

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

34696

**ISLAK SIKLONLAR (YIKAYICILAR)
YÖNTEMİYLE BACA GAZI TEMİZLEME
SİSTEMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mak. Müh. Haluk ÇAKAR

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı-proses Programında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Eyüp AKARYILDIZ

İSTANBUL, 1994

İÇİNDEKİLER

Sembol listesi	I
Şekil listesi	III
Tablo listesi	VI
Teşekkür	VII
Türkçe özet	VIII
İngilizce özet	IX

BÖLÜM 1 KİRLENME PROBLEMİNE GİRİŞ

1.1 Genel	1
1.2 Hava Kirlenmesinin Tanımı ve Hava Kalitesi ..	1
1.3 Hava Kirleticiler	4
1.3.1 Konvansiyonel Kirleticiler	4
1.3.2 Spesifik Kirleticiler	7
1.4 Hava Kirlenmesini Oluşturan Parçalar ve Boyutları	9
1.5 Kirletici Kaynaklar	10
1.6 Kirlenme ile İlgili Tanımlar	11
1.7 Parçacığın Bir Akışkan İçinde Hareketi ...	12
1.8 Hava Kirlenmesinde Coğrafik Etkenler	13
1.9 Hava Kirlenmesinde Meteorolojik Etkenler ..	13

BÖLÜM 2 KİRLİLİK LİMİTLERİ VE KİRLETİCİLERE AİT STANDARTLAR

2.1 Genel	16
2.2 Emisyon Faktörleri	17
2.3 Standartlar	20

BÖLÜM 3 HAVA KİRLENMESİNİN KONTROLU

3.1 Genel	24
3.2 Toz Toplama Amaçları	24
3.3 Toz Kirliliği ve Kontrol Araçları	24
3.3.1 Ağırlık Metodları	25
3.3.2 Atalet Metodları	26
3.3.3 Filtrasyon - Süzme Metodları	27
3.3.4 Elektrostatik Çöktürücüler	28
3.3.5 Termal Tutucular	29
3.3.6 Sonik Tutucu	29
3.4 Katı Partiküller İçin Cihaz Seçimi	29
3.5 Hava Kalitesini Kontrol Mekanizması	30
3.6 Kontrol Araçlarının Uygulamadaki Durumu ...	32

BÖLÜM 4 ISLAK YIKAYICILAR

4.1 Genel.....	34
4.2 Islak Yıkayıcıların Endüstride Uygulanışına Dair Örnekler	38
4.2.1 Çelik Endüstrisindeki Uygulamalar	38
4.2.2 Döküm Endüstrisindeki Uygulamalar	45
4.2.3 Kimya Endüstrisindeki Uygulamalar	46
4.2.4 Kirlenmiş Sıvıların Tasfiyesi	47

BÖLÜM 5 ISLAK YIKAMANIN ESASLARI

5.1 Sıvı Damlacıklarıyla Toz Partikül Toplama .	50
5.1.1 Toz Partikül Toplama Üzerine Temel Bilgiler	50
5.1.2 Yüksek Hızlı Damlacık Hareketiyle Toz Partikül Toplama	53
5.1.3 Yüksek Hızlı Gaz ve Partikül Hareketiyle Partikül Toplama	55
5.2 Gaz ve Sıvı arasındaki Temas Yüzeyi Bölgesinin Teşekkülü	58
5.2.1 Sıvı Filmlerinin Teşekkülü	59
5.2.2 Sıvı Jetlerinin(Püskürtmelerinin)Teşekkülü	61
5.2.3 Damlacıkların Teşekkülü	62
5.2.4 Kabarcıkların Teşekkülü	64

BÖLÜM 6 ISLAK YIKAYICI ÇEŞİTLERİ ve ISLAK YIKAYICILARA AİT HESAPLAMALAR

6.1 Giriş	65
1. Kolon Yıkayıcılar	66
a. Püskürtme Nozüllü Yıkayıcılar	66
b. Santrifüj Yıkayıcılar	68
c. Dolgu Yataklı Yıkayıcılar	73
d. Harkeket Eden (Akışkan Yataklı) Yıkayıcılar ..	75
2. Jet (Püskürtmeli veya Memeli) Yıkayıcılar	77
3. Vorteks (Girdaplı) Yıkayıcılar	77
4. Yıkama Makinaları	77
a. Dinamik Toplayıcılar	77
b. Orifis Tip Yıkayıcılar	78
c. Çarpma Plakalı Yıkayıcılar	79
d. Atomize Mekanik Yıkayıcılar	81

6.2 Islak Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları	81
6.2.1 Toplama Verimi	82
6.2.2 Basınç Düşümü, Güç ve Verim Arasındaki Bağıntı	86
6.2.3 Kolon Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları ...	89
6.2.4 Jet (Püskürtmeli veya memeli) Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları	96
6.2.5 Vorteks (Girdaplı) Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları	98
6.2.6 Döner Diskli Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları	101
6.2.7 Venturi Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları .	104
BÖLÜM 7 ISLAK YIKAYICILARIN KURULMASI, İŞLETİLMESİ ve BAKIMI	
7.1 Islak Yıkayıcıları Kurma Usulleri	110
7.1.1 Yıkayıcının Rutin Çalışması	112
7.1.2 Yıkayıcının Rutin Durdurulması	113
7.2 Islak Yıkayıcıların İşletilmesi	114
7.2.1 Dolgu Yataklı Yıkayıcıların İşletilmesi ...	118
7.2.2 Hareketli Yataklı Yıkayıcıların İşletilmesi	121
7.3 Islak Yıkayıcıların Bakımı	123
7.4 Islak Yıkayıcıların İşletme ve Performansının İyileştirilmesi (İslahı)	129
7.4.1 Yıkayıcı Yardımcı Teçhizatı ile Birleştirilmiş Arıza Tespiti Problemleri	129
7.4.1.1 Döner Makinalar	130
A) Fanlar	131
B) Pompalar	133
C) Tasfiye Cihazları ve Zincir Çekme Tankları	135
D) Döner (Rotary) Vakum Filtreleri	136
E) Motorlar	137
F) Karıştırıcılar	137
7.4.1.2 Statik Ekipmanlar	138
A) Kanallar	138
B) Damperler	139
C) Boru Şebekesi	140
D) Vanalar	141
E) Devridaim Tankı	142

7.4.1.3 Elektrikli Parçalar	143
A) Yardımcı Donanımlar (Teçhizatlar)	143
B) Motor İşletme Anahtarları	144
C) Elektrikli Motorlar	144
7.5 Sonuçlar	145
BÖLÜM 8 SONUÇLAR	
8.1 Genel	146
8.2 Islak Yıkayıcıların Seçimi, Avantajları ve Dezavantajları	146
KAYNAKLAR	152
ÖZGEÇMİŞ	



SEMBOL LİSTESİ

- A_p [m^2] : Partikülün geometrik yüzey alanı.
 d_a [m] : Raschig halkasının dış çapı
 d_i [m] : Raschig halkasının iç çapı
 d_c [m] : Kolon çapı
 d_l [m] : Damlacık çapı
 d_p [m] : Toz partikül çapı
 d_{pt} [m] : Deney toz partikül çapı
 $d_{pt(Rt50)}$ [m] : Deney toz çökeltisi $R_t = \%50$ olması durumundaki deney toz partikül çapı
 $d_{pt(\varphi Ft50)}$ [m] : Deney toz fraksiyonel toplama veriminin $\varphi_{Ft} = \%50$ olması durumundaki deney toz partikül çapı
 g [m/s^2] : Yerçekimi ivmesi
 h [m] : Dolgu yüksekliği
 M_{p1} [kg/m^3] : Ham (kirli) gazın toz derişimi
 M_{p2} [kg/m^3] : Temiz gazın toz derişimi
 V_c [m^3] : Kolon hacmi
 V_p [m^3] : Partikül hacmi
 V_g [m^3/s] : Gazın hacimsel debisi
 V_l [m^3/s] : Sıvının hacimsel debisi
 \bar{w}_g [m/s] : Ortalama gaz hızı
 $\bar{w}_{g.o}$ [m/s] : Taşma şartları altındaki ortalama gaz hızı
 \bar{w}_l [m/s] : Ortalama sıvı hızı
 w_r [m/s] : İzafi hız
 w_s [m/s] : Çökelme hızı
 w_{st} [m/s] : Deney tozunun çökelme hızı
 Δp_1 [N/m^2] : Dolgulu kolondaki tek fazlı basınç düşümü
 Δp_v [N/m^2] : Venturi yıkayıcıdaki basınç düşümü
 μ_g [$kg/(ms)$] : Gazın dinamik viskozitesi
 μ_l [$kg/(ms)$] : Sıvının dinamik viskozitesi
 ν_g [m^2/s] : Gazın kinematik viskozitesi
 ν_l [m^2/s] : Sıvının kinematik viskozitesi
 ρ_g [kg/m^3] : Gazın özgül ağırlığı
 ρ_l [kg/m^3] : Sıvının özgül ağırlığı
 ρ_p [kg/m^3] : Toz partikülün özgül ağırlığı
 Re_r : Reynolds sayısı

$Re_{g.o}$: Taşma şartlarındaki gazın Reynolds sayısı
 \bar{w}_l : Boyutsuz ortalama sıvı hızı
 ϵ : Dolgunun boşluk oranı
 ϵ_r : Raschig halkalarının boşluk oranı
 ζ_v : Venturi yıkayıcı için sürtünme faktörü
 ϕ : Toplama verimi
 ϕ_F : Fraksiyonel toplama verimi
 ϕ_{Fl} : Deneysel tozu için fraksiyonel toplama verimi
 ϕ_i : Çarpma faktörü
 ψ : Atalet katsayısı
Sürtünme faktörü
 η : d_p çaplı partikül için toplama verimi
 L/G : Sıvı-gaz oranı
 C : Cunningham faktörü
 d_o : Damla çapı
 V_g : Venturi boğazındaki gaz hızı
 k : İşletme şartlarına ve sistem geometrisine bağlı olarak 0.1-0.2 değerinde olan korelasyon katsayısı
 σ : Sıvının gerilme kuvveti
 λ : Gaz moleküllerinin serbest yörüngesi
 k' : Partikül yıkayıcı dizaynı için 0.00005 değerinde korelasyon katsayısı
 P_g : Gaz akımı enerjisinin girişinden uyarlanan temas gücü
 P_L : Sıvı giriş basıncı
 N_t : Transfer ünite sayısı

SEKİL LİSTESİ

- Sekil 1.1 : Baca gazı hüzmesinin atmosferde yayılması
- Sekil 3.1 : Kaynak emisyonunun atmosfere etkisi ve etki mesafesine ait şema
- Sekil 3.2 : Hava kalitesi kontrol mekanizması şeması
- Sekil 4.1 : Islak yıkayıcılarda toplama mekanizmasının prensibi
- Sekil 4.2 : Yüksek fırın gazı temizleme tesisi şematik resmi
- Sekil 4.3 : Venturi yıkayıcısının fotoğrafı
- Sekil 4.4 : Islak yıkayıcılarla O_2 dönüştürücülerinden atık gazı saflaştırma
- Sekil 4.5 : Thomas ve O_2 dönüştürücüleri ve yüksek fırınlarda bulunan atık gazlardaki basınç düşümüne karşı Venturi yıkayıcılarda işleme tabi tutulan saf akımındaki partikül miktarının grafiği
- Sekil 4.6 : İki O_2 dönüştürücülü tesisde bulunan atık gazların partikül yıkama işlemini kapsayan fiyatlar
- Sekil 4.7 : Atık gazdan toz ayrıştırma için bir elektrik ark fırını ve tesisinin şematik resmi
- Sekil 4.8 : Bir Vorteks (girdablı) yıkayıcısının perspektif görüntüsü
- Sekil 4.9 : Bir püskürtmeli kurutma ünitesinde dolayan inert gazdan toz ayrıştırma (ıslak yıkama)
- Sekil 4.10: Bir kimya fabrikasındaki atık gazlardan toz ayrıştırma (ıslak yıkama)
- Sekil 4.11: Kirlenmiş suyun tasfiyesi için bir tesisin şematik resmi
- Sekil 5.1 : Akış alanının çok basit bir tipinde bir sıvı damlacığı ile partikül toplama
- Sekil 5.2 : Atalet sayısı ile çarpma faktörü arasındaki ilişki

- Sekil 5.3 : Gaz-toz partikül akım alanının içinden normal yönde yüksek hızlı hareket ederek geçen bir sıvı damlacığıyla partikül toplama
- Sekil 5.4 : Çok yüksek hızlı gaz-toz partikül ile çok düşük hızlı ve bu akıma paralel hareket eden sıvı damlacıklarıyla toz partikül toplama
- Sekil 5.5 : Elipsoidal damlacıkların titreşimli hareketi ve girdap oluşumuyla gaz hareketi
- Sekil 5.6 : Gelişigüzel yerleştirilmiş Raschig halkaları
- Sekil 5.7 : Raschig halkalarının yüzeyi üzerindeki sıvı dağılımının gösterilmesi
- Sekil 5.8 : Rasgele dolguların ve tüp demetlerin yerleştirilmesi
- Sekil 5.9 : Sıvı jetinin (püskürtmesinin) dağılımı
- Sekil 5.10: Bir girdap odasında gaz akımıyla sıvı dağılımı
- Sekil 5.11: Çeşitli döner hızlarda bir döner disk vasıtasıyla
- Sekil 6.1 : Püskürtme nozüllü yıkayıcı
- Sekil 6.2 : Siklonik püskürtmeli yıkayıcı
- Sekil 6.3 : Silindirik tip santrifüj ıslak yıkayıcı
- Sekil 6.4 : Siklonik yıkayıcı
- Sekil 6.5 : Siklonik püskürtmeli yıkayıcı şematik resmi
- Sekil 6.6 : Çok kademeli yıkayıcı
- Sekil 6.7 : Dolgu yataklı yıkayıcılar
- Sekil 6.8 : Hareket eden yataklı yıkayıcı
- Sekil 6.9 : Santrifüj fanlı ıslak yıkayıcı
- Sekil 6.10: Orifis tip yıkayıcı
- Sekil 6.11: Çarpma plakalı yıkayıcı
- Sekil 6.12: Merkezi püskürtmeli yüksek hızlı yıkayıcı
- Sekil 6.13: Partikül çözeltisi R ve fraksiyonel toplama verimi ϕ_F 'in partikül çapı d_p 'ye karşı çizilmiş grafiği
- Sekil 6.14: Gerçek toz için ϕ_F verimi içinde deney tozu fraksiyonel toplama veriminin değişmesi

- Sekil 6.15: Toplama verimi için, paralel ve zıt gaz-sıvı akım şartlarında dolgu yüksekliğinin bir fonksiyonu
- Sekil 6.16: Dolgulu kolonların şematik resmi, geometrisi ve fraksiyonel toplama verimi
- Sekil 6.17: Jet (püskürtmeli) yıkayıcıların şematik resmi, geometrisi ve fraksiyonel toplama verimi
- Sekil 6.18: Vorteks (girdaplı) yıkayıcıların şematik resmi, geometrisi ve fraksiyonel toplama verimi
- Sekil 6.19: Döner diskli yıkayıcıların şematik resmi, geometrisi ve fraksiyonel toplama verimi
- Sekil 6.20: Venturi yıkayıcıların şematik resmi, geometrisi ve fraksiyonel toplama verimi
- Sekil 6.21: Venturi yıkayıcılar için toplama verimi
- Sekil 8.1 : Islak yıkayıcıların özelliklerinin derlenmesi
- Sekil 8.2 : Kesme çapı ile spesifik enerji ihtiyacı arasındaki grafik

TABLO LİSTESİ

- Tablo 1.1 : Kuru hava bileşimi
- Tablo 1.2 : Türkiye'de bazı kirleticiler için hava kalitesi sınır değerleri
- Tablo 1.3 : Spesifik kirletici örnekleri
- Tablo 2.1 : Kül analizi sonucu elde edilebilecek başlıca elementler
- Tablo 2.2 : Tipik bir ocak emisyonu analizinde elde edilebilecek uçucu kül bileşenleri ve yüzde oranları
- Tablo 2.3 : Kömür yakıtlar için kontrol aygıtı olmadığı haldeki emisyon faktörleri
- Tablo 2.4 : Giriş ısı yüküne bağlı MEK standartları
- Tablo 2.5 : Genel amaçlar için MEK standardı
- Tablo 2.6 : Çeşitli ülkelerde uygulanan MEK standardı
- Tablo 2.7 : Çeşitli ülkelerde uygulanan MİK standardı
- Tablo 3.1 : Uygulamada kontrol araçları
- Tablo 6.1 : 6-18 denklemi için α ve β parametre değerleri
- Tablo 6.2 : 4 durum için toplama verimi ϕ_v ile birkaç önemli parametre arasındaki ilişki
- Tablo 7.1 : Depolama süresi
- Tablo 7.2 : Venturi yıkayıcı için yedek parça sayım çizelgesi
- Tablo 7.3 : Venturi yıkayıcıdaki çökme ve tıkanmayı kapsayan bakım için insan gücü ihtiyaçları
- Tablo 7.4 : Venturi yıkayıcı sistemlerin istenen bakımının tipi
- Tablo 7.5 : Venturi yıkayıcılarda arıza tespiti
- Tablo 7.6 : Kule veya siklonik yıkayıcılar için arıza tespiti
- Tablo 7.7 : Dolgu yataklı yıkayıcılarda arıza tespiti
- Tablo 8.1 : Kesme çapıyla spesifik enerji ihtiyacı arasında 22 tip yıkayıcı üzerinde yapılan deneylerin sonuçları

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında ; hava kirliliği kontrol ekipmanlarından olan ıslak yıkayıcılar incelenerek kirli gaz akımının temizlenmesi yöntemleri araştırılmıştır. Bu amaca yönelik yaptığım çalışmalar esnasında, bilgi ve tecrübeleriyle bana manevi destekte bulunan tez danışmanım ve hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ 'a, kaynakların oluşmasında büyük bir özveri ile yardımlarda bulunan TÜBİTAK Marmara Merkezi Enerji Sistemleri Bölümünden Mak. Müh. Yücel ERDALLI 'ya teşekkür ederim. Ayrıca tezin oluşmasında ; şekil ve tabloların çizilmesinde yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Yük. Müh. İsmail KARAR 'a minnettarlığımı sunarım.

İstanbul 1994

Haluk ÇAKAR

ÖZET

Günümüzde çevre kirliliğinin artmasıyla hava kirliliği kontrol ekipmanlarının kullanılmasında gözle görüldür bir artış olmuştur. Hava kirliliği kontrol ekipmanlarından biri olan ıslak yıkayıcılar hem partikül hem de gaz kirleticileri etkili bir şekilde ayırma kabiliyeti olduğundan dolayı kirlenmiş gaz akımlarını temizlemede kendisine çok geniş bir kullanılma sahası bulmuştur. Islak yıkayıcı ekipmanların çoğunda bir veya daha fazla toplama mekanizması kullanılmasına rağmen, cihaz için asıl gerekli olan bir damlacık vasıtasıyla partikülün tutulmasını veya çarpmasını başlatmaktadır.

Bu çalışmada esas konuya başlamadan önce kirlenme problemine giriş, kirlilik limitleri, kirleticilere ait standartlar ve hava kirlenmesinin kontrolü hakkında bilgiler verildi. Sonra ıslak yıkayıcılar araştırıldı. İlk olarak çeşitli endüstrilerdeki uygulamaları anlatıldı (Çelik endüstrisindeki, döküm endüstrisindeki, kimya endüstrisindeki uygulamalar). İkinci olarak ıslak yıkamanın esasları araştırıldı. Burada ıslak yıkamada çeşitli toplama mekanizmaları anlatıldı ve gaz akımı ile partikül arasındaki hareket incelendi. Üçüncü olarak ıslak yıkayıcı tipleri ve ıslak yıkayıcılara ait hesaplamalar araştırıldı. Bu kısımda Kolon yıkayıcılar, Jet (püskürtmeli) yıkayıcılar, Vorteks (girdablı) yıkayıcılar, Venturi yıkayıcılar ve yıkama makinaları hakkında bilgiler verilerek bunlara ait hesaplamalar incelendi. Özellikle basınç düşümü ve toplama verimi hakkında detaylı bilgiler verildi. Dördüncü olarak ıslak yıkayıcıların kurulması, işletilmesi ve bakımı anlatıldı. Sonunda da ıslak yıkayıcıların seçimi, avantajları, dezavantajları ve karşılaştırılması yapıldı.

SUMMARY

The number of air pollution control equipment has increased at an accelerated pace with increasing of the pollution of environment. The wet scrubbers are one of the air pollution control equipment that have found widespread use in cleaning contaminated gas streams because of their ability to remove effectively both particulate and gaseous pollutants. Although one or more collection mechanisms may be used within the range of wet scrubber equipment, the major requirement for any such device is the initiation of impingement or interception of a particle with a droplet.

In this study, before major subject is given to start, it is given knowledge about introduction to pollution problem, pollutant limits, standards of pollutant and control of air pollution. Then wet scrubbers were researched. First of all it was explained about some examples of industrial applications of wet scrubbers (applications in steel industry, in foundry industry, in chemical industry). Secondly, it was investigated fundamentals of wet scrubbing. In this part, it was given some of collection mechanisms for wet scrubbing and was investigated between gas stream and particle motions.

Thirdly it was introduced wet scrubber types and design calculations for wet scrubbers. In addition it was brought out about Column scrubber, Jet scrubber, Vortex scrubber, Venturi scrubber and Scrubbing machine and was given to belong to their calculations. Especially it was shown as a more detailed knowledge about pressure drop and collection efficiency. Fourthly, installation procedures, operation and maintenance for wet scrubbers were introduced. Finally, it was shown comparison and selection of wet scrubbers and was explained advantages and disadvantages.

BÖLÜM 1

KIRLENME PROBLEMİNE GİRİŞ

1.1 Genel

18. ve 19. yüzyıllarda, sanayinin gelişmesi, kentleşmenin artması ve tabii olaylarla oluşan doğal dengenin bozulması sonucu, büyük problemler ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin en önemlilerinden biri de, şüphesiz kirlenmedir. Canlıların temel ihtiyaçları olan hava ve su en çok kirlenmeye maruz kalan maddelerdir. Bu maddelerin kirlenmesi, dolaylı veya dolaysız insanların hayatını tehdit etmektedir. Bazı maddeler, çeşitli yollarla atmosfere karışarak yeni zehirleyici bileşikler oluşturmakta ve zararlı etkilerini daha da arttırmaktadırlar. Çeşitli fabrika, mesken ve birimlerin atık ürünleri, çöpler vs. depolandığı veya imha yoluna gidildiği hallerde, imha şekline bağlı olarak teneffüs ettiğimiz hava, tarım alanları, akarsular, göl ve denizler kirlenmekte, bunun sonucu canlılar ve özellikle insanlar tehdit edilmektedir. Burada, hava kirliliği ele alınacak ve bununla ilgili tanımlar ve temel kavramlar verilecektir.

1.2 Hava Kirlenmesinin Tanımı ve Hava Kalitesi

Hava kirlenmesi için çeşitli tanımlar verilmiştir. Bu tanımların hiçbiri yeterli açıklıkta değildir. Bunun nedeni ise, hava kirlenmesiyle ilgili çok sayıda belirsizliğin bulunmasıdır. Hava kirlenmesinin en yaygın tanımlarından birisi şu şekildedir[1];

"Hava kirlenmesi, havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zararlı olabilecek derişim ve sürede bulunmasıdır." Bu tanımda dikkati çeken en önemli nokta 'zararlı olabilecek' ifadesidir. Bu ifade, zarar kavramının hava kirlenmesinde yeterli açıklıkta ve kesin olarak belirlenememesinin bir sonucudur. Çünkü özellikle insan sağlığına etki söz konusu olduğunda, bu etkinin sadece kirlenme sonucu olsada, hangi kirlenme düzeylerinde olduğu mutlak olarak belirlenememektedir. Hava

kirliliğinin etki şekli ve derecesi; yaş, dayanıklılık gibi kişisel faktörlere bağlıdır. Bu nedenle, etki değerlendirilmesi çoğunlukla istatistiksel olarak yapılmakta ve bunun sonucu bir ihtimali, bir beklentiyi yansıtmaktadır. Tanımda geçen diğer bir terim süredir. Hava kirlenmesinde kirleticilere maruz kalma süresi oldukça büyük önem taşımaktadır. Bazı kirleticilere düşük derişimlerde çok uzun sürede maruz kalınma ile olumsuz etki oluşurken, diğer bazı kirleticilerin düşük derişimleri, uzun sürede insanlarda ölümcül sonuç doğurabilmektedir. Tanımda yer alan yabancı madde terimi de yeterince açık değildir. Çünkü yabancı madde, havanın normal bileşiminde olmayan madde olarak tanımlanır. Halbüki, havanın normal veya doğal bileşiminde olup da, doğal derişimlerinin üstünde bulunduğu kirletici etki gösteren maddeler bulunmaktadır. Örneğin, metan doğal hava bileşiminde bulunur. Buna karşın, başta metan olmak üzere, hidrokarbonlar en önemli kirleticiler arasındadır. Doğal hava bileşimi hem tanım için hem de kirliliğin saptanması açısından önem taşımaktadır. atmosferin hava esas alınarak saptanan bileşimi tablo 1.1 de verilmiştir.

TABLO 1.1 Kuru hava bileşimi[1]

Bileşen	Hacim %'si	Derişim(ppm)
Azot	78.084 ± 0.004	780900
Oksijen	20.946 ± 0.002	20940
Argon	0.934 ± 0.001	9300
Karbondioksit	0.033 ± 0.001	315
Neon		18
Helyum		5.2
Metan		1.2
Kripton		0.5
Hidrojen		0.5
Ksenon		0.08
Azotdioksit		0.02
Ozon		0.01-0.04

2 kasım 1986 tarihinde 19269 sayı ile Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde" çeşitli hava kirleticiler için UVS ve KVS değerleri tablo 1.2 'de verilmiştir.

1.3 Hava Kirleticiler

Hava kirleticiler, havanın tabii bileşimini değiştiren, gaz, sıvı veya katı halde olabilen kimyasal maddelerdir. Kirletici kaynaklar kadar kirletici madde çeşitleri de çoktur. Gaz hali dışında bulunan kirleticiler, havada aerosol halinde olup, bazıları sis, buğu, duman gibi özel adlar ile adlandırılır. Bunun yanında, radyoaktif kirleticilerde bulunmaktadır. Bunların, cinsleri gibi etkilerinin pek azı bilinmekte ve bunlarda uzun araştırmalar sonucu elde edilmektedir.

Hava kirleticileri çeşitli özellikleri gözönüne alınarak sınıflandırılırlar. Bir sınıflandırma, fiziksel duruma göre gaz ve partiküller maddeler şeklinde yapılır. Partiküller maddeler de kendi içlerinde yukarıda belirtildiği gibi çeşitli gruplara ayrılır. Diğer bir sınıflandırma, kimyasal yapıya bağlı olarak yapılır. Buna göre, kirleticiler organik ve inorganik kirleticiler olarak ayrıldıkları gibi her grupta kendi içinde yine kimyasal yapı ve özellikler dikkate alınarak sınıflandırılabilir. Özellikle, organik kirleticilerin çok sayıda sınıfa ayrılması sözkonusudur. Başka bir sınıflandırma şekli ise kaynağa bağlıdır. Kirleticiler, belirli bir kaynağı olan (birincil) veya belirli bir kaynağı olmayıp atmosferde kimyasal tepkimeler sonucu oluşan (ikincil) kirleticiler olarak sınıflandırılır. Kirleticilerin kontrolü, diğer bir deyimle hava kalitesi yönetimi bakımından kirleticiler; konvansiyonel ve spesifik kirleticiler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

1.3.1 Konvansiyonel Kirleticiler

Genellikle katı, sıvı, ve gaz yakıtların yanmasıyla ve taşıtların ekzoslarından oluşan kirleticiler konvansiyonel kirleticiler olarak isimlendirilmektedir. Konvansiyonel kirleticiler, CO hariç birden fazla kirletici maddeleri

Tablo 1.2 Türkiye' de Bazı Kirleticiler İçin Hava Kalitesi Sınır Değerleri [2]

	Birim	UVS	KVS
Kükürt dioksit (SO ₂)			
Kükür trioksit (SO ₃) dahil			
a) Genel	µg/ m ³	150	400 (900)
b) Endüstri bölgeleri	µg/ m ³	250	400 (900)
Karbon monoksit (CO)	µg/ m ³	10000	30,000
Azot dioksit (NO ₂)	µg/ m ³	100	300
Azot monoksit (NO)	µg/ m ³	200	600
Klor (Cl ₂)	µg/ m ³	100	300
Klorlu hidrojen (HCl) ve gaz halde anorganik klorürler (Cl ⁻)	µg/ m ³	100	300 (240)
Ozon (O ₃) fotokimyasal oksitleyiciler	µg/ m ³	-	140 (280)
Hidrokarbonlar (HC)	µg/ m ³	-	40 (100)
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	µg/ m ³	-	
Havada asılı partikül maddeler (PM) 10 mikron ve daha küçük partiküller			
a) Genel	µg/ m ³	150	300
b) Endüstri bölgeleri	µg/ m ³	200	400
PM içinde kurşun (Pb) ve bileşikleri	µg/ m ³	2	-
PM içinde kadmiyum (Cd) ve bileşikleri	µg/ m ³	0.04	-
Çöken tozlar			
Çöken tozlarda kurşun ve bileşikleri	µg/ m ³	500	-
Çöken tozlarda kadmiyum ve bileşikleri	µg/ m ³	7.5	-

Not : Parantez içindeki değerler saatlik ortalamadır.

içeren gruplar şeklinde anılmakta ve bu gruplar birer kolektif parametre olarak tanımlanmaktadır. Örneğin NO, NO₂ ve diğer azot oksitleri, toplam azot oksitleri (NO_x) şeklinde bir kirletici parametre olarak ifade edilmektedir. Konvansiyonel kirleticilerin başlıcaları aşağıda verilmiştir[3].

a) Partiküler Maddeler

Ortalama gaz molekül büyüklüğü 0.0002 µm çaptan iri olan ve havada bir süre askıda kalabilen katı veya sıvı partikül sınıfına girer. Bu tanıma göre maddenin yoğunluğuna bağlı olmakla birlikte en iri partikülün 500 µm kadar çapta olması gerekir. Parçacıkların insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili istatistiki bilgilere göre havadaki parçacık sayısı 4 kat arttığında, normal ölüm nispeti 2 katına çıkmakta, bronşit vs astım ölümleri ise 3 kat olmaktadır. Boğaz kanserinde de aynı artış gözlenmektedir.

b) Kükürt Oksitleri

Başlıcaları SO₂ ve SO₃ olmak üzere altı farklı kükürt oksidinin toplamı olarak ifade edilir. Kükürt bileşikleri insanlar tarafından meydana getirilen kirliliği oluştururlar. Derişimleri bunulan yere çok bağlıdır. SO₃ ve sülfatlar atmosferden çok çabuk uzaklaşırlar, dolayısıyla kayda değer derişimde birikmezler. Atmosferdeki kükürt bileşiklerinin en önemli kaynağı fosil yakıtların yakılması organik maddelerin bozunması ve yanması, volkanlar ve okyanuslardaki deniz tuzlarıdır.

c) Azot Oksitleri

Başlıcaları NO ve NO₂ olmak üzere altı farklı azot oksidinin toplamı olarak ifade edilir. Azot oksitler de kükürt oksitler gibi asit yağmurlarına neden olurlar. Azotoksit; sis bulutu teşekkülüne yol açan bileşenlerden biridir. Hemoglobinle birleşme eğilimi yüksek olduğundan kandaki derişimi yükselerek zehirlenmeye neden olur. Azotdioksit; ciğerlerde nem ile birlikte H₂NO₃ teşekkül ettirir ve akciğer ödemeine giden arazlara neden olur. Bitkilerde ise büyüme gecikmesi yaprak beyazlamasına neden olur.

d) Hidrokarbonlar

Gaz halindeki organik bileşiklerin toplamıdır. Alifatik ve aromatik yapıda çok sayıda hidrokarbon kirletici olarak bilinmektedir. Doğrudan etkisi bilinen tek organik gaz kirletici, etilendir. Etilenin bitki büyümesini durdurduğu belirlenmiştir. Petrol ve kömür kaynaklı kirleticiler olan polintükleer aromatik hidrokarbonlar ise çok az miktarlarda havada bulunsalar bile, şiddetli kanserojen olmaları nedeni ile üzerlerinde dikkatle durulmaları gerekir.

e) Karbon Monoksit

Renksiz, kokusuz ve havanın ortalama mol ağırlığına eşit mol ağırlığında bir gaz olan CO, bu yüzden hem kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, heb de varlığı kolay farkedilmeyen zehirli bir gazdır. Atmosferde kolay kolay yok olmaz, ömrü 2-4 ay kadardır. CO derişimi 1 ila 100 ppm arasında değişen en önemli kirleticidir. Bu gaz sülfirik aside dönüştürerek, solunum yolları ve akciğerde çeşitli araz ve tahrişlere sebep olur. Bitkiler de, az oranlarda geçici beyazlamaya, yüksek oranlarda ise yaprakları dumura uğratar.

f) Fotokimyasal Oksidanlar

Havanın oksitlenme gücünü gösteren ve genelde ozon,peroksit bileşikleri ve radikallerin oluşturduğu oksitleyici maddelerin toplamıdır. İnorganik oksitleyicilerde bu gruba dahildir. Ultraviyole fotometrisi ve oksitlenebilen iyot cinsinden ölçülürler. Oluşumları atmosferdeki fotokimyasal tepkimelere dayanır.

1.3.2 Spesifik Kirleticiler

Spesifik kirleticiler genelde tek bir madde veya bazı hallerde spesifik bir yapıya sahip madde grubu olarak ele alınırlar. Spesifik kirleticiler özellikle insan sağlığı açısından önem taşıyan ve etkilerini çok düşük derişimlerde dahi gösteren kirleticilerdir. Katı, sıvı veya gaz halinde olabilirler. Kansere yapıcı maddeler spesifik kirleticilerin önemli bir grubunu oluşturur. Tablo 1.3'de Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde sınıflandırılan spesifik kirleticilerden örnekler verilmiştir. Spesifik kirletici

olarak 200'ün üstünde madde belirlenmiştir. Spesifik kirleticilerin sayıları ve bu parametrelerle ilgili kontrol ihtiyacı, yapılan sürekli araştırmalarla gün geçtikçe artmaktadır.

Tablo 1.3 Spesifik Kirletici Örnekleri[1]

Toz (Partiküler Madde)	Organik Buhar ve Gazlar	İnorganik Gazlar	Kanser yapıcı Maddeler
Aliminyum karbür, bizmut fosfat, fosfor pentaoksit, kalsiyum oksit, kiselgur, kuvars, kurum, kurşun ve çözünen bileşik-leri	Anilin,aseton, n-butilasetat, dietil eter, etilen glikol, formikasit,fe-nol	Klor gazı, flor gazı, flortürlü bileşikler, hidroklorik asit, amonyak	Benzopiren, arsenik tri-oksit, hidra-zin, etilen diamin, krom 6 bileşikleri, nikel tetra-karbonil

Kirleticilerin çevreyi kirletmesini önlemek ve kontrol etmek amacı ile ilgili yapılacak çalışmalarda kirletici özelliklerini, etki bölgelerini ve kirlenme sınırlarını iyi bilmek lazımdır. Ancak bu şekilde kirletici kontrolü yapılabilir. Çünkü bazı kirleticiler çok küçük boyutlu olduğu halde, bazı kirleticiler cm boyutunda olabilmektedir. Bir kısmı çok uzak mesafelere gidebilirken bir kısmı birkaç metre öteye gidebilmektedir. Bu hareket atmosferik şartlar, topografik yapıya, kaynak ve kirletici vasfına ve diğer etkenlere bağlı olduğu gibi yalnız bir-iki faktöre bağlı da olabilmektedir.

Her gün yeni gelişmeler olup, yeni çözüm yolları bulunurken, bunlara paralel olarak kirlenme problemi de boyutlarını arttırmakta ve şekil değiştirerek çözümün zorlaşmasına sebep olmaktadır. Bu zararlı etkiden korunmak için bütün kirletici kaynaklarda emisyon kontrolüne gidilmesi ve mümkünse her tür kirletici için optimum

sınırların korunması gerekir. Belki bu şekilde kirlenmeyi azaltmak ve kontrol edebilmek mümkün olur. Aksi takdirde hem problemin çözümü pahalı hem de yetersiz olur.

1.4 Hava Kirlenmesini Oluşturan Parçalar ve Boyutları

Genel olarak hava kirlenmesi; insan, hayvan, bitki yahut maddeler üzerinde olumsuz etki yapan veya aşırı derecede etki eden kum, toz, uçucu kül, kömür, is duman, tütsü, buhar, gaz, koku, radyoaktif ışınlar, asit sisi, virüsler vs. gibi bileşenlerin miktar ve süre olarak temiz havada bulunmasıyla oluşur. Genelde bu kirleticiler dışında atmosferde şu maddeler bulunur:

<u>Bulunan Madde</u>	<u>Parçacık Büyüklüğü (μ)</u>
Yağmur	500-7000
Duman	0.01-2
Bulut+sisi	2-60
Sis	60-200

Genel olarak kirletici maddeler ve boyutları ise şöyle sıralanabilir:

<u>Kirletici Madde</u>	<u>Parçacık Büyüklüğü (μ)</u>
Kömür tozları, uçucu küller	1 - 200
Gübre, çakıl ve kum tozları	10 - 1000
Petrol yakıtları dumanı	0.03 - 1
Metalurjik tozlar, isler ve dumanlar	0.001 - 100
Çimento tozları	3 - 100
Pülverize kömür tozları	3 - 500
Atmosferik tozlar	0.001 - 20
Kil ve ince kum tozları	0.05 - 20
Yanma çekirdekleri	0.01 - 0.2
Sis damlaları (asit bileşenleri)	1 - 20
Diğer buhar ve yağmur damlaları	10 - 4000
İnsan saçı	20 - 200
Virüsler	0.003 - 0.05
Bakteriler	0.3 - 30

Hava kirlenmesini oluşturan kirleticilerin bir kısmı doğrudan kaynak emisyonu ile oluşur. Bazı kirleticiler ise asitlerde olduğu gibi emisyon sonrası tepkimelerle ortaya çıkar.

1.5 Kirletici Kaynaklar

Gerek gaz, gerekse partikül halindeki kirleticinin atmosfere karıştığı yere kirletici kaynak adı verilir. Genel olarak endüstriyel kuruluşlar, meskenler, canlılar ve tabii olaylarla birlikte diğer bir çok etken kirlenme kaynağını oluşturur. Bu kirlenme kaynaklarının en önemlilerinden biri fosil yakıtların üretim ve kullanımından oluşmaktadır. Bu ve diğer kirletici kaynakların bir kısmını şöyle sıralayabiliriz:

1) Taşıtlar, 2) Güç santralleri, 3) Meskenler, 4) Çöp ve atıkların imhasında oluşan kirlenme, 5) Endüstriyel kuruluşlarının etkisi, 6) Canlıların oluşturduğu etki, 7) Tabii olaylarla oluşan etki.

Bu kaynaklardan herbiri önemli bir kirletici role sahiptir. Örneğin bir termik santrali ele alalım. Bu santral günlük 2000 ton 6 numara fuel-oil yakmaktadır. 1 kg yakıt için yaklaşık 14 kg hava gereklidir. Günlük hava ihtiyacı 28,000 tondur. Kirletici madde emisyonu ise 142 ton'dur. Bu ise yaklaşık 560,000 insanın günlük hava ihtiyacıdır.

Bir örnekte taşıtlardan alalım. İstanbul'da yaklaşık 500,000 taşıt bulunduğunu, her taşıtın yıllık 15,000 km yol katettiğini, hava-yakıt oranınının 15/1 olduğunu ve yakıt sarfiyatınının 0.14 lt/km olduğunu kabul edelim. Buna göre gerekli hesaplamalar yapılırsa günlük yaklaşık hava ihtiyacı 32,400 ton bulunur. Kirletici emisyonu ise 454 ton/gün'dür.

Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de kirlenme problemi büyümektedir. Ancak Türkiye'de en büyük kirlenme parçacıklar nedeniyle oluşmaktadır. Bunu gaz kirlenmesi takip eder. Parçacık kirlenmesinin en büyük kaynağını kömür yakıtlar oluşturmaktadır. İstanbul'da yapılan ölçmelerde

parçacık kirlenmesinin %87'sinin kömür emisyonu ile oluştuğu ortaya çıkmıştır.

1.6 Kirlenme ile İlgili Tanımlar

Kirlenme olayının anlaşılabilmesi için bazı kavramların bilinmesi gerekir. Ancak bu şekilde olayın daha kolay kavranması mümkün olur. Bu tanımlardan bizim için gerekli olanları şunlardır:

Kirletici Bileşen: Su buharı hariç havanın tabii terkiibinde bulunmayan her cins maddedir.

Emisyon: Bir kaynağın çıkış şartlarında havaya atılan katı, sıvı ve gaz kirleticilerin tamamıdır. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) gaz ve egzost yoğunluğu olarak verilir.

İmisyon: Bilhassa yeryüzüne yakın kısımlarda başka maddelerle teması etkili olabilen ve mevcut hava şartlarında ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) veya zaman ve parçacık sayısı/ m^3 olarak ölçülebilen kirleticilerin tamamıdır.

Inversiyon: Atmosferde az veya çok kalın bir tabaka içerisinde sıcaklığın yükseklikle azalmaya başlamasının tersine sıcaklığın artması veya sabit kalması halidir.

Atmosfere atılan kirletici bileşen derişimleri üç yerde ölçülebilir:

- 1- Kirletici üreten kaynağın egzost veya bacasında
- 2- İşyeri, büro ve mesken atmosferinde
- 3- Çevre havasında

Bu yerlerde ölçülen kirletici derişimlerinin maksimum değerleri şu tariflerle tanımlanır:

1- MEK Değeri: "Maksimum Emisyon Konsantrasyonu(Derişimi)" demektir. Kirletici kaynağın egzost veya bacasındaki derişimi gösterir. Derişim birimi olarak gazlar için ppm (milyonda bir cm^3), ppb (milyarda bir) ve toz, duman, sis gibi maddeler için mg/m^3 , $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kg/ton yakıt, kg/Kcal olarak tanımlanır.

2- MAK Değeri: "Maksimum İşyeri Konsantrasyonu(Derişimi)" demektir. İşyerinde büro, mesken gibi yerlerde sağlığa zarar vermeyecek gaz, buhar ve toz zerrecikleri derişimleridir. Genellikle günlük (8 saat) tarif edilir.

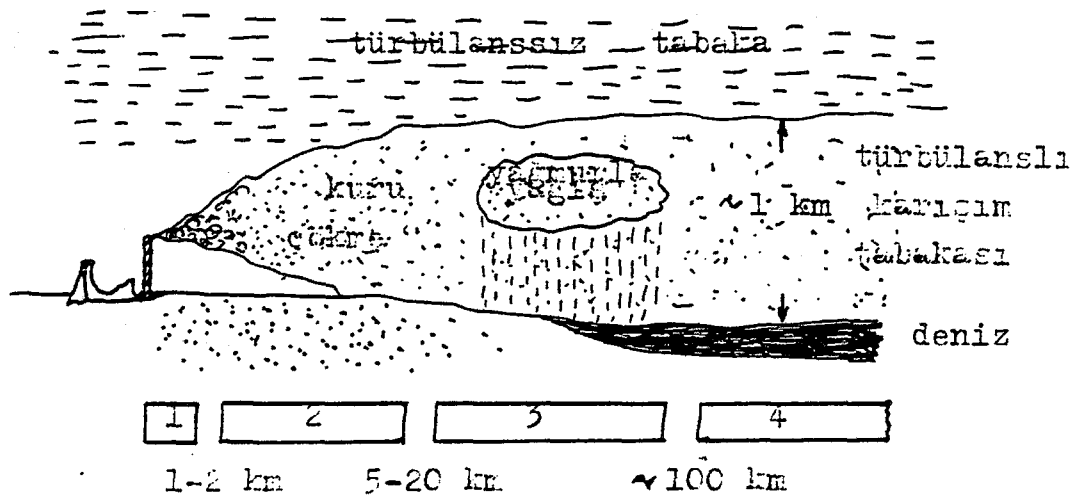
20°C ve 760 mmHg şartlarında tariflenen MAK değerleri gaz ve buhar için ppm, toz asılı parçacıklar için mg/m³ veya µg/m³ olarak verilir.

3- MİK Değeri: "Maksimum Emisyon Konsantrasyonu(Derişimi)" demektir. Atmosferin yeryüzüne yakın bölgelerinde insan, bitki ve hayvan gibi canlı ve cansız maddelerle teması olabilen ve bulunması halinde zarar vermediği kabul edilen çevre havası miktarıdır.

MİK değerleri genellikle gazlar için 30 dakikalık ölçmeler olarak verilir. Devamlı veya yıllık ortalama için MİK, MAK değerinin %5'i mertebesinde ve kısa süreler için ise MAK değerinin 3 katı alınabilir.

1.7 Parçacığın Bir Akışkan İçinde Hareketi

Bir emisyon kaynağından yayılan kirleticiler gazın akım şekline, emisyon noktasının yüksekliğine, atmosferik şartlara, topografik yapıya, sıcaklığa ve kirletici bileşenin özeliğine bağlı olarak atmosfere yayılırlar. Bir kısmı çok uzak mesafelere kadar yayılırken, bir kısmı da yakın mesafelerde çökerler. Şekil 1.1 'de bir baca gazı hüzmelerinin atmosferde yayılması görülmektedir. Görüldüğü gibi emisyon farklı mesafe ve etkilerle yeryüzüne tesir etmektedir[4].



Şekil 1.1 Baca gazı Hüzmelerinin Atmosferde Yayılması

1.8 Hava Kirlenmesinde Coğrafik Etkenler

Hava kirliliğinin bir endüstri bölgesinde veya yerleşim bölgesinde etkisini hissettirmesi her şeyden önce o bölgenin coğrafik ve topografik durumuna bağlıdır.

Bölgede, hava kirlenmesi probleminin mevcut olabilmesi için kirletici unsurların havada belli bir miktarda birikebilmeleri gerekmektedir. Genellikle, binaların ısıtılması, motorlu vasıtalar ve sanayi kuruluşları vasıtasıyla havaya atılan kirletici maddelerin belirli bir oranda birikebilmeleri ise bölgedeki mevcut hava akımlarının elverişlilik durumuna bağlıdır. İşte bu hava akımlarını doğuran en etkili neden bölgenin coğrafi yapısıdır. Arazinin kapalı vadi veya çanak şeklinde etrafının kapalı olması durumunda, ki, Ankara'nın durumu nispeten bu durumdadır, hava akımları hissedilir derecede azalacaktır. Bu azalma ise, kirli havanın dağılmasına yeterli olamayacağından, problem doğal olarak kendini hissettirecektir.

Bu nedenlerden dolayı böyle yapılara sahip bölgelerin, büyük yerleşim merkezleri veya geniş endüstri sahaları olarak düşünülmemesi, gerek şehircilik yönünden ve gerekse sanayi yönünden hava kirlenmesi problemi açısından oldukça önemlidir. Bunların yanısıra, hava kirliliği konusunda etkili rol oynayan coğrafik yapıya giren faktörler şunlardır:

- a) Arazinin volkanik durumda olması ve faal volkanların bulunması hali,
- b) Arazinin çıplak veya tabiat örtüsünün az gelişmiş olması durumu,
- c) Aşırı rüzgar gibi tabii afetlerin meydana gelme durumu.

1.9 Hava Kirlenmesinde Meteorolojik Etkenler

Şüphesiz coğrafik ve topografik durum kadar hava kirlenmesi üzerinde etkili olan diğer bir faktör de bölgenin meteorolojik etkenlere karşı olan bağlılığıdır.

