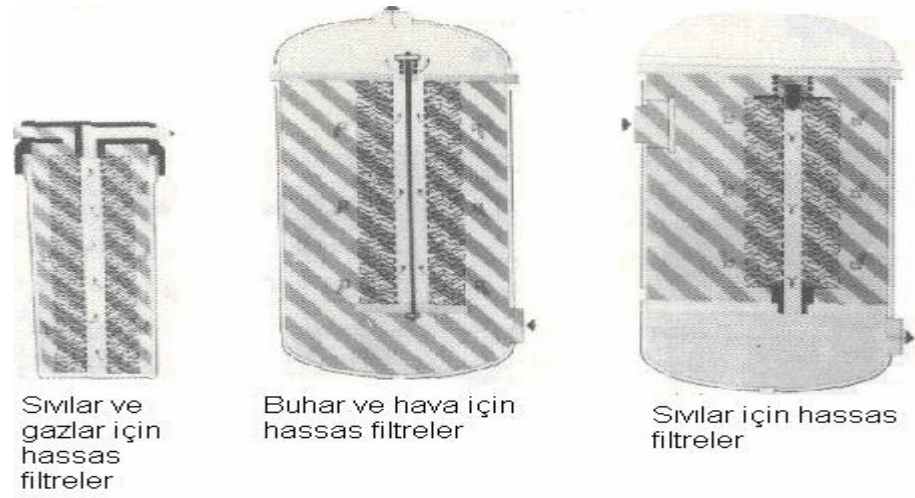
<u>Gözenek Boyutu:</u>	<u>Viskoz Geçirgenlik:</u>	<u>Atalet Geçirgenlik:</u>
1	0,6	0,2
2	0,2	0,3
5	1	0,7
10	3	1,3
20	10	2,5
50	50	5
100	160	10

Genelde sinterlenmiş bronz filtreler, tüm şartlarda kullanılabilir. Özellikle ağır hizmet içeren çok yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve korozif akışkanlar için filtre elemanları paslanmaz çelik, bakır nikel alaşımı, saf nikel, titanyum ya da tungsten sinterlenebilir. Düşük sıcaklıklarda bronz ve bakır-nikel önceden sinterlenir ve böylece karbon kalıplarda ya da paslanmaz çelik içindeki metal tozdan doğrudan çok çeşitli şekiller üretilebilir. Gözenekli paslanmaz çelik malzemeler, yüksek mukavemet,

sıcaklık ve korozyona dayanıklılık gerektiren yerlerde tercih edilirler. Gözenekli paslanmaz çelik malzemeler, filtre elemanının yapısında direk kullanılmak üzere tamamen düz ya da disk şeklinde üretilirler.

2.2.10 Mum filtreler

Sıvı ve gazların filtrelenmesi için basınç ya da emme filtresi olarak kullanılabilir. Mum Filtreler, sarılı dokuma liflerinden oluşur. Kimyasal çözeltilerde asitlere ve alkali, vernik, galvanik banyo, suyun minerallerine ayrıştırılması v.b. 'de hassas filtreleme için kullanılır. Ayrıca havayı, buhar ve diğer gazlardan temizlemede kullanılır. (Şekil 2.8)



Şekil 2.8 Mum filtreler (Warring, 1981)

Malzemeler selüloz ve pamuk, naylon, reçine bağlı selüloz, cam elyafından oluşur. Metalik mum filtreler sinterlenmiş metalden de oluşabilir. Filtrelemeyi tanımlamak için mum filtrelerin kullandığı ürünler, Alüvyonlu filtreleme ve katı / sıvı ayırıcılar, çözücüler, hidroflorik asit, boyalar, sülfürik asit, gliserin, mineralyağı, jelatin, glikol, deterjanlar, etanol, metanol, bütanol, benzol, nitrikasit, kloroform, aseton,

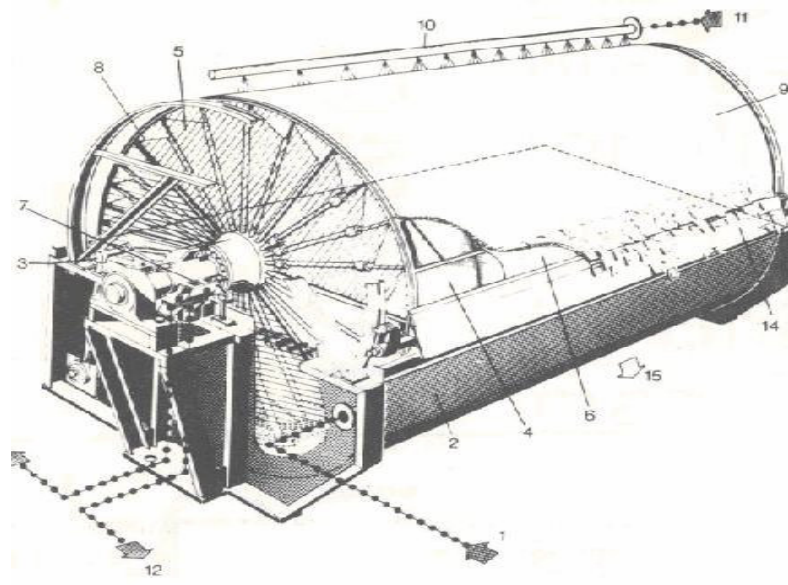
sodyum klorat, amonyum nitrat, potasyum hidroksayt, hidroklorik asit, fabrika suyu şeklindedir.

2.2.11 Torba filtreler

Endüstriyel atmosferdeki tozların uzaklaştırılmasında torba filtreler yaygın olarak kullanılır. En çok tercih edilen, silindirik şekilde takviye çemberine sahip dokuma kumaş kovanı olan tiptir. Toz yakalama, kovan iç ya da dış yüzeyinde sağlanır. Mekanik titreşim, sıkıştırılmış havanın geri yıkanması gibi farklı sistemlerde tozun toplanıp ortamdan uzaklaştırılması için kullanılır. Tozun yapısı ve karakteristiklerine uygun dokuma lif ve yapısı seçilebilir. Ana parametreler, filtreleme gücü, tanecik boyutu, yoğunluğu, aşındırıcı yapı ve patlayıcı toz/gaz karışımları, elektrostatik özellikler v.b. gibidir. Torba filtreler, su püskürtme, ısıya dayanıklılık ya da yapışmayı önleyici yüzey gibi karakteristikler için özel işlemlerden geçirilir. Gaz sıcaklığı 230 °C ya da 300 °C' den yüksek çalışma ortamında cam elyafından dokuma olduğu takdirde uygun sentetik lifler tercih edilir. Metalik ve seramik lifler daha yüksek çalışma sıcaklıklarında tercih edilir fakat bunların uygulamaları günümüzde çok sınırlıdır. Dokuma ve keçeler yapısal olarak farklılık gösterir. Keçeler yün ya da sentetik liften daha homojen yapı oluşturacak şekilde yapılır. Dokumalar tek filamanlı ya da çok filamanlı iplikler olmak üzere çok çeşitlidir.

2.2.12 Silindir gövdeli filtreler

Vakumlu tip olan dönel vakum filtre ve basınçlı tip olan basınç gövdeli filtre olmak üzere silindir gövdeli filtreler ikiye ayrılır. Metod endüstrisinde çok çeşitli katı/sıvı ayırımında, mineral mühendisliğinde v.b. de çok çeşitli tiplerde ve boyutlarda imal edilirler. Bu filtreler, fazla güce ihtiyaç duymazlar ve bu güçte yüksek yıkama kapasitesi için sürekli işleme sahiptir.

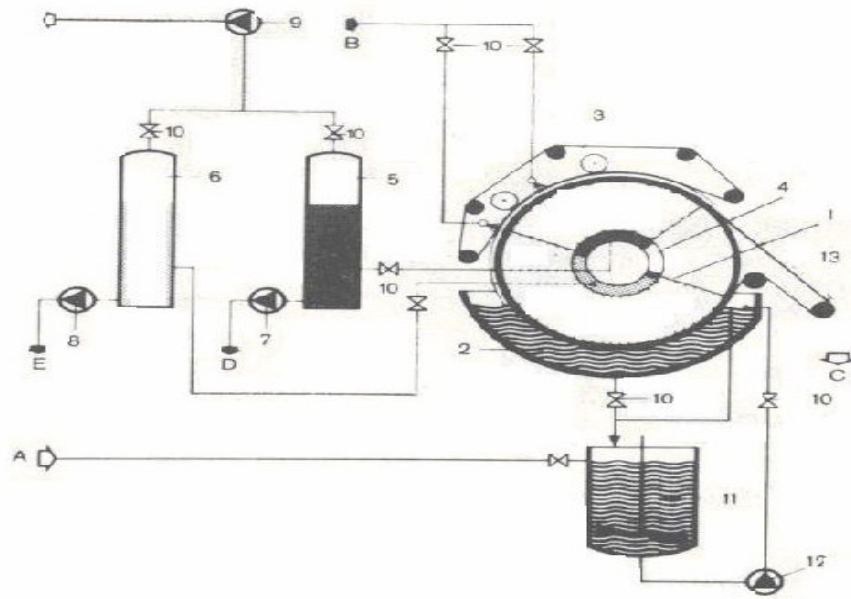


Şekil 2.9 Silindir gövdeli filtre (Warring, 1981)

1.Karışım malzemesi	6.Filtre malzemesi	11.Yıkama sıvısı
2.Filtre boğazı	7.Kontrol merkezi	12.Ana süzme
3.Sarkaç karıştırıcı	8.Filtre boruları	13.Sıvı yıkama
4.Filtre hücreleri	9.Filtre çamuru	14.Boşaltma cihazı
5.Tambur	10.Yıkama cihazı	15.Artık madde

Örnekteki tambur saatte 10–60 devir yapmaktadır. (Şekil 2.9) Tambur hücrelerinden geçerek filtre emme borusuyla sıvı sızdırmaz bir pompaya bağlantılı vakum yaklaşık olarak 21-53 kPa dır. Bu da sıvının filtre bezi boyunca süzülmesine sebep olur. İçerisinde toz bulunan karışım malzemesi, filtre bezi üzerinde düzgün bir torba içinde bekletilir. Kontrol noktası filtre tamburunu; yıkama, emerek kurutma ve çamur boşaltma gibi farklı bölmelere ayırır. Bir devirde tamburun her bir alanı bu bölgelerden geçer. Seperatör deposuna boşaltılır ve atmosferik basınç kullanılarak ya da pompa yardımıyla gönderilir. Tamburun dönmesiyle karışım malzemesinden filtrelenen katı tabakası ortaya çıkar. Dönme devam ettikçe, bu karışım malzemesi yıkanır, emilerek kurutulur ve filtre bezinden geri boşaltılır. Bu yıkanan sıvı, çamurdan beslenir. Yıkama bölgesinden süzülen madde ana filtreden boşaltılır. Filtre çamuru tüm tambur genişliğini saran boşaltma cihazı tarafından dışarı atılır. Filtre bezi tekrar daldırılmadan önce su jetleriyle ya da temizleme fırçalarıyla temizlenebilir. Şekil 2.10' da

filtrelemenin tamamlanmış tesisatı, yıkama ve süzüntü ayırma gösterilmektedir. Eğer filtre çamuru yıkanmıyorsa düzenek sadece filtre seperatörüyle kurulur.



Şekil 2.10 Silindir gövdeli filtre düzeni (Warring, 1981)

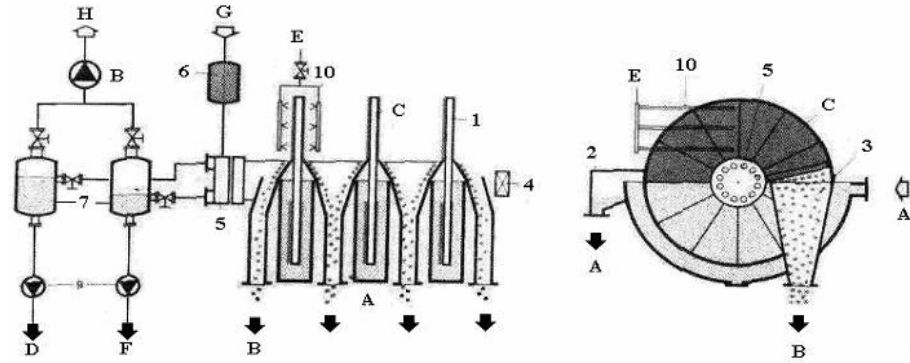
- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Filtre tamburu | 10. Valfler |
| 2. Filtre boğazı | 11. Karışım malzemesi kabı |
| 3. Yıkama aparatı | 12. Karışım malzemesi pompası |
| 4. Kontrol merkezi | 13. Katı boşaltma cihazı |
| 5. Yıkama süzme için ayırıcı | A. Karışım malzemesi |
| 6. Ana süzme için ayırıcı | B. Sıvı yıkama |
| 7. Yıkama süzme için filtre pompası | C. Artık madde |
| 8. Ana süzme için filtre pompası | D. süzme yıkama |
| 9. Vakum pompası | E. Süzme |

1.2.14 Basınçlı tip filtreler

Gerekli işlemler vakumlu filtrelerle benzerdir fakat filtreleme, pozitif basınç altında olur ve ürün ile süzülen madde tamamen kapalıdır. (Şekil 2.10) Basınç altında filtrelemede, silindirik gövdeli davul filtre, katı-sıvı karışımlarını mekanik olarak ayırmak amacıyla hücreli bir yapıya sahiptir. Filtrenin silindirik gövdesinin dönmesi için basınç farkı gereklidir.

2.2.13 Dönel diskli vakum filtreler

Silindir gövdeli filtrelerle karşılaştırıldığında daha geniş filtre alanına sahip oldukları için özellikle kömür işleme, cevher hazırlama ve kâğıt oluşumu gibi büyük ürünlerin oluştuğu prosesler için uygundur. Dönel diskli vakum filtre yatay bir mil üzerine sıralanan disklerden oluşur. Filtre bezinin çıkarılıp tekrar yerine takılabilmesi için değişebilir diskler kullanılır. Çamur, diskin yardımcı elemanında toplanır. Farklı bir tasarımda her bir disk kendi yörüngesinde döner ve filtrede farklı hücreler oluşturur. Bu nedenle karıştırma gerekli değildir ve disk üzerindeki ıslak alan %50 'sinden büyük olabilir. Her bir set birbirinden izole edilerek iki farklı ürün aynı anda ve aynı filtreden geçirilebilir. Tüm yapıdaki disk sayısını arttırarak; dönel disk filtrelerin alanı dolayısıyla filtre kapasitesi arttırılabilir. Diskler dönerken çapa bağlı olarak her disk 30 filtre hücresinden geçer. (Şekil 2.11)



Şekil 2.11 Dönel diskli vakum filtre (Warring, 1981)

- | | |
|-------------------------------------|----------------------|
| 1.Filtre diski | A.Karışım malzemesi |
| 2.Üst akış kanalı ile filtre boğazı | B.Artık maddeler |
| 3.Raspa(çamurluk) ile katı oluğu | C.Filtre çamuru |
| 4.Filtre güç nakli | D.Alkol |
| 5.Kontrol merkezi | E.Yıkama sıvısı |
| 6.Sıkıştırılmış hava kabı | F.Süzüntü yıkama |
| 7.Süzüntü ayırıcı | G.Sıkıştırılmış hava |
| 8.Vakum pompası | H.Vakum |
| 9.Süzüntü pompası | |
| 10.Yıkama elemanları | |

Tablo 2.4 Filtrelenen karışım malzemelerinin özellikleri (Warring , 1981)

Malzeme türü	İçeriği	Filtreleme sirkülasyon süresi(Saat)	Katı besleme(%)	Çamur(%)	Çamur Kalınlığı (%)
İnce atık sulu çamur Köpürmüş atık	Polyelektrolit %0,10-0,15	0,5-2	15-35	75-82	25-40
		1-2,5	15-35	73-80	25-40
Temel lağım çamuru	%5-25 kireç,%5-15 bakır ve %3-6 demir klorür yada %1-2 ACH(Al_2O_3)	3-7	4-7	40-55	25-32
Top. lağım çamuru		1,5-2	3-6	35-50	25-32
Isıl işlem görmüş çamur		1-2	12-15	50-70	32
Karışık lağım çamuru	%3'e kadar Al_2O_3 yada %30 kireç ile %30Cu-%3-8 $FeCl_3$	3-6	-4	30-45	32
		2-4	-4	30-40	25
Kağıt fab. humus çamuru	%1 ACH	8	0,5-1,5	30-45	25
Kağıt fabrikası havuz çamuru	%10 kireç,%1 $FeCl_3$	1-3	1-1,5	40-55	25
Kaplama çamuru	Gerektiğinde %10'a kadar kireç	1,5-3	2-3	30-45	25-32
Su çamuru	%0,2-1,5 poli-elektrolit	3-8	0,5-3	25-35	19-25
Tuzlu su çamuru		1,5-3	10-25	60-70	20-25

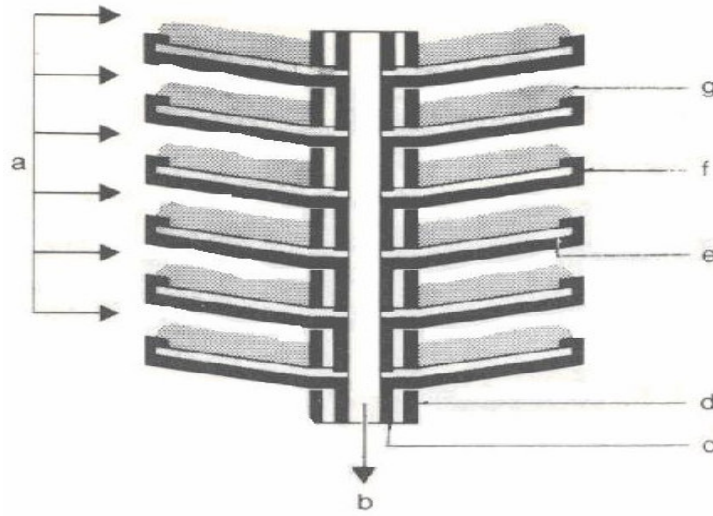
2.2.14 Kayış filtreler

Vakum prensibine göre çalışarak yatay filtreleme gereksiniminin olduğu birçok işlemi gerçekleştiren kayış filtrelerin çalışma prensibi basittir. Filtre bezini, üzerinde yatay taşıyıcı bandı dönen kanal şekilli tabla destekler. Strok sonunda vakum serbest kalır ve tabla havalandırılmış olur. Vakum - strok / geri dönüş sürekli tekrarlanır. Emme tip kayış filtreler, yıkama ve temizleme proseslerini birlikte ya da her iki işlemi ayrı ayrı yapabilir.

2.2.15 Plakalı filtreler

Bir shaft üzerinde iç içe geçmiş filtre disklerinden oluşan plakalı filtrelerde tüm düzenek yatay ya da dikey olabilir. Filtre yuvası, filtrasyon için statiktir, karışım malzemesi negatif ya da pozitif basınç(vakum) altında boğazdan geçebilir. Filtre disklerinin şekline ve tipine bağlı olarak çamurun uzaklaştırılmasının çok çeşitli

metotları vardır. Levha tasarımı ızgara biçiminde, filtre bezi yerleştirilmiş ya da filtre bezi kullanılmadan çok çeşitli yapıda olabilir. Şeklin tanımı, plakaların düzenlenmesine göre değişir. Örneğin dikey plakalı filtreler, yatay olarak düzenlenmiş plakalara; yatay plakalı filtreler, dikey olarak düzenlenmiş plakalara sahiptir. Bazı üreticiler bu tanımları ve plaka tiplerinin tanımlarını farklı kullanabilirler.



Şekil 2.12 Plakalı filtreler (Warring , 1981)

- | | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| a)Süzülmemiş ürün | d) Rondela | g)Filtre çamuru |
| b)Süzülmüş ürün | e)Filtre ortamı | |
| c)Filtre şaftı | f)Filtre diski | |

Bu filtrenin üst kısmında filtre ekranı ve dairesel filtre diskleri vardır. (Şekil 2.12) Filtre diskleri dikey filtre mili üzerindeki boşluğa yerleştirilmiştir. Dikey plakalı filtrelerin avantajı, filtre çamuru basınç değişimlerinden etkilenmediği için çamur yoğunluğu kanaldan bağımsızdır. Diğer yatay plakalı filtreler, alt kısımda boşaltmaya sahiptir. Çamur her bir plakadan kazıma bıçağıyla temizlenir ve en son alt kısma düşen kuru çamur yavaş hızla dönen helisel dişli tarafından dışarı atılır.

Tablo 2.5 Kullanılan malzemelerin özellikleri (Warring, 1981)

Malzeme	Uygunluk	T°C Max.	Yararları	Mahsurları
Pamuk	Sulu çözeltiler, yağlar, soğuk asitler, balmumu, uçucu organik asitler	90	Ucuz	Küf ve mantarı etkiler.
Lüt bezi	Sulu çözeltiler	85	Doğuda filtre işlemlerinde kullanılır.	Saklanması da güve çekme riski yüksek
	Sulu çözeltiler ve seyreltik asitler	80		
Naylon	Asitler, petrokimyasallar, organik çözücüler, bazı alkalın karışımlar	150	Yüksek dayanıklılık yada esneklik, kolay çamur boşaltma, uzun ömürlülük	Emilebilir su ve alkaliler için uygun değil
Polyester	Asitler, yaygın organik çözücüler, yükseltgenler	100	Dayanıklılık ve esneklik, ilk çekme kabiliyeti iyi	Alkaliler için uygun değil
PVC	Asit ve alkaliler	-90		Isı direnci düşük, çabuk bozulur
PTFE	Hemen hemen tüm kimyasallar	200	Kimyasal direnci fazla, mükemmel çamur biriktirme	Pahalı
Polietilen	Asitler ve Alkaliler	70	Kolay çamur biriktirme	Normal sıcaklıkta yumuşama
Polipropilen	Asitler, alkaliler, çözücüler (aromatik ve klorlu hidrokarbonlar)	130	Nem emme kabiliyeti yüksek	
Cam yünü	Kimyasal çözeltiler, konsantre sıcak asitler	250	Soğuk ya da sıcak hemen hemen tüm kimyasallar(alkaliler hariç)	Esneklik dirençleri ve aşındırıcı direnci düşük
Orlon elyafı	Asitler(Kromik asit dahil) petro-kimyasallar	150		

2.3 Filtre Seçim Klavuzu

Her farklı uygulama için genel ifadelerle filtre seçimi yapmak zordur. Genellikle çok çeşitli sayıda filtre mevcuttur ve bunların arasında seçim yaparken dikkat edilecek faktörler vardır. Özel uygulamalarda yaygın olarak gerçek standartlarda olması, performansı, fiyatı, uygunluğu ve diğer ticari faktörler göz önüne alınarak tercih yapılır. Örneğin makinelerde giriş filtresi tasarımı, düşük ya da yüksek standartta, ürün ağırlığı da göz önünde bulundurulursa sonuç olarak çok yüksek fiyatta olabilir. Burada temel farklılık, dizel makineler için keçe malzemesinin ve petrol makineleri için kağıt malzemenin kullanılmasıdır. Diğer uygulamalar için de bu seçim benzerdir. Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te görüldüğü gibi her bir üreticinin ürünü tasarım detaylarında ve malzeme seçiminde farklılık gösterir. En uygun filtre tipi, tecrübeye belirlenir.