Genellikle, rüzgar durumu, yağış durumu, sis durumu ve sıcaklık değişimleri gibi etkenlerden oluşan meteorolojik

faktörlerin mevsimlere göre değişmesi, o bölgede hava kirlenmesi problemi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bacalar ve otomobil egzostları gibi kaynaklardan havaya atılmış bulunan kirleticiler, hava hareketleri ve bunların neticesi olan türbülanslar yardımı ile havada yayılmakta ve bu yayılma esnasında ise derişimleri de gittikçe değişmektedir. Nispeten iri durumda olan tanecikler, yerçekimikuvveti yardımıyla yere düşmekte ve bu suretle hava tabakasından ayrılmaktadır. Bu ayrılan tanecikler, rüzgarın hız ve doğrultusuna bağlı olarak belli yerlere dökülmektedir.

Bu şartlar altında yere inen taneciklerin çapı 20 μm civarındadır. Taneciklerin çoğu yere inse de çapı 5 μm 'den küçük olanlar çökmeyip, devamlı olarak hava içinde asılı olarak kalırlar.

Atmosferdeki tanecik yükü, toz yağışı ve hava içindeki tane miktarı derişim ile değerlendirilmektedir. Toz yağışı bir ay veya bir yıl zarfında km^2 'ye dökülen tozların toz cinsinden ağırlığı ile ifade edilmektedir.

Rüzgar, havaya karışmış bulunan kirletici maddeleri genellikle yatay bir doğrultuda, sıcaklık farkları ise, düşey bir doğrultuda taşır ve dağıtır. Rüzgar tesiri ile olan yatay taşıma ve dağıtmanın tesirli olabilmesi, rüzgarın hızına ve rüzgar akımı esnasında oluşan türbülansların büyüklüğüne bağlıdır. Şayet hava akımı çok düzgünse, bu taktirde kirleticiler dağılacakları yerde, bir akım şeridi boyunca taşınırlar ve kirletici kaynağın çok uzak mesafelerinde dahi tehlikeli derişimler oluştururlar.

Rüzgarın ağaç ve binalara çarpması sonucu oluşan türbülanslar ise kirletici unsurların çok uzak mesafelere taşınmasına ve hızla dağılmalarına neden olurlar. Rüzgarın oluşturduğu dağılma ve taşımaya ek olarak, düşey doğrultuda meydana gelen sıcaklık değişimi de termal karışmaya neden olur. Sıcaklık değişimi su buharı ile doymuş bir havada kolaylıkla meydana gelir. Doymuş bir havada sıcaklık düşümü genellikle 100 m'de 1 $^{\circ}\text{C}$ civarındadır ve böyle bir olay kararlı bir durumdur. Böyle olunca da çalkantı ve dağılım

yalnız mekanik kaynaklıdır. Yukarı tabakalarda rüzgar hızları çok daha yüksek olduğundan, dikine yükselip dağılmayı sağlayıcı türbülanslar daha önemlidir. Bunun aksine, şartlar yukarıya doğru dağılmayı önleyici ise, bu taktirde kirleticilerin havadaki derişimlerinin tehlikeli seviyelere çıkması beklenebilir.

Yağışlar, sis ve sıcaklık değişmeleri ikinci dereceden meteorolojik faktörler grubuna girerler. Düşen yağmur damlaları çapları 1 µm'den büyük olan tozları toplayıp, gaz ve buharları çözerek yeryüzüne indirirler. Elemental kükürt veya kükürt bileşiklerini içeren yakıtlar yakıldıkları zaman kükürdün büyük bir kısmı $S + O_2 \rightleftharpoons SO_2$ haline dönüştür. Bu SO_2 mevcut NO_x ve ultraviole ışınların etkisi altında SO_3 'e dönüştür. SO_3 havadaki su buharı ile birleşerek H_2SO_4 haline dönüştür[5].

BÖLÜM 2

KİRLİLİK LİMİTLERİ VE KİRLİTİCİLERE AİT STANDARTLAR

2.1 Genel

Daha öncede bahsedildiği gibi bir çok kirletici kaynak ve bunların ürünü birçok kirletici bileşenleri bulunmaktadır. Bu kirletici kaynaklardan biride fosil yakıtların kullanımı ile oluşmaktadır. Fosil yakıtların geniş kullanım alanlarına sahip olması ve gittikçe yaygınlık kazanması bunların en önemli kirletici kaynaklardan biri olmasını sağlamıştır.

Fosil yakıtların her biri önemli bir kirletici olmakla birlikte özellikle kömürler daha büyük etkiye sahiptirler. Özellikle Türkiye'de parçacık kirlenmesinin %80 ve daha fazlası kömür kullanımı ile oluşmaktadır. Kaliteli kömürlerin ülkemizde az ve pahalı olması, çoğunlukla özel amaçlar için ayrılması ve ekonomik nedenlerle, kalitesiz kömür kullanımı artmaktadır. Kalitesiz kömürlerin yüksek oranda kül ve nem içermeleri kirleticilik vasıflarını artırmaktadır. Bunun yanında elle yükleme yapılarak yakılması emisyonun daha da artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle emisyonu azaltıcı optimum çözümlere gidilmesi ve gerekirse bunun için kanuni kısıtlamaların getirilmesi gerekir.

Ülkemizde kullanılan kömürlerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

Taş kömürleri : Kül oranları % 12 - 15,

Kaliteli linyit kömürleri : Kül oranları % 9 - 12, nem oranları % 12 -15, ısı değerleri 5000 - 5250 kcal/kg,

Normal linyit kömürleri : Kül oranları % 10 - 40, nem oranları % 8 - 40, ısı değerleri 2400 - 4200 kcal/kg,

Kalitesiz linyit kömürleri : Kül oranları % 20 - 60 ve ısı değerleri 2400 kcal/kg'ın altındadır.

Kömürlerin yakılması sonucu oluşan uçucu ve uçucu olmayan küller, homogen bir madde olmayıp birçok element ve bu elementlerin oluşturduğu oksitlerden meydana gelir. Yapılan analizlere göre genel olarak kömürlerde

bulunabilecek elementler ve bunların durumları tablo 2.1 'de gösterilmiştir.

Yakıtın yanması sonucu bu elementler oksijenle birleşerek uçuculuk kabiliyeti kazanırlar. Genellikle elementlerin her biri oksitler halinde bulunur. Yapılan uçucu kül analizleri sonucu tipik bir ocak için elde edilebilecek uçucu kül bileşenleri ve bulunabilme oranları tablo 2.2 'de verilmiştir.

Analiz sonuçlarından da görüleceği üzere radyoaktif etkiden asit oluşumuna kadar birçok zararlı ve tehlikeli madde emisyonu ile çevre tehdit edilmektedir. Bu nedenle bu zararlı emisyonların günün şartlarına göre değerlendirilerek minimuma indirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli ülkeler kaynak, işyeri, çevre ve ortam kontrolü yapmakta, bunun için kanuni sınırlamalar getirmektedirler.

2.2 Emisyon Faktörleri

Fosil yakıtlar kullanılma amacı ve sistem büyüklüğüne bağlı olarak değişik metodlarla yakılmaktadır. Yakıtın yakılma şekline bağlı olarak emisyon oranları ve kül granülometrileri değişmektedir. Kömür yakıtların elle yüklenecek ateşlenmesi sonucu gaz akımı düşey olmakta, kömür konması ve alınması işlemleri sonucu küller küçültülmekte ve emisyon miktarları artmaktadır. Mekanik yüklemeli sistemler ise daha az emisyon ve daha kaba kül granülometrisi vermektedir. Çeşitli ateşleme sistemlerinde oluşan emisyonlar ve kül granülometrileri incelenerek bu sistemleri karakterize eden ortalama emisyon faktörleri ve kül granülometrileri elde edilmiştir. ASME tarafından verilen bu faktörler tablo 2.3 'de verilmiştir. Burada verilen emisyon faktörlerinden elle ateşlemeli sisteme ait olanının emisyon faktörü olarak kullanılması tavsiye edilmemektedir. Ancak burada bu tip ateşleme sistemi için bir fikir verilmektedir. Görüldüğü gibi burada fuel-oil için emisyon faktörü verilmemiştir. Mesken genel hizmet binaları ve endüstriyel uygulamalarda fuel oil için parçacık emisyon faktörü 3 kg uçucu kül/ton fuel oil olarak verilmiştir.

Tablo 2.1 Kül Analizi Sonucu Elde Edilebilecek Başlıca Elementler[6].

Külde Bulunabilecek Başlıca Elementler				
Al	Ba	Ca	Co	Eu
Fe	Ef	Rb	La	Sm
Mn	Ta	Tn	Si	Pb
Sr	Cu	Ni	Ti	Ga
Zr	As	Cd	Mo	Cl
Se	Sn	Zn	Br	Y
Sb	P	Hg	Mg	V
C		K	U	
S				
Uçucu Kül Halinde Bulunabilen Elementler				
Si	Co	Cd	Cu	Na
Pb	Ni	Se	As	Mo
C	Sb	Sn	Zn	
U	V	Ga		
Buhar Fazında Bulunan Elementler				
Hg	Br	Cl		S

Tablo 2.2 Tipik Bir Ocak Emisyonu Analizinde Elde Edilebilecek Uçucu Kül Bileşenleri ve Yüzde Oranları

Bileşen	Sembol	Oran (%)
Karbon	C	0.37 - 36.20
Demir	Fe ₂ O ₃	2.00 - 26.8
Magnezyum	MgO	0.06 - 4.77
Kalsiyum	CaO	0.12 - 14.73
Alüminyum	Al ₂ O ₃	9.81 - 58.40
Sülfür	SO ₃	0.12 - 24.33
Titanyum	TiO ₂	0.00 - 2.80
Karbonat	CO ₃	0.00 - 2.60
Silis	SiO ₂	17.30 - 63.60
Fosfor	P ₂ O ₃	0.07 - 47.20
Potasyum	K ₂ O	2.80 - 3.00
Sodyum	Na ₂ O	0.20 - 0.90
Diğerleri	-	0.08 - 18.90

Tablo 2.3 Kömür Yakıtlar İçin Kontrol Aygıtı Olmadığı Haldeki Emisyon Faktörleri [7].

Parçacık Çapı	Ateşleme Sistemi				
	Pülverize	Siklon	El ile	Yayıcı Stokerli	Diğer Stokerli
	Emisyon Faktörleri				
Mikron	7,3 . A	0,91 . A	9. A	6. A	2,3 . A
	Uçucu Kül Granülometresi				
+ 44	25	10	-	61	70
20 - 44	23	7	-	18	16
10 - 20	20	8	-	11	8
5 - 10	17	10	-	6	4
- 5	15	65	100	4	2

Tablodaki görünen A kömürdeki kül yüzdesi olup , kül oranını bulmak için , Kömürdeki kül yüzdesi ile emisyon faktörünü çarpmak gerekir. Örneğin , kömürdeki kül oranı % 20 olsun . Bu durumda, Stokerli birocaktan oluşacak emisyon $2,3 \times 20 = 46$ kg uçucu kül /ton kömürdür. Burada, 2,3 stokerli ocak için emisyon faktörüdür.

2.3 Standartlar

Kirletici kaynakların ve kirletici bileşenlerin tesirleri gözönüne alınarak, kontrol olanaklarına bağlı izin verilebilen maksimum emisyon ve imisyon değerleri tespit edilmektedir. Bu değerler kirletici cinsine ve ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Yıllık kirletici emisyonları arttıkça MEK ve MİK derişimleri yeniden incelenerek küçültme yoluna gidilmektedir.

Standartlar, kirletici cinsine bağlı olarak daha önce bahsedildiği gibi değişik tanımlar altında verilmektedir. Ayrıca her bir kirletici için MEK ve MİK standardı bulunmaktadır. Aşağıda tablo 2.4 'de ABD 'de uygulanan ve ASME tarafından verilmiş parçacık emisyon (MEK) standartlarının giriş ısı yüküne bağlı olarak değerleri verilmiştir. Bu standartlar, dolaylı ve dolaysız ısıtma sistemleri için verilmiştir.

Tablo 2.4 Giriş ısı yüküne bağlı MEK standartları[8]

<u>Giriş ısı yük kcal/h</u>	<u>MEK standardı kg/h</u>
3.15×10^5	0.50
12.60×10^5	1.95
25.20×10^5	3.50
126.00×10^5	6.40
252.00×10^5	16.00
1500.00×10^5	114.00

Bundan başka genel amaçlar için uygulanmak üzere verilen ürün girdisine göre parçacık emisyon standartları verilmiştir. Bu standartlar yanda tablo 2.5 'de verilmiştir.

Tablo 2.5 Genel amaçlar için MEK standardı[9].

<u>Sisteme giren madde ton/h</u>	<u>MEK standardı kg/h</u>
0.1	0.50
0.5	1.48
1.0	2.30
5.0	6.70
10.0	10.80
25.0	20.00
50.0	31.80
75.0	43.00
100.0	50.00
250.0	58.20
500.0	64.30
1000.0	71.10
5000.0	88.10

Bu genel standart tanımları dışında ülkelere, bölgelere, yıllara ve kirletici cins ve miktarına göre verilmiş standartlarda vardır. tablo 2.6 'da verilen standartlarda MEK değerleri görülmektedir. Burada görülen ABD ve İngiltere 'ye ait kömür yakılması ile ilgili oluşan parçacık emisyon standartları % 12 CO₂ ve 1.5 hava fazlalık sayısı içindir. Alman standartları ise % 7 CO₂ ve 1.5 hava fazlalık sayısı içindir.

Buraya kadar verilen standartlar yalnız emisyon (MEK) içindi Bundan başka evre havasında ölçülen standartlar (MİK) da bulunmaktadır. Yine bunlarda ülkelere ve kirletici cinsine göre değişik değerler alırlar. Tablo 2.7 'de MİK standartları görülmektedir. Burada da görüldüğü gibi standartlar oldukça farklılık göstermektedir. Bu farklılık, ülkenin gelişmişlik derecesi ve kirletici kaynakların sayısına, büyüklüğüne bağlıdır. Dünya sağlık teşkilatının tüm tesirleri göz ntne alarak verdiği standarda göre MİK değeri yıllık ortalama 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olup, yılın % 98 'de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri aşmamalıdır.

Tablo 2.6 Çeşitli Ülkelerde Uygulanan MEK Standartları [10].

Kirletici Kaynak	Ülke veya Bölge	Standart No. Yıl	Gazlar (mg/m ³)	Parçacıklar (mg/m ³ N)
Kömür Yakma	ABD			
100 kg/h üstü	Rock Ville			370
100 kg/h altı	Rock Ville			690
5,000 kg/h altı	Philodelphia			240
5,000 kg/h üstü	Philodelphia			740
Genel	İngiltere	1975		115
20 ton/gün altı	Almanya	VDI 2301		200
20 ton/gün üstü	Almanya	VDI 2301		150
Çimento San.	Almanya	VDI 2904		150
Çimento San.	ABD			
Ocak Gazı	Michigan			240
Soğutma	Michigan			370
Öğütme	Michigan			180
Ocak Gazı	İngiltere	1979		100
Soğutma	İngiltere	1979		150
Öğütme	İngiltere	1979		150
Bakır ve Alaşım	İngiltere	1975		115
HCl, genel	İngiltere	1977	460	
HF, ticari	İngiltere	1977	57	
NO _x , prosesler	İngiltere	1975	2,300	
Demir döküm ocakları	İngiltere	1975		460
	ABD- Michigan			610
	ABD- Illinois			230
Kum Kurutma Sağ.	İngiltere	1979		230
PVC Polimer Sis.	İngiltere	1979	460 HCl	

Tablo 2.7 Çeşitli Ülkelerde Uygulanan MİK Standartları[10].

Ülke	Kirlenici	MİK Standartları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Yıllık Ort.	24 ^h ort.	30 dak ort.	20 dak
A.B.D.	Parçacık SO ₂	60 60	150 260		
Kanada	Parçacık SO ₂	60 30	900 180		
Hollanda	Parçacık SO ₂		270 150		
İtalya	Parçacık SO ₂		300		600
Polonya	Parçacık SO ₂		200 350		900
Almanya	Parçacık SO ₂	200	400	400	
Rusya	Parçacık SO ₂		150 150		500 500
Çekoslavya	Parçacık SO ₂		150 150	500 500	
Japonya	SO ₂		120		
İsveç	SO ₂		260	650	
Romanya	SO ₂		230	680	

BÖLÜM 3

HAVA KIRLENMESİNİN KONTROLU

3.1 Genel

Kirlenme olayının boyutlarının gittikçe büyüyen ve çeşitlilik kazanan niteliği, onu önleme metodlarının da aynı ve hatta daha hızlı bir şekilde gelişme göstermesini gerektirmektedir. Ayrıca her metod, yer ve amaca uygun olarak şekil kazanmakta, kendi içinde çeşitlilik göstermektedir. Hava kalitesinin iyileştirilmesi, onun sürekli olarak kontrolünü gerektirmektedir.

Gerek kirlenme ve gerek diğer amaçlar için kullanılan kontrol araçlarının bilinmesi optimum çözümün sağlanması açısından gereklidir. Burada genel toz toplama amaçları, toz toplama araçları ve uygulama alanları hakkında kısaca bilgiler verilmiştir.

3.2 Toz Toplama Amaçları

Tozların birçok toplanma amacı vardır. Bu amaçları genel olarak şöyle sıralayabiliriz :

- 1- Hava kirliliğini önlemek,
- 2- Bazı makina ve tesislerin bakım ve işletme masraflarını azaltmak (Motorlarda hava filtreleri),
- 3- Bazı imalat için gerekli ekstra temizliğin sağlanması (Farmakolojide),
- 4- Endüstri tozlarının toplanması (Delme, zımparalama aparatları yanında oluşan tozlar),
- 5- Kıymetli tozların geriye alınması,
- 6- Toz halinde imalatın sürdürülmesi.

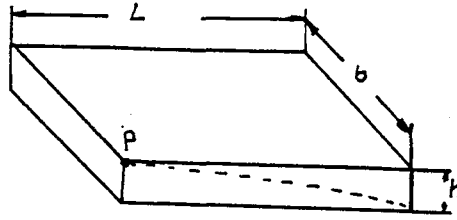
3.3 Toz Kirliliği ve Kontrol Metodları

Yukarıda sayılan toz toplama amaçlarını gerçekleştirmek üzere kullanılan birçok metod vardır. Bunların başlıcaları şunlardır :

- 1- Ağırlık metodları, 2- Atalet metodları,
- 3- Filtrasyon-süzme, 4- Elektrostatik toplama,
- 5- Termal tutucu, 6- Sonik tutucu.

3.3.1 Ağırlık Metodları

Bir akışkan içinde hareket eden parçacıklar ağırlık kuvvetleri etkisinde çökerler. Parçacıkların çökme yükseklikleri küçültülerek, kanal veya hacmin uzunluğu arttırılıp parçacığın hacim'de daha fazla kalması sağlanarak yakalanabilecek parçacık çapı küçültülebilir. Basit bir uygulama olarak aşağıdaki şekilde bulunan odacığı ele alalım.



Basit Çöktürme Odası

Bir parçacık P noktasından V_0 hızı ile odacığına girmiş olsun. Bu parçacığın L uzunluğunda yakalanabilmesi için gerekli çap, ağırlık kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine eşitlenmesiyle elde edilir. Gerekli işlem yapılırsa Stokes bölgesi için limit çap :

$$d_L = \left[\frac{18 \cdot \mu \cdot h \cdot V_0}{\rho_p \cdot g \cdot L} \right]^{1/2}$$

formülü ile elde edilir.

Basit Çöktürme Odaları

Ağırlık metoduna göre çalışır. Tek odalı ve çok odalı olanları vardır. Genel olarak büyük hacimlidirler. Daha çok ön temizleyici olarak kullanılırlar.

Tek odalılarda; $d_L = 40 \mu\text{m}$, $\Delta p = 2.5-13 \text{ mmSS}$, $N = 0.2 \text{ kW/m}^3$

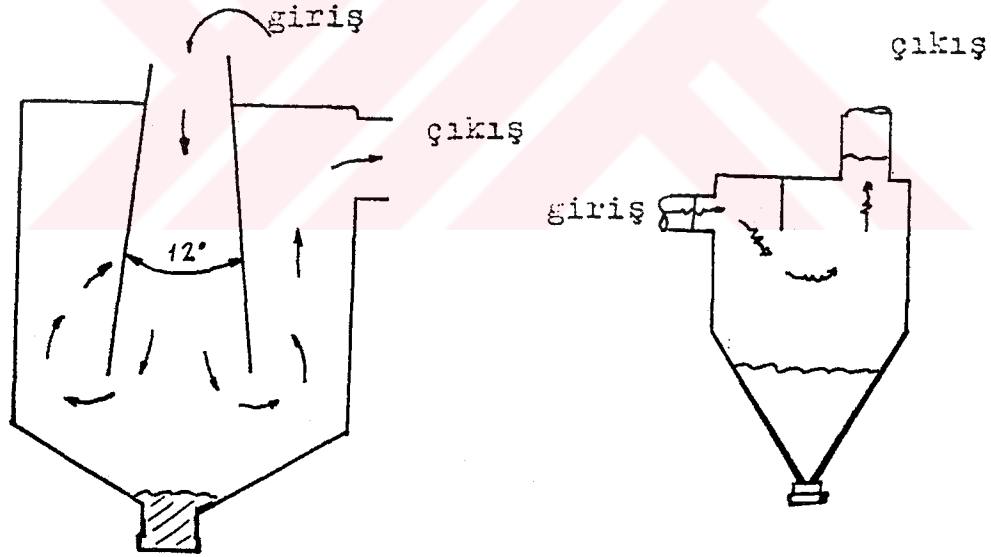
Çok odalılarda; $d_L = 10 \mu\text{m}$, $\Delta p = 2.5-13 \text{ mmSS}$, $N = 0.2 \text{ kW/m}^3$

3.3.2 Atalet Metodları

Bunlarda gaz akımı ile hareket eden parçacıklar, gaz akımındaki doğrultu ve yön değişmesi sonucu, ataletleri nedeniyle akımdan ayrılarak ilk doğrultuda hareket ederler. Bu özellik kullanılarak parçacıklar toplanır. Bazen fan gibi döner cisim kullanılarak parçacıkların hareket kabiliyeti arttırılır. Bir çok tipleri vardır. Bunlar ; Engel odaları, yüzey çarptırıcılar siklonlar, rotosiklonlar, sıvı yıkamalı tipler, venturi ve jet akımlı tipler vs. olarak sayılabilir. Birçok uygulama alanları vardır.

Engel Odası

Aşağıdaki şekilde bir örneği görülmektedir. Genellikle güç sistemlerinde, döner fırınlarda, asit damlacıklarının yakalanmasında kullanılır. Yapıları nispeten basittir. Genel olarak; $d_L = 20 \mu\text{m}$, $\Delta p = 10-40 \text{ mmSS}$, $N = 0.2-1 \text{ kW/m}^3$ civarındadır.



Engel odalarına örnekler

Yüzey Çarptırıcılar

Yüksek hızla gelen gaz akımı bir plaka veya engel üzerine çarptırılır. Bu esnada parçacıkların toplanması sağlanır. Genellikle asit damlacıkları toplamada kullanılırlar.

Ortalama olarak; $d_L = 2 \mu\text{m}$, $\Delta p = 25-75 \text{ mmSS}$, $N = 0.4-1.3 \text{ kW/m}^3$ 'dür.

Siklonlar

Siklonun şekli nedeni ile içine gönderilen akışkan, dönel bir hareket kazanır. Bu hareket içinde parçacıklar merkezkaç kuvvetinin etkisi ile cidarlara sürülür. Cidarlarda toplanan parçacıklar toz kutusunda birikirler. Tek, paralel ve seri olarak düzenlenebilirler. Uçucu kül, çimento, ağaç tozları vs. için kullanılırlar.

Tek siklonlar (normal); $d_L = 10 - 15 \mu\text{m}$, $\Delta p = 10 - 100 \text{ mmSS}$, $N = 0.2 - 1 \text{ kW/m}^3$

Çoklu siklonlar; $d_L = 5 \mu\text{m}$, $\Delta p = 50 - 160 \text{ mmSS}$, $N = 1 - 5 \text{ kW/m}^3$

Sıvı Yıkamalı Toz Tutucular

Asılı parçacıkları gaz akımından ayırmak veya yardımcı olmak için sıvı yıkama yöntemi kullanılır. Yıkama, sıvı düşü ile olduğu gibi doğrudan sıvı banyosundan geçirilebilir. Bu yöntemle şu özellikler kazandırılabilir.

Nem alma nedeniyle kümelenme, flokülasyon kabiliyetinin oluşması.

Toz parçacıklarının hızla yüzeye çarpma ve yapışması.

Özellikle küçük parçacıkların "Brown" hareketi nedeniyle sıvı damlacık yüzeylerine tutularak toplanması.

Toz parçacıklarına daha geniş hareket kabiliyetinin sağlanması.

Tutulan tozların devreden çıkarılarak yeniden havalanmasının önlenmesi gibi kabiliyetler kazandırarak verimi arttırırlar.

Bu tip toz tutucular hakkında çok daha detaylı bilgiler ileriki bölümlerde verilecektir.

3.3.3 Filtrasyon - Süzme Metodları

Genel prensip olarak kumaş, metal, ağ ve bunun gibi gözenekli malzemeden gazı geçirmek suretiyle, bu gözeneklerden büyük partiküllerin yakalanması sağlanır. İlk anda verim düşük, basınç kaybı azdır. Bir müddet çalıştıktan sonra, verim ve basınç kaybı artar. Bu gözeneklerin küçülmesi nedeniyle olur. Birçok kullanım

alanları vardır. Bunları başlıca üç gruba ayırabiliriz:

A Sınıfı Filtreler

Yapıları kaba, verimleri yüksektir. Sıcaklık sınırlaması vardır. Kaba tozlar, lifler, otomobil fabrikalarındaki boyama birimleri yaygın kullanım alanlarıdır. $d_L = 7 - 10$ μm civarındadır.

B Sınıfı Filtreler

Bunların yapısı daha ince örgüldür. Debi ve sıcaklık sınırlaması vardır ve verimleri yüksektir. Büro ve bazı hacimlerin hava şartlandırılmaları ve özel amaçlar için yaygın olarak kullanılırlar. $d_L = 0.2 - 2$ μm civarındadır.

C Sınıfı Filtreler

Hassas filtrelerdir. Debi ve sıcaklık gibi sınırlayıcı faktörlerin etkisindedirler. Tek kademeli ve iki kademeli olarak yapılmaktadırlar. Radyoaktif tozlar, sterilize birimler, hassas şartlandırma birimleri endüstriyel tozlar, çimento, duman, is, yanma atıkları vs. başlıca kullanım alanlarıdır. $d_L = 0.01$ μm altına kadar kullanılmaktadırlar.

3.3.4 Elektrostatik Çöktürücüler

Gaz akımı içindeki parçacıklar elektrostatik alanda yüklenir ve alanın etkisi ile harekete geçerler. Elektrosatatik alanda gaz iyonlarına etkiyen kuvvetlerin tesirinde oluşan gaz hareketinin parçacıklara, momentum transferi ve Stokes sürtünmesi sonucu parçacıklar bir ivme kazanır ve kısa sürede limit hıza erişirler Silindirik veya plaka cidarlar etrafında toplanan parçacıklar zaman zaman otomatik olarak döktürülürler. Olay iki adımda oluşur :

- 1- Gaz iyonizasyonu ve parçacıkların yüklenmesi,
- 2- Yüklenen parçacıkların toplanması.

Bu adımların oluşum şekline göre iki tip filtre vardır;

- 1- İyonizasyon + toplama kombine bir birim,
- 2- İyonizasyon birinci kademe ve toplama ikinci kademe

Pratikte ark oluşturmadan maksimum gerilim edilmek

suretiyle hem yükleme hem de toplama potansiyeli yükseltilmeye çalışılır. Bu filtrelerin verimleri toz derişimi ve parçacık büyüklüğü arttıkça azalır ve azaldıkça artar. Bu nedenle genellikle bir ön toz tutucu ile birlikte çalıştırılırlar. Birçok kullanım alanları vardır.

Tek kademeli olanların verimleri yüksek maliyetleri pahalıdır. Ağır toz yüklerinde çalıştırılırlar. $d_L \leq 0.1 \mu m$
 $\Delta p = 3 - 15 \text{ mmSS}$, $N = 0.4 - 1.4 \text{ kW/m}^3$.

İki kademeli olanlar, daha kompakt olup, genellikle hava şartlandırılmalarında kullanılırlar. $d_L \leq 0.1 \mu m$, $\Delta p = 3-8 \text{ mmSS}$, $N = 0.4 - 1 \text{ kW/m}^3$

3.3.5 Termal Tutucular

Isıtılmış yüzeyler civarında molekül çarpmaları, parçacıkları bu yüzeyden uzaklaştırır. Büyük uygulama alanları yoktur. Toz numunesi alma sistemlerinde kullanılırlar.

3.3.6 Sonik Tutucu

Yüksek şiddette akustik titreşim, çok ince tozların (duman) floküle edilmesine ve kolaylıkla toplanmasına neden olabilir. Genel olarak 1000 - 10000 Hz. frekanslar kullanılır.

Not : Bu kısımda geçen limit parçacık çapları (d_L) % 90-95 verime karşılık gelir. Enerji sarfiyatı (N) ise olay sırasında harcanan basınç kayıpları, su pompalama, elektrik enerjisi sarfiyatı gibi tüm giderler için harcanan enerji veya gücü gösterir.

3.4 KatıPartiküller İçin Cihaz Seçimi

Katı partiküllerin kontrolünde kullanılacak cihazların dizaynları için çeşitli faktörlerin büyük bir dikkatle gözönünde tutulmaları gerekmektedir. Bu faktörler şunlardır;

1- Partikül Karakteristikleri

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| a- Partikül büyüklükleri | c- Partikül yoğunlukları |
| b- " şekilleri | d- Kümelenmeye olan eğilimleri |

- e- Yapışkanlık durumları g- Tutuşabilme özellikleri
f- Aşındırıcılık özellikleri h- Elektriksel kuvvetlere
karşı durumları

2- Taşıyıcı Gaz Akımının Karakteristikleri

- a- Sıcaklık, b- Basınç, c- Nemlilik derecesi, d- Yoğunluk,
e- Viskozite, f- Elektriksel özellikleri, g- Aşındırıcılık,
h- Tutuşabilme durumu

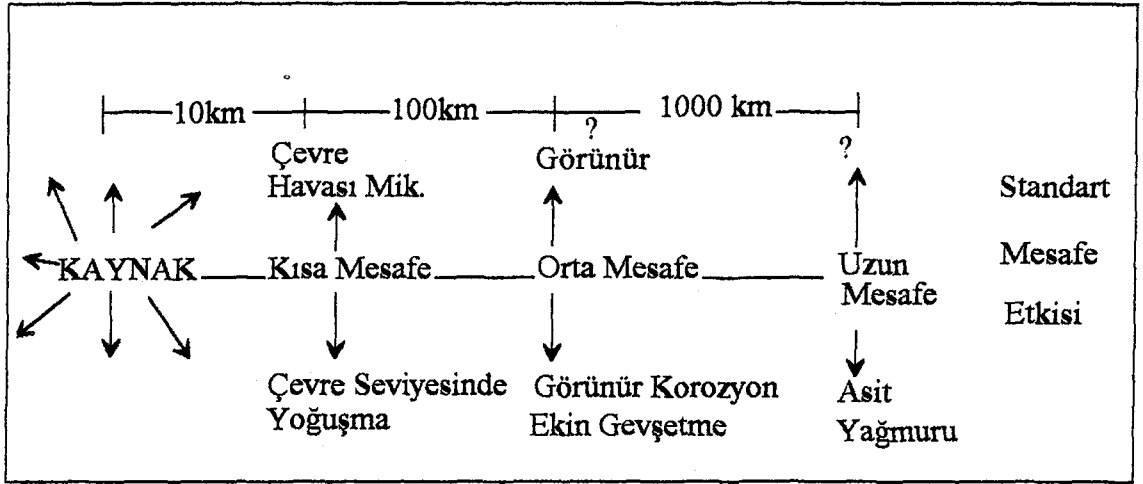
3- Proses Faktörleri

- a- Volümetrik gaz oranları
b- Partikül derişimi
c- Madde akış oranlarının değişimi
d- Arzu edilen toplama verimi
e- Hesaplanan basınç düşümü
f- Elde edilen toplama ürünlerinin kalitesi

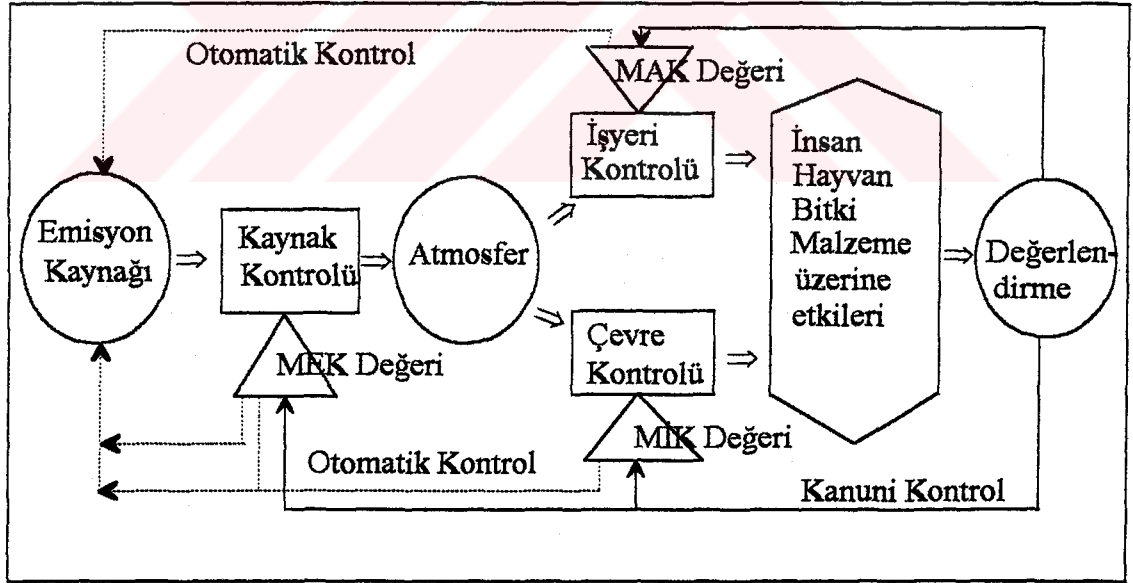
3.5 Hava Kalitesini Kontrol Mekanizması

Kirlenmeye neden olan kaynağın ve kirlenen atmosferin kontrol edilmesi bir yöntem gerektirir. Öyle ki çevre ve etkileşim alanları için kirletici sınırları, standartlar, emisyon kaynakları, emisyon öncesi önlemler vs. gözönünde bulundurulmalıdır. Yakıtlar için yanma öncesi ve sonrası davranışlarına göre yakıt kalitesi standardı, yakıt girdisine göre emisyon standardı ve gerekli kontrol sistemi, emisyon noktası (baca) yüksekliği, baca şekli, gaz çıkış hızı, gaz çıkış sıcaklığı ve çevre havası için standartlar koymak, kirletici kaynakların ve çevre havasının kontrolünde önemli ve gerekli bir önlemdir.

Emisyon kaynaklarından çıkan kirleticiler binlerce kilometre uzaklara yayılabilmektedir. Bu yayılım ve etkisi şekil 3.1 'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kaynağın 100 km 'den daha uzaklara ait birçok etkisi olmakta ise de bunlar için standartlar yoktur. Gerçekte bu etkileşim alanlarında ölçümler yapılarak çevreye olan etkilerinin asgariye indirilmesi ve bunu sağlamak için kaynak kontrolünde optimum çözüme gidilmesi gerekir.



Şekil 3.1 Kaynak Emisyonunun Atmosfere Etkisi ve Etki Mesafesine Ait Şema [4].



Şekil 3.2 Hava Kalitesi Kontrol Mekanizması Şeması [4].

Şekil 3.2 'de basit hava kalitesi kontrol mekanizması görülmektedir. Çeşitli standartlarla çevredeki kirletici nispetleri değerlendirilmekte ve bunun sonucu otomatik olarak kaynak kontrolüne gidilmektedir.

3.6 Kontrol Araçlarının Uygulamadaki Durumu

Kirlenme kontrolünde kullanılan birçok kontrol aracı vardır. Bunlar arasında parçacık kirlenmesini oluşturan kaynakların kontrolünde amaca uygun olarak değişik tip metodlar kullanılır. Endüstride toz yükü ve parçacık büyüklüğüne bağlı olarak kullanılan bazı toplayıcılara ait bilgiler tablo 3.1 'de verilmiştir.



Tablo 3.1 Uygulamada Kontrol Araçları [9].

Kirlenici Kaynak	Toz Yüklü	Parçacık Büyüklüğü	1	2	3	4	5
Kömür üretim end.							
Malzeme nakli	orta	orta	C	B	D	A	A
Havalandırma	orta	ince	B	A	D	A	B
Öğütme, ufalama	ağır	orta	A	A	D	A	B
Kurutma	ağır	ince	C	B	D	D	A
Maden üretimi							
Maden nakli	orta	orta	C	B	B	A	A
Fırında kurutma	orta	orta - iri	A	A	B	C	A
Çimento fırını	ağır	orta - ince	C	A	A	D	C
Çimento öğütme	orta	ince	C	C	C	A	D
Güç sistemlerinde kömür yakma							
Zincirli ızgara	hafif	ince	D	C	D	D	D
Stokerli	orta	kaba - ince	C	A	C	D	D
Pülverize	ağır	ince	C	A	A	D	D
Dökümhanelerde							
Silme	orta	ince	C	C	D	C	A
Kum nakli	orta	orta - ince	C	C	D	C	A
Kalıplama	ağır	orta - kaba	D	D	D	A	A
Temizleme	orta - ağır	orta - ince	D	B	D	A	A
Un ve yem değirmenleri							
Hububat nakli	hafif	orta	A	B	D	A	C
Hububat kurutucu	hafif	kaba	D	D	D	D	D
Un tozları	orta	orta	A	A	D	A	B
Yem değirmenleri	ağır	orta	A	A	D	A	B
Çelik üretimi							
Elektrik fırınları	hafif	ince	D	D	C	A	A
Eritme fırınları	ağır	kaba - ince	A	C	A	D	A
Açık ocak	orta	kaba - ince	D	D	A	C	C
Demir ocağı	orta	kaba - ince	C	C	B	B	A
Kereste sanayi							
Ağaç doğrama	orta	kaba - ince	A	B	D	A	C
Zımparalama	orta	ince	A	B	D	A	B
Taşıma	ağır	kaba - ince	A	C	D	B	B
Kaucuk üretimi							
Harmanlama	hafif	ince	D	D	D	A	A
Taşıma	orta	kaba	A	A	D	A	A

1: Tek siklon hali

2:Çoklu siklonlar hali

3: Elektrostatik çöktürücü

4: Filtreler

5: Yıkayıcı toz tutucular

A: sık sık

B: Arasıra

C: Seyrek

D: Hiçbir zaman

BÖLÜM 4

ISLAK YIKAYICILAR

4.1 Giriş

Islak yıkayıcılar dağılmış (püskürtülmüş) sıvı yardımıyla gaz karışımından toz partikülleri ayırmaya veya aerosollerin ayrıştırılmasına yarar. Kısaca bu cihazlar gaz akımından partiküllerin ayrıştırılmasında kullanılırlar. Çeşitli yıkayıcıların dizaynındaki farklılıklar, sıvı dağılım mekanizmasından ileri gelmektedir. Yıkayıcı dizaynlarının çeşitliliği ve sayısının şaşırtıcı olmasına karşın, birkaç temel mekanizması vardır. Bu açıklamalardan sonra yıkama işleminin tarifini yapmak gerekir. Yıkama, bir partikül yüklü gaz akımının bir sıvı ile (ki bu genelde su olmaktadır) tam bir temasa getirilmesi ve küçük partiküllerin ayrıştırılması yöntemidir. Yıkama işlemi, aynı zamanda gaz akımından gaz eriyiklerin ayrıştırılmasını sağlar.

Islak yıkayıcılar, hem partikül hemde gaz kirleticileri etkili bir şekilde ayırma kabiliyeti olduğundan kirlenmiş gaz akımlarını temizlemede kendisine çok geniş bir kullanılma sahası bulmuştur.

Partikül toplama mekanizmaları, ıslak yıkama operasyonlarının da dahil edilebileceği aşağıdaki bazı veya tüm terimleri içerir.

Atalet çarpması, Direk tutma, Difüzyon (Yayılma) (Brownian hareketi), Elektrostatik kuvvetler, Yerçekimi kuvvetleri, Yoğuşma, Termik dereceler.

Atalet çarpması, bir nesnenin (damla) partikül yüklü gaz akımının yörlügesine yerleştirildiğinde meydana gelip, gazın uzaklaşmasına ve damla etrafında akmasına neden olur. Bununla birlikte büyük partiküller, ataletleri nedeniyle düzgün bir yörlügede sapma göstererek yollarına devam edip, sonuçta bir engelle çarpıp ve toplanır (şekil 4-1a).

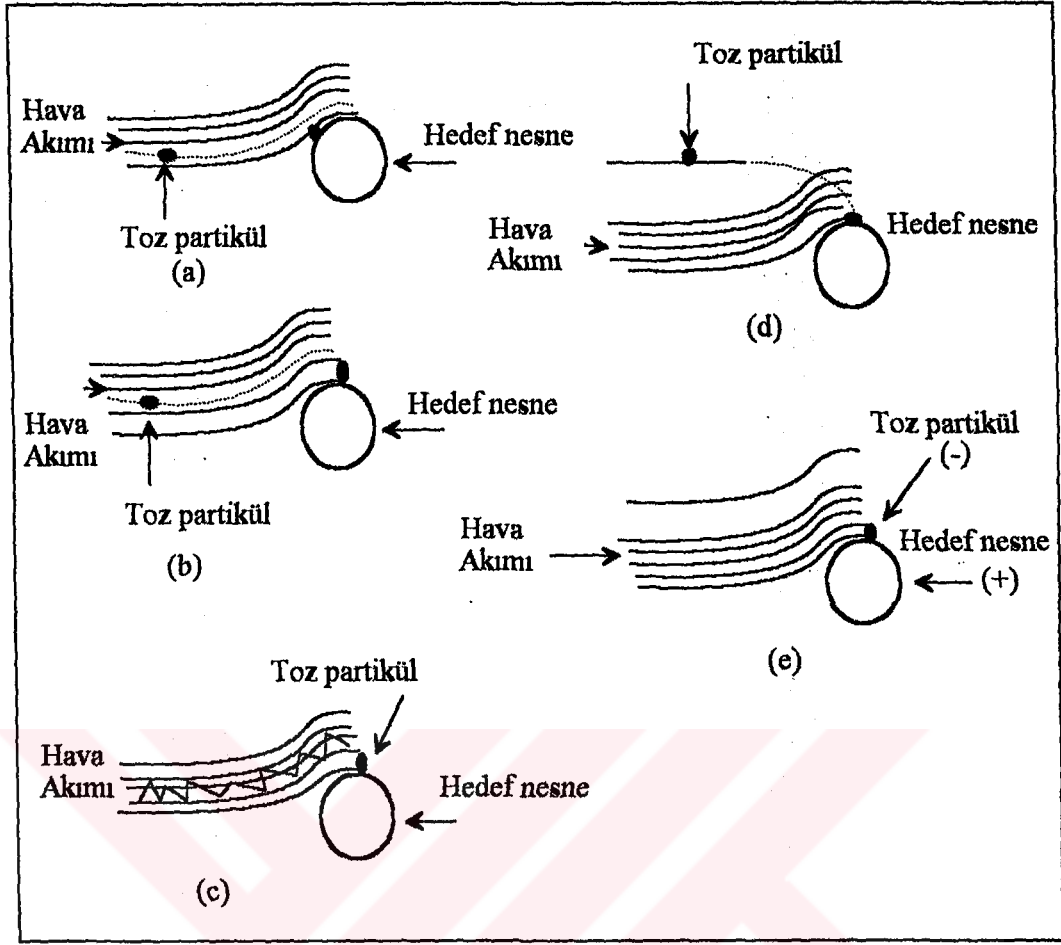
Direk tutma da atalete bağlı olup, sadece çarpmanın ikincil bir biçimidir. Bir çarpışma;direk tutma sayesinde, hedef nesnenin (damlanın) bazı boyutları partikülün yarıçapından küçük olduğundan, toz partikülün merkezi

damladan kaçtığında meydana gelir (şekil 4-1b). Bu nedenle direk tutma bir ayırma prensibi olmayıp, sadece atalet çarpmasının bir uzanımıdır.

Yayılma da (difüzyon) çarpma prensibinin başka bir uzanımıdır. Çok küçük partiküller, Brownian hareketi olarak bilinen tek bir salınıma sahip bir gaz akımı içinde havada asılı dururlar (şekil 4-1c). Bu durumda partikül ve damla, sınırlı bir alan içinde izafi hareketin sonucu olarak çarpışırlar. Bütün yayılma proseslerinde, yayılma için geniş alanların olduğu yayılma oranı tercih edilip, o suretle de yüksek toplama verimleri için büyük yüzey alanı ve hacim oranı ile birlikte küçük sıvı damlacıklar gereklidir. Çarpma veya çarpışma, ister atalet isterse de Brownian hareketinin bir sonucu olsun, sonuçları aynıdır.

Yerçekimi kuvvetleride, bir partikülün bir engeli geçerek bir gaz akımından düşmesi ve engelin yüzeyinde birikmesine neden olabilir (şekil 4-1d). Bu gibi kuvvetler geniş partiküllerin (40 μm 'den büyük) dağılmasıyla harekete geçerler.

Elektrostatik kuvvetler, partikül ve sıvı damlacıklara elektrik yüklenmesi sonucu meydana gelirler (şekil 4-1e). Buna ek olarak sadece partikül veya engel yüklendiğinde, yükleme, yükleme yapılmamış bir komponent (bileşen) üzerinde indüklenebilir ve sonuçta da kutup kuvvetleri içinde partikül ayrıştırma etkili olabilir.



Şekil 4.1 Islak yıkayıcılarda toplama mekanizmalarının prensibi :

- (a) : Atalet çarpması ; (b) : Direkt tutma ; (c) :Difüzyon (yayılma)
 (d) : Yerçekimi kuvvetleri ; (e) : Elektrostatik kuvvetler

Elektrostatik yükleme, sıvı damlacıkların teşekkülü esnasında elde edilebilir. Bir elektrik yüklemesi, alev iyonizasyonu, sürtünme veya yükleme malzemesinin bulunmasıyla indüklenebilir. Elektrostatik mekanizmanın etkisi, yüklemenin partikül veya engel üzerinde yüksek, gaz hızında düşük olması durumunda önemli olabilir.

Yoğuşma etkileri de harekete geçebilir. Yoğuşma, gaz veya havanın yoğuşma noktasının altında hızla soğutulmasıyla elde edilir. Nem gaz akımının dışında yoğuşturulursa, sis meydana gelir ve toz partiküller yoğuşma taneciği olarak işe yarayabilirler. Toz partiküller, yoğuşmuş sıvının bir sonucu olarak daha büyük olarak ve çarpma ile toplama olasılığı arttırılır.

Partikül toplama da termik derecelerde etkili olabilir. Bu gibi kuvvetler, partikülleri daha sıcak bölgeden, daha soğuk bölgeye sürebilirler. Partikülün sıcak yüzeyleri ve soğuk kısımları üzerindeki eşit olmayan gaz moleküllerinin çarpışma enerjileri harekete sebep olabilir ; bu da sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır.

Islak yıkayıcılar diğer kuru ekipmanlarla karşılaştırıldığında kesin bir dezavantajı bulunmamıştır. Bunlardaki esas problem proses üretiminin yapısında var olan çamurun nasıl uzaklaştırılacağı veya dağıtılacağıdır. Bununla birlikte bazı uygulamalarda çamur kuru tozdan kolay bir şekilde uzaklaştırılabilir. Eğer ekipman doğal çevreye kurulmuşsa, soğuk havada donma problemi gözönünde bulundurulmalıdır. Suyun orada bulunmasında aynı zamanda malzemelerin aşındırıcılığını artırma eğilimine neden olur. Sonuç olarak yüksek toplama verimi elde etmek için, ince tozların toplanmasında sıvı fazın iyi bir şekilde dağıtılması ve aynı zamanda yüksek enerji girişi gerekir.

Islak yıkayıcıların tek bir özeliği, gaz kadar iyi cihaz içinde sıvıyı harekete geçirecek enerjinin sağlanmasının gerekliliğidir.

Bir yıkayıcıda partikül ayırma metodu birkaç adımda yapılmaktadır:

a) Gaz ve partikül şartları, örneğin sıcaklık azalması ve

su buharı ile doyma.

b) Sıvı dağılımı, örneğin bir karışımı ile, basınç nozülü ile ve döner diskle.

c) Toz partiküllerin sıvı filmi veya sıvı damlacıklarıyla toplanması.

d) Toz yüklü sıvının gaz karışımından ayrılması.

Yıkama için gerekli sıvı miktarının 31 m^3 gaz başına 1 m^3 olması istenir.

4.2 Islak Yıkayıcıların Endüstride Uygulanışına Dair Örnekler

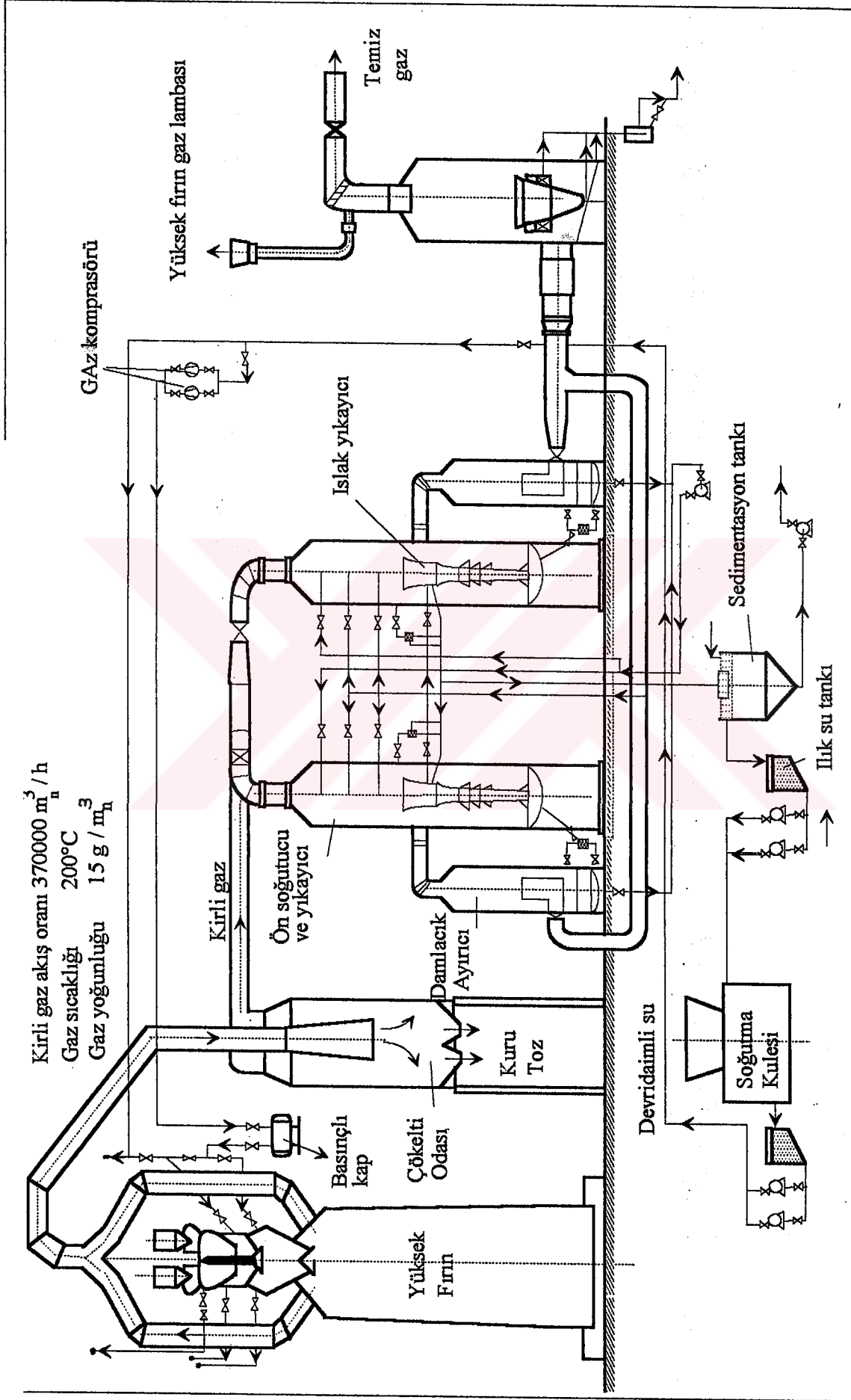
Kirli gaz karışımı veya havayı kirleten toz üretici bütün endüstrilerde ıslak yıkayıcılar uygulanabilir. Islak yıkayıcıların uygulama sahası için verilen örnekler, bir ülkenin teknolojik ve endüstriyel gelişmesi bakımından özel önem arzeden birkaç endüstri kolundan alınmıştır. Bu nedenden dolayı, örnekler çelik endüstrisi, döküm endüstrisi ve kimya endüstrisinden seçilmiştir.

Çelik endüstrisinde tek bir ürün (yani çelik) üretildiği için çok büyük ünitelerle karakterize edilmiştir. Sabit miktarda, geniş kütlelerde kirletici üretimi şüphesiz bir tek ürün prosesinin sonucudur. Kirlilik kontrolü için geniş ekipman kullanımı çelik endüstrisinin tipik özelliğidir.

Kimya endüstrisinde ise durum oldukça farklıdır. Son derece büyük oranlarda üretim ve kirleticinin olması, kimya endüstrisinin karakteristik özelliklerindedir. Küçük ve orta büyüklükte kirlilik kontrol tesislerinin çok olması kimya endüstrisinin bir özelliğinin sonucudur. Bir kaç üretin sahasında akan suların tasfiyesi için bazı tertibatlar dizayn edilmiştir.

4.2.1 Çelik Endüstrisindeki Uygulamalar

Çelik endüstrisinde büyük ölçüde partikül yıkama, yüzyılın sonlarına doğru başlamıştır [11]. 1892'de G. Zschoske, ıslak ızgaralı yıkayıcı için patent almıştır. Bu yıkayıcı çok kaba bir dizaynda yapılmış olmasına rağmen, en verimli partikül ayırma cihazlarından biri olmuştur. Birkaç



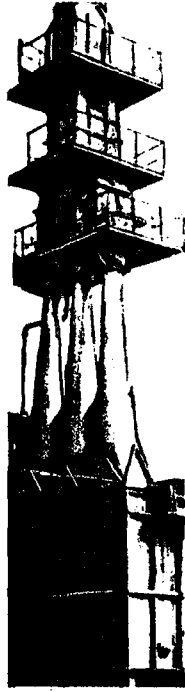
Şekil 4.2. Islak yıkayıcıların yüksek fırın gazı temizleme tesisinde kullanılması

yıl sonra çelik endüstrisinde verimi daha fazla olan bir yıkayıcı kullanılmıştır.

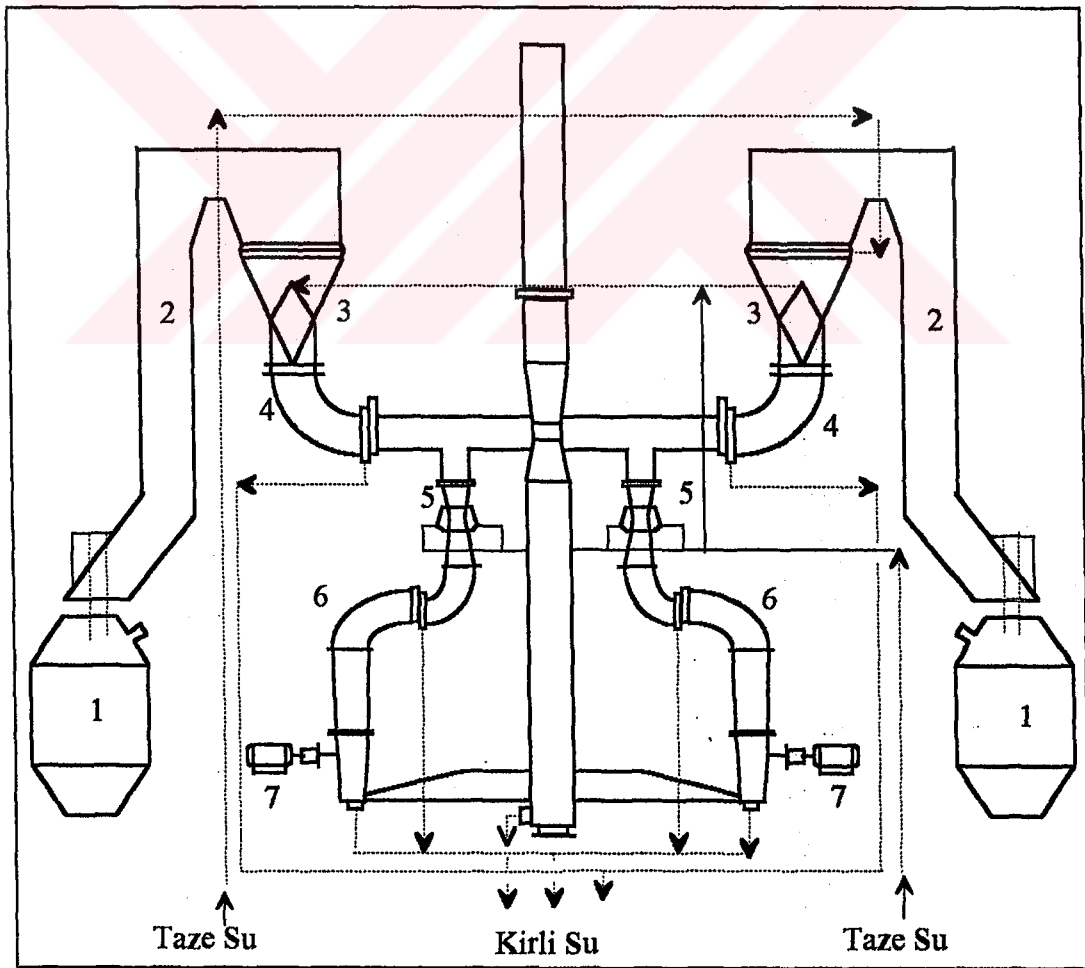
Bir yüksek fırın gazı temizleme tesisi şematik olarak şekil 4-2'de gösterilmiştir [11] (Bischoff KG Essen). Yüksek fırının üretim kapasitesi günde 5000 - 5500 ton sıcak metaldir. Ocak çapı 11 m'dir. Gazın hacimsel akış oranı 200 - 500°C sıcaklığında 370,000 - 450,000 m³/h arasında değişir. Partikül yüklü fırın gazının yoğunluğu 15 - 30 g/m³ (buradaki n indisi gazın normal şartlarını yani 1 bar basınç ve 20°C sıcaklığı belirtmektedir.) arasında değişmektedir. Yüksek fırından egzost edilen gaz önce partikül ayırma ünitesine gelmektedir. Bu ünite, bir kuru sistemden meydana gelmiş olup, burada iri toz grupları ayrılmaktadır. İkinci kısım ise, gazdan ince partiküllerin ayrıştırıldığı iki adet ıslak yıkayıcıdan meydana gelmiştir. Saflaştırılmış gaz, 5 mg/m³ 'den daha az bir partikül tortusu ile yaklaşık 60°C 'de tesisten ayrılmaktadır. Kirli su önce ıslak yıkayıcılardan ayrılır ve daha sonrada mekanik atık su tasfiye tesisine alınır. Çamur sedimentasyon tankında ayrıştırılıp, uygun bir şekilde zararsız hale getirildikten sonra da temizlenmiş su yeniden devrede kullanılır.

Kuru partikül ayırıcı ünitesi ıslak bir yıkayıcı ile değiştirilebilir. Örneğin gazın ön soğutulmasında ve kaba toz gruplarının ayrıştırılmasında bir Venturi yıkayıcı kullanılabilir. Şekil 4-3 'de Venturi yıkayıcının fotoğrafı görülmektedir [11]. Basit kullanımı olan etkili ıslak partikül yıkayıcıdan önce bu kısma ıslak elektrikli bir filtre takılması, birinci temizleme kısmı için önemli bir avantaj sağlar.

İkinci örnekte ise oksijen dönüştürücüleri (konverterleri) ile atık gazlardan toz giderme anlatılacaktır. Şekil 4-4 'de paralel çalışan 2 adet oksijen dönüştürücüsüyle atık gazlardan partikül ayırma tertibatı şematik olarak gösterilmiştir. Her bir dönüştürücünün ergitme kapasitesi şarj başına 180 tondur. Gazın içerdiği toz yükü 30 g/m³ 'dür. Gaz akımı



Şekil 4.3 Yüksek fırın gazının önsoğutulması, doyurulması ve önyıkınması için Venturi yıkayıcı sistemi

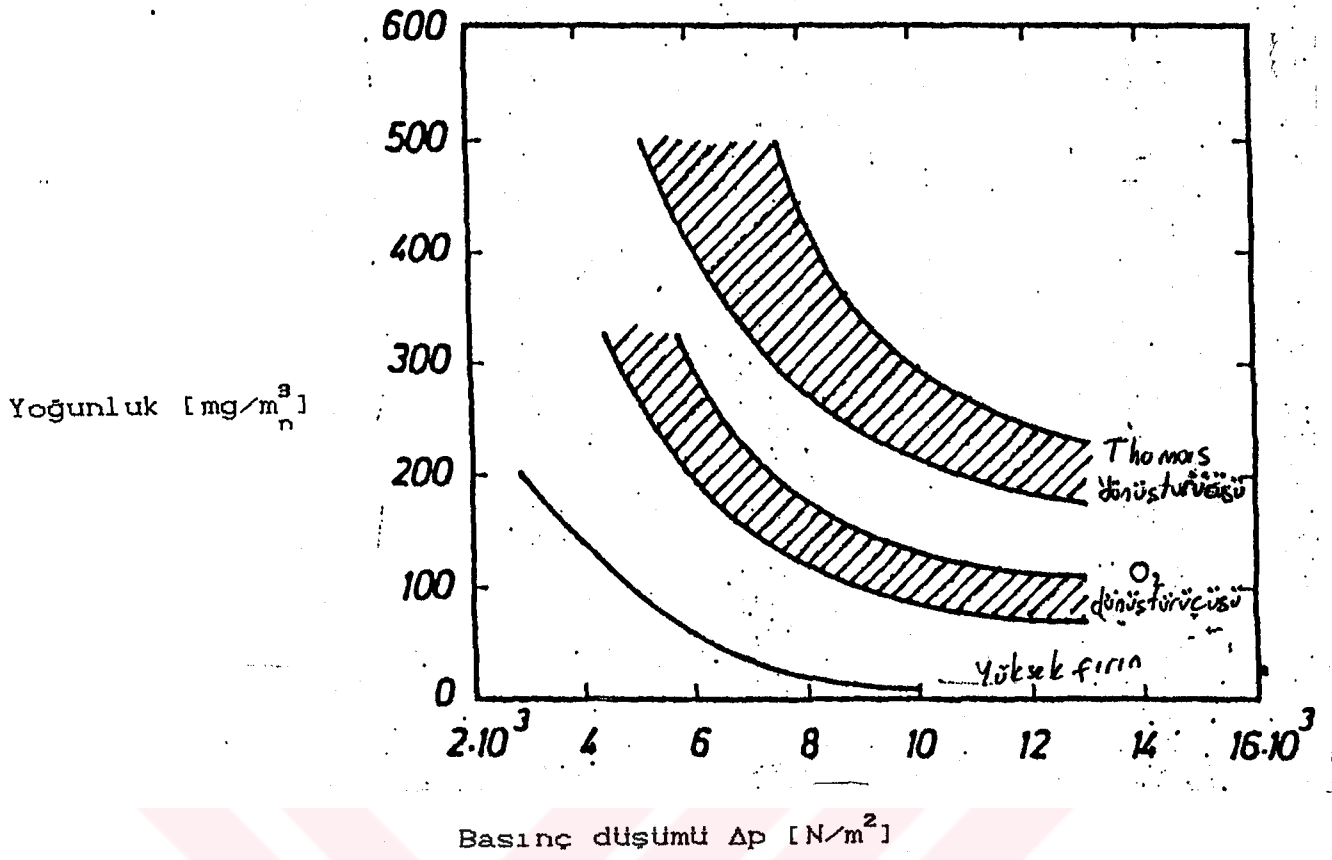


Şekil 4.4. Islak yıkayıcılarla oksijen dönüştürücülerinden (konverterlerinden) atık gazı saflaştırma

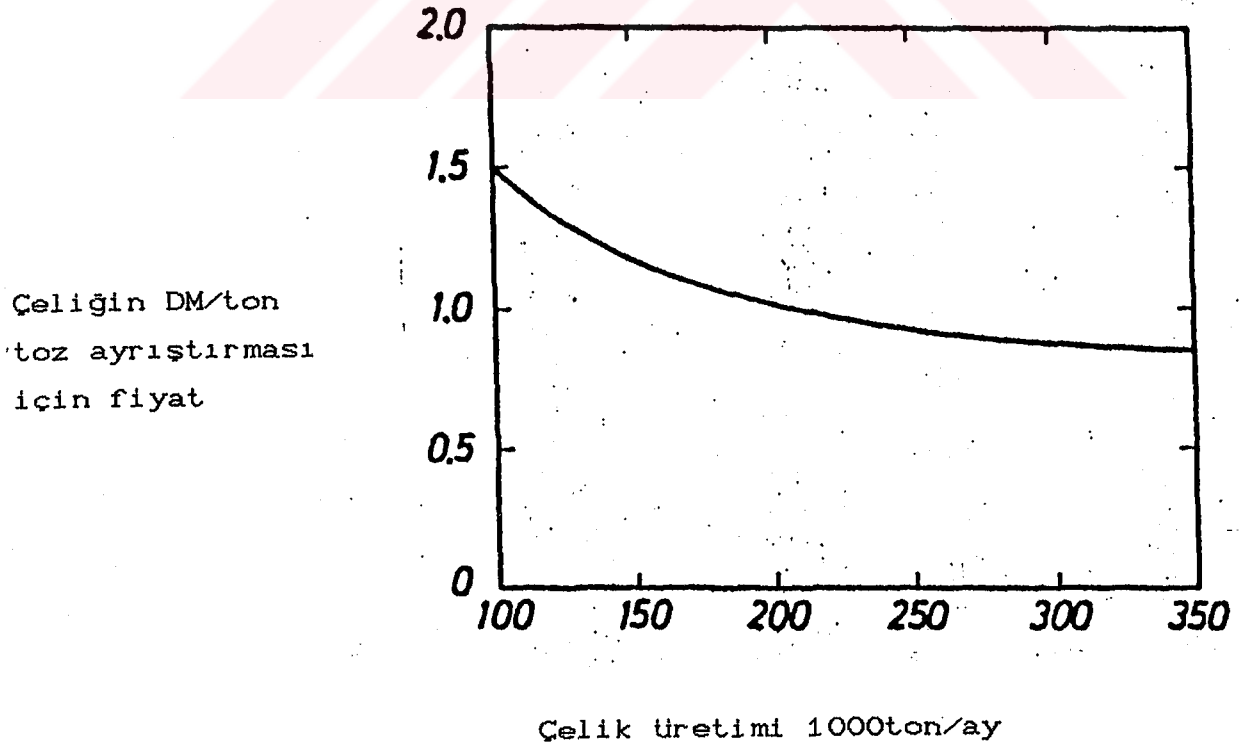
dönüştürücülerden ayrıldıktan sonra, kazanın içinden geçerken sıcaklığı 1000°C azaltılır. Daha sonra ilk Venturi yıkayıcısında gaz sıcaklığı yaklaşık $70 - 80^{\circ}\text{C}$ daha azaltılır ve böylelikle su buharı ile doyurulmuş olan gaz akımından partiküllerin yaklaşık %90'ı ayrıştırılır. Venturi yıkayıcısının boğazında gazın hızı yaklaşık 50 m/s , basınç düşümü de yaklaşık 2000 N/m^2 'dir. Partikül yüklü su, gaz akımından dirsek ayırıcıları vasıtasıyla ayrıştırılır. Artık haldeki ince partiküllerin ayrıştırılması yüksek kapasiteli Venturi yıkayıcılarda olur. Bu Venturi yıkayıcıların boğazında gaz hızı $90 - 100 \text{ m/s}$ olup, basınç düşümünde yaklaşık $6000 - 7000 \text{ N/m}^2$ 'dir. Gaz akımının içerdiği atık toz yükü $90 - 110 \text{ mg/m}^3$ 'dür. Dirsek ayırıcı ve ikinci kısımdaki Venturi yıkayıcıda bulunan kirlenmiş su, atık su tasfiye tesisine taşınır. ve temizlenerek yeniden kullanılır. Bu arada çamurda temizlenir.

Atık gazlardan partikül ayrıştırma işlemi Venturi yıkayıcılarda büyük ölçüde basınç düşümüne bağlıdır. Şekil 4-5 'de Thomas dönüştürücüleri, Oksijen dönüştürücüleri ve yüksek fırınlarda bulunan atık gazlardaki basınç düşümüne karşı Venturi yıkayıcılarda işleme tabi tutulan saf akımdaki partikül miktarının grafiği çizilmiştir. Bu diyagramdaki bilgiler endüstriyel ünitelerden elde edilmiştir [11]. İki oksijen dönüştürücülü tesisde bulunan atık gazların partikül yıkama işlemini kapsayan fiyatlar şekil 4-6.'dan elde edilebilir [11]. Yıkayıcı fiyatlarının yaklaşık %60 azalması sonucu, çelik üretiminde aylık $100,000$ 'den $350,000$ ton'a kadar bir artış olmuştur. 1962 'de yaklaşık $100,000$ ton/ay çelik üretimi için, yıkayıcı fiyatı üretilen çeliğin tonu başına 1.5 DM olmuştur.

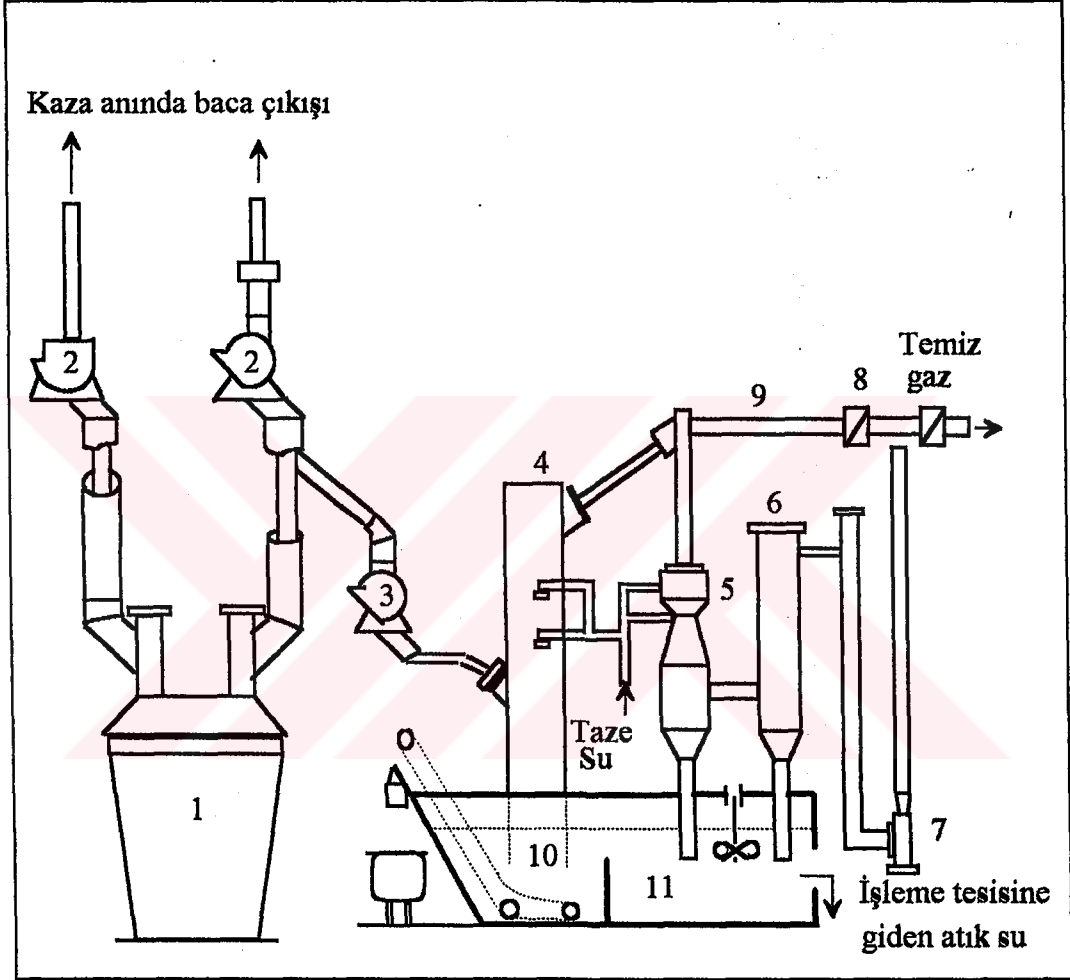
Üçüncü örnekte ise bir demir alaşımı daldırılmış arklı fırındaki atık gazlardan toz ekstraksiyonu anlatılacaktır. Şekil 4-7 'de 24 MW FeMn fırını ve atık gaz temizleme tesisinin seması verilmiştir [11]. Ark fırınlarından ayrılan atık gazlar güvenli kanallardan geçerek kolon yıkayıcı sahasına gelir (4) ve burada su buharı ile



Şekil 4.5 Venturi yıkayıcının içinden geçen temizlenmiş gaz akımı yoğunluğuna karşı basınç düşümü [11]



Şekil 4.6 İki O_2 dönüştürücü tesisde bulunan atık gazlar ile partikül yıkama işlemi ve çelik üretimini kapsayan fiyatlar [11]

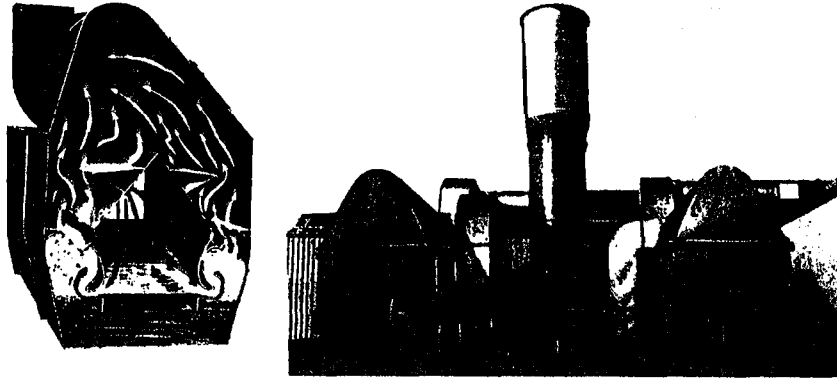


Şekil 4.7. Atık gazdan toz ayırıştırma için bir elektrik ark fırını ve tesisinin şematik resmi

doğurur. Daha sonra ikinci temizleme bölümünde uygun operasyon şartları için sıcaklık azaltılır ve böylelikle de partikül grupları ekstrakte edilir. 2. temizleme bölgesi gazdan ince partiküllerin ayrıldığı Venturi yıkayıcıdan (5) meydana gelmiştir. Kirli su, duman (mist) kollektörlerinde (6) gaz akımından ayrıştırılır. Saflaştırılmış gaz emme kompresörü yardımıyla, başka bir tesiste kullanılmak üzere taşınır. Mutlak bir temizleme için temiz gazın tekrar bir borunun içinden (9) Venturi yıkayıcıya devridaimi yapılır. Venturi yıkayıcı (5) ve kolon yıkayıcıdaki (4) kirli su, toplama tanklarında (10) (11) toplanarak, atık su saflaştırma tesisine gönderilir. Temizlenmiş su tekrar kullanılır.

4.2.2 Döküm Endüstrisindeki Uygulamalar

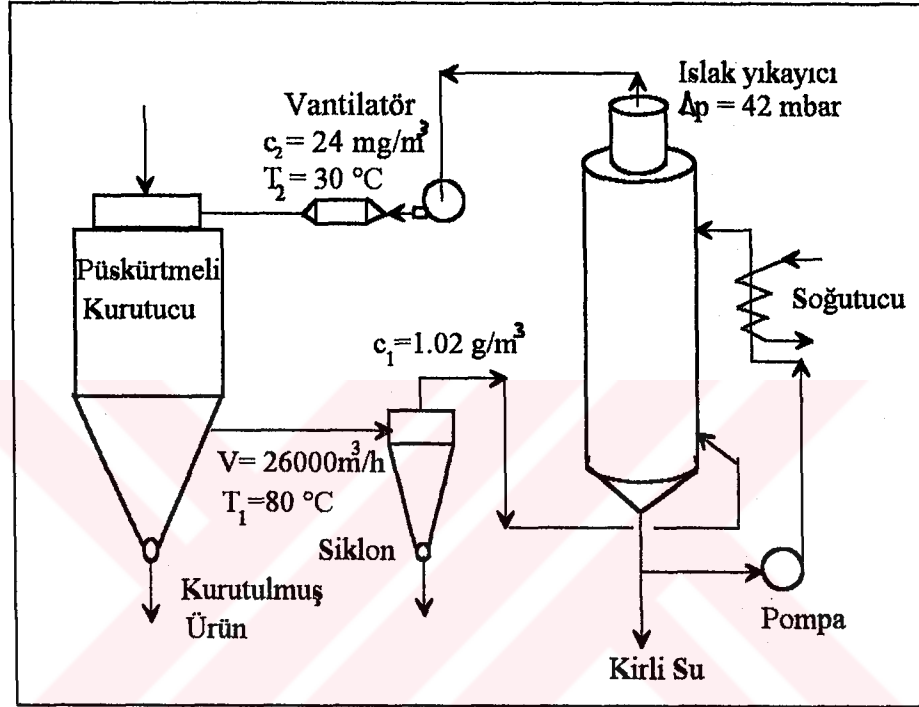
Döküm endüstrisinde birçok gaz temizleme dizaynları mevcuttur. Vorteks (Girdaplı) yıkayıcılarda bu endüstri kolunda kendisine geniş bir uygulama sahası bulmuştur. Şekil 4-8 'de tipik bir Girdaplı yıkayıcının perspektif görünüşü ve paralel bağlanmış iki Girdaplı yıkayıcının fotoğrafı verilmiştir [11].



şekil 4.8

4.2.3 Kimya Endüstrisindeki Uygulamalar

Gaz akımının ıslak bir yıkayıcıdaki bir sprey (püskürtme) kurutucunun içinden geçmesi ile yapılan partikül ayırma işlemi kimya endüstrisinde ıslak yıkama uygulamasına tipik bir örnektir. Şekil. 4-9 'da gaz temizleme tertibatlarıyla bir püskürtme kurutucu şematik olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.9. Bir püskürtmeli kurutma ünitesinde dolaşan inert gazdan toz ayırma (ıslak yıkama) [11].

Kurutulan toz, boya endüstrisi için kullanılır. İnert gaz akımının ısı taşıyıcısı olarak kullanılıp, yeniden devridaim için yapılmış olması emniyet nedenlerini gerektirir. İnert gazın ayrışmasından sonra, toz da püskürtme kurutucu ve siklon yardımıyla ayrıştırılır. Siklondan ayrılan gaz akımı içerisindeki arta kalan çok ince partiküllerin miktarı 1.02 g/m^3 'dür. Bu nedenle bu gaz akımı ıslak yıkayıcılarda tekrar temizleme işlemine tabi tutulur. ıslak yıkayıcı girişinde, inert gaz içindeki ortalama partikül çapı $2 \mu\text{m}$, yoğunluğu da 1400 kg/m^3 'dür. ıslak yıkayıcılar 30 mg/m^3 'den daha az partikül içeren gazların temizlenmesinde kullanılır. Aynı zamanda burada inert gazın sıcaklığı 80°C 'den 30°C 'ye indirilir. ıslak

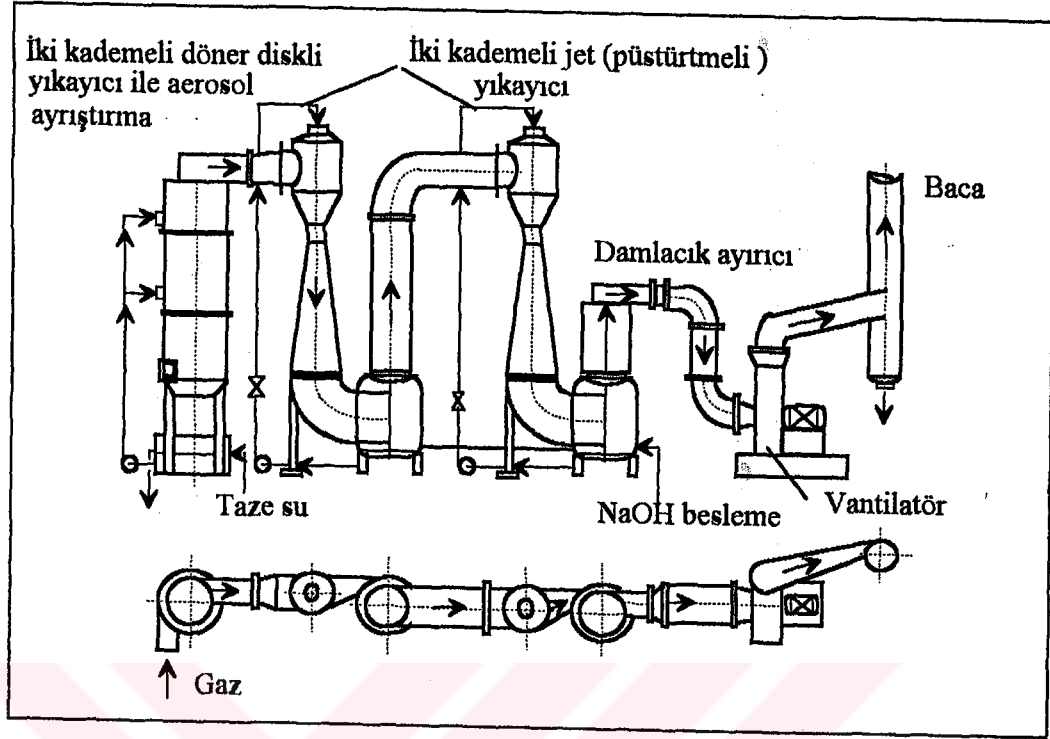
yıkayıcı 2 bölümden meydana gelmiş olup, birinci bölümde partikül ayrıştırma işlemi, ikinci bölümde ise inert gazın soğutma işlemi yapılır.

Sekil 4-10 'da Kimya endüstrisinde pratik koşullarda oldukça tipik, "Çokkirletici İşleme Tesisi" olarak isimlendirilen ıslak yıkayıcı uygulamasının diğer bir örneği şematik olarak tanımlanmıştır. Kirleticiler bir boya üretim tesisindeki sülfirik asit dumanı, HCl ve SO₂ gibi gazlar içerisindeki çok ince partiküllerdir. Temizleme prosesi 20,000 m³/h debisindeki atık hava akımından, katı ve gaz kirleticilerin ayrıştırılmasıyla gerçekleştirilir. Temizleme sistemi dalgalı (inişli-çıkışlı) kirletici derişimine göre dizayn edilmiştir. Çünkü tesislerdeki üretim koşulları değişebilir. İki kademeli bir jet (meme) yıkayıcı ve yine iki kademeli döner diskli yıkayıcıdan meydana gelmiş olan ıslak yıkama sistemi çalıştırılır. Gazlı kirleticilerin absorpsiyon işlemi jet (memeli) yıkayıcılarda yapılırken yıkama makinelerinde de partikül ayrıştırma işlemi yapılmaktadır. Yıkama makineleri suyla, jet (memeli) yıkayıcılarda NaOH çözeltisiyle beslenir. Kirlenmiş sıvılar ayrı ayrı tasfiye edilmelidir.

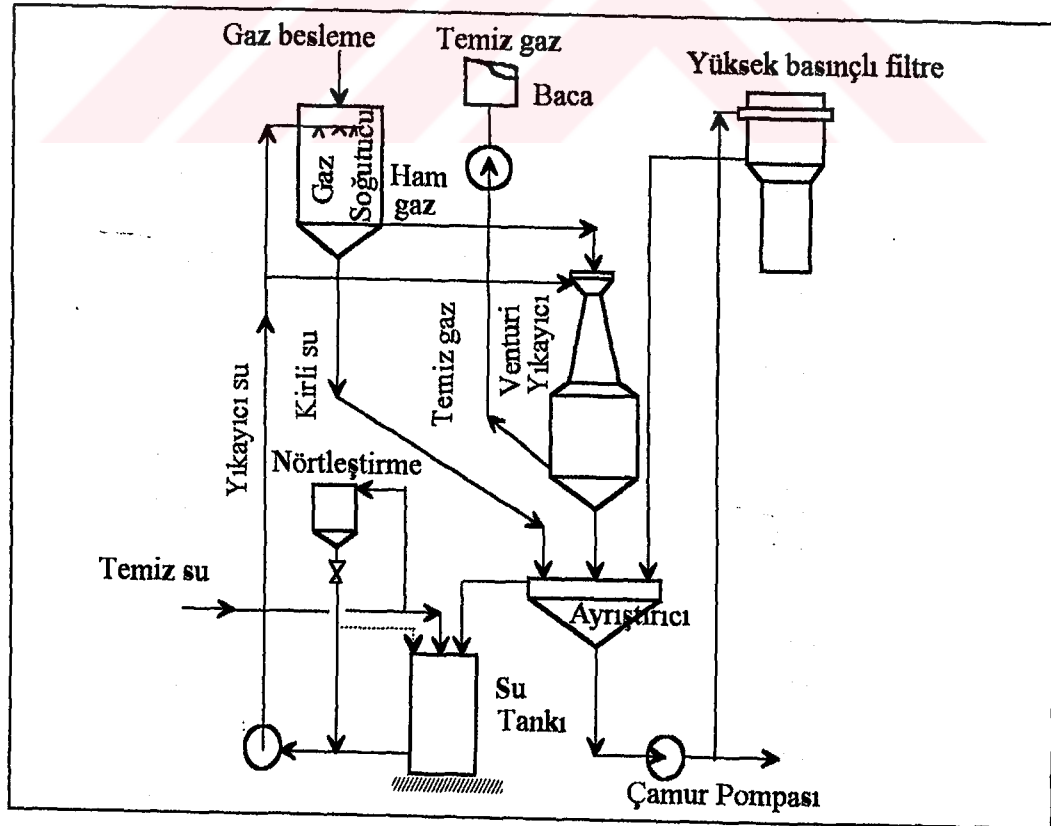
4.2.4 Kirlenmiş Sıvıların Tasfiyesi

Şimdiye kadar uygulamada, ıslak yıkayıcıların hava kirliliği problemini, su kirliliği problemine dönüştürmesi açıklanıp, ıslak yıkayıcılar yoluyla gaz akımlarından partikül ayrıştırma işlemi örnekler verilerek anlatıldı. Teknik ve ekonomik bakımdan problemdeki bu dönüşüm, ancak kirlenmiş suyun hacimsel akış oranıyla gaz akış oranı arasında çok küçük bir karşılaştırma yapılırsa kabul edilebilir. Bundan başka suyun tasfiyesi basit bir metotla yapılmalıdır.

Sekil 4-11 'de kirlenmiş suyu temizleme (işleme) tesisi görülmektedir [11]. Su, bir gaz soğutucu, ön yıkayıcı ve Venturi son yıkayıcıdan meydana gelen bir kombine yardımıyla ayrılma işlemine tabi tutulur. Kirlenmiş su, sedimentasyon tankını besler ve burada katı partiküller



Şekil 4.10. Bir kimya fabrikasındaki atık gazlardan toz ayırıştırma
(ıslak yıkama)



Şekil 4.11 Kirlenmiş suyun tasfiyesi için bir tesisin şematik gösterimi

kısmen sudan uzaklaştırılırlar. Mekanik olarak temizlenmiş su, bir nötralizasyon sisteminin içinden geçirilip, tekrar ön yıkayıcıya ve son yıkayıcıya pompalanır. Sedimentasyon tankındaki çamur önce ayrıştırılıp daha sonra filtre preslerine pompalanır. Burada da mümkün olduğu kadar çok su katıdan ayrılır ve daha sonra bu su tekrar sedimentasyon tankını besler. Filtre preslerinden elde edilmiş olan filtre pres çamuru daha fazla temizleme için bir çöp yakma fırınına taşınır veya çöktürülür.



BÖLÜM 5

ISLAK YIKAMANIN ESASLARI

Islak yıkama, bir gaz akımı veya bir sıvı akımından toz partiküllerin taşınması işlemidir. Bu taşınma işlemi büyük ölçüde gaz ve sıvı arasındaki temas yüzeyi bölgesinin büyüklüğüne, iki faz arasındaki izafi harekete ve toz partikül ile sıvı arasındaki izafi harekete bağlıdır. Bu bölümün ileriki kısımlarında, temas yüzeyi bölgesinin teşekkülü, fazlar arası izafi hızlar ve sıvı-gaz ayrılması anlatılacaktır.

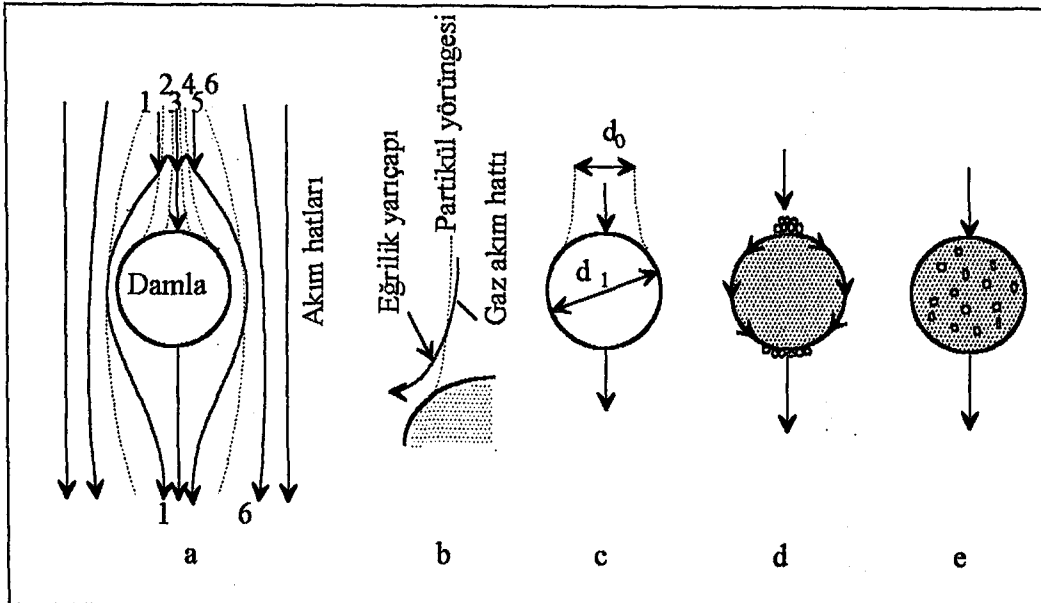
5.1 Sıvı Damlacıklarıyla Toz Partikül Toplama

Toz partikül toplama işlemi, partikül ve damlacık arasında izafi hareketin olması nedeniyle önemli derecede etkilenmektedir. İlk kısımda esaslar verildikten sonra, ikinci kısımda yüksek verimli yıkayıcıların durumları incelenip anlatılacaktır.

5.1.1 Toz Partikül Toplama Üzerine Temel Bilgiler

Sıvı damlacıklarıyla toz partiküllerin çarpışması şekil 5-1 'de tanımlanıp, genel olarak incelenmiştir. Buna göre aşağıdaki tahminler yapılır:

- Gaz ve toz partikülleri aynı hıza sahiptir.
- Gaz ve damlacıklar aynı hız yönüne sahiptir.
- Gaz ve damlacık arasında izafi bir hız vardır.
- Damlacık yuvarlak bir şekle sahiptir.



Şekil 5.1. Akış alanının çok basit bir tipinde bir sıvı damlacığı ile toz

Şekil 5-1a 'da akım hatları ve yörüngeleriyle partikül ve gazların hareketleri gösterilmiştir [11]. Atalet kuvvetleri yönünden damlacığa yaklaşan partiküller birbirini takip etmeyecek, fakat gaz akım hatlarına geçerek damlacık üzerine çarpacaktır.

Toz partiküllerin gaz akım hatlarına geçme ihtimali;
 a) Toz partiküllerin atalet kuvvetlerinin artmasıyla,
 b) Gaz akım hattı eğrilik yarıçapının azalmasıyla (şekil 5-1b 'ye bak)
 artacaktır.

Genellikle kabul edilmiş teorik nedenlere göre, damlacığa yaklaşan bütün bu partiküller d_0 çapı ile gösterilen bir bölge içerisinde, şekil 5-1c 'de gösterildiği gibi damlacığın üstüne çarpacaktır. Partiküller, ya ıslanılabilirliğin az olduğu durumda (şekil 5-1d), ya da ıslanılabilirliğin iyi olduğu durumda (şekil 5-1e) damlacığın içine girecektir. Damlacık yüzeyi üzerine çarpan partiküller, arka yığılma noktasına (damlacığın) doğru, hareket edecek ve orada toplanacaktır. Damlacığa çarpan bu partiküller bitişik olarak ön yığılma noktasında kalacaktır. Çünkü partiküller ön yığılma noktasına yaklaştırıldığında, damlacık temas yüzeyindeki teğetsel hız sifıra doğru gider. Eldeki mevcut ispatlara dayanılarak yapılan deneylere göre damlacık yüzeyine çarpan bütün partiküller ya damlacığın içine girecek, ya da yüzeye yapışacaktır. Bu metod temas yüzeyi gerilmesinin serbestliğinden ileri gelmektedir. Bu bakımdan ıslanılabilirlik, partikül-sıvı sisteminin önemli bir özeliği değildir.

d_0/d_1 çap oranı çarpma faktörü olarak anılır.

$$\phi_i = \frac{d_0}{d_1} \quad (5-1)$$

Bu faktör 0 ile 1 arasında değişebilir. ψ atalet sayısının bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Bu sayı şöyle tanımlanır:

$$\psi = \frac{w_r \cdot \rho_p \cdot d_p^2}{18 \cdot \mu_p \cdot d_1} \quad (5-2)$$

Bazen bu boyutsuz grup "Stokes Sayısı" olarak da anılır. Sembollerin anlamları aşağıda belirtilmiştir:

w_r = Damlacık ile partikül arasındaki izafi hız

ρ_p = Partikül yoğunluğu

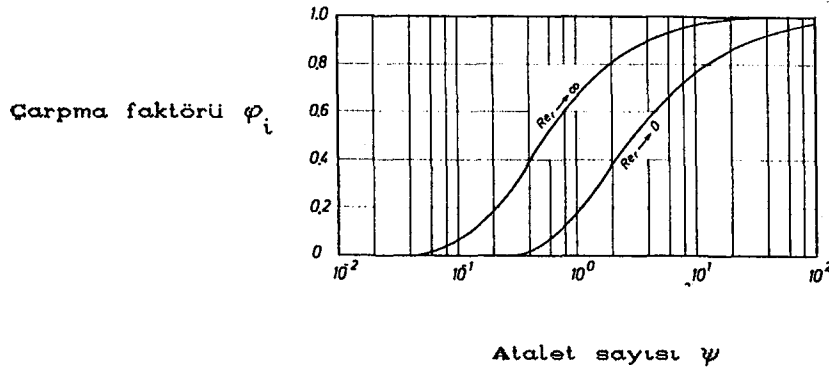
μ_g = Gazın dinamik viskozitesi

d_1 = Damlacık çapı

d_p = Partikül çapı

Şekil 5-2 'de atalet sayısı ile çarpma faktörü arasındaki ilişki belirtilmiştir [11]. Re parametresi Reynolds sayısıdır.

$$Re = \frac{w_r \cdot d_1 \cdot \rho_g}{\mu_g} \quad (5-3)$$



Şekil 5-2

Bu tanımda ρ_g gazın yoğunluğudur. Şekil 5-2 'de belirtilen çarpma olasılığı partiküllerin ataletinden dolayı izafi hız w_r 'nin, partikül yoğunluğu ρ_p 'nin ve d_p çapının artmasıyla çoğalacaktır.