Tablo 2.6 Hava filtre tipleri ve performanslarıyla ilgili filtre seçim kılavuzu
(Warring, 1981)

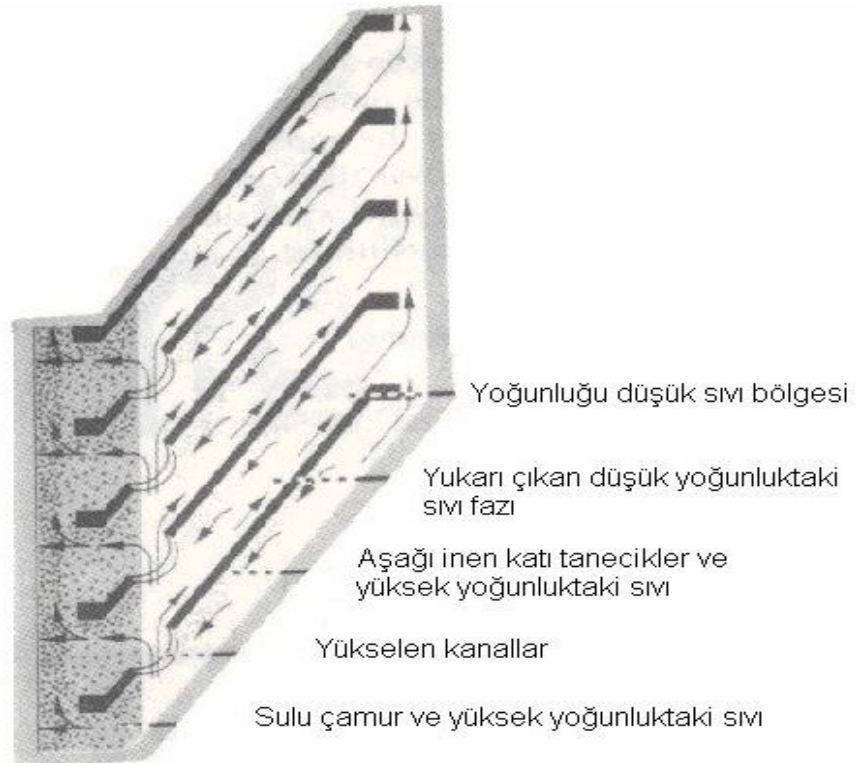
Filtre tipi	Ortalama tutma	Malzeme dayanıklılığı
Cam elyafı dolgu	% 75	Değiştirilebilir
Kaplamalı,kıvrımlı yüzey	%25-30	Değiştirilebilir
Preslenmiş yüzey	%60-95	
Reçine bağlı cam dolgu	%80-85	Değiştirilebilir
Otomatik rulo(cam elyaf ortam)	%80	7-9 hafta sonra rulo değiştirilebilir
Elektrostatik	%85-95	
Otomatik ön temizlemeli rulo	%30-90	12-18 hafta sonra değiştirilebilir
Lifli malzemeler için otomatik rulo(aşındırıcı toz için uygun değil)		Yenilenebilir
Otomatik viskoz filtre	%80	
Uzatılmış yüzey torba tipte	%40-95	

Tablo 2.7 Kirleticilerin Tanecik Boyutunu Gösteren Kılavuz (Warring, 1981)

Kirleticiler	Tanecik Boyutu(μ m)					
	-0,01	0,01-01	0,1-1	1-10	10-100	100-1000
Hemoglobin	X					
Virüsler	X	X				
Bakteri			X-X	X		
Mantar ve Bira mayası			X-X	X		
Polen				X-X	X	
Bitki sporları					X	
İçerideki tozlar	X	X-X	X-X	X-X	X	
Atmosferik tozlar				X-X	X-X	
Endüstriyel atıklar				X	X-X	X-X
Askıda atıklar	X	X-X	X-X			
Yağlı duman		X	X-X	X-X		
Sigara dumanı		X-X	X-X	X		
Endüstriyel gazlar			X-X			
Aerosol	X	X-X	X-X	X		
Böcek öldü. ilaçlar				X-X		
Sürekli atmos. kirlilik	X	X-X	X-X			
Geçici atmos. kirlilik				X-X	X-X	X-X
Mak.zararlı atıkları				X	X-X	X-X
Mak.koruma normal				X	X-X	X-X
Alüy. balçık kontrol				X(3-5)		
Kısmi balçık					X(10-15)	
Yonga Kontrol					(25-40)X	

3. AYIRICILAR (SEPERATÖRLER)

Santrifüj makinesi, siklonlar, yağ ayırıcılar ve hidrostatik çöktürücüler olmak üzere ayırıcılar sınıflandırılır. Santrifüj, her türlü ortama uygun, esnek yapısı, hacim ve ayırma ihtiyaçlarını karşılaması sebebiyle en çok tercih edilendir. Bunların işlem karakteristiklerine bakılırsa özellikle itici santrifüj, hızlı filtrelemede katılar için uygundur. Filtre edebilirliği katının tanecik boyutu dağılımına bağlıdır. Sistem 0.2 mm' den büyük taneciklere sahipse itici santrifüjde daha iyi sonuç elde edilir. İşlem kapasitesini olumsuz yönde etkiliyorsa eleğin gözenek genişliği küçültülebilir bunun dışında boyutunda değiştirme yapılmaz.



Şekil 3.1 Bir santrifüj örneği (Warring, 1981)

Siklon ve santrifüj aynı zamanda havalandırma cihazı olarak da kullanılır. Çünkü santrifüjü terk eden süzölmüş madde havanın büyük bir hacmiyle karışır. Santrifüjler de seperatörler gibi bir disk şeklinde tasarlanır. (Şekil 3.1) İki sıvı bileşenin fiziksel olarak ayrışması bu disk bölmesinde gerçekleşir. Yoğunluğu küçük olan sıvı iç bölmede, yoğunluğu büyük sıvı dış bölmede birikir. Bu bölmeye ayırma tabakası denir ve bu tabaka en etkili ayırma için yükselen kanallar boyunca bulunur. Her diskte bu yükselen kanallar bir boşluk serisi oluşturur ve bu boşluklar disk girişi boyunca dikey kanallar sağlar. Bu kanallar ayrıca diskler arasındaki boşluklara sıvı karışımlarının girişini sağlar. Santrifüj kuvveti bu iki sıvıyı ayırır.

Ayırıcılar, özel görevler için de tasarlanabilirler. Santrifüj, temel olarak bir mekanik ivme alanı yoluyla santrifüj kuvveti oluşturan bir cihazdır ve bundan dolayı düşük yoğunluktaki akışta asılı kalan katı taneciklerini ayırır. Bu yöntem, yerçekimi alanında ayırma yöntemiyle benzerdir fakat çok daha hızlıdır. Santrifüjde, yerçekimi ivmesinden 5000–8000 kat daha büyük merkezkaç ivmesi üretilir.

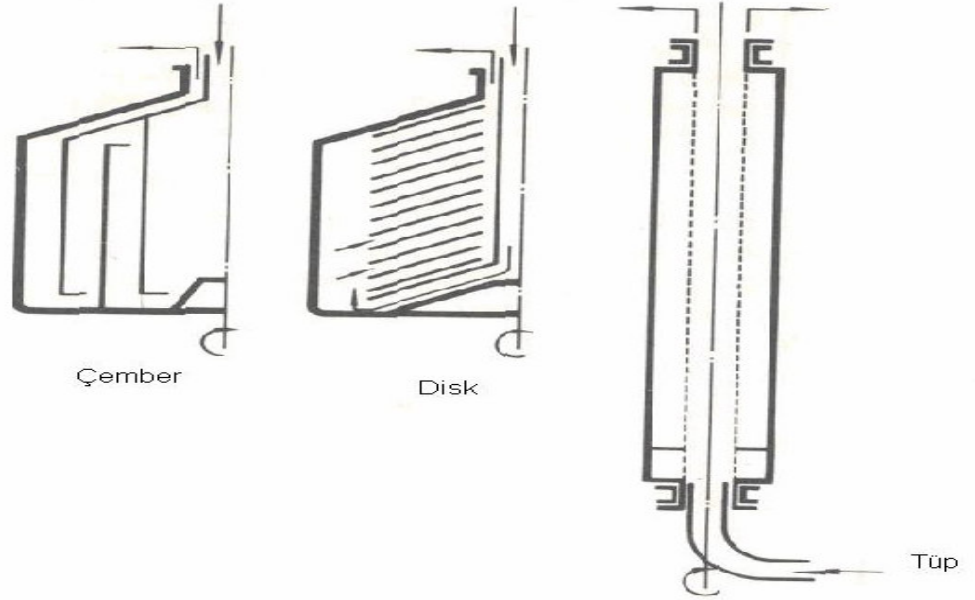
Santrifüjün ayırma hızı (V_s) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_s = \frac{Kd^2(\Delta_1 - \Delta_2)}{\nu} \times R\omega^2 \quad (3.1)$$

Parantez içindeki miktarlar ürünle bağlantılıdır. Santrifüjün performansı tasarımına ve dönen tablanın gerilimine bağlıdır. Tablanın gerilimi, iki bileşeni içerir.

- 1) Kendi kütlelerinin dönmesinden dolayı oluşan gerilim
- 2) Sıvı basıncından dolayı oluşan gerilim

Küçük tablada 1.maddedeki toplam gerilim 1.5 olarak sayılır fakat tablanın boyutu ile bu değer artar. Sıvı basıncı (2.maddede) kabın yarıçapına bağlıdır ve modern santrifüjlerde yaklaşık olarak 100 bar gelmektedir. Bu yüzden tablanın yapısı ve boyutu (çapı) dönme hızı ve hangi malzemeden yapıldığı, tasarımın ana parametreleridir. Bu temel tabla şekilleri Şekil 3.2' de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Temel tabla şekilleri (Warring, 1981)

- 1)Çember şeklinde tabla: Çok sayıda ortak merkezli çemberlerin santrifüjleme alanına sıralanmalarını sağlar.
- 2)Disk şeklinde tabla: Konik disk serisi içerir ve bu da santrifüjleme alanının paralel yapılmasını sağlar.
- 3)Tüp şeklinde tabla: Dönmede en yüksek hızı sağlar ve bu yüzden aynı malzeme gerilimi için en güçlü ivmelenme alanı oluşturur.

Filtreleme ve eleme gibi ayırıcılar, mekanik ayırmadan farklı olarak yerçekimi ve/veya atalet kuvvetleriyle çalışırlar. Ayırmanın bu basit şekli, çöktürmeyle yerçekimi kuvveti etkisiyle sıvıdan katıyı ayırmak için kullanılır. Katı, sıvıdan daha yüksek yoğunluğa sahipse, çöktürme hızı katının yoğunluğuyla bağlantılıdır. Çöktürme hızı, tanecik çapının karesiyle ve akışkanın viskozitesiyle ters orantılıdır. Çöktürme hızı, formülle aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\text{Çöktürme hızı } \propto \frac{\rho d^2}{\nu} \quad (3.2)$$

Çöktürme hızı yerçekimi altında aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V_s = \frac{d^2 x (\Delta_1 - \Delta_2)}{K\nu} xg \quad (3.3)$$

$$V_s = \frac{d^2 x (\Delta_1 - \Delta_2)}{K\nu} xf \quad (3.4)$$

Tanecik boyutu çok küçük olmadığı sürece, çöktürme hızının tanecik yoğunluğu, çapı ve akışkanın viskozitesiyle bağlantılıdır. Taneciklerin hareketini etkileyen sıvı molekülleri Brownian hareketiyle taşınır. Siklonlar kuru ya da ıslak tipte olabilir. Kuru siklonlar hava gaz temizleyiciler gibi katı-gaz karışımını ayırmayı sağlar. Islak siklonlar sıvı içerisinde bulunan katı tanecikleri ayırma işlemi gibi katı-sıvı karışımını ayırmayı sağlar. Islak siklonlar hidrosiklonlar olarak da tanımlanır. Siklonlar basınçlı ortamlarda çalışır ve besleme pompasındaki istenen yeterli basınç önceden hazır değildir.

3.1 Ayırıcılarda Basınç Kaybı

Bir pnömatik iletim tesisinin sonunda yer alan siklon içinde malzemenin ayrışması sonucu meydana gelen basınç kaybı, iletim hattındaki basınç kaybı ile karşılaştırıldığında çok azdır. (Örneğin 1000 Pa) Ayırıcılarda meydana gelebilecek basınç kaybı yaklaşık olarak denklem yardımı ile bulunabilir.

$$\Delta p = \xi x \frac{v^2}{2} x \frac{\rho}{0,981} \quad (3.5)$$

Pnömatik iletimde, basınç kaybı katsayısı ξ deneysel ilkelere elde edilen sonuçlara göre:

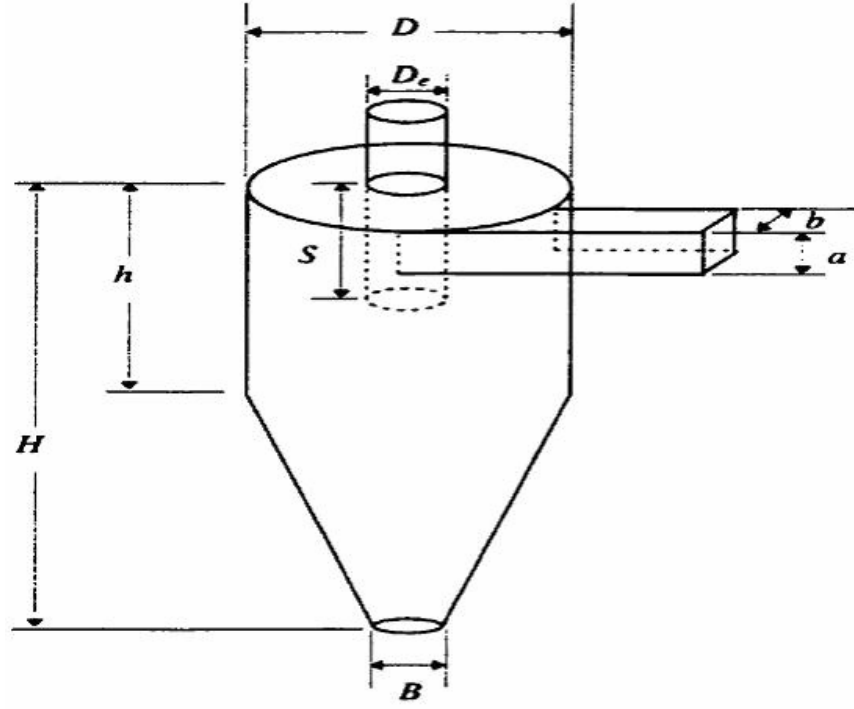
Siklonlarda $\xi=8$ ile 10, Ayırıcılarda $\xi=6$ ile 10, Filtrelerde $\xi=10$ ile 20 arasındadır.

4. DİNAMİK AYIRICILAR (SİKLONLAR)

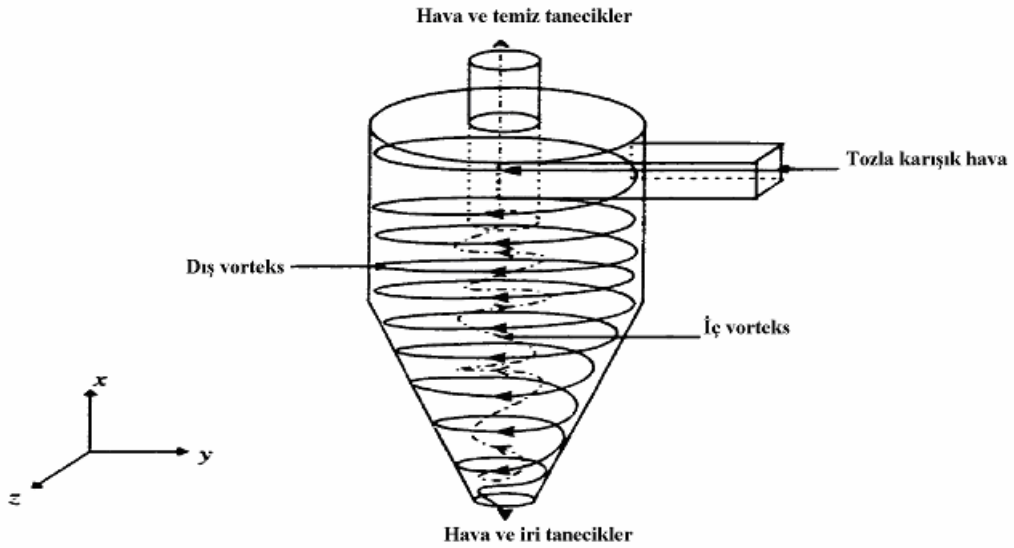
Bir siklonda işlenmiş ürün, karışım malzemesi içinde yoğunlaştırılır ve toz karışım malzemesi inceltir. Bu kümelenme, santrifüj ve yerçekiminin etkisiyle başılır. Ürün yüksek hızda teğetsel olarak siklonun üst kısmında helisel yol çizerek girer. Dairesel hareket, büyük taneciklerin duvarlara sürüklenmesini ve koninin altını boşaltan hacimsel santrifüj ivmesini sağlar. Artık sıvı ve tozlar aksel yönde çıkar ve sistemi üst kısmın merkezinden terk eder. Siklonlar hareketsiz parçalara sahiptir; korozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı imal edilmiştir. Santrifüj pompası tarafından sağlanan 1-2 bar arasındaki işlem basıncına ihtiyaç duyar.

4.1 Siklonların Tarihçesi ve Tanımı

Yüz yıldır imal edilmekte olan siklonların yaklaşık 50 yıldan beri yeni hesap yöntemleriyle tasarlanabildikleri bilinmektedir. Zamanımıza kadar bu alanda yapılan pek çok araştırma mevcuttur.



Şekil 4.1 Siklon tasarımı ve adlandırılması (Pant, 2000)

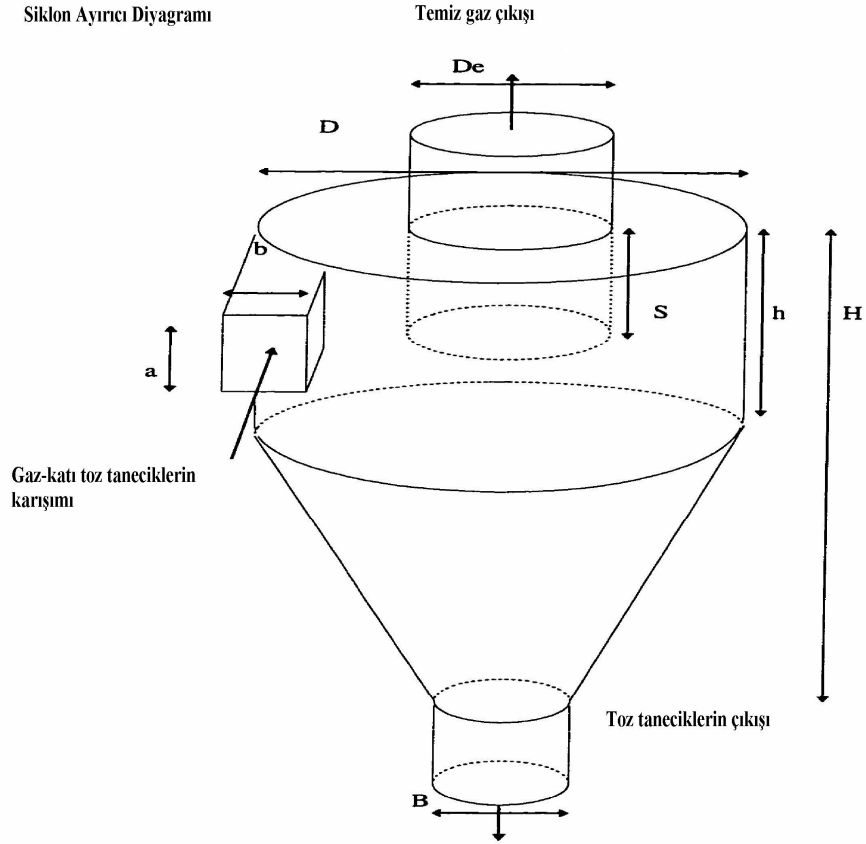


Şekli 4.2 Bir siklon seperatör içindeki akış diyagramının şekli (Pant, 2000)

Mekanik ayırma metodlarından biri olarak kullanılan siklonlar, katıları, katı-sıvı, katı-gaz, karışmaz sıvı ve sıvı-gaz heterojen karışımları ayırır. Bunların yanı sıra siklonlar endüstride en çok kullanılan toz tutma aparatları olarak bilinirler. Kimyasal endüstride endüstriyel gazları atmosfere göndermeden önce temizlemek amacıyla kullanılan siklonlar geniş sıcaklık aralığına dayanabilen çok farklı malzemelerden üretilirler. Hareketli parçalara sahip olmadıkları için düşük maliyetlidirler. Endüstriyel gazlardan çapı 5mikrondan büyük tanecikleri ayırmada yüksek verimliliğe sahip olan siklonlar genellikle 5 ile 200 µ boyutundaki taneciklerin tutulmasında kullanılırlar. Ağır tanecikleri ayırmada elektrostatik çöktürücüler ya da torba filtreler gibi daha karmaşık teçhizatlardan önce seperatörler kullanılır. Ayrıca virüsler üzerinden bakterileri toplama gibi biyolojik tanecikleri sınıflandırmada da kullanılabilirler. İşletme ve yatırım masrafları düşünüldüğünde en düşük maliyetli sistemler olarak tanınırlar. Korozyif gazlar gibi ağır çalışma şartlarına kolaylıkla uyum sağlarlar.

4.2 Siklonların Çalışma Prensibi

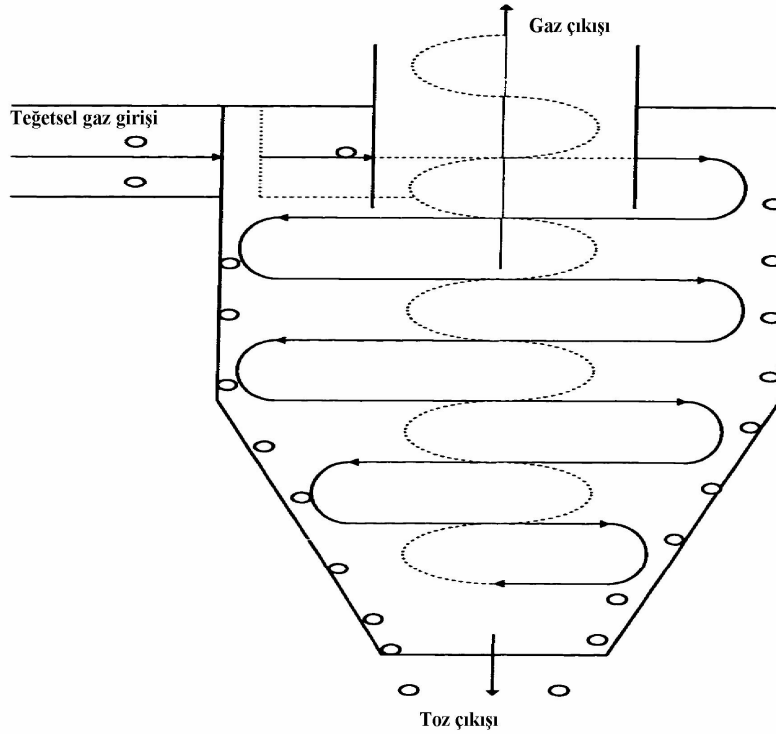
Farklı konfigürasyonlarıyla çok çeşitli siklonlar mevcuttur. Kirli gazların teğetsel girdiği ve silindir gövdesinin tepesinden temiz gazların üst akışla aksenel olarak dışarı çıktığı ve koninin ucunda aksenel alt akış bulunan siklonlar daha yaygın olarak kullanılırlar. Aksenel alt akışla gaz akımından ayrılan ağır tanecikler dışarı atılır.