Gazın dinamik viskozitesi η_g ve damlacık çapı d_1 arttığında çarpma olasılıkları haliyle azalacaktır. Çünkü bu durumda sürtünme kuvvetleri daha etkili olacak ve gaz, partikülleri uzağa taşıyacaktır.

Şekil 5-2 'de verilmiş olan çarpma faktörü sadece nitel değerdir. Gaz, partiküller ve damlacıkların hareketleri gerçek şartlarda tahmin edilenden oldukça farklı olacaktır.

Yüksek verimli ıslak yıkayıcılar, gaz-partikül-damlacık hareketiyle iki durumda etkilidir.

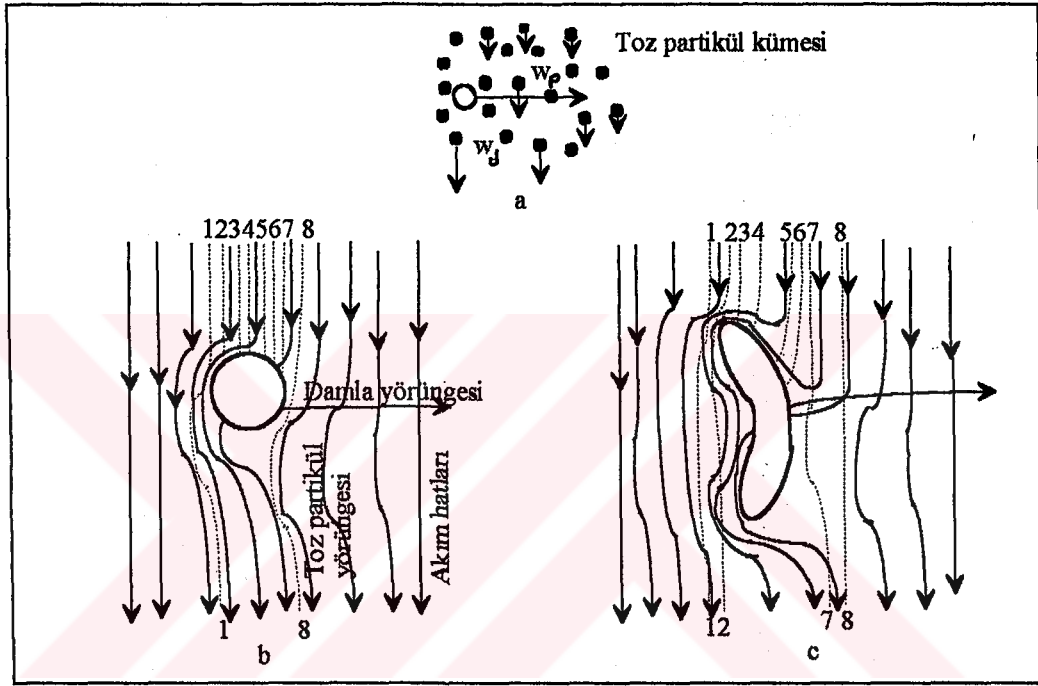
a) Yüksek hızlı damlacığın dikey hareketine karşı düşük hızlı gaz ve partikül hareketi (damlacıklar partiküllere yaklaşır).

b) Yüksek hızlı gaz ve partikülün paralel hareketine karşı düşük hızlı damlacık hareketi (partiküller damlacıklara yaklaşır).

Her iki durumda da çarpma faktörü ϕ_i şekil 5-2 'de verilenden çok daha yüksektir.

5.1.2 Yüksek Hızlı Damlacık Hareketiyle Partikül Toplama

Bu tür partikül toplama, döner diskli yıkayıcı gibi yıkama makinalarıyla olmaktadır. Nispeten küçük damlacıkların teşekkülü döner diskler vasıtasıyla olmaktadır. Damlacıkların hareketi yatay bir düzlem içerisinde vuku buluyorken, gaz ve partiküllerin hareketi de dikey yönde olmaktadır. Bu tip gaz-partikül ve damlacık hareketi Şekil 5-3a-c 'de açıklanmıştır. Karakteristik özellik yüksek hızlı bir damlacığın dikey hareketine karşı, düşük hızlı gaz ve partikül akış alanı olmasıdır. Döner disklerle meydana gelen damlacıklar genelde çok küçüktürler ve yüksek hızda bile yuvarlak şekillerini muhafaza ederler. Damlacık, partikül kümesinin içinden geçer. Damlacık hızı w_d , partikül hızı w_p 'dir. İlk etapta damlacık hızı, boyundan bağımsız olarak tahmin ediliyorken, partikül hızı



Şekil 5.3. Gaz / toz partikül akım alanın içinden normal yönde yüksek hızlı hareket ederek geçen bir sıvı damlacığıyla partikül toplama

ise genelde partikül çapının bir fonksiyonudur. Damlacık hız vektörü \vec{w}_d , partikül hız vektörü \vec{w}_p ile kıyaslandığında \vec{w}_d daha büyüktür.

Bir damlacığın etrafındaki gaz akım hatları ve partikül yörüngeleri şekil 5-3b 'de gösterilmiştir. Gaz hareketi, damlacık hareketine karşı dikey olarak meydana geldiği için damlacığın yüzeyini kapatır ve gaz akım hatlarını kuvvetlice saptırır. Bu sapmayla oldukça küçük bir eğrilik çapı elde edilir.

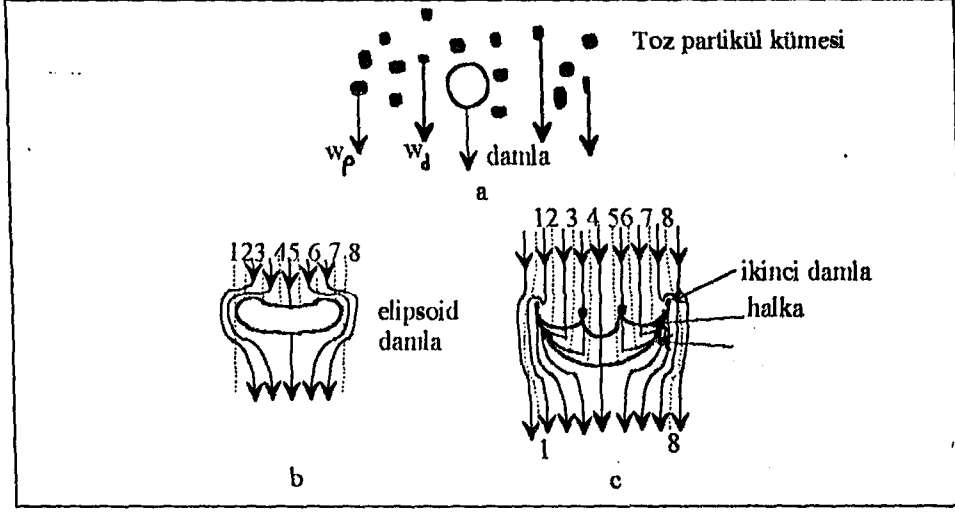
Sonuç olarak bu tip bir partikül toplama yöntemi şekil 5-1 'de belirtilmiş olup, partikül ve damlacığın paralel hareket etmesi durumundan çok daha fazla verimlidir.

Döner diskle büyük çaplı damlacıklar oluşturulduğunda, damlacıklar yuvarlak şekillerini kaybedebilir ve şekil 5-3c deki gibi elipsoidal bir şekil alabilir. Bu şekil değişikliği sürtünme kuvvetlerinden dolayı olmaktadır. Elipsoidal damlacıkların toplama verimi, yuvarlak şekilli damlacıkların toplama veriminden çok daha düşük olduğu tahmin edilmelidir. Çünkü bu sonuç, gaz akım hatları ve partikül yörüngelerinin hareketleri neticesinde elde edilir. Aktif bir elipsoidal damlacık için partikül toplama yüzeyine karşı gelen geometrik yüzey oranı, elipsoidal damlacıkla aynı hacme sahip daha küçük yuvarlak bir damlacığın geometrik yüzey oranından çok daha küçüktür. Bundan dolayı bu araştırmalar ışığında büyük damlacıkların meydana getirilmesinden tamamen kaçınılmalıdır.

Son derece büyük damlacıklar bir kaç küçük damlacığa bölünecektir. Fakat bu bölünme (parçalanma) zaman alır ve bölünme etkili olmadan önce partikül yüklü gaz akımının içinden büyük damlacıkların çoğu geçer.

5.1.3 Yüksek Hızlı Gaz ve Partikül Hareketiyle Partikül Toplama

Bu kısımda tanımlandığı gibi partiküller ile damlacıklar arasındaki karşılıklı etki, bir Venturi yıkayıcısının boğazında meydana gelen tipik bir durum olup, ıslak yıkayıcılarda çok etkilidir. Şekil 5-4a 'da



Şekil 5.4 Çok yüksek hızlı gaz / toz partikül ile çok düşük hızlı ve bu akıma paralel hareket eden sıvı damlacıklarıyla toz partikül toplama

gösterildiği gibi damlacıklar, partiküller ve gaz çok farklı hızlarda paralel bir şekilde hareket etmektedirler. Bu durumda oldukça büyük damlacıklar gaz akımı içerisinde dikey yönde ileri doğru hareket ederler. Damlacık yörüngesi dikey doğrultudan paralel doğrultudaki gaz akımına karşı değişmektedir. Büyük boyutlu damlacıkların hareketinin nihai kısmı şekil 5-4a 'da gösterilmiştir.

Sürtünme kuvvetlerinin eylemi ve yüksek hızlı gaz akımı sayesinde büyük damlacıklar ayrılmaya zorlanacak ve birkaç küçük parçaya bölünerek yuvarlak şekillerini benimseyip muhafaza edeceklerdir. Ayrışma prosesinin ara safhaları şekil 5-4 b ve c 'de gösterilmiştir.

Bu proses aşağıdaki safhalardan oluşur:

- Elipsoidal bir damlacık içerisindeki yuvarlak damlacıkların deformasyonu.
- Paraşüt şeklindeki lamel içerisindeki deformasyon.
- Sıvı iplikçikleri ve damlacıklar içerisinde lamellerin

ayrışması.

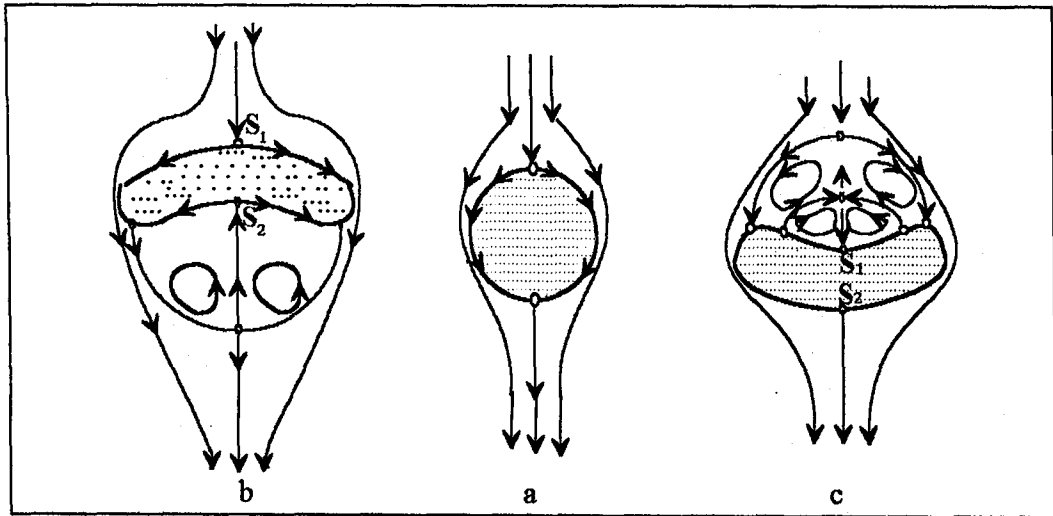
d) Damlacık içerisindeki sıvı iplikçiklerinin ayrışması.

Deformasyon ve ayrışma prosesi için istenen enerji, yüksek hızlı gazlardan elde edilir.

Elipsoidal bir damlacık etrafındaki gaz akışı ve partikül hareketi şekil 5-4b'de gösterilmiştir. Elipsoidal damlacığın arkasını kapayan akım hatlarının eğrilik yarıçapının küçük olmasından dolayı, toplama verimi oldukça yüksektir. Bu olay şekil 5-3c 'de tarif edilmiş olan bir elipsoidal damlacığın gaz akımına dik olarak yapılmış hareketinin tersi bir durumdur.

Damlacıkların yuvarlak şekilli oluşu kadar, damlacık, gaz ve partikül hareketinin yönleri olan bu gerilmeler noktası, partikül toplamanın önemli bir esasını oluşturmaktadır.

Daha öncede belirtildiği gibi elipsoidal damlacık, ayrıştırma işleminin bir ara durumudur. Eldeki mevcut verilere göre elipsoidal damlacığın şekli dengeli değildir ve şekil 5-5 a ve c 'de gösterildiği gibi damlacıklar titreşimli hareket ederler. Burada akım hatları oklarla belirtilmiştir. Damlacığın şekline bağlı olarak ön ve arka kısmında girdaplar oluşur. Akım hatları sahasının anlaşılması güç olduğundan partikül yörüngeleri şekil 5-5 'de gösterilmemiştir.



Şekil 5.5. Elipsoidal damlacıkların titreşimli hareketi ve girdap oluşumuyla gaz hareketi

Damlacık deformasyonunun ilerlemesiyle bir diğ er ara durum; sıvının lamel gibi bir paraşüt şeklinde yayılmasıdır. Bu olay mevcut damlacık yüzeyinin partikül toplamada maksimuma eriştiğ i bir durumdur. Aktif partikül toplama yüzeyi paraşüt yüzeyi içindir. Bu hareket ve lamel yüzeye çarpmalardan hemen hiç etkilenmeyen partiküller aynı durumda kalıyorken gaz akım hatlarının yönünün ters çevrilmesi bu bölgeyi kapatır.

Paraşüt sadece ince sıvı lamellerle karakterize edilmemiş, aynı zamanda lamel kenarlarındaki sıvı halkalarıyla ve halkanın kopma noktasındaki küçük damlacıklarla da karakterize edilmiştir. Atalet kuvvetlerinden dolayı, sıvı halkaları lamel'den kopacak ve küçük damlacıklar içinde parçalanacaktır. Arta kalan lamelde de yeni bir halka oluşacak ve ikinci bir damlacıkta tekrar kopacak ve parçalanacaktır. Bu proses, büyük damlacığın partiküller içeren küçük damlacıklara ayrılmasına kadar kendi kendine tekrar edecektir.

Elipsoidal damlacıkların ve paraşüt şekilli lamellerin ara safhaları, partikül toplamada çok etkilidir. İkinci safhada oluşan damlacıklar partikül toplamada oldukça etkisizdir, çünkü partiküllerle hemen hemen aynı hıza sahiptir.

5.2 Gaz ve Sıvı Arasındaki Temas Yüzeyi Bölgesinin Teşekkülü

Sıvı ve gaz arasındaki temas yüzeyi bölgesi, partiküllerin potansiyel bir toplayıcısıdır. Bu bölgenin aktif bir partikül toplayıcı olması; boyutuna, partikül yüklü gaz akımı içindeki dağıtımına, partikülün izafi hareketine ve temas yüzeyine bağlıdır.

Temas yüzey bölgesi genellikle partikül yüklü gaz akımında: a) Sıvı filmlerinin,

b) Sıvı püskürtmelerinin,

c) Damlacıkların,

d) Kabarcıkların

yüzeyiyle gösterilmiştir.

Onun için temas yüzeyinin teşekkülü, sıvı filmlerinin, damlacıkların, püskürtmelerin, ve kabarcıkların teşekkülüyle yakından bir ilişkisi vardır. Bu prosesler ve partikül toplama ilişkisinin tesirleri ileri kısımlarda anlatılacaktır.

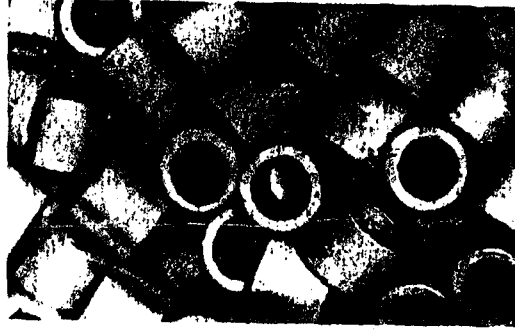
5.2.1 Sıvı Filmlerinin Teşekkülü

Sıvı filmleri, sıvının çeşitli dolgu malzemeler, tüp şeklindeki gruplar gibi katı elementlerin yüzeyi üzerinde yayılmasıyla meydana gelir.

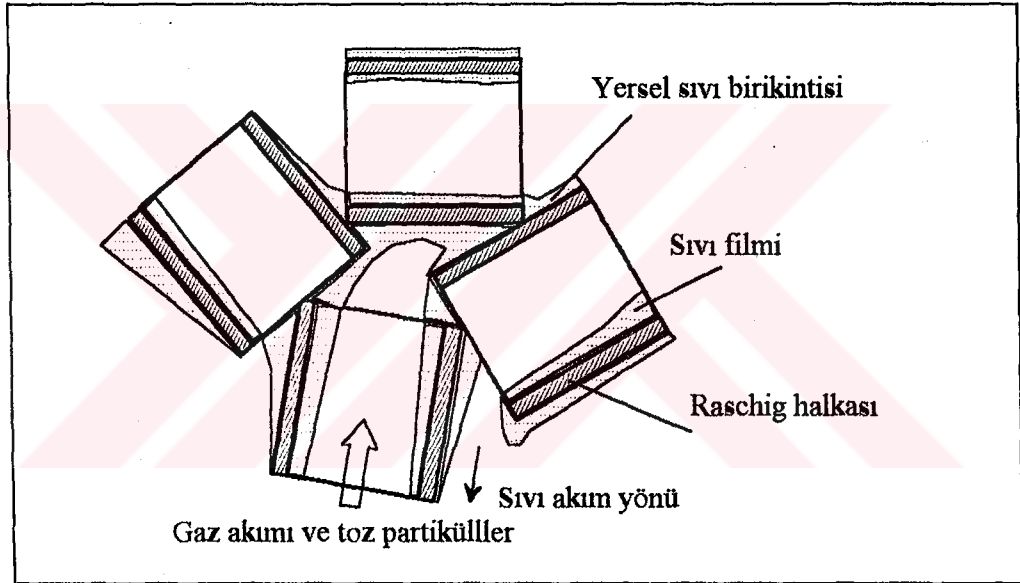
Dolgu malzemelerinin önem arzedenleri Raschig halkaları ve küresel parçacıklardır. Raschig halkaları içi boş ve çapı yüksekliğine eşit malzemelerdir. Şekil 5-6 'da gelişigüzel yerleştirilmiş Raschig halkaları gösterilmiştir. Şekil 5-7 'de de Raschig halkalarının yüzeyi üzerindeki sıvı dağılımı gösterilmiştir.

Genellikle ıslak dolgu malzemesinin içinde sıvı ve gazın paralel bir hareketi vardır. Sadece, gaz ve sıvı bir Raschig halkası veya diğer dolgu maddesinden hareket ettiğinde ince kesilmeler oluşur. Gaz akışının sıvı akışına dik bir hareketi olduğu gözlenir. Gaz ve sıvı dolgulu kolon içinde ya paralel ya da karşı akışlı olarak hareket eder. Paralel akış durumunda akış yönü aşağı ve yukarı doğrudur. Dolgu malzemesi hacminin içindeki temas yüzeyi bölgesinin dağıtımı oldukça iyi olmasına rağmen ıslak dolgulu kolon partikül yıkamada çok etkin şartlarda tavsiye edilmez. Bununla birlikte ıslak dolgunun üzerindeki basınç düşümü de nispeten düşüktür.

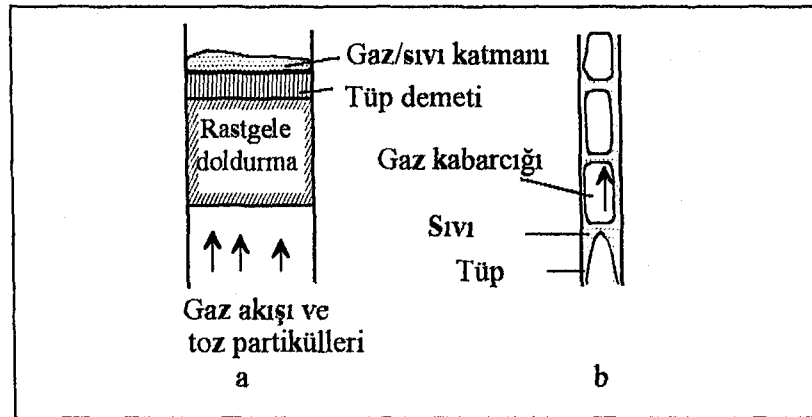
Islak dolgulu bir kolonun partikül toplama verimi, ancak taşma şartları altında işletildiğinde iyileştirilir. Bu durumda gazın yukarı doğru akışıyla, sıvının aşağı doğru akışı engellenir. Dolgu içerisinde her iki fazın yoğun bir karışımı meydana gelir. Aynı zamanda bir sıvı-gaz tabakası içerisinde gaz fokurdarken dolgu malzemesinin en üst kısmında bir tabaka toplanır. Partiküllerin çapı ile karşılaştırıldığında kabarcık boyutları çok geniştir ve partikül ile sıvı temas yüzeyi arasındaki izafi hızları çok



Şekil 5-6 Raschig halkalarının rasgele yerleştirilmiş hali



Şekil 5.7. Rastgele yerleştirilmiş Raschig halkaları içinde gaz ve sıvı akımın şematik gösterimi



Şekil 5.8. Rastgele dolguların ve tüp demetlerin yerleştirilmesi

küçüktür. Bu sebepten dolayı ıslak dolgulu kolon partikül toplamada umulandan çok daha az tesirli bir durumdadır.

Toplama veriminin çok daha iyi bir duruma getirilmesi, şekil 5-8a 'da gösterildiği gibi rasgele yerleştirilmiş dolgu malzemelerinin veya bir başka malzemenin üzerinde sıkı sıkı yerleştirilmiş paralel tüplerden bir hüzmeyin elde edilmesiyle olabilir. Bu olayda gaz ve sıvı aynı yönde hareket ederler. Bir tüp içerisindeki gaz ve sıvı hareketi şekil 5-8b 'de gösterilmiştir. Hüzmeye çapları 2-4 mm arasındaki tüplerden yapılır. Dar tüpler, yüzey gerilimini silindirik şekilli kabarcıkların teşekkülüne zorlar. Tüp içinde basınç farkının kabarcıkları zorlamasından dolayı, gaz ve sıvı arasındaki izafi hız oldukça fark edilir bir duruma gelir. İzafi hız ve küçük çaplı kabarcıklar partikül toplama verimini elverişli bir hale getirir.

5.2.2 Sıvı Jetlerinin (Püskürtmesinin) Teşekkülü

Jet (püskürtmeli) yıkayıcılardaki sıvı püskürtmeleri sıvı temas yüzeyi bölgesinin meydana gelmesi için kullanılır. Şekil 5-9 'da bir basınç nozülünden çıkan püskürtme gösterilmiştir. Mutlak bir uzunluktan sonra Jet (püskürtme), bir damlacık toplayıcısı içinde geniş bir damlacık çapında parçalara ayrılarak dağıtım yapılır. Gazın hareketi püskürtmeye paraleldir. Püskürtmenin parçalara (zerreciklere) ayrılması prosesi esnasında yoğun bir gaz ve sıvı damalcık karışımı meydana gelir. Daha aşağı doğru bir akımda ise sıvı-gaz karışımı püskürtmeyi sıvı deposunun yüzeyine çarparak, bu sıvı üzerinde de ayrılmaya uğrar. Partikül ile sıvı yüzeyi arasındaki izafi hızın küçük olmasından dolayı, bu sistemin toplama verimi toz hüzmeyesiz ıslak dolgulu kolonun toplama veriminden biraz daha yüksektir. Su püskürtme pompalama etkisi gaz akımı içindeki basınç düşümüne meydan vermez. Jet (püskürtme) kolon içinde temas yüzey bölgesindeki dağıtım da tatmin edicidir.

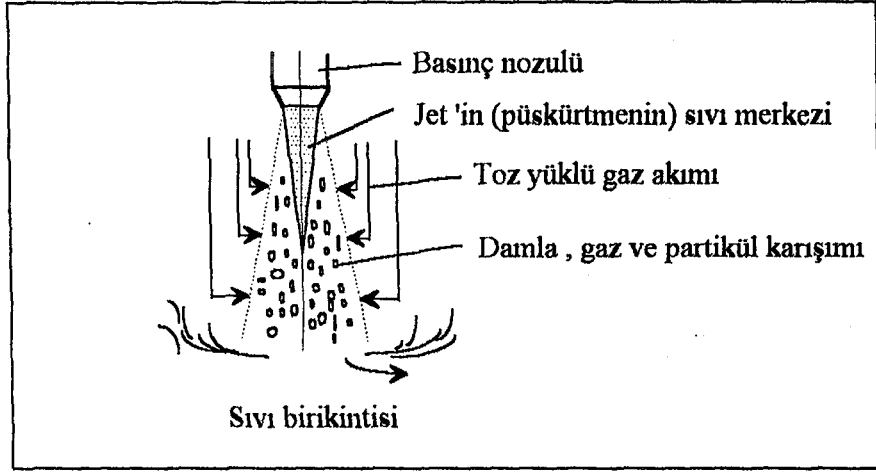
5.2.3 Damlacıkların Teşekkülü

Hacimsel akış oranı verilmiş bir sıvıdan, sıvı damlacık teşekkülü ya etkin sürtünme kuvvetleriyle ya da atalet kuvvetleriyle olur.

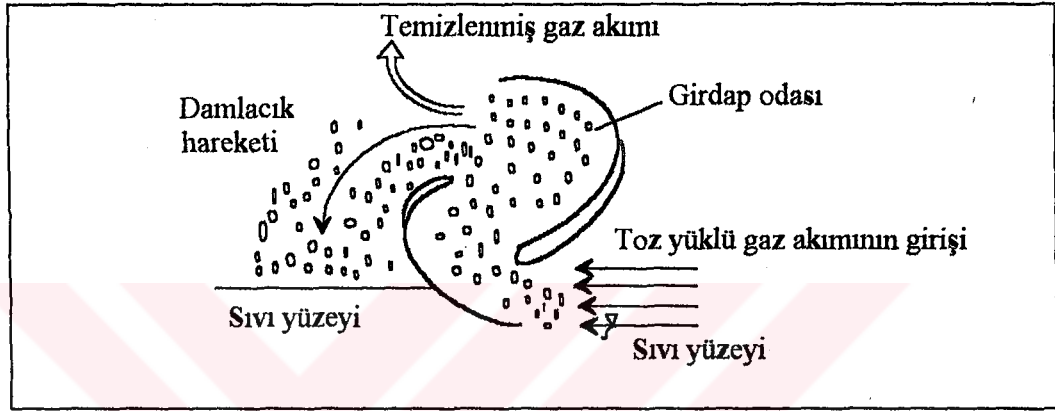
Sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle olan sıvı dağılımı pratik önem arzeden iki prosesten birisiyle yapılır. Birinci durum, şekil 5-10 'da gösterildiği gibi sıvı yüzeyine paralel olan yüksek hıza haiz partikül yüklü gaz akımının hareketiyle yapılan dağılımdır. Sıvı damlacıkları, sıvı yüzeyine paralel olan yüksek hızlı gaz akımıyla kütle sıvıdan ayrılır. Gaz ve sıvı damlacıkları bir girdap odasının içinden geçerler. Genel akış yönünün bir değişiliğe uğradığı bu oda içerisinde, partiküllerin gerekli izafi hareketi ve etkili bir partikül toplama hareketi için gerekli damlacıklar üretilir. girdap odasından ayrıldıktan sonra karışımdan partikül yüklü damlacıklar ayrılır ve böylece temiz (saf) gaz elde edilir. Bu damlacıklar gaz hızına bağlı olarak nispeten geniştir. Endüstriyel uygulamalarda damlacık boyutlarının limitlerinde ve toplama veriminin sonucu olarak mücadele edilebilir basınç düşümü ayarlanır.

Sıvı dağılımının ikinci durumu ise sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle olur. Büyük damlacıkların ön üretimi ve nakli, yüksek hıza haiz gaz/partikül akımında daha fazla parçalanmaya uğraması ve küçük damlacıkları meydana getirmesiyle olur. Bu proses bir Venturi yıkayıcı içinde meydana gelir. Partikül toplama şekil 5-4 (kısım 5.1.3) 'de tanımlanmıştır. Büyük damlacıkların girişi, daha fazla partikül toplama veriminin elverişli olması için gaz-partikül akımının en yüksek hıza sahip olduğu, Venturi yıkayıcısının boğazında basınç nozüllerinin ayarlanmasıyla tamamlanır. Venturi yıkayıcılarda, mevcut hacim içindeki temas yüzey bölgesinin dağıtımı çok iyidir. Bu sebepten Venturi yıkayıcıların hacmi çok küçüktür.

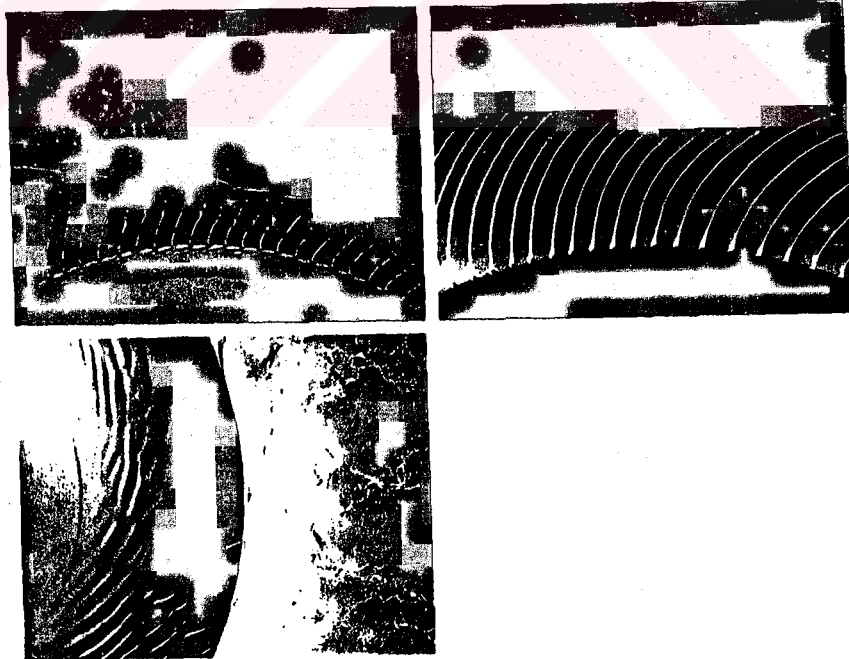
Atalet kuvvetleri etkisiyle damlacık teşekkülü döner disklerle yapılır. Sıvı, eksende ve döner disk yüzeyinin üzerinde ince bir film formunda beslenir. Disk çevresinin



Şekil 5.9. Bir sıvı jetinin (püskürtmesinin) dağılımı



Şekil 5.10 Bir girdap odasında gaz akımıyla sıvı dağılımı



Şekil 5.11 Çeşitli döner hızlarda bir döner disk vasıtasıyla sıvı dağılımının fotoğrafı

etrafında, daha fazla parçalanma meydana getirecek bir sıvı halkası toplanır. Şekil 5-11 'deki birkaç fotoğrafta döner diskle sıvı püskürtmesi yapan çeşitli mekanizmalar gösterilmiştir. Damlacıkların çapı, kenar dışındaki sıvı film tabakasının kalınlığına ve diskin dönme hızına bağlı olarak elde edilir. Devir sayısının artmasıyla damlacık çapı azalır. Toz partikül toplama prosesi şekil 5-3 (kısım 3.1.2) 'de tanımlanmıştır. Damlacık dağıtımı, genelde çok küçük kalınlıktaki yatay bir tabaka içinde döner disk vasıtasıyla olur. Daha evvelde kısım 5.1.2 ve 5.1.3 'de de belirtildiği gibi, partikül toplama tecrübeleri, damlacık ve partikül arasındaki çok fazla bir izafi hız ile sistemlerde oldukça fazla verimli olmuştur. Bu tür sistemler döner disk ve Venturi yıkayıcılarla gerçekleştirilir.

5.2.4 Kabarcıkların Teşekkülü

Gazın büyük bir hacmi içinde ve sıvının küçük bir hacminde dağıtım yerine, sıvının geniş bir hacmi içerisinde partikül yüklü gazın büyük bir hacminde dağıtım olabilir ve sonuçta bu durum arzu edilebilir. Genelde bu gibi sistemler bir kabarcık içindeki partikül ve gaz arasındaki izafi hızın son derece düşük olmasından dolayı oldukça etkisizdir. Bunun için düşük verimli sistemler burada ele alınmayacaktır.

BÖLÜM 6**ISLAK YIKAYICI ÇEŞİTLERİ ve ISLAK YIKAYICILARA AİT HESAPLAMALAR****6.1 Giriş**

Islak yıkayıcılar, bir bütün olarak kategori gösteriminde tek bir tip olmayacak şekilde dikkate alınıp, çok çeşitli şekillerde dizayn edilirler. Bazı üniteler, partikül ayrıştırmada sıvı bir fazın girişine yardımcı olmasıyla mevcut bir kuru tip toplayıcının değiştirilmesiyle meydana gelirler ve partikül saçılmasını önlerler. Basınç düşümü ve sıvı akış oranı gibi işletme parametreleri arasında bir ilişkiyi genelleştirmek zordur. Toplama mekanizmasının aynı anda çalışması her bir tip yıkayıcının çoğunda olağan bir durum olduğu için partikül toplama mekanizmalarına göre de ıslak yıkayıcıları sınıflandırmak zordur. Bununla birlikte ıslak yıkayıcıları basınç düşümüne (veya enerji tüketimine) göre sınıflandırmak mümkündür. Düşük enerjili yıkayıcılar, basınç düşümü 12 cmSS 'dan az, Orta enerjili yıkayıcılar, basınç düşümü 12 - 40 cmSS, Yüksek enerjili yıkayıcılar da basınç düşümü 40 cmSS 'dan büyük olan cihazlardır.

Islak yıkayıcıları hernekadar sınıflandırmak zor olmasına rağmen yine de bunları 5 ana grupta toplayabiliriz:

1. Kolon Yıkayıcılar
 - a. Püskürtme nozüllü yıkayıcılar
 - b. Santrifüj fanlı yıkayıcılar
 - c. Dolgu yataklı yıkayıcılar
 - d. Hareket eden yataklı yıkayıcılar
2. Jet (püskürtmeli veya memeli) yıkayıcılar
3. Vorteks (girdaplı) yıkayıcılar
4. Yıkama makinaları
 - a. Dinamik toplayıcılar
 - b. Orifis tip yıkayıcılar
 - c. Çarpma plakalı yıkayıcılar
 - d. Atomize mekanik yıkayıcılar
 - e. Döner diskli yıkayıcılar
5. Venturi yıkayıcılar

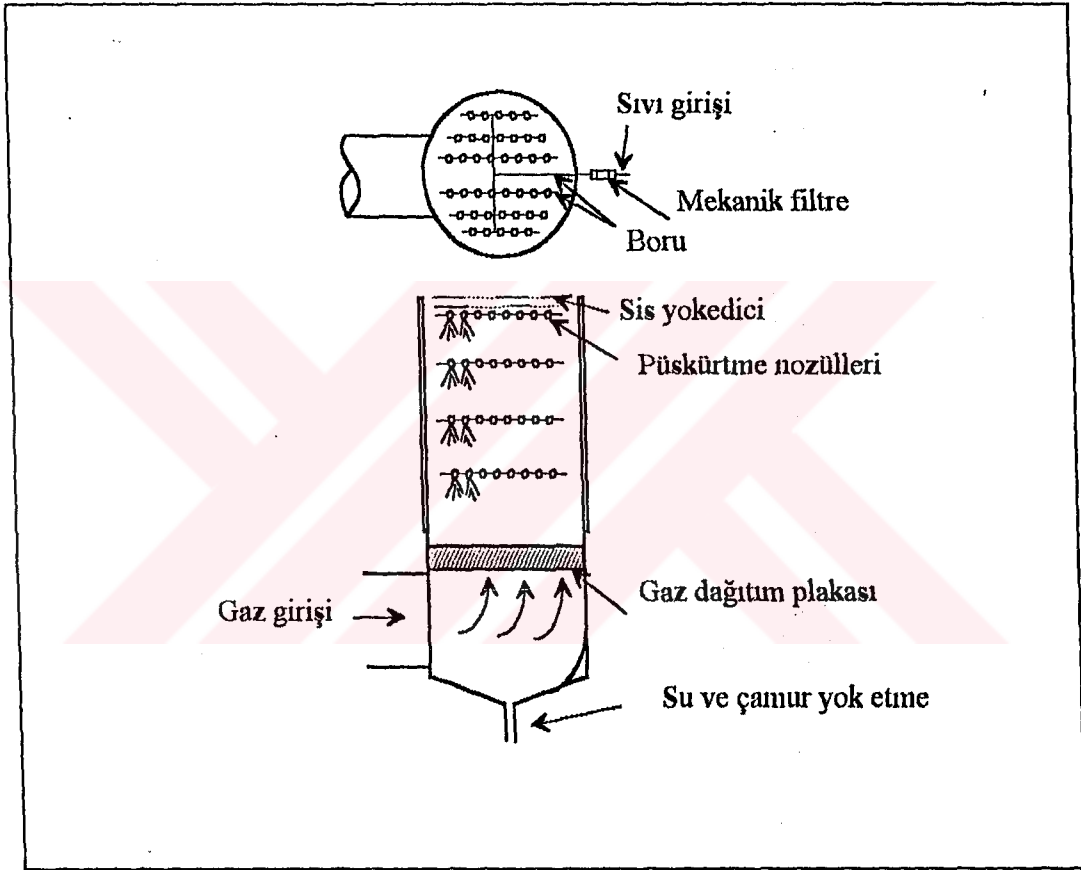
1. Kolon Yıkayıcılar

Kolon yıkayıcıların çeşitli tipleri endüstride bugün hala kullanılmaktadır.

a. Püskürtme Nozüllü Yıkayıcılar

Püskürtme nozüllü yıkayıcılar, yükselen gaz akımının içinden geçen sıvı damlacıkları üreten ve daha sonra bu damlacıkları püskürtme odasının en altında toplayıp boşaltan düşük enerjili yıkayıcılardır (Şekil 6-1). Damlacıklara genelde püskürtme tüleleri içinde form (Şekil) verilir. Püskürtme, gazın gövdenin içine doğru yöneltilip, sıvı zerreciklerin içinde nakledilmesiyle olur. Dikey bir kulede damlacık ile gaz arasındaki izafi hız neticede damlacıkların çökme hızıdır. Bununla birlikte püskürtme damlacıklarının yeniden saçılmasını önlemek için damlacık çökme hızının yükselen gaz akımı hızından büyük olması gereklidir. Pratikte dikey hız 0.6 - 1.5 m/s arasındadır. Daha yüksek hızlar elde etmek için kulenin en üstünde bir sis (buğu) çıkarıcı kullanılmalıdır.

Püskürtme nozüllü yıkayıcılar, bütün yıkayıcılarda olduğu gibi partikül toplama ve kütle transferinin (gaz absorpsiyonu) her ikisi içinde uygundur. İşletme karakteristiklerine düşük basınç (gaz dağıtım plakası ve sis [buğu] çıkarıcısının özel olmasından dolayı 2.5 - 5 cmSS dur), yüksek oranda katı içeriğine sahip püskürtme zerrecikleri dahildir ve sıvı ihtiyacı $0.4 - 2.6 \text{ l/m}^3$ işlenmiş gaz 'dır. Bu tip yıkayıcılar, büyük gaz hacimlerinin kullanılmasına elverişli olup, gaz akımı sıcaklığını azaltmak için önsoğutucu olarak sıkça kullanılır. Gaz oranı $4000 - 12000 \text{ kg/m}^2\text{h}$ 'dir. Kolon içinde gazı tutma süresi 20 - 30 sn. 'dir. $0 - 5 \mu\text{m}$ arasındaki toz partiküller için düşük yıkama verimi bu tip yıkayıcıların başlıca dezavantajıdır. Partiküllerin $10 \mu\text{m}$ 'den daha büyük olması durumunda ayrıştırma verimi % 70 'e kadar çıkmaktadır. 7 - 28 bar arasındaki yüksek basınç püskürtmelerinin eklenmesiyle verim yükseltilebilir. Püskürtme basıncının kullanılmasına bağlı olarak verimler % 20 arttırılabilir. Bölme duvarlarının (veya perdelerin)



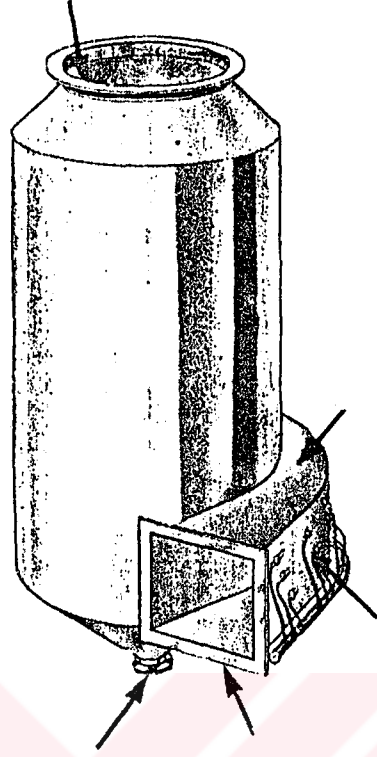
Şekil 6.1. Püskürtme Nozullü Yıkayıcı

kullanılmasıyla da toplama verimi artabilir. Püskürtme nozüllü yıkayıcıların en önemli avantajı yüksek toz derişimlerini işleme kabiliyetinin olmasıdır. Ünitelerin büyük olmalarına rağmen ucuz olmaları, 25 μm 'den büyük tozların toplanmasında başlıca olarak kullanılmaları ve önsoğutucu olarak kullanılmaları avantajlarıdır.

b. Santrifüj Fanlı Yıkayıcılar

Partikül toplama verimi, damlacıklar ile gaz akımı arasındaki izafi hızın arttırılmasıyla yükseltilir. Partiküllerin, aynı hızdaki gaz akımında hareket ettiği kabul edilir. Bu izafi hızda bir artış, savrulmuş bir gaz akımının santrifüj kuvvetinin kullanılmasıyla elde edilebilir. Savrulma, gazın yıkayıcıya teğetsel bir şekilde girişinden veya sabit girdap kanatlarına karşı gaz akımının yönlendirilmesinden meydana gelebilir. Spesifik tesisatlar için normal bir şekilde dizayn edilmelerine karşın, siklonik püskürtmeli yıkayıcılar, gaz giriş hızını 30 m/s ve daha yukarısına çıkarabilir. Şekil 6-2 ve şekil 6-3 'de gösterilen santrifüj sistemlerdeki ana unsur toplanmış partiküllerin yeniden saçılmasını (dağılmasını) engelleyerek ıslak duvarlardan bunların çıkarılmasıdır. Su oranı 0.26 - 134 l/m³ işlenmiş gaz arasında ve basınç düşümlüde 500 - 1500 N/m² arasındadır. Şekil 6 -4 'de sıvı püskürtmesi, merkezi bir boru manifoldu içinde püskürtme setinden dışarı doğru yapılmaktadır. Bu tarz bir püskürtme, püskürtme damlacıklarının üstüne partikül çarpmalarının artmasıyla toplama verimini yükseltir. Püskürtme, şekil 6-5 'de görüldüğü gibi duvarlardan yapılmakta ve çok daha kolay bir işlem olmaktadır. Bununla birlikte püskürtmenin yıkayıcının dışından etki edilebilir bir şekilde yapılabilmesinden dolayı, toplanmış partikül içeren sıvı damlacıklarının toplayıcı duvarlarına erişmesi için yeterli zaman verilmesi genellikle püskürtme olmayan bir bölgeden sağlanır. Böylelikle de temizlenmiş gaz akımının tekrar üniteye girişi engellenmiş olur. Şekil 6 - 6 'da, sabit kanatlar ve impeller 'le gaz akımına döner bir hareketin

Temiz gaz çıkışı



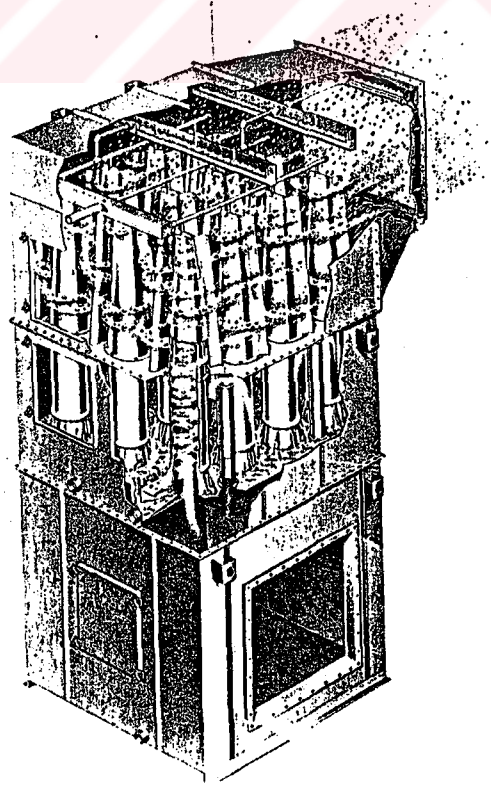
helisel gaz girişi

duvara monteli
püskürtme

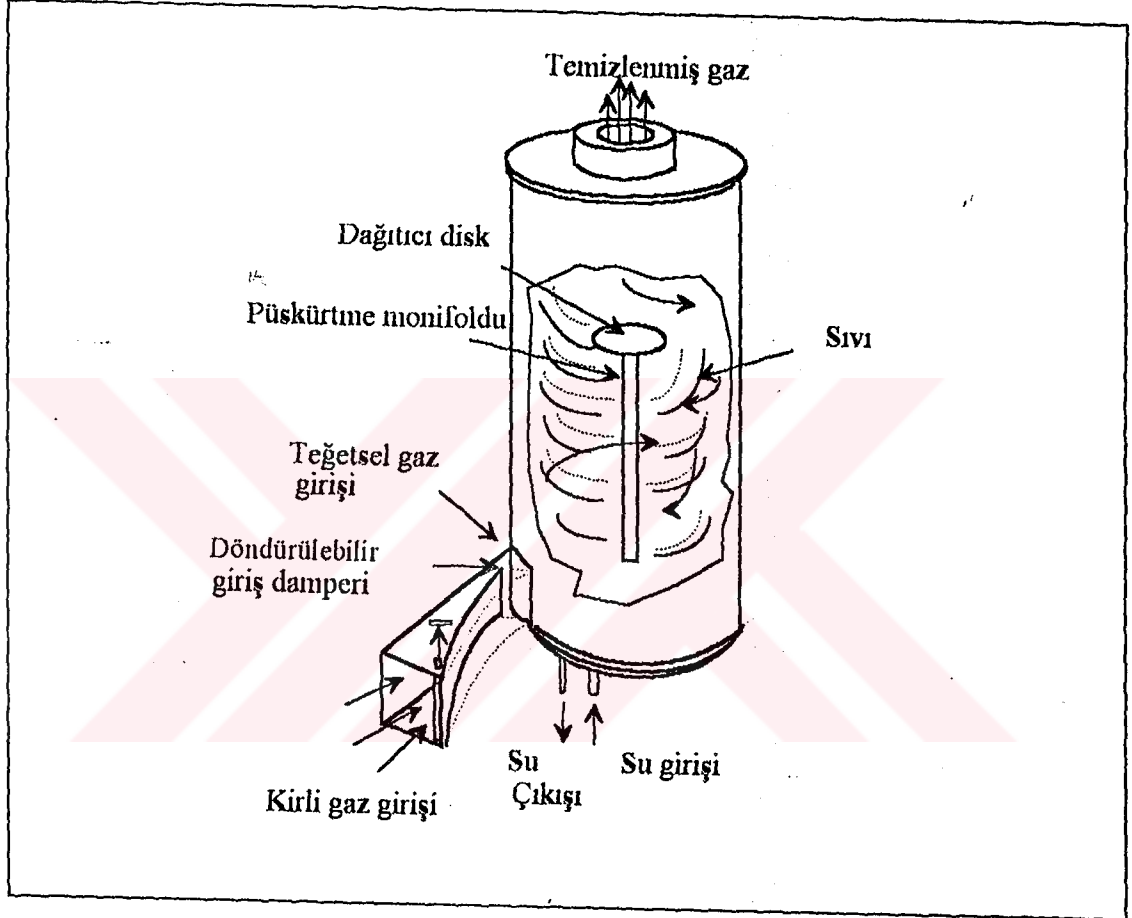
drenaj

kirli gaz girişi

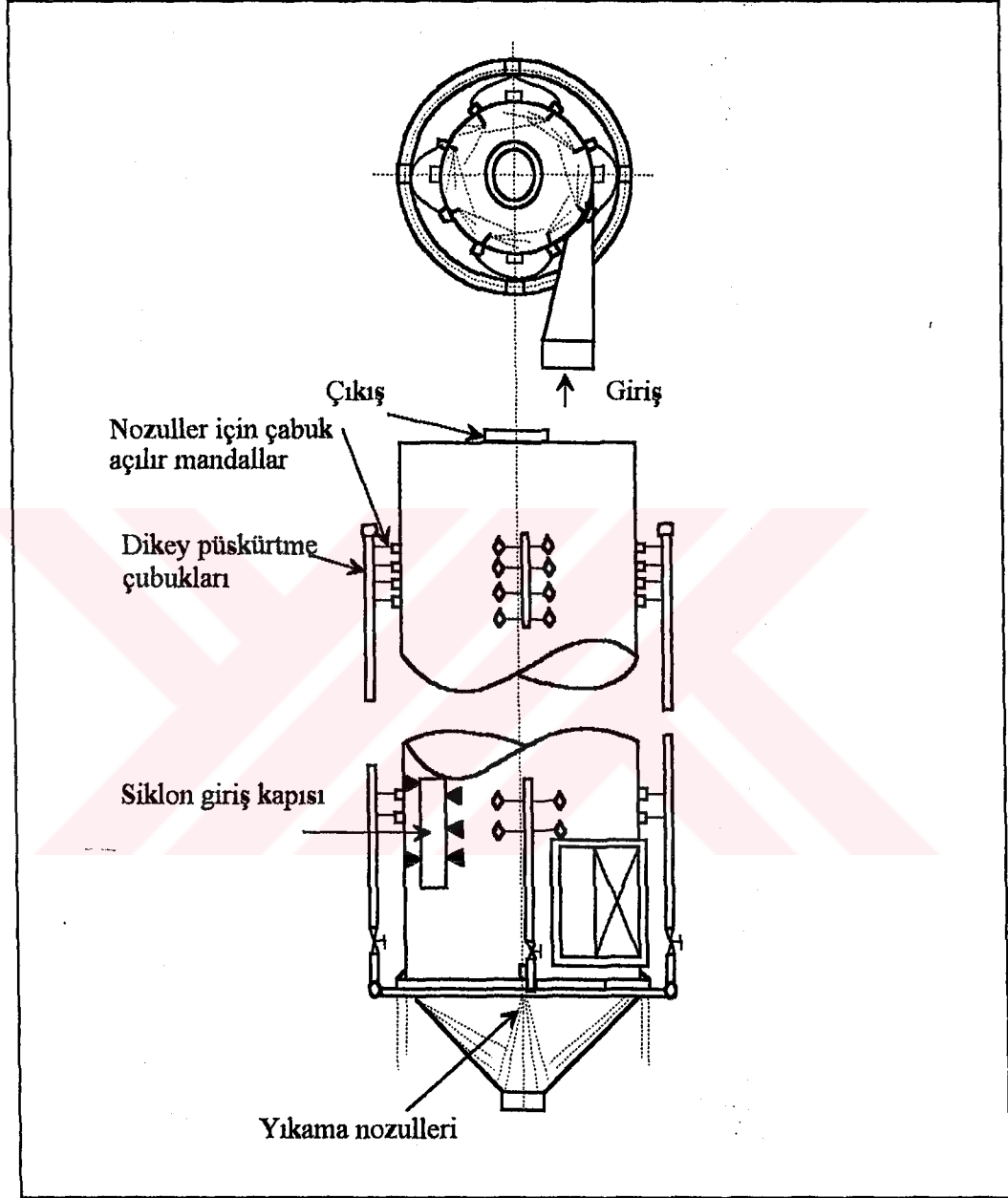
Şekil 6.2 Siklonik püskürtmeli yıkayıcı



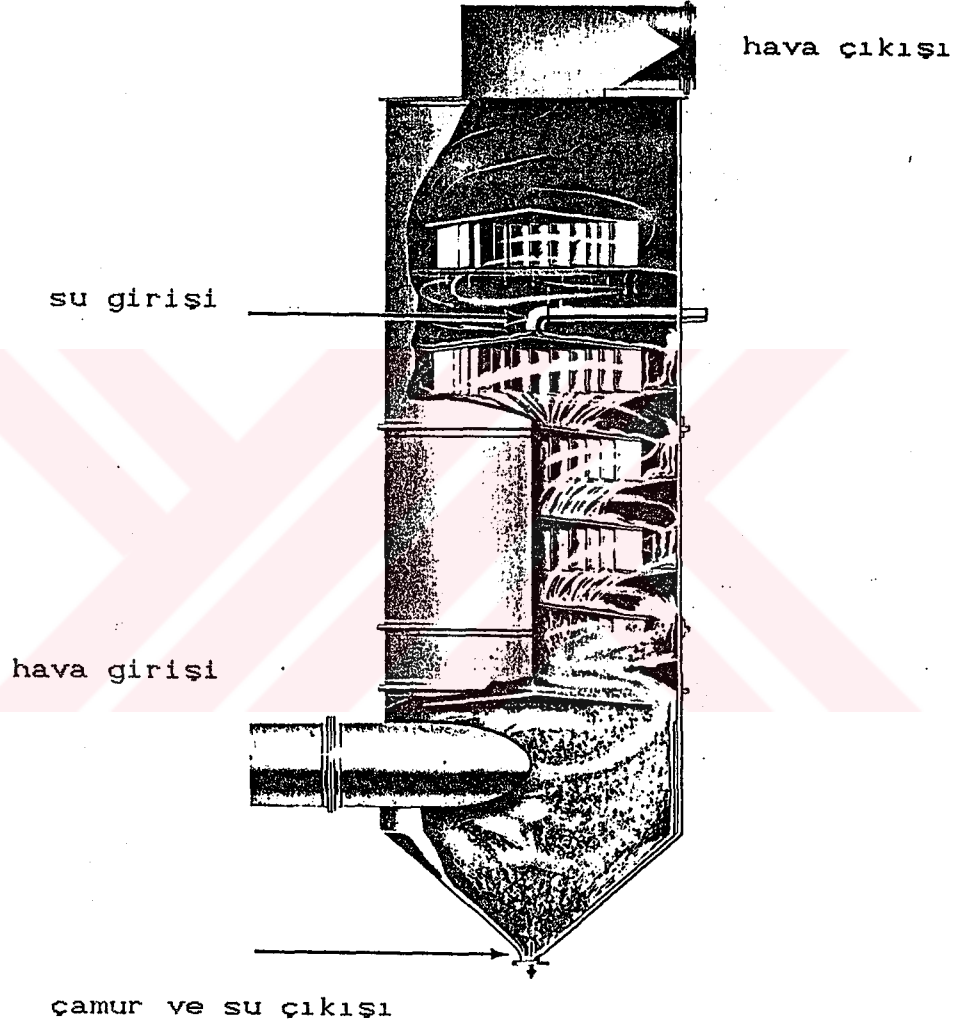
Şekil 6.3 Silindirik tip santrifüj ıslak yıkayıcı



Şekil 6.4. Siklonik Yıkayıcı



Şekil 6.5. Siklonik püskürtmeli yıkayıcı



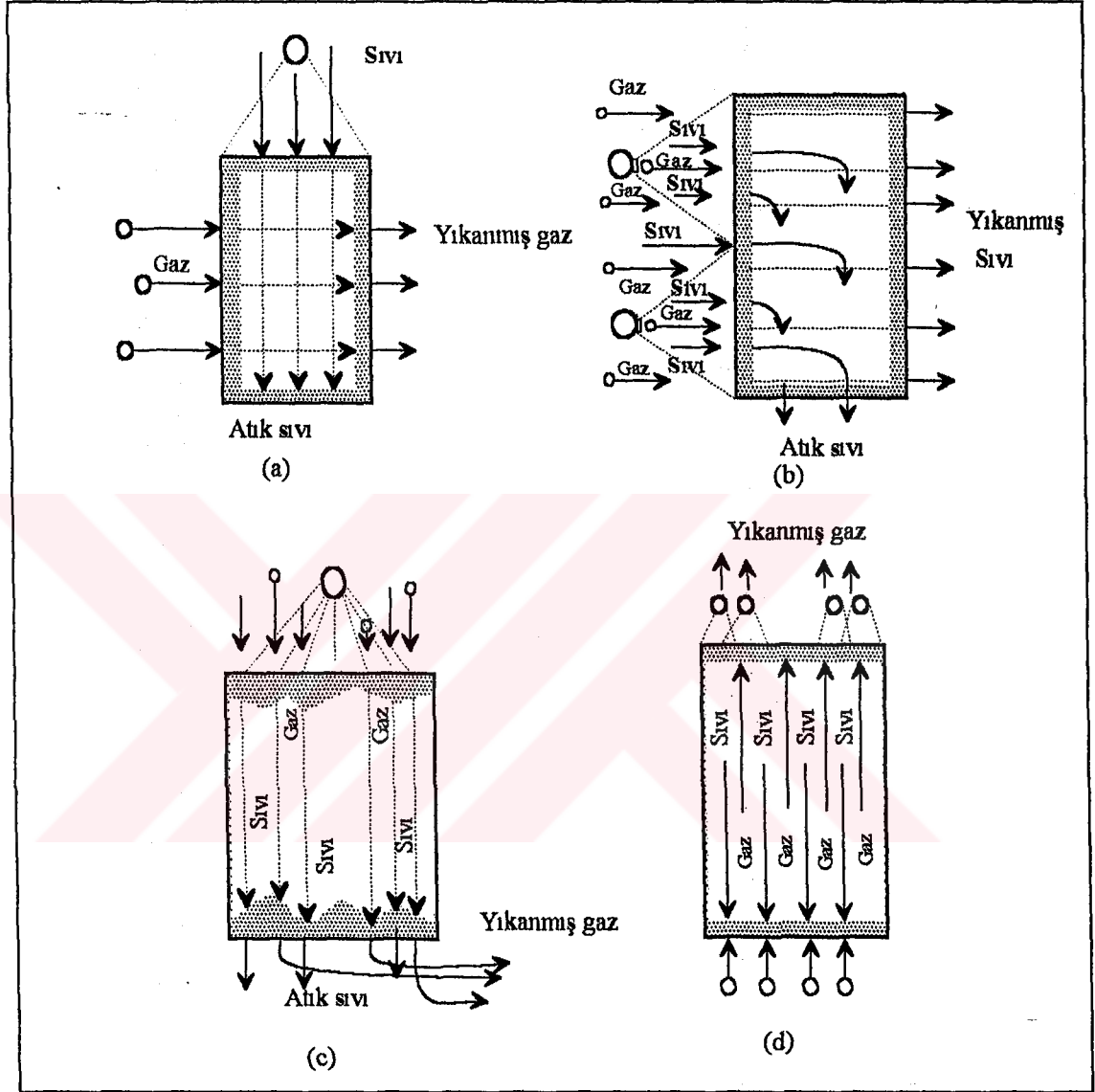
Şekil 6.6 Çok kademeli ytkayıcı

kazandırıldığı bir örnek görülmektedir. Burada yıkama sıvısı, yıkayıcıya bir püskürtme veya bir sıvı akımı olarak merkezi bir şekilde girmektedir.

c. Dolgu Yataklı Yıkayıcılar

Dolgu yataklı yıkayıcılar, kirli gazların ve bunların ayrıştırılmasındaki normal uygulamalarda kullanılır. Bununla birlikte partikül ayrıştırılması için de dikkate alınmıştır. Bu yıkayıcı içindeki dolguların, partikül ayrıştırılmasında etkili olarak işletilebilmesi için 4 genel yol vardır (Şekil 6 - 7). Çapraz akımlı yıkayıcılar, nispeten büyük partikülleri etkili bir şekilde ayrıştıracaktır ve aynı zamanda sıvı partiküllerin ayrışması içinde kullanılacaktır. Paralel akımlı yıkayıcı, katı ve sıvı partiküllerin her ikisinin de ayrıştırılmasında çapraz akımlı yıkayıcıdan az çok daha etkilidir. 3 - 5 μm kadar küçük partiküllerin toplanması için, dolgulu karşı (zıt) akımlı yıkayıcıların çok etkili oldukları bulunmuştur. Karşı akımlı yıkayıcıların işletilmesinde gerekli olan sıvı oranı, çapraz ve paralel tip yıkayıcılarinkinden çok daha fazladır. Dolgulu karşı akımlı yıkayıcılarda yatak derinliği 0.6 - 2 m , gaz hızları oranı 1 - 2 m/s arasındadır. Çapraz akımlı yıkayıcıların dolgu derinliği 0.6 m 'dir.

Partikül boyutunun azalmasıyla, partikül ayrıştırılmasının zorluğunda bir artış olur. 1 μm 'deki bir partikül 0.1 μm 'deki bir partikülden 10 kat daha büyüktür. Fakat bu durum daha büyük bir yüzey alanda 100 kat, daha büyük bir ağırlıkta 1000 kat olacaktır. Partikül boyutunun azalmasından yüzey alanı/kütle oranı hızla artacak, neticede yüzey özellikleri kütle özelliklerine göre daha fazla etkin (baskın) olabilecektir. Bu olduğu zaman, çarpma ile gaz akımından ayrılan partiküllere izin verilmesi için, daha yüksek hızlar ve akım yönünde daha hassas değişiklikler istenir. Çapraz akımlı, paralel akımlı ve karşı (zıt) akımlı dolgulu yıkayıcılar 3 - 5 μm çapından daha küçük partiküllerin etkili bir şekilde ayrıştırılması



Şekil 6.7. Dolgu yataklı yıkayıcılar : (a) Capraz akımlı ; (b) Yatay paralel akımlı
(c) Paralel akımlı ; (d) Karşı (zıt) akımlı

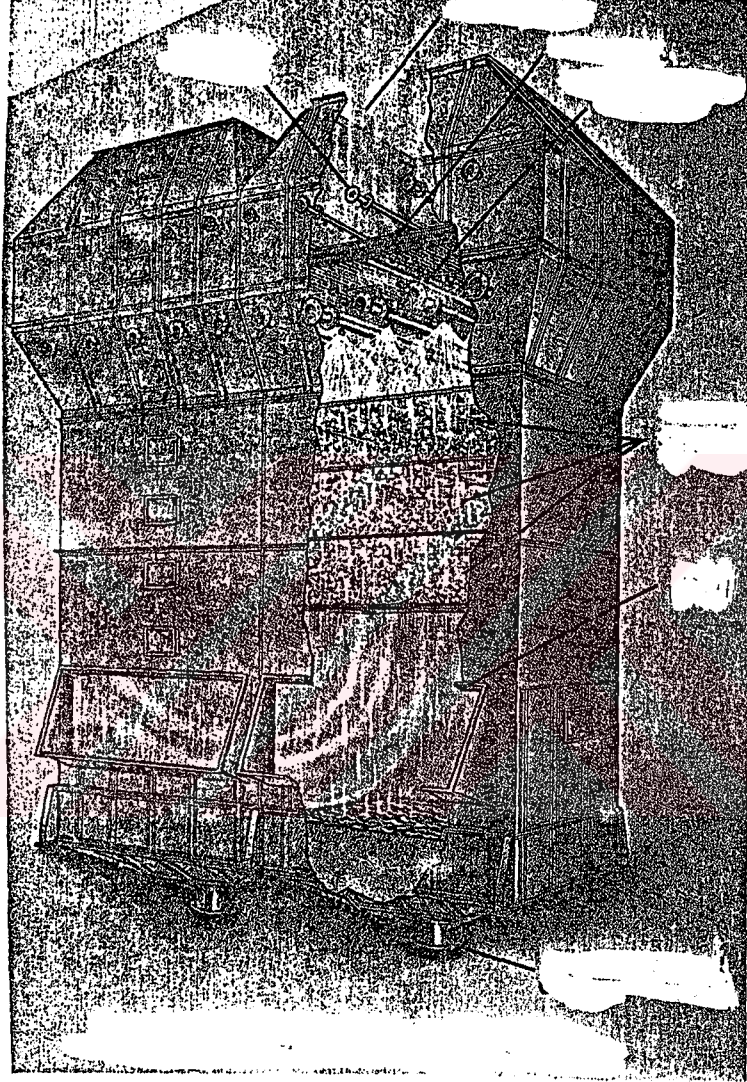
için yeterli yüksek bir gaz hızının elde edilmesine muktedir değildirler. Bu küçük çaplı partiküllerin ayrıştırılması için ihtiyaç olan hızlara erişmede daha fazla enerji kullanılmalı, taşmadan kaçınılmalı ve sıvı, gazla aynı yönde işleme sokulmalıdır.

Çapraz akımlı işletimlerde sıvı ihtiyacı $0.13 - 0.53 \text{ l/m}^3$ işlenmiş gaz'dır. Basınç düşümü ise $80 - 200 \text{ N/m}^2/\text{m}$ yatak derinliğidir. Karşı akımlı yıkayıcılar için sıvı ihtiyacı oranı $1.3 - 2.6 \text{ l/m}^3$ işlenmiş gaz 'dır. Basınç düşümü de $165 - 1225 \text{ N/m}^2/\text{m}$ yatak derinliğidir. Bununla birlikte bazı uyarlamalarda dolgu üstündeki tabaka üzerinde büyükçe etkili bir türbülans kullanımı gerçekleştirilir. Bu durumda, $1000 - 1500 \text{ N/m}^2$ oranlarındaki basınç düşümünde, $0.26 - 0.33 \text{ l/m}^3$ işlenmiş gaz oranından çok daha az yıkama sıvısı istenir. Paralel akımlı yıkayıcıda sıvı ihtiyacı $0.9 - 2 \text{ l/m}^3$ işlenmiş gaz 'dır.

Kaba dolgulu yataklar, $10 \mu\text{m}$ ve daha geniş iri partiküllerin ve sislerin (buğuların) ayrıştırılması için kullanılırlar. Yatak içinden geçerken akım hızı 2 m/s 'dir. Dolgu yataklı yıkayıcılar daha küçük orandaki kirleticilerin ayrıştırılması için de kullanılırlar. Fakat basınç düşümünün belli bir seviyede kalması için yatağın içinden geçen gazın hızı düşük bir seviyede tutulmalıdır. Tercih edilen hız 0.25 m/s 'dir. Dolgu yataklı yıkayıcıların tıkanmaya karşı büyük bir meyili vardır. Bundan dolayı uygulamalarında genellikle düşük tane yüklü gaz akımlarıyla işletilir.

d. Hareket Eden Yataklı (Akışkan Yataklı) Yıkayıcılar

Hareket eden yataklı (akışkan yataklı) yıkayıcılar, gaz ve sıvının iyiden iyiye karışabildiği hareketli dolguların bir bölgesinde gaz ve sıvıyı birbirine katar. Şekil 6 - 8 'de gösterildiği gibi sistemde $1\frac{1}{2}$ " çaplı düşük yoğunluklu polietilen ve polipropilen bilyaların meydana getirdiği dolgu kullanılır. Bu çapta bu bilyalar, üstteki ve alttaki yerinde tutulan ızgaralar arasındaki sürekli hareketi korurlar. Bu hareketin korunması için, bilyalar sürekli



Şekil 6.8 Hareket eden yataklı yıkayıcı

temizlenmeli ve yatak için tıkanma gibi eğilimleri iyice azaltılmalıdır. Basınç düşümleri $750 - 1250 \text{ N/m}^2$ arasındadır (kademe başına). $2 \mu\text{m}$ 'nin altındaki partiküller için toplama verimleri %99 'un üstünde olabilmektedir. Partikül toplama, seri bağlanmış birkaç kademeli hareket eden yatak kullanımıyla arttırılabilir.

2. Jet (Püskürtmeli veya Memeli) Yıkayıcılar

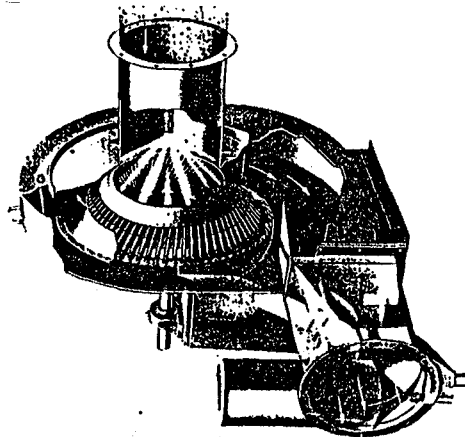
3. Vorteks (Girdaplı) Yıkayıcılar

Bu iki tip yıkayıcı hakkında detaylı bilgi ileriki bölümlerde verilecektir.

4. Yıkama makinaları

a. Dinamik Toplayıcılar

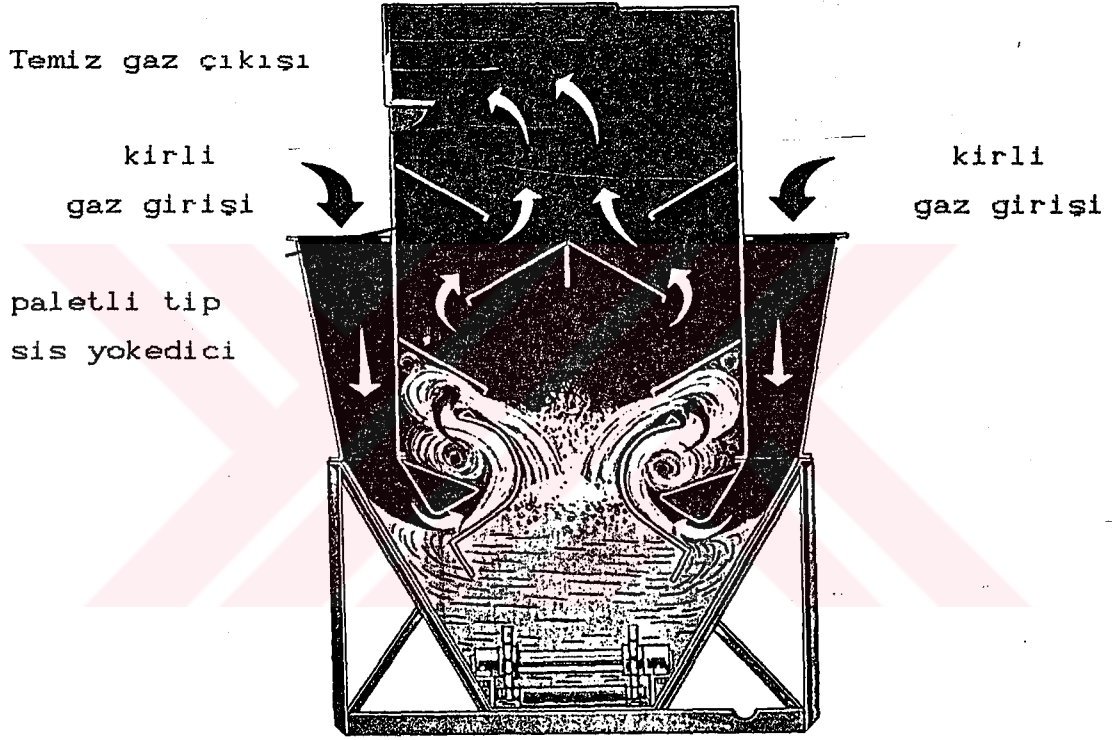
Şekil 6 - 9 'da resmedilmiş dinamik toplayıcılar, hava hareketlendiricileri (santrifüj üfleyiciler) olarak işe yaramaktadırlar. Çarpma için, elverişli bir zaman girişte püskürtme lüleleriyle ayarlanır. Lülelerden çıkan sıvı damlacıkları ve yakalanmamış partiküller özellikle döner tekerlekli fanın tekerleklerinin geçmelidir. Santrifüj kuvvet ve kanatçıklardaki çarpma, daha fazla toplama ve su ayırımı için kullanılır. Fan tekerleğinin dengesiz çalışıp, üzerinde çamur birikmesinden dolayı, bazı problemler doğar. Çamur temiz akımdan ayrıştırılır ve boşaltılır. Dizayn basıncı 1500 N/m^2 , maksimum basınç 2200 N/m^2 'dir. Su oranı $0.07 - 0.2 \text{ l/m}^3$ işlenmiş gaz 'dır. Toplama verimi, 1500 N/m^2 basınç düşümünde, diğer yıkayıcılarla benzerdir. Bu tip yıkayıcıların başlıca avantajları sağlamlık makul güç ihtiyacı ve düşük su tüketimidir.



Şekil 6-9 Santrifüj fanlı
yatak yıkayıcı

b. Orifis Tip Yıkayıcılar

Orifis tip ıslak yıkayıcılarda (bazen otomatik indüklemeli püskürtmeli yıkayıcılar olarak da isimlendirilir), gaz akımı bir daralma (dalmalı bir delikle) ile girişte bir sıvı havuzuyla temasa gelir. Sıvı, sıvı ve partikül etkileşiminin büyük olduğu büzülmenin içine doğru taşınır ve işletilir. Sonuçta damlacıklar üzerine yüksek frekanslı partikül çarpma (şekil 6 - 10).



Şekil 6 -10 Orifis tip yıkayıcı [12]

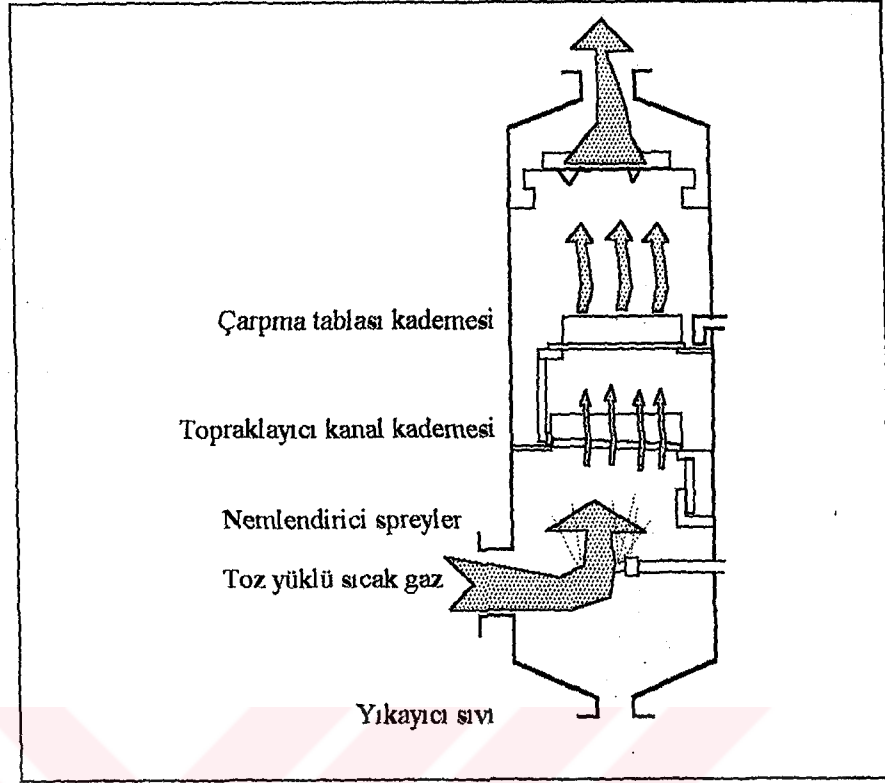
Gaz hızının büzülme içinde azalmasından dolayı su damlacıklarının çoğu (ki bunlar yeterli büyüklüktedir) yerçekimiyle ayrılır. Küçük damlacıklar ise, ünitenin üst kısmına yerleştirilmiş çarpma perdeleri ve santrifüj kuvvetleriyle ayrıştırılır. Hareketin olduğu büzülmedeki su oranı $1.3 - 3.3 \text{ l/m}^3$ işlenmiş gazdır. Gaz hızında 15 m/s olup $300 - 400 \mu\text{m}$ büyüklüğünde damlacıklar meydana getirebilir. Suyun çoğu havuzdan tekrar devridaim yapılır (bundan dolayı bu yeniden yıkayıcıya verilmez, o zaman da su ihtiyacı $0.13 - 0.4 \text{ l/m}^3$ işlenmiş gazdır). Basınç düşümü $750 - 2500 \text{ N/m}^2$ olup, toplama verimi ise $\%90 - \%95$ oranındadır. Bu sistemin

başlıca avantajı yüksek toz derişimlerine (tıkanmaya neden olan hassas toleranslar yoktur) ve yüksek miktarlarda katı içeren çamurlara muktedir olmasıdır.

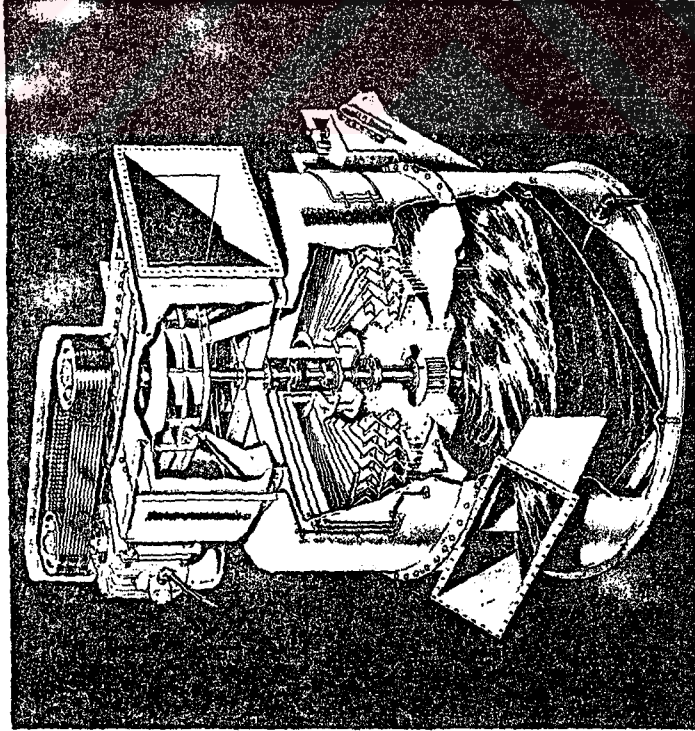
Bu sistemin önemsiz bir tipi Venturi çarpmalı bir yıkayıcıyla birleştirilmiştir. Yıkama kısmı, bir sıvı deposu ve aşağısında da bir Venturi boğazı kısmını içerir. Ayarlanabilir bir su bendi, sabit bir sıvı seviyesinin tutulmasıyla sağlanır. Yıkama sıvısı en üstteki yıkayıcı tüpün yanındaki lülelerin içinden tekrar verilir (devridaimi yapılıdır. Devridaim miktarı $0.40 - 0.94 \text{ l/m}^3$ yoğunlaşmış gazdır). Yıkama sıvısı, tüpün ve Venturi'nin boğaz kısmının içine doğru aşağı yönde akarak yüksek hızlı gazlar vasıtasıyla saptırılır ve zerreciklere ayrıştırılır. Yüksek hızlı gaz akımıyla belirli bir şekle giren damlacıklara partiküller çarpar. Boğaz kısmında oldukça düşük bir seviyede olan suya gazlar çarptığında ikinci bir yıkama meydana gelir. Su ihtiyacı çamur boşaltmadan ve buharlaşmadan meydana gelen kayıpların telafisi için ayarlanmıştır. Çoğu şartlarda bu oran yaklaşık 0.07 l/m^3 gazdır. $0.5 \mu\text{m}$ çapındaki küçük partiküller için verim nispeten yüksektir. Basınç düşümü $2000 - 3750 \text{ N/m}^2$ 'dir.

c. Çarpma Plakalı Yıkayıcılar

Çarpma plakalı yıkayıcılarda her bir delik üzerine bir çarpma perdesiyle, delikli plakalar kullanılır (şekil. 6 - 11). Buradaki gaye, gaz akımının kinetik enerjisinin kullanılması vasıtasıyla; a sıvının yüzey alanını büyütme'dir. Orifisin içindeki gaz hızları $4.5 - 6 \text{ m/s}$ 'dir. Her bir jet (meme), örtüden sıvı püskürtür ve perde üzerinde ıslak bir yüzey oluşturup, jet hızının maksimum olduğu noktaya yerleştirilir. Islak bir hedef üzerindeki yönlendirilmiş çarpma, dinamik olarak partikülleri çökertir ve yıkama sıvısı içinde partikülleri yakalar. Çarpma üzerinde her bir jet, önemsiz gaz kabarcıkları oluşturur. Bu kabarcıklar jet içinde sürekli artar ve jet sıvı örtü içerisinde türbülanslar oluşturur. Bu da maksimum temizleme için oldukça kapalı gaz-sıvı temasını sağlar. Yakalanmış



Şeki 6.11. Çarpma plakalı yıkayıcı



Şekil 6-12 Merkezi püskürtmeli yüksek hızlı yıkayıcı

olan partiküllerin çökmesini engelleme, kabarcıkla birlikte sıvı örtüsünün devamlı olarak iyice karıştırılmasıyla olur ve yıkayıcı sıvı içinde bu partiküller temizlenir.

Tüm toplama verimlerinde, 250 - 1000 N/m²/plaka basınç düşümünde 1 µm partikül için tek bir plakanın verimi %90-98 'dir. Su ihtiyacı genellikle 0.4 - 0.7 l/m³gaz oranındadır.

d. Atomize Mekanik Yıkayıcılar

Mekanik tesirli yıkayıcılarda yüksek hızlı püskürtmeler kısmen daldırılmış bir rotor ile gaz akım yönünde doğru açılarda üretilirler (şekil 6 - 12 'ye bak). Kirli gaz akımı, mekanik olarak üretilmiş damlacıkları ihtiva eden toplayıcı bölgesinin içinden geçer. Yıkama, dikey gaz hızı ve yüksek radyallı damlacık hızının her ikisinden dolayı, çarpma ile elde edilir. Sıvı zerrecikleri rotor ve dış duvarda meydana gelir. Güç ve sıvı ihtiyacı, partikül boyutu ve istenilen toplama verimine bağlı olarak, yüksek hızlı dizayn için sırayla 2240 - 7450 kW ve 0.6 - 0.7 l/m³ gazdır. Bu yıkayıcıların başlıca avantajları : Düşük sıvı oranı ve küçük alan ihtiyacı, yüksek yıkama verimi ve yüksek toz yükü kapasitesidir. Bununla birlikte rotor, büyük partiküller ve aşındırıcı tozlardan dolayı aşınmaya elverişlidir. Buna ek olarak yüksek enerjili yıkama uygulamalarında genellikle bir sis (buğu) çıkarıcı istenir.

Not : Döner diskli yıkayıcılar ve Venturi yıkayıcılar hakkında detaylı bilgi ileriki bölümlerde verilecektir.

6.2 Islak Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları

Islak yıkayıcılar daha evvelde belirtildiği gibi 5 grupta toplanmıştır. Bunlar: Kolon yıkayıcılar, Jet yıkayıcılar, Vorteks (girdaplı) yıkayıcılar, Yıkama makinaları ve Venturi yıkayıcılar 'dır.

Her bir grup için tipik örnekler seçilerek dizayn hesaplamaları sunulmuştur. Son derece karmaşık fiziksel olaylara bağlı olduğundan dolayı, ıslak yıkayıcı dizaynı teoriden çok pratik tecrübelerle dayalıdır.

En önemli dizayn parametresi, partikül toplama verimi ve basınç düşümdür. Toplama verimi bütün ıslak yıkayıcılar için aynı bir işlemle tanımlanmıştır. Yani bütün ıslak yıkayıcılarda verim hesaplanırken gidiş yolu aynı olacaktır. Fakat toplama veriminin tanımlanmasında çeşitli araştırmacılar tarafından verilmiş bağıntılar mevcuttur. Yine de elde edilicek sonuç hemen hemen aynıdır.

6.2.1 Toplama Verimi

Toplama verimi

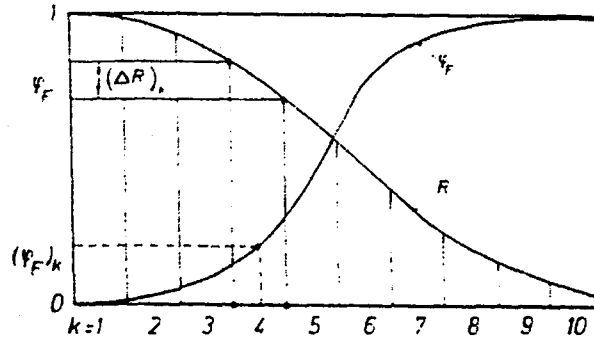
$$\phi = \frac{M_{p1} - M_{p2}}{M_{p1}} = 1 - \frac{M_{p2}}{M_{p1}} \quad (6-1)$$

olarak tanımlanmıştır [11].

M_{p1} ve M_{p2} [kg/m^3], yıkayıcının giriş ve çıkışında gaz akımının birim hacmindeki partikül miktarıdır, yani partikül yoğunluğudur. Islak yıkayıcıların toplama verimi aşağıdaki denklemle de tanımlanabilir [11].

$$\phi = \sum_{k=1}^n (\Delta R \phi_F)_k \quad (6-2)$$

Sekil 6 - 13 'de partikül çökeltisi R ve fraksiyonel toplama verimi ϕ_F partikül çapı d_p 'ye karşı çizilmiştir. Çap oranı n parçaya bölünmüştür. k = 4 için $(\phi_F)_k$ ve $(\Delta R)_k$ gösterilmiştir [11].



Sekil 6-13

Çökelti R, besleme gazının içerdiği toz partikülün dağıtım büyüklüğünün araştırılmasından elde edilir. Bu eğri, her bir partikül için belirtilmelidir. Çökelti eğrisinin karakteristik bir özelliği partikül kütlelerinin % 50 'sinin en büyük ve en küçük çaplara sahip olduğu yerde ve $R = \%50$ olduğunda partikül çapı $d_{p(R50)}$ dir. Çok ince tozlar için $d_{p(R50)}$ çok küçük bir değere sahiptir.

Fraksiyonel toplama verimi, yıkayıcıdaki gaz akımından ayrılmış partikülün k oranına bölünmesinden elde edilir. Fraksiyonel toplama verimi eğrisi her bir yıkayıcı için tanımlanmalıdır, fakat genelde bir partikül belirtilmektedir. Bu partikül, bundan sonra çapı d_{pt} olarak gösterilen deney tozu olarak anılacaktır. Deney tozu için fraksiyonel toplama verimi φ_{Ft} zaten d_{pt} 'nin bir fonksiyonu olarak verilmiştir.

Yapılan deneylerde bir yıkayıcıdan ayrıştırılmış d_p çapına haiz faklı bir partikülün, pratik bir uygulamada φ_F toplama veriminin tespitinde φ_{Ft} 'nin kullanılabilmesi için bu eğrinin nasıl oluştuğu sorusu ortaya çıkmaktadır. Deney tozu eğrisinin uygulaması için çökeltme hızları aynı olduğunda, fraksiyonel ayrışma verimleri de aynı olan iki partikülün endüstriyel bir partikül olduğu kabulü yapılır.

Stokes kanununun uygulanabilir kabulüyle deney tozu için çökeltme hızları aşağıdaki formülde verilmiştir.

$$W_{st} = \frac{g \cdot d_{pt}^2}{18 \cdot \mu_{gt}} (\rho_{pt} - \rho_g) \quad (6-3)$$

- g : Yerçekimi ivmesi
 μ_g : Gazın dinamik viskozitesi
 ρ_g : Gazın yoğunluğu
 d_{pt} : Deney tozu çapı

Gaz yoğunluğu partikül yoğunluğuyla karşılaştırıldığında genellikle ihmal edilir. O zamanda (6-3) denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$W_{st} = \frac{g \cdot d_{pt}^2 \cdot \rho_{pt}}{18 \cdot \mu_{gt}} \quad (6-4)$$

Bu denklem gerçek bir partikül için yazılırsa :

$$W_s = \frac{g \cdot d_p^2 \cdot \rho_p}{18 \cdot \mu_g} \quad (6-5)$$

Basit bir kabuller ile

$$W_s = W_{st} \quad (6-6)$$

ve $\mu_g \cong \mu_{gt}$ olursa (6-7)

$$d_p = d_{pt} \sqrt{\rho_{pt} / \rho_p} \quad \text{olur.} \quad (6-8)$$

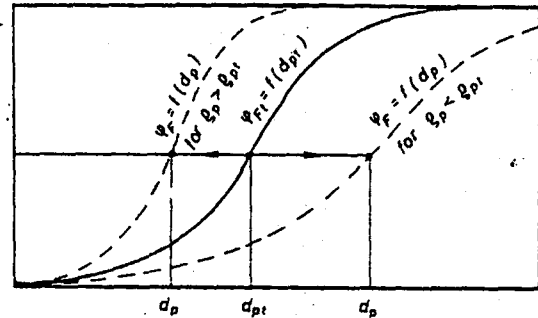
DeneySEL fraksiyonel toplama verimi eğrisinin gerçek fraksiyonel toplama verimi eğrisine dönüşümü için esas denklem (6-8) denklemdir. Bu dönüşüm iki adımda gerçekleştirilir.

1. adım : $\varphi_{Ft} = \varphi_F = st$

2. adım : (6-6) no'lu denklem yardımıyla $d_{pt} (\varphi_{Ft})$ 'nin $d_p (\varphi_F)$ 'e dönüştürülmesi

İki dönüşüm prosesinin sonuçları şekil 6 - 14'de belirtilmiştir [11].

Toplama verimi φ_{Ft} ve φ_F



Toz partikül çapı d_{pt} ve d_p

şekil 6-14 Gerçek toz için φ_F verimi içinde deney tozu
Fraksiyonel toplama veriminin değişmesi

1. Durum

$$\begin{aligned} \rho_p > \rho_{pt} & : \varphi_{Ft} = \varphi_F = st \\ d_p < d_{pt} & : \text{toplama verimi artar.} \end{aligned}$$

2. Durum

$$\begin{aligned} \rho_p < \rho_{pt} & : \varphi_{Ft} = \varphi_F = st \\ d_p > d_{pt} & : \text{toplama verimi azalır.} \end{aligned}$$

Seçilmiş bir deney tozunun fraksiyonel toplama verimi φ_{Ft} için, eğriler her bir partikül yıkayıcı (seçilen tipik örnekler) için ileriki kısımlarda detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

Toplama verimi denklemleri, partikül çapının bir fonksiyonu olarak Johnstone tarafından orjinal şekliyle önerilmiştir [12].

$$\eta = 1 - \exp [-k \cdot (L/G) \cdot \sqrt{\psi_I}] \quad (6-9)$$

η : d_p çaplı partikül için toplama verimi
 L/G : Sıvı-gaz oranı
 ψ_I : Atalet çarpma parametresi

$$\psi_I = \frac{C \cdot \rho_p \cdot V_g \cdot d_p^2}{18 \cdot d_o \cdot \mu_g} \quad (6-10)$$

C : Cunningham faktörü (denklem 6-12 'ye bak)
 ρ_p : Partikül yoğunluğu
 V_g : Venturi boğazındaki gaz hızı
 d_o : Damlacık çapı
 k : İşletme şartları ve sistem geometrisine bağlı olarak 0.1 - 0.2 değerinde olan korelasyon katsayısı

$$d_o = 585/V_r \cdot \sqrt{\sigma/\rho_d} + 597 \left[\frac{\mu_d}{\sqrt{\sigma \cdot \rho_d}} \right]^{0.45} \cdot \left[\frac{1000 \cdot Q_l}{Q_g} \right]^{1.5}$$

Bir önceki sayfadaki damlacık çapıyla ilgili olan bağıntı Nukiyama ve Tanasawa tarafından sunulmuştur [13,14].

Denklem standart hava ve su için ise

$$d_o = 5000 / V_r + 29 \left[\frac{1000 Q_l}{Q_g} \right]^{1.5}$$

Yukarıdaki denklem nihai şekil olarak böyle de çevrilebilir :

$$d_o = 16400 / V_g + 1.45 (L/G)^{1.5} \quad (6-11)$$

V_r : $(V_a - V_l)$; V_a = sıvının lineer hızı (m/s)

σ : sıvının gerilme kuvveti (dyn/cm)

Cunningham toplama faktörü

$$C = 1 + \frac{2A\lambda}{d_p} \quad (6-12)$$

$$A = 1.257 + 0.40 \exp(-1.10d_p/2\lambda)$$

λ = Gaz moleküllerinin serbest yörüngesi (çevre havasında

$$\lambda = 0.067 \mu\text{m})$$

6.2.2 Basınç düşümü, Güç ve Verim Arasındaki Bağıntı

Basınç düşümü denklemi aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$\Delta P = k' \cdot V_g^2 \cdot (L/G) \quad (6-13)$$

ΔP = Basınç düşümü (N/m², mSS)

k' = Partikül yıkayıcı dizaynı için 0.00005 değerinde korelasyon katsayısı

Bir yıkayıcı sistemin pratik dizaynı, temas güç teorisinden yararlanılarak da geliştirilebilir.

Temas gücü teorisi, gaz + sıvı zerreciklerindeki herhangi bir güç harcanması için basınç düşümü ile yıkayıcı

içerisindeki partikül toplama verimi arasındaki ilişkidir. P_T toplam basınç kaybı olup, iki parçadan oluştuğu kabul edilir [12,14]. P_G yıkayıcı içine giren gazın basınç düşümü, P_L püskürtme sırasındaki sıvı püskürtmesinin basınç düşümüdür.

$$P_G = 0.157\Delta P \quad (6-14)$$

P_G = Gaz akımı enerjisinin girişinden uyarlanan temas gücü
(BG/1000 ft³/dak., kWh/1000m³)

ΔP = Yıkayıcıya geçişteki basınç düşümü

$$P_L = 0.583p_L (L/G) \quad (6-15)$$

P_L = Sıvı akımı enerjisinin girişinden uyarlanan temas gücü
(BG/1000 ft³/dak., kWh/1000m³)

p_L = Sıvı giriş basıncı (psi, N/m²)

L = Sıvı besleme debisi (m³/h)

G = Gaz akış debisi (m³/h)

$$P_T = P_G + P_L \quad (6-16)$$

Yıkayıcı toplama verimi ile temas gücü arasında bir bağıntı vardır [12,14].

$$N_t = \ln \left(\frac{1}{1 - \eta} \right) \quad (6-17)$$

N_t , transfer ünite sayısı olup, boyutsuzdur. N_t ile toplama verimi arasındaki ilişki kesinlikle tek değildir. Temas gücünün bir bağıntı değeri için verilen transfer ünite sayısı veya tersi (yani N_t değeri için verilen temas gücü) bir önem sırasına göre hemen hemen değişir. Örneğin yıkayıcı tipine ve partikül toplanmasına bağlı olarak $N_t = 2.5$ ($\eta = 0.918$) değerinde, temas gücü 0.8 - 10 BG/1000 ft³/dak (1263 - 15793 kWh/1000m³) arasında değişmektedir.