Şekil 4.3 Tipik siklon ayırıcı (Morales, 1996)

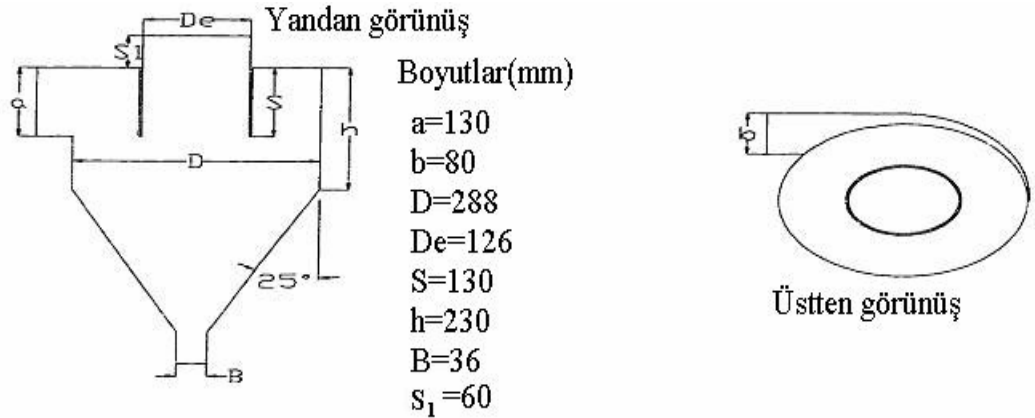
Silindirik bölümün tepesinden teğetsel olarak giren kirli endüstriyel gazları tutarak, temiz gazların aksenal boşaldığı duvar ve siklonun gövde duvarı arasında girdap akımı yaratır. Bu girdap akımı alta doğru gaz çıkışına kadar devam eder ve koninin altında sonlanır. Girdap akımı kendi hareketini devam ettirir fakat şimdi siklonun merkezinde yukarı doğru hareket eder. Şekil 4.4' te olduğu gibi sonunda akım temiz gazların çıkışında siklonu terk eder. Ağır tanecikler giriş akımı tarafından taşınır ve santrifüj kuvvetiyle endüstriyel gazlardan ayrılır. Santrifüj kuvveti tanecikleri siklonun duvarlarına sürükler ve ağır tanecikleri duvara yakın hareket etmesini sağlar. Yerçekiminin yardımıyla ağır tanecikler siklonun alt çıkışından siklonu terk eder. Buna kirleticilerin(tozların) çıkışı denir. Bu nedenle siklondaki iç akış iki tane girdap akımından oluşur. Bunlardan biri dış girdap akımı olarak adlandırılır ve yükleyicinin

altına doğru hareket eder. Diğeri iç girdap akımı olarak adlandırılır ve siklonun tepesinde bulunan temiz gaz çıkına doğru yukarı hareket eder.



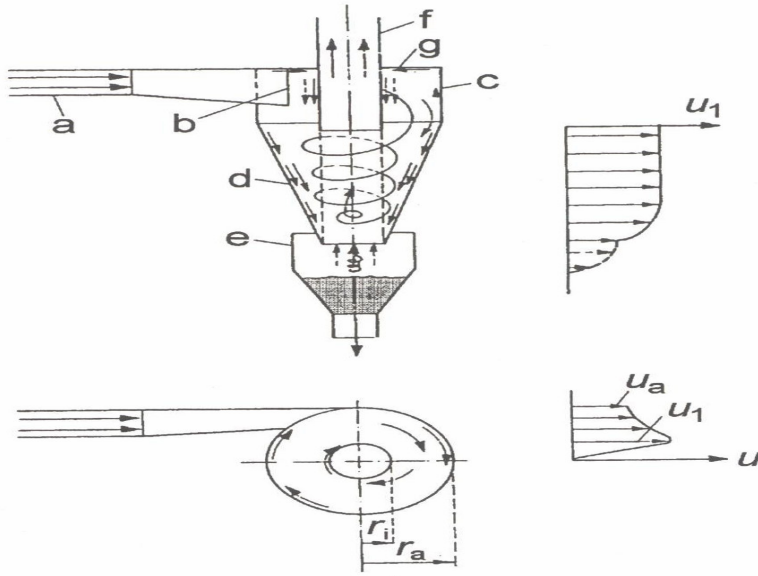
Şekil 4.4 Bir siklon ayırıcı içindeki ana akışın genel gösterimi (Morales, 1996)

X.H Quing tarafından kullanılan tipik bir endüstriyel siklon ayırıcı Şekil 4.5' te gösterilmektedir. Burada üst silindirik kısmın çapı $D= 288$ mm ve yükseklik $h=230$ mm; dikdörtgen boru şeklindeki giriş bölgesinin genişliği 80 mm ve yüksekliği 130 mm, dış boru çapı $D_e=126$ mm ve derinlik $S=130$ mm 'dir. Koninin tepe yarım açısı $\alpha=25^\circ$ dir. Siklonda akışın nümerik olarak tahmininde kullanılan akışkan atmosfer şartlarında havadır.



Şekil 4.5 X.H Quing tarafından kullanılan tipik bir siklon ayırıcı(Morales, 1996)

Araştırmacı W.Krambrock tarafından yapılan çalışmada ise pnömatik iletim hattının sonundaki siklonda dairesel kesitli (a) iletim borusu dikdörtgen kesitli bir (b) giriş borusuyla eklenerek siklonun silindirik gövdesine (c) kısmında tespit edilmişlerdir. (Şekil 4.6) İletilen malzeme, merkezkaç kuvvetin yardımıyla hava akımından ayrılarak siklonda toplanır. Merkezkaç kuvvet spiral akımla ortaya çıkar. Bilindiği üzere bir kaptan boşalan her türlü sıvı daima girdap depresyonu oluşturma eğilimindedir. Potansiyel girdap içerisinde öteki akımların aksine uçuşmakta olan elementler birbirine engel olmazlar. Bu nedenle akışkanın ve iletilen malzemenin siklona teğetsel olarak girmesi ile kararlı bir spiral akım meydana gelir. Buraya gelen iletilen malzeme, tümüyle spiral yörüngede topaklar halinde siklonun konik (d) kısmın cidarından kayarak (e) çıkış kabına geçer. Hava, (f) boruyla dışarıya veya filtrasyon ünitesine taşınır. Siklon gövdesinin konik kısmı, iletilen malzemenin (e) çıkış kabı yönünde ayrışmasını sağladığı için ikincil bir akım meydana getirir. Ancak bu ikincil akım, siklonun (g) tepesinin iç yüzeyinde olumsuz bir etki yaratır. Helezon çekirdeğinin içinde çıkış kabından ayrılan tozun, dalgıç boru içinden yukarı çekilmesini önlemek amacıyla akış kabının tepe kısmına koni biçimi verilir.



Şekil 4.6 Hava ve iletim malzemesinin siklondan akışı (Arun ve Akkoç, 1997)

- | | |
|------------------------------|--|
| a) İletim borusu | g) Siklon tepesi |
| b) Havanın girişi | r_i Dalgıç boru yarıçapı |
| c) Silindirik siklon parçası | r_a Siklon yarıçapı |
| d) Siklon konik parçası | u_i Dalgıç boru yarıçapında çevresel hız |
| e) Çıkış kabı | u_a Siklon yarıçapında çevresel hız |
| f) Dalgıç boru | |

Emme yöntemiyle çalışan tesislerde siklonun dibine yerleştirilen hücreli yapıdaki çarklı vericide meydana gelen kaçak hava, iletilen malzemeye karşı ters akım yaparak siklonun ayırıcı özelliğini olumsuz etkiler. Siklonlarda belirli bir teğetsel hızda merkezkaç kuvveti, yarıçapla ters orantılı olarak değiştiğinden, yarattıkları merkezkaç kuvveti nedeniyle küçük çaplı siklonlar büyük çaplı siklonlara göre daha çok tercih edilirler. Uygulamada gazların temizlenmesinde kullanılacak siklonlarda genel çalışma şartları aşağıdaki verilere benzer olacaktır:

Gaz Debisi	: 50 m ³ /h ile 4500 m ³ /h
Gaz Sıcaklığı	: 1000 °C'ye kadar
Gaz Basıncı	: Vakum(-0,5 at)
Gaz Giriş Hızı	: 6 m/s ile 21 m/s
Basınç Kaybı	: 25 mmSS ile 125 mmSS
Partikül Boyutu	: 2 µ ile 200 µ

Partikül Yoğunluğu :0,23 g/m³ ile 230 g/m³

Verim :%50 ile %90

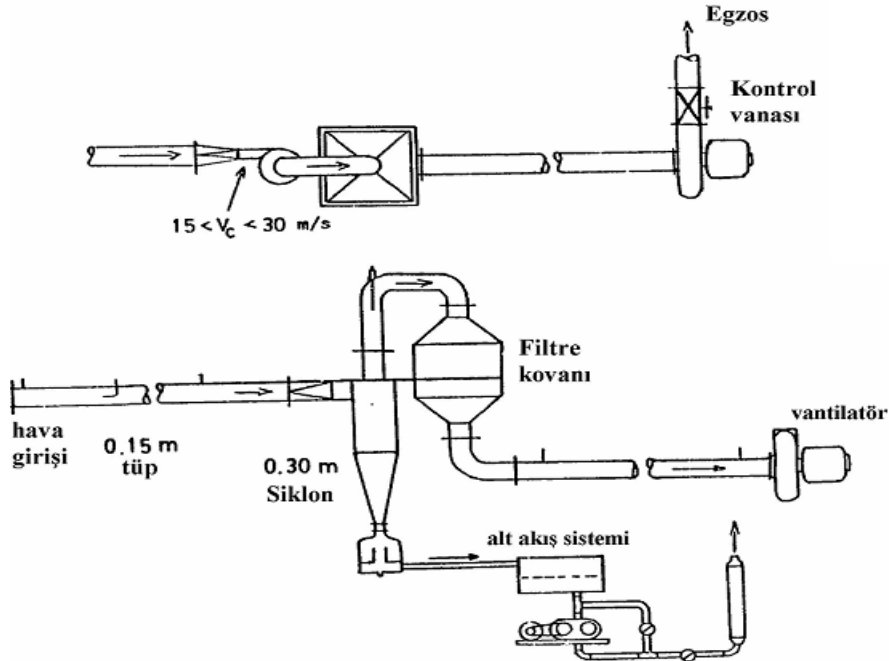
Endüstride siklonların proje mühendisleri tarafından öncelikle tercih edilmelerinin başlıca sebebi, yatırım ve işletme masrafları yönünden düşünüldüğünde yüksek sıcaklık, yüksek nem ve yapışkan özellikte iletilen malzeme söz konusu olduğunda ayırıcı olarak çok daha düşük maliyet gerektirmeleridir. Hava ve malzeme karışım oranı(μ)'nün artması ile siklondaki basınç kaybı azalır. Çünkü siklona akış yapan havanın (u)çevresel hızı, havanın malzeme üzerine yaptığı sürtünme kuvveti etkisiyle düşecektir.

4.3 Deneilerde Kullanılan Siklon Tesisatı

İki çeşit siklon kullanılmaktadır.

1)Metal Siklon (Standart siklon):

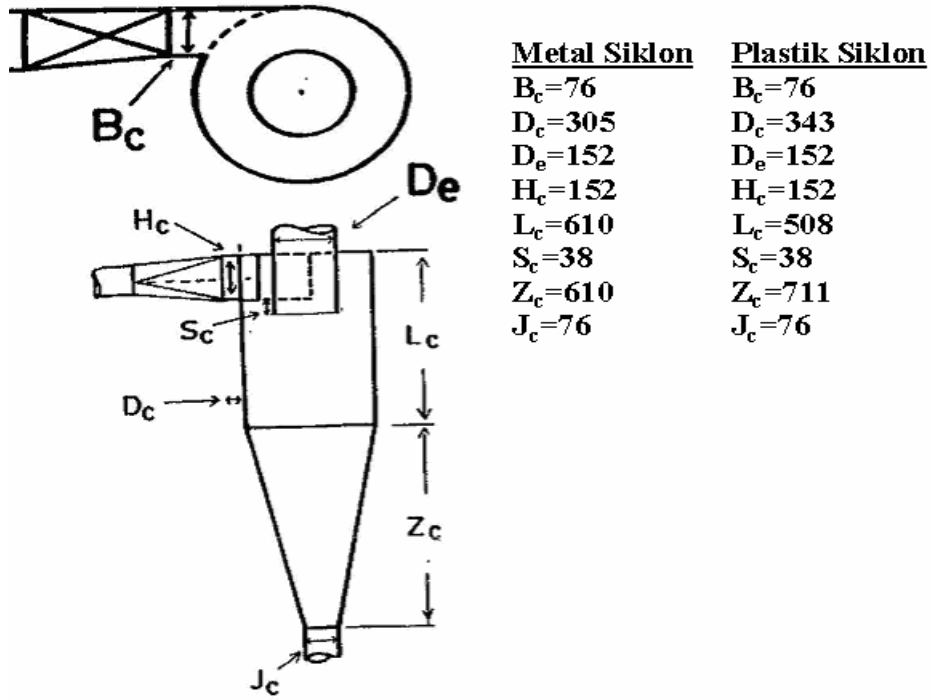
Lapple'nin $D_c=30.5$ cm ile tasarladığı siklon Şekil 4.7'deki gibidir. Bu tip siklon 1977-1978 yılları arasında deneilerde kullanılmıştır.



Şekil 4.7 Siklon sistemi (Tran, 1981)

2)Plastik Siklon:

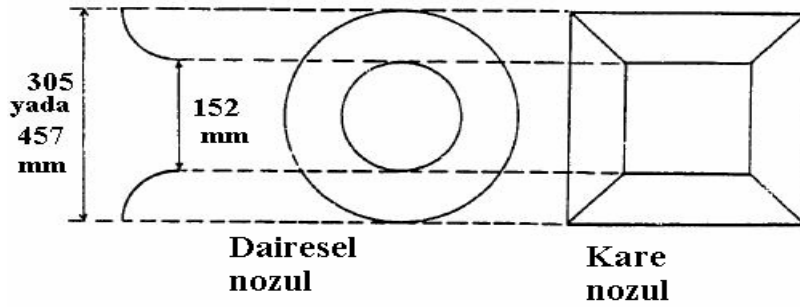
Bazı amaçlar için metal siklona yerine plastik siklon tercih edilir. En belirli avantajı çalışma esnasında duvarın yakınındaki bölgeleri görülebilir olmasıdır. Siklonun içerisindeki akış bölgeleri çok rahatlıkla görülebilir özellikle akışın sınır tabakaları görülebilir. Kullanılan plastik akriliktir ve kalınlığı 6.4 mm'dir. Şekil 4.8' de plastik siklonun boyutları gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Siklonun boyutları (mm) (Tran, 1981)

Giriş borusu:

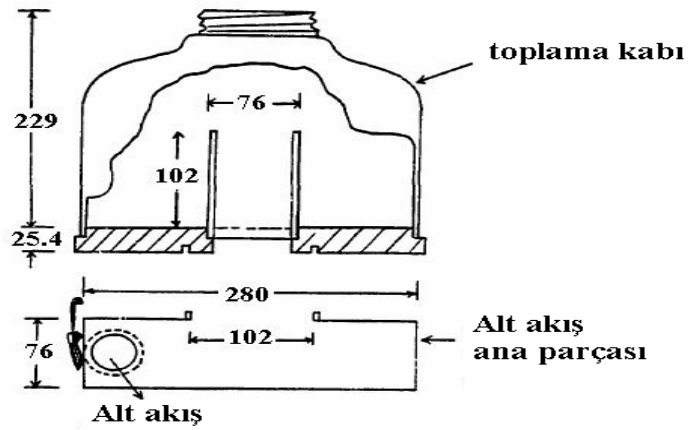
Metal siklon için, giriş kanalı olarak 15 cm'i çelik olan dört metrelik boru; Plastik siklon için 152x152 'lik kare olan dört metrelik plastik boru kullanılır. Girişteki akışı kolaylaştırmak için Şekil 4.9' daki gibi girişe nozul konur ve yapılan işin ölçümlerine yardımcı olur.



Şekil 4.9 Nozul girişi (Tran, 1981)

Toz Toplayıcı:

Alt akış sistemiyle bağlantısını sağlamak için açık bir bölümü bulunan kısa plastik kaba toz toplayıcı denir. (Şekil 4.10)

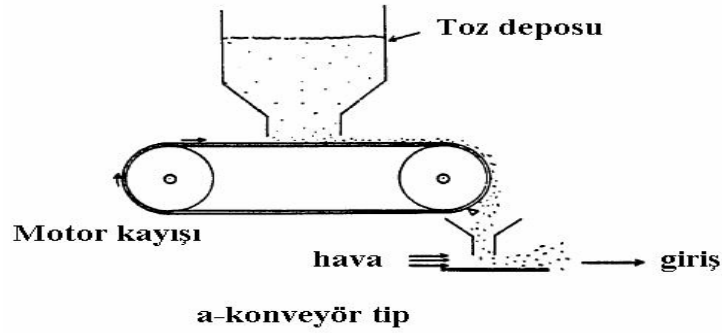


Şekil 4.10 Toz toplayıcı (Tran, 1981)

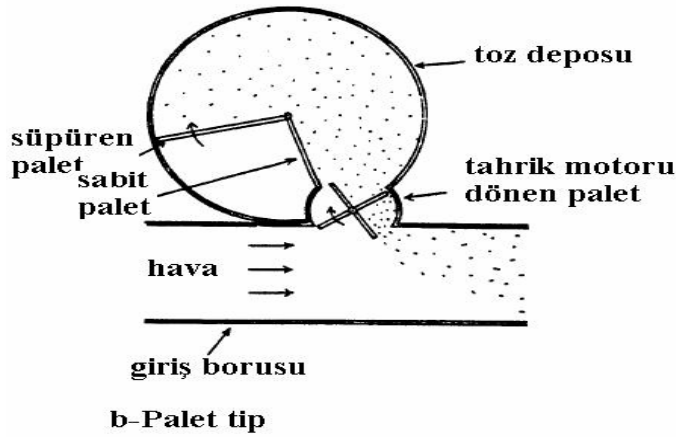
Toz besleyicisi:

Konveyör-kayış besleyici kullanılmıştır. (Şekil 4.11a) Taşınan toz, değiştirilmiş kap tarafından kayışla beslenir. Daha sonra kayış, tozları hava jet dağıtıcısına taşır. Uçan tozlar giriş borusunun girişine emilir. Bu besleyicinin sabit toz beslemesi ve sabit akış oranına

sahip olmadığı görülmüştür. Son yıllarda ikinci bir toz besleyici kullanılmaya başlanmıştır. (Şekil 4.11b) Bu tasarımda besleyici içerisindeki toz hareketli paletler (çarklar) tarafından besleme valfine karşı tutulmaktadır. Tahrik motor dişli çarkı tozu dağıtmak için sabit hızda döner. Besleyici giriş nozulunun bir parçası olarak görev yaptığı için etrafa toz kaçmasına izin vermez. İkinci besleyicinin deneylerde kullanım amacı zamana bağlı olarak besleme hızının sabit olması ve toz akışında uzun süreli kesintiye uğramamasıdır.

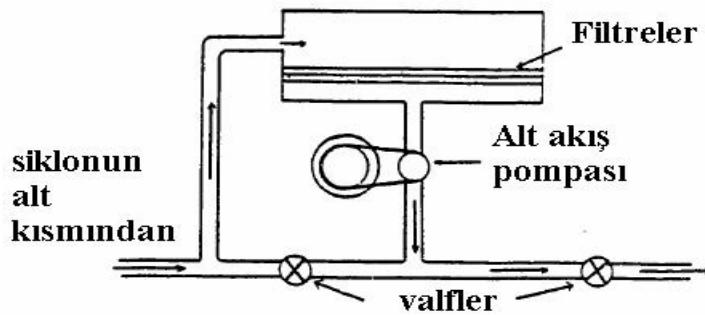


Şekil 4.11 Toz besleyiciler (Tran, 1981)



Alt akış sistemi:

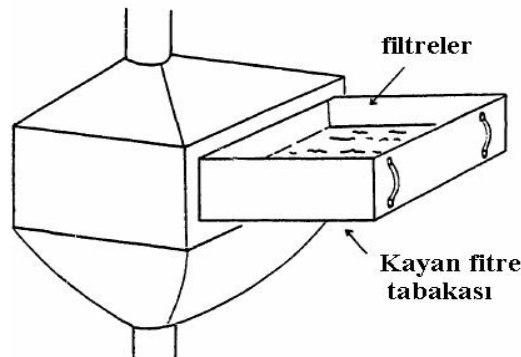
Şekil 4.12’de alt akış sisteminin detayları gösterilmektedir. Alt akış, konik bölümdeki sınır tabaka akışını ve tekrar sürüklenen tozun etkisini tanımlamak için kullanılır.



Şekil 4.12 Alt akış Sistemi (Tran, 1981)

Filtre tabakası:

635x635 filtre tabakası siklondan kaçan tozları toplamak için kullanılır. (Şekil 4.13) Böylece bu tozlar ne vantilatöre zarar verebilir nede atmosfere kaçabilir. Çok ince toz tutucu olarak adlandırılan lifli cam elyafından yapılmış kumaştan oluşan ve 25.4 mm kalınlığındaki filtre ortamı 10 mikron ve üzerindeki tanecikleri engeller.



Şekil 3.13 Ana akış filtreleri (Tran, 1981)

Vantilatör:

Bu çalışmada Kuzey Amerikan Mfg. Şirketi tarafından üretilen 15 HP gücündeki vantilatör kullanılmıştır. Bu vantilatör çok yüksek işlem hacminde çalışabilir fakat bu işlemde çevre şartlarında istenen ortalama giriş hızı 40m/s verilmiştir.

4.4 Siklondaki Basınç Düşüşü

1939 yılından beri giriş ve çıkış gaz kanalları arasındaki statik basınç farkı için birçok teori üretilmiştir. Giriş ve çıkış kanalı arasındaki basınç farkına etkiyen birçok faktör olduğu belirlenmiştir ve bunu ilk Shepherd ve Lapple tanımlamıştır.