Verilen bir yıkayıcı ve partikülün özellikleri için,

Tablo 6.1. 6-18 Denklemi için Parametreler [12].

Aerosol	Yıkayıcı Tipi	α	β
Ham gaz (Kireç tozu ve Soda dumanı)	Venturi ve Siklonik Püskürtmeli	1,47	1,05
Ön yıkamalı gaz (Soda dumanı)	Venturi boru hatlı ve Siklonik Püskürtmeli	0,915	1,05
Talk tozu	Venturi	2,97	0,362
	Orifis ve duman hatlı	2,70	0,362
Siyah sıvı elde etmeli fırın dumanı	Venturi ve siklonik püskürtmeli	1,75	0,620
Soğuk yıkama suyu nemli gazlar	Venturi boru hatlı ve siklonik püskürtmeli	0,740	0,861
Yıkama için sıcak duman çözeltisi (Nemli gazlar)			
Yıkama için sıcak siyah sıvı (Kuru gazlar)	Venturi buharlaştırıcısı	0,522	0,861
Fosfarik asit dumanı	Venturi	1,33	0,647
Döküm ocağı tozları	Venturi	1,35	0,621
Martin fırını dumanları	Venturi	1,26	0,569
Talk tozu	Siklon	1,16	0,655
Bakır sülfat	Solivore	0,390	1,14
	(A) Mekanik püskürtme üreticiliyle (B) Hidrolik nozülle	0,562	1,06
Ferro silikon fırın dumanı	Venturi ve siklonik püskürtmeli	0,870	0,459
Koku dumanları	Venturi	0,363	1,41

transfer ünite sayısı ile temas gücü arasında logaritmik lineer bir bağıntı olacaktır.

$$N_t = \alpha P_T^\beta \quad (6-18)$$

α ve β , partiküllerin çeşidinin toplanması için karakteristik parametrelerdir (Tablo 6-1 'e bak).

6.2.3 Kolon Yıkayıcılar için Dizayn Hesapları

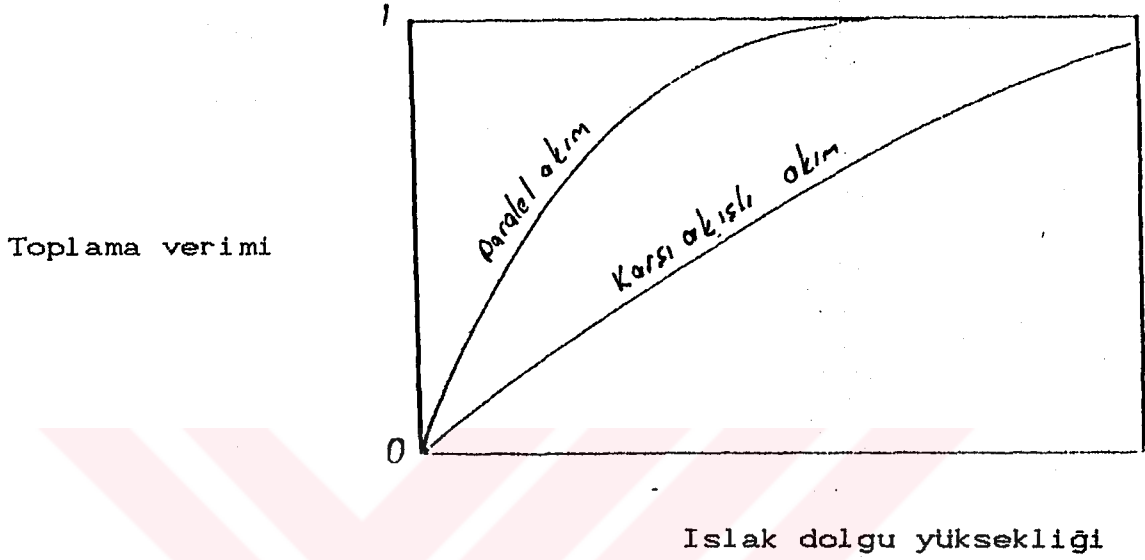
Bu yıkayıcıların toplama verimi nispeten azdır, çünkü toz partiküller ve damlacıklar dikey yönde son derece küçük izafi hızlarla hareket ederler. 10 μm 'nin altındaki bir çapta toz partikül toplama tatmin edici değildir. Diğer bir taraftan basınç düşümü de çok küçük olduğundan ön soğutma ve ön yıkama gibi uygulamalarda püskürtme lüleli kolonlar uygun olur. Basınç düşümü 50 - 100 N/m^2 arasındadır. Püskürtme lüleli yıkayıcılar kire ve köpürmeye karşı duyarsızdır.

Sıvı ve gazın birbirine zıt aktığı dolgulu kolon yıkayıcılarda, gaz taşma hızıyla sınırlandırılmıştır. Taşma, gazın sıvı akışını ters çevirmeye başladığında meydana gelir. Bu durumda, bir kabarcık tabakası oluşmaya başlayarak dolgunun üstünde toplanır. Basınç düşümü, hız ile birlikte oldukça artar. Eğer yıkayıcı bu gibi şartlar altında ön hazırlığı yapılmadan işletilirse, yıkayıcıdan gereği gibi yararlanılamaz. Sonuç olarak birbirine zıt akan gaz-sıvı akımlı ıslak bir dolgulu yıkayıcı, genellikle son derece düşük bir gaz akımıyla işletilir.

Toplama verimi ve basınç düşümü, dolgu yüksekliğinin büyük olmasından dolayı her ne kadar püskürtme lüleli kolon yıkayıcılardan biraz yüksek olsa da yine de nispeten düşüktür. Boş kolondaki ortalama gaz hızı 1 - 2 m/s arasındadır. Basınç düşümü ise 1 m dolgu yüksekliği için 100 N/m^2 civarındadır. %50 partikül toplama, partikül çapı yaklaşık 1.5 - 2 μm olduğunda yapılır.

Dolgulu kolon yıkayıcıların toplama verimi, gaz hızının arttırılmasıyla düzeltilebilir. Taşma'dan kaçınıldığı için,

bu olay sadece paralel gaz-sıvı akımıyla yapılır. Toplama verimi için paralel ve zıt gaz-sıvı akım şartları, dolgu yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak şekil 6-15 'de gösterilmiştir [11].

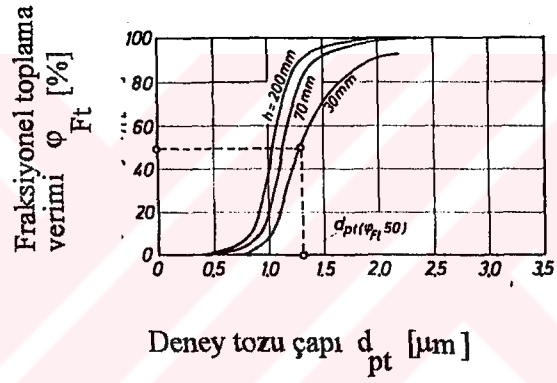
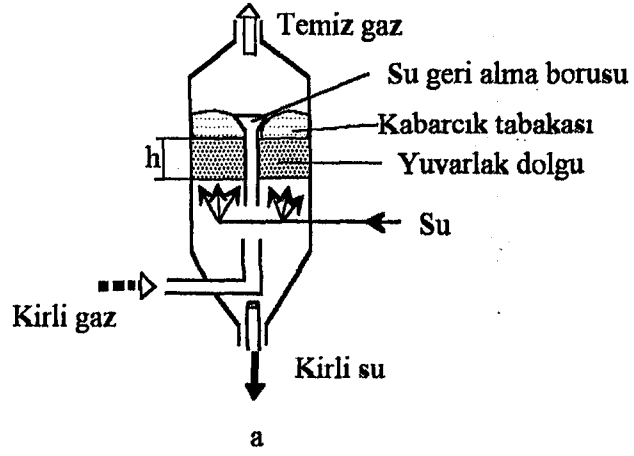


şekil 6 - 15

Yüksek hızlı paralel gaz akımındaki partikül toplama, aynı dolgu yüksekliğindeki düşük hızlı zıt gaz akımındaki partikül toplamadan çok daha etkilidir. Diğer bir taraftan yüksek hızlı paralel akım şartlarındaki basınç düşümtü, düşük hızlı zıt akım şartlarındakinden çok daha yüksektir.

Her iki dolgulu kolonda dolgu boşluklarının kirlenmesinden ve köpük oluşumundan dolayı tıkanmaya karşı oldukça duyarlıdır. Partikül özellikleriyle ilgili olarak uygun bir yıkayıcı seçilmeden önce köpük oluşumu çok dikkatli bir şekilde araştırılmalıdır.

Şekil 6 - 15 'de belirtildiği gibi, taşma şartları altında karşı akımlı yıkayıcılar ve daha küçük bir dolgu yüksekliğiyle çalışan paralel akımlı yıkayıcıların işletilmesi uygundur. Bir yıkayıcının bunun gibi şartlar altında işletildiği Holzer tarafından belirtilmiştir [11]. Sematik tanımlama şekil 6 - 16 'da verilmiştir. Sıvı, dolgu tabakasının altına doğru lüleler vasıtasıyla püskürtülür. Gaz akımını, sıvı dolgunun içinden geçirerek taşır. Kolon,



Deneş tozu özellikleri			Deneş şartları			
Toz cinsi	ρ_{pt} [kg/m ³]	$d_{pt(R150)}$ [μm]	w_g [m/s]	v_1 [m ³ /(m ² h)]	M_{pt} [g/m ³]	d_{ps} [mm]
Kuvars	2600	2.7	1.05	3	1	10

Şekil 6.16. Dolgu kolonlarının geometri ve fraksiyonel toplama verimi

taşma şartları altında çalıştırıldığından gaz-sıvı tabakası dolgunun üstünde toplanır. Gaz-sıvı kabarcık tabakasının yüksekliği 50 - 100 mm arasındadır. Kabarcıklar, ağzı konik olan bir su çekme borusu ile kontrol altında tutulur.

Dolgu yüksekliği h 'in üç değeri için, fraksiyonel toplama verimi ϕ_{Ft} , Holzer tarafından deney toz partikül zayı d_{pt} 'nin bir fonksiyonu olarak şekil 6 - 16 'da grafiği çizilmiştir. Bu sonuçlara göre 100 - 200 mm dışındaki dolgu yüksekliğinin artması uygun değildir. Bu sistemin oldukça düşük dolgu yüksekliklerinde işletilmesi bunun ispatıdır.

Toz partikül özellikleri ve deney şartları şekil 6 - 16 'daki tablo da listelenmiştir. Besleme gazı içindeki deney tozu çapı, $\phi_{Ft} = \%50$ toplama verimi ve $R_t = \%50$ tortu'da $d_{pt(R50)}$ olarak gösterilmiştir. Deney tozunun $\%50$ 'si çapı $2.7 \mu m$ 'den küçük çok ince tozlardır. Uygun çap $h = 200$ mm ıslak dolgu yüksekliğinde $d_{pt(\phi_{Ft50})} = 1.05 \mu m$ 'dir. Deney sonuçları da göstermiştir ki ortalama çap $\phi_{Ft} = \%50$ 'de ancak $1 \mu m$ 'nin altına düşürülebilir.

Deneyler, ortalama gaz hızı $\bar{w}_g = 1.05$ m/s ve hacimsel sıvı akış yoğunluğu $V_1 = 3.0$ m³ / m²/h şartlarında yapılmıştır. Sıvı-gaz akış oranı 0.81 su/m³gaz 'dir. Gaz karışımı içerisindeki partikül kütlesi (yoğunluk) 1 g/m³ 'dür. Dolgu malzemesi olarak kullanılan yuvarlak maddelerin çapı $d_{ps} = 10$ mm 'dir.

Dolgu kolonlu yıkayıcıların, taşma oranı içindeki uygulanan gaz hızının yüksek olması ve yuvarlak dolgu maddelerinin harekete maruz kalarak kendi kendilerini temizlemesinden dolayı kirlenmeye karşı oldukça duyarlıdırlar. Köpürme ise herhangi bir dolgulu kolon işletilmesi esnasında tehlikeli bir olaydır. Şekil 6 - 16 'da belirtildiği gibi gaz hızının taşma hızından ($\bar{w}_{g.o}$ olarak gösterilmektedir) oldukça yüksek olduğu taşma şartları altında kolon yıkayıcı çalıştırılmaktadır. Taşma hızı üst üste 2 adımda hesaplanır. Birinci adımda tek fazlı basınç düşümü belirlenir, ikinci adımda da taşma hızının $\bar{w}_{g.o}$ ile ilişkisi kurulur.

$$\frac{\Delta P}{g \cdot \rho_1 \cdot h} = [50 \cdot \bar{w}_1^{*0.16} + 2.5 \cdot 10^{-6} \cdot \bar{w}_1^{*1.9}] \quad (6-19)$$

\bar{w}_1^* : Taşma şartları altında dolgulu kolon yıkayıcı içindeki boyutsuz sıvı hızı

$$\bar{w}_1^* = \frac{\bar{w}_1}{d_f} \left(\frac{\nu_l}{g^2} \right)^{1/3} \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \quad (6-20)$$

g : Yerçekimi ivmesi, \bar{w}_1 : Taşma şartlarındaki ort. sıvı hızı
 ρ : Sıvı yoğunluğu, ν_l : Sıvının kinematik viskozitesi,
 h : Dolgu yüksekliği, ε : Kuru dolgunun boşluk oranı,
 d_f : Dolgu içindeki akış geçiti sıvı dinamik çapı

$$d_f \equiv \frac{\varepsilon}{1 + \frac{3/2}{d_c} + \frac{(1 - \varepsilon)}{d_p}} \quad (6-21)$$

d_c : Kolon çapı , d_p = Partikül çapı

$$d_p \equiv 6 \cdot (V_p/A_p) \quad (6-22)$$

V_p : Hacim , A_p : Partikülün hesaba katılan geometrik yüzey alanı olarak gösterilmiştir.

Ortalama gaz ve sıvı hızları aşağıdaki denklemlerle hesap edilir.

$$\bar{w}_g = \frac{V_g}{d_c^2 \cdot \Pi/4} \quad (6-23)$$

$$\bar{w}_l = \frac{V_l}{d_c^2 \cdot \Pi/4} \quad (6-24)$$

V_g ve V_l : Gaz ve sıvının hacimsel debisi

İkinci adımda ise basınç düşümü ΔP_1 ile taşma hızı $\bar{w}_{g.o}$ arasında bağıntı kurulur. Daha sonra Reynolds sayısı $Re_{g.o}$ ile sürtünme faktörü ψ arasında bağıntı kurularak bu işlem bitirilir. Bu boyutsuz sayılar aşağıda tanımlanmıştır.

$$\psi = \frac{\Delta P_1}{\rho_g \cdot \bar{w}_{g.o}^2} \cdot \frac{d_p}{h} \cdot \frac{\varepsilon^3}{1 - \varepsilon} \quad (6-25)$$

$$Re_{g.o} = \frac{\bar{w}_{g.o} \cdot d_p \cdot \rho_g}{\mu_g} \cdot \frac{1}{1 - \varepsilon} \quad (6-26)$$

$$\varepsilon = \frac{V_c - V_p}{V_c} \quad (6-27)$$

V_c : Dolgu ile doldurulmuş kolon hacmi

V_p : Dolgu maddesi hacmi

Dolgu maddesi olarak kullanılan Raschig halkaları, eyerler ve bilyalar için sürtünme faktörü kanunları verilmiştir. Raschig halkası için aşağıdaki denklem uygulanır :

$$\psi = \frac{150}{Re_{g.o}} + 1.75 \quad (6-28)$$

Aşağıdaki denklemde d_p , d_{pr} olarak değiştirilmiştir.

$$d_{pr} \equiv d_a \cdot E^n \quad (6-29)$$

$$E \equiv \frac{1 - \varepsilon_r}{1 + 2/3 \cdot \sqrt{\varepsilon_r - 1/3} \cdot \varepsilon_r} \quad (6-30)$$

$$\varepsilon_r = d_i / d_a \quad (6-31)$$

$$n = \frac{d_c/d_i}{\varepsilon \cdot (d_c^2/d_i^2)^{0.4} + 0.032 \cdot \varepsilon \cdot (d_c^2/d_i^2)^{0.75}} \quad (6-32)$$

$$10^1 \leq Re_{g.o} \leq 7.10^9$$

$$1.6 \leq d_c/d_a \leq 42$$

$$0.56 \leq \varepsilon \leq 0.97$$

d_a : Raschig halkasının dış çapı

d_i : Raschig halkasının iç çapı

Berl ve Intalox eyerleri için ise aşağıdaki bağıntı geçerlidir :

$$\psi = \frac{137}{Re_{g.o}} + \frac{3.85}{Re_{g.o}^{0.1}} \quad (6-33)$$

$$10^2 \leq Re_{g.o} \leq 10^4$$

Bilyalar içinse aşağıdaki bağıntı belirtilmiştir :

$$\psi = \frac{160}{Re_{g.o}} + \frac{3.1}{Re_{g.o}^{0.1}} \quad (6-34)$$

$$10^{-2} \leq Re_{g.o} \leq 4.10^4$$

(6-28), (6-33) ve (6-34) no'lu denklemler kullanılarak taşma hızı $\bar{w}_{g.o}$ 'nun iteratif metodlarla tespiti sağlanır. Böylelikle iki gerçekleştirilerek taşma hızı $\bar{w}_{g.o}$ bulunmuş olur.

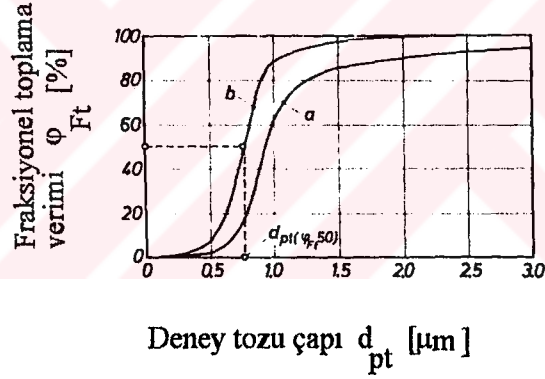
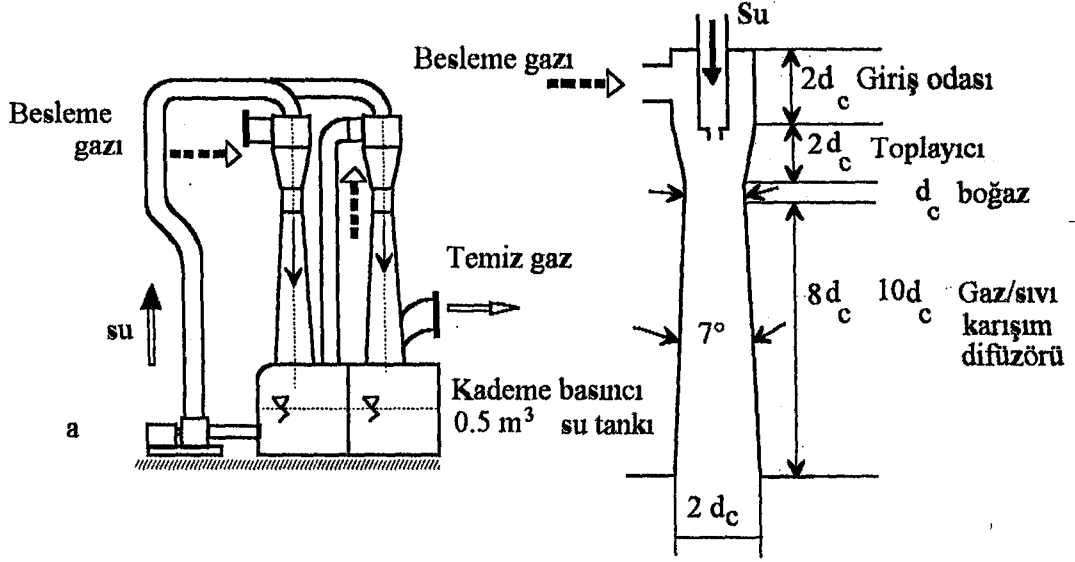
6.2.4 Jet (Püskürtmeli veya Memeli) Yıkayıcılar için Dizayn Hesapları

Jet (püskürtmeli veya memeli) yıkayıcı, atık gazlardan aynı anda hem katı kirletici hem de gaz ayırmak için kullanılan çok amaçlı basit bir cihazdır [11]. Bu sebeple bu cihaz, aynı anda hem bir absorber hem de bir partikül gidericidir. Şekil 6-17a 'da iki kademeli bir jet yıkayıcının şematik tanımı, şekil 6-17b 'de de jet yıkayıcının kolonuna özgü geometrik detaylar verilmiştir.

Sadece partikül giderme operasyonları için tek kademeli bir jet yıkayıcı yeterli olacaktır. İkinci kademe ise marjinal olarak partikül toplamayı düzeltir. İki kademeli yıkayıcıların uygulaması sadece absorpsiyon işlemi yapılacağı zaman kullanılır.

Jet yıkayıcı aslında bir su püskürtme pompasıdır. Sıvı zerrecikleri basınç nozülünden çıkar ve yaklaşık 20 - 35 m/s hızında kolon boğazına girer. Nozüldeki basınç 6 - 8 bar arasındadır. Besleme gazı, akış yönü değişikliğinin meydana geldiği ve dağıtımın olduğu yerdeki yıkayıcı odasının içinde bulunan su zerrecikleri vasıtasıyla emilir. Toplayıcı içindeki gaz, boğazda $\bar{w}_{g,c} = 20 - 30$ m/s olarak hızlandırılır. Gaz ve sıvı zerrecikleri arasındaki yüksek izafi hız 10 - 20 m/s arasında olup, difüzör içindeki gaz ve sıvı karışımında sıvı zerreciklerinin parçalara ayrılmasını sağlar. Karışım prosesi, partikül toplama ve absorpsiyon prosesinin esasını teşkil eder. Olayın teşekkülü ve sıvı zerreciklerinin parçalara ayrılmasının bazı detayları Bölüm 5 kısım 5.2.2 'de anlatılmıştı. İhtiyaç olan enerji sıvı dağılımında sıvı zerreciklerinin kinetik enerjisiyle sağlanır. Sonuç olarak, dağılım prosesi, gaz debisine bağlı değildir, öyle ki yüksek ve düşük gaz debilerinde yıkama az çok aynıdır.

Dağıtılmış sıvı ve gaz, depo içindeki sıvının yüzeyine çarpar. Çarpma, partikül toplamaya ve absorpsiyona yardımcı olur. Gaz ve sıvı ayrışması depo içinde olur. Kirli suyun çoğunun yeniden devridaimi yapılarak sadece çok az bir kısmı geri çekilir ve taze suyla değiştirilir. Jet kolon



b
c

Deney tozu özellikleri			Eğri	Deney şartları		
Toz cinsi	ρ_{pt} [kg/m ³]	$d_{pt(Rt,50)}$ [μm]		w_{gc} [m/s]	M_{p1} [g/m ³]	Kademe sayısı
Kuvars	2600	2.7	a	11	1	1
Kuvars	2600	2.7	b	11	1	2

Şekil 6.17. Jet yıkayıcı geometrisi ve fraksiyonel toplama verimi

yıkayıcısı içindeki sıvı-gaz debisi (oranı) $5 - 20 \text{ l/m}^3$ gaz olup, bu oran bütün ıslak yıkayıcılardan daha yüksektir.

Bir ve iki kademeli jet kolon yıkayıcı fraksiyonel toplama veriminin grafiği şekil 6 - 17c 'de çizilmiştir. Şekilde "a" eğrisi tek kademeli bir ünite için deneysel sonuçları, "b" eğrisi de iki kademeli bir ünite için deneysel sonuçları vermektedir. Daha evvelde belirtildiği gibi ikinci kademe partikül toplamayı çok az iyileştirir.

Deney tozu özellikleri ve deney şartları şekil 6 - 17 'deki tablo 'da özetlenmiştir. Deney tozu özellikleri şekil 6 - 16 'da belirtilmiş olan kolon yıkayıcı deneyi için kullanılan toz özelliğiyle aynıdır.

Bu verilmiş eğrilere göre, $\varphi_{Ft} = \%50$ fraksiyonel toplama veriminde toz partikül çapı $d_{pt(\varphi_{Ft}50)}$ tek kademeli durumda $0.9 \mu\text{m}$, çift kademeli durumda $0.75 \mu\text{m}$ 'dir.

Bu bilgiler, çapı $1 \mu\text{m}$ 'den daha küçük toz partiküllerin hissedilir bir miktarının bir jet yıkayıcıda ayrıldığını ispat eder.

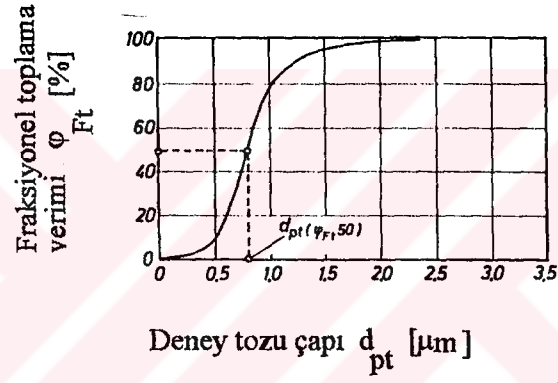
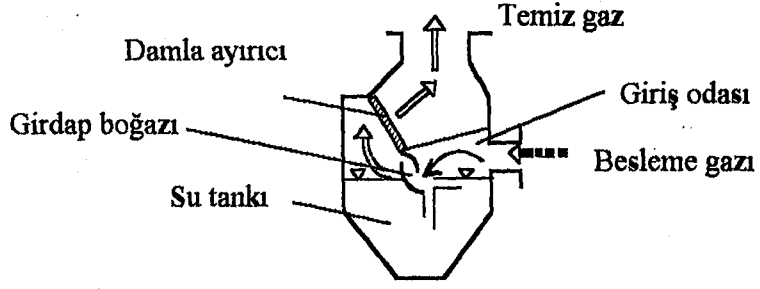
Bir jet yıkayıcının uygulanması aşağıda belirtildiği gibi

- a) Partikül ayırma, gaz kirletici ayırmasıyla yapıldığında,
 - b) Çeşitli proses şartları sayesinde gaz debisinin değişmesiyle,
 - c) Atık gaz tasfiyesi için hiç veya çok az basınç düşümü olduğunda,
- birkaç avantaj sağlar.

Bu yıkayıcının en büyük dezavantajı köpürmeye karşı duyarlı olmasıdır. Holzer 'e göre [11] fraksiyonel toplam verimi için tanımlanan eğriler gaz debisinin $10,000 - 15,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e çıkması durumlarında tehlikesizce uygulanabilir.

6.2.5 Vorteks (Girdaplı) Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları

Vorteks (Girdaplı) yıkayıcıların bir çok farklı dizaynları mevcuttur. Bütün durumlarda partikül yıkama bir girdap alanı içinde meydana gelir. Tipik bir girdap alanı



Deney tozu özellikleri			Deney şartları		
Toz cinsi	ρ_{pt} [kg/m ³]	$d_{pt(R150)}$ [μm]	V_g [m ³ /h]	M_{pt} [g/m ³]	Δp [N/m ²]
Kuars	2600	2,7	2500	1	2200

Şekil 6.18. Vorteks (Girdaplı) yıkayıcı ; geometri ve fraksiyonel toplama verimi

Bölüm 5, kısım 5.2.3 'de anlatılmıştı. Bir vorteks yıkayıcı şekil 6 - 18a 'da şematik olarak çizilmiştir. Besleme gazı, giriş odasına girdikten sonra su yüzeyine çarpar ve bu sayede suyun bir kısmı dağılır ve damlacıkların girdap geçidinin içinden geçmesiyle de hareket eder.

Suyla partikül toplama, dağılım prosesiyle başlar ve girdap geçidinin içinde tamamlanır. Girdap geçidinin önünde ayrılma prosesi başlar. Büyük damlacıklar gaz akımından düşerek doğrudan doğruya su havuzuna geri dönerler. Küçük damlacıklar ise partikül ayırıcıda gaz akımından ayrılırlar.

Girdap geçidinin içindeki ort. gaz hızı yaklaşık 10 - 30 m/s 'dir. Basınç düşümü ΔP miktarı ise 1500 - 3000 N/m² arasındadır. Sıvı-gaz debisinin ise yaklaşık 1 - 3 l/m³ gaz oranında olduğu tahmin edilir.

Sıvı dağılımında vorteks yıkayıcının partikül yıkama verimi önemli ölçüde gaz debisine bağlıdır. Çünkü su dağılımı için istenilen enerji gaz akımından sağlanır. Değişen proses şartlarından dolayı gaz debisi artabilirde azalabilirde. Gaz debisinin artmasıyla, giriş odasındaki su seviyesi azalabilir, onun içinde sıvı dağılımı ve partikül yıkama azalacaktır. Diğer bir taraftan ise gaz debisindeki aşırı azalma da su dağılımı ve partikül yıkama veriminde bir düşüşe neden olacaktır. Etkili bir yıkama görevi için gaz debisi oranı oldukça azdır. Vorteks yıkayıcıların uygulamaları özellikle gaz debisinin sabit bir oranda tutulduğu durumlarda tavsiye edilir.

Şekil 6 - 18b 'de Holzer [11] tarafından tanımlanmış fraksiyonel toplama verimi ϕ_{Ft} 'ye karşı deney tozu çapı d_{pt} 'nin grafiği çizilmiştir. Dney tozu özellikleri ve deney şartları şekil 6 - 18 'deki tablo'da özetlenmiştir. Deneyler $V_g = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$ hacimsel gaz debisinde ve $M_{p1} = 1 \text{ g/m}^3$ gaz karışımı içindeki partikül derişimi şartlarında yapılır. Çalışılan partikül, kolon ve jet yıkayıcıda kullanılan partikül ile aynı özelliklere sahiptir. Fraksiyonel toplama verimi %50, $d_{pt(\phi_{Ft50})} = 0.77 \text{ } \mu\text{m}$ toz partikül çapı için elde edilir. Bir vorteks

yıkayıcının toplama verimi, tek kademeli jet yıkayıcınıninkinden biraz daha yüksektir.

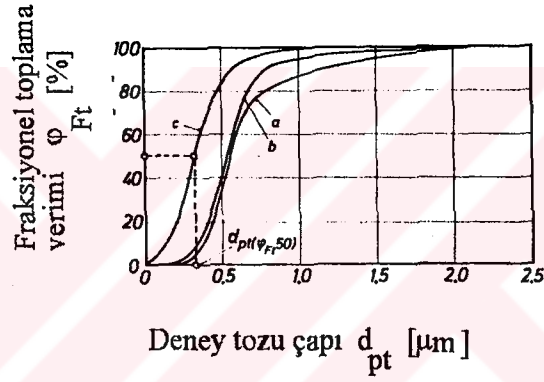
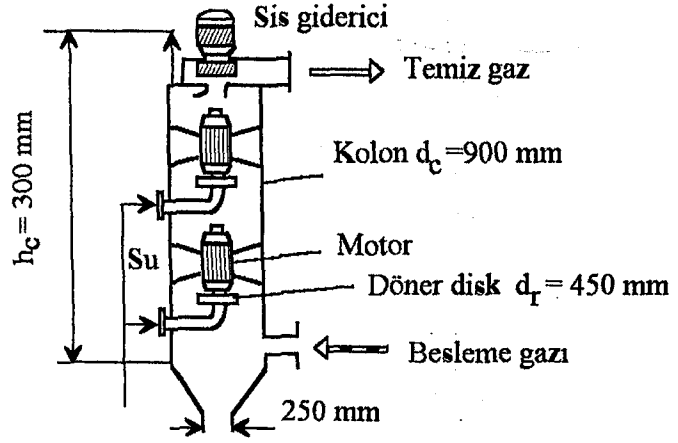
Basit dizayn, kirlenmeye karşı duyarsız oluşu ve düşük bir bakım gerektirmesi vorteks yıkayıcının avantajlarıdır. Su sirkülasyon (devridaim) sisteminden dolayı vorteks yıkayıcının köpürmeye karşı çok duyarlı olması da göz önünde bulundurulması gereken bir konudur.

6.2.6 Döner Diskli Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları

Yıkama makinaları için mevcut bir çok farklı dizaynlar vardır. Yıkama makinalarının en basit tipi, döner diskli yıkayıcılardır. Sıvı dağıtımı döner disklerle yapılır. Dağıtım prosesi Bölüm 5 kısım 5.2.3 'de partikül toplama da kısım 5.1.2 'de anlatılmıştır. Döner diskli yıkayıcı içinde meydana gelen şartlara göre bu tip yıkayıcının partikül toplama verimi çok fazla olmalıdır.

Bir döner diskli yıkayıcının şekli şekil 6 - 19a 'da gösterilmiştir. Yıkayıcı silindirik bir gövde 'den ve iki döner diskin yerleştirilmesinden meydana gelir. Diskler yatay düzlem içinde besleme gazının içinde doğru damlacıklar üretir ve dağıtır. Damlacıklar önce diskten püskürtülerek toz partikülleri toplar, daha sonra da yıkayıcının gövdesine çarpar ve yapışır. Burada bir sıvı filmi oluşarak yerçekimi etkisi altında aşağı doğru akar. Bu yolla toplanan partiküller çok kısa bir müddet içerisinde yıkayıcıdan çıkarılır ve böylelikle de köpürme tehlikesinden kaçınılmış olunur.

Besleme gazı, yıkayıcıya kolonun altındaki teğetsel bir giriş üzerinden girer. Kolonun en üstündeki bir sonsuz vida mekanizmasındaki gaz-partikül karışımının indüksiyonu, döner hareketi sebebiyle santrifüj kuvvetler gazdan partikül ayırıştırma prosesine yardım ederler. Temizlenmiş gaz, çok ince damlacıkların gazdan ayrıldığı bir sis (buğu) ayırıcısının içinden geçtikten sonra yıkayıcıdan ayrılır. Deney şartları için ort. aksiyal gaz hızı $\bar{w}_{gc} = 1.1. \text{ m/s}$ 'dir. Bu koşullar altında basınç düşümü genelde 1000 N/m^2 'den düşük olmaktadır. Döner diskli kolonun



Deney tozu özellikleri				Deney şartları			
Toz cinsi	ρ_{pt} [kg/m ³]	$d_{pt(R150)}$ [μ m]	Eğri	w_{gc} [m/s]	V_{11}/V_g [1/m ³]	V_{12}/V_g [1/m ³]	M_{p1} [g/m ³]
Kuvars	2600	2,7	a	1.1	0.96	-	1
Kuvars	2600	2,7	b	1.1	0.48	0.48	1
Kuvars	2600	2,7	c	1.1	1.56	-	1

Şekil 6.19. Döner diskli yıkayıcı ; geometri ve fraksiyonel toplama verimi

boyutlandırılması Holzer [11] tarafından yapılmış ve şekil 6 - 19a bu boyutlar verilmiştir. Döner disklerden dolayı kolon çapının artması veya azalması hemen hemen olası bir durumdur. Kolonun çapı $d_c = 900$ mm, tüm yüksekliği $h_c = 3330$ mm, net yüksekliği $h_c = 3000$ mm ve disk çapıda $d_r = 450$ mm olup, burdanda $d_r/d_c = 0.5$ 'dir. Diskin dış kenarındaki dönme hızı $d_r = 450$ mm çapta ve 2500 d/dak 'da yaklaşık 60 - 70 m/s 'dir. Disklerle dağıtılan su miktarı 1 l/m³gaz 'dır. Hacimsel gaz debisinin 2500 m³/h olmasından dolayı deney esnasındaki dağıtılan su miktarı 2.5 m³/h 'dir. Su, yıkayıcının altından ayrılır ve bir kısmı yeniden devridaim'i yapılmak üzere tanka yönelir. Kirlenmiş suyun başka bir kısmı ise tasfiye edilir ve taze suyla değiştirilir.

Fraksiyonel toplama verimleri Holzer tarafından belirlenmiş olup [11], sıvı-gaz oranı V_l/V_g [l/m³] 'ün iki değeri için ve bir döner disk için şekil 6 - 19b 'de verilmiştir. Sıvı akış oranı, "a" ve "b" eğrileri için aynıdır. "c" eğrisi için ise sıvının iki disk ile dağıtımı yapılır. İki kademeli bir düzenlemenin toplama verimi tek kademeli bir düzenlemeninkinden çok az yüksektir. Sıvı akış debisindeki %60 'lık bir artış, $\varphi_{Ft} = \%50$ deki partikül çapının 0.55 'den 0.3 μm 'ye düşmesi sonucunu doğurur.

Sıvı dağıtımının gaz akış debisinden bağımsız olması yüzünden, döner diskli yıkayıcı mevcut akış ile gaz akımından partikül ayrıştırma işlemi için oldukça uygundur. Besleme gazının partikül yoğunluğu $M_{p1} = 300$ g/m³ artabilir. Suyun partikül yoğunluğu ise 200 g/l 'ye yükselebilir. Kirlenmiş suyun yıkayıcı içinde çok kısa bir zaman kalmasından dolayı, kirlenme tehlikesi ve temizleme problemi yoktur. Döner diskli yıkayıcı, Venturi yıkayıcı ile partikül ayrıştırma bakımından karşılaştırıldığında son derece verimlidir. Döner elementlerin patikül yıkayıcı için bir dezavantaj teşkil ettiği bazen belirtilir. Bununla birlikte, 8 yıldan fazla yapılan deneylerle döner diskli yıkayıcıların güvenilirliği ve kullanılabilirliğinin diğer yıkayıcılar kadar iyi olduğu ispat edilmiştir.

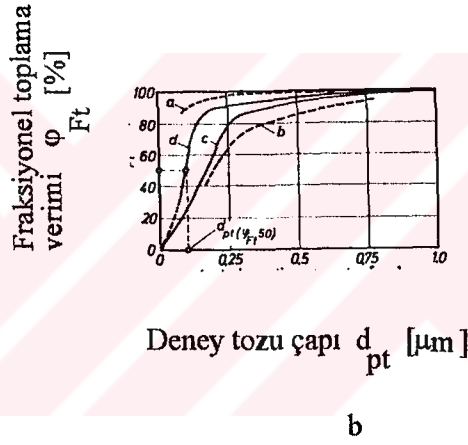
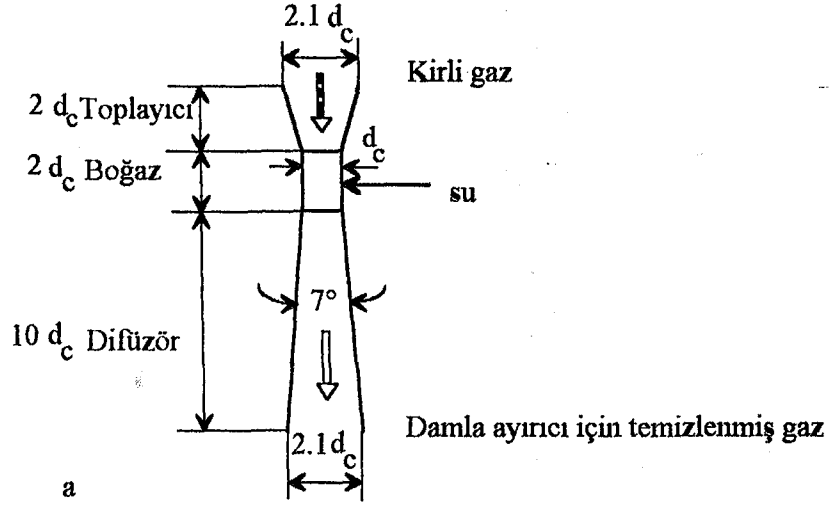
6.2.7 Venturi Yıkayıcılar İçin Dizayn Hesapları

Venturi yıkayıcısının ıslak yıkayıcı olarak çok geniş bir kullanım sahası vardır. (Şematik gösterimi şekil 6-20a 'da verilmiştir). Venturi bir yıkayıcı, bir boğaz kısmından (karıştırıcı boru) ve bir difüzörden meydana gelir. Akışkanların akışı üzerinde kanal daralması adlı ilk çalışmasıyla İtalyan fizikçi G.B. Venturi (1746-1822) tarafından kullanıldığı için bu cihaza bu fizikçinin ismi verilmiştir. Akışkan hızının artmasıyla basınçta bir azalma meydana gelmesi sağlayan Venturi tüpünü 1886 'da Amerikalı mühendis Clemens Herschel icat etmiştir. Venturi tüpü, mühendisliğin birçok farklı alanlarında kendine uygulama sahası bulmuştur.

Besleme gazı, Venturi yıkayıcıya toplayıcı kısmından girer ve temizlendikten sonra difüzörden çıkar. Toplayıcı'da gaz hızlandırılır ve böylece boğaz kısmında en yüksek hıza erişir. Tipik olarak boğaz kısmında hızlar $\bar{w}_{gc} = 50 - 150$ m/s oranındadır. Burada gaz, boğaz kısmındaki duvarlarda bulunan küçük deliklerin içinden püskürtülen suyla temasa geçer. Delik çapları yaklaşık 2 mm 'dir. Su basıncı ise 2 - 3 bar arasındadır. Bir Venturi yıkayıcısının kendine has çalışması önemli ölçüde boğaz kısmındaki su dağıtımına bağlıdır. Boğaz kısmının enine kesitindeki her deliğe aynı miktar su sağlanmalıdır. Eğer su basıncı çok düşük olursa, su boğaz 'ın merkezine erişemeyecektir. Arta kalan gazın bir kısmı işlenmez, böylece de toplama verimi bariz bir şekilde azalır.

Dağıtım için gerekli olan enerji, yüksek hızlı gaz akımından sağlanır. Sıvı dağıtım prosesinin bazı ayrıntıları Bölüm 5 kısım 5.1.3 'de tanımlanmıştı. Matinger ve Neuman'a [11] göre partikül toplama prosesi Venturi 'nin boğaz kısmında olur. Bununla birlikte örneğin Dau [11] damlacıkların partikül toplamasının Venturi yıkayıcısının boğaz ve difüzör kısmının herikisinde olduğunu kabul eder. Bu sebeple difüzör uzunluğu toplama veriminde önemli bir parametre 'dir.

Su dağılımının kalitesi besleme gaz akımının hızına



Deney tozu özellikleri				Deney şartları			
Toz cinsi	ρ_{pt} [kg/m ³]	$d_{pt(Rt50)}$ [μm]	Eğri	w_{gc} [m/s]	V_{ll}/V_g [1/m ³]	M_{p1} [g/m ³]	Δp_v [N/m ²]
Parafin	900	0.4	a	87.3	3	2.7	12500
Parafin	900	0.4	b	87.3	1.4	1.26	5000
Parafin	900	0.4	c	87.3	3	2.7	7500
Sillitin	2600	1.4	d	87.3	3	7.8	7500

Şekil 6.20. Venturi yıkayıcı ; geometri ve fraksiyonel toplama verimi

bağlıdır. Bundan dolayı toplama verimi gaz hızıyla tespit edilir. Gaz hızında bir azalma, toplama veriminde bir düşüşü başlatacaktır. Pratik deneyler, boğaz çapının 100 veya 120 mm fazla olması halinde, enine kesitli boğaz üzerine etkili bir şekilde su dağıtımının çok zor olacağını göstermiştir. Bu sebeple yüksek hacimsel gaz akış debisi dikdörtgen kesitli Venturi yıkayıcılar ile sağlanır. Genişliği yaklaşık 100 - 120 mm arasındadır. Bir Venturi yıkayıcıdaki kesitin, gaz akış debilerine uygun olması için enine kesit boğaz kısmındaki hareketli plakalar vasıtasıyla değiştirilir.

Yüksek toplama verimi ve dizaynının basit olmasından dolayı, toplama verimi ρ_v ve basınç düşümü ΔP_v 'yi belirlemek maksadıyla bir çok deney ve teorik araştırmalar yapılmıştır [11]. Basınç düşümü için yayınlanmış bütün denklemler aynı tiptedir. Güntheroth [11] tarafından uyarlanan aşağıdaki denklem Lemann [11] tarafından geliştirilmiştir :

$$\Delta P_v = \zeta_v \cdot \bar{w}_{gc}^2 \cdot \rho_g / 2 \quad (6-35)$$

ζ_v : Venturi yıkayıcı için sürtünme faktörü

$$\zeta_v = 0.435 + k_1 \cdot V_l / V_g \quad (6-36)$$

$$k_1 = 0.786 + 0.878 \cdot \bar{w}_{gc} \quad (6-37)$$

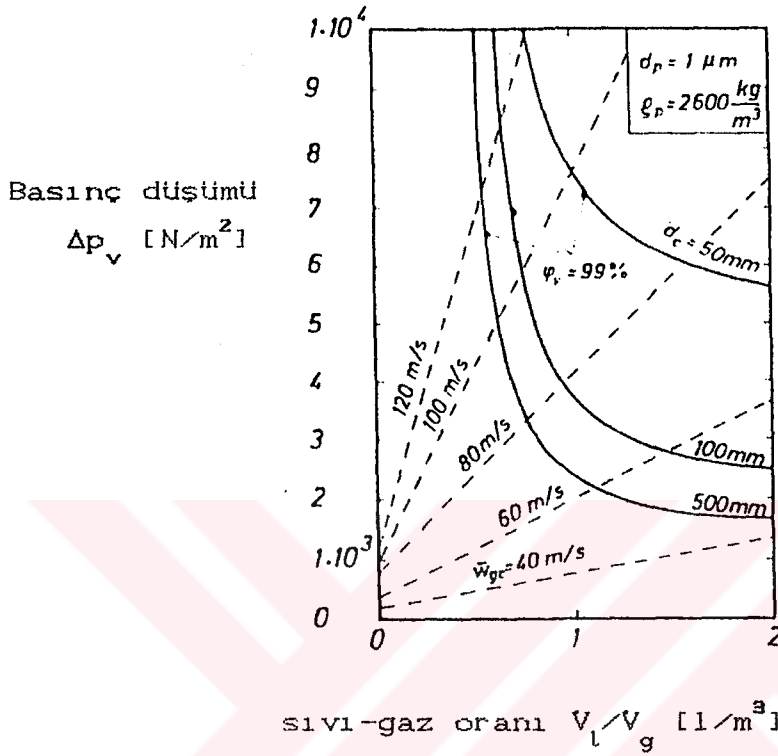
V_l : Suyun hacimsel akış debisi [l/h]

V_g : Gazın hacimsel akış debisi [m³/h]

\bar{w}_{gc} : Boğaz kısmındaki gaz hızı [m/s]

Bir Venturi yıkayıcı içinde partikül toplamanın ilginç bir teorik analizi Dau [11] tarafından bir bildiri olarak sunulmuştur. Bu analizin bazı sonuçları şekil 6 - 21 vasıtasıyla anlatılacak nümerik metotlarla elde edilir. Bu sonuçlar Partikül çapı $d_p = 1 \mu\text{m}$ ve yoğunluğu $\rho_p = 2600 \text{ kg/m}^3$ olan bir partikül için elde edilmiştir. Basınç düşümü ΔP_v , sıvı-gaz oranı V_l/V_g ve boğaz kısmındaki \bar{w}_{gc} gibi

parametrelerin bir alanda düzenlenmesiyle toplama veriminin %90 sabit bir değeri için, eğriler boğaz çapı d_c 'nin üç değeri içinde verilmiştir.