- 1)Gaz siklona girerken genişlemesine bağlı olarak basınç düşüşü
- 2)Siklonun silindirindeki dönme kinetik enerji düşüşüne bağlı olarak basınç kaybı
- 3)Duvarlara sürtünmeden dolayı oluşan basınç kaybı
- 4)Gazların çıkışına bağlı olarak basınç kaybı
- 5)Basınç enerjisi gibi dönme kinetik enerjisinin geri kazanılmamasından dolayı basınç kaybı

Basınç düşüşünü belirleyen ana teoriler siklon basınç düşüşünü en iyi tanımlayan iki ve üçüncü faktörleri dikkate alır ve aşağıdaki formülü kullanırlar:

$$\Delta P = \xi \frac{V_{in}^2}{2g} \quad (4.1)$$

1)1939 ve 1940 yılında $K_2=16$ için standart teğetsel girişli bir siklon için Shepherd ve Lapple tarafından ilk korelasyon yapılmıştır.

$$\xi = K_2 \frac{ab}{D_e^2} \quad (4.2)$$

2)1949'da Alexander tarafından, gaz akışında enerji kaybına bağlı basınç düşüşünü elde etmişlerdir. Sonuç olarak sürtünme katsayısı için aşağıdaki eşitliği hesaplamışlardır.

$$\xi = 4.62 \frac{ab}{DD_e} \left[\left[\left(\frac{D}{D_e} \right)^{2n} - 1 \right] \left\{ \frac{1-n}{n} \right\} + f \left(\frac{D}{D_e} \right)^{2n} \right] \quad (4.3)$$

$$\text{burada } n = 1 - \left(1 - \frac{(0.394D_c)^{0.14}}{2.5} \right) \left(\frac{T}{283} \right)^{0.3}$$

$$\text{ve } f = 0.8 \left[\frac{1}{n(1-n)} \left(\frac{4-2^{2n}}{3} \right) - \left(\frac{1-n}{n} \right) \right] + 0.2 \left[(2^{2n} - 1) \left(\frac{1-n}{n} \right) + 1.5(2^{2n}) \right]$$

3)1949 yılında Stairmand, giriş ve çıkışta siklon vorteksinde toplam kayıplardan dolayı toplam enerji kaybını düşünerek ve dönen gaz akışına maruz kalan siklonun tüm iç yüzeylerini göz önünde tutarak hesaplama yapmıştır. Stairmand sürtünme katsayısı için aşağıdaki eşitliği elde etmiştir.

$$\xi = 1 + 2\phi^2 \left(\frac{2(D-b)}{D_e} - 1 \right) + 2 \left(\frac{4ab}{\pi D_e^2} \right)^2 \quad (4.4)$$

Burada

$$\phi = \left(\frac{- \left(\frac{D_e}{2(D-b)} \right)^{(1/2)} + \left(\frac{D_e}{2(D-b)} + \frac{4GA}{ab} \right)^{(1/2)}}{\left(\frac{2GA}{ab} \right)} \right)$$

G sürtünme faktörüdür ve yaklaşık olarak 0.005 ' e eşittir. A siklondaki dönme akışının olduğu açık alandır. A aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - D_e^2) + \pi Dh + \pi D_e S + \frac{\pi}{2}(D + B) \left[(H - h)^2 + \frac{(D + B)^2}{2} \right]^{(1/2)} \quad (4.5)$$

4) Vantilatörsüz giriş borusu için $K_1=0.5$ ile yeni bir basınç düşüş korelasyonu:

$$\xi = \frac{\left(\frac{12}{K}\right)\left(\frac{ab}{D_e^2}\right)}{\left[\frac{h(H-h)}{D^2}\right]^{1/3}} \quad (4.6)$$

5) Son teoride Barth tarafından 1956 yılında yapılmıştır. ε_e ve ε_i iki faktörün toplam fonksiyonunu basınç düşüşü olarak tanımlamıştır. Burada ε_e faktörü siklonun girişindeki kayıplara, iç sürtünme ve kinetik enerji kayıplarına bağlıdır. ε_i faktörü gaz çıkışındaki basınç kaybına bağlıdır.

$$\xi = \left(\frac{u_i}{v_i}\right)^2 + \left(\frac{4ab}{D_e}\right)^2 [\varepsilon_e + \varepsilon_i] \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_e = \frac{D_e}{D} \left\{ \frac{1}{\left[1 - (u_i / v_i)(H - S)(2 / D_e)\lambda\right]^2} - 1 \right\}$$

$$\varepsilon_i = \frac{4.4}{(u_i / v_i)^{2/3}} + 1$$

$$\frac{u_i}{v_i} = \frac{(D_e / 2)(D - b)\pi}{2ab\alpha + (H - S)(D - b)\pi\lambda}$$

$$\alpha = 1 - 1.2 \frac{b}{D}$$

Burada sürtünme katsayısı λ 0.02'ye eşittir.

Kütlenin Korunumu:

Silindirik koordinatlar formülasyonunu kullanırken kütlenin, momentumun ve tüm skaler büyüklüklerin korunumu eşitliklerini Fluent açıkça çözer. Silindirik formülasyon, ilişkili terimler eğrisini direk hesaplamayı sağlar, yüksek dönme içeren problemlerde daha doğru nümerik sonuçlar kazandırır. Siklon ayırıcısındaki akışın tamamen türbülans, sabit yani sıkıştırılmaz olduğu kabul edilir. Silindirik koordinatlarda (x, r, θ) ortalama süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial \theta} = 0 \quad (4.8)$$

Burada u ortalama zamanlı eksenel hız bileşeni, v ortalama zamanlı radyal hız bileşeni ve w ortalama zamanlı çevresel hız bileşenidir.

Momentumun korunumu:

Her bir silindirik koordinat yönündeki momentumun korunumu denklemi:

Eksenel yönde:

$$\rho \left(\frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rvu)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(wu)}{\partial \theta} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{rr})}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\tau_r\theta)}{\partial \theta} + F_x$$

Radyal yönde:

$$\rho \left(\frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rvv)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(wv)}{\partial \theta} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\rho w^2}{r} + \frac{\partial(\tau_{rr})}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\tau_{rr})}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\tau_r\theta)}{\partial \theta} - \frac{\tau_{\theta\theta}}{r} + F_r$$

Çevresel yönde:

$$\rho \left(\frac{\partial(uw)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv w)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(w w)}{\partial \theta} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} - \frac{\rho v w}{r} + \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial x} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial(r^2 \tau_{r\theta})}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r \tau_{\theta\theta})}{\partial \theta} + F_{\theta}$$

Burada silindirik koordinatlardaki gerilim bileşenleri:

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) - \rho u'^2$$

$$\tau_{rr} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) - \rho v'^2$$

$$\tau_{\theta\theta} = 2\mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + \frac{v}{r} \right) - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) - \rho w'^2$$

$$\tau_{xr} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial(v)}{\partial x} \right) - \rho v' u'$$

$$\tau_{x\theta} = \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial(w)}{\partial x} \right) - \rho w' u'$$

$$\tau_{r\theta} = \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + r \frac{\partial(w/r)}{\partial r} \right) - \rho v' w'$$

Eşitlikteki u' , v' , w' her bir yöndeki ortalama hız bileşenlerinin anlık büyüklüklerinin fonksiyonudur. F_x , F_r , F_{θ} ise eksenel, radyal ve çevresel yöndeki yerçekimine bağlı gövde kuvvetleridir.

Türbülans modelleri:

Türbülans akışlarda, dalgalanma bileşenler ve toplam olarak bir noktadaki hız göz önüne alınır.

$$u_i = \overline{u_i} + u_i' \quad (4.9)$$

Türbülans akışı tahmin için, bu eşitlik ana momentum eşitliğine eklenir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \left(\frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \right) - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + F_i + \frac{\partial}{\partial x_j}(\overline{\rho u_i' u_j'})$$

Standart duvar fonksiyonu:

Türbülans akışta, duvar sınır tabakası bir laminar alt tabaka ve tamamen türbülans akış bölgeden oluşur. Bu bölgede, duvar gerilimi duvar fonksiyonu yoluyla hesaplanabilir.

$$\frac{u_p}{u^*} = \frac{1}{K} \ln(E y^+) \quad (4.10)$$

burada

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$$

$$y^+ = \frac{\rho k_p^{1/2} c \mu^{1/4} \Delta n_p}{\mu} \quad (4.11)$$

Türbülans sınır tabakasındaki sabit kesme gerilimi ve lokal denge şartlarını varsayarak aşağıdaki eşitlikte y^+ elde edilir:

$$y^+ = \frac{\rho u^* \Delta n_p}{\mu}$$

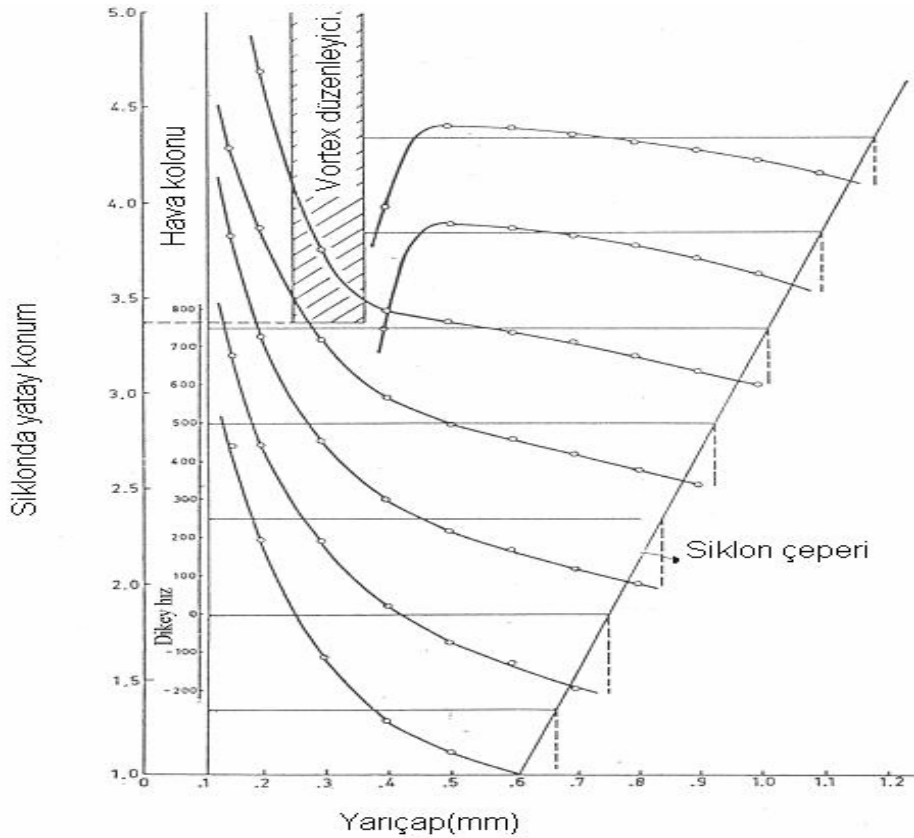
Bu denklem türbülans akış verilerinin amprik uygunluğunu gösterir ve y^+ değeri 15-20'nin üzerinde olduğunda geçerlidir. Eğer y^+ 11.225'ten küçükse kesme gerilimi aşağıdaki fonksiyonla bulunur.

$$\tau_w = \mu \frac{\partial u}{\partial n} = \mu \frac{\Delta u}{\Delta n}$$

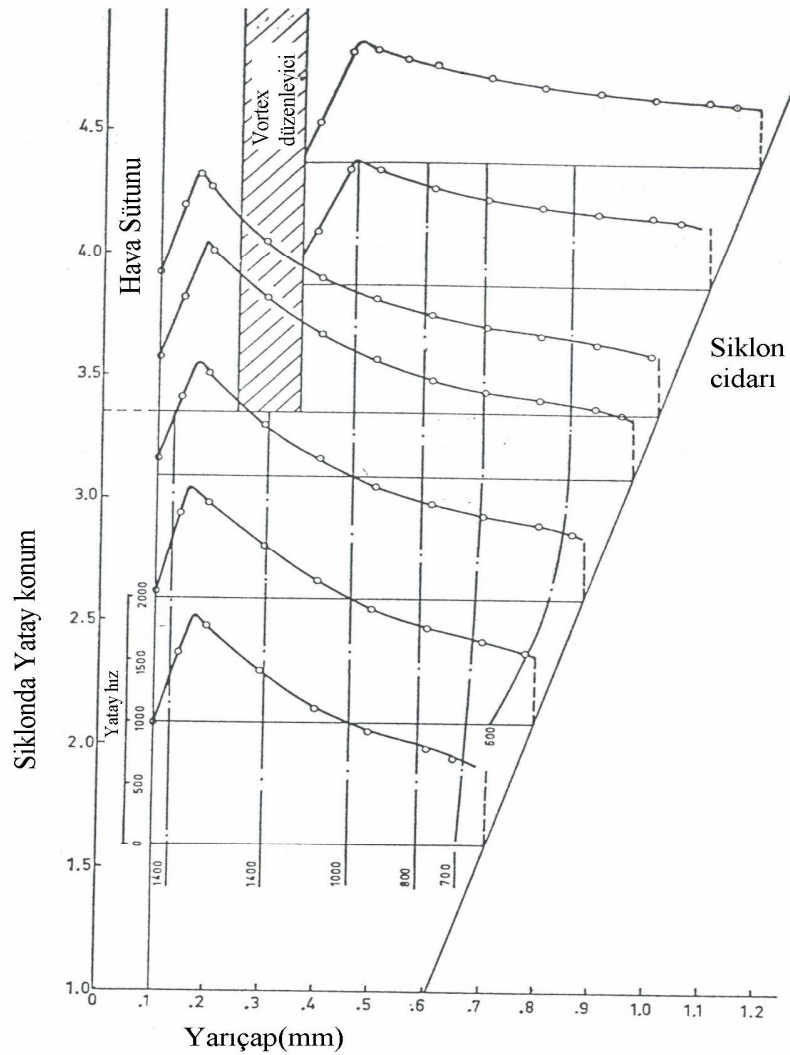
4.5 Siklonda Akış Modeli

Siklonun giriş boğazı ve giriş bölgesi hariç silindirik simetriye sahip olan gövde kısmındaki akış göz önüne alınır. Bu nedenle; u (radyal giriş), v (teğetsel), w (açısal) hız bileşenlerini, z ve eksene uzaklığın fonksiyonu r ' yi bilmemiz gerekir. Farklı boyut ve özellikteki siklonlarda akış modelleri ile bu hız bileşenleri arasında oldukça karmaşık ölçme yöntemleri mevcuttur.

a)KELSALL optik bir cihaz kullanarak askıda kalmış taneciklerin hareketlerini izleyerek v ve w ' yi ölçmüştür. Bu sonuçlardan u hesaplanabilmektedir. Bu ölçümler; oldukça uzun vorteks ayırıcıyla çok kısa silindirik bölüme sahip küçük bir hidrosiklonun konisinde alınmıştır.



Şekil 4.14 Küçük bir hidrosiklonda düşey hız dağılımı (Rietema, 1961)



Şekil 4.15 Küçük bir siklondaki teğetsel hızlar (Rietema, 1961)

b) TER LINDEN , Pitot tüpü kullanarak toz toplayıcı siklondaki akışın kapsamlı bir araştırmasını tamamlamıştır. Bu verilerle üç hız bileşeni ve basınç ölçülebildiği için KELSALL'ın yaptığı ölçümlere göre daha eksiksizdir. Bu metotta Pitot tüpünün şekli, statik ve toplam basıncın radyal bileşenlerinin varlığı nedeniyle dönmeye meydana gelen yavaşlamadan dolayı büyük hataların oluşma olasılığı vardır. Oluşacak bu hataları önlemek için, geniş bir tünel içinde küreyi kalibre ederiz.

c) SHEPPARD ve LAPPLE, bir hava siklonuyla çalışmışlardır ve Ter Linden ile benzer sonuçları elde etmişlerdir. Bu metod kullanılarak, Pitot tüpüyle hız ölçümü yapılmış ve aerodinamik akışla akış yönü belirlenebilmiştir.

d) FONTEIN ve DIJKSMAN, verilen hidrosiklonun cidar basınç değerleri kullanılarak teğetsel hız hesaplanmıştır. Daha sonra suyla aynı yoğunluğa sahip küçük bir kürenin hareketini filme almışlardır.

Bu ölçümler karşılaştırılabilir şartlar altında yürütülmemiştir ve detaylar kontrol edilmemiştir. Bu nedenle deneysel farklılıklar görmek o kadar şaşırtıcı değildir. Sonuç olarak aşağıdaki gerçekler ortaya çıkmıştır:

İyi tasarlanmış bir siklonda giriş yarıçapı r_1 'deki teğetsel akış v_1 , giriş boğazındaki V hızından çok küçük değildir. v hızının arttırılması; iç yöndeki çapın r_e çıkış yarıçapından küçük olan r_2 yarıçapına kadar arttırılmasıyla sağlanır. (r_2/r_e 0,5 ile 0,7 arasındadır.) Giriş yönünde momentum ur azalır.

4.6 Siklonda Akış Dinamiği Analizi

Siklon hareketi için hidrodinamik denklemlerin çok sayıda zorlukları olan bir çözüm yolu vardır. Denklemlerin en basiti süreklilik durumudur. Silindirik simetri hesabı üzerine $d_r d_z$ kesit alanıyla dairesel halka kesitinin içindeki net akışı göz önüne alırız. Bu akışı denklemde yerine koyup sıfıra eşitlersek;

$$\frac{\delta}{\delta}(ur) = r \frac{\delta w}{\delta z} \quad (4.12)$$

Bu denklem, w' nun ölçümleri yapılarak ya da deneysel sonuçlar kullanılarak u 'nun hesaplanması için kullanılabilir. Koninin içi ve çevresindeki radyal akış bileşeni u , siklonun verimliliği için çok önemlidir. Teorik olarak siklon içindeki şartlar yükseklikten bağımsız olarak kabul edilir ve aşağıdaki formül elde edilir:

$$u = q' / 2\pi r \quad (4.13)$$

q' koni içinde birim yüksekliğe düşen akış hacmidir. Daha sonra sıvının hareket denklemlerini göz önünde bulundurmalıyız. Sıvının ivme denklemleri ve basınç kuvvetlerinin toplamı, yüzey üzerinde sürtünme gerilimlerinin denkleminde yerine yazılır. Akışın silindirik simetride olduğu, u ve w 'nin v ile karşılaştırılacak kadar küçük olduğu, gerilim bileşenleri $\sigma_r\theta$ olduğu kabul edilerek işlem yapılır. Bu varsayımlar koni ve komşu cidarlar hariç tutularak yapılır. Bu denklemler:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (4.14)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{v^2}{r} \quad (4.15)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial r}(\sigma_r^2) = -u \frac{\partial}{\partial r}(rv) + w \frac{\partial}{\partial z}(rv) \quad (4.16)$$

u yada w 'nin tek çarpan olarak katıldığı terimler dikkate alınarak formülü yazarız. Bir gerilim bileşeni olan $r\theta$ 'nin basınç yaptığını göz önünde tutarız. FONTEIN tarafından hazırlanan eşitlikte hız, basınç ölçümlerinden faydalanılarak tanımlanır ve tekrar dairesel halka göz önünde bulundurulur. Türevlerle yapılan varsayımda z ihmal edilebilir ve aşağıdaki formül yazılabilir:

$$\frac{\rho q'}{2\pi} \frac{d}{dr}(vr) = \frac{d}{dr}(\sigma_r^2) \quad (4.17)$$

$$\sigma_1 = -f \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad (4.18)$$

Silindir cidarında f bir sürtünme katsayısıdır ve boruda akış denklemleri yardımıyla hesap makinesinde hesaplanabilir. $0,01$ 'den küçüktür. f cidar pürüzlülüğüyle artar; v_1

ve r_1 'in artmasıyla azalır. Koninin rijit bir yapı gibi döndüğünü varsayarak geçici olarak $\sigma_2=0$ yazabiliriz. (4.17) formülünün r_1 ve r_2 'ye göre integralini aldığımızda;

$$f = \frac{q'}{\pi v_1 r_1} \left(1 - \frac{v_2 r_2}{v_1 r_1}\right) \quad (4.19)$$

Bu formül siklon içerisindeki hareketleri anlamada daha kullanışlıdır. Farklı siklon akışlarını karşılaştırmak amacıyla v_1 , r_1 ve r_2 'nin aynı değerlerini kullanırız. q' nun tanımıyla bağlantılı olarak (4.19) formülünü tanımlarsak:

Sürtünme faktörü x Yükseklik = Sabit x Koniye radyal giriş akışı x Bağlı Momentum düşüşü

Bu formülle, aynı giriş hızında geniş giriş boğazı gerektiren radyal akışın azaltılması, yüksekliğin azaltılması, pürüzsüz cidarlar ile momentum düşüşünün azaltılması ve dolayısıyla koninin dönüş hızının azaltılması sağlanır.

Ayrıştırma karakteristiklerinin ve basınç düşüşünün maksimum teğetsel hız v_2 'ye bağlı olduğunu görmek isteriz. Bu miktarlar kolaylıkla ölçülebilir. Amacımıza ulaşmak için Formül 4.19'u kullanırız. v' nin r' ye gerçek bağlılığını bilmek isteriz ancak günümüzde σ için daha fazla bilgi alabileceğimiz bir teori yoktur. Pratikte amprik yaklaşım aşağıdaki gibidir:

$$\frac{v}{v_1} = \left(\frac{r_1}{r}\right)^n \quad (4.20)$$

$$\text{ya da } \frac{v}{v_1} = \beta \left(\frac{r_1}{r}\right) + (1 - \beta) \left(\frac{r}{r_1}\right) \quad (4.21)$$

Bunlar genellikle koninin dış bölgesi için kullanılır. Verimli siklonlarda n ; 0,5 ile 0,8 arasındadır.

4.7 Askıda Kalan Taneciklerin Hareketi

Tüm siklonlar ayırıştırma amacıyla kullanılır, bazı araştırmacılar siklondaki taneciklerin yörüngesini hesaplamak ve ayırmada minimum tanecik çapını elde etmek için formül türetmişlerdir. Bu hesaplamalar için ilk şart, tüm hız bileşenlerinin tam olarak bilinmesidir. Tanecikler kendi ağırlıklarından çok küçük düşme hızına sahiptirler. Daha iri tozlar daha farklı yollardan ayrılır. Havadaki bir küçük küre için bu düşüş hızı Stoke's yasasına göre:

$$a = \frac{\Delta\rho d^2}{18\eta} g \quad (4.22)$$

Burada d tanecik çapı, $\Delta\rho$ sıvı ve katı malzeme arasındaki yoğunluk farkını, η sıvının viskozitesini gösterir.

Taneciğin havaya göre bağıl hızı u_s ise viskoz sürtünme $u_s g / a$ 'ya bağlı olarak azalır. Bir siklondaki u_s , v 'den çok küçük ve a 'dan çok büyüktür. Bu nedenle yerçekimi ihmal edilebilir ve taneciğin ivmesi ortamınkine eşit olarak yazılır.

$$u_s = \frac{av^2}{gr} = \frac{\Delta\rho d^2 v^2}{18\eta r} \quad (4.23)$$

4.8 Enerji Kayıpları

Bir siklonu tasarlarken ayırma kapasitesi yanında maliyetini de göz önünde bulundurarak güç tüketimini göre seçim yaparız. Üretilen bir işte, giriş ve çıkış arasındaki basınç farkı ΔP oldukça düşük olabilir. Girişteki hızla basınç kaybı arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\Delta P = G \frac{1}{2} \lambda V^2 \quad (4.24)$$

Bazen diğerk bir katsayı olan α kullanılarak bağıntı tanımlanır:

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2(\Delta P + \frac{1}{2} \lambda V^2)}{\lambda}} \quad (4.25)$$

görüldüğü gibi;

$$G = \frac{1}{\alpha^2} - 1 \quad (4.26)$$

Tamamlanmış bir siklon teorisi, tasarım parametrelerinin bir fonksiyonu olan G ve Reynolds sayısını içerir. SHEPPARD-LAPPLE, STAIRMAND ve ALEXANDER gibi geleneksel araştırmacıların teorilerinde, enerji düşüşünün kaynakları da yer alır.

Giriş Kayıpları:

$V > v_1$ olduğunda çıkış kinetik enerjisi kaybedilir. Borularda genişleme kayıpları için iyi bilinen bir formül yazılabilir:

$$\Delta P = G_1 \frac{1}{2} \rho (V - v_1)^2 \quad (4.27)$$

ve G_1 'in değeri tahmin edilir.

Dönme Kinetik Enerjisi Kayıpları:

Koninin dış tepe noktasındaki tüm kayıplar (4.15) formülü kullanılarak hesaplanabilir:

$$\frac{d}{dr} \left(p + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) = \frac{\rho v^2}{r} + \rho v \frac{dv}{dr} = \frac{\rho v}{r} \frac{d(vr)}{dr} \quad (4.28)$$

4.9 Toz Halinde Dağılmış Katıların Ayırıştırılması

Araştırmacılar, sabit yörüngeleri temel alarak ayırıştırmanın ana şartlarını belirlemişlerdir. Bir yarıçap tarafından oluşturulan santrifüj kuvveti, taneciğe etkiyerek dairesel bir yörünge meydana getirir. Bu yörünge Stokes 'a göre radyal akıştan dolayı sabit bir yörüngeyi ifade eder.

Küresel bir taneciğin çapı d olmak üzere bu sabit:

$$\text{Hacim} \times \text{Yoğunluk farkı} \times \text{Merkezkaç ivmesi} = 3\pi\eta ud$$

$$\text{ya da } \frac{1}{6} \pi d^3 \times \Delta\rho \times \frac{v^2}{r} = 3\pi\eta ud \quad (4.29)$$

$$\text{ve ya } \frac{d^2 \Delta\rho}{18\eta} = \frac{ur}{v^2} \quad (4.30)$$

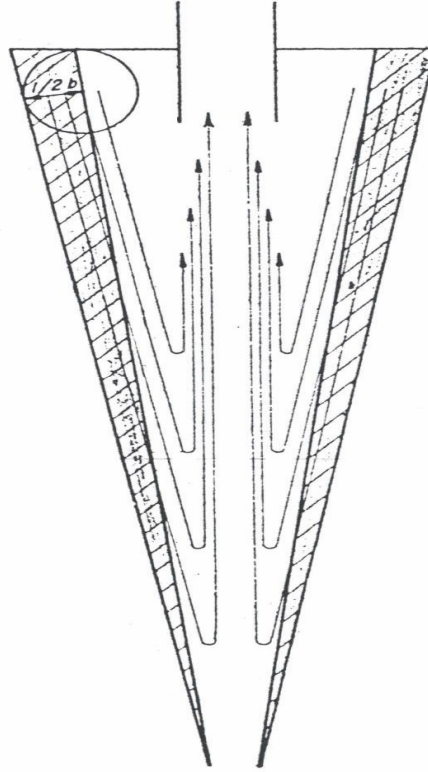
Mesela $v=v_1/r^n$ ve $u=\text{sabit} \cdot v_1/r^m$ olursa

$$\frac{d^2 \Delta\rho}{18\eta} = \frac{\text{sabit}}{v_1} r^{1+2n-m} \quad (4.31)$$

Taneciğin belirlenmiş d çapı için sabit yörünge bu formüllerle belirlenir. Büyük çapa sahip tanecikler büyük bir yörünge tanımlar (genellikle $1+2n-m>0$) ve küçük çaplı tanecikler küçük yörüngeleri tanımlar.

4.10 Siklon Karakteristiklerinde Ortak Noktalar

Ayırıştırma güncel teoriye dönerek KELSALL ve TER LINDEN tarafından belirlenen akış örneklerini incelediğimizde, siklon cidarlarına yakın radyal ve eksenel hızların pratikte sabit ve her iki hızın belirli bir oranda siklon cidarına paralel hareket ettiğini görürüz. (Şekil 4.16)



Şekil 4.16 Bir siklondaki eksenel ve radyal akış çizgileri (**Rietema, 1961**)

Bu saptama, kendini çevreleyen sıvıyla aynı yoğunluğa sahip taneciğin santrifüj kuvveti olmadan siklon cidarına olan uzaklığını aynı mesafede koruduğunu gösterir.

Santrifüj kuvvetinin etkilediği bir d_{50} taneciği sadece cidarla değil aynı zamanda sıvıya göre (gaz siklonu ise gaza göre) $\frac{1}{2}b$ uzaklığını korur. Sıvıya göre hızını, santrifüj kuvvetinin etkisi sonucunda parçacık tarafından oluşturulan u_s hızı olarak tanımlarız. Bu hız sabit değildir ve teğetsel hız gibi artar. Bu teğetsel hız da siklonun çapının azalmasıyla artar.

$$\int_0^T u_s dt = \frac{1}{2}b \quad (4.32)$$

u_s , tanecik boyutu tarafından belirlenir, viskozite ve santrifüj kuvvetiyle ilişkisi:

$$u_s = \frac{d_{50}^2 \Delta \rho v^2}{18 \eta r} \quad (4.33)$$

Burada dt yerine dz/w yazabiliriz. Taneciğin aksenal uzaklığı z ve aksenal hızı w 'dır. Bu hız, sıvının aksenal hızına eşittir.

$$dt = \frac{dz}{w} = \frac{1}{w} \frac{L}{R} dr \quad (4.34)$$

Daha öncede belirtildiği gibi w sabit olduğu için tüm bu sonuçları aşağıdaki gibi formül edebiliriz:

$$\int_0^T u_s dt = \frac{1}{2} b \quad (4.35)$$

$$\frac{1}{2} b = \int_0^T \frac{d_{50}^2 \Delta \rho v^2}{18 \eta} \frac{L}{r} \frac{dr}{R} \frac{1}{w} = \frac{d_{50}^2 \Delta \rho}{18 \eta} \frac{L}{WR} \int_0^R \frac{v^2}{r} dr \quad (4.36)$$

Böylece,

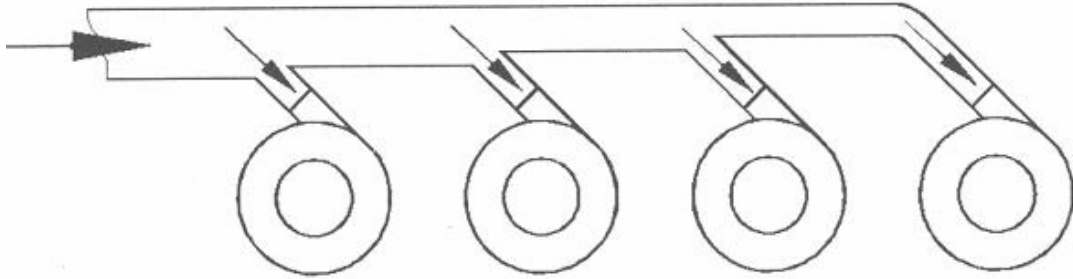
$$\rho \int_0^R \frac{v^2}{r} dr = (\Delta P)_{st} \quad (4.37)$$

Bu denklemde, $(\Delta P)_{st}$ siklondaki statik basınç farkıdır. Santrifüj kuvveti sıvı ya da gazın dönen kütlelerini etkiler. Eğer bu kütleler eş merkezli tabakalar halinde düşünülürse her bir tabaka üst üste uzanır. Bu basınç, tüm yarıçap uzunluğu için integre edilirse bize statik basınç farkını verir.

4.11 Siklon Konstrüksiyonunu Etkileyen Faktörler

Siklonlar genel olarak belirli bir basınç kaybı dikkate alınarak tasarlanırlar. Atmosferik basınçta çalışan normal özellikteki siklonlarda vantilatörün karşılayabileceği basınç kayıpları, siklon giriş hızlarını 6 ile 20 m/s arasında sınırlar. Bu nedenle siklonları genellikle 15 m/s gaz hızlarında çalışacak şekilde tasarlamak gerekebilir.

Siklon verimini etkileyebilecek başlıca tasarım faktörü siklonun çapıdır. Aynı basınç kaybında çalışan daha küçük çaplı bir siklonun verimi daha yüksek olacaktır. Bunun yanı sıra belirli bir miktardaki gazı ayrıştırabilmek için küçük çaplı siklonlardan birden fazlasının paralel olarak uygulanması gerekebilir. Bu tarz uygulamaya multisiklon yapı da denilmektedir. (Şekil 4.17)



Şekil 4.17 Multisiklon sistemi (Arun, 1997)

Siklondan geçen gaz miktarının artması ile verim normal olarak artacaksa da topaklar oluşturan tozlar yüksek hızlarda tekrar dağılacığından bu durumun tam tersi gaz miktarı arttıkça verim azalabilir.

Siklon gaz borusunun çapının azaltılması basınç kaybını artırır. Siklon uzunluğunun gaz giriş borusunun uzunluğuna oranı hakkında yapımcı firmalar kendi deneyimlerini sunmaktadırlar. Ayrıca belirli bir gaz giriş hızında genişliğin minimumda

tutulması gerekir. Siklona gaz girişindeki boğazın uzantı kısmının uzunluk-genişlik oranının yüksek tutulması da verimi yükseltir. Bunların dışında, gazın siklon gövdesine girişindeki basınç kayıplarının artmaması için boğaz uzantı parçasının gövdeye uyacak biçimde yapılması gereklidir. Yüksek verimli siklonların çoğunda koni yükseklikleri, siklon çapının 1,6 ile 3 katı kadar olabilir.

Bir siklon basınç altında olduğu kadar vakum altında da çalışabilir. Vakum altında çalışan siklonlarda sızdırmazlığın çok iyi sağlanması gerekir. En ufak bir sızdırmada öncelikle ince tozların tutulma verimleri hızla azalır. Basınç altında çalışan siklondaki sızdırma kaçağı, çevre sağlığını ve temizliğini bozacağı için çok dikkat edilmesi gerekir.

Bir siklon ender olarak bazı durumlarda yatay konumda da çalışabilir. Ancak bu durumda toz çıkış hattının tıkanma eğilimi artacak ve böylece siklonun verimi düşecektir. Siklondan çıkan gaz borusunun tasarım gereği daraltılması istendiğinde, daralma geçişi siklon çıkışından itibaren yaklaşık 5 çaplık bir mesafeden yapılmalıdır. Bu esnada bir dirsek varsa dirsekten sonra yapılmalıdır.

Pnömatik iletimde çoğu kez iletim malzemesinin sürtünmesi nedeniyle boru cidarında ince bir aşınma meydana gelir. Karışım oranı (μ) yüksektir. Bu durumda artan hava sürtünmesi, akım girdabını azaltacaktır. Sonuçta karışım oranı artınca hava miktarında iniş çıkışlar meydana gelir. Böylece projede siklondan beklenen optimum değerler elde edilemeyecektir. Pnömatik tesislerin çoğunda siklonlu toz giderme görevi çevre sağlığını koruma yönünden yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle pnömatik tesislerin sonuna, siklon yerine filtre yerleştirilir. Siklonun teknik birçok işlemden vazgeçilmez olduğu gerçeğine rağmen bir tesiste önce bir siklondan geçirilen ve ardından da bir filtre ile tamamlanan ayrıştırma işlemi yeterli olmayabilir. Tasarımı çok basit ve maliyeti düşük olan siklon, yüksek sıcaklık ve yüksek nem, yapışkan karakterli iletilen malzeme söz konusu olduğu durumlarda toz ayırıcı olarak daima uygun bir sistemdir.

4.12 Siklon ayırıcıların performansı

Siklon boyunca basınç düşüşü ve tanecikleri toplama yeteneğine göre siklonlar sınıflandırılır. Siklon boyunca basınç düşüşü, giriş ve alt akış arasındaki basınç düşüşü olarak tanımlanır. Siklonun toplam toplama etkinliği, alt akıştaki taneciklerin kütle akışının siklondaki taneciklerin kütle akışına oranına denir. Eğer siklonda tanecik birikmesi yoksa ters akışta çalışma modunda toplama verimliliği olarak tanımlanır.

$$E = \frac{\dot{M}_{AA}}{\dot{M}_{AA} + \dot{M}_{\ddot{U}A}} \quad (4.38)$$

Farklı ölçülendirilen küçük siklonların performanslarını belirlerken siklon çapını temel olarak Reynolds sayısı ve giriş hızına bağlı olarak hesaplanır.

$$R_e = \frac{DV_i\rho}{\mu} \quad (4.39)$$

Basınç katsayısı, girişteki dinamik basıncın siklon boyunca düşüş oranı olarak tanımlanır.

$$C_p = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho V_i^2} \quad (4.40)$$

Siklonun tasarımında siklonun performansını etkileyen sekiz ana parametre mevcuttur. Saltzman ve Hochstrasser(1983) vorteks düzenleyicinin giriş çapı, vorteks düzenleyicinin duvar kalınlığı ve siklonun konik bölümünün uzunluğu olmak üzere bu üç geometrik parametreyi deneysel olarak incelemişlerdir.

Konik bölümün uzunluğu:

Siklonun konik bölümünün uzunluğu siklonun toplama verimliliğine ya da akışın yayılmasına önemli bir etkisi yoktur. Konik uzunluğun tüm değerleri için siklondaki toplam hava akış oranının alt akış oranına oranı (R_{AA}) sabit olduğu

bulunmuştur. Reynolds sayısının tüm değerleri için $L_c=4$ cm'de %90 kesim noktası çapı minimum olmuştur. Siklonun yüksekliğine sınırlama getirmediği konik bölgenin uzunluğu siklonun çapına göre 3–5 kat büyüklüğünü korunmalıdır.

Alt akış çapı:

Siklondaki akış bölgesinin belirlenmesinde vorteks düzenleyiciyle beraber akış çapının büyük rolü vardır. Bu nedenle tüm performans karakteristikleri siklon çapının alt akış çapına oranına bağlıdır. Siklon boyunca basınç düşüşü alt akış çapının değişmesine duyarlıdır.

Vorteks düzenleyicinin uzunluğu:

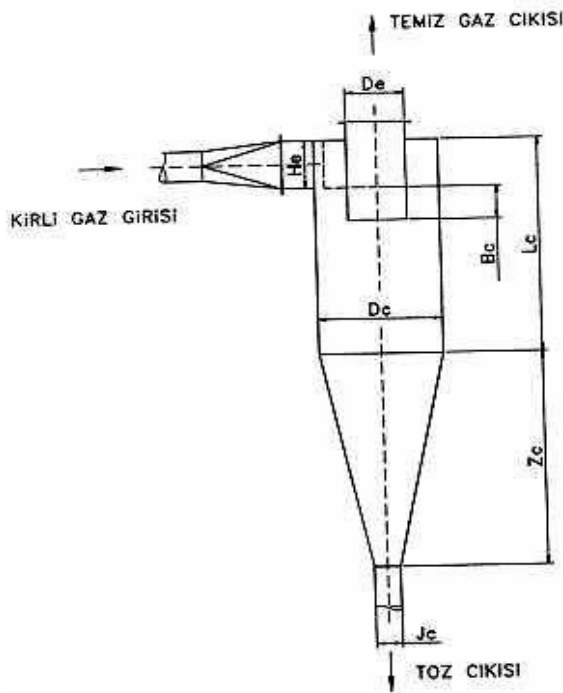
Siklonda ikili (çift) vorteks hareketi üzerine dengeleyici bir etki yapar. Vorteks düzenleyicinin uzunluğu arttıkça siklonun toplama verimliliği ve siklon boyunca basınç düşüşü artar. Buna rağmen performans karakteristiklerinin vorteks düzenleyicinin uzunluğuyla olan fonksiyonları çok fazla önem taşımamaktadır.

Vorteks düzenleyicinin çapı:

Girişten alt akışa kadar olan hava akımının direncini belirlemede vorteks düzenleyicinin çapı dikkate alınır. Çap arttıkça hava akımının direnci azalır ve bunun sonucunda siklon boyunca basınç düşüşü azalır.

4.13 Standart Siklonlar

Spiral akımlı bir siklonun tasarımında boyutları ve çap orantısı aşağıdaki gibi belirlenebilir. (Şekil 4.18)



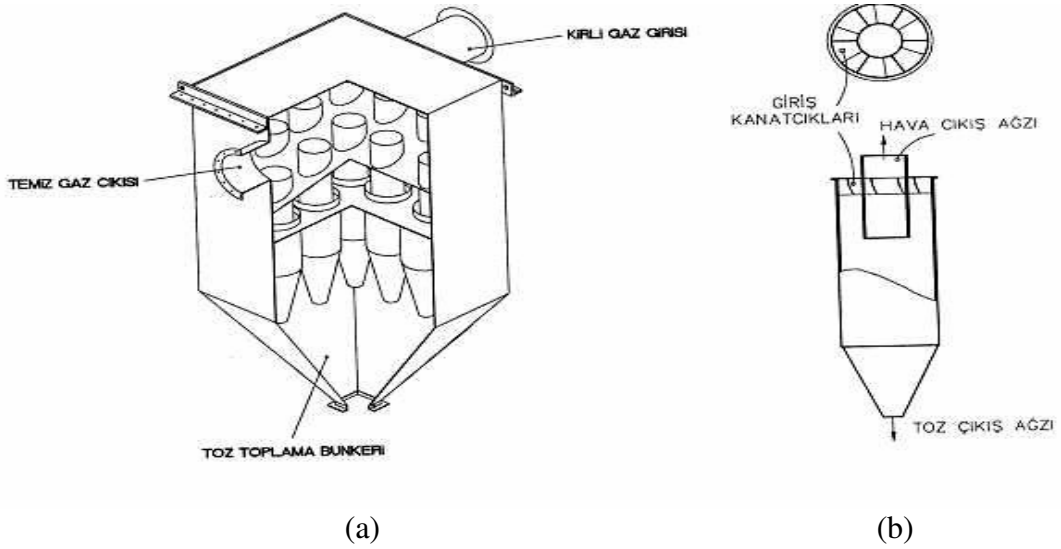
Şekil 4.18 Spiral akımlı siklon boyutları (Arun, 1997)

$$B_C = D_C/4, L_C = 2 \times D_C, D_e = D_C/2, H_e = D_C/2 \text{ ve } J_C = (\text{genelde } D_C/4)$$

Siklon tasarımında genel anlamda bir standardizasyon henüz mevcut olmamakla beraber tanınmış büyük firmalar bu alanda kendi deneyimleri doğrultusunda kendi standartlarını gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte, endüstrinin istek ve koşullarına göre tasarımcı bir mühendis genelde bu standardın dışına çıkabilmektedir. Malzeme olarak genelde St 37 veya kaliteli paslanmaz çelik (Argon gazaltı kaynağı uygulanarak)

kullanılmaktadır. Endüstrideki uygulamada gerektiğinde iç siklonun cidarları seramikle kaplanabilmektedir.

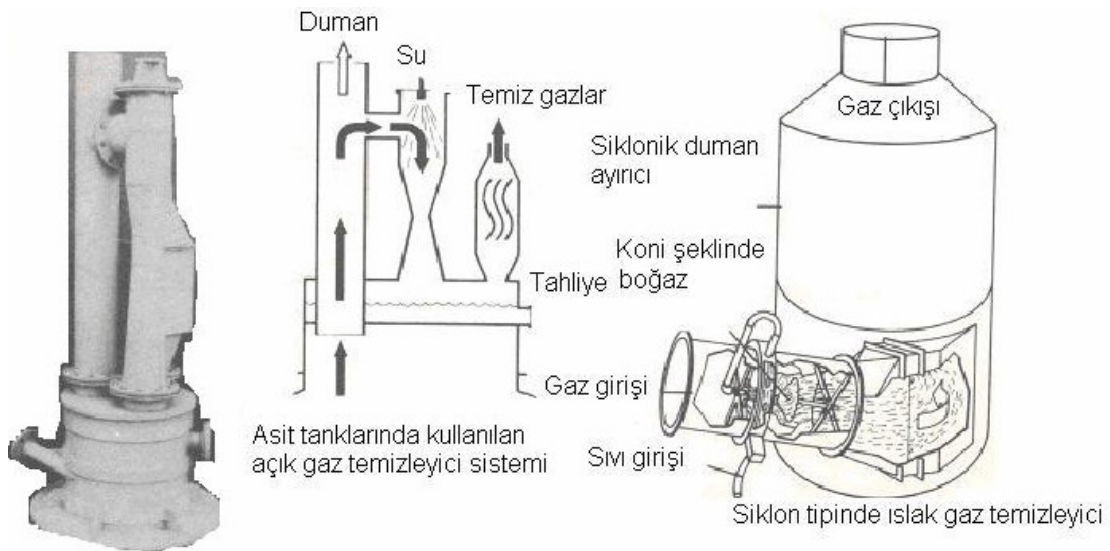
Buhar kazanlarında uçucu külün tutulmasında kullanılan küçük gövdeli siklonlardan oluşan bir Multisiklon sisteminde giriş kanatçıkları yardımı ile gaza spiral hareket verilmektedir. (Şekil 4.19b) Gövdeler 15 ile 25 cm çapında, dökme demir ve aşınmaya dayanıklı alaşımlı borulardan yapılmıştır. (Şekil 4.19)



Şekil 4.19a Western Precipitation Firmasınınca üretilen multisiklon grubu
 Şekil 3.19b Yüksek verimli dar çaplı bir siklon
 (Arun, 1997)

5. HİDROSİKLONLAR (GAZ TEMİZLEYİCİLER)

Hidrosiklonlar diğer bir ifadeyle ıslak gaz ayırıcılar; duman yıkama, tozlu hava ya da spreyli gazları yıkamak gibi işlemleri gerçekleştirmek suretiyle kirleticileri sistemden ayırıştırarak temiz hava oluşması için tasarlanırlar. Endüstriyel işlemlerde oluşan bazı duman ve toz kontrol problemlerinde başarılıdırlar ve özellikle suyla direk temasta tavlama oluşmuş sıcak gaz işlemlerinde uygulanabilirler. Bu yolla çeliğe su vermede oluşan kirli gaz buharı tutulabilir.