Bağıntı :

$$\phi_v = f(d_c ; \bar{w}_{gc} ; V_l/V_g ; \Delta P_v) \text{ olup,}$$

tablo 6-2 'de özetlenmiş olan sonuçların 4 hali için bu bağıntı göz önüne alınır. Dau 'nun elde ettiği bu sonuçlara göre toplama verimi ; basınç düşümü ve sıvı-gaz oranı ile artar. $V_l/V_g \cong 2$ gibi bir oran ile maksimum ϕ_v elde edilir. $V_l/V_g > 2$ olan değerler için özellikle $d_p < 1 \mu m$ olduğunda toplama verimi azalır. Dau, Wicke [11] ; Calvert, Lundgren ve Mekta [11] 'nin yayınladığı bazı deneysel sonuçlarla sayısal sonuçlar arasındaki kabulü tatmin edici bulmuştur. Dau elde ettiği başarıyla toplama prosesindeki kavramları, problemin matematiksel işleyişine uygulayarak bu alanda araştırmacıların çalışmalarına devam etmeleri için teşvikte bulunmuştur.

Genelde bir deney tozu için deneysel olarak bulunan fraksiyonel toplama verimi ϕ_F 'nin temeli üzerine Venturi

yıkayıcının toplama veriminin tespit edilmesinin daha uygun olduğu görülür. Holzer çeşitli deney şartları için ϕ_{Ft} eğrilerini şekil 6 - 20b 'de belirtmiştir [11]. Bu eğriler Dau tarafından elde edilmiş teorik sonuçların nitel kabulleridir.

Damlacıklar, Venturi yıkayıcıdan geçtikten sonra gazdan ayrılmaktadır. Damlacıkların nispeten geniş olmasından dolayı damlacık ayrışması için siklon kullanımı da mümkündür.

Venturi yıkayıcılar en verimli ve en küçük ıslak partikül yıkayıcılardır. Partikül yüklü damlacıkların yıkayıcı içerisinde son derece kısa bir müddet kalmasından dolayı kirlenme ve köpürmeye karşı duyarsızdırlar. Başka bir taraftan basınç düşümü ve ses emisyonu çok yüksektir. Venturi, küçük bir yıkayıcı olmasına rağmen, bir kaç kez olabilecek damlacık ayırma için ekipman gerekliliği hesaba katılmalıdır.

Tablo 6-2 4 Durum İçin Toplama ϕ_v ile Birkaç Önemli Parametre Arasındaki İlişki

1. Durum

ϕ_v [%]	V_l/V_g [l/m^3]	d_c [mm]	Δp_v [N/m^2]	\bar{w}_{gc} [m/s]
99	1	50	7600	100
99	1	100	3700	76
99	1	500	2400	65

ϕ_v ve sıvı-gaz oranı V_l/V_g sabit : Boğaz çapının artmasıyla Δp_v azalır. Bu sebeple boğaz hızı azaltılmalıdır.

2. Durum

φ_v [%]	Δp_v [N/m ²]	d_c [mm]	V_l/V_g [l/m ³]	\bar{w}_{gc} [m/s]
99	6000	50	1.60	79
99	6000	100	0.73	103
99	6000	500	0.58	112

φ_v ve Δp_v sabit : Boğaz çapı d_c 'nin artmasıyla, boğaz hızı azaltılıyorken, V_l/V_g sıvı-gaz oranı da azaltılır.

3. Durum

φ_v [%]	\bar{w}_{gc} [m/s]	d_c [mm]	Δp_v [N/m ²]	V_l/V_g [l/m ³]
99	80	50	6100	1.57
99	80	100	3900	0.95
99	80	500	3300	0.76

φ_v ve \bar{w}_{gc} sabit : Boğaz çapının artmasıyla Δp_v (basınc) azalacak ve sıvı-gaz oranı V_l/V_g azaltılacaktır.

4. Durum

φ_v [%]	d_c [mm]	\bar{w}_{gc} [m/s]	Δp_v [N/m ²]	V_l/V_g [l/m ³]
99	100	120	10000	0.77
99	100	100	7600	1.00
99	100	80	6100	1.57

φ_v ve d_c sabit : Boğaz hızı \bar{w}_{gc} 'nin azalmasıyla basınç düşümü Δp_v azalacak ve sıvı-gaz oranı V_l/V_g azalacaktır.

BÖLÜM 7**ISLAK YIKAYICILARIN KURULMASI, İŞLETİLMESİ VE BAKIMI****7.1 Islak Yıkayıcıları Kurma (Tesisatlandırma) Usulleri**

Yıkayıcı sistemi kurmadan önce, taşıma hasarlarından dolayı ekipmanın dikkatli bir şekilde denetlenmesi gerekir. Paket listesinin de temin edilip kontrol edilmesi ve bütün parçaların hesabının verilmesi gereklidir.

Herhangi bir durumda yıkayıcı donanımı hemen kurulmayıp dikkatli bir şekilde özel depolama metodları yapılmalıdır. Tablo 7-1 'de ekipman sağlayan satıcı için özel koşullar altında depolama süresi istekleri listelenmiştir. İç depolama daima tercih edilendir. Depolama teknikleri çok geniş bir şekilde yaygındır. Örneğin parça ve ekipmanlar dik bir şekilde depolanmalı, fan kayışları çıkarılmalı ve fanlar ayda bir kez döndürülmelidir.

Donanım usulleri, tam olarak satıcının verdiği spesifikasyonlarla aşağıda gösterilmiştir. Satıcıdan alınan talimatlar daha sonra bazı problemlere neden olabilir ve garantiyi iptal edebilir.

Bir yıkayıcı sistemin kurulmasından sonra yapılacak en önemli şey, yıkayıcıyı çalıştırmaya başlamadan önce, bağlantı borusu ve yardımcı ekipmanların denetlenmesi, temizlenmesi ve kalibre edilmesidir (gerekirse).

Genel ön işletme pratiklerine ; borulamanın hasarsız, yağ seviyelerinin doğru olması, fan ve pompaların doğru yönde dönmesi ve yapılan ayarlamaların uygun bir şekilde kontrol edilmesi dahildir. İşletme talimatları tecrübeli tesis personeliyle gözden geçirilmelidir. Tipik bir kontrol aşağıdaki gibidir [12] :

1. Kullanımlar

- a) Güç kaynağı.
- b) Alet havası.
- c) Proses havası.

2. Pompalar

- a) Kayış gerilmeleri, pompa devri, pompa ayarlaması, yağlama, sızdırma suyu işletmesi ve elektikli kilitler.
- b) Devridaim pompası, emme ve boşaltma vanaları.

Tablo 7.1. Depolama Süresi

EKİPMAN	Depolama Süresi (Ay)		
	0-6	6-18	18-36
Elektrikli parçalar, kontrol ekipmanları	3	4	4
Kapakalar, mekanik bağlama, makine dökümleri	2	3	4
Kapalı sandıklar ve kutular	1	2	3
Araçlar ve tanklar	1	2	3
Kaba dökümler, yapı çeliği	1	2	3

- Not: 1- Korunmasız dış depolama
2- Korunmalı dış depolama (Kaldırılmış ve kaplanmış)
3- Isıtmasız iç depolama
4- Isıtmalı iç depolama

Tablo 7.2. Venturi Yıkayıcı İçin Yedek Parça Sayım Çizelgesi

PARÇALARIN TİPİ								
Sistemin Bölümleri	Motorlar	Sis Çıkarıcı Modülleri	Sızıntılar	Yataklar	Kanatlı Çark (İmpeler)	Zimbalar (Toplamın % 50 'si)	Dolgu Maddesi	Uygulanabilir Boğaz Damperi
Yıkayıcı						X	X	
Ayırıcı								X
Fan	X		X	X	X			
Pompalar	X		X	X	X			
Sis çıkarıcı		X						

- c) Fıskırtmalı su pompaları.
 - d) Yıkayıcının mevcut hacim ve su seviyesi için pnömatik pompalar.
 - e) Yedek pompanın kullanılabilirliği ve işletilmesi.
3. Vanalar/Damperler (Baca, İzolasyon, bypas)
- a) Bypass.
 - b) Yoğunluk kontrolü.
 - c) Su tasfiye kontrolü.
 - d) Fıskırtma suyu için pH elementleri.
 - e) Taze su hazırlama.
4. Fanlar
- a) Elektrik kontrolleri.
 - b) Fan yatağı soğutucu suyu.
 - c) Yağlama.
 - d) Titreşimli hassas sistemler (sensörler).
 - e) Sıcaklık sensörleriyle ölçüm.
5. Proses suyu
- a) Seviye detektörünün kalibrasyonu.
 - b) Sis (buğu) çıkarıcı çamur seviye alarm kalibrasyonu.
 - c) Sis çıkarıcı çamur karıştırıcısı.
 - d) Devridaim pompası.
6. Sistem kontrolleri/Geri besleme kontrolleri
- a) Baca gazı akışı.
 - b) Su kontrolünün yapılması.
 - c) Çamurun pH 'ı.
 - d) Çamur yoğunluğu.
 - e) Çamur boşaltılması.
7. Güvenlik sistemi
- a) Kilitler.
 - b) Dizayna göre çeşitli sistem parçaları için alarmlar.

7.1.1 Yıkayıcının Rutin Çalıştırılması

1. Eğer pratikse, ön belirlemeli seviye vasıtasıyla normal seviyenin kontrolü için yıkayıcı kaba sıvının dodurulmasına izin verilmesi.

2. Tüm pompa salmastra kutuları ve fan püskürtmeleri için kontrol sıvısının hareketlendirilmesi.

3. Sıvı boşaltmanın kapatılmasıyla devridaim pompalarının çalıştırılması.

4. Satıcının verdiği özelliklere uygun sıvı oranları.

5. İzolasyon damperleri ve birincil işletmedeki seri yıkayıcıların yeri için sistem kontrolü.

6. Fanı harekete geçirip titreşimi kontrol etme. Eğer fan bir giriş kontrol damperine sahipse, fan, hızına ulaşınca kadar damper normal bir şekilde kapatılmalıdır.

7. Çok önemli işletme değişkenlerinin kontrolü (örneğin gazın doyma sıcaklığı, sıvı akışları, sıvı seviyeleri, fanın statik basınç aralıkları, kanal basınç düşümü ve yıkayıcı basınç düşümü).

8. Çamur yoğunluğunun yavaş bir şekilde birikmesine izin verilmesi için, sistemin boşaltma drenajının yavaşça açılması. Boşaltma oranı hesabındaki bir geçiş kontrolü olarak nihai yoğunluğun kontrolü.

9. Ana sıvı ihtiyacı için hazırlanacak sıvı oranlarının ayarlanması.

7.1.2 Yıkayıcının Rutin Durdurulması (Kapatılması)

1. Fanın ve fan püskürtme suyunun kapatılması ve yıkayıcı sistemin işletmeden yalıtılması (ayrılması).

2. Kullanımın uzun olması için, sıvı sisteminin işletilmesine izin verilmesi. Buda, yıkayıcıyı soğutacak ve yıkama sıvısı çamur yoğunluğunu da azaltacaktır.

3. Su hazırlama sisteminin kapatılması ve sistemin boşaltılmasına izin verilmesi.

4. Seviyeler minimum düzeye indiğinde (pompa kavitasyon sesiyle belirlenmesi), pompanın derhal kapatılması. Ayrıca pompa salmastra suyu da kapatılması.

5. Sistem deliklerinin, boşaltıcıların ve diğer drenajların açılması. Eğer patlayıcılık şartları yaratılmışsa, sistemin inert gazdan temizlenmesi gerekmektedir. Herhangi bir durumda, sistem tekrar çalıştırılmadan önce taze hava ile temizlenmesi gerekmektedir.

7.2 Islak Yıkayıcıların İşletilmesi

Islak yıkayıcılar nispeten basit cihazlar olmasına karşın, arızasız ve uzun süreli kullanılmasının temini için bazı özel şartlar istenir. Özellikle dizayn edilmiş ve kurulmuş ünitelerde, hava kirliliği kontrol dengeleriyle, yardımcı tesislerin derlenmesinde mükemmel bir işçilik olmalıdır. Çoğu proses ekipmanlarıyla birlikte, yıkayıcılardan yüksek işletme verimi temin etmek amacıyla, periyodik olarak gözden geçirme ve denetlemeler yapılmalıdır. Bir ünitenin performansının uygun olmaması, aşağıdaki durumlardan çıkarılabilir:

- * Uygunsuz yıkayıcı dizaynı ve/veya işletimi.
- * Proses şartlarının değiştirilmesinden dolayı yıkayıcı sisteminin verimli olarak işletilememesi.
- * Performansın, yıkayıcı özelliklerine bağlı olmamasından dolayı; yıkayıcı sistemin mekanik şartının bozulması.

Bir yıkayıcının performans probleminin çözülmesinde ilk adım problemi ele alıp değerlendirmektir. Problem başından sonuna kadar tanımlanırsa, özel çözümü bulmak daha kolaydır. Problem değerlendirilmesinde tesis personeliyle ortaklaşa çalışılmalıdır. İşletme tecrübesi ve performans kayıtlarından değerli ipuçları elde edilebilir. Üretim proses değişkenleri (akış oranları, sıcaklıklar ve basınçlar), baca gazı geçirgenliği ve yıkayıcının, işletme şartlarının dahil olduğu bilgilerle çalışılmalıdır.

Herhangi bir problem için mümkün çözümlerin bir tanesi önerilebilir. Eğer durum incelenip yeterli ve tam bilgiler elde edilirse ancak o zaman seçim sınırlandırılabilir.

Ekseri problemin çözümü basit olabilir. Örneğin üretim prosesindeki küçük değişimler, bir yıkayıcının performansı ve hızlı yokedici problemle yeterli bir şekilde ıslah edilebilir. Bununla birlikte prosesteki tüm etkiler üzerinde dikkatli bir şekilde çalışılmalıdır. Çünkü her bir proses değişkeni, tek bir işletme üzerinde kritik bir etkiye sahip olabilir. Proses mühendisleri, bu gibi

değerlendirmelerin yapılmasında daima birbirlerine danışmalıdır.

Eğer proses akış oranları artıyor veya kirleticilerin karakterinde, boyutunda ve miktarında bir değişiklik oluyorsa o zaman yıkayıcı ıslahı veya yeni ekipman gerekebilir.

Eğer ekipmanın değişmesi gerektiği zorunluluğu ortaya çıkmışsa, minimum fiyat ve işletme giderlerinden elde edilmiş istenilen sonuçların temini için birtakım teşebbüsler yapılmalıdır. İş, tesis genelinde ve işletmede en az bozulmayla yapılmalıdır. Bu amaçların elde edilmesi için detaylı testlerin iletilmesi istenir. Anlamlı özelliklerin hazırlanabilmesinden önce malzemelerin dış değerlendirilmesine ve bilgilere ihtiyaç vardır.

Eğer aşınma ve paslanma bir problem teşkil ediyorsa, malzemelerin farklı örnekleri ve kaplamaları egzost akımına karşı asılmalıdır.

Yıkayıcıların değiştirilmesinden, çok yeniden kurulması, kârlı rağbete hızlı bir yaklaşımdır. Uygun bir biçimde planlanmış yeniden kurma programı yıkayıcının servis yıllarına ilave edilebilir ve buda tesiste son derece zaman ve para tasarrufu sağlar. Eğer akış oranlarının yüksek ve maksimum işletme esnekliğine ihtiyacı varsa, yıkayıcıların işletilmeleri akıllı bir seçim olabilir.

Verilen uygulama için uygun ünitenin seçilmesinin kabulüyle, çoğu yıkama problemlerini; püskürtme lülesi tıkanması, sıvı devresi sınırlamaları ve/veya damlacıkların saçılması gibi konular kapsar. Bu gibi problemlere aşağıdakiler dahildir [12] :

1. Islak/Kuru Bölgede Toplanma : Yıkayıcının dizaynından dolayı kuru olmasına uygun olmayan bir şekilde izin verilebilir. Toz yüklü gaz, yıkayıcı sıvısıyla sıvının birleşme yerinde temasa geçer ve bir toz toplanmasına neden olur. Uygun dizayn, bu teması, yıkayıcı içindeki yeterli kanal bölmelerinin genişlemesiyle ve emniyetli yolla tüm yıkayıcı yüzeylerinin iyice ıslanması sonucu (genellikle yerçekimi çökmesi ve bazen püskürtmeler) önler.

2. Lüle Tıkanması : Uygunsuz seçimden dolayı nozülünlerin içinin tıkanması; çok küçük nozülünlerin içinden çok yoğun yıkayıcı sıvısı geçirilmek istendiğinde, uygun olmayan montaj tertibat dizaynı olduğunda, çamur kollektörü çıkarılırken çamur çöktüğünde, düzensiz pompa çalıştırıldığında, kimyasal ölçme sonucu olan sızmalarda ve mekanik bozulmalarda olur.

3. Akış Dengesizliği : Yıkayıcının dış montaj tertibatı, uygun oranda ve uygun konumda istenen akışı gerçekleştirmelidir. Birçok problem, mevcut vana ve damperlerin kullanılmasıyla ve akışın basit olarak ayarlanmasıyla çözülebilir.

4. Toplanma (Çökelti) : Bir yıkayıcı yüzeyinin üzeri tortularla kaplanmışsa, bu olay çökelti olup, kimyasal bileşim, çözünürlük, sıcaklık ve yıkayıcı sıvısının pH'la yakından ilişkilidir. Çökeltme, fonksiyonel yüzey üzerinde herhangi bir problem teşkil etmedikçe genellikle tesirli olmaz. Uygun kontrol, yıkayıcı dizaynı ve proses kontrolüyle başlar.

5. Yerleşik Korozyon (Aşınma) : İster uygun dizayn edilmiş olsun, isterse de olmasın bir yıkayıcının işletim ömrünü azaltmada korozyon ana faktörlerden biridir. Sıvı fişkırmaları veya kabarcıklarından kaçınılmalı ve toplanan partiküller uygun bir biçimde çöktürülmelidir.

6. Bağlama Elemanlarının Kaplanması (Tıkanması) : Bağlama elemanlarının kaplanması önemli bir arıza olup, bir problem teşkil edebilir. Ekseri, bir yıkayıcıda standart bir bağlama elemanı uygun olmaz. Özellikle dizaynı yapılmış bağlantı parçaları ve bağlantılar tavsiye edilir.

7. Pompa Girdabı : Pompa girdabı problemleri siklonik cihazlarda çok sıkça raslanılan bir problemdir. Yıkayıcı sıvısının girdabı, yıkayıcı içindeki girdap önleyici plakalarla veya hızlı ve sürekli boşalmayla önlenmedikçe yoğun aşınma ve boşalma problemlerine neden olabilir.

8. Köpük Saçma : Damla ayırıcı, işlevini gereği gibi yerine getirmediği zaman köpük saçma oluşur. Bütün yıkayıcılar köpük üretir. Sadece uygun dizaynı sistemlerde boşaltmadan

önce kabul edilebilir seviyelere getirilerek azaltılabilir.

9. Yeniden Köpük Saçma : Yeniden köpük saçma, damlacık ayrıştırmasının dışında, cihazın içinde uygunsuz drenaj veya düzensiz akış modellerinde meydana gelir. Ayrıca çok yüksek hızlı bacalarda veya yüksek hızlı bir bölge içinde bağlantı parçalarının dışarı çıktığı yerde de meydana gelir.

10. Sıvı ve Gazın Düzensiz Dağıtımı : Gaz ve sıvı, verilen uygulama için gereği gibi dağıtılmalıdır. Herbir etki ve diğerleri, perdelerin tesiriyle (dizaynı veya raslantı sonucu), toplanmayla, mekanik arızalarla, aşınmayla, tertibatlardaki çökelmeyle dağıtım kötüleştirir.

11. Termal Şok : Sıcak gazların soğuk yıkayıcı sıvısıyla temasa geçtiği yerde termal şok meydana gelebilir. Uygun dizayn, ani değişikliklerden ziyade aşamalı soğutmaya izin verir. Termal şok probleminin önlenmesi nispeten basittir. (örneğin çoklu soğutma bölgelerinin kullanılmasıyla).

12. Sızıntı Kaybı : Çevresiyle birlikte yıkayıcı sıvı devresinin ilave yerinde bir sıvı sızıntısının olması sıkça raslanılan bir durumdur. Bu sızıntı, bir soğutucunun üstünde veya bir taşma bağlantısından ileri gelebilir. Bu hatlar, dış çevrede meydana gelen gaz hareketlerinin önlenmesi için sızdırmaz olmalıdır. Sızıntı kaybı, köpük saçmaya veya tıkanmaya ve aletlerin kusurlu işletilmesine sebep olabilir.

13. Aşınma : Aşınmaya yerleşik olmadıkça müsamaha gösterilebilir. Ne yazıkki bir yıkayıcının işlevsel parçaları aşınan parçalarıdır. Sık aralıklarla yüksek aşınma noktalarının değiştirileceği beklenir. Yoğun aşınma, yüksek katı derişimlerinin aşırı bir şekilde olmasından ileri gelmektedir.

14. Titreşim : Bu durum, ıslak yıkayıcı sistemlerle birleştirilmiş fanlarla, pompalarda sıkça görülen bir problemdir. Titreşim problemleri, denetimli ve programlı önleyici bakımlarla kontrol edilir.

Dolgulu ve hareketli yataklı yıkayıcılar, dolgularından dolayı birleştirilmiş ek işletme problemlerine sahip

oldukları için bunlar ayrıca gözönünde bulundurulacaktır.

7.2.1 Dolgu Yataklı Yıkayıcıların İşletilmesi : Dolgu yataklı yıkayıcıların gaz kısmı üzerinde basınç düşümünün yüksek olması raslanacak en yaygın problemlerden biridir. Sıvı oranının artmasından dolayı, taşma noktasına kadar basınç düşümü de artacak, sıvı dolgu tabakasının üstünde bir şekil almaya başlayacaktır. Hava kirliliği kontrolü için tipik dolgu yataklı yıkayıcılar taşma noktasının altındaki değerlerde dizayn edilip işletilirler. Bir çok püskürtme lülesini monte ederek yıkayıcıya sıvıyla aşırı yükleme yapmak sonderece zordur.

Taşma oranlarından kaçmak için atılacak ilk adım ya girişte ya da çıkışta sıvı akışlarını ölçmektir. Eğer bir püskürtme lülesi kullanılırsa, lülenin sıvı basıncı fiziksel şartları kadar iyi kontrol edilmelidir. Eğer havuzlu tip bir dağıtıcı kullanılıyorsa, ünite içindeki sıvı akışı üzerinde küçük bir sınırlama olmalıdır.

Sıvının geçici olarak boşaltılmasıyla yüksek sıvı oranı elde edebilmek için hızlı bir kontrol gerekir. Eğer basınç düşümü kuru değer için ani bir düşüş kaydetmişse, bu durum sıvı oranının, dizayndaki sıvı oranından fazla olmasından ileri gelmektedir. Eğer basınç düşümü yüksek oranda kalıyorsa, kirlenme veya tıkanma gibi diğer problemler buna sebep olabilir.

Sıvı oranının doğru olduğu kabullüyle, ünite içindeki gaz oranında bir kontrol yapılmalıdır. Bu oranın sabit sıvı oranında artmasından dolayı kolon içindeki basınç düşümü artacaktır.

Kolondan ayrılan toplam hacmin hesaplanması için, gerekli baca gazı okumalarını elde etmek amacıyla bir pitot tüpü veya benzer bir cihaz kullanılmalıdır. Çıkış gaz hacmi giriştekenden farklı olabilir. Ne zaman mümkün oluyorsa, dizayn hacminden az veya eşit gaz hacmi temin etmek için girişte ölçümler yapılmalıdır. Yüksek giriş sıcaklıkları veya su içeriğindeki değişiklikler, hacim akış oranını oldukça değiştirebilir.

Dizayn değerlerinden ileri gelen gaz bileşimindeki değişikliklerde kolon içindeki basınç düşümünü değiştirebilir. Gaz yoğunluğundaki artmadan dolayı, basınç düşümünde de bir artma eğilimi olacaktır.

Diğer uygun olmayan gaz ve sıvı oranları partiküllerin yanlarında büyük bir tesir meydana getirecektir. Yıkayıcı içindeki katı ve buhar tortuları sis (buğu) çıkarıcı, dolgu yatağı veya destek plakaları içinde tıkanmaya neden olabilir. Bu maddeler dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Normalde dolgunun üstünde veya altında tıkanma olur. Tıkanma, dolgu malzemesinin altında biriken pisliliklerden veya yatak üstünde devridaimli sıvıdan dolayı (katı içeren sıvı) oluşur.

Birçok dolgu yataklı yıkayıcıda plastik kalıplı püskürtme elemanları kullanıldığı için, bunun üzerinde olabilecek problemler için uyarılar buhar temizlenmesi yönünde olmalıdır. Yıkayıcı işletimindeki birçok problemin, iç kısımları temizlemek için kullanılan son sıcak çözeltileri kapsayan bir bakım programı için taslağı çıkarılmalıdır. Bu gibi çözeltiler yatak üstüne püskürtülüp dolguyu ergitmemesine rağmen, tabakanın altındaki dolguların ağırlılığından dolayı deformasyona sebep olabilir.

Yıkayıcıların duvarları fiberglas takviyeli plastik (FRP) olduğundan, yeni meydana gelen korozyon ancak reçine tabakasının içini aşındırır. Daha sonra da fiberglas tabakasını parçalamaya başlar. Bu gibi malzemeler yeniden kullanılırsa dolgu yatağının üstünde tıkanmaya neden olabilir. Basınç düşümünün artması yanında, yıkayıcı içinde meydana gelebilecek çok ciddi yapısal tahribat bu gibi malzemelerin kullanım ömrünü ilgilendiren bir durumdur. Bundan dolayı bu neden derhal belirlenmelidir. Eğer özellikle bir bölge etkileniyorsa, yardımcı şartların bertaraf edilmesi için tamir esnasında ihtimam gösterilmelidir. Eğer bunların kimyasal yapıları önceden tahmin edilmemişse, ek olarak konulan aşığı akışlı püskürtmeler geçici bir uygulama olarak denenebilir. Ciddi tahribat alternatif yapı malzemelerini gündeme getirebilir.

Daha önceki işletim bilgileri sürekli mevcut olmasa da, yardımcı bir işlevi olur. Tekrarlanmış arızalar iç düzenlemeleri değiştirebilir. Dolgu işlemi rasgele yapılırsa normal olarak kayıplar meydana gelir. Yapılan bir düzenlemeden dolayı, gaz hızları içeride çok düşük olsa da, mevcut koşullar altında çeşitli sorunlara neden olmaz. Yıkayıcı çalıştırıldığında veya arızalandığında gaz akış oranı aniden artabilir veya dolgu parçaları gevşeyebilir. Bu olay da seviyesiz bir yatak sonucu meydana gelir. Bir püskürtme veya havuz tipi dağıtıcıyla sıvı, düzgün olmayan bir biçimde dağıtılacaktır. Partikül toplama veya gaz absorpsiyon verimlerinin düşük olması gaz ve sıvı kanallarından ileri gelmektedir. Dolguların görülebilir hızlı bir kontrolü, dengelemenin gerekli olup olmadığını belirleyecektir.

Sis (buğu) ayrılması, genellikle yüksek gaz veya sıvı oranlarının olması veya eksik bir sis çıkarıcının olması durumlarında etkisini sürdürür. Normalde yüksek bir basınç düşümünde ortaya çıkacaktır. Bazı durumlarda geçici bir arıza, kolon içindeki sis çıkarıcının dış yüzeyinin normal konumunu zorlayabilir. Ayırıcının çeşitli bölümleri arasındaki boşlukların ortaya çıkmamasını sağlamak amacıyla görülür bir denetleme tavsiye edilir.

Bazen sis (buğu) ayrılması düşük gaz hızlarında da düzgün olarak denenebilir. Sis çıkarıcı sistemler minimum 1 m/s hızlar için dizayn edilirler. Eğer kolon içindeki püskürtme sistemi, gereği gibi dizayn edilmemişse, mutlak bir ince sis miktarı yaratabilir ve ilk dizayn noktasının altındaki gaz hızlarında sis çıkarıcının içinde ayrılmaya sebep olabilir. Bu sebepten dolayı düşük basınçlı lüle özellikle tavsiye edilir. Eğer mevcut yıkayıcı yüksek basınçlı bir lüleye sahipse (25 psig 'in üstünde), lülenin değiştirilmesiyle ayrılma problemleri halledilebilir.

Eğer bu olayda gaz hızı kusurlu ise, girişteki gaz oranının ayarlanması mümkün olabilir. Eğer değilse, tüm basıncı azaltmak için alternatif bir yıkayıcı dolgusu kullanılır. Örneğin belli bir dizaynda 5 cm 'lik dolgu 5 cm

eyerlerle değiştirilebilir. Yüzey bölgelerinin benzer ve tüm veriminin aynı olabilmesine rağmen, orjinal dizayn koşullarında basınç düşümü azaltılabilir. Verimden fedakarlık edilmeden bu gibi değişiklikler gözönünde bulundurulduğu zaman, bu unsurlar dikkate alınmalıdır.

Dolgu yataklı yıkayıcılar, çok geniş gaz oranlarının üzerinde işletilebilirler. Maksimum oran, normal olarak dizayn koşuludur. Oran azaldığı zaman, sıvı/gaz oranının etkisi artacaktır. Böylece verim sabit kalacak veya biraz artacaktır. Bazı noktalarda verim tekrar azalmaya başlayacaktır. Kolon içindeki basınç düşümü düşük olup, gaz, dolgu yatağının tümüne geçerek dağıtımı için zorlanmadığı zaman, bu olay meydana gelir. Böyle bir şart, dizayn gaz oranının % 30 'dan daha az olduğu değerlerde meydana gelir.

Gaz oranında geniş değişiklikler beklenirse kolon üreticisine danışılıp gerekli bilgiler elde edilerek kullanılmalıdır. Bu gibi kullanımlar için bir püskürtme tipi dağıtıcı özellikle tavsiye edilir. Oluklu veya havuzlu tip dağıtıcılarda, iyi bir sıvı dağıtımını gaz hızı ve birleşik türbülans sağlar. Fakat gaz hızının azalmasından dolayı, sıvının bozulabilir. Mevcut kolonlara, gaz akımındaki değişikliklerin verimlerle birlikte bazı problemlere sebep olduğu yerde bir püskürtme tip dağıtıcı ve bir sis çıkarıcı ilave edilebilir.

7.2.2 Hareketli Yataklı Yıkayıcıların İşletilmesi

Hareketli yataklı yıkayıcılar, dolgu yataklı yıkayıcıların pahalı veya tıkanma problemleri yüzünden bakımının imkansız olduğu durumlarda sıkça kullanılır. Hareketli yataklı yıkayıcılar, içindeki bilyaların yuvarlanma hareketiyle tıkanma ve çökme önlenebilir. Çökmenin oluştuğu durumlar, yatak kısmında sıkça meydana gelir. Çökelti, ızgara içindeki aralıklarda ve bilya aralarında toplanır. Genelde, çökmenin bir bölge içinde çok fazla olmasından dolayı, yıkayıcının açık bölgesi içinde hız artar. Buna sebep, bölge içindeki çok hızlı bilya

hareketleridir. Bazı noktalarda, bilya hareketlerinin oluşması ve bu hareketlerin hızlandırılması daha fazla çökmeyi önler. Lülelerin, bilya kısmında bir çökelti ile kaplanması bunların tıkanmasıyla sonuçlanabilir.

Bilya hareketleri çok önemli bir bakım karakteristiğidir. Yataktaki hava girişinin dağıtımı düzgün değilse, yüksek hızlı bölgedeki bilyalar düşük hızlı bölgeye yerçekimi etkisiyle yönelecektir. Bu da, sırayla hızlı bölge içinde yüksek bölge içinden daha büyük bir direnç oluşturur. Basıncın eşit bir duruma getirilmesi gerektiğinden dolayı, daha aşağıdaki derin bilya bölgesindeki hava akımı artar ve sıvı ayrılmasına sebep olur. Bu problemi yatağın altındaki bölmelerle düzeltmek zordur.

Lüleler, hareketli yataklı yıkayıcı içinde diğer iyi bakım gerektiren kısımlardır. Bu problem, fazla açık lüle dizaynı ve daha düşük basınç ihtiyacından dolayı plastik bilyalı yıkayıcılar içinde daha hafiftir.

Bilyaların aşınması ve bozulması, potansiyel bir problemi ortaya çıkarır. Anormal yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında bilyalar deforme olabilir. Su kaybı ve bileşke yüksek sıcaklık şartlarını önlemek için güvenlik tedbirleriyle birlikte bir çok uygulamalar dizayn edilir. Fakat yine de kusurlu işletimler meydana gelebilir.

Destekli ızgaralar da bakım gerektiren elemanlardır. Bilyaların hareketi aşınmaya yönelip, ızgaraların titreşmesine sebep olabilir. Yine de bu problemler bir çok uygulamalarda önemsizdir.

Köpük saçmanın yok edilmesi, meydana gelmiş ince damlacıkların miktarından dolayı, hareketli yataklı yıkayıcılarda oldukça gereklidir. Dik akış şeritli sis çıkarıcısının, minimum bir bakımla damlacıkların yok edilmesinde çok etkili olduğu ispat edilmiştir. Bu yokedicilere gerekliyse temizlenmesi için su püskürtülebilir.

7.3 Islak Yıkayıcıların Bakımı

Normal bakım esnasında, ön işletimdeki kontrol listesinde bulunan maddelerin çoğu gözden geçirilmelidir. Giriş kapıları açılmalı ve yıkayıcının iç kısmı iyice kontrol edilmelidir. Bakım programı, tıkanmamış hatlar, lüleler, pompalar vb. 'ların dahil olduğu sorunları içerir. Ayrıca eskimiş pompa parçalarının değiştirilmesi, aşınma/paslanma önleyici şeritler ve aletler (seviye göstergeleri ve pH göstergeleri vb.) ve iş pratik olduğunda hasara uğramış parçaların tamiri gibi konular da bu programa dahil edilir.

Aşağıda, tipik yıkayıcı işletmesinde karşılaşılmış problemlerden bir kontrol listesi düzenlenmiştir. Bunlar, yıkayıcı üreticisinin tavsiye ettiği yöntemlere göre düzeltilmeli ve kontrol edilmelidir [12].

* Aşınmayı (paslanma/çürüme) kontrol et. Fazla aşınmalar gaz ve sıvının hızlandığı aşağı akım bölgelerinde oluşur.

* Yıkayıcının tüm iç yüzeylerini korozyon için kontrol et.

* Özellikle ıslak/kuru bölge içindeki fazla toplanmayı kontrol et.

* Fazla çökmeyi kontrol et. Çökmeye sıcaklıktaki değişiklikler, pH, tozun kimyasal bileşimi veya hazırlanmış suyun kimyasal bileşimi gibi proses değişiklikleri sebep olabilir. Ayrıca devridaim sıvı oranını azalt ve girişteki yükü artır veya katıların ayrıştırma sistemini zayıflat.

* Lülelerdeki toplanma ve/veya hasarı kontrol et. Tamir veya değişiklikler gerekebilir.

* Aşağı üfleme hatlarındaki katı toplanmasını kontrol et. Sistemin kapanmadan temizlenmesi etkili olabilir ve ileride bu tür durumları önlemek için bir fışkırtma bağlantısı kurulabilir.

* Özellikle korumalı hatların bozulabileceği yerdeki araçları (gövdeleri), sızıntı hatlarını ve korozyonu kontrol et.

* Sis yokedicinin işletilmesini kontrol et. Fazla gaz

Tablo 7.3. Venturi Yıkayıcıdaki Çökme ve Tıkanmayı Kapsayan Bakım İçin İnsan Gücü İhtiyaçları [12].

Venturi Yıkayıcının Tipi	PROBLEMİN TİPİ			
	TIKANMA		ÇÖKME	
	Mekanik Temizleyiciler	Siklonik Temizleyiciler	Kimyasal Temizleme	İşçi ile Temizleme
Islak Girişli	1 işçi/çalışma/ ay süresi	1 işçi/çalışma/ay süresi	1 işçi /çalışma /haf. süresi	3 işçi/çalışma/haf. süresi
Sıvı Püskürtmeli	1 işçi/çalışma/ ay süresi	1 işçi/çalışma/ay süresi	1 işçi /çalışma /haf. süresi	3 işçi/çalışma/haf. süresi

Tablo 7.4. Venturi Yıkayıcı Sistemlerin İstenen Bakımının Tipi

Sistemin Bölümleri	BAKIM İŞÇİSİNİN TİPİ				
	Amale	Elektrikçi	Tesisatçı	Atık Su İşleme Operatörü	Tamirci
Yıkayıcı	X				
Ayırıcı	X				
Fan		X			X
Pompa		X	X		X
Boru ve vanalar	X		X		
Su işleme ekipmanı	X	X	X	X	X

akış oranı, damlacık yokedicisinden dolayı tıkanmış boşaltma yerleri veya çıkış kanallarındaki yoğunlaşma, damlacıkların teşekkülüne neden olabilir. Yapısal bütünlük ve düzgün işletim için yapısal destekleri kontrol et.

* Aşınma, su sızıntısı, dolma ve düzgün operasyon için pompaları kontrol et.

* Uygun pozisyon için damper ve damper bağlantılarını , aşınmayı ve/veya toplanmayı kontrol et.

* Yağlama, fan yatağı soğutucusu, kayış aşınması, kayış gerilimi ve kanatlardaki aşınma ve paslanma için fanı kontrol et.

* Ana kapamalar esnasında toplayıcı tankların durumunu ve tüm iç yüzeylerini denetle.

* Bütün proses ve kontrol hatlarındaki sızıntılar, kanal ve genişleme parçaları için dış kısımları kontrol et.

* Tüm yardımcı teçhizatın (örneğin seviye problemleri, pH elementleri) durumunu katı toplanmasıyla ilgili olarak kontrol et. Zira katı parçalar temizlemek imkansızdır ve pratik değildir. Problemler değiştirilebilir.

* Hava durumunu da kontrol et. Soğuk hava, damperlerin kilitlemesine, su ve çamur hatlarının donmasına neden olabilir. Bütün hatlar (proses ve kontrol) gerekliyse, düzgün bir şekilde izole edilmeli ve ısı ayarlı olmalıdır.

Yedek parçaların uygun bir şekilde sağlanması bakım önleyici programının bir parçası olmalıdır. Tablo 7-2 'de Venturi yıkayıcı için yedek parça sayım çizelgesi gösterilmiştir. Tablo 7-3 'de ise ıslak girişli ve sıvı püskürtmeli Venturi yıkayıcı tiplerinin her ikisi için çökme ve tıkanmayı kapsayan bakım için insan gücü ihtiyacı gösterilmiştir. Tablo 7-4 ise Venturi yıkayıcı sisteminin çeşitli parçaları üzerindeki bakım çalışması için istenen personel tipi belirtilmiştir.

Tablo 7.5. Venturi Yıkayıcılarda Arıza Tespiti

Problemler	Çözümler
Yıkayıcı içinde partikül toplanıyor	<ol style="list-style-type: none"> 1- Sıvı dağıtım sistemini temizle 2- Boşaltma sistemini temizle 3- Dizayn spesifikasyonlarına karşı gaz akışını ve bileşimini kontrol et 4- Yıkayıcı sıvı akış oranını arttır 5- Taşma sistemini düzelt
Yıkayıcının diferansiyel basınç düşümü çok düşük	<ol style="list-style-type: none"> 1- Statik kol hattındaki sızmayı tıkanmayı ve kırılmayı tamir et 2- Dizayn spesifikasyonlarına karşı gaz akışını kontrol et 3- Fan tahrik kayışını ayarla 4- Fan hızını ayarla 5- Kanal girişini ayarla 6- Dizayn spesifikasyonlarına karşı girişteki statik basınç kontrol et
Yıkayıcının diferansiyel basınç düşümü çok yüksek	<ol style="list-style-type: none"> 1- Sızıntıyı yok et 2- Dizayn spesifikasyonlarına karşı gaz akışını kontrol et 3- Fan tahrik kayışını ayarla 4- Fan kayışını ayarla 5- Yıkayıcıyı temizle
Köpük saçma	<ol style="list-style-type: none"> 1- Sis yok etmeyi (çıkarıcı) düzelt 2- Gaz akışını azalt 3- Sıvı akışını azalt 4- Boşaltma yerlerini temizle (veya genişlet) 5- Sis çıkarıcıyı temizle 6- Bozuk, çatlak vanalara yeniden kaynak yap 7- Fıskırmayı düzelt

Tablo 7.6. Kule veya Siklonik Yıkayıcılar İçin Arıza Tespiti

Problemler	Çözümler
Damlama	1- Damlamayı yok edici uygun açık alan seç 2- Mümkünse havayı boşalt 3- Fazla bölgeyi boş bırak
Tıkanma	1- Püskürtme yıkama teçhizatı kullan; işletimi kontrol et 2- Yıkayıcı sıvı içindeki katı içeriklerini azalt 3- Periyodik olarak yıkayıcıyı temizle
Zayıf dağıtım	1- Kontrol; Yıkayıcıyı muayene et; şartların düzensiz oluşu zayıf dağıtımı gösterir. Fakir gaz oranını dengeye getirmek için perde istenir. 2- Hava kutusunu temizle
Su bendi (havuz) boyutu	1- Tam akış için boyutlandırma yap ; maksimum şartlarda eğer çok küçük ise dış havuzu ilave edip donat veya genişlet 2- Havuzu temizleyip koru
Mekanik problemler	1- Tesis içinde yıkayıcıları güvenli bir şekilde yerleştirmesini yap 2- Deforme olmuş yıkayıcıları takviye et 3- Bütün bağlantı parçalarını sık 4- Perde şeritleri kapakları , koruyucu plakaları yeniden kaynak et , veya eğer kırıkta yıkayıcıyı değiştir.

Tablo 7.7. Dolgu Yataklı Yıkayıcılarda Arıza Tespiti

Problemler	Çözümler
Zayıf gaz dağıtımı	1- Izgara destekli bir püskürtme tipi kullan 2- Izgara için ekstra dikey yükseklik girişine izin ver 3- Dikey hızı 1.8 m/s ' den az olarak kullan
Zayıf sıvı dağıtımı	1- Dolgunun her 1.2 - 1.4 m 'si için yeniden dağıtımı tesis et 2- Montaj tertibatlarını ve sıvı girişini yeniden düzenle 3- Geriye akışlı bir dağıtıcı ızgarası kullan
Dolgu boyutlandırması uygun değil	1- Dolgu üreticisini uyar , çoğu şirketin tavsiyelerine aldırma
Çok yüksek hız var	1- Mevcut üniteyle birlikte diğer kuleyi koy 2- Mümkünse akış oranını kes
Çok düşük hız var	1- Izgara parçasının altını kıs 2- Küçük dolgu kullan 3- Yeni dağıtıcılar kullan 4- Su oranını arttır

7.4 Islak Yıkayıcıların İşletme ve Performansının İyileştirilmesi (İslahı)

Hava kirliliği kontrol ekipmanlarının performans problemlerinde uygun bir biçimde arıza aramak için, çok fazlı bir program yerine getirilmelidir. Bir kılavuz vasıtası ile aşağıdaki yöntemler tavsiye edilir [12].

Faz 1 : Problem tanımı; Bu faza, sistemin detaylı bir muayanesi dahil edilmeli ve faza ait bütün yükümlülüklerin (pozitif veya negatif) bir rapor halinde listelenmesiyle fazın yorumu elde edilmeli ve sonuçta yöntemlerin tavsiyeleri dahil edilerek performansın tamamlanması için madde madde sıralanmalıdır. Venturi yıkayıcılar, kuru yıkayıcılar ve dolgu yataklı yıkayıcılar için arıza tespiti tablo 7-5, 7-6, ve 7-7 'den elde edilir.

Faz 2 : Yerine getirme; Analiz ve tartışmalardan sonra faz 1 'den elde edilmiş tavsiyeler yerine getirilmelidir. Bu tavsiyeler, dizayn değişikliğindeki şekil, parça ve aksesuar değiştirme ve yeni ekipmanın imalatı olabilir. Programın bu durumunun izlenmesi, tamir ve değişiklik için gerekli hem temin edilmiş hem de imal edilmiş parçalar tesis edilmelidir. Sonuçta bütün sistem çalıştırılıp gerekli düzeltilmeleri yapılmalıdır.

Faz 3 : Test ve Örneklem ; Yapılan bir çalışmanın değerlendirilmesi için bir performans testinin yapılması gereklidir. Bu, bir bacadan örnek toplama programı ve/veya sürekli çalışan bir sistemin ölçülmesiyle olabilir.

Faz 4 : Önleyici bakım; Memnun edici performansın kanıtlanması için, değiştirilmiş ve revizyona girmiş sistem gösterildiğinde, işletimin güvenli ve devamlı bir şekilde çalışmasına yardım etmek amacıyla koruyucu bir bakım programı yerine getirilmelidir.

7.4.1 Yıkayıcı Yardımcı Teçhizatı ile Birleştirilmiş Arıza Tespiti Problemleri

Bir partikül yıkama sistemi ile birleştirilmiş işletme problemlerinin çokluğu yıkayıcının yardımcı ekipmanlarından ileri gelmektedir. Yardımcı ekipmanlara, yıkayıcı

sisteminin işletilmesini gerçekleştirmek amacıyla pompalar, fanlar, durultma havuzları, vakum filtreleri, motorlar, karıştırıcılar, kanallar, damperler, borular, vanalar, devridaimli su tankları, aletler ve motor işletme dahil edilip alınabilir.

Hava kirliliği kontrol ekipmanı olarak bir yıkayıcı sistem sert bir çevreye maruz bırakılır. Partikül tiplerinin bazılarının aşındırıcılık özelliği olduğundan fan tekerlekleri ve vanalarda bir aşınmaya neden olur. Baca gazları da parçaların bir türünü içerebilir, ıslatıldıklarında karışık bir ürün ortaya çıkar ve ekipmanı aşındırır. Buna, özellikle bir kazandan gelen gaz akımı, sülfür yataklı yakıtın yakılması ve kimyasal prosesten gelen gazlar tamamen uyar. Bütün yıkayıcı parçalar bu özellikler gözönünde bulundurularak dizayn edilmeli ve korunmalıdır.

7.4.1.1 Döner Makinalar

Döner makinalar; fanlar, pompalar, durultma havuzları, döner (rotary) vakum filtreleri motorlar ve karıştırıcılardan ibarettir. Bu saydığımız makinaların hepsi sabit bir hareketle çalıştığından dolayı, aşınmanın çoğu bunlarda meydana gelebilir. Bu parçalar, uygun sistem işletiminin temini için bir miktar düzenli bakım ister. Döner makinalarının üzerindeki bakım alanlarının temelini yataklar ve sıvı akım içerisindeki döner parçalar teşkil eder.

Ekipmanın her bir tipi için bakım bölgelerinin tek olanıda vardır. Her ne kadar pratik olursa olsun yedekler de buna dahil edilmelidir. Buna, pompalar gibi yüksek bakım gerektiren parçalar tamamen uyar.

Sıvı akımı içindeki aşındırıcı katıların, aşındırma sonuçları denetleme ve tamirle dikte ettirilir. Yıkayıcı önce monte edildiğinde, fan tekerleklerinin üzerinde gaz akımı içindeki partikülden gelen aşındırmanın çoğu görülebilir. Ne yazıkki bir yıkayıcı sistemindeki yedek fanların kullanımı yüksek fiyatlı oluşu ve kanal

düzenlenmesinin zor olmasından dolayı pratik değildir.

Arızaya eğilimli parçaların bir stoklaması yapılmalıdır. Bu parçalar, yataklar, contalar, rakorlar, pompa gövdesi kaplamaları (eğer pompalarda değiştirilebilir kaplama kullanılmışsa), pompa kanatçıkları, fan tekerlek salmastraları, su hazırlama kontrol vanaları, pH kontrol vanaları, pH problemleri, devridaim suyu tankı seviye kontrol dedektörü (sensörü) ve vakumlu filtre bezi olarak sıralanabilir.