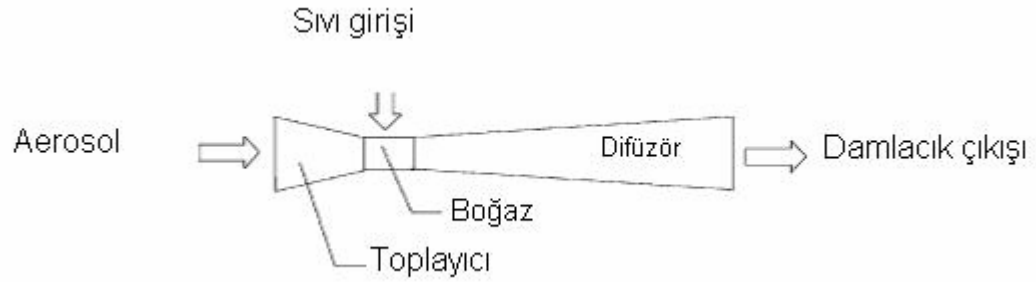


Şekil 5.1 Gaz temizleyici sistemi (Warring, 1981)

Hidrosiklonlar, açık (havalandırmalı) ya da tamamen kapalı olabilirler. Depolama tankında istenmeyen dumanlar serbest bırakılır. Suyun püskürtmeyle ventüri kısmından girmesi vakum yaratır ve dumanların gaz yıkayıcı içine çekilmesini, oradan gaz yıkama suyu tarafından uzaklaştırılması ve taşınması sadece temiz gazların çıkışını sağlar. Bu yapının verimliliği ventüri dizaynına su tazyiki enjeksiyon sistemiyle ortaya çıkan maksimum gaz yıkama enerjisine, maksimum basınç düşüşüne bağlıdır. Ventüri

tip gaz yıkayıcılar ile yüksek su besleme oranları gereklidir fakat uygun su temizleme sisteminde devir daim yapan su tarafından biriktirme yapılabilir. Püskürtmeli-ventüri tip gaz temizleyiciler çok yüksek hızda sıvıları kullanarak sıvıları küçük damlacıklara ayırırlar. Böylece gazlara momentumlarını aktarırlar. Ayrıca tüm sıvıların aynı hızla karışım tüpünü terk etmelerinin ardından sıvı damlacıklar hava akışı üretmek amacıyla gaz fazı üzerine sürükleyici kuvvet uygularlar. Ventüri tip havalandırması olmayan kazanın basınçlı gazı, temizleme ve birçok sülfür dioksit gaz yıkama işlemleri için tasarlanır. (Şekil 5.1) Bu tip gaz temizleyiciler özel işlemler için tasarlanırlar, gaz soğutma / yoğunlaştırma ve buharlaştırma bölümlerinden detaylarda ayrılır. Bu gaz temizleyici, esas olarak nitrojen, karbondioksit ve 1613 °C sıcaklıkta oksijen içeren gaz buharı üreten oksijen çelik üretimi fabrikası için özel olarak tasarlanmıştır. Normalde, gaz buharına su verilir ya da mümkün olan en hızlı şekilde doymuş hale getirilir. Su vermede, en büyük toz tanecikleri toplanır ve gaz buharı 93 °C ya soğutulur. Bu ön temizleme yapılmış gaz bir ya da daha fazla enerjinin kullanıldığı ventüriden geçirilerek çıkış toz yüklemesi 0.02 tanecikten küçük ya da eşit olacak şekilde üretilir. Bundan dolayı çok yüksek gaz hacimleri içerir.

Endüstriyel fabrikalarda gaz akışlarında bulunan kirli gazları ya da küçük parçacıkları uzaklaştırmak için kullanılan ventüri tip gaz temizleyicilerin avantajı, küçük tanecikleri taşımada yüksek verimliliğe sahip olmaları, düşük yatırım maliyeti ve düşük bakım giderleri gerektirmeleridir. Bir silindirik bölüm olan boğaz, birbirinden ayrılan bölümle difüzör ve dışbükey bölüm olmak üzere üç ana parçasıyla dikdörtgen ya da dairesel bir yapıdadır. Bu ventüri geometrisi en küçük basınç kaybını elde etmemizi sağlar. Kirli gaz akımı dışbükey kısımda ivmelenir ve boğazın içinde maksimum hıza ulaşır, difüzör bölümde de yavaşlar. Boğaza su veya sulu çözelti olan bir sıvı gönderilir. Bu yüksek hızla boğaza giren gazlar sıvı üzerine püskürtülür.



Şekil 5.2 Ventüri tip gaz temizleyicinin şematik gösterimi (Gonçalves, 2002)

5.1 Hidrosiklonların Çalışma Prensibi

Hidrosiklonların tasarımı; tanecikleri, gazları, taneciklerle gazları birlikte ya da asitli gazları toplama yeteneğine bağlıdır. Kirleticilerin tüm tiplerini toplama için bazı şartlar geliştirilir.

Islak gaz temizleyiciler, sıvı damlacıkları içindeki tanecikleri yakalama ya da temizleyici sıvı (genellikle su) kanallarından ve gaz akışından damlacıkları ayırma yöntemleriyle tanecikleri gaz akışlarından ayırırlar. Çok çeşitli proses değişkenleri tanecik yakalamayı etkiler. Tanecik boyutu, çok önemli parametre olan tanecik boyutu ile sıvı damlacıklarının boyutu, tanecik ve sıvı damlacıklarının bağıl hızlarını içerir. Genellikle büyük tanecikler küçüklere göre daha kolay toplanır. Tanecik yakalamada yüksek enerji gerekir; çünkü üretim için enerjiye ihtiyaç vardır. Aynı zamanda tanecik ve sıvı damlacıkları arasında bulunan yüksek bağıl hız (tanecikler sıvı damlacıklarına göre daha hızlı hareket ederler) taneciklerin toplanmasını sağlar. Gaz kirleticilerin toplanması için, kirleticilerin seçilen gaz temizleyici sıvısı içinde çözülebilir olması gerekir. Ek olarak sistemin sıvı ve gaz fazlarının çok iyi bir şekilde karışabilmesine imkân sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır ve gaz kirleticilerin çözülebilmesi için yeterli çökme zamanı olmalıdır. Sıvı gaz oranı referans alınarak, verilen her bir gaz akışı için gaz temizleyici içerisine sıvı enjekte edilir. Kirleticilerin etkin bir şekilde taşınabilmesi için yeterli sıvı sağlamak amacıyla sıvı-gaz oranı önemlidir. Temizlenmiş egzoz gaz

akışı bacayı terk etmeden önce sürüklenmiş duman veya damlacıklar terk edecek şekilde sistem tasarlanmalıdır. Eğer terk etmezse, yakalanmış kirleticiler bacadan yollar.

5.2 Hidrosiklon performansı

Hidrosiklonların performansını teorik olarak tanımladığımızda siklona eklenen suyun siklon duvarlarından itibaren tanecikleri yıkaması anlamına gelir. Yıkanan canlı organizmalar gibi tanecikler su deposunda toplanır.

Suyun siklona girebilmesinin çok çeşitli yolları vardır. En uygun metod, bir nozuldan suyun siklon içine püskürtülmesidir. Su bir enjektörle püskürtülerek vorteks düzenleyici yoluyla siklona girer. Bu amaca hizmet eden diğer bir yol, suyun dış vorteks ile sıralanarak teğetsel girişle silindirik bölüme gelmesidir.

Son otuz yıldır hidrosiklonlarla genellikle ters akış modu kullanılarak yapılan deneylerde amaç, diğer bazı sıvıları siklona göndererek taneciklerin yıkanması ve siklonun duvarlarına birikmesidir. Eğer siklon düz modda çalıştırılırsa sıvı, alt akışta seyreltme etkisiyle dağılıtıcı için konsantrasyon aracı gibi davranır. Bu nedenle az miktarda sıvı hidrosiklonlar için yeterlidir ve bunun sonucunda yakalanma konsantrasyonu yükselir. Yakalanan taneciklerin konsantrasyonunu arttırsak istenen yoğunluğa ulaşmaya kadar sıvı depoda yeniden çevrime sokulur. Sıvı, siklon içine püskürtüldüğüne tanecik-damlacık çarpışması meydana gelir. Siklonun toplama etkinliği bu çarpışmalara bağlı olarak açıklanabilir. Tanecik-damlacık çarpışma sıklığı aşağıdaki formülle gösterilir:

$$f = n_d \pi d_d^2 v_r \quad (5.1)$$

Siklondaki damlacık yoğunluğu; damlacık çapına, sıvı akış oranına (\dot{Q}_d) ve hava akış oranına (\dot{Q}_c) bağlı olarak tanımlanabilir.

$$n_d = \frac{6\dot{Q}_d}{\dot{Q}_c \pi d_d^3} \quad (5.2)$$

damlacıklara göre taneciklerin bağıl hızı siklonun girişindeki tanecik hızının büyüklüğüyle aynıdır.

Çarpışma sıklığını formülle belirtirsek:

$$f = \frac{6\dot{Q}_d}{d_d ab}$$

Burada a siklonun giriş yüksekliği ve b siklonun genişliğidir. Siklonun konik bölümündeki (tüm tanecik-damlacık çarpışmasının olduğu bölüm) taneciklerin bekleme zamanı:

$$i_R = \frac{\pi D^2 (H - h)}{24 \dot{Q}_c} \quad (5.3)$$

Tüm tanecik-damlacık çarpışmalarının tanecikleri yakaladığını varsayarak, tek bir damlacık tarafından yakalanan tanecik sayısı $f \times i_R$ dir. Saniyede sıvı damlacıkları tarafından yakalanan toplam tanecik sayısı \dot{n}_{pe} , tek bir damlacık tarafından yakalanan tanecik sayısı ve damlacıkların akış oranı sayısından elde edilir.

$$\dot{n}_{pe} = f i_R \frac{6\dot{Q}_d}{\pi d_d^3} \quad (5.4)$$

Siklondaki taneciklerin toplam akış oranı, siklondaki toplam hava akış oranı, tanecik çapı (d_p), tanecik yoğunluğu (ρ_p), havanın yoğunluğu ρ ve biriken tanecik kütlesi (Z) terimleri kullanılarak hesaplanabilir.

$$\dot{n}_p = \frac{6\dot{Q}_c \rho Z}{\pi d_p^3 \rho_p}$$

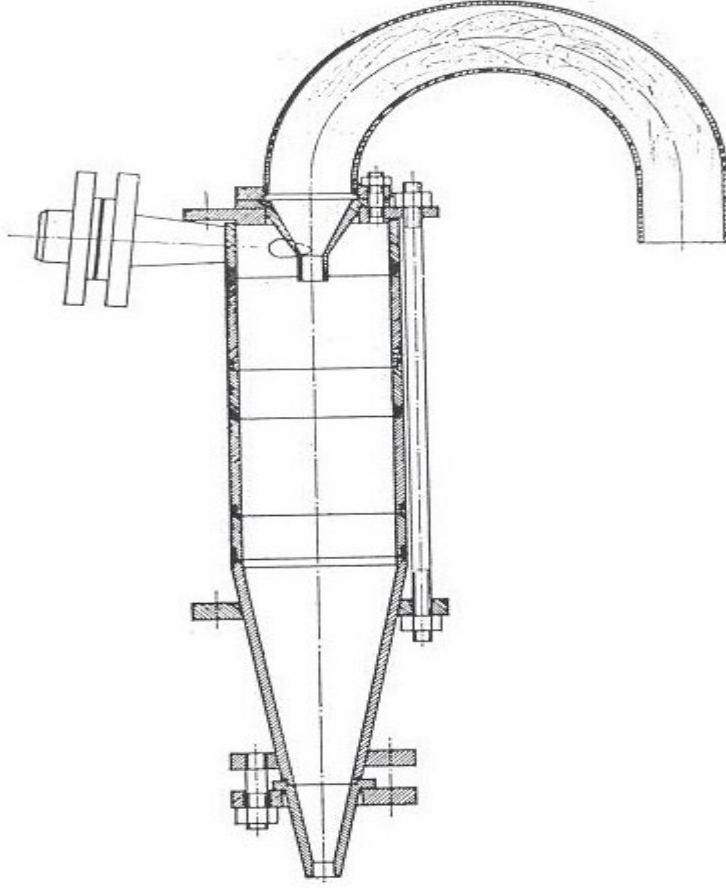
Bu iki denklem; damlacık çapı, su akış oranı ve hava akış oranının farklı değerleri için tanecik-damlacık çarpışmasıyla yakalanan tanecik kesrini hesaplamak için kullanılır.

5.3 Hidrosiklonlarla ilgili Deney Sonuçları

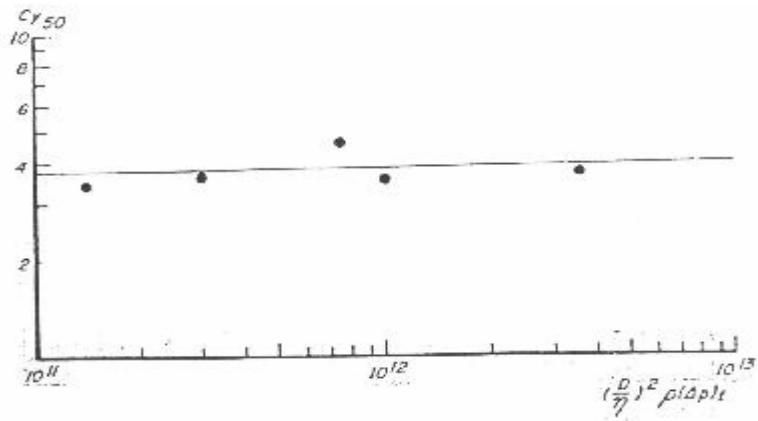
Siklonları tasarlamak ve imal etmek için uygun bir siklon karakteristik sayısı Cy_{50} türetilir. Siklonda ayırıştırma için:

- 1) Ayırıştırmanın çok iyi olması için d_{50} değerinin oldukça küçük,
- 2) İhtiyaç duyulan basınç farkının mümkün oldukça çok küçük,
- 3) Siklonun kapasitesi mümkün oldukça büyük

olması gerekir. Tüm bu şartlar Cy_{50} ' nin en küçük değerini elde etmemizi sağlar. Bu çalışmada siklonların mutlak boyutlarının, Cy_{50} ' nin değerlendirilmesinde temel olarak etkileri yoktur. Çünkü bu sayı boyutsuzdur ve sadece çeşitli boyutların oranları bu sayı için önem taşır. Bundan dolayı bu araştırmada sabit siklon çapı ($D=7,5$ cm) olarak belirlenir. Giriş ve çıkış bölümleri için tasarlanan bileşenler kolaylıkla değiştirilebilir ve uzunluk Şekil 5.3' teki gibi değiştirilebilir.

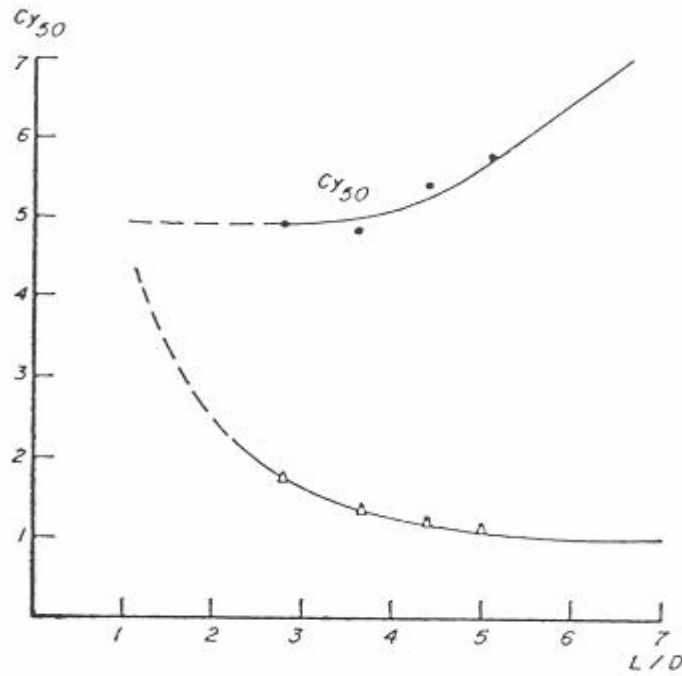


Şekil 5.3 Deneysel siklonun yapısı (Rietema, 1961)

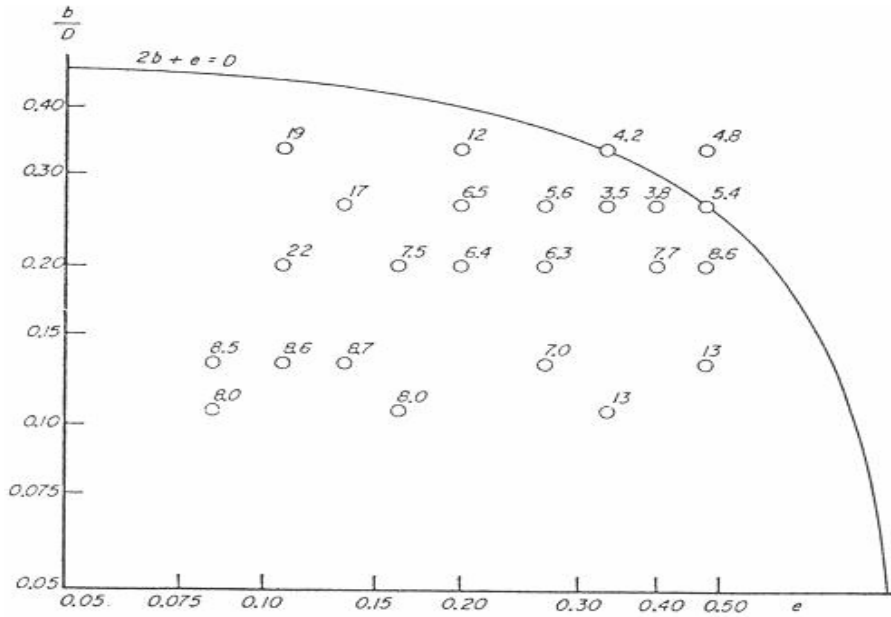


Şekil 5.4 Bir siklondaki Cy_{50} 'nin basınç farkına etkisi (Rietema, 1961)

Her bir deney için basınç farkı ve üretilen işin ölçülebilmesi için Cy_{50} değerinin hesaplanmasında %50 çapı dikkate alırız. Cy_{50} 'nin ilk konumunun basınç farkından ya da Reynolds sayısından bağımsız olarak belirlenmesi gerekir. Aynı siklon için basınç farkı değiştirilerek yapılan deney sonuçları toplanmıştır. (Şekil 5.4) Bu serilerde viskozite sabit değildir. Daha sonraki adım en uygun uzunluğun belirlenmesidir. Şekil 5.5' te bu amaçla yeni yapılan deneylerin sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Cy_{50} nin ve $(D/L) \times Cy_{50}$ nin siklon uzunluğu üzerine etkisi
($b/D=0.20$, $e/D=0.40$) (Rietema , 1961)

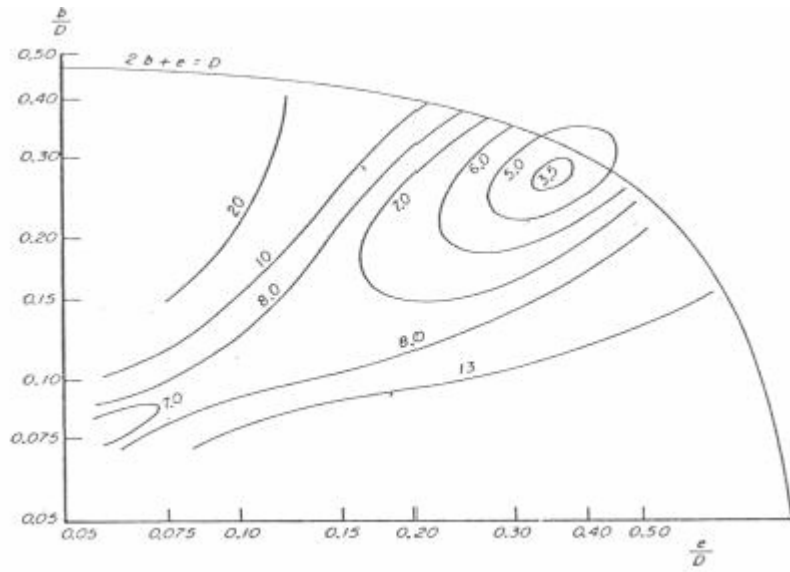


Şekil 5.6 Bir siklonda üst akış ve çeşitli giriş çapları için Cy_{50} değerleri ($D=75$ mm ve $L=390$ mm) (Rietema, 1961)

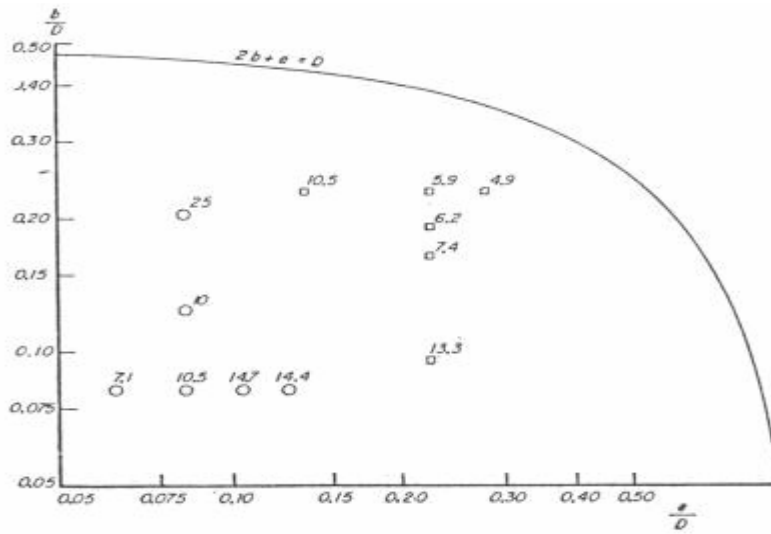
Şekilde sadece uzunluğu değiştirilen bir siklon tipi için Cy_{50} ve $(D/L \times Cy_{50})$ değerlerinin ikisi de L/D 'ye karşı çizilmiştir. Buradan kolaylıkla anlaşılacağı gibi en büyük L/D oranında L ile orantılı olarak Cy_{50} değerinin artması ve bunun sonucunda daha iyi ayırıştırma elde edilmemesi sebebiyle en uygun L/D oranı 5 civarındadır.

En uygun L/D oranının bulunmasından sonra giriş ve çıkış çapları (b ve e) belirlenir. Bu konuyla ilgili yapılan seri deneylerin sonuçları Şekil 5.6' da gösterilmektedir. Grafikteki çevre çizgisi Cy_{50} sabit değeri için çizilir. (Şekil 5.7)

Bu şekilde de açıkça görüldüğü gibi siklonlar için en küçük Cy_{50} değeri belirlenmiş olur. b/D oranı yaklaşık 0,28 civarında, e/D oranı yaklaşık olarak 0,34 olarak bulunur.



Şekil 5.7 $L/D=5$ olan siklon için Cy_{50} sabitinin çevre çizgileri (Rietema, 1961)



Şekil 5.8 Kellsall tarafından $D=3\text{mm}$ olan ve içinde plastik parçalar bulunan suyla yapılan; Dahlstrom tarafından $D=9\text{mm}$ olan ve içinde silis bulunan suyla yapılan siklon deneyleri (Rietema, 1961)

Sıvı siklonlarda ayırıştırma için KELSALL ve DAHLSTROM tarafından yapılan deneylerde araştırmacılar farklı siklonlar ve farklı sıvı-katı karışımları içeren sistemleri kullanmışlardır. (Şekil 5.8)

Deneyin temelinde $\frac{l}{D} \approx 0,4$ yaklaşımda en uygun uzunluk λ elde edilmiştir. Siklonun tüm uzunluğu, konik ve silindirik bölümleri tarafından paylaşılır. En uygun uzunluktaki koni için bazı tercihler yapılabilir ve koninin tepe açısı 30° yi geçebilir.

Özet olarak karışım malzemesinin yoğunlukları için siklon boyutlarının en uygun oranlarını ifade edersek:

$$\frac{L}{D} = 5 \qquad \frac{L}{D} = 0,4 \qquad \frac{b}{D} = 0,28 \qquad \frac{e}{D} = 0,34$$

Deneysel sonuçlarını önceden kullanılan teoriyle tekrar karşılaştırdığımızda Cy_{50} aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Cy_{50} = \frac{d_{50}^2 \Delta \rho}{\eta} L \frac{(\Delta p)t}{\rho q} = \frac{36}{\pi} \frac{w}{V} \frac{R}{b} \quad (5.5)$$

Deneysel olarak en uygun siklon için belirlenen oranlar $b/R = 0,56$. (KELSALL'ın ölçümleri) ve $w/V = 1/6$ 'dır . Bu da $Cy_{50} = 3,4$ değerini verir.

5.4 Hidrosiklon Tesisatının Tasarımı

Ayrıştırma işlemini gerçekleştirmek için bir siklon ya da siklon tesisatını tasarlarken en uygun siklonun basınç kaybını bilmemiz gerekiyor. Bu kayıpları, girişteki akış şartlarında Reynolds sayısı yardımıyla hesaplarız. Bu bağıntı şekil 5.9' da

$$Re_{giriş} = \frac{\rho V b}{\eta} \quad , \text{ye karşı boyutsuz basınç kaybı faktörü } G = \frac{(\Delta P)t}{\frac{1}{2} \rho V^2} \text{ ile çizilir.}$$

Bir ayrıştırma probleminde kesin %50 çapa ulaşıldığında, basınç kaybı $(\Delta p)_t$ kullanılabilir ve siklonun toplam kapasitesi Q ya eşit olmalıdır. Bundan başka ρ , $\Delta \rho$ ve η bilinmelidir.

$$Cy_{50} = \frac{d_{50}^2 \Delta \rho}{\eta} L \frac{(\Delta p)t}{\rho q} = 3,5 \quad \text{ve} \quad q = \frac{1}{2} \pi b V^2 \quad \text{den aşağıdaki formül elde edilir:}$$

$$Re_{giriş} = \frac{\rho V b}{\eta} = \frac{d_{50}^2 \Delta \rho}{\eta^2} \frac{L}{b} (\Delta p)t \frac{4}{3,5 \pi} \quad (5.6)$$

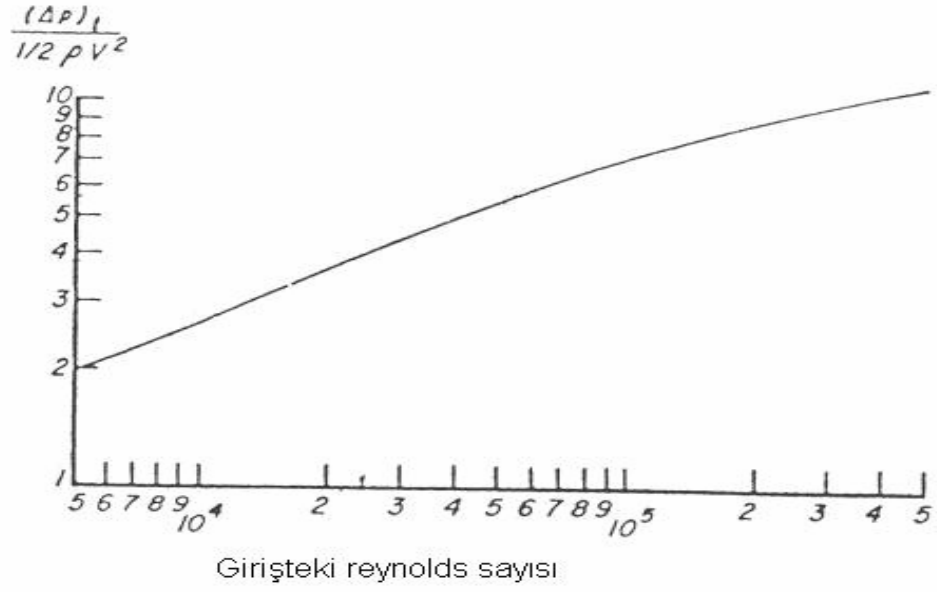
En uygun siklon, L/b oranıyla tespit edilir ve eşitlik:

$$Re_{giriş} = 6,5 \frac{d_{50}^2 \Delta \rho}{\eta^2} (\Delta p)t \quad (5.7)$$

Şekil 5.9' da G faktörünün büyüklüğü görülmektedir ve bunu takiben $(\Delta p)_t$ biliniyor dolayısıyla V hesaplanabilir. V ile $Re_{giriş}$, giriş çapı b yi verir.

Tek siklonun kapasitesi $q = \frac{1}{2} \pi b^2 V$ formülünden çıkarılır ve paralel olarak yerleştirilen

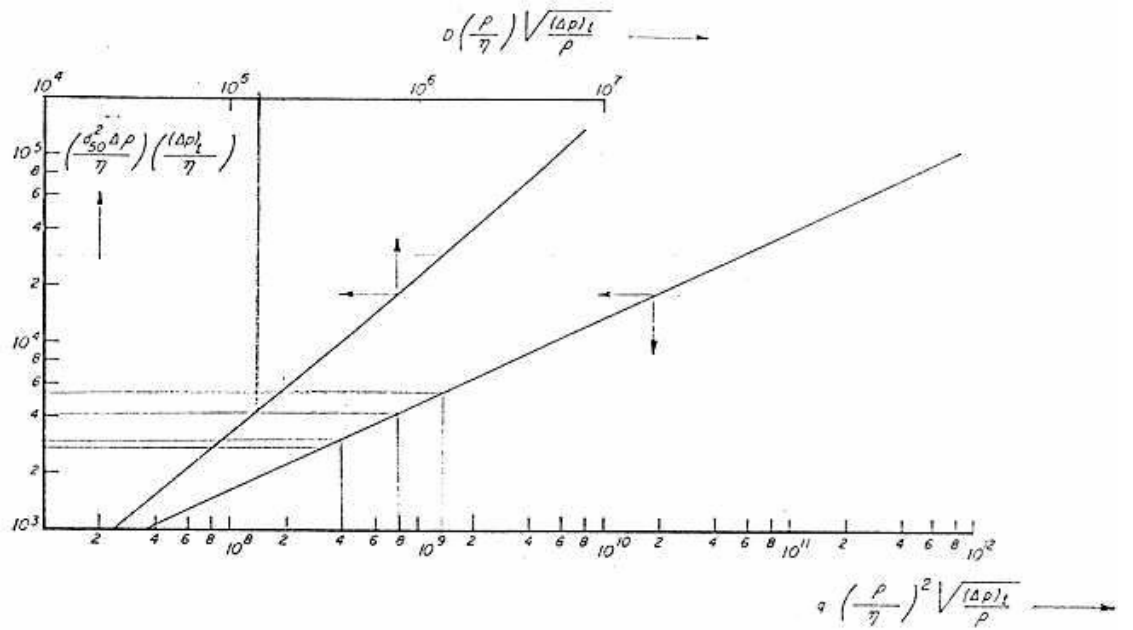
siklonların sayısı $n = \frac{Q}{q}$; istenen kapasiteyi elde etmek için kullanılır.



Şekil 5.9 Reynolds sayısının bir sıvı siklonun optimum şekli için basınç kaybına etkisi (**Rietema, 1961**)

Bu türevleri Şekil 5.12' de basitleştirerek siklonun tasarımı tamamlanır. Düşey ölçekte bulunan $d_{50}^2 \Delta \rho (\Delta p) t / \eta^2$ değeri doğrudan hesaplanabilir. Bu grafiğin yardımıyla diğer iki boyutsuz grup türetilebilir.

$$D \frac{\rho}{\eta} \sqrt{\frac{(\Delta p) t}{\rho}} \text{ ve } q \left(\frac{\rho^2}{\eta} \right) \sqrt{\frac{(\Delta p) t}{\rho}}$$



Şekil 5.10 Sıvı siklonların tasarımı için radyal yöndeki uzaklık (Rietema, 1961)

Bu veriler kullanılarak D çapı ve q kapasitesi doğrudan hesaplanabilir. Siklon

ünitelerinin sayısı $n = \frac{Q}{q}$ ile bulunur. Böylece siklon tasarımı tamamlanmış olur.

5.5 Orifis Gaz Temizleyici için Formülasyon

Orifis gaz temizleyicideki tanecik toplama verimini tahmin etmek amacıyla matematiksel model ve Eulerian/Lagrangian yöntemi kullanılmıştır. Süreklilik denklemleri kullanılarak damlacıkların hareketi belirlenir. Hedef verimlilik ve toplama verimliliği belirlenir.

5.5.1 Eulerian/Lagrangian yöntemiyle bir orifis gaz temizleyicinin simülasyonu

Orifis gaz temizleyicideki bir gaz akışından tanecik toplama verimini tahmin etmek amacıyla Eulerian/Lagrangian metodunu temel alan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model tanecik ayrılması için Eulerian yaklaşımı, damlacık hareketi için Lagrangian yaklaşımıyla oluşturulmuştur ve damlacık konsantrasyon dağılımını hesaplamak için hücre içindeki tanecik kaynağı modeli göz önüne alınmıştır. Akışkanın hız profillerini hesaplamak için damlacık ve akışkan arasındaki sürükleyici kuvvetten dolayı gövde kuvvetini kapsayan normal k-ε türbülans kuvveti kullanılır.

5.5.2 Matematiksel model

Bu çalışmada, orifis gaz temizleyicilerin ağır çalışma şartlarında deneysel verileri taneciğin 300 defa büyütülmüş şekliyle alınmıştır. Bu gerçeklerde Lagrangian'ın su damlacığı için yaklaşımı ve Eulerian'ın tanecik hareketi için yaklaşımını doğrular. Lagrangian metodu her bir damlacığı ayrı ayrı izler ve damlacık hareketini, üzerine etkileyen gaz türbülansını ihmal ederek hesaplama yapar. Eulerian metodunda taneciğin konsantrasyon dağılımını elde ederek taneciğin süreklilik denklemi çözülür ve gaz türbülansının etkisi göz önüne alınır.

5.5.3 Konsantrasyon özelliği

Bir orifis gaz temizleyicide yüklenen tanecik için konvensiyonel difüzyon denklemi temel alınarak süreklilik denklemi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial z}(uC_p) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(rvC_p) \\ & = \frac{\partial}{\partial z}(E_s \frac{\partial C_p}{\partial z}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(rE_s \frac{\partial C_p}{\partial r}) - \frac{\pi}{4} D_d^2 \eta_t |V - V_d| C_d C_p \end{aligned} \quad (5.8)$$

5.5.4 Sıvı damlacık hızı

Eksenel yöndeki damlacık hızları (u_d) ve radyal yöndeki (v_d) aşağıdaki gibi damlacık üzerindeki kuvvet dengesine göre tanımlanır:

$$\frac{du_d}{dt} = \frac{3}{4} \frac{C_{Df}}{D_d} \frac{\rho}{\rho_d} (u - u_d) |V - V_D| + g \quad (5.9)$$

$$\frac{dv_d}{dt} = \frac{3}{4} \frac{C_{Df}}{D_d} \frac{\rho}{\rho_d} (v - v_d) |V - V_D| \quad (5.10)$$

Damlacık yörüngelerini düzenlemek amacıyla aşağıdaki formüller yazılır:

$$\frac{dz}{dt} = u_d \quad (5.11)$$

$$\frac{dr}{dt} = v_d \quad (5.12)$$

C_{DF} değeri hesaplanır:

$$C_{Df} = \frac{18.65}{Re_d^{0.84}} \quad (5.13)$$

Damlacığın Reynolds Sayısı:

$$Re_d = \frac{\rho |V - V_D| D_d}{\mu} \quad (5.14)$$

Boll Denklemi kullanılarak ana taneciğin çapı hesaplanır:

$$D_d = \frac{(4.22 \times 10^{-2}) + 5.776 \times 10^{-3} (L/G)^{1.932}}{V_0^{1.602}} \quad (5.15)$$

5.5.5 Damlacık konsantrasyonu

Birim hücredeki tanecik kaynağı modeli temel alınarak Lagrangian yaklaşımı damlacığın lokal konsantrasyonunu bulmak için kullanılır. Verilen j başlangıç konumunda küresel damlacığın akış oranı aşağıdaki gibi verilir:

$$N_j = X_j N \quad (5.16)$$

Burada N damlacığın toplam akış oranını ve bir j konumunda damlacıkların kesir sayısını X_j gösterir. Lagrangian metodunda, gazın hızındaki değişikliklerin damlacık hareketini etkilemediği kabul edilir. Bu nedenle yörüngeleri boyunca j noktasında bulunan damlacıkların akış oranı sabittir. Her bir kontrol hacminde tanımlanan damlacıkların konsantrasyon değeri:

$$C_d = \sum_{j,C.V.} \frac{N_j \Delta \tau}{V_{C.V.}} \quad (5.17)$$

Bu bekleme zamanı damlacıkların yörüngeleri kullanılarak hesaplanabilir.

5.5.6 Gaz girdap (Eddy) yayılma gücü

Tennekes ve Lumley tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik gaz girdap yayılma gücü tahmini olarak:

$$E_g = E_p = c_1 u' l \quad (5.18)$$

Burada l karakteristik uzunluk, türbülans dağılım oranı (ε) kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilirse:

$$l = \frac{3u'^3}{2\varepsilon} \quad (5.19)$$

(5.18) deki eşitlikte verilen C_1 parametresi Launder tarafından ısı transferi deneyinde belirlenmiştir. 0,2 ile 0,4 arasında bir değer alır. Talaie ve arkadaşları tarafından yapılan deneylerde önerilen modelde C_1 için en uygun değer 0,1 ile 0,16 arasında olduğu gösterilmiştir.

5.5.7 Hedef verimlilik

Yüksek enerjili gaz temizleyicide en önemli toplama mekanizması atalet toplamadır. Bir tek düşüş tarafından makro parçacığın toplama katsayısı (örneğin η_t) aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$\eta_t = \left(\frac{\psi_c}{\psi_c + 0.7} \right)^2 \quad (5.20)$$

Eşitlik 5.20 'deki ψ_c aşağıdaki eşitlikte verilir:

$$\psi_c = \frac{\rho_p D_p^2 |V - V_d|}{9\mu D_d} \quad (5.21)$$

Şuan ki çalışmalarda düşüş hedef verimliliğini hesaplamak için diğer bir bağıntıda bulunmuştur. Bu bağıntı temel olarak matematik serileri kullanılarak bulunur.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{n+1} \right)^r = 1 \text{ (her } r \text{ değeri için)} \quad (5.22)$$

Bu seriler kullanılarak ve Walton-Woolcock' un en küçük kare eğrisinin verileriyle aşağıdaki potansiyel akış bağıntısı elde edilir.

$$\eta_{lm} = \left(\frac{\psi}{\psi + 1} \right)^r \quad (5.23)$$

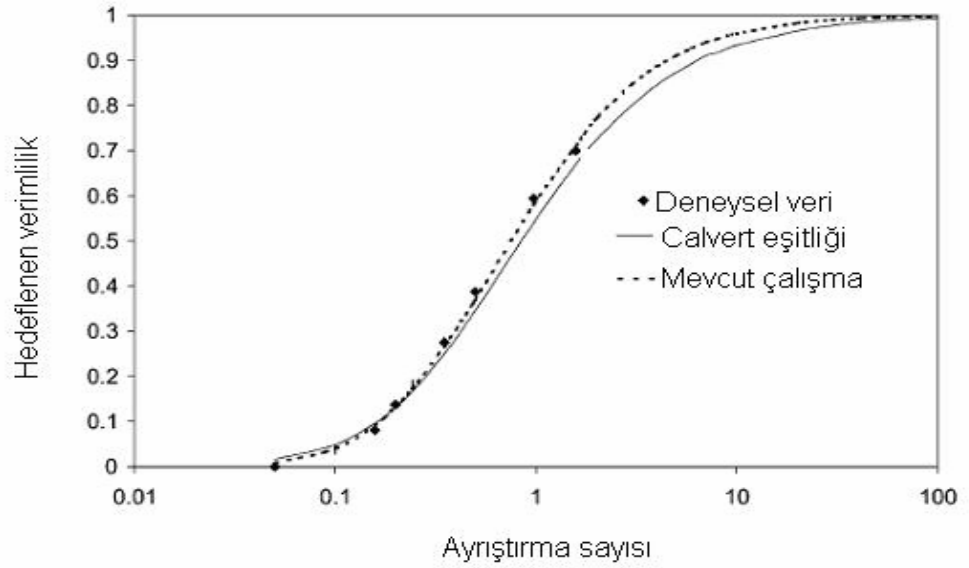
Burada r , ψ 'nin bir fonksiyonudur.

$$r = 0,759 \psi - 0,245 \quad (5.24)$$

ve ψ aşağıdaki eşitlikte tanımlanır:

$$\psi = \frac{\rho_P D_P^2 |V - V_d|}{18 \mu D_d} \quad (5.25)$$

(5.23) 'teki eşitlik kullanılarak hesaplanan hedef verimde deneysel hata %5 iken Calvert için (5.20) eŐitlięiyle bu hata %12 oluyor. Bu karşılaştırma hedef verimin tahmini değerini ve Walton ve Woolcock tarafından alınan deneysel verilerle mevcut eşitlik Şekil 5.11' de görülmektedir.



Şekil 5.11 Deney verileriyle oluşturulan mevcut korolasyon ve Calvert için ayrıştırma sayısı Ψ ve hedeflenen verimliliğin kıyaslanması (**Walton, 1960**)

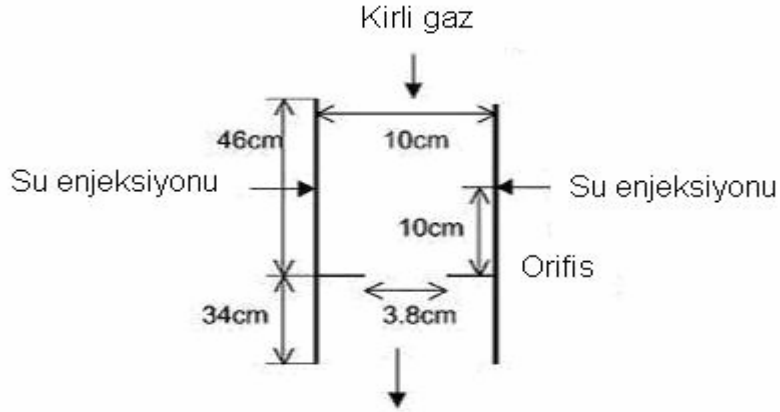
5.5.8 Toplama verimliliği

Aşağıda verilen denklemde; girişteki tüm miktarla, yakalanan net taneciklerin miktarının oranından toplama verimliliği hesaplanabilir.

$$\eta_{ov} = 1 - \frac{\int_0^R rV(r,z)C_p(r,z)dr}{\int_0^R rV(r,0)C_p(r,0)dr} \quad (5.26)$$

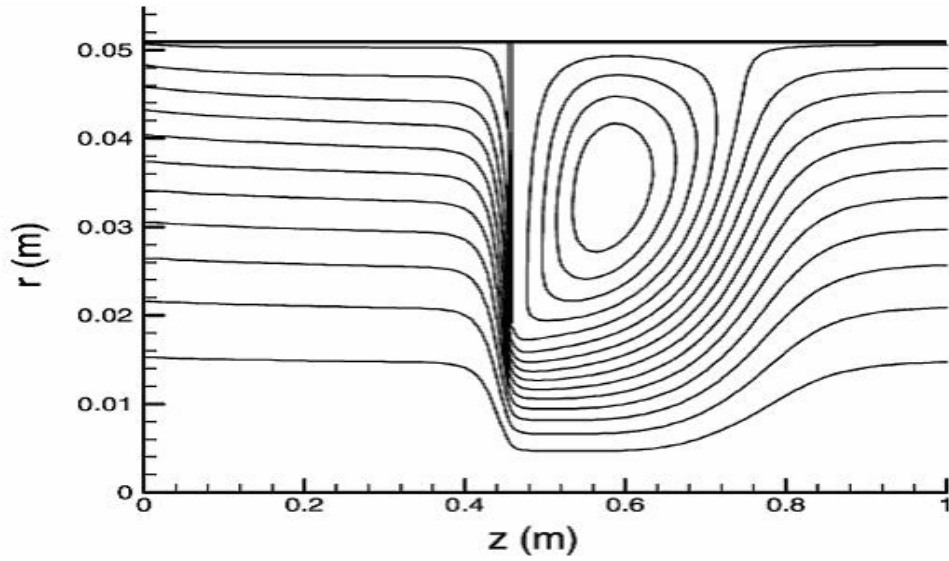
5.6 Orifis-tip Gaz Temizleyici için Deney Sonuçları

Matematiksel modelin sonuçlarını geliştirmek amacıyla Taheri ve arkadaşlarının deney sonuçları kullanılmıştır. (Şekil 5.12) Bu deneyde kullanılan orifis gaz temizleyicide tanecikler ile hava $T=37^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve $P_0=85,3$ kPa basınçta içeriye çekilir.



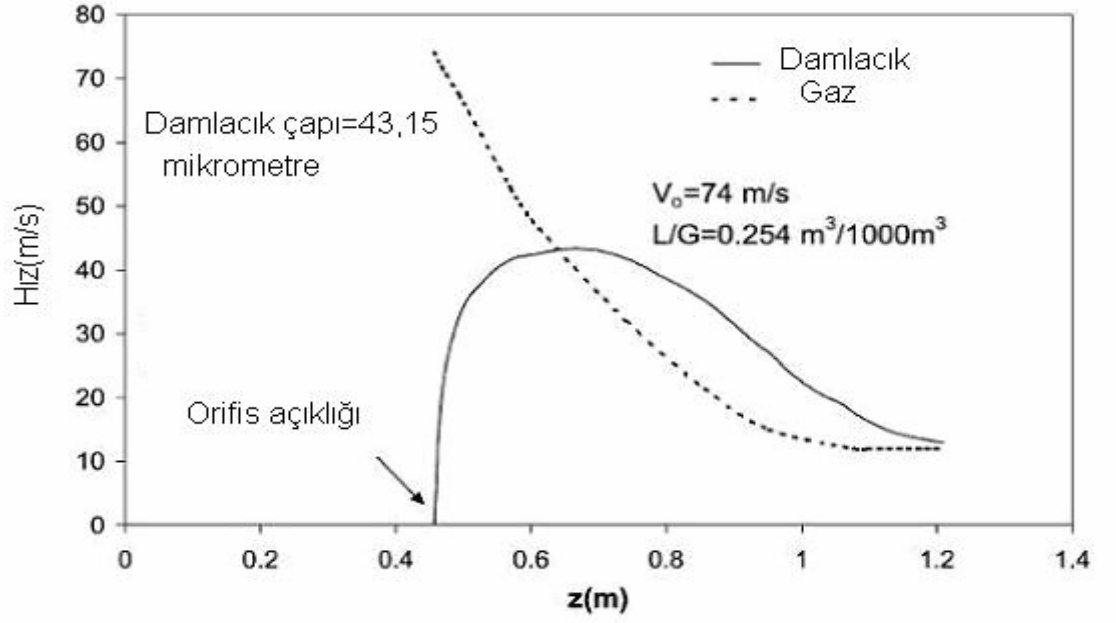
Şekil 5.12 Taheri ve arkadaşlarının deneyde kullandığı orifis gaz temizleyicinin şematik gösterimi (Taheri, 1973)

5 ml/dak. 'lık akış oranı ile metilen mavi boyanın %1 'lik sulu çözeltisi püskürtülerek ve kurutularak tanecikler üretilir. 3,8 cm orifis için ana akış yolları belirlenir.