A - Fanlar

Bütün döner makinalarda olduğu gibi, fan 'ın çeşitli parçaları da periyodik olarak yağlanmalıdır. Bu parçalar, tekerlek shaftı üzerindeki bütün yataklar, birleştirme parçaları ve damperler olarak ifade edilir. Yağlama çizelgesi ve yağlayıcı tipleri, ekipman üreticisinin kılavuz kitabından alınmalıdır. Genelde yağlama programı, bu parçalar için 4 aylık dönemler halindedir. Fan 'ın aşınmaya eğilimli olan parçalarının denetlenme sıklığı, uygulamanın üslubuyla değiştirilecektir. Bir fanda nispeten temiz gaz akımının kullanılmasıyla, tekerlek ve gövde denetim ihtiyacı olmaksızın 1 yıl kullanılabilir. Kirli fan uygulamalarında ise aylık veya düzenli haftalık denetimler istenebilir. Fan tekerleği ve gövdesi, aşınma, paslanma ve partikül toplanması için denetlenmelidir. Eğer fan, yıkayıcının yukarı akımına göre monte edilmişse ve gaz sıcaklığı 120°C nin üzerindeyse paslanma (korozyon) bir problem teşkil etmez. Bununla birlikte fan, yıkayıcının aşağı akımına göre monte edilmişse ve gaz'da korozif maddeler içeriyorsa veya fan, yıkayıcının önünde monte edilmişse veya gaz sıcaklığı, gaz içindeki korozif parçaların erime noktasının altındaysa, korozyon gözönünde bulundurulması gereken bir problem olmalı ve bakımlar buna göre yapılmalıdır. Eğer fan, yıkayıcının altakımında ise, yıkayıcının üst akımındaki hareketli fan korozyon problemini yok edebilir. Tabii ki bunun için gaz sıcaklığının yeteri kadar yüksek olması gereklidir. Yeniden

düzenlenmiş fan, uygulanabilir değilse, o zaman fan 'da korozyona dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. Fan tekerleği üzerinde daha yüksek bir alaşım ve gövde üzerinde korozyona dayanıklı bir kaplama kullanılmalıdır. Korozyonu azaltmak için bir düzenleme yapıldığında korozif gazın toplanmasıyla yıkayıcı sistem çalışmayacaktır. Fan tekerleği üzerindeki yoğunlaşma, yıkayıcı sistem içindeki artık korozif gazı yakalamaya eğilimlidir. Bu korozif partiküller yoğunlaşmayla toplandığında ne kadar küçük derişimlerde olursa olsun fan malzemesi, bir tepki gösterecektir.

Fan üzerindeki aşınma, tekerlek üzerine değiştirilebilir aşınma kaplamalarının donatılmasıyla azaltılabilir. Mevcut fanı aynı akış oranı ve statik basıncında ve daha düşük hızdaki daha geniş muktedit bir fan ile değiştirme, aşınma probleminin azalmasına yardımcı olabilir.

Eğer fan yıkayıcı önüne yerleştirilirse, fan önüne yüksek verimli mekanik bir toplayıcının kurulması, aşınma problemlerini azaltmak için etkili olabilir. Fandan önce bir mekanik toplayıcı tesis edilirse, toplayıcının tüpü tıkanma ve fazla aşınma için kontrol edilmelidir. Mevcut mekanik toplayıcının uygun bir şekilde çalışmasının kurulması için, iki kademeli bir mekanik toplayıcı veya yüksek verimli bir mekanik toplayıcı ile değiştirilmesiyle olaya önem verilebilir.

Fan tekerleği üzerinde çökelti toplanması, fan içine bir püskürtmeli yıkama sisteminin kurulmasıyla giderilebilir. Bu durumun düzeltilmesi için herhangi bir eksiklik olursa, yıkayıcının aşağı akım kısmındaki hareketli fan problemi çözebilir.

Fan yataklarının, mümkünse her vardiyada bir yağ seviyesi, yağ rengi, yağ sıcaklığı ve titreşimi kontrol edilmelidir. Yataklarda yetersiz bir yağlamanın yapılması, daha fazla sıklıkta bir yağlamaya veya zorlamalı bir yağlama sisteminin kurulmasına ihtiyaç gösterebilir. Yatak gövdesine sızıntı, çatlak ve fittings kayıpları için

haftalık kontrol yapılmalıdır. Aşırı yatak aşınmasına, fan çalışma sıcaklığının normalden fazla olması veya fan titreşimden dolayı fan tekerleği üzerinde artık madde toplanması sebep olabilir. Ayrıca fan teçhizatlarının yanlış ayarlanması da bu probleme neden olabilir. Tüm yatak aralıklarının kontrolü ve yataklar üzerindeki aşınmalar veya karıncalanma ve aşındırma noktalarının bulunması için yıllık esaslı bir muayene yapmak şarttır.

Damperler aşınma, paslanma, çatlama veya kayıplar için altı ayda bir kontrol edilmelidir. Bütün sızdırmaz contalar da kontrol edilmelidir. Yıllık damper kontrolüne bütün bağlama parçalarının sıkılması, sıkıştırılması dahil edilmelidir. Tahrik hareketleri, damper yaprağının hareketleri ve bağlantı hareketi yine bu zaman içinde kontrol edilmelidir. Fan üzerindeki saft ve contalarda aşınma için aylık olarak kontrol edilmelidir.

B - Pompalar

Pompaların üstündeki bütün yataklar ve pompa bağlantıları, imalatçının talimatlarına göre periyodik olarak yağlanmalıdır. Birçok pompaya yağlama cihazları dahil edilip, spesifik bir yağ seviyesinde yağlama yapılmalıdır. Bazı pompalar gres yağlayıcı yataklarla teçhiz edilirler. Bunlar da yine imalatçının tavsiyelerine göre yağlanmalıdırlar.

Fanlarda olduğu gibi, pompalarda da kontrollerin sıklığı uygulama üslubunu değiştirecektir. Pompa yataklarının da, en az fan yatakları kadar sık yatak yağ seviyeleri, sızıntılar titreşim ve her vardiyada yapılan küçük denetlemeler için kontrolleri yapılmalıdır. Altı aylık kontroller, sızıntılar, çatlaklar ve fittings kayıpları için yapılmalıdır. Ana kontrol ise aşınma, karıncalanma ve toleranslar için yılda en az bir defa yapılmalıdır.

Pompa gövdesi, kanadı ve sızdırmaz contalar aşınma ve paslanmaya maruz kalan parçalardır. Yıkayıcıdan önce uygun bir mekanik toplayıcının işletilmesi, yıkayıcıyla toplanan

partikül miktarının azalmasına yardımcı olacaktır. Bu da sırayla, önce yıkayıcı devridaim sistemi içinde pompalanması istenen aşındırıcı katıların miktarını düşürecek sonra da pompa içindeki aşınmayı azaltacaktır.

Yıkayıcı sistemindeki hava akımının artmasıyla, pompa üzerindeki katı yoğunluğu azalacaktır. Mevcut bir alternatifin olması bakımından, pompa üzerine değiştirilebilir bir kaplama yapılması yararlı olabilir. Bu da, pompa değiştirilmesindeki harcamaların minimuma indirilmesine yardımcı olur. Contaların içine bir fişkırmaya su donanımı koyulması contalardaki aşınmayı azaltmaya yardımcı olabilir.

Korozyonla, yüksek alaşımlı bir pompa yapısı veya kauçuk kaplamalı bir donanımıyla, devridaim sisteminin kimyasal yapısına bağlı olarak mücadele edilebilir. Kimyasal madde miktarının eklenmesi, bir yıkayıcı sisteminde, devridaim sisteminin nötralle edilmesine ve ekipman korunmasına yardımcı olabilir. Bununla birlikte satın alınan kimyasal maddelerin tasarruflu bir şekilde harcanması istenebilir. Örneğin devridaim tankına kostik eklenmesi kükürtdioksit gibi koroziv gazların toplanması için yıkayıcının verimini arttıracaktır. Daha fazla kükürtdioksit 'in toplanmasından dolayı, nötralizasyon için istenen pH seviyesi ve yıkama verimi arasında bir eşitliğe ulaşmaya kadar arttırılmış kostik miktarına ve pH çözeltili damlacıklara ihtiyaç vardır. Devridaim çözeltilisi pH değerinin 7 olması durumunda yıkayıcının kükürtdioksit ayrıştırma verimi, kostik kullanılmasıyla yaklaşık % 90 'dır. Yıkayıcı suyun pH değerinin 4 olması durumunda da verim % 60 olmaktadır. Yıkayıcının boşaltma oranının artması, devridaim sistemindeki koroziv bileşiklerinin derişimlerinin düşürülmesiyle aşınma problemlerinin azaltılmasına yardımcı olabilir. Böylelikle pompaların kullanım ömrü de daha fazla olacaktır.

C - Tasfiye Cihazları ve Zincir Çekmeli Tanklar

Tasfiye cihazları ve zincir çekmeli tanklar yerçekimli ayırma cihazlarının genel bir kategorisine girerler. Bir tasfiye cihazı ve zincir çekmeli tankı, partikül yeteri kadar geniş ve kısa çökme süresine haiz olduğunda yıkayıcının hava akımından partiküllerin ayrıştırılmasında kullanılabilir.

Tasfiye cihazı, derişik bir çamur içindeki partiküllerin ayrıştırıldığı yerde, ünitenin merkezindeki çökmüş partikülleri toplar. Tasfiye cihazındaki çamur ya boşaltılır ya da eğer daha kuru bir boşaltma isteniyorsa ilave bir su giderme cihazına gönderilir. Tasfiye cihazındaki boru hattı tıkanmayı engellemek için periyodik olarak kontrolünün yapılması gereklidir.

Zincir çekmeli tankının içindeki toplama mekanizması, bir eğimle katıları harekete geçirir. Sıvı yüzeyinin toplamayı kesmesinden dolayı, su toplamayı azaltır ve meyilli katı hareketlenir. Katılar eğiminden dolayı tank köşesinin üstüne itilip, tank kenarı boyunca bir küme üstüne düşerek hareketlerine devam ederler. Uygulamaya bağılı olan bir toplamada katı yığını zincir çekmeli tankın kenarından düzenli bir şekilde ayrıştırılmalıdır. Bu zevksiz iş için ilk ve son yükleyici kullanılabilir. Bir boşaltıcı içine katıların boşaltılması daha iyi bir çalışmadır ve dolduğunda boşaltıcı uzağı çekilebilir. Bu ekipmanların hafif yan yatırılmasıyla, dönme hızının düşük olmasından dolayı küçük bakımlar gerektirebilir. Çamur birikmesi toplama mekanizması üzerinde fazla bir momenti ifade edebilir. Eğer bu olay meydana geliyorsa, tasfiye cihazı veya zincir çekmeli tank kapatılmalı, boşaltılmalı ve içi temizlenmelidir.

Yataklar ve hız düşürücüler yağlanmalı ve satıcı 'nın verdiği programa göre denetlenmelidir. Bu işe altı aylık periyotlarla yapılmalıdır. Yatakların denetlenmesine ek olarak tahrik mekanizmasında sıcaklık artması, dişli ayarlaması, dişli aşınması, zincir gerilimi ve yağ seviyesi de denetlenmelidir. Bu kontroller ve denetimler genellikle

cihazın işletilmeye başlatılmasından ilk 100 saat ve bundan sonra da her 500 saatte bir yapılmalıdır.

D - Döner (Rotary) Vakum Filtreleri

Döner vakum filtreleri, ıslak yıkayıcı partikül kontrol sistemlerinin çok geniş bir parçasını oluşturmaktadır. Bunlar, nihai boşalmadan önce çok yoğun bir çamur boşaltması elde etmek için bir tasfiye cihazının boşaltma kısmının altında kullanılır. Partikül kontrol sisteminde, ince partikül maddesi, normal bir döner vakum filtresinin içinden geçer. Döner vakum filtre üzerine bir ön tabaka (kaplama) bu tür bir uygulama için istenebilir. Ön kaplamalı bir filtre içinde, filtre elemanının bir kaplaması, filtre silindiri üzerinde şekil alır. Filtrenin, filtre tabakasıyla bir kez kaplanması sonucu, su temizlenecek ve unite içini besleyecektir. Keskin bir bıçak aparatıyla partiküller, filtre edilmiş kütlenin her ikisi ve ön kaplamanın küçük bir parçasından sıyrılır (kazınır). Etkili bir kaplamanın olması için filtrelemenin uzun olamadığı yerde, ön kaplama ayrıştırıldıktan sonra, filtre ayrılmalı ve tekrar kaplanmalıdır. Filtrenin ön kaplanması 1 saat kadar sürebilir. Filtre değişimi ise 16 saatle - 1 hafta arasında değişebilir. Ön kaplama tabanı periyodik olarak kontrol edilmelidir. Partikül ayrıştırma sisteminin işletilmesinde bir süreklilik sağlamak için bir yedek filtre veya çoklu filtreler bulundurulmalıdır.

Bütün merkezleme diskleri, filtre yatakları, motor yatakları, hız düşürücüler ve vakum pompa yataklarının periyodik yağlamaları, satıcının vermiş olduğu bir programa göre yapılmalıdır. Filtre bezi bıçak ağız ayarlaması ve tahrik kayışı kontrol edilmeli ve istendiğinde ayarlanmalı ve değiştirilmelidir. Kontrol sıklığı, uygulama üslubunu yine değiştirecek ve haftada bir kez ile yılda bir kez oranında olacaktır.

E - Motorlar

Motorlar temelde oldukça basit olup, mekanik bakımları emniyetlidir. Bununla birlikte, bütün dönen makinalarda olduğu gibi yataklara, dikkat ve itina gösterilmesi istenir. Motor yatakları, üreticinin vermiş olduğu spesifikasyonlar doğrultusunda yağlanmalıdır. Bu program, motorun maruz kaldığı çalıştırma yöntemine ve motor hızına bağlı olarak işletimin 750 - 8000 saati arasında değişebilir. Motor yataklarının fazla greslenmesini önlemek için çok dikkatli olunmalıdır. Fazla gresleme, yataklarda fazla ısınmaya neden olabilir ve motor sargısını kirletebilir. Motor yatağı yağlanırken, yatak kanalı, püskürtme boşlukları yağlanmaya karşı korunmalı ve tıkanmamalıdır. Bazı imalatçılar yatakların ömrünü uzatmak için ön yağlama yapılarak doldurulmasının gerekli olduğunu savunurlar. Fazla yağlama, motor yatağı aşınmasının en büyük sebebi olduğunda yukarıdaki belirtilen ifade bir avantajdır. Motor yatakları fan ve pompa yataklarında tanımlanan usullerle kontrol edilmelidir.

F - Karıştırıcılar

Karıştırıcılar devridaim tankındaki partiküllerin çöktürülmesinde herhangi bir problemle karşılaşan sistemlerde ihtiyaç gösterir veya yıkayıcı sıvı içine katkı maddeleri karıştırmak için ilave bir karıştırma istenir. Yataklar ve hız düşürücüler, imalatçının verdiği spesifikasyonlara göre kontrol edilip yağlanmalıdır. Karıştırıcının shaftı ve pervanesi aşınma ve paslanma için kontrol edilmelidir. Shaft ve pervane, aşırı bir aşınma veya paslanma gösteriyorsa, daha yüksek alaşımli olanıyla değiştirilmelidir. Yan girişli tip yıkayıcı üzerindeki ekipman ve contalar, sızıntı ve aşınma için kontrol edilmelidir.

7.4.1.2 Statik Ekipmanlar

A - Kanallar

Kanallar, sızıntı ve fazla esneme için kontrol edilmelidir. Bu kontrollerin sıklığı, uygulama üslubuyla değişecek, fakat altı aydan az olmayacak şekilde yapılmalıdır. Kanal içindeki delikler bazı sebeplerin sonucu olabilir. Fakat yine de bu olay paslanma ve aşınmanın bir sonucudur. Yıkayıcıdan sonra yerleştirilen kanal için korozyon, bozulmanın birincil sebebi olacaktır. Kanalarda korozyondan ileri gelen bu bozunma, kanalın korozyona dayanıklı bir kaplayıcıyla kaplanması sonucu çözülebilir. Bununla birlikte, kanal çok aşınmışsa ve gaz sıcaklığında çok yüksekse bu olay mümkün olmayabilir. Bu durumda ise kanal, uygun alaşımlı olanı ile veya sıcaklık yeteri kadar düşükse fiber glas 'lı olanıyla değiştirilecektir. Fiber glas, yıkayıcının aşağıakımına yerleştirildiğinde, uygun bir yapı malzemesi olacağını kanıtlar. Kanal, su kesintilerinden dolayı meydana gelen sıcaklık düzensizliklerinden korunmalıdır ve yıkayıcı devridaim sistemine su takviyesi yapılmalıdır.

Aşınma, yıkayıcının aşağıakımlı tarafına yerleştirilmiş kanallarda çok yaygın bir problemdir. Bu problemin etkinliği kanal çapının arttırılmasıyla azaltılabilir ve böylece kanal içindeki hız yavaşlar. Yıkayıcı sisteminden önce bir mekanik toplayıcının ilavesiyle, kanal içindeki partikül yükü azaltılacak ve kanal aşınmasının azalmasına yardımcı olacaktır. Mekanik toplayıcılarda aşınma zaten bir problem olduğundan, uygun işletme şartları elde etmek için, toplayıcının kontrol edilmesi gerekir. Uygun bir çalışma tesis etmek amacıyla yüksek verimli bir mekanik toplayıcının kurulması için itina gösterilmelidir. Eğer fazla bir esneme ve çatlama gelişmişse, bir genleşme parçası kanala bu bozulan noktalarda eklenmelidir.

B - Damperler

Fazla sık çalışmadıklarından dolayı, damperler özel bir bakım problemi gösterirler. Giyotinli sıfır sızıntılı damperler, hava kirliliği kontrol sistemleri için en etkili olanlardır. Pancurlu ve kelebekli damperler ise, daha az gerekli amaçlar için uygun olabilir. Bütün damper tiplerinin bakımı benzer olduğundan, burada giyotin tipli damperlerin bakımı verilecektir.

Yağlama, damper bakım programının en önemli parçasıdır. Program ve yağlayıcıların tipi imalatçının spesifikasyonlarından elde edilebilir. Yağlama, tahrik mekanizması ve yatakların bütün parçalarına yıllık olarak yapılmalıdır. Üfleme motoru yatakları da eğer dampere dahilse yine aynı zamanda yağlanmalıdırlar.

Düzenli bir denetleme programı, istendiğinde damperin çalıştırmasını sağlamaya yardım edecek şekilde yapılmalıdır. Damper kanatları, ayda bir kezden az olmayacak sıklıkta 15 - 30 cm çaplı kanalların içinde ve dışında hareket etmelidirler. Bu kontrollerin daha fazla sıklıkta yapılması daha ciddi hizmetlerde istenebilir. Flansların etrafındaki sızıntıların kontrolü en az ayda bir kez yapılmalıdır. Damperin sızdırmaz elemanlarının bütün kısımları aşınma için altı aylık periyotlarla kontrol edilmelidir. Bütün tahrik parçaları, yataklar, damper kanatları ve üfleyiciler aşınma ve sızıntı için yıllık olarak kontrol edilmelidir. Bu kontroller, imalatçının talimatlarına sıkı sıkıya uyularak yapılmalıdır.

Giyotin damperleri, kanatları açık bir pozisyonda iken kanat satıh yüzeyinin içinde bulunan oluklardaki artık birikmesini önlemek için havalandırıcı bir sistemle donatılmalıdır. Bu havalandırıcı sistemin aktivasyonunu izlemek imalatçı programının damper işletmesini uygun kılması açısından önemlidir. Bu havalandırıcı sistem yardımıyla temizlemelerin sıklığı, yine uygulama üslubuna bağlı olacaktır. Havalandırma yardımıyla temizleme işlemi her uygulama arasında 1 - 1.5 dakika olmak kaydıyla, en az günlük 5 saniyede 6 uygulama yapılması tavsiye edilir.

C - Boru Şebekesi

Boru şebekesi uygulamaya bağlı olarak düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir. Boru şebekesinde 3 problemin yaygın olduğu görülmüştür. Bunlar aşındırma, paslanma ve tıkanmadır. Aşındırma, yıkayıcı toplama sisteminin sert kısımlarında kömür yanmasıyla oluşan uçucu kül gibi çözünmeyen partiküllerle olur. Aşındırma problemleri, devridaim sistemi içindeki partikül yoğunluğunun azaltılmasıyla en iyi şekilde çözülür. Bu da, sistemdeki boşaltma oranının arttırılmasıyla, mevcut bir tane yoksa yıkayıcı önüne bir mekanik toplayıcının teçhiz edilmesiyle veya mevcut mekanik toplayıcının düzgün işletiminin sağlanmasıyla yapılabilir. Daha büyük çaplı boruların teçhiz edilip, boru hızının düşürülmesi de aşınma probleminin halledilmesine yardımcı olabilir. Fakat yine de, hızın çok düşük olmasının borularda tıkanma ve çökmeyi teşvik edeceği de gözönünde bulundurulmalıdır. 1.2 - 2.1 m/s arasındaki bir boru hızı, aşındırma ve tıkanmayı önlemede makul bir orandır.

Korozyon, korozif gazlar içeren gaz akımının işletildiği yıkayıcı sisteminde bulunan devridaim sistemleri içinde bir problem olacaktır. Devridaim sistemi içindeki korozyon probleminin çözüm metodları daha önceki pompa bahsinde anlatılmış olanla benzerdir. Kostik eklenmesi, pH ve nötralize yıkayıcı çözeltisini arttırabilir. Mevcut boru şebekesinde korozyona dayanıklı malzeme içeren boru yapısının kullanılması uzun vadede çok ekonomik bir alternatif olabilir. Fiber glas takviyeli plastik (FRP) boru veya plastik kaplı dökme demir boru, korozyonun bir sorun yarattığı ve sodyum sülfat gibi suda çözünen partiküllerin toplandığı yerde başarılı bir şekilde kullanılır. Plastik kaplı dökme demir FRP 'den daha iyi bir avantaja sahiptir. Çünkü dış kısımları çeşitli dış darbelere dayanıklıdır. Paslanma ve aşınma problemlerinin olduğu devridaim sistemi üzerinde kullanılan paslanmaz çelik ve lastik kaplı dökme demir borular bu problemleri azaltmada etkili olduğu görülmüştür.

Tıkanma, az çözünebilir partiküllerin olduğu devridaim sistemlerinde veya boru hızı düşükse, çökmenin arttığı yerlerde problem yaratabilir. Boşalma oranının artması veya tıkanmayı çözmeye yardımcı olabilecek düşük ve yüksek pH gibi uygulamalar sistemler üzerinde klişeleşmiş bir problemdir. Bu problem, boru çapının düşürülerek boru hızının arttırılması sonucu halledilebilir. Sistem üzerindeki boru şebekesi tıkanmasının minimum yılda bir kez temiz su fişkırtılarak giderileceği ispatlanmıştır.

D - Vanalar

Vanalar da, boru şebekesinde bahsedilen aşınma, paslanma ve tıkanma gibi aynı problemlere maruz kalacaktır. Vanalarda bu problemlerin çözümü boru şebekesinde bahsedilen çözümlerle eşdeğerdir. Geniş çaplı vanaların teçhiz edilmesiyle, akış oranı artar ve yıkayıcı önüne kurulan bir mekanik toplayıcı da aşınmanın azalmasına yardımcı olacaktır. Sistemdeki pH 'ın artması ve paslanmaya dayanıklı malzemeden yapılmış vanaların teçhizi, paslanma problemlerini yok etmeye yardımcı olacaktır. Tıkanma ise sistemdeki boşaltma oranının artması, Ph 'ın ayarlanması veya çökme anındaki vana hızlarının arttırılmasıyla çözülebilir. Lastik sıkıştırırmalı vanaların tesis edilmesiyle paslanma ve aşınmanın her ikisi de büyük ölçüde halledilebilir. Lastik korozyona karşı bir direnç sağlar ve vana dizaynında partikül içeren sıvı akımının pürüzsüz bir şekilde geçmesini sağlar. Böylelikle de aşınma minimum düzeye indirilmiş olur.

Pnömatik kontrol vanaları, yapışkanlık problemleri gösterebilir. Problem iki kaynağın birinden ileri gelebilir. Vana, devridaim sistemi içindeki partikülden dolayı bazı tıkanmalar gösterebilir veya hava bağlantılarında su toplanması olabilir. Her iki problemde, kuru hava destekli bir vana veya düzgün kontrol ve hava bağlantılarının kurutulmasının sağlanmasıyla azaltılabilir. Bu temizlemenin sıklığı, hava ihtiyacı içindeki nem miktarına bağlı olacaktır. Bir kontrol vanasının yıkayıcı

sistemin işletilmesinde son derece önemli bir parça olmasından dolayı, boru şebekesine, sistemdeki bir vana değiştirilirken veya tamir edilirken, el ile çalışan geçici bir kontrol vanasının yerleştirilerek düzenlenmesi tavsiye edilir. Bu olay, kostik kayıplarından dolayı yıkayıcı sisteminin parçalarının ciddi bir şekilde hasara uğrayabilceği kostik ekleme sistemlerinde özellikle çok önemlidir. Bu aynı zamanda, kontrol vanasının kusurlu işletilmesinden yıkayıcının kuru çalışmasına neden olan yıkayıcı sıvı hazırlama sisteminde de çok önemlidir. Bu durum fazla sıcaklıktan dolayı ekipmanı hasara uğratar. Su hazırlama hattındaki bir kontrol vanasının yanlış işletilmesi, devridaim tankına su akışının fazla olmasına sebep olur. Bu kontrol vanalarında bir bozulma veya bir kifayetsizlik olduğu zaman elle kapama yoluna gidilerek yıkayıcı sistem girişine su gidişinin kesilmesi istenebilir.

E - Devridaim Tankı

Bir çok sistemdeki yıkayıcı sıvı devridaim tankı, genel durumunun seyrek bir kontrolünün yapılmasından daha küçük bir bakım gerektirebilir. Paslanma, asidik bir yıkayıcının kullanıldığı bir tank üzerinde olabilir. Kostik eklenmesi, paslanmaya dayanıklı bir kaplamayla kaplanması veya mevcut tankın FRP yapılı bir tank ile değiştirilmesi veya uygun alaşımlı bir tank ile değiştirilmesi problemi çözebilir. Eğer yıkayıcı, geniş bir şekilde kolayca çökebilen partikülleri kullanıyorsa ve tankta nispeten uzun bir tutma süresine sahipse, partikül tankın alt kısmında toplanabilir. Bu toplanma, devridaim pompa lülelerini tıkaabilir ve yardımcı teçhizat problemlerini kirletebilir. Bir karıştırıcı teçhiz edilmesiyle bu problemin çözümüne yardımcı olabilir. Sıvı seviyesinin düşürülmesiyle, toplama süresinin düşmesi de bu problemin çözümüne yardımcı olabilir. Bu da, pompa içinde kavitasyon meydana gelmeksizin yapılarak sağlanır. Yıkayıcı içinde toplanmış mutlak kirleticiler bir köpürme problemine sebep olabilir.

Bu problem, sisteme eklenen kostik miktarının azaltılmasıyla veya eğer yıkayıcı sıvı orjinal durumda ise çok az asit eklenmesiyle yıkayıcı sıvı içindeki pH miktarı düşürülerek halledilebilir. Yıkayıcı sistemin düşük pH 'a toleransı olmadığından, tankın üzerine köpük kesici püskürtmeler tesis edilebilir veya tanka antiköpük maddeler eklenebilir. Devridaim tankına fazla hava payı verilmeside köpük problemini bertaraf edebilir.

Eğer pompa akış oranı ve devridaim pompa lülelerinin çapı için tank içinde yeterli miktarda su seviyesi yoksa pompa kavitasyonu bir sorun yaratabilir. Bir perde veya çan ağızı kavitasyonu önlemek için kullanılabilir.

7.4.1.3 Elektrikli Paraçalar

A - Yardımcı Donanımlar (Teçhizatlar)

Yardımcı donanımlar çok küçük bir bakım gerektirirler. Bunlar için yapılacak tek şey eskidiğinde değiştirmektir. Analog teçhizatların hassasiyet ve kalibrasyonları yıllık olarak kontrol edilmelidir. Bütün problemler uygulamadan bağımsız olarak sıkça temizlenmelidir. Suda çözünebilen yüksek miktarlı partikülde kullanılan seviye kontrollü tankların temizlenmesi asla istenmemelidir. Madem ki bir kireç söndürme kabı üzerinde pH problemleri var, buradaki kireç bir nötralleştirici unsur olarak kullanılabilir ve günlük olarak temizlenmesi istenebilir. Bundan dolayı, bakım sıcaklığı için uygun olacak probun seçimi önemlidir. Devridaim tankının altına yerleştirilmiş ve seviye kontrolünde kullanılan flans ağızlı diferansiyel bir basınç ileticisi, yüksek miktarlarda erimeye hazır partikül ile çalışan bir yıkayıcı sistem için elverişli olabilir. Eğer partikül kolay bir şekilde çökmeye eğilimliyse, bu tip seviye kontrolünün, katının bunun etrafında çökmesinden dolayı probun temizlenmesi için tankın sık olarak boşaltılması gerekir. Üst giriş şamandıralı bir seviye kontrolörü bu tip bir uygulama için çok uygun olabilir. Bütün pnömatik hatlar temizlenmeli ve hava ihtiyacı miktarı kalitesine bağlı olarak düzenli aralıklarla nemi de

kurutulmalıdır. Orifis levhaları en az yılda bir kez kontrol edilmelidir. Aşındırıcı katı içeren sıvının bulunduğu tiplerin daha sık kontrol edilmesi istenebilir. Fazla aşınmış orifis levhalarının daha dayanıklı malzemedan yapılmış olanı ile değiştirilmesi gerekebilir. Kaydedicilerdeki mürekkep ve kağıtta sıkça kontrol edilmelidir.

B - Motor İşletme Anahtarları

Motor işletme anahtarları imalatçının verdiği spesifikasyonlara göre yağlanmalıdır. Bütün elektrikli ekipmanların temizliği güvenli bir işletim sağlanması için önemlidir. Elektrik ekipmanlarındaki kirlilik ise dağılımı azaltabilir. ve zayıf havalandırmaya neden olabilir. Fazla ısınma ve izolasyon bozunması, tozların elektrikselsel iletici olmasıyla da oluşabilir. Bütün kontak, transformatör izolasyonları ve soğutma fanları yılda bir kez kontrol edilmeli, temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Kirli çevrelerden dolayı kontrol ve temizliğin daha sık yapılması istenebilir.

C - Elektrikli Motorlar

Motorların, elektrikle birleşmesi hariç seyrek bir temizliği ve sıcaklık artışlarının kontrolü istenir. Toz, kuru düşük basınçlı hava ve kuru bir bez kullanılarak ayrıştırılabilir. Kirle karışmış olan gres yağı bir yapışkanlık formu kazandığından temizlenmesi güçtür. Yağ vernik kaplamasının üzerinde bir bozunmaya neden olabilir. Bu da sırayla bir aşınmaya öncülük edebilir. Gres yağı ve yağ, petrol yağı gibi çözücüyle temizlenebilir. Bu temizlikten sonra yeni vernik kaplama tekrar uygulanmalıdır.

Sıcaklık artışlarının ölçülmesi; aşırı yükleme, kısa devre ve izolasyon yanması gibi problemlerin belirlenmesini sağlar. Sıcaklık artışlarının ölçülmesi için mevcut 3 metot vardır: Bunlar termometre, dirençli termoelement ve gömmeli termoelement'dir. Termo element metodu, motor çekirdeği ve

sargıları için mümkün olduğu kadar kapalı bir termoelementin yerleştirilmesinden ibarettir. Bu delik başlı bir civatanın ayrılmasıyla ve civalı veya alkollü termometre'nin motor içine sokulmasıyla yapılır. Direnç metodu ise, Wheatstone ve Kelvin köprüleriyle motor sargılarının oda sıcaklığında, sıcaklığının ve motorun tam yükte 4-6 saat çalıştırılmasından sonraki sıcaklığını ölçmek için kullanılır.

Gömmeli termoelement metodu, köprü bağlantılı teçhizatın bir termoelementle birlikte, motor sargılarına gömülmesinden ibarettir. Bu metod, direk olarak °C okuması verecektir. gerçek sıcaklık artışları, imalatçının tavsiye ettiği motor tipi için olan sıcaklık artışlarıyla karşılaştırılmalıdır. Bir motor, uygun işletme sıcaklığında olmasından ve kontak etmesinden dolayı çok ısınabilir. Bundan dolayı, motor sıcaklığını el sürerek ölçmeye kalkışmamak gerekir. 300 BG ve üzerindeki motorlarda termoelement metodu sıcaklığın sürekli olarak kaydedildiği bir monitör vasıtasıyla kullanılmalıdır.

7.5 Sonuçlar

Islak yıkayıcılar, muhtemelen en fazla kullanılan cihazlar olup, bütün hava kirliliği kontrol cihazları arasında en hor kullanılanıdır. Bu sistemlerin uygun işletimi ve bakımı, partikül ayrıştırma kontrol verimini arttırabilir ve işletim masraflarını düşürebilir. Etkili bir önleyici bakım programı da programlı kapama periyotlarının zaman aralığını en üst seviyeye çıkaracak, programsız bozulmaları en alt seviyeye indirecek, ekipman ömrünü uzatacak ve bakım, tamir masrafları gibi unsurları azaltacaktır. Uygun sistem dizaynı ve olağan bakım programı partikül yıkama sistemlerinin işletilmesinde başa dert olan problemlerin yok edilmesi için uzun süre devam edecektir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

8.1 Genel

Bu çalışmanın ilk bölümünde hava kirliliğinin tanımı, hava kirleticiler hakkında bilgiler verildi. İkinci bölümde kirlilik limitleri ve kirleticilere ait standartlar hakkında inceleme yapıldı. Üçüncü bölümde hava kirlenmesinin kontrolü incelendi. Burada çeşitli hava kirliliği kontrol ekipmanları hakkında kısa bilgiler verildi. Bundan sonraki bölümlerde tezin temelini oluşturan ıslak yıkayıcılar konusuna girildi. Önce ıslak yıkayıcıların endüstrideki uygulamaları hakkında bilgiler verildi. Sonra ıslak yıkamanın esasları hakkında inceleme yapıldı. Daha sonra ıslak yıkayıcıların çeşitleri ve bunlara ait hesaplamalar incelendi. Son olarak da ıslak yıkayıcıların kurulması, işletilmesi ve bakımı hakkında bilgiler verildi.

Hava kirliliği kontrol ekipmanlarından olan ıslak yıkayıcıların seçimi, avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

8.2 Yıkayıcıların Seçimi, Avantajları ve Dezavantajları

Potansiyel bir yıkayıcı uygulamasının belirlenebilmesi için çok önemli şartların birkaçı aşağıda gösterilmiştir :

1. Sıvının girişinde, gazın mücade edilebilir proseste olması.

2. Sıvı, bir su kirliliğine neden olmaksızın prosesten temizlenebilir olmalıdır. Alınan suyun kalitesi gözönünde bulundurulmalı ve yeterli dışarı akan bir su tasfiye sistemiyle teçhiz edilmelidir.

3. Herhangi tehlikeli bir durumla karşılaşmamak için sistemdeki gaz soğutulmalıdır.

4. Yanabilir partikül ve gazlar minimum bir riskle işlenmelidir.

5. Buharlar veya gaz maddeler ve partiküller gazdan ayrıştırılmalıdır.

Islak yıkayıcıların avantajları şunlardır : İkincil bir toz kaynağı yoktur. Küçük alan kaplılar, partiküller kadar gazları da toplama kabiliyetleri vardır (özellikle yapışkan maddeler), yüksek sıcaklık ve yüksek nemli gaz akımlarında kullanılma kabiliyetleri vardır, ilk maliyetleri düşüktür, bazı prosesler için gaz akımı yüksek basınçlıdır (bundan dolayı yüksek basınçlı damlalar, yüksek partikül verimi elde etmek için yıkayıcı sistemlerinde bir dezavantaj teşkil etmez.

Islak yıkayıcıların dezavantajları da şunlardır : Su tasfiyesi sorun yaratabilir, toplanmış madde ıslaktır, korozyon problemi, kuru sistemlere göre daha fazladır, buhar ışık geçirgenliği kötü olabilir, basınç düşümü ve beygir gücü ihtiyaçları yüksek olabilir, kuru akım geçiş yüzeyindeki katı birikimi sorun yaratabilir.

Bir yıkayıcı seçiminde gözönünde bulundurulacak ilave faktörler vardır. Bunlar genelde 3 kategoride gruplandırılabilir: Ekonomik, Çevre ve Mühendislik faktörleri.

Ekonomik faktörler

İlk maliyet ; Ekipman, donanım (tesisat)

İşletme maliyeti ; Kullanımlar, bakım, tasarruf (kıymetli ürünler geri kazandırıldığında) veya tasfiye fiyatları, işlenmemiş maddeler

Ekipman kullanım ömrünün tahmini

Çevre faktörleri

Ekipman yerleşimi; mevcut alan, çevre şartları; Uygun su, güç kullanımı ve çamur boşaltma olanaklarının elde edilebilirliği; izin verilebilir maksimum emisyon (hava kirliliği kodları); görülebilir su buharı veya buhar pusu; ekipman ses seviyeleri (örneğin yüksek enerjili yıkayıcıların durumunda olduğu gibi, yüksek hız fanlarının ses seviyesi sakıncalı olabilir).

Mühendislik faktörleri

Toz karakteristiği, duman, buğu veya sisin toplanılması ; Partikül boyut dağıtımı, derişim veya yükleme, kimyasal tepkime kapasitesi, fiziksel ve kimyasal özellikler

(örneğin yoğunluk, yıkayıcı sıvıdaki çözünübilirlik, toplanma eğilimleri, şekil patlayıcılık ve yapışkanlık vb.) paslanma ve aşındırıcılık, zehirlilik.

Gaz akımının karakteristikleri (örneğin sıcaklık, basınç, nem, hacim, bileşim);

Yıkayıcı sıvının karakteristikleri (yoğunluk, viskozite, aşındırıcılık ve köpürme eğilimleri)

Yıkayıcı karakteristikleri dizaynı ; Boyut ve ağırlık, fraksiyonel verim eğrisi (toplama verimi ile partikül boyutu), basınç düşümü, dayanıklılık ve emniyetli işletme, boşaltma metodu, yapım maddeleri, hava hacim değişikliklerinin etkileri (verim ve basınç düşümü), diğer fazladan güç ihtiyaçları, kullanışlık istekleri, sıcaklık sınırlamaları.

Islak yıkayıcının özel bir tipini, spesifik uygulamalar için usulüne uygun seçimi zor olabilir. En iyi yol ise kullanıcı literatürünü iyice gözden geçirip en iyi seçimi yapmak, yıkayıcı imalatçısından mevcut performans bilgilerinin istenmesi ve eğer mümkünse benzer tipte uygulanmış bir tesisi ziyaret edip gerekli bilgileri almaktır. Sonuçta, bir evvelki tecrübeye güvenilmelidir. Eğer daha önce benzer tipte bir uygulama yoksa tecrübe deneyleri sıkça yapılmalıdır.

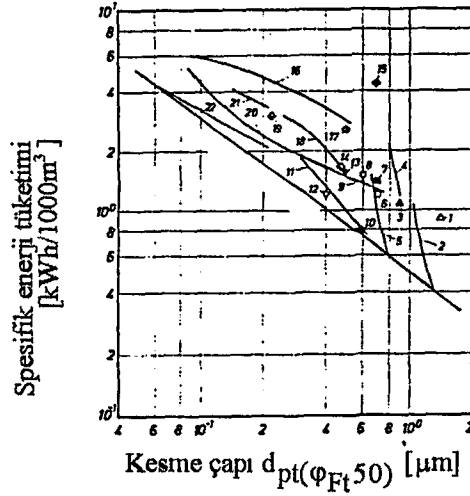
Islak yıkayıcıların karşılaştırılması ve seçiminin tespiti amacıyla Holzer [11] şekil 8-1 'de en çok kullanılan tipik yıkayıcıların önemli özelliklerini derlemiştir. Toz partiküllerin kesme çapı, % 50 'lilik gaz akımından ayrılacak toz fraksiyonunun çapıdır. Kesme çapı Kolon yıkayıcıdan Venturi yıkayıcıya doğru azalır (şekil 8-1 'de görüldüğü gibi). Sıvı ve gaz arasındaki hızın arttırılmasıyla toplama verimi artar. İzafi hızdaki bir yükselme basınç düşümünde bir artmayı doğurur. Su/hava oranı ise şekilde Vorteks yıkayıcı hariç diğerleri için verilmiştir. $d_{p(0.5)}$ ise toplama verimindeki kesme çapını karakterize eder. Spesifik enerji ihtiyacı, ıslak yıkayıcıların en önemli özelliğidir (şekil 8-1 'de en son kısım). Şekil 8-1 sadece enerji girişinin artmasıyla toplama veriminin iyileştirilebileceğini göstermiştir.

Yıkayıcı Tipi	Kolon Yıkayıcı	Jet Yıkayıcı	Vorteks Yıkayıcı	Döner Disk Yıkayıcı	Venturi Yıkayıcı
Kesme Çapı $d_{pt} (\phi_{Pt} 50) [\mu m]$	0.7-1.5	0.8-0.9	0.6-0.9	0.1-0.5	0.05-0.2
Gaz- Sıvı İzafi Hızı [m/s]	1	10-25	8-20	25-70	40-150
Basınç Düşüşü $10^2 [N/m^2]$	2-2.5	-	15-28	4-10	30-200
Su-Hava Oranı $V_1/V_g [l/m^3]$	0.05-5	5-20*	-	1-3*	0.5-5
Spesifik Enerji Tüketimi kWh/ 1000m ³	0.2-15	1.2-3	1-2	2-6	1.5-6

* Kademe Başına

Şekil 8.1. Islak yıkayıcıların özelliklerinin derlenmesi

Kesme çapıyla, spesifik enerji ihtiyacı arasındaki ilişki şekil 8-2 'de gösterilmiştir. Daha detaylı bilgi ise, tablo 8-1 'de derlenmiştir. Bütün data 'lar 22 yıkayıcının düzenlenerek, deneylerinin yapılmasından elde edilmiş ve bir alt sınır eğrisi çizilebilmiştir. Bu da kesme çapının her bir değeri için minimum spesifik enerji ihtiyacının var olduğu anlamına gelir. Üstelik, şekil 8-2, küçük bir kesme çapı elde edilsin diye, yıkayıcının mutlak bir tipinin enerji girişinin artmasının her zaman uygun olmadığını da ispat eder. Örneğin tablo 8-1 'deki 1,4 ve 5 nolu yıkayıcılar bunu uygular. Böyle durumlarda diğer yıkayıcı tipini seçmek daha akıllıca olur. Eğer mümkünse, daha düşük sınır eğrili olan yıkayıcıyı tercih etmek en iyi seçimdir.



Şekil 8.2 Islak yıkayıcılar için spesifik enerji tüketimi ve kesme çapı arasındaki ilişki

Tablo 8.1. 22 Tip yıkayıcı üzerinde yapılan deney sonuçları

No	Yıkayıcı tipi	Sembol	Deney şartları		
			Hava akış hızı (m ³ /h)	Basınç düşüşü 10 ² [N/m ²]	Su- Hava oranı [l/m ³]
1	Islak yıkayıcı	▲	450	19	0.2-0.8
2	Kolon yıkayıcı	-	250	6-20	0.5-1
3	Vorteks yıkayıcı	▲	3000	20	-
4	Jet yıkayıcı	-	500	(+2)	3-10
5	Kolon yıkayıcı	-	1000	6-18	0.5-1
6	Vorteks yıkayıcı	□	2500	15-22	-
7	lp ¹⁾ Venturi yıkayıcı	■	2000	15-20	-
8	Yıkama makinesi	○	17500	10	2-3
9	lp ¹⁾ Venturi yıkayıcı	-	3000	15-40	-
10	Çarpmalı yıkayıcı	●	1000	18	0.5
11	lp ¹⁾ Ven. çarpmalı yıkayıcı	-	1000	22-37	0.5-1
12	Islak siklon	▽	500	18	0.6-1
13	lp ¹⁾ Venturi yıkayıcı	▼	3500	20	-
14	Karışık tip	◇	1000	20	-
15	Yıkama makinesi	◆	300	8	-
16	Yıkama makinesi	-	600	18-70	0.5-2
17	Yıkama makinesi	◆	2000	(+15)	0.1-0.4
18	Karışık tip	-	600	20-50	0.5
19	Karışık tip	◆	2000	(+15)	0.5-0.8
20	Yıkama makinesi	-	2800	8-10	1-2
21	hp ¹⁾ Venturi yıkayıcı	-	1500	25-100	0.8
22	hp ¹⁾ Venturi yıkayıcı	-	500	40-100	1-3

1) lp : Düşük Basıncılı

2) hp : Yüksek Basıncılı

Islak yıkayıcıların yukarıda avantajlarını ve dez avantajlarını sıralamıştık. Islak yıkayıcılar hava kirliliği kontrol ekipmanları arasında partikül toplama verimi açısından iyi bir yere sahiptir. Belli bir çapa kadar partiküller iyi bir verimle toplayabilmektedir. Endüstriyel bir tesiste ıslak yıkayıcı kullanılıp, partikül ayrıştırılması yapılacağı zaman ıslak yıkayıcıdan önce bir kuru partikül toplama sisteminin tesis edilmesi verimlilik açısından çok daha iyi olmaktadır. Ülkemizde ıslak yıkayıcıların endüstriyel tesislerde hava kirliliği kontrol ekipmanı olarak kullanılması bir avantaj teşkil edebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Olcay T. , İpekoğlu N. , Hava Kirliliğinin Tanımı ve Temel Kavramları ; Hava Kirliliği Kontrol ve Denetimi TMMOB Kimya Müh. Odası İstanbul Şubesi, 1991
- [2] Tırıs M. , Kalafatoğlu E. , Okutan H. ; Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolu TÜBİTAK - Marmara Araştırma Merkezi Kimya Müh. Araştırma Böl. Gebze - Kocaeli, 1993
- [3] Perkins A. C. , Air Pollution Mc Graw Hill New York 1974
- [4] Avcı A. , Hava Kirliliğinde Siklonların Rolü ve Baca Gazını Siklonla Temizleme Çabası, İ.T.U. Y. Lisans Tezi 1985
- [5] Soylu Oğuz ; Y.T.U. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Isı Proses Çevre Temizleme Sistemleri Ders Notları İstanbul 1993
- [6] Proper R. ; Handbook of Enviromental Control , The Chemical Robber Co. U.S.A. 1972
- [7] Stern A.C. ; Air Pollution , Academic Press New York 1968 Volume I , Volume III
- [8] Robinsons F.A. ; Enviromental Effects of Utilizing More Coal, London 1980
- [9] Tomary S.P. ; Air Pollution The Emission The Regulation Control , American Elsevier Publishing Co, Inc, New York 1975
- [10] Noll K. , Duncan J. ; Industrial Air Pollution Control, An Arbor Science Publishers, Inc, New York 1975

[11] Brauer H., Varma Y.B.G. ; Air Pollution Control Equipment, Springer - Verlag Berlin Heilderberg New York 1981

[12] Theodore Louis, Bunicore Anthony J. ; Air Pollution Control Equipment, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1982

[13] Calvert S. ; Source Control by Liquid Scrubbing , Ch.45 in A.C. Stern (ed.) Air Pollution, Vol III Academic Press, Inc., New York 1968

[14] Licht William; Air Pollution Control Engineering, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel 1982

[15] Wark Kenneth, Warner Cecil F. ; Air Pollution Its Origin and Control, Purdue University Harper & Row Publishers New York 1981

ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında İstanbul'da doğdum. İlkokulu Kadırga ilkokulunda, ortaokulu Çapa ortaokulunda, liseyi Şehremini lisesinde tamamladım. 1987 - 1988 öğretim yılında YILDIZ ÜNİVERSİTESİ Mühendislik fakültesi Makina mühendisliği bölümüne girdim. 1990 - 1991 öğretim yılında aynı bölümden mezun oldum. 1992 - 1993 öğretim yılında YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Isı Proses bölümünde yüksek lisans başladım. Halen bu bölümde öğrenimime devam etmekteyim.

HALUK ÇAKAR