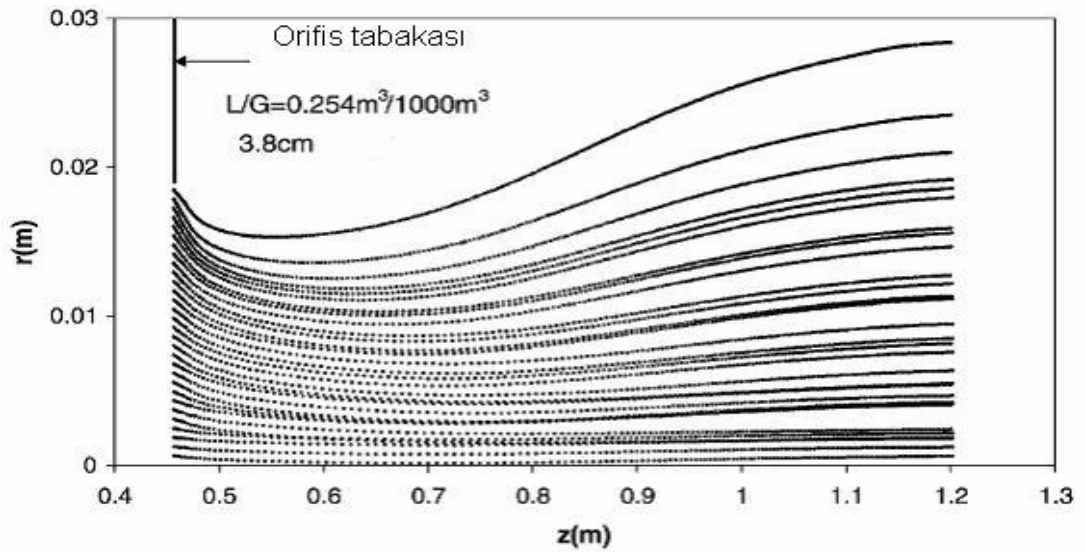
Şekil 5.13 3,8 cm ' lik orifis için ana akış çizgileri (Mohebbi, 2003)

Şekil 5.14' te gaz temizleyici uzunluğu boyunca damlacıklar için aksel akışın merkez hattı ve gazın değişimi görülmektedir.



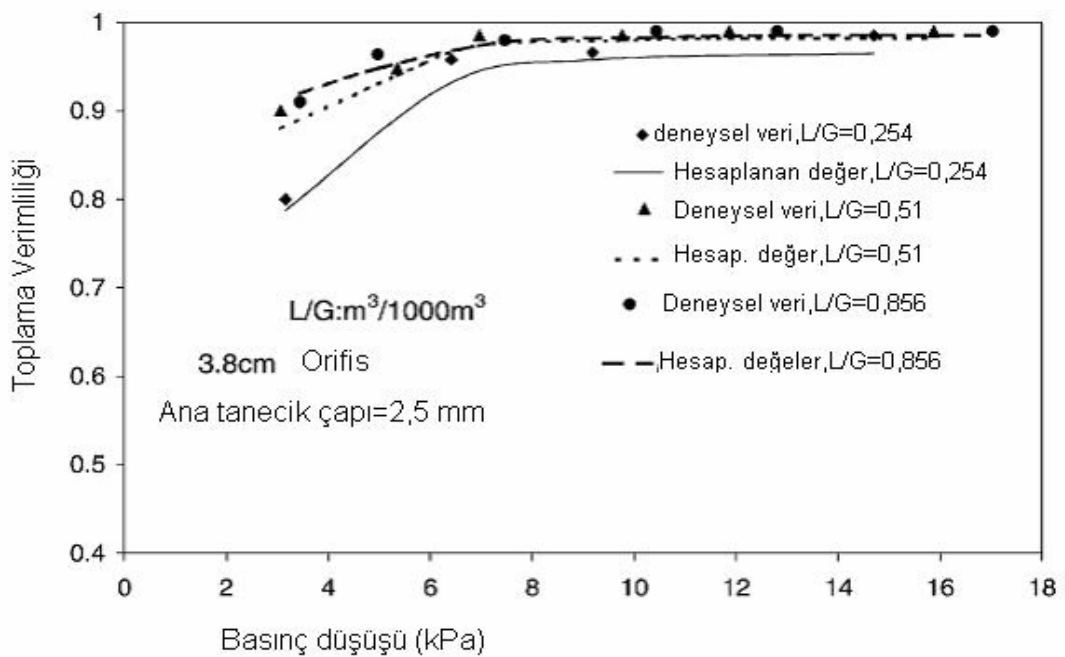
Şekil 5.14 Gaz temizleyici uzunluğu boyunca gaz ve damlacığın hızı
(Mohebbi, 2003)

Şekil 5.15' te orifis girişinde, başlangıç konumundaki 30 damlacık için akış yörüngeleri görülmektedir.



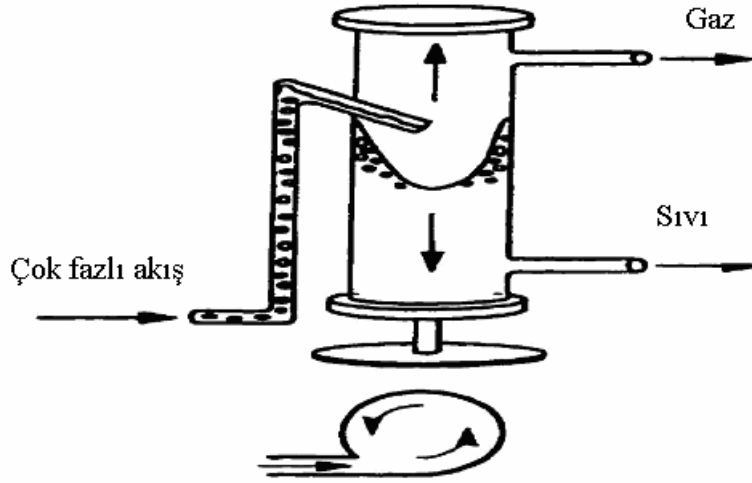
Şekil 5.15 Başlangıç konumundaki 30 damlacık için orifisteki yörüngeler (Mohebbi, 2003)

Taheri ve arkadaşlarının elde ettikleri ile mevcut modelin tanecik toplama verimleri karşılaştırıldığında; (Şekil 5.16)



Şekil 5.16 Deneysel veriler ve matematiksel modelin karşılaştırılması (Mohebbi, 2003)

6. GAZ-SIVI SİLİNDİRİK SIKLON SEPERATÖRDE İKİ FAZLI DÖNER AKIŞ



Şekil 5.1 Gaz-sıvı Silindirik Siklon Ayırıcı (Filho, 1997)

Ani Yer(Lokal) Eşitlikleri:

Ψ akışı, akışkanın lineer momentumu ya da kütle gibi genel özellikleri göz önüne alınır. Çok küçük bir kontrol hacmi için, v_k hızında hareket eden akışkan için Ψ büyüklüğünün (kütle ve momentum) sabit durum anlık koruma denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\nabla(\rho_k \psi_k v_k) + \nabla J_k - \rho_k \phi_k = 0$$

İki faz arasında kalan ara yüzey için anlık lokal eşitlik:

$$\sum_k \{ \rho_k n_k (v_k - v_i) \psi_k + n_k J_k \} + M_\sigma = 0 \quad (6.1)$$

Ortalama Zaman Eşitlikleri:

Ortalama Zaman Eşitliklerinde Karışımın denge denklemi yazılırsa:

$$\nabla(\rho_m \psi_m v_m) = -\nabla J_m + \rho_m \phi_m + M_m \quad (6.2)$$

k fazı için denge denklemini yazılırsa:

$$\nabla(\alpha_k \rho_k \psi_k v_k) = -\nabla[\alpha_k (J_k + J_k^t)] + \alpha_k \rho_k \phi_k + M_k \quad (6.3)$$

$$\sum_k \{M_k\} - M_m = 0 \quad (6.4)$$

İki fazlı akış modellerinden iki sıvı modeli incelendiğinde:

Kütle dengesi denklemi:

$$\nabla(\alpha_k \rho_k v_k) = \Gamma_k \quad (6.5)$$

$$\sum_k \{\Gamma_k\} = 0 \quad (6.6)$$

Momentum Dengesi Eşitliği:

$$\nabla(\alpha_k \rho_k v_k v_k) = -\nabla(\alpha_k p_k) + \nabla[\alpha_k (\tau_k + \tau_k^t)] + \alpha_k \rho_k g + M_k \quad (6.7)$$

$$\sum_k \{M_k\} - M_m = 0 \quad (6.8)$$

Modeli oluşturan denklemler:

$$\nabla(\rho_m v_m) = 0 \quad (6.9)$$

$$\nabla(\alpha_g \rho_g v_m) = \Gamma_g - \nabla(\alpha_g \rho_g v_{gm}) \quad (6.10)$$

$$\nabla(\rho_m v_m v_m) = -\nabla p_m + \nabla \tau_m + \rho_m g + M_m \quad (6.11)$$

burada v_m ve ρ_m karışımın hızı ve yoğunluğudur. α_g , ρ_g ve Γ_g gaz fazın boşluk kesri, yoğunluk, difüzyon hızı ve kütle kaynağı, M_m ise yüzey gerilim etkilerine bağlı karışımın momentum kaynağıdır. τ_m ise viskoz, türbülans ve difüzyon gerilmelerini içeren karışımın gerilim vektörüdür. Difüzyon hızı kullanılarak Denklem (6.10) sürekli gaz fazından geliştirilebilir:

$$v_{gm} = v_g - v_m \quad (6.12)$$

$$v_{gm} = \frac{\alpha_g \rho_g}{\rho_m} v_{gl} \quad (6.13)$$

α_g α 'ya eşittir ve α_t $(1-\alpha)$ 'ya eşittir. Bu bağlantı sonucunda boşluk oranı ve kütle yoğunluğu:

$$c = \frac{\alpha \rho_g}{\rho_m} \quad (6.14)$$

diferansiyeli alındığında

$$\nabla c = \frac{\rho_g \rho_1}{\rho_m^2} \nabla \alpha \quad (6.15)$$

1975 yılında Ishii tarafından verilen boşluk kesri ve belirli ortamdaki baloncuk topluluğunun hızıyla bağlantılı kayma hızı:

$$v_{gl} = v_s - \frac{D}{\alpha(1-\alpha)} \nabla \alpha \quad (6.16)$$

burada baloncuk kayma hızı:

$$v_s = v_\infty (1 - \alpha)^{n-1} \quad (6.17)$$

D sürüklenme katsayısıdır. Eşitlik (6.13) ve (6.16) 'yı (6.10)'a ilave edersek gaz fazının kütle dengesi eşitliğini bulmuş oluruz:

$$\nabla(\rho_m v_m c) = \nabla[\Gamma \nabla c] + S_c \quad (6.18)$$

burada kullanılan S_c :

$$S_c = -\nabla \left[\frac{\alpha(1-\alpha)\rho_g\rho_1}{\rho_m} v_s \right] \quad (6.19)$$

Momentum denkleminde karışımın gerilim vektörü viskoz, türbülans ve difüzyon terimleri olmak üzere üç bileşen içerir.

$$\tau_m = \tau + \tau^t + \tau^D \quad (6.20)$$

$$\tau^D = -\frac{\alpha(1-\alpha)\rho_g\rho_1}{\rho_m} v_{gl} v_{gl} \quad (6.21)$$

Eşitlik(5.11) silindirik koordinatlarda radyal, çevresel ve aksenal eşitlikleri yazılır:

Radyal Momentum Denklemi:

$$\nabla(\rho_m v_m v_{mr}) = \nabla[\Gamma \nabla v_{mr}] + S_{v_{mr}} \quad (6.22)$$

Radyal Momentumun Ana Terimi:

$$S_{v_{mr}} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \rho_m \frac{v_{m\theta}^2}{r} - \Gamma \frac{v_{mr}}{r^2} - \nabla \left[\frac{\alpha(1-\alpha)\rho_g\rho_1}{\rho_m} v_{gl} v_{glr} \right] \quad (6.23)$$

Çevresel Momentum Denklemi:

$$\nabla(\rho_m v_m v_{m\theta}) = \nabla[\Gamma \nabla v_{m\theta}] + S_{v_{m\theta}} \quad (6.24)$$

burada Çevresel Momentumun Ana Terimi:

$$S_{v_{m\theta}} = -\rho_m \frac{v_{mr} v_{m\theta}}{r} - \Gamma \frac{v_{m\theta}}{r^2} \quad (6.25)$$

Eksenel Momentum Denklemi:

$$\nabla(\rho_m v_m v_{mz}) = \nabla[\Gamma \nabla v_{mz}] + S_{v_{mz}} \quad (6.26)$$

burada Eksenel Yöndeki Momentum Eşitliğinde Ana Terim:

$$S_{v_{mz}} = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho_m g - \nabla \left[\frac{\alpha(1-\alpha)\rho_g \rho_l}{\rho_m} v_{gl} v_{glz} \right] \quad (6.27)$$

$$\nabla(\rho_m v_m \psi) = \nabla[\Gamma \nabla \psi] + S_\psi \quad (6.28)$$

Karışımın kütle dengesi, gaz fazı kütle dengesi, çevresel ve eksenel momentum denge bileşenleri için genel değişken ψ ; l , c , v_{mr} , $v_{m\theta}$ ve v_{mz} değerlerinin yerine sayılır.

Kayma hızı:

Gaz ve sıvı fazlarının difüzyon hızları arasındaki bağıntı karışımın süreklilik denklemlerinden ve fazların difüzyon hızlarının tanımlarından geliştirilebilir.

$$\alpha \rho_g v_{gm} + (1-\alpha) \rho_l v_{lm} = 0 \quad (6.29)$$

Kayma hızı boşluk kesrinin gradyanları ve baloncuk topluluğunun ana baloncuk hızlarıyla bağlantılıdır.

$$v_{gl} = v_{\infty} (1 - \alpha)^{n-1} - \frac{D}{\alpha(1 - \alpha)} \nabla \alpha \quad (6.30)$$

burada v_{∞} belirli sıvı ortamında tek bir baloncunun terminal hızıdır.

Yerçekiminin sonucunda batmama özelliği, v_{∞} aşağıdaki gibidir:

$$v_{\infty} = -\sqrt{2} \left(\frac{\sigma(\rho_1 - \rho_g)g}{\rho_1^2} \right)^n \quad (6.31)$$

burada σ yüzey gerilimi, g yerçekimi ivmesi, türbülans için n ' nin değeri 0.25 kabul edilir.

$$v_{\infty} = -\sqrt{2} \left(\frac{\sigma(\rho_1 - \rho_g)a_c}{\rho_1^2} \right)^n \quad (6.32)$$

Karışımın Gerilim Vektörü:

$$\tau + \tau^t = \rho_m v_{eff} (\nabla v_m + (\nabla v_m)^T) \quad (6.33)$$

Türbülans Model:

$$-\rho \overline{u'v'} = \rho \varepsilon_m \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (6.34)$$

$$\varepsilon_m \propto u' \lambda' \quad (6.35)$$

$$v_{ii} = (Ky)^2 \frac{\partial u}{\partial y} \quad (6.36)$$

$$v_{ii} = (Ky)^2 [1 - \exp(-y^+ / A)]^2 \frac{\partial u}{\partial y} \quad (6.37)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{u_\tau}{Ky} \quad (6.38)$$

Burada u_τ sürtünme hızıdır.

$$u_\tau = \sqrt{v \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{du \text{ var}}} \quad (6.39)$$

$$v_{ii} = (Ky) [1 - \exp(-y^+ / A)]^2 u_\tau \quad (6.40)$$

Burada y^+ duvara olan boyutsuz uzaklıktır.

$$y^+ = \frac{yu_\tau}{v} \quad (6.41)$$

İçerideki tabaka bölgesi için k-ε modeli uygun değildir. Dış tabaka için türbülans hızı ve uzunluğu u' ve ℓ' ile bağlantılı sabit eddy viskozite değeri genellikle kabul edilir. Dış tabakadaki eddy viskozitesi Tennekes ve Lumley tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$v_{to} = Cu' \lambda' \quad (6.42)$$

$$v_{to} = C_1 (v_{m\theta})_{giriş} d \quad (6.43)$$

c_1 bir sabittir ve değeri 0.002'ye eşittir. $(v_{m\theta})_{giriş}$ Gaz-sıvı silindirik siklonun girişindeki teğetsel hızdır. d ise Gaz-sıvı silindirik siklonun çapıdır.

$$\rho_m D = \rho_m v_{eff} = \rho_1 v_\tau = \Gamma \quad (6.44)$$

Uygulanan modelde, dış akış bölgesinde Eddy viskozitesinin sabit olduğu kabul edilir bu esnada içeri bölgede duvara olan uzaklıkla değişir.

Sınır Şartları:

k-ε türbülans modelinde, Eddy viskozitesi nokta yöntemiyle hesaplanabilir.

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6.45)$$

burada C_μ ampirik sabit ve türbülans kinetik enerjisi k, türbülans yayılma oranı ε hesaplanabilir. Launder ve Spalding tarafından 1974 yılında verilen duvar kesme gerilimi:

$$\frac{u}{(\tau/\rho)_w} C_\mu^{1/4} k^{1/2} = \frac{1}{K} \ln \left[Ey \frac{(C_\mu^{1/2} k)^{1/2}}{\nu} \right] \quad (6.46)$$

$$\varepsilon = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{Ky} \quad (6.47)$$

1993 yılında Alhanati aşağıdaki eşitliği kullanmıştır. Eşitlik (6.47)'yi (6.45)'e ekleyerek:

$$v_t = C_\mu^{1/4} k^{1/2} Ky \quad (6.48)$$

Eşitlik(6.48), (6.46)'ya ilave edilerek:

$$\frac{u}{(\tau/\rho)_w} \frac{v_t}{y} = \ln \left[\frac{Ev_t}{Kv} \right] \quad (6.49)$$

burada duvarın kesme gerilimi aşağıdaki formülle verilir:

$$\tau_w = \Gamma_w \frac{u}{y} \quad (6.50)$$

Duvarın yakınındaki bölgede difüzyon katsayısı ifadesini geliştirmek için (6.49) ile (6.50) yi birleştirirsek:

$$\Gamma_w = \frac{\rho v_{t_i}}{\ln \left[\frac{Ev_{t_i}}{Kv} \right]} \quad (6.51)$$

burada v_{t_i} içerideki tabaka bölgesinde Eddy viskozitesi yerine geçer. V_{t_i} hesaplamak için duvarın yakınındaki ilk noktaya ihtiyaç vardır. İlk önce u_τ Eşitlik (6.38) kullanılarak hesaplanır. Daha sonra y^+ belirlenir. Eğer y^+ 400'den küçükse akış tamamen türbülantır ve Eşitlik (6.40) Eddy viskozitesini tanımlamak için kullanılır. 400'den büyükse eşlenmiş noktalar tasfiye edilir.

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} = 0 \quad \text{ve} \quad v_{r_N} = v_{r_{N-1}} \quad (6.52)$$

$$v_{r_N} = \frac{r_{N-1}}{r_N} v_{r_{N-1}} - \frac{(r_N^2 - r_{N-1}^2)}{2r_N \Delta z} (v_{z_j} - v_{z_{j-1}}) \quad (6.53)$$

7. SONUÇ

Bu çalışmanın sonunda elde edilen tasarım parametrelerini kullanırken performansı, fiyatı, uygunluğu ve diğer ticari faktörler, göz önüne alınmalıdır. Ayırıcıyı seçerken kullanacağımız malzeme ve ortama göre tercih yapmalıyız.

Endüstriyel gaz prosesleri gibi işlemlerde katı-gaz ayırımı işlemleri için öncelikle filtreler, daha sonraki aşamada ayırıcılar, elektro-filtreler, gaz temizleyiciler ve gerekliyse ilave filtreleri tercih ederiz. Bunların dışında sıvı-sıvı karışımlarını ayırmak için seperatörler, çöktürme cihazları gibi özel cihazları kullanırız. Ağır tanecikleri ayırmada elektrostatik çöktürücüler ya da torba filtreler gibi daha karmaşık teçhizatlardan önce seperatörleri kullanabiliriz. Ayırıcıları, özel görevler için de tasarlayabiliriz. Santrifüj, her türlü ortama uygun, esnek yapısı, hacim ve ayırma ihtiyaçlarını karşılaması sebebiyle tercih sebebidir. Bunların işlem karakteristiklerine bakılırsa özellikle itici santrifüj, hızlı filtrelemede katılar için uygundur. Sistem 0.2 mm' den büyük taneciklere sahipse itici santrifüjde daha iyi sonuç elde ederiz. Siklonları ise düşük maliyetli olmaları ve endüstriyel gazlardan çapı 5mikrondan büyük tanecikleri ayırmada yüksek verimliliğe sahip olmaları nedeniyle katıları, katı-sıvı, katı-gaz, karışmaz sıvı ve sıvı-gaz heterojen karışımları ayırmada kullanabiliriz. Genellikle 5 ile 200 µ boyutundaki taneciklerin tutulmasında iyi sonuç alırız.

Bu özellikleri göz önünde tutularak ayırıcıların tasarımını tamamlayabiliriz.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Arun, N. Ve Akkoç, H., 1997, Pnömatik İletim Temel Bilgileri, MMO Yayınları, 66-76 s.

Filho, M.R., 1997, Rotational two-phase Flow in Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separators, UMI Copyright, 10-32 p.

Mohebbi, A., Taheri, M., Fathikaljahi J. And Talaie, R.M., 2003, Simulation of an Orifice Scrubber Performance based on Eulerian / Lagrangian Method, Elsevier Science B.V., 15-19 p.

Morales, I.E., 1996, Numerical Analysis of Steady Incompressible Turbulent Flow in a Cyclone Separator, UMI Copyright, 3-18 p.

Pant, K., 2000, Parametric Study of Miniature Cyclone Systems through Numerical Simulation, UMI Copyright, 6-73 p.

Rietema, K. And Verver, G.C., 1961, Cyclones in Industry, Elsevier Publishing Company, 34-57 p.

Tran, V.T., 1981, Experimental and Theoretical Studies on Gas Cyclone Separators Operating at High Efficiency, UMI Copyright, 5-8 p.

Warring, R.H., 1981, Filtration Handbook, Trade and Technical Press, 196-400 p.